T.C. ULAŞTIRMA, DENİZCİLİK ve HABERLEŞME BAKANLIĞI

ALTYAPI YATIRIMLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ (AYGM)

KIYI YAPILARI

PLANLAMA veTASARIM TEKNİK ESASLARI

2016

HAZIRLAYANLAR
Prof. Dr. Yalçın Yüksel (Koordinatör)
Prof. Dr. Yalçın Yüksel Prof. Dr. Ayşen Ergin Prof. Dr. Esin Çevik Prof. Dr. Ahmet Cevdet Yalçıner Dr. İnş. Yük. Müh. Işıkhan Güler Prof. Dr. Nabi Yüzer Doç. Dr. Berna Ayat Aydoğan Doç. Dr. Utku Kanoğlu Doç. Dr. Yeşim Çelikoğlu Doç. Dr. Anıl Arı Güner Doç. Dr. Halit Özen Yrd. Doç. Dr. Burak Aydoğan Doç Dr. Özgür Çakır Dr. Cihan Şahin Dr. Z. Tuğçe Yüksel İnş. Yük. Müh. Caner Çakır İnş. Müh. Merih Özcan Yük. Müh. Mehmet Ali Koçyatağı ve Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü Kıyı Yapıları ilgili Teknik Personeli
Uluslararası Katkılar
Prof. Dr. J.W. Van der Meer, Delft, Hollanda Dr. Ida Brøker, Danimarka Hidrolik Enstitüsü Dr. Nils K. Drønen, Danimarka Hidrolik Enstitüsü Dr. Ole Svenstrup Petersen, Danimarka Hidrolik Enstitüsü

Bilimsel Katkıda Bulunan Mühendislik Kurumları
CSM İnşaat
ARTI Proje
MCH Deniz Araştırmaları
MAG Mühendislik Hizmetleri
NİS Mühendislik Müşavirlik
YÜKSEL Proje
2ER Mühendislik
DOLFEN Mühendislik
İnş. Müh Ümit İren Bodrum Marina Sistemleri

TÜBİTAK 113M426 nolu proje ile vermiş olduğu destekten dolayı teşekkür ederiz.
Bu eser YTÜ Döner Sermaye İşletmeleri Yönetmeliği çerçevesinde hazırlanmıştır.

ÖNSÖZ

Kıyı Mühendisliği farklı disiplinlerin birlikte çalıştığı ve kıyı yapılarının doğa ile uyumlu planlandığı ve tasarlandığı bir mühendislik dalıdır. Genelde inşaat mühendisliği temel konularının üzerine kurulan bir uygulama alanı olan kıyı mühendisliği, kıyı alanında "dalga-yapı-çevre" etkileşimini inceyen, "koruma-kullanma" dengesini sağlayacak biçimde kıyılardan maksimum faydanın sağlanması için dalgakıran, kıyı duvarı, denizaltı boru hattı, iskele ve liman yapıları gibi birçok deniz yapısının planlanması ve tasarımını da içeren, kıyı ve denizdeki doğal kaynakların insanlık hizmetinde kullanılmasında "doğa-insan" etkileşimi dengesini sağlayarak "sürdürülebilir gelişme" ilkelerini esas alan ve kıyı alanlarının yönetimi ile ilgili bir bilim dalıdır.

Günümüzde, kıyı ve deniz yapılarının doğadaki dalgaların ve etkilerinin düzensiz olmaları nedeniyle, probabilistik yaklaşımı dikkate alan güvenirliğe dayalı tasarımı tercih edilmektedir. Ancak yapıların sadece hasar probabilitelerini (hasar düzeylerini) dikkate almak yeterli değildir.

Burada verilen esaslar, kıyı ve deniz yapıları için mümkün olduğunca uluslararası kabül görmüş kriterleri dikkate alan performansa dayalı tasarımı içermektedir. Bu esaslara örnek olarak, dalgakıranların güvenirliğe dayalı deformasyon esaslarının stabilite hesaplarına uygulanması verilebilir. Dalgakıranların performansları; hizmet süreleri boyunca probabilistik davranışını içeren farklı hasar seviyeleri ve kümülatif hasara dayanan tasarım kriterlerinin tanımlanmasıyla, dikkate alınmaktadır.

Ülkemizde ve yurt dışında yapılan kıyı ve deniz yapılarına ilişkin planlama ve tasarımlarda güncel ve uluslararası kabül görmüş planlama ve tasarım prensiplerinin kullanılması istenmektedir. İlk olarak 2007 yılında yayımlanan bu esaslar bu düşüncelerin ışığında yenilenerek sunulmuştur.

Bu esaslar özellikle tüm diğer Kıyı Yapıları Şartnamelerinde olduğu gibi, uluslararası bazı temel kaynaklardaki bilgilerin kullanılmasıyla oluşturulmuştur. Başlıca kaynaklar, PIANC (Permanent International Association of Navigation Congresses), ASCE (American Society of Civil Engineers), BS (British Standarts), OCDI (The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan), ROM (Spanish Standarts), IHO (International Hydrographic Organization), IMO (International Maritime Organization), ICE (Institution of Civil Engineering, London), Eurocodes, OCIMF ve CIRIA & CUR gibi dir. Yine dünyada kabül görmüş başlıca süreli yayınlarda çıkmış bazı makalelerdeki teknik bilgilerde kullanılmıştır. Bu süreli yayınlar özellikle Coastal Engineering Journal ve Journal of Waterway, Coastal, Harbour and Ocean Engr., ASCE dir. Kıyı ve deniz mühendisliğinde her geçen gün gelişmeler hızla devam etmektedir. Her nekadar bu teknik esaslar güncel bilgileri içermekte ise de yukarda adı geçen eserlerin yeni versiyonlarının daha güncel bilgileri içermesi durumunda bu bilgilerin kullanılması mümkündür. Ayrıca, bu esaslarda bulunmayan bazı detay tasarımlar için yine bu kaynaklarda verilen tasarım yaklaşımları kullanılabilir.

Kıyı ve Deniz yapılarına yönelik yatırımlar ülke ekonomileri ve sosyal refah düzeylerinin artırılması açısından önemli ve maliyeti yüksek yapılardır. Bu nedenle yapılacak yatırımların ekonomik ve doğa ile uyumlu olmasına özen gösterilmelidir. Ancak bu yapıların dalga, akıntı ve deprem yüklerine karşı hizmet süreleri boyunca güvenle hizmet vermeleri istenir. Bu yükler altında tasarımları, doğanın düzensiz yükleri ile etkileşimi altındaki davranışları nedeniyle oldukça karmaşık hale gelmektedir, bu durumlarda laboratuvarlarda fiziksel model deneylerine ihtiyaç duyulcaktır. Bunun yanı sıra karmaşık tasarımlar sayısal modelleme teknikleri ile çözülebilmektedir. Her iki modelleme tekniğinde doğru sonuçlara ulaşılması için bu esaslarda verilen temel gereksinimlere uyulmalıdır. Ayrıca ihtiyaç duyulan saha ölçümleride yeterli ve uygun süreleri kapsayacak biçimde özenle yapılmalıdır.

Kıyı ve Deniz yapılarının tasarımında, bu esaslarla birlikte AYGM tarafından daha önce yayınlanmış olan, Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatları Deprem Teknik Yönetmeliği, Kıyı Yapıları ve Limanlar Malzeme, Yapım, Kontrol ve Bakım Onarım Teknik Esasları, ve Geoteknik Tasarım Esasları ile birlikte kullanılacaktır.

Saygılarımızla
Şubat, 2016

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM A PERFORMANSA DAYALI TASARIM İÇİN TEMEL İLKELER 11
İÇİNDEKİLER 13
1.GENEL 17
2. PERFORMANSA DAYALI TASARIM 17
2.1 Performans Kontrolü 17
2.2 Performans Gereklilikleri 17
2.3 Yükler 19
2.4 Güvenirliğe Dayalı Tasarım 20
KAYNAKLAR 27

BÖLÜM B HİDROLİK TASARIM 29
İÇİNDEKİLER 31
1. RÜZGAR DALGALARI 37
1.1 Rüzgar Verileri ve Analiz Yöntemleri 37
1.1.1 Kıyı Alanlarındaki Meteoroloji Rüzgar Ölçüm İstasyonları 37
1.1.1.1 Rüzgar Hızı Yükseklik Düzeltmesi 38
1.1.2 Sinoptik Haritalar 38
1.1.3 Hava Tahmin Kurumları (ECMWF veya NOAA) 38
1.1.4 Diğer Kaynaklar 38
1.1.5 Rüzgar Verilerinin Analiz Yöntemleri 38
1.1.6 Diğer Meteorolojik Koşullar 38
1.2. Dalgaların Temel Tanımları 39
1.2.1 Su Seviyeleri Tanımları 39
1.2.2 Dalga Yüksekliği (H) ve Dalga Genliği (a) 39
1.2.3 Dalga Periyodu ve Dalga frekansı (T ve f) 39
1.2.4 Dalga Boyu (L) 39
1.2.5 Dalga Sayısı (k) 40
1.2.6 Açısal Dalga Frekansı (σ veya ω) 40
1.2.7 Dalga Profili (η) 40
1.2.8 Dalga Yayılma Hızı, Faz Hızı (C) 40
1.2.9 Akışkan Partikül Hızları 40
1.2.10 Dalga Grup Hızı (Cg) 40
1.2.11 Dalga Basıncı (P) 41
1.2.12 Dalga Enerjisi (E) 41
1.2.13 Enerji Akısı (R) 41
1.2.14 Dalgaların Sınıflandırılması 41
1.3. Dalgaların İstatistiksel Özellikleri 42
1.3.1 Karakteristik Dalga Parametreleri 42
1.3.2 Dalga Yüksekliği Olasılık Dağılımı 44
1.3.3 Dalga Periyodu Olasılık Dağılımı 45
1.3.4 Dalga Yüksekliği ve Dalga Periyodu Ortak Olasılık Dağılımı 45
1.4. Dalga (Enerji) Spektrumu 46
1.4.1. Parametrik Dalga Spektrum Modelleri 48
1.4.1.1 Pierson - Moskowitz (PM) spektrumu 48
1.4.1.2 JONSWAP spektrumu 49
1.4.1.3 Yönsel Dalga Spektrumu 49
1.4.2. Dalga Tahminleri 50
1.4.2.1. Rüzgar Verisi Kullanarak Dalga Tahminleri 51
1.4.2.2. Soluğan Tahmini 57
1.5. Tasarım Dalgası 58
1.5.1 Tasarım Dalga Yüksekliği 58
1.5.1.1 Kısa Dönem Dalga İstatistiği 59
1.5.1.2 Uzun Dönem Dalga İstatistiği 59

1.5.1.2.1 Dalga İklimi istatistiği 60
1.5.1.2.2 Ekstrem (En Büyük Değer) Olasılık Dağılım Fonksiyonları 60
1.5.2 Tasarım Dalga Periyodu 63
1.6. Dalga Değişimleri (Transformasyon) 64
1.6.1 Dalga Sığlaşması 64
1.6.2 Dalga Sapması 65
1.6.2.1 Düzenli Dalgalar Için Sapma Katsayısı Hesaplamaları 65
1.6.2.2. Düzensiz Dalgalar İçin Sapma Katsayısı Hesaplamaları 66
1.6.3. Dalga Dönmesi 67
1.6.4. Dalga Kırılması 88
1.6.5 Sığ Su Bölgesinde Dalga Yüksekliği Dağılımı 96
1.6.6 Çalkantı Bölgesinde Dalga Tırmanması 97
1.6.7 Dalga İletimi 98
1.7. Su Seviyesi Değişimleri 99
1.7.1 Kırılan Dalgalardan Dolayı Ortalama Su Seviyesindeki Artış 99
1.7.2 Rüzgar Kabarması 101
1.7.3 Atmosfer Basıncı Nedeniyle Su Seviyesi Artışı 101
2. UZUN DALGALAR ve SU SEVİYESİ DEĞİŞİMLERİ 103
2.1 Uzun Dalgalar 103
2.2 Su Seviyesi Değişimleri 103
2.2.1 Gel-git 103
2.2.2 Fırtına Kabarması 105
2.2.3 Dalga Kabarması 105
2.2.4 Barometrik Kabarma 106
2.2.5 Ortalama Deniz Seviyesindeki Uzun Dönemli Değişimler 106
2.3 Tsunami (Depreşim Dalgası) 107
2.4 Gemi Dalgaları 113
3. AKINTILAR 117
3.1 Okyanus (Derin Deniz) Akıntıları 117
3.2 Rüzgar Etkisinde Akıntılar 117
3.3 Gel-git Akıntıları 117
3.4 Dalga Etkisinde Akıntılar 117
4. KATI MADDE TAŞINIMI VE MORFOLOJİ 121
4.1 Giriş ve Tanımlar 121
4.2. Katı Madde Taşınımı Çalışmasında İzlenecek Yol 124
4.3. Taban Malzemesi Özellikleri 125
4.4 Deniz Tabanı (Katı Madde) Hareketinin Başlangıcı 128
4.5 Kıyıboyu ve Kıyıya Dik Katı Madde Taşınımı 132
4.5.1 Kıyı Akıntı Sistemi 132
4.5.2 Kıyı Boyu Katı Madde Debisi ve Bütçesi 132
4.5.3 Kıyı Profili 133
4.5.4 Kıyı Çizgisi 134
4.6 Yerel Erozyon (veya Oyulma) 136
4.7 Koheziv Malzeme, Akışkan Çamur Tabakası ve Seyir Derinliği 136
KAYNAKLAR 141

BÖLÜM C PLANLAMA 147
İÇİNDEKİLER 149
1. SU ALANLARININ TASARIMI 155
1.1. Ulaşım Kanalı 155
1.1.1 Doğrultu 156
1.1.2 Kanal Genişliği 157
1.1.3 Ulaşım Kanal Derinliği 159
1.1.4 Diğer Tasarım Özellikleri 161
1.2 Liman İçi Manevra Alanları 161

1.3. Liman İçi Yanaşma Yerleri Boyutları 163
1.4 Gemiler 166
1.5 Kapalı Limanlarda Dalga Nedenli Salınım 174
1.6 Yanaşma Düzeni ve Gemi Bağlama Yöntemleri 176
1.6.1 Gemi Yanaşma ve Usturmaça Yerleşim Düzenleri 177
2. TERMİNAL PLANLAMASI 181
2.1 Genel Tanımlar 181
2.2 Konteyner Terminalleri Planlaması 186
2.2.1 Konteyner Tip ve Boyutları 186
2.2.2 Planlama 188
2.3 Genel Kargo ve Çok Amaçlı Terminaller 195
2.4 Ro-Ro ve Feribot Terminalleri 196
2.4.1 Yolcu İnme/Binme Tesislerinin Planlanması 197
2.5 Sıvı Yük Terminalleri 200
2.6 Kuru Dökme Yük Terminalleri 205
3. BALIKÇI LİMANLARI 207
3.1 Balıkçı Limanlarının Tipleri 207
3.2 Yer Seçimi 207
3.3 Balıkçı Tekneleri 207
3.4 Planlama 208
3.4.1 Ulaşım Kanalı 208
3.4.2 Basenler ve Yanaşma Yapıları 208
3.4.3 Apron 210
3.4.4 Tekne Bakım ve Onarımı 210
3.4.5 Binalar ve Diğer Hizmetler 210
4. YAT LİMANLARI 211
4.1 Genel 211
4.2 Tekne Tipleri ve Boyutları 215
4.3 Ulaşım Kanalı ve Liman Girişi 216
4.4 Manevra Dairesi 217
4.5 Liman İçi Yerleşim 220
4.6 Park Alanı 227
4.7 Travel Lift 227
4.8 Hizmet Yapıları 227
4.9 Mega ve Süper Yat Limanları için Ek Planlama Ölçütleri 229
4.10 Bağlanma 233
4.11 Balıkçı Barınaklarından Dönüştürülen Yat Limanları 233
5.KRUVAZİYER LİMANLARI 234
6.LİMAN KAPLAMA TASARIMI 237
6.1 Giriş 237
6.2 Liman Kaplama Tasarımı 237
7. TERSANELER 241
7.1 Genel 241
7.2 Tekne Denize İndirme ve Denizden Alma Tesisleri 242
7.3 Kızak Tasarımı 243
7.3.1 Kızak Yerinin Konumu 243
7.3.2 Kızak Elemanlarının Boyutları 244
7.3.3 Kızak Uzunluğu ve Geri Alan 244
7.3.4 Su Derinliği 244
7.3.5 Kızak Eğimi 244
7.3.6 Su Alanı 244
7.3.7 Ön Duvar ve Döşeme 245
7.3.8 Baş Papet ve Döndürme Momenti 245
7.4 Gemi Asansörü 246
7.5 Yüzer Havuz 248

7.6 Tekne Vinci 248
7.7 Büyük Tonajlı Gemi Kızakları 248

KAYNAKLAR 251

BÖLÜM D TASARIM 255
İÇİNDEKİLER 257
1.GENEL 263
2. DALGAKIRAN TASARIMI 267
2.1 Taş Dolgu Dalgakıranlar 267
2.1.1 Taş Dolgu Dalgakıranlar için Yapısal Tanımlar ve Hasar Tipleri 267
2.1.2 Tasarım Derinliği 267
2.1.3 Tasarım Dalgası Seçimi 268
2.1.4 Hidrolik Davranış 270
2.1.4.1 Dalga Tırmanması ve Geri Çekilmesi 270
2.1.4.1.1 Dalga Tırmanması 270
2.1.4.1.2 Dalga Geri Çekilmesi 275
2.1.4.2 Dalga Aşması 275
2.1.4.3 Dalga Yansıması 278
2.1.5 Taş Dolgu Dalgakıranların Yapısal Tasarımı 280
2.1.5.1 Hudson (1958) 282
2.1.5.2 Van der Meer (1988), Derin Su İfadesi 284
2.1.5.3 Van der Meer (2004), Sığ Su İfadesi 286
2.1.5.4 Van Gent vd. (2005) 287
2.1.5.5 Beton Bloklar için Stabilite İfadeleri 288
2.1.6 Dalgakıran Kafası (Müzvar) 290
2.1.7 Dalgakıran Filtre Tasarımı 292
2.1.8 Dalgakıran Geometrik Özelliklerinin Belirlenmesi 293
2.1.8.1 Kret Kotu 293
2.1.8.2 Kret Genişliği 294
2.1.8.3 Koruyucu Tabaka Kalınlığı 294
2.1.9 Taş Dolgu Yapılarda Kronman Duvarı Hesabı 296
2.1.10 Topuk Koruması 298
2.2 Düşey Yüzlü Dalgakıranlar 301
2.2.1 Düşey Yüzlü Dalgakıranlar için Yapısal Tanımlar ve Hasar Tipleri 301
2.2.2 Hidrolik Davranış 302
2.2.2.1 Düşey Yüzeyden Yansıma 302
2.2.2.2 Düşey Yüzlü Dalgakıranlarda Dalga Aşması 302
2.2.3 Düşey Yüzlü Dalgakıran Tasarım Yöntemleri 304
2.2.3.1 Sainflou Yöntemi (1928) 305
2.2.3.2 GODA Yöntemi 307
2.2.4 Düşey Yüzlü Dalgakıranlarda Topuk Stabilitesi 311
2.3. Yüzen Dalgakıranlar 313
2.4 Basamaklı Dalgakıranlar 317
2.5 Düşük Kretli Dalgakıranlar 319
2.6 Tabana Yakın Koruma Tabakaları 320
2.7 Taş Dolgu Şevli Yapılarda Taş Özelliklerinin Tanımlanması ve Başlıca Tasarım Parametreleri 322
2.7.1 Malzemelerin Fonksiyonları 322
2.7.2 Malzeme Özellikleri 322
2.7.3 Koruma Tabakası Taşlarının Granülometrik Özellikleri 326
3. YANAŞMA YAPILARI 329
3.1. Yanaşma Yapı Tipleri 329
3.2. Gemi Bağlama Kuvveti 332
3.2.1. Bağlanma Yüklerinin Belirlenmesi: 332

3.3. Gemi Yanaşma Yükleri 346
3.3.1. Gemi Yanaşma Enerjisi 346
3.3.2. Usturmaça Tasarımı 352
3.3.3 Yanaşma Reaksiyonları ve Yük Dağılımı 352
3.4. Gemilerin Seyir Sırasında Birbirlerini Geçmesi 353
3.5 Kazık Destekli Yapılarda Dalga Yükleri 354
3.6 Yükler ve Yük Kombinasyonları 357
3.6.1. Yükler 357
3.6.2 Yük Kombinasyonları 358
3.7 Yanaşma Yapılarında Dalga Çarpma Tesiri 364
4. YÜZEN İSKELELER 369
4.1 Tasarım Prensibi 369
4.2 Duba Tasarımı 370
4.3. Dubanın Stabilitesi 371
4.4 Dubanın Tekil Elemanlarının Tasarımı 373
4.5 .Bağlama Sisteminin Tasarımı 373
4.5.1 Bağlama Metodu 373
4.5.2 Bağlama Zincirinin Tasarımı 374
4.6 Bağlama Ankrajının Tasarımı 375
5. KIYI KORUMA YAPILARI 377
5.1. Mahmuzlar 378
5.1.1. Mahmuz Tasarımı Aşamasında İncelenecek Konular 378
5.1.2 Yapı Tipleri 379
5.1.3 Temel kesit tasarımı 380
5.2 Ardışık Dalgakıranlar 381
5.3 Kıyı Duvarları 386
5.4 Kıyı Tahkimatları 388
5.4.1 . Koruma tabakası tasarımı 389
5.4.1.1 Koruma Tabakası Kalınlığı 389
5.4.1.2. Filtre Tabakası Tasarımı 389
5.4.1.3 Topuk Tasarımı 390
5.4.2. Dalga Aşması Miktarı 390
5.5 Kıyı Yenileme 391
5.6 Alternatif Çözümler 395
5.7 Yapılaşmama ya da Geri Çekilme 396
6. DENİZALTI BORU HATLARININ TASARIMI 399
6.1 Akıntı Kuvvetleri 399
6.2 Dalga Kuvvetleri 399
6.3 Boru Hatları Etrafında Yerel Oyulma 401
6.4 Su Alma Yapılarının Tasarımı 402
7. BAĞLAMA ŞAMANDIRALARI 403
7.1 Giriş 403
7.2 Çok Noktalı Bağlama Sistemleri 404
7.3 Tasarım Yükleri ve Analiz 404
8. DENİZ YAPILARINDA MALZEME 419
8.1 Malzeme Seçimi 419
8.2 Deniz Yapısı Durum Tespit Yöntemleri 428
KAYNAKLAR 433

BÖLÜM E MODELLEME ve SAHA ARAŞTIRMALARI 439
İÇİNDEKİLER 441
1. GENEL 445
2. SAYISAL MODELLEME 447

2.1 Sayısal Modelleme Esasları 447
2.1.1 Dalga Tahmini 447
2.1.2 Liman İçi Çalkantı 448
2.1.3 Hidrodinamik Modelleme 449
2.1.4 Katı Madde Taşınımı ve Morfolojik Modelleme 451
2.1.5 Su Kalitesi Modelleri 451
2.1.6 İklim Değişikliği ve Kıyı Alanlarına Etkisinin Modellenmesi 453
3. FİZİKSEL MODELLEME 457
4. SAHA ARAŞTIRMALARI 459
4.1 Meteo-oşinografik Veriler için Saha Ölçümleri 459
4.2 Alansal Veriler İçin Saha Ölçümleri 460
KAYNAKLAR 467

EKLER 469

BÖLÜM A

PERFORMANSA DAYALI TASARIM İÇİN TEMEL İLKELER

İÇİNDEKİLER

1.GENEL 17
2. PERFORMANSA DAYALI TASARIM 17
2.1 Performans Kontrolü 17
2.2 Performans Gereklilikleri 17
2.3 Yükler 19
2.4 Güvenirliğe Dayalı Tasarım 20
KAYNAKLAR 27

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Çeşitli yüklerin sınıflandırılması 19
Tablo 2.2 Güvenilirliğe dayalı tasarımda düzeyler 20
Tablo 2.3 Önemli yapı tipleri için hedef güvenilirlik indeksleri / kısmi katsayıların seçim yöntemleri 24
Tablo 2.4 Kıyı yapılarında risk seviyeleri 25
Tablo 2.5 Kıyı yapıları için kabul edilebilir en yüksek yıkılma olasılıkları (P_f) 25
Tablo 2.6 Bağlanma tipleri 25

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Performans gerekliliklerinin sınıflandırması 18
Şekil 2.2 Yapı hizmet süresi ve olay yinelenme dönemine bağlı olarak yapı hizmet süresi içerisinde olay oluşma olasılığı 19
Şekil 2.3 Hizmet süresi boyunca maliyetin minimizasyonu esasına dayanan yöntem 23

1. GENEL

Kıyı mühendisliğinde, planlama aşaması için kıyı yapılarının yapısal risk faktörlerini kapsayan güvenilirliğin belirlenmesi gerekmektedir (PIANC, 2014; OCDI, 2009; CERC, 2003). Taş dolgu ve benzeri kıyı yapılarının güvenilirliğinin, değişkenlik seviyesi yüksek olan ve önceden tahmin edilemeyen fırtınaların doğasına bağlı olması sebebiyle; bu tip yapıların güvenilirliği çoğunlukla kıyı projeleri için yapısal risklerin hesaplanmasında göz önüne alınmaktadır. Çok farklı tasarım koşulları için planlanmış kıyı yapılarının yıkılması sonucunda önem derecesi değişen ekonomik kayıplar oluşur.

Kıyı yapılarının tasarımında karşılaşılaşılan belirsizlikler, yük ve dayanım değişkenlerinin yanısıra tasarım sırasında kullanılan deneysel çalışmaları esas alan eşitliklerden de kaynaklanmaktadır. Belirsizlik faktörleri, yapının tasarım ömrü içinde gerçekleşebilecek hasar riskinin yanında güvenilirlik seviyesini de etkilemektedir. Yapısal güvenilirliğin tahmininde belirsizliklerin de dikkate alındığı istatistiksel olasılık yöntemlerden yararlanılmaktadır. Bu yöntemlerde yapının güvenilirlik indeksi, performans fonksiyonunun "limit durumu" için "en olası göçme noktası", yani çok boyutlu yıkılma yüzeyinin koordinat sisteminin merkezine olan en yakın mesafesi olarak belirlenmektedir.

2. PERFORMANSA DAYALI TASARIM

Bu esaslar kıyı ve liman yükleri üzerindeki dalga, akıntı, rüzgar, deprem gibi çevresel yükler altında temel ilke olarak performansa dayalı tasarımı esas almaktadır. Bu tasarım yaklaşımında, belli yineleme dönemlerine göre tanımlanan düzeylerdeki çevresel yükler altında kıyı ve liman yapılarında oluşabilecek hasarın sayısal olarak tahmin edilmesidir. Böylece her yapı tipi için bu hasarın kabül edilebilir hasar limitleri altında kalıp kalmadığı kontrol edilir. Bu tanımların yapılamadığı yapılarda ise deterministik (belirlenimci) tasarım yöntemleri kullanılır. Bu bölümde performansa dayalı tasarımın temel ilkeleri anlatılmıştır. Burada bahsi geçen terimlerin kısa tanımları aşağıda verilmiştir;

Kaza Etkileri: Yapının hizmet süresi içerisinde karşılaşma olasılığı düşük etkileri temsil etmektedir. Örnek olarak D2 düzeyinde deprem, tsunami, gemi çarpması, yangın veya nadir dalga verilebilir.

Kaza Durumu: Kaza etkilerinin egemen olduğu durumları tanımlamaktadır. Performans kriterinde bir veya birden fazla etkinin bir arada olduğu durumlar tanımlanabilmektedir.

Performans Kriteri: Performans gerekliliklerinin somut (sayısal) biçimde tanımlanmasıdır. Bu sayede performans doğrulaması (kontrolü) yapılabilir.

Performans Gereklilikleri: Yapıların yapılış amaçlarını sağlayabilmeleri için ihtiyaç duydukları performans değeridir.

Performans Doğrulaması (kontrolü): Yapılardan istenen performans kriterlerinin sağlanıp sağlanmadığının kontrol edilmesi işlemi.

2.1 Performans Kontrolü

Yapılarda performans kontrolü, yapının istenilen performans kriterlerini sağladığının kontrol edilmesi işidir. Bu kontrolün yapılabilmesi için pek çok yöntem mevcuttur ve herhangi bir yöntemin kullanılması yönünden bir zorunluluk yoktur. Kullanılacak performans kontrol yöntemi, kabul edilebilir hasar olasılıkları, kabul edilebilir deformasyonlar, vb kararlar proje ekibine aittir. Bu esaslar mühendislerin performans kriterlerine bağlı olarak uymaları gerekli olan standartların anlatılması amaçlanmaktadır. Bu dökümanda; bazı standart performans kontrolü yöntemleri, izin verilebilecek göçme olasılıkları ve bazı standart deformasyon limitleri verilmiştir. Bu esaslar yeni yöntemlerin geliştirilmesi ve bu yeni yöntemlerin kullanılması önünde bir engel değildir. Özel yapılar hariç, proje ekibi yaptıkları yapılar için performans kriterini tanımlayıp bu performans kriterlerini tutturduklarını kanıtladıkları taktirde, yapının performans kriterini sağladığını varsayabilirler.

2.2 Performans Gereklilikleri

Performans gerekliliği; yapıların yapılış amaçlarını sağlayabilmeleri için ihtiyaç duydukları performans değeridir. Yapıların boyutları, yapısal davranışı, inşa edilebilirliği, onarılabilirliği

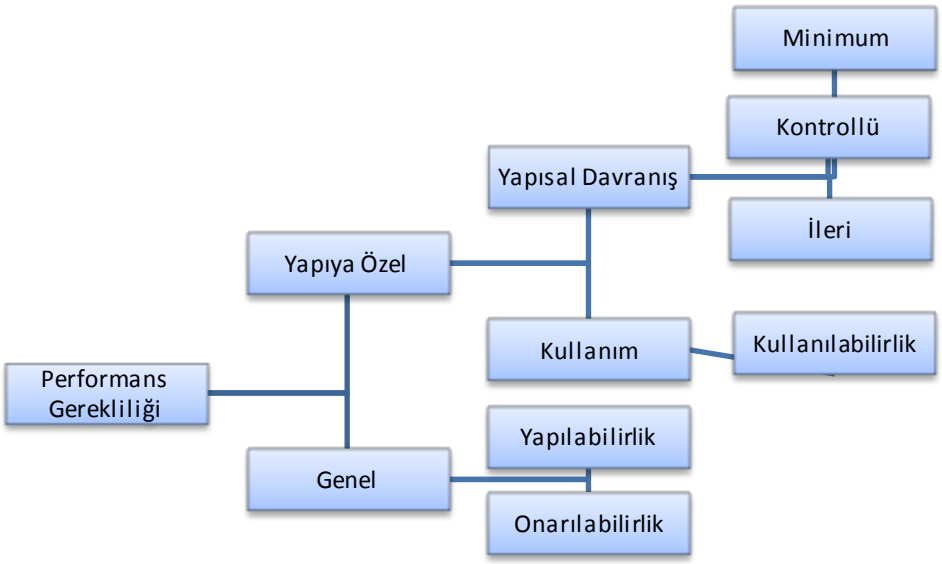
vb performans değerlerini içerir. Yapıların davranışı hasar miktarına göre üç ayrı performans düzeyinde incelenmektedir.

1- Minimum Hasar Performans Düzeyi (Hasar yok ya da hasar başlangıcı, İşler performans düzeyi)
2- Kontrollu Hasar Performans Düzeyi (Orta hasar, Onarım performans düzeyi)
3- İleri Hasar Performans Düzeyi (Tam hasar, Güvenlik performans düzeyi)

Farklı durumlar yapı üzerinde farklı miktarda hasara sebep olurlar. Yapının normal işletme ve proje yükleri altında hasar alması hiç beklenmez iken, oluşma olasılığı çok düşük kaza durumlarında yapının hasar almamasını beklemek ekonomik açıdan uygun değildir. Bu tür kaza durumlarında yapının belli bir miktar hasar alması öngörülebilir. Liman yapılarının performans düzeyleri için aşağıdaki örnekler verilmiştir.

1- Yıllık oluşma olasılığı %1'in üzerinde olan işletme ve proje yükleri için, hedeflenmesi gereken performans düzeyi minimum hasar performans seviyesidir. Bu performansa sahip bir yapının otomatik olarak diğer performans seviyelerini de sağladığı kabul edilir.
2- Kaza durumlarında (yıllık oluşma yüzdesi %1'den az olaylar); yapının önemine ve yerine getirmesi gereken fonksiyonlara bağlı olarak işler, kontrollu veya ileri hasar performans düzeylerinden birini yerine getirmesi beklenir.

Yukarıda tanımlanan %1 aşılma olasılığı fikir vermesi açısından standart ömre sahip yapılar için verilmiş değerdir ve bir kısıtlayıcılığı yoktur. Örneğin deprem ya da fırtına sonrası hemen kullanılması gereken limanlar, (acil durum limanları) vs gibi yapılarda kaza durumlarında minimum hasar performans düzeyi beklenirken, herhangi bir koruma veya fonksiyonellik beklenmeyen yapılarda kaza durumunda hasar alması ancak can kaybına sebep olmaması koşuluyla beklenmektedir. İnşaatı yapan, onaran veya geliştiren sorumlu kişiler şartnamelerde ve yönetmeliklerde tanımlanan minimum performans düzeylerinin üzerinde bir performans düzeyini seçebilirler. Bu esaslarda tanımlanamayan bazı performans düzeyleri, diğer ulusal standartlarda tanımlanmış olabilir (Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği, 2007 gibi, bundan sonra kısaca KLY ile adlandırılacaktır). Performans gereklilikleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Performans gerekliliklerinin sınıflandırması (OCDI, 2009)

2.3 Yükler

Yapıya etki edecek yükler sabit, hareketli ve kaza yükleri olmak üzere üç ayrı kategoride incelenmektedir. Tablo 2.1'de yük kategorileri ve bu kategorilerde dikkate alınan yüklere örnek verilmiştir.

Tablo 2.1 Çeşitli yüklerin sınıflandırılması

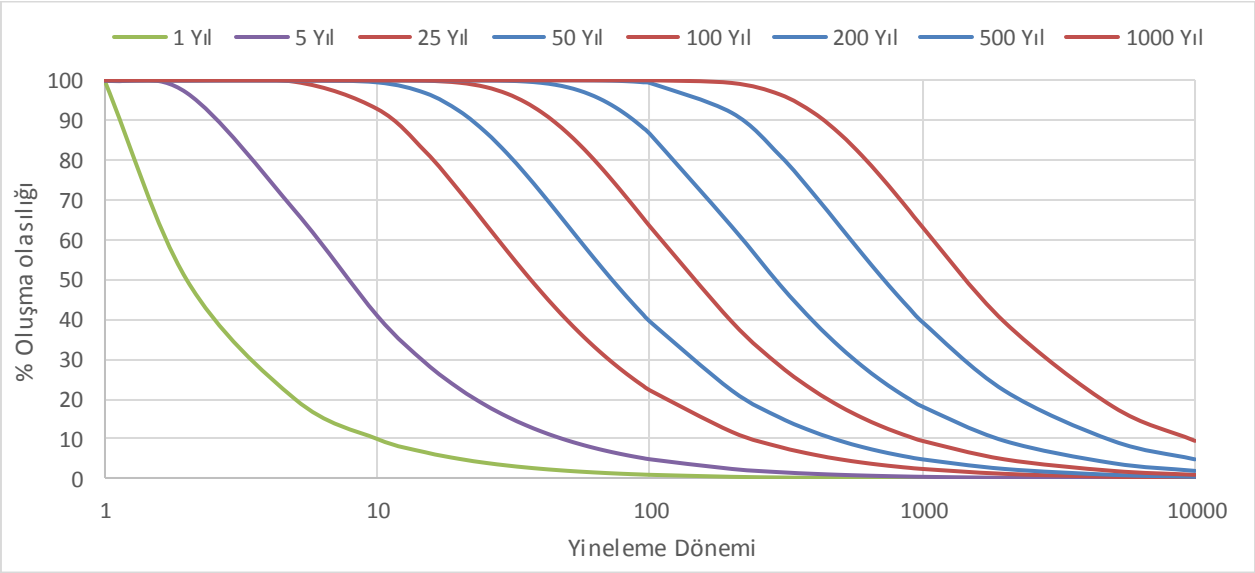
Yük Kategorisi	Yük
Sabit yükler	Kendi ağırlığı (zati ağırlık), toprak basıncı, diğer çevresel yükler (sıcaklık, donma, çözülme, korozyon) vb..
Hareketli yükler	Rüzgar, dalga, su seviyesi (gel-git), işletme yükleri (kargo veya araç), gemi bağlama ve yaslanma, D1 depremi vb..
Kaza yükleri	Gemi veya başka bir cisimle çarpışma (bağlama yükleri hariç), yangın, Tsunami, D2 depremi, nadir dalgalar,vb..

Yapıların performans kontrolü için kuvvetler yapıya bağlı olarak doğru seçilmelidir. Yapıda dikkate alınacak yüklerin yinelenme dönemleri; yükün tipine, yapının önemine, yapının beklenen hizmet ömrüne bağlı olarak uygun biçimde seçilmelidir. Burada dikkat edilmesi gereken, yinelenme dönemi belli büyüklükte bir olayın ortalama oluşma aralıklarını ifade eder ve yapının hizmet süresinden ya da ömründen farklıdır. Örnek olarak yinelenme dönemi 50 yıl olan bir olayın bir yılda oluşma olasılığı 1/50=0.02'dir. 50 yıl hizmet süresi olan bir yapının ömrü boyunca bu yükle karşı karşıya gelme olasılığı (2.1) ifadesinden $1-(1-0.02)^{50}=0.64$ = %64'tür.

$$P_0=1-(1-P_Y)^L \qquad (2.1)$$

P_0 : Olayın yapının hizmet süresi boyunca oluşma olasılığı,
P_Y : Olayın bir yılda oluşma olasılığı,
L : Yapının hizmet süresi

Yapı hizmet süresi boyunca farklı yineleme dönemlerine sahip olaylarla karşı karşıya gelebilir. Şekil 2.2'de farklı hizmet süresi olan yapıların farklı yineleme dönemlerine sahip olaylar ile hizmet süreleri içerisinde karşılaşma olasılıkları görülmektedir. Kıyı ve liman yapılarının hizmet süreleri konunun içeriğine bağlı olarak ileriki bölümlerde verilmiştir.



Şekil 2.2 Yapı hizmet süresi ve olay yinelenme dönemine bağlı olarak yapı hizmet süresi içerisinde olayın oluşma olasılığı

Tasarım yükü, yapının performans kontrolü sırasında dikkate alınacak yük kombinasyonunu ifade etmektedir. Bu yüklemeler üç ayrı kategoride incelenebilir. Bunlar sabit yükler, hareketli yükler (etkili yüklerin hareketli yükler olduğu durum) ve kaza yükleri (etkili yüklerin kaza yükleri olduğu durum).

Yükler etkili ve etkili olmayan şeklinde iki guruba ayrılır. Etkili yükler ile etkili olmayan yüklerin bir arada bulunduğu yükleme kombinasyonlarında etkili olmayan yüklerin oluşma sıklığı yüksek (yineleme dönemi düşük) (yapı hizmet ömrü boyunca sıklıkla oluşan karakteristik değerler) değerlerinin alınması uygundur. Bir yük kombinasyonundaki tüm yüklerin yinelenme dönemi yüksek olması durumunda gerçekçi olmayan bir yükleme durumu ile karşı karşıya gelinebilir ve oluşacak kombinasyonun oluşma olasılığı çok düşük olacaktır.

Yapının performans kontrolünde birden fazla yük kombinasyonu için ayrı ayrı performans analizi yapılabilir. Her bir analiz farklı bir etkili yük için yapılır.

2.4 Güvenilirliğe Dayalı Tasarım

Bu yöntemde yapıların yıkılma olasılığı (tam hasar), olasılık teorisine dayalı bir teknik kullanılarak değerlendirilmektedir. Değerlendirme yöntemine bağlı olarak üç tasarım düzeyini içermektedir. Değerlendirmeler en yüksek düzey olan Düzey 3'te yıkılma olasılığı P_f, Düzey 2'de güvenilirlik indeksi β, ve en düşük düzey olan Düzey 1'de ise performans kontrol denklemi, γ kullanılarak yapılır. Bu performans düzeyleri Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2 Güvenilirliğe dayalı tasarımda düzeyler (OCDI, 2009)

Tasarım Düzeyi	Performans Kontrol Denklemi	Değerlendirme Parametresi
Düzey 3	$P_{fT} \geq P_f$	Yıkılma Olasılığı
	P_f	
Düzey 2	$\beta_T \leq \beta$	Güvenilirlik İndeksi
	β	
Düzey 1	$R_d \geq S_d$	Tasarım Değeri
	S_d	

Düzey 3 için yıkılma olasılığı hesaplanırken Monte Carlo Benzetim tekniği kullanılmaktadır. Bu yöntem kullanılırken de bilgisayar zamanını azaltmak için Variance Reduction Techniques (VRT) uygulanmaktadır. Düzey 2 için değerlendirme parametresi yıkılma olasılığı ile de ilişkili olan güvenilirlik indeksidir. Güvenilirlik indeksi First-Order Reliability Method (FORM) ya da benzeri yöntemler kullanılarak hesaplanmaktadır. Düzey 1'de ise kontrol, kısmi katsayıların ve karakteristik değerlerin bir ürünü olan tasarım değerlerinin hesaplanması ve dayanım tasarım değerlerinin (R_d), etkili olan kuvvetin tasarım değerlerinden (S_d) büyük olmasının sağlanması ile yapılmaktadır.

Düzey 1 Güvenilirliğe Dayalı Tasarım Yöntemi (Kısmi Katsayılar Yöntemi)

Uluslararası ISO 2394 "Yapıların Güvenilirliği Üzerine Genel Prensipler" bu yöntemi yapılar için performans kontrolünde standart olarak önermektedir. Burada verilen esaslarda Düzey 1 Güvenilirliğe Dayalı Tasarım Metodu standart bir metod olarak önerilmekle birlikte, Düzey 2 ve Düzey 3 için herhangi bir kısıtlama yoktur.

Düzey 1 Güvenilirliğe Dayalı Tasarım Metodu'nda karakteristik değerler kısmi katsayılarla çarpılarak tasarım değerleri elde edilir. Denklem 2.2 kullanılarak yapının tasarım dayanımının (R_d) etkili kuvvetlerin tasarım değerinden (S_d) büyük olduğuna emin olunarak yapının performans düzeyi kontrol edilir.

$$Z = R_d - S_d \geq 0 \tag{2.2}$$

S_d ve R_d tasarım değerleri sırasıyla Denklem 2.3 ve Denklem 2.4 kullanılarak hesaplanır.

$$S_d = S(s_{1d}, s_{2d}, s_{3d}.....) \tag{2.3}$$

$$R_d = R(r_{1d}, r_{2d}, r_{3d}.....) \tag{2.4}$$

Performans doğrulamasında, dalga hareketi, yer hareketi, malzeme özellikleri, vb. gibi herbir tekil tasarım parametrelerinin tasarım değerlerinin Denklem 2.5 ve 2.6 kullanılarak hesaplanması gerekmektedir.

$$s_{id} = \gamma_{si} s_{ik} \tag{2.5}$$

$$r_{jd} = \gamma_{rj} r_{jk} \tag{2.6}$$

Burada,

s_{id} : Etkili kuvvetin tasarım parametresi s_i'nin tasarım değeri,
γ_s : Etkili kuvvetin tasarım parametresi s_i'nin kısmi faktörü,
s_{ik} : Etkili kuvvetin tasarım parametresi s_i'nin karakteristik değeri,
r_{jd} : Dayanım tasarım parametresi r_j'nin tasarım değeri,
γ_r : Dayanım tasarım parametresi r_j'nin kısmi faktörü,
r_{jk} : Dayanımın tasarım parametresi r_j'nin karakteristik değeri.

Denklem 2.7 ve 2.8 i=j=1 alındığında en basit formda sırasıyla etkili kuvvetler ile dayanım kuvvetlerinin tasarım değerlerini vermektedir. Denklem 2.9 bu durum için performans kontrolü ifadesini göstermektedir.

$$S_d = s_d = \gamma_s s_k \tag{2.7}$$

$$R_d = r_d = \gamma_r r_k \tag{2.8}$$

$$Z = R_d - S_d = \gamma_r r_k - \gamma_s s_k \geq 0 \tag{2.9}$$

Kısmi Katsayıların Seçimi

Belirsiz değişken X'in normal dağılıma sahip olduğu durumlarda, 1. Düzey Güvenilirliğe Dayalı Tasarım Metodunda kullanılan kısmi katsayı γ_x, yukarıda tanımlanan güvenilirlik indeksi ve hassasiyet katsayısı kullanılarak Deklem 2.10'dan hesaplanmaktadır.

$$\gamma_x = (1 - \alpha_x \beta_T V_x) \frac{\mu_x}{X_k} \tag{2.10}$$

burada,

β_T : Hedef güvenilirlik indeksi
V_X : Belirsiz değişken X'in değişim katsayısı
μ_X : Belirsiz değişken X'in ortalama değeri
X_k : Belirsiz değişken X'in karakteristik değeri

Belirsiz değişken X'in log-normal dağılıma sahip olduğu durumlarda, kısmi katsayı Denklem 2.11 kullanılarak hesaplanır.

$$\gamma_X = \frac{\exp(-\alpha_X \beta_T \sqrt{\ln(1+V_X^2)})}{\sqrt{1+V_X^2}} \frac{\mu_X}{X_k} \tag{2.11}$$

Aksi belirtilmedikçe, bu esaslarda kullanılan belirsiz değişkenler normal dağılıma sahiptir.

Hedef Güvenlik Düzeyi ve Hedef Güvenilirlik İndeksi / Kısmi Katsayıların Belirlenmesi

Güvenilirliğe Dayalı Tasarım Metodlarının uygulanmasında, hedef güvenlik düzeyinin nasıl belirleneceği kilit bir öneme sahiptir. Hedef güvenlik düzeyinin belirlenmesi yöntemleri aşağıdaki şekilde özetlenmektedir;

1. Kaza istatistiklerini esas alan yöntem,
2. Geleneksel tasarım kriterinin ortalama güvenlik düzeyini esas alan yöntem,
3. Diğer afet kırılganlıkları ile karşılaştırma esasına dayanan yöntem,
4. Can kaybı riskinden kaçınmak için gerekli yatırım etkisi esasına dayanan yöntem,

5. Yapının ömrü boyunca toplam işletme ve bakım maliyetinin minimizasyonu esasına dayanan yöntem,

Burada 1., 3. ve 4. yöntemler kıyı yapıları için uygun değildir. Genel olarak 2. yöntemin kullanılması tavsiye edilmektedir. Ancak 4. yöntemin kullanımı da kabul edilebilir.

Yapı hizmet ömrü boyunca toplam işletme ve bakım maliyetine dayanan bir yöntem uygulanırken, yapı hizmet ömrü boyunca maliyetlerin yanısıra çoklu afetlerin olasılığı da dikkate alınmaktadır. Denklem 2.12 yapının hizmet süresi boyunca beklenen maliyeti hesaplamak için kullanılmaktadır. Ancak bunun dar bir tanımlama olduğu akılda tutulmalıdır.

$$ÖBM = C_i + \sum_{j=1}^{m} \frac{E_{fj}}{L} C_f T_d \tag{2.12}$$

$$T_d = \sum_{k=1}^{L} \frac{1}{(1+i)^{k-1}} \tag{2.13}$$

$$E_{fj} = \nu_j L P_{fj} \tag{2.14}$$

burada,

ÖBM : Ömür boyu maliyet, toplam inşaat maliyeti ve yapı ömrü içerisinde meydana gelebilecek hasarların maliyetinin toplamı.
C_i : Başlangıç inşaat yatırım maliyeti
m : Dikkate alınan etkinin numarası
L : Yapının hizmet süresi (örneğin 50 yıl)
E_{fj} : Dikkate alınan etkiden dolayı oluşacak hasarın beklenen sayısı
C_f : Hasar sonrası yeniden yapım maliyeti
i : Sosyal indirim oranı
P_{fj} : Dikkate alınan etkiler dolayısıyla hasar olasılığı
ν_j : Dikkate alınan etkinin yıllık ortalama oluşma olasılığı($=1/T_d$)
T_d : Dikkate alınan etkinin yinelenme dönemi

Bu yöntem Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Yapının hizmet süresi boyunca maliyetin en küçük değerinin (optimum değerin) sağında ve solunda genellikle farklı eğilimler görülmektedir. Minimum değerin sağında (tehlikeli taraf), hizmet süresi boyunca maliyet hasar olasılığındaki değişimlere hassastır ve hasar olasılığının artmasıyla ani olarak artmaktadır. Minimum değerin solunda (korunan taraf), hizmet süresi boyunca maliyet, hasar olasılığının düşmesiyle tedrici olarak artmaktadır.

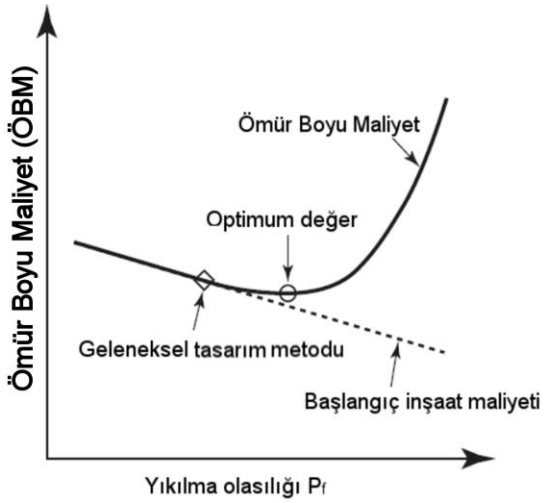
Parametrelerin olasılık dağılımlarının bilindiği ve kontrol yöntemlerinin hasar mekanizmaları ile uyumlu olduğu durumlarda, kısmi katsayılar genellikle, izin verilen güvenlik katsayısı ve benzer yaklaşımların kullanıldığı geleneksel tasarım yöntemlerinin kalibrasyonu esası ile belirlenmektedir.

Diğer yandan, böylesi bir yöntemin izlenmesi yanaşma yapılarının sabit yükler altında performanslarının kontrolünde kullanılması zaman zaman aşırı güvenlikli ve ekonomik olmayan enkesitlerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Böylesi durumlarda beklenen toplam maliyet minimizasyonu esasına dayanarak seçilmiş kısmi katsayıların kullanılması önerilmektedir. Beklenen toplam maliyet Denklem 2.15 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$BTM = C_i + P_f C_f \tag{2.15}$$

Burada,

BTM : Beklenen toplam maliyet, toplam inşaat maliyeti ve dikkate alınan belli bir süre içerisinde meydana gelebilecek hasarların maliyetinin toplamı.
C_i : Başlangıç inşaat yatırım maliyeti
P_f : Dikkate alınan etki nedeniyle hasar olasılığı
C_f : Hasardan sonra yeniden yapım maliyetidir.



Şekil 2.3 Hizmet süresi boyunca maliyetin minimizasyonu esasına dayanan yöntem, (OCDI, 2009)

Bunlar dışında kalan, parametrelerin olasılık dağılımlarının bilinmediği ya da kontrol yaklaşımlarının hasar mekanizmaları ile uyumlu olmadığı durumlarda hedef güvenlik düzeylerinin / kısmi katsayıların olasılık teorisi kullanılarak belirlenmesi zordur. Dolayısıyla böyle durumlarda kısmi katsayıların geleneksel tasarım yöntemlerinde (güvenlik katsayısı yöntemi, izin verilebilir gerilme yöntemi) kullanılan seçim yöntemleri de dikkate alınarak belirsizlik yöntemleri kullanılarak elde edilmesi önerilmektedir. Tablo 2.2'de farklı yapı tipleri için kısmi katsayıların seçim yöntemleri özetlenmiştir.

Kıyı yapılarının ekonomik ömrü ve kabul edilebilir en yüksek hasar olasılığı P_f, ön tasarım aşamasında, Tablo 2.4 ve Tablo 2.5'ten faydalanarak belirlenebilir.

Tablo 2.4'te kıyı yapıları kullanım alanlarına göre sınıflandırılmıştır:

1. Genel Kullanım: Herhangi bir endüstriyel tesisle bağlantısı olmayan daimi yapılar.

2. Belirli Endüstriyel Kullanım: Özel endüstriyel tesislerle veya transit nakliye işlemleriyle bağlantısı bulunan kıyı yapıları.

Bu yapılar için tanımlanan risk seviyeleri:

1. Seviye (Önemsiz yapılar): Hasar gerçekleştiğinde insan kaybı riskinin ya da çevreye gelecek zararın düşük olduğu durum. Örnek: Yerel atık su deniz deşarjları, endüstriyel servis tesisleri (bakım, onarım, vs.), geçici yapılar ve benzeri yapılar.

2. Seviye (Basit yapılar): Hasar gerçekleştiğinde insan kaybı riskinin ya da çevreye gelecek zararın orta derecede olduğu durum. Örnek: Barınaklar, kıyı koruma yapıları, şehir atık su tesisleri, ahşap güneşlenme iskeleleri, rekreasyonel düzenlemeler, balıkçı ve yat limanlarında üzerinde vinç ya da elleçleme ekipmanlarının dolaşmadığı rıhtım yapıları, basit bağlama yapıları, çekek yerleri ve benzeri yapılar.

3. Seviye (Normal yapılar)**:** Hasar gerçekleştiğinde insan kaybı riskinin ya da çevreye gelecek zararın yüksek derecede olduğu durum. Örnek: Kentsel koruma yapıları, endüstriyel tesisler, limanlar, elleçleme yapılan yanaşma yapıları, termik santrallerin su alma - verme ve koruma yapılar ile benzeri yapılar.

4. Seviye (Özel yapılar): Hasar görmeleri tüm canlılar üzerinde büyük etkiler yaratan yapılardır. Örnek: Nükleer santrallar. Yanıcı ve parlayıcı tesisler. Ayrıca karasal alanlarda morfolojik değişimlerin oluşturulmasıyla yeni su alanları ve bu alanlarda kentsel yerleşim bölgelerinin planlaması durumunda, hizmet süresinin tanımlanamaması nedeniyle bu tip planlama alanlarında yapılacak kıyı ve deniz yapıları özel yapı olarak dikkate alınmalıdır.

Tablo 2.3 Önemli yapı tipleri için hedef güvenilirlik indeksleri / kısmi katsayıların seçim yöntemleri

Yapı Tipi	Yükleme Durumu	Hasar Modu	Yöntem
Ağırlık Tipi Dalgakıran	Sabit Yükler	Temel zemininin dairesel kayma hasarı	Beklenen toplam maliyetin minimizasyonu esasına dayanan yöntem
	Dalgalara bağlı hareketli yük	Dalgakıran gövdesinin kayması Dalgakıran gövdesinin devrilmesi Temel zeminin taşıma gücü kapasitesi	Geleneksel tasarım yöntemlerinin ortalama güvenlik düzeyi esasına dayanan yöntem
Ağırlık Tipi Rıhtım Duvarları	Sabit Yükler	Duvar gövdesinin kayması Duvar gövdesinin devrilmesi Temel zeminin taşıma gücü kapasitesi Temel zemininin dairesel kayma hasarı	Beklenen toplam maliyetin minimizasyonu esasına dayanan yöntem
	Düzey 1 deprem yüklerine bağlı hareketli yükleme	Duvar gövdesinin kayması Duvar gövdesinin devrilmesi Temel zeminin taşıma gücü kapasitesi	Geleneksel tasarım yöntemlerinin ortalama güvenlik düzeyi esasına dayanan yöntem
Palplanşlı Rıhtım Duvarı	Sabit Yükler	Palplanşın effektif gömülü uzunluğu Palplanşın gerilmesi Gergi çubuklarının gerilmesi Temel zemininin dairesel kayma hasarı	Beklenen toplam maliyetin minimizasyonu esasına dayanan yöntem
		Ankrajların gerilmesi (taşıma gücü)	Geleneksel tasarım yöntemlerinin ortalama güvenlik düzeyi esasına dayanan yöntem
	Düzey 1 deprem yüklerine bağlı hareketli yükleme	Palplanşın gömülü uzunluğu	Geleneksel tasarım yöntemlerinin ortalama güvenlik düzeyi esasına dayanan yöntem
		Palplanşın gerilmesi Bağlantı elemanlarının gerilmesi Ankrajların gerilmesi (taşıma gücü)	Geleneksel tasarım yöntemlerinin ortalama güvenlik düzeyi esasına dayanan yöntem
Hücre Tipi Rıhtım Duvarı	Sabit Yükler	Kayma deformasyonu Kayma	Geleneksel tasarım yöntemlerinin ortalama güvenlik düzeyi esasına dayanan yöntem
		Hücre çeperinin gerilmesi Yayların gerilmesi	Geleneksel tasarım yöntemlerinin ortalama güvenlik düzeyi esasına dayanan yöntem
	Düzey 1 deprem yüklerine bağlı hareketli yükleme	Kayma	Geleneksel tasarım yöntemlerinin ortalama güvenlik düzeyi esasına dayanan yöntem
Açık Tip Düşey Kazıklı Rıhtım	Gemi kaynaklı etkilere bağlı hareketli yük	Kazıkta oluşan gerilme	Beklenen toplam maliyetin minimizasyonu esasına dayanan yöntem
		Kazığın taşıma gücü	Geleneksel tasarım yöntemlerinin ortalama güvenlik düzeyi esasına dayanan yöntem
	Düzey 1 deprem yüklerine bağlı hareketli yükleme	Kazıkta oluşan gerilme	Geleneksel tasarım yöntemlerinin ortalama güvenlik düzeyi esasına dayanan yöntem
		Kazığın taşıma gücü	Geleneksel tasarım yöntemlerinin ortalama güvenlik düzeyi esasına dayanan yöntem

Tablo 2.5'te verilen örnek hasar özellikleri, kıyı yapılarının maliyet/yarar ve hasar/onarım oranı özelliklerinden faydalanılarak elde edilmiştir.

Davranışa dayalı tasarım yöntemlerinde kıyı yapılarının özelliklerine bağlı olarak yapısal kullanım ve hasar düzeylerini veren limitler tanımlanmaktadır. Tasarımda belirsizliklerin tanımlanamaması durumunda kıyı yapılarının ön tasarım aşamasından sonra fiziksel model deneyleri gerçekleştirilmelidir.

Tablo 2.4 Kıyı yapılarında risk seviyeleri

Yapı Türü		
	Genel Kullanım	Endüstriyel Kullanım
Risk Seviyesi	Hizmet süresi (yıl)	
1 (Önemsiz yapı)	20	15
2 (Basit yapı)	50	30
3 (Normal yapı)	100	50
4 (Özel yapı)	200 ve ötesi	200 ve ötesi

Tablo 2.5 Kıyı yapıları için kabul edilebilir en yüksek yıkılma olasılıkları (P_f)

Risk Seviyeleri			
1. Seviye		2. Seviye	
Yarar/Maliyet (YM)	Hasar Olasılığı P_f (%)	Yarar/Maliyet (YM)	Hasar Olasılığı P_f (%)
Düşük YM<5	50	Düşük YM<5	30
Orta 5< YM <20	30	Orta 5< YM <20	20
Yüksek YM > 20	25	Yüksek YM > 20	15

Gemilerin bağlı oldukları yanaşma yapılarında emniyetle elleçlenebilmeleri amacıyla özel koşullar tanımlanmaması halinde dört farklı bağlanma koşulu tanımlanmıştır (Tablo 2.6).

Tablo 2.6 Bağlanma tipleri (ASCE, 2004)

Tip I	Yumşak Hava koşulunda bağlanma	34 kts'ye kadar rüzgar, 1 kt'den az akıntı
Tip II	Rüzgarlı havada bağlanma	64 kts'ye kadar rüzgar, 2 kt'den az akıntı
Tip III	Sert hava koşulunda bağlanma	50 yıl yineleme dönemine göre tasarım
Tip IV	Geçici bağlanma	100 yıl yineleme dönemine göre tasarım

KAYNAKLAR

CERC (2003), “Coastal Engineering Manual”

OCDI, 2009, “Technical Standarts and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan”

OCIMF (Oil companies International Marine Forum), 1995, 1997, 2004, “Mooring Equipment Guidelines”

Oumeraci, H., Kortenhaus, A., Allsop, W., de Groot, M., Crouch, R., Vrijling, H. And Voortman, H., 2001, “Probabilistic Design Tools for Vertical Breakwaters”, Balkema

PIANC, 1980, “Final report of the 3rd International Commission for the Study of Waves”, 1980, Belgium.

PIANC, 1986, “List of Sea State Parameters”, 1986, Belgium.

PIANC, 1989, “Analysis of Rubble Mound Breakwaters”, 2006, Belgium.

PIANC, 1992, “Analysis of Rubble Mound Breakwaters” Permanent International Association of Navigation Congresses”, ISBN 2-87223-047-5, Belgium.

PIANC, 1992, “Uncertainty Related to Environmental Data and Estimated Extreme Events”, Belguim.

PIANC, 1992,. Analyses of Rubble Mound Breakwaters, Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC), Summary Report of Working Group No: 12, Supplement to Bulletin No: 78/79, Brussels, Belçika.

PIANC, 1993, “Formulae for Rubble Mound Breakwater Failure Modes”, Belguim.

PIANC, 1994, “Floating Breakwaters” ISBN 2-87223-052-1, Belgium.

PIANC, 1995, “Criteria for Movements of Moored Ships in Harbours” ISBN 2-87223-070-X, Belgium.

PIANC, 1995, “Guidelines for the Use of Certain Powered Craft, such as Waterscooter, Personal Watercraft, Waterbike, Jetski, Waverunner, Seadoo, on Controlled Waters” ISBN 2-87223-065-3, Belgium.

PIANC, 1995, “Port Facilities for Ferries” ISBN 2-87223-066-1, Belgium.

PIANC, 1997, “Guidelines for the Design of Armoured Slopes under Open Piled Quay Walls”, 1997, Belgium.

PIANC, 1998, “Lifecycle Management of Port Structures General Principles” ISBN 2-87223-103-X, Belgium.

PIANC, 1998, “Planning for Fishing Ports” ISBN 2-87223-091-2, Belgium.

PIANC, 2000, “Dangerous Cargoes in Ports” ISBN 2-87223-119-6, Belgium.

PIANC, 2000, “Protecting Water Quality in Marinas”, Report No:98-2000.

PIANC, 2000, “Site Investigation Requirements for Dredging Works” ISBN 2-87223-113-7, Belgium.

PIANC, 2001, “Seismic Design Guidelines for Port Structures” ISBN 2-87223-120-X, Belgium.

PIANC, 2001, Seismic Design Guidelines for Port Structures, International Navigation Association, The Netherlands.

PIANC, 2002, “Guidelines for the Design of Fenders Systems” ISBN 2-87223-125-0, Belgium.

PIANC, 2002, “Mooring System for Recreational Craft” ISBN 2-87223-126-9, Belgium.

PIANC, 2002, “Recreational Navigation and Nature” ISBN 2-87223-130-7, Belgium.

PIANC, 2003, “Breakwater with Vertical and Inclined Concrete Walls”, 2003, Belgium.

PIANC, 2003, “Guidelines for Managing Wake Wash from High Speed Vessels ” ISBN 2-87223-142-0, Belgium.

PIANC, 2004, “Disability Access Guidelines for Recreational Boating Facilities”, 2004, Belgium.

PIANC, 2004, “Dredging of Marinas” ISBN 2-87223-144-7, Belgium.

PIANC, 2004, “Inspection, Maintenance and Repair of Maritime Structures Exposed to Damage and Material Degradation Caused by Salt Water Environment” ISBN 2-87223-145-5, Belgium.

PIANC, 2005, “Accelerated Low Water Corrosion” ISBN 2-87223-153-6, Belgium.

PIANC, 2006, “Waterborne Transport, Ports and Waterways; A Review of Climate Change Drivers, Impacts, Responses and Mitigation”, 2006, Belgium.
PIANC, 2008, “Lifecycle Management of Port Structures Recommended Practice for Implementation”, Report No:103-2008.
PIANC, 2008, “Minimizing Harbour Siltation”, Report No:102-2008.
PIANC, 2009, “The Use of Alternative Materials in Marine Structure Construction”, Report No:105-2009.
PIANC, 2011, “The Application of Geosynthetics in Waterfront Areas”, Report No:113-2011.
PIANC, 2012, “Criteria for the (Un) Loading of Container Vessels”, Report No:115-2012.
PIANC, 2012, “Safety Aspects Affecting the Berthing Operations of Tankers to Oil and Gas Terminals”, Report No:116-2012.
PIANC, 2012, “Use of Hydro/Metro Information for Port Access and Operations”, Report No:117-2012.
PIANC, 2013, “Design and Operational Guidelines for Superyacht Facilities”, Report No:134-2013.
PIANC, 2013, “Dry Stack Storage”, Report No:132-2013.
PIANC, 2014, “Classification of Soils and Rocks for the Maritime Dredging Process”, Report No:144-2014.
PIANC, 2014, “Countries in Transportation (CIT): Coastal Erosion Mitigation Guidelines”, Report No:123-2014.
PIANC, 2014, “Design Principles for Small and Medium Marine Container Terminals”, Report No:135-2014.
PIANC, 2014, “Harbour Approach Channels Design Guidelines”, Report No: 121-2014
PIANC, 2014, “Sustainable Ports a Guide for Port Authorities”, Report No:150-2014.
PIANC, 2014, “Tsunami Disaster in Ports due to the Great East Japan Earthquake”, Report No:122-2014.
PIANC, 2015, “Anti-Sedimentation System for Marinas and Yacht Harbours”, Report No: 130-2015.
PIANC, 2015, “Guidelines for Protecting Berthing Structures from Scour Caused by Ships”, Report No:180-2015.
PIANC, 2015, “Semi – Probabilistic Design Concept for Inland Hydraulic Structure”, Report No:140-2015.

BÖLÜM B

HİDROLİK TASARIM

İÇİNDEKİLER

1. RÜZGAR DALGALARI 37
1.1 Rüzgar Verileri ve Analiz Yöntemleri 37
1.1.1 Kıyı Alanlarındaki Meteoroloji Rüzgar Ölçüm İstasyonları 37
1.1.1.1 Rüzgar Hızı Yükseklik Düzeltmesi 38
1.1.2 Sinoptik Haritalar 38
1.1.3 Hava Tahmin Kurumları (ECMWF veya NOAA) 38
1.1.4 Diğer Kaynaklar 38
1.1.5 Rüzgar Verilerinin Analiz Yöntemleri 38
1.1.6 Diğer Meteorolojik Koşullar 38
1.2. Dalgaların Temel Tanımları 39
1.2.1 Su Seviyeleri Tanımları 39
1.2.2 Dalga Yüksekliği (H) ve Dalga Genliği (a) 39
1.2.3 Dalga Periyodu ve Dalga frekansı (T ve f) 39
1.2.4 Dalga Boyu (L) 39
1.2.5 Dalga Sayısı (k) 40
1.2.6 Açısal Dalga Frekansı (σ veya ω) 40
1.2.7 Dalga Profili (η) 40
1.2.8 Dalga Yayılma Hızı, Faz Hızı (C) 40
1.2.9 Akışkan Partikül Hızları 40
1.2.10 Dalga Grup Hızı (Cg) 40
1.2.11 Dalga Basıncı (P) 41
1.2.12 Dalga Enerjisi (E) 41
1.2.13 Enerji Akısı (R) 41
1.2.14 Dalgaların Sınıflandırılması 41
1.3. Dalgaların İstatistiksel Özellikleri 42
1.3.1 Karakteristik Dalga Parametreleri 42
1.3.2 Dalga Yüksekliği Olasılık Dağılımı 44
1.3.3 Dalga Periyodu Olasılık Dağılımı 45
1.3.4 Dalga Yüksekliği ve Dalga Periyodu Ortak Olasılık Dağılımı 45
1.4. Dalga (Enerji) Spektrumu 46
1.4.1. Parametrik Dalga Spektrum Modelleri 48
1.4.1.1 Pierson - Moskowitz (PM) spektrumu 48
1.4.1.2 Jonswap spektrumu 49
1.4.1.3 Yönsel Dalga Spektrumu 49
1.4.2. Dalga Tahminleri 50
1.4.2.1. Rüzgar Verisi Kullanarak Dalga Tahminleri 51
1.4.2.2. Soluğan Tahmini 57
1.5. Tasarım Dalgası 58
1.5.1 Tasarım Dalga Yüksekliği 58
1.5.1.1 Kısa Dönem Dalga İstatistiği 59
1.5.1.2 Uzun Dönem Dalga İstatistiği 59
1.5.1.2.1 Dalga İklimi istatistiği 60
1.5.1.2.2 Ekstrem (En Büyük Değer) Olasılık Dağılım Fonksiyonları 60
1.5.2 Tasarım Dalga Periyodu 63
1.6. Dalga Değişimleri (Transformasyon) 64
1.6.1 Dalga Sığlaşması 64
1.6.2 Dalga Sapması 65
1.6.2.1 Düzenli Dalgalar Için Sapma Katsayısı Hesaplamaları 65
1.6.2.2. Düzensiz Dalgalar İçin Sapma Katsayısı Hesaplamaları 66
1.6.3. Dalga Dönmesi 67
1.6.4. Dalga Kırılması 88
1.6.5 Sığ Su Bölgesinde Dalga Yüksekliği Dağılımı 96
1.6.6 Çalkantı Bölgesinde Dalga Tırmanması 97
1.6.7 Dalga İletimi 98

1.7. Su Seviyesi Değişimleri 99
1.7.1 Kırılan Dalgalardan Dolayı Ortalama Su Seviyesindeki Artış 99
1.7.2 Rüzgar Kabarması 101
1.7.3 Atmosfer Basıncı Nedeniyle Su Seviyesi Artışı 101
2. UZUN DALGALAR ve SU SEVİYESİ DEĞİŞİMLERİ 103
2.1 Uzun Dalgalar 103
2.2 Su Seviyesi Değişimleri 103
2.2.1 Gel-git 103
2.2.2 Fırtına Kabarması 105
2.2.3 Dalga Kabarması 105
2.2.4 Barometrik Kabarma 106
2.2.5 Ortalama Deniz Seviyesindeki Uzun Dönemli Değişimler 106
2.3 Tsunami (Depreşim Dalgası) 107
2.4 Gemi Dalgaları 113
3. AKINTILAR 117
3.1 Okyanus (Derin Deniz) Akıntıları 117
3.2 Rüzgar Etkisinde Akıntılar 117
3.3 Gel-git Akıntıları 117
3.4 Dalga Etkisinde Akıntılar 117
4. KATI MADDE TAŞINIMI VE MORFOLOJİ 121
4.1 Giriş ve Tanımlar 121
4.2. Katı Madde Taşınımı Çalışmasında İzlenecek Yol 124
4.3. Taban Malzemesi Özellikleri 125
4.4 Deniz Tabanı (Katı Madde) Hareketinin Başlangıcı 128
4.5 Kıyıboyu ve Kıyıya Dik Katı Madde Taşınımı 132
4.5.1 Kıyı Akıntı Sistemi 132
4.5.2 Kıyı Boyu Katı Madde Debisi ve Bütçesi 132
4.5.3 Kıyı Profili 133
4.5.4 Kıyı Çizgisi 134
4.6 Yerel Erozyon (veya Oyulma) 136
4.7 Koheziv Malzeme, Akışkan Çamur Tabakası ve Seyir Derinliği 136
KAYNAKLAR 141

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Dalgaların oluşum sebeplerine göre sınıflandırılması 41
Tablo 1.2. Dalgaların d/L_0 değerine göre sınıflandırılması ve bazı dalga özellikleri 42
Tablo 1.3 Kısa dönem ve uzun dönem istatistiklerin karşılaştırılması 59
Tablo 1.4 Kısa dönem dalga istatistiği için olasılık dağılım fonksiyonları 59
Tablo 1.5 Uzun dönem istatistik için olasılık dağılım fonksiyonları 61
Tablo 1.6 Verilerin olasılık değerlerinin belirlenmesi için kullanılan formüller 62
Tablo 1.7 Seçilen yineleme döneminde istenen hizmet süresindeki şartının aşılma olasılığının yüzde değerleri 62
Tablo 1.8 Ardışık iki dalgakıran durumunda dönmeden sonra dalga eksen açıları (θ') 87
Tablo 1.9 Bazı H_{tr}/H_{rms} değerleri için Htr/H_{rms} ve $H_{\%2}/H_{rms}$ değerleri 96
Tablo 1.10 Düzensiz dalga halinde tırmanma ifadeleri 97
Tablo 1.11 (1.100a) ve (1.100b) denklemlerinin katsayıları 98
Tablo 1.12 K_t için tahmini denklemler 98
Tablo 2.1 Astronomik bileşenler 104
Tablo 2.2 Maksimum tırmanma yüksekliğinin açık deniz tsunami yüksekliğine oranının $(\mathrm{R}/\mathrm{H}_{\mathrm{T}})$ surf benzerlik parametresine (ξ_{100}) göre değişimi. 109
Tablo 2.3. Manning sürtünme katsayısı (n) 109
Tablo 2.4. Dikdörtgen yapılar için direnç katsayısı 112
Tablo 2.5. Oyulma derinliği 112
Tablo 2.6 Derin su koşullarında gemi dalgaları 114
Tablo 4.1 Kıyı dinamiğine göre sınıflandırma 124
Tablo 4.2 Malzemenin istatistiksel özelliklerine bağlı olarak dağılımın tanımlanması 127
Tablo 4.3 Profil tipleri için önerilen bazı ifadeler 135
Tablo 4.4 Seyir derinliği için eşik özgül kütleleri ve hacimsel oranları için örnek değerler 139

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Dalgalara ait temel tanımlar 39
Şekil 1.2 Rüzgar dalgalarına ait tanımlar 42
Şekil 1.3 Rayleigh dağılımı 44
Şekil 1.4 Deniz dalgaları için örnek spektrum 47
Şekil 1.5 Sığ suda yönsel yayılma parametre tahmini 51
Şekil 1.6a S-M-B yöntemi kullanılarak dalga tahmini 54
Şekil 1.6b Hasselman eğrileri 55
Şekil 1.7 Limitli feç uzunluğundaki dalga yüksekliği tahmini 56
Şekil 1.8 Limitli feç uzunluğundaki dalga periyodu 56
Şekil 1.9 Limitli esme süresi için dalga yüksekliği tahmini 57
Şekil 1.10 Limitli esme süresi için dalga periyodu 57
Şekil 1.11 Soluğan dalga diyagramı 58
Şekil 1.12 Göreceli su derinliğine bağlı olarak sığlaşma katsayısı 64
Şekil 1.13 Dalga sapma şeması (Düzgün taban eğimi için) 65
Şekil 1.14 Düzgün taban eğimi ve düzenli dalgalar için sapma katsayısı 66
Şekil 1.15 Dalga geliş açısının göreceli derinliğe göre değişimi (Düzenli dalgalar, düzgün taban eğimi için) 66
Şekil 1.16 Doğrusal ve paralel batimetriye sahip kıyılarda düzensiz dalgalar için sapma katsayısı 67
Şekil 1.17 Doğrusal ve paralel batimetriye sahip kıyılarda düzensiz dalgalar için etkin dalga yönünün değişimi 67
Şekil 1.18 Yarı sonsuz dalgakıranın S_{maks}=10 için dönme diyagramları 69
Şekil 1.19 Yarı sonsuz dalgakıranın S_{maks} =25 için dönme diyagramları 70
Şekil 1.20 Yarı sonsuz dalgakıranın S_{maks} =75 için dönme diyagramları 71
Şekil 1.21 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=1.0 ve S_{maks}=10 değeri için dönme diyg. 72
Şekil 1.22 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=1.0 ve S_{maks}=25 değeri için dönme diyg. 73
Şekil 1.23 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=1.0 ve S_{maks}=75 değeri için dönme diyg. 74
Şekil 1.24 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=2.0 ve S_{maks}=10 değeri için dönme diyg. 75
Şekil 1.25 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=2.0 ve S_{maks}=25 değeri için dönme diyg. 76
Şekil 1.26 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=2.0 ve S_{maks}=75 değeri için dönme diyg. 77
Şekil 1.27 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=4.0 ve S_{maks}=10 değeri için dönme diyg. 78
Şekil 1.28 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=4.0 ve S_{maks}=25 değeri için dönme diyg. 79
Şekil 1.29 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=4.0 ve S_{maks}=75 değeri için dönme diyg. 80
Şekil 1.30 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=8.0 ve S_{maks}=10 değeri için dönme diyg. 81
Şekil 1.31 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=8.0 ve S_{maks}=25 değeri için dönme diyg. 82
Şekil 1.32 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=8.0 ve S_{maks}=75 değeri için dönme diyg. 83
Şekil 1.33 Dalga yaklaşım açısı 0° 84
Şekil 1.34 Dalga yaklaşım açısı 15° 84
Şekil 1.35 Dalga yaklaşım açısı 30° 85
Şekil 1.36 Dalga yaklaşım açısı 45° 85
Şekil 1.37 Dalga yaklaşım açısı 60° 86
Şekil 1.38 Dalga yaklaşım açısı 75° 86
Şekil 1.39 Ardışık iki dalgakırana θ=90°'den farklı bir açıyla yaklaşan dalgalar durumunda dalga dönmesi 87
Şekil 1.40 Dalga kırılma formu ve parametreleri 89
Şekil 1.41 Dalga dikliği ile dalga kırılma boyutsuz parametresi arasındaki bağıntı 90
Şekil 1.42 Dalga kırılma boyutsuz parametresi ile dalga kırılma derinliği boyutsuz parametresi arasındaki bağıntı 90
Şekil 1.43. Yapı önündeki boyutsuz tasarım dalga kırılma yüksekliği 91
Şekil 1.44 Derin su dalga dikliğine karşılık boyutsuz belirgin kırılma derinliği 91
Şekil 1.45 Dalga dikliğine (H'_0 / L_0) bağlı olarak kırılma bölgesinde oluşabilecek en yüksek belirgin dalganın $(H_{1/3})_p$ derin deniz belirgin dalgasına $(H)'_0$ oranı 93

Şekil 1.46 $(H_{1/3})_p$'in oluşacağı su derinliği $(d_{1/3})_p$ 93
Şekil 1.47 Sığlaşma bölgesindeki belirgin dalga yükseklikleri 94
Şekil 1.48 Dalga kırılma tipleri 95
Şekil 1.49 Ortalama su seviyesi değişimi (η) (deniz taban eğimi 1:10) 100
Şekil 1.50 Ortalama su seviyesindeki değişim (η) (Deniz taban eğimi 1:100) 100
Şekil 1.51 Kıyı çizgisinde ortalama su seviyesindeki maksimum yükselme (η_{maks}) 101
Şekil 2.1 Standart gel-git seviyesi tanımları 105
Şekil 2.2 Rüzgar etkisi, sürükleme nedeniyle akıntı ve sığ suda kabarma 106
Şekil 2.3 Kıyıda su seviyesi değişimleri 106
Şekil 2.4 Geçmiş ölçümler ve 21. yüzyıl'ın sonuna kadar gerçekleşmesi muhtemel küresel deniz seviyesi artışı tahminleri 107
Şekil 2.5. Tsunami parametreleri 108
Şekil 2.6 Gemi dalgaları 113
Şekil 2.7 Uzaklaşan dalgaların seyir ekseni ile yaptığı açı 114
Şekil 3.1 Derin su koşullarında rüzgar etkisinde akıntı yapısı ve Ekman spirali 117
Şekil 3.2 Kıyı boyu ve rip akımları 118
Şekil 3.3 Korunmuş alanlarda sirkülasyon 119
Şekil 4.1 Tipik bir kıyı profilinde tanımlar 122
Şekil 4.2 Yaklaşım açısı ve dalga büyüklüğünün fonksiyonu olarak kıyı boyu taşınımı 123
Şekil 4.3 Wentworth ölçeği 127
Şekil 4.4 Plajların sınıflandırılması 128
Şekil 4.5 Kararlı akım şartlarında kritik hız 129
Şekil 4.6 Dalga etkisinde hareketin başlangıcı için kritik yörüngesel hız 130
Şekil 4.7 Dalga ve/veya akıntı etkisinde hareketin başlangıcı 131
Şekil 4.8 Kritik kayma gerilmesi, τ_{kr} (N/m^2) 132
Şekil 4.9 Yakın kıyıda meydana gelen dalga nedenli akıntılar 132
Şekil 4.10 Kıyı profilleri 133
Şekil 4.11 Kıyı profili 134
Şekil 4.12 Askıdaki koheziv kati madde konsantrasyonu. Lutocline ve deniz tabanı arasında oluşan akışkan çamur tabakası 137
Şekil 4.13 Dalga etkisinde salınan sınır tabakası durumda akışkan çamur tabakasının genişlemesi ve seyrelmesi 137
Şekil 4.14. Bir kesit boyunca farklı akustik yansımalara göre akışkan çamurun belirlenmesi 138
Şekil 4.15 Hidrodinamik, akustik ve seyir derinliği tanımları 139
Şekil 4.16 Akışkan çamuru gösteren akustik sınırlar ve bağımsız eş viskozite ölçümleri 140

1. RÜZGAR DALGALARI

1.1 Rüzgar Verileri ve Analiz Yöntemleri

Rüzgar verileri,

- Proje alanında yapılan uzun süreli ölçümlerden,
- Kıyı alanlarındaki meteorolojik rüzgar ölçüm istasyonlarından,
- Sinoptik haritalardan,
- European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) veya The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) gibi uluslararası hava tahmin kurumlarından

elde edilmektedir.

1.1.1 Kıyı Alanlarındaki Meteoroloji Rüzgar Ölçüm İstasyonları

Rüzgar verileri (rüzgar hızı, yönü ve süresi) kıyı meteoroloji istasyonlarına yerleştirilen farklı rüzgar ölçerlerle ölçülebilir. Dalga tahminlerinin yapılmasına yararlı olan rüzgar ölçümleri, genelde deniz kıyısındaki meteoroloji istasyonlarından toplanan saatte 10 dakikalık ölçümlerdir. Deniz kıyısındaki meteoroloji istasyonları, çoğunlukla kıyı kentlerinde ve deniz yüzeyinden çeşitli yüksekliklerde bulunmaktadır. Rüzgar yönü için 16 yön dilimi tanımlanmıştır.

Dalga tahminlerinde kullanmak için en uygun veriler, deniz kıyısında bulunan meteoroloji istasyonlarından elde edilen uzun süreli (en az 10 yıl) rüzgar ölçümleridir. Bu kayıtlardan aşağıda belirtilen üç biçimde bilgi toplanmakta ve saklanmaktadır:

1. Her fırtınanın en yüksek hız değeri, yönü ve süresi “aylık klimatolojik rasat cetvellerinde” toplanmaktadır.
2. Günün bütün saatlerine göre rüzgarın hızı ve yönü dikkate alınarak “saatlik ortalama rüzgar cetvelleri” hazırlanmaktadır. Burada verilen hızlar her saat aralığında rüzgar hızlarının ortalamasıdır.
3. Her 6 saatte bir basınç değerleri alınarak “sinoptik basınç haritaları” hazırlanmaktadır.

Dalga tahmin çalışmalarında, rüzgarların hızını ve yönünü veren “saatlik rüzgar cetvelleri”nin kullanılması uygundur. Bu cetvellerden yararlanılarak rüzgar verilerinin yönlere göre istatistiksel dağılımı elde edilmelidir (rüzgar gülü).

Mevcut rüzgar ölçümlerinin kıyı istasyonlarınca yapılmış olması, dalga tahminlerinde kullanılacak rüzgar verileriyle ilgili önemli bir sorun oluşturmaktadır. Rüzgar özelliklerini kullanarak dalga tahmini yapmak için önerilmiş yöntemler deniz üzerinde ölçülmüş rüzgar hızlarını kullanmaktadır. Ancak bir kıyı istasyonunca ölçülen rüzgar hızları aynı anda deniz üzerinde bulunan rüzgar hızlarından daha küçüktür. Bunun nedeni, kara üzerindeki engebelerin (binalar, ağaçlar ve topoğrafik düzensizlikler gibi) hava akımını etkilemesi ve daha kalın bir sınır tabakası oluşturarak rüzgar hız profilini değiştirmesidir. Ancak, bu değişikliğin ölçüsünü veren, genel düzeyde geçerli kuramsal bir model şu ana kadar mevcut değildir. Karada ve denizde aynı anda ölçülen rüzgar hızları arasındaki ilişki incelenmiştir. Çeşitli ölçüm sonuçları değerlendirilerek, “kara” ve “deniz” rüzgar hızları arasında denklem (1.1)’de verilen bağıntının bulunduğu kabul edilmektedir (Hsu, 1984).

$$U_{kara}<10 \text{ m/s için } U_{deniz} = 3.93\left(U_{kara}\right)^{1/2} \text{ ve } U_{kara} \geq 10 \text{ m/s için } U_{deniz} = 1.24\left(U_{kara}\right) \qquad (1.1)$$

U_{deniz} : Denizde 10 m yükseklikteki rüzgar hızı (m/s)

U_{kara} : Karada 10 m yükseklikteki rüzgar hızı (m/s)

Rüzgar verilerinin alınacağı kıyı meteoroloji istasyonlarının konumlarına dikkat edilmelidir. Çünkü istasyonların etrafındaki yapılaşma ya da topoğrafik yapı ölçüm hatalarına neden olabilmektedir. Bu durumda diğer kaynaklar kullanılmalıdır veya ölçümlerle doğrulanmalıdır.

1.1.1.1 Rüzgar Hızı Yükseklik Düzeltmesi

Standart rüzgar ölçümleri genellikle deniz yüzeyinden 10 m yükseklikteki referans seviyesinde toplanmaktadır. Dalga, akıntı, fırtına ve diğer rüzgar kaynaklı olayların tahmini için yapılan bu gözlemlerin farklı seviyelere dönüştürülmeleri gerekebilir. Bu amaçla denklem (1.2)'de verilen "güç kanunu" ifadesi uygulanabilir (OCDI, 2009).

$$U_{z'} = U_z \left(z'/z\right)^n \qquad (1.2)$$

U_z : z seviyesindeki rüzgar hızı (m/s)

$U_{z'}$: z' seviyesindeki rüzgar hızı (m/s)

n : Ölçüm istasyonu çevresindeki bölgenin pürüzlülüğüne bağlı olarak 1/10 ile 1/4 arasında değişen bir katsayıdır. Deniz üzerinde sıklıkla $n \geq 1/7$ seçilir.

1.1.2 Sinoptik Haritalar

Dalga tahminlerinde kullanılan rüzgar verilerinden biri de, sinoptik (yer basınç) haritalardan elde edilen rüzgarlardır. Sinoptik (yer basınç) haritalar, yapılan ölçümler sonucu atmosferde aynı hava basıncındaki yerlerin birleştirilmesi ile elde edilen eğrileri (eş basınç eğrilerini) gösteren haritalardır. Eş basınç eğrileri haritaların üzerine genellikle üç veya dört milibarlık basınç farklarıyla çizilmektedir.

Detaylı hesaplamalar için CERC (2003), Bölüm 2 kullanılmalıdır.

1.1.3 Hava Tahmin Kurumları (ECMWF veya NOAA)

Orta ölçekli hava tahmini yapan bu kurumlar, kıyı mühendisliği uygulamalarında kullanılabilecek sinoptik haritalar da sağlayabilmektedir. Bu haritalarda verilen eş basınç eğrileri kullanılarak istenilen deniz alanı üzerinde esen rüzgarın hızı ve yönü bulunabilir.

1.1.4 Diğer Kaynaklar

"Türkiye Kıyıları için Derin Deniz Rüzgar ve Dalga Atlası (Özhan ve Abdalla, 1999)" ilave bir kaynak olarak kullanılabilir. Ancak bu kaynağın rüzgar istatistik çalışmaları ve söz konusu çalışmalarla karşılaştırma yapılarak kullanılmasında fayda vardır. Bir diğer kaynak ise genelde gemilerden yapılan rüzgar ölçümleridir. Ancak gemilerin denize açılmalarının mümkün olamadığı şiddetli fırtınalarda, ölçüm alınamaması bu ölçümleri sürekli ve güvenilir olmaktan çıkarmaktadır.

1.1.5 Rüzgar Verilerinin Analiz Yöntemleri

Rüzgar verileri kullanılarak uzun dönem ve en büyük değer istatistikleri yapılır. Uzun dönem rüzgar istatistiği genellikle operasyonel amaçlar için kullanılır. Buna karşın en büyük değer istatistiği ise çoğunlukla boyutlandırma ve tasarım yüklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Uzun dönem rüzgar istatistiği saatlik ortalama rüzgar hızlarının yönlere göre şiddetlerinin frekans dağılımlarının yıllık ve mevsimsel olarak belirlenmesidir. En büyük değer rüzgar istatistiği ise, en yüksek rüzgar hızlarının uzun süreli yinelenme dönemleri için belirlenmesidir (10, 50, 100, ... yıllık yinelenme dönemleri gibi).

1.1.6 Diğer Meteorolojik Koşullar

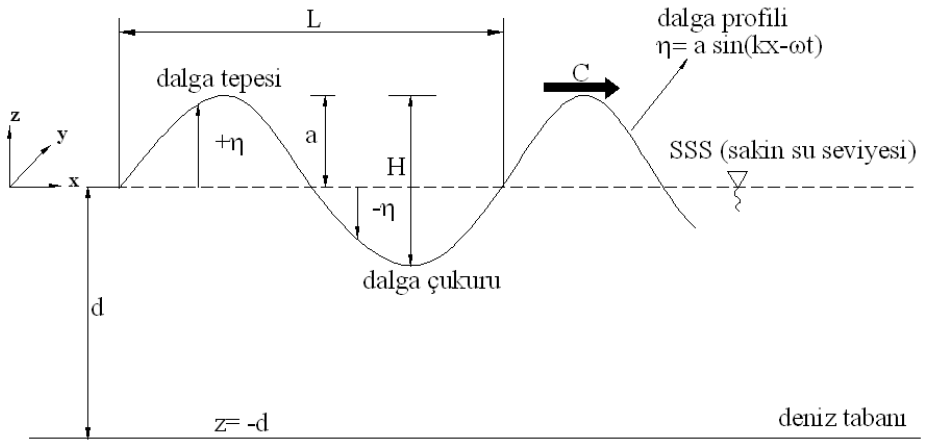
Liman yapıları tasarlanırken rüzgar, basınç, sis, yağış, kar kalınlığı ve sıcaklık gibi meteorolojik faktörler dikkatli incelenmelidir.

1. Yağış miktarı, liman içindeki gerekli drenaj kapasitesinin belirlenmesinde önemli bir faktördür.
2. Sis, gemilerin limana girerken ya da limandan ayrılırken hareket kabiliyetini engelleyen ve liman verimliliğini düşüren bir meteorolojik olaydır.
3. Bazı durumlarda kar yükü liman alt yapısı üzerine etkiyen durağan bir yük olarak düşünülür.

4. Sıcaklık, liman içindeki yapıların gerilme dağılımını etkiler ve bu yapılarda termik gerilmenin ortaya çıkmasına neden olur.
5. Rüzgarlı günlerin ve mevsimsel dağılımların, yat limanları, gemilerin bağlanmaları ve elleçlenmeleri için belirlenmesi gerekebilir.

1.2 Dalgaların Temel Tanımları

Kıyı yapılarının tasarımında en önemli çevresel faktör olan deniz dalgaları; su partiküllerinin yörüngesel hareketiyle oluşur. En basit yaklaşımla (lineer dalgalar) dalgaların profili sinüs (veya kosinüs) eğrisi ile verilir. Bu dalgaların oluşumu ve hidroliği temel fizik kuralları ile tanımlanır. Temel tanımlar Şekil 1.1'de verilmiştir. Aşağıda tanımlanacak parametrelerin derin denizdeki değerleri "0" alt indisi ile gösterilecektir (L_0, H_0 ve C_0 gibi).



Şekil 1.1 Dalgalara ait temel tanımlar (Yüksel ve Çevik, 2009)

d : Su derinliği
x Dalga ilerleme yönü
z : Yukarı doğru pozitif olan düşey yön

1.2.1 Su Seviyeleri Tanımları

Deniz dalgalarının doğru bir şekilde analiz edilebilmeleri için su seviyeleri doğru tanımlanmalıdır.

Sakin su seviyesi (SSS) (SWL) : Dalga hareketinin olmadığı durumlardaki su seviyesidir .

Ortalama su seviyesi (OSS), (MWL) : Belirli bir dönem boyunca deniz seviyesi ortalama yüksekliğine o dönemin ortalama deniz seviyesi denir. Pratik olarak, ortalama su seviyesi bir yılın ortalama deniz seviyesi olarak alınır.

1.2.2 Dalga Yüksekliği (H) ve Dalga Genliği (a)

Dalga yüksekliği, ardışık dalga tepesi ile dalga çukuru arasındaki düşey mesafedir ve "H" ile gösterilir. Lineer dalgalarda dalga genliği (a) ise; a = H/2 olarak alınır.

1.2.3 Dalga Periyodu (T) ve Dalga Frekansı (f)

Dalga periyodu ardışık iki dalga tepesinin aynı noktadan geçebilmesi için gerekli olan süre olarak tanımlanır, "T" ile gösterilir. Küçük genlikli dalga teorisine göre, dalga periyodunun su derinliğinden bağımsız olduğu kabul edilir. Dalga frekansı (f) ise periyodun tersidir.

$$f = \frac{1}{T} \qquad (1.3)$$

1.2.4 Dalga Boyu (L)

Dalga boyu, ardışık iki dalga tepesi arasındaki yatay uzunluktur ve "L" ile gösterilir.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi}\tanh\frac{2\pi d}{L} \qquad (1.4)$$

g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

d : Su derinliği (m)

T : Dalga periyodu (s)

1.2.5 Dalga Sayısı (k)

Dalga sayısı k ($=\frac{2\pi}{L}$) ile gösterilir.

1.2.6 Açısal Dalga Frekansı (σ veya ω)

Açısal dalga frekansı $\omega \left(=\sigma=\frac{2\pi}{T}\right)$ ile gösterilir.

1.2.7 Dalga Profili (η)

Dalga profili, serbest su yüzeyinin sakin su seviyesinden itibaren yaptığı düşey yer değiştirme olarak tanımlanır ve η ile gösterilir. Sinüzoidal dalga için;

$$\eta(x,t) = \frac{H}{2}\sin(kx-\omega t) \qquad (1.5)$$

1.2.8 Dalga Yayılma Hızı, Faz Hızı (C)

Dalganın yayılırken sahip olduğu hızdır ve C ile gösterilir.

$$C = \frac{L}{T} \qquad (1.6)$$

Lineer dalga teorisinden:

$$C = \frac{g}{\omega}\tanh kd = \sqrt{\frac{g}{k}\tanh kd} \qquad (1.7)$$

1.2.9 Akışkan Partikül Hızları

Dalgaların ilerlemeleri sırasında akışkan partikülleri yörüngesel hareket yapmaktadırlar. Bu hareket sırasında sahip oldukları yatay ve düşey hız bileşenleri sırasıyla;

$$u = \frac{a\omega\cosh\left[k(z+d)\right]}{\sinh(kd)}\sin(kx-\omega t) \qquad (1.8)$$

$$w = \frac{-a\omega\sinh\left[k(z+d)\right]}{\sinh(kd)}\cos(kx-\omega t) \qquad (1.9)$$

u : x doğrultusundaki akışkan partikül hızı (m/s)

w : z doğrultusundaki akışkan partikül hızı (m/s)

1.2.10 Dalga Grup Hızı (C_g)

Dalga grubunun yayılma hızı (dalga enerji ilerleme hızı) grup hızı olarak tanımlanır ve C_g ile gösterilir.

$$C_g = nC = \frac{1}{2}\left(1+\frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right)C; \qquad n = \frac{1}{2}\left(1+\frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right) \qquad (1.10)$$

1.2.11 Dalga Basıncı (p)

Herhangi bir konumda dalga altındaki basınçtır. Statik ve dinamik olmak üzere iki bileşeni vardır.

$$p = \frac{1}{2}\rho g H \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd}\sin(kx-\omega t) - \rho g z \qquad (1.11)$$

ρ : Suyun özgül kütlesi (kg/m^3)

1.2.12 Dalga Enerjisi (E)

Bir dalganın toplam enerjisi kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamından elde edilir. Birim alandaki toplam enerji (E_k=E_p):

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{8}\rho g H^2 \qquad (1.12)$$

1.2.13 Enerji Akısı (R)

Birim zamanda ve birim genişlikte dalga ilerleme doğrultusunda aktarılan ortalama enerjidir.

$$R = C_g E \qquad (1.13)$$

1.2.14 Dalgaların Sınıflandırılması

Deniz dalgaları çok farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Dalgaların oluşum sebeplerine ve periyotlarına göre sınıflandırılması Tablo 1.1'de verilmiştir.

Diğer bir sınıflandırma göreceli derinliğe (d/L_0) göre yapılmaktadır. Bunlar; 1. Derin deniz dalgaları, 2. Geçiş derinliği dalgaları, 3. Sığ su dalgalarıdır. Bu sınıflandırmaya göre hiperbolik fonksiyonların asimptotik değerlerinin kullanılmasıyla dalga özelliklerine ait bazı denklemler basitleştirilerek Tablo 1.2'de verilmiştir. Değişik derinliklerdeki dalga özelliklerinin hesaplanması için gerekli olan Ağırlık Dalgaları Tablosu Ek 1'de verilmiştir.

Tablo 1.1 Dalgaların oluşum sebeplerine göre sınıflandırılması

Dalga tipi	Periyot	Sebep
Rüzgar dalgası (ağırlık dalgaları) Ölü deniz dalgası, Soluğan (Swell)	≤15 s ≤30 s	Rüzgar gerilmesi Rüzgar dalgası
Surf salınımı (Surf beat) Liman içi çalkantı Çalkantı (Seiche) Tsunami	1-5 dak 2-10 dak 2-40 dak 5-60 dak	Dalga grubu Surf salınımı ve tsunami Tsunami, ani rüzgar değişimi, atmosfer etkisi, lineer olmayan dalga etkileşimi Deprem
Gel-git Fırtına kabarması (Storm surge)	12-24 saat 1-30 gün	Güneş ve ay çekimi Rüzgar gerilmesi ve atmosfer basıncındaki azalma

Tablo 1.2. Dalgaların d/L_0 değerine göre sınıflandırılması ve bazı dalga özellikleri

		Derin Deniz $d/L_0 \geq 0.5$	Geçiş Derinliği $0.0157 < d/L_0 < 0.5$	Sığ Su $d/L_0 \leq 0.0157$
Dalga Hızı	C	$\frac{g}{2\pi}T$	$\frac{g}{2\pi}T\tanh\frac{2\pi d}{L}$	$(gd)^{0.5}$
Dalga Boyu	L	$\frac{g}{2\pi}T^2$	$\frac{g}{2\pi}T^2\tanh\frac{2\pi d}{L}$	$T(gd)^{0.5}$
Yörüngesel hızın yatay bileşeni	u	$\frac{H\pi}{T}e^{kz}\sin(kx-\omega t)$	$\frac{H\pi}{T}\frac{\cosh k(z+d)}{\sinh kd}\sin(kx-\omega t)$	$\frac{H}{2d}C\sin(kx-\omega t)$
Yörüngesel hızın düşey bileşeni	w	$-\frac{H\pi}{T}e^{kz}\cos(kx-\omega t)$	$-\frac{H\pi}{T}\frac{\sinh k(z+d)}{\sinh kd}\cos(kx-\omega t)$	$-\frac{H\pi}{T}\left(1+\frac{z}{d}\right)\cos(kx-\omega t)$

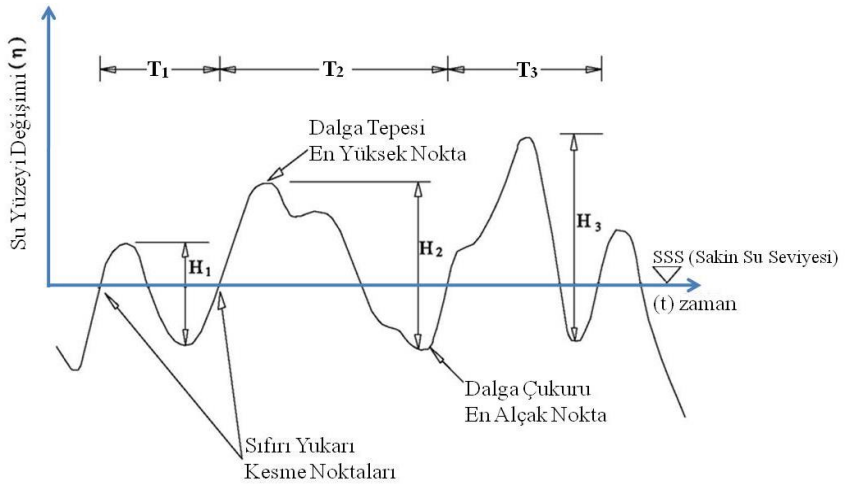
1.3 Dalgaların İstatistiksel Özellikleri

Rüzgarların oluşturduğu dalgalar çok karmaşıktır ve düzensiz bir yapıya sahiptir. Deniz yüzeyinde, belirli bir yerde izlenen tekil dalga yükseklik (H_i) ve dalga periyotları (T_i) birbirinden çok farklı olabilir ve ayrıca değişik yönlerde de hareket edebilirler. Rüzgar dalgalarının tekil yükseklik (H_i) ve tekil periyotlarının (T_i) olasılık dağılımları mevcut dağılım fonksiyonları ile verilir. Düzensiz rüzgar dalgalarının yapısı;

(1) Dalga özelliklerinin olasılık dağılımı

(2) Dalga spektrumu (dalga enerjisinin çeşitli frekanslardaki tekil dalgalara dağılımı)

kullanılarak tanımlanır. Rüzgar dalgalarının en belirgin özelliği, ardışık tekil dalgaların yükseklik (H_i) ve periyotlarının (T_i) değişken niteliğidir. Rüzgar dalgalarının tanımında kullanılan parametreler Şekil 1.2'de verilmiştir. Şekil 1.2'deki tanımlar ölçüm süresindeki sakin su seviyesine göre "Sıfırı Yukarı Kesme" yöntemi kullanılarak verilmiştir. Buna göre tekil dalga yüksekliği (H_i), yüzey profilinin sıfır hattını yukarıya doğru kestiği iki ardışık nokta arasındaki en yüksek nokta (dalga tepesi) ile en alçak nokta (dalga çukuru) arasındaki düşey mesafedir. Tekil dalga periyodu (T_i) ise, ardışık iki sıfır kesiminin arasındaki süredir.



Şekil 1.2 Rüzgar dalgalarına ait tanımlar

1.3.1 Karakteristik Dalga Parametreleri

T_s uzunluğunda alınmış ve N adet dalgayı içeren bir fırtına kaydında bu fırtınayı temsil eden çeşitli dalga parametreleri aşağıda verilmiştir.

- En yüksek dalga (H_{maks}, T_{Hmaks}.): Bir dalga kaydındaki en yüksek tekil dalganın yüksekliği ve buna karşılık gelen periyotdur.
- Maksimum dalga periyodu: Kayıttaki en uzun dalga periyodudur, T_{maks}.
- Ortalama dalga yüksekliği ve periyodu ($\bar{H}$ ve $\bar{T}$): Dalga kaydındaki tüm dalgaların yüksekliklerinin ve periyotlarının ortalamasıdır.

$$\bar{H} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} H_i \tag{1.14}$$

$$\bar{T} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} T_i \tag{1.15}$$

- $H_{1/n}$, $T_{1/n}$ burada n 3, 5, 10, 20, 50, 100 gibi değerler almaktadır. Sırasıyla bir kayıttaki en yüksek 1/3, 1/5, 1/10, 1/20, 1/50 ve 1/100 dalganın ortalama değerini vermektedir.

$$H_{1/n} = \frac{1}{N/n}\sum_{i=1}^{N/n} H_i \tag{1.16}$$

$$T_{1/n} = \frac{1}{N/n}\sum_{i=1}^{N/n} T_i \tag{1.17}$$

- Belirgin Dalga Yüksekliği **(**H_s veya $H_{1/3}$**):** Dalgaların en yüksek 1/3'ünün ortalama dalga yüksekliğidir.

$$H_{1/3} = \frac{1}{N/3}\sum_{i=1}^{N/3} H_i \tag{1.18}$$

- Belirgin Dalga Periyodu **(**T_s veya $T_{1/3}$**):** En yüksek 1/3 dalganın periyotlarının ortalamalarıdır.

$$T_{1/3} = \frac{1}{N/3}\sum_{i=1}^{N/3} T_i \tag{1.19}$$

- $H_{\%i}$ aşılma olasılığı i olan dalga yüksekliğidir. Bunlardan en çok kullanılanlara örnekler $H_{\%0.1}$, $H_{\%1}$, $H_{\%2}$, $H_{\%10}$'dur.
- Dalga periyot parametreleri arasındaki ilişkiler (Goda, 2010):

$$\left.\begin{aligned} T_{1/10} &= (0.9-1.1)T_{1/3} \\ T_{1/3} &\approx (0.9-1.4)\bar{T} \\ T_{maks} &\approx (0.6-1.3)T_{1/3} \end{aligned}\right\} \tag{1.20}$$

- Dalga enerji yüksekliği, dalga yüksekliklerinin karelerinin ortalamasının karekökü (H_{rms}) aşağıdaki ifade ile hesaplanmaktadır;

$$H_E = H_{rms} = \left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} H_i^2\right]^{1/2} \tag{1.21}$$

- Ortalama sıfırı yukarı kesme periyodu, T_z ($\bar{T}, T_m$) eğer kayıttaki sıfırı yukarı kesme sayısı N ise;

$$T_z = \frac{T_s}{N} \tag{1.22}$$

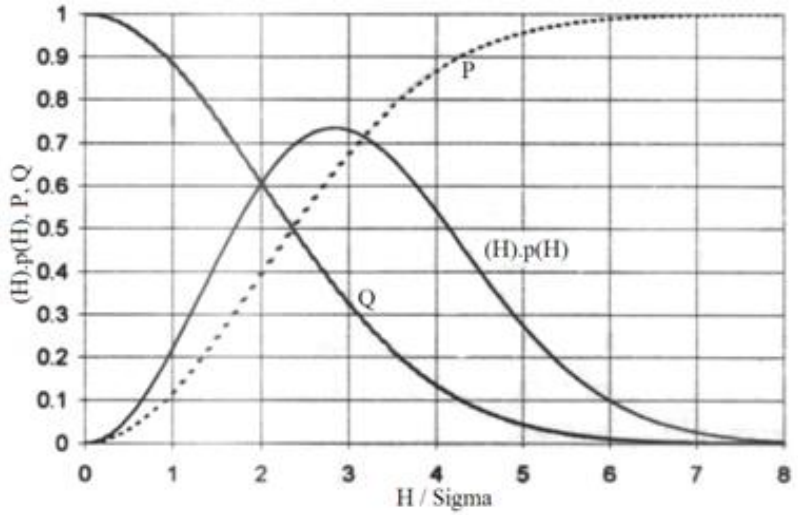
- Dalga kret periyodu: Kayıttaki toplam dalga tepe sayısı N_c ise ortalama tepe periyodu;

$$T_c = \frac{T_s}{N_c} \tag{1.23}$$

1.3.2 Dalga Yüksekliği Olasılık Dağılımı

Dalga periyot değişiminin çok büyük olmadığı (dar bantlı) dalga kaydında rüzgar dalgaları yükseklik dağılımlarının Rayleigh olasılık dağılımına uyduğu kabul edilmiştir. Rayleigh olasılık dağılımı aşağıda verilmiş ve Şekil 1.3'te gösterilmiştir.

$$p(H) = \frac{4H}{H_{1/3}^2} e^{\left(-\frac{2H^2}{H_{1/3}^2}\right)} \tag{1.24}$$



Şekil 1.3 Rayleigh dağılımı (Kamphuis, 2010)

Kümülatif (Eklenik) aşılma olasılığı: Dalga kaydındaki dalga yüksekliğinin, H′ tekil dalga yüksekliğine eşit ve büyük olma toplam olasılığı;

$$Q(H \geq H') = e^{-2(H'/H_{1/3})^2} \tag{1.25}$$

Kümülatif (Eklenik) aşılmama olasılığı: Dalga kaydındaki dalga yüksekliğinin, H′ tekil dalga yüksekliğinden küçük olma toplam olasılığı;

$$P(H < H') = 1 - Q(H \geq H') = 1 - e^{-2(H'/H_{1/3})^2} \tag{1.26}$$

Rayleigh olasılık dağılımı kullanılarak çeşitli dalga yükseklik parametreleri arasındaki ilişkiler aşağıdaki gibidir.

$$\bar{H} = 0.625 H_{1/3} \tag{1.27}$$

$$H_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} H_{1/3} \tag{1.28}$$

$$H_{1/10} = 1.27 H_{1/3} = 2.03 \bar{H} \tag{1.29}$$

$$H_{1/100} = 1.67 H_{1/3} \tag{1.30}$$

En yüksek dalga:

Rayleigh olasılık dağılımından "teorik en yüksek dalga" aşağıdaki gibi elde edilmektedir:

$$H_{maks} = H_{1/3} \sqrt{\frac{\ln N}{2}} \tag{1.31}$$

Burada N fırtınanın uzunluğunu temsil eden dalga sayısıdır.

Rayleigh dağılımına uyan çok sayıdaki dalga kaydından "ortalama en yüksek dalga" için:

$$\bar{H}_{maks} = 0.706\left(\sqrt{\ln N} + \frac{0.5772}{2\sqrt{\ln N}}\right)H_{1/3} \tag{1.32}$$

Longuet Higgins (1952) "en muhtemel en yüksek dalga" için aşağıdaki ifadeyi vermiştir.

$$H_{maks} = H_{1/3}\left[(0.5\ln N)^{1/2} + 0.2886(0.5\ln N)^{1/2}\right] = H_{rms}\left[\sqrt{\ln N} + \frac{0.2886}{\sqrt{\ln N}}\right] \tag{1.33}$$

Aşılma olasılığı μ olan en yüksek dalga ise aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\frac{(H_{maks})_{\mu}}{H_{1/3}} = 0.706\sqrt{\ln\left[\frac{N}{(\ln 1/1-\mu)}\right]} \tag{1.34}$$

1.3.3 Dalga Periyodu Olasılık Dağılımı

Rüzgar dalgalarında tekil dalga periyotlarının (T_i) olasılık dağılımında en fazla kullanılan model Bretschneider dalga periyodu olasılık dağılımıdır. Bretschneider'in önerdiği gözlemsel dağılım aşağıda verilmiştir.

$$P(T) = \frac{2.7T^3}{\bar{T}^4}\exp\left[-0.675\left(\frac{T}{\bar{T}}\right)^4\right] \tag{1.35}$$

a) Kümülatif (Eklenik) aşılma olasılığı : Dalga kaydındaki dalga periyodunun, T′ tekil dalga periyoduna eşit ve büyük olma toplam olasılığı;

$$Q(T \geq T') = e^{\left(-0.675\left(\frac{T'}{\bar{T}}\right)^4\right)} \tag{1.36}$$

b) Kümülatif (Eklenik) aşılmama olasılığı : Dalga kaydındaki dalga periyodunun, T′ tekil dalga periyodundan küçük olma toplam olasılığı;

$$P(T < T') = 1 - e^{\left(-0.675\left(\frac{T'}{\bar{T}}\right)^4\right)} \tag{1.37}$$

1.3.4 Dalga Yüksekliği ve Dalga Periyodu Ortak Olasılık Dağılımı

Cavanie vd. (1976)'nin kuramsal ortak olasılık dağılımı aşağıda verilmiştir.

$$P(\xi^*, \tau^*) = \frac{\pi\alpha^3\xi^{*2}\tau^{*-5}}{2\varepsilon(1-\varepsilon^2)\mu^4}\exp\left[-\frac{\pi\xi^{*2}\tau^{*-4}}{4\varepsilon^2\mu^4}(\mu^2\tau^{*2} - \alpha^2)^2 + a^2\alpha^4\right] \tag{1.38}$$

$\xi^* = \frac{H_{m+}}{\bar{H}}$, boyutsuz dalga yüksekliği

$\tau^* = \frac{T^*}{\bar{T}^*}$, boyutsuz dalga periyodu

H_{m+}: Deniz düzeyinin (+) yönde en yüksek sapmasının iki katı olarak tanımlanan dalga yüksekliği

$$T^* = 2\pi\left\{\frac{-\eta_{m+}}{\ddot{\eta}_{m+}}\right\}$$

$$\bar{T^*} = 2\pi\left\{\frac{\bar{\eta}_{m+}}{\ddot{\eta}_{m+}}\right\}$$

$\ddot{\eta}_{m+}$:+ yöndeki en yüksek sapma anlarında "η" nın zamana göre ikinci türevi

η_{m+} : Deniz yüzeyinin '+' yöndeki en yüksek sapmaları

$$\nu = \left\{ \frac{m_0 m_2}{m_1^2} - 1 \right\}^{1/2} \quad \text{(dalga spektrumunun genişlik parametresi)} \tag{1.39}$$

$$\varepsilon = \left\{ 1 - m^2 / m_0 m_4 \right\}^{1/2} \quad \text{spektrum bant genişlik parametresi} \tag{1.40}$$

(dar bantlı spektrum için $\varepsilon = 2\nu$)

$$\alpha = \frac{1}{2}\left\{ 1 + (1-\varepsilon^2)^{1/2} \right\}$$

$$a = \varepsilon / (1-\varepsilon^2)^{1/2}$$

m_n : Dalga enerji spektrumunun n. momenti

μ : Cavanie vd. (1976)'nin boyutsuz dalga periyodu , $\mu = \dfrac{\bar{T}^*}{T_m}$

1.4 Dalga (Enerji) Spektrumu

Açık denizdeki düzensiz dalgaların sonsuz sayıdaki harmonik dalganın birleşiminden oluştuğu varsayılabilir. Bu varsayıma göre bir yerdeki deniz düzeyinin zamanla değişimi $\bar{\eta}(t)$ aşağıda verilmiştir;

$$\bar{\eta}(t) = \sum_{i=1}^{N} a_i \cos(\omega_i t + \phi_i) \tag{1.41}$$

a_i : Tekil dalga genliği

$\omega_i = \dfrac{2\pi}{T_i}$: Tekil dalga açısal frekansı (radyan/s)

ϕ_i : Tekil dalganın göreceli faz farkı (0-2π arasında değişir)

Rüzgar dalgalarını oluşturan farklı frekanslardaki dalgalardan fırtınanın toplam enerjisi hesaplanabilir. Dalga spektrumu S(f), toplam dalga enerjisinin değişik frekanslardaki dalgalara dağılımı olarak tanımlanır.

Tam gelişmiş (tümüyle kabarmış) rüzgar dalgalarının spektrumu yaklaşık olarak aşağıdaki ifade ile verilmiştir (Goda, 2010);

$$S(f) = 0.257 H_{1/3}^2 T_{1/3} \left(T_{1/3} f\right)^{-5} \exp\left[-1.03 \left(T_{1/3} f\right)^{-4} \right] \tag{1.42}$$

Gözlem verilerinden elde edilen dalga spektrumu ile standart spektrumun ifadesinden (denklem 1.42) elde edilen spektrumlar Şekil 1.4'te birlikte görülmektedir.

Dalga spektrumu kullanılarak;

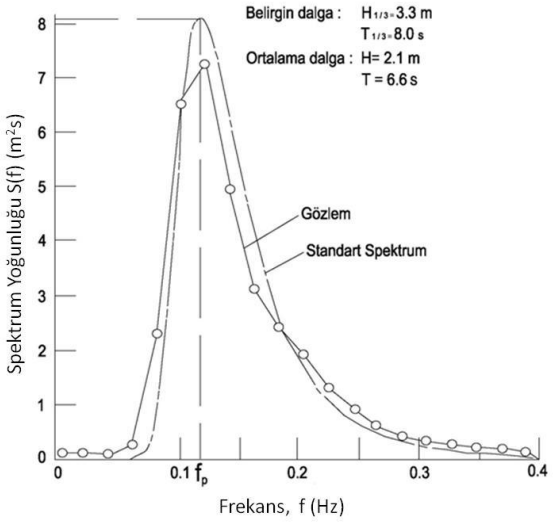
$$\overline{\eta^2} = \sum_{i=1}^{N} S(f_i) \Delta f_i \tag{1.43}$$

$$S(f_i)\Delta f_i = \frac{1}{2} a_i^2 \tag{1.44}$$

$S(f_i)$: f_i frekansındaki enerji yoğunluğu

Δf_i : frekans aralığı (ardışık iki frekans arasındaki fark)

Bu denkleme göre belli bir yerde ölçülen η (deniz yüzeyinin ortalamadan sapma değeri) değerlerinin varyansı ($\overline{\eta^2}$), dalga enerji spektrumunun altındaki alana eşittir.



Şekil 1.4 Deniz dalgaları için örnek spektrum (Goda, 2010)

Dalga spektrumunun farklı momentleri dalga özelliklerinin tanımında kullanılmaktadır.

$$m_n = \int_0^\infty f^n S(f) df \tag{1.45}$$

Sıfırıncı moment, m_0, (n=0) dalga spektrumunun altındaki alanı verir. Dalga yükseklikleri Rayleigh dağılımına uyuyorsa spektral belirgin dalga yüksekliği H_{m0};

$$H_{m0} = H_{1/3} = 4m_0^{1/2} \tag{1.46}$$

dir. Ancak gözlemler $H_{1/3} = 3.8\sqrt{m_0}$ değerinin derin sularda daha uygun olduğunu göstermiştir. Bu da $H_{1/3}=0.85H_{m0}$'a karşılık gelmektedir. Sığ sulardaki yüksek dalgalar lineer olmadıklarından (1.46) ifadesi burada uygulanabilmektedir.

$$\bar{H} = \sqrt{2\pi m_0} = 2.5\sqrt{m_0} \tag{1.47}$$

Ortalama dalga enerji yüksekliği:

$$H_{rms} = H_E = 2\sqrt{2m_0} \tag{1.48}$$

Periyot parametreleri ise;

Pik periyot:

$T_p=1/f_p$, (1.49)

burada f_p, spektrumun maksimum değerine karşılık gelen frekanstır.

$$(\bar{T} = T_z) = T_{m02} = \sqrt{m_0 / m_2} \tag{1.50}$$

$$T_c = \sqrt{m_2 / m_4} \tag{1.51}$$

Burada T_c kaydın kret periyodudur.

$$T_{m0,1} = T_1 = \frac{m_0}{m_1} \tag{1.52}$$

Ortalama dalga periyodu ($\bar{T}$) ile pik periyot (T_p) arasında evrensel bir ilişki mevcut değildir, çünkü T_p spektrumun şekline bağlıdır. Ancak bu iki parametre için aşağıdaki aralıklar verilmiştir (CIRIA, CUR, CETMEF, 2007).

$$\left.\begin{array}{l} \text{PM spektrumu için} \quad \bar{T}/T_p = 0.71 \text{ ila } 0.82 \\ \text{JONSWAP spektrumu için} \quad \bar{T}/T_p = 0.79 \text{ ila } 0.87 \end{array}\right\} \tag{1.53}$$

$T_s=(0.90\text{-}0.96)T_p$

$T_{1/3}=(1.13\text{-}1.33)T_m$

Ortalama enerji periyodu, T_E, son yıllarda yapı tasarımlarında kullanılmakta olan periyot parametresidir (CIRIA, CUR, CETMEF, 2007).

$$T_E = T_{m-1,0} = T_{-1,0} = \frac{m_{-1}}{m_0} \tag{1.54}$$

T_p ile $T_{m-1,0}$ arasındaki ilişki spektrum ifadesi bilindiğinde sayısal olarak belirlenebilmektedir. Ancak bu ifadenin bilinmediği durumlarda tek pikli bir spektrum için aşağıda verilen ifade iyi bir yaklaşımla kullanılabilmektedir.

$T_p=1.1T_{m-1,0}$ (1.54a)

Ancak çok sığ su şartlarında ve/veya çift pikli bir spektrumda $T_{m-1,0}$ sayısal model ya da fiziksel model çalışmalarıyla belirlenmelidir.

1.4.1 Parametrik Dalga Spektrum Modelleri

Genelde deniz yüzeyinin spektrumu için kesin bir matematiksel form yoktur. Ancak değişen rüzgar şartları için spektrum belli bir şekil alabilmektedir. Deniz yüzeyini temsil eden bir çok parametrik spektrum modelleri geliştirilmiştir. En yaygın olarak kullanılmakta olan spektrum modelleri Pierson Moskowitz ve JONSWAP spektrum modelleridir.

1.4.1.1 Pierson-Moskowitz (PM) Spektrumu

Derin denizdeki tam gelişmiş deniz durumu için önerilmiştir. PM spektrumunu veren denklem:

$$S(f) = \frac{0.0081g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{f_p}{f}\right)^4\right] \tag{1.55}$$

$$f_p = \frac{0.877\ 2g}{2\pi\ U_{19.5}}$$

$U_{19.5}$: Deniz seviyesinin 19.5 m üstünde ölçülen rüzgar hızı

Buradan;

$$H_{1/3} = \frac{2}{g}\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{1/2} U_{19.5}^2 \tag{1.56}$$

ilişkisi ortaya konulmuş ve gözlemsel katsayılar α ve β kullanılarak ;

$$H_{1/3} = 0.0213U_{19.5}^2 \tag{1.57}$$

verilmiştir. $H_{1/3}$ (m), U (m/s) olarak alınacaktır.

En büyük tekil dalga periyodu ise;

$$T_{maks} = 0.730U_{19.5} \tag{1.58}$$

olarak tanımlanmıştır.

1.4.1.2 JONSWAP Spektrumu

JONSWAP (JOint North Sea WAve Project) spektrumu feç uzunluğunun kısa olduğu gelişmekte olan deniz durumları için önerilmiştir.

$$S(f) = \frac{k_j g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{f_p}{f}\right)^4\right] \gamma^{\exp\left[-\frac{(f-f_p)^2}{2\omega^2 f_p^2}\right]} \qquad (1.59)$$

$$k_j = 0.066\frac{2}{x^{0.2}} = 0.033\left(\frac{(f_p U_w)}{g}\right)^{2/3}$$

γ : Diklik parametresidir ve 1 ile 7 arasında değişmektedir, ortalama olarak 3.3 kabul edilmektedir.

$\omega = 0.07 \qquad f \le f_p$

$\omega = 0.09 \qquad f > f_p$

$$x = \frac{gL_F}{U_w^2} = \left(\frac{2.84g}{U_w f_p}\right)^{10/3}$$

L_F : Feç uzunluğu (km)
U_w : Deniz seviyesinin 10 m üstünde ölçülen rüzgar hızı (m/s)
$f_p = 2.84 g^{0.7} L_F^{-0.3} U_w^{-0.4}$

JONSWAP spektrumunun içerdiği gözlemsel parametrelerin seçimi bu denklemin kullanılmasında zorluklar yaratmaktadır.

Ancak sığ sularda ve feç limitli şartlarda yukarıdaki spektrum modelleri kullanılamamaktadır. Su derinliğinin etkisini de içeren başka spektrum modelleri kullanılmalıdır. Buna TMA (Texel-Marsen-Arsloe) spektrumu örnek verilebilir.

1.4.1.3 Yönsel Dalga Spektrumu

Buraya kadar verilen spektrum tanımlarında yön dikkate alınmamıştır. Oysa bir fırtınada oluşan rüzgar dalgalarının yayılma yönleri rüzgar yönünün her iki yanında değişik açılarda olabilmektedir. Dalgaların yayılma açılarındaki değişiklik gözetilmezse, dalga spektrumu "bir-boyutlu" olarak adlandırılır. Dalga spektrumu yayılma açılarındaki değişiklik gözetilirse iki boyutlu spektrum yönsel spektrum adını alır. Genelde yayılma açısı (θ), $\pm 30°$ olarak kabul edilir. Yönsel dalga spektrumu $S(f,\theta)$, farklı yönlerde yayılan dalga bileşenlerinin etkileşimini içerir ve dalga enerjisinin dalga frekansına ve yayılma yönüne (θ açısı) göre dağılımını verir.

$$S(f,\theta) = S(f).G(f,\theta) \qquad (1.60)$$

S(f) fonksiyonu, frekansa göre dalga enerji dağılımını ifade eder ve "frekans spektrumu" olarak isimlendirilir. G(f,θ) fonksiyonu, yöne göre dalga enerji dağılımını ifade eder ve "yönsel yayılma fonksiyonu" olarak isimlendirilir ve aşağıdaki gibi verilmiştir;

$$G(f,\theta) = G_0 \cos^{2S}\frac{\theta}{2} \qquad (1.61)$$

G_0 aşağıdaki normalleştirme şartları için gerekli olan orantı sabitidir:

$$\int_{\theta_{min}}^{\theta_{maks}} G(f,\theta)d\theta = 1 \qquad (1.62)$$

θ : Dalga enerjisi yayılma yönü
S(f,θ) : Yönsel dalga spektrumu

(1.61) ifadesindeki S yönsel yayılma fonksiyonu olup dalga enerjisinin yönsel dağılımını gösterir. Yönsel yayılma fonksiyonunun en büyük değeri S_{maks} ile (spektrumun pik değerine karşılık) ifade edilir.

$$S = \begin{cases} f \le f_p \text{ ise } S_{maks}\left(f / f_p\right)^{5} \\ f \ge f_p \text{ ise } S_{maks}\left(f / f_p\right)^{-2.5} \end{cases} \qquad (1.63)$$

$$f_p = \frac{1}{1.05 T_{1/3}} \qquad (1.64)$$

S_{maks} için önerilen ifade;

$$S_{maks} = 11.5\left(2\pi f_p \frac{U}{g}\right)^{-2.5} \qquad (1.65)$$

U : 10 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızı (m/s)

Yönsel dalga spektrumu, özellikle dalga sapmasından ve dönmeden etkilendiği için, sapma ve dönme denklemlerinde kullanılır. Bu nedenle "S" sığ sularda uzamsal olarak da değişmektedir.

Mühendislik çalışmalarında kabul edilen S_{maks} değerleri aşağıda verilmiştir.

- Rüzgar dalgaları $S_{maks} = 10$
- Kısa mesafeli soluğan dalgalar (büyük dalga dikliğinde) $S_{maks} = 25$
- Uzun mesafeli soluğan dalgalar (küçük dalga dikliğinde) $S_{maks} = 75$

S_{maks} değerinin sığ suda, etkin dalga geliş açısına $\left(\theta_p\right)$ ve göreceli derinliğe (d/L_0) göre değişimi Şekil 1.5'te gösterilmiştir.

1.4.2. Dalga Tahminleri

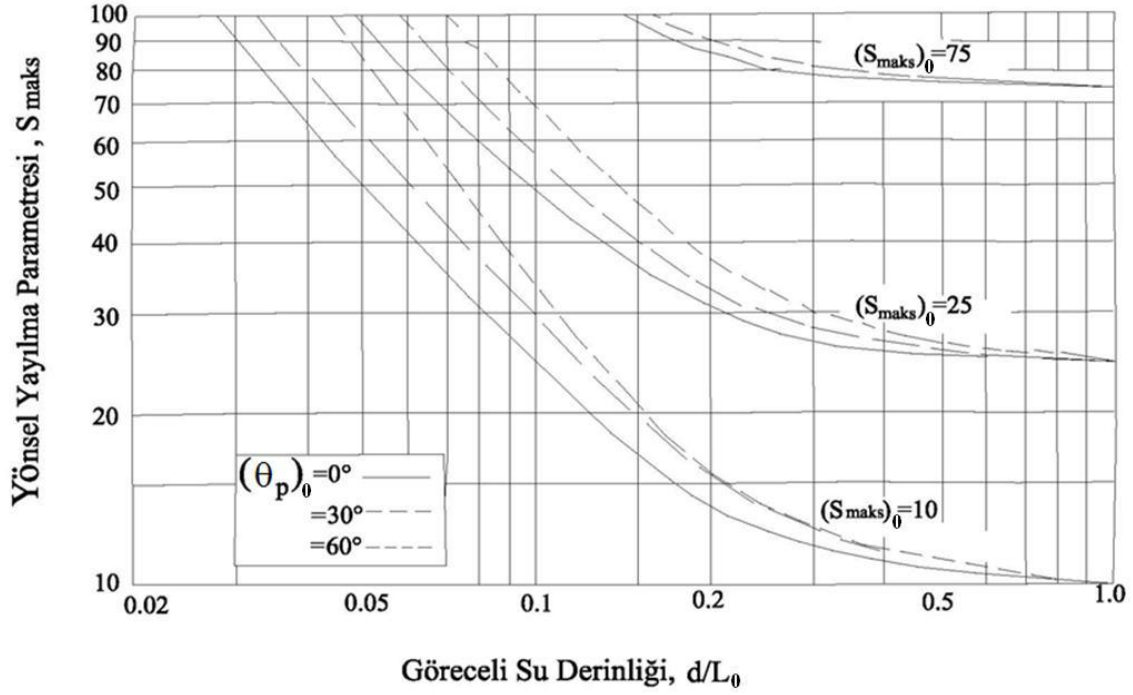
Uygun yöntemler kullanılarak dalga tahminlerinde bulunmak mümkündür.

Rüzgar dalgalarının oluşumunda etkin ana paramatreler aşağıda açıklanmıştır:

- Rüzgar Hızı , U
- Rüzgar Esme Süresi, t
- Feç Uzunluğu, F
- Su Derinliği, d

Dalga oluşumunda ana etken feç uzunluğudur. Feç genişliği genellikle ihmal edilebilir.

Dalga tahminleri, mühendislik uygulamalarında genelde derin deniz için yapılır. Ancak sığ su dalga tahminleri için farklı yöntemler kullanılır.



Şekil 1.5 Sığ suda yönsel yayılma parametre tahmini (Goda, 2010)

1.4.2.1 Rüzgar Verisi Kullanarak Dalga Tahminleri

Karmaşık rüzgar dalgalarını oluşturan tekil sinüzoidal dalgaların yayılmasını, gelişmesini ve sönümlenmesini modelleyen yarı kuramsal-yarı gözlemsel denklemleri sayısal yöntemlerle çözerek, belirli noktalarda tekil dalgaların yüksekliklerini ve yayılma yönlerini, daha sonra da yönsel spektrumlarını hesaplayan yöntemler şeklinde yapılır.

Dalga tahminlerinde en fazla kullanılan iki yöntem aşağıda verilmiştir;

1) Spektral Yöntemler
2) Belirgin Dalga Yöntemi

1) Spektral Yöntemler (OCDI, 2009)

Spektral yöntemlerle dalga tahmininin doğruluğu henüz yeterli ölçüde araştırılmamıştır. Bununla birlikte dalga tahminlerinin doğruluğu denizler üzerinde esen rüzgarların doğru hesaplanmasına büyük ölçüde bağlıdır. Ancak yine de belirgin dalga yöntemlerine göre daha üstündür. Bununla birlikte aynı dalga tahmin modelinde bile ağ seçimi, sınır koşulları ve ampirik sabitlerin farklılıklarında sonuçların %10-20 mertebelerinde değişiklik gösterdiği unutulmamalıdır. Bu yüzden tahmin sonuçlarının geçerliliği ve doğruluğu gözlem değerleri ile karşılaştırılarak araştırılmalıdır.

Spektral yöntemlerin belirgin dalga yöntemlerine göre üstünlükleri:

1) Dalga gelişiminde rüzgar hızı ve yönünün değişim etkisi fiziksel olarak daha iyi tariflenmektedir.

2) Rüzgar alanının dalga ilerlemesiyle birlikte hareket etmesi durumunda dalga yükseklik ve periyodu için daha uygun tahmin sonuçları elde edilmektedir.

3) Bu hesaplamada rüzgar ve soluğanın mevcut olduğu karışmış deniz durumu üretilebilmektedir.

Bu nedenle belirgin dalga yönteminde sonuçların şüpheli görülmesi halinde spektral yöntemlerle tahmin yapılması uygundur.

Belirli bir denge durumuna gelinceye kadar her bir frekans ve yön için spektrum bileşenlerinin var olduğunun kabul edildiği Spektral Bileşen Yöntemleri kullanılır (OCDI, 2009).

$$\frac{\partial}{\partial t}E(f,\theta,t,x) = -C_G(f)\nabla E(f,\theta,t,x) + \alpha(f,U) + \beta(f,U)E(f,\theta,t,x) + F_3 + F_4 + F_5 \qquad (1.66)$$

$E(f,\theta,t,x)$: 2 boyutlu dalga spektrumunun enerji yoğunluğu
$\alpha(f,U)$: Phillip Rezonans Teorisindeki lineer büyütme faktörü
$\beta(f,U)$: Mile Rezonans Teorisindeki üstel büyütme faktörü
F_3 : Dalga kırılmasından kaynaklanan enerji kaybı
F_4 : Dalga yayılması sırasında içsel sürtünmeden kaynaklanan enerji kaybı
F_5 : Dalga bileşenleri arasındaki doğrusal olmayan etkileşimden kaynaklanan enerji değişimi
f,θ : Dalga frekansı ve açısı
t : Zaman
x : Konum vektörü
C_g (f) : Grup hızı vektörü
U : Rüzgar hızı
∇ : Nabla operatörü

2) Belirgin Dalga Yöntemi

S-M-B Yöntemi

Su derinliğinin sınırlayıcı bir etken olmadığı ve rüzgar alanının kararlı olduğu derin deniz dalgalarının tahmini için önerilen S-M-B yöntemi dalgaların belirgin dalga yüksekliğini ve periyodunu fırtına özelliklerine (rüzgar hızı, fırtına süresi ve feç uzunluğuna) bağlayan gözlemsel eğrilere dayanmaktadır. Derin deniz belirgin dalga yüksekliği ve periyodu Şekil 1.6 kullanılarak hesaplanır. Şekil 1.6, denklem (1.67) ve denklem (1.68) kullanılarak elde edilmiştir (Wilson, 1965) .

$$\frac{gH_{1/3}}{U^2} = 0.30\left[1 - \frac{1}{\left\{1 + 0.004\left(\frac{gF}{U^2}\right)^{1/2}\right\}^2}\right] \qquad (1.67)$$

$$\frac{gT_{1/3}}{2\pi U} = 1.37\left[1 - \frac{1}{\left\{1 + 0.008\left(\frac{gF}{U^2}\right)^{1/3}\right\}^5}\right] \qquad (1.68)$$

$$t = \int_0^F \frac{dF}{gT_{1/3}/4\pi} \qquad (1.69)$$

$H_{1/3}$: Belirgin dalga yüksekliği (m)
$T_{1/3}$: Belirgin dalga periyodu (s)
U : Deniz seviyesinden 10 m yukarıda ölçülen rüzgar hızı (m/s)
F : Feç uzunluğu (m) (Tasarımda etkili feç (F_{etk}) kullanılır)
g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
t : Minimum rüzgar esme süresi (saat)

Rüzgar hızı, feç uzunluğu (1500 km'ye kadar) ve rüzgar esme süresinin bütünleşik etkisini veren nomogram (Şekil 1.6a) kullanılır. Şekil 1.6b'de ise Hasselman eğrileri verilmiştir. Bu nomogram kullanılırken rüzgar gerilme faktörü, $U_A = 0.71\,U^{1.23}$ ifadesinden hesaplanacaktır. Burada U rüzgar hızı (m/s) olarak alınacaktır.

Etkili Feç (Kabarma) Uzunluğu

Feç genişliğinin, feç uzunluğuna oranla daha küçük olması halinde (örneğin uzun koylarda) feç uzunluğu karşı kıyıya olan uzaklık olarak belirlenir. Karşı kıyı mesafesinin büyük değişiklik göstermesi durumunda ise denklem (1.70)'de verilen bağıntı yardımıyla etkili feç (F_{etk}) hesaplanarak tahminlerde kullanılır.

$$F_{etk} = \frac{\sum F_i \cos^2 \theta_i}{\sum \cos \theta_i} \qquad (1.70)$$

F_{etk} : Etkili feç uzunluğu (km)

F_i : i. yöndeki karşı kıyıya olan uzaklık (km)

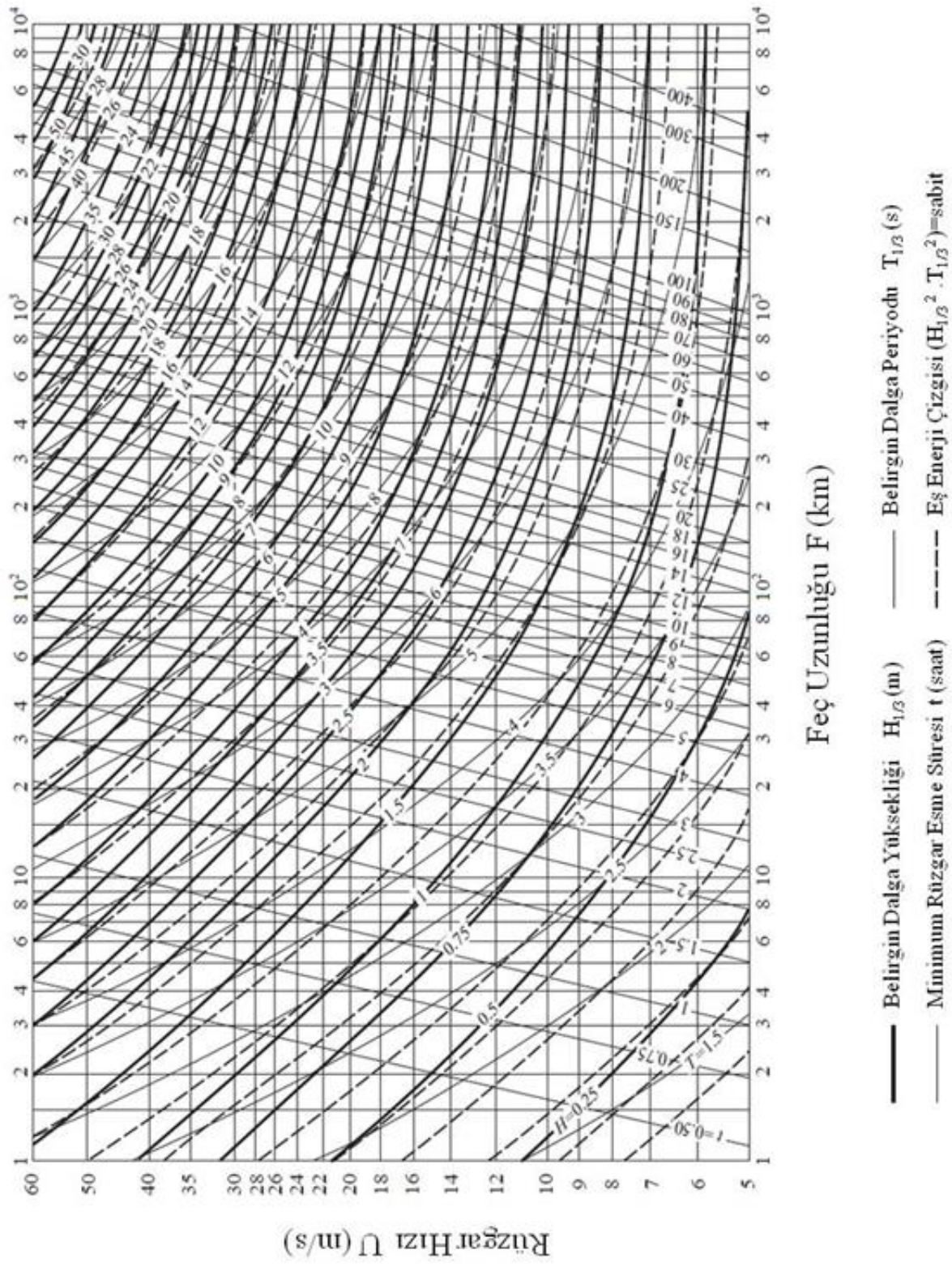
θ_i : Etkin rüzgar yönü ile i. yön arasındaki açıdır (°)

Derin deniz dalga tahminleri için kullanılabilecek daha farklı nomogramlar da mevcuttur. Feç uzunluğuna (rüzgar esme süresi limitsiz) ve rüzgar hızına bağlı nomogramlardan (CERC, 2003)**;**

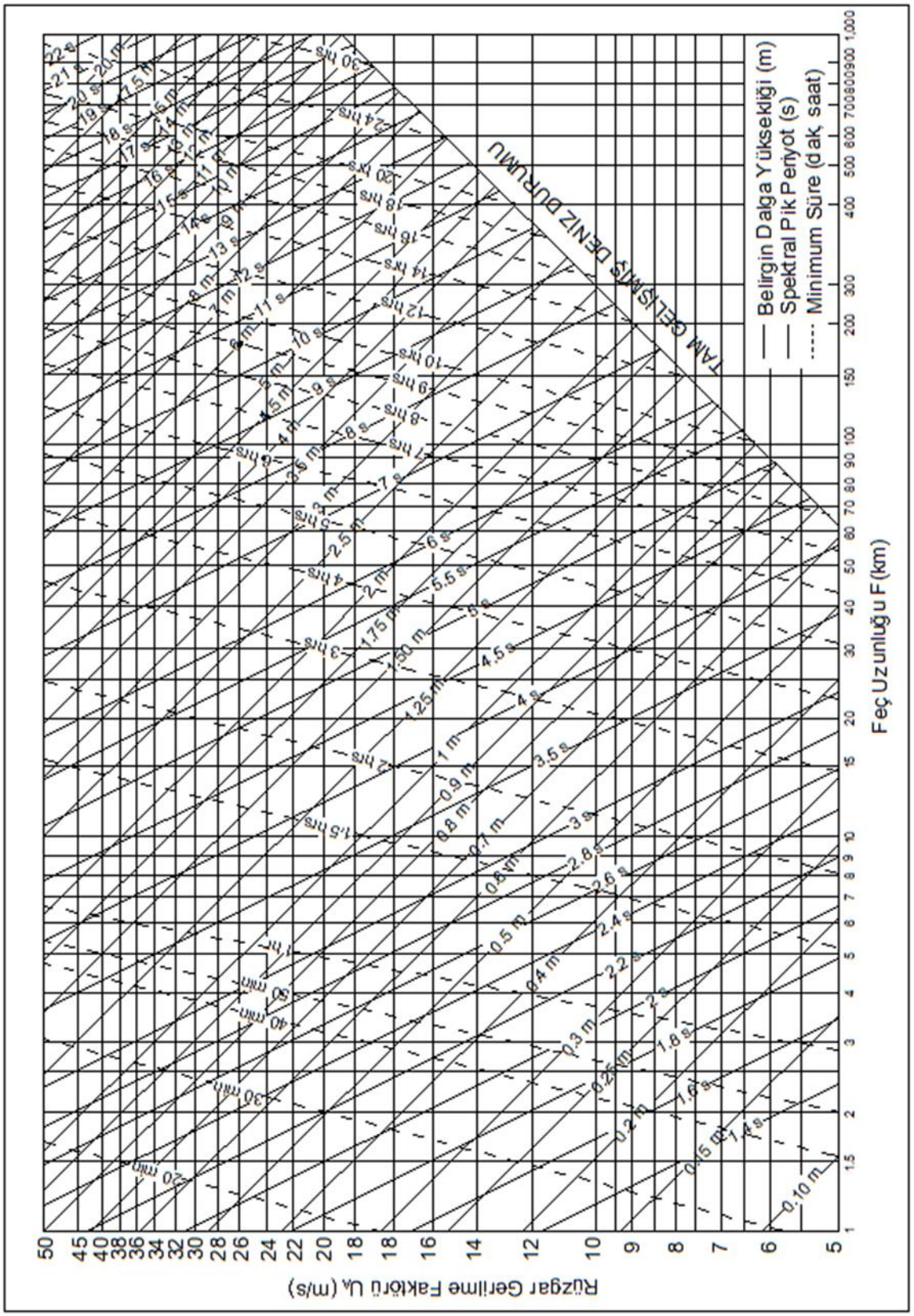
- Derin deniz belirgin dalga yüksekliği (H_{m0}) tahmini Şekil 1.7 kullanılarak,
- Derin deniz belirgin dalga periyodu ($T_{1/3}$) tahmini Şekil 1.8 kullanılarak yapılır.

Rüzgar esme süresi (feç uzunluğu limitsiz) ve rüzgar hızına bağlı nomogramlardan;

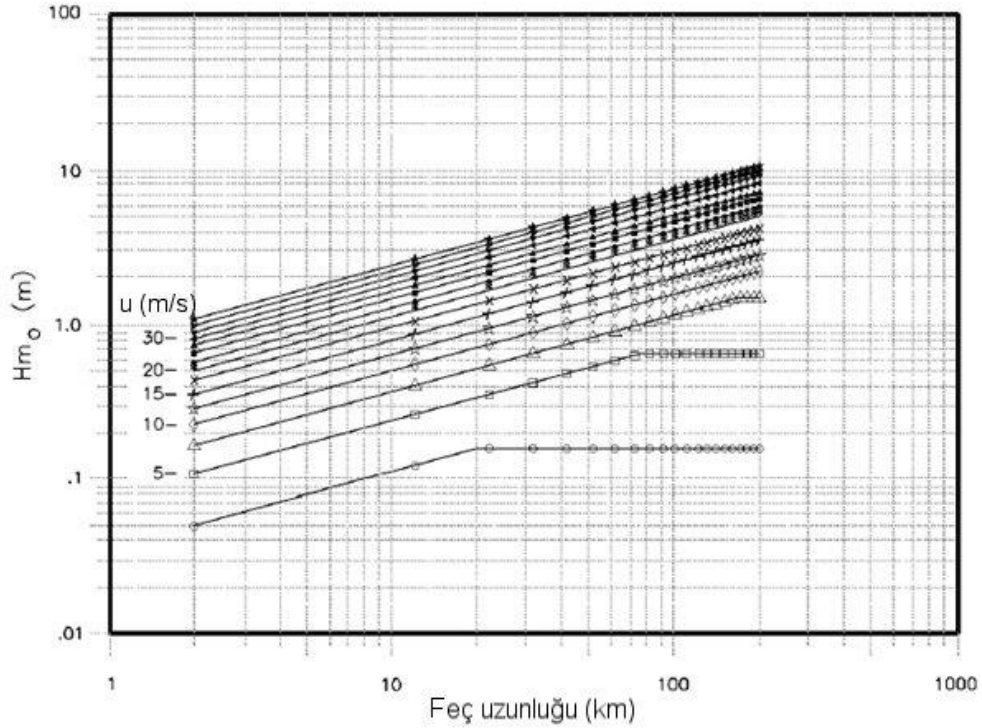
- Derin deniz belirgin dalga yüksekliği (H_{m0}) tahmini Şekil 1.9 kullanılarak
- Derin deniz belirgin dalga periyodu ($T_{1/3}$) tahmini Şekil 1.10 kullanılarak yapılır.



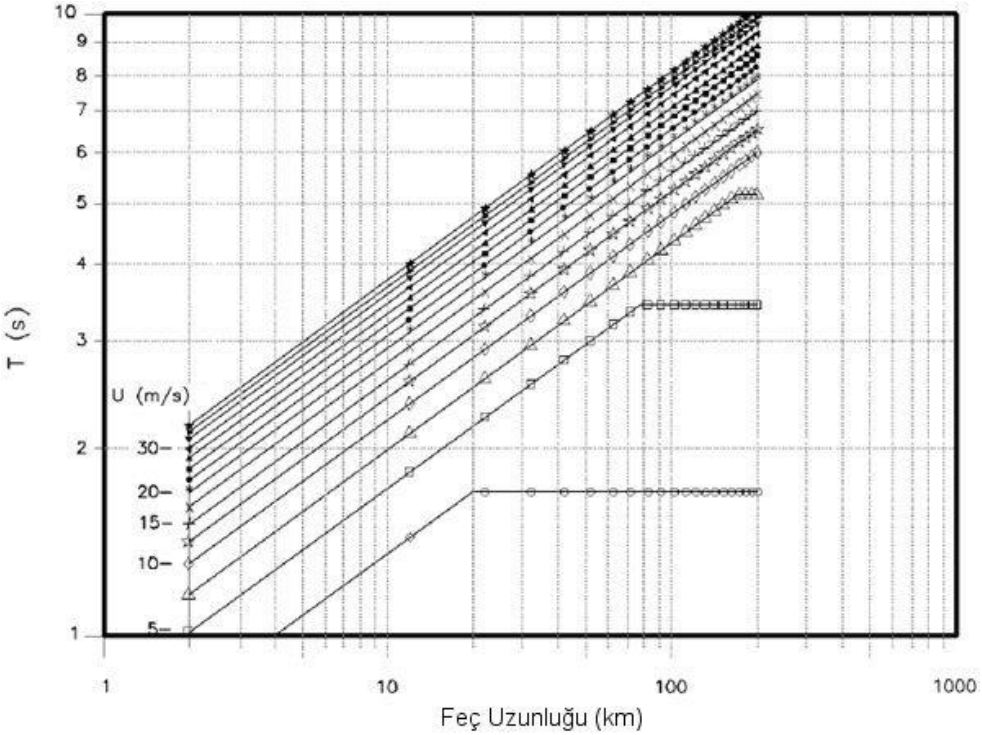
Şekil 1.6a S-M-B yöntemi kullanılarak dalga tahmini (OCDI, 2009)



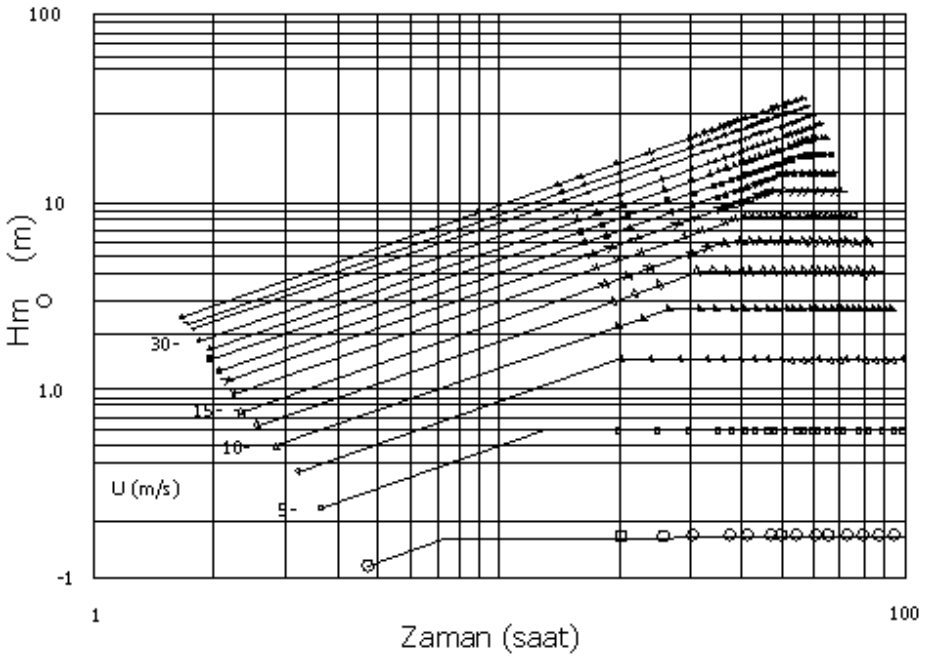
Şekil 1.6b Hasselman eğrileri (CERC, 2003)



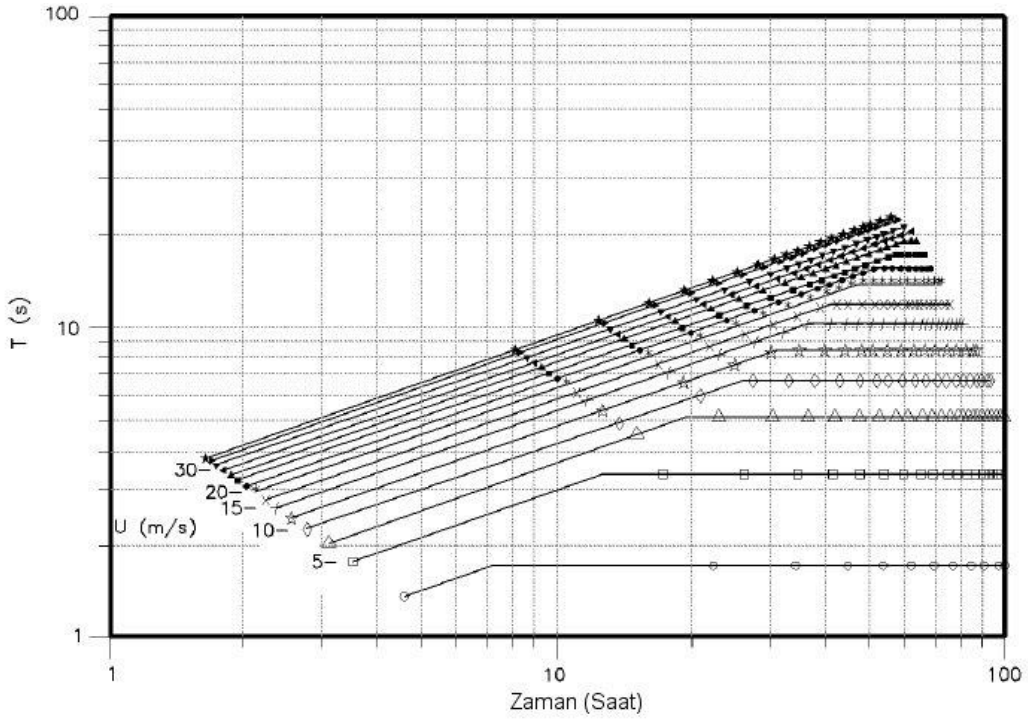
Şekil 1.7 Limitli feç uzunluğundaki dalga yüksekliği tahmini (CERC, 2003)



Şekil 1.8 Limitli feç uzunluğundaki dalga periyodu (CERC, 2003)



Şekil 1.9 Limitli esme süresi için dalga yüksekliği tahmini (CERC, 2003)



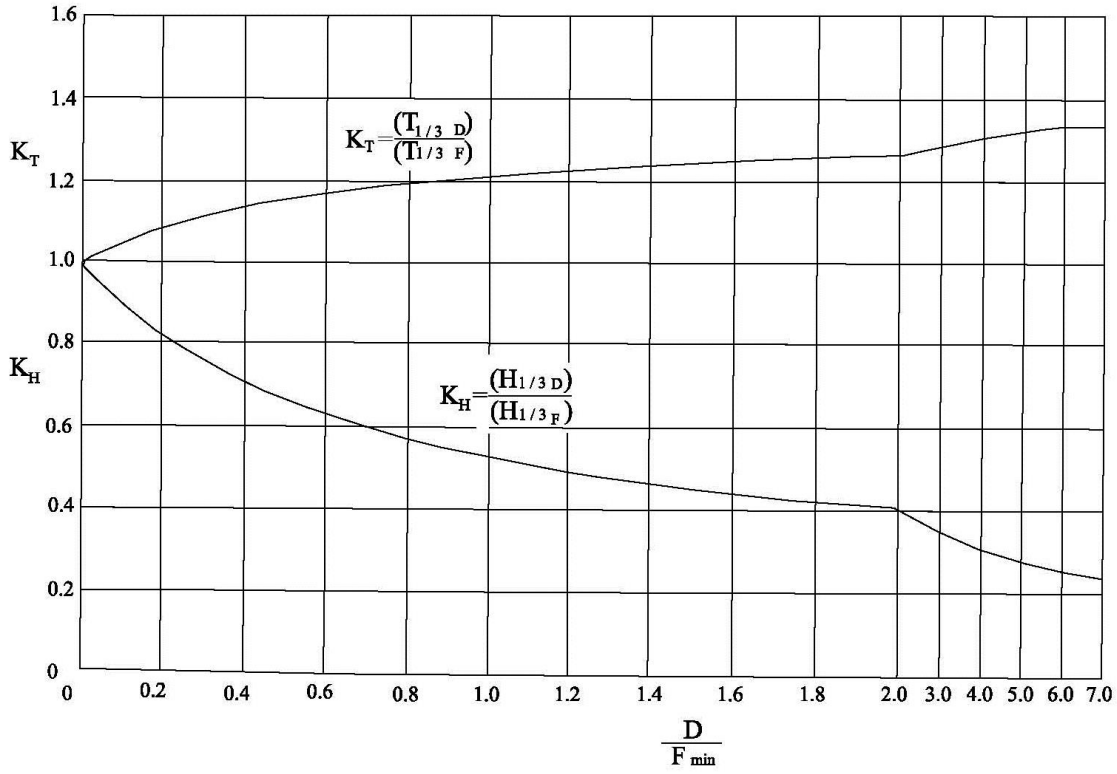
Şekil 1.10 Limitli esme süresi için dalga periyodu (CERC, 2003)

1.4.2.2 Soluğan Tahmini

Soluğan dalgalarının tahmininde kullanımı basit ve kolay olan "Bretschneider Yöntemi" kullanılır. Şekil 1.11'de soluğan dalga tahmin diyagramı verilmiştir.

Soluğan dalgalar için mevcut gözlemsel verilerin yetersizliği nedeniyle yapılan dalga tahminlerindeki doğruluk az olmaktadır. Bu nedenle, soluğan dalgalar için belirlenen dalga tahmin sonuçlarının gerçek değerlerden farklı olabilecekleri unutulmamalıdır. Bulunan bu

değerler gerçek ölçüm verileri ile karşılaştırıldıktan sonra kullanılmalıdır. Dalga oluşumu rüzgar süresi ile belirleniyorsa, F_{min} bu rüzgar hızı ve süresine karşılık gelen feç uzunluğuna eşit alınır.



Şekil 1.11 Soluğan dalga diyagramı (OCDI, 2002)

F_{min} : En küçük feç uzunluğu (S-M-B yöntemi kullanılıyorsa F_{min} gerçek feç uzunluğuna eşittir).
D : Soluğan dalgasının sönümlenme mesafesi
H_F ve T_F : Feç sonundaki belirgin dalga yüksekliği ve periyodu
H_D ve T_D : Sönümleme alanında soluğan dalga tahminlerinin yapıldığı noktadaki belirgin dalga yüksekliği ve periyodu

Dalga ilerlerken sönümlenmesi için gerekli olan t süresi (1.71) ifadesi kullanılarak hesaplanır.

$$t = \frac{D}{C_{GD}} = \frac{4\pi D}{gT_D} \qquad (1.71)$$

C_{GD}: Derin deniz için, T_D'ye karşılık gelen dalga grup hızı (m/s)

1.5 Tasarım Dalgası

1.5.1 Tasarım Dalga Yüksekliği

Bir kıyı alanında herhangi bir andaki hidrodinamik şartlar deniz durumu olarak ifade edilmektedir. Deniz durumu şartları ancak kısa bir zaman diliminde sabit olmaktadır. Bu süre tipik olarak 1 ila 6 saat arasında değişmektedir. Deniz durumu; yerel ve açık denizdeki rüzgar şartları, gel-git ve diğer faktörlerden dolayı değişmektedir. Bu nedenle dalga ölçümleri ve tahminleri 1 saatten 6 saate kadar değişen aralıklar için yapılmaktadır (CERC , 2003). Bu her bir ölçüm verisinin analizi ise kısa dönem dalga istatistiğidir.

Deniz durumunu tanımlayan istatistiksel değişkenler kısa dönem dalga istatistiğinden elde edilmektedir. Ancak tasarım uygulamalarında hasar, genel deniz durumundansa tek bir en büyük dalgada bile gözlenebilmektedir.

Örneğin tek bir yüksek dalga kretinin bir kazığa veya platforma çarpması durumunda hasar olabilmektedir. Bu durumda uzun dönem istatistiği ile kısa dönem istatistiğinin kombinasyonu sonucunda hasar oluşmaktadır. Hem uzun hem de kısa dönem istatistiğinin önemli olduğu diğer bir örnek ise kıyı duvarından dalga aşmasıdır. Kıyı duvarına tırmanarak aşan tekil dalgalar duvarın arkasında hasara sebep olabilmektedir. Kısa dönem ve uzun dönem istatistikler Tablo 1.3'te özetlenmiştir.

Tablo 1.3 Kısa dönem ve uzun dönem istatistiklerin karşılaştırılması

İstatistikTipi	İşlemler	Tipik periyot
Kısa dönem	Bir deniz durumu içindeki değişimler	1 saat
Uzun Dönem	Uzun dönemli deniz durumlarının değişimi	En az 10 yıl

1.5.1.1 Kısa Dönem Dalga İstatistiği

Rayleigh, Gauss ve Normal Dağılımlar kısa dönem istastistiği için kullanılmaktadır. Normal dağılım, Gauss dağılımının normalleştirilmiş versiyonu olup ortalaması sıfır ve standart sapması 1'dir. Kısa dönem dalga istatistiğinde kullanılan dağılım fonksiyonları Tablo 1.4'te görülmektedir.

Tablo 1.4 Kısa dönem dalga istatistiği için olasılık dağılım fonksiyonları

Dağılım Fonksiyonu	Olasılık	Ortalama, standart sapma
Rayleigh	$p(x)=\frac{x}{\sigma^2}\exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$	$x_{ort}=\frac{0.886}{\sqrt{\sigma}}$, $\sigma_x=\frac{0.463}{\sqrt{\sigma}}$
Gauss	$p(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)^2\right]$	$X_{ort}=m$, $\sigma_x=\sigma$
Normal	$p(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{1}{2}x^2\right]$	$X_{ort}=0$, $\sigma_x=1$

Çoğu tasarım uygulamalarında, deniz durumunu bir kaç parametre ile temsil etmek yeterlidir. Örneğin su seviyesi, rüzgar hızı, akıntı hızı ve yön gibi parameterler için ortalama bir değer kullanmak çoğu işlem için yeterlidir. Ancak dalga parametreleri özel dikkat gerektirmektedir. Tipik parametreler H_{m0}, T_p ve θ_p toplam deniz durumunu veya yerel üretilmiş fırtına dalgalarını veya soluğanları temsil etmek için kullanılmaktadır.

Sığ su tasarım uygulamalarında dalga enerji spektrumundan belirlenen dalga yüksekliği H_{m0} ve sıfırı kesme yönteminden belirlenen $H_{1/3}$ dalga yüksekliğinin önemli ölçüde farklılıklar gösterebileceğinin özellikle önemli olduğu unutulmamalıdır. Dalga yüksekliği genellikle en kritik tasarım parametresidir ve bu parametrenin seçimi istikrarlı olmalıdır. Örneğin katı madde taşınımı ve kıyı erozyonu uygulamalarında H_{m0} uygun olurken, kazıklara etkiyen dalga kuvvetlerinin belirlenmesinde $H_{1/3}$, $H_{1/10}$, H_{maks} tercih edilebilmektedir (CERC , 2003).

1.5.1.2 Uzun Dönem Dalga İstatistiği

Bir çok yılı içeren uzun dönemli verinin analizi için kullanılan istatistiksel yöntemler çoğu tasarım uygulamalarının tamamlayıcı bileşenidir. Bu yöntemler kısa dönemi temsil eden istatistiksel parametrelerin seçilmesinden elde edilen çok sayıdaki değerleri içermektedir. Parametrelerin en büyük değerlerini belirlemek başlıca tasarım amacıdır. Örneğin, 25 yıllık zaman aralığında beklenen H_{m0} istatistiksel parametresinin en büyük değerinin belirlenmesi gibi.

Ekstrem olaylar şiddet ve sıralama açısından bir hayli değişkendir yani tanımından anlaşılacağı gibi bunlar ender olan olaylardır. Bu nedenle uzun dönemli istatistiksel yöntemler küçük ve değişken örnekleme ile tasarımda büyük etkiye sahip olan parametreleri hesaplamaktadır.

1.5.1.2.1 Dalga İklimi İstatistiği

Dalga iklimi, proje alanında normal şartlarda oluşan dalgalarla ilgilidir. Farklı doğrultulardan değişik yükseklik ve periyotlu dalgaların meydana gelme frekanslarının belirlenmesi, uzun dönemli yani mevsimsel ya da yıllık değişimlerin incelenmesidir. Dalga iklimindeki değişim aynı yılda mevsimlere göre önemli ölçüde değişmesine rağmen yıldan yıla daha az değişmektedir. Bu nedenle çalışma alanında kullanılacak veri tabanı en az bir yıllık veriyi gerektirmektedir. Ancak yıldan yıla büyük değişikliklerin olduğu bölgelerde dalga iklimini tam olarak tanımlayabilmek için bir kaç yıllık (en az üç tam yıl) veriye ihtiyaç duyulmaktadır.

Kıyı boyu kum hareketleri, kıyı stabilitesi, kıyı erozyon ve kumlanması, limanların kumlanması, liman içi çalkantıları, dalgakıran doğrultu ve boylarının belirlenmesi, seyir (navigasyon), tarama ve denizde yapılacak operasyonların organizasyonu hesaplarında kullanılmaktadır.

Dalga yüksekliği, dalga periyodu ve yönünün bir yıllık bir dönemde nasıl değiştiği, dalga yüksekliklerinin yönlere göre dağılımlarının frekansları, dalga yüksekliğinin dalga periyoduna karşı oluşma olasılığı tablosu, ortak (birleşik) olasılık dağılımları dalga iklim çalışmasının göstergeleridir. Dalga yüksekliğine karşın dalga periyodunun değişimini gösteren saçılım grafiği, dalga yüksekliği ile dalga periyodu arasındaki ilişkiyi vermekte ayrıca bölgedeki soluğan ve rüzgâr dalgalarının ağırlığını işaret etmektedir. Dikkate alınan bir konumda bir yıl içerisinde meydana gelen dalgalara ait dalga gülü gruplandırılmış dalga yükseklerinin hangi doğrultudan ne oranlarla geldiğini göstermektedir. Aynı dalga gülünden dalgaların yönlere göre aşılma olasılıkları da elde edilebilmektedir. Bu analizler yıllık yapıldığı gibi mevsimsel de yapılabilmektedir.

Dalga ikliminin tanımlanmasında belirgin dalga yüksekliği H_s ile belirgin dalga yüksekliğinin dağılımı kullanılmaktadır. Belirgin dalga yüksekliği dağılımında log-normal ve Weibull dağılımları sıklıkla kullanılmaktadır. Bazı uygulamalarda pik dalga periyodu (T_p) ve dalga yaklaşım açısı (θ_p) da çok önemli olabilmektedir. Bu nedenle H_s, T_p ve θ_p'nin ortak olasılık dağılımları dalga ikliminin tam olarak açıklığa kavuşturulmasında son derece önemlidir.

Deniz durumunun sürekliliği de dalga ikliminin önemli bir bileşenidir. Fırtına süresi, belli bir sınır değeri aşan fırtınanın süresi olarak tanımlanmaktadır. Uzun süreli fırtınaların kısa süreli fırtınalara göre daha fazla hasara neden olacağı aşikardır. Ancak seçilen sınır değer büyüdükçe fırtına süresi kısalmaktadır. Sınır değerin altındaki dalga şartlarının sürekliliği de ayrıca operasyonel açıdan önemlidir. Çünkü küçük dalga şartlarının süresi operasyonel aktivitelerin planlanması açısından önemlidir. Sınır değerin nasıl seçileceği uygulamaya bağlıdır.

1.5.1.2.2 Ekstrem (En Büyük Değer) Olasılık Dağılım Fonksiyonları

Denizdeki bir çok tasarım sadece ekstrem şartlara ihtiyaç duymaktadır. Ekstrem analiz için veri, kayıt süresince gelişen sadece belirgin olaylardan alınmalıdır. Yani her bir veri değeri, değerler arasındaki istatistiksel bağımsızlığı sağlayabilmek için farklı olaylardan alınmalıdır. Ekstrem analiz için tam bir veri seti (örneğin 20 yıllık bir dönemde her 3 saatte bir alınan veri) önerilmemektedir. Bu tür veri setleri her bir büyük fırtınada birden fazla veri değeri içermektedir. Veri seçimi için tercih edilen yaklaşım her bir olaydaki maksimum değeri almaktır. Tipik fırtınalar zayıf fırtınalardan çok şiddetli fırtınalara kadar değişebilmektedir. Genellikle küçük fırtınaları elimine etmek ve etkin fırtınaları seçebilmek için sınır değer yöntemi (Peak Over Threshold, POT) kullanılmaktadır. Bu sınır değer genellikle, yıl sayısından daha fazla veri sayısı verecek şekilde seçilmektedir (bu da genellikle kayıttaki yıl sayısının 1-3 kat mertebelerindedir).

Kabul görmüş diğer bir yaklaşım ise her bir yılın maksimum değerini veren yıllık veri setidir. Bu yaklaşım için en az 10 yıl ya da daha uzun zaman mertebelerinde bir kayda/tahmine ihtiyaç vardır. Ancak kıyı mühendisliğinde kayıt uzunlukları bu şartlardan daha kısadır. Bu veri setinin diğer bir mahsuru ise ciddi büyük fırtınaların aynı yıl içerisinde birden fazla olma olasılığıdır. Her yılın sadece maksimumları dikkate alındığında, diğer bir çok yılın maksimumlarından büyük olan bu fırtınaların ihmal ediliyor olmasıdır.

İster kısmi serili ister yıllık veri serisi olsun, ele alınacak veri setinin değerlendirilmesinde ekstrem dağılım fonksiyonlarından biri kullanılmaktadır. Bunun için mevcut verilerle en iyi uyum sağlayan farklı olasılık fonksiyonları kullanılmaktadır. Fisher Tippet Tip 1 ve 2 dağılımları ekstrem olayların istatistiksel teorilerinden türetilmiştir ve gerçek ekstrem değerlerin dağılımlarıdır. α=2 değeriyle Weibull dağılımı Rayleigh dağılımına eşittir. Bu fonksiyonlarda kullanılan β, γ, ve α parametreleri sırasıyla ölçek parametresi, yerel parametre ve şekil parametresidir.

Bir dağılımın diğer bir dağılıma göre tercih edilmesi için teorik bir neden yoktur. Dalga yüksekliğinin belirlenmesinde bir kaç dağılım fonksiyonu arasından verilerle en iyi uyum sağlayan fonksiyon seçilmektedir. Kıyı mühendisliğinde yaygın olarak kullanılmakta olan dağılım fonksiyonları Tablo 1.5'te gösterilmektedir. Burada P(x) kümülatif olasılık dağılımını gösterirken, p(x) olasılık yoğunluk fonksiyonunu göstermektedir.

Tablo 1.5 Uzun dönem istatistik için olasılık dağılım fonksiyonları

Dağılım Fonksiyonu	Matematiksel İfade	Parametreler
Fisher-Tippet I (Tip 1) veya Gumbel	$P(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)}}$	β,γ
Fisher Tippet II (Tip 2)	$P(x) = e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{-\alpha}}$	β, α
Weibull	$P(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha}}$	β,γ, α
Log-normal	$p(x) = \frac{1}{\beta x\sqrt{\pi}} e^{-\left(\frac{\ln x-\gamma}{\beta}\right)^2}$	β,γ

Ekstrem dalga analizinde ölçülen ya da tahmin edilen belirgin dalga yükseklikleri kullanılmaktadır. N adet ekstrem veri içeren veri seti değerleri büyükten küçüğe azalan şekilde sıralanırlar. Burada i verilerin sıra sayılarıdır. Her bir verinin aşılmama olasılığı (P_i) belirlenir. Geleneksel olarak kullanılmakta olan en basit aşılmama olasılığı formülü Tablo 1.6'da verilmiştir. Ancak farklı dağılım fonksiyonları kullanılarak aşılmama olasılığının hesaplanması için önerilen formüller yine Tablo 1.6'da verilmektedir. Seçilen dağılım fonksiyonları için grafikler çizilir. Bir doğru oluşturan en optimum dağılım fonksiyonu bunlar arasından seçilir. Uygun bir dağılım fonksiyonu belirlemenin amacı ise istenilen yineleme dönemindeki (T_R) ekstrem şartların en muhtemel değerinin belirlenmesidir.

Kıyı mühendisliğinde ekstrem şartlar yineleme dönemi/tekerrür periyodu (T_R) terimi ile ifade edilmektedir. Yineleme aralığı herhangi bir şartın aşıldığı ortalama zaman aralığı olarak tariflenmektedir. Genellikle seçilen tasarım parametreleri 50 ya da 100 yıllık yineleme dönemidir, bu da T_R yılda bir aşılma anlamına gelmektedir.

$$T_R = \frac{t}{1 - P(H_{T_R})} \qquad (1.72)$$

t : Her bir veri noktası arasındaki zaman aralığı (yıllık veri setinde bu 1 yıl olmaktadır)

$P(H_{T_R})$: Kümülatif aşılmama olasılığı

H_{T_R} : T_R yılda bir aşılan dalga yüksekliği

Tablo 1.6 Verilerin olasılık değerlerinin belirlenmesi için kullanılan formüller

Formül	Kümülatif olasılık
Geleneksel (Gumbel)	$P_m = 1 - \frac{i}{N+1}$
Fisher-Tippet I	$P_m = 1 - \frac{i-0.44}{N+0.12}$
Fisher-Tippet II	$P_m = 1 - \frac{i-0.11-\frac{0.52}{\alpha}}{N+0.12-\frac{0.11}{\alpha}}$
Weibull (Goda, 1988)	$P_m = 1 - \frac{i-0.20-\frac{0.27}{\sqrt{\alpha}}}{N+0.20+\frac{0.23}{\sqrt{\alpha}}}$

Genellikle kayıt/tahmin uzunluğundan daha uzun istenilen yineleme dönemi (T_R) için, tasarım şartı elde edilen doğrunun ekstrapole edilmesiyle bulunmaktadır. **Eğer mümkünse veri ölçüm uzunluğunun 2-3 katından daha uzun dönemlere uzatılmasından kaçınılmalıdır**. Örneğin 10 yıllık veri seti kullanılarak yapılacak bir ekstrapolasyonda 20 - 30 yıllık yineleme döneminden daha öteye uzatılmaması tercih edilmektedir (CERC, 2003).

Verilen bir yineleme dönemi, seçilen proje şartı olasılık seviyesi ile de ilişkilidir. Ortalamada bu tasarım şartı her T_R yılda bir kez aşılacaktır. Bununla birlikte, bu en büyük olayın yapı hizmet süresinin ilk yılında aşılması muhtemel olmasa da mümkündür. Diğer yandan tasarım şartı yapının tüm hizmet süresi boyunca aşılmayabilir de. Bu karşılaşılma olasılığı kavramını ortaya çıkarmaktadır. Kıyı yapılarının güvenilirliğe dayalı tasarımında koşullu olasılığı yani tasarım dalga yüksekliğinin yapının tasarım hizmet süresi boyunca aşılma olasılığının kullanılması daha doğrudur.

Karşılaşılma (oluşma) olasılığı (koşullu olasılık, encounter probability) (E_L) tasarım dalgasının L yıllık bir sürede oluştuğu aşılma olasılığıdır. Seçilen tasarım dalgasının yapının tasarım hizmet süresi boyunca (L) hangi olasılıkla oluşacağı aşağıdaki ifade ile elde edilmektedir.

$$E_L = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^L \qquad (1.73)$$

L : İstenen periyot ya da yapının hizmet süresi (yıl)

Seçilen farklı yineleme dönemleri (T_R) için istenen hizmet süresindeki aşılma olasılığının yüzde değerleri Tablo 1.7'de verilmiştir.

Tablo 1.7 Seçilen yinelenme döneminde istenen hizmet süresindeki aşılma olasılığının yüzde değerleri (CERC, 2003)

Yinelenme Dönemi TR (yıl)	Yapının hizmet süresi, L (yıl)					
	2	5	10	25	50	100
2	75	97	100	100	100	100
5	36	67	89	100	100	100
10	19	41	65	93	99	100
25	8	18	34	64	87	98
50	4	10	18	40	64	87
100	2	5	10	22	39	63

Yukarıda anlatılanlara ilave olarak tasarımda iki farklı yaklaşım olduğu hatırlanılmalıdır. Bunlar deterministik (belirlenimci) ve probabilistik yaklaşımlardır. Öncelikle tasarımın

deterministik mi yoksa probabilistik mi olacağına karar verilmelidir. Deterministik yaklaşımda tasarım dalga yüksekliği sabit bir değer olarak seçilmektedir, yapı stabilitesi ve dayanımının analizi tasarım şartlarına göre detaylı bir analizle yapılmaktadır. Deterministik yaklaşımda, tasarım dalga yüksekliğinin yineleme dönemi belirlenmelidir. Karşılaşılma (oluşma) olasılığı yineleme döneminin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Bir çok deniz yapısı tasarımında dalga yüksekliği için 50-100 yıl yineleme dönemi olarak seçilmektedir. Ancak bu teorik bir zemine dayanmayan alışılageldik bir uygulamadır.

Probabilistik yaklaşımda ise hizmet süresi boyunca yapının güvenilirliği veya hasar olasılığı belirli şartlar altında incelenmektedir. Güvenilirliğe dayalı tasarım veya olasılık yaklaşımının deterministik yaklaşıma göre teorik üstünlüğü vardır, çünkü yapısal tasarımda dikkate alınmayan bir çok faktör dikkate alınmaktadır. Bununla birlikte dalgakıran ve kıyı duvarları örneklerinde olduğu gibi yapının hizmet süresi kolaylıkla tanımlanamayabilir. Çünkü bu yapılar mümkün olduğunca uzun süre fonksiyonlarını sürdürebilmelidirler.

Böyle problemlerdeki çözüm, fayda maliyet analizidir. Burada verilen seviyedeki tasarım yükleri için inşa maliyetleri ile yapının hasar görmesi durumunda hasar miktarları belirlenir. Dalgakıranlar ve kıyı duvarları için, hasar genellikle yapının ilk yatırım maliyeti gibi alınır çünkü yapı tarafından sağlanan faydanın değerini belirlemek oldukça güçtür.

Maliyet ile beklenen hasarın miktarının toplamı farklı tasarım yüklerinde hesaplanmaktadır, ve maliyet ile beklenen hasarı minimize eden tasarım yükü tasarımda dikkate alınmaktadır. Güvenilirliğe dayanan tasarımda hasar olasılığının hesaplanması rasyonel bir değerlendirme verir. Günümüzde bu yöntem ideal yöntem olarak kalmış ancak gerçek tasarımda uygulaması oldukça güçtür.

Ekstrem dalga istatistiğinde en büyük problem denizel ortamın uzun dönemli iklim değişiklikleridir. Ne geçmişte dalga ikliminde ne tür değişiklikler olduğu ne de gelecekte neler olacağı bilinmemektedir. Bu nedenle ekstrem dalga istatistiğine dayanan tasarım dalga yüksekliği seçiminde yapının hizmet süresi boyunca gelecekte dalga ikliminin aynı kalacağı kabul edilmektedir (Goda, 2010).

1.5.2 Tasarım Dalga Periyodu

Yapılardaki dalga yükleri çoğunlukla dalga yüksekliği ile belirlenmektedir, ancak bu aynı zamanda dalga periyoduna da bağlıdır. Bu nedenle çoğu tasarımlarda dalga periyodunun bilinmesi de dalga yüksekliği kadar gerekli olabilmektedir. Tasarım dalga yüksekliği seçildiğinde dalga periyodunun değişim aralığı bu tasarım şartı için belirlenmelidir. Dalga periyodu ile ilgili çalışmalar genellikle, dalga yüksekliği ve periyodunun ilişkili olduğu ya da dalga dikliğinin sabit bir değere eşit olduğu varsayımına dayanmaktadır. Bununla birlikte dalga yükseklik ve periyodu dalga yönü ile de ilişkilidir. Bu nedenle farklı sektörlerden gelen dalgalar farklı popülasyona sahip olacaklarından ayrı ayrı da incelenebilmektedir.

Yaygın olan yaklaşım veri tabanındaki (H_s, T_p veya T_m) ortak dağılımın yani saçılım grafiğinin dikkate alınmasıdır. Dikkate alınan veri için ortalama dalga dikliği hesaplanılarak dikkate alınan tasarım dalga yüksekliğinin periyodu hesaplanabilmektedir. Derin suda tipik dalga dikliği 0.045-0.065 arasında değişmektedir (CERC, 2003). Ancak sığ sulara ilerledikçe dalga yüksekliği azalıp dalga periyodu değişmediğinden, dalga dikliği azalma eğilimi göstermektedir. Eğer dalga dikliğinin değeri kesin belirlenemiyorsa bu durumda daha düşük dalga dikliğini kullanmakla (dolayısı ile daha büyük dalga periyodu) tasarımda emniyetli tarafta kalınacaktır. Dalga yüksekliği ile dalga periyodunun saçılım diyagramının değerlendirilmesi aşağıdaki gibi bir ilişki vermektedir:

$$T_{1/3} = \alpha H_{1/3}^{\beta} \qquad (1.74)$$

Burada β değeri 0.5'ten biraz daha büyük bir değer olmaktadır.

Pik periyot ile ortalama periyot arasındaki ilişki meteorolojik şartlarlara, dalga üreme bölgesinin büyüklüğüne ve şekline bağlı olarak bir miktar değişiklik gösterebilmektedir. Ancak proje alanında çok belirgin bir etki yoksa bu durumda pik dalga periyodu (T_p) ortalama dalga

periyodundan %25 daha büyük olma eğilimindedir (CIRIA, CUR, CETMEF, 2007). Pik periyot ile belirgin dalga periyodu karşılaştırıldığında %10 mertebelerinde pik periyodun büyük olduğu gözlenmektedir (Goda, 2010).

1.6 Dalga Değişimleri (Transformasyon)

Derin suda oluşan dalgalar su derinliğinin azalması, kıyı alanlarının yapısı ve batimetriden dolayı sığlaşma, sapma, dönme ve kırılma ile değişime uğrarlar. Tüm bu değişimler su derinliğinin fonksiyonu olduğundan dalga parametrelerinin belirlenmesinde standartlara uygun hazırlanmış bir batimetriye ihtiyaç vardır.

1.6.1 Dalga Sığlaşması

Düzgün taban eğimine sahip (paralel eş derinlik eğrileri) bir kıyı alanında dalga tepe çizgileri taban eş derinlik eğrilerine paralel şekilde (dalga diki eş derinlik eğrilerine dik) kıyıya doğru ilerliyorsa, dalga boyları ve yayılma hızları azalan bu dalgaların yükseklikleri de değişir. Su derinliğinin değişimi ile dalga yüksekliğinin değişimine sığlaşma denir. Düzenli dalgaların yüksekliklerindeki değişim küçük genlikli dalga teorisi ile aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Derin deniz dalga yüksekliğinin su derinliğine bağlı olarak değişmesi, dalga sığlaşma katsayısı (K_s) değeriyle belirtilmektedir.

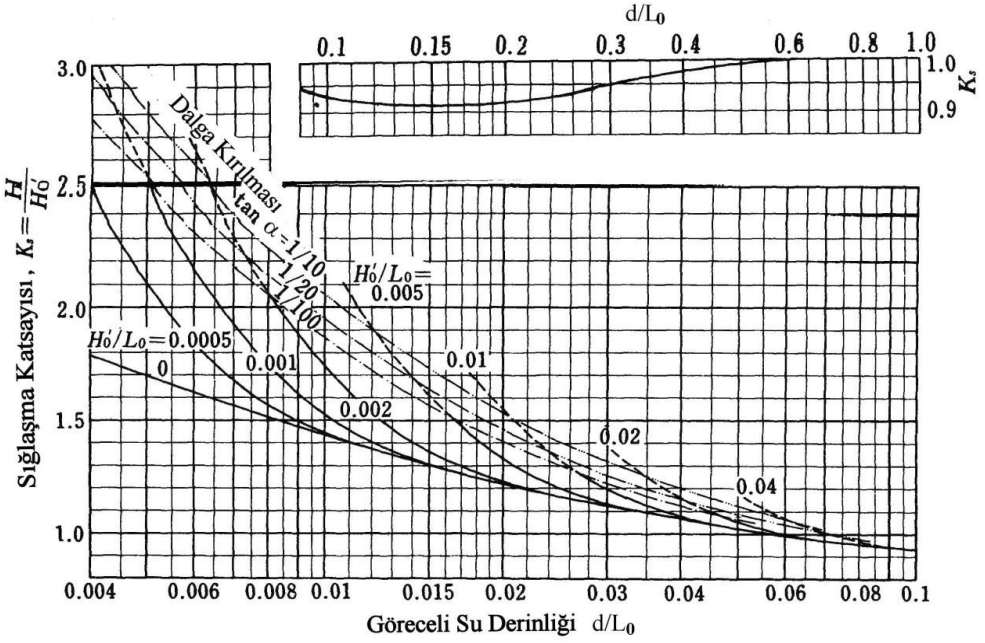
$$K_s = \left(\frac{C_{g0}}{C_g} \right)^{1/2} \tag{1.75}$$

$$H_i = H_0 \, K_s \tag{1.76}$$

C_{g0} : Derin deniz dalga grup hızı (m/s)

C_g : Herhangi bir derinlikteki dalga grup hızı (m/s)

Düzensiz dalga durumunda H_{m0} ve T_p parametreleri ile aynı ifade kullanılabilmektedir. Sığ sulardaki lineer olmayan (non-lineer) dalgalar için sığlaşma katsayısının belirlenmesinde aşağıdaki grafikten yararlanılabilir (Şekil 1.12).



Şekil 1.12 Göreceli su derinliğine bağlı olarak sığlaşma katsayısı (OCDI, 2009)

1.6.2 Dalga Sapması

1.6.2.1 Düzenli Dalgalar Için Sapma Katsayısı Hesaplamaları

Kıyıya belli bir açı altında yaklaşan dalgaların, kıyıya yakın taraflarının tabandan daha önce etkilenerek yavaşlamaları nedeniyle dönerek eş derinlik eğrilerine (batimetri çizgileri) paralel duruma gelmeleri olayına sapma adı verilir.

Dalga sapmasının uygulamadaki önemli iki sonucu ;

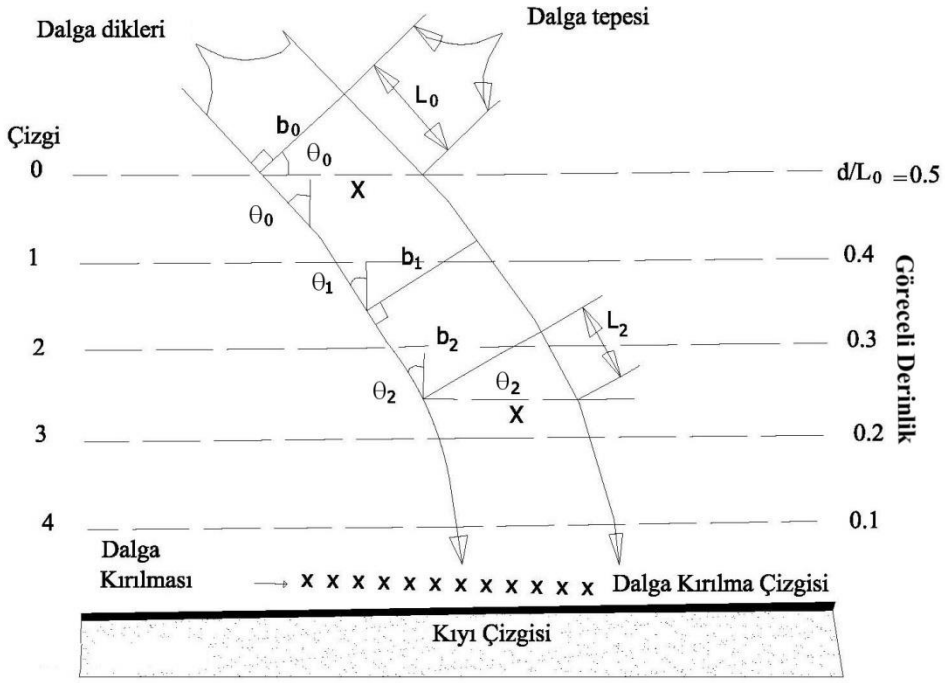
1. Derin denizdeki dalga yaklaşım açısının kıyı alanında değişmesine neden olmaktadır.

2. Batimetri ve dalga sapmasına bağlı olarak, dalga yükseklikleri derin deniz değerinden önemli ölçüde daha büyük ya da daha küçük olabilmektedir.

Düzenli dalgalar için yapılan sapma hesaplamalarında; bilgisayar kullanımı gerektiren dalga ışını yöntemleri ya da sonlu farklar yönteminin bilgisayar kullanılarak çözülen sayısal dalga ilerleme analiz yöntemleri kullanılabilir.

Derin denizden kıyıya doğru ilerleyen dalgalar için dalga sapması denklemleri dalga tepe çizgilerine dik olarak çizilen ve referans olarak alınan (1) ve (2) dalga dikleri arasındaki mesafeler b_0 (derin deniz) ve b (d derinliğinde) alınarak çıkarılmıştır (Şekil 1.13).

θ_0 : Derin su dalga tepelerinin batimetri (eş derinlik eğrisi) ile yaptığı açı
L_0 : Derin deniz dalga boyu
θ_1 : Sığ su dalga tepelerinin batimetri (eş derinlik eğrisi) ile yaptığı açı



Şekil 1.13 Dalga sapma şeması (Düzgün taban eğimi için)

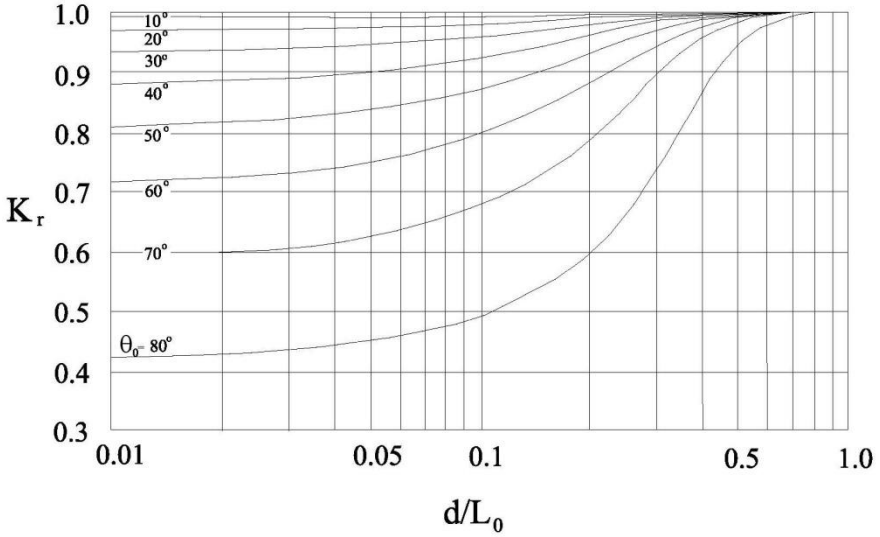
Düzgün taban eğimi için sapma katsayısı (K_r) denklem (1.77)'de verilmiştir.

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b_1}} = \sqrt{\frac{\cos\theta_0}{\cos\theta_1}} = \left(\frac{1-\sin^2\theta_0}{1-\sin^2\theta_1}\right)^{1/4} \qquad (1.77)$$

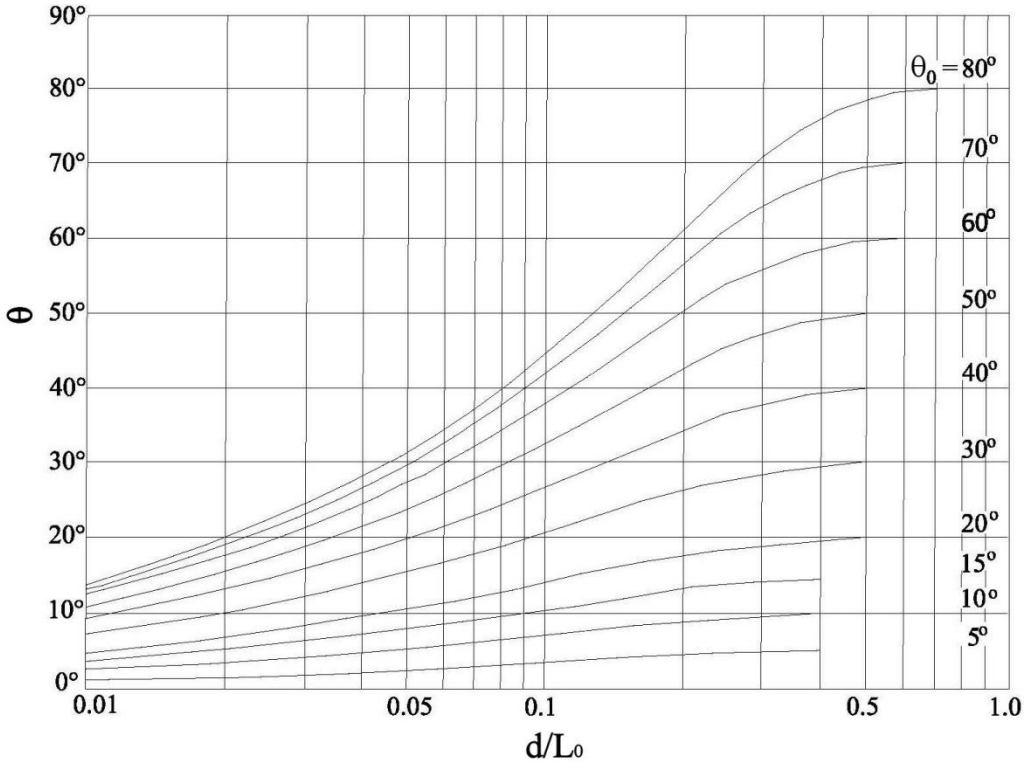
Dalga sapmasında geliş açılarının değişimi için Snell Yasası kullanılmaktadır.

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_0} = \frac{L_1}{L_0} = \frac{C_1}{C_0} = \tanh kd_1 \qquad (1.78)$$

Şekil 1.14 ve Şekil 1.15 düzenli dalgalar ve düzgün taban eğimi için sapma katsayılarını ve dalga yönlerini vermektedir.



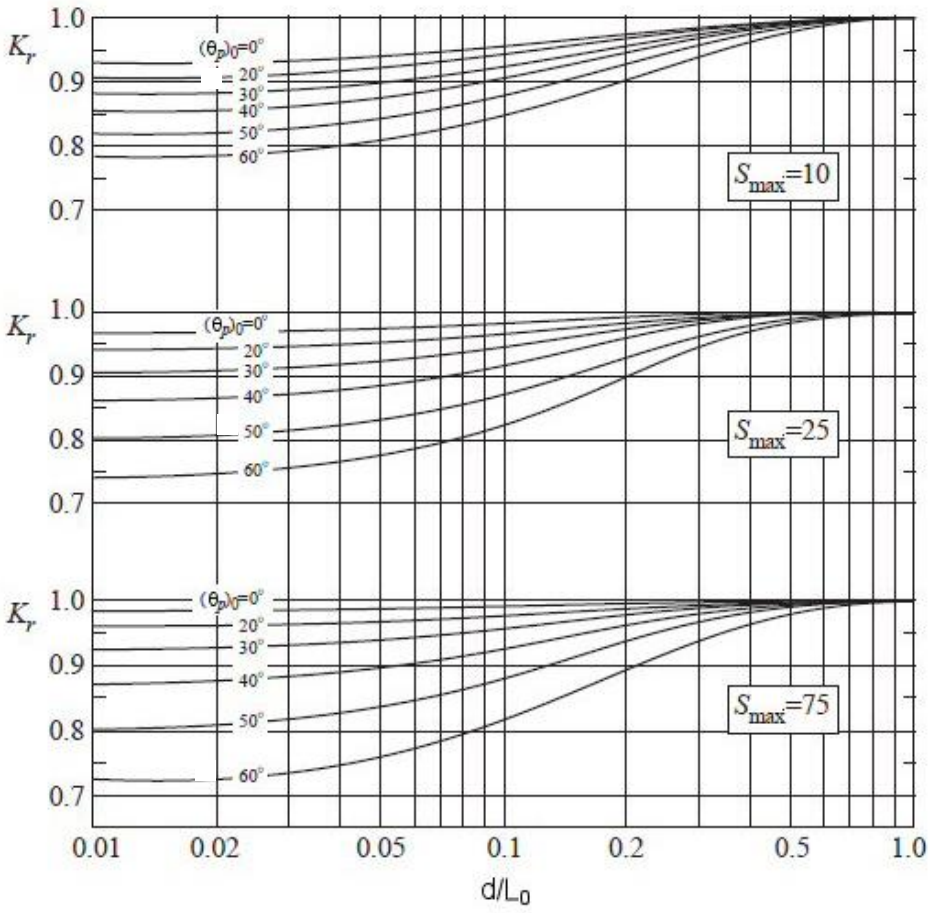
Şekil 1.14 Düzgün taban eğimi ve düzenli dalgalar için sapma katsayısı (OCDI, 2009)



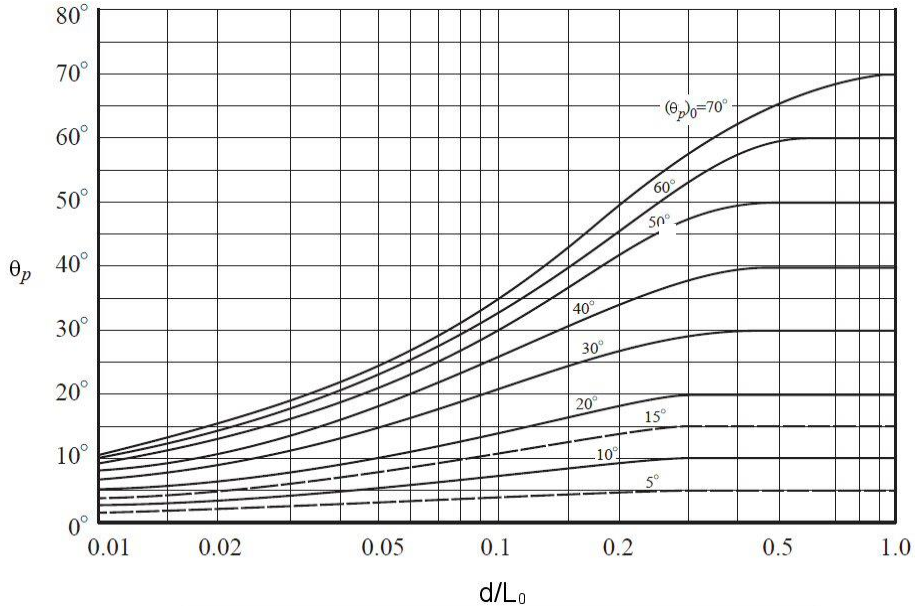
Şekil 1.15 Dalga geliş açısının göreceli derinliğe göre değişimi (Düzenli dalgalar, düzgün taban eğimi için) (OCDI, 2009)

1.6.2.2 Düzensiz Dalgalar İçin Sapma Katsayısı Hesaplamaları

Şekil 1.16 ve Şekil 1.17 sırasıyla doğrusal ve paralel batimetriye sahip kıyılarda ilerleyen düzensiz dalgalar için sapma katsayısı (K_r) ile etkin dalga yönünün (θ_{p0}) değişimini vermektedir. Burada S_{maks} dalga enerjisinin yönsel dağılımının derecesini ifade etmektedir (bkz. Bölüm 1.4.1.3).



Şekil 1.16 Doğrusal ve paralel batimetriye sahip kıyılarda düzensiz dalgalar için sapma katsayısı (OCDI, 2009)



Şekil 1.17 Doğrusal ve paralel batimetriye sahip kıyılarda düzensiz dalgalar için etkin dalga yönünün değişimi (OCDI, 2009)

1.6.3 Dalga Dönmesi

Dalgalar derin sulardan sığ sulara ilerlerken bir dalgakıran veya ada ya da burun gibi bir engelle karşılaştığında dalgaların yüksekliklerinde değişiklik meydana gelir. Bu durum dalga

dönmesi olarak adlandırılır. Dönme, liman içindeki dalga yüksekliğini etkileyen en önemli parametredir. Dönen dalganın yüksekliğinin (H_d), gelen dalganın yüksekliğine (H_i) oranı dönme katsayısı (K_d) olarak isimlendirilir.

$$K_d = \frac{H_d}{H_i} \qquad (1.79)$$

Dönme diyagramlarında ve hesap yöntemlerinde su derinliğinin liman içinde sabit olduğu kabul edilir. Liman içi su derinliklerindeki değişim büyükse, bu durumda liman içindeki dalga yüksekliğinin hesaplanabilmesi için sapmayı da göz önünde bulunduran fiziksel modellerin ya da sayısal modellerin kullanılması gerekmektedir.

Tasarımda genellikle düzensiz dalgalar kullanılacağından aşağıda düzensiz dalgalar için dönme diyagramları verilmiştir.

Şekil 1.18, Şekil 1.19 ve Şekil 1.20 yarı sonsuz bir dalgakırana etkiyen düzensiz dalgaların yönsel yayılma parametreleri S_{maks}=10, 25 ve 75 için belirlenen dönme diyagramlarını göstermektedir. Bu diyagramlarda dalga diki (ortogonal) dalgakıran eksenine 90° açı ile gelmektedir. Düzensiz dalgalar için verilen dönme diyagramları hem dönme katsayılarını (K_d) hem de periyot oranlarını içermektedir. Periyot oranları kesikli çizgilerle gösterilmektedir. Dalgaların dalgakırana 90°'den farklı bir açı ile gelmesi durumunda aynı grafikler yine kullanılmakta ancak dalga doğrultusu ile koordinat eksenleri orijinal konumlarında tutulmak üzere dalgakıran aksı döndürülerek işlemler yapılmaktadır. Fakat bu yöntem dalga yaklaşım açısının ± 45°'yi aşması durumunda sağlıklı sonuçlar vermemekte, problem oluşmaktadır.

Bu diyagramlarda kullanılan boyutsuz parametreler:

$\frac{x}{L}$: Dalgakıran kafasından gövde boyunca yerleştirilen yatay eksen / Liman girişindeki dalga boyu

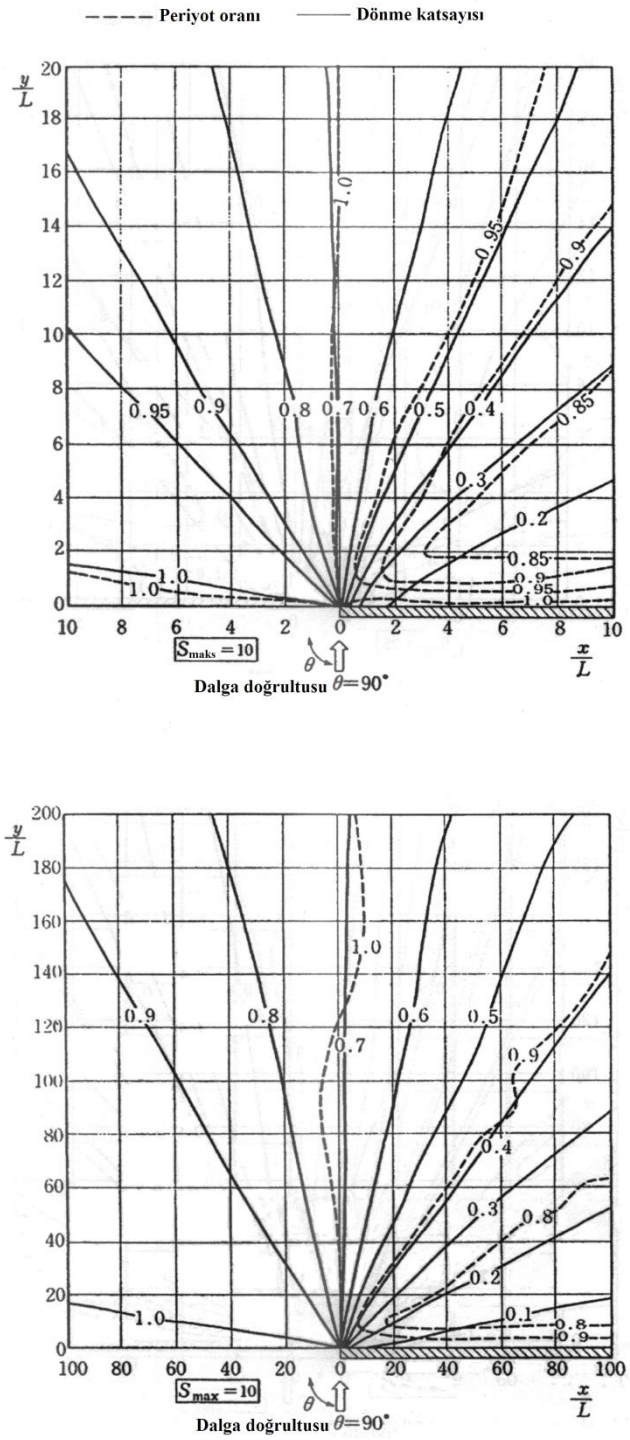
$\frac{y}{L}$: Dalgakıran kafasından dalgakıran gövdesine yerleştirilen dik eksen/Liman girişindeki dalga boyu

Ardışık iki dalgakıran arasından limana girecek dalgaların dönme hesapları için Şekil 1.21-1.32 kullanılacaktır. Ardışık iki dalgakıran olması durumunda, iki dalgakıran kafası arasındaki liman girişi genişliği B olarak tanımlanır. Şekil 1.21–1.32 ardışık iki dalgakıran arasındaki açıklığa, dalga diki ile dalgakıran arasındaki açı 90° olacak şekilde yaklaşan düzensiz dalgalar durumunda farklı B/L oranları ve S_{maks} (10, 25 ve 75) değerleri için K_d katsayılarını vermektedir. Dağılım simetrik olduğu için tek yönde verilmiştir. Grafiklerin sağındaki eğriler dönme katsayılarını, solundaki eğriler ise periyot oranlarını göstermektedir. Farklı yaklaşım açıları ile gelen dalgaların dönme grafikleri (B/L=1) ise Şekil 1.33-1.38'de verilmiştir. Bu şekillerde;

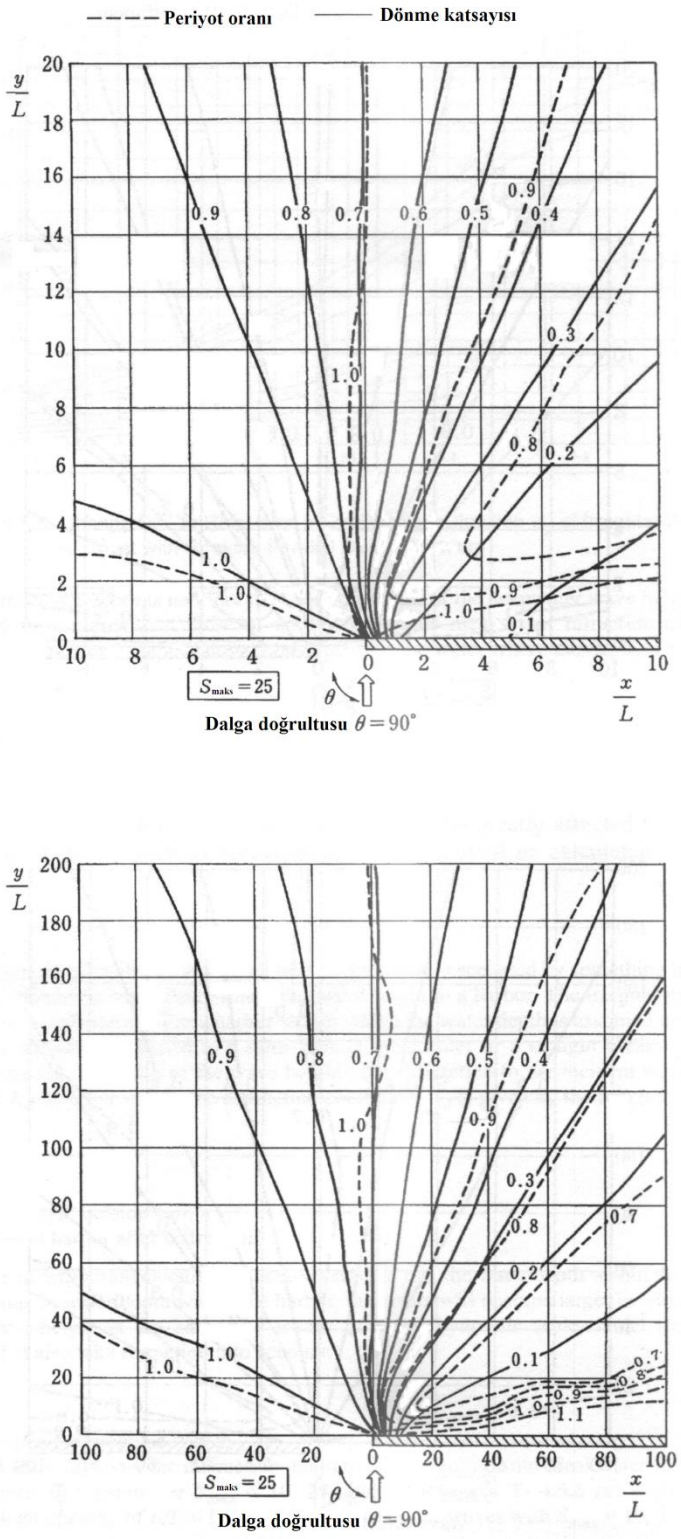
$\frac{B}{L}$: Liman girişi açıklığı / Liman girişindeki dalga boyu

$\frac{x}{L}$: Liman girişinin orta noktasından dalgakıran boyunca yerleştirilen yatay eksen / Liman girişindeki dalga boyu

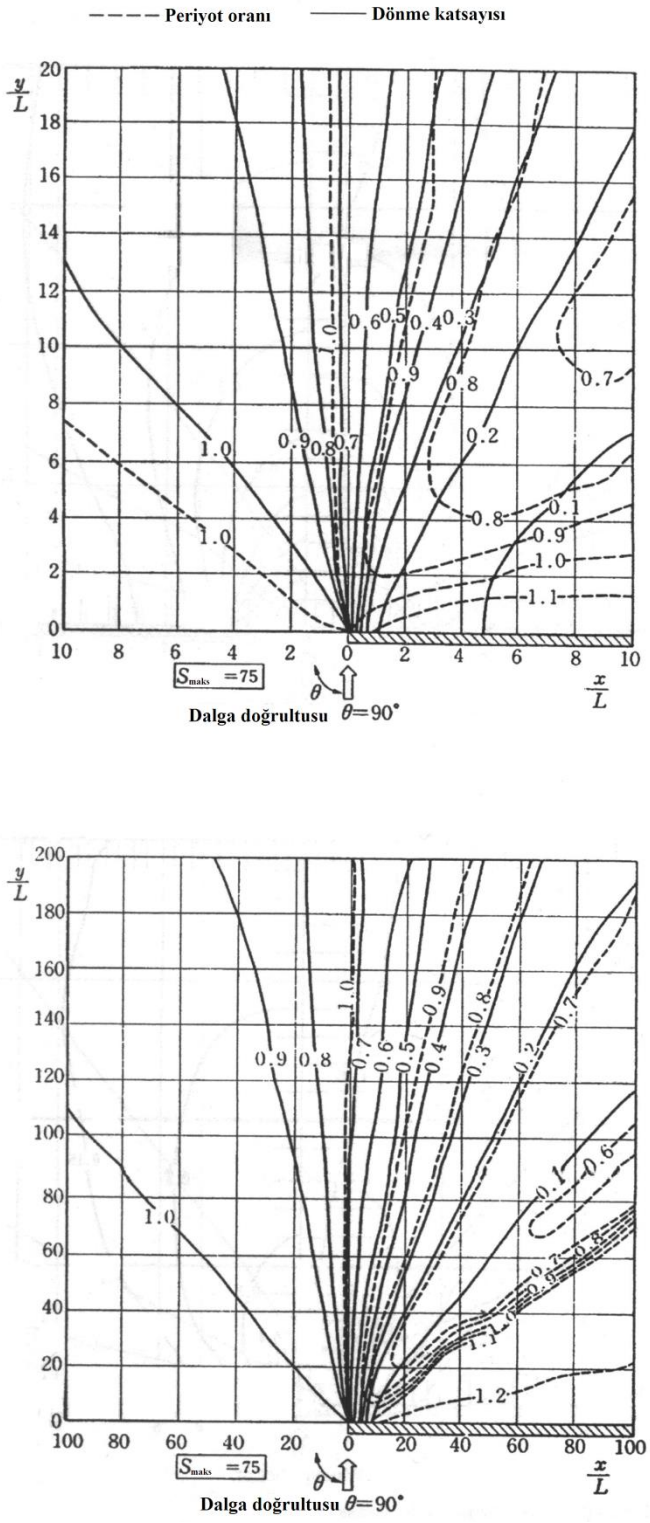
$\frac{y}{L}$: Liman girişinin orta noktasından dalgakıran eksenine dik yerleştirilen dikey eksen / Liman girişindeki dalga boyu



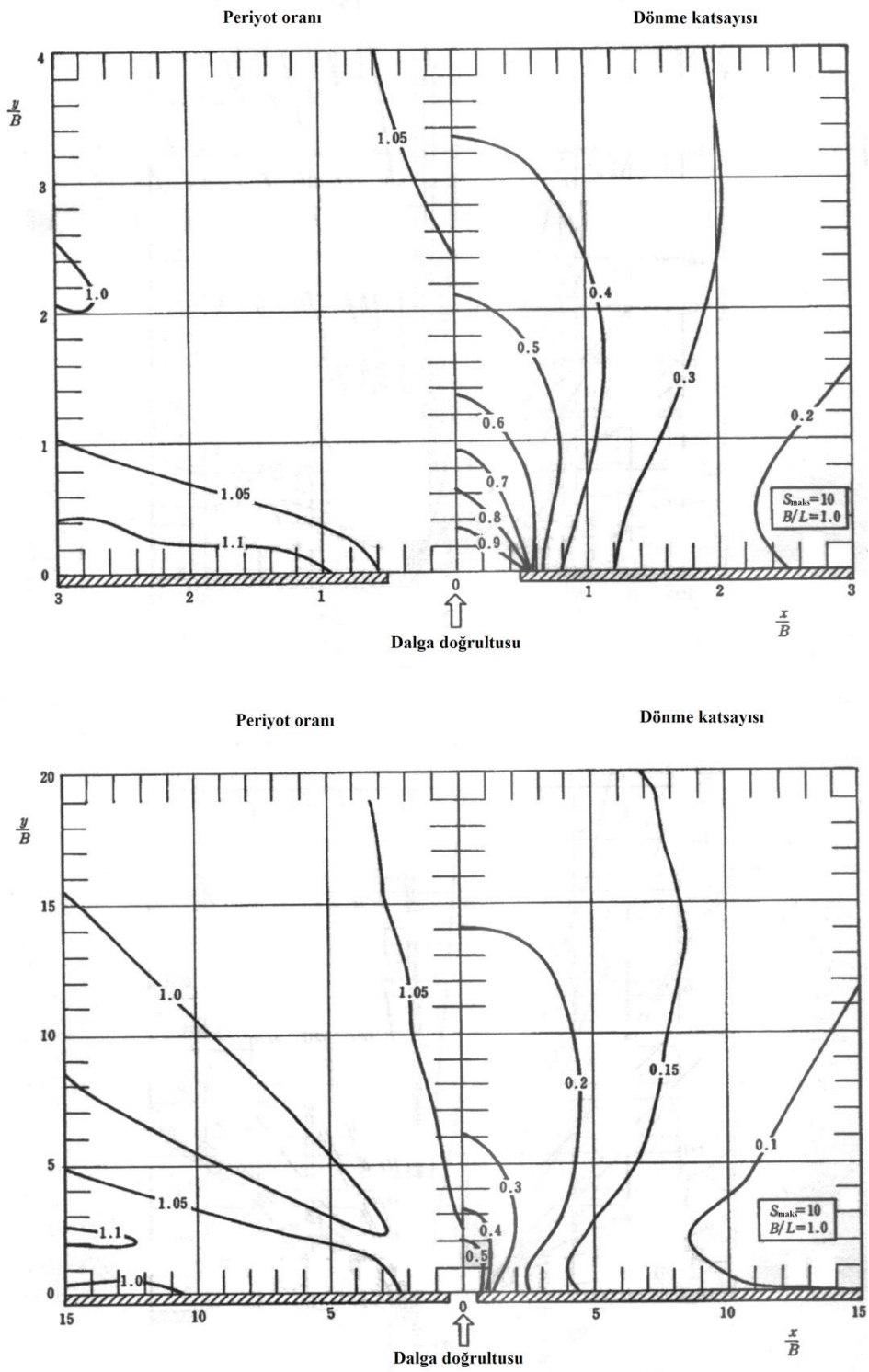
Şekil 1.18 Yarı sonsuz dalgakıranın S_{maks}=10 için dönme diyagramları (OCDI, 2002)



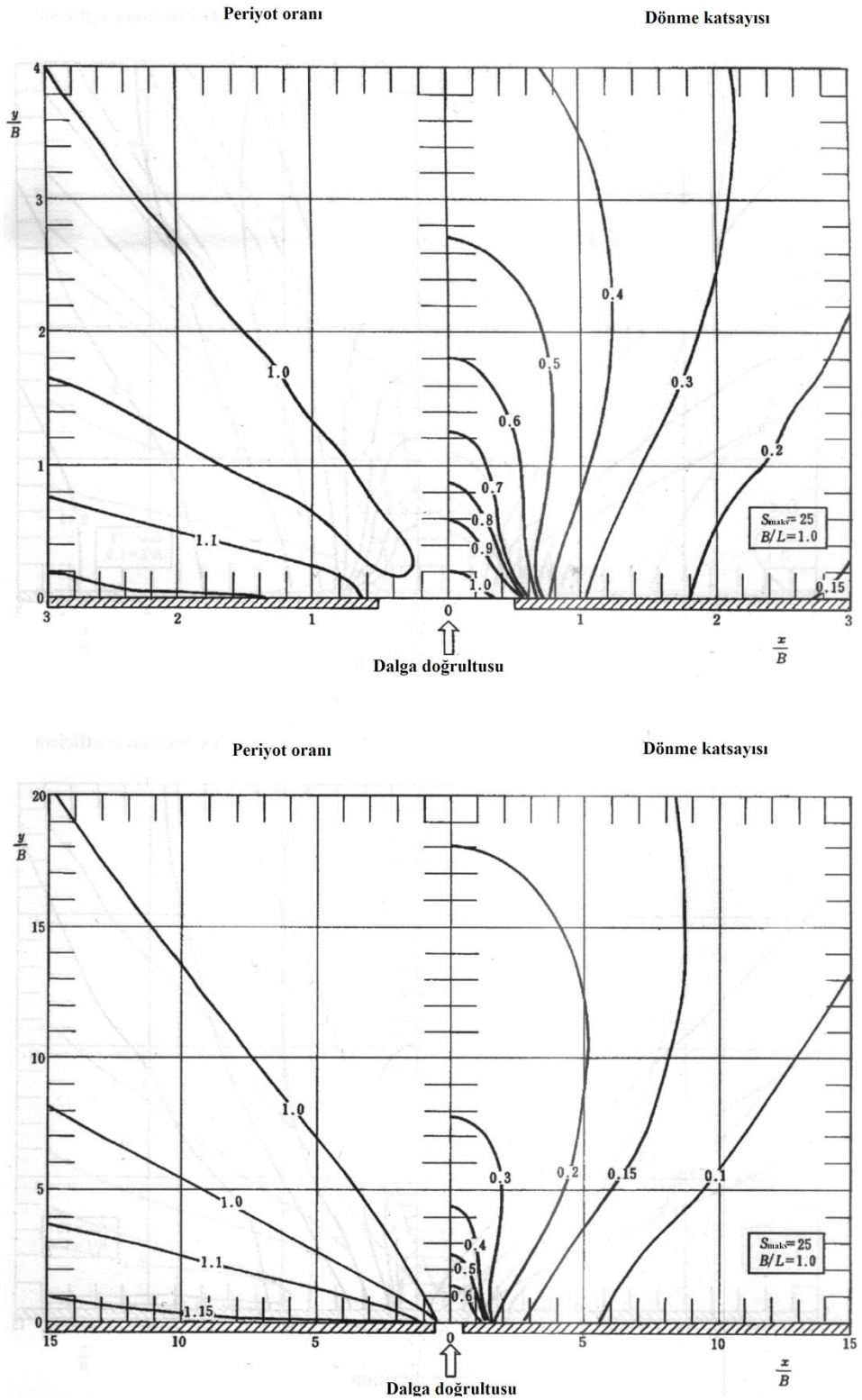
Şekil 1.19 Yarı sonsuz dalgakıranın S_{maks} =25 için dönme diyagramları (OCDI, 2002)



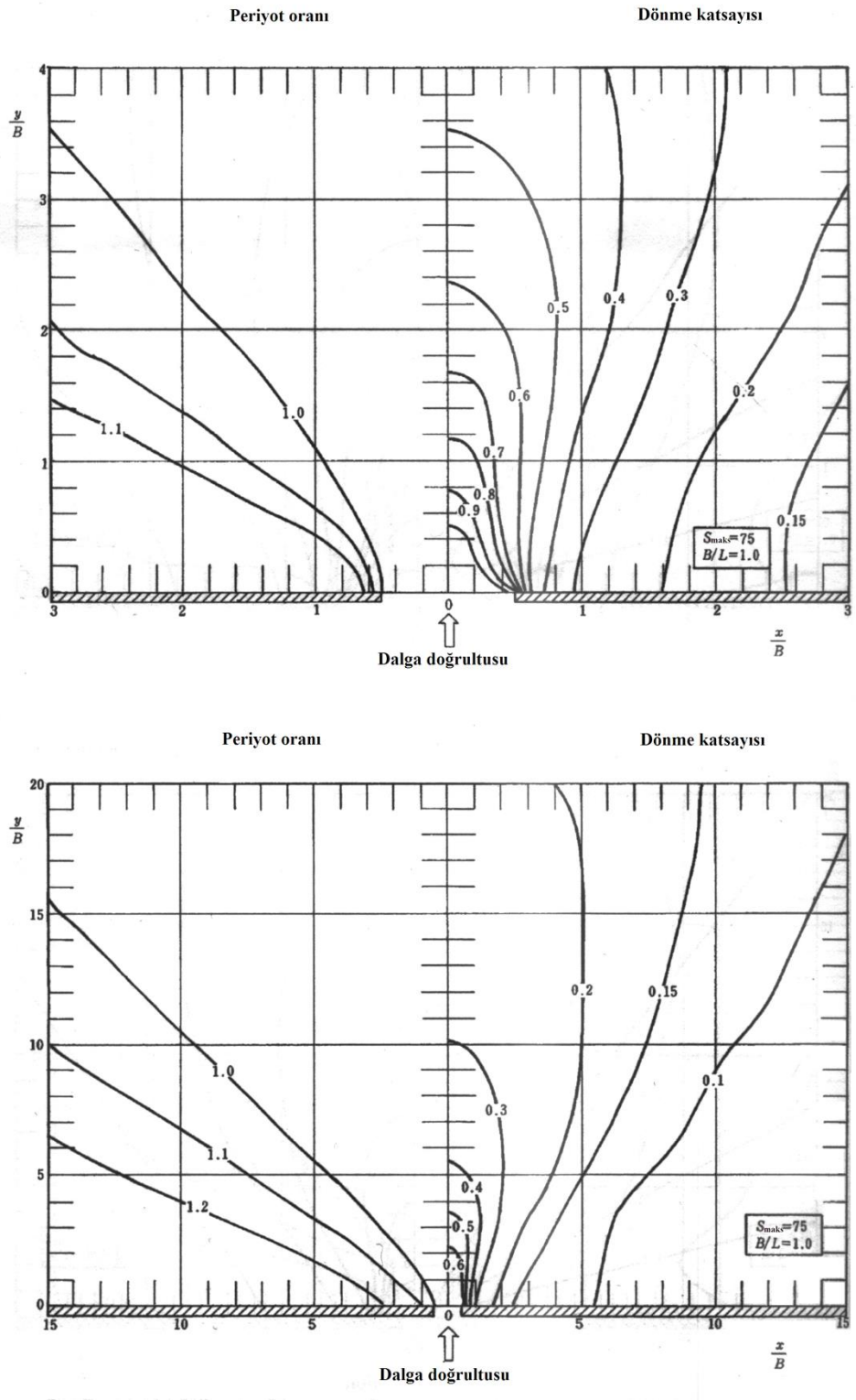
Şekil 1.20 Yarı sonsuz dalgakıranın S_{maks} =75 için dönme diyagramları (OCDI, 2002)



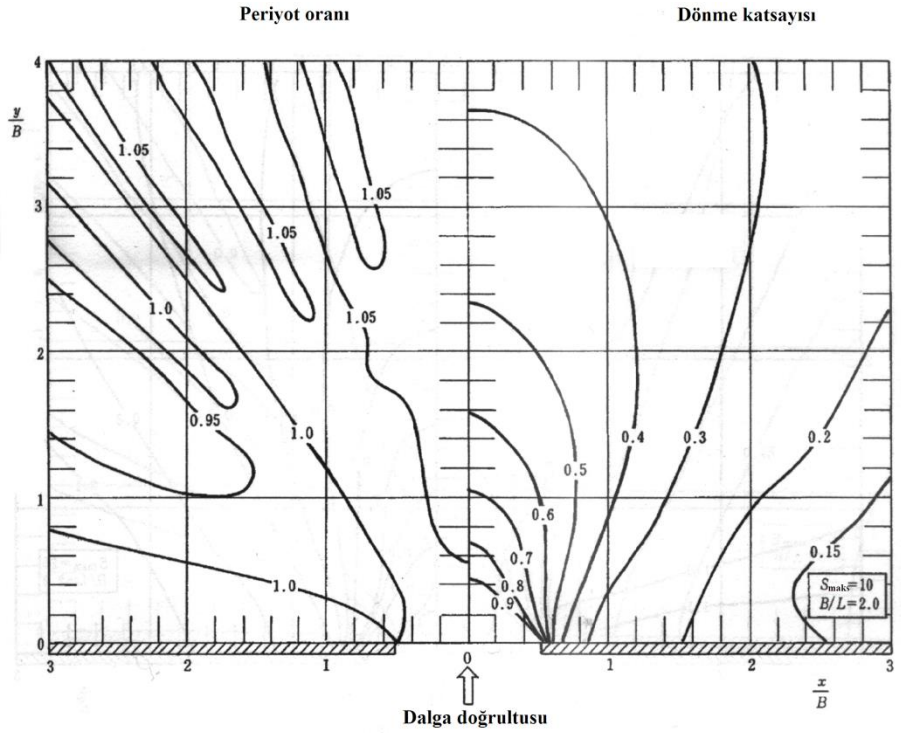
Şekil 1.21 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=1.0 ve S_{maks}=10 değeri için dönme diyagramları (OCDI, 2002)

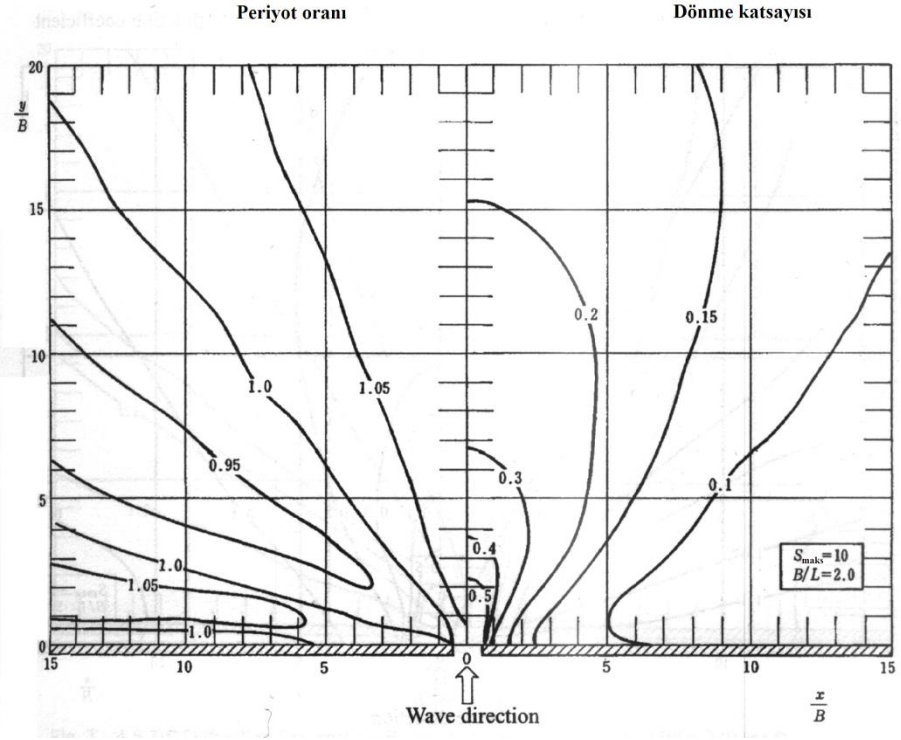


Şekil 1.22 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=1.0 ve S_{maks}=25 değeri için dönme diyagramları (OCDI, 2002)

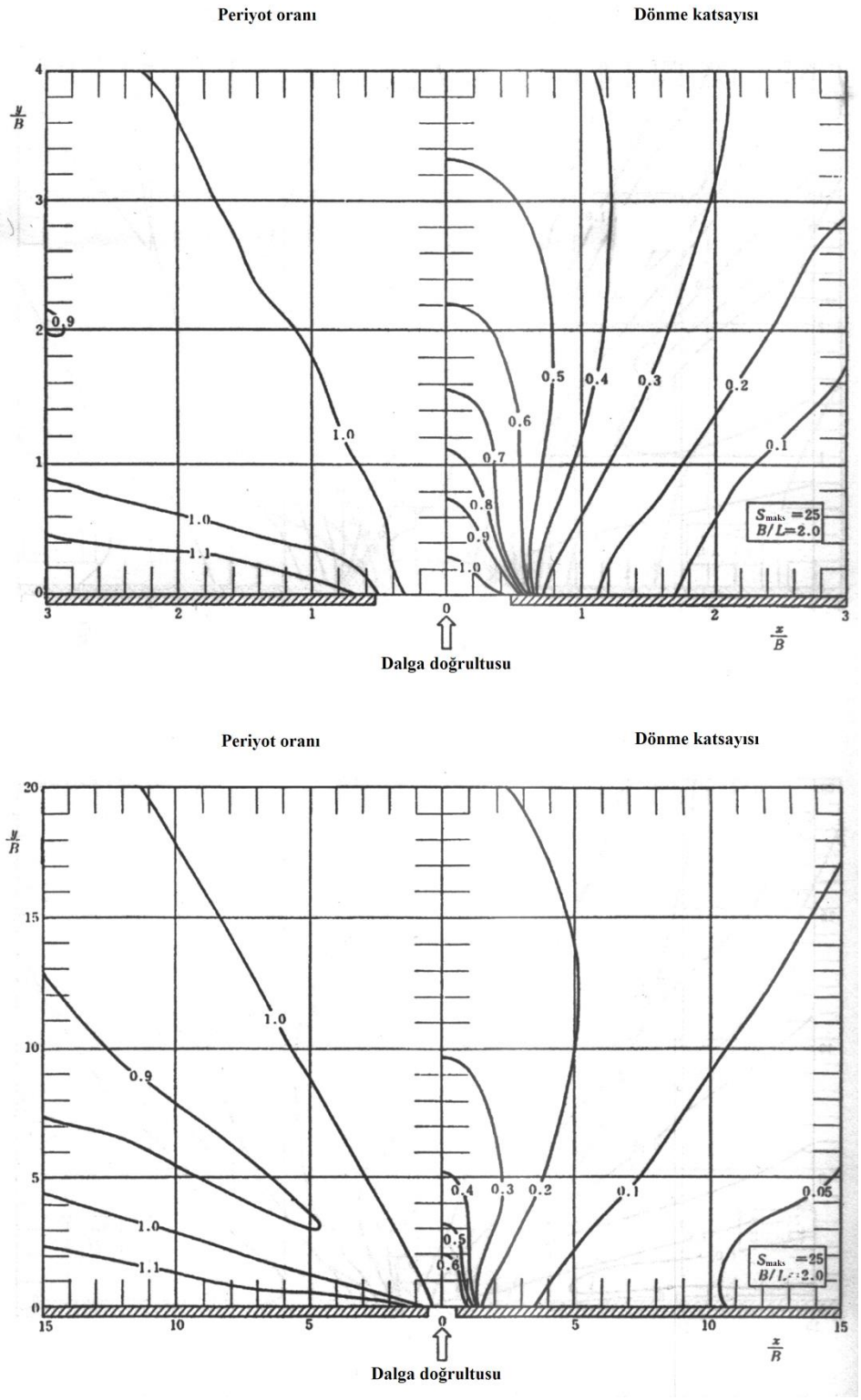


Şekil 1.23 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=1.0 ve S_{maks}=75 değeri için dönme diyagramları (OCDI, 2002)

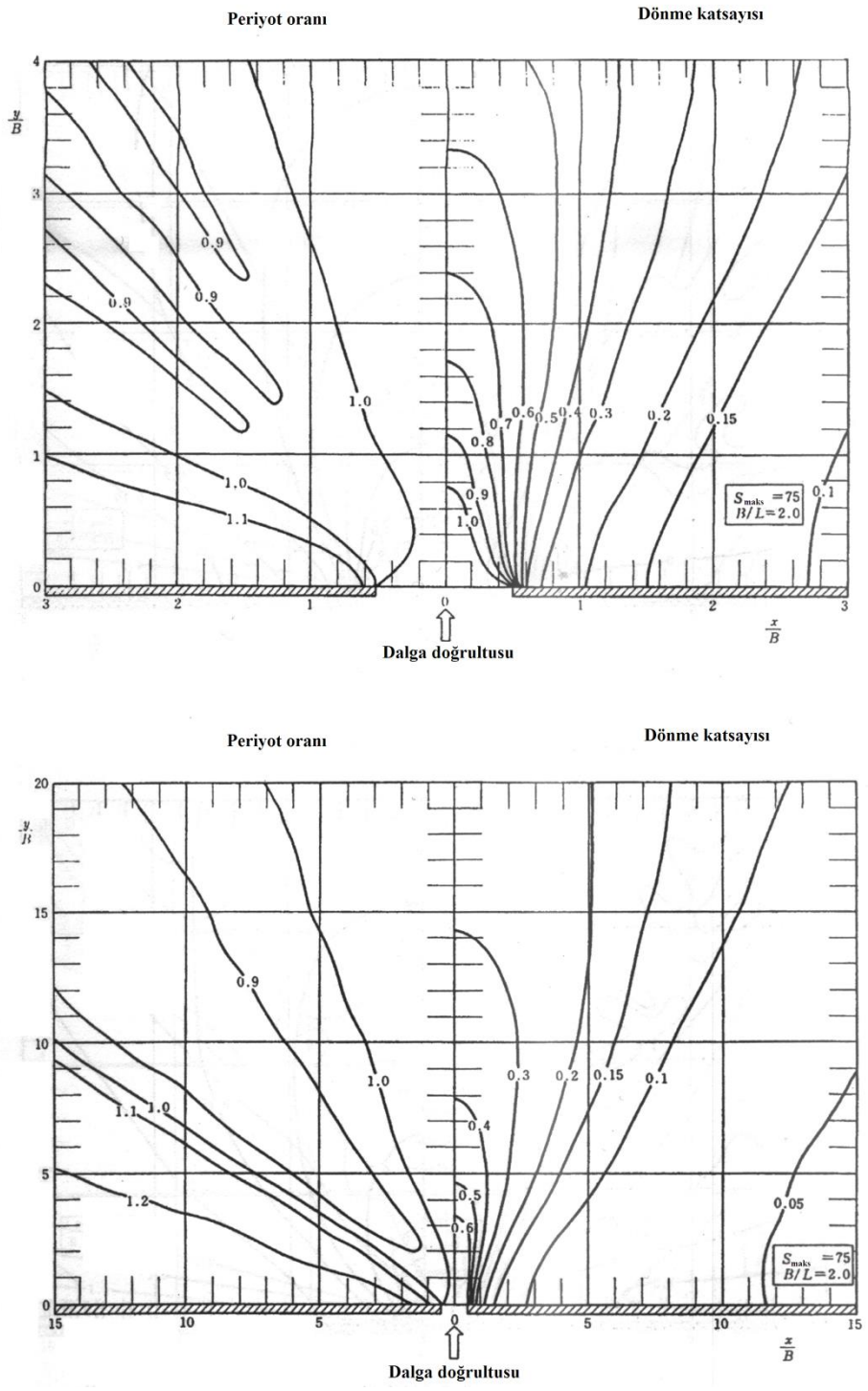




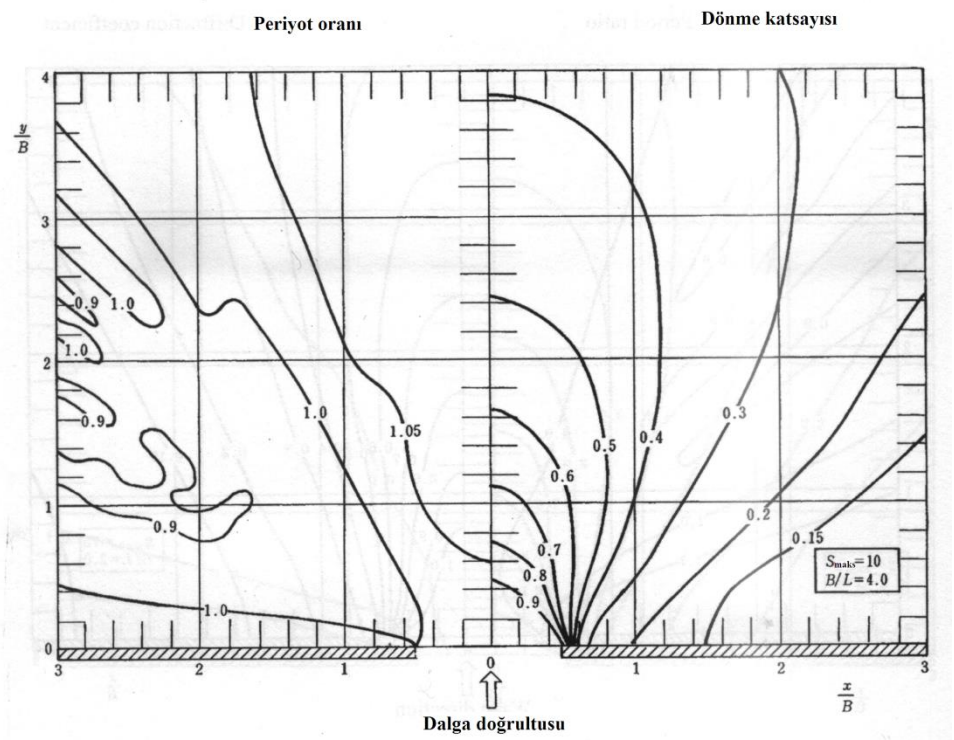
Şekil 1.24 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=2.0 ve S_{maks}=10 değeri için dönme diyagramları (OCDI, 2002)

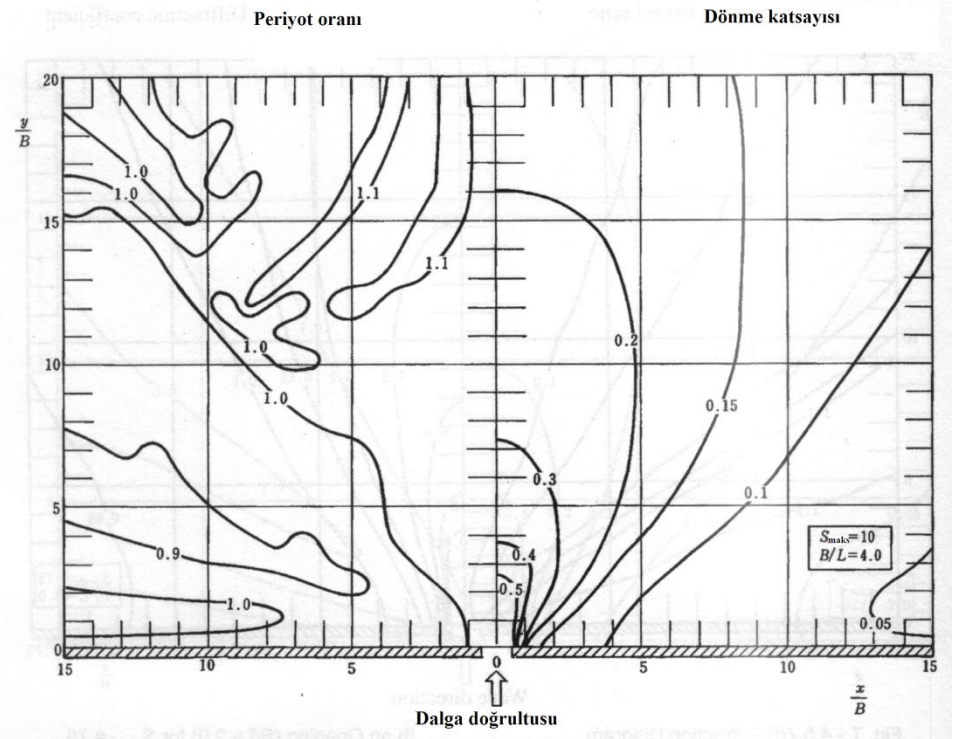


Şekil 1.25 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=2.0 ve S_{maks}=25 değeri için dönme diyagramları (OCDI, 2002)

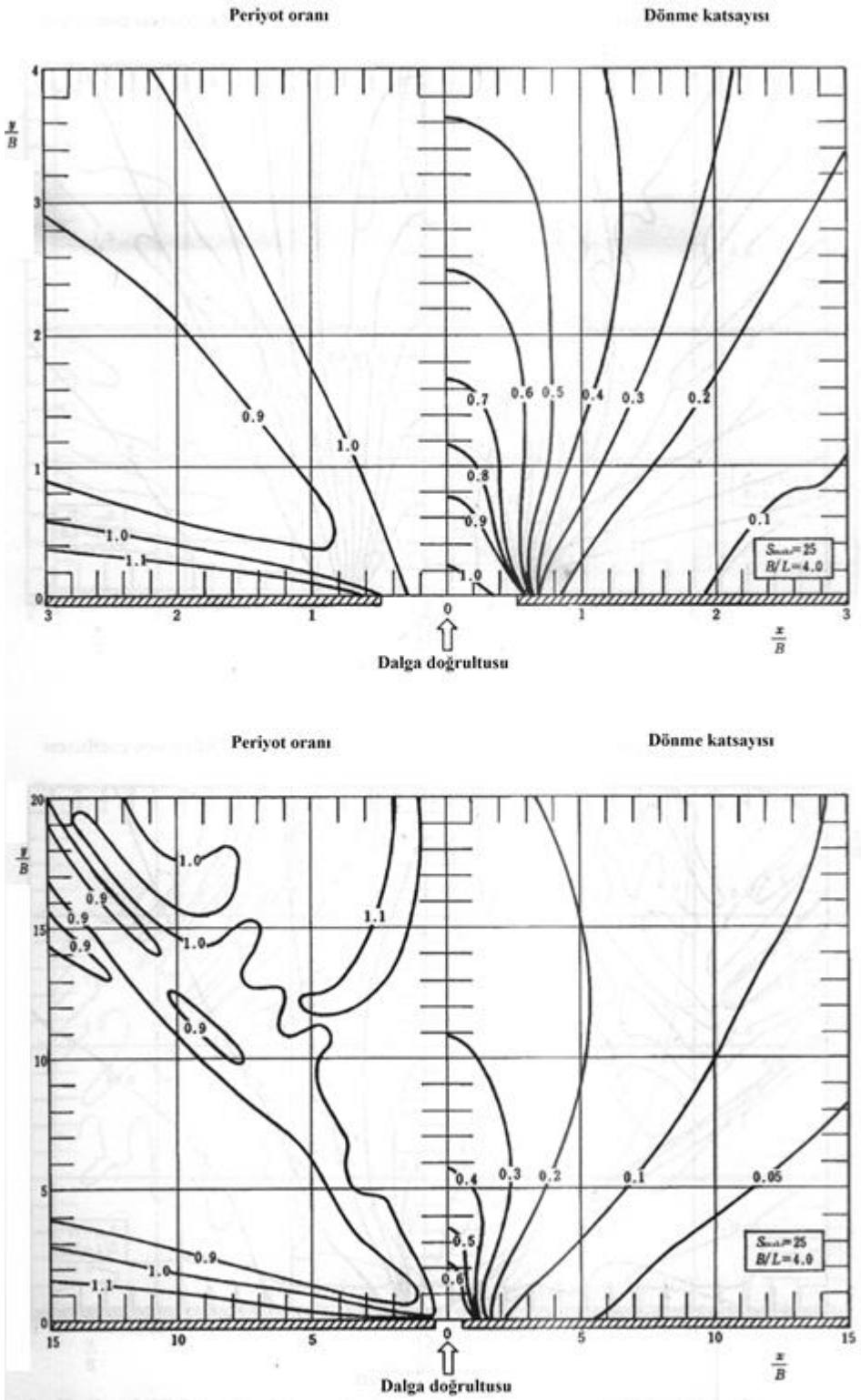


Şekil 1.26 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=2.0 ve S_{maks}=75 değeri için dönme diyagramları (OCDI, 2002)

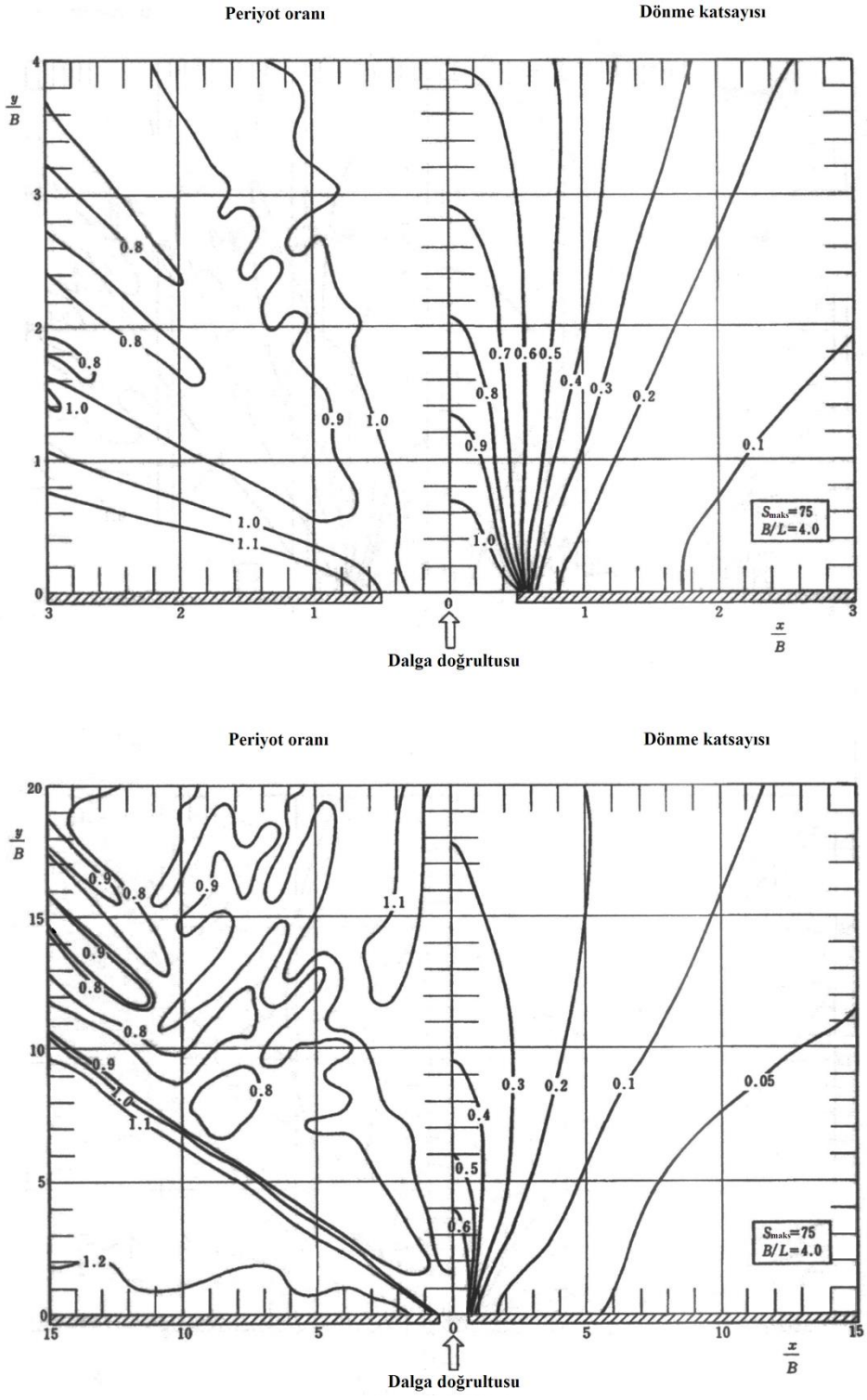




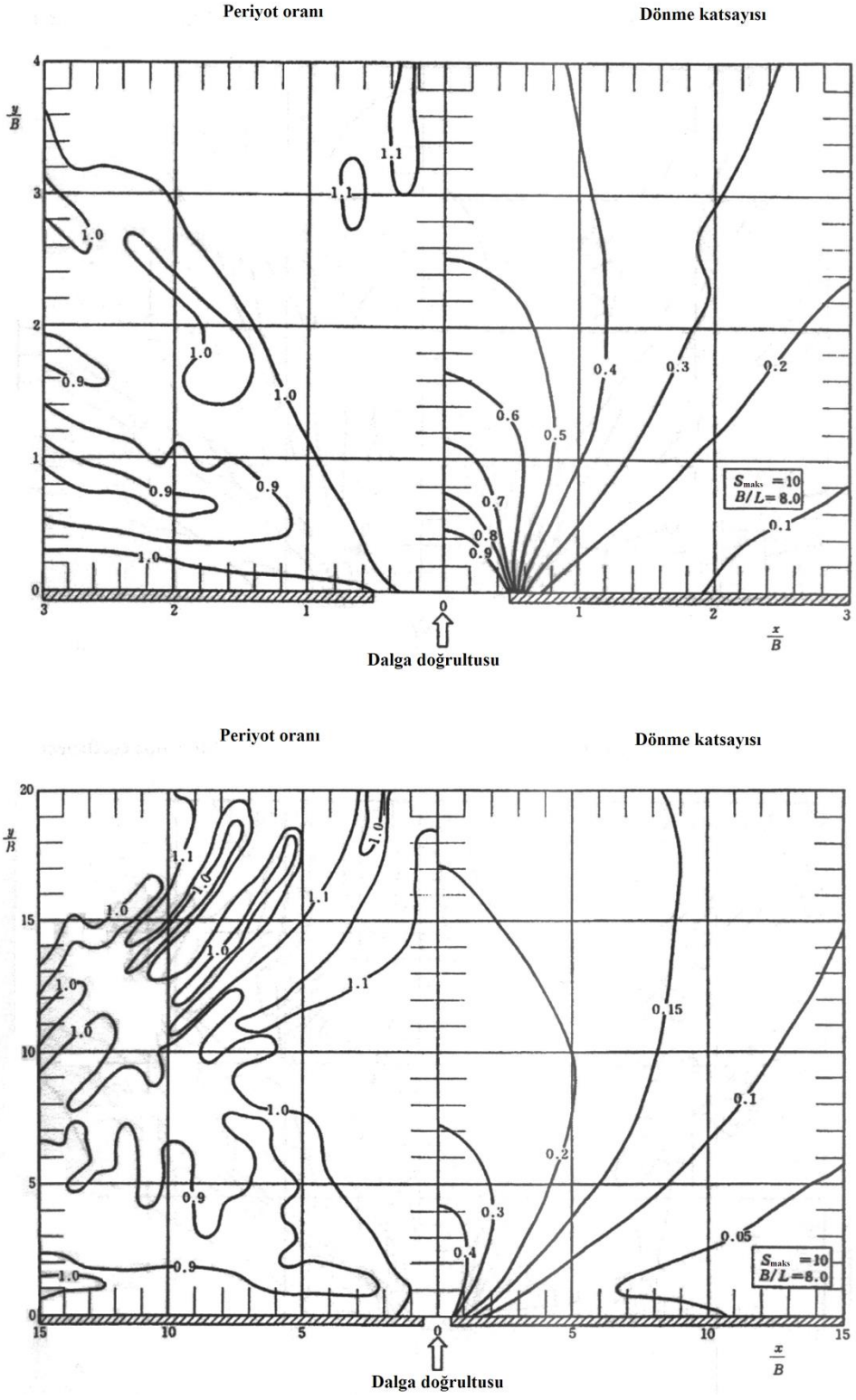
Şekil 1.27 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=4.0 ve S_{maks}=10 değeri için dönme diyagramları (OCDI, 2002)



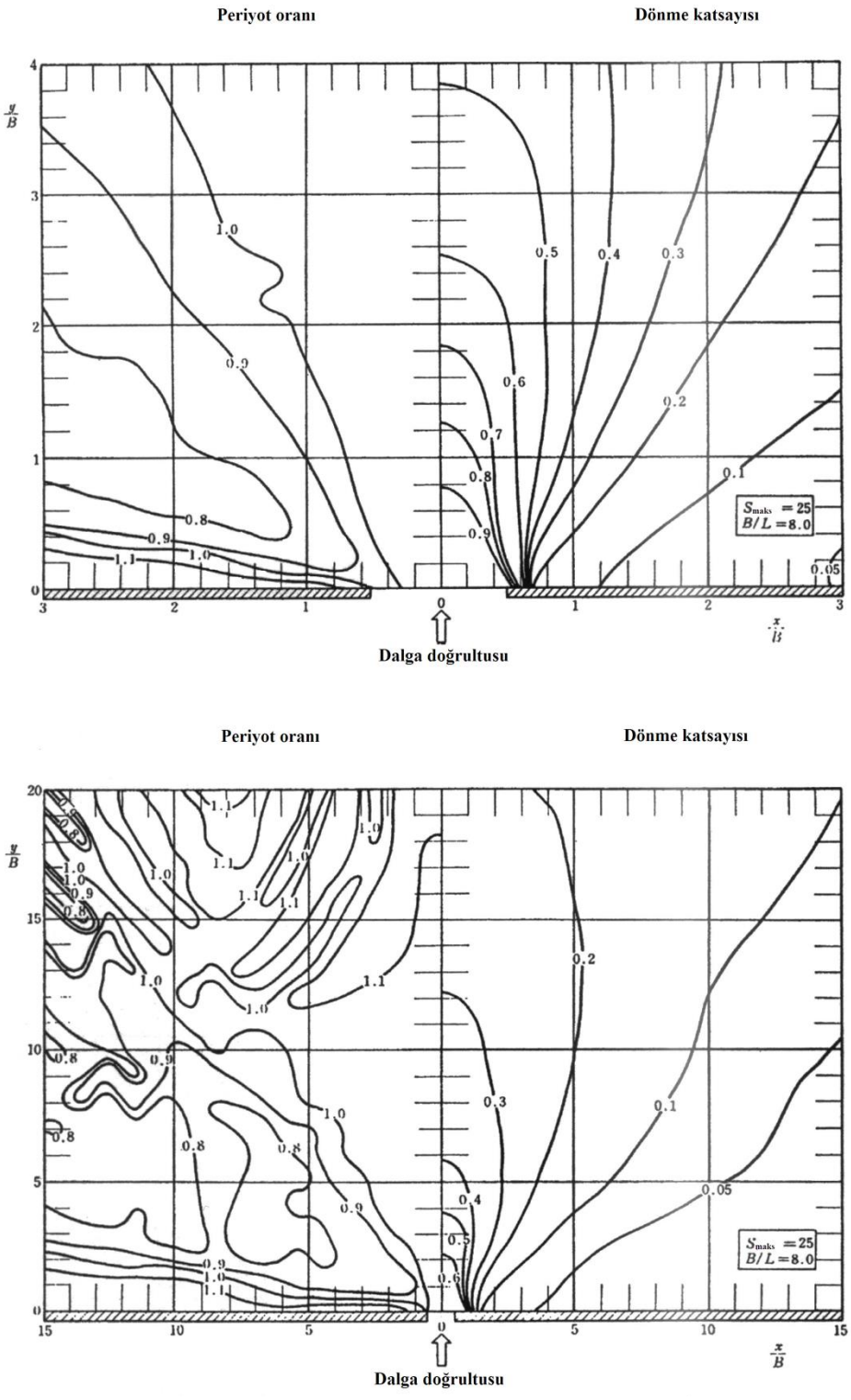
Şekil 1.28 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=4.0 ve S_{maks}=25 değeri için dönme diyagramları (OCDI, 2002)



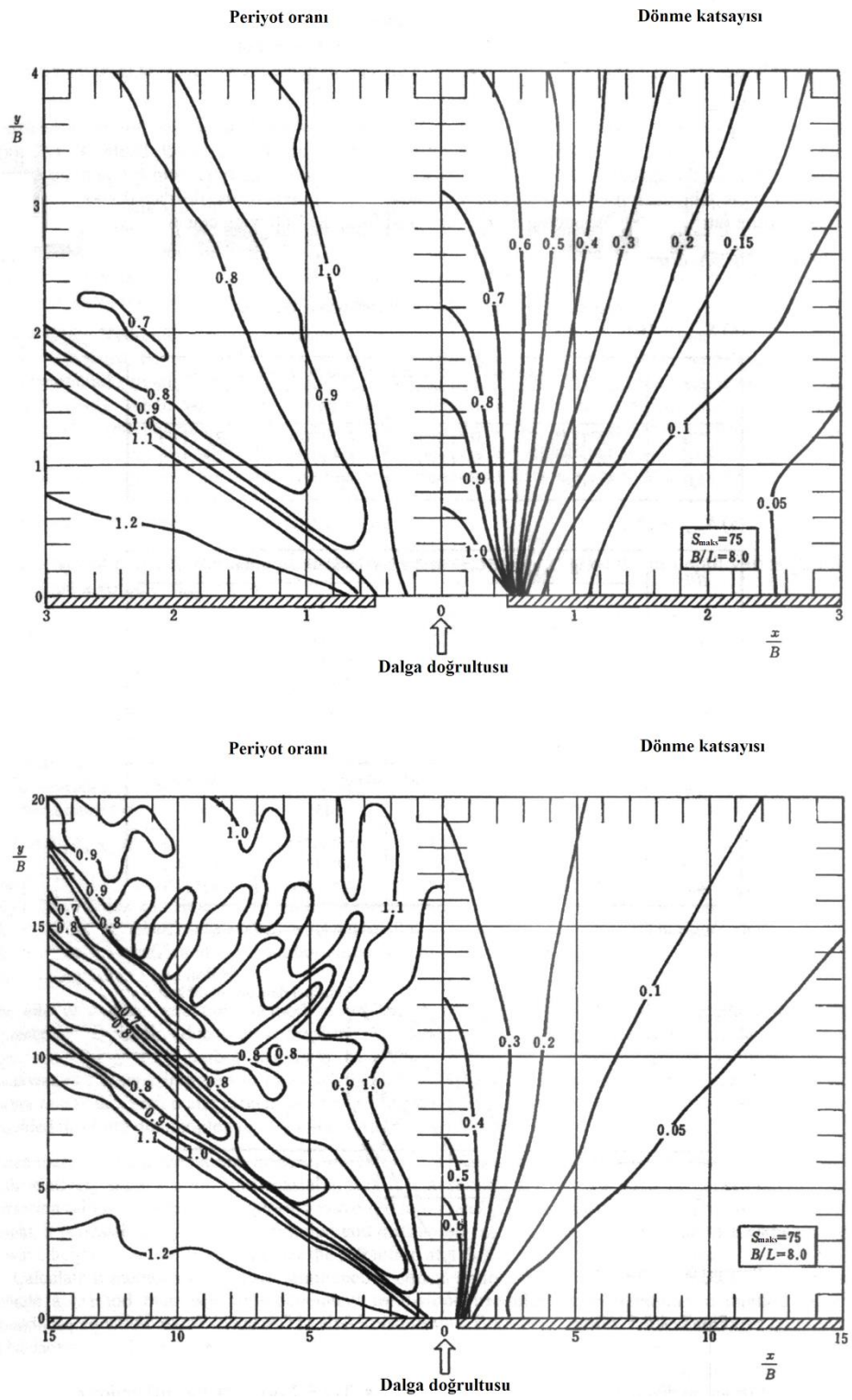
Şekil 1.29 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=4.0 ve S_{maks}=75 değeri için dönme diyagramları (OCDI, 2002)



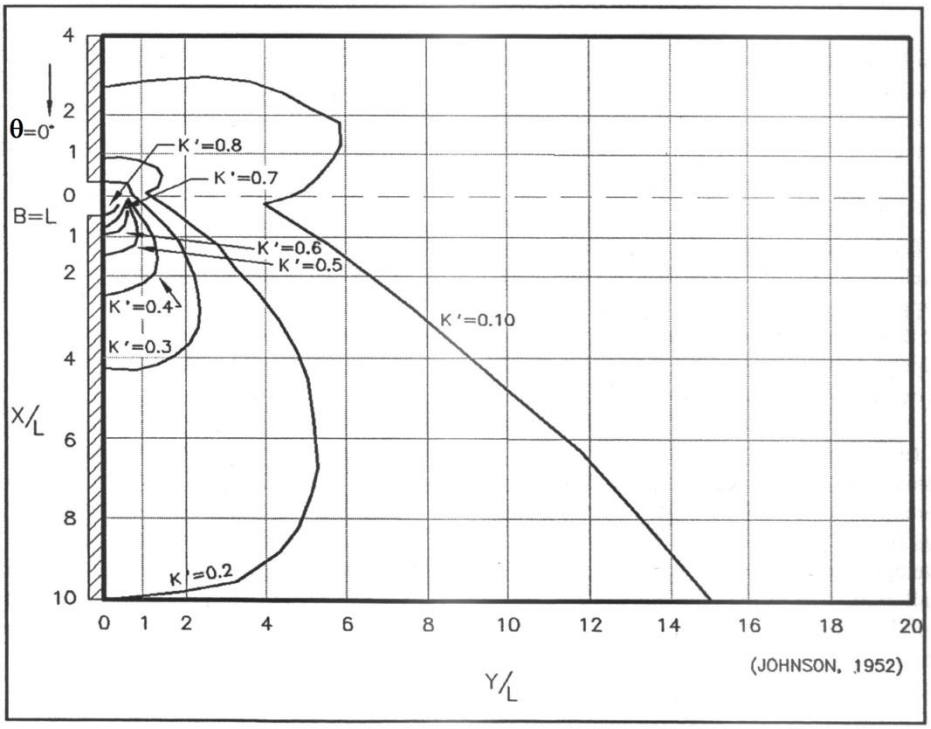
Şekil 1.30 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=8.0 ve S_{maks}=10 değeri için dönme diyagramları (OCDI, 2002)



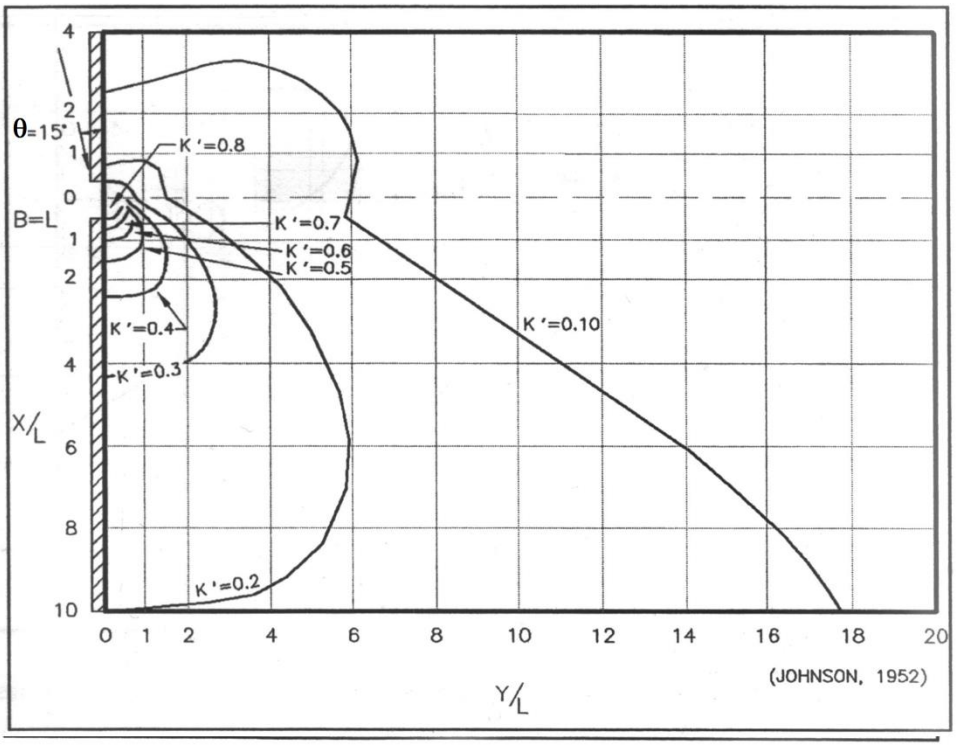
Şekil 1.31 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=8.0 ve S_{maks}=25 değeri için dönme diyagramları (OCDI, 2002)



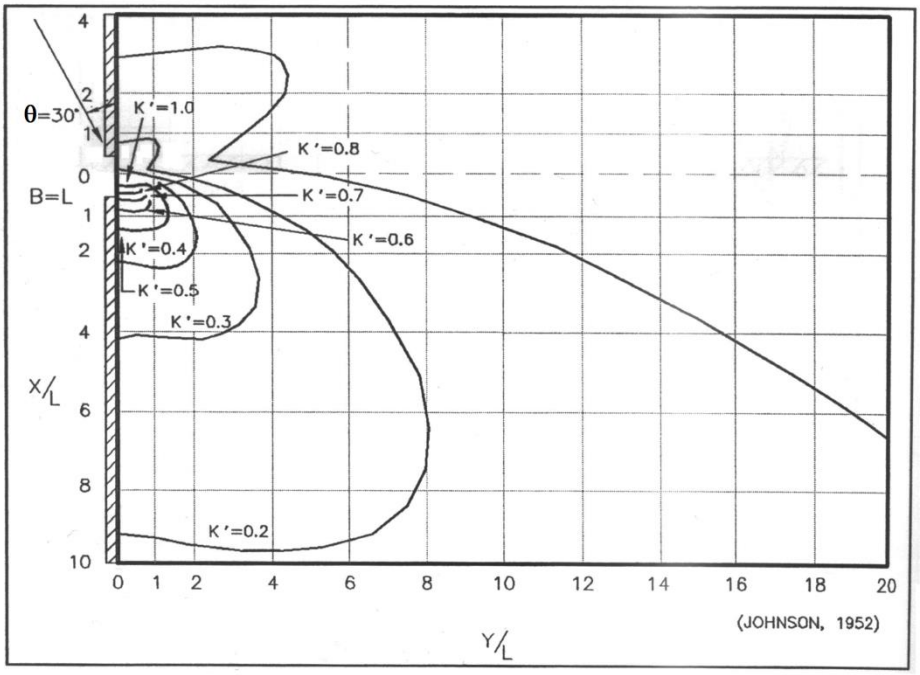
Şekil 1.32 Dalgakıranların açıklık oranı B/L=8.0 ve S_{maks}=75 değeri için dönme diyagramları (OCDI, 2002)



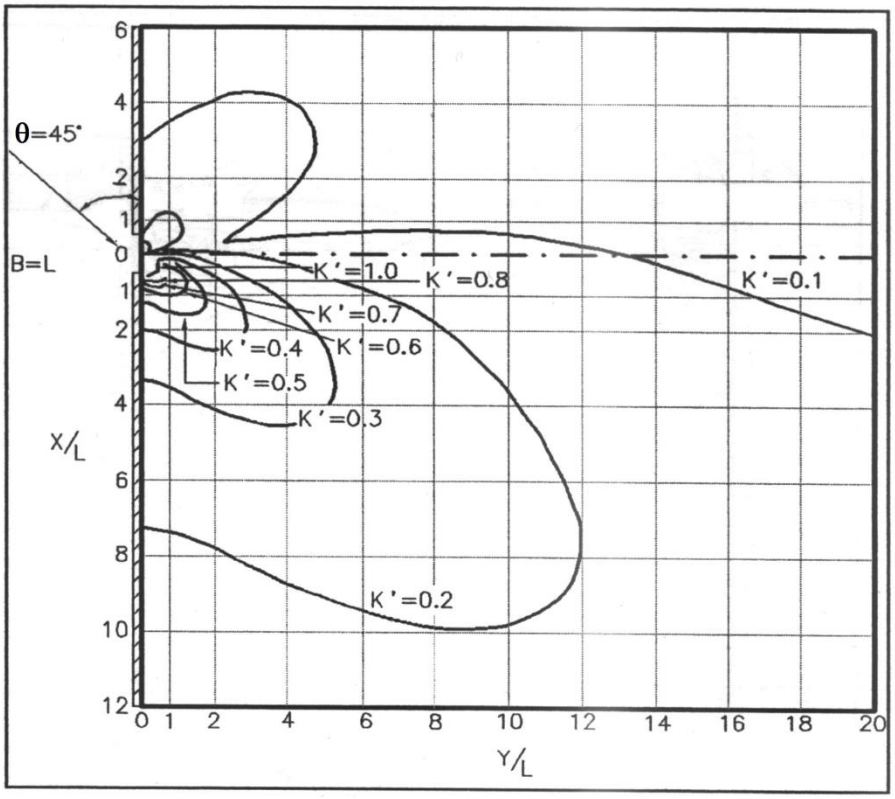
Şekil 1.33 Dalga yaklaşım açısı 0° (CERC , 2003)



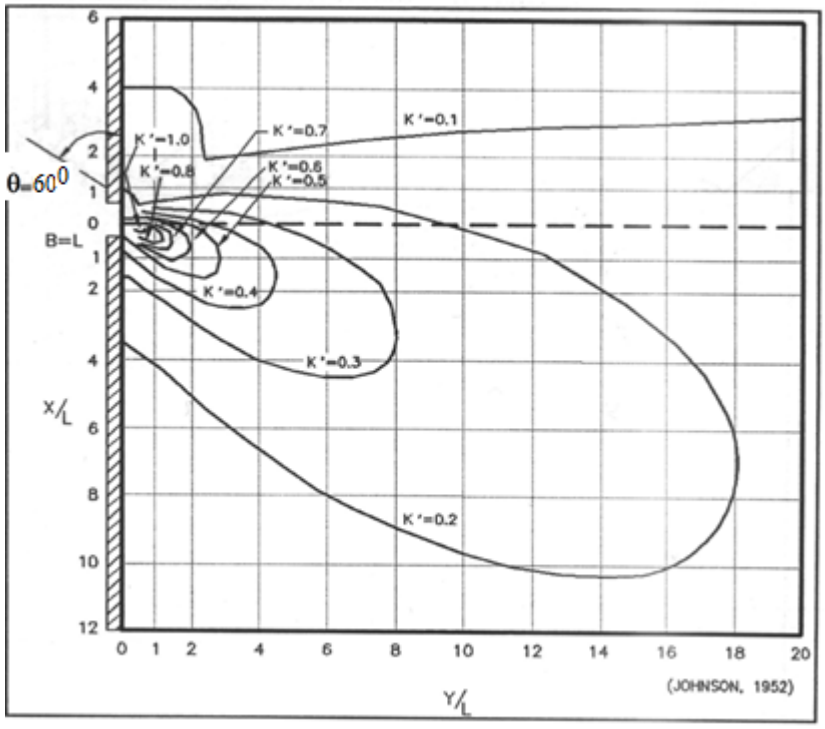
Şekil 1.34 Dalga yaklaşım açısı 15° (CERC , 2003)



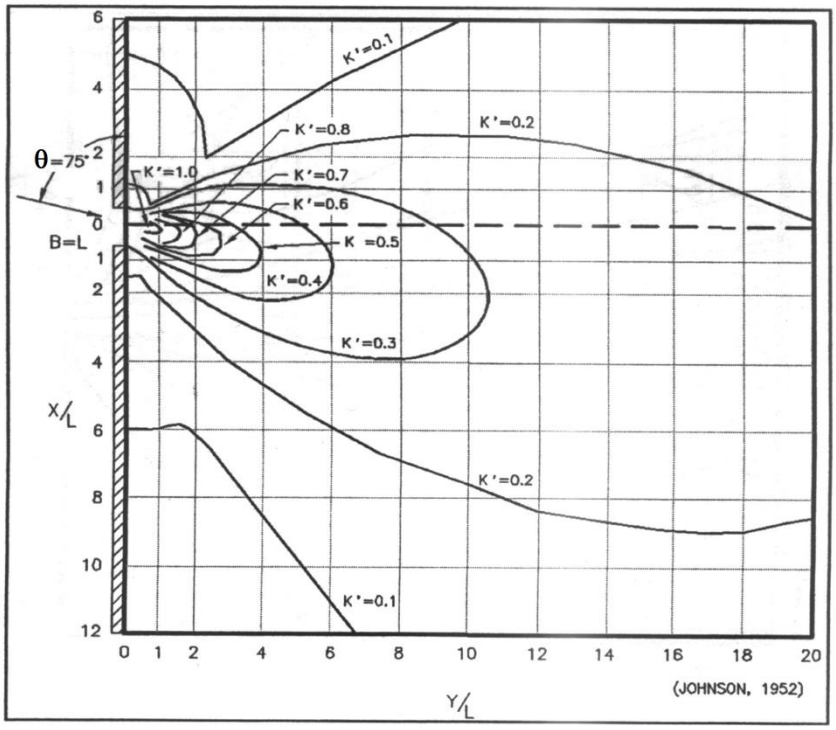
Şekil 1.35 Dalga yaklaşım açısı 30° (CERC , 2003)



Şekil 1.36 Dalga yaklaşım açısı 45° (CERC , 2003)

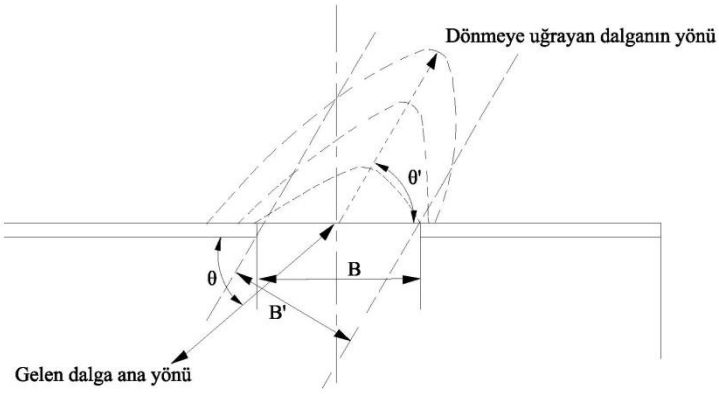


Şekil 1.37 Dalga yaklaşım açısı 60° (CERC , 2003)



Şekil 1.38 Dalga yaklaşım açısı 75° (CERC , 2003)

Dalga dikinin dalgakıran eksenine 90°'den farklı bir θ açısı ile gelmesi durumunda Tablo 1.8 kullanılarak farklı B/L ve S_{maks} (10, 25, 75) değerleri için dönmüş dalga ekseni açısı θ' bulunur (Şekil 1.39). Bu durum için B′/L hesaplanarak sapma diyagramlarında B/L yerine bu değer kullanılır (B′/L= (B/L)sinθ'). Tablo 1.8a-c'de, gelen dalga yönünün, θ ve B/L oranının bir fonksiyonu olarak dönmüş dalga ekseni açısı θ' liste halinde verilmiştir.



Şekil 1.39 Ardışık iki dalgakırana θ=90°'den farklı bir açıyla yaklaşan dalgalar durumunda dalga dönmesi (OCDI, 2009)

Tablo 1.8 Ardışık iki dalgakıran durumunda dönmeden sonra dalga eksen açıları (θ′), (OCDI, 2009)

a) S_{maks} = 10

B/L	Dalgakıran ile dalga geliş yönü arasındaki açı θ			
	15°	**30°**	**45°**	**60°**
1.0	53°	58°	65°	71°
2.0	46°	53°	62°	70°
4.0	41°	49°	60°	70°

b) S_{maks} = 25

B/L	Dalgakıran ile dalga geliş yönü arasındaki açı θ			
	15°	**30°**	**45°**	**60°**
1.0	49°	52°	61°	70°
2.0	41°	47°	57°	67°
4.0	36°	42°	54°	65°

c) S_{maks} = 75

B/L	Dalgakıran ile dalga geliş yönü arasındaki açı θ			
	15°	**30°**	**45°**	**60°**
1.0	41°	45°	55°	66°
2.0	36°	41°	52°	64°
4.0	30°	36°	49°	62°

Sapma ve Dönme Bileşik Etkisi

Liman içi su derinliğinin yaklaşık sabit olduğu durumlarda, dalga dönmesinden sonra liman içinde oluşabilecek sığlaşma ve sapma ihmal edilebilir. Böyle bir durumda liman içi dalga yüksekliği hesaplarında, ilk olarak sadece liman girişindeki derin deniz dalga tahminlerinden elde edilen sapma ve kırılma hesaplamaları ile bulunan dalgalar göz önüne alınarak dönme hesaplamaları yapılır. Daha sonra, liman içerisinde ilgilenilen bir nokta için dönme hesapları yapılır. Bu noktada gelen dalga yüksekliği olarak liman girişinde hesaplanan dalga yüksekliği dikkate alınır. Böyle bir durumda liman içinde ilgilenilen herhangi bir noktada, dalga yüksekliğini hesaplamak için;

$$H = K_d K_r K_s H_0 \quad (1.80)$$

denklemi kullanılır.

K_d : Liman içinde ilgilenilen noktadaki dönme katsayısı
K_r : Liman içinde ilgilenilen noktadaki sapma katsayısı
K_s : Liman girişindeki sığlaşma katsayısı
H_0 : Derin deniz dalga yüksekliği

Ancak liman içi su derinliğinde büyük değişimler varsa, dönme ve sapmanın sırasıyla birlikte dikkate alınması gerekmektedir. Dalga yansıması ihmal edilirse, sapma ve dönme katsayıları ayrı ayrı elde edilir ve bu katsayıların çarpılması ile dalga yüksekliği belirlenir.

1.6.4 Dalga Kırılması

Dalga kırılması, temelde ya dalga dikliğinin (H/L) ya da göreceli dalga yüksekliğinin (H/d) çok büyük olması durumunda olur. Bu nedenle hem derinlik hem de diklik maksimum dalga yüksekliğini sınırlandırmaktadır. Dalgaların teorik olarak kırılma şartlarının belirlenmesi için iki yaklaşım uygulanabilir, bunlar;

1. Kinematik Stabilite Kriteri: Kırılma dalga tepesindeki akışkan partiküllerinin yatay yörüngesel hızlarının dalga yayılma hızını aşması durumu olarak ifade edilir.

2. Dinamik Stabilite Kriteri : Yüzeyde su partiküllerinin sahip olduğu maksimum düşey ivmenin yerçekimi ivmesine eşit olduğu durumdur.

- **Derin Suda Dalga Kırılması**

Derin suda ilerleyen dalgaların en büyük yükseklikleri, dalga formunun bozulmadığı limit durumu veren en büyük diklikten elde edilir. Eğer limit dalga dikliği aşılırsa dalga kırılması meydana gelir ve dalga enerjisinin büyük bir kısmı harcanır. Kısaca derin su dalga kırılması olayı en büyük diklik sınırının aşılması demektir. Teorik çalışmalara göre, derin suda en büyük diklik sınırı;

$$\frac{H_0}{L_0} = 0.142 \approx \frac{1}{7} \quad (1.81)$$

aşıldığında kırılma olayı meydana gelir.

- **Sığ Suda Dalga Kırılması**

Sığ suda ilerleyen dalgalar, derinliğin azalmasından dolayı taban etkisini hissetmeye başlarlar. Dalga periyodunun değişmeden kalmasına rağmen, dalga boyları kısalır, dalga yayılma hızı azalmaya başlar, dalga tepeleri sıklaşmaya başlar, tabana yakın su partiküllerinin hareketleri yüzeydekilere oranla gecikir, dalga yükseklikleri artmaya başlar, dalga tepelerindeki su partiküllerinin hızları dalga yayılma hızına hemen hemen eşit ve daha büyük olur ve dalga en büyük yüksekliğine ulaştığında dengesi (stabilitesi) bozularak kırılır (Yüksel ve Çevik, 2009).

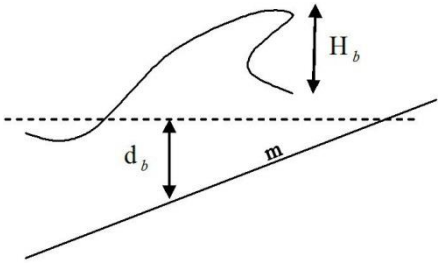
Sığ suda dalga kırılmasıyla ilgili ilk bağıntı, dalgaların sığ suda kırılmadan önce dalga formlarının yatay tabanda ilerleyen soliter dalgaya uyduğu kabulü ile;

$$\gamma_b = \frac{H_b}{d_b} = 0.78 \quad (1.82)$$

ifadesi ile verilmiştir (Munk, 1949). γ_b kırılma indeksi olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte bu değer sabit olmayıp taban eğimine ve periyoda göre kabaca 0.5-1.5 arasında değişmektedir. Şekil 1.40'ta dalga kırılma formu ve parametreleri verilmiştir.

H_b : Kırılan dalga yüksekliği
d_b : Kırılma derinliği
m : Taban eğimi

θ_b : Kırılma anındaki dalga geliş açısı



Şekil 1.40 Dalga kırılma formu ve parametreleri

Dalga kırılma indeksi $\left(\gamma_b = \frac{H_b}{d_b}\right)$, taban eğimi (m), dalga dikliği $\left(\frac{H_0}{L_0}\right)$ ve dalga geliş açısının bir fonksiyonudur.

Düzenli dalgalar için kırılma hep aynı konumda olmaktadır. Bu nedenle bu derinliğe kırılma derinliği denilmektedir. Ancak düzensiz dalgalarda dalga kırılması tekil dalgaların yükseklik ve periyoduna bağlı olarak uzamsal olarak değişmektedir. Bu sebeple kırılma ifadeleri düzenli ve düzensiz dalgalar için ayrı ayrı verilecektir.

Doğrusal batimetriye sahip tabanda ilerleyen düzenli dalgalar durumunda Weggel (1972) kırılma indeksi için aşağıdaki ifadeyi m=0.1 ve $H_0'/L_0 < 0.06$ için önermiştir.

$$\gamma_b = b - a\frac{H_b}{gT^2} \qquad (1.83)$$

$$a = 43.8\left(1 - e^{-19m}\right)$$

$$b = 1.56 / \left(1 + e^{-19.5m}\right)$$

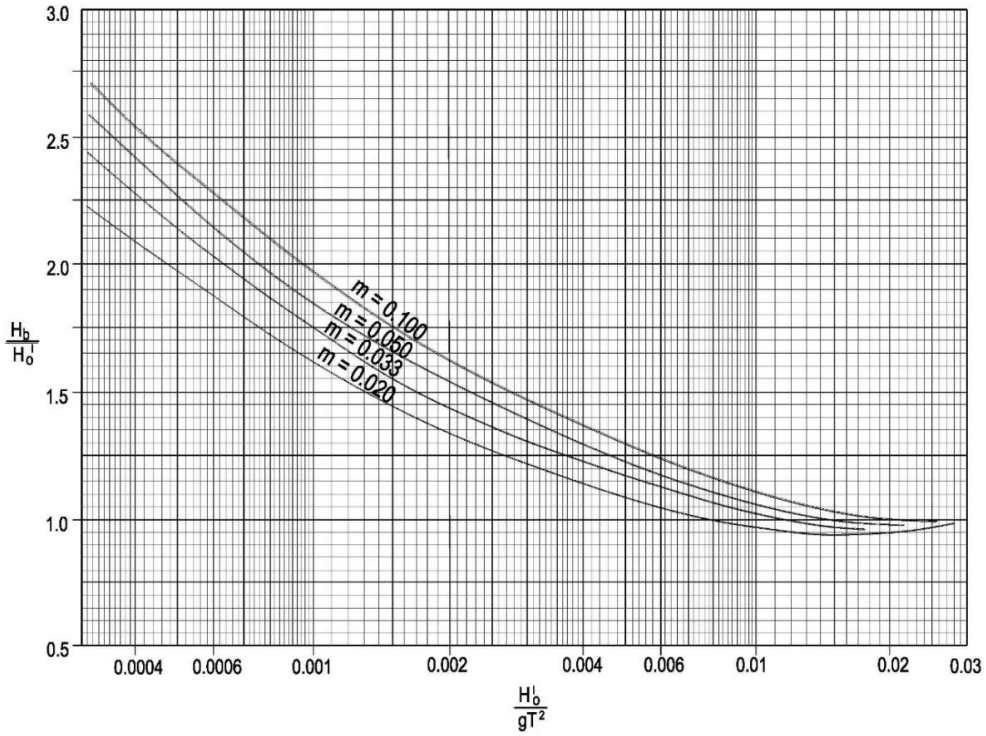
Düzenli dalgaların kırılması için Goda (2010) kırılma indeksi yöntemini önermiştir.

$$\frac{H_b}{L_0} = A\left[1 - \exp\left\{-1.5\frac{\pi d_b}{L_0}\left(1 + 11m^{4/3}\right)\right\}\right] \quad : A=0.17 \qquad (1.84a)$$

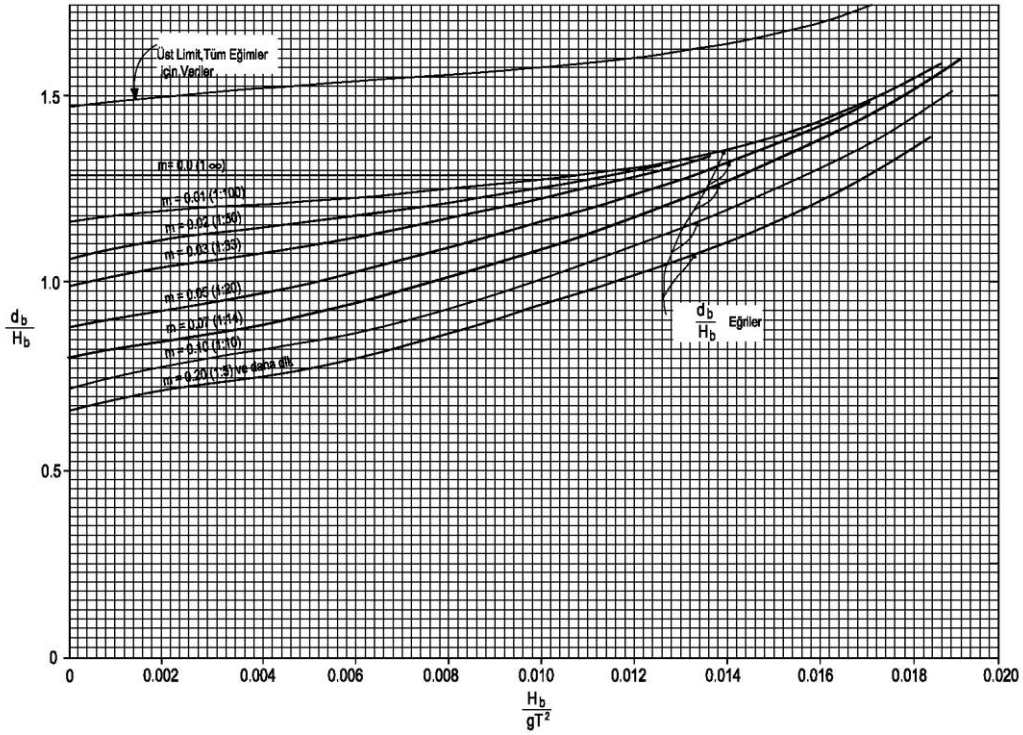
$$\frac{H_b}{d_b} = \frac{A}{d_b / L_0}\left[1 - \exp\left\{-1.5\frac{\pi d_b}{L_0}\left(1 + 11m^{4/3}\right)\right\}\right] \quad : A=0.17 \qquad (1.84b)$$

Burada $L_0\left(=\left(g/2\pi\right)T^2\right)$ derin su dalga boyudur. Belirgin dalga periyodunun bilinmemesi durumunda $T_{m-1,0}$ dalga periyodu kullanılabilir.

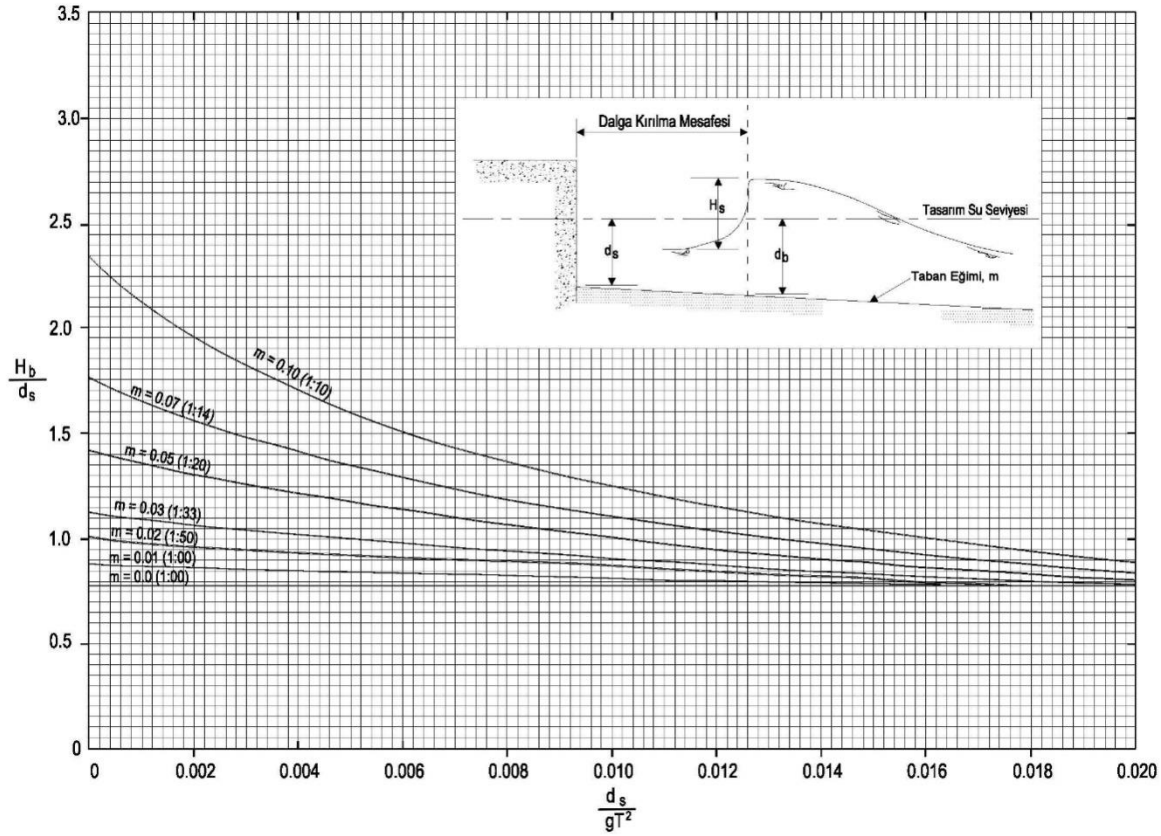
Düzenli dalgalar için dalga kırılma parametreleri Şekil 1.41, 1.42 ve 1.43 kullanılarak hesaplanabilir. Bu grafiklerde $H_0' = H_0 K_r$'dir.



Şekil 1.41 Dalga dikliği ile dalga kırılma boyutsuz parametresi arasındaki bağıntı (Goda, 1970)

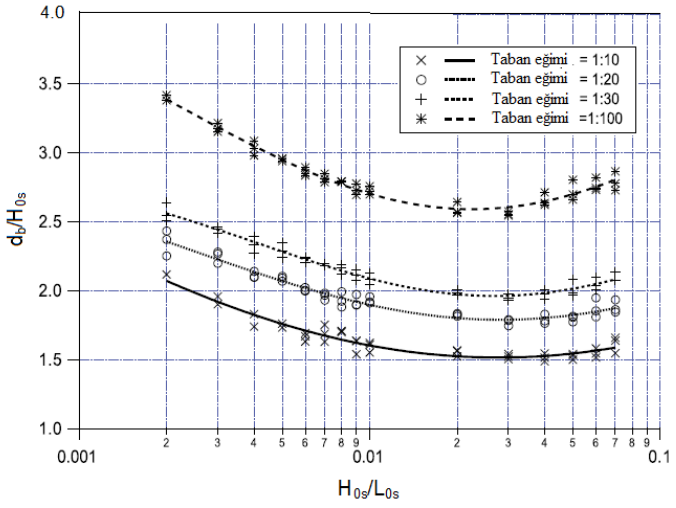


Şekil 1.42 Dalga kırılma boyutsuz parametresi ile dalga kırılma derinliği boyutsuz parametresi arasındaki bağıntı (Weggel, 1972)



Şekil 1.43. Yapı önündeki boyutsuz tasarım dalga kırılma yüksekliği (Weggel, 1972)

Mase vd. (2013) düzensiz dalgaların kırıldığı belirgin derinliği farklı taban eğimleri için, derin su belirgin dalga yüksekliği ve periyodunu dikkate alarak Şekil 1.44'teki gibi vermişlerdir. Bu şekilde $L_0=gT_{s0}^2/2\pi$ ile hesaplanmaktadır ve T_{s0} belirgin dalga periyodu, H_{s0} belirgin dalga yüksekliği, d_b dalga kırılma derinliğidir (Yüksel, 2011).



Şekil 1.44 Derin su dalga dikliğine karşılık boyutsuz belirgin kırılma derinliği (Mase vd., 2013)

- **Düzensiz dalgaların surf bölgesi içerisindeki değişimi**

Düzenli dalgaların aksine düzensiz dalga kırılması halinde kırılma derinliği surf bölgesi içerisinde uzamsal olarak değişmektedir. Bu bölge içerisinde kırılma yüzdesi kıyıya doğru artmaktadır. Bunun sonucu olarak da temsili dalga yüksekliği (örneğin belirgin dalga yüksekliği) yavaşça azalmaktadır. Bu nedenle düzensiz dalgalar için kırılmanın başlangıcı

kavramı tanımlanmaktadır. Kırılma indeksi kavramı düzensiz dalgalara uygulandığında (1.84 a ve b) ifadesindeki A katsayısı 0.17 yerine 0.12 olarak değişmektedir.

$$\frac{H_b}{L_0} = 0.12\left\{1-\exp\left[-1.5\frac{\pi(d_b)_{başlangıç}}{L_0}\left(1+11m^{4/3}\right)\right]\right\} \qquad (1.84c)$$

Surf bölgesi içerisindeki dalga yüksekliğinin değişiminin belirlenmesi için aşağıdaki ifadeler kullanılabilmektedir. Burada H_0' eşdeğer derin su dalga yüksekliği olup;

$$H_0' = K_d K_r \left(H_s\right)_0, \ T_s=T_{s0}\text{'dır} \qquad (1.85)$$

Goda Yöntemi (2010)

$$H_{1/3} = \begin{cases} K_s H_0' & d/L_0 \geq 0.2 \\ \min\left\{\left(\beta_0 H_0' + \beta_1 d\right), \beta_{maks} H_0', K_s H_0'\right\} & d/L_0 < 0.2 \end{cases} \qquad (1.86)$$

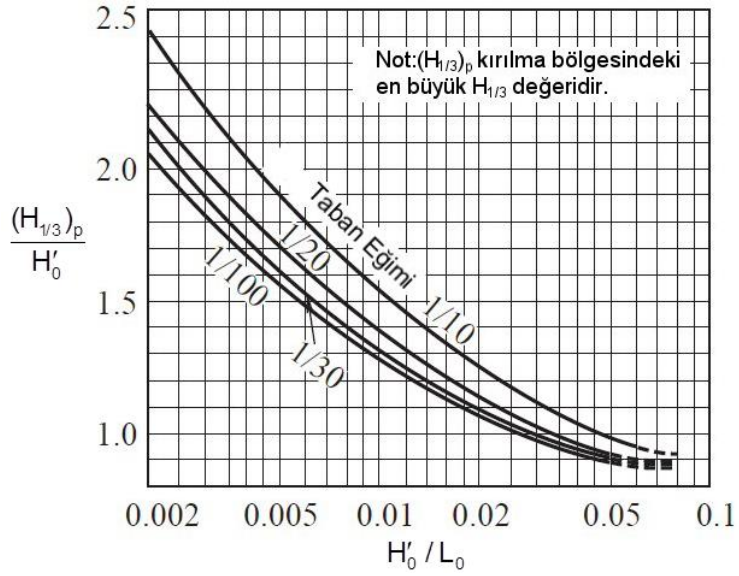
$\{a, b, c\}$ sembolü a, b ve c arasından minimum değeri işaret etmektedir. β katsayıları ise aşağıda verilmektedir.

$$\left.\begin{aligned} \beta_0 &= 0.028\left(H_0'/L_0\right)^{-0.38}\exp\left[20m^{1.5}\right] \\ \beta_1 &= 0.52\exp\left[4.2m\right] \\ \beta_{maks} &= maks\left\{0.92, 0.32\left(H_0'/L_0\right)^{-0.29}\exp\left[2.4m\right]\right\} \end{aligned}\right\} \qquad (1.87)$$

$$H_{maks} = \begin{cases} 1.8K_s H_0' & d/L_0 \geq 0.2 \\ \min\left\{\left(\beta_0^* H_0' + \beta_1^* d\right),\ \beta_{maks}^* H_0',\ 1.8K_s H_0'\right\} & d/L_0 < 0.2 \end{cases} \qquad (1.88)$$

$$\left.\begin{aligned} \beta_0^* &= 0.052\left(H_0'/L_0\right)^{-0.38}\exp\left[20m^{1.5}\right] \\ \beta_1^* &= 0.63\exp\left[3.8m\right] \\ \beta_{max}^* &= maks\left\{1.65,\ 0.53\left(H_0'/L_0\right)^{-0.29}\exp\left[2.4m\right]\right\} \end{aligned}\right\} \qquad (1.89)$$

burada m deniz tabanı eğimidir. Farklı taban eğimleri için dalga dikliğine $\left(H_0'/L_0\right)$ bağlı olarak kırılma bölgesinde oluşabilecek en yüksek belirgin dalganın $(H_{1/3})_p$ derin deniz belirgin dalgasına (H_0) oranı ise Şekil 1.45'te verilmiştir (OCDI, 2009).

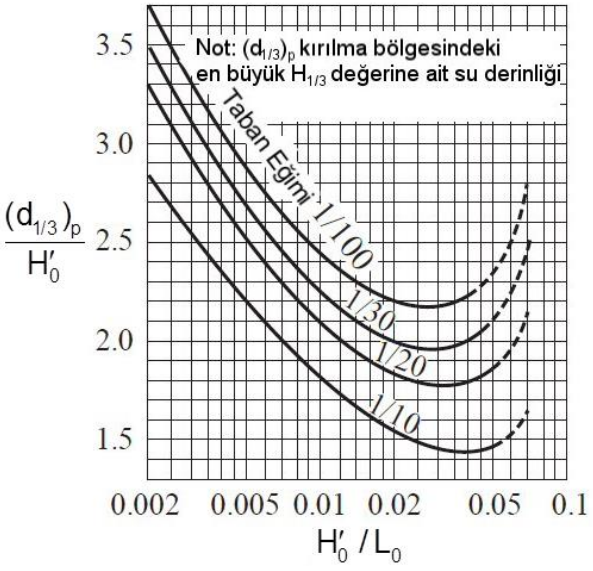


Şekil 1.45 Dalga dikliğine (H'_0 / L_0) bağlı olarak kırılma bölgesinde oluşabilecek en yüksek belirgin dalganın $(H_{1/3})_p$ derin deniz belirgin dalgasına $(H')_0$ oranı (OCDI, 2009)

Hemen hemen tüm dalgaların kırıldığı bölgede kırılma yüksekliği yerel su derinliği (d) ile ilişkilidir (CERC, 2003).

$$\left.\begin{aligned} H_{rms,b} &= 0.42d \\ H_{m0,b} &= 0.6d \end{aligned}\right\} \qquad (1.90)$$

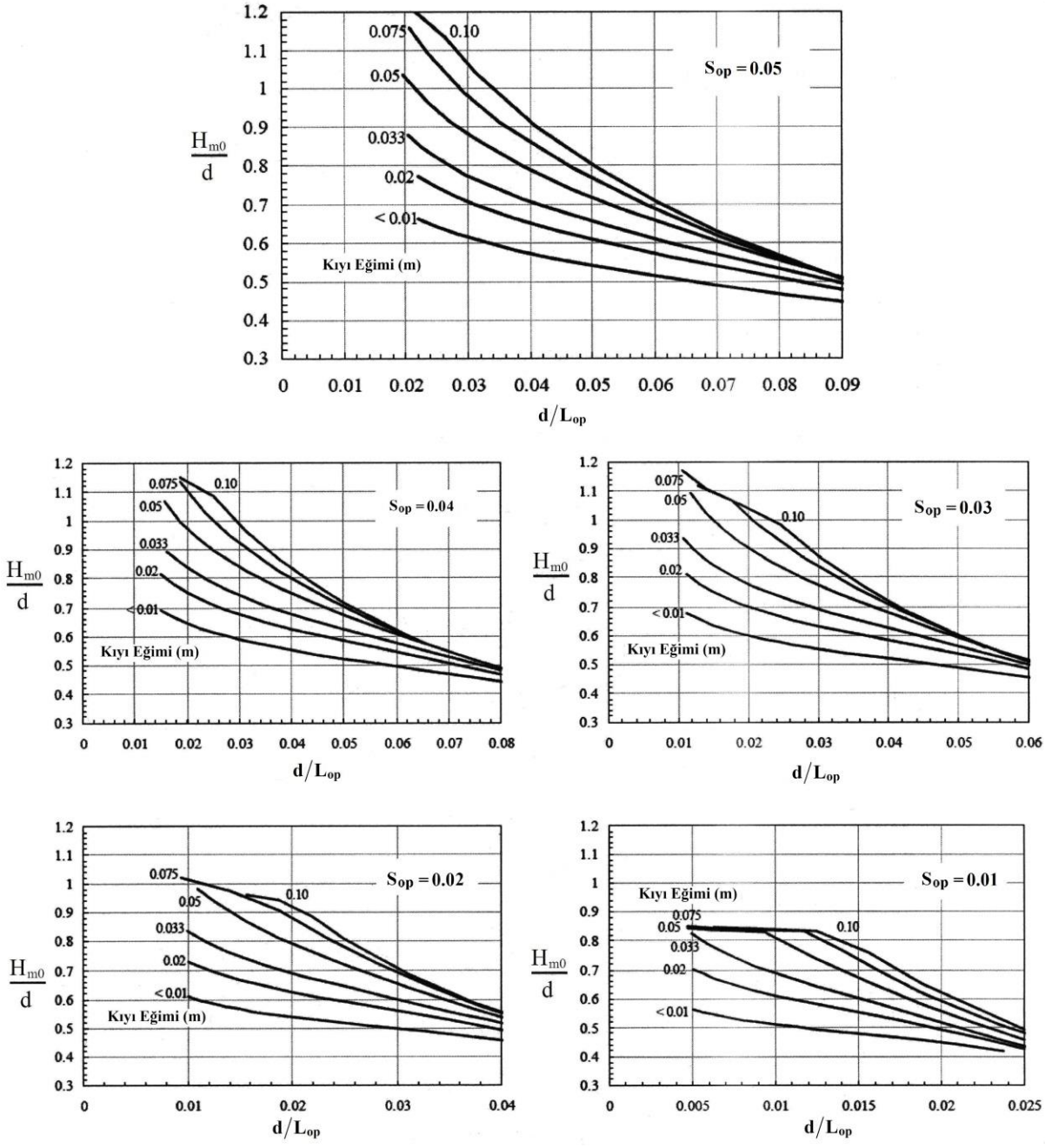
burada dalga dikliği ve taban eğiminin etkisinin olduğu beklenmekle birlikte herhangi bir çalışma yapılmamıştır. $(H_{1/3})_p$'in oluşacağı derinlik $(d_{1/3})_p$ Şekil 1.46 kullanılarak hesaplanacaktır.



Şekil 1.46 $(H_{1/3})_p$'in oluşacağı su derinliği $(d_{1/3})_p$ (OCDI, 2009)

Sabit taban eğiminde düzensiz dalgalar için belirgin dalga yüksekliği değişimi (Van der Meer, 1990)

Dalga kırılması ile dalga yüksekliğinde olduğu gibi spektrumun şeklinde de değişiklik meydana gelmektedir. Derin suda farklı dalga diklikleri için beş grafik verilmiştir (Şekil 1.47). Bu grafiklerden sığlaşma bölgesindeki belirgin dalga yükseklikleri belirlenebilmektedir. Ancak düzensiz batimetri durumunda dalga kırılmasının basit yöntemlerle belirlenmesi güçtür. Bu durumlarda güvenilir sonuçlar için geliştirilmiş sayısal modeller veya fiziksel model çalışmaları kullanılmalıdır.



Şekil 1.47 Sığlaşma bölgesindeki belirgin dalga yükseklikleri (Van der Meer, 1990)

Kırılma Tipleri

Surf Benzerlik Parametresi (Surf Parametresi veya Iribarren Parametresi)

Dalga kırılma tipleri surf parametresine (ξ_0) göre sınıflandırılır. Düzenli dalga koşulunda derin su için verilen ξ_0 tanımı:

$$\xi_0 = \frac{m}{\sqrt{\frac{H_0}{L_0}}} \tag{1.91}$$

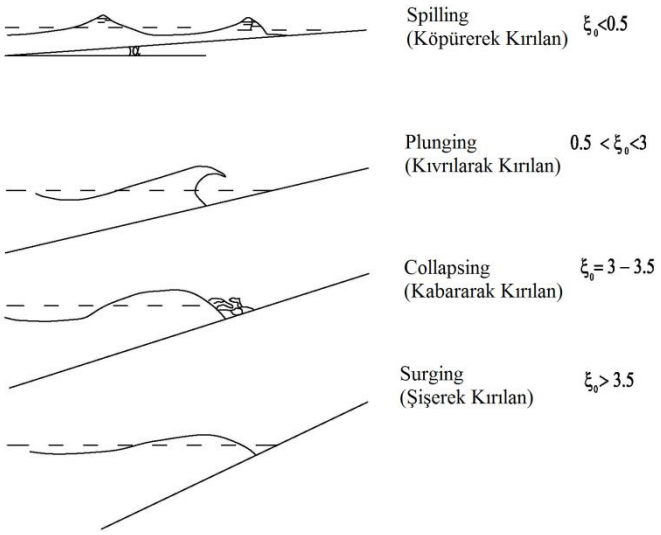
ifadesi kullanılarak spilling (köpürerek), plunging (kıvrılarak), collapsing (kabararak) ve surging (şişerek) kırılan dalga tipleri Şekil 1.48'de sınıflandırılmıştır. Burada collapsing tipi kırılma plunging ile surging tipi kırılmalar arasında bir geçiş halini oluşturmaktadır.

1. Spilling Tipi Kırılma (Köpürerek Kırılan) $\xi_0 < 0.5$

2. Plunging Tipi Kırılma (Kıvrılarak Kırılan) $0.5 < \xi_0 < 3.0$

3. Collapsing Tipi Kırılma (Kabararak Kırılan): $3 < \xi_0 < 3.5$

4. Surging Tipi Kırılma (Şişerek Kırılan): $\xi_0 > 3.5$



Şekil 1.48 Dalga kırılma tipleri (CERC , 2003)

Düzensiz dalgalar için ortalama dalga periyoduna (T_m) ve pik dalga periyoduna (T_p**)** bağlı olarak tanımlanan kırılma parametreleri denklem (1.92)'de verilmiştir. Dalga kırılma parametresi dalga kırılma ve dalga tırmanması için kullanılacaktır.

$$\xi_{0m} = \frac{m}{\sqrt{s_{0m}}}, \quad \xi_{0p} = \frac{m}{\sqrt{s_{0p}}}, \quad \xi_{0-1,0} = \frac{m}{\sqrt{s_{0-1,0}}} \tag{1.92}$$

$$s_{0m} = \frac{H_s}{L_m} = \frac{H_s}{\left(\frac{g}{2\pi}\right)T_m^2}, \quad s_{0p} = \frac{H_s}{L_p} = \frac{H_s}{\left(\frac{g}{2\pi}\right)T_p^2}, \quad s_{0-1,0} = \frac{H_s}{\left(\frac{g}{2\pi}\right)T_{m-1,0}^2} \tag{1.93}$$

H_s : Yapı topuğundaki belirgin dalga yüksekliği
T_m : Ortalama dalga periyodu
T_p : Pik dalga periyodu
L_m : T_m kullanılarak hesaplanan dalga boyu
L_p : T_p kullanılarak hesaplanan dalga boyu
ξ_{0p} : Pik dalga periyoduna göre belirlenen kırılma parametresi

ξ_{0m} : Ortalama dalga periyoduna göre belirlenen kırılma parametresi
S_{0m} : Ortalama dalga periyoduna karşılık gelen derin deniz dalga dikliği
S_{0p} : Pik periyoda karşılık gelen derin deniz dalga dikliği

1.6.5 Sığ Su Bölgesinde Dalga Yüksekliği Dağılımı

Bölüm 1.2.3'te dalga yüksekliği dağılımının Rayleigh dağılımına uyduğunun kabul edildiğinden bahsedilmişti. Ancak sığ sularda dalga kırılması ve lineer olmayan etkiler nedeniyle dalga yüksekliği dağılımı değişmektedir. Rasgele dalgalarda ilk olarak en yüksek dalgalar kırılmaktadır ve bu şekilde yüksek dalgaların önce kırılması hemen hemen aynı yükseklikli bir çok dalgaya sebep olmaktadır. Bunun sonucu olarak dalga yüksekliği dağılımı Rayleigh dağılımından sapmaktadır. Dalga yüksekliği dağılımının belirlenmesi için bilinen bir kaç yöntem mevcuttur. Bunlardan kompozit Weibull dağılımı (CWD) (Battjes ve Groenendijk, 2000) küçük ve büyük ölçekli bir çok deney verileri ile sınanmıştır ve mühendislik uygulamalarında kullanılması önerilmekte olan bir yöntemdir. Bu model dağılımı; küçük dalga yükseklikleri için Rayleigh dağılımı (ya da 2 üstel değeri ile Weibull), büyük dalga yükseklikleri için ise Weibull dağılımından (3.6 üstel değeri ile) oluşmaktadır.

Sığ su ve kırılma bölgesinde dalga yüksekliklerinin kümülatif dağılımı;

$$P(H) = P(H < H') = \begin{cases} H > H_{tr} & \rightarrow \quad 1 - \exp(-(H/H_1)^2) \\ H < H_{tr} & \rightarrow \quad 1 - \exp(-(H/H_2)^{3.6}) \end{cases} \tag{1.94}$$

burada H_{tr} geçiş dalga yüksekliği, H_1 ve H_2 ölçek parametreleridir. Geçiş dalga yüksekliği aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$H_{tr}=(0.35+5.8m)d \tag{1.95}$$

burada m taban eğimi, d yerel su derinliğidir. Bu yöntem H_{rms} dalga yüksekliğinin bilinmesini de gerektirmektedir. Ancak çoğunlukla bu değer değil H_{m0} spektral belirgin dalga yüksekliği ya da m_0 bilinmektedir. Bu nedenle H_{m0}'a bağlı olarak hesaplanabilmesi için aşağıdaki ampirik ifade önerilmiştir.

$$H_{rms}=[0.6725+0.2025(H_{m0}/d)]H_{m0} \tag{1.96}$$

H_{tr}/H_{rms} boyutsuz geçiş dalga yüksekliği hesaplanarak boyutsuz karakteristik yükseklikler $H_{1/3}/H_{rms}$, $H_{1/10}/H_{rms}$, $H_{\%2}/H_{rms}$, $H_{\%1}/H_{rms}$, $H_{\%0.1}/H_{rms}$ tablo dan okunur. Tablo 1.9 Battjes ve Groenendijk (2000)'in çalışmasından alınmış bir örnek tablodur. Diğer dalga yükseklikleri ve diğer değerler için orijinal çalışmadan faydalanılmalıdır.

Tablo 1.9 Bazı H_{tr}/H_{rms} değerleri için $H_{1/10}/H_{rms}$ ve $H_{\%2}/H_{rms}$ değerleri

Karakteristik yükseklik	Boyutsuz geçiş dalga yüksekliği, H_{tr}/H_{rms}									
	0.05	0.5	1.00	1.20	1.35	1.5	1.75	2.0	2.5	3.0
$H_{1/10}/H_{rms}$	1.466	1.467	1.518	1.573	1.626	1.683	1.759	1.786	1.799	1.800
$H_{\%2}/H_{rms}$	1.583	1.549	1.603	1.602	1.717	1.778	1.884	1.985	1.978	1.978

İstatistiksel ve Spektral Dalga Parametreleri Arasındaki İlişki

***Derin su dalgaları*nda** dalga yükseklikleri Rayleigh dağılımına uyduğundan spektral dalga parametreleri ile istatistiksel parametreler arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

Belirgin dalga yüksekliği; $H_{1/3}=H_{m0}$

Ortalama dalga periyodu; $\overline{T} = T_{02}$

Sığ su dalgaları:

Bazı şartlarda belirgin dalga yüksekliği olarak $H_{1/3}$ değeri bilinmektedir. Bu değer derin su şartlarında H_{m0}'a eşittir. Ancak kırılmadan önceki sığlaşma bölgesinde $H_{1/3}/H_{m0}$ oranı 1'den

büyük değerler almaktadır. Thompson ve Vincent (1985) kırılma öncesinde $H_{1/3}/H_{m0}$ oranını aşağıdaki gibi vermiştir.

$$\left(\frac{H_{1/3}}{H_{m0}}\right)_{maks} = \exp\left(0.02289\left(\frac{d}{gT_p^2}\right)^{-0.43642}\right) \quad (1.97)$$

burada d su derinliği, T_p pik spektral periyottur.

1.6.6 Çalkantı Bölgesinde Dalga Tırmanması

Düzenli kırılan dalgalar için dalga tırmanması kıyı eğiminin, gelen dalga yüksekliğinin ve dalga dikliğinin fonksiyonudur.

$$\frac{R_u}{H_0} = \xi_0 \qquad 0.1 < \xi_0 < 2.3 \quad (1.98)$$

Sabit eğimli bir kıyıda tırmanma için üst limit (CERC, 2003);

$$\frac{R_u}{H_0} = (2\pi)^{0.5}\left(\frac{\pi}{2\beta}\right)^{0.25} \quad (1.99)$$

burada β şev açısıdır. *Düzensiz dalgalar* için dalga tırmanması surf parametresinin fonksiyonudur ve tırmanan tekil bore dalgaları arasındaki etkileşime bağlıdır. Maksimum tırmanma kıyı profilinin aktif bölgesinin tanımlanması açısından önemli bir parametredir. Mase (1989) maksimum ve diğer tırmanma parametrelerini Tablo 1.10'daki gibi tanımlamıştır. Bu parametreler düzgün, geçirimsiz ve $1/30 \le m \le 1/5$ eğimli kıyılar ile $H_0/L_0 \ge 0.007$ dalga şartları için geçerlidir (Yüksel ve Çevik, 2009).

Tablo 1.10 Düzensiz dalga halinde tırmanma ifadeleri (Mase, 1989)

	Sembol	Formül
Maksimum tırmanma	R_{umaks}	$\frac{R_{umaks}}{H_0} = 2.32\xi_0^{0.77}$
%2 aşılma	$R_{u\%2}$	$\frac{R_{u\%2}}{H_0} = 1.86\xi_0^{0.71}$
Tırmanmada en yüksek 1/10'unun ortalaması	$R_{u1/10}$	$\frac{R_{u1/10}}{H_0} = 1.70\xi_0^{0.71}$
Tırmanmada en yüksek 1/3'ünün ortalaması	$R_{u1/3}$	$\frac{R_{u1/3}}{H_0} = 1.38\xi_0^{0.70}$
Ortalama tırmanma	R_{uort}	$\frac{R_{uort}}{H_0} = 0.88\xi_0^{0.69}$

Düzensiz dalgalarda dalga kabarması düzenli dalgalarda olduğu gibi sabit değildir ve surf bölgesinde ortalama su seviyesi salınım yapmaktadır. Bu dalga kabarmasından dolayı tırmanma değeri eğim ne kadar küçük olsa da belirgin bir şekilde sıfırdan büyük bir değer almaktadır. Kabarma etkisini hesaba katmak için Hedges ve Mase (2004), Mase(1989)'nin vermiş olduğu ifadeleri aşağıdaki gibi geliştirmişlerdir.

$$0 < \xi_p < \xi_{p*} \quad \text{ise} \quad R_{ukarak}/H_{1/3} = S_{karak}/H_{1/3} + c.\xi_p \quad (1.100a)$$

$$0 < \xi_0 < \xi_{0*} \quad \text{ise} \quad R_{ukarak}/(H_{1/3})_0 = S_{karak}/(H_{1/3})_0 + c.\xi_0 \quad (1.100b)$$

burada R_{ukarak} düzensiz dalgaların karakteristik tırmanma değeri, S_{karak}, taban eğimi sıfıra yaklaşırken R_{ukarak}'ın minimum değerini temsil etmektedir. ξ_p, topuktaki belirgin dalga

yüksekliği $H_{1/3}$ ve pik periyot T_p kullanılarak hesaplanan surf parametresi, ξ_0 ise $(H_{1/3})_0$ ve $(T_{1/3})_0$ kullanılarak hesaplanan surf parametresidir. S_{karak}'in değeri c değerinde olduğu gibi farklı karakteristik parametreler için değişiklik göstermekte olup Tablo 1.11'de verilmektedir. Özellikle bu ifadeler çok küçük eğimlerde Mase (1989)'in ifadelerinden daha büyük değerler vermektedir.

Tablo 1.11 (1.100a) ve (1.100b) denklemlerinin katsayıları

Denklem (1.100a) katsayıları			Denklem (1.100b) katsayıları		
$\mathbf{R_{ukarak}/H_{1/3}}$	$\mathbf{S_{karak}/H_{1/3}}$	**c**	$\mathbf{R_{ukarak}/(H_{1/3})_0}$	$\mathbf{S_{karak}/(H_{1/3})_0}$	**c**
$R_{u\%2}/H_{1/3}$	0.37	1.37	$R_{u\%2}/(H_{1/3})_0$	0.34	1.49
$R_{u1/10}/H_{1/3}$	0.34	1.27	$R_{u1/10}/(H_{1/3})_0$	0.31	1.36
$R_{u1/3}/H_{1/3}$	0.27	1.04	$R_{u1/3}/(H_{1/3})_0$	0.25	1.10
$R_{uort}/H_{1/3}$	0.17	0.66	$R_{uort}/(H_{1/3})_0$	0.16	0.70

Dalgaların yapı eğimleri üzerindeki tırmanma değeri ilgili bölümlerde tanımlanmıştır.

1.6.7 Dalga İletimi

Dalga enerjisinin bir yapı üzerinden veya içinden yapının arkasına aktarılmasına dalga enerjisinin iletimi (transmisyonu) denir. Dalga iletimi, iletilen dalga yüksekliğinin (H_t) gelen dalga yüksekliğine (H_i) oranı veya iletilen dalga enerjisinin (E_t) gelen dalga enerjisine (E_i) oranının karekökü olarak tanımlanan iletim katsayısı, K_t ile karakterize edilmektedir.

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} = \sqrt{\frac{E_t}{E_i}} \qquad (1.101)$$

Dalga iletimi dalganın aşması ve dalganın nüfuz etmesi bileşenlerinden meydana gelmektedir. Ancak uygulamada bu iki bileşenin ayırt edilmesi son derece zordur. Üstten aşma ile iletilen dalgaların periyotları genellikle gelen dalga periyodundan daha kısa olmaktadır. Genellikle iletilen dalga periyodu gelen dalga periyodunun yaklaşık yarısı kadar olmaktadır.

Kıyı yapılarının korudukları bölgedeki faaliyetlerin önemine bağlı olarak yapı arkasına dalga iletimini önleyici çalışmalar önem kazanmaktadır. Örneğin yat limanları, konteyner elleçleme faaliyetleri gibi dalga iletiminin hiçbir şekilde istenmediği durumlar söz konusudur. Bununla birlikte dalga iletiminin tamamen engellenmesi inşaat maliyetlerinin çok yüksek olmasına neden olmaktadır. Diğer bir taraftan kıyı koruması için inşa edilen ardışık dalgakıranların arka taraflarında muska oluşumu amacıyla bir miktar dalga iletimine izin verilmektedir. Bu nedenle farklı tipteki kıyı yapılarının amaçlarına göre dalga iletim katsayılarının belirlenebilmesi için fiziksel model deneyleri yapılması gerekmektedir.

Düşük kretli dalgakıran gibi yapılar dalga enerjisinin bir kısmını dalgakıranın arkasındaki alana iletmektedirler. Düşük kretli dalgakıranların iletim performansı yapı geometrisine, büyük ölçüde kret hava payına, kret genişliğine, su derinliğine ve aynı zamanda dalga şartlarına (dalga yüksekliği ve periyoduna) bağlıdır. Van der Meer (1990) göreceli kret hava payına (R_c/H_s) bağlı olarak tek bir iletim katsayısı vermiştir. İletim katsayıları ise Tablo 1.12'de özetlenmiştir. Bu katsayılar basitleştirilmiş ifadelerdir ancak iletim için ön tasarımda kullanılabilmektedir.

Tablo 1.12 K_t için tahmini denklemler

Geçerlilik aralığı	Denklem
$-2.0<R_c/H_s<-1.13$	$K_t=0.80$
$-1.13<R_c/H_s<1.2$	$K_t=0.46-0.3R_c/H_s$
$1.2<R_c/H_s<2.0$	$K_t=0.10$

- Düşük kretli ve batık taş dolgu dalgakıranlarda yapıya dik gelen düzensiz dalgaların geldiği çekirdeksiz ve filtresiz homojen taş yapılar için dalga iletim katsayısı aşağıdaki ifade ile verilmiştir(CERC, 2003):

$$K_t = \left(0.031\frac{H_s}{D_{n50}} - 0.24 \right)\frac{R_c}{D_{n50}} + b \qquad (1.102)$$

Düşük kretli dalgakıranlar için;

Geleneksel yapılar için minimum ve maksimum K_t değerleri: 0.075-0.75

Batık dalgakıranlar için minimum ve maksimum K_t değerleri: 0.15-0.60

$$b = \begin{cases} -5.42s_{0p} + 0.0323\dfrac{H_s}{D_{n50}} - 0.0017\left(\dfrac{B}{D_{n50}}\right) + 0.51 & \text{Düşük kretli tip} \\ -2.6s_{0p} + 0.05\dfrac{H_s}{D_{n50}} + 0.85 & \text{Batık tip} \end{cases}$$

Burada; s_{0p} pik periyodun kullanılması ile elde edilen derin deniz dalga dikliği, B kret genişliği, R_c hava payı, D_{n50} nominal taş çapıdır. Core-loc ve tetrapod gibi beton elemanlardan oluşan yapılar taş yapılara göre daha geçirgen olduklarından daha büyük iletim katsayılarına sebep olmaktadırlar.

- Düşey yüzlü dalgakıranda dalga iletimi dalganın yapı üzerinden aşmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle dalgakıran kret kotunun (h_c) gelen dalga yüksekliğine oranı (H_i) dalga iletim katsayısının belirlenmesindeki başlıca parametredir. Dalga iletimi için verilmiş olan basit ifade (Goda, 2000):

$$K_t = 0.3\left(1.5 - \frac{h_c}{H_i}\right): \quad 0 \le \frac{h_c}{H_i} \le 1.25 \qquad (1.103)$$

1.7 Su Seviyesi Değişimleri

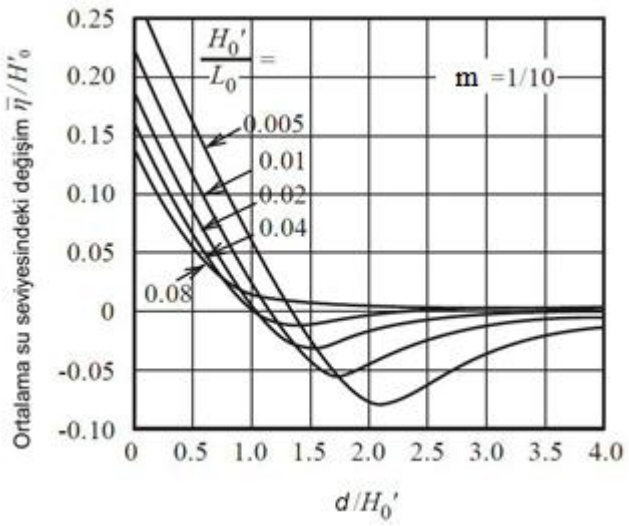
1.7.1 Kırılan Dalgalardan Dolayı Ortalama Su Seviyesindeki Artış (Dalga Kabarması)

Kırılma bölgesinde yer alacak yapıların tasarımında dalga kırılmasından dolayı oluşacak kabarmanın dikkate alınması gerekmektedir. Şekil 1.49**,** 1.50 ve 1.51 kullanılarak fırtına dalgalarından dolayı su seviyesinde oluşacak değişim (η) hesaplanmalıdır. Şekil 1.49 ve 1.50'de dalga dikliği (H_0'/L_0) ve göreceli su derinliğine (d/H_0') göre ortalama su seviyesindeki göreceli değişim 1/10 ve 1/100 taban eğimleri için verilmiştir. Küçük dalga dikliklerinde ve daha dik taban eğiminde kabarmanın daha büyük olduğu gözlenmektedir.

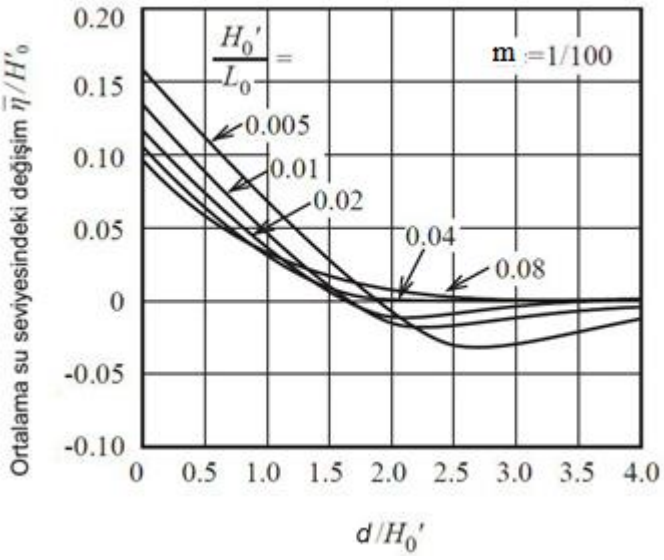
Kıyıda ortalama su seviyesinde oluşabilecek en büyük yükselme değeri (η_{maks}) ise Şekil 1.51'de dalga dikliği (H_0'/L_0) ve farklı deniz taban eğimleri için verilmiştir.

Bu şekil üzerinde dalga dikliği ve deniz taban eğiminin etkileri daha belirgin olarak izlenmektedir. Çok dik taban eğimleri dışında dalga dikliğinin 0.01-0.05 aralığında kıyı çizgisindeki ortalama su seviyesi değişimi (0.1-0.15) H_0' mertebelerindedir.

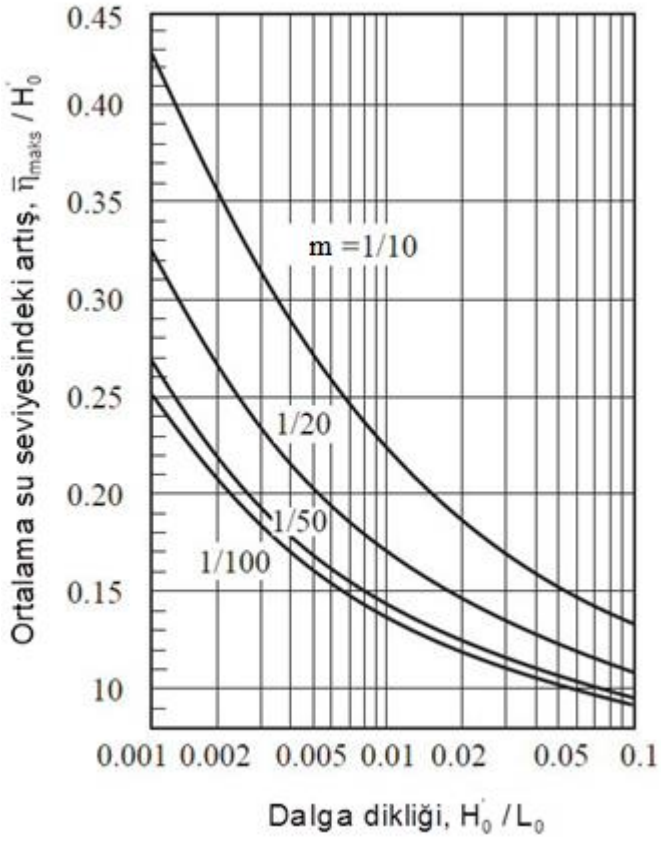
Ortalama su seviyesindeki bu yükselme dalga kırılmasının daha kıyıya kaymasına ve kırılan dalga yüksekliğinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle sığ sulardaki tasarım dalga yüksekliğinin doğru hesaplanması açısından ortalama su seviyesindeki yükselme önemli bir kavram olmaktadır. Önemli çalışmalarda detaylı sayısal hidrodinamik model çalışması yapılmalıdır.



Şekil 1.49 Ortalama su seviyesi değişimi (η) (deniz taban eğimi 1:10) (OCDI, 2009)



Şekil 1.50 Ortalama su seviyesi değişim (η) (deniz taban eğimi 1:100) (OCDI, 2009)



Şekil 1.51 Kıyı çizgisinde ortalama su seviyesindeki maksimum yükselme (η_{maks}) (OCDI, 2009)

1.7.2 Rüzgar Kabarması

Sığ koylarda, güçlü bir rüzgar uzun zaman esmeye devam ederse, deniz suyu rüzgar tarafından sürüklenir. Eğer rüzgar denizden kıyıya doğru esiyorsa, deniz suyu kıyı bölgesinde yükselir ve deniz seviyesinde artışa sebep olur. Eğer rüzgar yönüyle kıyı normali arasındaki açı θ ise, sahil şeridindeki deniz seviyesi artışı η_0 (cm) denklem (1.104)'te verildiği gibi hesaplanır.

$$\eta_0 = k\frac{F}{d}(U\cos\theta)^2 \qquad (1.104)$$

F : Feç uzunluğu (km)
U : Sabit rüzgar hızı (m/s)
d : Ortalama su derinliği (m)

k büyüklüğü açıklığın karakteristiğine göre değişen bir katsayıdır (OCDI, 2003). Baltık Denizi'nden elde edilen araştırma sonuçlarına göre k değeri 4.8×10^{-2} olarak belirlenmiştir.

Detaylı araştırmalarda rüzgarlardan dolayı deniz seviyesinin yükselme hesapları için kayma gerilmelerini içeren hareket ve süreklilik denklemlerinin sayısal çözümlerinin yapılması gereklidir.

1.7.3 Atmosfer Basıncı Nedeniyle Su Seviyesi Artışı

Eğer atmosfer basıncı yavaş bir şekilde ΔP kadar azalırsa, atmosfer basıncının azaldığı yerdeki su seviyesi atmosfer basıncının düşmediği çevre alanlara bağlı olarak, basınç farkından dolayı artar. Su seviyesindeki bu artışı bulmak için detaylı hesaplamalar veya sayısal modellemeler kullanılmalıdır.

2. UZUN DALGALAR ve SU SEVİYESİ DEĞİŞİMLERİ

2.1 Uzun Dalgalar

Dört ana tipte uzun dalga tanımlanmaktadır. Bunlar;

Surf Salınımı (Surf Beat): Bir dalga grubundaki farklı yükseklikteki dalgalar, kırılma bölgesinde kırılan dalga yüksekliğinin değişmesi sebebiyle su seviyesinde uzun periyotlu yavaş salınımlara neden olmaktadır, buna surf salınımı denilmektedir. Büyük dalgaları bir seri küçük dalganın takip ettiği dalga grupları açık denizden farklı yükseklik ve periyotlara sahip olarak farklı kaynak ve yönlerden gelirler. Dalga grupları kıyıda ortalama 6-8 s'lik periyotlarda salınımlara sahip kabarmaya neden olurlar, bu olay da yine surf salınımı olarak bilinmektedir. Surf salınımı liman ağzı yakınlarında bağlanma koşullarını etkilemesi açısından çok önemlidir. Surf salınımı liman basenlerinde kumlanmaya da neden olmaktadır.

Liman İçi Çalkantısı (Harbour Resonance): Liman basenleri ve büyük koylar gibi deniz bağlantısı olan su alanlarında (liman, koy, fiyord, inlet) zorlanmış salınıma liman içi çalkantı denilmektedir. Liman içi çalkantı seich hareketinin özel bir tipidir. Seich (çalkantı) den farklı olarak doğrudan dış kuvvetler (atmosfer basıncı, rüzgar, sismik etkiler) tarafından üretilmemekte olup açık sınırdan giren uzun dalgalar tarafından üretilmektedir. Liman içi çalkantı liman ağzından yayılımı ile sönümlenmektedir. Liman içi çalkantının temel bir modu (Helmholtz modu) vardır. Ancak bu kapalı basenlerde yoktur. Doğru planlanmayan limanlarda meydana gelmektedir. Çalkantı kabul edilmeyen bir olaydır ve liman geometrisinin ve yapılarının doğru planlanması ile önüne geçilebilir.

Çalkantı (Seiche): Göl gibi kapalı alanlarda su seviyesinin uzun periyotlu doğal salınımıdır. Seiche'i tetikliyen çok çeşitli faktör vardır. Bunlar tsunamiler, sismik etkiler, jet tipi akımlar dır. Ancak en yaygın etkiler atmosfer etkisi, rüzgar dalgaları ya da soluğan dalgalarının lineer olamayan etkileşimidir. Liman içi çalkantısından farklı olarak temel mod kapalı basenlerde mevcut değildir. Seiche enerjinin harcanımı ile sönümlenmektedir. Periyotları tipik olarak 2 ile 40 dakikadır.

Tsunami (Depreşim Dalgası): Deniz tabanındaki heyelan ve tektonik hareketler yani sismik aktiviteler gibi denize enerji veren bir sistem tarafından üretilen dalgalardır. Derin suda periyodu 5-60 dakika, dalga boyu 30<L<800 km ve yüksekliği 1-100 cm civarında olmakla beraber 11 Mart 2011 tsunamisi 5 km derinlikte yaklaşık 2 m lik dalga yüksekliğine ulaşmıştır. Dalga boyu üzerinde yayıldığı derinliğe oranla çok büyük olduğundan, en derin okyanuslarda bile sığ su dalgası gibi hareket etmektedirler. Bu nedenle hızları su derinliği ile kontrol edilir. Tsunami nadir doğa olayı olmakla beraber nükleer santraller ve limanlar gibi kısa veya uzun süreli olarak işlevlerini yerine getirememeleri halinde ekonomik kayba neden olacak, günlük yaşamı etkileyecek ve çevresel risk oluşturacak yapıların tasarımında dikkate alınmalıdır.

2.2 Su Seviyesi Değişimleri

Kıyı alanlarında yerel su seviyesi değişimine neden olan ana etkenler;

- Deniz seviyesinin uzun dönemli değişimleri,
- Gel-git,
- Rüzgar etkisinde su seviyesi değişimi,
- Tsunami gibi tekil dalga olayı,
- Surf bölgesinde kırılan dalgaların neden olduğu su seviyesindeki çalkantılar.

2.2.1 Gel-git

Dünya, Ay ve Güneş arasındaki kütlesel çekim etkileşiminden doğan kuvvetlerin toplamı büyük su kütlelerinde periyodik değişimlere neden olmaktadır. Düzensiz bir şekilde ortaya çıkan meteorolojik etkiler de yerel gel-git hareketlerini etkilemektedir. Bu kuvvetlerden doğan su kütlelerindeki yükselme ve alçalmalar "astronomik gel-git" olarak adlandırılmaktadır. Bu gel-git'in neden olduğu yatay hareket ise "gel-git akıntısı" olarak bilinmektedir (Yüksel ve

Çevik, 2010). Astronomik gel-git yerel su seviyelerinin harmonik analizi esas alınarak belirlenir.

Gel-git dalgaları dört büyük bileşenin birbirlerine göre önemi esas alınarak (M2, S2, K1 ve O1) sınıflandırılmaktadırlar. Gel-git kaynaklı kuvveti oluşturan dokuz büyük astronomik bileşenin periyotları ve genlikleri Tablo 2.1'de verilmiştir. Şekil 2.1'de ise gel-git seviyeleri ile ilgili tanımlamalar görülmektedir (Yüksel ve Çevik, 2010);

- Ortalama Su Seviyesi (OSS, ing; MWL): Uzun bir süre boyunca ölçülmüş deniz seviyesinin ortalama değeri (en az 18.6 yıl).
- Ortalama Gel-git Seviyesi (OGS, ing; MTL): Yüksek su ve düşük su seviyelerinin ortalaması.
- Ortalama Yüksek Su (OYS, ing; MHW): Yüksek su seviyelerinin ortalaması.
- Ortalama Düşük Su (ODS, ing; MLW): Düşük su seviyelerinin ortalaması.
- Ortalama En Yüksek Su (OEYS, ing; MHHW): Günlük yüksek (iki) su seviyelerinin en yüksek olanlarının ortalaması.
- Ortalama En Düşük Yüksek Su (OEDYS, ing; MLHW): Günlük yüksek (iki) su seviyelerinin en düşük olanlarının ortalaması.
- Ortalama En Yüksek Düşük Su (OEYDS, ing; MHLW): Günlük düşük (iki) su seviyelerinin en yüksek olanlarının ortalaması.
- Ortalama En Düşük Su (OEDS, ing; MLLW): Günlük düşük (iki) su seviyelerinin en düşük olanlarının ortalaması.
- Ortalama En Büyük Yüksek Su (Spring) (OEBYS, ing; MHWS): Gel-git aralığı en büyük değerini aldığında, ardışık iki yüksek su seviyesinin ortalaması.
- Ortalama En Büyük Düşük Su (Spring) (OEBDS, ing; MLWS): Gel-git aralığı en büyük değerini aldığında, ardışık iki düşük su seviyesinin ortalaması.
- Ortalama En Küçük Yüksek Su (Neap) (OEKYS, ing; MHWN): Gel-git farkı en küçük değerini aldığında, ardışık iki yüksek su seviyesinin ortalaması.
- Ortalama En Küçük Düşük Su (Neap) (OEKDS, ing; MLWN): Gel-git farkı en küçük değerini aldığında, ardışık iki düşük su seviyesinin ortalaması.
- En Yüksek Astronomik Gel-git (EYAG, ing; HAT): Normal meteorolojik şartlar altında oluşabilen en yüksek su seviyesi (fırtına kabarması olmaması halinde).
- En Düşük Astronomik Gel-git (EDAG, ing; LAT): Normal meteorolojik şartlar altında oluşabilen en düşük su seviyesi.
- Ortalama Gel-git Aralığı: Ortalama yüksek su (MHW) ve ortalama düşük su (MLW) seviyeleri arasındaki fark.
- Ortalama En Büyük (Spring) Gel-git Aralığı: MHWS ile MLWS arasındaki fark.
- Ortalama En Küçük (Neap) Gel-git Aralığı: MHWN ile MLWN arasındaki fark.

Tablo 2.1 Astronomik bileşenler

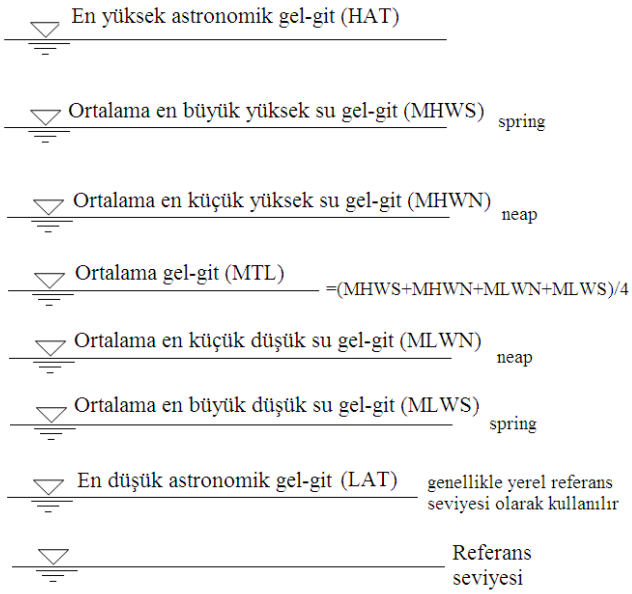
Kaynak	Sembol	Periyot (saat)	Rölatif kuvvet (%)
Main lunar, yarı-günlük	M2	12.42	100
Main solar, yarı-günlük	S2	12.00	46.6
Lunar elliptic, yarı-günlük	N2	12.66	19.2
Lunar-solar, yarı-günlük	K2	11.97	12.7
Lunar solar, günlük	K1	23.93	58.4
Main lunar, günlük	O1	25.82	41.5
Main solar, günlük	P1	24.07	19.4
Lunar fortnightly (15 günlük), uzun periyotlu	M_f	327.86	17.2
Lunar monthly (aylık), uzun periyotlu	M_m	661.30	9.1

Gel-git'in sınıflandırılması aşağıda verilen orantı sayısı ile yapılmaktadır.

$$F = \frac{H_{K1} + H_{01}}{H_{M2} + H_{S2}} \quad (2.1)$$

H : Gel-git genliği
2H : Gel-git aralığı (tidal range)
Bu şekilde aşağıdaki dört dalga tipi tanımlanmıştır (Yüksel ve Çevik, 2010).

- Yarı-günlük gel-git, F≤0.25
- Günlük gel-git, F≥3
- Karma, esas olarak yarı-günlük gel-git, 0.25<F<1.5
- Karma, esas olarak günlük gel-git, 1.50<F<3.0



Şekil 2.1 Standart gel-git seviyesi tanımları (Yüksel ve Çevik, 2010)

Gel-git'in büyüklüğü ise aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır (PIANC, 2014);

- Makro gel-git: gel-git aralığı >4 m
- Orta gel-git: gel-git aralığı 3 – 4 m
- Mikro gel-git: gel-git aralığı <2 m

Ulusal su seviyesi (national datum level) yaklaşık olarak ortalama su seviyesine eşit kabul edilir. Buna karşılık chart datum en düşük gel-git seviyesidir (EDAG, ing; LAT) (CIRIA, 1996).

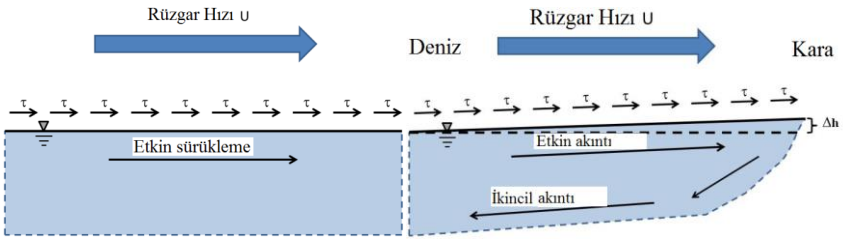
2.2.2 Fırtına Kabarması

Kuvvetli fırtına şartları altında rüzgar gerilmesi ve atmosfer basıncındaki azalma ile su seviyesinin normal gel-git seviyesi üzerinde ani değişmesine fırtına kabarması denilmektedir. Özellikle sığ su bölgelerinde önemli seviye değişikliklerine neden olmaktadır. Rüzgarın su yüzeyinde neden olduğu gerilme, kütle taşınımı ve oluşan yerel akıntılar Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Teorik olarak rüzgar kabarması, feç uzunluğu ve rüzgar hızının karesiyle doğru orantılı derinlikle ters orantılıdır. Fırtına kabarması normal koşulların üzerinde maksimum 5m'den 10m'ye kadar değişebilmektedirler. Fırtına kabarması hidrodinamik sayısal modelleme yardımıyla belirlenir. Dikkate alınan tipik yineleme dönemi 20 yıldır.

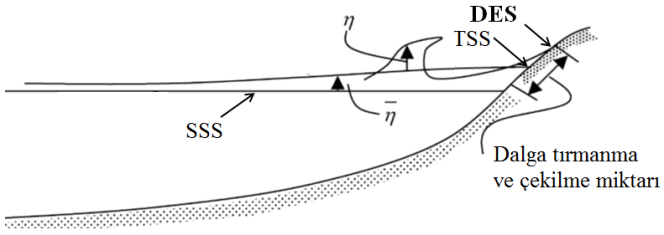
2.2.3 Dalga Kabarması

Dalga kabarması surf bölgesinde yerel olarak ortaya çıkmaktadır. Surf bölgesinde kırılma derinliğinden kıyıya doğru momentum transferi nedeniyle su seviyesindeki artış dalga kabramasına neden olur. Dalga etkisinden dolayı kıyıda neden olduğu su seviyesi değişiminin iki bileşeni vardır, bunlar; kabarma olarak adlandırılan statik bileşen ile dalganın tırmanmasıyla oluşan ve çalkantı olarak bilinen dinamik bileşendir. SSS üzerine kabarmanın eklenmesiyle elde edilen OSS kıyıda taşkın su seviyesi (TSS) olarak da isimlendirilir. SSS

üzerine dalga tırmanma yüksekliğinin eklenmesi ile elde edilen seviye dalga etki seviyesi (DES) olarak adlandırılır (Şekil 2.3).



Şekil 2.2 Rüzgar etkisi, sürükleme nedeniyle akıntı ve sığ suda kabarma (PIANC, 2014)



Şekil 2.3 Kıyıda su seviyesi değişimleri (PIANC, 2014)

2.2.4 Barometrik Kabarma

Fırtınalar büyük basınç değişimlerinin bir sonucu olduğundan, barometrik kabarma fırtına kabarmasıyla ilişkilidir. Deniz ve kıyı arasında veya kıyının yüksek rüzgâr ve düşük rüzgâr alanlarında Δp kadarlık barometrik basınç farkı doğduğunda, ilave su seviyesi değişimi meydana gelmektedir.

$$\Delta h = \frac{\Delta p}{\rho g} \qquad (2.2)$$

ρ : Suyun özgül kütlesi (kg/m^3)

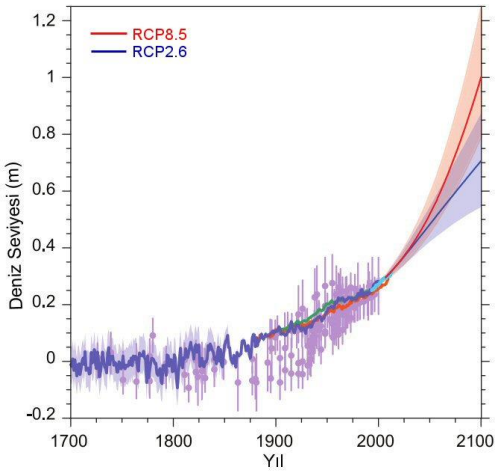
(2.2) ifadesine göre her kPa'lık basınç farkı 0.1 m'lik su seviyesi artışına neden olmaktadır (Yüksel ve Çevik, 2009).

2.2.5 Ortalama Deniz Seviyesindeki Uzun Dönemli Değişimler

Ortalama Deniz Seviyesi Değişimlerinin Tahmini

Deniz yapılarının tasarımında ve boyutlandırılmasında astronomik gel-git ve fırtına kabarmalarına bağlı su seviyesi değişimlerinin yanısıra dünyamızın iklim değişikliği nedeniyle karşı karşıya olduğu deniz seviyesi yükselmesinin de dikkate alınması gerekmektedir.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)'in 2013 yılında yayımlanan son raporunda 2100 yılına kadar oluşabilecek küresel deniz seviyesi artışı tahminleri verilmiştir. IPCC'nin 21. yüzyılın sonuna kadar oluşması muhtemel deniz seviyesi artışı tahminleri Şekil 2.4'te gösterilmiştir. IPCC (2013) bu tahminleri yaparken küresel ısınma, ve buzul kütlelerindeki değişimlere dair bir takım belirsizlikleri de dikkate alan çeşitli senaryoları (Representative Concentration Pathway (RCP) Scenarios) esas almıştır. Şekil 2.4'te en olası senaryolar olarak değerlendirilen RCP 8.5 ve RCP 2.6 senaryolarını esas alan tahminler %5 ve %95 güvenilirlik seviyeleri ile birlikte gösterilmiştir. Bu değerlendirmeler ışığında 2007-2100 yılları arasında küresel deniz seviyesi artışının RCP 8.5 senaryosuna göre 0.53–0.98 m arasında ve RCP 2.6 senaryosuna göre 0.28–0.61 m arasında gerçekleşeceği tahmin edilmektedir.



Şekil 2.4 Geçmiş ölçümler ve 21. yüzyıl'ın sonuna kadar gerçekleşmesi muhtemel küresel deniz seviyesi artışı tahminleri (IPCC, 2013)

IPCC (2013) raporunda bölgesel ölçekli deniz seviyesi değişimleri ve tahminler de değerlendirilmiştir. Daha ayrıntılı değerlendirmeler için IPCC (2013) raporuna bakılması tavsiye edilmektedir.

2.3 Tsunami (Depreşim Dalgası)

Denizin herhangi bir bölgesinde ortama kısa sürede enerji girişi sonucu oluşan dalgalardır ve Japonca'da tsunami olarak adlandırılırlar. Tsunaminin hızı, derin denizde üzerinde yayıldığı su derinliğinin karekökü ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla derin sularda hızlı, sığ sularda yavaş hareket ederler. Tsunamiler, dalga yükseklikleri az olsa bile, şiddetli akıntılar oluşturabilirler. Genellikle limanlar ve küçük tekne barınaklarında etkili olurlar. Zaten Japonca'da liman (tsu) dalgası (nami) sözcükleri ile tanımlanmasının nedeni de budur.

Tsunami Etki Alanında yer alıp kısa veya uzun süreli olarak işlevlerini yerine getirememeleri halinde ekonomik kayba neden olacak ve günlük yaşamı etkileyecek yapılar için yapının bulunduğu alanı etkileyecek "Öngörülen Maksimum Tsunami" gözönüne alınarak aşağıda açıklanan hususlar detaylı olarak incelenmelidir. Burada takip edilen yöntem, şimdiye kadar hazırlanan en detaylı şartname olması nedeniyle, "American Society of Civil Engineers (ASCE), Structural Engineering Institute (2016)" şartnamesi göz önüne alınarak hazırlanmıştır (Chock, 2015). Ele alınmayan kısımlar için söz konusu şartnameden yararlanılması tavsiye olunur.

Aşağıda kullanılan ve Şekil 2.5'de gösterilen parametrelerin tanımlamaları verilmiştir:

Akım derinliği: Tsunaminin sığ su veya karada ilerlerken oluşturduğu su derinliğidir. Bir başka deyişle su yüzeyi ile taban arasındaki düşey mesafedir.

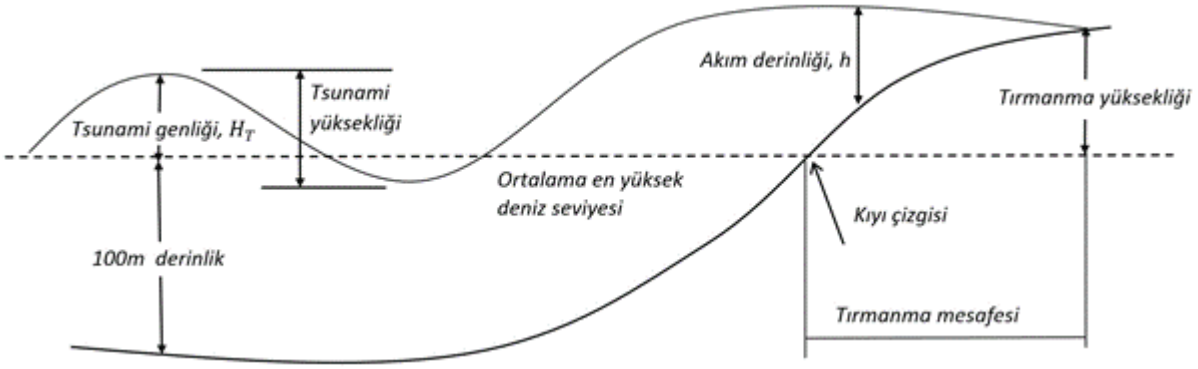
Çekilme mesafesi: Tsunaminin denizde geri çekildiği nokta ile ortalama en yüksek su seviyesindeki kıyı çizgisi arasındaki yatay mesafedir.

Tsunami (dalga) yüksekliği: Tsunaminin en yüksek ve en düşük su seviyesi arasındaki farktır.

Dalga periyodu: Dalganın art arda gelen iki tepe noktası arasındaki zamansal farktır.

Tırmanma mesafesi: Tsunaminin karada ilerlerken en uç noktası ile ortalama en yüksek su seviyesindeki kıyı çizgisi arasındaki yatay mesafedir.

Tırmanma yüksekliği: Tsunaminin karada ilerlerken en uç noktası ile ortalama en yüksek su seviyesindeki kıyı çizgisi arasındaki düşey mesafedir.



Şekil 2.5. Tsunami parametreleri

Tsunami analizi yapılacak bölge için literatürdeki çalışmalar incelenerek bölgeyi etkileyecek uzak ve yakın mesafedeki tektonik tsunami kaynakları, denizaltı veya denizüstünde başlayıp denize uzanan toprak kaymalarından oluşacak tsunamiler ve çok az görülmekle birlikte, denizdeki volkan patlamaları sonucu oluşabilecek tsunamiler değerlendirilmelidir. Değerlendirilen tsunamiler için parametrik analiz yapılarak değerlendirilecek yapıyı en çok etkileyecek "Öngörülen Maksimum Tsunami" belirlenmelidir.

Tsunamilerin kıyı yapılarına etkileri doğruluğu ve geçerliliği, en azından, Synolakis vd. (2008)'de belirlenen kıstas problemleri ile karşılaştılarak gösterilmiş sayısal çözümleme yöntemleri kullanılarak detaylı olarak incelenmelidir. Kritik yapılara tsunamilerin etkilerini incelemek için yapının bulunduğu bölge için tsunami tırmanma analizi "Öngörülen Maksimum Tsunami" göz önüne alınarak sayısal olarak hesaplanmalıdır. Bu hesaplamalar yapılırken, 200 m'den derin bölgeler için 1000 m'lik çözümleme ağı, 200 m derinlikten az bölgeler için en fazla 90 m çözünürlükteki çözümleme ağı, 10 m'den sığ bölgeler için ise 10 m'lik çözümleme ağı önerilmekle birlikte, mümkün olan en hassas sayısal yükselti modeli kullanılmalıdır. Kullanılan sayısal yükselti modellerinin düşük çözünürlüklü verilerden interpolasyon yoluyla elde edilmiş daha yüksek çözünürlüklüymüş gibi görünen sayısal yükselti modelleri olmaması gereklidir.

Sözkonusu bölge için tırmanma haritasının hazırlanarak aşağıda sıralanan parametrelerin incelenmesi önerilse de, sayısal yükselti modeli yeterli çözünürlükte sağlanamıyorsa, ASCE (2016)'da açıklandığı üzere, tsunaminin dalga odaklanmasının olmayacağı veya yayılım yönündeki topoğrafyada önemli ölçüde değişmediği bölgeler için öncelikle, surf benzerlik parametresi kullanılarak maksimum tırmanma mesafesi hesaplanmalıdır. Surf benzerlik parametresi ξ_{100} gel-git seviyesinin en yüksek düzeyi hesaba katılarak hesaplanmış tsunami tırmanması R'nin 100 m derinlikteki tsunami genliği H_T'e oranını (R/H_T) belirlemede kullanılmalıdır. Surf benzerlik parametresi ξ_{100} aşağıdaki gibi tanımlanmış dır.

$$\xi_{100} = (\mathrm{T_{tsu}}/\cot\phi)\sqrt{\mathrm{g}/(2\pi\,\mathrm{H_T})} \qquad (2.3)$$

Bu eşitlikte T_{tsu} 100 m derinlikteki etkin tsunami periyodunu, ϕ 100 m derinlik ve ortalama en yüksek su seviyesine karşılık düşen kıyı çizgisi dikkate alınarak hesaplanan kıyı eğim açısını, g yerçekimi ivmesini göstermektedir. 100 m derinlikteki H_T ve T_{tsu} değerleri "Öngörülen Maksimum Tsunami" dikkate alınarak sayısal olarak hesaplanmalıdır.

Tablo 2.2. Maksimum tırmanma yüksekliğinin açık deniz tsunami yüksekliğine oranının $(\mathrm{R/H_T})$ surf benzerlik parametresine (ξ_{100}) göre değişimi (ASCE, 2016)

$\xi_{100} \leq 0.6$	$\mathrm{R/H_T} = 1.5$
$0.6 < \xi_{100} \leq 6$	$\mathrm{R/H_T} = 2.50[\log_{10}(\xi_{100})] + 2.05$
$6 < \xi_{100} \leq 20$	$\mathrm{R/H_T} = 4.0$
$20 < \xi_{100} \leq 100$	$\mathrm{R/H_T} = -2.15[\log_{10}(\xi_{100})] + 6.80$
$\xi_{100} > 100$	$\mathrm{R/H_T} = 2.5$

Maksimum akım derinliği h_{maks} ve maksimum akım hızı u_{maks} hesaplanması, kıyıya yakın bölgeler için sayısal çözümleme yöntemi kullanılmamışsa, "Öngörülen Maksimum Tsunami" için derin denizde sayısal çözümleme yapılarak 100 m derinlikte elde edilen H_T ve T_{tsu} değerleri kullanılıp enerji gradyan çizgisi analizi yapılarak hesaplanmalıdır. ASCE (2016)'da kullanılan hesaplama yöntemi aşağıda kısaca özetlenmiştir, daha detaylı bilgi için söz konusu kaynağa başvurulabilir:

Enerji çizgisi analizi yapılacak batimetrik/topoğrafik kesit için sayısal yükselti modeli 100 m derinlikten başlayıp maksimum tırmanma mesafesine kadar, her bir parçasının uzunluğu 30 m'den fazla olmayacak şekilde hazırlanmalı ve her kesit parçası için eğim ϕ hesaplanmalıdır. Bu kesit hazırlanırken 30 m'den yüksek çözünürlüklü veri kullanılmamalıdır. Her bir kesit parçası için Manning sürtünme katsayısı Tablo 2.3'den seçilmelidir. Kesit ara noktaları x_i için Froude sayısı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmalıdır;

$$\mathrm{F_{ri}} = (1 - \mathrm{x_i/x_R})^{0.5} \tag{2.4}$$

Bu eşitlikte $\mathrm{x_i}$ kesit ara noktasının kıyıdan uzaklığını, x_R tsunaminin en büyük ilerleme mesafesini göstermektedir. En yüksek tırmanma noktasından başlanarak kıyıya doğru, en yüksek tırmanma noktasında hidrolik yükün sıfır olduğundan $(E_R = 0)$ hareketle, bir önceki kesit ara noktası için hidrolik yük;

$$\mathrm{E_{g,i}} = \mathrm{E_{g,i-1}} + (\phi_\mathrm{i} + \mathrm{s_i})\Delta\mathrm{x_i} \tag{2.5}$$

eşitliğinden hesaplanmalıdır. En yüksek tırmanma noktasında akım yüksekliği 0.03 m olarak kabul edilebilir. Bu eşiklikte Δx_i iki kesit ara noktası arasındaki mesafeyi göstermektedir ve enerji gradyan çizgisinin eğimi $\mathrm{s_i} = \mathrm{g{F_{ri}}^2/((1.00/n)^2 h_{i-1}^{1/3})}$ olarak hesaplanmalıdır. Bir sonraki kesit ara noktasındaki hidrolik yük $E_{g,i}$ hesaplandıktan sonra $E_i = h_i(1 + 0.5{F_{ri}}^2)$ eşitliğinden h_i hesaplanarak, Froude sayısının tanımı $F_{ri} = u_i/(g\,h_i)^{1/2}$ kullanılarak da u_i bulunmalıdır. Hesaplanan bu değerler o kesit ara noktasındaki maksimum akım yüksekliği h_{maks} ve maksimum akım hızı u_{maks} olarak alınmalıdır. Hesaplanan akım hızı minimum hız 3.0 m/s'den az ise 3.0 m/s olarak alınmalı ve 15.2 m/s ve $1.5(\mathrm{gh_{maks}})^2$ nin küçüğünden fazla olmamalıdır. Ayrıca en yüksek akım hızının en yüksek akım derinliğine karşı gelmeyeceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 2.3. Manning sürtünme katsayısı (n) (ASCE, 2016)

Sürtünme yüzeyi	n
Sığ su deniz tabanı	0.025-0.03
Açık alan	0.025
Diğer tüm durumlar	0.03
Yapıların yer aldığı alanlar	0.04

Yapının bulunduğu alanı etkileyecek "Öngörülen Maksimum Tsunami" için aşağıdaki parametreler değerlendirilmelidir:

1. En büyük ilerleme (yüksek tırmanma) mesafesi,
2. En büyük çekilme mesafesi,
3. En yüksek akım derinliği,
4. En yüksek akım hızı,
5. En yüksek yükler,
6. Morfolojik etkiler.

Bu parametreler tercihen sayısal çözümleme yöntemi, eğer bu mümkün değilse enerji çizgisi analizi kullanılarak hesaplanan akım derinliği ve hızı kullanılarak bulunmalıdır. Tsunamilerin kıyı yapıları üzerindeki etkileri hesaplanırken ortalama deniz seviyesindeki uzun dönemli değişimler de dikkate alınmalıdır.

Bu parametreler aşağıda detaylı olarak sıralanmıştır:

1. **En büyük ilerleme mesafesi x_R (en yüksek tırmanma yüksekliği R):** Tsunaminin karada ilerlediği en son nokta ile ortalama en yüksek su seviyesindeki kıyı çizgisi arasındaki yatay mesafedir. Bu mesafenin alabileceği en büyük mesafe kritik yapıların yerlerinin belirlenmesinde değerlendirilmelidir. Tsunaminin kara üzerinde ulaştığı en son nokta ile sakin su seviyesi arasındaki düşey mesafe en yüksek tırmanma yüksekliğidir (R). En büyük ilerleme mesafesi, dolayısıyla en yüksek tırmanma mesafesi, gel-git dalgasının eriştiği en yüksek seviyesinden itibaren ölçülmeli ve ortalama deniz seviyesindeki uzun dönemli değişimler de dikkate alınmalıdır. Ayrıca, eğer tsunamiyi oluşturan deprem kıyıya yakın olmuş ve kıyıda çökmeye neden olmuş ise bu çöküntü hesaba katılmalıdır.
2. **En büyük çekilme mesafesi:** Tsunaminin denizde geri çekildiği en son nokta ile ortalama en yüksek su seviyesindeki kıyı çizgisi arasındaki yatay mesafedir. Bu mesafenin alabileceği en büyük mesafe kritik yapıların yerlerinin belirlenmesinde değerlendirilmelidir. Özellikle kıyı alanlarının yakınında bulunan güç santrallerinin soğutma sistemlerine yeterli hacimde devamlı su girişi gereklidir. Tsunaminin kıyılara özellikle öncü çöküntü dalgası olarak gelmesi durumunda ve/veya kıyı üzerinde tırmandıktan sonra kıyıdan çekilmesi sırasında deniz seviyesi güç santralinin su alma ağzının olduğu noktayı açıkta bırakırsa, güç santralı su alamaz duruma gelebilir. Su çekilme süresi tsunami periyodu ile orantılıdır. Ayrıca, tsunami dalgası nedeniyle suyun aşırı yükselmesi de su alma borusundan soğutma sistemi ve pompalara aşırı basınçlı su girişine neden olur ve pompalar ile trafoları etkileyerek güç santrallerinin soğutma sistemlerinde geçici veya kalıcı yetersizliğe sebep olur.
3. **En yüksek akım derinliği:** Tsunami etkisinin hesaplandığı yapının bulunduğu alandaki akım derinliği modelleme yoluyla hesaplanarak en yüksek akım derinlikleri belirlenmelidir. Eğer sayısal yükselti modeli yeterli çözünürlükte olmaması nedeniyle sayısal modelleme yapılmamışsa enerji gradyan çizgisi analizi kullanılarak en yüksek akım derinlikleri hesaplanmalıdır. En yüksek akım derinliği hesaplanırken tsunamiyi oluşturan deprem kıyıya yakın olmuş ve kıyıda çökmeye neden olmuş ise bu çöküntü hesaba katılarak yapılmalıdır.
4. **En yüksek akım hızı:** Tsunami etkisinin hesaplandığı yapının bulunduğu alandaki akım hızları modelleme yoluyla hesaplanarak en yüksek akıntı hızları belirlenmelidir. Eğer sayısal yükselti modeli yeterli çözünürlükte olmaması nedeniyle sayısal modelleme yapılamamışsa enerji gradyan çizgisi analizi kullanılarak en yüksek akıntı hızları hesaplanmalıdır.
5. **En yüksek yükler:** Kıyı bölgelerindeki tsunami etkileri sadece maksimum su seviyesi yükselmesine (tırmanmasına) bağlı değildir. Aynı zamanda maksimum akım hızı, akım

derinliği nedeniyle oluşan hidrostatik ve hidrodinamik kuvvetler nedeniyle oluşabilecek yapısal ve fonksiyonel hasar durumlarının da değerlendirilmesi gereklidir. Tsunami dalgaları 1) tüm yapıları temellerinden ayırarak hareketlendirebilir ve iç kısımlara taşıyabilir; 2) derinlerden taşıdığı deniz taşıtlarının veya içeriye giren dalga ile biriken diğer birikintilerin çarpma etkisi ile binalara zarar verebilir; 3) geri çekilen dalgaların sebep olduğu erozyon ile yapı temellerinin ve kazıkların altını oyabilir; 4) geri çekilen veya ilerleyen dalganın çekmesi veya itmesi ile yapılar devrilebilirler; 5) gemiler ve liman arasında akaryakıt ya da yük transfer işlemleri sırasında bağlantı kopması ve akaryakıtın ve yükün liman alanına dağılması ve beklenmedik çevresel zararların oluşmasına neden olabilir (Yalçıner ve Synolakis, 2007). Bu nedenle aşağıdaki yüklerin hesaplanarak dikkate alınması gereklidir (ASCE, 2016):

a. Hidrostatik yükler:

i) Kaldırma kuvveti: Kaldırma kuvveti dolayısıyla azalacak net ağırlık tsunami tırmanma alanı içerisinde kalan yapılar ve yapıya ait fakat yapısal olmayan elemanlar için

$$F_b = \gamma V \tag{2.6}$$

şeklinde hesaplanmalıdır. Burada γ suyun hidrostatik tasarım için kullanılan minimum özgül ağırlığını (ASCE (2016)'ya göre 11 kN/m^3) ve V su içerisinde batan cisim tarafından yer değiştiren suyun hacmini gösterir.

ii) Dengede olmayan yatay hidrostatik kuvvet: Tsunami tırmanma sınırları içerisinde olup %10'dan az açıklığı olan duvarlar için hidrostatik kuvvet aşağıdaki eşitlikten hesaplanmalıdır:

$$F_h = (1/2)\,\gamma b h_{maks}{}^2 \tag{2.7}$$

Bu eşitklikte b kuvvete maruz kalan genişlik ve h_{maks} yapının olduğu yerdeki maksimum akım derinliğidir.

iii) Döşemeler ve duvarlardaki su sürşarj yükü: Tsunami akıntı alanı içerisinde kalan tüm yatay yüzeyler için aşağıda verilen hidrostatik basınç dikkate alınmalıdır:

$$P_r = \gamma(h_{maks} - h_s). \tag{2.8}$$

Burada h_s yatay yüzeyin yer seviyesinden olan yüksekliğidir.

iv) Yapı temelindeki hidrostatik sürşarj basıncı: Tsunami akım derinliği nedeniyle oluşacak hidrostatik sürşarj basıncı aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır:

$$P_s = \gamma h_{maks}. \tag{2.9}$$

b. Hidrodinamik yükler: Yapıları etkileyecek hidrodinamik yükler aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

i) Basitleştirilmiş eşdeğer tekdüze yatay statik basınç: Dengede olmayan hidrostatik ve hidrodinamik yükler aşağıdaki eşdeğer tekzüde basınç hesaba katılarak hesaplanmalı ve $1.3\,h_{maks}$ yüksekliğinden uygulanmalıdır.

$$P_{uw} = 1.25\, I_{tsu}\, \gamma\, h_{maks}. \tag{2.10}$$

Burada $I_{tsu} = 1.25$ olarak alınmalıdır.

ii) Binalar ve diğer yapılara etkiyen direnç kuvveti: Binalar ve diğer yapı elemanları aşağıda verilen direnç kuvvetine direnecek şekilde tasarlanmalıdır:

$$F_d = (1/2)\,\rho I_{tsu} C_d B(h\,u^2). \tag{2.11}$$

Burada $\rho = 1128$ kg/m^3, B yapının genişliğini, h akım derinliğini, u akım hızını göstermektedir ve C_d direnç katsayısı Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.4. Dikdörtgen yapılar için direnç katsayısı (ASCE, 2016)

Genişlik / akım derinliği oranı $(\mathrm{B/h})$	Direnç katsayısı C_d
<12	1.25
16	1.3
26	1.4
36	1.5
60	1.75
100	1.8
≥120	2.0

c. Katı madde çarpma yükü:

Tsunami dalgası ile taşınan su, denizdeki ve karadaki deniz taban malzemesi ve rüsubat (bitki örtüsü, sediment ve insan yapımı yapılar vb.) ile karışmış olarak akar. Bu durumda, rüsubat ile akan sıvının kütle yoğunluğu artar. Böylece tsunami dalgası akımı (ilerleme ve çekilme) yoğun kütleli durumda daha şiddetli çarpma ve yükler oluşturacak enerjiye ulaşır. Hatta bazen tsunami geri çekilme hareketi sırasında da zarar verici olur.

Tsunami akım derinliğinin 1 m'den fazla olduğu bölgelerde katı madde çarpma yükü hesaplanmalıdır. Basitleştirilmiş durumda katı madde çarpma yükü

$$\mathrm{F_i} = 955\ \mathrm{I_{tsu}}\ (\mathrm{kN}) \qquad (2.12)$$

olarak değerlendirilmelidir.

6. **Morfolojik değişimler**: Tsunami tırmanması sırasında aşınma, çökelme, birikme ve sürüklenme oluşturabilir. Tsunami yayılımı sırasında aşınan maddeler taşınarak akım enerjisinin etkisini kaybettiği deniz yapıları yakınlarına ve/veya taşkın alanlarına çökelirler. Bu beklenmedik çökelmeler limanlarda da olabilir. Bu durumda liman hizmetleri etkilenebilir. Hatta liman girişi veya liman alanı kısmen ya da tamamen sığlaşarak seyir ve deniz aktiviteleri kısıtlanabilir veya engellenebilir. Tsunami dalgasının çekilmesi sırasında liman alanında bulunan yükler ya da diğer araçlar denize sürüklenerek limanın kullanılmasını engelleyebilirler.

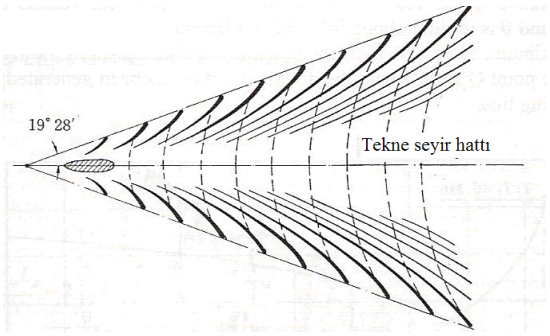
Yapıların çevresinde görülen oyulmalar da başka problemler olarak gözlenebilirler. Oyulmanın düzeyi, akım hızına ve deniz tabanının özelliklerine bağlıdır. Yapı stabilitesi, temel etrafında meydana gelen yerel oyulmadan etkilenebilir. Bu nedenle oyulma derinliği Tablo 2.5'deki değerler göz önüne alınarak değerlendirilmelidir.

Tablo 2.5. Oyulma derinliği (ASCE, 2016)

Akım derinliği (h)	Oyulma derinliği (m)
< 3.05 m	1.2h
≥ 3.05 m	3.66

2.4 Gemi Dalgaları

Gemiler seyirleri sırasında iki grup dalga üretmektedirler (Şekil 2.6), bunlardan birincisi geminin baş tarafından üretilen 人 şeklindeki "uzaklaşan dalgalar", diğeri ise geminin kıç tarafında oluşan tepeleri gemi seyir eksenine dik olan "enine dalgalar"dır. Uzaklaşan dalgalar konkav eğriliğe sahiptirler ve ilerledikçe boyları küçülmektedir. Buna karşın enine dalgalar yay biçimindedirler ve dalga boyları sabit kalmaktadır. Enine dalgaların diklikleri uzaklaşan dalgaların dikliklerinden daha küçüktür. Derin suda gemilerin ürettikleri bu dalgaların kapladıkları alanın sınırları gemi seyir eksenine göre $\pm 19^0 28'$ dir. Enine ve uzaklaşan dalgaların boy ve periyotları birbirlerinden farklıdır. Enine dalgalar daha uzun boya ve periyoda sahiptir. Uzaklaşan dalgalar ise başlangıçta uzun boy ve periyoda sahiptirler ancak ilerledikçe kısalırlar (Yüksel ve Çevik, 2009).



Şekil 2.6 Gemi dalgaları (OCDI, 2009)

Enine dalgaların boyları,

$$\frac{gL_t}{2\pi}\tanh\frac{2\pi d}{L_t} = V^2 \qquad (2.13)$$

ifadesinden iterasyon yardımıyla hesaplanmaktadır (OCDI, 2002), burada L_t enine dalganın boyu, d su derinliği ve $V = \sqrt{gd}$ geminin seyir hızıdır. Derin suda bu ifade aşağıdaki formda yazılmaktadır,

$$L_{t0} = \frac{2\pi}{g}V^2 \qquad (2.14)$$

Yine enine dalganın periyodu,

$$T_t = \sqrt{\frac{2\pi}{g}L_t \coth(\frac{2\pi d}{L_t})} \qquad (2.15)$$

Derin suda ise,

$$T_{t0} = \frac{2\pi}{g}V \qquad (2.16)$$

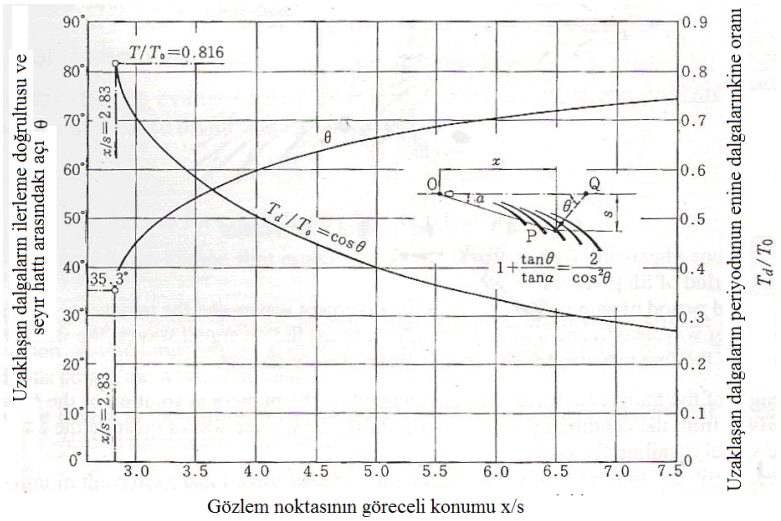
Uzaklaşan dalgaların boy ve periyotları ise aşağıdaki ifadeler yardımıyla hesaplanmaktadır (OCDI, 2002);

$$L_d = L_t \cos^2\theta \qquad (2.17)$$

$$T_d = T_t \cos\theta \qquad (2.18)$$

burada θ uzaklaşan dalganın seyir ekseni ile yaptığı açıdır ve Şekil 2.7'de bulunduğu konuma bağlı olarak verilmiştir.

Gemi dalgalarının özellikle kıyılarda erozyona neden oldukları gözlemlenmiştir, ayrıca seyir kanallarında şev koruması tasarımında dikkate alınmalıdır.



Şekil 2.7 Uzaklaşan dalgaların seyir ekseni ile yaptığı açı (OCDI, 2002)

Gemi dalgaları su derinliğinden etkilenmektedir. Aşağıda verilen koşulun sağlanması durumunda sığlaşma etkisi ihmal edilmektedir. Bu ifadeden yararlanılarak belirlenen derin su dalgaları Tablo 2.6'da verilmiştir.

$$V \le 0.7\sqrt{gd} \qquad (2.19)$$

Yukardaki bağıntıdan hesaplanan derinlik kritik derinlik olarak tanımlanmaktadır. Gemi dalgaları genelde derin su koşullarında üremektedirler. Sığ su koşullarında feribot ve küçük teknelerin ürettiği dalgalarla karşılaşılmaktadır.

Tablo 2.6 Derin su koşullarında gemi dalgaları (OCDI, 2009)

Gemi hızı (knot)	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	25.0	30.0
Su derinliği (m)	1.4	3.1	5.5	8.6	12.4	16.9	22.0	34.4	49.6
Enine dalganın periyodu (s)	1.7	2.5	3.3	4.1	5.0	5.8	6.6	8.3	9.9

Tam yüklü bir geminin tam yol ilerlemesi sırasında 100 m mesafede yaratacağı dalga yüksekliği aşağıdaki ifade ile verilmiştir.

$$H_0=\left(\frac{L_{OA}}{100}\right)^{1/3}\sqrt{\frac{E_{HPW}}{1620L_{OA}V}} \quad (m) \qquad (2.20)$$

burada V tam yüklü geminin hızı (knot), E_{HPW} beyir gücü dalga üretimi (W), L_{OA} geminin tam boyudur (m).

$$E_{HPW}=E_{HP}-E_{HPF} \qquad (2.21)$$

$$E_{HP}=0.6S_{HPm} \qquad (2.22)$$

$$E_{HPF}=\frac{1}{2}\rho S_{HPm}V_0^3C_F \qquad (2.23)$$

$$S_{HPm}=2.5\sqrt{\nabla L_{OA}} \qquad (2.24)$$

$$C_F=0.075/\left(\log\frac{V_0L_{OA}}{\nu}-2\right)^2 \qquad (2.25)$$

burada S_{HPm} sürekli maksimum şaft gücü (W), ρ deniz suyunun özgül kütlesi (1030 kg/m^3), V_0 geminin tam yüklü hızı (m/s) V_0=0.514V, C_F direnç katsayısı, ν deniz suyunun kinematik viskozitesi (m^2/s), ∇ tam yüklü yerdeğiştirme hacmidir (m^3).

Orta ve büyük gemiler yaklaşık 1.0- 2.0 m yüksekliğinde dalga üretmektedirler.Römorkörler tam hız ile seyir etmeleri durumunda büyük bir geminin yarattığı dalgayı yaratabilmektedir. Dalgalar $S^{-1/3}$ mesafesi ile orantılı olarak sönümlenmektedirler. Gemi dalgalarının kırılma koşulu ise aşağıdaki ifade ile verilmiştir.

$$H_{limit}=0.010V^2 \text{ (m)} \qquad (2.26)$$

burada V gemi hızıdır.

3. AKINTILAR

Akıntılar genellikle rüzgar, gel-git, su seviyesi değişimlerinden kaynaklandığı gibi sıcaklık, yoğunluk ve diğer değişimlerden dolayı da meydana gelmektedirler. Akıntılar yerel olarak rüzgar kaynaklı ve diğer nedenli dalgalardan da oluşabilmektedir.

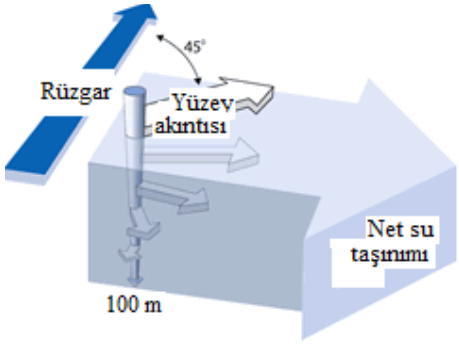
Kara ve su arasındaki sınırlarda akıntılar kara ile etkileşir ve akıntının doğrultusu, hızı değişir. Bundan başka Coriolis kuvveti de akıntıları rüzgara benzer tarzda etkilemektedir.

3.1 Okyanus (Derin Deniz) Akıntıları

Bu tip akıntıların normal olarak kıyı koruma çalışmaları üzerinde etkisi yoktur. Bu akıntıların temel nedenleri, rüzgar ve suyun yoğunluk gradyanlarıdır. Sıcaklık ve/veya tuzluluk farkından kaynaklanan yoğunluk gradyanı okyanuslardaki sirkülasyonun sebebidir. Bu sirkülasyonlar üst yüzeydeki sular ile alt katmanlardaki suların değişimlerine neden olmaktadır. Sıcaklık ve tuzluluktaki derinlik boyunca oluşan değişimler denizlerde tabakalaşmaya neden olur. Derinlik boyunca sıcaklık gradyanının en büyük olduğu tabaka termoklin tabakası olarak adlandırılır. Denizlerde tuzluluk ve sıcaklık nedeniyle meydana gelen tabakalaşma, özellikle derin deniz su deşarjları, su alma yapıları ve derin deniz boru ya da diğer deniz altı yapılarının tasarımında belirlenmelidir.

3.2 Rüzgar Etkisinde Akıntılar

Rüzgar etkisindeki akıntılar su yüzeyinde Şekil 2.2'de görülen kayma gerilmesine neden olur. Rüzgar etkisiyle oluşan akıntılarda, su partiküllerinin sadece rüzgar gerilmesinin etkisiyle hareket ettikleri kabul edilir. Şekil 3.1'de rüzgar etkisinde derin suda oluşan akıntının şematik tanımı gösterilmiştir. Coriolis kuvveti de akıntıların yapılanmasında etkin olmaktadır.



Şekil 3.1 Derin su koşullarında rüzgar etkisinde akıntı yapısı ve Ekman spirali (PIANC, 2014)

3.3 Gel-git Akıntıları

Gel-git dalgalarının hareketi ile gel-git akıntı yapısı ortaya çıkmaktadır. Yüksek gel-git halinde dalga tepesi altında su partikülleri dalganın ilerleme doğrultusunda, düşük gel-git te ise dalga çukuru altında ters doğrultuda ilerlemektedirler. Kıyı yakınlarında, dar ve geniş koylarda, özellikle haliçlerde gel-git yansıma, sapma ve dönme ile birlikte karayla etkileşirler. Kıyılarda gel-git akıntılarının ekstrem akım hızları 5 knot ile 10 knot değerlerine ulaşırlar. Ancak bu büyüklükteki hızlar sadece rijit (kayalık) deniz tabanı halinde meydana gelmektedir (PIANC, 2014). Gel-git akımları özellikle akarsu ağızlarında önemli etkilere neden olurlar.

3.4 Dalga Etkisinde Akıntılar

Rüzgar ve gel-git akıntılarına ilave olarak, yakın kıyıda dalgaların kırılması kıyıya dik ve kıyı boyu akıntıların yapılanmasına neden olurlar.

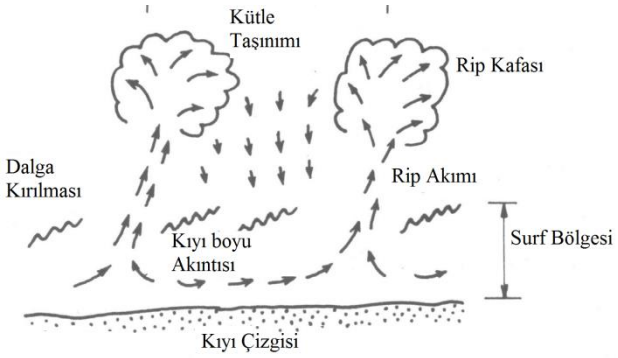
Kıyı Boyu Akıntılar

Kıyıya belli bir açıyla yaklaşarak kırılan dalgalar karmaşık ve yüksek türbülansa sahip kıyı boyu akıntıları oluştururlar. Kıyı boyu akıntılarına dalga gerilme akısı sebep olmaktadır. Fırtına sırasında bu akıntılar 2.5 m/s'lik hızlara ulaşabilmektedir. Bu akıntılar kıyı boyunca

katı madde (sediment) taşınımına da neden olmaktadır ve kıyı morfolojisinin yapılanmasında önemli rol oynamaktadır.

Kıyıya Dik Akıntılar

Rip Akımları: Kıyı boyu akıntıları, kıyı boyunca belli aralıklarda rip akımlarını şekillendirmektedirler. Bunlar kıyıdan açık denize doğru oluşan yerel akıntılardır. Bu akıntılar deniz tabanındaki kum eşiğini yırtarak açık denize deşarj olurlar (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Kıyı boyu ve rip akımları (PIANC, 2014)

Kütle Taşınımı

Bu olay dalganın eğimli ve yatay taban üzerinde ilerlemesi sırasında meydana gelir. Serbest yüzeye yakın su partikülleri, dalganın ilerleme doğrultusunda taşınırlar. Surf bölgesi içinde kıyıya doğrudur.

Yüzey Çevrisi

Dalganın kırılmasıyla oluşan çevriler kıyıya doğru suyun taşınımına neden olurlar.

Geri Dönüş Akımı

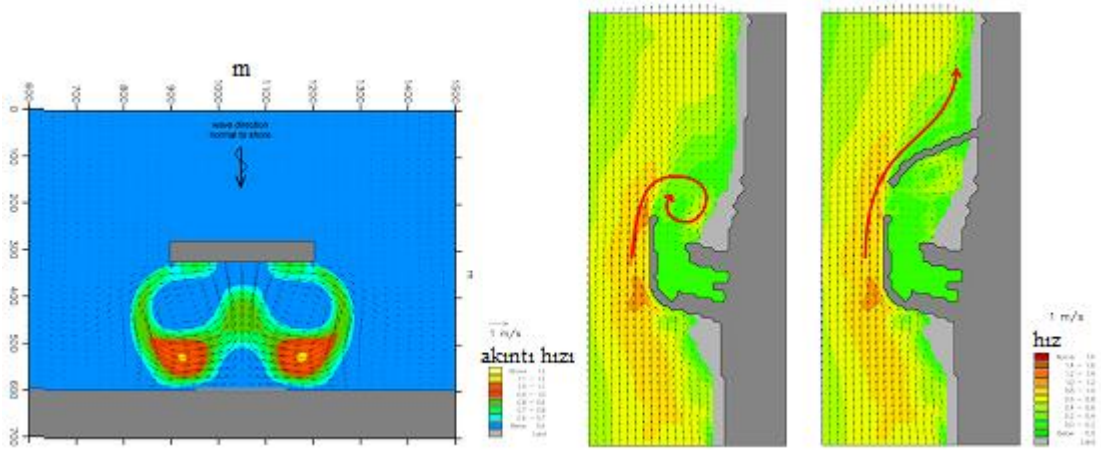
Surf bölgesinde, serbest yüzeye yakın yapılanan akım yapısında kütle dengesini sağlayacak biçimde tabana yakın ve açığa doğru şekillenen akım yapılanır. Bu akım kum eşiklerinin meydana gelmesinde önemli rol oynar.

Yakın Kıyı Bölgesinde İki Boyutlu Akıntılar

Kıyı çizgisi boyunca yukarıda bahsedilen kıyı boyu ve kıyıya dik akıntılar yapılanır ve düzensiz batimetri, deniz yapıları gibi durumlarla etkileşimleri ile oldukça karmaşık iki boyutlu akıntıları şekillendirirler.

Korunmuş Alanlarda Akıntılar

Kıyı yapılarının korudukları su alanına doğru yaklaşan dalganın dönme etkisiyle akıntı yapılanır. Yapının arkasında sirkülasyonlar oluşur. Bu sirkülasyonlar yüzücüler için risk oluşturur. Sirkülasyon ayrıca yapının arkasının kumlanmasına neden olur. Bu tip sirkülasyon akımı Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Korunmuş alanlarda sirkülasyon (PIANC, 2014)

4. KATI MADDE TAŞINIMI VE MORFOLOJİ

4.1 Giriş ve Tanımlar

Kıyılarda hareketli taban problemi, limanların kumlanması, kıyılarda kurulu enerji santralleri ile rafinerilerdeki soğutma suyu giriş ve deşarj yapılarında kumlanma, kıyı taşkınları, kıyı erozyonu, dolayısıyla doğal ve yapay plajların yok olması, açık deniz platformlarında, boru hatlarında, kazıklı yapılarda, rıhtımlarda, dalgakıran kafalarında meydana gelen yerel taban hareketleri nedeniyle ortaya çıkan stabilite problemi gibi daha bir çok problem deniz taban hareketinin mekaniğinin anlaşılması ve çözümlenmesi ile mümkündür. Bu problemlerin yanında kıyıların oluşumu, dolayısıyla bu oluşumlara uygun yapıların inşa edilmesi, akarsu ağızlarında dalga-akıntı etkileşimi nedeniyle ortaya çıkan hareketli taban yapısı da diğer ilgili konulardır. Hareketli deniz tabanı dinamiği bütünleşik kıyı alanları yönetiminin temel kavramlarını içermektedir. İnsan ya da doğal nedenlerle meydana gelecek erozyon ya da yığılmalar ile kıyı çizgisi değişimi kıyı alanı yönetimi ile ilgilidir. Bütünleşik kıyı alanı yönetiminde aşağıdaki yaklaşımlar izlenir;

1. Adım: Problemin tanımı ve yerel koşullar. Problem nedir ve sebebi nedir?
2. Adım: Çözüm yöntemi / yöntemlerinin seçimi ve yöntemlerin karşılaştırılması. Koruma, sürdürebilirlik, yasal çerçeve ve ekonomi kavramları dikkate alınarak en iyi çözüm nedir?
3. Adım: Tasarım, yapım ve yönetme / işletme teknikleri. Bulunan çözüm nasıl tasarlanacak, inşa edilecek ve yönetilecek?

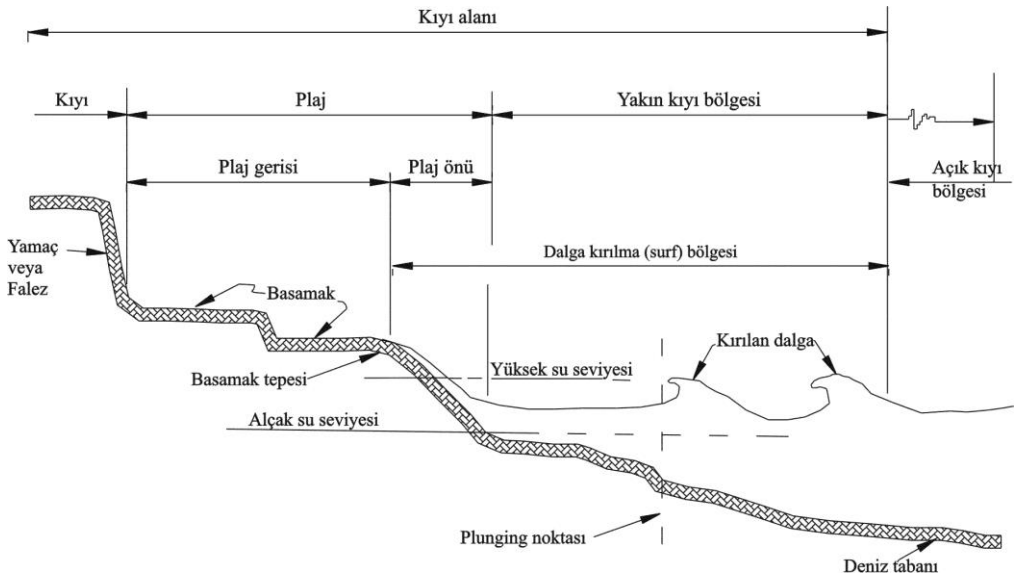
Kıyı alanlarının yönetiminde karşılaşılacak problemlere karşı seçilecek çözümlerin doğa ile uyumlu ve sürdürülebilir dayanım gösteren bir çözüm olmasına özen gösterilmelidir.

Kıyı alanlarında meydana gelen erozyon problemleri incelendiğinde, bu problemin **kronik** veya **ani** (**akut**) olarak mı oluştuğu araştırılmalıdır. Kıyı erozyonu ve taşkınları için azaltıcı önlemler için risk analizi çalışması yapılmalıdır. Kıyı erozyonu ve taşkın problemleri için beş farklı çözüm tanımlanmaktadır. Bu çözümler aşağıdaki gibi verilmiştir;

- Pasif (sert) kıyı koruma çözümü; Mahmuz, dalgakıran, kıyı duvarı gibi.
- Aktif (yumuşak) kıyı koruma çözümü; Kıyı yenileme (yapay plaj oluşumu) gibi.
- İlk iki çözümün birlikte kullanılması.
- Yönetim çözümleri; Erozyona müdahale edilmeden geri çekilme gibi.
- Doğal deniz savunması; Kıyı kumullarının yok olması erozyon ve/veya kıyı taşkınlarına neden olabilir, bunun önüne geçilmesi kumulların güçlendirilmesi, yapay kumulların oluşturulması ya da kıyı duvarları inşa edilmesiyle mümkün olabilir.

Kıyı alanı Şekil 4.1'de gösterilen genel karakteristik özelliklerle tanımlanmaktadır. Bu şekilde plaj gerisi; yüksek su seviyesi üzerinde aktif kıyının üst bölümünde şiddetli fırtına sırasında kabaran su seviyesi ile dalga etkisinde kalan alandır. Üst basamak; yüksek gel-git sırasında dalganın tırmanma yüksekliğidir. Plaj önü; düşük su seviyesi üzerinde, yüksek su seviyesi altında kalan alandır, kıyı morfolojisinde değişimlerin meydana geldiği bölgedir yani taban hareketi aktiftir, dalga bu bölgede tırmanmaktadır. Kıyı alanı; falez, kumul gibi kıyı özelliklerinin kara tarafından (rüzgar, dalga gibi etkilerle kıyısal işlemlerin meydana geldiği) dalga kırılma bölgesinin açık deniz tarafına kadar olan bölgedir, diğer bir deyişle kıyı çizgisinin kara ve deniz tarafında, kıyı, plaj ve plaj önü bölgelerini içeren bölge kıyı alanı olarak tanımlanmaktadır. Dalga kırılma bölgesi (surf bölgesi); dalgaların kırılma işleminin meydana geldiği bölgedir, tipik olarak 5 m ile 10 m derinlikler arasında meydana gelir (Bölüm 1.6.4'te tanımlandığı gibi hesaplanır). Açık kıyı bölgesi, kırılma bölgesinden açık denize doğru olan alandır. Plaj; deniz suyunun dalga ve gel-git hareketleri ile etkisinde bıraktığı kara tarafında kalan ve konsolide olmamış malzemenin (kum veya çakıl gibi) bulunduğu alandır, yani kıyı çizgisi değişiminin de meydana geldiği ıslak bölgedir. Plajın kum basamağı ve düşük su düzeyi arasındaki alan *dış plaj* ve dış plaj ile fırtına dalgalarının etkisinde kalan alan ise *iç plaj* olarak adlandırılmaktadır. Açık Deniz; kıyı alanınından deniz tarafına olan alan açık deniz olarak tanımlanmaktadır. Kıyı Çizgisi; taşkın durumları dışında ve meteorolojik olaylara göre değişebilen herhangi bir anda, kara ile denizi ayıran sınıra denir. Fırtına Kabarması, kuvvetli fırtına şartları altında rüzgâr gerilmesi ve atmosfer basıncındaki azalma ile su

seviyesinin ani değişmesine denilmektedir. Özellikle sığ su bölgelerinde önemli seviye değişikliklerine neden olmaktadır. Kıta sahanlığı; basitçe kıyı alanına komşu deniz alanıdır. Ancak daha detaylı tanımlamak gerekirse su derinliği kıyı çizgisinden başlayarak tedricen açık denize doğru, deniz tabanı eğiminin aniden dikleştiği bölgeye kadar artar, eğimin ani değiştiği bu konumdan itibaren derin deniz tabanına ulaşıncaya kadar su derinliğindeki artış çok hızlı olmaktadır, işte bu eğimin ani artış gösterdiği konuma kadar olan bölge kıta sahanlığı olarak tanımlanmaktadır. Kısaca kıta sahanlığı ve kıta kenarı şu şekilde tanımlanmıştır; kıtanın düşük su derinliklerinden başlayarak taban eğiminin çarpıcı bir şekilde arttığı, çok derin su derinliklerine ulaşıldığı konuma (kıta kenarı) kadar uzanan alandır.



Şekil 4.1 Tipik bir kıyı profilinde tanımlar (CERC, 1984)

Kıyı Morfolojisi ve Kıyıların Sınıflandırılması:

Kıyı alanları aşağıda verilen farklı kriterlere göre sınıflandırılmaktadır. Kıyı alanlarının dalga iklimi, morfolojik yapısı, jeolojik, oşinografik ve hidroljik özellikleri dikkate alınarak aşağıdaki sınıflandırmalar yapılmıştır.

1. Jeolojik Yapıya Göre Sınıflandırma
   1.1 Boğulmuş Kıyılar: Karaların alçalması veya denizin yükselmesi sonucunda meydana gelirler. Tektonik ve östatik hareketler sonucunda oluşurlar.
   1.2 Sulardan Çıkmış Kıyılar: Eski deniz diplerine karşılık gelirler. Karaların yükselmesi veya deniz seviyesinin alçalması sonucunda meydana gelirler. Tektonik ya da östatik hareketler sonucunda oluşurlar.
   1.3 Doğal Kıyılar: Bunların özellikleri seviye değişimi ile ilgili değildir. Örneğin; alüvyonların yığılması sonucunda oluşan kıyıdır. Deniz ve göl kıyılarında delta oluşumu gibi.
   1.4 Birleşik (Konstrüktif) Kıyılar: Yukarıdaki tiplerden en az ikisinin karışımı ile meydana gelirler. Volkanik, tektonik, mercan, alüvyal birikim, heyelanlı, antropojenik kıyılar gibi alt grupları vardır.

Jeolojik olarak en basit bir sınıflandırma da boyuna ve enine kıyılardır. Boyuna kıyılarda kıyı çizgisi genel uzanışı doğrusal bir görünüm sergiler; ancak enine kıyılarda kıyı çizgisi doğrusal görünüm sergilemez ve girintili çıkıntılıdır.

2. Morfolojik Yapıya göre Sınıflandırma
   2.1 Kayalık Kıyı
   2.2 Falezli Kıyı
   2.3 Resifli Kıyı
   2.4 Kumlu ve Çakıllı Kıyı (Kumsal)
   2.4 Biyojenik Kıyı
   2.5 Antropojenik Kıyı (Yapılar ve/veya yapay dolgular)

3. Kıyı Dinamiğine göre Sınıflandırma
   3.1 Etkin Kıyı
   3.2 Orta Etkin Kıyı
   3.3 Korunmuş Kıyı

Yukarıdaki sınıflandırma kumsal bir kıyıda dalga iklimine göre kum taşınımının dinamiğine göre aşağıdaki bilgiler doğrultusunda yapılmaktadır (Yüksel ve Çevik, 2009). Bu sınıflandırma kıyı çizgisinin değişimi hakkında bilgi vermektedir. Kıyı dinamiği kıyıda planlanacak yapılar açısından önemlidir. Deniz, kıyı ve yapı etkileşimi morfolojik hesaplamalar sonucunda belirlenir. Bu tip çalışmalar saha ölçümlerini (batimetri, akıntı, deniz tabanı özellikleri ve dalga ölçümleri gibi) ve sayısal modellemeyi (dalga ve akıntı iklim modelleri, katı madde taşınım modelleri ve morfolojik modeller) içermektedir. Kıyı dinamiği dalga yaklaşım açısına göre aşağıdaki gibi sınıflanır;

- Dalganın dik yaklaşması hali; yaklaşım açısı hemen hemen sıfırdır.
- Yaklaşık dik yaklaşması hali; 1° ile 10°'lik yaklaşım açısı vardır. Net taşınım küçük ya da orta miktardadır.
- Orta bir açıda yaklaşması hali; 10° ile 50°'lik yaklaşım açısı ile tanımlanabilir. Büyük miktarda net taşınım vardır.
- Büyük yaklaşım açısı hali; 50° ile 85°'lik yaklaşımın olması söz konusudur. Büyük net taşınım vardır.
- Yaklaşık kıyıya paralel yaklaşım; yaklaşım açısı 85°'den büyüktür. Net taşınım vardır.

Bu sınıflandırma dalga büyüklüğüne bağlı olarak bir alt sınıflandırma ile bütünleştirilmektedir.

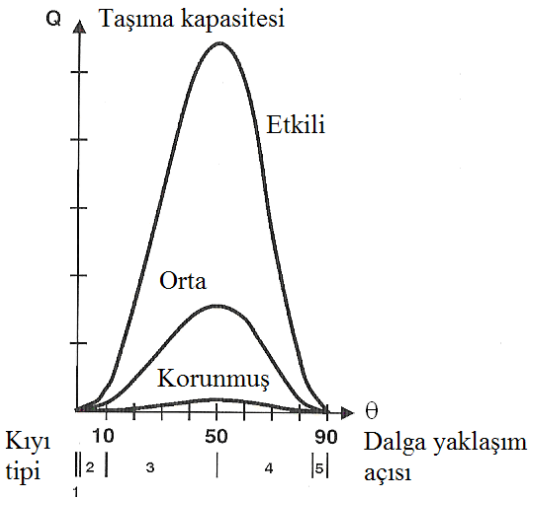
- Korunmuş kıyı (K), $H_{s,12}$<1 m
- Orta kıyı (O), 1m <$H_{s,12}$<3 m
- Etkili kıyı (E), $H_{s,12}$>3 m

$H_{s,12}$: 12 saatlik aşılma yüksekliğine sahip belirgin dalga yüksekliğidir. Dalga yüksekliği yapılan dalga iklim modellemesi ve analizi sonucunda elde edilir.

Kıyı çizgisine ait karakteristikler yukarıdaki kadar basit değildir, mevsimsel değişimler gibi diğer karakteristikler de dikkate alınmalıdır. Kıyısal taşınımlar Şekil 4.2'deki gibi şemalaştırılmıştır. Kıyıların sınıflandırılması Tablo 4.1'de topluca verilmiştir.

4. Gel-git, Dalga ve Akarsu Etkileşimine göre sınıflandırma

   4.1 Akarsu Etkisinde Kıyı (Haliç veya Delta oluşumlu)
   4.2 Gel-git Etkisinde Kıyı
   4.3 Dalga Etkisinde Kıyı



Şekil 4.2 Yaklaşım açısı ve dalga büyüklüğünün fonksiyonu olarak kıyı boyu taşınımı (Mangor, 2004; Yüksel ve Çevik, 2009)

Tablo 4.1 Kıyı dinamiğine göre sınıflandırma (Mangor, 2004; Yüksel ve Çevik, 2009)

Kıyı Tipi	Yaklaşım açısı (0°=Kıyı normali)	Büyüklük	Ana kıyı karakteristikleri
1K	0°	Korunmuş	Sulak alan, kumsal
1O		Orta	Dar stabil kum plaj, kum muskaları, bariyer adaları
1E		Etkili	Geniş stabil kum plajlar, bariyer adaları, kum muskaları
2K	1°- 10°	Korunmuş	Sulak alan, kumsal
2O		Orta	Dar stabil kum plaj, kum muskaları, bariyer adaları
2E		Etkili	Geniş stabil kum plajlar, bariyer adaları, kum muskaları
3K	10°- 50°	Korunmuş	Sulak alan, kumsal
3O		Orta	Dar stabil olmayan kum/çakıl plaj, kaya veya kumul
3E		Etkili	Geniş stabil olmayan kum/çakıl plajlar, kaya veya kumul
4K	50°- 85°	Korunmuş	Sulak alan, kumsal
4O		Orta	Dar stabil olmayan kum/çakıl plaj, kaya veya kumul, muska
4E		Etkili	Geniş stabil olmayan kum/çakıl plajlar, kaya veya kumul, muska
5K	85°- 90°	Korunmuş	Sulak alan, kumsal
5O		Orta	Kumsal plaj, yığılma ile şekillenen kıyı çizgisi, muska
5E		Etkili	Kumsal plaj, yığılma ile şekillenen kıyı çizgisi, muska

4.2 Katı Madde Taşınımı Çalışmasında İzlenecek Yol

Kıyı alanının izlenmesi amacıyla özellikle saha çalışmalarında toplanacak veriler; 1) Kıyı alanının geçmişi, kısa ve uzun dönemdeki davranışının anlaşılması, 2) Kıyı alanında mevcut problemin anlaşılması, 3) Kıyı alanı yönetiminin programlanabilmesi, 4) Geleceğe yönelik çözümlerin tahmin edilebilmesi ve ayrıca modelleme çalışmalarına veri sağlanabilmesi için gereklidir.

Kıyılarda hareketli taban çalışmalarında aşağıdaki adımlar izlenecektir;

I. Arazi Çalışması

- Batimetri çalışması
- Kıyı çizgisinin hemen kara tarafındaki kıyı morfololojisindeki değişimlerin belirlenmesi (basamak, kumullar vs. gibi)
- Katı madde özelliklerinin belirlenmesi
- Akıntı ölçümleri
- Dalga iklimi çalışması veya dalga ölçümleri
- Gel-git ölçümleri
- Yerel halktan bilgi toplama (balıkçı vs. gibi)

II. Deniz Suyu Ölçümleri

- Sıcaklık ölçümü
- Tuzluluk ölçümü
- Deniz suyu özgül kütlesi (ρ), dinamik viskozitesi (μ) gibi büyüklüklerin hesaplanması

III. Katı Madde Özellikleri

Taban yüzeyinden 5 cm kalınlığında taban malzemesi örnekleri alınır. Örnek sayısı en az sekiz olmalıdır. Her bir örnekteki taban malzemesi özellikleri belirlenerek bunların ortalaması kullanılır. Taban malzemesinin granülometrik dağılımı belirlenmelidir. Daha sonra kıyıya ait katı madde dağılım haritaları elde edilir.

Kuvars veya benzeri malzeme için ρ_s=2650 kg/m^3 kullanılır. Farklı malzemeler için özgül ağırlık şişesi yardımıyla taban malzemesinin özgül ağırlığı belirlenmelidir.

Eğimli tabanlar için ϕ_i=İçsel sürtünme açısı belirlenmelidir.

IV. Hidrodinamik Koşulların Belirlenmesi

Çalışma bölgesinde çevresel etkenler dalga ve/veya akıntının belirgin olması durumuna göre;

A. Sırf akıntı durumu

- Akıntı hızı ve hızların olasılık dağılımları belirlenir (uzun dönem).
- Bir dönemlik gel-git boyunca akıntı hız ölçümleri yapılır. Bunun değerlendirilmesi için akıntı ölçer, sayısal model, Admiralty Grafik, gel-git atlası kullanılabilir. Ortalama hız için akıntı ölçerin yüzeyden itibaren su derinliğinin 1/3 mesafesine yerleştirilmesi önerilir.
- Sürüntü debisi hesaplanır.
- Toplam katı madde debisi hesaplanır.
- Erozyon ve kumlanma (yığılma) yapısı belirlenir.

B. Sırf dalga durumu

- Tasarım dalgası belirlenir (uzun dönem).
- Dalga kırılma şartları belirlenir.
- Sürüntü debisi hesaplanır.
- Toplam katı madde debisi hesaplanır.
- Dalgadan dolayı oluşan kıyı boyu akıntısının meydana getirdiği kıyı boyu katı madde debisi hesaplanır.

C. Dalga ve akıntı birlikte

- Tasarım akıntısı ve tasarım dalga yaklaşımının mı yoksa akıntı ve dalga kombinasyonunun birleşik olasılık dağılımının mı kullanılacağına karar verilir. Olasılık yaklaşımı için uzun dönem akıntı ve dalga iklimi çalışması yapılması gereklidir.
- Akıntı hız ölçümleri tespit edilir.
- Dalga yüksekliği, periyodu hesaplanır.
- Ortalama sürüntü debisi hesaplanır.
- Ortalama toplam katı madde debisi hesaplanır.
- Katı madde hesaplarından tasarım bölgesi için erozyon ve kumlanma bölgeleri belirlenir.

V. Kıyı Çizgisi Değişimi

Katı madde hesabının yapılacağı proje bölgelerinde bölgenin geçmişteki durumu ve arazi ile ilgili bilgiler değerlendirilir. Tasarım bölgesine ait eğer mümkünse fiziksel model kurulabilir. Bunun için doğru model ölçekleri belirlenmelidir, ayrıca tasarım bölgesine ait sayısal modelleme yapılabilir, ancak sayısal modellemede mutlaka kalibrasyon yapılmalıdır. Özellikle kıyı boyu katı madde taşınımının aktif olduğu ve kıyıda yapılması planlanan yapıların zaman içinde kıyı çizgisinde yaratabileceği değişimler sayısal modeller yardımıyla öngörülmelidir.

VI. Koheziv Malzeme

Koheziv malzemelerin taşınımının hesaplanmasında kum gibi koheziv olmayan malzemeler için verilen ifadeler kullanılmamalıdır.

4.3 Taban Malzemesi Özellikleri

Deniz tabanında bulunan malzemeler kil, silt, kum, ince çakıl, kaba çakıl, taş ve kayadan oluşur. Kil ve silt birlikte çamur olarak adlandırılır. Genellikle taban malzemesi çapı dağılımı için Wentworth ölçeği kullanılır (Şekil 4.3). Malzeme dağılımı ϕ birim ölçeği ile verilmiştir.

$$\phi = -\log_2 D \qquad (4.1)$$

$$D = 2^{-\phi}$$

Granülometrik dağılım taban malzemesinin yapısı hakkında bilgi verir. D_i malzemenin ağırlıkça % i'sinin geçtiği elek çapıdır. Malzemenin geometrik standart sapması;

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{D_{84}}{D_{16}}} \tag{4.2}$$

bağıntısı ile verilmiştir.

Katı malzemenin ϕ birim ölçeği cinsinden istatistiksel özellikleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Ortalama tane çapı, standart sapma, çarpıklık ve kurtosisi veren ifadeler sırasıyla (4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6) eşitlikleriyle verilmiştir.

$$M_\phi = \frac{(\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})}{3} \tag{4.3}$$

$$\sigma_\phi = \frac{(\phi_{84} - \phi_{16})}{4} + \frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{6} \tag{4.4}$$

$$\alpha_\phi = \frac{\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{95} + \phi_5 - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)} \tag{4.5}$$

$$\beta_\phi = \frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})} \tag{4.6}$$

Taban malzemesinin sınıflanması aşağıdaki gibi verilmiştir;

$\frac{D_{84}}{D_{16}} < 2$ veya $\frac{D_{90}}{D_{10}} < 2.4$ ise bu durumda taban malzemesi çok iyi sınıflanmıştır.

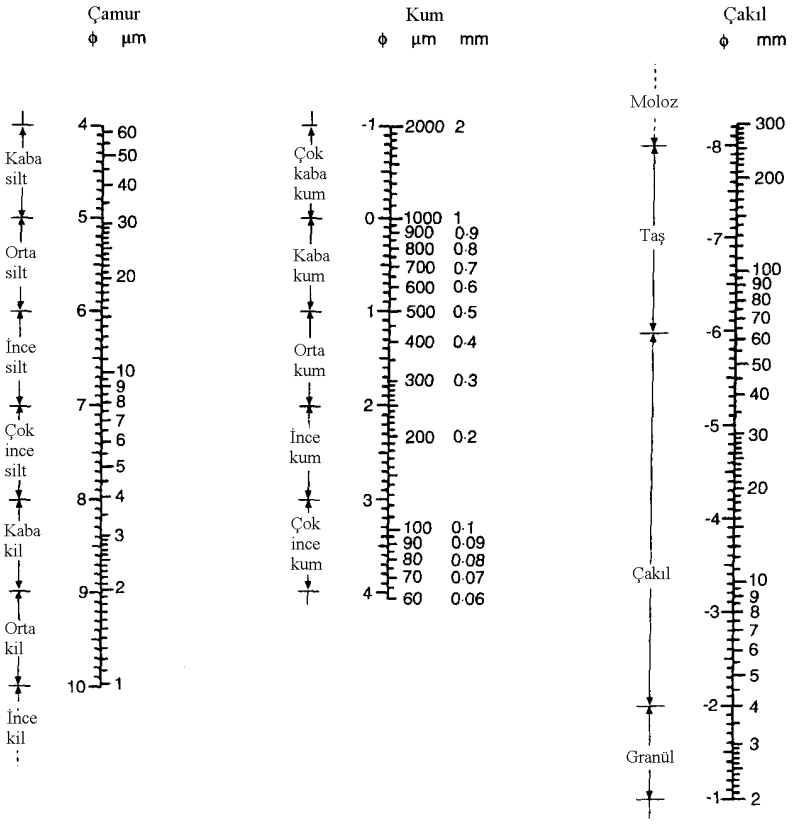
$\frac{D_{84}}{D_{16}} > 16$ veya $\frac{D_{90}}{D_{10}} > 35$ ise bu durumda taban malzemesi çok iyi bir karışıma sahiptir.

Bu iki limit değerin arasında ise kısmen sınıflanmıştır.

Malzemenin sınıflanması ϕ birim ölçeği cinsinden de tanımlanmıştır;

$$\sigma_\phi = (\phi_{84} - \phi_{16})/2 \tag{4.7}$$

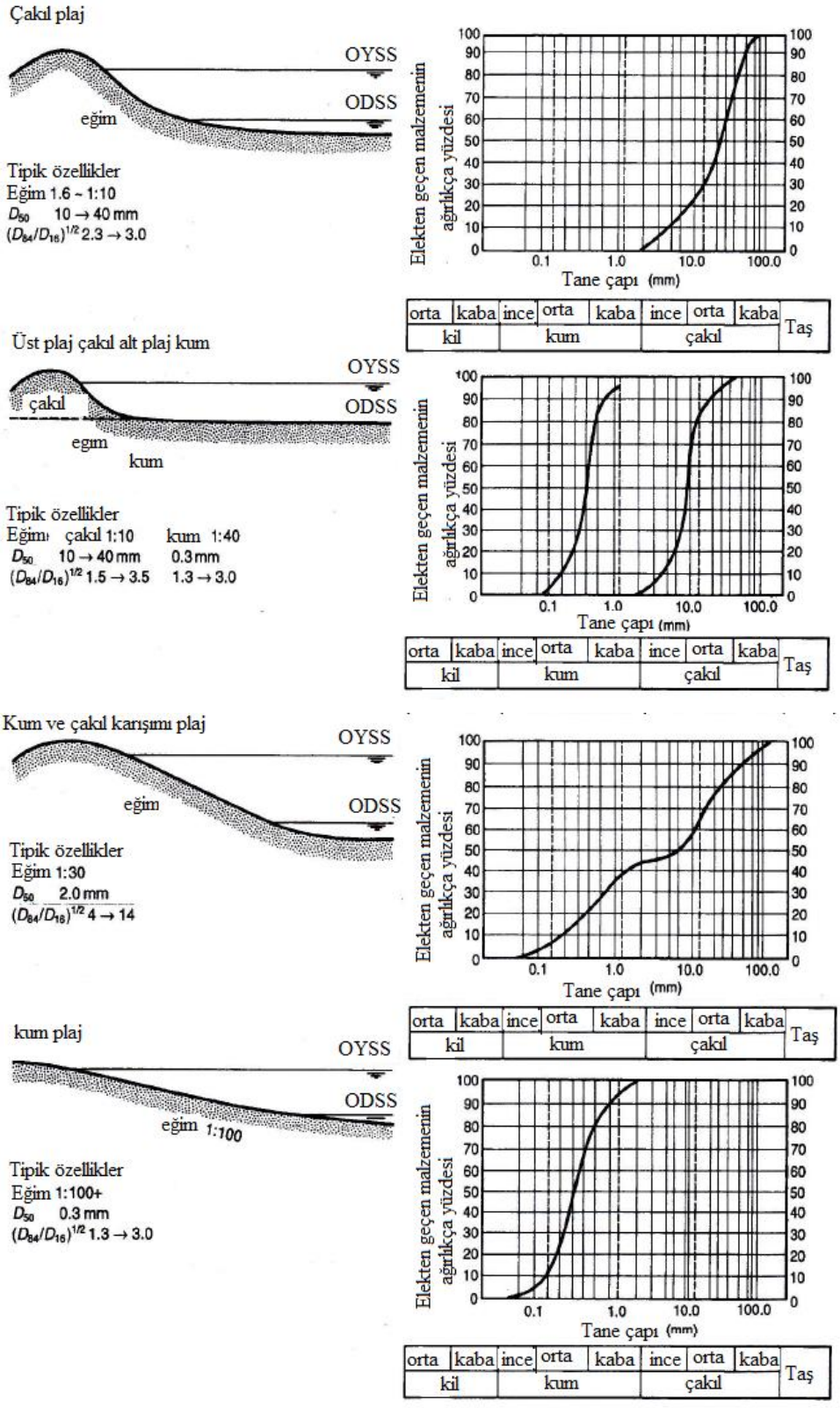
Bu oranın 2'den küçük olması kumsalın çok iyi sınıflandığını buna karşın 16'dan büyük olması çok iyi bir karışımın bulunduğunu göstermektedir. Bu ifadeye göre çok iyi sınıflanmış kum (homojen malzeme) durumunda 0 değerini almaktadır, ancak gerçek durumda bir plaj malzemesi için 0.5'e eşit ve/veya küçük olan değeri dikkate alınmaktadır. Buna karşın iyi sınıflanmamış (karışımın söz konusu olduğu) kum halinde 1'e eşit ve/veya büyük değeri dikkate alınmaktadır (Dean ve Dalrymple, 2004). Taban malzemesinin sınıflanmasına morfolojik yapının da etkisi vardır (Şekil 4.4). Tablo 4.2'de malzemenin istatistiksel özelliklerine bağlı olarak granülometrik özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.3 Wentworth ölçeği

Tablo 4.2 Malzemenin istatistiksel özelliklerine bağlı olarak dağılımın tanımlanması

Standart sapma	
ϕ Birim ölçeği	Tanım
<0.35	Çok iyi sınıflanmış
0.35-050	İyi sınıflanmış
0.50-0.71	Kısmen iyi sınıflanmış
0.71-1.00	Orta derecede sınıflanmış
1.00-2.00	Zayıf sınıflanmış
2.00-4.00	Oldukça zayıf sınıflanmış
>4.00	Çok zayıf sınıflanmış
Çarpıklık	
ϕ Birim ölçeği	Tanım
<-0.3	Çok kaba - çarpık
-0.3 ile -0.1	Kaba – çarpık
-0.1 ile +0.1	Hemen hemen simetrik
+0.1 ile +0.3	İnce – çarpık
>+0.3	Çok ince - çarpık
Kurtosis	
ϕ Birim ölçeği	Tanım
<0.65	Çok basık
0.65-0.90	Basık
0.90-1.11	Normal basık
1.11-1.50	Sivri
1.50-3.00	Çok sivri
>3.00	Çok fazla sivri



Şekil 4.4 Plajların sınıflandırılması (CIRIA, 1996)

4.4 Deniz Tabanı (Katı Madde) Hareketinin Başlangıcı

Açık deniz katı madde taşınımında ilk olarak dikkate alınan aktif ve aktif olmayan bölgenin tanımlanmasıdır. Aktif bölgelerde taban malzemesi dalgaların ve akıntıların etkisiyle hareket etmeye başlamaktadır. Böylece aktif bölgenin açık deniz tarafı taban malzemesi hareketinin başlangıç şartları altında elde edilebilir. Bu hareketin başladığı derinlik dalga / akıntı iklimine,

katı madde karakteristiklerine ve dikkate alınan kıyı sisteminin büyüklüğüne bağlıdır. Hareketin başlangıcı dalga ve/veya akıntı etkisinde olur.

Kararlı akım için hareketin başlangıcına neden olan kesitsel ortalama kritik hız $\bar{u}_{kr}$ yatay düzlem, kum dalgacıklarının bulunmadığı bir taban için değişik araştırmacılar tarafından ifade edilmeye çalışılmıştır.

- Van Rijn (1984) 15°'de tatlı su, ρ_s=2650 kg/m^3 için;

$$\bar{u}_{kr}=0.19(D_{50})^{0.1}\log_{10}(4d/D_{90}) \quad \text{(m/s)}, \quad 100 \le D_{50} \le 500\ \mu m \qquad (4.8)$$

$$\bar{u}_{kr}=8.5(D_{50})^{0.6}\log_{10}(4d/D_{90}) \quad \text{(m/s)}, \quad 500 \le D_{50} \le 2000\ \mu m \qquad (4.9)$$

ifadelerini vermiştir.

- Soulsby (1997)

$D_* > 0.1$ için

$$\bar{u}_{kr}=7(d/D_{50})^{1/7}\left[g(s-1)D_{50}\,f(D_*)\right]^{1/2} \qquad (4.10)$$

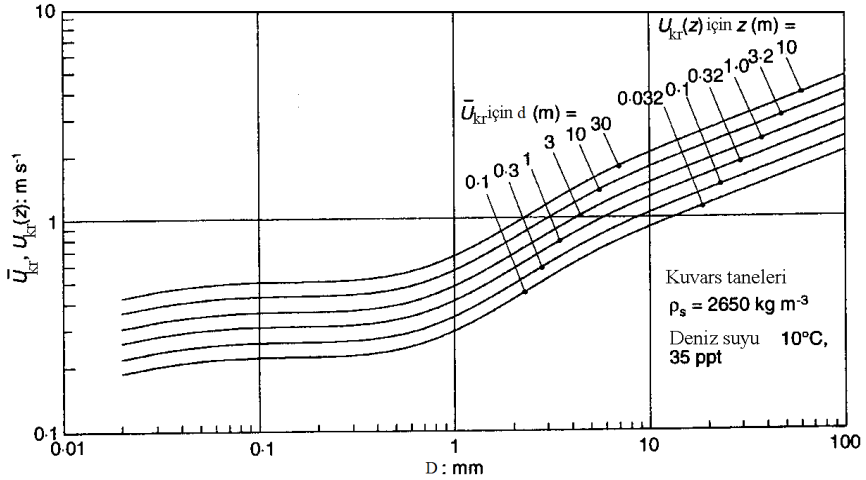
$$f(D_*)=\frac{0.3}{1+1.2D_*}+0.055\left[1-\exp(-0.020D_*)\right] \qquad (4.11)$$

$$D_*=\left[\frac{g(s-1)}{\nu^2}\right]^{1/3} D_{50} \qquad (4.12)$$

$s=\rho_s/\rho$

ν :Suyun kinematik viskozitesi

Bu ifade Şekil 4.5'te grafik formda verilmiştir. Soulsby (1997)'nin vermiş olduğu ifade dalga etkisinde hareketin başlangıcı için de uygun sonuçlar vermektedir. Bu uyum Şekil 4.6'da görülmektedir.



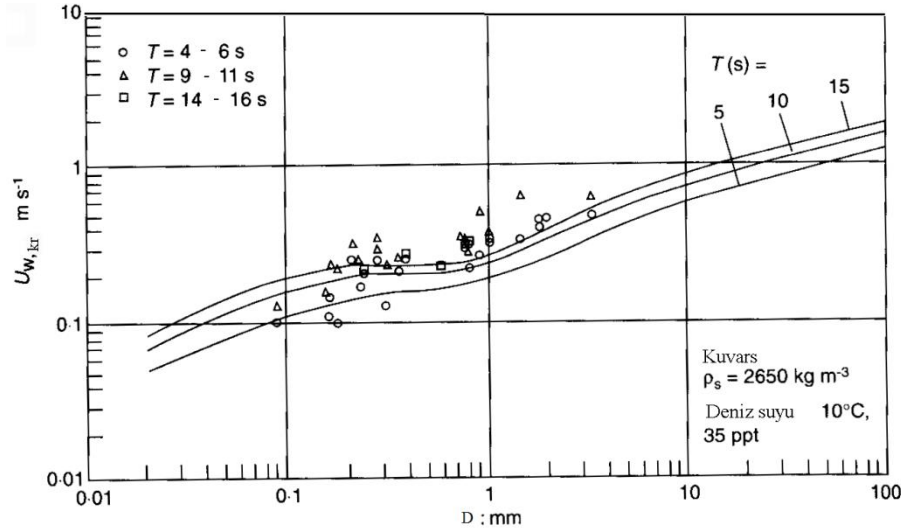
Şekil 4.5 Kararlı akım şartlarında kritik hız (Soulsby, 1997)

Dalga etkisinde tabandaki kum hareketinin başlangıcı tabandaki yörüngesel hıza (u_w), dalga periyoduna (T), tane çapına (D) ve özgül kütlesine (ρ_s) bağımlıdır. Kritik yörüngesel hız (u_{wkr}) Komar ve Miller (1974)'ün vermiş olduğu ifadelerle belirlenebilir.

D < 0.5 mm için $\bar{u}_{wkr}=\left[0.118g(s-1)\right]^{2/3} D^{1/3}T^{1/3}$ (4.13)

D > 0.5 mm için $\bar{u}_{wkr}=\left[1.09g(s-1)\right]^{4/7} D^{3/7}T^{1/7}$ (4.14)

Bu ifadeler D=0.5 mm için süreksizlik yaratmaktadır. Şekil 4.6 kritik yörüngesel hızın bulunmasında kullanılabilir.



Şekil 4.6 Dalga etkisinde hareketin başlangıcı için kritik yörüngesel hız (Soulsby, 1997)

Hareketin başlangıcı için kayma gerilmesi ile verilen ifadeler daha hassas olmaktadır. Bu ilk defa Shields (1936) tarafından kayma gerilmesinin bir tanenin batık ağırlığına oranı şeklinde verilmiştir;

$$\theta_{kr} = \frac{\tau_{kr}}{g(\rho_s - \rho)D} \tag{4.15}$$

τ_{kr} : Kritik kayma gerilmesi
ρ_s : Tane özgül kütlesi
ρ : Suyun özgül kütlesi
D : Tane çapı

Şekil 4.7'de Shields parametresi θ_{kr} boyutsuz tane çapına karşılık çizilmiştir.

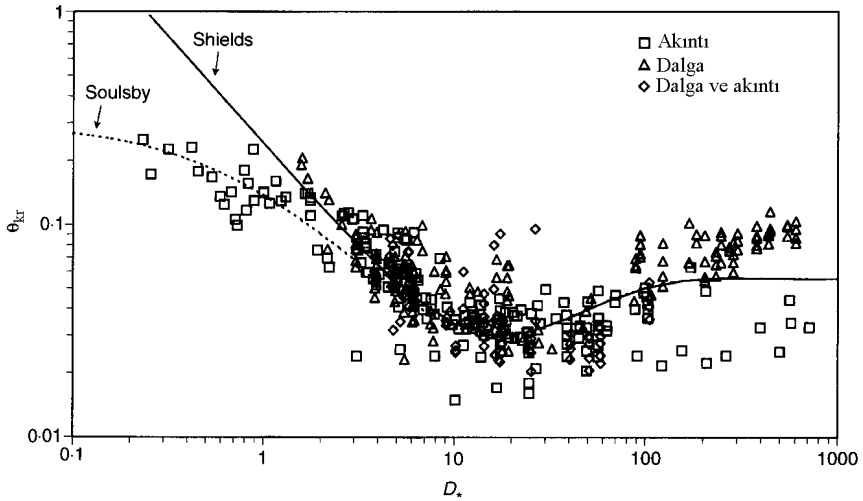
Boyutsuz tane çapı D_*

$$D_* = \left[\frac{g(s-1)}{v^2}\right]^{1/3} D \tag{4.16}$$

ile tariflenmiştir. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi kararlı akım için verilen Shields çalışması dalga ve dalga-akıntı kombinasyonu için geliştirilmiştir. Çakıl gibi büyük tane çaplarında dalga için θ_{kr}'in deneysel büyüklükleri akıntı halinden çok daha büyük olmaktadır.

Soulsby ve Whitehouse (1997) tarafından Shields eğrisi cebrik bir ifade ile aşağıdaki gibi verilmiştir;

$$\theta_{kr} = \frac{0.24}{D_*} + 0.055\left[1 - \exp(-0.02D_*)\right] \tag{4.17}$$



Şekil 4.7 Dalga ve/veya akıntı etkisinde hareketin başlangıcı (Soulsby, 1997)

Ancak bu ifade ince taneler için daha büyük değerler vermektedir. Ayrıca θ_{kr} 0.30 değerini aşmamaktadır. Çünkü bir tanenin ağırlığını yenmek için bu değer yeterli kuvveti oluşturmaktadır. Bu etkilerin üstesinden gelebilmek için yukarıdaki ifade düzeltilerek Soulsby ve Whitehouse (1997) tarafından geliştirilmiştir.

$$\theta_{kr} = \frac{0.30}{1+1.2D_*} + 0.055\left[1-\exp\left(-0.02D_*\right)\right] \qquad (4.18)$$

Şekil 4.8'de D tane çapına karşılık τ_{kr} değeri çizilmiştir. Bu eğri için g=9.81 m/s^2, ρ_s=2650 kg/m^3, tuzluluk 35 ppt'dir. Buraya kadar verilen ifade ve şekiller kum dalgacıklarının bulunmadığı düzlem taban içindir. İfadeler büyük tane çapları için (D_*>200) θ_{kr} =0.055 sabit değerini almaktadır. D=10 mm'den büyük taneler için hareket etmeyecek D_{kr} kritik tane çapı için aşağıdaki ifadeler verilmiştir. Bu özellikle yerel taban hareketine karşın çakıl ve kaya çapını belirlemek için gerekli olmaktadır.

Kararlı akım şartlarında θ_{kr} =0.055 alınarak aşağıdaki ifade verilmiştir;

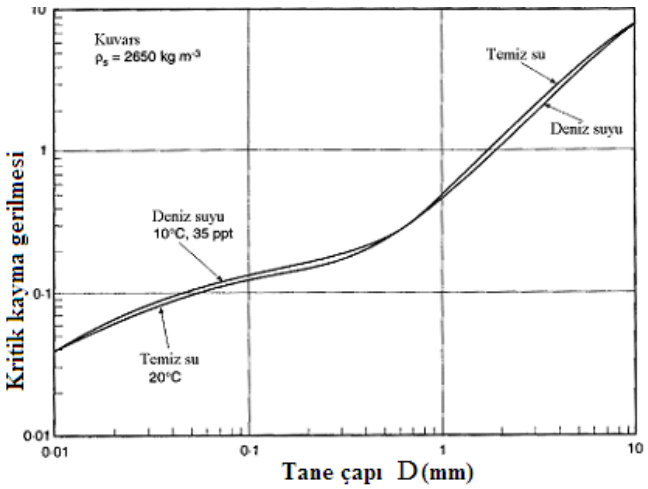
D_{kr}>10 mm için $$D_{kr} = \frac{0.250\bar{u}^{2.8}}{d^{0.4}\left[g(s-1)\right]^{1.4}} \qquad (4.19)$$

Benzer olarak dalga etkisinde hareket etmeyecek tane çapı ise;

D_{kr}>10 mm için $$D_{kr} = \frac{97.9u_w^{3.08}}{T^{1.08}\left[g(s-1)\right]^{2.08}} \qquad (4.20)$$

ile verilmiştir.

(BS 6349-1-1, (2013) dalga etkisinde deniz tabanında hareketin başladığı derinlik için ön yaklaşım amacıyla $d < \frac{g\tanh\pi}{4\pi}T_P^2$ ifadesini önermiştir, burada T_P pik dalga periyodu dur).

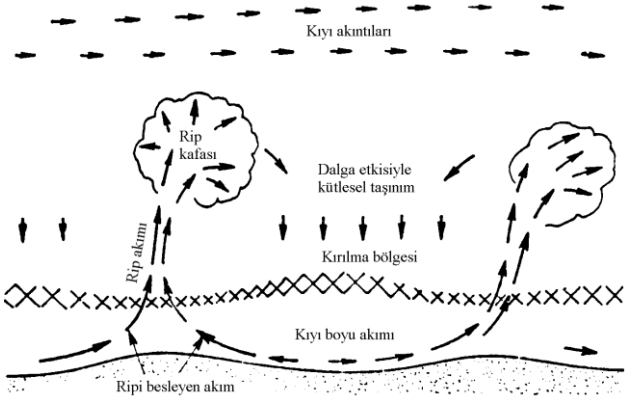


Şekil 4.8 Kritik kayma gerilmesi, τ_{kr} (N/m^2) (Soulsby, 1997)

4.5 Kıyıboyu ve Kıyıya Dik Katı Madde Taşınımı

4.5.1 Kıyı Akıntı Sistemi

Dalga nedenli en basit akıntı sistemi kıyı ile belli bir açı yaparak kırılan dalgaların surf bölgesi (dalga kırılma bölgesi) içinde meydana getirdiği kıyı boyu akıntılarıdır. Kırılma açısı ve kırılma gradyanı (kıyı boyunca kırılma yükseliklerinin değişmesi) her iki faktör birlikte kıyı boyu akıntısının oluşumunda etkili ise üniform olmayan akıntı yapısına neden olur ve Şekil 4.9'da görülen kıyıdan açığa doğru, kıyıya dik olarak meydana gelen rip denilen yakın kıyı akıntı sirkülasyon sistemini de yapılandırır. Burada akıntı kıyıya dik rip akımını şekillendirerek açık deniz tarafına döner, kırılma hattını geçerek açık denize doğru yayılır. Akıntılar büyük kırılma yüksekliğinin oluştuğu bölgeden küçük kırılma bölgesine doğrudur.



Şekil 4.9 Yakın kıyıda meydana gelen dalga nedenli akıntılar

Yakın kıyı bölgesinde dalga nedenli bu akıntı sistemleri kıyılarda katı madde taşınımına sebep olacaktır ve kıyı morfolojisini şekillendirecektir. Kıyı boyu akıntılarının kıyıda neden olduğu katı madde taşınımı "kıyı boyu katı madde taşınımı" olarak isimlendirilmektedir. Kıyı morfolojisi ve kıyı yapılarının planlanmasında yıl içindeki katı madde bütçesi (m^3/yıl) belirlenmelidir.

4.5.2 Kıyı Boyu Katı Madde Debisi ve Bütçesi

Kıyı boyu katı madde debisi göz önüne alınan kıyı bölgesinde dalga iklimindeki değişimler nedeniyle bir yıllık bir dönemde etkin kıyı boyu katı madde taşınımını belirlemek için katı madde hareketine yol açacak dalgaların yükseklikleri, yönleri ve etki süreleri belirlenmelidir. Böylece H_0 yüksekliğinde θ_0 sapma açısına sahip dalganın bir yılda kıyıda etki etme yüzdesi f ise kıyı boyu taşınan katı madde miktarı CERC (1984)'e göre;

$$Q_s = 2.03\times10^6 \, f \, H_0^{5/2} \, F(\theta_0) \quad (m^3/yıl) \qquad (4.21)$$

hesaplanır, burada;

$$F(\theta_0) = \left[(\cos\theta_0)^{1/4} (\sin 2\theta_0) \right] \quad (4.22)$$

yön terimi olarak tanımlanmıştır. Dalga hesaplamaları sırasında dalgaların belli bir yön etrafında çeşitli açılardan gelebileceği düşünülmelidir. Dalga ortogonalleri kıyıya dik olan dalgaların her yön etrafında ± 22.5° açı ile geldikleri kabul edilerek, katı madde taşınımı hesabı yapılacaktır. θ dalga tepesinin kıyı ile yaptığı açı ya da dalga ortogonalinin kıyı normali ile yaptığı açıdır. CERC (1984) kavramsal bir yöntem olarak ön tasarımda ve kıyı alanında kıyı boyu taşınan kum miktarının tahmin edilmesi için uygundur. Ancak bu yöntemin uygulanmasında kıyı alanı dalga iklimi dikkate alınmalı ve yönsel taşınımlar belirlenmelidir. Böylece kıyı boyu net ve toplam katı madde taşınımları hesaplanmalıdır. Bu miktarlar kıyı alanında, katı madde taşınımının ne kadar etkin olduğu hakkında bilgi verecektir.

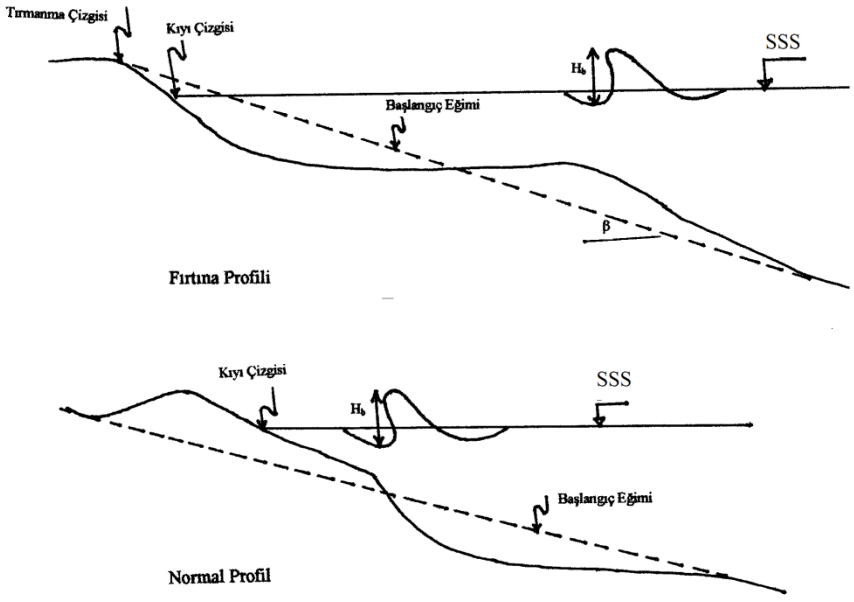
Son yıllarda kumsal kıyılardaki katı madde özellikleri, kıyı eğimi ile dalga periyodu parametrelerini de dikkate alan kıyı boyu taşınımını belirleyen ifadeler (Kamphuis, 1991 gibi) de kullanılabilir.

Kullanılan kıyı boyu taşınım ifadelerinin sınırlamaları vardır, bu nedenle kıyı alanında yapılacak saha ölçümlerine göre uygulanacak yönteme karar verilmelidir. Elde edilen sonuçların kıyı alanında doğruluğu tartışılmalı ve gösterilmelidir. Elde edilecek sonuç en az bir yıllık taşınımın ne olduğunu göstermelidir.

4.5.3 Kıyı Profili

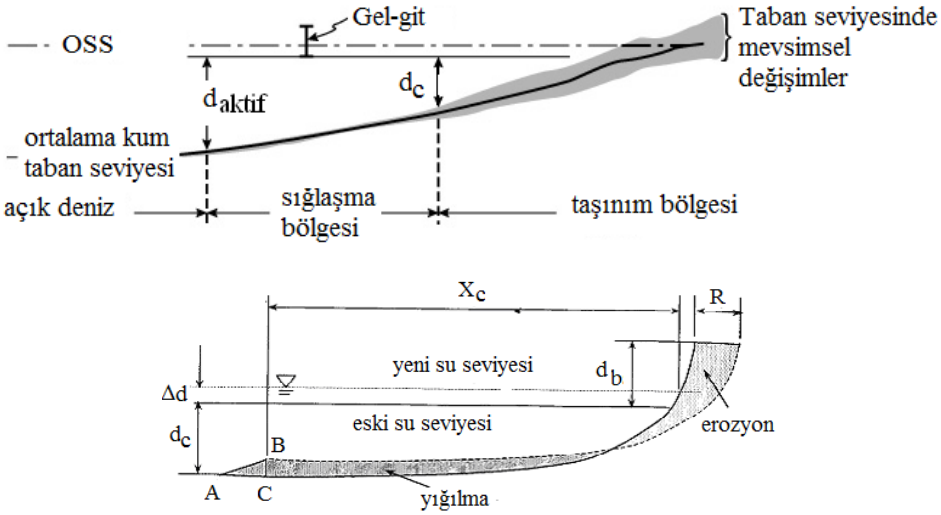
Kıyıya ulaşan dalgaların neden olduğu kıyıya dik ve kıyı boyu katı madde taşınımı sonucunda yaklaşan dalganın özelliklerine bağlı olarak kıyı batimetrisinde önemli değişimler meydana gelmektedir. Zaman içinde değişken özelliğe sahip kıyı batimetrisinin belli dalga ve akıntı koşullarında sahip olduğu şekile "kıyı profili" denilmektedir. Kıyı profili bu çevresel etkiler altında stabil bir şekile ulaştıktan sonra profilin her noktasında katı maddenin sürekli hareket ve taşınım halinde bulunmasına karşı kıyıya dik net katı madde taşınımı sıfır olacaktır. Bu duruma da "profilin denge hali" denilmektedir.

Soluğan nedeniyle oluşan kıyı ve kıyının yenilenmesini sağlayan profil "normal profil veya yaz profili" (basamak tipi), fırtına koşulları nedeniyle kıyının erozyona uğramasına yol açan profil ise "fırtına profili veya kış profili" (eşik tipi) olarak adlandırılmaktadır. Bu profiller Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10 Kıyı profilleri (Yüksel, 2011)

Kıyı profilinin açık deniz tarafında değişmediği sınır derinliğe kapama derinliği (d_c), taban malzemesinin harekete geçtiği derinliğe ise aktif derinlik (d_{aktif}) denir. d_b; basamak yüksekliğidir. Kıyı profiline ait tanımlar Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Kıyı profillerinin tiplerinin belirlenmesinde kullanılacak ifadeler Tablo 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.11 Kıyı profili

Kıyı denge profili Dean (1977) tarafından aşağıdaki ifade ile tanımlanmıştır.

$$d(x)=A_p x^{2/3} \tag{4.30}$$

Burada d derinlik, x kıyıdan açık denize olan mesafe ve A_p boyutsuz faktördür ve bu faktörü tanımlayan ifadeler literatürde tanımlanmıştır.

Profilin açık deniz sınırı kapama derinliği Hallermeier tarafından aşağıdaki gibi tanımlanmıştır,

$$d_c = 2.28H_{s,12} - 68.5\left(\frac{H_{s,12}^2}{gT^2}\right) \tag{4.31}$$

$H_{s,12}$: 12 saat/yıl'da oluşan belirgin dalga yüksekliği.

4.5.4 Kıyı Çizgisi

Kıyı çizgisi değişiminin belirlenmesi, etkin kıyı alanı yönetimi için önemlidir, çevrenin korunması ve sürdürülebilir gelişme için de gereklidir. Fakat kıyı çizgisi değişimini belirlemek için kıyı yapılarının planlanmasında tasarlanan sayısal modellerde kullanılan verilerin doğrulanması gerekmektedir. Bu verilerin yetersizliği ve kıyı yapılarının yanlış projelendirilmesi kıyı alanlarında çoğu geri dönüşü olmayan sorunlar yaratmaktadır. Bu sebeple dalga verilerinin doğru elde edilmesi ve bu verilerin doğru sayısal modelle kıyı çizgisi gelişiminde kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla geçmişe yönelik uydu görüntüleri ya da saha ölçümlerinin sayısal model kalibrasyonlarında kullanımı gerekir.

Kıyı boyu katı madde taşınımı nedeniyle kıyı çizgisi boyunca değişim meydana gelebilmektedir. Erozyon ve yığılma nedeniyle kıyı çizgisinde meydana gelecek değişim "Tek Çizgi Teorisi" yardımıyla kabaca hesaplanabilmektedir. Ancak bu teoride uzun dönemde kıyıya dik katı madde taşınımı dikkate alınmamaktadır. Kıyı profilinin şekili tek çizgi teorisi yardımıyla aşağıdaki denklem ile çözülebilir.

Tablo 4.3 Profil tipleri için önerilen bazı ifadeler (Yüksel, 2011)

Araştırmacı	İfade	Sınıflandırma	Açıklama	Denklem No
Sunamura ve Horikawa (1974)	$C = \frac{\frac{H_0}{L_0}}{\tan^{-0.27}(\beta)\ (\frac{D}{L_0})^{0.67}}$	C>8 erozyon C<4 yığılma 4<C<8 geçiş	Burada D tane çapı, β kıyı eğimidir	(4.23)
Hattori ve Kawamata (1980)	$C = \frac{H_0 g T \tan(\beta)}{L_0 w_s}$	C>0.5 erozyon C<0.5 yığılma	Dean (1973) ifadesini değiştirmişlerdir	(4.24)
Kriebel, Dally ve Dean (1986)		$H_0/L_0 < 4(\pi w_s/gT)$ normal profil $H_0/L_0 > 5(\pi w_s/gT)$ fırtına profili		(4.25)
Larson ve Kraus (1989)		$H_0/L_0 < 4.8x10^8(H_0/D_{50})^{-3.05}$ yığılma $H_0/L_0 \geq 4.8x10^8(H_0/D_{50})^{-3.05}$ erozyon		(4.26)
Kraus, Larson ve Kriebel (1991)		$H_0/L_0 > 0.0007(\frac{H_0}{w_s T})^{-3.05}$ yığılma $H_0/L_0 \leq 0.0007(\frac{H_0}{w_s T})^{3}$ erozyon	Büyük laboratuvar dalga tankı koşullarında türetilmiştir	(4.27)
Dalrymple (1992)	$P = \frac{D}{Fr^2} = \frac{gH_0^2}{w_s^3 T}$ $D = \frac{H_0}{w_s T}$ $Fr = \frac{w_s}{\sqrt{gH_0}}$	P=Profil parametresi P>10,400 fırtına profili	Laboratuvar koşullarında	(4.28)
Kraus ve Mason (1993)	$P = \frac{gH_0^2}{w_s^3 T}$	P>26,500	Saha gözlemleri	(4.29)

$$\frac{\partial y}{\partial t} = -\frac{1}{d_c}\left(\frac{\partial Q}{\partial x} + q_y\right) \qquad (4.32)$$

x : Kıyı boyunca dikkate alınan eksen
y : Kıyıya dik eksen
t : Zaman
q_y : Kıyı boyunca tanımlanan kum kaynağı (akarsu kaynağı gibi)
d_c : Kapama derinliği (kıyı profilinin topuk derinliği)
Q : Kıyı boyu katı madde debisi (CERC (1984),CERC (2003), Kamphuis (2010), vs. gibi ifadelerden hesaplanmalıdır).

Tek çizgi teorisi için sayısal yöntemlerle yapılan çözümler de mevcuttur. (4.32) ifadesinin sayısal çözüm şemasına bağlı olarak sayısal ağ boyutları ve zaman adımı doğru seçilmelidir. Böylece kıyı çizgisinin yıl içindeki değişimi belirlenebilmektedir. Sayısal çözümün kalibrasyonu ve doğruluğu kesinlikle raporlanmalıdır.

Kıyı çizgisi modellemesi yapılması için saha ölçümleri ile proje alanı topoğrafya, batimetri ve kıyı çizgisi ölçümü yapılmalıdır. Kıyı çizgisi modelleri için yapılacak bu ölçümlerde proje alanına komşu kıyı alanlarında batimetrik ölçüm de sayısal modelin doğruluğunu yansıtacak biçimde dikkate alınmalıdır. Proje alanında kıyı morfolojisinde burun, koy ya da yapay yapılar söz konusu ise bu değişimler kıyı çizgisini sınırlamaktadır.

Kıyı çizgisi modelleri için uygulama projelerinde kıyı alanında uzun dönemli değişimleri tanımlayan ölçümler mevcut değilse bu durumda hava fotoğrafları ya da uydu görüntüleri

kullanılarak kıyı çizgisi modelinin doğruluğu gösterilmedir. Uygulama projelerinde doğruluğu ispatlanmış kıyı çizgisi modelleri ile geleceğe yönelik tahminler yapılmalıdır.

Kıyı alanlarında kıyı çizgisi gibi bir ya da iki boyutlu modeller kurulduğu gibi, liman içi kumlanma, ulaşım kanallarının kumlanması, yanaşma yerlerinin kumlanması, boru hatları, su alma yapıları, deşarj yapılarının kumlanma sorunları gibi projelerde batimetrik değişimlerin anlaşılması amacıyla iki yada üç boyutlu sayısal modeller ya da fiziksel model çalışmaları yapılabilir.

4.6 Yerel Erozyon (veya Oyulma)

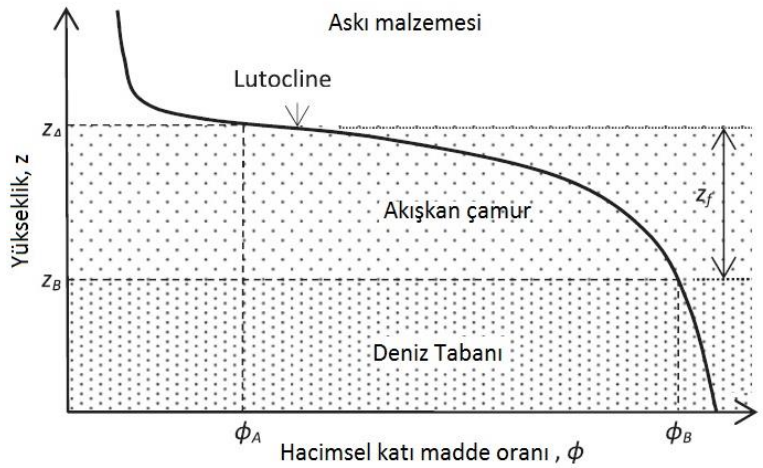
Deniz yapıları etrafında yapının geometrisinden dolayı oluşan akım yapısı yerel erozyona neden olmaktadır, bu taban hareketi yapıların stabilitelerinin bozulmasına neden olacağından belirlenmesi son derece önemlidir. Böylece yapıların etrafında korunma önlemleri oluşturulmalıdır (Yüksel, 2011). Benzer yerel erozyonlar liman içi su alanlarında, ulaşım yollarında gemi pervanelerinden çıkan su jetinden dolayı meydana gelir ve hareket eden taban malzemesi belli konumlarda yığılarak topuk oluşumuna neden olur, bu durum seyiri etkiliyebilir.

Muhtemel yerel oyulma problemleri aşağıda verilmiştir (Yüksel, 2011);

1. Denizaltı boru hatları, enerji, haberleşme nakil hatları etrafında dalga ve/veya akıntı nedeniyle yerel oyulma.
2. Kazıklı yapılar etrafında dalga ve/veya akıntı nedeniyle meydana gelen yerel oyulma.
3. Kıyı duvarlarının topuğunda dalga nedeniyle meydana gelen yerel oyulma.
4. Dalgakıran topuklarında, kafalarında dalga ve/veya akıntı nedeniyle meydana gelen yerel oyulma.
5. Kapalı ya da açık tipten yanaşma yapılarında gemi pervane jeti nedeniyle meydana gelen yerel oyulma (bkz PIANC, 2015)
6. Gemi dalgalarının kıyı ya da kanal şevlerinde neden oldukları yerel erozyon.
7. Açık deniz yapıları etrafında (rüzgar santralları gibi) dalga ve/veya akıntı nedeniyle meydana gelen yerel oyulma.

4.7 Koheziv Malzeme, Akışkan Çamur Tabakası ve Seyir Derinliği

Koheziv malzeme genel olarak çamur olarak da bilinir ve su ile çoğunlukla 63 μm'den daha ince malzemeden oluşan yoğun karışım olarak tanımlanır (Mehta, 2002). Akışkan halde iken non-Newtonian özellik göstermekle birlikte reolojik özellikleri su içeriğine göre değişkenlik gösterebilir (poro-elastik ya da visko-elastik gibi).
Akışkan halindeki çamur, askı malzemesi ile daha yoğun sediment taban arasındaki tabakalaşmış hareketli çamur bölgesi olarak tanımlanmaktadır. Seyir kanallarında akışkan haldeki çamurun gemi pervanesine karşı belirgin bir direnç gösterdiği bilinmektedir. Seyir deniz tabanı, gemi ile teması halinde hasarın ya da kontrol ve manevra için kabul edilemeyecek fiziksel etkilerin gözlendiği kritik bölge olarak tanımlanmaktadır (PIANC, 1997). Seyir derinliği ise anlık ve yerel olarak seyir deniz tabanı ve sakin su seviyesi arasındaki mesafedir. Seyir derinliğinin belirlenmesi için akışkan çamur tabakasının kalınlığının bilinmesi gerekmektedir. Akışkan çamur kalınlığı $z_f = z_A - z_B$ (Şekil 4.12), her bir derinliğe karşılık gelen hacimsel katı madde oranları (solids volume fraction) $\emptyset_A$ ve $\emptyset_B$'ye göre belirlenmektedir.



Şekil 4.12 Askıdaki koheziv katı madde konsantrasyonu. Lutocline ve deniz tabanı arasında oluşan akışkan çamur tabakası (Mehta ve dig., 2014)

Hacimsel katı madde oranı ıslak kütle yoğunluğuna bağlı olarak (birim hacimdeki ıslak çamurun kütlesi) aşağıdaki gibi hesaplanır.

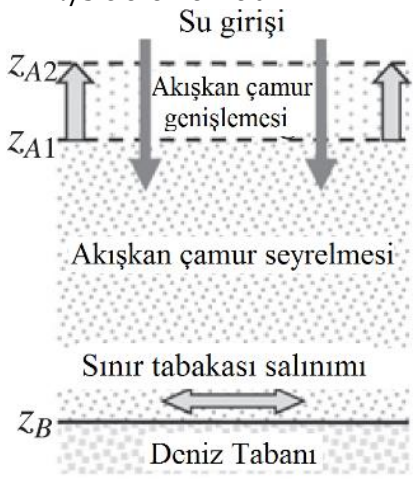
$$\emptyset = \frac{\rho - \rho_w}{\rho_s - \rho_w} = \frac{\Delta\rho}{\Delta\rho_s} \tag{4.33}$$

Burada ρ_s (yaklaşık 2650 kg/m^3) katı madde tanesinin özgül kütlesini ve ρ_w suyun özgül kütlesini (yaklaşık 1000 kg/m^3) göstermektedir. $\emptyset_A$ ve $\emptyset_B$, kil için kabaca $\emptyset_A = 0.02$ (değer aralığı 0.002-0.08) ve $\emptyset_A = 0.13$ (değer aralığı 0.06- 0.2) olarak alınabilir.

Yüksek katı madde konsantrasyonuna sahip akışkan çamur tabakasını düşük konsantrasyonlu askı malzemesi tabakasından ayıran yüksek konsantrasyon gradyanına "lutocline" adi verilir. Eğer dalga etkisi altında taban sınır tabakasında salınım gözleniyor ve taban erozyona karşı dayanıklı ise, tabana su girişinden dolayı lutocline yükselecek ve akışkan çamur tabakası konsantrasyonunda seyrelme olacaktır (Sahin ve diğ., 2012, Şekil 4.13). Bu durumda yeni akışkan çamur tabakası kalınlığı $z_{f2} = z_{A2} - z_B$ olacaktır. Dalga etkisi altında z_{f2} aşağıdaki gibi belirlenebilir (Vinzon ve Mehta, 1998)

$$z_{f2} = 0.65\left[\frac{\left(a_b^3 k_s\right)^{3/2}}{T^3 w_s \emptyset g(s-1)}\right]^{1/4} \tag{4.34}$$

Burada a_b tabanda su partikülünün genliği, k_s taban pürüzlülüğü, T dalga periyodu, w_s tane çökelme hızı, g yerçekimi ivmesi, $s = {\rho_s}/{\rho_w}$ dir. Fırtına dalgalarına maruz bölgelerde yaklaşık olarak $\emptyset = 0.03$ ve $w_s = 1 \times 10^{-4}\ m/s$ olarak alınabilir.



Şekil 4.13 Dalga etkisinde salınan sınır tabakası durumunda akışkan çamur tabakasının genişlemesi ve seyrelmesi (Mehta ve dig., 2014)

1) Taban erozyonu

Tabandan akışkan çamur tabakasına olan katı madde transferi, kütle akısı ya da erozyon hızı ile ifade edilir. En yaygın kullanılan erozyon akısı ifadesi (Mehta ve dig., 2014)

$$\varepsilon = w_e \rho_s = \varepsilon_M (\tau_b - \tau_s); \quad \tau_b > \tau_s \tag{4.35}$$

şeklindedir. Burada w_e erozyon hızını, τ_b anlık taban kayma gerilmesi dağılımının zamansal ortalamasını, τ_s taban erozyon kayma gerilmesi mukavemetini (erozyon için kritik kayma gerilmesi), ε_m erozyon akısı katsayısını göstermektedir ve τ_s'e bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir

$$\varepsilon_M = \varepsilon_{M0} e^{-\chi \tau_s^{\lambda}}. \tag{4.36}$$

Bu denklemde ε_{M0} için ortalama değer 200 g/N/s olarak bulunmuştur. Ayrıca, λ=0.35 alınabilir ve χ değeri 1.3 ile 10.6 arasında değişmektedir. Migniot (1968), çok sayıda doğal çamur örneği ve kil mineral katı madde kullanılarak yapılan viskometrik testler sonucunda τ_s için d'ye bağlı olarak aşağıdaki ifadeleri önermektedir

$$\tau_s = \begin{cases} \alpha_0 \rho_w \sqrt{K} \Delta \rho_s^{(1/3-D)} \dfrac{d_a}{d}; & \tau_y \leq 1.85 \text{ Pa} \\ \beta_0 \rho_w K \Delta \rho_s^{(2/3-D)} \left(\dfrac{d_a}{d}\right)^2; & \tau_y > 1.85 \text{ Pa} \end{cases} \tag{4.37}$$

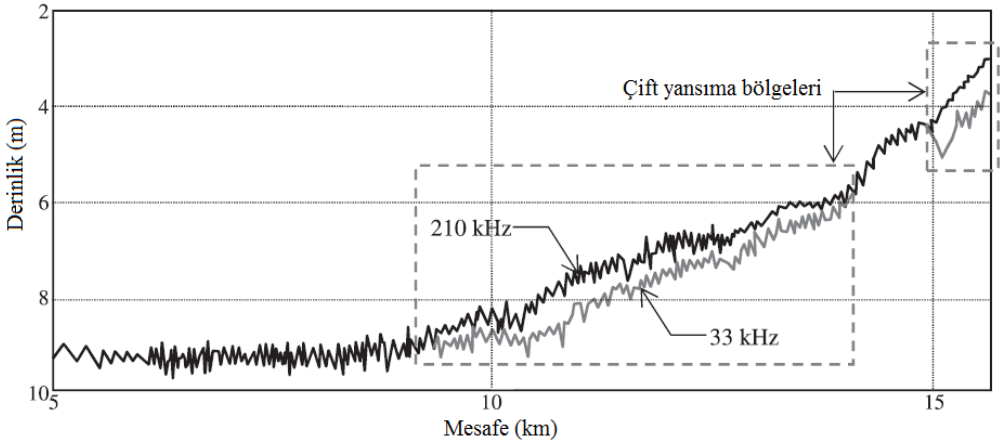
burada d yumak çapını, d_a mevcut en küçük d değerini, τ_y akışkan çamur için akma mukavemetini, D yumak formunu temsil eden fraktal boyutu göstermektedir. Migniot (1968)'in verilerine uygun olarak $d_a = 0.1$ μm, $\alpha_0 = 2.56 \times 10^{-4}$, $\beta_0 = 1.88 \times 10^{-4}$ ve $D = 2.2$ olarak alınabilir. $K = 3.23 \times 10^{-6}$ olarak alınabilir ve τ_y aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir (Kranenburg, 1994)

$$\tau_y = K \Delta \rho_s^{(2/3-D)} \left(\frac{d_a}{d}\right)^2 \tag{4.38}$$

Yukarıdaki ifadeler τ_s ve τ_y'nin çap arttıkça ve kohezyon miktarı azaldıkça azaldığını göstermektedir.

2) Seyir derinliğinin belirlenmesi

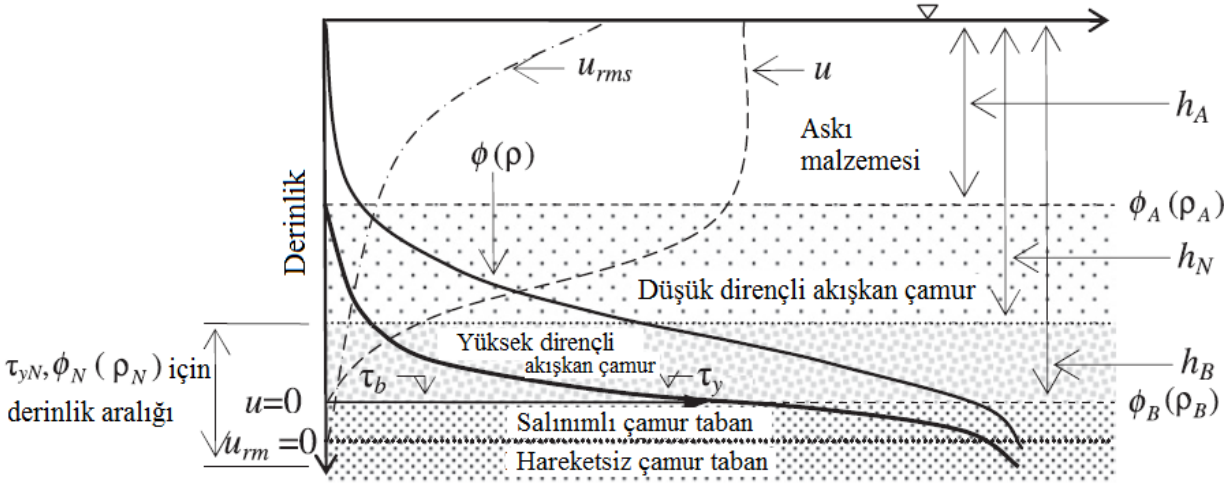
Viskoplastik akışkan çamur kalınlığı, eş zamanlı olarak standart 200 kHz ile daha düşük frekanslarda (genellikle 10-33 kHz aralığında) ölçüm yapan çok frekanslı fathometreler ile belirlenebilmektedir. Yansıyan yüksek frekanslı dalga akışkan çamurun üst seviyesini (z_A), düşük frekanslı dalga ise alt seviyesini belirlemektedir (z_B). Akışkan çamur tabakasının alt ve üst seviyesindeki özgül kütle limitleri 1,200 ve 1,070 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Şekil 4.14'te 210 kHz ve 33 kHz için akustik yansımalar ve akışkan çamur tabakası oluşumu için bir örnek görülmektedir.



Şekil 4.14 Bir kesit boyunca farklı akustik yansımalara göre akışkan çamurun belirlenmesi (Tijucas Korfezi, Brezilya; Schettini ve dig., 2010)

Analizler için aşağıdaki üç derinlik tanımı önemlidir (Sekil 4.15):

1. Hidrodinamik derinlik (h_B): Akıntı hızı u'nun sıfır olduğu derinliktir. Bu seviyede akma gerilmesi τ_y taban kayma gerilmesi τ_b'ye eşittir. Hidrodinamik modellerde taban erozyonu bu derinlikte hesaplanır (Denklem 4.35).
2. Akustik derinlik (h_A): fathometre ile belirlenen akışkan çamur tabakasının üst seviyesinin referans alındığı derinliktir.
3. Seyir derinliği (h_N): Hacimsel katı madde oranı $\emptyset_N$ (ya da ρ_N)'nin seyir için çamurun eşik akma kayma gerilmesi (yield shear stress) τ_{yN}'e karşı geldiği derinliktir. Eşik değerinin üzerine çıkıldığında gemi pervanesine karşı belirgin bir direnç meydana gelmekte ve pervane çamur içine battıkça motor gücü hızlı bir şekilde artmaktadır. Buna göre, seyir derinliği h_N, τ_y'nin τ_{yN}'e eşit olduğu seviye olarak belirlenir. τ_{yN} ve $\emptyset_N$'in belirli bir aralıkta değişimi beklenmektedir. Tablo 4.4'de farklı kati madde tipleri için $\emptyset_N$ değerlerinin 0.06-0.16 arasında değiştiği görülmektedir. Seyir için deniz tabanı taraması $\emptyset_N(\rho_N)$'in gözlendiği h_N derinliğine kadar yapılmalıdır.

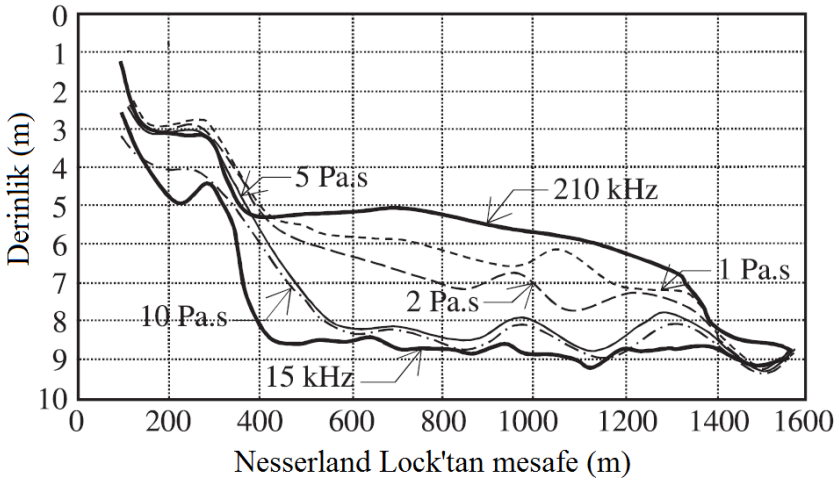


Şekil 4.15 Hidrodinamik, akustik ve seyir derinliği tanımları (Mehta ve dig., 2014)

Tablo 4.4 Seyir derinliği için eşik özgül kütleleri ve hacimsel oranları için örnek değerler (Migniot 1968 ve Parker 1994)

Malzeme	ρ_N (kg/m^3)	$\emptyset_N$
Wouri Nehri (Kamerun)	1.118	0.06
Mahury Nehri (Fransız Guyanası)	1.158	0.09
Hamiz Nehri (Cezayir)	1.274	0.16
Kumlu çamur (tanelerin %30'u>63-μm)	1.240	0.14
İnce çamur (<63-μm)	1.160	0.09

τ_{yN}'e karşı gelen derinlikteki çamur direncini temsil etmek için eşik viskozitesinin η_N kullanılması durumunda, sahada eş viskozite eğrilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Çamur viskozitesi η'nın derinlikle değişiminin sahada belirlenmesi için ağırlık probları (gravity probes) kullanılmaktadır. Şekil 4.16'da Emden Limani Nesserland Sea Lock'ta kanalın mansabında bir kesit boyunca ölçümler görülmektedir. İki frekanslı (15 kHz ve 210 kHz) fathometre ile akışkan çamurun alt ve üst seviyelerini belirlenmektedir. Ayrıca 1, 2, 5 ve 10 Pa·s eş viskozite eğrileri de görülmektedir. Çamur kalınlığı havuzdan itibaren mesafe ile değişmekte ve yaklaşık 1600 m'de ihmal edilebilecek kadar küçük olmaktadır. Teeter (1992) Louisiana'da Gulf Port ve Calcasieu kanalında seyir derinliği için η_N= 8 Pa·s değerini önermiştir. Yani, h_N derinliği 8 Pa·s eş viskozite eğrisinin bulunduğu derinlik olarak tanımlanmıştır. Dash ve Wurpts (2001), Emden Limanı için 12 Pa·s'yi önermiştir.



Sekil 4.16 Akışkan çamuru gösteren akustik sınırlar ve bağımsız eş viskozite ölçümleri (Emden Limanı, Dash ve Wurpts 2001)

KAYNAKLAR

Arikawa T., (2009), "Structural Behavior Under Impulsive Tsunami Loading", Journal of Disaster Research, Vol.4 No.6 , pp:377-381, Dec. 2009,

Arnason H., Petroff C., and Yeh H., (2009), "Tsunami Bore Impingement onto a Vertical Column", Journal of Disaster Research, Vol.4 No.6 , pp:391-403, Dec. 2009,

Asakura, R., K. Iwase, T. Ikeya, M. Takao, T. Kaneto, N. Fujii and M. Ohmori,. 2002. "The tsunami wave force acting on land structures, Proceedings the 28th International Conference on Coastal Engineering", pp.1191-1202, 2002.

ASCE (American Society of Civil Engineers, Structural Engineering Institute), 2016, "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures", ASCE/SEI 7-16 (in preparation for publication).

Ashida, K. and M. Michiue, 1972, "Study on hydraulic resistance and bed-load transport rate in alluvial streams. Proceedings of the Japanese Society of Civil Engineers", Vol. 206: pp.59-69. (in Japanese).

Battjes, J. A., Groenendijk, H. W., 2000, "Wave Height Distribution on Shallow Foreshores", Coastal Engineering, Vol 40, No. 3, pp. 161-182.

Cavanie, A., Arhan, M., ve Ezraty, R., 1976. "A Statistical Relationship Between Individual Heights and Periods of Storm Waves", Proc. Symp. Behaviour of Offshore Strusctures, Vol. 2, 354-360.

CERC, 1984, "Shore Protection Manual".

CERC, 2003, "Coastal Engineering Manual".

CIRIA, 1996, "Beach Management Manual", Report no. 153, London.

CIRIA, CUR, CETMEF, 2007. The Rock Manual, The use of rock in Hydraulic Engineering (2nd edition). C683, CIRIA, London.

Chock, G., 2015, "The ASCE 7 Tsunami Loads and Effects Design Standard for the United States", Chapter 21, Handbook of Coastal Disaster Mitigation for Engineers and Planners, ed. By Esteban, M., Takagi, H, and Shibayama, T., Elsevier. ISBN-10: 0128010606.

Dalrymple, R.A., 1992. "Prediction of Storm/Normal Beach Profiles" J. Waterways, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE, 118, 2, 193-200.

Dasch, W., Wurpts, R. (2001). Isoviscs as useful parameters for describing sedimentation, *Terra et Aqua*, 82, 3-7.

Dean, R. G., 1973, "Heuristic Models of Sand Transport in the Surf Zone", Proc. conf. Eng. Dyn. Surf Zone, Sydney, Australia.

Dean, R. G., 1977, "Equilibrium Beach Profiles", US Atlantic and Gulf Coasts Tech. Rep. No.12, Univ. of Delaware, New York.

Dean, R.G. and Dalrymple, R.A., 2004, "Coastal Processes with Engineering Applications", Cambridge University Press.

Dean, R.G., 2002, "Beach Nourishment Theory and Practice", Advanced Series on Ocean Engineering-Vol. 18, Word Scientific.

European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF), "www.ecmwf.int"

FEMA (Federal Emergency Management Agency), 2012, "Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis", Second Edition, p-646, 194p.

Fujii, N., M. Ikeno, T. Sakakiyama, M. Matsuyama, M. Takao, T. Mukohara, 2009, "Hydraulic experiment on flow and topography change in harbor due to tsunami and its numerical simulation", Proceedings of Coastal Engineering, JSCE, Vol. B2-65, No. 1, pp. 291-295. (in Japanese)

Fujii, N., M.Ohmori, T.Ikeya, R.Asakura, T.Takeda and K.Yanagisawa, 2005, "Numerical Simulation of Tsunami Drifting Bodies in a Harbor, Proceedings of Coastal Engineering", JSCE, Vol. 52, pp. 296-300. (in Japanese)

Fujima K., Achmad F., Shigihara Y. and Mizutani N., 2009, "Estimation of Tsunami Force Acting on Rectangular Structures", Journal of Disaster Research, Vol.4 No.6 , pp:404-409, Dec. 2009,

Goda, Y., 1970. "A Synthesis of Breaker Indices," Transactions of the Japan Society of Civil Engineers, Vol 2, Part 2, 227-230.

Goda, Y., 1988. “On the Methodology of Selecting Design Wave Heigth”, Proceeding of the 21st International Conference on Coastal Engineering, ASCE, 899-913.
Goda, Y., 2010. Random Seas and Design of Maritime Structures, Advanced Series on Ocean Enginerring- Volume 33, 3. Baskı, World Scientific.
Goto, C., 1990, “Simulation Models of Timber and Oil Spread Due to Tsunamis”, In 2nd UJNR Tsunami Workshop : Proceedings, NOAA, National Geophysical Records Documentation No. 24, Boulder, CO, pp. 63-66
Hattori, M.Y. ve Kawamata, R., 1980. “Onshore-Ofshore Transport and Beach Profile Change” Proc. 17th. Coastal Engr. Conf. ASCE, 1175-1193.
Hedges, T.S. ve Mase, H., 2004. “Modified Hunt’s Equation Incorporating Wave Setup”, ASCE Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol 130, 109-113.
Hsu, S.A., 1984. “Improved Formulas for Estimating Offshore Winds”Proceedings of 19th Conference on Coastal Engineering, Houston, Texas.
Ikeno, M., T. Yoshii, M. Matsuyama, and N. Fujii, 2009, “Estimation of Pickup Rate of Suspended Sand by Tsunami Experimental and Proposal of Pickup Rate Formulae”, Proceedings of Coastal Engineering, JSCE, Vol. B2-65, No. 1, pp. 506-510. (in Japanese)
Ikeno, Masaaki, Masafumi Matsuyama, Tsutomu Sakakiyama, and Ken Yanagisawa, 2006, “Effects of soliton fission and wave breaking on tsunami force acting on breakwater”, Proceedings of the 30th International Conference on Coastal Engineering, pp. 5162-5174.
Inagaki, S., T. Ikeya, M. Omori, N. Fujii, T. Mukohara and K. Hatayama, 2008, “Model Experiment and Simulative Prediction on Slipping and Drifting of Oil Storage Tank by Tsunami, Proceedings of Coastal Engineering”, JSCE, Vol. 55, pp. 276-280. (in Japanese)
IPCC; Church, J.A., P.U. Clark, A. Cazenave, J.M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M.A. Merrifield, G.A. Milne, R.S. Nerem, P.D. Nunn, A.J. Payne, W.T. Pfeffer, D. Stammer and A.S. Unnikrishnan, 2013: Sea Level Change. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
JDR Journal of Disaster Research, (2009), “Tsunami Forces and Effects on Structures” Vol.4 No.6 Dec. 2009, http://www.fujipress.jp/JDR/DSSTR00040006.html.
Kamphius, J. W., 1991, “Alongshore Sediment Transport Rate”, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol. 117, pp: 624-640.
Kamphius, J. W., Davies, M. H., Nuim, R. W. and Sayao, O. J., 1986, “Calculation of Littoral Sand Transport Rate”, Coastal Engineering, Vol.10, pp: 1-21.
Kamphuis, J. W., 1975, “Friction Factors under Oscillatory Waves”, Journal of Waterways, Harbors and Coastal Engineering, ASCE, Div. 101 (WW2), pp. 135-144.
Kamphuis, J. W., 2000, “Introduction to Coastal Engineering and Management”, Advanced Series on Ocean Engineering, Vol. 16, World Scientific.
Kamphuis, J.W., 2010. Introduction to Coastal Engineering and Management, Adv. Ser. On Ocean Eng., Vol. 16, 2. Baskı, World Scientific.
Kato F.,, S. Inagaki, M. Fukuhama, 2006, “Wave Force on Coastal Dike Due To Tsunami, Coastal Engineering”, pp. 5150-5161.
Kihara, N., N. Fujii and M. Matsuyama, 2012, “Three-dimensional sediment transport processes on tsunami-induced topography changes in a harbour”, Earth Planets Space, 65, 787-797.
Komar, P. D. and Miller, M. C., 1974, “Sediment Threshold under Oscillatory Water Waves”, J. Sediment Petrol, 43, 1101-1110.
Kranenburg, C. (1994). The fractal structure of cohesive sediment aggregates, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 39(5), 451-460.
Kraus, N. C., Larson, M. and Kriebel, D. L., 1991, “Evaluation of Beach Erosion and Accretion Predictors”, Proc. Co. Sediments’91, ASCE, Seattle, pp: 572-587.
Kraus, N.C. ve Mason, J.M., 1993. “Discussion of Prediction of Storm/Normal Beach Profiles”, J. Waterways, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE, 119, 4, 466-473.

Kriebel, D.L., Dally, W.R. ve Dean, R.G., 1986. “An Undistorted Froude Model for Surf Zone Sediment Transport” Proc. 20th. Int. Conf. on Coastal Engr. Taipei, 1296-1310.
Kumagai, K., K. Oda and N.Fujii, 2006, “Applicability of Symulation Model for Drift Behavior of Container due to Tsunami”, Proceedings of Techno-Ocean 2006/JASNAOE Ocean Engineering Symposium, No.72.
Larson, M. and Kraus, N. C., 1989, “SBEACH: Numerical Model for Simulating Storm Induced beach Change”, Technical Report, CEREC 89-9, Coastal Engineering Research Center US Army Engineering Waterway Experimental Station, Vicksburg, Miss.
Mangor, K., 2004, “Shoreline Management Guidelines”, copyright by author and DHI Water and Environment, Horsholm, Denmark.
Longuet-Higgins, M. S., 1952, “On the Statistical Distribution of Heights of Sea Waves”, J. Of Marine res., Vol. XI, No.3, pp.13-12.
Lukkunaprasit P., Thanasisathit N., and Yeh H., 2009, “Experimental Verification of FEMA P646 Tsunami Loading”, Journal of Disaster Research, Vol.4 No.6 , pp:410-418, Dec. 2009,
MAFF (Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan) (2012), The basic solution for fishery harbours as measures for earthquake and tsunami after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, 36p. (http://www.jfa.maff.go.jp/j/seibi/gyokogyojo/pdf/120406.html, accessed 25 April 2013)
Mase, H., 1989. “Random Wave Runup Height on Gentle Slope”, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol 115, 649-661.
Mase, H., Tamada, T., Yasuda, T., Hedges, T.S. and Reis, M.T., 2013, “Wave Runup and Overtopping at Seawalls Built on Land and in Very Shallow Water.” Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng., 139:346-357.
Matsutomi, H., K. Okamoto, K. Harada,.2010, “Inundation flow velocity of tsunami on land and its practical use”, Coastal Engineering Proceedings, 1(32), currents-5.
Mehta, A., Samsami, F., Khare, Y., and Sahin, C. (2014). Fluid Mud Properties in Nautical Depth Estimation. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 140, No 2, 210-222, doi: 10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000228
Migniot, C. (1968). A study of the physical properties of different very fine sediments and their behavior under hydrodynamic action, *La Houille Blanche*, 7, 591-620 (in French, with abstract in English).
Munk, W. H., 1949. “The Solitary Wave Theory and Its Application to Surf Problems,” Annals New York Acad. Sci., Vol 51, pp 376-423
Özhan, E. ve Abdalla, S., 1999. “Türkiye Kıyıları için Derin Deniz Rüzgar ve Dalga Atlası”
Parker, W.R. (1994). Determining depth and navigability in fine sediment areas, *Coastal, Estuarial and Harbour Engineer’s Reference Book*, M.B. Abbott, W.A. Price eds., Chapman and Hall, 611-614.
PIANC (1997). *Approach Channels, a Guide for Design*. Supplement to Bulletin No. 95, General Secretariat of the Permanent International Association of Navigation Congresses, Brussels.
PIANC, 1980, “Final report of the 3rd International Commission for the Study of Waves”, 1980, Belgium.
PIANC, 1986, “List of Sea State Parameters”, 1986, Belgium.
PIANC, 1989, “Analysis of Rubble Mound Breakwaters”, 2006, Belgium.
PIANC, 1992, “Analysis of Rubble Mound Breakwaters” Permanent International Association of Navigation Congresses”, ISBN 2-87223-047-5, Belgium.
PIANC, 1992, “Uncertainty Related to Environmental Data and Estimated Extreme Events”, Belguim.
PIANC, 1992,. Analyses of Rubble Mound Breakwaters, Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC), Summary Report of Working Group No: 12, Supplement to Bulletin No: 78/79, Brussels, Belçika.
PIANC, 1993, “Formulae for Rubble Mound Breakwater Failure Modes”, Belguim.
PIANC, 1994, “Floating Breakwaters” ISBN 2-87223-052-1, Belgium.
PIANC, 1995, “Criteria for Movements of Moored Ships in Harbours” ISBN 2-87223-070-X, Belgium.

PIANC, 1995, “Guidelines for the Use of Certain Powered Craft, such as Waterscooter, Personal Watercraft, Waterbike, Jetski, Waverunner, Seadoo, on Controlled Waters” ISBN 2-87223-065-3, Belgium.
PIANC, 1995, “Port Facilities for Ferries” ISBN 2-87223-066-1, Belgium.
PIANC, 1997, “Guidelines for the Design of Armoured Slopes under Open Piled Quay Walls”, 1997, Belgium.
PIANC, 1998, “Lifecycle Management of Port Structures General Principles” ISBN 2-87223-103-X, Belgium.
PIANC, 1998, “Planning for Fishing Ports” ISBN 2-87223-091-2, Belgium.
PIANC, 2000, “Dangerous Cargoes in Ports” ISBN 2-87223-119-6, Belgium.
PIANC, 2000, “Protecting Water Quality in Marinas”, Report No:98-2000.
PIANC, 2000, “Site Investigation Requirements for Dredging Works” ISBN 2-87223-113-7, Belgium.
PIANC, 2001, “Seismic Design Guidelines for Port Structures” ISBN 2-87223-120-X, Belgium.
PIANC, 2001, Seismic Design Guidelines for Port Structures, International Navigation Association, The Netherlands.
PIANC, 2002, “Guidelines for the Design of Fenders Systems” ISBN 2-87223-125-0, Belgium.
PIANC, 2002, “Mooring System for Recreational Craft” ISBN 2-87223-126-9, Belgium.
PIANC, 2002, “Recreational Navigation and Nature” ISBN 2-87223-130-7, Belgium.
PIANC, 2003, “Breakwater with Vertical and Inclined Concrete Walls”, 2003, Belgium.
PIANC, 2003, “Guidelines for Managing Wake Wash from High Speed Vessels ” ISBN 2-87223-142-0, Belgium.
PIANC, 2004, “Disability Access Guidelines for Recreational Boating Facilities”, 2004, Belgium.
PIANC, 2004, “Dredging of Marinas” ISBN 2-87223-144-7, Belgium.
PIANC, 2004, “Inspection, Maintenance and Repair of Maritime Structures Exposed to Damage and Material Degradation Caused by Salt Water Environment” ISBN 2-87223-145-5, Belgium.
PIANC, 2005, “Accelerated Low Water Corrosion” ISBN 2-87223-153-6, Belgium.
PIANC, 2006, “Waterborne Transport, Ports and Waterways; A Review of Climate Change Drivers, Impacts, Responses and Mitigation”, 2006, Belgium.
PIANC, 2008, “Lifecycle Management of Port Structures Recommended Practice for Implementation”, Report No:103-2008.
PIANC, 2008, “Minimizing Harbour Siltation”, Report No:102-2008.
PIANC, 2009, “The Use of Alternative Materials in Marine Structure Construction”, Report No:105-2009.
PIANC, 2011, “The Application of Geosynthetics in Waterfront Areas”, Report No:113-2011.
PIANC, 2012, “Criteria for the (Un) Loading of Container Vessels”, Report No:115-2012.
PIANC, 2012, “Safety Aspects Affecting the Berthing Operations of Tankers to Oil and Gas Terminals”, Report No:116-2012.
PIANC, 2012, “Use of Hydro/Metro Information for Port Access and Operations”, Report No:117-2012.
PIANC, 2013, “Design and Operational Guidelines for Superyacht Facilities”, Report No:134-2013.
PIANC, 2013, “Dry Stack Storage”, Report No:132-2013.
PIANC, 2014, “Classification of Soils and Rocks for the Maritime Dredging Process”, Report No:144-2014.
PIANC, 2014, “Countries in Transportation (CIT): Coastal Erosion Mitigation Guidelines”, Report No:123-2014.
PIANC, 2014, “Design Principles for Small and Medium Marine Container Terminals”, Report No:135-2014.
PIANC, 2014, “Harbour Approach Channels Design Guidelines”, Report No: 121-2014
PIANC, 2014, “Sustainable Ports a Guide for Port Authorities”, Report No:150-2014.

PIANC, 2014, “Tsunami Disaster in Ports due to the Great East Japan Earthquake”, Report No:122-2014.
PIANC, 2015, “Anti-Sedimentation System for Marinas and Yacht Harbours”, Report No: 130-2015.
PIANC, 2015, “Guidelines for Protecting Berthing Structures from Scour Caused by Ships”, Report No:180-2015.
PIANC, 2015, “Semi – Probabilistic Design Concept for Inland Hydraulic Structure”, Report No:140-2015.
Sahin, C., Safak, I., Sheremet, A., Mehta, A.J. (2012). Observations on cohesive bed reworking by waves: Atchafalaya Shelf, Louisiana, J*ournal of Geophysical Research*, 117 (C9), C09025, doi:10.1029/2011JC007821.
Sakakiyama,T,.2012, “Tsunami inundation flow and tsunami pressure on structure”, Journal of Coastal Engineering, vol. 68 No.2, JSCE, pp.771-775 (in Japanese).
Schettini, C.A.F., de Almeida, D.C., Siegle, E., de Alencar, A.C.B. (2010). A snapshot of suspended sediment and fluid mud occurrence in a mixed-energy embayment, Tijucas Bay, Brazil, *Geo-Marine Letters*, 30, 47-62.
Shields, A., 1936, “Anwendung der Aehnlichkeitsmechanik und der Turbulenz Forschung auf die Geschiebebewegung”, Mitt Preuss Versuchsanstalı Wasserbau Schiffbau, Berlin.
Shuto, N, 1985, “The Nihonkai-Chuubu earthquake tsunami on the north Akita coast”, Coastal Engineering, Japan, JSCE 28, Tokyo, Japan, 255–264.
Sleath, J.F.A., 1984, Sea Bed Mechanics”, A Wiley series
Soulsby, R. L. and Whitehouse R. J. S. W., 1997, “Threshold of Sediment Motion in Coastal Environments”, Proc. Pacific Coasts and Ports′97 Conf., Christchurch, 1, pp. 149-54, University of Canterbury, New Zealand.
Soulsby, R. L., 1995, “The Bailard Sediment Transport Formula: Comparison with Data and Models”, Op. cit., pp: 2-48.
Soulsby, R., 1997, “Dynamics of Marine Sands”, HR Wallingford.
Sunamura, T. and Horikawa, K., 1974, “Two Dimensional Beach Transformation due to Waves”, Proc. 14th Conf. on Coastal Eng., pp: 920-938.
Synolakis, C.E., 2003, “Tsunami and Seiche”, in *Earthquake Engineering Handbook*, W.F. Chen and C. Scawthorn (eds), CRC Press, New York, 9-1 to 9-99.
Synolakis, C. E., Bernard, E. N., Titov, V. V., Kânoğlu, U., and González, F., 2008 “Validation and verification of tsunami numerical models”, Pure and Applied Geophysics 165(11-12), 2197-2228. doi:10.1007/s00024-004-0427-y.
Takahashi, T., N. Shuto, F. Imamura, and D. Asai, 2000, “Modeling Sediment Transport due to Tsunamis with Exchange Rate between Bed Load and Suspended Load Layers”, Proc. of 27th Int. Conf. On Coastal Eng., ASCE, Vol. 2, pp. 1508-1519.
Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan**,** The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, (OCDI, 2002).
Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan**,** The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, (OCDI, 2009).
Teeter, A.M. (1992). Evaluation of new fluid mud survey system at field site, *Dredging Research Program Technical Note DRP-2-05*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), “www.noaa.gov”
Thompson, E.F. ve Vincent, C.L., 1985. “Significant Wave Height for Shallow Water Design”, ASCE Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol 111, 828-842.
US Army Corps of Engineers, 2003. Coastal Engineering Manual (CERC), Engineer Manual 1110-2-1100, US Army Corps of Engineers, Washington D.C. (6 volumes)
Van der Meer, J., 1990. “Extreme Shallow Water Wave Conditions”, Report H198, Delft Hydraulics.
Van Rijn, L. C., 1984, “Sediment Transport: Part I, Bed Load Transport, Part II: Suspended Load Transport, Part III: Bed Forms and Alluvial Roughness”, Journal of Hydraulic Eng., ASCE, 110 (HY10), (HY11), (HY12), pp: 1431-1456, 1613-1641, 1733-1754.

Vinzon, S.B., Mehta, A.J. (1998). Mechanism for formation of lutoclines by waves, *Journal of Waterways, Port Coastal and Ocean Engineering*, 124(3), 147-149.
Weggel, J. R., 1972. “Maximum Breaker Height,” Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division, Vol 98, No. WW4, pp 529-548
Wilson, B. W., 1965. “Numerical Prediction of Ocean Waves in the North Atlantic for December 1959, Deut”, Hydrogr. Zeit, Jahrgang 18, Heft 3, pp. 114-130.
Yalciner A. C., and Synolakis C. E., 2007, “Tsunamis and their impacts on Marine Structures, Submitted to Guidelines on seismic-induced liquefaction around marine structures" in LIMAS Special Issue in ASCE Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering (Editor Mutlu Sumer). Volume: 133 Issue: 1 Pages: 55-82 Published: JAN-FEB 2007
Yüksel, Y. ve Çevik, Y., 2008, “Kıyı Mühendisliği”, BETA Yayınevi.
Yüksel, Y. ve Çevik, E., 2010, “Liman Mühendisliği”, 2. Bası, BETA Yayınevi
Yüksel, Y., 2011, “Dalgakıran Tasarımı”, BETA Yayınevi
Yüksel, Y., 2011, “Deniz tabanı Hidrodinamiği ve Kıyı Morfolojisi”, 2. Bası, BETA Yayınevi.
Yüksel, Y., 2014, “Teori ve Çözümlü Problemler ile Bilgisayar Uygulamalı Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik”, 4. Bası, BETA Yayınevi, 5. Baskı

BÖLÜM C

PLANLAMA

İÇİNDEKİLER

1. SU ALANLARININ TASARIMI 155
1.1. Ulaşım Kanalı 155
1.1.1 Doğrultu 156
1.1.2 Kanal Genişliği 157
1.1.3 Ulaşım Kanal Derinliği 159
1.1.4 Diğer Tasarım Özellikleri 161
1.2 Liman İçi Manevra Alanları 161
1.3. Liman İçi Yanaşma Yerleri Boyutları 163
1.4 Gemiler 166
1.5 Kapalı Limanlarda Dalga Nedenli Salınım 174
1.6 Yanaşma Düzeni ve Gemi Bağlama Yöntemleri 176
1.6.1 Gemi Yanaşma ve Usturmaça Yerleşim Düzenleri 177
2. TERMİNAL PLANLAMASI 181
2.1 Genel Tanımlar 181
2.2 Konteyner Terminalleri Planlaması 186
2.2.1 Konteyner Tip ve Boyutları 186
2.2.2 Planlama 188
2.3 Genel Kargo ve Çok Amaçlı Terminaller 195
2.4 Ro-Ro ve Feribot Terminalleri 196
2.4.1 Yolcu İnme/Binme Tesislerinin Planlanması 197
2.5 Sıvı Yük Terminalleri 200
2.6 Kuru Dökme Yük Terminalleri 205
3. BALIKÇI LİMANLARI 207
3.1 Balıkçı Limanlarının Tipleri 207
3.2 Yer Seçimi 207
3.3 Balıkçı Tekneleri 207
3.4 Planlama 208
3.4.1 Ulaşım Kanalı 208
3.4.2 Basenler ve Yanaşma Yapıları 208
3.4.3 Apron 210
3.4.4 Tekne Bakım ve Onarımı 210
3.4.5 Binalar ve Diğer Hizmetler 210
4. YAT LİMANLARI 211
4.1 Genel 211
4.2 Tekne Tipleri ve Boyutları 215
4.3 Ulaşım Kanalı ve Liman Girişi 216
4.4 Manevra Dairesi 217
4.5 Liman İçi Yerleşim 220
4.6 Park Alanı 227
4.7 Travel Lift 227
4.8 Hizmet Yapıları 227
4.9 Mega ve Süper Yat Limanları için Ek Planlama Ölçütleri 229
4.10 Bağlanma 233
4.11 Balıkçı Barınaklarından Dönüştürülen Yat Limanları 233
5. KRUVAZİYER LİMANLARI 234
6. LİMAN KAPLAMA TASARIMI 237
6.1 Giriş 237
6.2 Liman Kaplama Tasarımı 237
7. TERSANELER 241
7.1 Genel 241
7.2 Tekne Denize İndirme ve Denizden Alma Tesisleri 242
7.3 Kızak Tasarımı 243
7.3.1 Kızak Yerinin Konumu 243
7.3.2 Kızak Elemanlarının Boyutları 244

7.3.3 Kızak Uzunluğu ve Geri Alan 244
7.3.4 Su Derinliği 244
7.3.5 Kızak Eğimi 244
7.3.6 Su Alanı 244
7.3.7 Ön Duvar ve Döşeme 245
7.3.8 Baş Papet ve Döndürme Momenti 245
7.4 Gemi Asansörü 246
7.5 Yüzer Havuz 248
7.6 Tekne Vinci 248
7.7 Büyük Tonajlı Gemi Kızakları 248
KAYNAKLAR 251

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Doğrusal ulaşım kanalda kanal genişliği 158
Tablo 1.2 Kanal derinliğinde etkili bileşenler ve hava payı 160
Tablo 1.3 İskele ve rıhtımlarda çevresel operasyon koşullarının sınır değerleri 162
Tablo 1.4 Başlıca gemi boyutlarına göre yanaşma yeri boyutları 165
Tablo 1.5 Yanaşma yerinde standart üst kotlar 166
Tablo 1.6 Gemi ölçüm oranları 168
Tablo 1.7 Gemi çekme kuvvetleri için standart değerler 168
Tablo 1.8 Gemi boyutları 169
Tablo 1.9 Elleçleme için limit dalga koşulları 174
Tablo 1.10 Operasyon koşullarında dalga yüksekliği sınır değerleri 175
Tablo 1.11 Liman giriş katsayısı α 176
Tablo 2.1 Terminallerde minimum alan boyutları 184
Tablo 2.2 Terminallerde minimum park alanı boyutları 184
Tablo 2.3 Standart konteyner boyutları 187
Tablo 2.4 Bir TEU için gerekli depolama alanı 187
Tablo 2.5 Tipik tasarım ömürleri 195
Tablo 2.6 Apron genişliği standart değerleri 196
Tablo 2.7 İskeleler ve SPM için dalga yüksekliği limitleri 202
Tablo 2.8 Demirleme alanları 202
Tablo 2.9 Şamandıra kullanılan basen alanları 202
Tablo 2.10 Kuru yük özellikleri 205
Tablo 3.1 Tipik tekne boyutları 208
Tablo 4.1 Teknelerin tipik tasarım parametreleri 215
Tablo 4.2 PIANC (1995) tarafından teknelerin sınıflandırılması 216
Tablo 4.3 Bağlama yeri boyutları 223
Tablo 4.4 Tekne genişliğine göre sabit iskele üst kotu 224
Tablo 4.5 Minimum yüzer parmak iskele genişlikleri 225
Tablo 4.6 Sabit iskelede hareketli yükler 225
Tablo 4.7 Yüzen iskelede hareketli yükler 225
Tablo 4.8 Yat limanı sıhhi tesis sayıları 227
Tablo 4.9 Çamaşır yıkama tesisi sayıları 228
Tablo 4.10 Süper yatlara etkili akıntı kuvvetleri için yaklaşık su çekim alanları 230
Tablo 4.11 Minimum seyir yolu genişlikleri 232
Tablo 4.12 Minimum ve tercih edilen yanaşma genişlikleri 232
Tablo 4.13 Usturmaça çapları 233

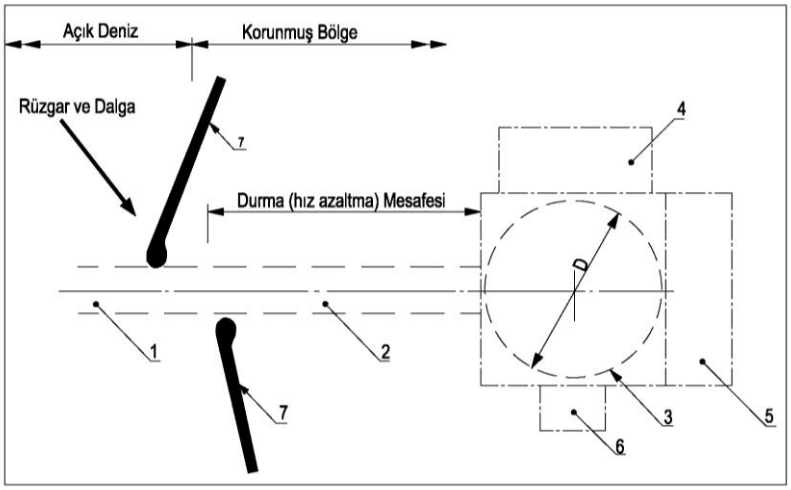
ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Su alanının planlanacak elemanları 155
Şekil 1.2 Ulaşım kanalları 156
Şekil 1.3 Ulaşım kanalında eğriliklerin tasarlanması 157
Şekil 1.4 Ulaşım kanalı derinlik faktörleri 160
Şekil 1.5 Ulaşım kanallarında hava payı 161
Şekil 1.6 Bağlama düzeni 163
Şekil 1.7 Basen genişliği 164
Şekil 1.8 Uzun parmak iskelede minimum römorkor destekli yanaşma yeri düzeni 164
Şekil 1.9 Kısa parmak iskelede minimum römorkor destekli yanaşma yeri düzeni 164
Şekil 1.10 Gemi boyutları 168
Şekil 1.11 Bir geminin hareket modları 169
Şekil 1.12 Basen salınımları 175
Şekil 1.13 Basen şekilleri 176
Şekil 1.14 Doğrusal (marjinal) rıhtımda bağlanma 177
Şekil 1.15 Doğrusal rıhtımda usturmaça düzeni 177
Şekil 1.16 T tipi iskelede usturmaça düzeni 177
Şekil 1.17 Yaslanma dolfenli usturmaça düzeni 178
Şekil 1.18 Çoklu yanaşma dolfenli usturmaça düzeni 178
Şekil 1.19 Ro-Ro ve feribotlar için yanaşma düzeni 179
Şekil 2.1 Yük bazında limanlarda elleçlenecek yük talep tahmini 185
Şekil 2.2 ISO'ya göre konteyner boyutları 186
Şekil 2.3 Tipik konteyner terminal alanları 188
Şekil 2.4 Straddle Carrier (SC) kullanılan bir konteyner terminali 189
Şekil 2.5 PIANC (2014) tarafından önerilen elleçleme sistem kombinasyonu 190
Şekil 2.6 Tipik apron alanı 191
Şekil 2.7 Konteyner depolama alanı için tasarım grafiği 193
Şekil 2.8 Tipik konteyner terminali işletme planı 194
Şekil 2.9 Tipik RS çalışması ve depolama 194
Şekil 2.10 Tipik SC istiflemesi ve depolama alanı 194
Şekil 2.11 Tipik RTG istiflemesi ve depolama alanı 195
Şekil 2.12 Tipik RMG istiflemesi ve depolama alanı 195
Şekil 2.13 Örnek Ro-Ro terminali ve kapak atmış Ro-Ro gemisi 198
Şekil 2.14 Örnek yolcu binası 199
Şekil 2.15 Boyuna bağlı tankerlerde seyir halinde gemi durumu 200
Şekil 2.16 Farklı rıhtımlarda gemi omurgaları arasında mesafe 201
Şekil 2.17 İskelenin her iki tarafına bağlı tanker hali 201
Şekil 2.18 Herbir gemi için şamandıralara bağlanma alanı için temel tasarım 203
Şekil 2.19 Çoklu bağlama 203
Şekil 2.20 T tipi iskelede bağlanma 203
Şekil 2.21 Yükleme platformuna bağlanan tankerin bağlanma düzeni 204
Şekil 2.22 İskele platforma bağlı kuru yük elleçlemesi (yükleme) 205
Şekil 2.23 Lineer bir rıhtımda kuru yük elleçlemesi (boşaltma) 206
Şekil 3.1 Küçük tekneler için yanaşma boyutları 208
Şekil 3.2 Paralel yanaşmada rıhtım uzunluğu 209
Şekil 3.3 Dik yanaşmada rıhtım uzunluğu 209
Şekil 3.4 Parmak iskeleli rıhtım uzunluğu 209
Şekil 4.1 Teknelerin genişlik ve su çekimi ilişkisi 217
Şekil 4.2 Teknelerin uzunluk ve su çekimi ilişkisi 218
Şekil 4.3 Bir yat limanına ait ulaşım kanalı 218
Şekil 4.4 Tipik yat limanı yerleşim planı 219
Şekil 4.5 Tipik yat limanı yerleşim planı 220
Şekil 4.6 Parmak iskeleler arası seyir yolu genişliği (a) Sakin dönemde seyir yolu genişliği, (b) Rüzgar ve akıntı altında seyir yolu genişliği, (c) Halat veya motor desteği ile minimum seyir yolu genişliği, (d) Manevra yapılmadan seyir yolu genişliği 221

Şekil 4.7 Mega yat bağlanması için minimum seyiryolu genişliği (a) Şaşırtmalı iskeler için minimum seyir yolu genişliği=$10B_{parmak}$, (b) Aynı hizada bulunan iskeleler için minimum seyir yolu genişliği=$9B_{parmak}$ 222
Şekil 4.8 Basen tipi iskele yerleşiminde seyir yolu genişliği 223
Şekil 4.9 Tekne bağlanma düzeni ve boyutlar, bkz. Tablo 4.3 223
Şekil 4.10 Liman içinde iyi bir sakinlik sağlanması için müsaade edilen dalga Yükseklikleri 224
Şekil 4.11 Süper yat boyutları 229
Şekil 4.12 Süper yat yolcu indi-bindi rampaları 230
Şekil 4.13 Süper yatların (motor yat) tekne boyuna karşı izdüşüm alanı 231
Şekil 4.14 Farklı manevra kabiliyetlerinde ulaşım kanalı 231
Şekil 4.15 İki yönlü trafik için minimum kanal boyutları 232
Şekil 4.16 Seyir yolu 233
Şekil 4.17 Tek ve çift yanaşma 233
Şekil 4.18 Bağlanma tipleri 234
Şekil 4.19 Akdeniz tipi bağlanma 234
Şekil 6.1 Liman kaplama tasarımı aşamaları 238
Şekil 7.1 Bir kızak için tipik kesit 243
Şekil 7.2 Precast beton blok ve çekek yeri önündeki dalgaların yüksekliği için istenen Kalınlık 245
Şekil 7.3 Baş papet 246
Şekil 7.4 Döndürme momenti 246
Şekil 7.5 Gemi asansörü 247

1. SU ALANLARININ TASARIMI

Liman alanının seçiminden sonra bu alana ait meteorolojik, geoteknik ve oşinografik bilgiler belirlenecektir. Limanlarda su alanında planlanması gereken bazı alanlar Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Bunlar; (1) Dış ulaşım kanalı (liman yaklaşım kanalı), (2) İç ulaşım kanalı, (3) Manevra dairesi, (4) Demirleme alanı, (5) Yanaşma alanı, (6) Özel amaçlı alan, (7) Dalgakıranlar'dır.



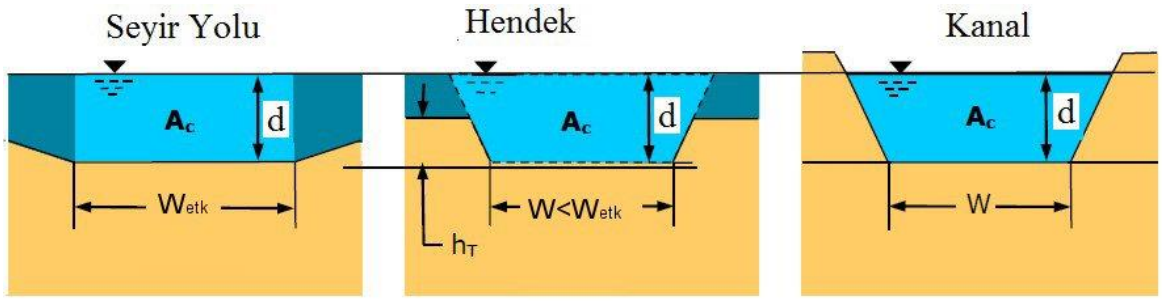
Şekil 1.1 Su alanının planlanacak elemanları

Planlama ve tasarım kriterleri genellikle limana gelmesi beklenen tasarım gemisinin büyüklüğüne ve tipine dayanmaktadır. Burada tasarım gemisi limana gelecek en büyük gemidir. Örneğin geminin dalga, akıntı ve rüzgar etkisinde manevra kabiliyeti, dalga etkisindeki düşey hareketleri, yanaşma yapısı önünde boyuna ve düşey doğrultulardaki hareketleri düşünülmelidir. Planlama aşamasında limanın doğal dengeye (fiziksel ve ekolojik) etkisinin araştırılması ve raporlanması gereklidir.

1.1 Ulaşım Kanalı

Ulaşım kanalı derin sudan liman içindeki manevra dairesine bağlantıyı sağlayan su yolu olarak tariflenmektedir. Ulaşım kanalının limanın korunaklı su alanının dışında kalan kısmı dış kanal, korunaklı su alanının iç tarafında kalan kısmı ise iç kanal olarak isimlendirilmektedir. Üç tasarım parametresi vardır. Bunlar; doğrultu, genişlik ve derinliktir. Ulaşım kanallarının tasarımında kavramsal yöntemlerin yanısıra sayısal ve/veya fiziksel model çalışmalarını esas alan yöntemler kullanılabilir. Detaylı tasarımlarda sayısal veya fiziksel model çalışmalarının yapılması uygundur.

Kanal derinliği maliyeti etkileyen en önemli faktörlerden biridir ve projenin uygulanabilirliğini de etkilemektedir. Burada geminin seyri sırasında kullandığı yolun **kanal** olarak adlandırılması için her iki tarafı kara ile sınırlandırılmış su yolu olması, **hendek** için şevleri batık (taranarak) derinleştirilmiş su yolu şeklinde olması ve **seyir yolu** için ise hiçbir sınırlamanın olmadığı su yolu olarak tanımlanması şeklindedir. Burada su yollarının tamamı **ulaşım kanalı** olarak isimlendirilecektir (Şekil 1.2). Pratikte, kanal ve seyir yolları arasında çok keskin bir geçiş yoktur. Su altında kalan şev yükseklikleri su derinliğinin %40'ından daha az veya seyir yolunun etkili genişliğinden (W_{etk}) daha büyük bir genişliğe sahip kanallar yanal olarak sınırlanmadığı kabül edilir (Yüksel ve Çevik, 2010).



Şekil 1.2 Ulaşım kanalları (PIANC, 2014)

Ulaşım kanallarında gemilerin seyir alanlarında aşağıdaki fiziksel koşulların araştırılması gereklidir;

- Rüzgar
- Dalga
- Gel-git ve su seviyesi değişimleri
- Batimetri
- Deniz tabanının geoteknik özellikleri
- Kumlanma
- Deniz suyu/tatlı su etkileri
- Görüş mesafesi
- Buzlanma

Bütün bu koşulların incelenmesinden sonra tasarım gemisi özellikleri ile birlikte bütüncül tasarım yapılması sağlanmalıdır. Kanal tasarımında kullanılan parametrelerin sağlanması için liman su alanını kullanacak birden fazla geminin özelliklerini dikkate almak daha doğru yaklaşımların yapılmasını sağlamaktadır. Tasarım gemisi kavramı limanı kullanacak en büyük gemi olarak tanımlanmaktadır. Ancak gemilerin manevra, yük durumları, trafik yoğunluğu, ulaşım kanalının plandaki durumu, gemilerin bekleme koşulları, su seviyesi değişimleri gibi diğer faktörler nedeniyle sahip oldukları özellikler dolayısıyla bu faktörlerden etkilenmeden güvenli seyir yapmaları istenir. Bu nedenle tasarım gemisi özelliklerinden belirgin farklılık gösteren diğer gemilerin de tasarımda dikkate alınması uygundur.

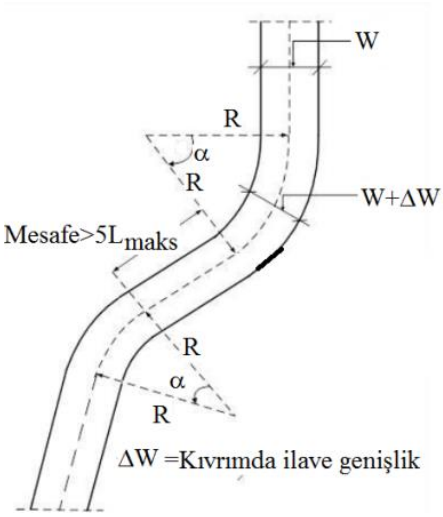
1.1.1 Doğrultu

Kanallarda eğriliğin olması durumunda gemilerin manevra kabiliyetleri, hızları, gemi su çekiminin su derinliğine oranı ve seyir desteği dikkate alınmalıdır. Aşağıda belirtilen prensipler ulaşım kanalının doğrultusunun belirlenmesinde uygulanmaktadır.

i. Dalga, rüzgar ve akıntı koşullarının dikkate alındığı mümkün olan en kısa uzunluk seçilmelidir. Kanalın doğrusal olması tercih edilmelidir.
ii. Gemiler enlemesine durumda minimum akıntı ve rüzgar etkisinde kalmalıdırlar.
iii. Hakim dalga doğrultusu ile ulaşım kanalı ekseni arasındaki açı 30^0'den küçük olmalıdır.
iv. Birbirini takip eden eğrilikler yapılmamalıdır. Liman girişinde eğrilikten kaçınılmalıdır.

Kanalda minimum eğrilik olmalı mümkünse liman girişinde eğrilikten kaçınılmalıdır. Römorkör yardımına ihtiyaç duyulmadığında, kanalın eğriliği tasarım gemisinin manevra kabiliyetine bağlıdır. Tasarım mühendisi ulaşım kanalında birbiri ardına kıvrım oluşturmamalıdır, gerekli ise kıvrımlar arası Şekil 1.3'te görüldüğü gibi doğrusal ulaşım kanalı ile geçilmelidir.

Ulaşım kanalının planlanması için daha detaylı kriterler için CERC (2003), OCDI (2009) ve PIANC (2014) kullanılmalıdır.



Şekil 1.3 Ulaşım kanalında eğriliklerin tasarlanması (PIANC, 2014)

Şekil 1.3'te görüldüğü gibi kanal kıvrımlarında kanal genişliği ΔW kadar genişletilir. Bu genişlik aşağıdaki basit ifade ile bulunabilir.

$$\Delta W = \frac{LOA^2}{aR} \quad (1.1)$$

Burada R ulaşım kanalının eğrilik yarıçapı, a gemi tipine bağlı katsayı, LOA ise geminin başı ile kıçına teğet çizilen iki düşey arasındaki yatay mesafedir. Katsayı normal gemiler için a=8 ve büyük gemiler (tanker, kuru yük gemileri gibi) için a=4.5 olarak tanımlanmıştır. Kanal kıvrımlarının detaylı tasarımında CERC (2003) kullanılabilir.

1.1.2 Kanal genişliği

Kanalın doğrusal kısmının genişliği için PIANC (2014) tarafından verilen bağıntı kullanılacaktır.

$$W = W_{BM} + \Sigma W_i + 2W_B \quad (1.2)$$

Burada; W_{BM} temel kanal genişliği, W_i ilave genişlik ve W_B ise şev açıklığını göstermektedir. İki geminin yan yana geçmesi durumunda iki hat arasına W_P ayırım genişliğinin ilave edilmesi de gerekmektedir.

$$W = 2(W_{BM} + \Sigma W_i + W_B) + W_P \quad (1.3)$$

Temel ulaşım kanalı genişliği tasarım gemisinin manevra kabiliyetine bağlı olarak belirlenir. Tanker, kuru yük gemilerinin manevra kabiliyetleri zayıftır. Konteyner, araba taşıyıcıları, Ro-Ro, LNG ve LPG gemileri orta manevra kabiliyetine sahiptir. Çift pervaneli gemiler, feribotlar ve kruvaziyer gemileri ise iyi manevra kabiliyetine sahiptir.

Kanal genişliğinin belirlenmesi için Tablo 1.1'deki değerler kullanılacaktır. Burada D yüklü geminin su çekimi, B tasarım gemisinin genişliği, d ise su derinliğidir. Kanal boyutlandırması yapıldıktan sonra emniyetli seyir amacıyla tüm çevresel koşulların da senaryo olarak dikkate alındığı gerçek zamanlı seyir simülatörleri yardımıyla yapılan planlama kontrol edilmelidir (PIANC, 2014).

OCDI (2009)'da ulaşım kanalı genişliği için iki farklı yöntem tanımlanmış bunlardan biri ampirik bağıntılara dayalı kavramsal tasarım diğeri ise performansa dayalı tasarım yöntemidir. Performansa dayalı tasarım gemi davranışını, çevresel koşulları dikkate alan daha esnek tasarım yapılmasını sağlamaktadır. Kanal genişliği için risk düzeyi, kanal tipini tanımlayan faktörlerin tanımlanması gerekmektedir.

Tablo 1.1 Doğrusal ulaşım kanalda kanal genişliği (PIANC, 2014)

Genişlik Bileşenleri	Koşullar	Gemi hızı	Dış Kanal Genişliği (m)		İç Kanal Genişliği (m)	
Temel genişlik (W_{BM})	İyi Orta Zayıf		1.3B 1.5B 1.8B			
İlave genişlik (W_i)						
Enine rüzgar	Hafif Şiddette $W_{rüzgar}$<15kts (<4 Beaufort)	Hızlı Orta Yavaş	0.1B 0.2B 0.3B			
	Orta Şidette 15 <$W_{rüzgar}$ <33 kts (4-7 Beaufort)	Hızlı Orta Yavaş	0.3B 0.4B 0.6B			
	Güçlü 30<$W_{rüzgar}$ <48 kts (7-9 Beaufort)	Hızlı Orta Yavaş	0.5B 0.7B 1.1B			
Enine akıntı	İhmal edilebilir $V_{akıntı}$<0.2 kts	Tümü	0.0		0.0	
	Düşük 0.2kts<$V_{akıntı}$<0.5kts	Hızlı Orta Yavaş	0.2B 0.25B 0.3B		0.1B 0.2B 0.3B	
	Orta 0.5kts< $V_{akıntı}$ <1.5kts	Hızlı Orta Yavaş	0.5B 0.7B 1.0B		0.4B 0.6B 0.8B	
	Büyük 1.5kts< $V_{akıntı}$ <2.0kts	Hızlı Orta Yavaş	1.0B 1.2B 1.6B		- - -	
Boyuna akıntı	Düşük $V_{akıntı}$ <1.5 kts	Tümü	0.0			
	Orta 1.5kts<$V_{akıntı}$ <3.0kts	Hızlı Orta Yavaş	0.0 0.1B 0.2B			
	Büyük $V_{akıntı}$ >3.0kts	Hızlı Orta Yavaş	0.1B 0.2B 0.4B			
Belirgin dalga yüksekliği	H_s<1.0m 1.0<H_s<3.0 m H_s>3.0 m	Tümü Tümü Tümü	0.0 0.5B 1.0B		0.0	
Navigasyon desteği	Mükemmel (VTS) İyi Orta		0.0 0.2B 0.4B			
Deniz tabanı özellikleri	d ≥ 1.5D d<1.5D Düzgün ve Yumuşak Engebeli ve Sert		0.0 0.1B 0.2B			
Ulaşım kanalı su derinliği			d ≥ 1.5D 1.5D>d ≥ 1.25D d<1.25D	0.0 0.1B 0.2B	d ≥ 1.5D 1.5D>d ≥ 1.15D d<1.15D	0.0 0.2B 0.4B
Yük riski	Orta Yüksek		0.5B 1.0B			
Ayırım mesafesi (W_P)	V_s ≥ 12 kts 8kts ≤ V_s<12kts 5kts ≤ V_s<8kts	Hızlı Orta Yavaş	2.0B 1.6B 1.2B		1.8B 1.4B 1.0B	
Şev açıklığı (W_B)	Küçük eğimli şevler	Hızlı Orta Yavaş	0.2B 0.1B 0.0B		0.2B 0.1B 0.0B	

	Eğimli şev	Hızlı	0.7B	0.7B
		Orta	0.5B	0.5B
		Yavaş	0.3B	0.3B
	Dik, sert şev	Hızlı	1.3B	1.3B
		Orta	1.0B	1.0B
		Yavaş	0.5B	0.5B
Tekne Hızı (kts)	V_S>12 kts	Hızlı	0.1B	
	8 kts< V_S <12 kts	Orta	0.0	
	5 kts< V_S <8 kts	Yavaş	0.0	

1.1.3 Ulaşım Kanalı Derinliği

Kanal derinliği birçok faktöre bağlıdır (Şekil 1.4), bunlar;

1) Tasarım gemisinin su çekimi (tam yüklü en büyük su çekimli gemi), D

2) Squat (geminin hızlanması nedeniyle batması) ve trim (geminin manevra kabiliyetinin artırılması için baş ve kıç kısmına farklı yükleme sonucunda su çekiminin değişimi)dir.

Squat için literatürde bir çok ifade tanımlanmıştır. Bunlardan uygulamada kullanılması tavsiye edilenler CERC (2003), OCDI (2009), PIANC (2014) gibi yayınlarda bulunmaktadır. Squat'ın (S) hesaplanmasında aşağıda verilen bağıntı kullanılabilir.

$$S = C_S \frac{\nabla}{L_{BP}^2} \frac{Fr^2}{\sqrt{1-Fr^2}} \qquad (1.4)$$

burada; $F_r = V/\sqrt{gd}$, L_{BP} gemi boyu, d su derinliği, V geminin seyir hızı ve ∇ geminin deplasman hacmidir. Geminin deplasman hacmi $\nabla = C_B(L_{BP}).B.D$ ifadesi ile hesaplanabilir, bu ifadede C_B blok katsayısı (alacağı değerler gemi tipine göre değişmektedir, bkz Tablo 1.8), L_{BP} gemi boyu (burada gemi boyu geminin başının yazın tuzlu su hattı ile kesiştiği düşey ile geminin dümeni arasındaki yatay mesafenin metre cinsinden ölçüsüdür), B gemi genişliği, D su çekimidir. S_{maks} (maksimum squat), ulaşım kanalını kullanacak en büyük gemi için hesaplanır. Genellikle tankerler için Fr<0.6 ve konteyner gemileri için Fr<0.7 olacak biçimde kanallarda gemi seyirleri sınırlandırılmaktadır. C_S katsayısı C_B blok katsayısına bağlı olarak seyir yolları için aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$C_S = \begin{cases} 1.7 & C_B < 0.70 \\ 2.0 & 0.70 \le C_B < 0.80 \\ 2.4 & C_B \ge 0.80 \end{cases} \qquad (1.5)$$

PIANC (2014)'te farklı ampirik ifadeler tanımlanmıştır. Squat'ın belirlenmesi için yine aynı kaynakta sayısal yöntemlerin kullanılması da tavsiye edilmiştir. Kavramsal derinlik için derinliği belirleyen bileşenler PIANC (2014) tarafından Tablo 1.2'deki gibi verilmiştir.

3) Dalga yüksekliği H, dalga hareketi nedeniyle kanal derinliğine eklenecek derinliktir. Dalga genliği, dalga yüksekliğinin yarısı olarak alınır (a= H/2).

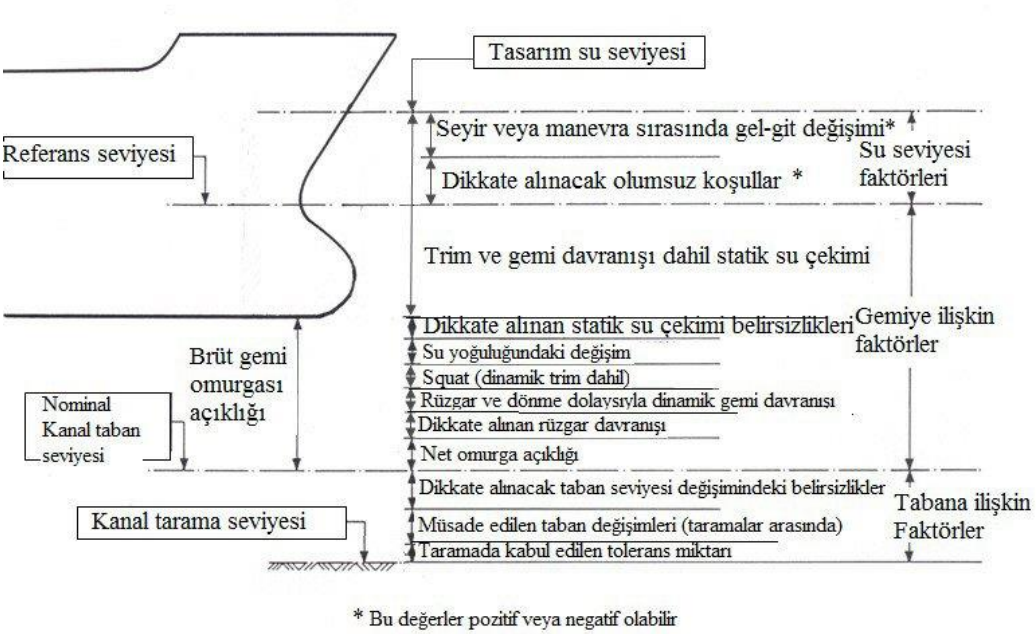
4) Su seviyesi gel-git seviyesiyle (T) de ilişkilidir. Deniz atlaslarında referans seviyesi (CD: Chart Datum), genellikle en büyük gel-git'te en düşük su seviyesidir. T; sakin su seviyesine (SSS) eklenecek gel-git yüksekliğidir.

5) Güvenlik açıklığı zemin türü ve tarama gözönüne alınarak bulunur. Tarama seviyesindeki değişimler ve taramadan sonra yeniden meydana gelen kumlanma etkileri dahil edilmelidir. CERC (2003) yumuşak tabanlı zeminler için 0.6 m, sert tabanlı zeminler için 0.9 m değerlerini tavsiye etmiştir. Taramada karşılaşılacak düzensizlikler için 0.3-0.9 m, bakımın azaltılması için ise yine 0.6-0.9 m ilave derinlikler önerilmektedir.

Görüldüğü gibi çok sayıda belirsizlik içeren bu faktör kanal derinliğinin belirlenmesinde ortaya çıkmaktadır ve bunları ayrı ayrı ele almak gerekmektedir. Bu amaçla kavramsal tasarımda aşağıdaki ifade kullanılarak ulaşım kanalı derinliği belirlenecektir.

$$d=D+T+S_{maks}+a+m \quad (1.6)$$

burada; d istenen su derinliği (tanımlanan bir referans seviyesine göre), D tasarım gemisinin su çekimi, T sakin su seviyesinin üzerindeki gel-git yüksekliği (bu derinliğin altında girişe izin verilmez), S_{maks} squat ve trim nedeniyle maksimum su çekmesi, a dalga nedeniyle düşey hareket (pratikte $H_s/2$ alınmaktadır), m güvenlik açıklığıdır.



Şekil 1.4 Ulaşım kanalı derinlik faktörleri (PIANC, 2014)

Tablo 1.2 Kanal derinliğinde etkili bileşenler ve hava payı (PIANC, 2014)

Tanım	Gemi Hızı	Dalga Koşulları	Kanal Tabanı	İç kanal	Dış Kanal
Gemi faktörleri Fs					
Derinlik, d	<10 kts	Yok		1.10 D	
	10-15 kts			1.12 D	
	>15 kts			1.15 D	
	Tümü	Düşük soluğan, (Hs < 1 m)			1.15 D ~ 1.2 D
		Orta soluğan, (1m<Hs<2m)			1.2 D ~ 1.3 D
		Kuvvetli soluğan, (Hs > 2 m)			1.3 D ~ 1.4 D
	Kanal taban tipi için ilaveler				
	Tümü	Tümü	Çamur	Yok	Yok
			Kum/kil	0.4 m	0.5 m
			Kaya	0.6 m	1.0 m
Hava payı (ADC)					
Hava payı	Tümü	Tümü		0.05 H_{st}	0.05 H_{st} + 0.4 D

1. Gemi faktörleri; D>10m kabul edilir. Eğer D<10 m ise, D=10 m kullanılır.
2. Soluğan periyodu T_p=10 s'den büyük olan dalgalardır.
3. Dış kanal soluğan değerlerinde, küçük soluğan dalgaları için düşük değer kullanılır ve büyük soluğan periyotları için büyük değerler kullanılır.
4. Belirgin dalga yüksekliği (H_s) arzu edilen operasyon, tasarım gemisi, ulaşım derinliği, dalga periyodu ve göreceli dalga yönüne bağımlıdır.
5. H_{st} deniz yüzeyinden geminin tepesine olan mesafe (Şekil 1.5).
6. D için deniz suyu yoğunluğu dikkate alınır. Eğer tatlı su durumu söz konusu ise ilave düzeltmeler yapılır.

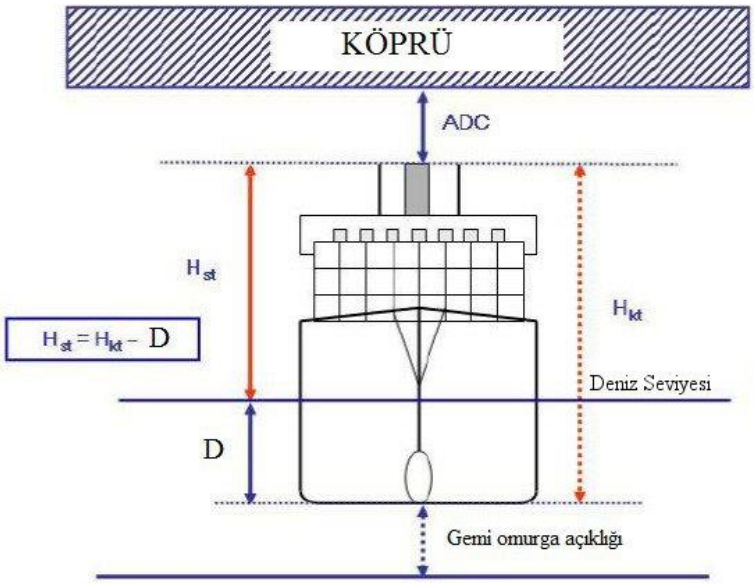
Ulaşım kanallarının üzerinde köprü gibi yapıların bulunması durumu için tasarım PIANC (2014)'te detaylı olarak verilmiştir. Bu duruma yönelik kavramsal tasarım için hava payı **Tablo 1.2**'de özetlenmiştir ve Şekil 1.5'de gösterilmiştir.

1.1.4 Diğer Tasarım Özellikleri

Ulaşım kanallarında dikkate alınabilecek diğer tasarım özellikleri aşağıdaki gibi olabilir.

- Manevra alanı
- Demirleme alanı
- Liman ağzı
- Liman ağzı genişliği gemi trafiğine, akıntı, dalga, gemi büyüklüğüne, su derinliğine bağlı olarak değişmektedir. Minimum genişlik dış ulaşım kanalının genişliği kadar olmalıdır. PIANC (2014)'te liman ağzı minimum genişliğinin tasarım gemisi boyu (LOA) kadar olması önerilmiştir.
- Liman içi ulaşım kanalının genişliği

Bu bölgedeki kanalda akıntı ve dalga için yapılan ilave genişliklerin dikkate alınmayacağı aşikardır. Enlemesine akıntı etkisindeki gemilerin limana girmesi durumunda dalgakıranın arkasında ilave bir büyütmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Dıştaki kanal içeride daraltılmadan önce tasarım gemisinin 50,000 DWT'nin üzerinde olması durumunda geminin durma mesafesi için $1.5–2L_{ort}$ kadar uzatılır, burada L_{ort} ortalama gemi boyudur.



Şekil 1.5 Ulaşım kanallarında hava payı (PIANC, 2014)

1.2 Liman İçi Manevra Alanları

Liman içi su alanında gemilerin emniyetle manevra yapması sağlanmalıdır. Manevra alanının en önemli bileşeni, Şekil 1.1'de görülen manevra dairesidir ve gemilerin istenen durma mesafesi sınırlıdır. Liman sınırları içerisinde gerekli yavaşlama ve durma mesafesi; örneğin göreceli olarak korunmuş su alanları (hiç ya da çok az akıntı olması) gibi aşağıdaki faktörlerle belirlenmektedir;

a) Geminin giriş hızı
b) Römorkörlerin bağlanma zamanı ve bunların manevra pozisyonları
c) Durma mesafesi

İç ulaşım kanalı manevra dairesi ile sonlanır, buradan gemiler küçük ya da büyük olsunlar römorkörlerle elleçlenecekleri basenlere çekilirler. **Manevra dairesinin çapı en büyük geminin boyunun (LOA) iki katından büyük olmalıdır. Römorkör hizmetinin olmadığı küçük limanlarda bu 3LOA'dan büyük olur**. Akıntının olduğu örneğin nehir limanlarında geminin sürüklenmesine karşın bu büyütülmelidir.

PIANC (2014) liman su alanında iskele ve rıhtımlardaki operasyon koşullarını özetleyen maksimum çevresel sınır değerlerini Tablo 1.3'teki gibi vermiştir. Burada $V_{W,1min}$ 1 dakikalık ortalama deniz seviyesinden 10 m yukarıda ölçülen rüzgar hızı, $V_{F,1min}$ 1 dakika ortalama, gemi su çekiminin ortasındaki derinlikte belirlenen akıntı hızı ve H_s belirgin dalga yüksekliğidir. Demirleme alanlarında ve şamandıra sistemleri için operasyona yönelik sınır değerler Ekler Bölümünde E6'da verilmiştir.

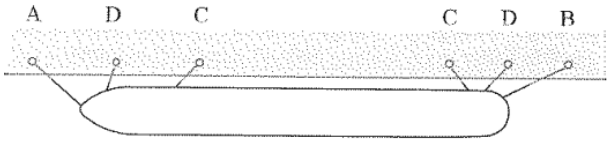
Tablo 1.3 İskele ve rıhtımlarda çevresel operasyon koşullarının sınır değerleri (PIANC, 2014)

Tanım	$V_{W,1min}$	$V_{F,1min}$	H_s
1. Geminin bağlanması			
• Rıhtım boyunca etkili kuvvet	17.0 m/s	1.0 m/s	2.0 m
• Rıhtıma dik kuvvet	10.0 m/s	0.1 m/s	1.5 m
2. Elleçleme operasyonunun durması (geleneksel ekipman)			
• Rıhtım boyunca etkili kuvvet			
- Petrol tankeri			
<30,000 DWT	22 m/s	1.5 m/s	1.5 m
30,000 DWT-200,000 DWT	22 m/s	1.5 m/s	2.0 m
>200,000 DWT	22 m/s	1.5 m/s	2.5 m
- Dökme yük			
Yükleme	22 m/s	1.5 m/s	1.5 m
Boşaltma	22 m/s	1.5 m/s	1.0 m
-Sıvı yük taşıyıcı			
<60,000 m^3	22 m/s	1.5 m/s	1.2 m
>60,000 m^3	22 m/s	1.5 m/s	1.5 m
-Genel kargo gemisi, derin deniz balıkçı teknesi ve soğutmalı tekne	22 m/s	1.5 m/s	1.0 m
-Konteyner gemisi, Ro-Ro ve feribot	22 m/s	1.5 m/s	0.5 m
-Hatlı gemi ve kruvaziyer[1]	22 m/s	1.5 m/s	0.5 m
-Balıkçı teknesi	22 m/s	1.5 m/s	0.5 m
• Rıhtıma dik etkili kuvvet			
- Petrol tankeri			
<30,000 DWT	20 m/s	0.7 m/s	1.0 m
30,000 DWT-200,000 DWT	20 m/s	0.7 m/s	1.2 m
>200,000 DWT	20 m/s	0.7 m/s	1.5 m
- Dökme yük			
Yükleme	22 m/s	0.7 m/s	1.0 m
Boşaltma	22 m/s	0.7 m/s	0.8 m
-Sıvı yük taşıyıcı			
<60,000 m^3	16 m/s	0.5 m/s	0.8 m
>60,000 m^3	16 m/s	0.5 m/s	1.0 m
-Genel kargo gemisi, derin deniz balıkçı teknesi ve soğutmalı tekne	22 m/s	0.7 m/s	0.8 m
-Konteyner gemisi, Ro-Ro ve feribot	22 m/s	0.5 m/s	0.3 m
-Hatlı gemi ve kruvaziyer[1]	22 m/s	0.7 m/s	0.3 m
-Balıkçı teknesi	22 m/s	0.7 m/s	0.4 m
3. Yanaşma yerine bağlı gemi			
• Petrol tankeri ve sıvı yük taşıyıcı			
-Rıhtıma paralel etkili kuvvet	30 m/s	2.0 m/s	3.0 m
-Rıhtıma dik etkili kuvvet	25 m/s	1.0 m/s	2.0 m
• Hatlı gemi ve kruvaziyer[2]			
-Rıhtıma paralel etkili kuvvet	22 m/s	1.5 m/s	1.0 m
-Rıhtıma dik etkili kuvvet	22 m/s	0.7 m/s	0.7 m
• Seyir teknesi[2]	22 m/s	1.5 m/s	0.4 m
-Rıhtıma paralel etkili kuvvet	22 m/s	1.5 m/S	0.4 m
-Rıhtıma dik etkili kuvvet	22 m/s	0.7 m/s	0.2 m
• Diğer gemiler	Sınırlama	yükleme koşullarına	bağlıdır.

1. Koşullar yolcuların binme veya inmesine göre değişir
2. Koşullar güvertedeki yolcunun konforuna bağlıdır
3. Doğrultuları geminin boyuna eksenine göre $\pm$ 45°'lik sektör içinde olan rüzgar, akıntı veya dalga boylamasına etkili olduğu kabul edilir.
4. Doğrultuları geminin eksenine dik $\pm$ 45°'lik sektör içinde olan rüzgar, akıntı veya dalga dik olarak etkili olduğu kabul edilir.

1.3 Liman İçi Yanaşma Yerleri Boyutları

Liman basenleri gemilerin yanaşmaları ve ayrılmalarını emniyetle yapabilecekleri kadar yeterli genişliğe sahip olmalıdır. Yanaşma yerlerinde gerekli su derinliği tasarım gemisinin tipine bağlı olarak sağlanmalıdır. Yanaşma yerinin doğrultusunun belirlenmesinde dalga, rüzgar ve akıntı (açık deniz veya akarsu) şartları rol oynamaktadır. Başlıca gemi tip ve boyutlarına göre yanaşma yeri temel boyutları ön tasarım için Tablo 1.4'te verilmiştir. Bu tablo gemi boyutları hakkında yeterince bilgi bulunmadığı durumlarda kullanılmalıdır. Tasarım gemisi boyutları bilindiğinde yanaşma düzeni, gemi tipi ve elleçleme durumu dikkate alınarak yanaşma yeri uzunluğu hesaplanarak planlanmalıdır. Bu amaçla Bölüm 1.6 ve Bölüm 2'de verilen tasarım bilgileri kullanılmalıdır. Doğrusal (marjinal) bir yanaşma yerinde gemi bağlaması Şekil 1.6'da şematik olarak gösterilmiştir.



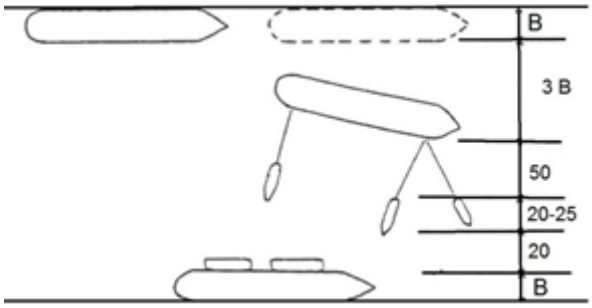
A: Baş halatı
B: Kıç halatı
C: Koltuk halatı (spring lines)
D: Açmaz halatı (breast lines)

Şekil 1.6 Bağlama düzeni (OCDI, 2009)

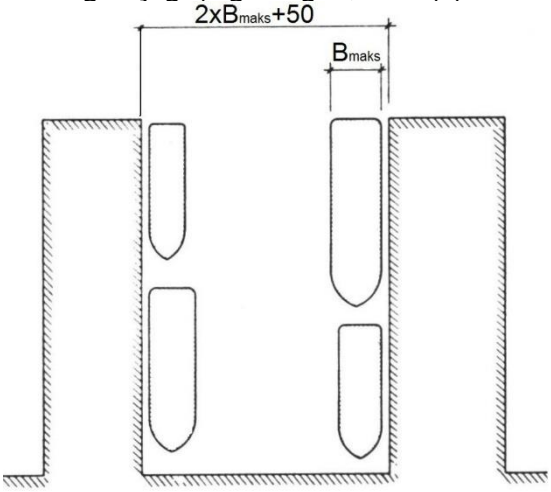
Liman yapılarında bağlanma koşulları için kavramsal tasarım koşullarına ait bazı öneriler aşağıda verilmiştir. Bu boyutlar daha detaylı tasarımda performansa dayalı tasarım ve gerçek zamanlı simülatörler yardımıyla test edilmelidir.

- Liman basenleri gemilerin yanaşma ve ayrılmalarını emniyetle yapabilecekleri yeterli genişliğe sahip olmalıdır. Bu genel kargo ve konteyner gemileri için **5B + 100** (metre) kadardır (Şekil 1.7).
- 1000 m veya daha fazla uzunluğa sahip, uzun basenlerde gemiler basen içinde manevra yapabilirler. Bunun için gerekli genişlik yaklaşık olarak **L+B+50** (metre) veya **8B+50** (metre)'dir.
- Büyük tankerler veya dökme yük gemileri için ve her iki tarafı da kullanılan basenlerde de arzu edilen genişlik **(4-6)B+100** (metre)'dir. Uygun rüzgar koşullarında daha düşük değerler, sık ve kuvvetli enine rüzgâr durumunda daha büyük değerler uygulanmaktadır.
- Yanaşma yerinin doğrultusunun belirlenmesinde dalga, rüzgâr ve akıntı (açık deniz veya nehir) şartları rol oynamaktadır. İdeal olarak emniyetli yanaşma için, yanaşma yeri ile hakim rüzgar doğrultusunun yaptığı açı 30° içinde kalmalıdır. Rıhtım boyunca akıntı, 3 kts ile sınırlanmalıdır ve buna dik yanaşma yapısında akıntı hızı 0.75 kts'dan büyük olmamalıdır.
- Thoresen (2003) bir yanaşma yapısına ard arda yanaşan iki gemiden birinin kıçı ile arkasında bağlı geminin başı arasında **en büyük geminin uzunluğunun 0.10 katı** kadar mesafenin bırakılması gerektiğini önermiştir. Eğer rüzgâr ve gel-git etkileri varsa 0.20 katı alınmalıdır.
- Parmak iskelelere yanaşmanın römorkör yardımıyla yapılması durumu için Thoresen (2003) Şekil 1.8 ve 1.9'daki boyutları vermiştir. Burada dikkate alınan, en büyük geminin genişliğidir. **Ancak birbirine komşu iskeler arası genişlik en az 100 m alınmalıdır.** ASCE (2004)'e göre römorkör desteği yoksa Şekil 1.8 için iki iskele arası temiz açıklık **$7B_{maks}$**, Şekil 1.9 için **$6B_{maks}$** ve yine bu şekilde yanyana bağlanmış gemiler için **$9B_{maks}$** dikkate alınmalıdır.
- Yanaşma yerlerinde gerekli su derinliği sağlanmalıdır. Bu amaçla tek bir yanaşma yeri dikkate alındığında römorkör desteği alınacağı düşünüldüğünde, tarama uzunluğu en büyük geminin 1.25 katı kadar olmalıdır. Römorkör desteği alınmadığında ise bu uzunluk 1.5 katı kadar olmalıdır.

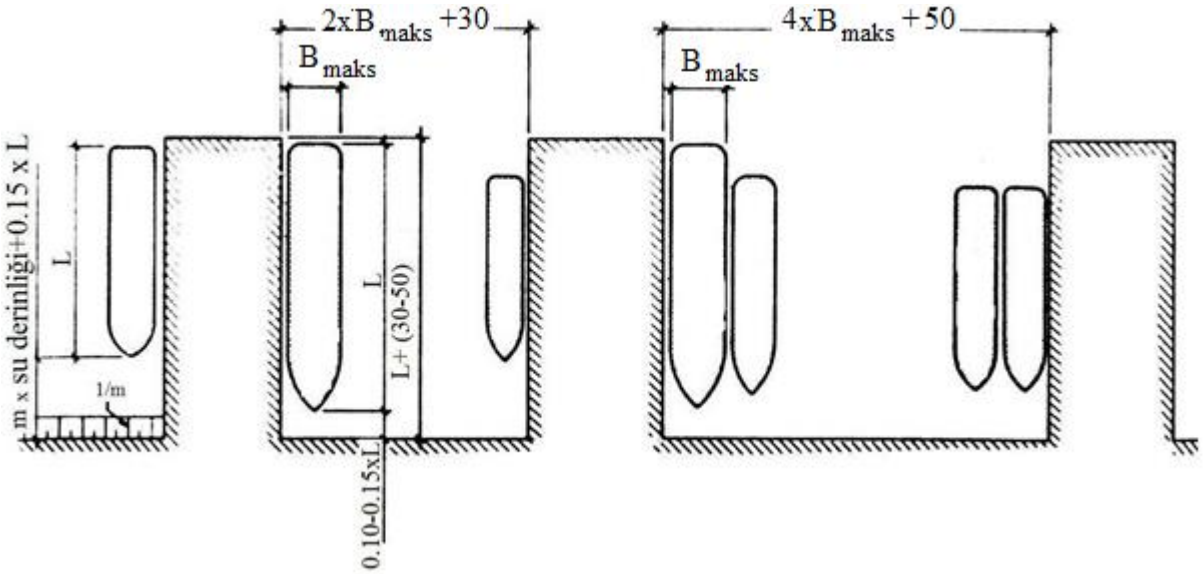
- Sadece rıhtım önünde değil, rıhtıma hemen komşu olan kıyı çizgisinden de denize doğru en az 10 m ya da en az gemi genişliği kadar taranmalıdır. Rıhtım önündeki tarama uzunluğu en az römorkör desteği olması durmunda en büyük gemi uzunluğunun 1.25 katı, römorkör desteği yoksa 1.5 katı kadar olmalıdır (bkz. Ekler Bölümü Şekil E4).
- Tasarım gemisinin tanımlanmadığı durumlarda, Tablo 1.5'te yanaşma yeri üst kotlarında ön tahmin için tipik değerler verilmiştir. Bu tabloda aylık en yüksek su seviyesi dikkate alınmıştır.



Şekil 1.7 Basen genişliği (Ligteringen, 2000) (birimler metredir)



Şekil 1.8 Uzun parmak iskelede minimum römorkör destekli yanaşma yeri düzeni (Thoresen, 2003) (birimler metredir)



Şekil 1.9 Kısa parmak iskelede minimum römorkör destekli yanaşma yeri düzeni (Thoresen, 2003) (birimler metredir)

Tablo 1.4 Başlıca gemi boyutlarına göre yanaşma yeri boyutları (OCDI, 2009)

1. Yük Gemileri

Gemi Tonajı, DWT (t)	Yanaşma Yeri Uzunluğu (m)	Yanaşma Yeri Derinliği (m)
1,000	80	4.5
2,000	100	5.5
3,000	110	6.5
5,000	130	7.5
10,000	160	9.0
12,000	170	10.0
18,000	190	11.0
30,000	240	12.0
40,000	260	13.0
55,000	280	14.0
70,000	300	15.0
90,000	320	16.0
100,000	330	17.0
150,000	370	19.0

2. Konteyner Gemileri

Gemi Tonajı, DWT (t)	Yanaşma Yeri Uzunluğu (m)	Yanaşma Yeri Derinliği (m)	Konteyner Kapasitesi (TEU)
10,000	170	9.0	500-890
20,000	220	11.0	1,300-1,600
30,000	250	12.0	2,000-2,400
40,000	300	13.0	2,800-3,200
50,000	330	14.0	3,500-3,900
60,000	350	15.0	4,300-4,700
100,000	400	16.0	7,300-7,700

3. Yolcu Gemileri

Gros Ton, GT (t)	Yanaşma Yeri Uzunluğu (m)	Yanaşma Yeri Derinliği (m)
3,000	130	5.0
5,000	150	5.5
10,000	180	7.5
20,000	220	9.0
30,000	260	9.0
50,000	310	9.0
70,000	340	9.0
100,000	370	9.0

4. Tankerler

Gemi Tonajı, DWT (t)	Yanaşma Yeri Uzunluğu (m)	Yanaşma Yeri Derinliği (m)
1,000	80	4.5
2,000	100	5.5
3,000	110	6.5
5,000	130	7.5
10,000	170	9.0
15,000	190	10.0
20,000	210	11.0
30,000	230	12.0
50,000	270	14.0
70,000	300	16.0
90,000	300	17.0

5. Roll-on Roll-off (Ro Ro)

Gros Ton, GT (t)	Yanaşma Yeri Uzunluğu (m)	Yanaşma Yeri Derinliği (m)
3,000	150	7.0
5,000	180	7.5
10,000	220	9.0
20,000	240	10.0
40,000	250	12.0
60,000	270	12.0

6. Araba Taşıyıcı (PCC)

Gros Ton, GT (t)	Yanaşma Yeri Uzunluğu (m)	Yanaşma Yeri Derinliği, (m)
3,000	150	6.5
5,000	170	7.0
12,000	180	7.5
20,000	200	9.0
30,000	230	10.0
40,000	240	11.0
60,000	260	12.0

7. Feribot

Gros Ton, GT (t)	Baştan ya da kıçtan kapak atarak yanaşma durumu		
	Yanaşma Yeri Uzunluğu (m)	Baştan ya da kıçtan kapak atarak yanaştığı rıhtım duvarının genişliği (m)	Yanaşma Yeri Derinliği (m)
400	60	20	3.5
700	80	20	4.0
1,000	90	25	4.5
3,000	140	25	5.5
7,000	160	30	7.0
10,000	190	30	7.5
13,000	220	35	8.0

8. Uzun Mesafe Feribotları (Seyir mesafeleri 300 km ve daha fazla olanlar)

Gros Ton, GT (t)	Baştan ya da kıçtan kapak atarak yanaşmama durumu	Baştan ya da kıçtan kapak atarak yanaşma durumu		Yanaşma yeri su derinliği (m)
	Yanaşma yeri uzunluğu (m)	Yanaşma yeri uzunluğu (m)	Baştan ya da kıçtan kapak atarak yanaştığı rıhtım duvarının genişliği (m)	
6,000	190	170	30	7.5
10,000	220	200	30	7.5
15,000	250	230	40	8.0
20,000	250	230	40	8.0

9. Küçük Yük Gemileri

Gemi Tonajı, DWT (t)	Yanaşma Yeri Uzunluğu (m)	Yanaşma Yeri Derinliği (m)
500	60	4.0
700	70	4.0

Tablo 1.5 Yanaşma yerinde standart üst kotlar (OCDI, 2009)

	Gel-git'in 3.0 m ve daha fazla olması durumunda	Gel-git'in 3.0 m'den az olması durumunda
Büyük gemiler için (Su derinliği 4.5 m veya daha fazla)	+0.5-1.5m	+1.0-2.0m
Küçük gemiler için (Su derinliği 4.5 m'den daha az)	+0.3-1.0m	+0.5-1.5m

1.4 Gemiler

Limanlarla ilgili deniz yapılarının planlama ve tasarımında, tasarım gemisinin doğru tanımlanması son derece kritik bir noktadır. Gemi boyutları aşağıda verilen

1. Tonaj
2. Taşıma kapasitesi
3. Ağırlık
4. Hacim
5. Karakteristik boyutlar (gemi boyu, genişliği, su çekimi)

ile tanımlanmaktadır (Yüksel ve Çevik, 2010).

Bir geminin tonajı taşıyabileceği kargonun miktarı cinsinden taşıma kapasitesinin bir göstergesidir. Fakat geminin tipine, yapıldığı ülkeye veya hangi tonajda kullanılma amacına (örneğin, liman tarifelerine) bağlıdır. Bunlardan en önemli olanları;

Gros Tonilato, GRT – (Gross Register Tonnage); Geminin bütün kapalı kısımlarının feet küp olarak hacminin 100'e bölünmesiyle elde edilen hacim ölçüsüdür (Güverte üstü ve altı).

Net Tonilato, NRT – (Net Registered Tonnage); GRT – Makine dairesi, personel koğuşları (yaşam mahalleri), vinç kabinleri yani ticari mal taşımaya elverişli olmayan kısımlar dışındaki hacmi. Yani gros tonilatodan kazanç getirmeyen yerler çıkarılınca net tonilato bulunur.

Dedveyt Ton, DWT – (Dead Weight Tonnage); Geminin brüt yük taşıma kapasitesidir. Geminin yük çizgisine kadar tamamen yüklü olduğu haldeki deplasman ağırlığıdır. Dolayısıyla bu ağırlığa yakıt, yük, su, yiyecek mürettebat yerleri vs. gemideki diğer ağırlıklar dahildir.

D/T – (Displacement Tonnage) Deplasman (Maimahreç) Tonilatosu; Geminin gerçek ağırlığı veya yüzerken taşırdığı suyun hacmidir. D/T gemi boş veya yüklü olmak üzere iki türlü söylenebilir. Boş deplasman tonu denilince tekneyi, donanımını, ana ve yardımcı makinelerini, kazanlarını, içindeki suyunu, yakıtını ve içinde bulunan safrası ile birlikte geminin tüm ağırlığını ifade eder. Dolu ya da yüklü denilince yukarıda anlatılan boş deplasmanına ilaveten gemiye yüklenen yükün ağırlığını da içine alır.

Bu parametreler arasındaki ilişkiler sabit değildir ve gemi tipine göre değişmektedir. Bunların arasındaki ilişkiler Tablo 1.6'da gösterilmiştir. Gemilerin yanaşma yerlerinde babalara bağlandıklarında çekme kuvvetlerinin tahmin edilmesi için OCDI (2009) tarafından Tablo 1.7'deki değerler verilmiştir.

Düşey boyutlar

Su Çekimi (Draft, D): Su çekimi bir geminin omurgası ile su seviyesi arasındaki maksimum düşey mesafedir. Su çekimi geminin seyir halinde bulunduğu suyun yoğunluğu ile ilgilidir. Detaylı tanımlar için Yüksel ve Çevik (2010)'a bakılabilir. Gemilerle ilgili daha detaylı veriler IMO International Maritime Organisation (1969), ITTC International Towing Tank Commission (2011)'den bulunabilir.

Gemiler farklı sularda farklı miktarlarda batmaktadırlar. Bunun ölçüsü maksimum su çekimi çizgisi Plimsoll Markası (işaretleri) denilen işarettir. Plimsoll Markası bir daire ile her iki tarafından harf olan yatay çizgiden oluşur. Bu çizgilerin anlamları aşağıda verilmiştir. Genellikle bu işaretler su çekimini feet ile göstermektedir (1 feet = 0.3048 m).

TF : Tropikal tatlı su (tropical fresh water)
F : Tatlı su (fresh water)
T : Tropikal tuzlu su (tropical salt water)
S : Yaz tuzlu su (summer salt water)
W : Kış tuzlu su (winter salt water)
WNA : Kış Kuzey Atlantik tuzlu su (winter salt water on the North Atlantic)
LTF : Tropikal tatlı su kereste yükleme hattı
LF : Yazın tatlı su kereste yükleme hattı
LT : Tropikal kereste yükleme hattı
LS : Yazın kereste yükleme hattı
LW : Kış kereste yükleme hattı

Trim: Geminin baş ve kıçının farklı batıklıkları geminin trimini vermektedir.

1. Trim = D_1-D_2 (D_1, D_2 geminin baş ve kıçına ait su çekimleri)
2. Trim = 0.3D LOA<100 m
   0.3 m LOA >100 m
3. D_{maks}=D+1/2trim Maksimum su çekimi
4. $D_{boş}$=D-(DWT/LOA.B).k Boş geminin ortalama su çekimi
   burada; k=1.4 (genel kargo), 1.2 (tanker), 1.25 (dökme).

Tablo 1.6 Gemi ölçüm oranları

Gemi tipi	Bağıntı	
Genel kargo gemisi	GT=0.529.DWT	DT=1.139.DWT
Konteyner gemisi	GT=0.882.DWT	DT=1.344.DWT
Tanker	GT=0.535.DWT	DT=1.138.DWT
Ro-Ro	GT=1.780.DWT	DT=0.880.GT
Araba taşıyıcı	GT=2.721.DWT	DT=0.652.GT
LPG	GT=0.845.DWT	DT=1.114.GT
LNG	GT=1.370.DWT	DT=1.015.GT
Yolcu gemisi	GT=8.939.DWT	DT=0.552.GT
Orta mesafede seyir eden feribot	GT=2.146.DWT	DT=1.052.GT
Uzun mesafe seyir eden feribot	GT=2.352.DWT	DT=1.150.GT

Tablo 1.7 Gemi çekme kuvvetleri için standart değerler (OCDI, 2009)

Gemi GT (t)	Palamar babasında çekme kuvveti (kN)	Baba çekme kuvveti (kN)
200<GT<500	150	150
500<GT<1,000	250	250
1,000<GT<2,000	350	250
2,000<GT<3,000	350	350
3,000<GT<5,000	500	350
5,000<GT<10,000	700	500
10,000<GT<20,000	1000	700
20,000<GT<50,000	1500	1000
50,000<GT<100,000	2000	1000
Burada palamar babası her yanaşma yerinin başına ve sonuna olmak üzere fırtına koşullarında geminin bağlanması için birer adet yerleştirilen ilave babadır.		

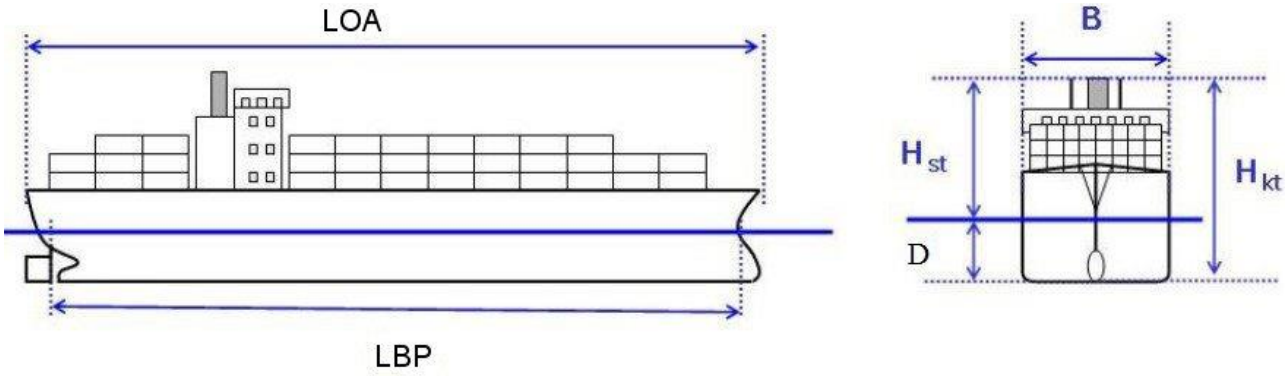
Yatay boyutlar

Geminin yatay boyutları uzunluk ve genişlik olarak verilebilir (Şekil 1.10). Bir geminin uzunluğu iki farklı şekilde ifade edilebilir;

LBP – (Length Between Perpendiculars): Geminin burnunun yazın tuzlu su hattı ile kesiştiği düşey ile geminin dümeni arasındaki yatay mesafenin metre cinsinden ölçüsüdür.

LOA – (Length Over All): Geminin başı ile kıçına teğet çizilen iki düşey arasındaki yatay mesafedir.

Genişlik (Beam veya Breadth), B : Geminin iki kenarı arasındaki maksimum genişlik.

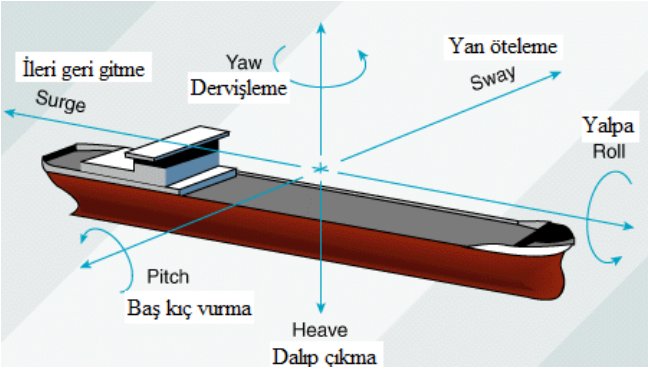


Şekil 1.10 Gemi boyutları

Tipik gemi boyutları tiplerine göre Tablo 1.8'de verilmiştir. Bu tablolarda Δm maksimum kütlesel yerdeğiştirmedir ($\Delta m = \rho.\nabla$), ∇; yerdeğiştiren hacim, ρ; deniz suyunun özgül kütlesi ve C_B; blok katsayısıdır.

Serbest yüzen bir geminin hareketinin serbestlik derecesinin altı modu vardır (Şekil 1.11). Düşey modlarda gemi doğal periyodu ile salınım yapar. Eğer bu periyot dalga gibi çevresel

etkenlerin periyoduna yakalanırsa gemi rezonansa geçer. Yalpa hareketi rezonans için oldukça hassas bir moddur ve dümen kabiliyeti de kaybolmaktadır. Gemilerin bu davranışlarına ait özelliklerinin bilinmesi limanların su alanlarının planlamasında gerekli olmaktadır.



Şekil 1.11 Bir geminin hareket modları (Yüksel ve Çevik, 2010)

Tablo 1.8 Gemi boyutları (PIANC, 2014)

DWT (t)	Δm (t)	LOA (m)	LBP (m)	B (m)	D (m)	C_B (-)	Min. Rüzgar Alanı, Tam Yüklü Durum (m^2)	Maks. Rüzgar Alanı, Balastlı Durum (m^2)	Yaklaşık Kapasite (m^3)
Tanker (ULCC)									
500,000	590,000	415.0	392.0	73.0	24.0	0.84	6,400	11,000	
400,000	475,000	380.0	358.0	68.0	23.0	0.83	5,700	9,700	
350,000	420,000	365.0	345.0	65.5	22.0	0.82	5,400	9,200	
Tanker (VLCC)									
300,000	365,000	350.0	330.0	63.0	21.0	0.82	5,100	8,600	
275,000	335,000	340.0	321.0	61.0	20.5	0.81	4,900	8,200	
250,000	305,000	330.0	312.0	59.0	19.9	0.81	4,600	7,700	
225,000	277,000	320.0	303.0	57.0	19.3	0.81	4,300	7,300	
200,000	246,000	310.0	294.0	55.0	18.5	0.80	4,000	6,800	
Tanker									
175,000	217,000	300.0	285.0	52.5	17.7	0.80	3,750	6,200	
150,000	186,000	285.0	270.0	49.5	16.9	0.80	3,400	5,700	
125,000	156,000	270.0	255.0	46.5	16.0	0.80	3,100	5,100	
100,000	125,000	250.0	236.0	43.0	15.1	0.80	2,750	4,500	
80,000	102,000	235.0	223.0	40.0	14.0	0.80	2,450	4,000	
70,000	90,000	225.0	213.0	38.0	13.5	0.80	2,250	3,700	
60,000	78,000	217.0	206.0	36.0	13.0	0.79	2,150	3,500	
Ürün ve Kimyasal Taşıyan Tanker									
50,000	66,000	210.0	200.0	32.2	12.6	0.79	1,900	3,000	
40,000	54,000	200.0	190.0	30.0	11.8	0.78	1,650	2,600	
30,000	42,000	188.0	178.0	28.0	10.8	0.76	1,400	2,200	
20,000	29,000	174.0	165.0	24.5	9.8	0.71	1,100	1,800	
10,000	15,000	145.0	137.0	19.0	7.8	0.72	760	1,200	
5,000	8,000	110.0	104.0	15.0	7.0	0.71	500	800	
3,000	4,900	90.0	85.0	13.0	6.0	0.72	400	600	
Not: Boyutlar ±%10 değişkenlik gösterebilir									

Tablo 1.8 Devamı

DWT (t)	Δm (t)	LOA (m)	LBP (m)	B (m)	D (m)	C_B (-)	Min. Rüzgar Alanı, Tam Yüklü Durum (m^2)	Maks. Rüzgar Alanı, Balastlı Durum (m^2)	Yaklaşık Kapasite (m^3)
Dökme Yük Taşıyıcı / OBO									
400,000	464,000	375.0	356.0	62.5	24.0	0.85	4,500	8,700	
350,000	406,000	362.0	344.0	59.0	23.0	0.85	4,400	8,500	
300,000	350,000	350.0	333.0	56.0	21.8	0.84	4,250	8,200	
250,000	292,000	335.0	318.0	52.5	20.5	0.83	4,000	7,700	
200,000	236,000	315.0	300.0	48.5	19.0	0.83	3,600	6,900	
150,000	179,000	290.0	276.0	44.0	17.5	0.82	3,250	5,900	
125,000	150,000	275.0	262.0	41.5	16.5	0.82	3,000	5,400	
100,000	121,000	255.0	242.0	39.0	15.3	0.82	2,700	4,800	
80,000	98,000	240.0	228.0	36.5	14.0	0.82	2,450	4,200	
60,000	74,000	220.0	210.0	33.5	12.8	0.80	2,050	3,500	
40,000	50,000	195.0	185.0	29.0	11.5	0.79	1,700	2,800	
20,000	26,000	160.0	152.0	23.5	9.3	0.76	1,400	2,300	
10,000	13,000	130.0	124.0	18.0	7.5	0.76	1,200	1,800	
LNG (Prizmatik)									
125,000	175,000	345.0	333.0	55.0	12.0	0.78	8,400	9,300	267,000
97,000	141,000	315.0	303.0	50.0	12.0	0.76	7,000	7,700	218,000
90,000	120,000	298.0	285.0	46.0	11.8	0.76	6,200	6,800	177,000
80,000	100,000	280.0	268.8	43.4	11.4	0.73	6,000	6,500	140,000
52,000	58,000	247.3	231.0	34.8	9.5	0.74	4,150	4,600	75,000
27,000	40,000	207.8	196.0	29.3	9.2	0.74	2,900	3,300	40,000
LNG (Spheres, Moss)									
75,000	117,000	288.0	274.0	49.0	11.5	0.74	8,300	8,800	145,000
58,000	99,000	274.0	262.0	42.0	11.3	0.78	7,550	8,000	125,000
51,000	71,000	249.0	237.0	40.0	10.6	0.69	5,650	6,000	90,000
LPG									
60,000	95,000	265.0	245.0	42.2	13.5	0.66	5,600	6,200	
50,000	80,000	248.0	238.0	39.0	12.9	0.65	5,250	5,800	
40,000	65,000	240.0	230.0	35.2	12.3	0.64	4,600	5,100	
30,000	49,000	226.0	216.0	32.4	11.2	0.61	4,150	4,600	
20,000	33,000	207.0	197.0	26.8	10.6	0.58	3,500	3,900	
10,000	17,000	160.0	152.0	21.1	9.3	0.56	2,150	2,500	
5,000	8,800	134.0	126.0	16.0	8.1	0.53	1,500	1,700	
3,000	5,500	116.0	110.0	13.3	7.0	0.52	1,050	1,200	
Not: Boyutlar ± %10 değişkenlik gösterebilir									

Tablo 1.8 Devamı

DWT (t)	Δm (t)	LOA (m)	LBP (m)	B (m)	D (m)	C_B (-)	Min. Rüzgar Alanı, Tam Yüklü Durum (m^2)	Maks. Rüzgar Alanı, Balastlı Durum (m^2)	Yaklaşık Kapasite TEU/CEU
Konteyner Gemisi (Post-Panamax)									TEU
245,000	340,000	470.0	446.0	60.0	18.0	0.69	11,000	12,500	22,000
200,000	260,000	400.0	385.0	59.0	16.5	0.68	10,700	12,000	18,000
195,000	250,000	418.0	395.0	56.4	16.0	0.68	10,100	11,300	14,500
165,000	215,000	398.0	376.0	56.4	15.0	0.66	9,500	10,500	12,200
125,000	174,000	370.0	351.0	45.8	15.0	0.70	8,700	9,500	10,000
120,000	158,000	352.0	335.0	45.6	14.8	0.68	8,000	8,700	9,000
110,000	145,000	340.0	323.0	43.2	14.5	0.70	7,200	7,800	8,000
100,000	140,000	326.0	310.0	42.8	14.5	0.71	6,900	7,500	7,500
90,000	126,000	313.0	298.0	42.8	14.5	0.66	6,500	7,000	7,000
80,000	112,000	300.0	284.0	40.3	14.5	0.66	6,100	6,500	6,500
70,000	100,000	280.0	266.0	41.8	13.8	0.64	5,800	6,100	6,000
65,000	92,000	274.0	260.0	41.2	13.5	0.62	5,500	5,800	5,600
60,000	84,000	268.0	255.0	39.8	13.2	0.61	5,400	5,700	5,200
55,000	76,500	261.0	248.0	38.3	12.8	0.61	5,200	5,500	4,800
Konteyner Gemisi (Panamax)									TEU
60,000	83,000	290.0	275.0	32.2	13.2	0.69	5,300	5,500	5,000
55,000	75,500	278.0	264.0	32.2	12.8	0.68	4,900	5,100	4,500
50,000	68,000	267.0	253.0	32.2	12.5	0.65	4,500	4,700	4,000
45,000	61,000	255.0	242.0	32.2	12.2	0.63	4,150	4,300	3,500
40,000	54,000	237.0	225.0	32.2	11.7	0.62	3,750	3,900	3,000
35,000	47,000	222.0	211.0	32.2	11.1	0.61	3,550	3,700	2,600
30,000	40,500	210.0	200.0	30.0	10.7	0.62	3,350	3,500	2,200
25,000	33,500	195.0	185.0	28.5	10.1	0.61	2,900	3,000	1,800
20,000	27,000	174.0	165.0	26.2	9.2	0.66	2,400	2,500	1,500
15,000	20,000	152.0	144.0	23.7	8.5	0.67	2,000	2,100	1,100
10,000	13,500	130.0	124.0	21.2	7.3	0.69	1,800	1,900	750
Ro-Ro									CEU
50,000	87,500	287.0	273.0	32.2	12.4	0.78	7,500	7,800	5,000
45,000	81,500	275.0	261.0	32.2	12.0	0.79	6,850	7,100	4,500
40,000	72,000	260.0	247.0	32.2	11.4	0.77	6,200	6,400	4,000
35,000	63,000	245.0	233.0	32.2	10.8	0.76	5,600	5,800	3,500
30,000	54,000	231.0	219.0	32.0	10.2	0.74	5,100	5,300	3,000
25,000	45,000	216.0	205.0	31.0	9.6	0.72	4,600	4,800	2,500
20,000	36,000	197.0	187.0	28.6	9.1	0.72	4,250	4,400	2,000
15,000	27,500	177.0	168.0	26.2	8.4	0.73	3,750	3,900	1,500
10,000	18,400	153.0	145.0	23.4	7.4	0.71	3,100	3,200	1,000
5,000	9,500	121.0	115.0	19.3	6.0	0.70	2,200	2,300	600
Yük Gemisi									
40,000	54,500	209.0	199.0	30.0	12.5	0.71	3,250	4,500	
35,000	48,000	199.0	189.0	28.9	12.0	0.71	3,000	4,100	
30,000	41,000	188.0	179.0	27.7	11.3	0.71	2,700	3,700	
25,000	34,500	178.0	169.0	26.4	10.7	0.71	2,360	3,200	
20,000	28,000	166.0	158.0	24.8	10.0	0.70	2,100	2,800	
15,000	21,500	152.0	145.0	22.6	9.2	0.70	1,770	2,400	
10,000	14,500	133.0	127.0	19.8	8.0	0.70	1,380	1,800	
5,000	7,500	105.0	100.0	15.8	6.4	0.72	900	1,200	
2,500	4,000	85.0	80.0	13.0	5.0	0.75	620	800	

Not: Boyutlar ± %10 değişkenlik gösterebilir

Tablo 1.8 Devamı

DWT (t)	Δm (t)	LOA (m)	LBP (m)	B (m)	D (m)	C_B (-)	Min. Rüzgar Alanı, Tam Yüklü Durum (m^2)	Maks. Rüzgar Alanı, Balastlı Durum (m^2)	Yaklaşık Kapasite CEU
Araba Taşıyıcı								CEU	
70,000	52,000	228.0	210.0	32.2	11.3	0.66	5,700	6,900	8,000
65,000	48,000	220.0	205.0	32.2	11.0	0.64	5,400	6,500	7,000
57,000	42,000	205.0	189.0	32.2	10.9	0.62	4,850	5,800	6,000
45,000	35,500	198.0	182.0	32.2	10.0	0.59	4,300	5,100	5,000
36,000	28,500	190.0	175.0	32.2	9.0	0.55	3,850	4,600	4,000
27,000	22,000	175.0	167.0	28.0	8.4	0.55	3,400	4,000	3,000
18,000	13,500	150.0	143.0	22.7	7.4	0.55	2,600	3,000	2,000
13,000	8,000	130.0	124.0	18.8	6.2	0.54	2,000	2,200	1,000
8,000	4,300	100.0	95.0	17.0	4.9	0.53	1,300	1,400	700
Feribot									
50,000	82,500	309.0	291.0	41.6	10.3	0.65	6,150	6,500	
40,000	66,800	281.0	264.0	39.0	9.8	0.65	5,200	5,500	
30,000	50,300	253.0	237.0	36.4	8.8	0.65	4,300	4,500	
20,000	33,800	219.0	204.0	32.8	7.8	0.63	3,300	3,500	
15,000	25,000	197.0	183.0	30.6	7.1	0.61	2,650	2,800	
12,500	21,000	187.0	174.0	28.7	6.7	0.61	2,450	2,600	
11,500	19,000	182.0	169.0	27.6	6.5	0.61	2,350	2,500	
10,200	17,000	175.0	163.0	26.5	6.3	0.61	2,200	2,300	
9,000	15,000	170.0	158.0	25.3	6.1	0.60	2,100	2,200	
8,000	13,000	164.0	152.0	24.1	5.9	0.59	1,900	2,000	
7,000	12,000	161.0	149.0	23.5	5.8	0.58	1,800	1,900	
6,500	10,500	155.0	144.0	22.7	5.6	0.56	1,700	1,800	
5,000	8,600	133.0	124.0	21.6	5.4	0.58	1,420	1,500	
3,000	5,300	110.0	102.0	19.0	4.7	0.57	950	1,000	
2,000	3,500	95.0	87.0	17.1	4.1	0.56	760	800	
1,000	1,800	74.0	68.0	14.6	3.3	0.54	570	600	
Hızlı Feribot (multihull)									
9,000	3,200	127.0	117.0	30.5	4.3	0.43	1,850	2,000	
6,000	2,100	107.0	93.0	26.5	3.7	0.43	1,550	1,650	
5,000	1,700	97.0	83.0	24.7	3.4	0.43	1,250	1,250	
4,000	1,400	92.0	79.0	24.0	3.2	0.42	1,120	1,200	
2,000	700	85.0	77.0	21.2	3.1	0.39	1,070	1,150	
1,000	350	65.0	62.0	16.7	2.1	0.37	820	900	
500	175	46.0	41.0	13.8	1.8	0.35	460	500	
250	95	42.0	37.0	11.6	1.6	0.35	420	450	
Not: Boyutlar ± %10 değişkenlik gösterebilir									

Tablo 1.8 Devamı

DWT (t)	Δm (t)	LOA (m)	LBP (m)	B (m)	D (m)	C_B (-)	Min. Rüzgar Alanı, Tam Yüklü Durum (m^2)	Maks. Rüzgar Alanı, Balastlı Durum (m^2)	Yaklaşık Kapasite Yolcu
Kruvaziyer (Post Panamax)									
220,000	115,000	360.0	333.0	55.0	9.2	0.67	15,700	16,000	5,400/7500
160,000	84,000	339.0	313.6	43.7	9.0	0.66	13,800	14,100	3,700/5,000
135,000	71,000	333.0	308.0	37.9	8.8	0.67	13,100	13,400	3,200/4,500
115,000	61,000	313.4	290.0	36.0	8.6	0.66	11,950	12,200	3,000/4,200
105,000	56,000	294.0	272.0	35.0	8.5	0.67	10,800	11,000	2,700/3,500
95,000	51,000	295.0	273.0	33.0	8.3	0.67	10,400	10,600	2,400/3,000
80,000	44,000	272.0	231.0	35.0	8.0	0.66	8,800	9,000	2000/2,800
Kruvaziyer (Panamax)									
90,000	48,000	294.0	272.0	32.2	8.0	0.67	10,400	10,600	2,000/2,800
80,000	43,000	280.0	248.7	32.2	7.9	0.66	9,100	9,300	1,800/2,500
70,000	38,000	265.0	225.0	32.2	7.8	0.66	8,500	8,700	1,700/2,400
60,000	34,000	252.0	214.0	32.2	7.6	0.63	7,250	7,400	1,600/2,200
60,000	34,000	251.2	232.4	28.8	7.6	0.65	7,850	8,0000	1,600/2,200
50,000	29,000	234.0	199.0	32.2	7.1	0.62	6,450	6,600	1,400/1,800
50,000	29,000	232.0	212.0	28.0	7.4	0.64	6,850	7,000	1,400/1,800
40,000	24,000	212.0	180.0	32.2	6.5	0.62	5,600	5,700	1,200/1,600
40,000	24,000	210.0	192.8	27.1	7.0	0.64	5,900	6,000	1,200/1,600
35,000	21,000	192.0	164.0	32.0	6.3	0.62	4,800	4,900	1,000/1,400
35,000	21,000	205.0	188.0	26.3	6.8	0.61	5,500	5,600	1,000/1,400
30,000	18,200	190.0	175.0	25.0	6.7	0.61	4,600	4,700	850/1,200
25,000	16,200	180.0	165.0	24.0	6.6	0.60	3,920	4,000	700/1,000
20,000	14,000	169.0	155.0	22.5	6.5	0.60	3,430	3,500	600/800
15,000	11,500	152.0	140.0	21.0	6.4	0.60	2,940	3,000	350/500
10,000	8,000	134.0	123.0	18.5	5.8	0.59	2,350	2,400	280/400
5,000	5,000	100.0	90.0	16.5	5.6	0.59	1,570	1,600	200/300
Açık Deniz Tipi Balıkçı Gemisi									
7,500	9,100	128.0	120.0	17.1	6.8	0.64	810	840	
5,000	6,200	106.0	100.0	16.1	6.2	0.61	650	670	
3,000	4,200	90.0	85.0	14.0	5.9	0.58	550	570	
2,500	3,500	85.0	81.0	13.0	5.6	0.58	500	520	
2,000	2,700	80.0	76.0	12.0	5.3	0.54	470	490	
1,500	2,200	76.0	72.0	11.3	5.1	0.52	430	450	
1,200	1,900	72.0	68.0	11.0	5.0	0.50	400	420	
1,000	1,600	70.0	66.0	10.5	4.8	0.47	380	400	
700	1,250	65.0	62.0	10.0	4.5	0.44	345	360	
500	800	55.0	53.0	8.6	4.0	0.43	290	300	
250	400	40.0	38.0	7.0	3.5	0.42	190	200	
150	300	32.0	28.0	7.5	3.4	0.41	135	140	

Not: Boyutlar ± %10 değişkenlik gösterebilir

Tablo 1.8 Devamı

DWT (t)	Δm (t)	LOA (m)	LBP (m)	B (m)	D (m)	C_B (-)	Min. Rüzgar Alanı, Tam Yüklü Durum (m^2)	Maks. Rüzgar Alanı, Balastlı Durum (m^2)	Yaklaşık Kapasite (m^2)
Kıyı Balıkçı Teknesi									
100	200	27.0	23.0	7.0	3.1	0.39			
75	165	25.0	22.0	6.6	2.8	0.40			
50	115	21.0	17.0	6.2	2.7	0.39			
25	65	15.0	12.0	5.5	2.6	0.37			
15	40	11.0	9.2	5.0	2.3	0.37			
Motorlu Yat									
-	9,500	160.0	135.0	21.8	5.5	-			
-	7,000	140.0	120.0	23.5	5.0	-			
-	4,500	120.0	102.0	18.5	4.9	-			
-	3,500	100.0	85.0	16.5	4.8	-			
-	1,600	70.0	60.0	13.5	3.8	-			
-	1,100	60.0	51.0	12.0	3.6	-			
-	700	50.0	43.0	9.0	3.5	-			
-	500	45.0	39.0	8.5	3.3	-			
-	250	40.0	24.0	8.0	3.0	-			
-	150	30.0	25.0	7.5	2.9	-			
-	50	20.0	17.0	5.5	2.7	-			
Motorlu Tekne									
	35.0	21.0	-	5.0	3.0	-			
-	27.0	18.0	-	4.4	2.7	-			
-	16.5	15.0	-	4.0	2.3	-			
-	6.5	12.0	-	3.4	1.8	-			
-	4.5	9.0	-	2.7	1.5	-			
-	1.3	6.0	-	2.1	1.0	-			
Gezi Yatı									
	1,500	90.0	67.5	13.5	6.5	-			
	1,000	70.0	51.5	11.5	6.0	-			
	650	60.0	42.0	11.2	5.5	-			
	550	50.0	37.5	9.5	5.0	-			
	190	40.0	35.0	9.3	4.5	-			
	125	30.0	28.0	7.2	3.6	-			
	40	20.0	17.5	5.5	3.0	--			
	13	15.0	11.2	4.5	2.5				
Gezi Teknesi									
	10	12.0	11.0	3.8	2.3	-			
	5	10.0	9.5	3.5	2.1	-			
	1.5	6.0	5.7	2.4	1.5	-			
	1.0	5.0	4.3	2.0	1.0	-			
	0.8	2.5	2.3	1.5	0.5	-			
Not: Boyutlar ±%10 değişkenlik gösterebilir									

1.5 Kapalı Limanlarda Dalga Nedenli Salınım

Dalgalar liman sınırları içinde yerel olarak üreyebilir veya liman içine dışarıdan girebilir. Dalga iletimi dikkate alındığında liman tasarımı iki şartı sağlamalıdır;

i. Yanaşma yerindeki gemide uygun yükleme ve boşaltma koşullarını yerine getirecek operasyonlar (elleçme, bağlanma vs) gerçekleşmelidir.
ii. Yanaşma yerindeki gemi emniyetle bağlı konumda kalabilmelidir.

OCDI (2009) elleçleme için limit dalga koşullarını Tablo 1.9'daki gibi vermiştir.

Tablo 1.9 Elleçleme için limit dalga koşulları (OCDI, 2009)

Gemi boyutu	Limit dalga yüksekliği ($H_{1/3}$) (m)
Küçük boyutlu gemi (GT< 500)	0.3
Orta ve büyük boyutlu gemi (500<GT<50,000)	0.5
Çok büyük gemi (GT> 50,000)	0.7 – 1.5

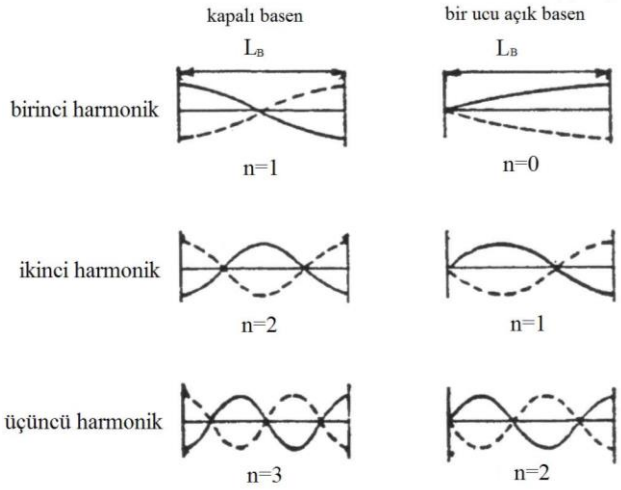
Master plan veya fizibilite çalışmalarında yapılacak ön tasarım sırasında, gerçekleştirilecek çalışmalarda liman içindeki dalga yüksekliklerinin belirlenmesinde elle yapılan hesaplamalar dikkate alınabilir. Ancak uygulama projelerinin hazırlanması sayısal model çalışmalarını gerektirmektedir. Liman içinde operasyon sırasında kabul edilebilecek belirgin dalga yüksekliği sınır değerleri Tablo 1.10'da verilmiştir.

Tablo 1.10 Operasyon koşullarında dalga yüksekliği sınır değerleri

	H_s (m) sınır değerler	
Gemi tipi	0° (baş veya kıç)	$45^\circ - 90^\circ$ (gemi gövdesi)
Genel kargo	1.0	0.8
Konteyner, Ro-Ro	0.5	-
Kuru yük (30,000-100,000); yükleme	1.5	1.0
Kuru yük (30,000-100,000); boşaltma	1.0	0.8-1.0
Tanker, 30,000 DWT	1.5	-
Tanker, 30,000-200,000 DWT	1.5-2.5	1.0-1.2
Tanker > 200,000 DWT	2.5-3.0	1.0-1.5

Liman içindeki dalgaların periyodunun liman baseninin doğal periyodunu yakalaması durumunda rezonans meydana gelecektir. Bu durum daha büyük dalgaların oluşmasına neden olur ve bağlı gemiler batma tehlikesiyle karşı karşıya kalırlar. Bu nedenle liman geometrisine karar verilirken rezonans koşuluna dikkat edilmelidir.

Eğer basen derinliği az çok üniform ve dikdörtgen kesite sahipse T_n doğal salınım periyodu aşağıdaki gibi hesaplanır (Şekil 1.12).



Şekil 1.12 Basen salınımları

Kapalı Basen $T_n = 2L_B/(n\sqrt{gd})$ n=1,2,.... (1.7a)

Açık Basen $T_n = 4L_B/((1+2n)\sqrt{gd})$ n=1,2,..... (1.7b)

burada; L_B basen uzunluğudur.

Basen şekilleri Şekil 1.13'te gösterilmiştir. Şekil 1.13 (a) kapalı dikdörtgen baseni, (b) sabit derinlikli dikdörtgen dar, uzun ve tam açık baseni, (c) ise liman girişi daraltılmış dikdörtgen sabit derinlikli baseni temsil etmektedir.

Kapalı basenin doğal periyodu (1.7a) ifadesi, tam açık basenin doğal periyodu (1.7b) ifadesi ile bulunur. Ancak sadece liman içindeki su alanı değil liman ağzından giren dalgalar da liman baseninde birlikte salınıma neden olabilmektedir bu durumda periyot (1.7b) ifadesinden bulunandan daha büyük olacaktır. Bu hal için periyot (1.8) ifadesi ile hesaplanabilir.

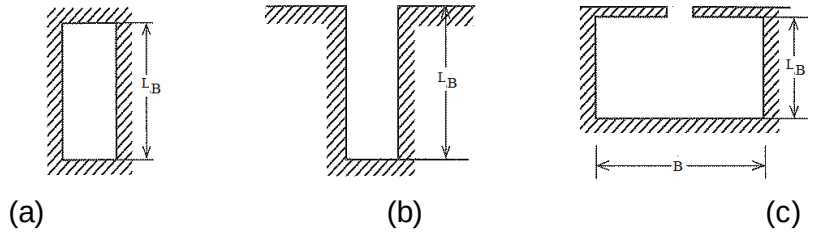
$$T = \alpha \frac{4L_B}{\sqrt{gd}} \qquad (1.8)$$

Burada; L_B basen uzunluğu, α liman giriş için düzeltme katsayısı, (1.9) ifadesi ile tanımlanmıştır (bu katsayının liman uzunluk ve genişlik oranına göre değerleri Tablo 1.11'de verilmiştir), B liman genişliğidir.

$$\alpha = \left\{1+\frac{2B}{\pi L_B}(0.9228-\ln\frac{\pi B}{4L_B}\right\}^{1/2} \tag{1.9}$$

Tablo 1.11 Liman giriş katsayısı α (OCDI, 2009)

B/L_B	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/10	1/25
α	1.320	1.261	1.217	1.187	1.163	1.106	1.064



(a) (b) (c)

Şekil 1.13 Basen şekilleri

Liman baseni Şekil 1.13 (c) gibi planlanmış ise doğal periyot aşağıdaki ifade ile bulunabilir.

$$T=\frac{2}{\sqrt{gd\left\{(\frac{n}{L_B})^2+(\frac{n}{B})^2\right\}}} \tag{1.10}$$

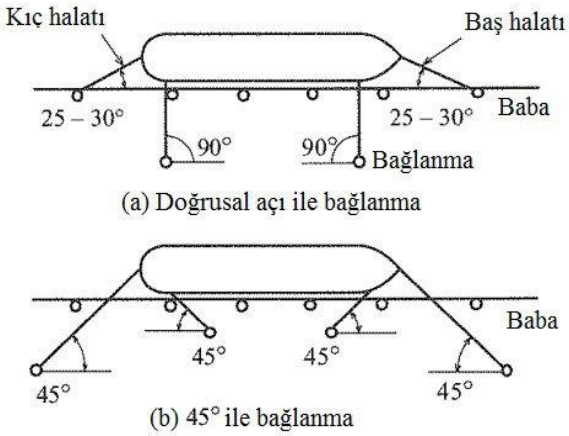
Limanlarda meydana gelebilecek istenmeyen bu dalga nedenli salınımların önüne geçecek yöntemler geliştirilerek liman su alanı planlanmalıdır. Özellikle anroşman şevler dalgaların sönümlenmesini sağlamaktadır. Liman su alanında planlanan düşey duvarlı kapalı tipten yanaşma yapıları dalga yansımasına ve basende su salınımının gelişmesine neden olabilirler. Bu olumsuz etkiler planlama ve yanaşma yapısının tasarımında dikkate alınmalıdır, böylece düşey yüzlü kapalı yapıların yaratacağı dalga yansımaları basen içinde sönümlendirilmelidir. Bu amaçla sayısal veya fiziksel model çalışmalarının yapılması uygun olacaktır.

1.6 Yanaşma Düzeni ve Gemi Bağlama Yöntemleri

Liman içinde meydana gelen uzun periyotlu salınımlar (periyotları 25-300 s arasında olan) gemilerin doğal periyodunu yakaladığında batmalarına neden olurlar. Ayrıca iyi bir bağlama sistemi geliştirilmediğinde gerek elleçleme gerekse dalga etkisiyle gemi ve yanaşma yapısı hasar görebilmektedir. Genelde üç tip bağlama tipi mevcuttur;

- Şamandıraya bağlama şekli Bölüm 2.5 sıvı yük terminallerinin planlanmasında verilmiştir.
- Gemilerin T-tipi veya L-tipi iskeleye bağlama şekilleri de Bölüm 2.5'te verilmiştir.
- Doğrusal (marjinal) rıhtım boyunca bağlama şekli

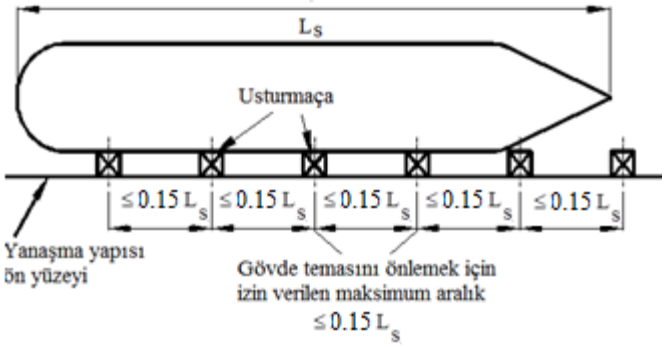
Şekil 1.14'te sürekli bir rıhtım boyunca yanaşma ve bağlama düzeni gösterilmiştir. Mümkün olduğunca minimum bağlama halatı ile maksimum yüke karşı dayanabilen bir düzen istenmektedir. Herhangi bir bağlama düzeni rıhtımı kullanan gemi tipi ve boyutları için uygun olacak biçimde babanın direncine, aralarındaki mesafeye bağlı olarak tasarlanır. Bağlama düzeni yanaşma yeri uzunluğunu da belirlemektedir. Genellikle rıhtımdaki babalar merkezden 30 m mesafede yerleştirilmektedir.



Şekil 1.14 Doğrusal (marjinal) rıhtımda bağlama, burada yanaşma yüzeyinin gerisindeki babalar palamar babasıdır.

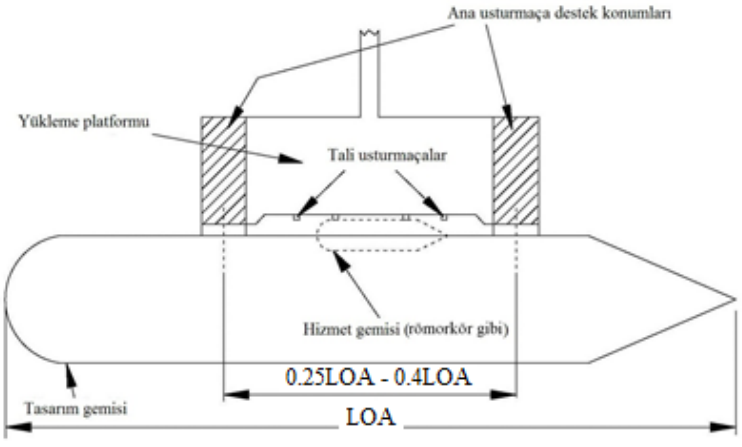
1.6.1. Gemi yanaşma ve usturmaça yerleşim düzenleri

Şekil 1.15'te doğrusal (marjinal) bir rıhtımda usturmaçaların yerleşim düzeni gösterilmiştir. Usturmaçalar yanaşma enerjisini alacak ve gemi gövdesinin zarar görmesini engelleyecek biçimde yerleştirilmelidir. Şekilde gösterilen L_s rıhtımı kullanacak en küçük geminin boyudur.

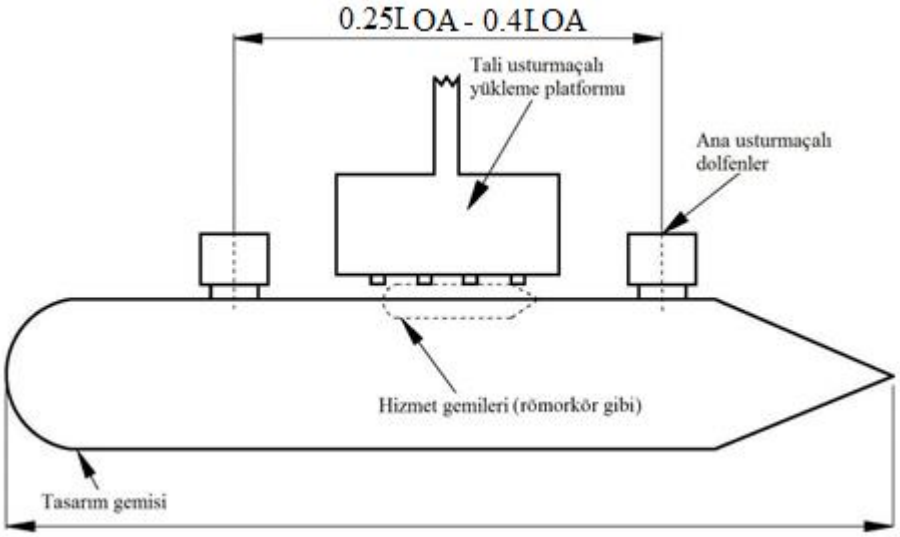


Şekil 1.15 Doğrusal rıhtımda usturmaça düzeni (BS 6349, 2014)

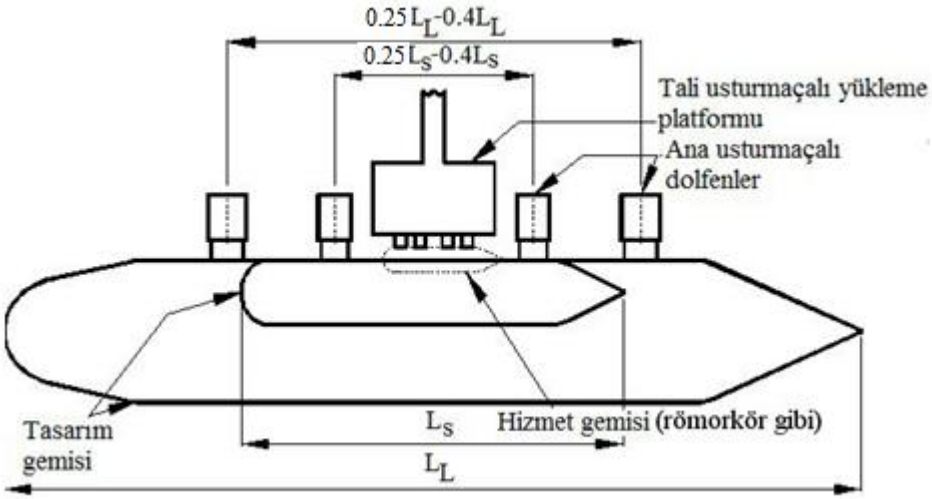
Şekil 1.16'da T tipi iskelede, gemi boyutuna bağlı olarak gemiler iki veya daha fazla usturmaçaya yaslanır. Usturmaçalar yükleme platformunun en güçlü konumuna yerleştirilir veya Şekil 1.17'de görülen yaslanma dolfenleri tasarlanır. Şekil 1.18'de görüldüğü gibi ana usturmaçaların yerleştirilmesinde yanaşacak gemi boyunun 0.25 ile 0.4 katı kadar mesafelerde yerleştirilir. Operasyonlarda kullanılan römorkörler için de tali usturmaça yerleştirilmelidir.



Şekil 1.16 T tipi iskelede usturmaça düzeni (BS 6349, 1994)



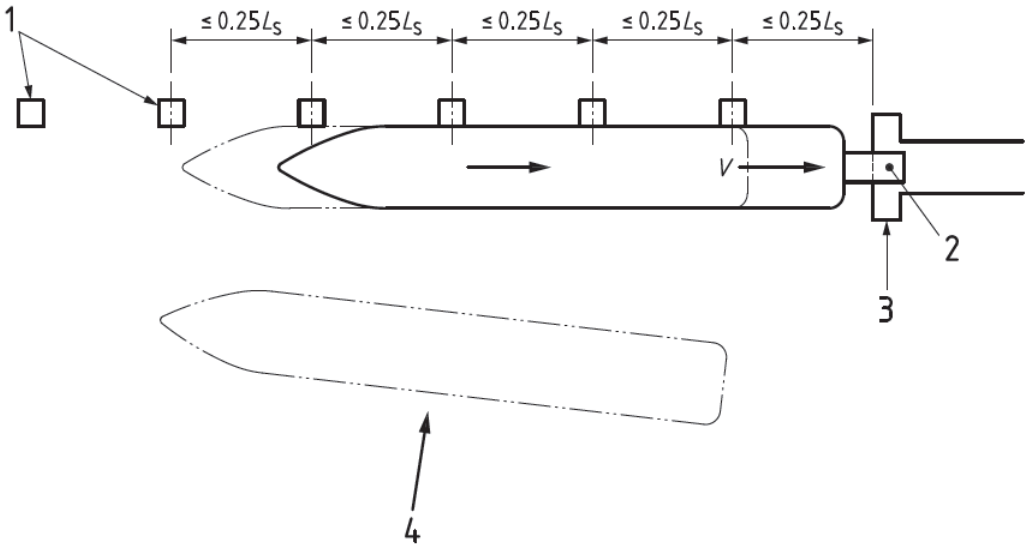
Şekil 1.17 Yaslanma dolfenli usturmaça düzeni (BS 6349, 2014)



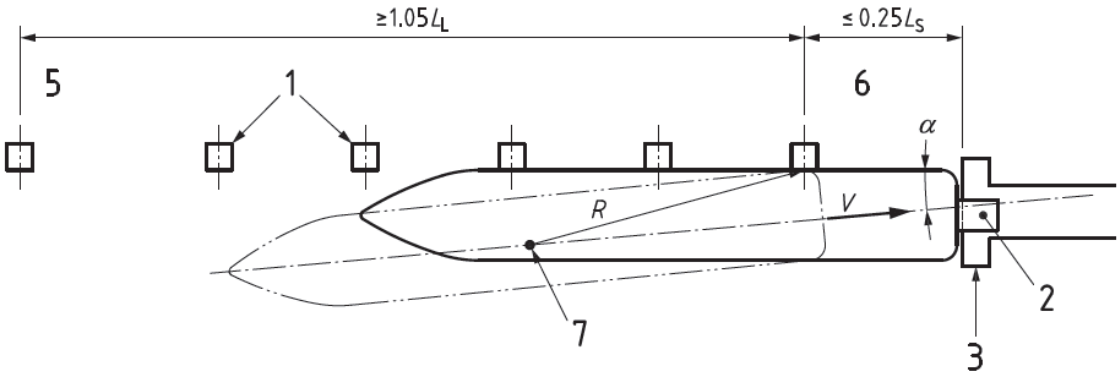
Şekil 1.18 Çoklu yanaşma dolfenli usturmaça düzeni (BS 6349, 2014)

Şekil 1.19'da ise Ro-Ro ve feribotların yanaşma düzeni gösterilmiştir. Şekil 1.19 (a)'da gemi iskeleye paralel yaklaşmaktadır, daha sonra yavaş hızda kıçtan yaklaşarak kapak atmaktadır. Şekil 1.19 (b)'de gemi doğrudan kıçtan boyuna yaklaşarak kapak atmaktadır, bu sırada gemi yanaşma dolfenlerini kullanmaktadır. Şekil 1.19 (c)'de gemi doğrusal yanaşma yerine paralel yanaşarak kapak atmaktadır. Bu şekillerde 1 yaslanma dolfenlerini, 2 gemi rampasını, 3 uç usturmaça ve rampayı, 4 yaklaşımı, 5 açığı, 6 iç tarafı 7 kütle merkezini, 8 yanaşma yeri yüzeyini, 9 usturmaçaları göstermektedir.

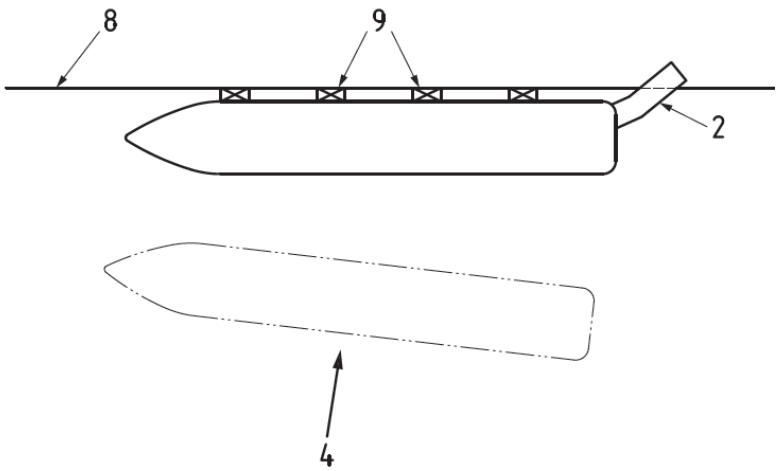
Şekil 1.15, 1.16, 1.17 ve 1.18'de LOA gemi boyu, L_s en küçük geminin boyu ve L_L en büyük geminin boyunu göstermektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 1.19 Ro-Ro ve feribotlar için yanaşma düzeni (BS 6349-4, 2014)

2. TERMİNAL PLANLAMASI

2.1 Genel Tanımlar

Liman: Gemileri dalga, akıntı ve rüzgar gibi etkilerden koruyan ve yükleme/boşaltma yapabilmeleri için çeşitli tesisleri olan suni veya doğal korunaklı su ve kara alanlarının yanısıra gümrük, ambar, liman yönetimi, lojistik gibi çeşitli hizmet tesislerini içeren bir kıyı yapısı kompleksidir.

Dok: Liman içerisinde iki rıhtım arasında geminin içine alındığı kuru havuz veya kapalı su alanıdır.

Dalgakıran/Mendirek: Limanı deniz yönünden gelebilecek dalga, akıntı ve deniz tabanı katı madde taşınımına (kum taşınımı gibi) karşı korumak amacı ile kara ile bağlantılı veya bağlantısız inşa edilen taş dolgu, yapay beton bloklu, yüzen, monolitik veya kazık destekli yapılardır.

İskele: Taş, beton, ahşap, çelik kazıklar üzerine veya beton bloklu ya da yüzer olarak inşa edilen karadan denize doğru uzanan yanaşma yerlerine denir.

Rıhtım: Kıyıya ya da dolgu alanlarına paralel olarak yapılan açık (kazık destekli gibi) veya kapalı (beton bloklu, keson gibi) tipten yanaşma yerlerine denir.

Dolfen: Gemilerin bağlandığı ya da yaslandığı karayla bağlantısı olmayan ya da kedi yolu olarak adlandırılan yaya yolu bağlantısı olan deniz yapılarıdır.

Basen: Doğal ya da yapay olarak tarama ile oluşturulmuş kapalı ya da yarı kapalı su alanlarına denilmektedir.

Terminal: Ticari limanlarda yükün tipine ve paketleme şekline göre yükleme/boşaltma ve diğer operasyonlar belirlenmektedir. Bu nedenle terminal, her yük türüne ve işleticisine göre ayrılmış olan ve yüklerin yükleme/boşaltma için hazırlandığı, elleçlemenin yapıldığı ve depolandığı yük tipine göre planlanmış kara alanlarına denilmektedir. Yolcu indi bindi işlemlerinin yapıldığı kruvaziyer ve feribot yanaşma yapılarının kara alanları da terminal olarak adlandırılır.

Rol ve İşlev

Liman faaliyetlerinden sorumlu olan kamu ya da özel limanlar sadece çevresel işlevlere karşı sorumlu olmaktan öte aynı zamanda ulusal ve uluslararası yönetmelik ve standartlara karşı da sorumlu olmak zorundadırlar. Limanlar kara ve deniz arasında geçiş noktalarıdır ve ulaşım zincirinde ana halkayı oluşturmaktadırlar. Limanların yatırım ve işletme maliyetlerinin fizibilite ve liman master plan çalışmaları ile doğru olarak belirlenmesi gereklidir. Limanların işletmeleri sırasındaki verecekleri hizmet maliyetleri rekabet edilebilecek düzeylerde olmalıdır aksi halde gemi işletmecileri diğer limanlara yönelmektedirler. Bu nedenle limanların müşteri memnuniyetini sağlamaları liman işletmesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Limanların işletilmesi ve yönetilmelerinde aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır:

(a) Limanın konumu,
(b) Ulaşılabilirlik; Deniz ulaşım yolu üzerinde olması, seyir (ulaşım) yolunun yeterli olması, manevra alanlarının yeterli olması gibi,
(c) Limanın kara ulaşımı ile bağlantısı,
(d) Çevresindeki kara alanlarının kullanımı,
(e) Liman işletmesi,
(f) Yük elleçleme kabiliyeti,
(g) Deniz trafiğindeki çeşitlilik ve miktar,
(h) Depolama ve yük elleçleme alanlarının yeterli olması.

Liman işletmecileri ulusal ve uluslararası denizcilik pazarında yeterli rekabet gücüne erişebilmek için; yük elleçleme işlemlerinde verimli bir elleçleme ve transfer kabiliyetine sahip olmalıdırlar ve denizcilik hatlarının limandan alacakları hizmetlerden bağımsız olan uygun finans modellerini geliştirmelidirler.

Limanların Fonksiyonları

Limanlar yük dağıtım sisteminin bir bileşenidir ve deniz ile karanın arakesitinde ithalat ile ihracat aktiviteleri için hizmet vermektedirler. Küreselleşen dünyada, limanlar büyük rekabet alanlarıdır. Özellikle uluslararası ticarette iyi bir yer edinebilmek için gelişmiş limanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Liman gelişimi; deniz taşımacılığının, ülkenin ticaret hacminin, gemi tip ve boyutlarının gelişmesine bağlıdır.

Limanlar ulaşım ağının ve ticaretin en önemli giriş çıkış noktalarından biridir. Bu nedenle *ulaşım fonksiyonu* limanın en temel fonksiyonudur ve yüklerin ülkenin farklı bölgelerinden veya dünyanın çeşitli bölgelerinden toplanılarak varış noktalarına iletilmeleri anlamına gelmektedir.

Yük (kargo); devletler için önemli bir kaynak olan enerjiden, yiyeceklere, işlenmemiş endüstriyel malzemelere veya tüketim ürünlerine kadar farklılıkları içeren mallarla çeşitlenir.

Limanlar insanların yaşam standartlarını ve ekonomik kalkınmayı destekler. Diğer bir deyişle, limanların fonksiyonlarını kaybetmesi durumunda, ulusal ekonomi geliştirilemez, devamlılığı sağlanamaz ve insanların yaşamları olumsuz olarak etkilenir.

Ancak limanlar sadece yük ve yolcu taşımacılığında kara ile denizin birleşim noktası değildir aynı zamanda *üretim fonksiyonuna* da sahiptir. Denizlere kıyısı olan ülkeler için limanların ekonomideki payı çok büyüktür. Bulunduğu bölgenin sosyal yapısının bir parçası olarak getirdiği ekonomik canlılıkla arka plandaki birçok sektörü de beslemektedir. Sadece bölgesel ve uluslararası ticareti değil aynı zamanda endüstriyel aktiviteleri arttırmaktadır. Limanların faaliyetlerinin artması, gelişmekte olan ülkelerin gelişmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Sağlıklı bir ekonomik gelişme için liman ve hinterlandı yeterli bağlantıya sahip olmalıdır.

Limanın yakın bölgelerinde imalat yapan, üreten ve ticaret yapan endüstriler yer almaktadır. Demir çelik sanayi, petrol, petro-kimya sanayi, tersaneler veya serbest ticaret bölgeleri bu endüstrilere tipik örneklerdir. Endüstriler limanın ulaşım fonksiyonları ile birbirine bağlıdır ve liman alanının dışında olabilir. Bazı durumlarda liman endüstriyel alana dönüşür veya endüstriyel faaliyetlerini artırırlar.

Depolama, dağıtım ve toplama fonksiyonu, sığınma fonksiyonu, seyir yardımı fonksiyonu, ikmal fonksiyonu, güvenlik fonksiyonu, insan kaynakları fonksiyonu, sosyal-kültürel etkinlikler fonksiyonu, çevre koruma fonksiyonları da diğer fonksiyonlar olarak sıralanabilir.

Limanların Temel Görevleri

Limanlar ulusal ve bölgesel ekonomiler üzerinde önemli rol oynar ve bunlara yön verirler. Limanlar çeşitli ekonomik aktiviteleri yürütmelerinden dolayı genellikle bölgesel ekonomik gelişimlerin itici gücü olarak görülmektedirler. Bu nedenle ulusal ekonomilerin gelişiminde önemli rol alarak yaşam standartlarının gelişimine katkıda bulunurlar.

Dünya ekonomisinin küreselleşmesiyle birlikte, ulusların ekonomik rekabeti; ham maddeleri, ara ve sonuç ürünleri gemilerle verimli ve ekonomik bir şekilde taşıma kapasitelerine bağlı olarak artmaktadır. Birçok ulusun ticaretinin ve ekonomisinin giriş kapısı olarak limanların çok önemli bir rol oynamasından dolayı kamu, limanlara önem vermelidir.

1) Sosyo-Ekonomik Gelişime Etkisi

Limanlar kara ve deniz ulaşımının birleştiği ve sosyo-ekonomik gelişimi artıran en önemli altyapılardan biridir. Türkiye'de limanlar endüstriyel malzeme temini, imalatı yapılan ürünlerin transferi ve insanların günlük ihtiyaçlarını karşılamak için önemli bir rol üstlenir. Limanlar fonksiyonlarını yerine getiremediklerinde ulusal ekonomi olumsuz etkilenerek insanların günlük yaşamları bir karmaşaya düşecektir.

Liman yeni bir endüstriyel alanın kurulmasının sağlanması istenerek de geliştirilebilir. Bu kapsamda, liman ekonomik faaliyetleri için özel sektör yardımı da alınmaktadır.

2) Küreselleşme

Konteyner taşımacılığı, uluslararası şirketlerin güçlü bir rekabet halinde yarıştığı küresel bir çağa girmiştir. Tüm ülkelerde ana limanlar çeşitli yollarla ülkelerini kalkındırmak için bir araç olmuştur. İlk olarak bir ana liman ülkeye en doğru taşıma çerçevesinin oluşmasını sağlar ve ulusal endüstriyi güçlendirir. İkinci olarak, bir ana liman diğer ülke ekonomilerinden yararlanabilmeyi mümkün kılar. Ancak bu görevi ülkedeki tüm limanlar değil ancak bir kaçı üstlenebilmektedir.

3) Bölgesel Gelişim Etkisi

Bir liman ekonomik gelişimde hissedilebilir bir etkiye sahiptir. Kıyı alanlarının dış dünya ile etkileşiminin, gelişimlerinde büyük bir avantaj sağlaması nedeniyle, ekonomik gelişimlerinde hissedilir bir etki yaratacağı açıkça görülmektedir. Ancak iç bölgelere ulaşım için iyi bir taşımacılık ağının kurulması gereklidir ve böylece limanların bölgesel gelişime etkileri mümkün olabilecektir.

4) İnsanların Günlük Yaşamlarında Süreklilik

Günlük yolcu taşımacılığı için hizmet veren küçük limanlar ve kırsal bölgelerde bulunan limanlar insanların bu ihtiyaçlarını karşılamaktadırlar.

5) Deprem Durumunda Acil Yük Transferleri ve Tahliye Güzergahları

Sadece liman faaliyetlerinin deprem nedeniyle aksaması ulusal ve uluslararası ticaretin durmasına değil aynı zamanda acil ihtiyaçların sevkiyatları ile liman kentinin acil tahliye işleminin de durmasına neden olacaktır. Bu nedenle limanlar acil yük sevkiyatı ve tahliye güzergahları gibi önemli bir göreve sahiptirler.

Limanın gördüğü bir hasardan kaynaklanan sosyal etki daha derin ve büyük olacağından deprem etkilerini en aza indirgemek için limanın tasarımı ve yapımı dikkatli bir şekilde gerçekleştirilmelidir.

6) Kıyı Alanlarının Korunması

Ülkemizi çevreleyen Akdeniz, Ege, Marmara ve Karadeniz kıyı alanlarının bozulması bu bölgelerde çevresel problem yaratmaktadır. Limanlar bu denizler ile bağlantılıdırlar. Limanlar çevre dostu önlemler alınarak planlanmalı ve işletilmelidirler. Bu nedenle limanların hizmet verdiği bölgelerindeki deniz alanlarının çevresel korunması için mümkün olduğunca daha fazla çaba harcanmalıdır ve Bütünleşik Kıyı Alanları Yönetimi (BKAY) ilkelerine uyulmalıdır. Günümüzde bu amaçla “Yeşil Liman” kavramı geliştirilmiştir. Bu nedenle tüm deniz yapıları ve limanlar bu kavramın gereksinimini içerecek biçimde planlanmalı ve işletilmelidir. Limanların kumsal plajların bulunduğu kıyı alanlarında planlanmasından kaçınılmalıdır. Çünkü bu alanlar kıyı alanlarının morfolojik ve ekolojik olarak hassas bölgeleridir.

7) Küresel Temin Zinciri ve Lojistik Aktivitelerin Artırılması

Lojistik kavramının gelişmesi ile limanlar lojistik aktiviteler için bir konum olma rolünü üstlenmektedirler. Katma değer sağlayan lojistik aktiviteler için karada rekabet ortamı yaratmaktadırlar.

Terminal Tipleri

Terminal tipleri aşağıda verilmektedir;

- Genel Kargo Terminali
- Ro-Ro Terminali
- Konteyner Terminali
- Sıvı Dökme Yük Terminali
- Kuru Dökme Yük Terminali
- Feribot Terminali ve Kruvaziyer Terminali
- Yolcu Terminali

Terminal Planlanması

Terminallerin tipine bağlı olarak dünyada kabul edilen tipik minimum boyutlar Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'de verilmiştir. Burada; 1 pcus 10 m^2 ' dir.

Tablo 2.1 Terminallerde minimum alan boyutları

Terminal Tipi	Apron Genişliği (m)	Geri Saha Genişliği (m)
Genel Kargo	20	90-120
Konteyner	50	700
Çok Amaçlı	50	400

Tablo 2.2 Terminallerde minimum park alanı boyutları

Terminal tipi	Park Alanı		Yolcu (m^2/yolcu)
Feribot Terminali	Otomobil	1 pcus	1
	Kamyon, Tır	7-4 pcus	
	Otobüs	4 pcus	
Ro-Ro	40 m^2/tır		

Liman Yer Seçimi Kriterleri

Yatırım ihtiyaçlarının belirlenmesi sonrasında mekansal olarak her tür taşımacılık için liman yer seçimi yapılması söz konusudur. Liman yatırımının yapılacağı bölge sınırları içinde noktasal liman seçimi için aşağıda belirtilen çalısmaların yapılması gereklidir. Bu çalısmaların yapılmasından sonra noktasal olarak liman yeri netleştirilmelidir. Seçilecek liman yeri için yapılması gereken çalışmalar;

1. Hidrografik ve hidrolojik özellikler

- Rüzgar özellikleri
- Yağış
- Sis

2. Dalga iklimi

- Akıntılar
- Gel-git
- Su seviyesi değişimleri
- Tsunami

3. Deniz tabanı hareketi ve morfoloji

- Akıntılar
- Akarsular
- Kıyısal katı madde taşınımı
- Erozyon
- Kumlanma

4. Jeomorfolojik ve fiziksel özellikler

- Kıyının jeolojik özellikleri
  - Kumsal, plaj alanı
  - Kayalık
  - Burun
  - Koy
- Batimetri
- Depremsellik
- Zemin kosulları
- Topoğrafya

5. *Çevre koşulları*

- Biyolojik koşullar
- Su kalitesi

- Ekoloji

6. *Arazi sahipliliği*
- Sit alanı
- Arkeolojik alan
- Özel çevre koruma bölgesi
- Kirlenme koşulları, çevresel koşullar, taşıma kapasitesi

7. *Sosyo-ekonomik faktörler*

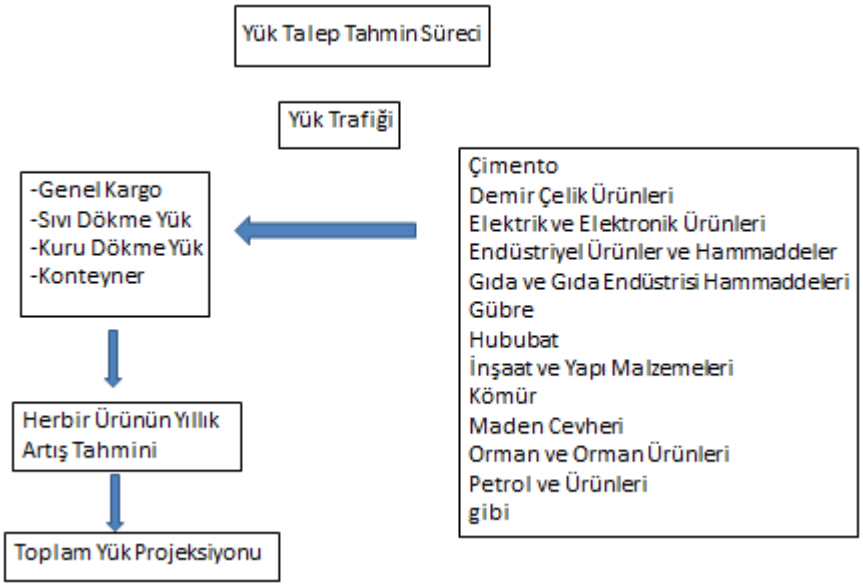
8. Hinterland bağlantıları

9. Mevcut kıyı ve deniz yapıları

10. Enerji tedarik şartları

Yük Talep Tahmini

Liman planlamasının ilk fazlarından biri de mevcut terminallerin geliştirilmesi ve/veya yeni terminallerin planlanması kapsamında talep tahminlerinin yapılmasıdır (Şekil 2.1). Talep tahmini ulusal ve uluslararası yük verileri dikkate alınarak yapılır.



Şekil 2.1 Yük bazında limanlarda elleçlenecek yük talep tahmini

Ticari Limanların Planlamasında İzlenecek Yöntem

Aşağıda bir liman planlamasında sağlanması gereken asgari planlama ve tasarım adımları sıralanmıştır;

1-Planlamanın yapılacağı kara ve deniz alanlarındaki zemin özelliklerini yansıtacak sayıda sondaj yapılarak geoteknik etütlerin gerçekleştirilmesi (Bkz. Bölüm E ve AYGM Geoteknik Tasarım Esasları),
2-Planlama alanında topoğrafik ve batimetrik çalışmaların standartlara uygun olarak yapılması (Bkz. Bölüm E),
3-Deniz alanında yan taramalı sonar, sismik ve oşinografik yapıyı tanımlayacak akıntı ölçümlerinin yapılması (Bkz. Bölüm E),
4-Proje alanını yansıtacak en az on yıllık ölçülmüş saatlik rüzgar verileri ile yağış durumu, sisli günlerin sayısı, hava sıcaklığı gibi meteorolojik verilerin temini, ayrıca varsa proje alanı üzerindeki modellenmiş rüzgar ve/veya basınç alanı ve varsa diğer rüzgar iklim verilerinin temini (Bkz. Bölüm B),
5-Deniz tabanı ve kıyı alanına ait yüzeyden 5 cm kalınlıkta koordinatları belirlenmiş en az 8 ayrı konumdan katı madde numunesi temini, bu numunelerin ayrı ayrı granülometrik gerekli ise hidrometrik testleri, böylece taban malzemesi özelliklerinin belirlenmesi ve sediment

dağılım haritasının yapılması, kıyı çizgisi ve geri alanınında katı madde özellikleri ile morfolojik özelliklerinin belirlenmesi (Bkz. Bölüm B ve D),
6-Talep tahmin analizlerinin yapılması, tasarım gemisinin belirlenmesi, yük tipi ve büyüklüğünün tahmin edilmesi, geleceğe yönelik tahminlerin yapılması, liman master plan ve yatırım fazlarının belirlenmesi, fizibilite çalışmalarının yapılması,
7-Bölgenin jeolojik, jeomorfolojik, depremsellik özellikleri ile nüfus, doğal yapı, tarihsel yapı, sosyo-ekonomik yapı, arazi mülkiyeti ve arazi kullanımı (milli parklar, tabiat alanları, yaban hayatı yaşam ortamı, orman alanı, tarım alanı, tarımsal kalkınma alanı, sulak alanlar, ekolojik açıdan hassas alanlar gibi), ulaşım özelliklerinin raporlanması,
8-Planlama bölgesinde denizin taşıma kapasitesi, bölgedeki su sirkülasyonu ve canlı-cansız yaşamlar birlikte düşünülerek raporlanması,
9-Yukarıdaki verilerin teminleri ile birlikte "Kıyı ve Liman Yapıları Deprem Teknik Yönetmeliği" nde belirtilen tasarım kriterleri ile birlikte değerlendirilerek yer seçimi, yer seçiminde kıyı alanındaki morfolojik yapı ve çevresel değerlerin titizlikle değerlendirilmesi,
10-Rüzgar ve dalga istatistiği ve iklim çalışmasının detaylı olarak yapılması, su seviyesi ölçümlerinin yapılarak değerlendirilmesi (Bkz. Bölüm B), rüzgar ve dalga iklim çalışmaları

- ulaşım kanalı ve yanaşma yapılarının planlanması,
- dalgakıran tasarımı,
- deniz tarafından dalga aşmasının belirlenmesi,
- gemi, yapı ve vinçlere gelen yüklerin belirlenmesi,
- liman içi çalkantının belirlenmesi, operasyonun durduğu sürelerin belirlenmesi,
- drenaj sistemlerinin boyutlandırılması,

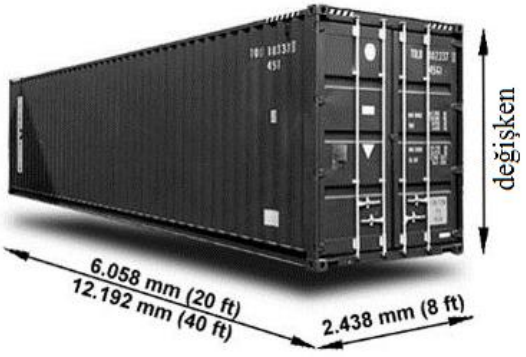
gibi amaçlarda kullanılarak performansa dayalı hesaplamalar yapılmalıdır.

11-Deniz alanında hidrodinamik yapının (akıntı yapısının) analizi,
12-Yanaşma yapılarının tipinin belirlenerek su alanı ile birlikte planlanması,
13-Liman içi çalkantı, kumlanma, planlamanın kıyı morfolojisine etkisini gösteren hesaplamaların yapılması, liman yapılarının kıyı alanının morfolojik yapısına etkisinin belirlenmesi ve etkilerinin minimuma indirilmesi için gerekli projelendirme çalışmalarının yapılması, bu amaçla sayısal modelleme çalışmalarının yapılması, operasyon koşullarının değerlendirilmesi,
14-Liman yapılarının tasarımı,
15-Kara alanının planlanması (terminal planlaması),
16-Çevresel, emniyet, geri alan ulaşım gibi planlamaların yapılması,
17-Elleçleme ekipmanlarının seçimi, stratejik planların yapılması,
18-Seyir kontrolünü sağlayacak planlamanın yapılması.

2.2 Konteyner Terminalleri Planlaması

2.2.1 Konteyner Tip ve Boyutları

International Standards Organization (ISO) resmi standart konteyner büyüklükleri hakkında bilgileri vermiştir. Şekil 2.2'de görülen konteynerler için en yaygın kullanılan birim TEU (Twenty feet Equivalent Unit)'dur ve planlamalar bu birimle yapılır, ancak 40ft uzunluklu konteynerler kısaca FEU olarak bilinir. Tablo 2.3'te tipik konteyner boyutları gösterilmiştir.



Şekil 2.2 ISO'ya göre konteyner boyutları

Tablo 2.3 Standart konteyner boyutları

Uzunluk		Genişlik		Yükseklik		Malzeme	Konteyner ağırlığı (t)	Maksimum kargo ağırlığı (t)	Maksimum toplam ağırlık (t)	İç hacim (m^3)
ft	m	ft	m	ft	m					
20	6.10	8	2.44	8.5	2.59	Alüminyum	1.9	18.4	20.3	33.0
20	6.10	8	2.44	8.0	2.44	Çelik	2.0	18.3	20.3	31.0
20	6.10	8	2.44	8.5	2.59	Çelik	2.2	18.1	20.3	33.0
20	6.10	8	2.44	8.5	2.59	Çelik	2.3	28.2	30.5	33.0
40	12.19	8	2.44	8.0	2.44	Alüminyum	2.8	27.7	30.5	63.3
40	12.19	8	2.44	8.5	2.59	Alüminyum	3.4	27.1	30.5	67.0
40	12.19	8	2.44	9.5	2.90	Alüminyum	3.9	26.6	30.5	75.0
40	12.19	8	2.44	8.0	2.44	Çelik	3.4	27.1	30.5	63.0
40	12.19	8	2.44	8.5	2.59	Çelik	3.6	26.9	30.5	67.0
40	12.19	8	2.44	8.5	2.59		3.8	28.7	32.5	67.0
40	12.19	8	2.44	9.5	2.90		3.9	28.6	32.5	75.0

ISO konteynerlerinin dışında daha büyük konteyner tipleri;

- Oversize (veya uzun boylu) 40 ft'den uzun
- High cube (veya yüksek kutu) 8 ft 6 inch'den yüksek
- Overwidth (veya büyük genişlikli) 8 ft'den geniş

Boyut farklılığının yanında ayrıca özel amaçlı konteyner tipleri de mevcuttur (ISO standartlarında veya ISO standartlarında olmayan), bunlar:

- Soğutmalı,
- Tank konteynerler,
- Döşeme veya Flat,

Bunların hepsi terminalde ayrı yerlere konulmalı dolayısıyla planlama çalışmasında dikkate alınmalıdır.

Bir TEU için gerekli alan elleçleme sistemine, depolama alanının planına, depolama alanındaki yol sistemine ve istif yüksekliğine bağlıdır. Tipik değerleri Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4 Bir TEU için gerekli depolama alanı (Thoresen, 2003)

Elleçleme şekli	İstif Yüksekliği	Her bir konteyner sırasında iç yollar dahil alan (m^2/TEU)				
		1	2	5	7	9
FLT (Forklift)	1	65				
FLT	1	72	72			
RS (Reach Stacker)	2		36			
	3		24			
	4		18			
SC (Straddle Carrier)	1	30				
	2	16				
	3	12				
RTG	2			21	18	15
RMG	3			14	12	10
	4			11	9	8
	5			8	7	6

2.2.2 Planlama

Terminal düzeni belli ölçüde seçilen elleçleme sistemine bağlıdır. Terminal planının geliştirilebilmesi için aşağıdaki elemanların boyutlarının belirlenmesi gerekmektedir;

- Rıhtım uzunluğu ve rıhtım kreyni sayısı,
- Apron alanı (rıhtım ve rıhtım ile depolama alanı arasındaki alanların toplamı),
- Depolama alanı,
- Konteyner transfer alanı,
- Hizmet alanları (CFS, ofis, kapı ve tamir bakım atölyeleri)

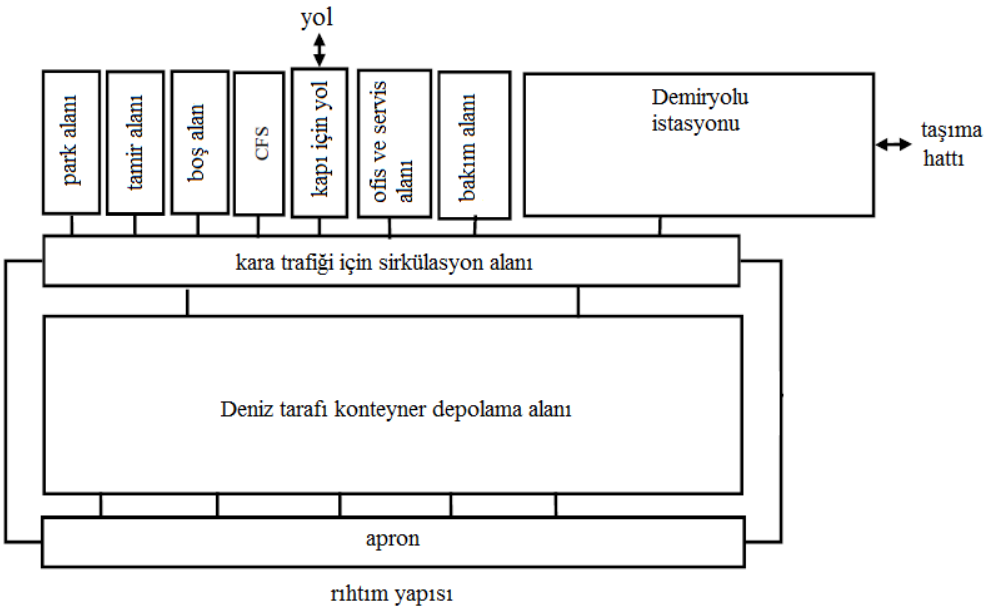
Şekil 2.3'te genel olarak bir konteyner terminalinde bulunan alanlar gösterilmiştir. Şekil 2.4'te ise elleçleme sistemine bağlı olarak planlanmış bir terminal alanı görülmektedir.

Depolama alanının kapasitesinin belirlenmesi için 20 ft ve 40 ft'lik konteynerlerin oranları bilinmelidir çünkü yüzey alanı buna bağlıdır.

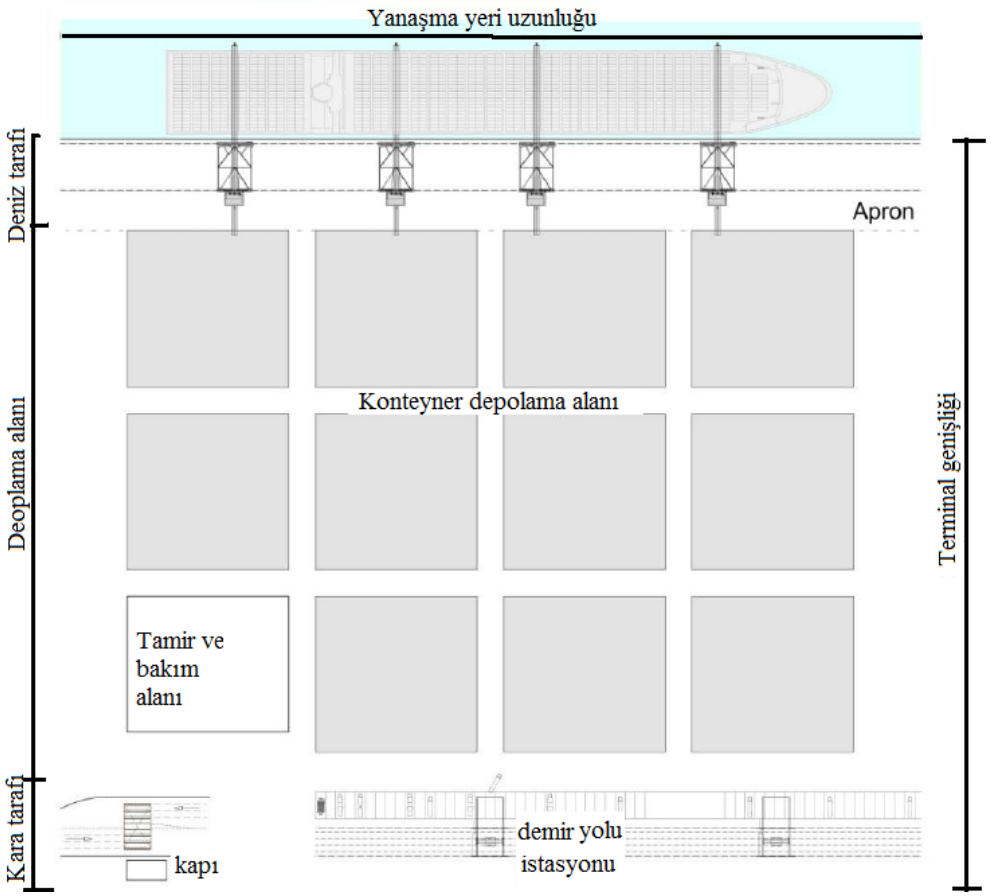
Bir konteyner terminalinde elleçlenen konteyner miktarına bağlı olarak elleçleme ekipmanları seçilir (PIANC, 2014, Yüksel ve Çevik, 2010). Seçilen ekipmanların verimli çalışmaları için önerilen ekipman kombinasyonu PIANC (2014) tarafından Şekil 2.5'teki gibi önerilmiştir, ancak ekipman seçimi terminal işletmecisine bağlıdır çünkü ekipmanların teknolojisi sürekli gelişim halindedir. Genellikle konteyner terminalinde kullanılan ekipmanlar aşağıdaki gibi seçilmektedir:

- Rıhtım-gemi operasyonu (STS); Raylı rıhtım gentry kreyni (RMQC), mobil kreyn (MHC), gemi kreyni (ShC).
- Apron-depo alanı transferi; Traktör trayler (TT), straddle carriers (SC), otomatik taşıyıcı (AGV), reach stacker (RS),
- Depolama alanı; Raylı gentry kreyn (RMG), lastik tekerlekli kreyn (RTG), straddle carriers (SC), reach stacker (RS),
- Kara ulaşımına transferi; Straddle carriers (SC), reach stacker (RS),

Ön planlama çalışmaları genellikle amprik ifadeler kullanılarak yapılmaktadır, ancak uygulama planları için simülasyon modelleri yardımı ile optimum terminal planlaması yapılabilir.



Şekil 2.3 Tipik konteyner terminal alanları (PIANC, 2014)



Şekil 2.4 Straddle Carrier (SC) kullanılan bir konteyner terminali (PIANC, 2014)

Rıhtım Uzunluğu

Yanaşma yeri sayısının ve dolayısıyla rıhtım uzunluğunun belirlenmesi için ilk yaklaşık hesap rıhtım üretkenliğine dayanmaktadır. Rıhtım uzunluğu yanaşma yeri sayısına bağlı olarak hesaplanabilmektedir (veya kuyruk teorisi kullanılabilir).

Yanaşma yeri sayısı;

$$N=C_i/c_b \quad (2.1)$$

c_b : Her bir yanaşma yerinde yılda elleçlenen ortalama TEU sayısı (TEU/yıl),
C_i : Yılda boşlar dahil elleçlenecek toplam konteyner sayısı

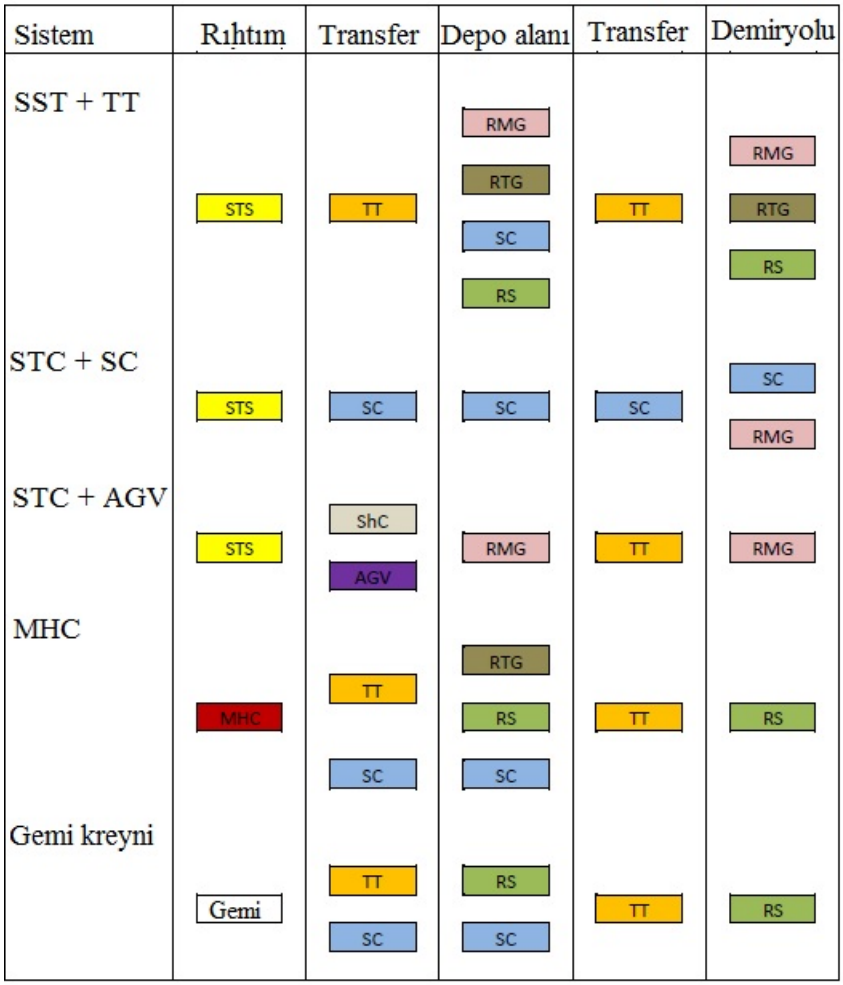
Rıhtım uzunluğu aşağıdaki ifade ile bulunur.

$$L_q = 1.1N(L_s + 15) + 15 \text{ (metre)} \quad (2.2)$$

L_s : Gemi boyu
N : yanaşma yeri sayısı

Gemilerin rıhtımda birbiri ardına bağlanacakları düşünüldüğünde 15 m aralıklarla yanaşacaklardır. Tek yanaşma yeri planlandığında limanı kullanacak en büyük gemi boyu, birden fazla yanaşma yeri planlandığında ise ortalama gemi boyu dikkate alınmalıdır.

Planlama sırasında gemi boyutlarının yeterince bilinmemesi halinde ön boyutlandırmada rıhtım uzunluğu ve derinlikleri Bölüm 1.3'te verilen konteyner rıhtım uzunluk ve derinlikleri tablosu kullanılarak belirlenmelidir.



Şekil 2.5 PIANC (2014) tarafından önerilen elleçleme sistem kombinasyonu

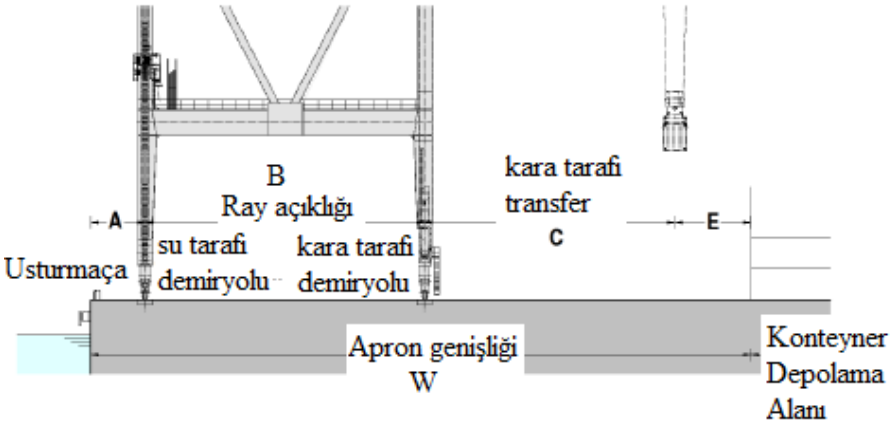
Apron Alanı

Apron genişliği, güvenli ve düzgün kargo elleçlemesini sağlamak için, elleçleme ekipman seçimi, rıhtım kullanımı ve boyutuna, depolama alanının planlaması ve kullanımına göre belirlenmelidir.

Apron eğimi, kargo elleçlemesinin düzgün biçimde olması için, yağış miktarı ve alan kullanımı dikkate alınarak tasarlanır. Genellikle eğim, denize doğru %1 ile %2 arasında alınır ancak küçük rıhtımlarda daha dik eğim kullanılabilmektedir. Genelde dik eğimler, kar yağışı altındaki alanlarda, karın kaldırılmasını kolaylaştırmak için kullanılır.

Apronların kaplama tipi taban altındaki zemin koşulları, çevredeki kaplama koşulları, kargo elleçleme tipi, vb. gibi faktörlerin göz önüne alınmasıyla belirlenir. Kargo elleçleme çalışmalarını ve araç trafiğini engelleyen, aşırı oturmayı önleyici tedbirler alınır. Kaplama yapısının tasarımında, tasarım yükü; kamyon ile tekerlekli vinç, forklift ve straddle carrier gibi elleçleme ekipmanlarının tekerlek yükleri yanısıra kargo tipleri ve kargo elleçleme tarzı da göz önüne alınarak seçilir.

Konteyner terminallerinde, apron genişliği kullanılan elleçleme ekipmanlarına bağlı olarak 15-120 m arasında değişmektedir (bkz. Yüksel ve Çevik, 2010, PIANC, 2014) (Şekil 2.6). Rıhtım ön yüzeyi ile kreyn ön bacağı arasında (A) en az 3 – 5 m mesafe bırakılmalıdır.



Şekil 2.6 Tipik apron alanı (PIANC, 2014)

Konteyner Depolama Alanı

Apronun arkasında kalan, geri saha depolama alanı, liman girişi (kapı), park, ofisler ve gümrük hizmet alanlarından oluşmaktadır. Depolama alanı içerisinde ise konteynerler ihracat, ithalat, soğutmalı, tehlikeli yük ve boşlar olmak üzere genellikle farklı gruplar halinde istiflenirler. Bunlara ilave olarak bir de "Konteyner Transfer İstasyonu (CFS)" vardır. Apron'un gerisinde kalan depolama, transfer ve ofisler dahil toplam alan;

$$O_T=O_{PY}+O_{CFS}+O_{EC}+O_{ROP} \quad (2.3)$$

olarak planlanır

O_{PY} : Konteynerlerin depolandığı alan,
O_{CFS} : CFS alanı konteyner içi istifleme ya da boşaltma amacıyla ayrılan alan,
O_{EC} : Boş konteyner alanı,
O_{ROP} : Konteyner bakımı ve tamir alanı, konteyner yıkama alanı, kapı, ofis binaları, gümrük hizmetleri ve park amaçlı alan

Konteyner depolama alanının belirlenmesi için çok sayıda ifade vardır, bunlar Atkins (1983), Daily (1983), Hoffmann (1985), UNCTAD (1985), Frankel (1987), Dharmalingam (1987), Chen(1998), Itsuro (2001), Tsinker (2004), Thoresen (2015), OCDI (2009), Ligteringen ve Velsink (2012) tarafından verilmiştir. Özellikle son çalışmaların kullanılması tavsiye edilmektedir (Yüksel ve Çevik, 2010). OCDI (2009)'da ise performansa dayalı konteyner depolama alanının nasıl hesaplanacağı tanımlanmıştır.

Ön planlama için Şekil 2.7'den bir yılda hareket eden konteyner sayısına (C_i) göre konteyner depolama alanı hesaplanabilir. Örnek olarak konteyner terminali işletme planı Şekil 2.8'de verilmiştir.

CFS, konteynerlerin farklı müşterilerden gelen yüklerin bir konteynere istiflenmesi ya da terminalde elleçlenen bir konteynerden farklı müşterilerin yüklerinin boşaltılması amacıyla planlanan kapalı istasyonlardır. Bu istasyonların boyutlandırılmasında bina yüksekliği, kapı boyut ve aralıkları, geçiş alanları, bekleme süreleri ve hasarlı yüklerin istiflendiği alanların dikkate alındığı brüt alan belirlenmelidir (bkz. Yüksel ve Çevik, 2010).

Konteyner depolama alanında soğutmalı konteynerlerin istiflendiği alanlarda elektrik tesisatları planlanmalıdır.

Depolama alanı kullanılan elleçleme sistemine bağlı olarak planlanmaktadır. Şekil 2.9'da RS kullanılması durumunda konteyner istifleme alanı için tipik boyutlandırma verilmiştir. Şekil 2.10'da SC kullanılması durumunda tipik bir plan gösterilmiştir. Şekil 2.11'de RTG için depolama alanı, Şekil 2.12'de ise RMG için depolama alanı gösterilmiştir.

Konteyner Transfer Alanı ve Binalar

a) Kapı ve transfer alanları;

Konteynerleri getiren veya alacak kamyonlar terminale kapıdan girerler. Burada üç fonksiyon yürütülür.

- Yükle ilgili idari formaliteler, gümrük işlemleri
- Kutuların kontrolu (muhtemel hasar için)
- Konteyner transfer alanında kamyon sürücülerine koteynerlerin yerleştirilmesi için bilgi verilmesi.

b)Transfer alanında mevcut diğer tesisler;

1) Bakım Atölyesi: Bakım atölyesinin ölçüsü, konteyner hasarı oranı, kargo yükleme araçlarının ve makinelerinin tipi ve sayısı ve muayenenin içerik ve derecesi gibi bazı faktörlere dayanır.

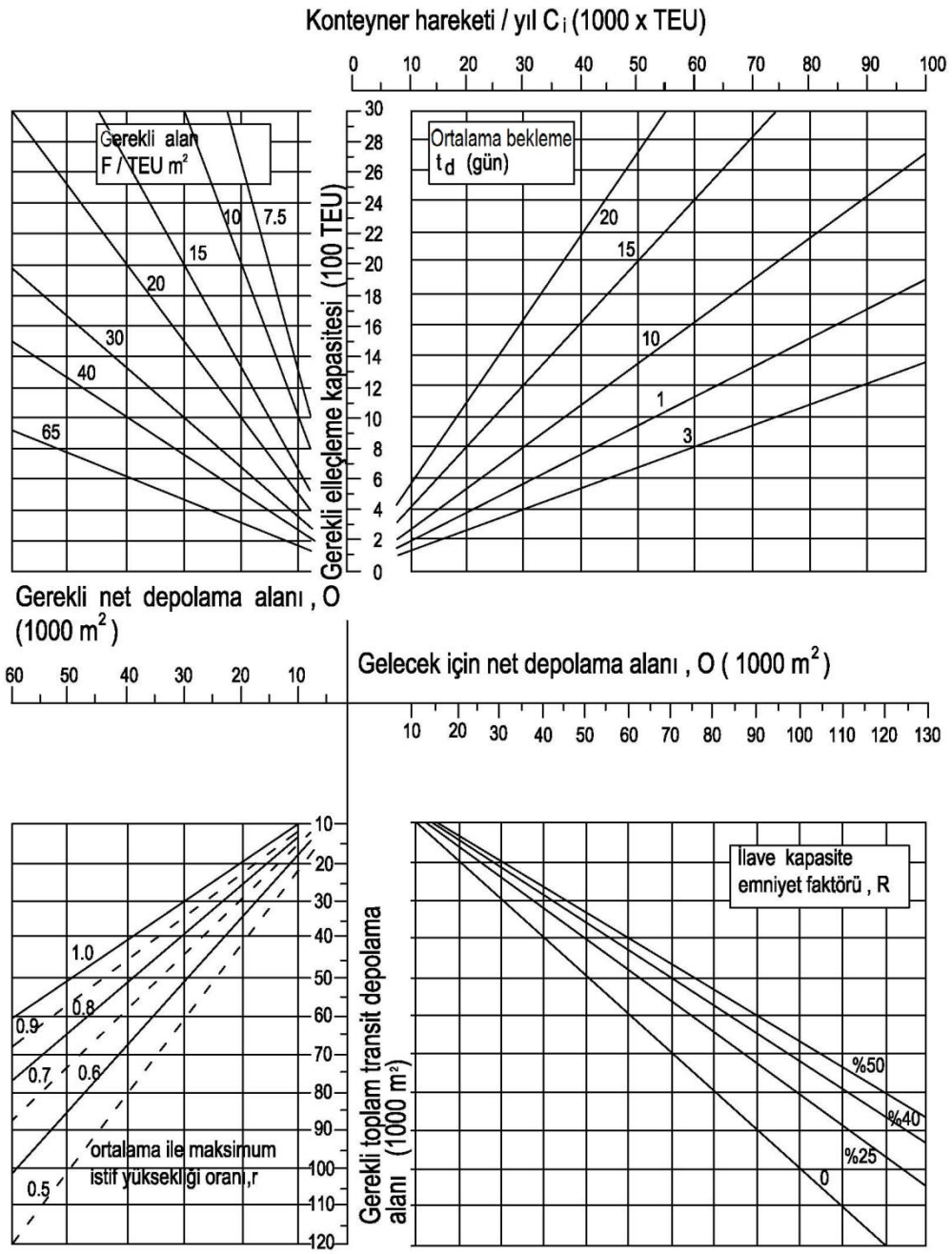
2) Ofis Binası: Konteyner terminalinin esas fonksiyonlarını yöneten ve bilgisayar merkezlerinin bulunduğu terminal ofis binası yönetim bölümü genellikle kargo yükleme operasyonlarını verimli olarak kontrol etmek için yerleştirilir.

3) Terminal Kapıları: Terminal kapıları, dokümanları alıp vermek, konteyner hasarlarını muayene etmek, konteyner ağırlığını ölçmek ve diğer güvenlik kontrolleri gibi ihtiyaçlar için kullanılır. Terminal kapıları yol şerit sayısı genellikle, kuyruk modelleri ile hesaplanır.

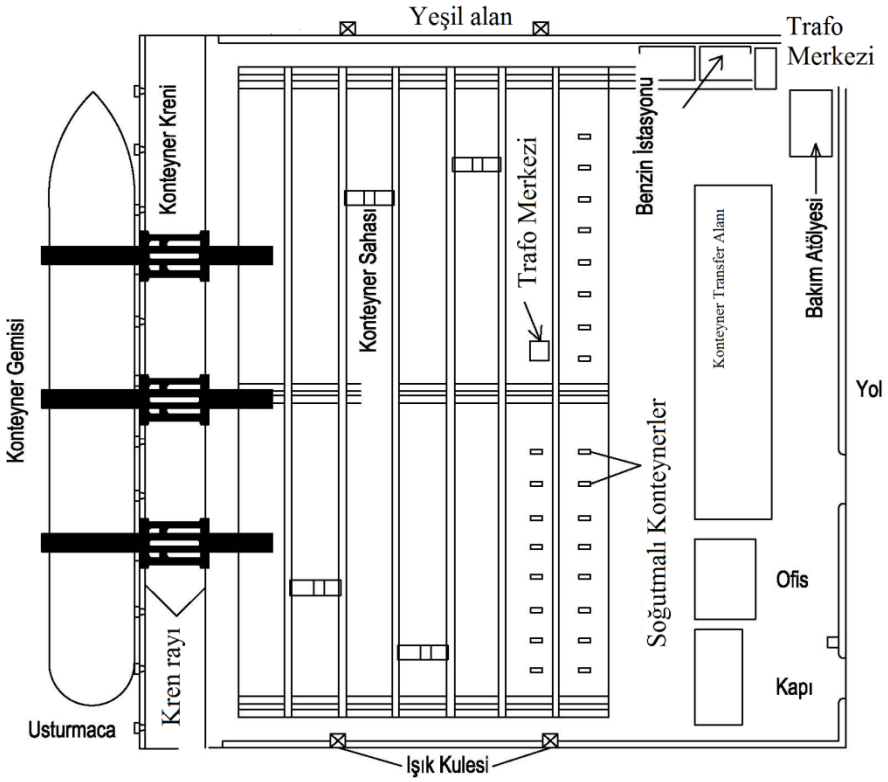
4) Diğer Tesisler: Diğer çeşitli tesisler aşağıdakiler gibi olabilir;

- Yıkama Tesisleri
- Kargo Yükleme Ekipmanları İçin Yakıt Tesisleri
- İşçiler İçin Dinlenme Evleri
- Su Kaynağı
- Su Drenajı
- Elektrik Güç Kaynağı
- Soğutmalı Konteyner Alanı, vb.

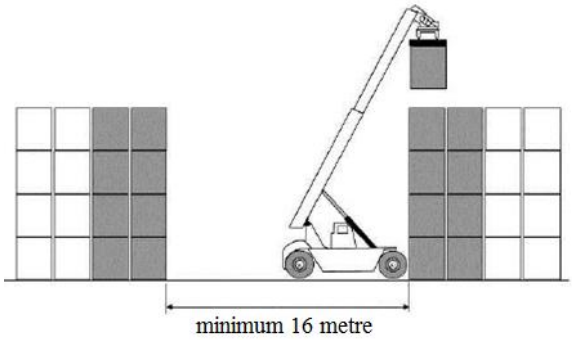
PIANC (2014) konteyner terminalleri için tasarım ömürleri ve bakım periyotlarını Tablo 2.5'teki gibi vermiştir.



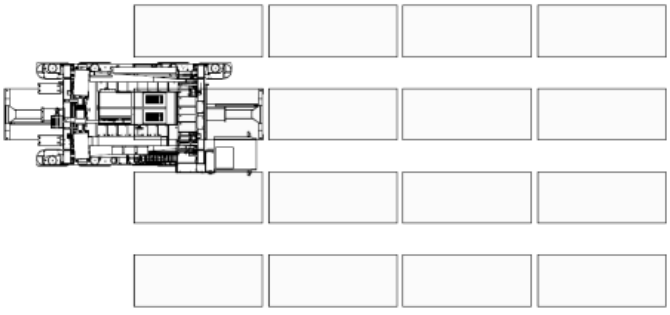
Şekil 2.7 Konteyner depolama alanı için tasarım grafiği



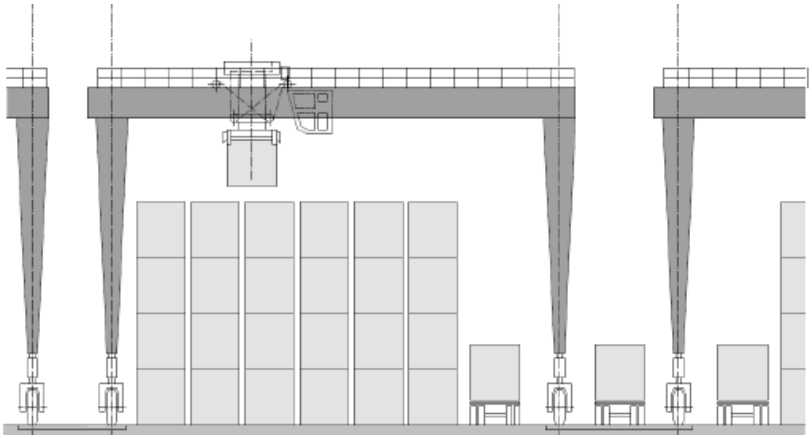
Şekil 2.8 Tipik konteyner terminali işletme planı (OCDI, 2009)



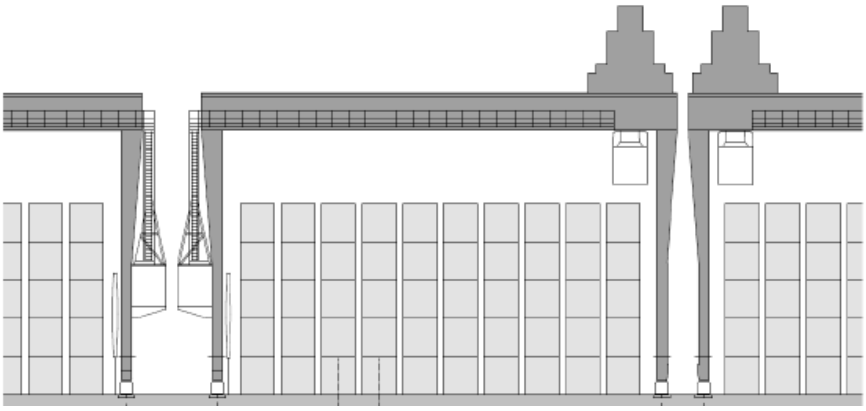
Şekil 2.9 Tipik RS çalışması ve depolama (PIANC, 2014)



Şekil 2.10 Tipik SC istiflemesi ve depolama alanı (PIANC, 2014)



Şekil 2.11 Tipik RTG istiflemesi ve depolama alanı (PIANC, 2014)



Şekil 2.12 Tipik RMG istiflemesi ve depolama alanı (PIANC, 2014)

Tablo 2.5 Tipik tasarım ömürleri (PIANC, 2014)

Terminal bileşenleri	Tipik tasarım ömrü (yıl)	Ana bakım periyodu (yıl)
Rıhtım yapıları	50	Katodik koruma için; 25
Usturmaçalar	20-25	10-15
Terminal kaplaması	25	10-15
Binalar	50	20-30

Terminalin güvenlik ve emniyet koşullarının sağlandığı bir birimin planlaması yapılmalı ve buna ilişkin insan kaynağı yetiştirilmelidir.

2.3 Genel Kargo ve Çok Amaçlı Terminaller

Genel kargo terminalleri geleneksel olarak kırkambar (parçalı) yükleri ve daha sonra üniteleştirilmiş genel kargonun elleçlenmesi için kullanılmaktadır.

Çok amaçlı terminal, modern genel kargo terminalinde düzenleme ve kullanılan ekipmanlarda yapılan bazı değişiklikler ile elde edilebilmektedir. Çok amaçlı terminallerin çoğu kırkambar (parçalı) yük ile konteyner ve Ro-Ro terminalinin birleşmesi ile oluşmaktadır.

Yanaşma yeri uzunluğu

Yanaşma yeri uzunluğu Bölüm 2.2.2'de tanımlandığı gibi belirlenir. Planlamanın ilk safhasında bir genel kargo yanaşma yerine yük girdisi, bir işçi takımının ortalama verimi, takım sayısı ve bir yıldaki efektif çalışma saati sayısı dikkate alınmalıdır. Detaylı tasarımda istatistiksel modeller kullanılmalıdır (Yüksel ve Çevik, 2010).

Apron

Standart apron genişlikleri OCDI (2009) tarafından Tablo 2.6'daki gibi verilmiştir. Apron genişlikleri yüklerin emniyetle ve düzenli elleçlenmesini sağlayacak şekilde belirlenmelidir. Apron genişliği, elleçleme vinçlerinin bacak aralıkları, çalışma koşulları, elleçlenen yükün özellikleri ve depolama alanına transferi sağlayan ekipmanların tipleri ile özellikleri dikkate alınarak belirlenmelidir. Rıhtım ön yüzeyi ile kreyn ön bacağı arasında en az 3 – 5 m mesafe bırakılmalıdır. Apron yüzey sularının drene edilebilmesini sağlayacak eğime sahip olmalıdır (deniz tarafına doğru %1-2). Apron kaplaması elleçlenen yük ve bağlanma koşulları dikkate alınarak tasarlanmalıdır. Yanaşma yapısı geri dolgu oturmaları oldukça hassas olarak göz önüne alınmalı, oturmanın meydana gelmesine müsade edilmemelidir.

Tablo 2.6 Apron genişliği standart değerleri (OCDI, 2009)

Yanaşma yeri su derinliği (m)	Apron genişliği (m)
4.5'tan az	10
4.5 ile 7.5 arasında	15
7.5'tan fazla	20

Genel kargo rıhtımlarında, elleçleme için vinç çalışma alanı, geçici depolama alanı, ulaşım yolları dikkate alınmalıdır. Apron alanının hemen arkasında planlanan transit sundurma ve açık depolama alanlarına yapılacak elleçlemede, elleçleme ekipmanlarının tipi de apron alanının planlanmasında dikkate alınması gereken bir faktör olarak dikkate alınmalıdır.

2.4 Ro-Ro ve Feribot Terminalleri

Feribot ve Ro-Ro gemileri için terminal planlarındaki temel elemanlar aşağıda verilmiştir.

- Tırların bindirilmesi veya indirilmesi genellikle geminin başından veya kıçından olur. Bu durum yanaşma yeri planını belirlemektedir.
- Güverteye alınabilen maksimum sayıdaki tır (feribot tipine bağlı olarak diğer araçlar da) düzenli bir biçimde park etmek zorundadırlar. Ancak yüksüz tırlar da park alanına ihtiyaç duyarlar.
- Bir Ro-Ro terminali gemilere en uygun servisi sağlayacak şekilde geliştirilmelidir, buna değişik gemi hatları da dahil edilebilir. Yanaşma yeri sayısı bekleme yapılmasından kaçınılarak belirlenir. Yükleme/boşaltma kapasitesi ortalama servis süresine göre tahmin edilerek belirlenmektedir.
- Feribot terminalleri terminal binalarına ve gemiye bağlantı sağlayan köprülere ilaveten yolcu hizmetlerine ihtiyaç duymaktadır.
- Bir feribot hattı, gemi sayısı, seyir süresi ve yanaşma süresi dikkate alınarak planlanmalıdır. Böylece yanaşma yeri sayısı belirlenir.

Feribot terminallerinin planlanmasında ise trafik tahminlerinin doğru yapılması gerekmektedir. Minimum park alanları Tablo 2.2'de verilmiştir. Bunun için;

a) Feribotu kullanacak araçlar
   - yolcu araçları
   - kamyon ve treylerler
   - otobüsler

b) Yolcunun terminalden indi bindisini sağlayacak araçlar
   - özel araçlar
   - taksiler
   - otobüsler

dikkate alınmalıdır.

Yanaşma yeri sayısı elleçlenecek gemi sayısına bağımlıdır. Her bir gemi yükleme/boşaltmasını bir rampa yoluyla yapmaktadır ve burada geminin karadaki alanla bağlantısı sağlanmalıdır.

Müsade edilebilecek rampanın indirildiği rıhtımın maksimum eğimi 1:8'dir. Yanaşma alanı su alanına doğru meyillidir. Yanaşma yeri hızlı bir biçimde yanaşma ve ayrılmayı sağlamak ve

yükleme/boşaltma sırasında geminin sadece çok küçük hareketlerine müsade etmek için bağlama sistemi dolfen ve usturmaça sistemleriyle donatılmalıdır. Usturmaçalar geminin hasar görmesini engelleyecek biçimde planlanmalıdır.

Feribot terminal binalarında;

- bilet satın alma,
- bekleme salonları,
- kafeterya ve/veya restoran, dükkanlar, güvenlik,
- bagaj odası, tuvalet, telefon, diğer yolcu hizmetleri,
- uygun aydınlatma ekipmanları,
- alarm tesisatı ve diğer iletişim ekipmanları

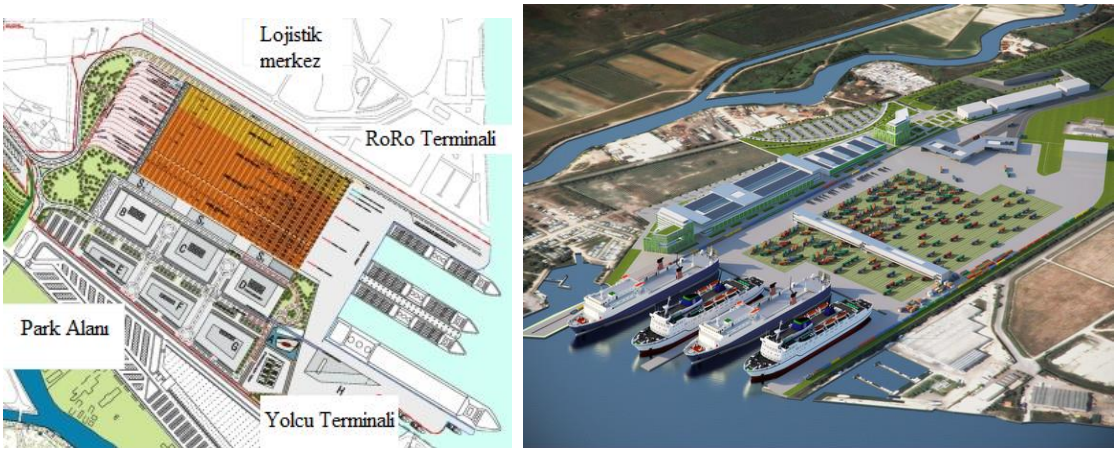
gibi yolcu hizmetleri için bir binaya ihtiyaç vardır (OCDI, 2009). Gemiye biniş ve inişler, araçların yükleme ve boşaltılmasından ayrılmalıdır, bu özellikle terminal binası ve araç arasında doğrudan bir köprü kurularak yapılabilir. Terminal planlaması, yolcu başına düşecek alan $1m^2$'den az olmayacak biçimde düşünülmelidir. Şekil 2.13'te örnek Ro-Ro terminal planı verilmiştir.

2.4.1 Yolcu İnme/Binme Tesislerinin Planlanması

Yolcuların inme/binmeleri için sabit ve hareketli tesisler planlanabilir. Bu tip tesisler elverişli ve güvenli işlevlere sahip olmalıdırlar. Yolcuları tehlikeye düşürecek nedenlere sahip olmamalıdır. Gemi hareketlerine ve rüzgar etkilerine karşı stabil olmalıdırlar.

- İnme/binme tesislerinin genişliği 75 cm ya da kullanım koşullarına göre daha fazla planlanmalıdır, ancak yaşlı ve özürlülerin kullanımı söz konusu olduğunda genişlik 1.2 m veya daha fazla olacak şekilde tercih edilmelidir.
- Rampa eğimleri % 12 ya da daha azdır, ancak yaşlı ve özürlülerin kullanımı söz konusu ise eğim % 8 ile % 5 arasında ya da daha az olacak biçimde planlanmalıdır.
- Geçiş yollarının her iki tarafında yan duvarlar ya da parmaklıklar ve onların üzerinde tutacakları olmalıdır, taban yüzeyleri kaymayan malzemeden yapılmalıdır.
- Parmaklıklar düşmeye karşı koruma sağlamakla birlikte yolcular için yeterince güvenli olmalıdırlar, bunun için parmaklık yüksekliği 1.1 m ya da daha fazla olmalıdır, ayrıca çocuklar ile tekerlekli sandalye kullananların güvenliği için çaprazlar ya da ağ gibi ilave önlemler planlanmalıdır.
- Merdiven basamak yükseklikleri güvenli olacak biçimde planlanmalıdır.
- Bu yolların planlanmasında tekerlekli sandalye kullananlar ve özürlü insanlar için yeterli tedbirler alınmalıdır.
- Üstü kapalı geçişlerin yükseklikleri 2.1 m ya da daha fazla olmalıdır.
- Geçiş yollarının uzunluğunun 60 m'den fazla olması durumunda acil çıkış kapıları planlanmalıdır, acil çıkış kapıları arasındaki mesafeler 60 m'den fazla olmamalıdır ve acil çıkışlara yönelten işaretlendirmeler konulmalıdır.
- Hareketli inme/binme tesisleri için müsade edilecek düşey mesafe için gel-git aralığı, su çekimindeki değişim, gemi hareketleri gibi tasarım kriterleri dikkate alınmalıdır.

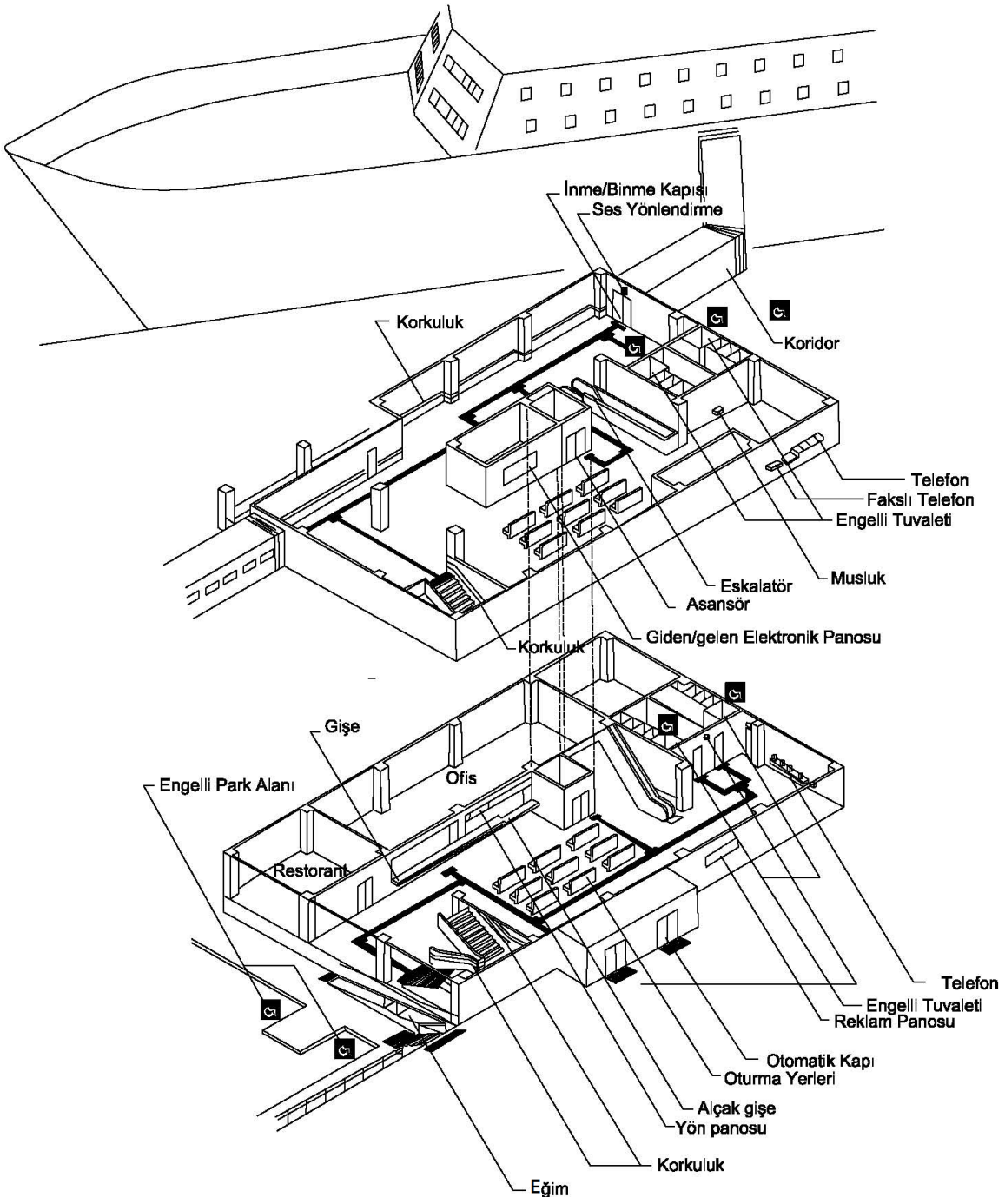
Örnek yolcu binası Şekil 2.14'te verilmiştir.



(a) Tipik Ro-Ro Terminali

(b) Kıçtan ve yandan kapak atmış Ro-Ro gemileri

Şekil 2.13 Örnek Ro-Ro terminali ve kapak atmış Ro-Ro gemisi



Şekil 2.14 Örnek yolcu binası

2.5 Sıvı Yük Terminalleri

Özellikle sıvı yük terminallerinin planlanmasında ulusal ve uluslararası standartlara uyulması söz konusudur. Bu konuda BS 6349, OCIMF 97, OCIMF/SIGTTO 95 ve PIANC (2014) gibi uluslararası standartlar mevcuttur. Bu tip terminaller tehlikeli yük elleçlemesi nedeniyle önemli yapı sınıfında değerlendirilmelidir.

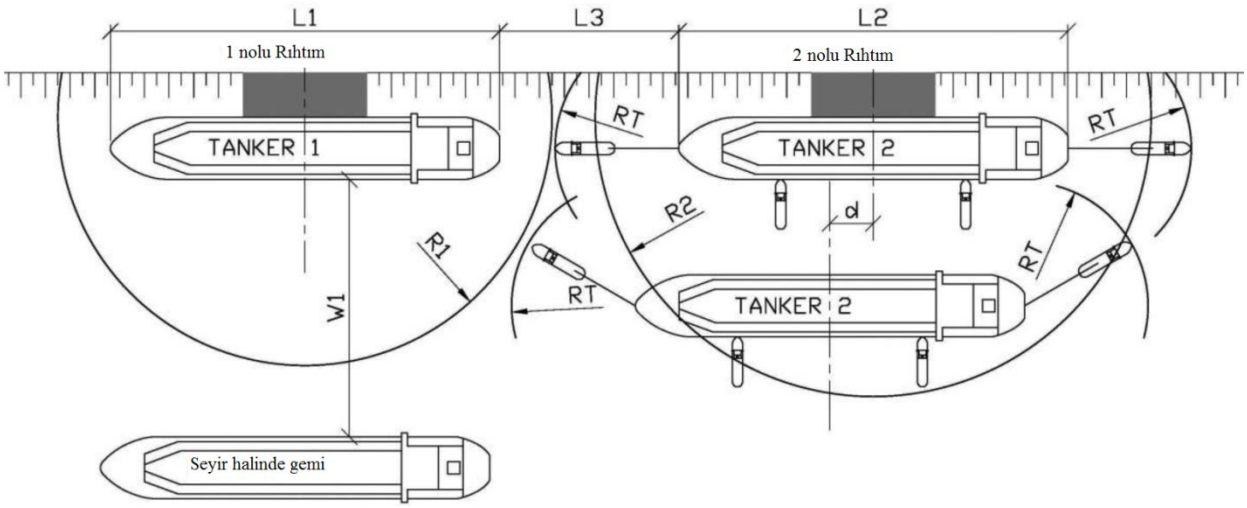
Planlama "emniyet yönetimi risk değerlendirme sistemi" dikkate alınarak yapılmalıdır. Bu nedenle öncelikle (PIANC, 2014);

- Terminal alanı topoğrafyası,
- Geoteknik koşullar,
- Sismik koşullar,
- Çevresel veriler (akıntı, gel-git, meteorolojik koşullar, rüzgar, dalga gibi),
- Trafik akışı, yük elleçlemesi,
- Terminal ekipmanları, VTS (gemi trafik sistemi), pilotaj, römorkör hizmetleri,
- Ulusal kural ve yöntemler,
- Öncelikler ve emniyet kuralları,
- Organizasyon yapısı

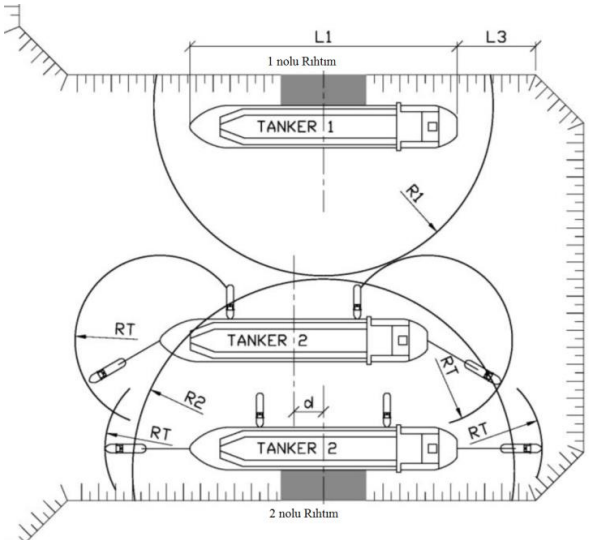
gibi verilerin toplanması ve değerlendirilmesi yapılmalıdır.

Tehlikeli yük taşıyan gemilerle ilgili olarak Bölüm C 1'de verilen su alanı planlamasına (ön boyutlandırmada) ilave olarak aşağıdaki kurallara uyulmalıdır (Şekil 2.15, 2.16 ve 2.17).

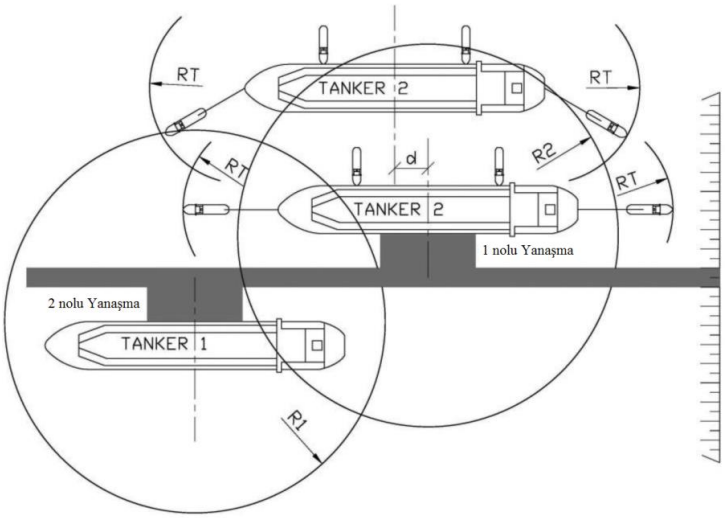
- Bağlı bir tankerle diğer bağlı gemi arasında en az 30 – 100 m mesafe olmalıdır,
- Bağlı LPG tankeri ile diğer bağlı gemi arasında 30 – 150 m mesafe olmalıdır,
- Bağlı LNG tankeri ile diğer bağlı gemi arasında 50 – 150 m mesafe olmalıdır,
- Manevra yapan bir tankerin, diğer bağlı tanker veya engellere göre minimum açıklık boyu doğrultusunda (L_3) 30 -100 m, gövdesi doğrultusunda (W_1) 100 – 300 m olmalıdır (Şekil 2.15),
- Gemiler arasındaki mesafe aynı zamanda hizmet veren römorkör tipine bağlıdır.
- Her tanker için dikkate alınması gereken emniyet alanı (R_1, R_2) yük tipine, risk yaratabilecek senaryolara, muhtemel gaz ya da petrol yayılma riskine, rüzgar, akıntı, dalga gibi çevresel koşullara bağlıdır. Tipik olarak bu güvenlik alanı; petrol için 30 m, LPG ve LNG için 200 – 300 m alınmaktadır.



Şekil 2.15 Boyuna bağlı tankerlerde seyir halinde gemi durumu (PIANC, 2014)



Şekil 2.16 Farklı rıhtımlarda gemi omurgaları arasında mesafe (PIANC, 2014)



Şekil 2.17 İskelenin her iki tarafına bağlı tanker hali (PIANC, 2014)

Sıvı dökme yükler; ham petrol, petrol ürünleri, kimyasal ürünler, sıvılaştırılmış gaz ve bitkisel yağlar gibi ürünlerden oluşur.

Petrol veya gazın önemli özelliği yanıcı ve patlayıcı olmalarıdır. Sonuç olarak bu ürünlerin taşıma, yükleme/boşaltma ve depolanmasında kesin olarak güvenlik önlemleri alınmalıdır. Tipik ortadoğu petrolünün rölatif yoğunluğu 0.85'tir. LNG için yoğunluk 0.45 ve 0.50 arasında ve LPG için ise 0.58-0.60 arasındadır.

Yükleme rıhtımlarında, ürünün boşaltılması gemideki pompalar ile yapılmaktadır. Eğer terminaller yeterli kotta ise ürün gemiye cazibe ile iletilmektedir

Terminallerin şekli, boyutları, yerleştirilmeleri ve düzenlenmeleri bu terminallerin fonksiyonları doğrultusunda belirlenmektedir. Bunlar;

- Taşıma ve depolama
- Rafineriden temin ve dağıtım
- Her iki durumun birlikte olması

Planlamada ürünlerin farklılıkları da dikkate alınmalıdır. Rafinerilere ait terminallerde miktar, ithal edilen ham petrolün orijini ve üretilen ürünlerin özellikleri dikkate alınır.

Petrol terminalleri aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır;

(i) Depolama alanlı konvansiyonel korunaklı liman yanaşma yeri genellikle bir iskele ve dolfenlerden veya çoklu şamandıra bağlantısından oluşmaktadır.

(ii) Açık deniz terminalleri Tek Nokta Bağlama (SPM) veya daha fazla şamandıra sistemi ile karadaki depoları bağlayan denizaltı boru hatlarından oluşmaktadır.

Yükün sıvı formda oluşu boru hatları ve bağlama şamandıraları ile açık denizde yükleme/boşaltmanın yapılabilmesini sağlayabilmektedir. Ham petrol ve petrol ürünleri durumunda yükleme/boşaltma, denizaltı boru hatları ve Tek Nokta Bağlama (SPM) ile yapılabilmektedir.

Yanaşma yapısının tipine bağlı olarak tavsiye edilen limit dalga yükseklikleri Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7 İskeleler ve SPM için dalga yüksekliği limitleri

	Soluğan olmadığı durumda yanaşma (m)	Soluğan olduğu durumda yanaşma (m)	Yükleme boşaltma sırasında (m)
İskele	1.5-2.0	1.0-1.5	2.0-3.0
SPM	2.0-3.0	2.0-3.0	4.0-6.0

Yanaşma Yapılarının Planlanması

Genellikle üç farklı yanaşma sistemi planlanır;

- Geminin baştan şamandıraya bağlanması, bu durumda gemi serbestçe şamandıranın etrafında dönebilmektedir.
- Geminin baştan ve kıçtan şamandıraya bağlanması ya da demir atmasıdır.
- Geminin sürekli (lineer ya da marjinal) yanaşma yerine baştan ve kıçtan bağlanması ve gemi ile yanaşma yeri arasına usturmaça sisteminin yerleştirilmesidir.

Her bir yanaşma yeri için sürekli rıhtım düzeni dikkate alındığında emniyet nedenlerinden dolayı, yanaşmış durumdaki iki gemi arasındaki minimum mesafe, en büyük geminin genişliğine (30 m'den az olmamalıdır) yaklaşık eşit olmalıdır. Sıvı yük gemilerinde bulunan manifold sistemi genellikle geminin tam ortasında bulunmadığından, gemi merkezinin 15 m kadar önünde bazen de 10 m arkasında olabileceği düşünülmelidir. Bu nedenle 2 ardışık yanaşma yerinde merkezden merkeze minimum mesafenin (en uzun geminin uzunluğu + 1x en büyük gemi genişliği + 2x 15 m) olarak alınması tavsiye edilmektedir.

Demirleme alanları ile ilgili olarak Tablo 2.8 ve Tablo 2.9'da verilen kriterlere uyulmalıdır. Şamandıralara bağlanma şekli Şekil 2.18'de verilmiştir (OCDI, 2009). Çoklu bağlanma Şekil 2.19'da gösterilmiştir.

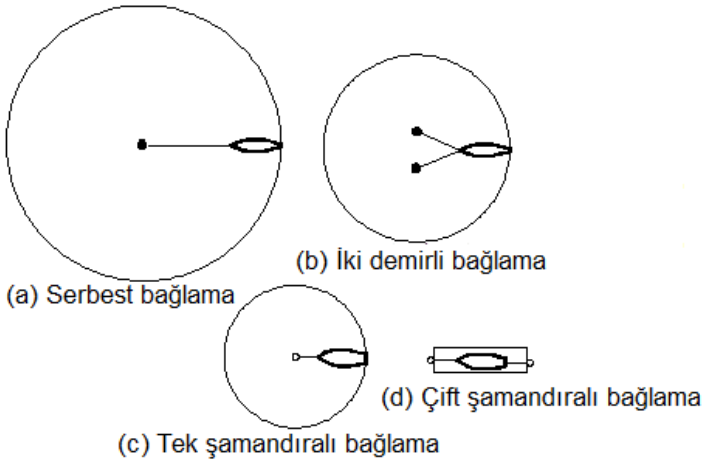
Tablo 2.8 Demirleme alanları (OCDI, 2009 ve Thoresen, 2003)

Basenin kullanım amacı	Demirleme yöntemi	Deniz tabanı veya rüzgar hızı	Yarıçap
Açık denizde bekleme veya yük elleçleme	Bir merkez etrafında dönebilecek biçimde tek demirlemeyle bağlanma	İyi demirleme	*L + 6d
		Kötü demirleme	L + 6d + 30 m
	Çift demirleme	İyi demirleme	L + 4.5d
		Kötü demirleme	L + 4.5d + 25 m
	Tek demirleme Thoresen, (2003)	20 m/s	L + 3d + 90 m
		30 m/s	L + 4d +145 m

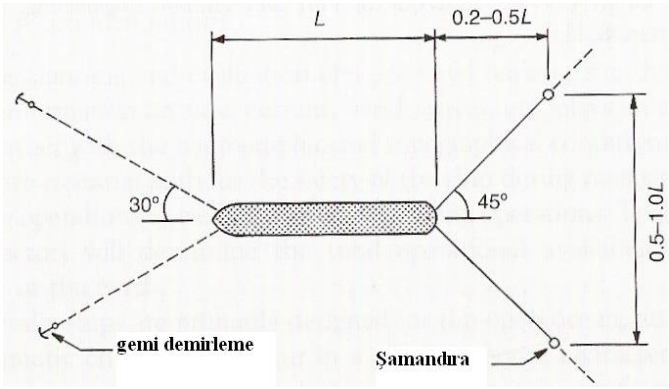
*L: Tasarım gemisinin boyu

Tablo 2.9 Şamandıra kullanılan basen alanları (OCDI, 2002)

Bağlanma yöntemi	Alan
Tek şamandıra	(L + 25 m) yarıçaplı daire alanı
Çift şamandıra	(L + 50 m)xL/2 boyutlarında dikdörtgen



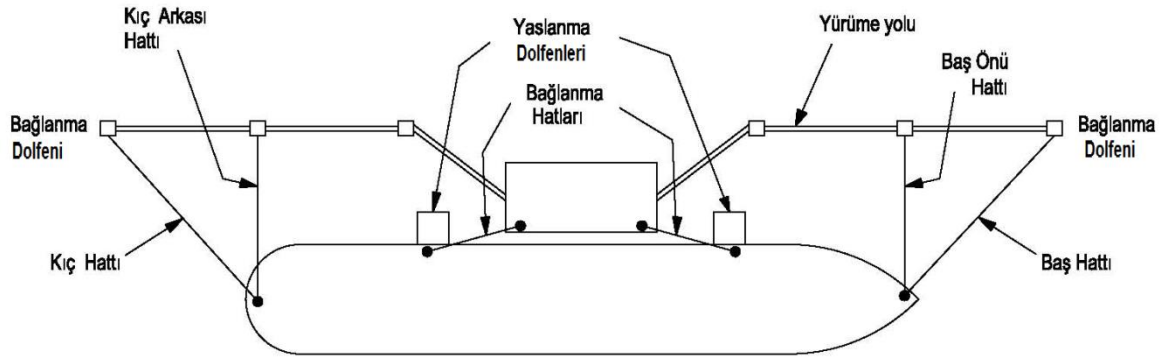
Şekil 2.18 Her bir gemi için şamandıralara bağlanma alanı için temel tasarım (OCDI, 2009)



Şekil 2.19 Çoklu bağlama (Thoresen, 2003)

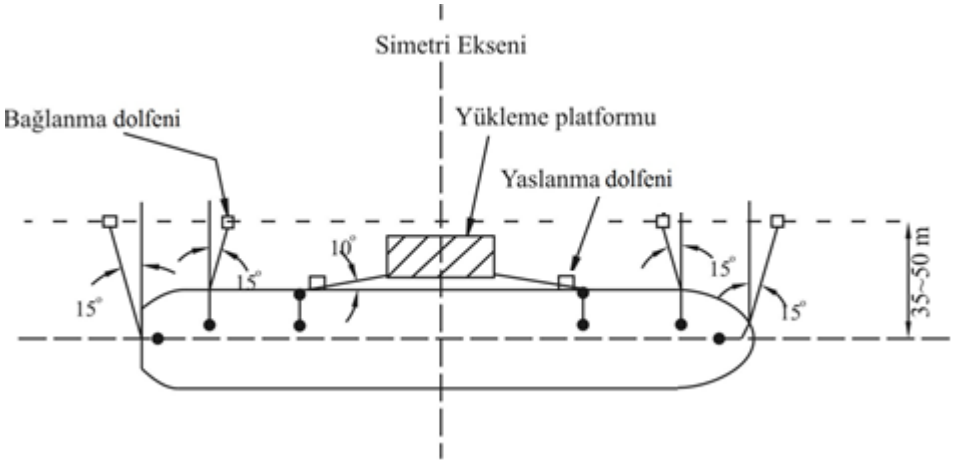
Gemilerin T-tipi iskeleye bağlanma şekilleri

Şekil 2.20'de bir geminin T tipi iskeleye bağlanma ve yaslanma dolfenlerine normal yanaşma durumu gösterilmiştir. Gemi bağlanma düzeni mümkün olduğunca simetrik olmalıdır. Normal bağlanmada halat geminin boyuna ekseni ile 45°'lik açı yapmaktadır. Gemi gövdesinden bağlanan halatlar ise boyuna eksen ile 10°'lik açı yapmaktadır. Gemiye göre daha düşük kotta bulunan bağlanma babaları düşeyde 25°'den daha fazla açı yapmayacak şekilde planlanmalıdır.



Şekil 2.20 T tipi iskelede bağlanma (BS 6349, 1994)

Şekil 2.21'de bir yükleme platformuna bağlanan tankerin yanaşma düzeni gösterilmiştir. Tankerin yanaşma yükleri yanaşma ve bağlanma hatları ile en iyi şekilde sönümlendirilmelidir.



Şekil 2.21 Yükleme platformuna bağlanan tankerin bağlanma düzeni (BS 6349, 1994)

Sıvı yük terminallerinde "emniyet ve güvenilebilirlik", "teknik" olduğu kadar "operasyonel emniyet ve güvenilebilirliği" içermektedir. Teknik emniyet ve güvenilebilirlik aşağıdaki gibi dikkate alınabilir.

- korunaklı yanaşma yeri
- liman baseninde çalkantı oluşmaması
- giriş kanalında ani kumlanma olmaması

Operasyonel emniyet ve güvenilebilirlik ise şunları içermektedir:

- fırtına sıklığı
- uzun süreli düşük su seviyesi
- düzenli görüş problemleri
- gece seyir sınırlamaları
- gel-git sınırlamaları
- iyi işleyen liman servislerinin mevcudiyeti
- römorkör hizmetinin varlığı vd.

Emniyet dikkate alındığında, terminal ve rafinerinin çevresinin tehlikelere karşı korunması gereklidir. LPG ve LNG'nin özelliğinden dolayı, dökülme sonucunda oluşan problemler petrol terminallerindekinden daha ciddi olabilmektedir, çünkü sıvı gaz daha çabuk buharlaşmaktadır. Böylece yangın tehlikesi doğabilir ve yüksek ısı yayılımı söz konusu olabilir. Bu nedenle bir terminal planlaması yapılırken, farklı güvenlik mesafeleri dikkate alınmak zorundadır.

Terminaldeki muhtemel bir sızıntı ve akma, ürünün patlamasına veya yanmasına neden olur. Buhar bulutları gelişebileceğinden belirli mesafeler dikkate alınmalıdır. Bu sınırlar içerisinde kontrolsuz ateşleme kaynakları olmamalıdır.

Terminalde ısı yayılarak insanlara fiziksel zarar verebileceği için, muhtemel ateş kaynaklarına belli mesafeler dikkate alınmalıdır.

Yine toksik ürünlerin üretilmesi veya kullanılması durumunda, muhtemel sızma veya akma olması belirli yoğunluktaki buhar bulutlarının oluşmasına ve insanlara fiziksel zarar vermesi söz konusu olacağından belirli mesafeler dikkate alınmalıdır.

2.6 Kuru Dökme Yük Terminalleri

Kuru dökme yükler aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır;

- Birinci derecede yük (major) : Demir cevheri, kömür, tahıl, fosfat vb.
- İkinci derecede yük (minor) : Şeker, pirinç, tuz, balık, alçı taşı, talaş, hindistan cevizi vb.

Bazı kuru yüklere ait özellikler Tablo 2.10'da verilmiştir.

Tablo 2.10 Kuru yük özellikleri

Yük	İstif faktörü (m^3/ton)	İçsel sürtünme açısı (°)
Kömür	1.08-1.39	30-45
Demir cevheri	0.33-0.47	30-50
Boksit	0.84-0.92	28-49
Alüminyum	0.70-0.84	35
Çimento	0.61-0.64	
Fosfat	0.92-0.98	30-35
Potas	0.94-1.04	32-35
Süper fosfat	0.84-1.00	30-40
Mısır	1.25-1.41	30-40
Çavdar	1.40	30
Buğday	1.18-1.34	25-30
Şeker	1.11-1.25	40
Soya fasulyesi	1.23-1.28	30

Kuru yük için yükleme ve boşaltma terminalleri hem yer, hem boyut hem de elleçleme sistemi açısından birbirlerinden çok farklı olabilir. Bu terminallerde konveyör bantlarının ayaklarının rıhtım boyunca uzanmaları yanaşma yerlerinin başka amaçla kullanılamamasına neden olmaktadır. Ayrıca oldukça ağır olan bu sistemler için geoteknik koşulların yeterli düzeyde olması sağlanmalıdır.

Kuru yük yanaşma yerleri genellikle yükleme ve boşaltma operasyonlarına bağlı olarak planlandıkları gibi birleşik bir sistemde oluşturulabilmektedir. Çünkü yükleme işlemi; sıvı yük terminallerine benzer biçimde tek bir noktada (T ya da L tipi platform gibi) bağlanarak gerçekleştirilebilir (Şekil 2.22). Ancak bu durum boşaltmada mümkün olmayabilir (kendi kendini boşaltma ekipmanına sahip olan gemiler hariç) çünkü yanaşma yeri üzerindeki vinçler yardımıyla elleçleme yapılmaktadır ve lineer (sürekli) bir yanaşma yerine ihtiyaç duyulur (Şekil 2.23).

Şekil 2.22 İskele platforma bağlı kuru yük elleçlemesi (yükleme)

Şekil 2.23 Lineer bir rıhtımda kuru yük elleçlemesi (boşaltma)

Terminalin depolama alanı ise yükün tipine bağlı olarak kapalı silolarda, sundurmalarda, havuzlarda ve açık havada yüksek kümeler şeklinde depolamaya müsait olmalıdır. Kuru dökme yük genellikle gevşek formda yüklenir, bu da rıhtımda ve terminalde taşıma teknolojisinin belirlenmesini sağlamaktadır.

Eğer hava şartları malzemenin kalitesini etkiliyorsa bu durumda kapalı depolama gereklidir. Kuru yük terminallerinde toz problemi söz konusudur ve çevrenin toza karşı korunmasını sağlayacak önlemler alınmalıdır (sprinkler sistemleri gibi). Bu nedenle bu tip terminallerde çevresel koşulların korunduğu bir planlama yapılmalıdır.

3.BALIKÇI LİMANLARI

3.1 Balıkçı Limanlarının Tipleri

Balıkçı limanları aşağıdaki esaslar dikkate alınarak planlanacaktır, ayrıca resmi gazetede yayınlanmış en son "Balıkçı Barınakları Yönetmeliği"nde verilen tanımlar da dikkate alınmalıdır. Bu yönetmeliğe göre; Balıkçı Gemisi; Tonajı ve tipi ne olursa olsun, denizlerde ve içsularda su ürünlerinin avlanmasında, üretim, yetiştirme ve istihsalinde, araştırmasında, naklinde ve işlenmesinde kullanılan motorlu ve motorsuz yüzer vasıtalar olarak tanımlanmıştır. Balıkçı Limanı ise Balıkçı Barınağı adı altında; Her türlü balıkçı gemilerine hizmet vermek maksadı ile mendireklerle korunmuş, yeterli havuz ve geri saha ile barınacak gemilerin manevra yapabilecekleri su alanı ve derinliğe sahip, yükleme, boşaltma, bağlama rıhtımları ile suyu, elektriği, ağ kurtarma sahası, satış yeri, idare binası, ön soğutma ve çekek yeri bulunan, büyüklüğüne ve sağladığı imkanlara göre balıkçı limanı, barınma yeri veya çekek yeri olarak adlandırılan kıyı yapıları olarak tanımlanmıştır.

Balıkçı limanları servis verdikleri amaçlara göre aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar;

i) Basit Yanaşma Yerleri

Sınırlanmış bir bölgede balıkçılara hizmet edilir, genellikle balıkçılık yapılan alan kısa mesafeler içinde kalmaktadır. Verimliliğin artırılabilmesi için, yanaşma yerleri rampa ve rıhtımlarla birlikte tutulan balıkların elleçlemesine yarayan basit hizmetlerle donatılmalıdır. Bakım ve onarım için bazı hizmet ve servislerin gelişmiş olması gerekir.

ii) Kıyı Balıkçı Limanları

Bunlar 20 m uzunluğa kadar küçük balıkçı tekneleri için barınak vazifesi görürler. Balıkçılık kısmen daha geniş bir alanda yapılır. Seyirler bir kaç günlük dönemleri kapsayabilir. Bu tekneler birinci tip yanaşma yerlerinde barınan teknelere göre daha fazla ekipman içerir. Bu nedenle korunmaları ve servis almaları gerekir.

iii) Açık Deniz Balıkçı Limanları

Bu limanlarda barınan teknelerin uzunlukları 25 m'den 40 m'ye çıkmaktadır. Balık avlama alanı bir kaç yüz mil uzaklığa kadar artmaktadır ve seyirler bir kaç günden bir kaç haftaya kadar uzamaktadır. Teknelerin güvertelerinde avlanma takımları, buz konteynerleri ve soğutma sistemleri ve diğer mekanik, elektronik ekipmanlar yerleştirilmiştir. Limanlar tamir, bakım ve destek servislerine sahiptirler.

iv) Uzak Deniz Balıkçı Limanları

Bu tip limanlar modern balıkçı teknelerine hizmet veren barınaklardır. Bu tekneler açık denizde uzun mesafelerde avlanmaya çıkmaktadırlar. Uzun deniz seyirlerinden sonra, limanda boşaltma ekipmanlarına ihtiyaç duyarlar. Bazen avlanmadan önce servis hizmeti verilir ve avlanma bölgesinde uzun süre kalabilmeleri için tekneler koruma sistemleri ile techiz edilir. Balıkların güverte üzerinde işlenebilmesi amacıyla derin dondurucu, konserveleme gibi donanımlar yerleştirilmiştir.

3.2 Yer Seçimi

Liman yerleşimi için potansiyel konumlar hidrolik, meteorolojik ve zemin araştırmalarını da içerecek biçimde geliştirilirler. Ön tasarım ve maliyet tahminleri çeşitli alternatiflerin karşılaştırılması yapılarak gerçekleştirilmelidir. Ekonomik analizde beklenen avlanma hacmi; balıkçı filosu, avlanma alanının uzaklığı ve balık pazarı göz önüne alınarak belirlenmelidir. Aynı zamanda çalışacak iş gücü de dikkate alınmalıdır. Gelecekteki gelişmeler dikkate alındığında, balıkçı teknelerinin özellikleri gözönüne alınarak liman içinde derinleştirme ile teknik ve ekonomik fizibil deniz ürününün sağlanabileceği bir yer seçimi yapılmalıdır.

3.3 Balıkçı Tekneleri

Balıkçı tekneleri, kullanılan avlanma takımlarına, yönteme, yakalanacak olan balık cinsine (yüzeye yakın hızlı hareket eden ve tabana yakın yavaş hareket eden) ve balık endüstrisi ile

ilgili yatırımlara bağlıdır. Avlanmayla ilişkili olarak teknelerin sayısı ve karakteristikleri balıkçı limanı tarafından temin edilen gerekli hizmetlere bağlıdır.

Balıkçı tekneleri dört kategoride tanımlanmıştır. ;

i) Küçük tekneler (30 GRT); Denizde bir gün kalmaktadırlar. Bu teknelerde soğutma ekipmanları yoktur.
ii) Orta ölçekteki tekneler (30-150 GRT); Denizde bir hafta kalmaktadırlar. Soğutma ekipmanları vardır.
iii) Derin deniz tekneleri (150 GRT'den büyük)**;** Soğutma ekipmanları (dondurucular) vardır. Denizde bir ay kalabilmektedirler. Bu tekneler 200 GRT'ye kadar çıkmaktadırlar.
iv) Endüstriyel tipte tekneler; Bu teknelerin tipik boyutları Tablo 3.1'de verilmiştir. Bir yılda balığa çıkma dönemi iklim koşullarına, balıkçılık yönetmeliklerine, yerel koşullara, tamir ve bakıma bağlıdır.

Yanaşma yeri kullanım oranları tekne boyutuna bağlı olarak 0.4 ile 0.7 arasında değişmektedir. Yanaşma yerleri elleçleme (boşaltma) ve bekleme rıhtım ve/veya iskeleleri olarak planlanmalıdır. Boşaltımda kullanılacak yanaşma yeri sayısı bu yanaşma yerinde herhangi bir anda serbestçe boşaltma yapabilmesi amacıyla toplam tekne sayısının %15'i dikkate alınarak belirlenebilir.

Tablo 3.1 Tipik tekne boyutları

Tekne kategorisi	Uzunluk (m)	Su çekimi (m)	Genişlik (m)
i_a	<7	<1.0	<3.5
i_b	7-10	1.0-1.5	3.5-4.0
ii	10-20	1.5-2.5	4.0-6.0
iii_a	20-30	2.5-3.5	6.0-7.0
iii_b	30-60	3.5-5.0	7.0-10.0
iv	60-170	5.0-8.5	10.0-24.0

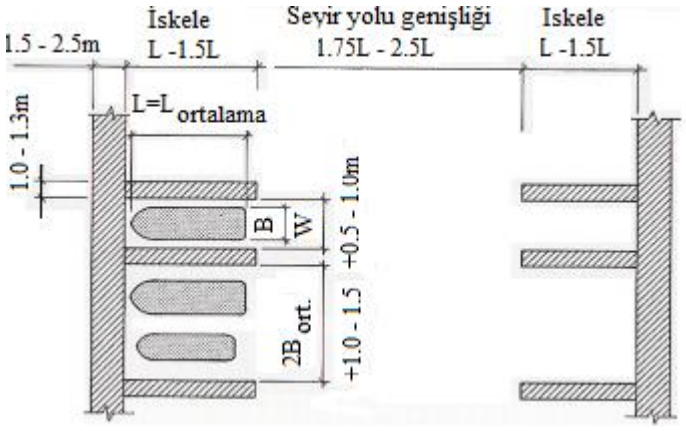
3.4 Planlama

3.4.1 Ulaşım Kanalı

Ulaşım kanalı ticari limanların su alanlarının (Bölüm 1.1) planlanmasında verilmiştir.

3.4.2 Basenler ve Yanaşma Yapıları

Basen Genişliği
Basen genişlikleri diğer tekneler rıhtımlara bağlı iken dahi, kolay manevranın yapılabileceği ve büyük teknelerin dönmelerini (römork yardımı olmaksızın) sağlayacak biçimde geniş olmalıdırlar. Tipik küçük teknelerin bağlandığı parmak iskeleli yanaşma ve basen boyutları Şekil 3.1'de görülmektedir, burada B tekne genişliği, W parmak iskele açıklığı, L tekne boyudur.



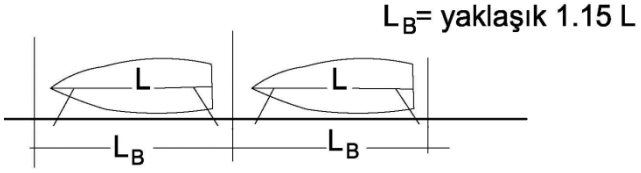
Şekil 3.1 Küçük tekneler için yanaşma boyutları

Rıhtımlarda Kabul Edilebilir Dalga Hareketleri

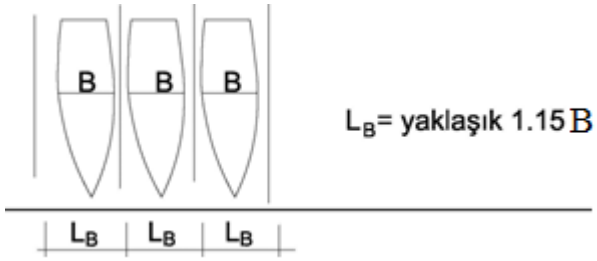
Yanaşma yerlerindeki kabul edilebilir dalga etkisi; Dalga yüksekliği, periyodu ve teknelerin dalgaya göre paralel ya da dik olarak yanaşmasına bağlıdır. Balıkçı limanlarında müsade edilecek en büyük dalga yüksekliği 30 cm'dir, bu amaçla Bölüm 4'te yat limanları için verilen Şekil 4.10(a) da kullanılabilir.

Yanaşma Düzenleri

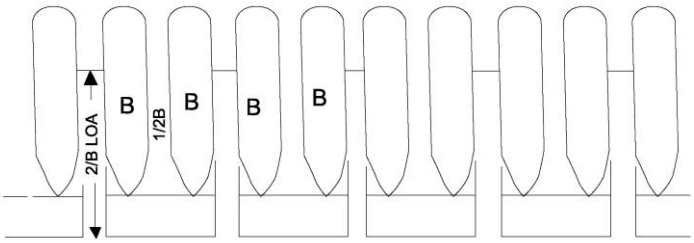
Bazı tipik yanaşma düzenleri Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Şekillerde L_B: Yanaşma yeri uzunluğu, L: Tekne boyu, B:Tekne genişliği dir.



Şekil 3.2 Paralel yanaşmada rıhtım uzunluğu



Şekil 3.3 Dik yanaşmada rıhtım uzunluğu



Şekil 3.4 Parmak iskeleli rıhtım uzunluğu

Yanaşma Yeri Uzunluğu

Balıkçı limanlarında yanaşma yeri uzunluğu belirlenirken boşaltma ve bekleme yapılan yanaşma yeri planlaması yapılır. Boşaltma işlemi yapıldıktan sonra tekneler bekleme amaçlı yanaşma yerine bağlanırlar. Bekleme amaçlı yanaşma yerinde birden fazla tekne yan yana bağlanabilir. Bu durumda altıya kadar tekne yanyana bağlanabilmektedir. Böylece yanaşma yeri uzunluğu azaltılabilmektedir. Yanaşma yeri uzunluğu ve kara alanının planlaması yapılırken "talep tahmini" çalışması yapılarak raporlanmalıdır böylece limanı kullanacak tekne sayısı, tipi ve av hacmi belirlenecektir. Talep tahmin çalışması sonuçları gerekli tasarım girdisi olarak planlama çalışmasında dikkate alınmalıdır (bkz. Yüksel ve Çevik, 2010).

Boşaltma için istenen yanaşma yeri uzunluğu aşağıdaki faktörlere bağlı olarak belirlenecektir.

- Limanda konaklayacak tekne sayısı,
- Yanaşma için bir tekneye gerekli olan rıhtım uzunluğu ve yanaşma şekli,
- Boşaltma için harcanan zaman, konaklama ve denizde kalma süresi,
- Balık mevsimi ve pik dönemler,
- Yerli teknelerin dışındaki teknelerin limanı kullanması,
- Liman içindeki teknelerin bir araya gelmesi.

3.4.3 Apron

Boşaltma rıhtımlarının genişliğini belirlemek için göz önüne alınacak faktörler aşağıda verilmiştir;

- Balıklar mümkün olduğunca en az yağmur ve güneş ışığının etkisi altında kalmalıdır.
- Operasyon mekanik olarak yapılıyorsa, servis kamyonları bu operasyonlara engel olmamalıdır.
- Forklift veya kamyon gibi hareketli taşıma ekipmanları kullanıldığında, dönme ve geçme için uygun alanlar bırakılmalıdır.
- Genelde taşıma rıhtıma dik ise, istenilen genişlik paralel taşımacılıktan daha az olabilecektir.

Ön tasarımda rıhtım apron genişliği için aşağıda verilen değerler kullanılabilir;

- El ile yapılan operasyonlar için (gemi vinç yardımı var veya yok) 1.5 m - 4 m,
- Kıyıya yerleştirilmiş kreyn ve konveyörler veya raylı sistemlerle operasyon için 4 m - 8 m,
- Forklift ve/veya kamyon ile operasyon için 8 m - 20 m.

3.4.4 Tekne Bakım ve Onarımı

Tekne tamir ve bakımı için bir konvansiyonel kızak veya basit kaldırma ekipmanı olmalıdır. Bakım ve onarım hizmetlerinin kapasitesi bir yılda gemi başına 5 -15 gün olarak tespit edilir. Bu hizmetin etkinliğine ve iş gücüne bağlıdır.

3.4.5 Binalar ve Diğer Hizmetler

Hizmet alanlarının ön boyutlandırılması için aşağıdaki değerler kullanılabilir;

- Yıkama ve ayırma 15-30 ton/m^2/yıl
- Sergileme ve satma 1-15 ton/m^2/yıl
- Tartma ve düzenleme 7-15 ton/m^2/yıl
- Soğuk depolama 2-3 gün kapasiteli
- Paketleme 6-12 ton/m^2/yıl
- Geçiş koridorları 8-16 ton/m^2/yıl
- Yardımcı hizmetler zemin katta tüm binanın %15-20'si kadar alan

Planlamada dikkate alınabilecek hizmet binaları aşağıdaki gibidir;

- Market binası veya sundurması
- Buz fabrikası
- Soğuk hava deposu
- Ofisler, kantin ve bekleme salonları
- Diğer hizmetler
  - Tamir
  - Yangın savunma
  - Destek hizmet depoları
  - Yakıt istasyonu
  - Av malzeme sundurması (bakım ve tamir)
  - Atık ve atık su arıtma
  - Drenaj
  - Yol ve park alanları

4. YAT LİMANLARI

4.1 Genel

Yat limanları (marinalar) yatçıların teknelerini barındırabildikleri, yakıt gıda ve içme suyu gibi temel ihtiyaçlarını temin ettikleri yerlerdir. Yatçılık çok sayıda disiplini içermektedir. Yat limanı planlamasına başlamadan önce bu disiplinlerle ilgili çalışmalar yapılmalıdır. Teknelerin konaklamaları, seyirleri sırasındaki ihtiyaçları için gerekli servislerin verilmesi gerekmektedir. Yat limanlarının planlanmasında önerilen diğer uluslararası standartlar ASCE (2012), PIANC (2013; no 134 ve 2013; no 132) dir.

24/07/2009 tarih ve 27298 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Deniz Turizmi Yönetmeliği yat limanlarını kapsayan aşağıdaki tanımı vermiştir;

Deniz turizmi tesisleri; deniz araçlarına seyir, manevra, yanaşma, bağlanma, barınma, karaya çekilme hizmetleri sunan ve bu hizmetleri ilgili mevzuat hükümleri uyarınca yeterli emniyet düzeyini sağlayacak şekilde fiziki özelliklere göre tasarlanmış alt yapıya sahip ve tesisten beklenen turizm hizmetinin en iyi biçimde verilmesini sağlayacak nitelikleri taşıyan, gerekli donanım, tesisat ve üst yapı ile yeterli kara, deniz alanı ve kara ulaşım bağlantılarına sahip alanlarda kurulur. Yatların bağlanabilecekleri ve yatçıların yatlarından yürüyerek çıkabilmelerine olanak sağlayan iskelelere, dinlenme, konaklama ve alışveriş gibi sosyal tesisler ile yatlara bakım, onarım, karaya çekme ve teknik hizmet sunan birimlere sahip deniz turizmi tesisleridir.

Yat limanları; üç çıpalı, dört çıpalı ve beş çıpalı yat limanları olarak üçe ayrılırlar.

1) **Üç çıpalı yat limanları**: Üç çıpalı yat limanları aşağıda verilen altyapı ve üstyapı koşullarını sağlayacak niteliklere sahip olmalıdır.

Altyapı nitelikleri:

a) Deniz araçlarının düzenli ve emniyetli bir şekilde yanaşabileceği ve bağlanabileceği, işletme niteliğine uygun rıhtım ve iskeleler,
b) Denizcilik mevzuatına uygun denizden emniyetli yaklaşma ve girişi sağlayacak fenerler ve her türlü işaretler,
c) Deniz turizmi tesislerinin tüm üniteleri ile çevre, iskele, rıhtım dahil sahanın sağlıklı ve emniyetli aydınlatılmasını sağlayan sistem ve jeneratör,
ç) Tesis kapasitesi ile orantılı temiz su deposu, araç bağlama yerlerine de hizmet veren sağlığa uygun, kullanma suyu ve devamlı sıcak su hizmeti sağlayan tesisat,
d) Tesisin tüm sahası içinde yangın ihbar ve ikaz sistemleri ile yangın istasyonu ve yangın söndürme cihazlarından oluşan yangın önleme istasyonları,
e) Atık kabul lisans belgesi olmayan tesislerde, sintine suyu, slaç, atık yağ, çöp ve pis su gibi katı ve sıvı atıkların 2872 sayılı Çevre Kanunu ve ilgili yönetmeliklerine uygun şekilde bertarafı, hizmete uygun kapalı depolama ve arıtma tesisatı,
f) Kara park sahası, iskele, rıhtım ve yüzen iskeleler üzerinde, uygun mesafelere konan, deniz turizmi araçlarının içme ve kullanma suyu, televizyon, telefon ve elektrik ihtiyacını karşılayan deniz araçlarına doğrudan hizmet sağlayan kutular,
g) Bedensel engellilere de hizmet verecek şekilde bağlama kapasitesinin %10'u kadar otopark,
ğ) Dahili ve harici telefon, faks, post cihazı, data, internet, haberleşme sistemleri, denizde seyreden araçlar ile haberleşme ve arama kurtarma için uygun frekanslarda çalışabilecek çok kanallı VHF bantlarına haiz telsiz alıcı verici cihazları,
h) Bağlama yerlerine de hizmet verecek şekilde düzenlenen ambulans, itfaiye araçları, çöp kamyonu ve genel araçların geçmesine uygun tesis içi araç yolları,
ı) Gürültü azaltılmasına ilişkin yapı ve sistem.

Üstyapı nitelikleri:

a) Deniz turizmi tesislerine emniyetli ve kontrollü giriş sistemi,
b) Ön büro ve yönetim ünitesi,
c) Dinlenme ihtiyaçlarının karşılandığı bir salon,
ç) Yeme, içme ünitesi,

d) Kadın ve erkekler için yeterli sayıda duş ve tuvalet,
e) Gümrüklü veya gümrüksüz satış ünitesi,
f) İlk yardım malzeme ve gereçleri bulunan dolap,
g) Deniz turizmi tesisi ve deniz turizmi araçlarında çalışan personel için yeme, içme, duş, tuvalet ve dinlenme yeri,
ğ) Akaryakıt ikmal imkânı veren sistem veya ünite,
h) Deniz araçları için emanet ve malzeme depoları,
ı) Spor tesisleri,
i) Limana emniyetli giriş ve çıkışları sağlayan ve kılavuzluk hizmeti verebilen palamar botu,
j) Denizden yangına ilk müdahaleyi yapabilen yangın söndürme botu veya yangın söndürme sistemi,
k) Bakanlar Kurulu kararı ile deniz hudut kapısı olarak belirlenen deniz turizmi tesislerinde, hudut giriş ve çıkış işlemlerini yapmaya yetkili kamu birimleri için kamu hizmet binası.

Bu niteliklere ek olarak üç çıpalı yat limanlarının aşağıda verilen nitelikleri de taşıması gerekir.

1) Satış üniteleri,
2) Kadın ve erkek yatçılar için bağlama kapasitesinin en az % 5'i kadar duş ve tuvalet,
3) Çamaşır ve bulaşık yıkama yerleri,
4) Yatçıların dinlenmelerini ve bir arada bulunmalarını sağlayan sosyal tesis,
5) Bedensel engelliler için tuvalet ve özel düzenlemeler.

2) **Dört çıpalı yat limanları**: Üç çıpalı yat limanları için aranan şartların yanısıra aşağıda belirtilen nitelikleri taşır:

a) Lokanta veya kafeterya,
b) Kadın ve erkek yatçılar için bağlama kapasitesinin en az %10'u kadar duş ve tuvalet,
c) Kuru temizleme hizmeti,
ç) Yat çekek alanı ve vinç sistemleri,
d) Bakım onarım hizmeti,
e) Yatçı eşya depoları,
f) Bağlama kapasitesinin en az %20'si kadar otopark alanı veya otopark hizmeti,
g) Tenis kortu,
h) Yüzme havuzu veya plaj yeri,
l) Aletli jimnastik, masaj, sauna, hamam imkânlarının sağlandığı üniteler.

3) **Beş çıpalı yat limanları**: Dört çıpalı yat limanları için aranan şartların yanısıra aşağıda belirtilen nitelikleri taşır:

a) Helikopter pisti,
b) Banka hizmetleri ünitesi,
c) Revir,
ç) Sergi, konser, eğlence mekânları,
d) Toplantı salonu,
e) En az iki tenis kortu,
f) Bağlama kapasitesinin en az %30'u kadar otopark.

Temel Planlama Kriterleri:
Yat Limanı yapılması amacıyla seçilecek kuruluş yerlerinin;

a) Hakim dalgalara açık olmaması ve güçlü yerel akıntıların etkilerinden korunmuş olması,
b) Bölgedeki diğer yat limanları ile ulaşım bağlantısını sağlayacak bir konumda olması,
c) Yakın yerleşim merkezi ile karayolu bağlantısı bulunması,
d) Elektrik, tatlı su ve haberleşme imkanlarının bulunması,
e) Denizdeki alan kadar, kara alanının sağlanması,
f) Limanın su alanı içinde ve liman içi seyir yollarında, batık, sığlık, topuk vb. engellerin bulunmaması
g) Liman içine yönelik atık su ve drenaj suyu deşarjı olmaması

gibi koşullar aranır.

Rol ve İşlev

Yat limanlarının bölgesel ekonomi üzerinde etkin bir rolü vardır. Yatlar kendi yataklarını taşıyan bir çeşit lüks ve yüzen otellerdir. Konaklama, bakım ve onarım harcamaları ülke ekonomisine gelir kaynağı yaratmaktadır. Yatçılık yapan kişiler gelir düzeyleri yüksek olduklarından diğer turistlere göre daha fazla gelir bırakmaktadırlar. Bunların yanı sıra alt yapı hizmetleri, inşaat sanayi, catering hizmetleri, idari işlemler, personel alt yapısı gibi boyutları ile istihdamı artırmaktadırlar.

Yat limanlarının fonksiyonları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Ulaşım fonksiyonu
- Hizmet fonksiyonu: Her türlü eğlence, spor, sağlık, iletişim ve diğer ihtiyaçlar

Yat limanlarının en önemli işlevlerinden biri de ülkenin tanıtımıdır. Yatçıların sadece kıyı bölgelerini tanımaları değil aynı zamanda o bölgede yaşayan insanları, onların kültürlerini ve bölgenin tarihini tanıma fırsatları da doğmaktadır.

Yat limanlarının yer seçiminde mümkün olduğunca yatçılara cazip güzergahların sağlanacağı konumların seçilmesine gayret edilmelidir, bunlar doğal güzellikler ya da tarihi alanlar olabilir. Ancak kıyı alanları, planlanacak yat limanları ile uyumlu olmalı ve doğa bu yatırımın baskısı altında kalmamalıdır.

Son yıllarda yat limanları salt tekne barınakları ve park yerleri olmaktan çıkmış, pek çok ticari faaliyetin de geri planda yer aldığı işletmelere dönüşmüştür. Bu yaklaşımın sonucunda yeni yat limanları, büyük arazi geliştirme projelerinin kapsamında yer almaya başlamış ve genelde geri sahadaki faaliyetlerin çeşitliliği ile anılır olmuşlardır. Bugün itibariyle yat limanları konaklama, spor, alışveriş ve çok çeşitli eğlence imkanları da içeren tesislere dönüşmüştür.

Yat limanları kara sahası planlamasında, bu birden fazla ilgi grubunun etkileşimlerinin düşünülmesi, doğru ve yeterli bir alansal planlama yapılması oldukça önemlidir. Bu nedenle, yat liman tasarımının çok disiplinli bir çalışma ekibi gerektirdiği göz önünde bulundurulmalıdır.

Yine bununla ilintili olarak, yat limanının bir kamu (Belediye, vb) ya da özel sektör yatırımı olmasına göre de rol, işlev ve hedef kitlesi farklılıklar gösterebilir. Yatırım sahibinin tanımladığı rol ve işlevlere bağlı olarak yat limanı planlamaları da farklılıklar içerecektir (daha büyük çekek alanı, süper yat baseni talebi gibi).

Limanın büyük bir kentin merkezinde yer alan şehir marinası olması ile daha küçük bir beldede seyir güzergahı üzerinde yer almasına göre de liman içi planlanmasında farklılıklar olabilir.

Şartnamenin bu bölümünde genel olarak iyi bir yat limanı tasarımı için genel prensipler tanımlanmıştır ancak limanın rol, işlev ve özellikleri gözetilerek bu kriterler detay projelendirme aşamasında geliştirilmelidir.

Yat ve Gezinti Tekneleri Sınıflandırmaları

Yat ve gezinti tekneleri istatistiklerinde çok çeşitli sınıflandırmalar mevcuttur. Tekne büyüklüğü inşa malzemesi, sevk sistemi sınıflandırmalara temel teşkil etmektedir. İnşa malzemesine göre sınıflandırma:

a) Çelik tekneler
b) Alüminyum tekneler
c) Ahşap tekneler
d) Kompozit malzemeli tekneler
e) Beton tekneler
f) Plastik tekneler
g) Diğer malzemeler

şeklinde yapılabilir. Yat ve gezinti teknelerinin özelliği her bir malzeme çeşidinin değişik amaçlı ve büyüklükteki teknelerde tercih edilmesidir.

Sevk sistemine göre ve yerleştirmeye göre sınıflandırmada en çok rastlanan yat ve gezinti tekneleri sınıflandırma kategorileri aşağıdaki gibidir:

a) Yelkenli tekneler: Yelkenli tekneler yardımcı motorlarının olup/olmamasına ve tekne boyuna göre sınıflara ayrılmaktadır. Sınıflandırmada genelde kullanılan büyüklükler:
   1. 2.5-7.5 m arası tekneler
   2. 7.5-12 m arası tekneler
   3. 12-24 m arası tekneler
   4. 24 metreden büyük tekneler
b) Dıştan takmalı motorlara sahip gezinti tekneleri: Dıştan takma motorlu tekneler motoru ve pervanesi bir bütün olarak takılıp çıkarılabilen teknelerdir. Çeşitli sınıflandırmalar bulunmasına rağmen en çok kullanılan sınıflandırmalar tekne boyutuna göre yapılmaktadır.
   1. 2.5-7.5 m arası tekneler
   2. 7.5-12 m arası tekneler
   3. 12-24 m arası tekneler
   4. 24 metreden büyük tekneler
c) İçten takma motorlara sahip tekneler: Motorları ve dişli sistemleri tekne içine monte edilmiş pervanelerine ait şaft sistemi ile güç aktaran teknelerdir. Rastlanılan sınıflandırma şu şekildedir:
   1. 2.5-7.5 m arası tekneler
   2. 7.5-12 m arası tekneler
   3. 12-24 m arası tekneler
   4. 24 metreden büyük tekneler
d) Kıçtan takma motorlara sahip tekneler: Genelde içten takmalı motorlarla beraber değerlendirilen, motoru içten takma olup dişli sistemi pervane ile beraber hareket edebilen sevk sistemine sahip teknelerdir.
e) Kanolar ve kürekle sevkli tekneler: Kendi sevk sistemleri olmayan, kürekle sevk edilen teknelerdir.
f) Şişirilebilir tekneler: Hava ile şişirildiğinde yüzebilirlik sağlayan genelde kauçuk esaslı tekne tipi olup, şişirilebilen tekneler altı gruba ayrılabilir:
   1. Spor: Günlük deniz kenarında kullanılan can kurtarma veya profesyonel kullanıma açık olmayan şişirilebilir tekneler,
   2. Yumuşak dipli: Yat erişim botu veya balıkçılık amacıyla kullanılan esnek dip yapısına sahip şişirilebilir tekneler,
   3. Takılabilen rijit dipli: Yumuşak dipli şişirilebilir teknelerle benzer amaçlı ancak dip yapısının rijitliğini sağlamak için ahşap veya alüminyum takılabilen dip yapılı tekneler,
   4. Set dipli: V kesitli dibe sahip olan genelde kompozit dip yapısı olan yan bordaları şişirilebilen tekneler,
   5. Spor tünel: Katamaran veya tünel bot şeklinde tasarlanmış su sporları için kullanılan şişirilebilir tekneler,
   6. Can salı: Can kurtarma amaçlı gemi kullanımındaki sallar.
g) Jet Skiler: Genelde kişisel amaçlı su jeti ile tahrikli su araçları
h) Mega yatlar: 24 - 36 metre arası boya sahip yatlar
i) Süper yatlar: 36 metreden uzun boya sahip tekneler mega yat olarak sınıflandırılır. Süper ve Mega yat arasında net bir ayrım yoktur ve her iki tip aynı adla anılabilmektedir.

Aşağıda bir liman planlamasında asgari sağlanması gereken planlama ve tasarım adımları sıralanmıştır.

1-Planlamanın yapılacağı kara ve deniz alanlarındaki zemin özelliklerini yansıtacak sayıda sondaj yapılarak geoteknik etütlerin gerçekleştirilmesi,

2-Planlama alanında topoğrafik ve batimetrik çalışmaların standartlara uygun olarak yapılması,

3-Deniz alanında yan taramalı sonar, sismik ve oşinografik yapıyı tanımlayacak akıntı ölçümlerinin yapılması,

4-Proje alanını yansıtacak en az on yıllık ölçülmüş saatlik rüzgar verileri ile yağış durumu, sisli günlerin sayısı, hava sıcaklığı gibi meteorolojik verilerin temini, ayrıca varsa proje

alanı üzerindeki modellenmiş rüzgar ve/veya basınç alanı ve varsa diğer rüzgar iklim verilerinin temini,

5-Deniz tabanı ve kıyı alanına ait yüzeyden 5 cm kalınlıkta koordinatları belirlenmiş en az 8 ayrı konumdan katı madde numunesi temini, bu numunelerin ayrı ayrı granülometrik gerekli ise hidrometrik testleri, böylece taban malzemesi özelliklerinin belirlenmesi ve sediment dağılım haritasının yapılması, kıyı çizgisi ve geri alanınında katı madde özellikleri ile morfolojik özelliklerinin belirlenmesi,

6-Talep tahmin analizlerinin yapılması, ülke genelinde ve proje bölgesini tanımlayacak yat istatistiği dikkate alınarak verilerin temin edilmesi, tekne tip ve yüzdeleri belirlenmesi. Yat limanı kapasitesi belirlenmesi. Fizibilite çalışması yapılması,

7-Bölgenin jeolojik, jeomorfolojik, depremsellik özellikleri ile nüfus, doğal yapı, tarihsel yapı, sosyo-ekonomik yapı, arazi mülkiyeti ve arazi kullanımı (milli parklar, tabiat alanları, yaban hayatı yaşam ortamı, orman alanı, tarım alanı, tarımsal kalkınma alanı, sulak alanlar, ekolojik açıdan hassas alanlar gibi) ve ulaşım özelliklerinin raporlanması,

8-Planlama bölgesinde denizin taşıma kapasitesi, bölgedeki su sirkülasyonu ve canlı-cansız yaşamlar birlikte düşünülerek raporlanması,

9-Yukardaki verilerin teminleri ile birlikte "Kıyı ve Liman Yapıları Deprem Teknik Yönetmeliği"nde belirtilen tasarım kriterleri de değerlendirilerek yer seçimi yapılmalıdır. Yer seçiminde kıyı alanındaki morfolojik yapı ve çevresel değerlerin titizlikle değerlendirilmelidir,

10-Rüzgar ve dalga istatistiği ve iklim çalışmasının detaylı olarak yapılması, su seviyesi ölçümlerinin yapılarak değerlendirilmesi, rüzgar ve dalga iklim çalışmaları

- ulaşım kanalı ve yanaşma yapılarının planlanması,
- dalgakıran tasarımı,
- deniz tarafından dalga aşmasının belirlenmesi,
- gemi, yapı ve vinçlere gelen yüklerin belirlenmesi,
- liman içi çalkantının belirlenmesi, operasyonun durduğu sürelerin belirlenmesi,
- drenaj sistemlerinin boyutlandırılması,

gibi amaçlarda kullanılarak performansa dayalı hesaplamalar yapılmalıdır.

11-Deniz alanında hidrodinamik yapının (akıntı yapısının) analizi,

12-Yanaşma yapılarının tipinin belirlenmesi, planlanması ve su alanının planlanması,

13-Liman içi çalkantı, kumlanma, planlamanın kıyı morfolojisine etkisini gösteren hesaplamaların yapılması, liman yapılarının kıyı alanının morfolojik yapısına etkisinin belirlenmesi ve etkilerinin minimuma indirilmesi için gerekli projelendirme çalışmalarının yapılması, bu amaçla sayısal modelleme çalışmalarının yapılması,

14-Liman yapılarının tasarımı,

15-Kara alanının planlanması (terminal planlaması),

16-Çevresel, emniyet, geri alan ulaşım gibi planlamaların yapılması,

17-Elleçleme ekipmanların seçimi, stratejik planların yapılması,

18-Seyir kontrolunu sağlayacak planlamanın yapılması,

şeklinde sıralanır.

4.2 Tekne Tipleri ve Boyutları

Tekneler boylarına ve yelkenli olup olmadıklarına göre sınıflandırılmaktadırlar. Bu sınıflandırmaya göre Tablo 4.1, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te tipik tekne boyutları tanımlanmıştır. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de yatlar için genişlik, su çekimi ve uzunluk arasındaki ilişki verilmektedir.

Tablo 4.1 Teknelerin tipik tasarım parametreleri

Uzunluk (m)	Su çekimi (D) (m)		Genişlik (B) (m)	
	Motorlu	Yelkenli	Motorlu	Yelkenli
0-5	0.80	1.40	2.20	1.80
5-9	1.00	2.00	3.60	3.00
9-12	1.20	2.40	4.10	3.40
12-15	1.04	2.08	4.80	3.90
15-20	1.66	3.40	5.30	4.40

Tablo 4.2 PIANC (1995) tarafından teknelerin sınıflandırılması

Sınıf	LOA (m)	Alt Sınıflar
I	LOA<5	Motorlu tekne/yelkenli, Motor/yelkenli
II	5<LOA<8	Yaşam mahalli tekne, Yaşam mahalsiz tekne Yaşam mahalli- yelkenli, Yaşam mahalsiz-yelkenli Yaşam mahalli/motor/yelken, Yaşam mahalsiz/ motor/yelken
III	8<LOA<15	Motorlu tekne, Yelkenli, Motor/yelken
IV	LOA>15	Motorlu tekne, Yelkenli, Motor/yelken

4.3 Ulaşım Kanalı ve Liman Girişi

Yerleşim planı hazırlanırken ulaşım kanalı rüzgar, dalga etkisi ve kumlanmaya karşı yeterince korunaklı biçimde tasarlanmalıdır. Bu tasarımda ulaşım kanalını aynı anda kullanacak olan tekne sayıları ve genişlikleri dikkate alınmalıdır.

Limana giren ve çıkan tekne trafiğinin istisnai şartlar altında bile (sis, karanlık, rüzgar gibi) emniyetli olması için ulaşım kanalı belirli bir minimum genişliğe sahip olmalıdır. Her ne kadar liman girişi boyutlarında ulaşım kanalı boyutları belirleyici olsa da normal şartlar altında liman girişinin genişliği (B) limanı kullanan en büyük tekne genişliğinin 5 katı civarında ya da L+2 metre (burada L limandaki en uzun tekne boyu) olmalıdır eğer bu değer 30 m'den küçükse minimum genişlik 30 m alınmalıdır. Bu durum, ancak teknelerin düşük hızla seyir yapmaları halinde yeterlidir.

Ön planlama için ulaşım kanalının (Şekil 4.3) manevraya müsaade edecek kadar geniş olması gerekmektedir. Bu amaçla, ulaşım kanalı genişliği (W), 2.5L olarak alınmaktadır. Eğer girişte tekneler birbirlerini sıklıkla geçen trafik söz konusu olacaksa ilave genişlik gerekmektedir.

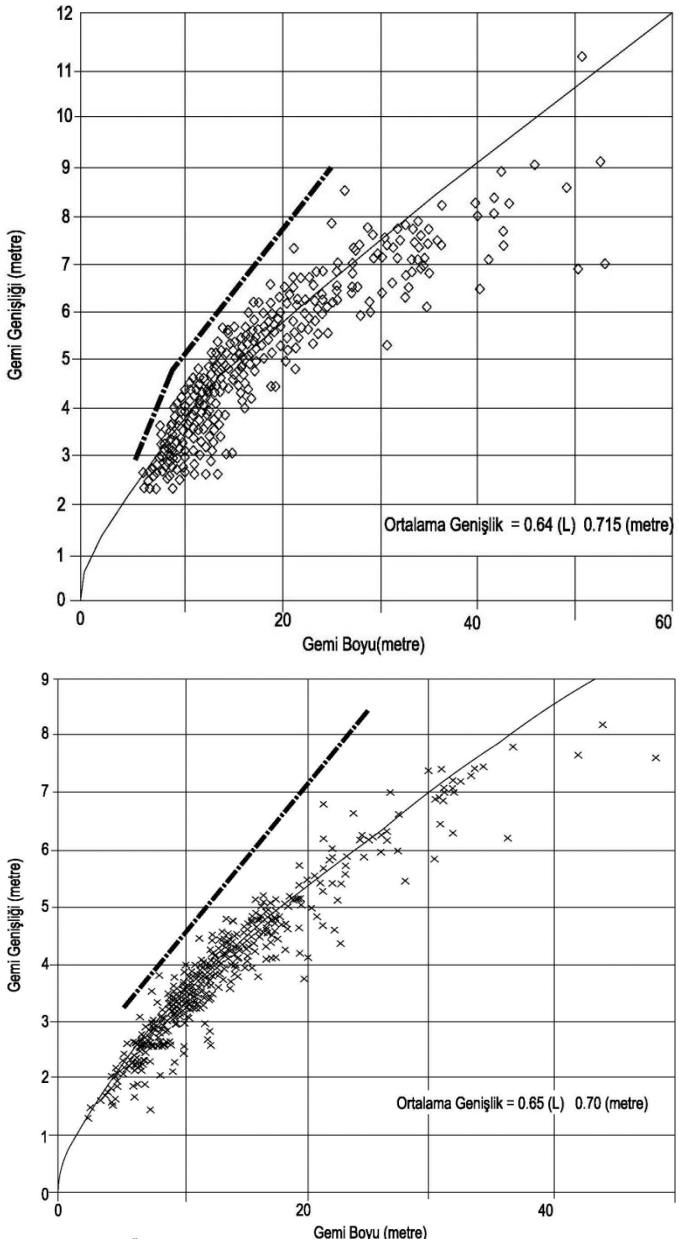
Yat limanlarının ulaşım kanallarının genişliği Şekil 4.3'te görüldüğü gibi yelkenlilerin seyirleri de dikkate alınarak (4.1) bağıntısında verilmektedir. Ön planlama için ulaşım kanalının manevraya müsaade edecek kadar geniş olması gerektiği ve bu amaçla, motor yatlar için 2L, yelkenliler için 2.5L değerleri alınmaktadır. Ayrıca korunmuş bölgelerde bu değerlerin sırasıyla 1.75 ve hatta 1.5'a kadar indirilebilir. Eğer liman girişinde tekneler birbirlerini sıklıkla geçiyorlarsa ilave genişlik gerekmektedir.

$$W=n.S+2.4+1.6(n-1)B_{maks} \quad (4.1)$$

burada,

W : navigasyon kanalının en alçak su seviyesinde genişliği,
N : bir sırada seyir eden tekne sayısı,
B_{maks} : en büyük tasarım teknesinin genişliği (m),
S :yelkenlinin direk yüksekliğinin izdüşüm uzunluğu (m)
dir.

Kanal derinliği genellikle düşük su seviyesinden ölçülerek hesaplanmalıdır. Ulaşım kanalı su derinliği ticari limanlardaki kriterler dikkate alınarak hesaplanacaktır. Ancak yaklaşık olarak 2-3 knot hızla giden küçük bir tekne için squat genellikle 0.3-0.5 m civarında alınmalıdır. Aynı squat değeri, manevra dairesinin tasarımında da kullanılmaktadır.

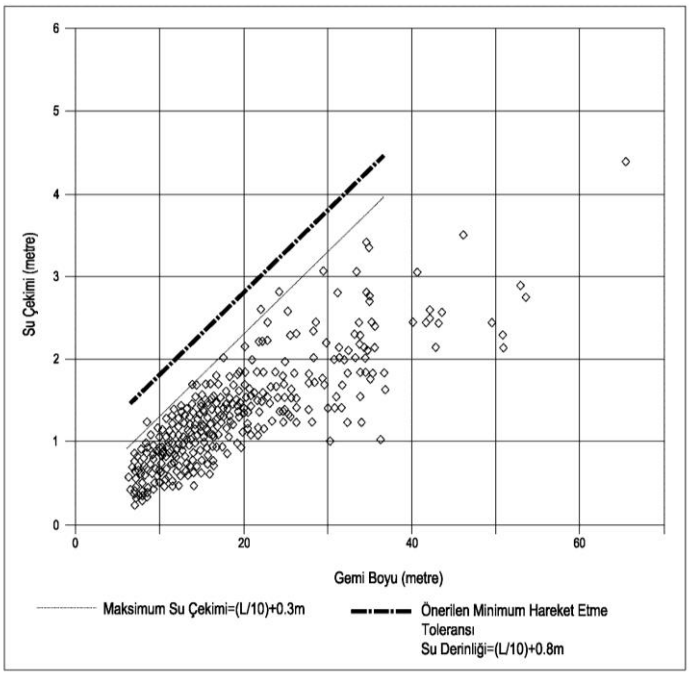


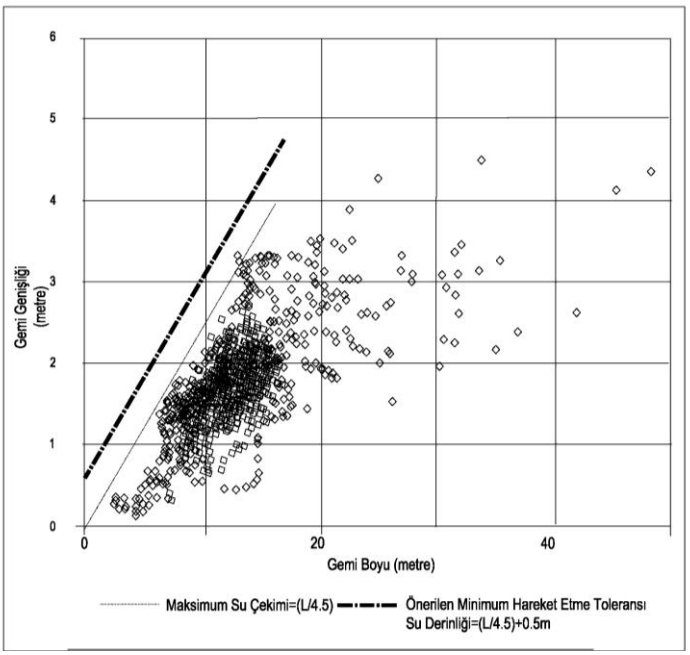
Şekil 4.1 Teknelerin genişlik ve su çekimi ilişkisi (Mellor,1992)

4.4 Manevra Dairesi

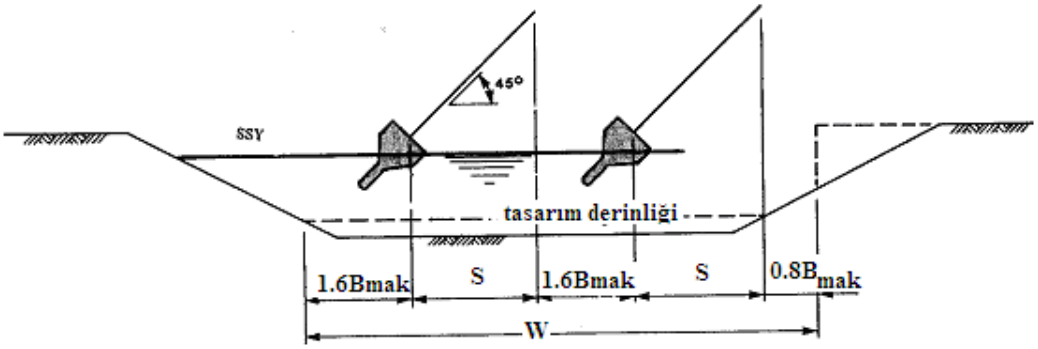
Manevra dairesinin çapı (D) için verilen kriterlerden biri; limanı kullanacak en büyük tekne boyunun, L, 2-2.5 katı olarak alınmasıdır (D=(2~2.5)L). Bu daire içinde squat 0.2 m civarında alınmaktadır.

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te tipik yat limanı yerleşim planı verilmiştir. Bu şekillerde yerleşim planında iç kanal ve seyir yolları gösterilmiştir.

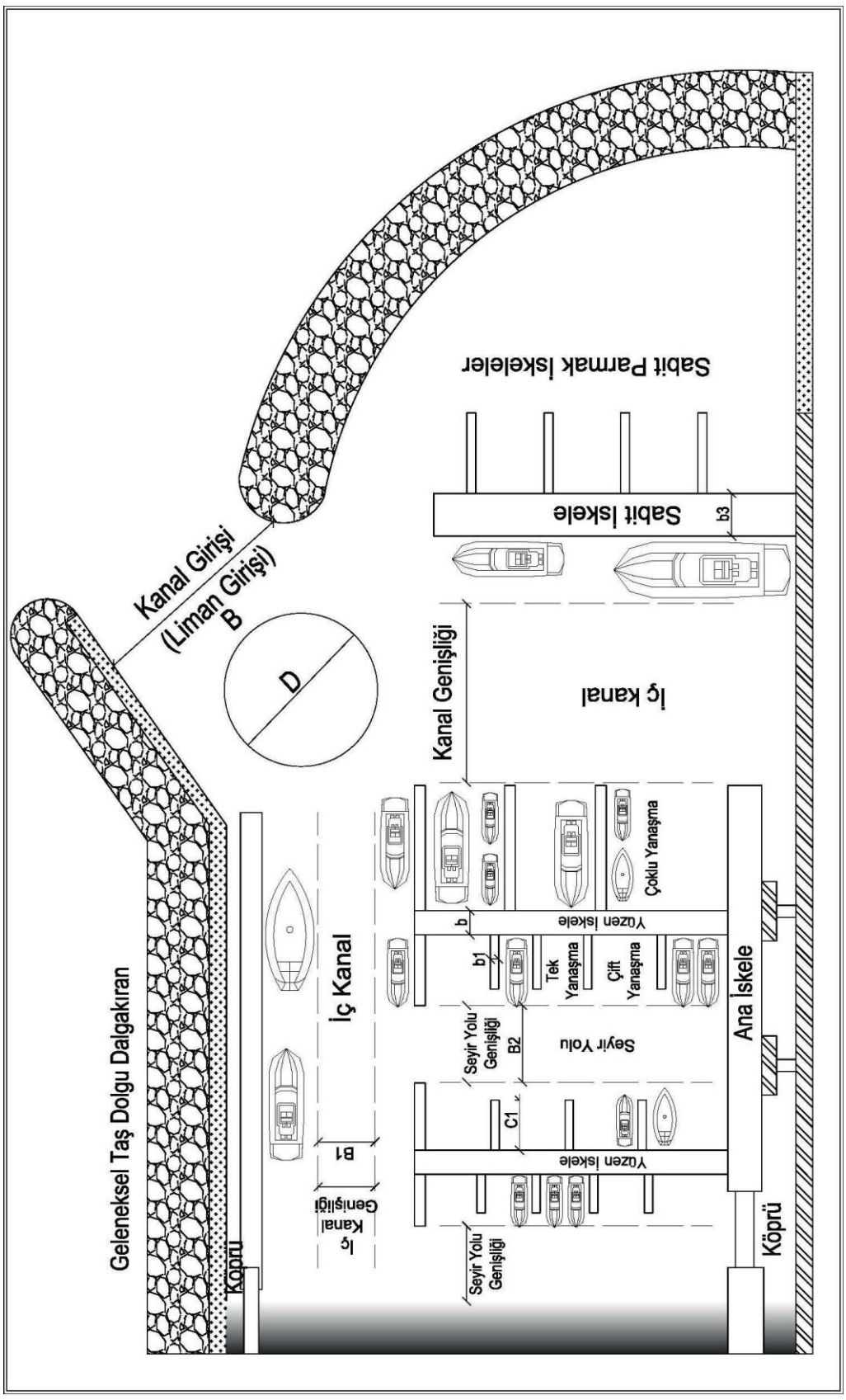




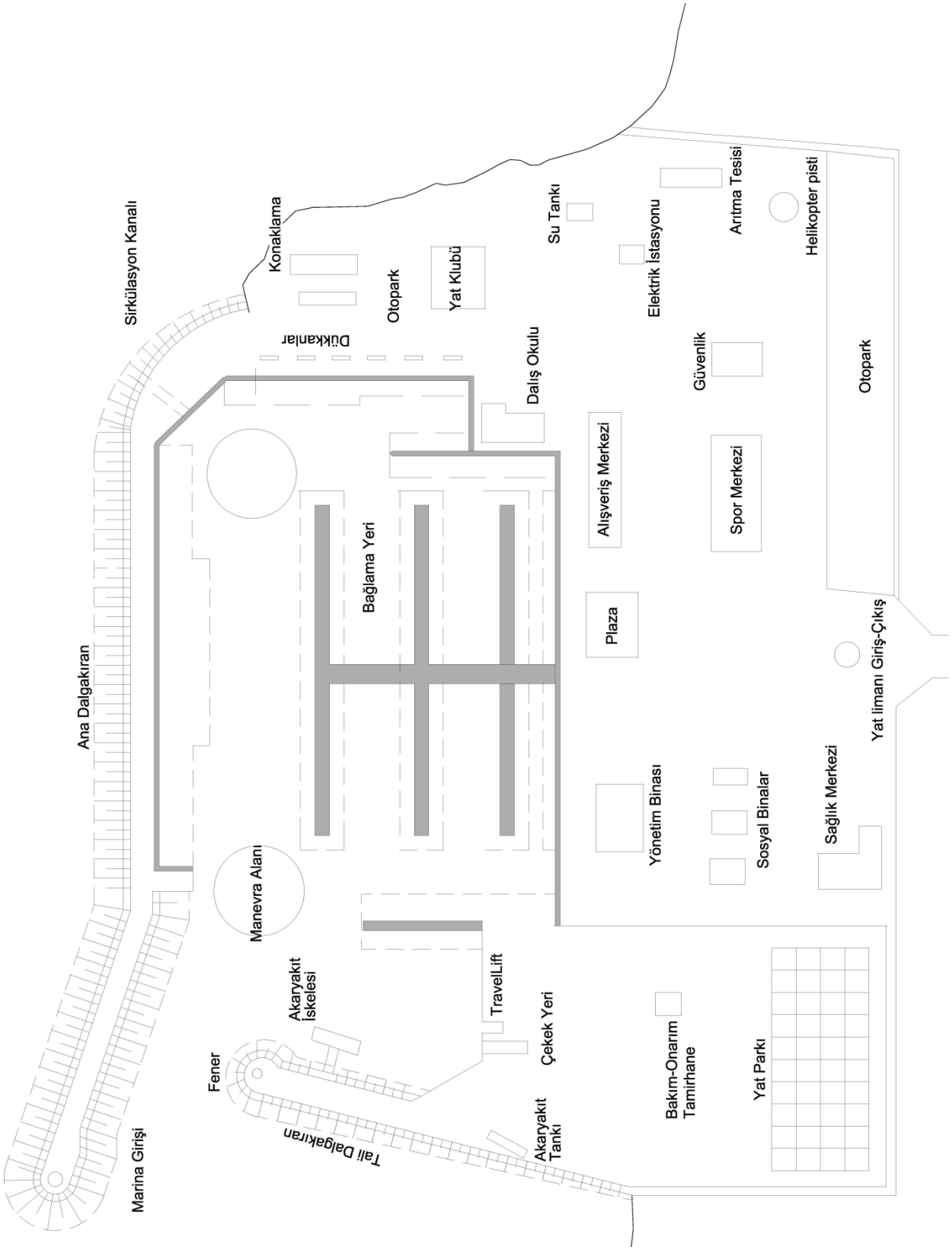
Şekil 4.2 Teknelerin uzunluk ve su çekimi ilişkisi (Mellor,1992)



Şekil 4.3 Bir yat limanına ait ulaşım kanalı



Şekil 4.4 Tipik yat limanı yerleşim planı



Şekil 4.5 Tipik yat limanı yerleşim planı

4.5 Liman İçi Yerleşim

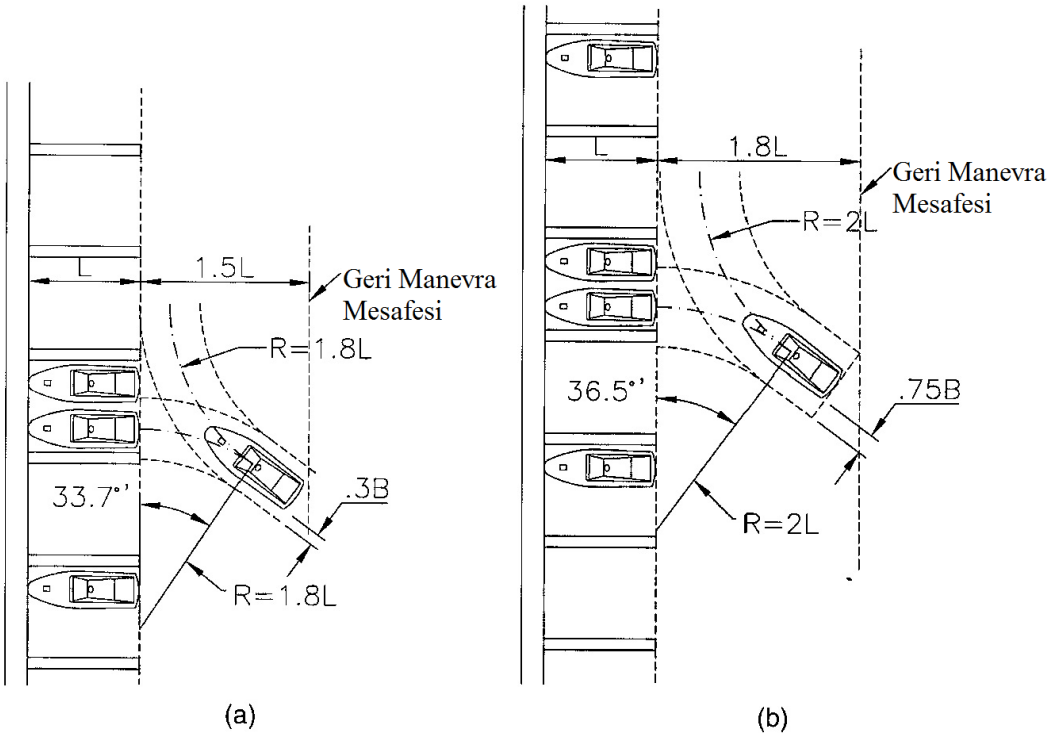
Yat limanlarında teknelerin yanaşması için genellikle sabit veya yüzen iskeleler kullanılmaktadır (Şekil 4.4).

İç Ulaşım Kanalı

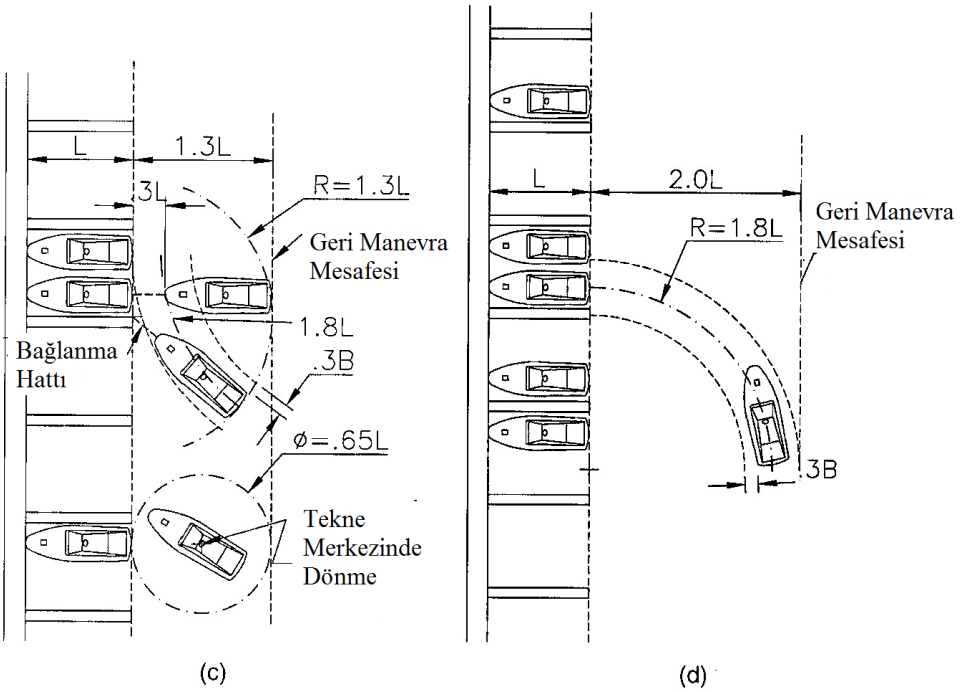
- İç kanal genişliği (B_1) için en az 20 metre ile 1.5L metre değerlerinden büyük olanı alınmalıdır.
- İç kanal kuvvetli rüzgar ve akıntı etkisinde ise kanal genişliği en az 1.75 L olmalıdır.

Seyir Yolu

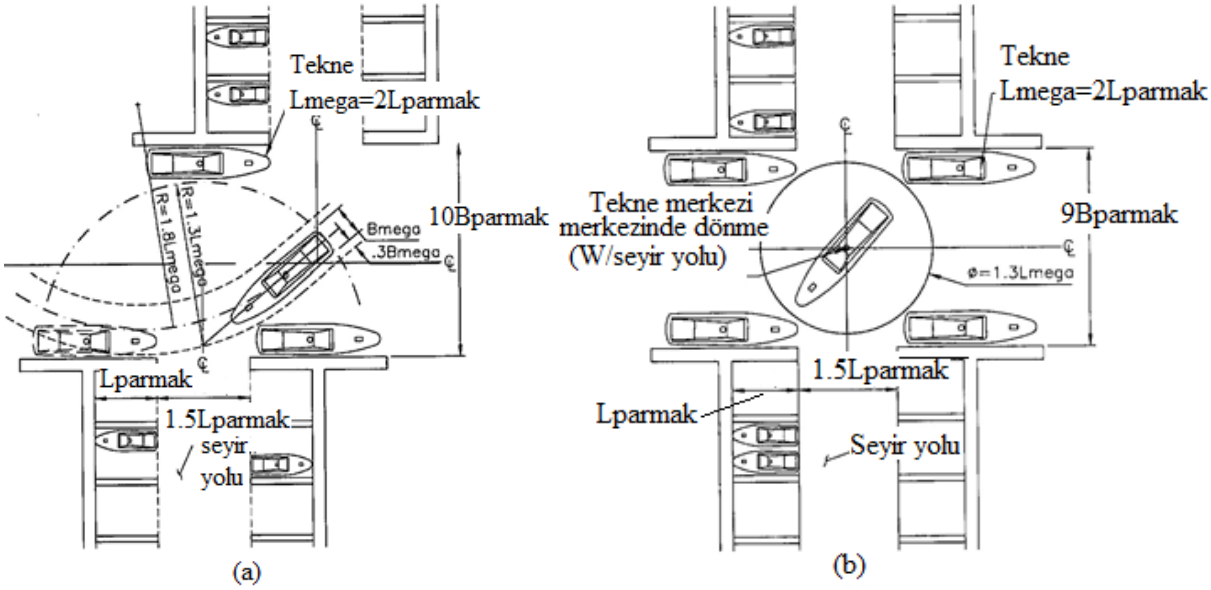
- Seyir yolu genişliği (B_2); karşılıklı iskelelere bağlanmış teknelerin en uç noktaları arasındaki temiz açıklık olarak seçilmelidir.
- Seyir yolu genişliği en az 1.5L olmalıdır.
- Liman gel-git etkilerinden uzak ve sadece motor yatlara hizmet ediyorsa; en küçük genişlik 1.3L metre alınabilir.
- Yanaşma yeri gel-git ve/veya güçlü rüzgar etkisinde ise; seyir yolu için en küçük genişlik 2 ya da 2.5L metreye çıkarılmalıdır.
- Seyir yolundaki iskeleler esnek olarak bağlanmış ise bu tür iskele ve parmak iskeleler için en küçük genişlik 2L metre olmalıdır.
- Seyir yolu ve bağlanma düzeni için Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'deki planlama kriterleri dikkate alınmalıdır (ASCE, 2012).



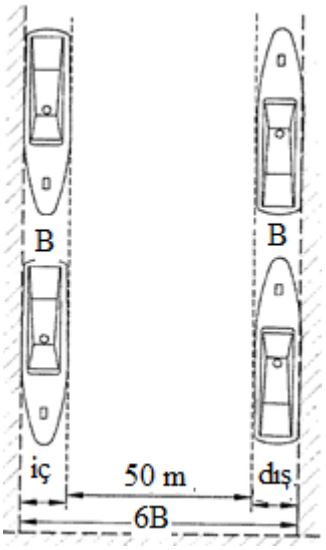
Şekil 4.6 Parmak iskeleler arası seyir yolu genişliği (a) Sakin dönemde seyir yolu genişliği, (b) Rüzgar ve akıntı altında seyir yolu genişliği, (c) Halat veya motor desteği ile minimum seyir yolu genişliği, (d) Manevra yapılmadan seyir yolu genişliği (ASCE, 2012)



Şekil 4.6 Devam



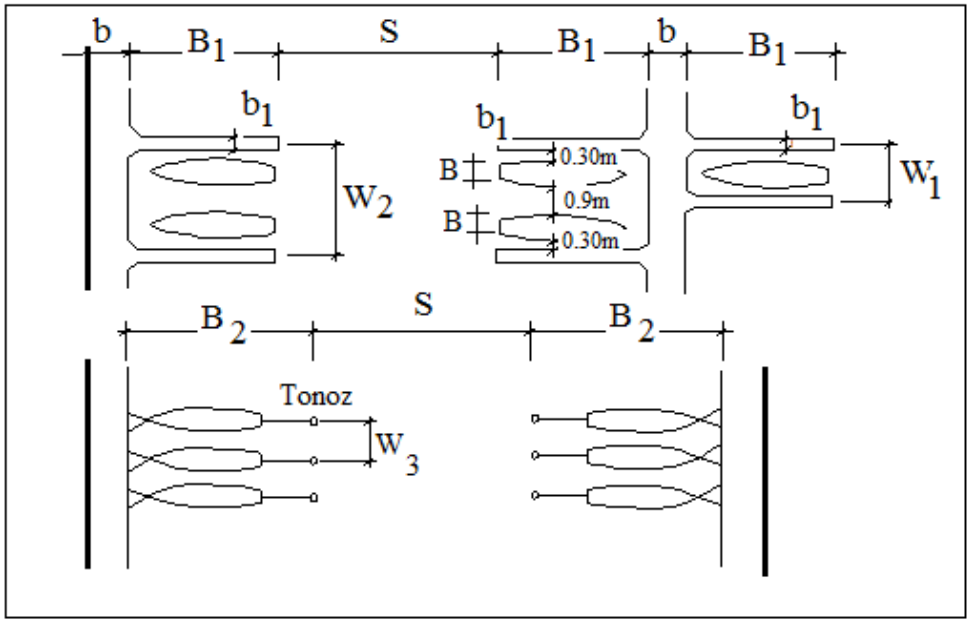
Şekil 4.7 Mega yat bağlanması için minimum seyir yolu genişliği (a) Şaşırtmalı iskeleler için minimum seyir yolu genişliği=$10B_{parmak}$, (b) Aynı hizada bulunan iskeleler için minimum seyir yolu genişliği=$9B_{parmak}$ (ASCE, 2012). Burada L tekne boyu, B tekne genişliğidir.



Şekil 4.8 Basen tipi iskele yerleşiminde seyir yolu genişliği (ASCE, 2012)

Bağlama Yeri Genişlikleri

- Bağlama yeri genişlik ve uzunlukları Şekil 4.9 ve Tablo 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.9 Tekne bağlanma düzeni ve boyutlar, bkz. Tablo 4.3 (OCDI, 2002)

Tablo 4.3 Bağlama yeri boyutları

Tekne Boyu (m)	Yanaşma yeri uzunluğu, B_1, B_2 (m)	Karşılıklı iskeleler arası mesafe, S (m)	İskeleler arası açıklıklar (W)
L	B_1=(0.7~1.2)L B_2=(1.5~2.0)L	S=(1.5~2.0)L	$W_1=B_{maks}$ +0.6 m $W_2=2B_{maks}$+(1.5~2.0 m) $W_3=B_{maks}$+ (1.0~2.0m)
Not: Gezi yatlarının demirlenmesi sırasında bu değerler rüzgar nedeniyle yelken direklerinin temasından kaçınmak için dikkatlice hesaplanmalıdır. b: yüzen ana iskele genişliği L: İskeleye bağlı olan en uzun tekne boyu b_1: parmak iskele genişliği B_{maks}: İskeleye bağlı olan maksimum tekne genişliği			

- Sabit iskeleler genellikle derinliğin 5-6 m'yi geçmediği su seviyesindeki değişimlerin 1 m'yi aşmadığı durumlarda inşa edilirler. İskele döşemesinin üst kotu tasarım su seviyesi Tablo 4.4'te verilmektedir.

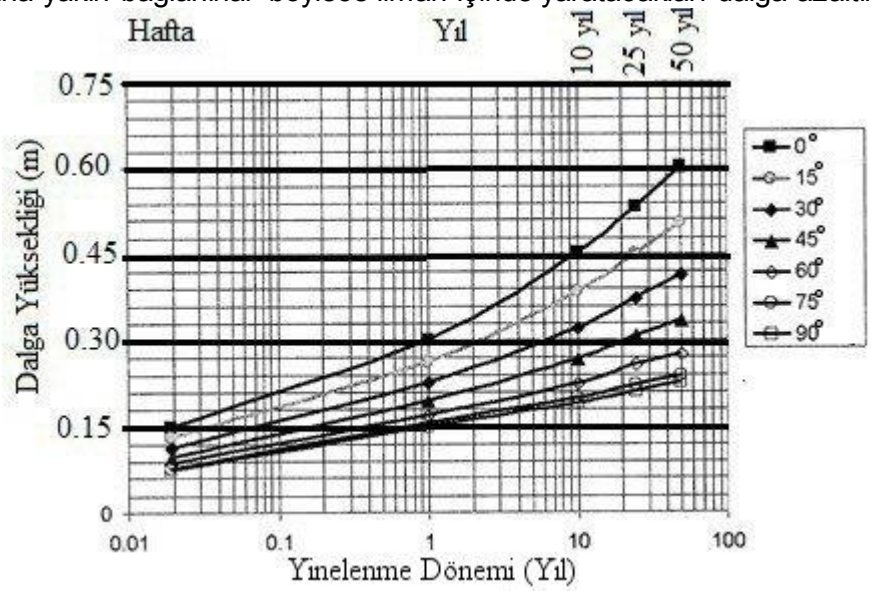
Tablo 4.4. Tekne genişliğine göre sabit iskele üst kotu

Tekne Boyu (m)	İskele Üst Kotu (m)
<7.5	0.8
>7.5 ve <12	1.2
>12	1.5

- Su seviyesinin 0.5-1.5 m arasında değiştiği yerlerde yüzen iskele sistemi kullanılabilir. Ancak gel-git 1.5 m'yi aşıyorsa bu sistemde uygun bir çözüm olmamaktadır.
- Küçük tekneler, kano ve kürek tekneleri için tasarlanmış yüzen iskeleler bu ölçütlerin dışında tutularak tasarlanmalıdır.
- Yüzen iskele sisteminin üst kotu hareketli yükün olmadığı durum için ortalama olarak su yüzeyinden 0.5 m'den yukarıda olmalıdır. İskele üst kotu sakin su seviyesine göre, boyu 20 metreye kadar olan tekneler için 50 cm'den, 20 metreden uzun olan tekneler için 65 cm tercihen 75 cm'den az olmamalıdır.

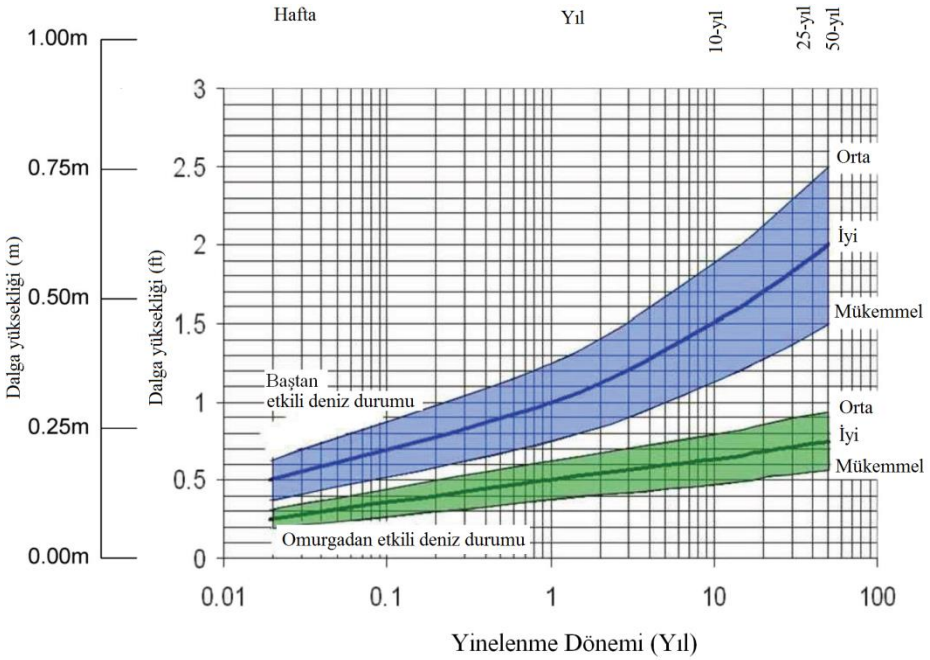
Liman İçi Çalkantı ve Salınım Durumu

- Yat limanlarının içine giren dalgaların müsade edilen maksimum yüksekliği geçmemesi gerekir. Bu amaçla 50 yılda bir kez, 1 yılda bir kez ve haftada bir kez oluşma olasılığına göre dalga analizi yapılmalıdır. Aynı zamanda teknelerin yaratacağı liman içi dalgalar da analiz edilmelidir. Bu amaçla farklı yinelenme dönemlerine göre liman ağzından girecek dalga doğrultusuna bağlı olarak müsade edilecek dalga yüksekliği Şekil 4.10 kullanılarak analiz edilebilir. Örneğin haftada bir oluşabilecek ve liman ağzından doğrudan giren dalga (0°) için müsade edilen dalga 0.15 m'dir, yılda bir kez ise 0.30 m olacaktır. Bu durum kısa periyotlu dalgalar için geçerlidir. Liman içinde kabul edilen dalga yüksekliği risk ve aynı zamanda yanaşma kalitesine bağlıdır. Şekil 4.10 (a) iyi yanaşma durumunu tanımlamasına karşın Şekil 4.10 (b) üç farklı yanaşma kalitesini tanımlamaktadır.
- Liman içi planlamada tekneler büyüklüklerine göre yerleştirilirler ve en büyük tekneler liman ağzına yakın bağlanırlar böylece liman içinde yaratacakları dalga azaltılır.



(a) İyi yanaşma kalitesi

Şekil 4.10 Liman içinde iyi bir sakinlik sağlanması için müsaade edilen dalga yükseklikleri (ASCE, 2012)



(b) Farklı yanaşma kalitesi durumları
Şekil 4.10 Devam

Yürüme Yolu ve Parmak İskele Boyutları

- Ana iskele genişliklerinin (b), 120 metreye kadar olan yollar için 2 metre tercihen 3 metre seçilmesi önerilir.
- Engelli kimselerin kullanacakları iskele genişlikleri, kendileri için üretilmiş araçlara uyum sağlayacak ölçülerde boyutlandırılmalıdır.
- Mini taşıma araçlarının kullanılacağı yollarda, en küçük genişlikler 3.5 ya da 4 metre olarak seçilmelidir.
- 10 metreden kısa teknelerin bağlanacağı ikincil iskeleler için en küçük genişlik (b_1), 1.5 tercihen 2 metre seçilmelidir.
- Parmak iskele genişlikleri ise Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5 Minimum yüzer parmak iskele genişlikleri

Yüzen İskeleli Yat Limanları	
Tekne Uzunluğu (m)	Parmak İskele Genişliği, b_1 (m)
12 metreye kadar	1.0
13-15	1.4
16-20	2.0
20 metreden uzun	2.5

- Sabit iskeleler için hareketli yük Tablo 4.6'da verilmiştir.
- Yüzen iskeleler için hareketli yükler Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.6 Sabit iskelede hareketli yükler (ASCE, 2012)

Aktivite	Üniform dağılım (kPa)	Tekil yük (kPa)
Sınırlanmış iskele (Sadece yaya için)	2.3	1.8
Sınırlanmamış iskele (Golf aracı)	4.8	2.9
Traktör	12	2.9

Tablo 4.7 Yüzen iskelede hareketli yükler (ASCE, 2012)

Aktivite	Üniform dağılım (kPa)	Tekil yük (kPa)
Sınırlanmış iskele (Sadece sınırlı yaya için)	1.4	1.4
Sınırlanmamış iskele (Sadece yaya için)	1.9	1.8
Sınırlanmamış iskele (Golf aracı)	2.4	2.2

Engelli Kişilerin Erişimi

- Liman tasarımcılarının; engelli yatçı ve ziyaretçilere hassasiyet göstermeleri ve mümkün olan düzenlemeleri yapmaları gerekmektedir.
- Bahsi geçen düzenlemeler; kendilerine ayrılmış iniş-çıkış iskeleleri, özel asansörler, rampalar, tuvaletler, ulaşım köprüsü yanındaki araç parkları ve tüm diğer kolaylıkları kapsamalıdır.

Rampa ve Seyyar İskele (kaldırıp konulabilen) Tipi Ulaşım Köprüleri

- Rampa eğimleri 1/4'ten büyük olmamalıdır. Kıyıya bağlantılı köprü genişlikleri; el bagajı ve yayaların karşılıklı geçebilmeleri için mümkün olduğunca geniş seçilmelidir. Genişlikler 1.20 m, tutma korkulukları yüksekliği 1.10 m olarak alınabilir. Mini taşıma araçları ve diğer araçların kullanılacağı köprüler için özel ölçüler seçilmelidir, ASCE (2012) 183 cm tavsiye etmiştir.
- Engelli kimselerin kullanacağı köprüler için PIANC (2013) yayını olan 'Rekreasyonel Tekne Tesislerinde Engelli Erişimi' referans alınabilir.
- Erişim rampaları ve seyyar iskele tipi köprüler için acil çıkışlara da özen gösterilmelidir.

Su Derinliği

- Doğal ya da tarama sonucu elde edilen su derinliği; liman içinde en düşük su seviyesi durumunda hareket eden maksimum su çekimli teknenin su çekiminden en az 0.5 m daha fazla olmalıdır.
- Tipik su çekimleri Tablo 4.1'de verilmiştir:
- Kanal girişinde; geçen araçların neden olabileceği aşırı dalga yüksekliği ilave derinlik olarak dikkate alınmalıdır.

Su Kalitesi

- Yat limanlarındaki su kalitesi gün geçtikçe önemini arttırmaktadır.
- Su üzerinde yüzen artıklarla birlikte kirli suyu olan yat limanları, yasadışı olmalarının yanı sıra hoş olmayan görüntülere de neden olmaktadır.
- Liman yöneticileri, ilgili kurum ve kuruluşların önerilerine bağlı kalarak kendi limanları için 'temiz su' kurallarını oluşturmalıdırlar. Bu kurallar;
  - Yat limanının itibarının artmasını,
  - Yat limanı işletmecileri -yatçıların ilişkilerinin gelişmesini,
  - Yerel yetkililerin güvenlerinin sağlanmasını,
  - Çevresel kirlenmenin vereceği zararların önlenmesini ,
  - İlgili sağlık ve güvenlik şartlarına uyulmuş olunmasını sağlayacaktır.
- Liman içinde su sirkülasyonunun sağlanması gereklidir.
- Gerekli önlemlerin alınabilmesi ve liman içinde sirkülasyon durumunun belirlenmesi için liman içinde akıntı ve su kalitesi ölçümleri yapılmalıdır.
- Her liman yönetimi, kendi çevre ve atık yönetim planını oluşturmalı ve bu plan dahilinde görev alacak personeli yetiştirmelidir.
- Liman yönetimi;
  - Mavi bayrak şartlarını sağlamalı,
  - Önlemenin temizlemekten daha iyi olduğunu hatırlamalı,
  - Düzenli temizlik etkinlikleri düzenlemeli,
  - Kullanıcıları bilgilendirmelidir.

Seyir Yardımı

- Liman içinde tüm yönlendirme işaretleri; yeterli boyutlarda tasarlanmalı ve liman yetkilileri tarafından onaylanmalıdırlar.
- Tüm seyir ışık ve işaretleri; yaklaşan yabancılar için net bir şekilde seçilebilir olmalıdır. Bu işaretler;
  - Varış mesafesinin,
  - Giriş ağzının,

- Yüksek su seviyelerinde görülemeyen çukur ve kayalıkların,
- Diğer araçlar ve sabit yapıların fark edilmeleri için gereklidir.

- Yönlendirme gereçleri düzenli olarak bakıma alınmalı, sürekli çalışmaları sağlanmalıdır.
- Derinlikleri gösteren işaretlerdeki karakter büyüklükleri 25 cm'den az olmamalı ve net görülebilmelidir. Karakterler metrik düzende olmalıdır.

4.6 Park Alanı

Yat limanlarında, müşteriler, personel ve ziyaretçiler için araç parkları bulunmalıdır. Yat limanındaki araba parkının boyutları, limanda kalan tekne sayısına bağlı olarak planlanmalıdır.

- Park yeri alanı çıpa sahasına bağlı olarak belirlenecektir ancak tüm teknelerin 40 metreden uzun olması durumunda bu oran 1.5'a yükseltilmelidir.
- Her personel için 1 adet ve liman yönetimindeki her gezi teknesi için 3 adet araç park yeri tasarlanmalıdır.
- Park yerleri 5 x 2.5 m^2'den az olmamalıdır.
- Engelliler için ayrılmış park yerleri olmalıdır.
- Tesis girişlerinde şifreli ya da kartlı sistemler kullanılmalıdır.
- Alışveriş için kullanılacak arabalar; 20 bağlama yeri başına 1 adet olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu arabalar liman içindeki tüm yüzeylerde hareket edebilecek şekilde seçilmelidir. Jetonlu geri getirme sistemi karışıklığı önlemeye fayda sağlayacaktır. Park alanlarında personel, yat sahibi ve genel ziyaretçi için alanların ayrılması arzu edilmektedir.

4.7 Travel Lift

Modern limanlarda genellikle travel lift (vinç) kullanılır. Kaldırma amaçlı vinç basen ya da rıhtıma dik iki iskele üzerinde hareket etmektedir. Su derinliklerinin uygun olduğu durumlarda travel lift baseni, rıhtım dış hattından içeri giren bir havuz şeklinde de oluşturulabilir. Dikdörtgen basenin genişlikleri 6.0 ile 8.5 m arasında değişebilmektedir. Uzunluğu ise en uzun teknenin uzunluğunun % 75'i kadar alınabilmektedir. Ancak travel lift basenlerinin ölçülendirilmesinde ve projelendirilmesinde, vinçlerin her iki yöndeki aks açıklıkları, boyları, manevra alanları ve kaldırma kapasiteleri ile dingil yükleri üretici firmalardan temin edilerek kullanılmalıdır.

Travel lift imkanlarının kısıtlı olduğu durumlarda, su derinliklerinin de uygun olması halinde eğimli kızak rampaları düzenlenerek, tekneler karaya alınır. Bu tür kızaklarda genel olarak taban eğimi 1:7~1:12 arasında alınabilir. Kızak tabanı genel olarak beton plaklarla kaplanabilir. Kızak içine lastik tekerli treyler girmesi mümkün olabildiği gibi bazı hallerde ray döşenerek özel imal edilmiş çekek arabaları kullanılabilir. Kızak bulunan çekek alanlarında, rampa gerisinde manevra ve halat-ırgat sistemi için yeterli alan bırakılmalıdır.

4.8 Hizmet Yapıları

Tuvalet ve Banyolar

Bu tesisler kolay ulaşılabilir olmalı ve en uzak yanaşma yeri dahil 300 metreden daha uzakta olmamalıdır. Yat limanlarında minimum tesisat sayıları Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8 Yat limanı sıhhi tesis sayıları

Tesis	Bay	Bayan
Tuvalet	50 bağlama başına 1 adet	50 bağlama başına 1 adet
Pisuar	75 bağlama başına 1 adet	-
Lavabo	50 bağlama başına 1 adet	75 bağlama başına 1 adet
Duş	75 bağlama başına 1 adet	75 bağlama başına 1 adet
Küvet	Her blokta 1 adet	Her blokta 1 adet

- Tuvaletlerden engelli kimselerin de faydalanması sağlanmalıdır.
- Tüm tesislerde sabun, el kurutucu, havlu, sıcak su, tuvalet kâğıdı ve fırçası bulunmalıdır.
- Tüm tesisler 110 lüksten az olmamak kaydıyla yeterli ışıklandırılmış ve düzenli kontrol gören havalandırma sistemi ile havalandırılmış olmalıdır.

- Düzenli ve dikkatli kullanımı teşvik edecek olan; çok yüksek standartlarda temizlik koşulları sağlanmalıdır.
- Uygun olması durumunda personel için tesislerin müşterilerinkilerden ayrılması gerekmektedir.
- Tesis girişlerinde şifreli ya da kartlı sistemler kullanılmalıdır.
- Tesis içlerinde kirletici maddeler ve bunların uzaklaştırılması hakkında bilgilendirici uyarı ve işaretler bulunmalıdır.
- Tesislerde yıkama ve kurutma makineleri bulunmalıdır (Tablo 4.9).

Tablo 4.9 Çamaşır yıkama tesisi sayıları

Çamaşır Makinesi	300 bağlama başına 1 adet
Kurutma Makinesi	300 bağlama başına 1 adet

Atölyeler: Liman içinde bakım onarım, tamir işlerinin yürütülmesi için atölyeler gerekiyorsa yapılmalıdır. Çekek alanının büyüklüğüne ve verilecek hizmet çeşidine göre atölye sayısı ve boyutları belirlenmelidir.

Yatçı Depoları: Yatçıların özel eşyalarını geçici saklamak üzere kullanacakları depolar küçük odalar şeklinde planlanmaktadır. Limanın tekne kapasitesine bağlı olarak sayısı belirlenmelidir.

İdari Bina: İdari bina, liman yönetimi ile ilgili tüm birimleri içerdiği gibi, resmi kurumların ofislerini de kapsamalıdır. Bu yapı içinde teknecilerin bilgi alacakları, resepsiyon, meteoroloji, danışma gibi bölümler ayrılmalı, ilk yardım ve sağlık odası, fax-telefon-internet ofisleri de düşünülmelidir.

Diğer: Yat limanı içinde teknecilere hizmet vermek üzere, banka-döviz büroları, marketler, tekne malzemeleri satış alanları ve yat kulübü şeklinde düzenlenmiş sosyal alanlar planlanabilir.

İçme Suyu: Teknelerin içme suyu genellikle iskele ve rıhtım boyunca yerleştirilmiş servis kutularından sağlanmaktadır. Servis kutularının yerleşimi hizmet verilecek tekne sayısına göre belirlenmeli uygun basınç ve miktarda su verebilecek su deposu ve içme suyu hattı tasarlanmalıdır.

Yangın suyu hattı içme suyu hattından ayrık olarak planlanmalıdır. Liman içinde ortalama olarak 30~50 m aralıklarla yangın hidrantları bulunmalıdır.

Güç Kaynağı: Teknelerin güç ihtiyaçları tekne tipine bağlı olarak değişmektedir. Liman içindeki tekne yerleşimine göre servis kutularının dağılımı yapılmalı ve tekne ihtiyacına uygun güçte elektrik temin edilmelidir. Her bir tekne 6 m'lik bir kablo ile servis kutularına ulaşabilmelidir.

Akaryakıt: Teknelere akaryakıt satışının öngörüldüğü limanlarda, akaryakıt pompaları ve tanklarının emniyet nedeniyle genel olarak limanın dışına veya girişine yakın bir yere yerleştirilmesi önerilmektedir. Bu amaçla tekne ve yaya trafiğinden az etkilenen bir alanda akaryakıt iskelesi ve rıhtımı oluşturulabilir.

Atık su: Yat limanlarında atıklar genel olarak mobil sistemlerle toplanmaktadır. Atık suların toplanması Çevre ve Orman Bakanlığı'nın Gemilerden Atık Alınması ve Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (2010)'ne uygun olarak yapılmalı ve yürürlükteki yönetmeliklere uyum sağlamalıdır. Limanın bulunduğu bölgede kentsel alan atık su şebekesinin bulunduğu durumlarda bu şebekeden yararlanmak mümkün olabilir. Şebeke bulunmayan bölgelerde toplanan atık suyun liman sahası içinde arıtılması gerekli altyapı tasarlanmalıdır.

Sintine suyu: Limanlarda sintine suyu alımı hizmeti verilmelidir. Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (2010)'ne uygun olarak gerekli tesisler liman sahası içinde planlanmalıdır.

Katı Atıklar: Geri dönüşümlü, zehirsiz ve zehirli katı atıkların ayrı ayrı toplanabileceği, özel tasarlanmış çöp kutularının rıhtımlar boyunca ve gerekli yerlere yerleştirilmeli ve düzenli olarak toplanması sağlanmalıdır.

Servis Kutuları

Teknelere su, elektrik, tv, telefon ve internet bağlantı noktaları sağlamak için kullanılan servis kutuları, tekne tipi ve ihtiyaçları gözetilerek belirlenir. Teknelerce talep edilen hizmetlerin içeriği ve niteliği güncel trendlere bağlı olarak hızla değişebildiğinden bu konuda kesin kurallar bulunmamaktadır. GSM hatlarının yaygınlaşması ile telefon bağlantısı ihityacı

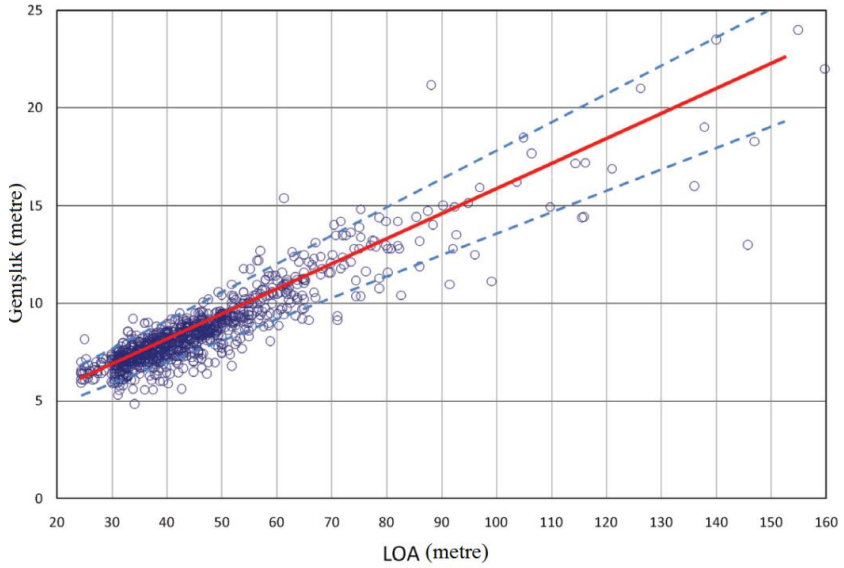
ortadan kalmış durumdadır. Kablosuz internet bağlantıları sayesinde kablolu internet bağlantı ihtiyacı da artık bulunmamaktadır. Servis kutularının seçiminde, teknelerin ihtiyacı olan güç miktarına bağlı olarak elektrik bağlantısı sağlanmalıdır. Su ve elektrik bağlantıları için sayaçlar manüel tiplerden akıllı kartlı modern sistemlere kadar değişiklik göstermektedir. Ekipman seçimi, yat limanının özellikleri, kullanıcı profili ve işletim modeline bağlı olarak belirlenmelidir. Servis kutularının güvenlik şartlarını sağlayan, kolay kullanılabilir ve tuzlu su ile güneş etkilerine dayanıklı malzemelerden seçilmesi önemlidir.

Diğer: Yat limanında kullanıcıları koruyacak sağlık ve güvenlik önlemlerini almalıdırlar.

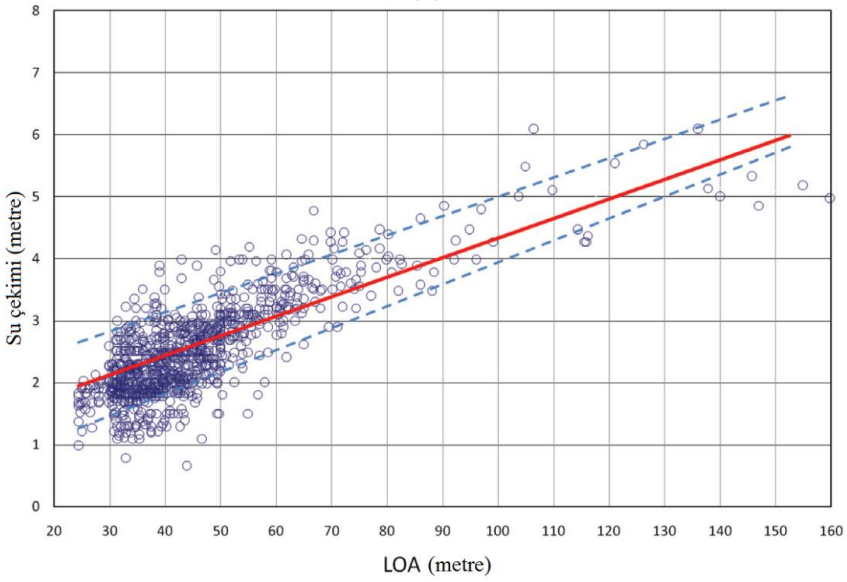
Yangın kontrolü ve önlenmesine yönelik tedbirler alınmalıdır. Gerekli tüm uyarıcı işaretler yerleştirilmelidir.

4.9 Mega ve Süper Yat Limanları için Ek Planlama Ölçütleri

24 m ve 36 m arasında boya sahip yatlar mega yat, 36 m'den daha uzun boya sahip yatlar ise süper yat olarak isimlendirilmektedir. Özel tasarlanan ve 70 m'den daha uzun yatlar ise giga yat olarak adlandırılmaktadır. Bütün bu yatların profesyonel kaptan ve tayfaları mevcuttur. Genel olarak bütün bu sınıflandırma süper yat adı altında geçmektedir. Süper yatların %81'i motorlu, %19'u ise yelkenlidir. Süper yat boyutlarına ilişkin grafikler Şekil 4.11'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.11 Süper yat boyutları (PIANC, 2013)

Bu tekneler diğer teknelerden her açıdan büyük olup tasarım ölçütleri özel olarak düşünülmelidir. Göz önüne alınması gereken ana ölçütler şunlardır;

- Yat yolcuları sabit ya da yüzen iskelelere yanaştıklarında Şekil 4.12'de görülen rampalar yardımıyla indi-bindi sağlamaktadırlar.
- Süper yatlara etkili rüzgar ve akıntı kuvvetlerini hesaplamak amacıyla yaklaşık izdüşüm alanları Şekil 4.13 ve Tablo 4.10'da verilmiştir.
- Süper yat limanlarında ulaşım kanalı genişliği minimum $6B_{maks}$ olmalıdır (Şekil 4.14)
- Liman içi seyir yolu genişlikleri Tablo 4.11'de verilmiştir. Tipik minimum genişlik 1.5L'dir. İki yönlü trafik için kanal boyutları Şekil 4.15'te verilmiştir. Sabit yapılar arasında kalan seyir yolu Şekil 4.16'da gösterilmiştir.
- Şekil 4.17'de görülen tek ya da çift yanaşma için yanaşma genişlikleri Tablo 4.12'de verilmiştir. PIANC (2013) manevra kabiliyeti, tekne genişliği ve usturmaça çapına bağlı olarak yanaşma genişliklerini ifade etmiştir.

$$W_{tek}=2(mc.f_d)+B \qquad W_{çift}=4(mc.f_d)+2B \qquad (4.2)$$

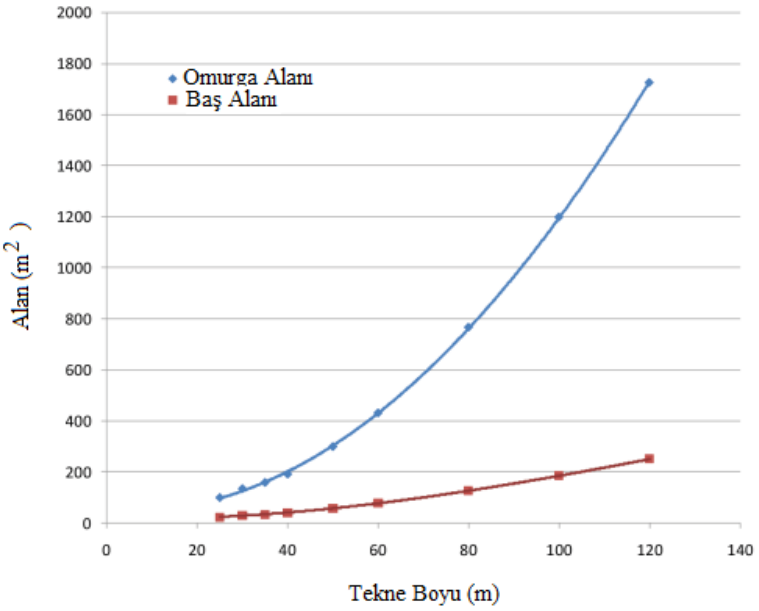
mc : Manevra katsayısı, minimum koşullarda 1.0, tercih edilen 1.5'tir.
f_d : Usturmaça çapıdır ve Tablo 4.13'te verilmiştir.

- Sabit iskele üst kotları en az 100 cm olmalıdır. Yüzen iskeleler için, 50 ile 60 m boyundan daha kısa süper yatlar için 75 cm, daha uzun süper yatlarda ise en az 90 cm olmalıdır.
- Süper yat limanlarında 16-25 m boyundaki tekneler için 2 araç/tekne, 26-35 m için 3 araç/tekne, 36-45 m için 4 araç/tekne, 46-50 m için 5 araç/tekne, 61 m ve üzeri için 6 araç/tekne park alanı planlanmalıdır.
- Diğer alt yapılar için ASCE (2012) ve PIANC (2013)'te verilen kriterler kullanılır.

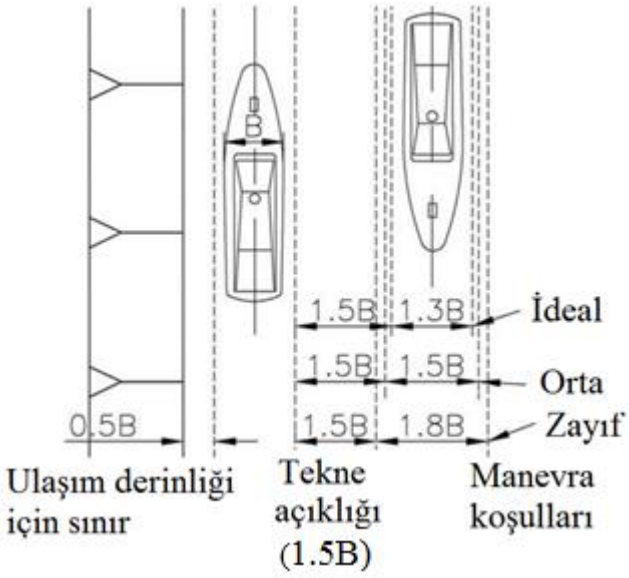
Şekil 4.12 Süper yat yolcu indi-bindi rampaları (PIANC, 2013)

Tablo 4.10 Süper yatlara etkili akıntı kuvvetleri için yaklaşık su çekim alanları (PIANC, 2013)

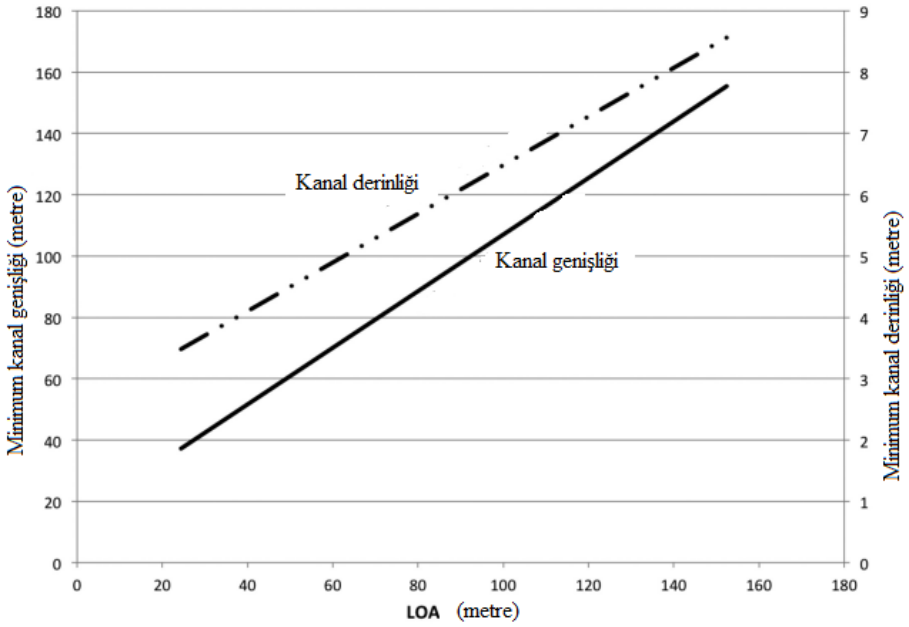
Tekne "LOA (m)	Ortalama su çekimi (m)	Ortalama genişlik (m)	Su altında omurga alanı A (m^2)	Su altında baş alanı B (m^2)
25-35	2.5	6.8	65	17
35-45	2.8	8.3	100	22
45-55	3.0	9.6	130	30
55-65	3.2	10.2	190	33
65-75	3.4	10.6	205	36
75-85	3.7	12.2	260	45
A- Akıntı kuvvetinin tekneye dik gelmesi durumunda kullanılır B- Akıntı kuvvetinin tekne boyunca etkili olması durumunda kullanılır				



Şekil 4.13 Süper yatların (motor yat) tekne boyuna karşı izdüşüm alanı (PIANC, 2013)



Şekil 4.14 Farklı manevra kabiliyetlerinde ulaşım kanalı (PIANC, 2013)



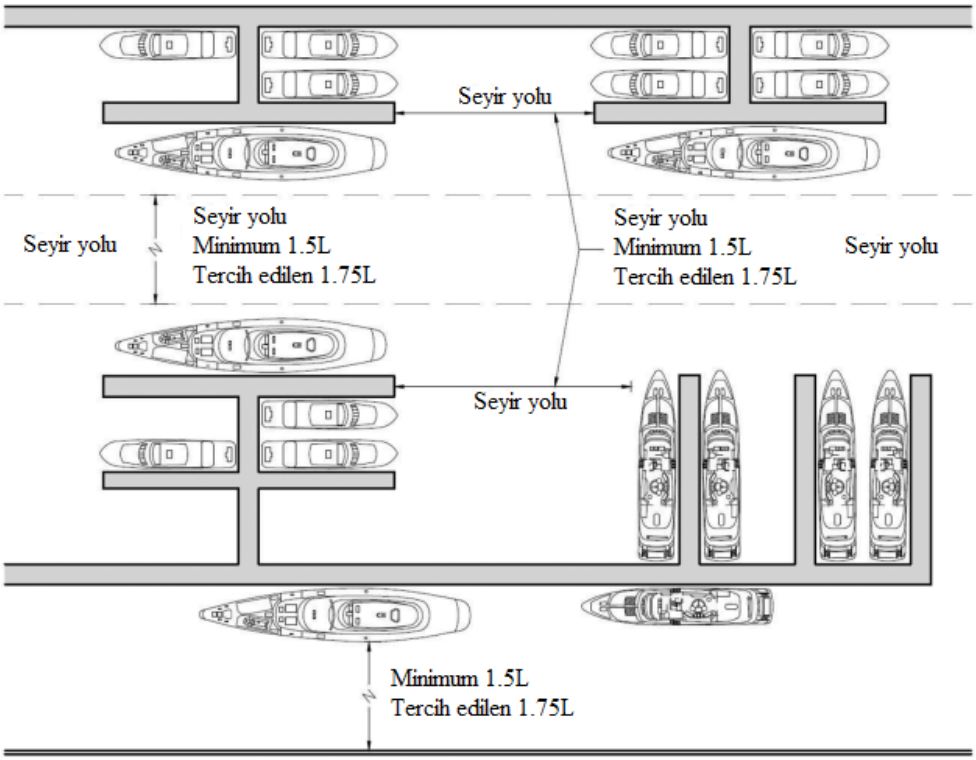
Şekil 4.15 İki yönlü trafik için minimum kanal boyutları (PIANC, 2013)

Tablo 4.11 Minimum seyir yolu genişlikleri

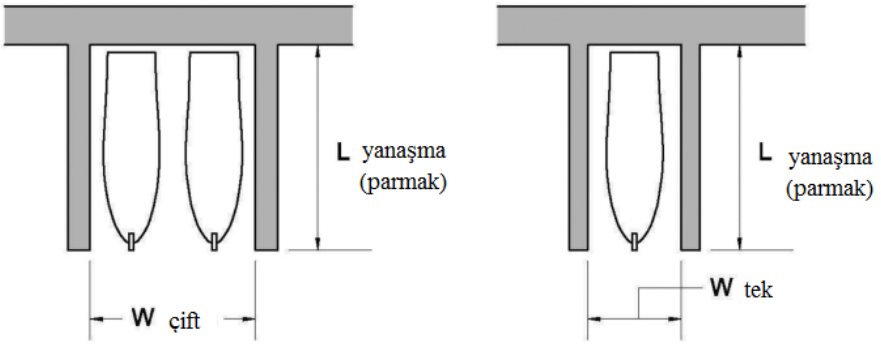
$L_{yanaşma}$ (m)	Seyir yolu genişliği (m)	
	Minimum	Tercih edilen
25	37.5	44.0
30	40.5	52.5
40	60.0	70.0
45	67.5	79.0
55	82.5	96.5
60	90.0	105.0
70	105.0	122.5
75	112.5	131.5
85	127.5	149.0
90	135.0	157.5

Tablo 4.12 Minimum ve tercih edilen yanaşma genişlikleri (PIANC, 2013)

$L_{yanaşma}$ (m)	$W_{çift}$ (m)		W_{tek} (m)	
	Minimum	Tercih edilen	Minimum	Tercih edilen
25	16.5	18.0	8.5	9.0
30	17.5	19.0	9.0	9.5
35	18.5	20.0	9.5	10.0
40	20.5	22.0	10.5	11.0
45	22.5	24.0	11.5	12.0
50	26.0	27.5	13.0	14.0
55	27.0	28.5	13.5	14.5
60	28.0	29.5	14.0	15.0
65	30.0	32.5	15.0	16.5
70	31.0	33.5	15.5	17.0
75	33.0	35.5	16.5	18.0
80	36.0	39.0	18.0	19.5
85	37.0	40.0	18.5	20.0
90	38.0	41.0	19.0	20.5
95	40.0	43.0	20.0	21.5
100	41.0	44.0	20.5	22.0



Şekil 4.16 Seyir yolu (PIANC, 2013)



Şekil 4.17 Tek ve çift yanaşma (PIANC, 2013)

Tablo 4.13 Usturmaça çapları (PIANC, 2013)

LOA (m)	Usturmaça çapı (m)
25-45	0.61
45-60	0.91
61-75	1.22
76-91+	1.52

4.10 Bağlanma

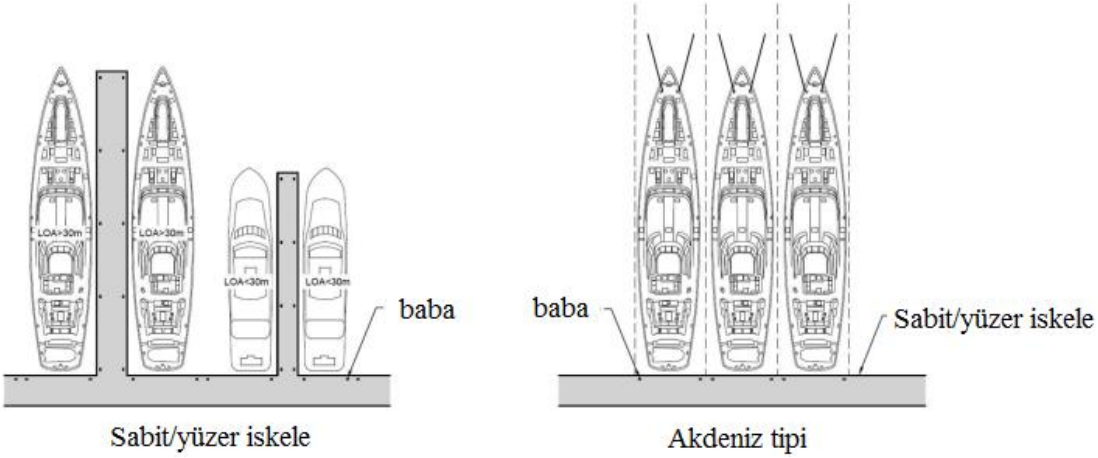
Yatlar genellikle iki farklı bağlanma ile planlanmaktadır. Bunlar sabit/yüzen bağlanma ve Akdeniz tipi (Med-moor)'dir. Akdeniz tipi bağlanmada tekne tonoza veya şamandıraya bağlanır (Şekil 4.18 ve 4.19).

Teknelerin iskele ve rıhtıma bağlantılarında babalar ve koçboynuzları tercih edilebilir. Büyük boyutlu teknelerde ve çekme kuvvetinin fazla olduğu durumlarda babalar kullanılır. Koçboynuzu ve baba sayıları tekne yerleşimi planına göre belirlenir.

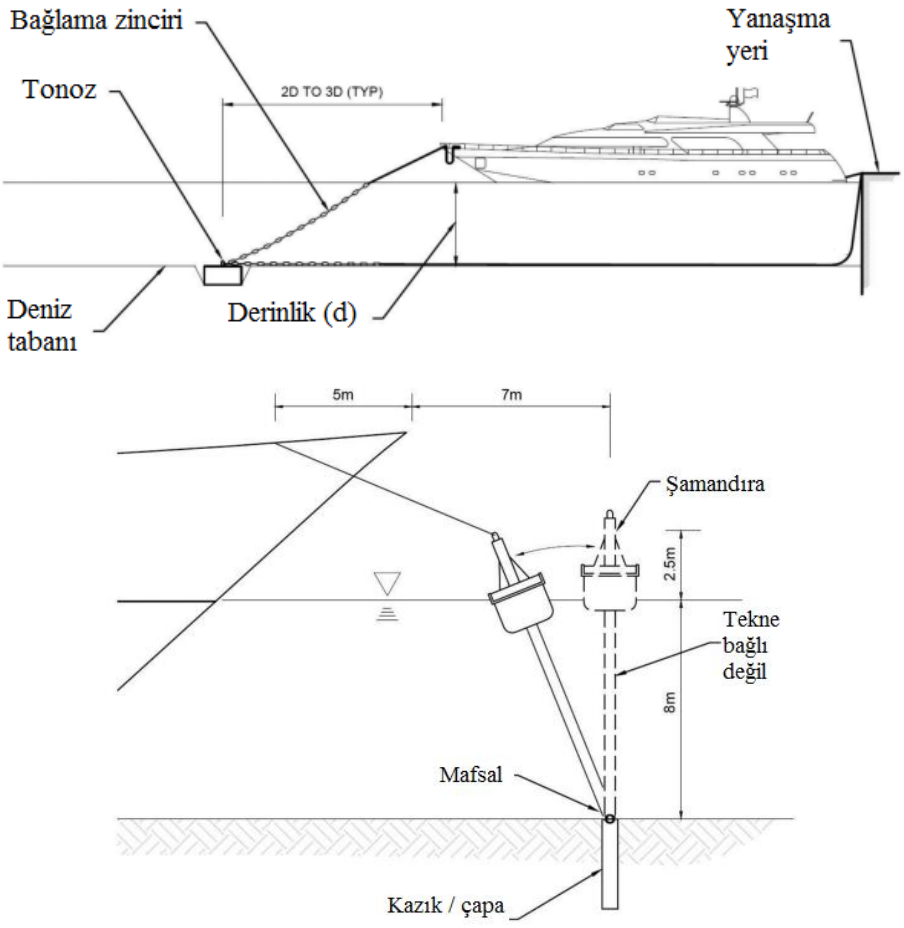
4.11 Balıkçı Barınaklarından Dönüştürülen Yat Limanları

Ülkemizde sıklıkla gözlenen uygulamalardan bir tanesi balıkçı barınaklarının tamemen veya kısmen yat limanına dönüştürülmesidir. Aslen işlevsel olarak birbiriyle oldukça farklı özellikler

içeren bu iki liman tipinin birbirine entegrasyonu güçlükler taşır. Bu projelerde, yukarıda tanımlanan yat limanı planlama şartlarına maksimum uyumun sağlanmasına çalışılmalıdır. Balıkçı ve yatçı olarak iki faaliyetin denizde ve karada birbirinden mümkün olduğunca ayrılabilmesi ve etkileşimlerinin en aza indirilmesi sağlanmalıdır.



Şekil 4.18 Bağlanma tipleri (PIANC, 2013)



Şekil 4.19 Akdeniz tipi bağlanma (PIANC, 2013)

5. KRUVAZİYER LİMANLARI

Kruvaziyer limanlarının su alanlarının planlanması ticari limanların planlanmasına benzerdir. Terminal planlaması ise feribot terminalleri ile benzerdir. Ancak planlamada 24/07/2009 tarih ve 27298 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiş olan Deniz Turizmi Yönetmeliği dikkate alınmalıdır. Bu yönetmeliğe göre kruvaziyer limanlara özgü aşağıdaki tanımlar verilmiştir. Feribot limanlarında verilen planlama esaslarına ilave olarak bu yönetmelikteki planlama esasları da dikkate alınmalıdır.

Kruvaziyer gemi limanları; A ve B tipi kruvaziyer gemi limanları olmak üzere ikiye ayrılır.

a) B tipi kruvaziyer gemi limanları aşağıda belirtilen nitelikleri taşır:

1) En az bir kruvaziyer geminin yanaşabileceği, yeterli uzunlukta güvenli fonksiyonel yolcu indirme yeri.

2) En az bir gemiden inen yolcunun hizmet alabileceği kruvaziyer terminali.

3) Tur otobüsleri için park yeri ve taksi durağı.

4) Personel, yolcu ve bagaj güvenlik kontrol ünitesi.

5) Danışma ünitesi.

6) Kamu hizmet binası.

7) Yeme, içme yerleri ve dinlenme salonları.

8) Kapalı devre güvenlik sistemleri.

9) Anons yayın sistemleri.

10) İlk yardım ünitesi.

11) Bedensel engelliler için tuvalet ve özel düzenlemeler.

12) Posta ve diğer iletişim hizmet ünitesi.

13) Gümrüklü ve gümrüksüz satış üniteleri.

14) Sergi ve gösteriler için uygun mahaller.

15) Yakın çevrede yoksa banka hizmet ünitesi.

16) Personel toplantı salonu.

b) A tipi kruvaziyer gemi limanları, B tipi kruvaziyer gemi limanlarında aranan şartların yanısıra aşağıda belirtilen nitelikleri de taşır:

1) Aynı anda dört adet kruvaziyer geminin yanaşabileceği, aynı anda birden fazla kruvaziyer geminin yolcularını indirebileceği güvenli fonksiyonel yolcu indirme yerleri.

2) Birden fazla gemi yolcusunun hizmet alacağı, giriş ve çıkışın ayrı ayrı yapılacağı iki adet terminal binası.

3) İşletme ve yönetim birimleri.

4) Yolcu nakliyesi için körük sistemleri.

5) Valiz nakliye alanı, yükleme ve boşaltma sistemi.

6) Turizm seyahat acenteleri ve tur operatörleri işletme ofisleri.

7) Konferans ve toplantı salonu.

8) Eğlence mekânları.

9) VIP hizmeti salonu.

10) Yeme, içme tesisleri.

11) Helikopter pisti.

12) Revir.

Kruvaziyer limanların kara sahası planlaması, limanın ana liman (home port) veya uğrak limanı olmasına göre büyük farklılıklar gösterir. Seyahatin başlangıç ve bitiş noktası olarak hizmet veren limanlarda, gemilere verilecek hizmetlerin çeşitlenmesi ve artması yanında, yolcu lojistiği de karmaşıklaşmaktadır. Ara limanlarda kısa süreli kalışlar ve yolcunun gezi amaçlı iniş - binişleri söz konusu iken, ana limanlarda, yolcuların eşya ve bagaj lojistiği de ortaya çıkmaktadır. Bu tür ana limanlarda terminal planlaması, uluslararası hava limanlarının terminalleri ile benzerlikler taşır.

Kruvaziyer limanı planlaması yapılırken araç, eşya ve yolcu trafiğinin doğru düzenlenmesi önemlidir. Gemi geliş sıklığı, yolcu sayısı, personel sayısı gibi faktörler, transferlerde kullanılacak kara ve deniz taşıtlarının miktarında belirleyici olacaktır.

Limanı kullanacak gemilerin sayısındaki mevsimsel değişimlerin tahmin edilmesi, limanın doğru planlanmasında önde gelen unsurlardan biridir. Genel olarak yaz aylarında artan gemi ve yolcu sayısına karşı tedbirlerin alınması sağlanmalıdır.
Planlama aşamasında limanı kullanacak gemi işleticilerinden, gemi ve yolcu özellikleri konularında bilgi alış verişinde bulunulması önerilir.

6. LİMAN KAPLAMA TASARIMI

6.1 Giriş

Liman kaplaması kavramı, liman bünyesinde yer alan tesislerde yük taşıma, aktarma veya diğer amaçlı kullanılan tüm araçların üzerinde hareket etmiş oldukları yüzeylerin yani yol yapılarının tamamını kapsamaktadır. Liman konusunda çalışan teknik elemanlar karayolunda kullanılan "Üstyapı" kavramı yerine "Liman Kaplaması"nı kullanmaktadırlar. Bu nedenle içerikte kullanılan "Liman Kaplaması" taban zemini üzerine inşa edilen tabakalı sistemin tamamını ifade etmektedir. Liman terminal alanında farklı kullanım amaçlı tesisler yer almaktadır, bunlar;

- Yanaşma yapısı,
- Depolama sahası,
- Türlerarası raylı sistem sahası,
- Kamyon giriş ve çıkış tesisleri,
- Binalar ve otomobil park sahaları

olarak sıralanabilir.

Söz konusu bu alanların herbirinde farklı tip ve büyüklükte taşıtlar hizmet vermekte olup, her bir taşıtta kendi içerisinde üretici firma standartlarına göre farklılıklar gösterebilmektedir. Bu nedenle liman sahalarında yer alan kaplamalar, ağır ve sürekli yüklü halde bulunan liman konteyner taşıyıcısı, ağır yük taşıyan forkliftler, lastik tekerlekli saha vinçleri (RTG) gibi ekipmanlardan gelen yükleri hizmet ömrü boyunca bozulmadan taşıma kabiliyetine sahip olmalıdır. Liman kaplamaları, asfalt, beton veya parke taşından inşa edilebilmektedir.

Liman kaplamalarında (1) Çevresel hasarlar, (2) Yapısal bozulma, (3) Yüzeysel hasarlar ve (4) İşletme hasarları olmak üzere dört farklı hasar şekli oluşmaktadır. Bu nedenle, kaplama tasarım yöntemi burada sıralanan hasar türlerini dikkate almalıdır.

Liman kaplamalarının tasarımı genellikle karayolu üstyapısı tasarım yöntemlerini esas almaktadır. Tasarım aşamasında, liman kaplamaları üzerine etkiyecek olan yüklerin karayolundan farklı olarak, çok daha yavaş, fazla ve sabit bir aks üzerinde hareket etmekte oldukları gözden kaçırılmaması gereken önemli bir husustur. Bu şartlar altında liman kaplamalarında da bakım ve onarım gerektirecek tekerlek izi ve bozulmalar oluşacaktır.

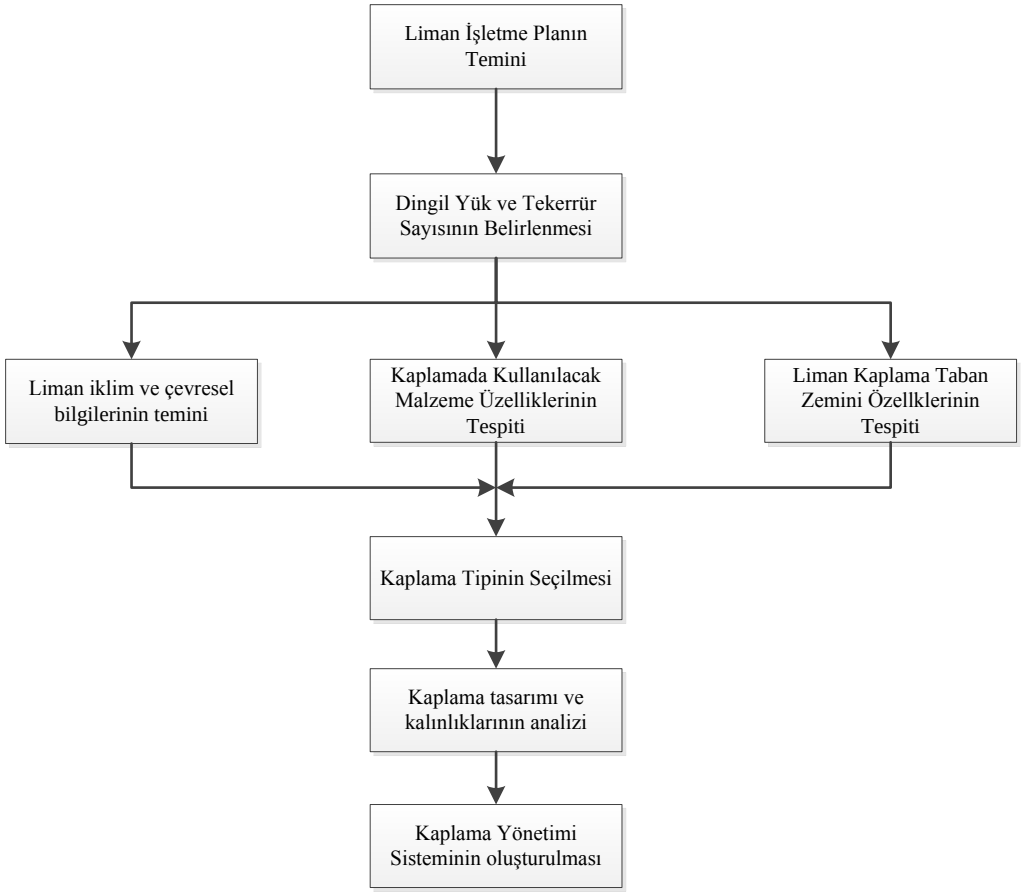
Mevcut durum itibari ile kaplama tasarımında;

(1) Fourth Edition of the British Ports Association Heavy Duty Pavement Design Manual, John Knapton, Interpave, 2008,
(2) The Asphalt Institute. Thickness design: asphalt pavements for heavy wheel loads. College Park: The Institute, 1986. 72 p. Manual series n. 23.
(3) Meletiou, Marios ve Knapton, John. Container terminal pavement management. Geneva: UNCTAD, 1987-1990. 2 vol. UNCTAD monographs on port management n.5;
(4) ROM 4.1-94 Guidelines for the Design and Construction of Port Pavements (Puertos del Estado, Spain)
(5) PIANC, 2015, No:165, "Design and Maintenance of Container Terminal Pavements".

gibi yöntemler bulunmaktadır.

6.2 Liman Kaplama Tasarımı

Liman kaplama tasarımında izlenecek yöntem Şekil 6.1'de bir akış şeması halinde verilmiştir.



Şekil 6.1 Liman kaplama tasarımı aşamaları

Akış şemasına göre tasarımcı,
1. Aşama; Plancı tarafından hazırlanan liman işletme planı üzerinden limanda yer alan üstyapıların ve işletme aşamasında kullanılması muhtemel ekipmanların neler olacağı ve ne kadar süre ile kullanılacağı konularında bilgilerin temin edilmesi,
2. Aşama: İşletme planından elde edilecek olan ekipman bilgilerinden hareketle, liman kapsamında yer alan liman kaplamasına etkiyecek olan dingil yükü ve tekerrür sayısı hesaplanması,
3. Aşama: Kaplama tasarımında etkili olan çevre, taban zemini özellikleri ve liman kaplamasında kullanılacak olan malzeme özelliklerinin tespit edilmesi,
4. Aşama: Kaplama tipinin seçilmesi (esnek, rijit veya parke kaplamalı kesit),
5. Aşama: Elde edilen bilgilerden hareketle, liman kaplama tipi belirlenerek, kaplama kalınlıkları, seçilen kaplama tipine uygun bir yöntem ile hesaplanacaktır. Elde edilen kalınlıkların uygunluğunun analizi yapılmalıdır,
6. Aşama: Kaplama tasarımının ardından, işletme süresi boyunca liman kaplamalarının bakım, onarım ve yenileme çalışmalarını düzenleyen bir Kaplama Yönetim Sistemi hazırlanmasıdır.

Liman Kaplamalarında astar ve yapıştırıcı ile bitümlü temelde kullanılacak bitümlü malzemeler olarak;

- Astar malzemesi olarak TS EN 15322 standardına uygun, Fm2B2, Fm2B3 TS EN 13808 standardına uygun C60B9-3, C60B9-4, C60B9-5 malzemelerinden biri kullanılacaktır.

- Yapıştırıcı olarak, TS EN 13808, "Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-Katyonik Bitüm Emülsiyonları Tanımlayıcı Çerçeve" standardına uygun C60B2-3, C60B2-4, C60B2-5, C65B2-3, C65B2-4, C65B2-5 malzemelerinden biri kullanılacaktır.

- Yapıştırıcı ve astar malzemesi olarak kullanılacak bitümlü bağlayıcılardan TS EN 58 “Bitümlü Bağlayıcılar - Numune Alma” standardına göre numune alınacak ve malzemenin şartnamesine uygun olup olmadığı tespit edilecektir.

Kaplama tasarımına ilişkin esaslarda PIANC, No:165 (2015) dikkate alınabilir.

7. TERSANELER

7.1 Genel

Tersanelerin planlanmasında belirlenmesi gereken kriterler ve tesisler aşağıdaki gibidir;

1-Arazi bilgileri;

- Topoğrafya,
- Zemin Bilgileri,
  - Jeolojik geçmiş,
  - Zemin özellikleri,
    - Taşıma kapasitesi,
    - Heyelan,
    - Sıvılaşma,
    - Taşıyıcı tabaka derinliği, vs.
- Sismik Durum,
- Batimetri.

2- Çevresel Şartlar

- Meteorolojik Koşullar,
  - Rüzgar iklimi,
  - Yağmur,
  - Sıcaklık,
- Oşinoğrafik Koşullar
  - Dalga iklimi,
  - Gelgit,
  - Akıntı,
  - Deniz suyu özellikleri,
  - Morfoloji; Belirlenen hidrodinamik koşullara bağlı olarak kıyı alanının morfolojik etki değerlendirilmesi yapılmalıdır. Bu amaçla, deniz tabanı malzemesinin granülometrik analizine, batimetrik ölçüme ve morfolojik hesaplamaların sağlıklı olarak yapılmasına olanak sağlayacak şekilde kıyı çizgisi ölçümüne ihtiyaç vardır. Ayrıca gemilerin pervane jeti etkisiyle deniz tabanında olabilecek muhtemel erozyon belirlenmelidir. Ayrıca potansiyel kumlanma ve tarama durumu incelenmelidir.

3- Seyir Koşulları

- Kanal Derinliği ve Genişliği,
- Gemi Yaklaşma Şartları,
- Seyir İşaretleri,
- Römorkör Hizmetleri.

4- İşletme Koşulları

- Tesis Bilgileri
  - Kapalı Alanlar
    - İmalat Alanları,
    - Tali İmalat Alanları,
    - İmalat Yardımcı Hizmetler Alanları,
    - İdari Alanlar,
    - Kullanım Alanları,
    - Depolar,
    - Diğer.
  - Açık Alanlar
    - İmalat Alanları,
    - Tali İmalat Alanları,
    - İdari Alanlar,
    - Kullanım Alanları,
    - İstif Sahaları,
    - Dalgakıran,
    - İskele,

- Rıhtım,
- Diğer.

5-Tekne Bilgileri; Büyüklük ve tip.
6-Tersane İçi Araç ve Kaldırma Araçları Bilgileri

- Büyüklük,
- Tip,
- Kapasite,
- Çalışma Dönemi.

Özel Ekipmanlar;

- Bağlama Donanımı,
- Çekme Donanımı.

Servis Hizmetleri

- Rıhtım Bağlantıları,
- Yangın Mücadele,
- Emniyet Ekipmanları,
- Aydınlatma.

Kamu Hizmetleri

- Elektrik,
- Su,
- Havagazı,
- Kanalizasyon,
- Yağmur Suyu,
- Tesis Emniyeti.

7- Diğer Standartlar

- Deniz Suyu Kalite Standartları,
- Kanalizasyon,
- Yağmur Suyu
- Sintine Boşaltma,
- Atmosfer Atıkları,
- Raspa Atıkları,
- Kimyasal Madde Atıkları,
- Metal Malzeme Atıkları,
- Hurda Metal Malzeme Atıkları,
- Tehlikeli Atıklar,
- Zehirli Atıklar.

8-Kıyı Yapılarının planlanması ve Tasarımı

7.2 Tekne Denize İndirme ve Denizden Alma Tesisleri

Teknelerin kıyıdan denize indirilmesi veya alınması için dört farklı tesis vardır. Bu tesislerin bazıları yeni inşa edilecek tekneler için kullanılmasına rağmen tamir maksadıyla denizden tekne almak için de kullanılırlar.
Bu tesisler aşağıda verilmiştir;

- Kızak
- Gemi Asansörü
- Yüzer Havuz (veya Yüzer Gemi Asansörü)
- Tekne Vinci
- Kuru Havuz; Tekneleri sudan uzak bir noktaya taşınmasına müsade etmese de, kuru havuzlar tekne tamiri ve inşaatı için kullanılırlar. Kuru Havuzlar, teknenin içinde yüzdürüldüğü ve su geçirmez kapağın kapatılmasıyla içindeki suyun dışarı pompalanarak teknenin takaryalar üzerine oturmasının sağlandığı efektif bir kullanım sağlayan havuzlardır. Küçük balıkçı teknelerinden, tankerlere kadar her büyüklükte tekneyi alabilecek kuru havuz boyutlandırılabilmektedir.

Bu yapıların seçimi; tersanenin kapasitesi, bakım ve inşa edilecek teknelerin büyüklükleri, tersane alanının bulunduğu bölgedeki seyir, zemin durumu, su derinliği, işletme bütçesi ile sürdürülebilirliği, işletmeci tercihi ve çevresel parametrelerin de dikkate alındığı fizibilite çalışmaları ile mümkündür. Bir tersanede birden fazla tesis bulunabilir.

Kuru havuzlar, ağırlık tipi beton / betonarme yapılar ya da etrafı iksa yapıları ile çevrilmiş yapılar şeklinde tasarlanabilirler. Gemilerin havuz içine alındığı kapak tarafında pompa odaları yer alır. Pompalar, havuzun doldurulması ve boşaltılması amacıyla kullanılır. Açılır - kapanır özelliğe sahip havuz kapakları çelik malzemeden imal edilirler.

Havuz içinde su olmaması halinde özellikle beton duvarlar ya da iksa duvarları toprak basıncı ve su basıncına maruz kalırlar. Ağırlık tipi havuzlarda ayrıca tüm alanda tabandan yer altı su (deniz suyu) basıncının dikkate alınması ve yüzme tahkiklerinin yapılması gerekir. Burada emniyet katsayısı minimum 1.5 olmalıdır. Ağırlık tipi olmayan sistemlerde ise bu yer altı suyunun havuz içine dolmaması için gerekli tedbirlerin alınması gerekir. Bu amaçla jet grout ya da uygun başka yöntemler uygulanarak su basıncı izole edilmelidir.

Toprak basıncı ve su basıncı etkisi altındaki yan duvarlarda ya da iksa yapılarında "Kıyı ve Liman Yapıları Deprem Teknik Yönetmeliği"'nde belirtilen hususlar yerine getirilmelidir. Hesaplar yapılırken gerek düşey, gerekse yatay yükler için en olumsuz yük kombinasyonları dikkate alınmalıdır.

Örnek olarak, yüzme tahkikinde havuz içinin tamamen boş kabul edilmesi, yan duvarlar üzerinde raylı vinç teker yükü var ise bu yükün dikkate alınmaması gibi.

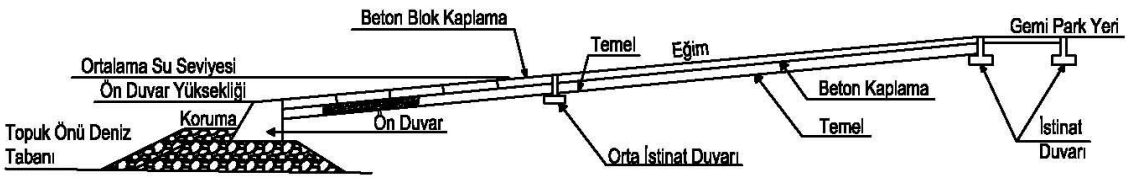
Kapak altında ayrık bir temel olması halinde, temel hesabında kapağa etki eden deniz suyu basıncına ek olarak temelden etki eden düşey su basıncı da dikkate alınmalıdır.

Fore kazıklarla teşkil edilen yan duvarlarda kesişen kazık ya da yan yana aralıklı fore kazık uygulanabilir. Ancak ikincisinde kazık aralarından sızan su akımının engellenmesi için gerekli tedbirlerin alınması şarttır. Bu uygulamada örnek olarak kazık aralarında yeterli miktarda ve derinlikte jet grout uygulaması yapılabilir.

7.3 Kızak Tasarımı

Kızak su içine kadar uzanan rayları ile birlikte eğimli bir yüzeye sahiptir. Çok tekerlekli felekler üzerinde bir vinç aracılığıyla teknelerin karaya alınmasını sağlar. Kızaklar teknelerin vinç aracılığıyla sudan çıkarılıp eğimli bir durumda bakımının yapılacağı sabit bir eğime veya değişken eğime sahip olabilir.
Kızaklar hiçbir yapısal veya işlemsel problem oluşmayacak şekilde tasarlanmalıdır.

(1) Kızaklar, tekneleri tamir, fırtına dalgalarından koruma ve kışın karada barınma amaçları için karaya almak ve suya bırakmak için kullanılan yapılardır.
(2) Çoğu durumda, 30 ton veya üzeri brüt tonajlı tekneleri kaldırmak veya indirmek için raylar veya kızaklar kullanılır, fakat bu bölümde verilen kriterler 30 ton brüt tonajın altındaki teknelerin kızak eğimi üzerinden kaldırıp indirmek için kullanılır.
(3) Bir kızağın tipik kesiti Şekil 7.1'de verilmiştir.



Şekil 7.1 Bir kızak için tipik kesit

7.3.1 Kızak Yerinin Konumu

Çekek yerlerinin konumlarına aşağıda sıralanan minimum şartlar sağlanacak şekilde karar verilmelidir.

(1) Yapı ön su alanı sakin olmalıdır.

(2) Yapı ön su alanında deniz tabanında oyulma veya yığılma olmamalıdır.
(3) Diğer teknelerin seyirlerine ve demirlemesine mani olunmamalıdır.
(4) Tekne kaldırma ve indirme ile tekne barındırma işleri için uygun alanlar olmalıdır.

7.3.2 Kızak Elemanlarının Boyutları

Kızak kesitinin, yüksekliği ve uzunluğu, geri alandaki arazi alanı, önündeki su derinliği, eğimi, demirleme ile manevra alanı, kızağı kullanacak teknelerin tip ile büyüklüklerine ve kullanım kolaylığına göre tasarlanmalıdır.
Karaya çıkış kesitinin ön duvarının başlığının tasarım teknelerinin su çekiminden dolayı ortalama aylık en düşük su seviyesinden daha düşük bir seviyeye yerleştirilmesi önerilir. Teknenin su çekimi tamir, barınma, kış barınması durumları için boş haldeki su çekimi dikkate alınmalıdır. En riskli durum göz önüne alındığında, av malzemesi ile dolu küçük balıkçı teknelerini kaldırma durumu için tam yüklü su çekimi alınmalıdır. Gel-git'in küçük olduğu yerlerde inşa edilen kızakların dalga etkisine açık olması durumunda ön duvarın başlık yüksekliğini düşürmek gerekir.

7.3.3 Kızak Uzunluğu ve Geri Alan

Kızak uzunluğu ve geri alan, söz konusu tekneleri taşımaya uygun olmalıdır.

(1) Geri alan kaldırılan teknelerin bulunduğu arazi alanı anlamına gelir. Bu aynı zamanda zeminin düz kısmı anlamına gelir, fakat bu alanın zemin yüksekliği fazla olduğunda kızak uzunluğu, üst eğimin bir kısmını da içerir. Eğimli kızağın bu kısmının uzunluğu en büyük teknelerin toplam uzunluğundan 5 m daha uzun olması istenir.
(2) Barınaklarda kaldırılan teknelerin arasındaki mesafe teknenin uzunluğu boyunca 2 m veya daha fazla ve teknenin genişliği yönünde 1 m veya daha fazla olmalıdır.

7.3.4 Su Derinliği

Kızağın önündeki referans su derinliği, tasarım teknesinin su çekimine 0.5 m ilave edilerek bulunabilir.

7.3.5 Kızak Eğimi

Kızak eğimi çekeği kullanacak olan teknelerin tipi, zemin özellikleri ve gel-git düzeyi hesaba katılarak uygun bir şekilde tanımlanmalıdır, böylece teknelerin kaldırma işlemi rahatça uygulanabilir.

(1) Eğim; küçük tekneler tarafından kullanıldığında, eğimi tek-eğimli tasarlamak gerekir. Tek-eğimli çekek yerleri sığ sularda inşa edilen teknelerin insan gücüyle kaldırıldığı çekek yerlerinde daha çok kullanılır. Bu tip kızaklar için, 1:6'dan 1:12'ye kadar eğim dikkate alınabilir.
(2) Çekek yerinin önündeki su derin olduğunda veya inşaat alanı sınırlı olduğunda, eğim iki veya daha çok eğimden oluşabilir. Bu durumda, iki-eğimli eğim ön duvarın başlık yüksekliği 2.0 m civarında ve üç-eğimli eğim ön duvarın başlık yüksekliği 2.0 m'den düşük olduğunda çalışabilir. Aşağıdaki değerler referans eğimler olarak kullanılabilir;

<u>Eğim iki-eğimli olduğunda:</u>
Ön eğim: 1:6-1:8
Arka eğim: 1:8-1:12
<u>Eğim üç-eğimli olduğunda:</u>
Ön eğim: 1:6'dan dik
Orta eğim: 1:1:8
Arka eğim: 1:8-1:12

7.3.6 Su Alanı

Kızağın önündeki su alanı teknelere zarar vermeden tekne kaldırma ve/veya indirme işlemine ve etraftaki teknelerin güvenli seyrine izin veren uygun alana sahip olmalıdır.

(1) Kızak üzerinden serbest düşmeyle suya indirildiğinde, tekne düşme sırasında kazandığı hızla suya çarptıktan sonra belli bir mesafe daha ilerler. Mesafe teknenin toplam uzunluğunun beş katından fazladır. Ancak gerekli olan su alanı mesafesi çekek yerinin eğimine, eğim sürtünmesine ve düşme mesafesine göre değişiklik gösterir. Genellikle, tekne uzunluğunun 4-6 katı mesafesinden sonra manevra yapabilecek hale geldiği için eğimin su ön çizgisinden su alanının diğer ucuna kadar teknenin toplam uzunluğunun 5 katı mesafeyi sağlamak gereklidir. Güçlü gel-git akıntıları olduğunda, uygun bir mesafe daha eklemek gerekir.
(2) Tekne halat ve diğer ekipmanlarla denize indirildiğinde, teknenin toplam uzunluğunun üç katı bir mesafe istenilen su alanı için yeterlidir.

7.3.7 Ön Duvar ve Döşeme

Ön Duvar

(1) Kızağın ön duvar yapısı kızağı kullanacak teknelerin boyutları, ön duvarın başlık yüksekliği ve tekne kaldırma yöntemini dikkate alarak uygun bir şekilde tasarlanmalıdır.

Döşeme

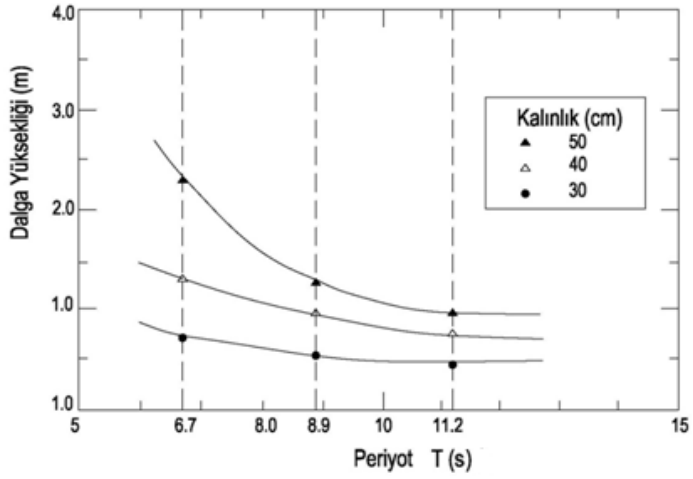
Döşeme aşağıdaki koşulları sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır:

(1) Döşeme tekne ağırlıkları ve tasarım teknesinin beklenen yükleri altında kırılmamalıdır.
(2) Döşeme dalga hareketlerinden dolayı kırılmamalıdır.
(3) Döşeme, temelin farklı oturmalarından dolayı kırılmamalıdır.

Genellikle, döşeme betondan inşa edilir. Döşemenin ortalama boyutları aşağıdaki gibidir:

Yerinde dökme beton:
Tabliye kalınlığı: 20-35 cm
Derz aralığı: 5-10 m
Prekast beton blok:
Tabliye büyüklüğü: 2 m x 2 m
Tabliye kalınlığı: Yaklaşık 30 cm

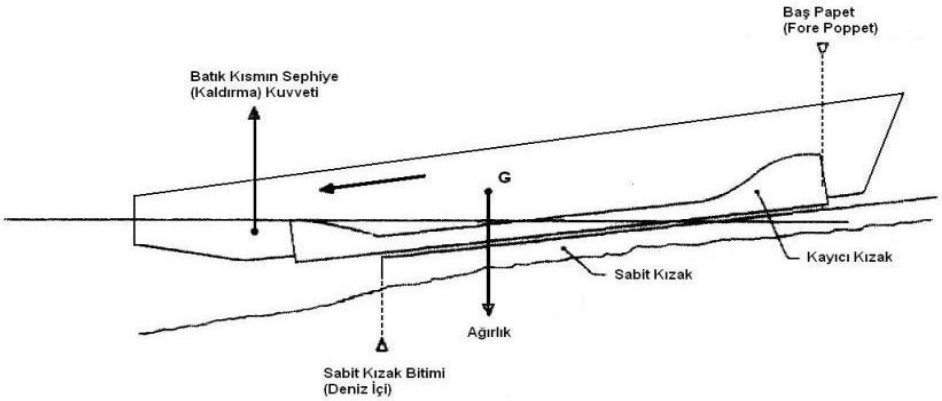
Ancak, dalgaların yüksek olması beklendiğinde veya doğal afet sonrası yenileme işlemi durumunda, blok kalınlığı Şekil 7.2'ye göre tanımlanabilir. Temel alanı için, tasarım kalınlığını yaklaşık 30 cm ve farklı oturmalardan dolayı çökmeyi önlemek için boydan boya sıkıştırma yapmak yaygın bir kullanımdır.



Şekil 7.2 Precast beton blok ve çekek yeri önündeki dalgaların yüksekliği için istenen kalınlık

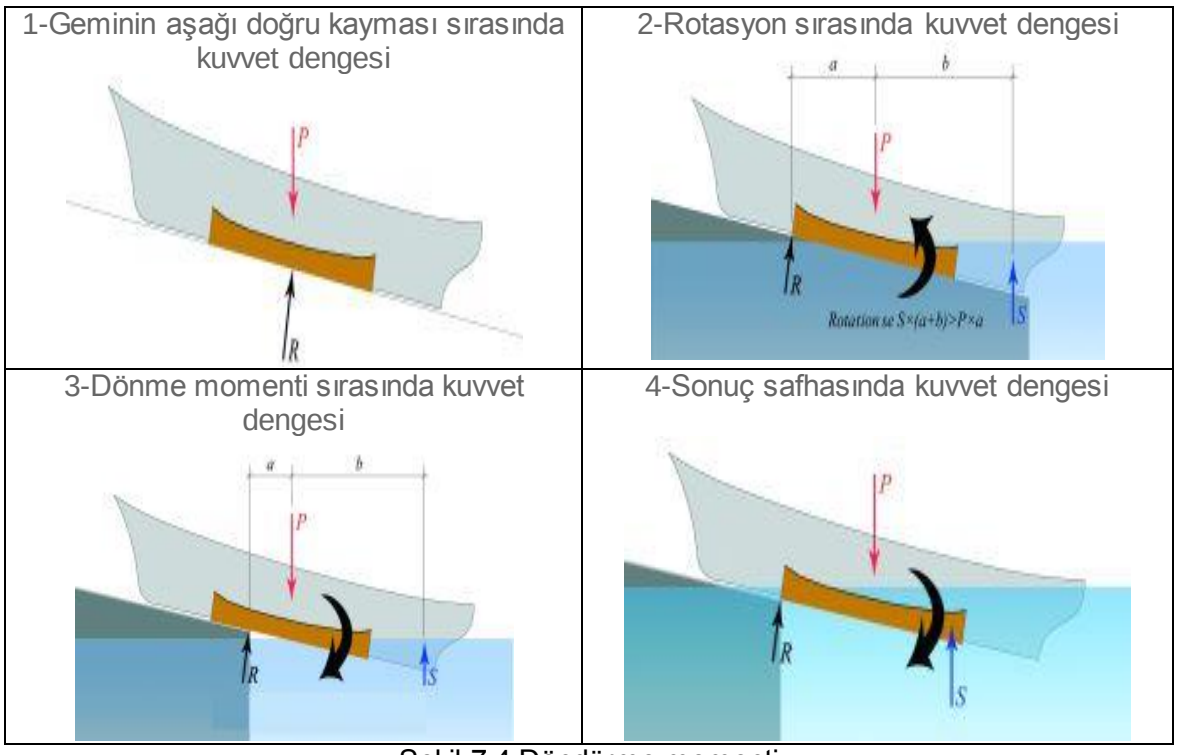
7.3.8 Baş Papet ve Döndürme Momenti

Eğimli kızak üzerinde geminin denize indirilmesi sırasında; gemi suya girdikten bir süre sonra gemi baş tarafı üzerinde dönmeye başlar ve bu esnada geminin baş tarafına büyük kuvvetler gelir. Bu büyük kuvvetlerin etkisini ortadan kaldırmak için gemi baş tarafının karina yan taraflarına dönme yüzeyini artırıcı çelik takviyeli ahşap konstrüksiyonlar ilave edilir. Bu konstrüksiyon "Baş Papet" olarak adlandırılmaktadır (Şekil 7.3).



Şekil 7.3 Baş papet

Gemi eğimli kızak üzerinde denize indirilirken kendi ağırlığı ve suya girmeye başlamasıyla birlikte sephiye (suyun kaldırma kuvveti) kuvveti ve bunlara göre nispeten diğer küçük kuvvetlerin etkisi altında kalır. Gemi kızak üzerinde kaymaya devam ederken bu kuvvetlerin etkisi nedeniyle gemiyi dönmeye başlatan moment değerine "döndürme momenti (tipping momenti)" adı verilir (Şekil 7.4).
Döndürme momentinin değerini belirleyen en önemli değer eğimli kızağın deniz içi bölümünün uzunluğudur. Bu uzunluk gemi boyu ve gemi ağırlık merkezinin konumu ile ilgili bir uzunluktur.

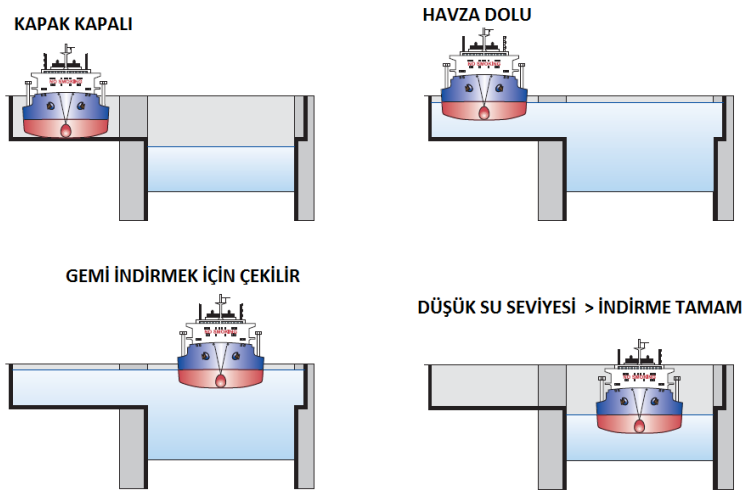


Şekil 7.4 Döndürme momenti

7.4 Gemi Asansörü

Bir gemi asansörü, birçok eş zamanlı tel halatlı vinç veya doğrusal zincir kaldırma vinci aracılığıyla teknenin düşey olarak sudan çıkarılmasını sağlayan bir platformdan oluşmaktadır.
Platform vinçler arası uzanan çelik kirişlere ve üzerinde genellikle ahşaptan oluşan güverteye sahiptir. Güverteye yerleştirilmiş raylar teknenin tekerlekli felekler üzerinde boyuna veya enine platform üzerinden alınmasını sağlar. Tekneler çok tekerlekli taşıyıcılar üzerinde havuzlanarak raylar aracılığıyla kuru kızaklara alınırlar. Gemi asansörleri genellikle 5,000

DWT'ye kadar (kaldırma kapasitesi 4,000 ton) küçük gemiler için imal edilmesine rağmen 50,000 DWT'ye kadar (kaldırma kapasitesi 25,000 ton) gemileri kaldıracak olan tipleri de vardır. Şekil 7.5'te gemi asansörünün çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.5 Gemi asansörü

Giriş Kapağı tasarımında aşağıdaki faktörler de dikkate alınmalıdır:
a)Giriş kapağı havuzunda suyu tutacak bir su tutma kapısı tasarımı olmalıdır.
b)Giriş kapağının çalışması tasarım için çok önemlidir. Gemi ya da yüzer yapının geçebileceği şekilde yeterli açıklığa sahip, havuzunda yeteri kadar su tutacak şekilde deniz seviyesinden yüksek olmalıdır.
Giriş Kapağı dayanakları ve eşik maruz kalınacak tüm yükleri güvenli bir şekilde taşımalıdır. Maruz kalınacak temel yükler şunlardır:
a)Giriş kapağı yükü,
b)Sürşarj etkileri dâhil olmak üzere zemin basıncı,
c)Yeraltı suyu basıncı,
d)Tutulan su basıncı.
Pompalama düzeneği dayanak yapılarından biri içine dâhil edilmelidir. Karışık akışlı dalgıç pompa kullanılarak havuzu sifon etkisiyle boşaltacak basit bir düzenek seçilmelidir.
Zemin seviyesinin üstündeki Su Tutma Havuzu duvarları genellikle narin yapıda olduklarından gemi çarpma riski değerlendirilmeli ve tasarıma dâhil edilmelidir.
Hidrolik Gemi Asansörü duvarları üzerinde halat taşımak için geniş bir çalışma alanı sağlanmasına özellikle dikkat edilmelidir.
Su tutma havuzunun özellikle derin bölümlerinde istinat duvarlarının maruz kalacakları tüm yükleri güvenli bir şekilde taşımaları sağlanmalıdır. Maruz kalınacak tüm yükler şunlardır:
a)Sürşarj etkileri dâhil olmak üzere zemin basınçları,
b)Tutulan su basıncı,
c)Bağlama kuvvetleri,
d)Kızak yaslanma kuvvetleri.
Duvarlar, bağlantı noktaları ve duvar altı sızma en aza indirecek şekilde su tutma yapısı tasarlanmalıdır. Su kaçağı olması muhtemel ise, bir sızıntı toplama ve drenaj sistemi sağlanmalıdır.

Su tutma havuzu zemini iki ayrı seviyede oluşturulmalıdır.
Havuzun deniz tarafı en düşük tasarım deniz seviyesinde gemi ve deniz yapılarının giriş ve çıkış yapacağı karina mesafesine sahip (düşük) seviyede olmalıdır.
Havuzun kara veya taşıma tarafı zemini ya da takarya seviyesi üstünde en az karina yüksekliği dâhil olacak seviyede olmalıdır. Genellikle karina mesafesi, işletme şartlarına bağlı olmak üzere, asgari 0.5 m olmalıdır.

Havuzun kara veya taşıma tarafı zemini havuz duvarları ile su tutma işlemleri sırasında sızıntıyı en aza indirecek su geçirmez bir bağlantıya sahip olmalıdır.
Taşıma tarafı zemin yapısı kuru havuz zeminine göre tasarlanmalıdır.

Hidrolik Gemi Asansörü tesisinde gemi inşa / tamir operasyonları gemi ya da yüzer yapının su tutma havuz içine veya dışına taşınması için bir Taşıma Kızak Sistemi sağlanmalıdır.

7.5 Yüzer Havuz

Genellikle imal edilen ve yan duvarları olan bir dubadır. Yüzer havuz demirli veya dolfenlere bağlı veya genellikle iskeleye yanaşmış olarak planlanır. Yüzer havuz yapısı tekneleri su üstüne çıkarabilmek için onun deniz tabanında bir çukur içinde dalıp çıkmasını sağlayan tanklara ve pompalara sahiptir. Yüzer havuzdan gemiyi çıkarmak için, su dışarı pompalanır. Daha büyükleri de bulunan yüzer havuzlar 150,000 DWT'ye kadar gemileri havuzlayacak boyuta sahip olmaktadırlar.

Yüzer havuzların bağlama kuvvetlerinin hesabında Bölüm D 3.2.1'de belirtilen dalga, akıntı ve rüzgar kuvvetleri dikkate alınacaktır. Bağlama halatlarının bir kısmı sabit dolfen ya da iskele sistemine bağlı bir kısmı ise ucunda çapa ya da beton blok bulunan zincir hatlarına bağlı şekilde düşünülebilir. Bu durumda zincir, çapa ve blok hesapları için "Tasarım" kısmında yer alan Bölüm D 4.5, 4.6, 7.3'den yararlanılabilir. Yüzer havuz batmış durumda iken, deniz tabanı ile havuzun tabanı arasındaki mesafe, dalga gel-git dikkate alınmak koşulu ile en az batık kısmın (su çekimi) yüzde onu kadar olmalıdır.

7.6 Tekne Vinci

Bir tekne vinci, küçük tekneleri düşey olarak sudan çıkarmak için tasarlanmış kendinden tahrikli bir ünitedir. Genellikle yat limanı ve küçük tekne tersanelerinde 150 tona kadar teknelerin kaldırılmasında kullanılır ancak 800 tona kadar tekneleri kaldıran modelleri de vardır.
Tekne vinci dört adet lastik tekerlek tarafından desteklenmiş bir çelik yapıdan oluşur. Vinç askıların suya atılıp teknelerin askı üzerinden manevra yaptırılarak geçirilip askıya alınabileceği küçük bir basen ya da iskeleler arasına getirilir. Askılar üst çerçeveye tutturulmuş vinç aracılığıyla sudan çıkarılır ve vinç teknenin konulacağı kızağa kadar tersane içinde hareket ettirilir.

Son yıllarda özellikle uzak doğuda uygulanmaya başlayarak yayılan ve balon üzerinden teknelerin suya atılması yöntemi kullanılmaktadır. Kızak alanı gerektirmediği ve kızak önünde gemi boyu için yeterli mesafenin bulunmadığı tesislerde, teknelerin doğrudan suya düşürülmesi tercih edilebilmektedir. Bu yöntemin uygulanacağı tersanelerde, operasyon esnasında gemi ve rıhtımı etkileyecek yüklerin detaylı olarak tespit edilmesi önem taşımaktadır.

7.7 Büyük Tonajlı Gemi Kızakları

Klasik Kızak Sistemi:
Genellikle %4.0 - %6.0 gibi eğimlerle inşa edilirler. Kızak boyu gemi uzunluğundan en az 20 metre uzun olmalıdır. Bu tür kızakların deniz kısmı Şekil 7.1'de gösterilen kesite benzer şekilde olmalıdır. Dolgu olarak taş ocaklarından temin edilen granüler dolgu malzemesi kullanılmalıdır. Dolgu üstü betonarme prekast ya da yerinde dökme beton olmalı ve minimum kalınlık 30cm. olmalıdır. Deniz içi kızak uzunluğu belirlenirken imal edilecek gemi boyu, mevcut deniz derinlikleri, kızaktan indirilen maksimum tonajdaki gemilerin yüksüz (boş) durumdaki maksimum su çekimi dikkate alınmalıdır.
Kara tarafına doğru yukarıda belirtilen eğimlerle devam eden kızak yapısı, tersane dolgu kotundan 7.5-15m. gibi yüksek kotlara ulaşabilir. Tersane planlama konusu ile ilgili olmak üzere bu bölümler depo, ofis, yemekhane vs. gibi kullanım amacıyla çeşitli bölümlere

ayrılabilir. Bu durumda kızak hesaplarında ilgili yönetmelikler dikkate alınarak statik ve dinamik (deprem) hesapları yapılmalıdır.
Kızak üzerinde imal edilen ya da bakımı yapılan gemilerin ağırlığı, kızağa ait döşeme, kiriş, kolon gibi yapı elemanları tarafından taşınacağı için gemilerin kızak ile temas (yük aktarma) koşulları hassas bir şekilde dikkate alınmalıdır. Yük aktarımında yükün etkime şekli çizgisel ya da noktasal olabilir. Bu konu tamamen geminin inşa programına ya da planlamasına bağlıdır. Tüm kızak boyunca bu mesnetlenme koşulları ve en olumsuz yükleme koşulları dikkate alınmalıdır. Bu yükler belirlenirken, mesnetlenme koşullarının değişmesi halinde maksimum tonajdaki geminin yanı sıra daha küçük tonajdaki gemilerin de dikkate alınması gerekebilir.
Deprem durumunda gemi ağırlığının en az yarısı düşey yük olarak alınmalıdır. Gemi ile kızak arasında rijid bir bağlantı olmadığından, deprem hesaplarında sadece kızak kütlesi alınabilir.

Balonlu Kızak Sistemi:
Balonlu sistem adı verilen kızak sistemlerinde eğim %1.0-%1.5 civarıdır. Balonlu sistemlerde kızak ucu kotunun tercihen deniz seviyesinde olması istenir. Bu kot +0.30 m. seviyesini aşmamalıdır. Bu tür yapılarda kızak boyunca demirli betonarme plak döşemeler tercih edilmektedir. Eğimler düşük olduğu için deniz içi kızak ihtiyacı oluşmaz.
Bu nedenle kızağın deniz ile temas ettiği kısımda düşünülen iksa sisteminin toprak basıncı, deprem koşulları ve gemi ağırlığından oluşan şürşarj nedeniyle oluşacak ilave tesirler dikkate alınarak tasarlanması gerekir.
Deprem durumunda geminin indirilme anında, dönme momentinden oluşan ilave tesirlerinin dikkate alınması zorunlu değildir. Ancak arka dolguda sürşarj yükü olarak, inşa edilecek maksimum gemi tonajından oluşan yayılı yükün en az yarısı dikkate alınmalıdır.
Gemiden kızak sistemine yük aktarımı konusunda klasik kızak için belirtilen hususlar bu tip kızaklar için de geçerlidir.
Zemin emniyet gerilmelerinin yetersiz olması durumunda, zemin ıslahı ya da kazıklı sistem uygulaması yapılarak yapı emniyeti sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

ASCE, 2012, “Planning and Design Guidelines for Small Craft Harbors”, COPRI

ASCE, 2014, “Mooring of Ships to Piers and Wharves”.

ASCE, 2014, “Seismic design of Piers and Wharves”.

ASCE, 2015, “Waterfront Facilities Inspection and Assessment”.

Atkins, W.H., 1983, “Modern Marine Terminal Operations and Management”, Oakland, CA. Port of Oakland.

Australian Standard, 2001, “Guidelines for Design of Marinas”, Standarts Australia.

British Marine Federation, 2007, “A Code of Practice for the Design, Construction and Operation of Coastal and Inland Marinas and Yacht Harbours”, The Yacth Harbour Association Ltd.

BS 5930:1990 Code of practice for site investigation

BS 6349:Part2,1988, “Maritime Structures Part 2. Design of Quay Walls, Jetties and Dolphins”, British Standard Institution.

BS 6349:Part6,1989, “Maritime Structures Part 6. Design of inshore morrings and floating structures” British Standard Institution.

BS 6349-Part1, 2000, “Maritime Works – Part 1: Code of Practice for General Criteria”, The British Standards Institution

BS 6349-Part4, 2014, 1994 “Maritime Works – Part 4: Code of Practice for Design of Fending and Mooring Systems”, The British Standards Institution 2014

BS 6349-Part7, 1991 ““Maritime Structures – Part 7: Guide to the Design and Construction of Breakwaters” The British Standards Institution 2010

CERC, 1984, “Shore Protection Manual”

CERC, 2003, “Coastal Engineering Manual”

Chen, T., 1998, “Planning Land Utilization of the Container Terminal-A Strategic Perspective”, Transportation Planning Journal, 27(3), pp. 509-543.

CIRIA, 2012 and 2009, “Rock Manual”, C683

Daily, H.K., 1983, “Container Handling and Transport-A Manual of Current Practice”, London: Cargo Systems IIR Publications Ltd.

Dharmalingam, K., 1987, “design of Storage Facilities for Containers”, a case study of Port Louis Harbour, Mauritius, Port and Harbors, pp. 27-31.

Frankel, E.G., 1987, “Port Planning and Development”, new york, Willey.

Hoffman, P., 1985, “Container Facility Planning: A Case Description, in Port Management Textbook Containerization” Bremen: Institute of Shipping Economics and Logistics, pp. 353-364.

IMO, (International Maritime Organisation), 2002, “Consideration of the Draft International Ship and Port Facility Security (ISPS) Code, IMO, London.

Itsuro, W., 2001, “Container Terminal Planning-A Theoretical Approach”, Leatherhead, UK World Cargo Publishing.

Ligteringen, H. And Velsink, H., 2012, “Port and Terminals”, VSSD, Holland.

Ligteringen, H., 2000, “Lecture Notes On The Course Ports And Terminals”, (CT4330), faculty of Civil Engineering Technical University Delft, Delft.

Mellor, D.C., 1992, “Modern Marina Layout and Design”, Civil Engineering Practice.

OCDI, 2002, “Technical Standarts and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan”

OCDI, 2009, “Technical Standarts and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan”

OCIMF (Oil companies International Marine Forum), 1995, 1997, 2004, “Mooring Equipment Guidelines”

PIANC, 1980, “Final report of the 3rd International Commission for the Study of Waves”, 1980, Belgium.

PIANC, 1986, “List of Sea State Parameters”, 1986, Belgium.

PIANC, 1989, “Analysis of Rubble Mound Breakwaters”, 2006, Belgium.

PIANC, 1992, “Analysis of Rubble Mound Breakwaters” Permanent International Association of Navigation Congresses”, ISBN 2-87223-047-5, Belgium.

PIANC, 1992, “Uncertainty Related to Environmental Data and Estimated Extreme Events”, Belguim.
PIANC, 1992,. Analyses of Rubble Mound Breakwaters, Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC), Summary Report of Working Group No: 12, Supplement to Bulletin No: 78/79, Brussels, Belçika.
PIANC, 1993, “Formulae for Rubble Mound Breakwater Failure Modes”, Belguim.
PIANC, 1994, “Floating Breakwaters” ISBN 2-87223-052-1, Belgium.
PIANC, 1995, “Criteria for Movements of Moored Ships in Harbours” ISBN 2-87223-070-X, Belgium.
PIANC, 1995, “Guidelines for the Use of Certain Powered Craft, such as Waterscooter, Personal Watercraft, Waterbike, Jetski, Waverunner, Seadoo, on Controlled Waters” ISBN 2-87223-065-3, Belgium.
PIANC, 1995, “Port Facilities for Ferries” ISBN 2-87223-066-1, Belgium.
PIANC, 1997, “Guidelines for the Design of Armoured Slopes under Open Piled Quay Walls”, 1997, Belgium.
PIANC, 1998, “Lifecycle Management of Port Structures General Principles” ISBN 2-87223-103-X, Belgium.
PIANC, 1998, “Planning for Fishing Ports” ISBN 2-87223-091-2, Belgium.
PIANC, 2000, “Dangerous Cargoes in Ports” ISBN 2-87223-119-6, Belgium.
PIANC, 2000, “Protecting Water Quality in Marinas”, Report No:98-2000.
PIANC, 2000, “Site Investigation Requirements for Dredging Works” ISBN 2-87223-113-7, Belgium.
PIANC, 2001, “Seismic Design Guidelines for Port Structures” ISBN 2-87223-120-X, Belgium.
PIANC, 2001, Seismic Design Guidelines for Port Structures**,** International Navigation Association, The Netherlands.
PIANC, 2002, “Guidelines for the Design of Fenders Systems” ISBN 2-87223-125-0, Belgium.
PIANC, 2002, “Mooring System for Recreational Craft” ISBN 2-87223-126-9, Belgium.
PIANC, 2002, “Recreational Navigation and Nature” ISBN 2-87223-130-7, Belgium.
PIANC, 2003, “Breakwater with Vertical and Inclined Concrete Walls”, 2003, Belgium.
PIANC, 2003, “Guidelines for Managing Wake Wash from High Speed Vessels ” ISBN 2-87223-142-0, Belgium.
PIANC, 2004, “Disability Access Guidelines for Recreational Boating Facilities”, 2004, Belgium.
PIANC, 2004, “Dredging of Marinas” ISBN 2-87223-144-7, Belgium.
PIANC, 2004, “Inspection, Maintenance and Repair of Maritime Structures Exposed to Damage and Material Degradation Caused by Salt Water Environment” ISBN 2-87223-145-5, Belgium.
PIANC, 2005, “Accelerated Low Water Corrosion” ISBN 2-87223-153-6, Belgium.
PIANC, 2006, “Waterborne Transport, Ports and Waterways; A Review of Climate Change Drivers, Impacts, Responses and Mitigation”, 2006, Belgium.
PIANC, 2008, “Lifecycle Management of Port Structures Recommended Practice for Implementation”, Report No:103-2008.
PIANC, 2008, “Minimizing Harbour Siltation”, Report No:102-2008.
PIANC, 2009, “The Use of Alternative Materials in Marine Structure Construction”, Report No:105-2009.
PIANC, 2011, “The Application of Geosynthetics in Waterfront Areas”, Report No:113-2011.
PIANC, 2012, “Criteria for the (Un) Loading of Container Vessels”, Report No:115-2012.
PIANC, 2012, “Safety Aspects Affecting the Berthing Operations of Tankers to Oil and Gas Terminals”, Report No:116-2012.
PIANC, 2012, “Use of Hydro/Metro Information for Port Access and Operations”, Report No:117-2012.
PIANC, 2013, “Design and Operational Guidelines for Superyacht Facilities”, Report No:134-2013.

PIANC, 2013, “Dry Stack Storage”, Report No:132-2013.
PIANC, 2014, “Classification of Soils and Rocks for the Maritime Dredging Process”, Report No:144-2014.
PIANC, 2014, “Countries in Transportation (CIT): Coastal Erosion Mitigation Guidelines”, Report No:123-2014.
PIANC, 2014, “Design Principles for Small and Medium Marine Container Terminals”, Report No:135-2014.
PIANC, 2014, “Harbour Approach Channels Design Guidelines”, Report No: 121-2014
PIANC, 2014, “Sustainable Ports a Guide for Port Authorities”, Report No:150-2014.
PIANC, 2014, “Tsunami Disaster in Ports due to the Great East Japan Earthquake”, Report No:122-2014.
PIANC, 2015, “Anti-Sedimentation System for Marinas and Yacht Harbours”, Report No: 130-2015.
PIANC, 2015, “Guidelines for Protecting Berthing Structures from Scour Caused by Ships”, Report No:180-2015.
PIANC, 2015, “Semi – Probabilistic Design Concept for Inland Hydraulic Structure”, Report No:140-2015.
PIANC, 2015, “Design And Maintenance of Container Terminal Pavements”, Report No: 165-2015.
Thoresen C. A., 2003, “Port Designer’s Handbook; Recommendations and Guidelines” Thomas Telford.
Thoresen C. A., 2015, “Port Designer’s Handbook; Recommendations and Guidelines” Thomas Telford.
Thoresen, C. A., 1988, “Port Design” Tapir Pub., Norway.
Thoresen, C.A., 2014, “Port Designer’s Handbook”, Third Edition, ICE Publishing, One Great George Street, Westminster, London SW1P 3AA.
Tomlinson, M. and Woodward, J., 2015, “Pile Design and Construction Practice”, Sixth Edition, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Landon, Newyork.
Tsinker, G. P., 1995, “Marine Structures Engineering Specialized Applications”, Chapman and Hall.
Tsinker, G.P., 2004, “Port Engineering” Wiley.
UNCTAD /United Nations Conference on Trade and Development), 1985, “Port Development: A Handbook for Planning in Developing Countries”, second edition.
Yüksel, Y. ve Çevik, Y., 2008, “Kıyı Mühendisliği”, BETA Yayınevi.
Yüksel, Y. ve Çevik, E., 2010, “Liman Mühendisliği”, 2. Bası, BETA Yayınevi
Yüksel, Y., 2011, “Dalgakıran Tasarımı”, BETA Yayınevi
Yüksel, Y., 2011, “Deniz tabanı Hidrodinamiği ve Kıyı Morfolojisi”, 2. Bası, BETA Yayınevi.
Yüksel, Y., 2014, “Teori ve Çözümlü Problemler ile Bilgisayar Uygulamalı Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik”, 4. Bası, BETA Yayınevi, 5. Baskı

BÖLÜM D

TASARIM

İÇİNDEKİLER

1.GENEL 263
2. DALGAKIRAN TASARIMI 267
2.1 Taş Dolgu Dalgakıranlar 267
2.1.1 Taş Dolgu Dalgakıranlar için Yapısal Tanımlar ve Hasar Tipleri 267
2.1.2 Tasarım Derinliği 267
2.1.3 Tasarım Dalgası Seçimi 268
2.1.4 Hidrolik Davranış 270
2.1.4.1 Dalga Tırmanması ve Geri Çekilmesi 270
2.1.4.1.1 Dalga Tırmanması 270
2.1.4.1.2 Dalga Geri Çekilmesi 275
2.1.4.2 Dalga Aşması 275
2.1.4.3 Dalga Yansıması 278
2.1.5 Taş Dolgu Dalgakıranların Yapısal Tasarımı 280
2.1.5.1 Hudson (1958) 282
2.1.5.2 Van der Meer (1988), Derin Su İfadesi 284
2.1.5.3 Van der Meer (2004), Sığ Su İfadesi 286
2.1.5.4 Van Gent vd. (2005) 287
2.1.5.5 Beton Bloklar için Stabilite İfadeleri 288
2.1.6 Dalgakıran Kafası (Müzvar) 290
2.1.7 Dalgakıran Filtre Tasarımı 292
2.1.8 Dalgakıran Geometrik Özelliklerinin Belirlenmesi 293
2.1.8.1 Kret Kotu 293
2.1.8.2 Kret Genişliği 294
2.1.8.3 Koruyucu Tabaka Kalınlığı 294
2.1.9 Taş Dolgu Yapılarda Kronman Duvarı Hesabı 296
2.1.10 Topuk Koruması 298
2.2 Düşey Yüzlü Dalgakıranlar 301
2.2.1 Düşey Yüzlü Dalgakıranlar için Yapısal Tanımlar ve Hasar Tipleri 301
2.2.2 Hidrolik Davranış 302
2.2.2.1 Düşey Yüzeyden Yansıma 302
2.2.2.2 Düşey Yüzlü Dalgakıranlarda Dalga Aşması 302
2.2.3 Düşey Yüzlü Dalgakıran Tasarım Yöntemleri 304
2.2.3.1 Sainflou Yöntemi (1928) 305
2.2.3.2 GODA Yöntemi 307
2.2.4 Düşey Yüzlü Dalgakıranlarda Topuk Stabilitesi 311
2.3. Yüzen Dalgakıranlar 313
2.4 Basamaklı Dalgakıranlar 317
2.5 Düşük Kretli Dalgakıranlar 319
2.6 Tabana Yakın Koruma Tabakaları 320
2.7 Taş Dolgu Şevli Yapılarda Taş Özelliklerinin Tanımlanması ve Başlıca Tasarım Parametreleri 322
2.7.1 Malzemelerin Fonksiyonları 322
2.7.2 Malzeme Özellikleri 322
2.7.3 Koruma Tabakası Taşlarının Granülometrik Özellikleri 326
3. YANAŞMA YAPILARI 329
3.1. Yanaşma Yapı Tipleri 329
3.2. Gemi Bağlama Kuvveti 332
3.2.1. Bağlanma Yüklerinin Belirlenmesi: 332
3.3. Gemi Yanaşma Yükleri 346
3.3.1. Gemi Yanaşma Enerjisi 346
3.3.2. Usturmaça Tasarımı 352
3.3.3 Yanaşma Reaksiyonları ve Yük Dağılımı 352
3.4. Gemilerin Seyir Sırasında Birbirlerini Geçmesi 353
3.5 Kazık Destekli Yapılarda Dalga Yükleri 354

3.6 Yükler ve Yük Kombinasyonları 357
3.6.1. Yükler 357
3.6.2 Yük Kombinasyonları 358
3.7 Yanaşma Yapılarında Dalga Çarpma Tesiri 364
4. YÜZEN İSKELELER 369
4.1 Tasarım Prensibi 369
4.2 Duba Tasarımı 370
4.3 Dubanın Stabilitesi 371
4.4 Dubanın Tekil Elemanlarının Tasarımı 373
4.5 Bağlama Sisteminin Tasarımı 373
4.5.1 Bağlama Metodu 373
4.5.2 Bağlama Zincirinin Tasarımı 374
4.6 Bağlama Ankrajının Tasarımı 375
5. KIYI KORUMA YAPILARI 377
5.1. Mahmuzlar 378
5.1.1. Mahmuz Tasarımı Aşamasında İncelenecek Konular 378
5.1.2 Yapı Tipleri 379
5.1.3 Temel kesit tasarımı 380
5.2 Ardışık Dalgakıranlar 381
5.3 Kıyı Duvarları 386
5.4 Kıyı Tahkimatları 388
5.4.1 Koruma tabakası tasarımı 389
5.4.1.1 Koruma Tabakası Kalınlığı 389
5.4.1.2. Filtre Tabakası Tasarımı 389
5.4.1.3 Topuk Tasarımı 390
5.4.2. Dalga Aşması Miktarı 390
5.5 Kıyı Yenileme 391
5.6 Alternatif Çözümler 395
5.7 Yapılaşmama ya da Geri Çekilme 396
6. DENİZALTI BORU HATLARININ TASARIMI 399
6.1 Akıntı Kuvvetleri 399
6.2 Dalga Kuvvetleri 399
6.3 Boru Hatları Etrafında Yerel Oyulma 401
6.4 Su Alma Yapılarının Tasarımı 402
7. BAĞLAMA ŞAMANDIRALARI 403
7.1 Giriş 403
7.2 Çok Noktalı Bağlama Sistemleri 404
7.3 Tasarım Yükleri ve Analiz 404
8. DENİZ YAPILARINDA MALZEME 419
8.1 Malzeme Seçimi 419
8.2 Deniz Yapısı Durum Tespit Yöntemleri 428
KAYNAKLAR 433

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Yapının stabilite hesaplarında dikkate alınacak en büyük dalga için yinelenme dönemleri 264
Tablo 1.2 Dalga aşması hesaplarında dikkate alınacak en büyük dalga için yinelenme dönemleri 265
Tablo 1.3 Yapının hizmet süresi (yıl) ve yinelenme dönemi (yıl)'ne bağlı olarak risk (%) 265
Tablo 1.4 Taş dolgu dalgakıranlarda tasarım dalgası için hasar seviyeleri 266
Tablo 1.5 Keson tipi dalgakıranlarda tasarım dalgası için hasar seviyeleri 266
Tablo 2.1 Pürüzlülük azaltma faktörü 275
Tablo 2.2 Dalga aşma debisi için tolerans değerleri 279
Tablo 2.3 Yansıma katsayıları 280
Tablo 2.4 Taş dolgu şevlerde kullanılan stabilite ifadelerinin kullanım kriterleri 281
Tablo 2.5 Van der Meer stabilite ifadelerinin uygulama bilgileri 281
Tablo 2.6 Hudson formülündeki K_D (stabilite katsayısı) değerleri 283
Tablo 2.7 Tasarım dalga yüksekliğinde yapılacak azaltma $H_s / H_{s;(D=0)}$ 283
Tablo 2.8 Taş dolgu dalgakıranların koruma tabakalarında küp ve antifer bloklar kullanılması, topuk yapılması durumlarında, gövde kesiti için önerilen stabilite katsayıları 284
Tablo 2.9 Taş dolgu dalgakıranların koruma tabakalarında küp ya da antifer bloklar kullanılması, topuk yapılması durumlarında, kafa kesiti için önerilen stabilite katsayıları 284
Tablo 2.10 Farklı eğimler için hasardaki (S) değişim 285
Tablo 2.11 Van der Meer (1988) derin su ifadesi geçerlilik sınırları 286
Tablo 2.12 Van der Meer (2004) sığ su ifadesinin geçerlilik sınırları 287
Tablo 2.13 Beton bloklar için göreceli hasar sayıları 290
Tablo 2.14 Katsayılar 292
Tablo 2.15 Çeşitli koruyucu tabaka tekil taş ya da blok için tabaka katsayısı ve boşluk oranı 294
Tablo 2.16 Ocak taşı için kaplama tabakası kategorileri 295
Tablo 2.17 Düşey yüzlü dalgakıranlar için ifadeler ve geçerlilik koşulları 305
Tablo 2.18 Hidrodinamik direnç katsayıları 316
Tablo 2.19 Rüzgar direnç katsayıları 316
Tablo 2.20 Van Gent (2013)'e göre basamaklı dalgakıran için hasar ifadeleri 318
Tablo 2.21 Hidrolik fonksiyonlar 322
Tablo 2.22 Hidrolik yapılardaki aşınmamış kayaların kullanımının genel değerlendirilmesi 323
Tablo 2.23 Koruma tabakasında kullanılacak taşların dayanıklılığı ve kalitesini belirlemek için taşocağından alınan taşların laboratuvar ve saha verileri 325
Tablo 2.24 Saha ve laboratuvar kriterleri kullanılarak taş ocağından alınan anroşmanın kalite 326
Tablo 2.25 Ağır, Hafif ve Kaba Gradasyon için gereksinimler 328
Tablo 2.26 Standart olmayan dağılım içim önerilen katsayıları 328
Tablo 3.1 Maksimum belirgin dalga 334
Tablo 3.2 Farklı yönler için maksimum belirgin dalga yükseklikleri 334
Tablo 3.3 Akıntı katsayıları 337
Tablo 3.4 Beaufort rüzgar ölçeği 338
Tablo 3.5 On dakika ve Bir saat rüzgar hızı ile gust oranı arasındaki ilişki 338
Tablo 3.6 Rüzgar katsayıları 341
Tablo 3.7 Maksimum belirgin dalga yükseklikleri 343
Tablo 3.8 Gemilerin bağlama kuvvetleri 344
Tablo 3.9 Genel kargo ve dökme yük gemileri için bağlama kuvvetleri 344
Tablo 3.10 Rıhtımlarda kullanılacak babalar için baba aralıkları ve sayıları 345
Tablo 3.11 Gemilerin karakteristik yer değiştirme (deplasman) tonajları (DT_k) ile ölü ağırlık tonajları (DWT) ve GT arasındaki ilişki 347
Tablo 3.12 Ölü ağırlık tonajı (DWT) veya Gros tonaj (GT) verileri ile LBP hesaplanmasını sağlayan eşitlikler 349

Tablo 3.13 C_B Değerleri 349
Tablo 3.14 Römorkör desteği ile gemi yanaşma hızı 351
Tablo 3.15 Ortalama gemi yanaşma hızı 351
Tablo 3.16 Güvenlik katsayısı 352
Tablo 3.17 Gemi gövde basınçları 353
Tablo 3.18 Usturmaça yüzeyi kaplama malzemeleri sürtünme katsayıları 353
Tablo 3.19 Farklı kazık geometrileri için direnç ve atalet kuvveti katsayıları 356
Tablo 3.20 Düzeltme katsayıları 356
Tablo 3.21 Kuru yük özgül ağırlıkları ve içsel sürtünme açıları 357
Tablo 3.22 Liman sahasına etkiyen kreyn yükleri 358
Tablo 3.23 Liman sahasına etkiyen konteyner taşıyıcı yükleri 358
Tablo 3.24 Kısmi Faktörler 361
Tablo 3.25 Kombinasyonlar için ψ faktörleri 362
Tablo 3.26 Farklı etki kombinasyon ifadeleri 363
Tablo 3.27 Düşey dalga kuvvetlerinin tahmini için katsayılar 365
Tablo 3.28 Üst ve alt sınırları için katsayılar 366
Tablo 3.29 Yatay dalga kuvvetlerinin tahmini için katsayılar 366
Tablo 3.30 Deney verilerinin alt ve üst sınırları için katsayılar 366
Tablo 3.31 Çarpma kuvveti ile yükselme zamanı arasındaki ilişki için katsayılar 367
Tablo 4.1 Yat limanlarında yüzen iskelede hareketli yükler 371
Tablo 4.2 Çelik bağlama ankrajı tutma gücü 376
Tablo 5.1 Korunacak alanın büyüklüğüne, korunacak alanın tipine ve proje tipinin fonksiyonuna bağlı olarak önerilen L hizmet süreleri 377
Tablo 5.2 Korunan alanın büyüklüğü ve tipine göre önerilen risk değerleri 377
Tablo 5.3 Mahmuz yapı tipleri 379
Tablo 5.4 Farklı tipte kıyılar ve aşağı kıyı erozyonu problemleri dikkate alınarak önerilen koruma çözümleri 397
Tablo 6.1 Hidrodinamik katsayıların değişimi 400
Tablo 7.1 Zincir büyüklükleri 415
Tablo 8.1 Tipik liman beton uygulamaları ve karışım içerikleri 419
Tablo 8.2 TS EN 206-1'a göre çevresel etki sınıfları 421
Tablo 8.3 Korozyon bölgesi tanımları 429
Tablo 8.4 Çalkantı bölgesinde korozyon miktarları 429
Tablo 8.5 Hasar tespit yöntemleri 430
Tablo 8.6 Mevcut betonarme yanaşma yapılarında minimum karot sayısı 431
Tablo 8.7 Mevcut çelik boru kazıklarda malzeme özelliklerinin belirlenmesi 431

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Kıyı yapıları tasarımı için akış şeması 264
Şekil 2.1 Taş dolgu dalgakıranlara ilişkin yapısal tanımlar 267
Şekil 2.2 Dalgakıranda meydana gelebilecek hasar tipleri 268
Şekil 2.3 Dalga yapı etkileşimi 270
Şekil 2.4 Dalga tırmanma ve çekilmesi 271
Şekil 2.5 Şevli yapıda rölatif dalga tırmanması ve aşma 272
Şekil 2.6 (a) Karakteristik basamak boyutlarının belirlenmesi 276
Şekil 2.6 (b) Eşdeğer şev eğiminin belirlenmesi 276
Şekil 2.7 Kret kotu tanımı ve dalga aşması 277
Şekil 2.8 Erozyona uğrayan alana (A_e) göre tanımlanan hasar (S) 285
Şekil 2.9 Değişik tipteki taş yapılar için permeabilite (P) değerleri 286
Şekil 2.10 Beton blok tipleri 289
Şekil 2.11 Yapı kafasında hasar görebilecek kritik alanlar ve örnek kafa planı 291
Şekil 2.12 Dış bükey ve iç bükey kurblar ve köşeler 291
Şekil 2.13 Dalga aşmaması ya da çok az dalga aşması durumlarının gözlemlendiği taş dolgu dalgakıran kesiti 295
Şekil 2.14 Her iki yönde de dalga etkisinde kalan ve dalga aşmasının meydana gelebileceği taş dolgu dalgakıran kesiti 295
Şekil 2.15 Kronman duvarına etkiyen kuvvetler 296
Şekil 2.16 Kronman duvarına gelen dalga kuvvetleri 297
Şekil 2.17 Topuk koruma stabilite sayısı 298
Şekil 2.18 Topuk koruması için asgari koşullar 299
Şekil 2.19 Erozyon olmadan ve olduktan sonra dalgakıran kesiti 300
Şekil 2.20 Taban malzemesinin taşıma gücünün düşük olması durumu 300
Şekil 2.21(a) Düşey yüzlü ve kompozit dalgakıranlar 301
Şekil 2.21(b) Yapının farklı yıkılma durumları 301
Şekil 2.22 Düşey duvarda dalga aşma debisi için genel durum 302
Şekil 2.23 Dalga tepesi olması durumunda net basınç dağılımı 305
Şekil 2.24 Dalga çukuru olması durumunda net basınç dağılımı 306
Şekil 2.25 Tasarımda dalga basınç dağılımı 307
Şekil 2.26 Eğimli ön yüze sahip keson 309
Şekil 2.27 Eğimli kronman 309
Şekil 2.28 Yatayda kompozit keson 310
Şekil 2.29 Kompozit dalgakıran kesiti üzerinde parametrelerin gösterilmesi 312
Şekil 2.30 Yüzen dalgakıran tipleri 313
Şekil 2.31Klasik ve basamaklı taş dolgu dalgakıran 317
Şekil 2.32 Farklı şev eğimlerinde dinamik stabil profiller 319
Şekil 2.33 Çekilme miktarı 319
Şekil 2.34 Taban yakınında tasarlanan koruma yapısı 320
Şekil 2.35 (2.105) ifadesi için değişim 321
Şekil 2.36 Koruma tabakası taşlarının fonksiyon ve özelliklerinin ortaya konduğu kavramsal şema 324
Şekil 2.37 Ağır gradasyon (HM) için tanımlanan EU standard gradasyon limitleri – yüzde geçen 327
Şekil 3.1 Üç bölmeli keson rıhtım 329
Şekil 3.2 L tipi yanaşma yapısı elemanları (payandalı ve payandasız) 329
Şekil 3.3 Bloklu rıhtım duvarı 330
Şekil 3.4 Açık tip yanaşma yapısı 330
Şekil 3.5 Gemi üzerinde etkili kuvvetler 333
Şekil 3.6 Bağlama kuvvetinin etkileri 333
Şekil 3.7 Bütün gemiler için derin denizde akıntı direnç katsayıları 335
Şekil 3.8 Enine akıntı kuvvetleri için derinlik düzeltme faktörü 336
Şekil 3.9 Boyuna akıntı kuvvetleri için derinlik düzeltme faktörü 336
Şekil 3.10 Rüzgar geliş açısı ile rüzgar kuvveti katsayıları arasındaki ilişki 339

Şekil 3.11 Çok büyük petrol tankerleri için rüzgar kuvveti katsayıları 340
Şekil 3.12 Yük gemileri için rüzgar kuvveti katsayıları 340
Şekil 3.13 Bağlı gemi üzerine etkili dalga kuvveti için şematik gösterim 342
Şekil 3.14 Geminin yanaşmasının şematik gösterimi 348
Şekil 3.15 Dönme yarıçapı r ile blok katsayısı (C_B) ilişkisi 349
Şekil 3.16 Gemi yanaşma durumları ile yanaşma hızı arasındaki ilişki 351
Şekil 3.17 Silindirik kazığa tesir eden dalga kuvvetinin şematik gösterimi 355
Şekil 3.18 Kazık grupları 355
Şekil 3.19 Kuvvet parametrelerinin tanımları 364
Şekil 3.20 Deniz tarafındaki döşeme elamanı üzerinde düşey kuvvetin değişimine örnek 367
Şekil 3.21 Dinamik davranış 367
Şekil 4.1 Duba parçalarının gösterimi 370
Şekil 4.2 Eksantrik yük altında dubanın stabilitesi 373
Şekil 4.3 Bağlama zinciriyle ilgili semboller 374
Şekil 5.1 Mahmuz tasarımında takip edilecek akış şeması 378
Şekil 5.2 Mahmuz uzunlukları ve genişlikleri şematik gösterimi 382
Şekil 5.3 Mahmuz ve kıyı geçiş sistemi 383
Şekil 5.4 Mahmuz geometrileri 383
Şekil 5.5 Ardışık dalgakıran tipleri 384
Şekil 5.6 Ardışık dalgakıranlarda etkili parametreler ve kıyı şekilleri 384
Şekil 5.7 Ardışık dalgakıran için tanımlar 386
Şekil 5.8 Tipik kıyı duvarları 388
Şekil 5.9 Tipik tahkimat yapıları 389
Şekil 5.10 Filtre tasarım örnekleri 390
Şekil 5.11 Topuk koruma yapı tipleri 391
Şekil 5.12 Kıyı özellikleri 392
Şekil 5.13 Yenilenmiş kıyı profilleri 393
Şekil 5.14 Dolgu oranı 394
Şekil 6.1 Deniz tabanına döşenmiş boru hattına etkili kuvvetler 401
Şekil 7.1 Tonoz ve ankraj demirli tipi bağlama şamandırası 403
Şekil 7.2 Bağlama şamandırasının şematik gösterimi 403
Şekil 7.3 Çoklu şamandıra siteminde farklı bağlama tipleri 404
Şekil 7.4 0° için örnek kombinasyon 405
Şekil 7.5 Halat yükleri 406
Şekil 7.6 Şamandıra ve beton blok arası zincir 406
Şekil 7.7 Bağlama sistemi 1 409
Şekil 7.8 Bağlama sistemi 2 409
Şekil 7.9 Bağlama sistemi 3 410
Şekil 7.10 Bağlama sistemi 4 410
Şekil 7.11 Temsili şekil 411
Şekil 7.12 Ring 411
Şekil 7.13 Bağlama sistemi 3 ve 4 için ring 412
Şekil 7.14 Bağlama 1 ve 3 için çapa kuvvetleri 412
Şekil 7.15 Bağlama 2 ve 4 için çapa kuvvetleri 413
Şekil 7.16 Şamandıraya bağlı gemi 414
Şekil 7.17 Çapa tipleri 416
Şekil 8.1 Betonarme su yapısında oluşan hasarlar 428

1. GENEL

Kıyı ve Liman yapıları Kıyı Mühendisliği problemlerine çözüm sunan yapılar olarak tasarlanır. Kıyı yapıları işlevlerine göre genelde üç sınıfta incelenebilir;

1) Dalgakıranlar
2) Kıyı Koruma Yapıları
3) Yanaşma Yapıları

Kıyı yapıları yapı tiplerine göre de 4 ana sınıfa ayrılabilir;

1) Taş Dolgu Yapılar: Dalgakıran, mahmuz, kıyı tahkimatı gibi,
2) Düşey Yüzlü Yapılar: Kıyı duvarları, dalgakıranlar, yanaşma yapısı gibi,
3) Kazıklı Destekli Yapılar: İskele, dolfen, rıhtım yapıları gibi,
4) Yüzen Yapılar: Dalgakıran, iskele gibi.

Kıyı yapılarının hidrolik tasarımına ait ana şema Şekil 1.1'de verilmiştir.

Yapı tipinin belirlenmesi için, öncelikli olarak geoteknik özellikler, tasarım derinliği ve tasarım dalgası göz önüne alınmalıdır.

Geoteknik veriler, özellikle zemin taşıma kapasitesini belirlemek için önem taşımaktadır. Taşıma kapasitesinin değişimine göre toptan göçme ve oturma gibi hasar tipleri ortaya çıkabileceğinden, geoteknik özelliklerin incelenmesi gereklidir. Bu şartnamede, hidrolik tasarım göz önüne alındığı için, geoteknik özellikler ile ilgili ayrıntılı bilgiler verilmemektedir (Geoteknik Tasarım Esaslarına bakınız).

Kıyı yapısı tipinin belirlenmesi için işlevsellik (dalgakıran, kıyı koruma, yanaşma yeri vb.), ekonomi (maliyetler), estetik ve inşaat teknikleri (teçhizat ve deneyim) göz önüne alınmalıdır.

Kıyı ve Liman yapıları günümüzde daha ileri tasarım hesap yöntemleri dikkate alınarak tasarlanmaktadır. Bu amaçla dalga yükleri altında yapıların performansa dayalı tasarımları tavsiye edilir. Bu nedenle tasarım dalgası parametreleri ileri düzeyde modelleme yöntemleri kullanılarak ve istatistiksel analizleri yapılarak belirlenirler.

Kıyı ve Liman yapıları dalga yüklerine göre yapıların hizmetleri boyunca performanslarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler;

1-**Önemsiz Yapılar**; Geçici yapılardır, tasarım dalga koşulları aşıldığında tam hasar görebilirler. Bu tip yapılar geçici amaçla inşa edilirler.

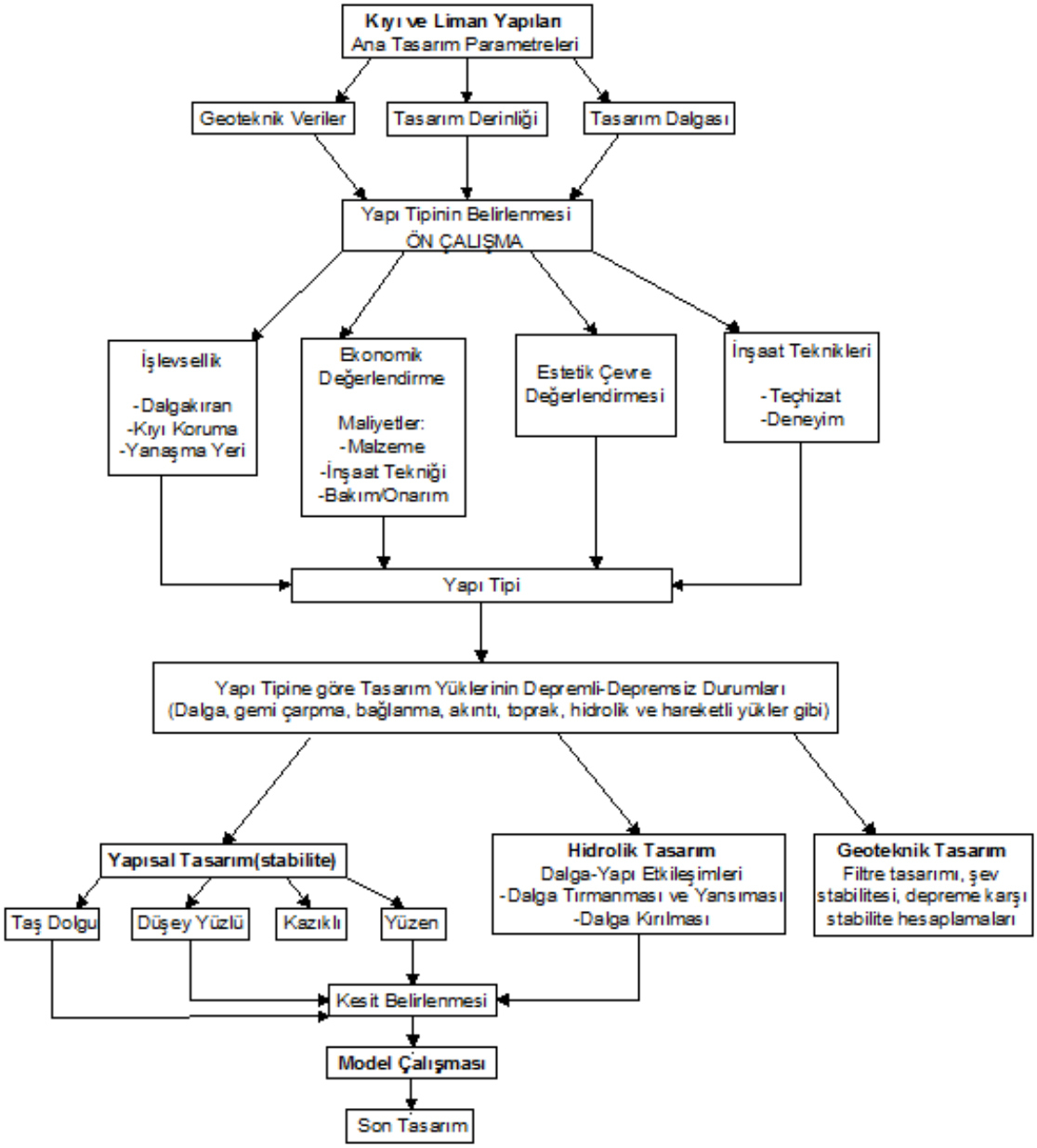
2-**Basit Yapılar**; Hasar görseler dahi kısmen de olsa dalga iletimini azaltırlar, korudukları su alanlarında hasar görmeleri durumunda bile can ve mal kaybına neden olacak öneme sahip değillerdir. Örneğin kıyı koruma ya da stabilite yapıları (mahmuzlar, ardışık dalgakıranlar, düşük kretli dalgakıranlar, rekreasyonel amaçlı yapılar gibi).

3-**Normal Yapılar**; Bu tip yapılar tasarım dalga koşullarında, stabilitelerini korumalıdırlar. Bu tip yapılar hasar başlangıcı kriteri dikkate alınarak tasarlanırlar. Tasarım dalgası ötesindeki dalga koşulları etkisinde ise tam hasara uğramamalıdırlar ve yapılacak tamirle kısa sürede tekrar hizmet vermelidirler. Ticari limanlar, yat limanları gibi su alanlarını koruyan dalgakıranlar bu tip yapılar içinde tanımlanabilirler. Arkalarında yerleşim ve/veya endüstri alanlarını koruyan kıyı yapıları da bu sınıfta dikkate alınır.

4-**Özel Yapılar**; Bu tip yapılar tasarım dalga yükleri ve ötesinde stabilitelerini koruyarak hizmet vermelidirler. Bu tip yapıların yıkılma modları analiz edilmelidir. Bu tip yapılara nükleer santral ile yanıcı ve patlayıcı elleçlenen tesislerin su alanlarını koruyan dalgakıranlar örnek olarak verilebilir. Ayrıca karasal alanda yeni oluşturulan ve etrafında yerleşim bölgesi planlanan su alanlarındaki kıyı ve deniz yapılarıda özel yapı olarak dikkate alınmalıdır.

Bu tip yapılarda dikkate alınacak, en büyük dalga istatistiğinden elde edilen ve yapının stabilite hesaplarında kullanılacak olan tasarım dalgasına ait yinelenme dönemleri Tablo 1.1'de verilmiştir.

Yine bu yapıların tasarımında dalga aşması için yapılacak hesaplarda dikkate alınması gereken yinelenme dönemleri Tablo 1.2'de verilmiştir. Dalga aşması yapının koruduğu alan için hesaplanması gereken önemli bir tasarım koşuludur.



Şekil 1.1 Kıyı yapıları tasarımı için akış şeması

Dalgakıran yapılarının hasar sınıfları bu bölümde verilen hesap yöntemlerine bağlı olarak sınıflandırılmıştır (örneğin Van der Meer taş dolgu dalgakıran stabilite yöntemi gibi).

Tablo 1.1 Yapının stabilite hesaplarında dikkate alınacak en büyük dalga için yinelenme dönemleri

Yapının Tipi	**Yinelenme Dönemi (Yıl)**	**Yapı Hizmet Süresi (yıl)**
Önemsiz	10 - 50	1 – 20
Basit	50 – 100	30 – 70
Normal	100	50 – 100
Özel	$\geq 100^{**}$	200 – ötesi(*)

(*) Nükleer santrallarda ötesi dikkate alınır
(**) Rüzgar dalgaları yineleme dönemi 100 yıl için %70 güven aralığının üst sınırı dikkate alınır. Tsunami için ise yineleme dönemi 10,000 yıl dikkate alınır.

Tablo 1.2 Dalga aşması hesaplarında dikkate alınacak en büyük dalga için yinelenme dönemleri

Yapının Tipi	**Yinelenme Dönemi (Yıl)**	**Yapı Hizmet Süresi (yıl)**
Önemsiz	10 – 50	1 – 20
Basit	50 – 100	30 – 70
Normal	100	50 – 100
Özel	$\geq 100^{**}$	200 – ötesi(*)

(*) Nükleer santrallarda ötesi dikkate alınır
(**) Rüzgar dalgaları yineleme dönemi 100 yıl için %70 güven aralığının üst sınırı dikkate alınır. Tsunami için ise yineleme dönemi 10,000 yıl dikkate alınır.

Tablo 1.1 ve Tablo 1.2'de verilen değerler minimumdur. Çünkü yapının tasarımında dikkate alınan tasarım dalga koşullarının yapının hizmeti süresince meydana gelme olasılığı (risk, %) tasarım aşamasında belirlenmelidir. Yapıların tasarımında aşağıdaki parametreler dikkate alınmalıdır.

- Yapının hizmeti süresince, tasarım koşullarının oluşma olasılığı, R (kabul edilen risk).
- Yapının hizmet süresi, L.
- Tasarım koşulları için tasarım yinelenme dönemi, T_d.

Uygun tasarım dalga koşullarının belirlenmesi için yapının tasarımında kullanılan yinelenme dönemi yapının hizmet süresinin ve bu hizmet süresi boyunca kabul edilen riskin fonksiyonudur.

$$R=1-\left(1-1/T_d\right)^L \qquad (1.1)$$

L'nin fonksiyonu olarak R ve T_d arasındaki korelasyon Tablo 1.3'te verilmiştir.

Tablo 1.3 Yapının hizmet süresi (yıl) ve yinelenme dönemine (yıl) bağlı olarak risk (%)

Hizmet süresi, L (yıl)	Yinelenme dönemi , T_d (yıl)							
	5	10	30	50	100	500	1000	10,000
1	20	10	3	2	1	0	0	0
5	67	41	16	10	5	1	0	0
10	89	65	29	18	10	2	1	0
30	100	96	64	45	26	6	3	0
50	100	99	82	64	39	10	5	0
100	100	100	97	87	63	18	10	1
200	100	100	100	98	87	33	18	2
500	100	100	100	100	99	63	39	5

Oluşma (karşılaşılma) olasılığı, tasarım dalga yüksekliğinin yapının hizmet süresi boyunca karşılaşılma olasılığını ifade eder. Kıyı yapılarının tasarımı sırasında yineleme periyodu yerine, yapı hizmet süresi ile ilşkili oluşma olasılığı kullanılarak da yinelenme periyodu belirlenebilir ve bu yinelenme periyoduna karşılık gelen tasarım dalgası seçilebilir (bkz Bölüm A Şekil 2.2).

Dalgakıranlar tasarım dalgası altında hasar görmezler, ancak tasarım dalgasının üzerinde gelen dalga koşullarında daima hasar görme riskleri vardır. Çünkü tasarım sürecinde bu koşullar dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle özel yapılarda tasarım dalgası üzerindeki (yinelenme dönemi sonrası) koşullarda yapının yıkılma performansı belirlenmelidir. Diğer bir deyişle yapının sadece stabilite koşulları değil, dayanım (resilience) ve maliyet koşullarıda incelenmelidir.

Bu nedenlerle, dalgakıranların performansa göre tasarıma dayanan yapısal tasarımı dikkate alınmalıdır. Tablo 1.4'te taş dolgu dalgakıranlar performanslarına göre sınıflandırılarak hasar seviyeleri verilmiştir. Burada hasar seviyeleri Bölüm 2'de tanımlanmıştır.

Düşey yüzlü monolitik dalgakıranların hasar modları yatay ötelenme, düşey oturma ve eğilme ile tanımlanır. Performansa göre tasarımda bu modlar sayısal olarak tanımlanmaktadır. Tablo 1.5'te düşey yüzlü dalgakıranların performansa göre tasarımı yapılması durumunda tanımlanan hasar seviyeleri verilmiştir. Tasarım mühendisleri bu tip yapılar için dayanıma göre tasarım yöntemini (Bölüm 2'de anlatılmıştır) kullanılması durumunda yapının stabilitesinin belirlenmesi için emniyet katsayılarını kullanırlar. Performansa göre tasarım yönteminin kullanması durumunda ise hasar seviyeleri için Tablo 1.5'de hedeflenen performans seviyeleri kullanılabilir. Performansa dayalı tasarım daha ileri analizleri gerektirmektedir. Bu tip yapılarda, performans hesaplamaları fiziksel model deneyleri ile doğrulanmalıdır.

Tablo 1.4 Taş dolgu dalgakıranlarda tasarım dalgası için hasar seviyeleri

Yapının Performansına göre sınıfı	**Hasar Seviyeleri**
Önemsiz	OH veya TH
Basit	OH veya HB
Normal	HB
Özel	Hasar Yok ve tasarım ötesi koşullarda HB
Burada HB; Hasar başlangıcı, OH; Orta hasar, TH; Tam hasar	

Tablo 1.5 Keson tipi dalgakıranlarda tasarım dalgası için hasar seviyeleri

Yapının Performansına göre sınıfı	**Hasar Seviyeleri**		
	Hasar	**Göreceli yatay öteleme (x/H) %**	**Eğilme (^{0})**
Önemsiz	TH	Tasarım mühendisi tanımlar	
Basit	İH	5 - 7	5 - 10
Normal	KH	1.5 - 5	3 - 5
Özel	MH	<1.5	<3
Burada TH; Tam hasar, İH; İleri hasar, KH; Kontrollu hasar, MH; Minimum hasar			

Formüllerin Güvenilirliği ile İlgili Tanımlar

Dalga tırmanması ve aşmasını veren ifadelerin katsayıları standart sapması (normal dağılıma uyduğu kabül edilir) ile stokastik değişken olarak dikkate alınır. Böylece deterministik ve probabilistik yaklaşımlar verilir. Gerçekte, bir standart sapmanın kısmi güvenlik katsayısı olarak kullanıldığı durumda deterministik tasarım veya güvenli değerlendirme yaklaşımı yarı probabilistik (semiprobabilistic) yaklaşım olarak tanımlanabilir.

1-Deterministik yaklaşım; Kullanılan ifade stokastik değişkenin (lerin) ortalama değeri ile verilir. Bu deney verilerinin değerlendirmesi veya tahmini yardımıyla bulunur.

2-Yarı probabilistik yaklaşım; Bu tasarım veya güvenli değerlendirme için kolay bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım daha önceki deterministik yaklaşımdır. Ancak bundan sonra yapılan tahminin belirsizliklerinin ilave edilmesi ile tanımlanır. Stokastik parametreler $\mu+\sigma$ olmaktadır.

3-Probabilistik yaklaşım; Standart sapmasıyla verilen stokastik parametreyi(ler) dikkate alır ve normal dağılım kabülü yapılır.

4-Stokastik parametre(ler) için %5 aşma hattı veya %90 güvenilirlik bandı $\mu \pm 1.64\sigma$ kullanılarak hesaplanabilir.

2. DALGAKIRAN TASARIMI

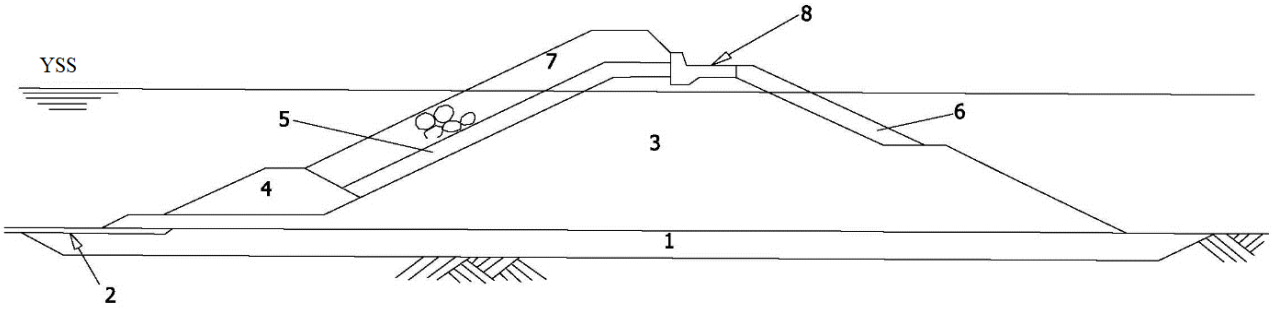
Dalgakıranlar tüm deniz araçlarının güvenilir olarak barınmaları ve liman işlevlerinin güvenilir bir şekilde yürütülmesine olanak sağlayan korunmuş su alanları yaratmak için tasarlanan yapılardır. Aynı zamanda kıyı koruma yapıları ve kıyı stabilite yapıları olarak da tasarlanırlar. Dalgakıranların en sık karşılaşılan tipleri taş dolgu ve kompozit olanlarıdır. Taş dolgu dalgakıranların tasarımda kullanılan temel tasarım kriterleri burada verilecektir, ancak taş dolgu dalgakıranların tasarımında uluslararası düzeyde kabul görmüş; CIRIA (2007), CERC (2003), WOM (2016), OCDI (2009), PIANC (2010 sonrası) gibi standart ile el kitaplarında daha fazla tanım ve tasarım kriteri bulunabilir ve kullanılabilir. Çünkü özellikle yukarıda bahsedilen el kitapları bu konuda daha fazla detaya yer vermektedir. Bu konuda geleceğe yönelik yapılan araştırmalar uluslararası kabul görmüş yukarıda verilmiş yayınların ilerideki baskılarında, bu şartnamenin yayımından sonra da devam edecektir, dolayısı ile yukarıda bahsedilen kaynaklardaki yeni gelişmeler dikkate alınmalıdır. Ayrıca bu kaynaklarda daha farklı geometrilere yönelik tasarım esasları da kullanılabilir.

2.1 Taş Dolgu Dalgakıranlar

2.1.1 Taş Dolgu Dalgakıranlar için Yapısal Tanımlar ve Hasar Tipleri

a) Yapısal Tanımlar

Taş dolgu dalgakıranlar eğimli yüzeye sahip ve farklı büyüklüklerdeki taş tabakalardan oluşan bir yapıdır. Taş dolgu dalgakıranlar dalgaları kırarak ve yansıtarak dalgakıran arkasındaki deniz alanını dalgalara karşı koruyan yapılardır. Taş dolgu dalgakıranları oluşturan bazı elemanların yapısal tanımları Şekil 2.1'de verilmiştir.



Tanımlar:

1) Yastık Tabakası, 2) Topuk Önü Koruma, 3) Çekirdek, 4) Topuk, 5) Filtre, 6) Liman Tarafı Koruma Tabakası, 7) Koruma Tabakası, 8) Kronman Duvarı.

Şekil 2.1 Taş dolgu dalgakıranlara ilişkin yapısal tanımlar (BS 6349:Part 7,1991)

b) Hasar Tipleri

Dalgakıranda meydana gelebilecek hasar tipleri Şekil 2.2'de verilmiştir. Dalgakıran hasarlarını önleyici tasarım esasları sırasıyla verilecektir.

2.1.2 Tasarım Derinliği

Tasarım derinliği, kıyı yapısının inşaa edilmesi düşünülen bölgenin tasarım aşamasındaki derinliği ve bu derinlikte kıyı yapısının ekonomik ömrü boyunca oluşabilecek değişiklikler düşünülerek belirlenir. Tasarım aşamasındaki ölçülen yapı önü derinliği Ortalama Su Seviyesi (OSS) olarak tanımlanır. Aşağıda sıralanan diğer su seviyesi değişiklikleri OSS'ye eklenerek veya OSS'den çıkartılarak, kıyı yapısının ekonomik ömrü boyunca su seviyesinin alacağı en düşük ve en yüksek değer belirlenerek tasarımda göz önüne alınmalıdır. Bu su seviyeleri;

a) Gel-git: Ay'ın, Dünya'nın ve Güneş'in hareketlerinin ortak etkisi sonucu oluşan su seviyesi düşüşü ve yükselişi olarak tanımlanmaktadır.

b) Mevsimsel Değişiklikler: Denizler, ırmaklar ve kar miktarının etkilediği su dengesindeki değişiklikler sebebiyle mevsimsel olarak gerçekleşen değişimler olarak tanımlanmaktadır. Özellikle büyük debili akarsu yakınları, boğaz su yolları bu hususta hassastır.

c) Dalga Kabarması/Alçalması: Fırtına koşullarında dalga hareketinden dolayı su seviyesinin kıyıya doğru yükselmesi (kabarma); açık deniz tarafında ise su seviyesinin alçalması olarak tanımlanmaktadır.

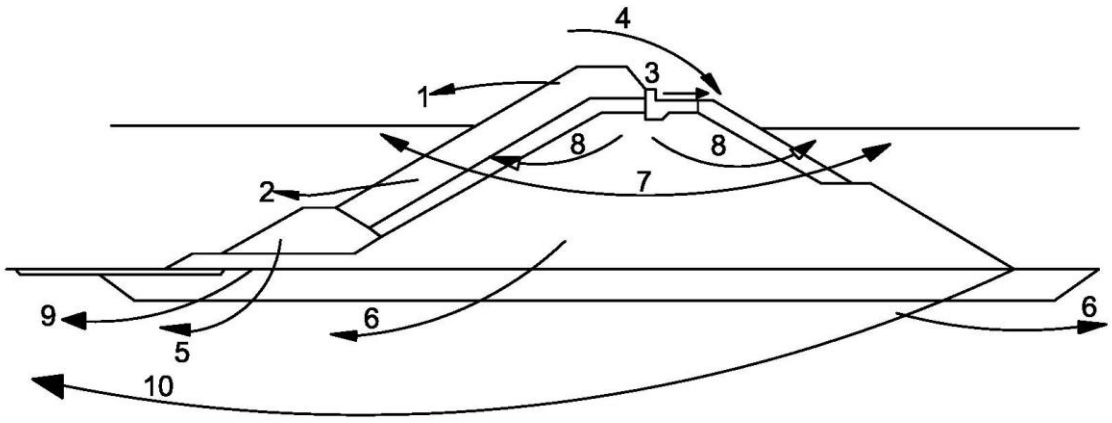
d) Rüzgar Kabarması/Alçalması: Fırtına koşullarında su yüzeyine etki eden rüzgar kayma gerilmesinden dolayı su seviyesi yükselmesi (kabarma); açık deniz tarafında ise su seviyesinin alçalması olarak tanımlanmaktadır.

e) Barometrik ve Coriolis Etkileri: Barometrik etkiler, fırtına koşullarında oluşan alçak basınç sistemi nedeniyle su seviyesinin yükselmesi olarak tanımlanmaktadır. Coriolis etkisi ise, Dünya'nın hareketinden dolayı su seviyesinin kıyı şeridinin şekline göre yükselmesi veya alçalması olarak tanımlanmaktadır.

f) Küresel İklim Değişimine Bağlı Su Seviyesi Değişmesi: Küresel iklim değişimine bağlı olarak deniz su seviyesinin yükselmesi olarak tanımlanmaktadır.

Yukarıda verilen su değişimlerine ait tanımlar, Bölüm B.2.'de verilmiştir.

Taş dolgu dalgakıranların kret kotunun tasarımında en yüksek su seviyesi en kritik tasarım derinliği olarak ortaya çıkmaktadır. Su seviyesindeki değişimler dalga aşması, dalga tırmanması gibi hidrolik davranışı etkilemektedir. Taş dolgu dalgakıranların koruma tabakasının tasarımında (taş ağırlıklarının belirlenmesinde) ise, kritik tasarım derinliği olarak alınacak değer en düşük su seviyesi ile en yüksek su seviyesi arasında ortaya çıkabilir.



Tanımlar:

1) Koruyucu tabaka su üstü seviyesi hasarı, 2) Koruyucu tabaka su altı seviyesi hasarı, 3) Kronman duvarı hasarı, 4) Liman tarafı koruyucu tabaka hasarı (dalga aşması sonucu), 5) Topuk oyulması, 6) Gövdenin toptan göçmesi, 7) Çekirdek malzemesi kaybı, 8) Çekirdek tabakası oturması (boşluk su basıncı), 9) Deniz tabanı oyulması, 10) Zeminin toptan göçmesi.

Şekil 2.2 Dalgakıranda meydana gelebilecek hasar tipleri (BS 6349:Part 7,1991)

2.1.3 Tasarım Dalgası Seçimi

Bölüm B.1.'de Tasarım Dalgası Seçimi konusuna bakınız.

Yapının tasarlanacağı derinliğin derin su veya sığ su koşullarında olup olmadığı belirlenmelidir. Yapı topuğunda dalganın kırılıp kırılmaması yapının stabilitesini etkilemektedir. Dalga kırılması Bölüm B.1'de tanımlanmıştır.

Dalgakıran tasarımında belirlenen dalga parametreleri ve bunlara ait büyüklükler aşağıda tanımlanmıştır;

H_i (m) yaklaşan dalga yüksekliğidir. Bu dalga yüksekliği; H_s (m) belirgin dalga yüksekliği, H_{maks} (m) maksimum dalga yüksekliği, $H_{1/10}$ (m) en yüksek 1/10 dalganın ortalaması ($H_{1/10}$=1.27 H_s), H_{m0} (m) spektral dalga yüksekliği (dalgaların derin su koşullarında Rayleigh dağılımına uyması nedeniyle belirgin dalga yüksekliği $=4\sqrt{m_0}$), $H_{\%2}$ (m) %2 aşılma olasılığına karşılık gelen dalga yüksekliği, H_{tr} (m) derin sudan sığ suya geçişi tanımlayan geçiş dalga yüksekliği, H_{rms} (m) dalga yüksekliklerinin karelerinin ortalmasının karekökü, H_m (m) ortalama dalga yüksekliği (Rayleigh dağılımına göre H_m=0.63H_s) büyüklükleri ile tanımlanabilir.

T_m (s) ortalama dalga periyodu, T_s (s) belirgin dalga periyodu, T_p (s) pik dalga periyodu (T_p/T_m=1.1-1.25), T_{maks} (s) maksimum dalga periyodu, $T_{m-1.0}$ (s) enerji dalga periyodu (=T_p/1.1), T_{01} ile T_{02} ($\approx T_m$) ise dalga spektrumundan bulunan periyotlardır.

Yukarıdaki parametrelere bağlı olarak dalga diklikleri (s) ve surf parametreleri de (ξ) aşağıdaki gibi verilmektedir. Burada 0 indisi kullanılırsa derin su dalga parametreleri dikkate alınır (s_0 gibi).

Dalga dikliği; $s_0 = H/L_0 = \frac{2\pi}{g}\frac{H}{T^2}$, Surf parametresi; $\xi = \tan\alpha / \sqrt{s_0}$ (burada α şev açısıdır).

- H_s (m) ve T_m (s) kullanılarak s_{0m} ve ξ_m
- H_s (m) ve T_p (s) kullanılarak s_{0p} ve ξ_p
- H_{m0} (m) ve $T_{m-1.0}$ (s) kullanılarak $s_{m-1.0}$ ve $\xi_{m-1.0}$
- H_s (m) ve $T_{m-1.0}$ (s) kullanılarak $s_{s-1.0}$ ve $\xi_{s-1.0}$
- H_s (m) ve T_p (s) kullanılarak s_p (yapı topuğundaki dalga dikliği)

Yapı önünde su derinliğine bağlı olarak, derin su, sığ su ve çok sığ su koşulları olmak üzere sınıflandırılır. Eğer sığ su veya çok sığ su koşulları mevcut ise, yapı topuğundaki tasarım dalga yüksekliği belirlenirken, sığlaşma ve derinliğin sınırladığı etkiler dikkate alınmalıdır. Sığ ve çok sığ koşullar arasındaki geçiş durumunun belirlenmesi oldukça güçtür.

- Sığ su koşullarında dalga yükseklikleri azalmaya ve dalgalar kırılmaya başlamaktadır, ancak yaklaşan dalga koşullarına ait spektrum yaklaşık olarak şeklini korumaktadır.
- Çok sığ su dalga koşullarında dalga spektrum şekli radikal biçimde değişmektedir ve daha yatık bir spektrum şekli ortaya çıkmaktadır. Çünkü bu koşullarda artık tüm dalgalar kırılmaktadırlar. Genellikle sığ ve çok sığ su bölgesi geçişinde orjinal dalga yüksekliği kırılma nedeniyle % 50 veya daha fazla azalmaktadır. Bu bölgede dalga yüksekliği derin su koşullarına göre çok daha küçüktür. Dalga dikliği de küçülür ve kırılma parametresi büyür.

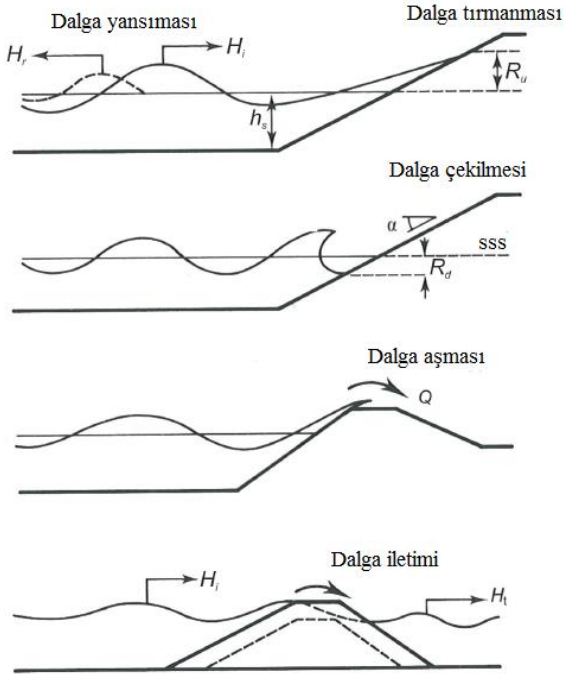
Dalgaların yapı üzerindeki davranışları, yapının permabilitesine de bağlıdır. Anroşmandan oluşturulmuş koruma tabakalarının altındaki filtre tabakası ve çekirdek filtre kurallarına uygun kaba malzemeden imal edilmesi durmunda permeabilite artar ancak daha ince malzemeden teşkil edilmiş filtre (ya da birden fazla filtre yapılması veya ilk filtrenin altına geotekstil serilmesi gibi durumlarda) ve çekirdek durumunda ise permeabilite azalır. Permeabilitenin azalması durumunda anroşman stabilitesi azalır buna karşı tırmanma ve aşma koşulları artmaktadır. Çünkü permeabilitesi daha yüksek yapılarda dalga kolaylıkla yapının içlerine nüfuz eder ve sönümlenir. Dalgakıran tasarımında önce *hidrolik* sonra *yapısal tasarım* yapılır.

2.1.4 Hidrolik Davranış (Dalga Yapı Etkileşimi)

Taş dolgu dalgakıran tasarımında, yapının hidrolik davranışının belirlenmesi için göz önüne alınacak dalga yapı etkileşimleri sırasıyla verilmiştir (Şekil 2.3). Hidrolik davranış dalgakıranın geometrisinin belirlenmesinde esastır. Hidrolik davranışta aşağıdaki dalga yapı etkileşimleri hesaplanmaktadır.

- Dalga tırmanması (ve dalga çekilmesi)
- Dalga aşması
- Dalga iletimi
- Dalga yansıması

Bu bölümde temel tasarım bağıntıları tanımlanmıştır, hidrolik davranışın belirlenmesinde dalgakıran geometrisi etkindir, örneğin kronman duvarının farklı yerleşim hallerinde olduğu gibi. Bu durumda CIRIA (2012), WOM (2016), CERC (2003) gibi kaynaklar kullanılabilir. Benzer yöntemler Yüksel (2011)'de de verilmiştir.



Şekil 2.3 Dalga yapı etkileşimi (CIRIA, 2007)

2.1.4.1. Dalga Tırmanması ve Geri Çekilmesi

Şevli kıyı yapılarında kırılan dalgalar yapı üzerinde tırmanırlar ve geri çekilirler. Dalga tırmanması, dalga aşmasını kabul edilen seviyede tutacak şekilde yapı kret kotunun belirlenmesinde kullanılır. Dalga tırmanması ve dalga çekilmesi için genel tanımlar Şekil 2.4'te verilmiştir.

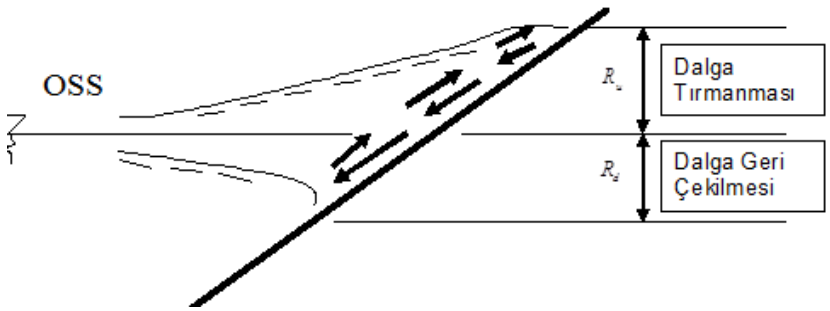
Dalga Tırmanması (R_u): Tasarım su seviyesi ve dalganın tırmandığı en üst nokta arasındaki düşey mesafedir.

Dalga Geri Çekilmesi (R_d): Tasarım su seviyesi ve dalganın geri çekildiği en düşük nokta arasındaki düşey mesafedir.

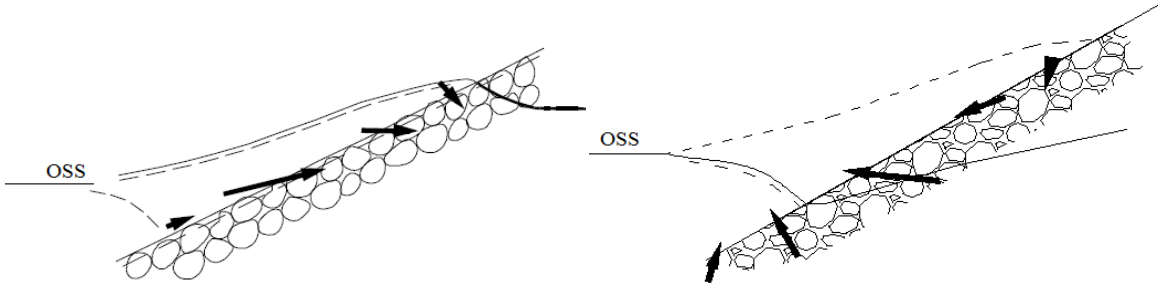
2.1.4.1.1 Dalga Tırmanması

Dalga tırmanması için kullanılabilecek yaklaşımlar aşağıda sıralanmıştır. Burada verilen formüllerin birçoğu düzeltme katsayıları (γ) ile verilmektedir. Bu katsayılar ile ilgili ayrıntılı bilgi dalga tırmanması ile ilgili olan bu bölümün sonunda verilmektedir.

Dalga tırmanma ve aşma hesaplamaları için son yıllarda yapılan detaylı çalışmalar "Wave Overtopping Manual" isimli el kitabında toplanmıştır. Daha detaylı bilgi için WOM (2016) kullanılmalıdır.



i. Geçirimsiz yüzey



ii. Geçirimli yüzey

Şekil 2.4 Dalga tırmanma ve çekilmesi

Gerek dalga tırmanma gerekse bir sonraki bölümde verilen dalga aşma ifadeleri aşağıdaki tanımlara göre sınıflandırılarak verilmiştir daha detaylı bilgi için WOM (2016)'dan faydalanılabilir. Bunlar;

i) **Ortalama değer yaklaşımı**: Uygulamada belirsizliklerin dahil edilmesinde bir çok yol mevcuttur. Ancak tüm formüller ortalama değer ve bu ortalamanın etrafındaki belirsizlik tanımını esas almaktadırlar. Buna göre *ortalama değer yaklaşımı* ortalama değer ve bu ortalama etrafındaki güvenilirlik (standart sapma ile verilir) ile tanımlanmaktadır.

ii) **Tasarım veya güvenli değerlendirme yaklaşımı**: Bazı belirsizlikleri içerir (bir standart sapma) ve kıyı yapısının tasarımda ya da değerlendirilmesinde doğrudan kullanılabilir.

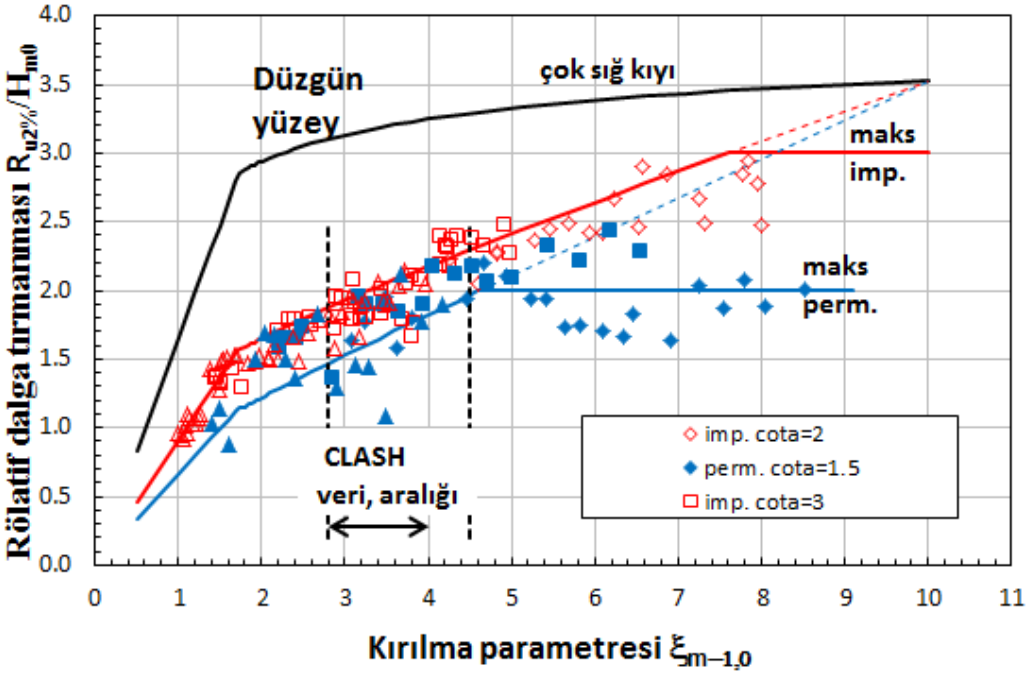
Taş dolgu dalgakıranların kret yüksekliklerinin belirlenmesinde dalga aşması dalga tırmanmasına göre daha önemlidir. Dalga tırmanması dalgakıran kretine ulaşan dalgaların ve hatta aşan dalgaların yüzdesiyle tanımlanır. Bu da her bir aşan dalganın hacminin belirlenmesi için gerekli olmaktadır. Bu nedenle tasarım yapacak mühendisin izin vereceği dalga aşmasını dikkatlice belirlemesi gerekmektedir. WOM (2016) tarafından verilen Şekil 2.5(a)'da farklı taş eğimleri ($\cot\alpha$=1.5, 2, 3 ve 4), geçirimli ve geçirimsiz çekirdek için dalga tırmanma yükseklikleri ve Şekil 2.5 (b)'de ise rölatif aşma miktarları gösterilmiştir.

Koruma tabakasına (anroşman veya beton blok) sahip şevlerde tırmanmanın belirlenmesi için aşağıdaki *tasarım veya güvenli değerlendirme yaklaşımı ifadesi* tanımlanmıştır.

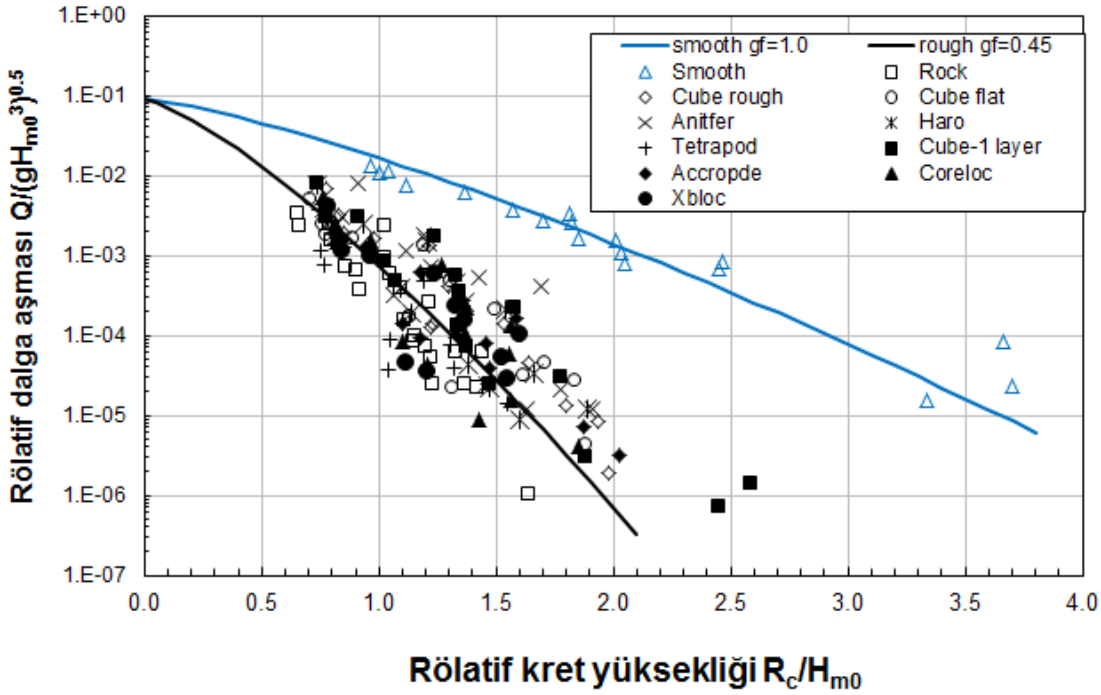
$$\frac{R_{u\%2}}{H_{m0}} = 1.75\,\gamma_b\,\gamma_r\,\gamma_\beta\,\xi_{m-1,0} \qquad (2.1)$$

Maksimum tırmanma ise

$$\frac{R_{u\%2}}{H_{m0}} = 1.07\,\gamma_{rsurging}\,\gamma_\beta\left[4.0 - \frac{1.5}{\sqrt{\gamma_b\,\xi_{m-1,0}}}\right] \qquad (2.2)$$



(a) Geçirimli ve geçirimsiz çekirdekli ve tek eğimli taş şevlerde rölatif tırmanma düzgün geçirimsiz şevlerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Burada imp; geçirimsiz, perm; geçirimli çekirdektir (WOM, 2016)



(b) Doğrusal eğime sahip pürüzlü (rough) ve düzgün (smooth) yüzeylerde rölatif aşma. Burada rock; ocak taşı, smooth; düzgün yüzey, rough; pürüzlü, cube rough; düzensiz yerleştirilmiş küp, cube flat; düzenli yerleştirilmiş kübü tanımlamaktadır. (WOM, 2016)

Şekil 2.5 Şevli yapıda rölatif dalga tırmanması ve aşma

$\xi_{m-1,0}$ değerinin1.8'den 10'a kadar artışı ile pürüzlülük katsayısı lineer olarak artarak 1'e ulaşmaktadır.

$$\gamma_{rsurging} = \gamma_r + \left(\xi_{m-1,0} - 1.8 \right)\left(1-\gamma_r\right)/8.2$$

$\xi_{m-1.0} > 10$ için $\gamma_{rsurging} = 1.0$

Geçirimli çekirdek için tırmanmanın maksimum değeri;

$$\frac{R_{u\%2}}{H_{m0}} = 2.14$$

Geçirimsiz çekirdek için tırmanmanın maksimum değeri;

$$\frac{R_{u\%2}}{H_{m0}} = 3.21$$

Ortalama değer yaklaşımı tırmanma ifadesi ise

$$\frac{R_{u\%2}}{H_{m0}} = 1.65\,\gamma_b\,\gamma_r\,\gamma_\beta\,\xi_{m-1,0} \qquad (2.3)$$

Maksimum *ortalama değer yaklaşımı* ile tırmanma;

$$\frac{R_{u\%2}}{H_{m0}} = 1.00\,\gamma_{rsurging}\,\gamma_\beta\left[4.0 - \frac{1.5}{\sqrt{\gamma_b \xi_{m-1,0}}}\right] \qquad (2.4)$$

Geçirimli çekirdek için *ortalama değer yaklaşımı* ile tırmanmanın maksimum değeri;

$$\frac{R_{u\%2}}{H_{m0}} = 2.0$$

Geçirimsiz çekirdek için *ortalama değer yaklaşımı* ile tırmanmanın maksimum değeri;

$$\frac{R_{u\%2}}{H_{m0}} = 3.0$$

dir. (2.3) ifadesindeki 1.65 katsayısı standart sapması $\sigma = 0.10$ ve ortalaması 1.65 olan bir stokastik değişkendir. Bu ortalama değer yaklaşımıdır. Tasarım veya güvenli değerlendirme yaklaşımı için 1.75 katsayısı kullanılmalıdır. Maksimum değeri için 1.0 katsayısı standart sapması $\sigma = 0.07$ ortalaması 1.0 olan bir stokastik değişkendir.

$R_{u\%2}$: Yaklaşan dalgaların %2'sinin aşıldığı tırmanma yüksekliğidir.

H_{m0} : Yapının topuğunda yaklaşan dalganın belirgin dalga yüksekliği, spektral dalga yüksekliği $H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$. Bilindiği gibi dalgaların en yükseklerinin üçte biri $H_{1/3}$ belirgin dalga yüksekliği olarak tanımlanmış ve derin suda spektral dalga yüksekliği ile aşağı yukarı aynı olan bu değer sığ su koşullarında % 10-15 kadar sapma göstermektedir (m).

γ_b : Basamak için azaltma faktörü (-)

γ_r : Şev üzerindeki elemanların pürüzlülüğü için azaltma faktörü (-)

γ_β : Dalganın yaklaşım açısı için azaltma faktörü (-)

γ_h : Sığ su düzeltme katsayısı (-)

$\xi_{m-1,0}$: Yapı şevi üzerinde kırılma parametresi $= \dfrac{\tan\alpha}{\sqrt{s_{m-1,0}}}\ (-)$

$s_{m-1,0}$: Dalga dikliği $\left(H_{m0} / L_{m-1.0}\right)$

$L_{m-1,0}$: Derin su dalga boyu

$T_{m-1,0}$: Ortalama enerji periyodu = $T_p / 1.1$

Düzeltme Katsayıları

Düzeltme katsayıları dalga tırmanması değerlerini küçültmek için kullanılmaktadır. Aşağıda verilen koşullar mevcut durumda bulunmuyorsa, bu katsayılar 1.0 olarak alınmalıdır.

- **Pürüzlülük Katsayısı (γ_r)**

Bu katsayı çeşitli yapı tipleri için Tablo 2.1'de verilmiştir.

- **Açıyla Gelen Dalgalar için Düzeltme Katsayısı (γ_β)**

Açıyla yaklaşan dalgalar için azaltma faktörü (γ_β);

$$0^\circ \le |\beta| \le 80^\circ \text{ için } \gamma_\beta = 1 - 0.0063|\beta| \qquad (2.5)$$

$|\beta| > 80^\circ \rightarrow \beta = 80^\circ$ alınır ve γ_β belirlenir.

- **Sığ Su Düzeltme Katsayısı (γ_h)**

Yapı önü derinliğinin, yapı önündeki belirgin dalga yüksekliğine oranının 3'ten küçük olduğu durumlarda, dalga yüksekliği dağılımı ve dalga spektrumunda meydana gelecek olan değişimler için verilmekte olan katsayıdır.

$$\gamma_h = \left(H_{\%2} / H_s\right) / 1.4 \qquad (2.6)$$

$H_{\%2}$: Dalgaların %2'si tarafından aşılan dalga yüksekliği.

- **Basamak (Palye) Düzeltme Katsayısı (γ_b)**

Basamaklı şevlerde azaltma faktörü aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\gamma_b = 1 - r_B\left(1 - r_{dh}\right) \qquad 0.6 \le \gamma_b \le 1.0 \qquad (2.7)$$

$$r_B = \frac{B}{L_{basamak}} \qquad (2.8)$$

Basamak sakin su seviyesi üzerinde ise $r_{dh} = 0.5 - 0.5\cos\left(\pi \dfrac{d_h}{R_{u\%2}}\right)$ (2.9)

Basamak sakin su seviyesi altında ise $r_{dh} = 0.5 - 0.5\cos\left(\pi \dfrac{d_h}{2H_{m0}}\right)$ (2.10)

Tablo 2.1 Pürüzlülük azaltma faktörü (WOM, 2016, Bruce vd., 2009)

Koruma Tabakası	γ_r
Düzgün Yüzey	1.00
Taş (tek tabaka, geçirimsiz çekirdek)	0.60
Taş (tek tabaka, geçirimli çekirdek)	0.45
Taş (iki tabaka, geçirimsiz çekirdek)	0.55
Taş (iki tabaka, geçirimli çekirdek)	0.40
Küp (tek tabaka, düzensiz yerleşmiş)	0.49
Küp (iki tabaka, düzensiz yerleşmiş)	0.47
Antifer	0.50
HARO's	0.47
Accropod™	0.46
Xblok	0.44
Core-loc	0.44
Tetrapod	0.38
Dolos	0.43
Basamaklı dalgakıran	0.40

burada B basamak genişliği ve basamak uzunluğu ($L_{basamak}$) sedde yüzeyinde basamağın orta noktasından $1.0H_{m0}$ kadar aşağıdaki bir nokta ile sedde yüzeyinden $1.0H_{m0}$ kadar yukarıdaki nokta arasındaki şevleri kesen yatay mesafedir (Şekil 2.6a). Şekil 2.6(a)'da basamağın yatay ya da açılı imal edilmesi durumu için hesaplamaların nasıl yapılacağı gösterilmiştir.

Basamağın maksimum etkisi γ_b=0.6 ile sınırlanmıştır. Bu durum optimum sakin su seviyesindeki B basamak genişliğine karşılık gelmektedir (B=0.4 $L_{basamak}$).

Basamağın altında ve üstünde kalan şev eğimleri birbirlerinden farklı olabilir. Bu durumda tırmanmanın hesaplanması iteratif bir yöntem gerektirir. İteratif yöntemle iki farklı şev eğimi eşdeğer şev eğimi ile temsil edilir. Eşdeğer şev eğiminin nasıl bulunacağı ise Şekil 2.6(b)'de gösterilmiştir.

2.1.4.1.2 Dalga Geri Çekilmesi

Anroşmanlı şevlerde dalga geri çekilmesi için aşağıdaki ifade verilmiştir (CERC, 2003):

$$\frac{R_{d\%2}}{H_s} = 2.1\sqrt{\tan\alpha} - 1.2P^{0.15} + 1.5e^{-60s_{0m}} \qquad (2.11)$$

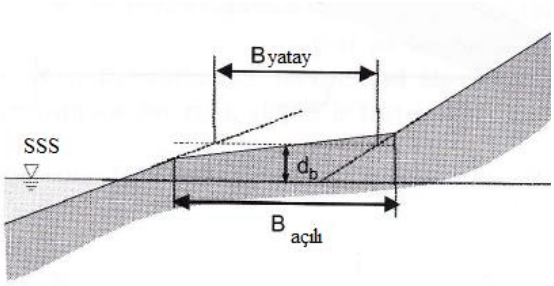
P : Permeabilite
s_{0m} : Ortalama dalga periyoduna karşılık gelen derin deniz dalga dikliği

2.1.4.2 Dalga Aşması

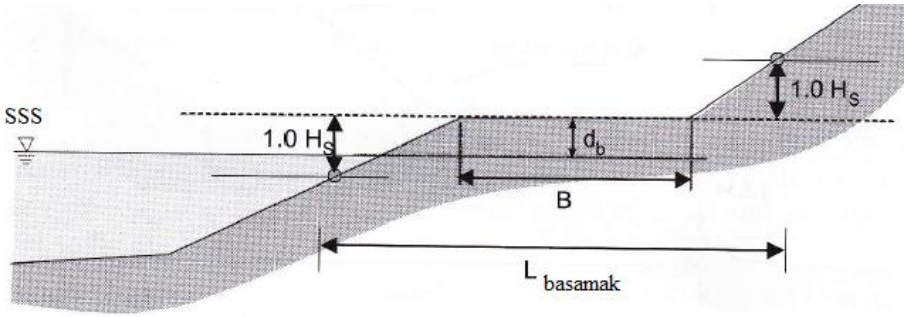
Eğer kret yüksekliği, maksimum tırmanmaya karşılık gelen yükseklikten daha düşük ise, o zaman tırmanan su kret üzerinden aşacaktır. Üstten aşma miktarı genellikle birim zamanda kret uzunluğundan geçen su hacmi ile verilmektedir. Kret kotu tanımı Şekil 2.7'de verilmiştir.

Ancak bu şekilde dikkat edilmesi gereken en önemli husus, eğer Rc kronman duvarı kret yüksekliği Ac dalgakıran kret yüksekliğinden daha düşük ise bu durumda dalga aşma debisini veren ifadelerde Rc yerine Ac alınmalıdır.

İzin verilen dalga aşma miktarı yapı tipine ve işlevine bağlıdır. Genelde yapılar izin verilen dalga aşmasının sınır değerleri için tasarlanmalıdır.

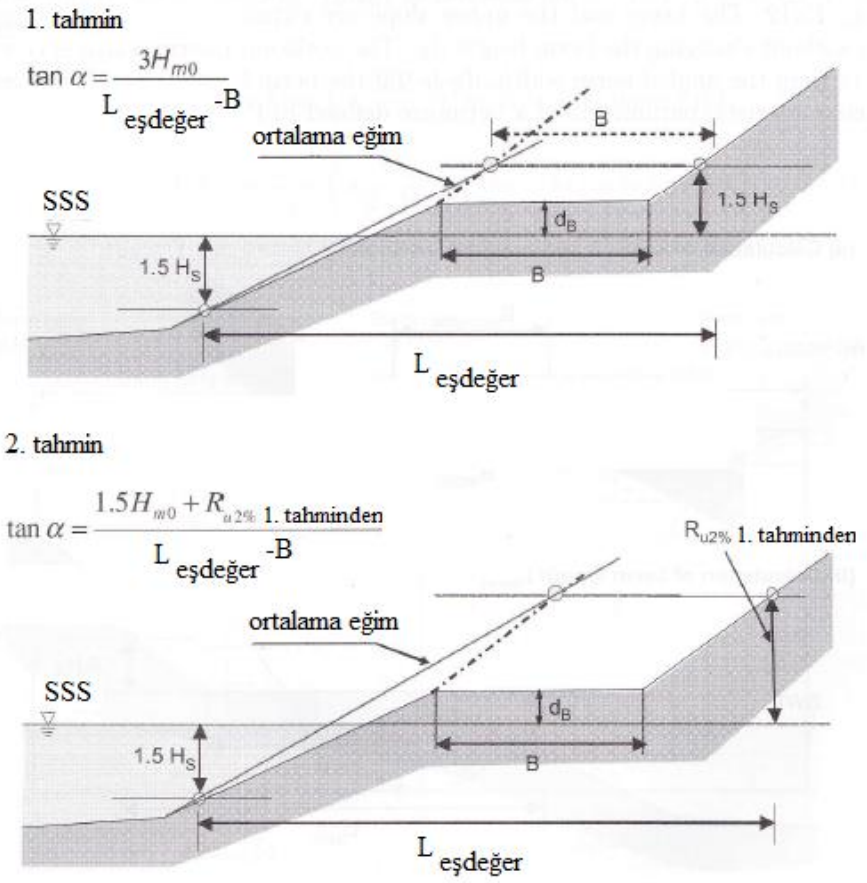


(i) Basamak genişliği (B) ve yüksekliğinin (d_b) hesabı



(ii) Basamak uzunluğunun ($L_{basamak}$) hesabı

(a) Karakteristik basamak boyutlarının belirlenmesi, (WOM, 2007)



(b) Eşdeğer şev eğiminin belirlenmesi (WOM, 2007)

Şekil 2.6

Dalga aşması için WOM (2016) tarafından anroşman şevler için birim genişlikli kretten aşan ortalama debinin *tasarım veya güvenli değerlendirme yaklaşım* ifadesi (dik eğimli şev);

$$\frac{Q}{\sqrt{gH_{m0}^3}}=0.1035\exp\left[-\left(1.35\frac{R_c}{H_{m0}\gamma_r\gamma_\beta}\right)^{1.3}\right] \qquad (2.12)$$

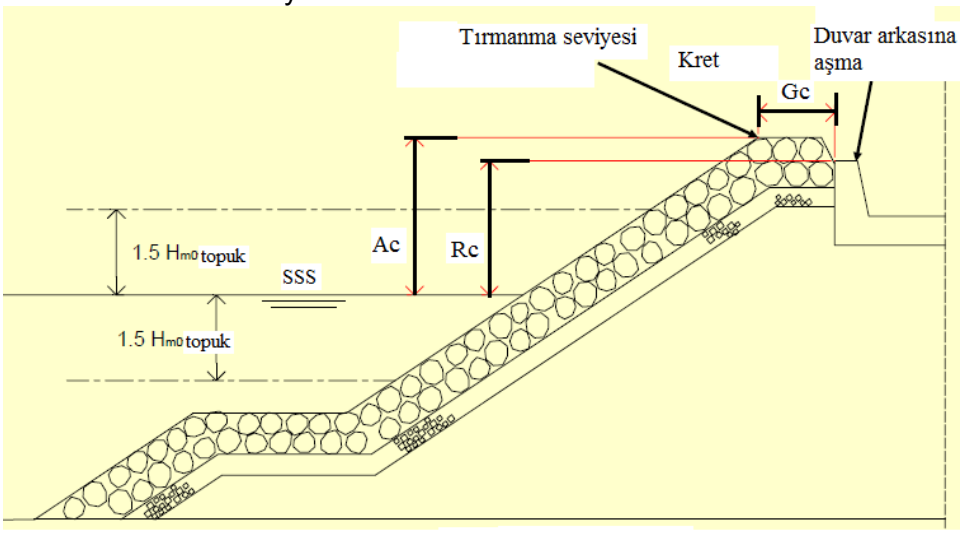
dir.

R_c : Sakin su yüzeyinden itibaren kret yüksekliği (hava payı).

Ortalama değer yaklaşımı ile tasarım için birim aşma debisi ise;

$$\frac{Q}{\sqrt{gH_{m0}^3}}=0.09\exp\left[-\left(1.5\frac{R_c}{H_{m0}\gamma_r\gamma_\beta}\right)^{1.3}\right] \qquad (2.13)$$

dir. Bu ifade ölçülmüş verilerin ortalamasını vermektedir ve tahminler için kullanılabilir, ölçümlerle karşılaştırılır. Bu ifadenin güvenilirliği $\sigma(0.09)=0.0135$ ve $\sigma(1.5)=0.15$ ile tanımlanır. Tasarım ve güvenli değerlendirme debisi için ortalama debinin bir standart sapma kadar artırılması kesinlikle tavsiye edilmektedir.



Şekil 2.7 Kret kotu tanımı ve dalga aşması (WOM, 2007)

Kret genişliğinin, kullanılan koruma elamanının nominal çapının üç katından fazla olması durumunda aşma miktarı azalmaktadır. Bu durumda aşma miktarı aşağıdaki ifade ile azaltılmaktadır.

$$C_r=3.06\exp\left(-1.5G_c/H_{m0}\right) \qquad (2.14)$$

G_c : Nominal taş genişliği (adet $\times$ D_n)

burada $R_c=A_c$'dir. Aşma hesapları yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak farklı şev formları için hesaplanabilmektedir.

Dalgakıran kretinde kronman duvarı kullanılması dalga aşma miktarını azaltmaktadır. Taş dolgu şevlerde kronman duvarı önünde krette en az $3D_n$ genişliğinde bir basamak oluşturarak kret üzerine tasarlanmaktadır. Kronman duvarının geometrisine bağlı olarak aşma debisinin hesaplanmasına yönelik diğer çalışmalar WOM (2016), CIRIA (2012) ve CERC (2003)'te verilmiştir. Bu yöntemlerin kullanılması durumunda yöntemlerin geçerlilik koşullarına uyulmalıdır.

Dalga aşması için sınır değerler Tablo 2.2'de verilmiştir. Bu sınır değerler yapı geometrisinin ve kret kotunun belirlenmesinde belirleyici olmaktadır. Şevli yapı bir kıyı tahkimatı ise karada

yapılacak drenaj yapısının boyutlandırılmasında aşma debisi tasarım parametresidir. Bu değerler aynı zamanda geri alandaki insanlar ve taşınmazlar için uyarı verileridir.

Aşan dalga debisinin duvar gerisinde uzamsal dağılımı ve etkin olduğu mesafeye ilişkin yaklaşımlar yine WOM (2016)'da tanımlanmıştır. Tablo 2.2'de insan, araç veya taşınmaz gibi bileşenler için hasar tipi ve sebepleri, aşma debisinin yanı sıra dalga yüksekliğine de bağlıdır.

Çok sayıda ancak küçük dalga yüksekliklerinde dalga aşma hacimleri, daha büyük dalga aşma hacimlerine sebep olan az sayıdaki ancak büyük dalga yükseklikleri ile karşılaştırıldığında daha az tehlikelidir.

2.1.4.3 Dalga Yansıması

a) Kıyı yapıları, gelen dalga enerjisini yansıtırlar. Dalga yansıması, gelen dalgalar ile yansıyan dalgalar arasındaki etkileşimden dolayı denizde yarattıkları düzensizlik nedeniyle bir takım problemlere (liman girişinde seyir zorlukları, liman içinde çalkantı artması gibi) neden olurlar. Yansıyarak büyüyen dalgalar koruyucu yapıların topuklarında deniz tabanında erozyona neden olur. Ayrıca, kıyı yapılarından yansıyan dalgalar yakın kıyılarda da erozyon oluşturabilirler.

b) Dalga aşmasının olmadığı geçirimsiz, düz dik duvarlar gelen dalga enerjisinin nerdeyse tamamını yansıtırlar. Geçirimli, yumuşak eğimli, taş dolgu yapılar ise enerjinin büyük bir kısmını emer ve küçük bir kısmını yansıtırlar. Dalga enerjisini emen yapılar liman basenlerinde kullanılır. Dalga yansımasını veren yansıma katsayısının genel formu (C_r) ile Denklem 2.15'te tanımlanmıştır.

$$C_r = \frac{H_r}{H_s} \tag{2.15}$$

H_r : Yapı önünde yansıyan belirgin dalga yüksekliği (m)

H_s : Yapı önüne gelen belirgin dalga yüksekliği (m)

1) Dalga aşması olmayan geçirimsiz tek eğimli dalgakıranlarda yansıma katsayısı Tablo 2.3 ve Denklem (2.16) kullanılarak hesaplanabilecektir:

$$C_r = \frac{a\xi^2}{\left(b+\xi^2\right)} \text{ (düzenli dalga için)} \quad C_r = \frac{a\xi_{0m}^2}{\left(b+\xi_{0m}^2\right)} \text{ (düzensiz dalga için)} \tag{2.16}$$

a ve b : Yansıma katsayıları

ξ_{0m} : Yapı topuğunda spektral dalga periyoduna göre belirlenen kırılma parametresi

$\xi_{0m}=\tan\alpha/\sqrt{2\pi H_{m0}/gT_{m-1.0}^2}$

H_{m0} :Yapı topuğunda belirgin dalga yüksekliği, $T_{m-1.0}=T_p/1.1$

2) Zanuttigh ve van der Meer (2008): Dalga aşması deneylerinden elde edilen ξ_r pürüzlülük katsayısını kullanarak geçirimli ve geçirimsiz ocak taşı, beton blok ile düzgün yüzeyli yapılar için Denklem (2.17)'yi önermiştir.

$$C_r=\tanh\left(a\xi_{0m}^b\right)$$

$$a=0.167\left[1-\exp\left(-3.2\gamma_r\right)\right] \tag{2.17}$$

$$b=1.49\left(\gamma_r-0.38\right)^2+0.86$$

α : Doğrusal tek eğimli yapının açık deniz tarafındaki şev eğimi

Tablo 2.2 Dalga aşma debisi için tolerans değerleri (WOM, 2016)

Hasar Bileşeni ve Sebepler	Q Ortalama Dalga Aşma Debisi (ℓ /s/m)	V_{max} Maksimum Dalga Aşma Hacmi (ℓ /m)
Yayalar		
Çoğunlukla düşey yüzlü yapılarda, mümkün olan en şiddetli aşma halinde yapı üzerindeki yayalar.	Ön görülen herhangi aşma debisi için geçişe müsade edilmez.	On görülen herhangi aşma debisi için geçişe müsade edilmez.
Taş dolgu dalgakıran kretinde ve sedde kretindeki yayalar. Deniz açık görünümlü. H_{m0}=3 m H_{m0}=2 m H_{m0}=1 m H_{m0}<0.5 m	 Q<0.3 Q<1.0 Q<0-20 Limit yok	 400 – 600 400 – 600 400 – 600 Limit yok
Araçlar		
Sedde denetimi için sedde kreti üzerindeki araçlar. H_{m0}=3 m H_{m0}=2 m H_{m0}=1 m	 Q<5 10 – 20 <75	 1000 – 2000 1000 – 2000 1000 – 2000
Otoyol ve yollar, hızlı trafik.	Moloz fırlatılması tehlikesine karşı önceden kapatılmalıdır. Tehlike büyük olabilir.	Moloz fırlatılması tehlikesine karşı önceden kapatılmalıdır. Tehlike büyük olabilir.
Demiryolu hatları, yavaş hareket eden tren.	Sedde üzerindeki araçlara bakınız	Sedde üzerindeki araçlara bakınız
Yat Limanları		
Belirgin hasar veya büyük yatların batması, H_{m0}>5 m	Q>10	>5,000 – 30,000
Belirgin hasar veya büyük yatların batması, H_{m0}=3 – 5m	Q>20	>5,000 – 30,000
Duvardan 5 – 10m açıkta bulunan küçük teknelerin batması H_{m0}=3 – 5m Büyük yatların hasar görmesi.	Q>5	>3,000 – 5,000
Büyük yatlar için emniyetli, H_{m0}>5 m	Q<5	5,000
Duvardan 5 – 10m açıkta bulunan küçük tekneler için emniyetli H_{m0}=3 – 5m	Q<1	2,000
Binalar		
Binaların yapı elemanları, H_{m0}=1 – 3m	Q<1	<1,000
Duvardan 5 – 10m geride bulunan tesisat ve ekipmanlarda hasar	Q<1	<1,000
Kıyı Duvarları: Toprak, Taş Dolgu		
Taş dolgu dalgakıranlar, H_{m0}>5 m hasar yok	Q<1	2,000 – 3,000
Taş dolgu dalgakıranlar, H_{m0}>5 m dalga aşması için arka tarafı tasarlanmalı	Q<5 – 10	10,000 – 20,000
Kreti veya kara tarafındaki şevi bitkilendirilmiş H_{m0}=1 – 3m Bitkilendirme tamamlanmış	Q <5	2,000 – 3,000
Kreti veya kara tarafındaki şevi bitkilendirilmiş H_{m0}=1 – 3m Bitkilendirme işi devam ediyor.	Q <1	1,000 – 2,000
Kreti veya kara tarafındaki şevi bitkilendirilmiş H_{m0}=0.5 – 3m Bitkilendirme işi sürdürülmüyor. Açık alanlar var, yosunlanma, sebze bahçeleri.	Q <0.1	500
Kreti veya kara tarafındaki şevi bitkilendirilmiş H_{m0}<1m	Q=5 – 10	500
Kreti veya kara tarafındaki şevi bitkilendirilmiş H_{m0}<0.3m	Limit yok	Limit yok

Taş dolgu dalgakıranlarda yansıma katsayısı genel olarak 0.3 ile 0.6 arasında değişir. Doğal kumsalda ise yansıma katsayısı 0.05 ile 0.2 arasındadır (OCDI, 2002)**.**

Tablo 2.3 Yansıma katsayıları (CERC, 2003)

Yazar	Yapı	a	b
Seiling (1983) $2.5 \le \xi \le 6$	Geçirimsiz, düzgün, tek eğimli, düzenli dalgalar	1.0	5.5
Allsop ve Hettiarachchi (1988)	Dolos, düzenli dalgalar (ξ) Eğim 1:1.5 , 1:2 , 1:3	0.56	10.0
	Tetrapodlar, düzensiz dalgalar(ξ_{om}) Eğim 1:1.33 , 1:1.5 , 1:2	0.48	9.62
Allsop (1990) $3 \le \xi_{0m} \le 6$	Tek eğimli ve geçirimsiz	0.96	4.8
	Geçirimsiz eğim üzerine 1 tabakalı kaya ya da taş alt tabakalı (P=1)	0.64	7.22
	Geçirimsiz eğim üzerine 2 tabakalı kaya ya da taş alt tabakalı (P=1)	0.64	8.85
Benoit ve Teisson (1994) $2.7 \le \xi_{0m} \le 7$	2 Tabakalı koruyucu tabaka $H_s : 0.03 - 0.09m$, $T_p = 1.3s$, d=0.4 m Eğim 1:1.33, 1:1.5, 1:2	0.6	6.6
Davidson (1994)	Kaya eğim (1:1.1) üzerindeki ölçümler Su derinliği d (m)		
	d>3.25	0.65	25
	$2.5 \le d \le 3.25$	0.60	35
	d <2.5	0.64	80

2.1.5 Taş Dolgu Dalgakıranların Yapısal Tasarımı

Koruyucu tabakada taş elemanların kullanıldığı tasarım denklemleri aşağıda verilen koşullar için geçerlidir.

- Koruyucu tabakada 2 sıra taş kullanılacaktır,
- Tasarım yapıya yönden bağımsız olarak dalganın yapıya dik geldiği kabülü ile yapılacaktır,
- Dalga kesit tasarımı normal ve özel yapılar için model çalışmaları yapılarak kesinleştirilebilecektir.

Bu bölümde yapısal tasarım esasları için CIRIA (2007) tarafından önerilen esaslar dikkate alınmıştır.

Taş dolgu dalgakıranların koruma tabakalarının stabilite hesapları

- Hudson (1958)
- Van der Meer Derin Su (1988)
- Van der Meer Sığ Su (2004)
- Van Gent vd. (2005)

yöntemleri kullanılarak yapılacaktır. Ancak bu yöntemlerin kullanım koşulları yapının bulunduğu su derinliğine, yapı topuğundaki tasarım dalga koşullarına ve yapının diğer özelliklerine (permeabilite, şev eğimi gibi) bağlıdır (Tablo 2.4).

Tablo 2.4 Taş dolgu şevlerde kullanılan stabilite ifadelerinin kullanım kriterleri (CIRIA, 2007)

Kriterler	Hudson	Van der Meer (Derin Su)	Van der Meer (Sığ Su)	Van Gent vd. (Çok sığ Su)
Derin su koşullarında uygulanabilir mi?* $d>3H_{stopuk}$	Evet	Evet	Hayır	Hayır
Çok sığ su koşullarında kullanılabilir mi?* $H_{stopuk}<0.7H_{s0}$	Hayır	Hayır	Evet	Evet
Geçirimli çekirdeğe sahip yapı için uygun mu?	Evet	Evet	Evet	Evet
Geçirimsiz çekirdeğe sahip yapı için uygun mu?	Evet ancak $K_D=1$ koşulu ile	Evet	Evet	Evet
Yöntemin tasarım deneyimi var mı?	Evet	Evet	Evet sınırlı	Çok sınırlı**
Dalga sayısı bilgisi gerekli mi?	Hayır	Evet	Evet	Evet
Dalga periyodu bilgisi gerekli mi?	Hayır	Evet (T_m)	Evet ($T_{m-1.0}$)	Hayır
$H_{\%2}$ dalga yüksekliği gerekli mi?	Hayır	Hayır	Evet	Hayır
Permeabilite (P) bilgisi gerekli mi?	Hayır ancak K_D koşullu	Evet	Evet	Hayır
D_{n50} çekirdek bilgisi gerekli mi?	Hayır	Hayır	Hayır	Evet

*Derin su koşullarında geçerli orijinal Van der Meer (1988) ifadeleri ile sığ su koşullarında uygulanan Van der Meer (2004) ifadelerinin geçerlilik sınırları için daha detaylı bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgiler **Tablo 2.5**'te özetlenmiştir.

**Bu yöntemin uygulanması fiziksel model deneyleri ile desteklenmelidir.

Tablo 2.5 Van der Meer stabilite ifadelerinin uygulama bilgileri (CIRIA, 2007)

Bilgi	Su derinliği		
	Çok sığ su	Sığ su	Derin su
Parametreler • Topukta göreceli su derinliği d/H_{stopuk} • Dalga yüksekliği oranı $R_H= H_{stopuk}/H_{s0}$	≈ 1.5 - ≈ 2 <0.7	<3 $0.7<R_H<0.9$	>3 >0.9
Stabilite ifadesi Van der Meer Derin Su Van der Meer Sığ Su			

Van der Meer ifadeleri ile Van Gent ifadesinin nasıl kullanılacağına yönelik Bölüm 2.1.3'te göreceli derinlik ve tasarım dalgası için kullanılacak spektrum için açıklamalar verilmiştir. Spektrumlardan tasarım dalgalarının nasıl hesaplanacağı ise Bölüm B.1.'de anlatılmıştır.

Kıyı ve liman koruma yapıları dalga etkisine karşı "$H/\Delta D$" ile tanımlanan stabilite parametresine göre sınıflandırılabilmektedir. Taş dolgu dalgakıranların yapısal tasarımında kullanılan ifadeler de, "Hasar parametresi" nin fonksiyonu olan farklı parametreler ile özelleşmişlerdir.

Burada performans kriteri "**Hasar**", yapının tamamının veya koruma tabakalarını oluşturan elemanların yer değiştirmesi şeklinde tanımlanmaktadır.

H : Dalga yüksekliği,

$\Delta = \frac{\rho_r - \rho_w}{\rho_w}$: Göreceli özgül kütle,

ρ_r : Koruma tabakasında kullanılan elemanların özgül kütlesi,

ρ_w : Suyun özgül kütlesi,

D : Yapının, koruma tabakasınındaki taşın, çakılın veya kumun karakteristik boyutu.

Taş dolgu dalgakıranlarda koruma tabakasında ocak taşı kullanılması durumunda taş çapı "D_{n50} nominal taş çapı" ile tanımlanır. Medyan taş ağırlığı W_{50} ile boyutu D_{n50} arasındaki ilişki ise

$$D_{n50} = \left(\frac{M_{50}}{\rho_r} \right)^{1/3}$$

ile verilir.

ρ_r : Taşın özgül kütlesi (ton/m^3),

M_{50} : Taşın nominal çapının kütlesi (ton).

Hesaplamalarda birden fazla ifade geçerli ve uygulanmakta ise, bu durumda hassasiyet analizi yapılması tavsiye edilir.

2.1.5.1 Hudson (1958)

Taş dolgu dalgakıranlar için tasarım formülü dalgakıran gövde ve kafası için aşağıda verilmiştir. Bu ifade kullanılırken yapı topuğunda bulunan tasarım dalgasının kırılıp kırılmadığı belirlenmelidir.

$$M = \frac{\rho_r H_{1/10}^3}{K_D \Delta^3 \cot\alpha} \qquad (2.18)$$

M_{50} : Ortalama taş kütlesi , $M_{50} = \rho_s D_{n50}^3$

W : Ortalama taş ağırlığı, $W = M_{50}\, g$

$H_{1/10} = 1.27 H_s$: Tasarım dalga yüksekliği (m)

D_{n50} : Taşların ağırlıkça %50 sinin daha az olduğu taşın nominal çapı

$$\Delta = \left(\frac{\rho_r}{\rho_w} \right) - 1$$

α : Yapı şev açısı

K_D : Stabilite katsayısı

Hudson (1958) ifadesinde koruma tabakasında kullanılacak taş için gerekli K_D değerleri **Tablo 2.6**'da verilmiştir.

K_D değerleri hiç hasar olmama şartına göre elde edilmiştir. Hiç hasar olmama şartı Hudson tarafından şöyle tanımlanmıştır; koruyucu tabakada hareket eden eleman sayısının toplam eleman sayısına oranının "D=% (0-5)" (bu ifadede hasar D ile tanımlanmıştır) olmasıdır. Daha büyük hasarı seçtiğimizde başka bir deyişle bakım masraflarını arttırdığımızda daha küçük elemanlar elde edebiliriz. Böyle bir seçim için tasarım dalga yüksekliğinde yapılacak azaltma Tablo 2.7'de görülmektedir. Tablo 2.7'de öngörülen değerler tasarım dalga yüksekliğinin aşılmaması, dalgaların kırılmaması ve dalganın dalgakıranın üzerinden aşmaması durumuna göre hesaplanmıştır.

Hudson ifadesinin en önemli avantajı basit olmasıdır, ancak bu ifadenin uygulama sınırları vardır;

- Düzenli dalgalar için kullanılır
- Dalga periyodunu ve fırtına süresini dikkate almaz

- Hasar seviyesini tanımlamaz
- Sadece aşmama koşulu ve geçirimli yapılar için kullanılabilir.

Eğer yapı geçirimsiz yani permeabilitesi küçük ise bu durumda stabilite katsayısının K_D=1.0 alınması tavsiye edilmektedir.

Tablo 2.6 Hudson formülündeki K_D (stabilite katsayısı) değerleri (CERC, 1984)

Koruyucu Tabaka	Taş Koruma Sırası (n)	Dalgakıran Gövdesi (Structure trunk)		Dalgakıran Kafası (Structure head)		Şev Eğimi cot α`
		Dalgaların kırılması hali	Dalgaların kırılmaması hali	Dalgaların kırılması hali	Dalgaların kırılmaması hali	
Düzgün ocaktaşı	2	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5-3.0
Kaba, köşeli ocaktaşı	2	2.0	4.0	1.9	3.2	1.5
				1.6	2.8	2.0
				1.3	2.3	3.0
Tribar (Fiziksel Model çalışması gereklidir)	2	9.0	10.0	8.3	9.0	1.5
				7.8	8.5	2.0
				6.0	6.5	3.0
Dolos (Fiziksel Model çalışması gereklidir)	2	15.8	31.8	8.0	16.0	2.0
				7.0	14.0	3.0
Tetrapod (Fiziksel Model çalışması gereklidir)	2	7.0	8.0	5.0	6.0	1.5
				4.5	5.5	2.0
				3.5	4.0	3.0

Tablo 2.7 Tasarım dalga yüksekliğinde yapılacak azaltma $H_s / H_{s;(D=0)}$ (CERC, 1984)

Malzeme		% Hasar						
		0-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30-40	40-50
Ocaktaşı (pürüzsüz)	$H_s / H_{s;(D=0)}$	1.00	1.08	1.14	1.20	1.29	1.41	1.54
Ocaktaşı (pürüzlü)	$H_s / H_{s;(D=0)}$	1.00	1.08	1.19	1.27	1.37	1.47	1.56
Tetrapod Quadripod	$H_s / H_{s;(D=0)}$	1.00	1.09	1.17	1.24	1.32	1.41	1.50
Tribar	$H_s / H_{s;(D=0)}$	1.00	1.11	1.25	1.36	1.50	1.59	1.64
Dolos	$H_s / H_{s;(D=0)}$	1.00	1.10	1.14	1.17	1.20	1.24	1.27

Küp ve antifer bloklar için ayrı ayrı olarak, çeşitli yapı eğimleri ve dalga kırılma koşulları için ayrıntılı olmak üzere elde edilen stabilite katsayıları gövde ve kafa kesiti için sırasıyla Tablo 2.8 ve Tablo 2.9'da **(**ODTÜ, 1999**)** verilmiştir.

Tablo 2.8 Taş dolgu dalgakıranların koruma tabakalarında küp ve antifer bloklar kullanılması, topuk yapılması durumlarında, gövde kesiti için önerilen stabilite katsayıları (K_D katsayıları)

Gövde Kesiti[1] Hasar D= %0-5				
	Kırılmayan Dalga Koşulları		Kırılan Dalga Koşulları	
Cot α	Küp	Antifer	Küp	Antifer
1.5	4.5	5	3.5	4
2.0	6.5	7	5	5.5
2.5	7.5	8	6	6.5
3.0	8.5	9	7	7.5
3.5	9.5		8	

Tablo 2.9 Taş dolgu dalgakıranların koruma tabakalarında küp ya da antifer bloklar kullanılması, topuk yapılması durumlarında, kafa kesiti için önerilen stabilite katsayıları

Kafa Kesiti[1] Hasar D= %0-5				
	Kırılmayan Dalga Koşulları		Kırılan Dalga Koşulları	
Cot α	Küp	Antifer	Küp	Antifer
1.5		4		3.5
2.0	5	5.5	4	4.5
2.5	6	6.5	5	5.5
3.0	7	7.5	6	6.5
3.5				

[1] Küp ve antifer için önerilen stabilite katsayılarının kullanım koşulları;

Koruma tabakasındaki bloklar % 46 porozite sağlayacak biçimde en az 2 tabaka olmak üzere düzenli olarak yerleştirilmelidir.

- Koruma tabakasının deniz tabanı ile birleştiği bölgede (dalgakıran eteğinde), tasarım dalgası zemin ve su derinliği özelliklerine göre seçilecek uygun büyüklükteki taşlar kullanılarak koruyucu topuk yapılmalıdır.
- Küp ya da antifer bloklar, denize dayanıklı beton ile donatısız olarak imal edilmeli, sağlam ve çatlaksız olmalı ve suya doygun iken yüzeyi kuru olduğundaki özgül ağırlığı en az 2.4 ton/m^3 olmalıdır.
- Kilitlenme özelliği bakımından küp yerine antifer kullanılması tercih edilebilir.

Not: Koruma tabakasında kullanılacak diğer beton elemanların K_D değerleri için CERC (2003) ve CIRIA (2007)'ye bakılmalıdır.

2.1.5.2 Van der Meer (1988), Derin Su İfadesi

Derin su koşullarında koruma tabakasında ocak taşı büyüklüğünün belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu ifadenin kullanılma koşulu $d>3H_{stopuk}$'tur. Bu ifadenin en önemli özelliği performans kriteri olan hasar (S)'ı içermesidir. İfadede stabilite parametresi; N fırtına süresi (dalga sayısı), T_m dalga periyodu, P yapının permeabilitesi ve S hasarın fonksiyonudur.

i) $\xi_m < \xi_{mc}$ plunging tipi kırılan dalgalar için;

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_{pl} P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \xi_m^{-0.5} \qquad (2.19)$$

ii) $\xi_m > \xi_{mc}$ surging tipi kırılan dalgalar için;

$$\frac{H_s}{\Delta D_{50}} = c_s P^{-0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \sqrt{\cot\alpha}\, \xi_m^P \qquad (2.20)$$

ξ_m: Ortalama periyodun dikkate alındığı kırılma parametresi

$$\xi_m = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{s_{0m}}} = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H_s}{gT_m^2}}} \quad (2.21)$$

α : Dalgakıran şev açısı,

Δ : Göreceli özgül kütle,

$$\Delta = \frac{(\rho_r - \rho)}{\rho} \quad (2.22)$$

N : Dalga sayısı (fırtına süresi)

N=(Fırtına süresi (saat) x3600)/(T_m (s)). Fırtına süresi hakkında yeteri bilgi yoksa 3000 alınması önerilir.

S : Hasar, Meer hasarı; hasar alanının nominal çapa oranı olarak vermiştir (A/D_{n50}^2) (Tablo 2.10). Hasar yerdeğiştirme ve oturmayı içermektedir. Hasar D_{n50} genişliğine sahip bir şeritten en az kendi boyutu kadar yer değiştiren kübik taşların sayısıdır (Şekil 2.8).

P : Permeabilite (Şekil 2.9), geleneksel taş dolgu dalgakıranlarda geçirimli çekirdek için 0.4 alınması önerilir. Eğer ilk filtreden sonra ikinci filtre ya da geotekstil kullanılarak geçirimsiz çekirdek oluşturulursa permeabilite küçülür ve 0.1 alınması önerilir.

c_{pl} : 6.2 (Standart sapma $\sigma = 0.4$)

c_s : 1.0 (Standart sapma $\sigma = 0.08$)

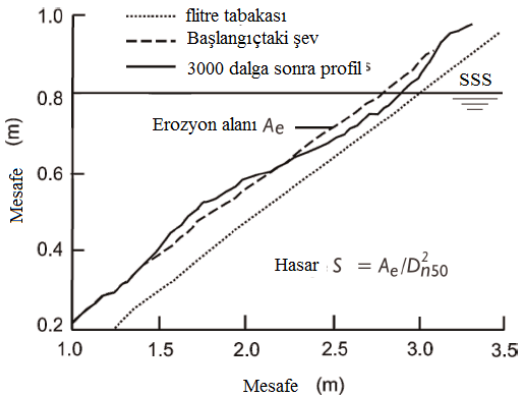
Plunging'den surging tipi kırılan dalgaya geçiş yapının şev eğimi kullanılarak bulunur (kesinlikle kıyı eğimi kullanılmaz)

$$\xi_{mc} = \left[\frac{c_{pl}}{c_s} P^{0.31} \sqrt{\tan\alpha}\right]^{\frac{1}{P+0.5}} \quad (2.23)$$

Şev eğiminin 1.4'ten büyük olması durumunda sadece plunging tipi kırılan dalgaya ait ifade kullanılır.

Topuk önündeki tasarım dalga yüksekliği $H_{stopuk}>0.9H_{s0}$'dır.

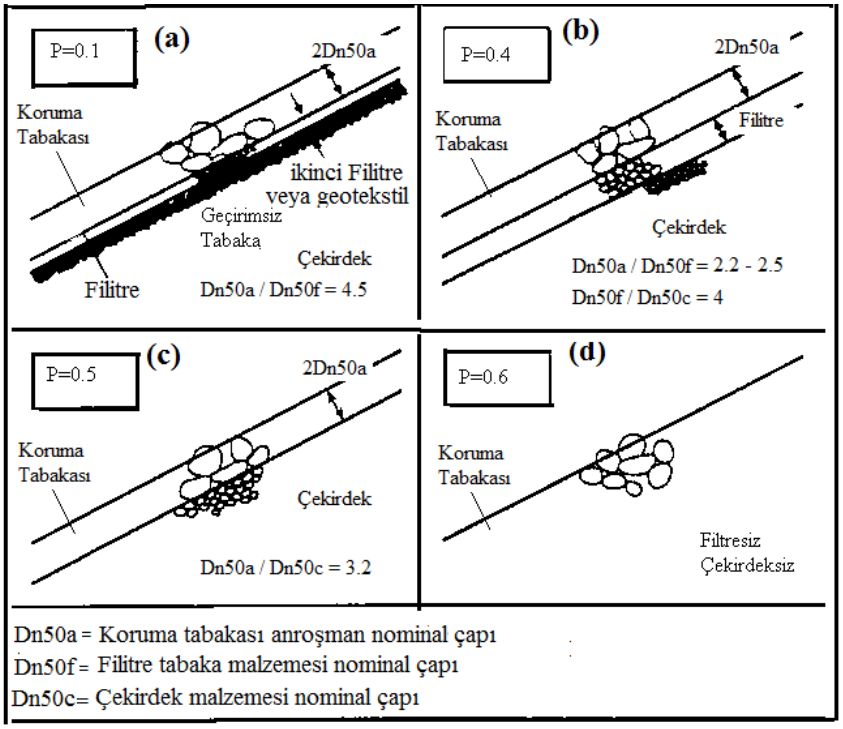
İfadenin geçerlilik sınırları Tablo 2.11'de özetlenmiştir.



Şekil 2.8 Erozyona uğrayan alana (A_e) göre tanımlanan hasar (S)

Tablo 2.10 Farklı eğimler için hasardaki (S) değişim (Van der Meer, 1988)

Eğim	Hasar başlangıcı (Tamir istemez)	Orta hasar (Tamir ister)	Tam hasar (Çekirdek ortaya çıkar)
1:1.5	2	3-5	8
1:2	2	4-6	8
1:3	2	6-9	12
1:4	3	8-12	17
1:6	3	8-12	17



Şekil 2.9 Değişik tipteki taş yapılar için permeabilite (P) değerleri (Van der Meer, 1988)

Tablo 2.11 Van der Meer (1988) derin su ifadesi geçerlilik sınırları (CIRIA, 2012)

Parametre	Sembol	Aralık
Şev eğimi	$\tan\alpha$	1:6-1:1.5
Dalga sayısı	N	<7500
T_m'e bağlı dalga dikliği	S_{0m}	0.01-0.06
T_m'e bağlı surf parametresi	ξ_m	0.7-7
Göreceli özgül kütle	Δ	1-2.1
Göreceli topuk önü su derinliği	d/H_{stopuk}	>3
Permeabilite	P	0.1-0.6
Anroşman granülometrisi	D_{n85}/D_{n15}	<2.5
Hasar-fırtına süre oranı	$S/\sqrt{N}$	<0.9
Stabilite parametresi	$H_s/\Delta D_{n50}$	1-4
Hasar	S	1-20

2.1.5.3 Van der Meer (2004), Sığ Su İfadesi

Dalgakıranın topuk önündeki su derinliği sığ su koşullarında ise dalgalar artık derinlik limitlidir. Derin su ile sığ su arasındaki sınır değer $d=3H_{stopuk}$ ile tanımlanmıştır. Sığ su koşullarında ($d/H_{stopuk}<3$), dalgalar sığlaşmaya başlar ve küçülürler, kısmen kırılmalar görülür ancak halen gelen dalganın spektrum şekli bozulmayabilir (yani Rayleigh dağılımı geçerli olabilir $H_{\%2}/H_s=1.4$).

Ancak kırılmaların artmasıyla spektrumun şekli bozulacaktır. Bu koşullar $0.7<H_{stopuk}/H_{s0}<0.9$ aralığında meydana gelir ve spektrumdan sapma kontrol edilmelidir. Eğer spektrumdan sapma varsa artık Rayleigh dağılımı geçerli değildir ve $H_{\%2}$ yeniden hesaplanmalıdır. Çünkü $H_{\%2}/H_s$ oranı $1.2<H_{\%2}/H_s<1.4$ aralığında yeni değerler alacaktır. Van der Meer sığ su ifadesinin kullanılmasında bu kısıtlara dikkat edilmelidir.

i) $\xi_{m-1.0} < \xi_{mc}$ plunging tipi kırılan dalgalar için;

$$\frac{H_{s_{topuk}}}{\Delta D_{n50}} = c_{pl} P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \left(\frac{H_{s_{toe}}}{H_{\%2}}\right) (\xi_{m-1.0})^{-0.5} \quad (2.24)$$

ii) $\xi_{m-1.0} > \xi_{mc}$ surging tipi kırılan dalgalar için;

$$\frac{H_{stopuk}}{\Delta D_{50}} = c_s P^{-0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \left(\frac{H_{\%2}}{H_s}\right)^{-1} \sqrt{\cot\alpha}\ \xi_{m-1.0}^{P} \quad (2.25)$$

c_{pl}=8.4 ve c_s=1.3

$$\xi_{m-01} = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{\left(\frac{2\pi}{g}\right) H_{s_{topuk}} \Big/ T_{m-1.0}^2}} \quad (2.26)$$

$$\xi_{mc} = \left(\frac{c_{pl}}{c_s}(P)^{0.31} \sqrt{\tan\alpha}\right)^{\frac{1}{P+0.5}} \quad (2.27)$$

$H_{\%2}$: Yapı topuğunda % 2 aşılma olasılığına karşılık gelen dalga yüksekliği (m)

$T_{m-1.0}$: Enerji (spektral) dalga periyodu (s), $T_{m-1.0} = T_p / 1.1$

T_m : Ortalama dalga periyodu, $T_p = 1.07 T_{m-1.0}$

Van der Meer (2004) sığ su ifadesinin geçerlilik sınırları Tablo 2.12'de özetlenmiştir.

Tablo 2.12 Van der Meer (2004) sığ su ifadesinin geçerlilik sınırları (CIRIA, 2012)

Parametre	Sembo	Aralık
Şev eğimi	$\tan\alpha$	1:4-1:2
Dalga sayısı	N	<3000
T_m'e bağlı dalga dikliği	s_{0m}	0.01-0.06
T_m'e bağlı surf parametresi	ξ_m	1-5
$T_{m-1.0}$'e bağlı surf parametresi	$\xi_{m-1.0}$	1.3-6.5
Dalga yüksekliği oranı	$H_{\%2}/H_s$	1.2-1.4
Topukta göreceli derin su dalga yüksekliği	H_{s0}/d	0.25-1.5
Topukta göreceli dalga yüksekliği	d/H_{stopuk}	<3
Anroşman granülometrisi	D_{n85}/D_{n15}	1.4-2.0
Çekirdek-Koruma oranı	$D_{n50\text{-çekirdek}}/D_{n50}$	0-0.3
Hasar-fırtına süre oranı	$S/\sqrt{N}$	<0.9
Stabilite parametresi	$H_s/\Delta D_{n50}$	0.5-4.5
Hasar	S	<30

2.1.5.4 Van Gent vd. (2005)

Çok sığ su koşullarında Van Gent aşağıdaki basit ifadeyi vermiştir ($1.25 < d/H_{stopuk} \leq 3$). Bu koşullarda dalgalarda kırılma miktarı çok yüksektir ve spektrumun şekli bozulur, bu durumda $H_{stopuk} < 0.7 H_{s0}$ olur ve spektrum şekli tamamen değişir ($H_{\%2}/H_s < 1.4$). Bu koşullar çok sığ su koşullarını yansıtır.

Ancak bu ifadenin uygulanması durumunda fiziksel model çalışması yapılması önerilir.

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.75 \sqrt{\cot\alpha} \left(1 + D_{n50\text{-çekirdek}}/D_{n50}\right)^{2/3} \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \quad (2.28)$$

2.1.5.5 Beton Bloklar için Stabilite İfadeleri

Koruyucu tabakalarda beton elemanların kullanıldığı tasarım denklemleri beton elemanların şekillerine göre verilmiştir. Bu denklemler koruma tabakasına rasgele yerleştirilmiş beton bloklardır. Şekil 2.10'da bazı beton blok tipleri gösterilmiştir.

- **Tetrapod**

Yapı önünde kırılmayan dalgalar (derinlikten etkilenmeyen dalgalar) ve kırılma parametresi aralığı $3.5 < \xi_m < 6$ için çift sıra koruma tabakası halinde geçerlidir. Şev eğimi 1:1.5 için geçerlidir.

$s_{0m} \leq s_{0mc}$ surging tipi dalga için;

$$\frac{H_S}{\Delta D_n} = \left(3.75 N_{0d}^{0.5} / N^{0.25} + 0.85\right) s_{0m}^{-0.2} \qquad (2.29)$$

hasar olmaması halinde ($N_{0d}=0$) için,

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = 0.85 s_{0m}^{-0.2} \qquad (2.30)$$

$s_{0m} > s_{0mc}$ plunging tipi dalga için

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = (8.6(N_0^{0.5} / N^{0.25}) + 3.94) s_{0m}^{0.2} \qquad (2.31)$$

verilmiştir. Burada kritik dalga dikliği,

$$s_{0mc} = \left[\frac{(3.75(N_0^{0.5} / N^{0.25}) + 0.85)}{(8.6(N_0^{0.5} / N^{0.25}) + 3.94)} \right]^{1/0.4} \qquad (2.32)$$

$D_n = 0.65D$

D : Blok yüksekliği

H_s : Dalgakıran önündeki tasarım belirgin dalga yüksekliği (m)

$$\Delta = \left(\frac{\rho_r}{\rho_w} \right) - 1$$

ρ_r : Betonun özgül kütlesi (t/m^3)

ρ_w : Suyun özgül kütlesi (t/m^3)

s_{0m} : Dalga dikliği, $s_{0m} = \frac{H_s}{L_{om}}$

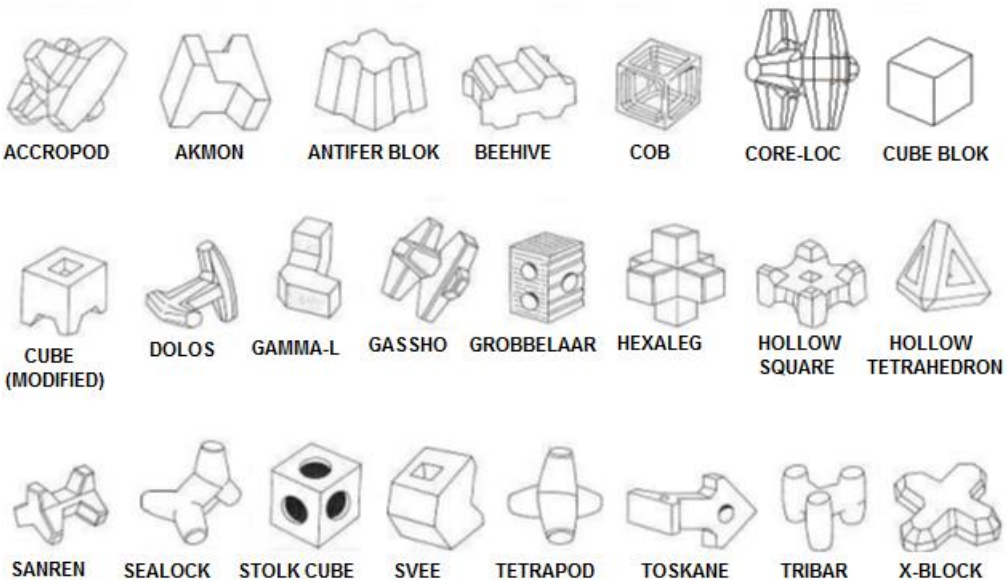
L_{0m} : Ortalama dalga periyoduna karşılık gelen derin deniz dalga boyu

N : Dalga sayısı

D_n : Tetrapod ile aynı hacimde ki küpün eşdeğer kenar uzunluğu

N_{0d} : Koruyucu tabakada genişliği D_n olan alanda yer değiştiren tetrapod sayısı, "göreceli hasar" (Tablo 2.13).

Tasarım detayları için CERC (2003) ve CIRIA (2012)'e bakınız.



Şekil 2.10 Beton blok tipleri

- **Çift Tabaka Küp**

Yapı önünde kırılmayan dalgalar, kırılma (benzetim parametresi) $3 < \xi_m < 6$ için ve şev eğimi 1:1.5 için geçerlidir.

$$\xi_m = s_m^{-0.5} \tan\alpha \tag{2.33}$$

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left(6.7 N_{0d}^{0.4} / N^{0.3} + 1.0\right) s_{0m}^{-0.1} \tag{2.34}$$

Hasar olmaması halinde $N_{0d}=0$ için yukarıdaki ifade,

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = s_{0m}^{-0.1} \tag{2.35}$$

D_n : Nominal çap küpün kenar uzunluğuna eşittir.
H_s : Dalgakıran önündeki tasarım belirgin dalga yüksekliği (m)
ρ_r : Betonun özgül kütlesi (t/m^3)
ρ_w : Suyun özgül kütlesi (t/m^3)

$$\Delta = \left(\frac{\rho_s}{\rho_w}\right) - 1$$

s_{0m} : Derin deniz dalga dikliği , $s_{0m} = H_s / L_{0m}$
L_{0m} : Ortalama dalga periyoduna karşılık gelen derin deniz dalga boyu
N : Yapı stabilitesinin sağlandığı dalga sayısı $(N \leq 7500)$
N_{0d} : Koruyucu tabakada genişliği D_n olan alanda yer değiştiren küp sayısı "Göreceli Hasar".

- **Accropod**

Şev eğimi 1:1.33 olan koruma tabakasına tek sıra yerleştirilmiş beton bloklardır. Deneylerden 1:1.5 eğimde de benzer davranışlar olacağı beklenmektedir.

Hasar başlangıcı, $N_{0d}=0$;

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = 3.7 \qquad (2.36)$$

Tam hasar durumu, $N_{0d}>0.5$:

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = 4.1 \qquad (2.37)$$

Tasarım için:

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = 2.5 \qquad (2.38)$$

Burada $D_n=0.7D$'dir ve burada D bloğun yüksekliğidir.

- **Core-loc**

Şev eğimi 1:1.33 olan koruma tabakasına tek sıra yerleştirilmiş beton bloklardır.

Tasarım için:

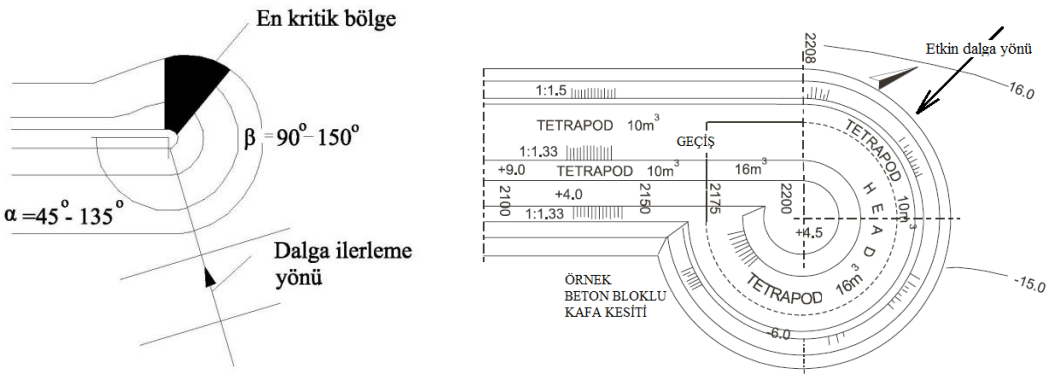
$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = 2.78 \qquad (2.39)$$

Tablo 2.13 Beton bloklar için göreceli hasar sayıları

Korumada Beton Blok Tipi	Hasar N_{0d}		
	Hasar başlangıcı	Orta hasar	Tam hasar
Küp	0.2-0.5	1	2
Tetrapod	0.2-0.5	1	1-5
Accropod	0	-	>0.5

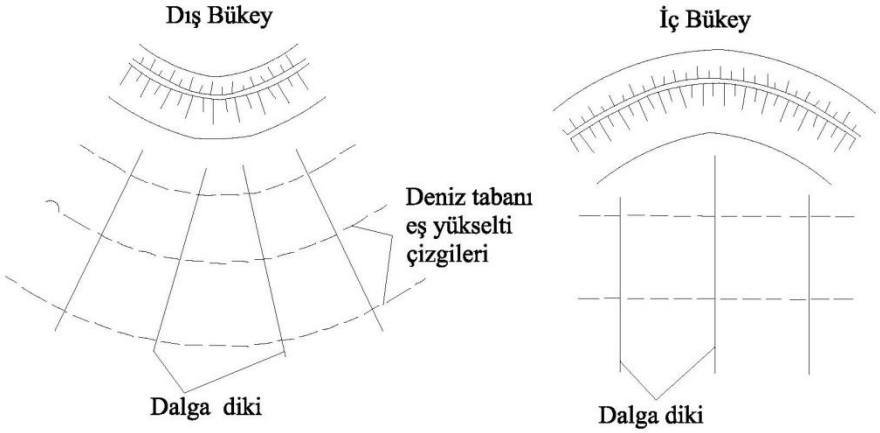
2.1.6 Dalgakıran Kafası (Müzvar)

Hudson dalgakıran kesit hesabında dalgakıran gövdesi ve dalgakıran kafası için farklı stabilite katsayıları (K_D) önermiştir. CIRIA (2012)'de ise dalgakıran gövdesi ve dalgakıran kafası kesit hesapları için farklı denklemler yerine gövdede bulunan taş ağırlığının 1.5 katı alınması önerilmiştir. Benzer dalga koşulları altında taş dolgu dalgakıranların baş kısımları gövde kısımlarına göre daha çok hasar görür. Bunun temel nedeni ise dalgakıran kafası erafında dönen dalgaların oluşturduğu yüksek akıntı hızlarıdır. Bu hız dalga dönmesi nedeni ile zaman zaman daha büyük değerler alabilir. Bu nedenle dalgakıran kafasında daha büyük taş ağırlıkları veren K_D değerleri önerilir. Şekil 2.11'de dalgakıran kafasında en kritik bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Yapı kafasında hasar görebilecek kritik alanlar ve örnek kafa planı

Ayrıca yapının kurb kısımları (veya köşe kısımları) gövde kısmına oranla daha fazla dalga etkisine maruz kalır, bu bölgeler de kafa kesiti gibi dikkate alınır. Derin sularda inşa edilen yapılar maliyeti arttırdıklarından, yapının dış bükey ve köşe kısımları genellikle deniz tabanı yükselti eğrilerini takip ederler. Şekil 2.12a'da görüldüğü gibi sapma bazen dalga yüksekliğini arttırabilir. Bu durum dalga tırmanması ve dalga aşması ile sonuçlanabilir. Daha keskin olan dış bükey köşelerde, komşu tekil taş veya blokların sağlayacağı yanal destek azalır. İç bükey kısımlar veya kurblar enerji yoğunlaşmasından dolayı gövde kısmına göre daha büyük dalgalara maruz kalırlar (Şekil 2.12b)**.** Sonuç olarak, dalga tırmanma ve aşma değerleri de artar. Dalgakıran kafası ile ilgili nicel bilgiler sınırlı sayıdadır. Bu nedenle dalgakıran kafası dengesinin fiziksel model yardımıyla test edilmesi tavsiye edilmektedir.



a)Sapma nedeniyle dalga enerji yoğunlaşması b)Yansıma nedeniyle dalga enerji yoğunlaşması

Şekil 2.12 Dış bükey ve iç bükey kurblar ve köşeler (CERC, 2003)

Dalgakıran kafasında kullanılacak taş ağırlığı için yapılacak hesaplar aşağıda verilen formüller yardımıyla yapılabilir.

- **Taş Dolgu Dalgakıran Kafa Stabilitesi (Carver ve Heimbaugh, 1989)**

Genelde düzenli dalgalar, kırılan ve kırılmadan gelen dalgalar ve aşmanın olmadığı durumlar için geçerlidir.

Geliş açısı :0°, 45°, 90°, 135°

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = A\xi_p^{\,2} + B\xi_p + C_c \qquad (2.40)$$

$$\xi = \frac{\tan\alpha}{\left(H/L_p\right)^{1/2}} \quad (2.41)$$

H_s : Yapı topuğundaki belirgin dalga yüksekliği

D_{n50} : Taşların ağırlıkça %50'sinin elekten geçtiği kabül edilen nominal taşın çapı

$$\Delta = \left(\frac{\rho_r}{\rho_w}\right) - 1$$

ρ_r : Taşın özgül kütlesi (t/m^3)

ρ_w : Suyun özgül kütlesi (t/m^3)

L_p : Yapı topuğundaki pik dalga periyodu kullanılarak hesaplanan dalga boyu

α : Yapı şev açısı

A, B, C_c: Deneysel katsayılardır ve Tablo 2.14'te verilmektedir.

Tablo 2.14 Katsayılar (CIRIA, 2012)

Anroşman Tipi	A	B	C_c	Eğim	ξ_p
Taş	0.272	-1.749	4.179	1 : 1.5	2.1 - 4.1
Taş	0.198	-1.234	3.289	1 : 2.0	1.8 - 3.4

2.1.7 Dalgakıran Filtre Tasarımı

Taş dolgu dalgakıranlarda, filtre tabakası, çekirdeği oluşturan malzemeleri korumak veya dalgalar ve akıntıların sebep olduğu malzeme yıkanmasını önlemek için yapılır. Çakıl veya değişik boyutlarda küçük taşlar veya geotekstil ve granüler malzeme birleşimi kullanılarak bir veya birden fazla katmanlı filtre tabakaları yapılabilir, ancak bu durumda permeabilitenin değişeceği unutulmamalıdır. Taş granülometrisi, kategorik olarak aşağıdaki gibi sınıflanır;

$D_{n85}/D_{n15} \leq 1.5$ dar granülometri aralığı veya $1.7 < M_{85}/M_{15} < 2.7$

$1.5 < D_{n85}/D_{n15} < 2.5$ geniş granülometri aralığı veya $2.7 < M_{85}/M_{15} < 1.6$

$5 \geq D_{n85}/D_{n15} \geq 2.5$ çok geniş granülometri aralığı veya $1.6 < M_{85}/M_{15} < 125+$

Granüler filtre tasarım koşulları, düzenli ve sıkışmış küreler arasındaki boşlukların geometrisine bağlıdır. Granüler malzemenin tane büyüklüğü dağılımı aşağıda belirtilen geometrik filtre tasarım koşullarını sağlamalıdır.

Koruma Koşulu

Dalgakıran kesitinde kullanılan filtre tabakası, çekirdek malzemesinin kaybını önlemek için kullanılır. Filtre tabakası koşulu aşağıda verilen şekilde kullanılacaktır.

$$\frac{D_{50(\text{anroşman})}}{D_{50(\text{filitre})}} \approx (2.2 - 2.5) \text{ veya } D_{15(\text{anroşman})} \leq 5D_{85(\text{filitre})} \quad (2.42)$$

$$\frac{W_{50(\text{anroşman})}}{W_{50(\text{filtre})}} \left(\text{veya} \frac{M_{50(\text{anroşman})}}{M_{50(\text{filtre})}} \right) \approx (10 - 15) \quad (2.43)$$

D_{50} : %50 elekten geçen taş çapı

D_{85} : %85 elekten geçen taş çapı

D_{15} : %15 elekten geçen taş çapı

Yeterince kaba malzemeden teşkil edilmiş filtrenin iki avantajı vardır, bunlar; (i) koruma tabakasının daha fazla kilitlenmesini sağlar, (ii) daha fazla geçirgen bir tabaka oluşturarak permeabilitenin artmasını sağlar.

Çekirdek malzemesi ile filtre arasındaki ilişki ise genellikle aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\frac{D_{15(\text{filitre})}}{D_{85(\text{çekirdek})}} < (4 - 5) \quad (2.44)$$

$$\frac{W_{50(\text{filitre})}}{W_{50(\text{çekirdek})}} \left(\text{veya} \frac{M_{50(\text{filitre})}}{M_{50(\text{çekirdek})}} \right) \approx (10\text{-}25) \quad (2.45)$$

Ocak artığından teşkil edilen çekirdek genellikle geniş $(1.5 < D_{85}/D_{15} < 2.5)$ ile çok geniş $(D_{85}/D_{15} > 2.5)$ sınıfta sayılacak aralığa sahip bir kategoride teşkil edilirler.

Şekil 2.12 ve 2.13'te koruma tabakasından çekirdeğe doğru yerleştirilen tabakaların anroşman malzemesine göre oranları verilmiştir.

Permeabilite Koşulu

Gelen dalga enerjisinin sönümlenmesi için filtre tabakasında yeterli geçirgenliğin sağlanması gerekmektedir. Kabul edilen geçirgenlik kriteri :

$$\frac{D_{15(\text{filtre})}}{D_{15(\text{çekirdek})}} > (4\text{-}5) \quad (2.46)$$

İç Denge Koşulu

Filtre malzemesinin derecelenmesi geniş ise, iç dengeyi sağlayan ince taneli malzemelerde dalga etkisi altında yıkanma olabilir ve iç denge bozulabilir. İç dengeyi sağlamak için aşağıdaki bağıntı kullanılmaktadır.

$$\frac{D_{60(\text{filtre})}}{D_{10(\text{çekirdek})}} < 10 \quad (2.47)$$

Çekirdekte kullanılacak minimum malzeme boyutu **1kg'dan az olmamalıdır**.

2.1.8 Dalgakıran Geometrik Özelliklerinin Belirlenmesi

Tasarım sırasında aşağıda verilen yapı geometrik özellikleri belirlenmelidir.

- Kret yüksekliği ve genişliği
- Taş dolgu dalgakıranlarda beton kronman duvar
- Koruyucu tekil taş veya blok tabaka kalınlığı ve alt tabakalar
- Ana filtre tabakasının taban yüksekliği
- Topuk (Filtre tabakası stabilitesi için)
- Dalgakıran kafası ve liman tarafı koruma tabakası
- Varsa ikincil filtre tabakası

Kronman tabakası beton bloklarla tasarlanan dalgakıranların filtre tabakası taş büyüklüğü, koruma tabakasında kullanılması gereken taş büyüklüğü esas alınarak hesaplanır.

2.1.8.1 Kret Kotu

Dalgakıran, jetty veya kıyı koruma gibi taş dolgu yapılarda, dalga aşmasının yapının arkasında bir hasara neden olmaması koşuluyla, dalga aşmasına izin verilir. Dalga aşması, kret yüksekliğinin dalga tırmanması değerinden küçük olması durumunda oluşur. Koruyucu tekil taş veya blok tabakası tek eğimli ve az geçirgen ise en büyük dalga tırmanması değeri daha da yükselir.

Dalga aşması, marjinal büyüklükte olması durumunda kret ve arka şevde hasara neden olabilir. Bu durumda arka şevde koruma tabakası tasarımı CIRIA (2012)'de verilen yöntemle yapılabilir.

2.1.8.2 Kret Genişliği

Kret genişliği, izin verilen dalga aşması değerine bağlıdır, ancak tek parametre bu değildir. Dalga aşması için genel kural, en küçük kret genişliğinin 3 adet koruyucu tekil taş ya da bloğun genişliğine eşit olmasıdır ve kret genişliği Denklem (2.48) kullanılarak hesaplanır.

$$B = nk_{\Delta}\left(\frac{W_{50}}{\gamma_r}\right)^{1/3} \qquad (2.48)$$

B : Kret genişliği
n : Taş sayısı (en az 3)
k_{Δ} : Tabaka katsayısı (Tablo 2.15)
W_{50} : Koruyucu tekil taş ya da blok birim ağırlığı (ton)
γ_r : Koruyucu tekil taş ya da blok birim malzemesinin özgül ağırlığı (t/m^3)

Dalga aşmasının olmadığı durumlarda, kret genişliği çok önemli değildir, fakat yapı üzerinde herhangi bir inşa ya da bakım yapılabilmesi için gerekli minimum genişlik sağlanmalıdır.

Tablo 2.15 Çeşitli koruyucu tabaka tekil taş ya da blok için tabaka katsayısı ve boşluk oranı (CERC, 2003)

Koruyucu tabaka tekil taş yada blok	n	Yerleştirme	Tabaka Katsayısı (k_{Δ})	Boşluk Oranı(%)
Ocaktaşı (düz)[1]	2	Rasgele	1.02	38
Ocaktaşı (pürüzlü)[2]	2	Rasgele	1.00	37
Ocaktaşı (pürüzlü)[2]	≥ 3	Rasgele	1.00	40
Ocaktaşı (paralel yüzlü)[3]	2	Özel	-	27
Ocaktaşı [4]	Sınıflandırılmış	Rasgele	-	37
Küp	2	Rasgele	1.10	47
Tetrapod[1]	2	Rasgele	1.04	50

[1] Hudson (1974)

[2] Carver ve Davidson (1983)

[3] Tabaka kalınlığı, paralel yüzlü taşların uzun boyutunun iki katıdır. Gözeneklilik, düzeltilmiş küplerin düzgün bir şekilde yerleştirilerek tek tabaka üzerinde yapılan testlere göre belirlenir.

[4] En küçük tabaka kalınlığı küp biçiminde W_{50} anroşman boyutunun iki katıdır. Sınıflandırılmış tabaka kalınlığının ≥ 1.25 küp biçiminde W_{50} riprap boyutu (CERC 2003).

2.1.8.3 Koruyucu Tabaka Kalınlığı

Koruyucu tabaka kalınlığı Denklem (2.49) kullanılarak hesaplanır.

$$t = nk_{\Delta}\left(\frac{W_{50}}{\gamma_r}\right)^{1/3} \qquad (2.49)$$

Filtre tabaka kalınlığı hesaplamalarında da Denklem (2.49**)** filtre tabakası taş ağırlığı ile kullanılır.

t : Ortalama tabaka kalınlığı
n : Taş ya da beton koruyucu tekil taş veya blok sayısı (genellikle n=2)
W_{50} : Koruyucu tekil taş veya blok birim ağırlığı
γ_r : Koruyucu tekil taş veya blok birim özgül ağırlığı
k_{Δ} : Tabaka katsayısı

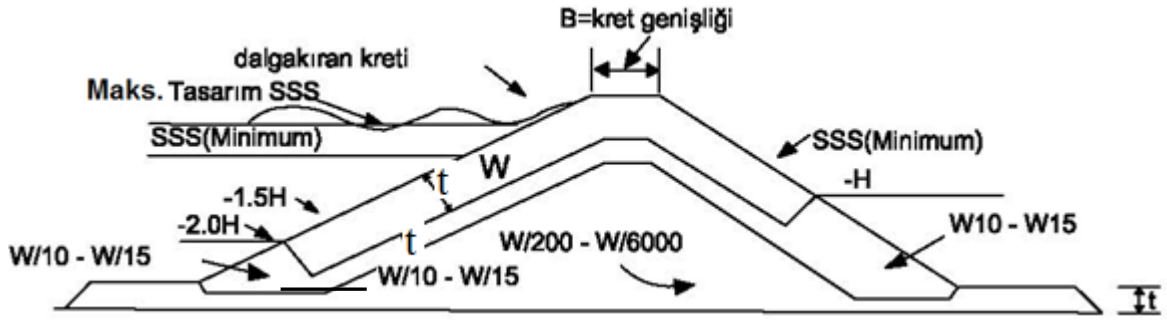
Ön tasarımda; hesaplanan nominal koruma tabakası taş boyutu esas alınarak belirlenmesi istenen taş kategorileri için Tablo 2.16'da verilen aralıkların kullanılması önerilmektedir. Nominal çapın üst sınıra yakın olması durumunda dar granülometrik aralıkta kalınarak ara

kategori oluşturulabilir (örnek; 5.0 – 7.0 ton gibi). Uygulamada Bölüm 2.7'de tanımlanan granülometrik dağılımın kullanılması uygundur. Taş özellikleri bu bölümde anlatılan temel kriterlere göre belirlenmelidir.

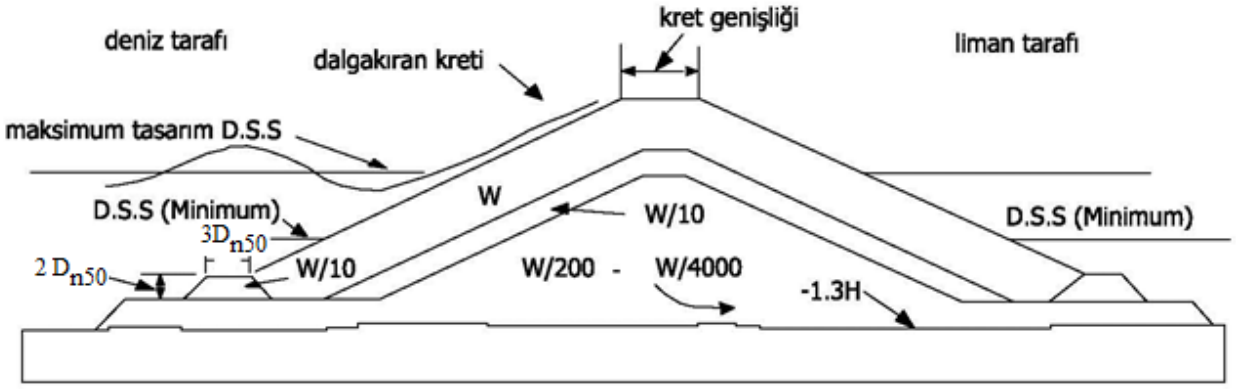
Tablo 2.16 Ocak taşı için kaplama tabakası kategorileri

Kategori (ton)	K_Δ	Tek sıra (m)	Çift sıra (m)	Yerleştirme
0.4-2.0	1.00	0.75	1.50	rastgele
2.0-4.0		1.00	2.00	rastgele
4.0-6.0		1.25	2.50	rastgele
6.0-8.0		1.40	2.75	rastgele
8.0-10.0		1.50	3.00	rastgele
10.0-12.0		1.60	3.25	rastgele
12.0-15.0		1.70	3.50	rastgele
>15.0		1.80	3.75	rastgele

Şekil 2.13 ve Şekil 2.14, taş dolgu dalgakıranlarda, her bir tabakada kullanılacak ortalama taş büyüklüğünü birim ağırlık (W) cinsinden vermektedir. Küçük malzemelerin dalga etkisi ile alt tabakalardan üst tabakalara geçişini önlemek için aşağıda verilen filtre tasarım koşulu, Şekil 2.13 ve Şekil 2.14'te verilen taş büyüklüklerinin kontrol edilmesi amacıyla kullanılır. Bu şekiller tasarımda kulanılır.



Şekil 2.13 Dalga aşmaması ya da çok az dalga aşması durumlarının gözlemlendiği taş dolgu dalgakıran kesiti (CERC, 2003)



Şekil 2.14 Her iki yönde de dalga etkisinde kalan ve dalga aşmasının meydana gelebileceği taş dolgu dalgakıran kesiti (CERC, 2003).

Dalgaların yapının topuğunda kırılması durumunda şev önünde topuk tasarlanır. Deprem bölgelerinde taş dolgu dalgakıranlara topuk yapılması önerilir (Cihan ve Yüksel, 2011).

Koruyucu Tabaka Taban Kotu

Su derinliğinin 1.5H'tan (H, koruyucu tekil taş veya blok birim ağırlığının bulunması için kullanılan düzensiz tasarım dalga yüksekliğidir) daha büyük olduğu durumlarda, filtre tabakasındaki koruyucu tekil taş veya bloklar minimum sakin su seviyesi altına (SSS) 1.5H

kadar uzatılır (Şekil 2.13). Su derinliğinin 1.5H'tan az olması durumunda ise Şekil 2.14 kullanılır. Bu durumda koruma tabakası deniz ve liman tarafında deniz tabanına kadar uzatılır.

Yapının başı ve kara tarafı koruyucu tabakası, ikincil koruyucu tabaka ve alt tabakaların tasarımları Şekil 2.13 ve Şekil 2.14 kullanılarak yapılacaktır.

2.1.9 Taş Dolgu Yapılarda Kronman Duvarı Hesabı

Taş dolgu yapılarda kullanılan kronman duvarının dört amacı vardır:

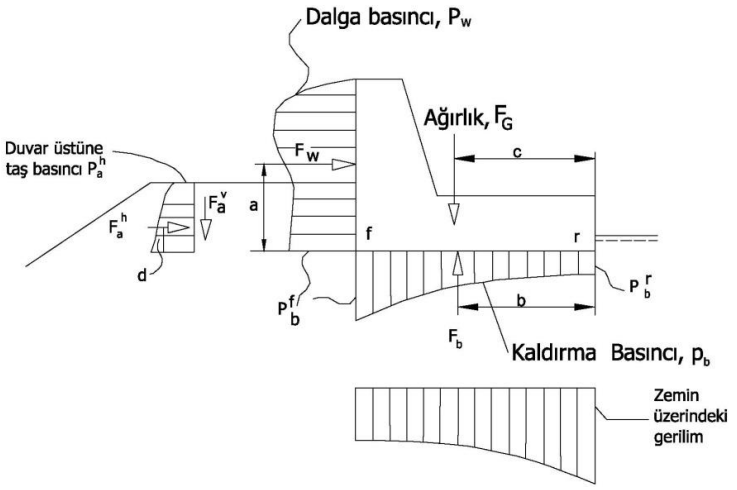
1. Kreti güçlendirmek
2. Dalga aşmasını saptırarak yapının kara tarafındaki şev üzerindeki etkisini azaltmak
3. Kret yüksekliğini arttırmak
4. Yapım ve bakım işlemleri için yol sağlamak.

Beton başlık üzerinden dalga aşması yapının kara tarafındaki koruyucu tekil taş ya da blok tabakasına hasar verebilir. Başlığın genişliği ve şekli dalga aşmasının yapıya zarar vermesini engelleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Kronman duvarı SSS'den en az 0.5-1.0 m yukarıda tasarlanan çekirdek üzerine yerleştirilir.

- **Beton Kronman Duvara Etkiyen Dalga Kuvvetleri**

Dalga tırmanmasının duvara ulaşması neticesinde, beton kronman duvarında dalga yükü oluşur. Bu yük sadece dalga özelliklerine bağlı olmayıp, yapının deniz tarafındaki geometrisine de bağlıdır.

Düzensiz dalgaların üst yapının bütününde oluşturdukları dalga kuvvetleri belirsiz bir olaydır. Basınç dağılımları ve bunlardan kaynaklanan kuvvetler Şekil 2.15'te gösterilmiştir. Bu hesaplarda sadece dalga yükleri dikkate alınır.



Şekil 2.15 Kronman duvarına etkiyen kuvvetler (CERC, 2003)

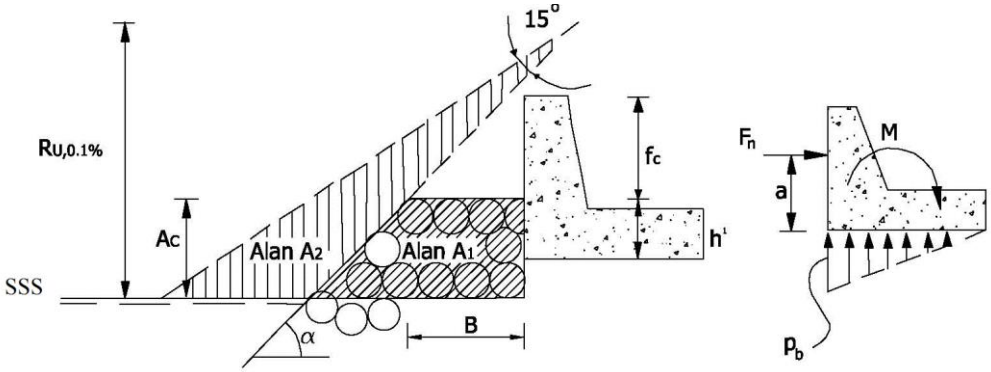
Bu şekilde,

p_w : Duvarın ön yüzüne dik olarak etkiyen basınçtır. Büyük düşey hızlardan ve ivmelerden etkilenir.
F_w : Anlık dalga basınç kuvveti
p_b : Boşluk suyu kaldırma basıncı
F_b : Kaldırma kuvveti

Zemin ve dalga yükünün bu değme noktasında yapıya dik olarak tesir etmediği bilinmektedir. Bu bileşke kuvvet (F_a) zemin ve duvar arasındaki sürtünmeden dolayı yatay ve düşey bileşenler (F_a^h) ve (F_a^v) ile ifade edilir. Ancak bu bileşke kuvvet (F_a) yüksek kronman duvarı ve göreceli düşük anroşman koruma tabaka seviyesi halinde F_w dalga yükü yanında ihmal edilir.

Kaldırma basıncı dağılımının yarattığı kaldırma kuvveti F_b olarak verilmiştir.
Ön köşe noktasında (f) etkiyen kaldırma basıncı (p_b^f) duvarın ön tarafına etkiyen basınca eşittir. Arka noktaya (r) etkiyen kaldırma basıncı (p_b^r), r noktasına etkiyen hidrostatik basınca eşittir.

- **Pedersen (1996) Yöntemi;**



Şekil 2.16 Kronman duvarına gelen dalga kuvvetleri (CERC, 2003)

$$F_{h,\%0.1} = 0.21\sqrt{\frac{L_{0m}}{B}}\left(1.6p_m y_{etk} + A\frac{p_m}{2}h'\right) \quad (2.50)$$

$$M_{\%0.1} = a \times F_{h,\%0.1} = 0.55\left(h' + y_{etk}\right)F_{h,\%0.1}. \quad (2.51)$$

$$p_{b,\%0.1} = 1.00Ap_m \quad (2.52)$$

$F_{h,\%0.1}$: %0.1 aşılma olasılığına karşılık gelen yatay dalga kuvveti

$M_{\%0.1}$: %0.1 aşılma olasılığına karşılık gelen döndürme momenti

$p_{b,\%0.1}$: %0.1 aşılma olasılığına karşılık gelen dalga kaldırma basıncı

L_{0m} : Ortalama dalga periyoduna karşılık gelen derin deniz dalga boyu

B : Duvar önündeki koruyucu tekil taş ya da anroşman tabakası omuz genişliği

$$p_m = \rho_w g\left(R_{u,\%0.1} - A_c\right)$$

$R_{u,\%0.1}$: Gelen dalganın %0.1 aşma olasılığına karşılık gelen dalga tırmanması

$$R_{u,\%0.1} = \begin{cases} 1.12H_s\xi_m & \xi_m \le 1.5 \\ 1.34H_s\xi_m^{0.55} & \xi_m > 1.5 \end{cases}$$

$$\xi = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{H_s / L_{0m}}}$$

α : Yapı şev açısı
A_e : Ortalama su seviyesi ile koruma tabakasının kreti arasındaki düşey mesafe
$A = \min\{A_2 / A_1, 1\}$, A_1 ve A_2 şekilde gösterilen alanlardır

$$y_{etk} = \min\{y/2, f_c\} \quad (2.53)$$

$$y = \begin{cases} \dfrac{R_{u,\%0.1} - A_c}{\sin\alpha} \dfrac{\sin 15^\circ}{\cos\left(\alpha - 15^\circ\right)} & y > 0 \\ 0 & y \le 0 \end{cases} \qquad (2.54)$$

h' : Koruma tabakası tarafından korunan duvar yüksekliği

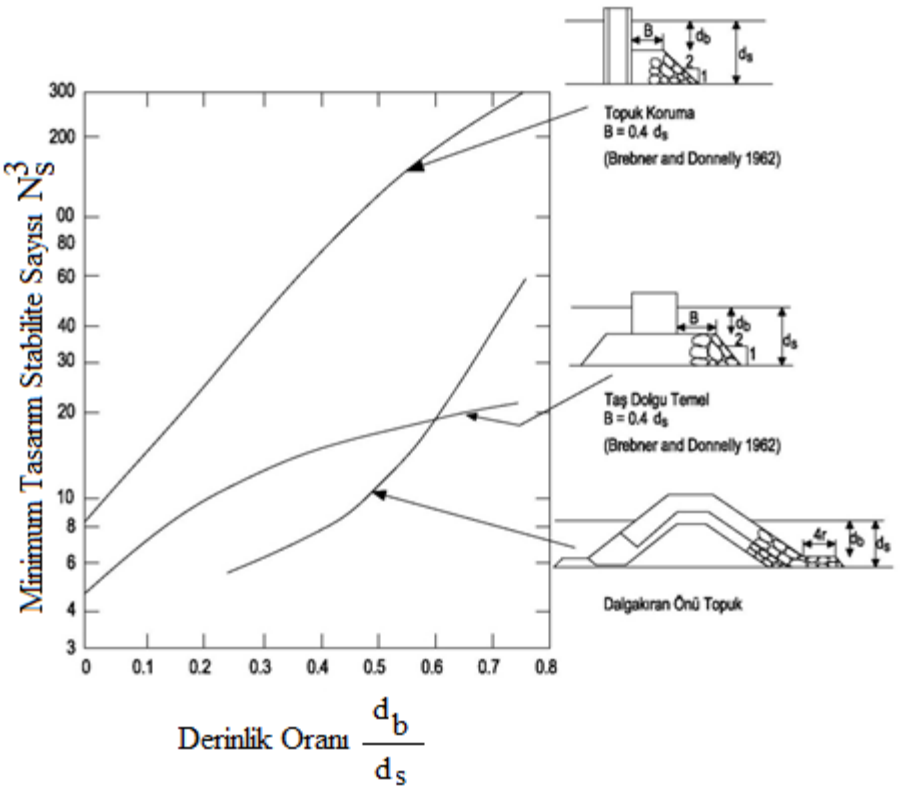
f_c' : Koruma tabakası tarafından korunmayan duvar yüksekliği

Kronman duvarı için kaymaya ve dönmeye karşı güvenlik katsayısı 1.2 alınabilir.

2.1.10 Topuk Koruması

Dalgakıran topuk önü korunaksız bırakılırsa, dalga etkisi altında oyulma ve yapıyı etkileyecek hasar meydana gelebilir.

Dik gelen düzenli dalgalar için topuk koruma stabilite hesapları aşağıdaki Şekil 2.17 ve denklem (2.55) kullanılarak hesaplanabilir.



Şekil 2.17 Topuk koruma stabilite sayısı (CERC, 2003)

$$N_s = \frac{H_{stopuk}}{\Delta D_{n50}} \qquad (2.55)$$

H_{stopuk} : Dalgakıran topuğunda dalga yüksekliği

$$\Delta = \left(\frac{\rho_r}{\rho_w}\right) - 1$$

N_s : Stabilite katsayısı

ρ_r : Taş özgül kütlesi

ρ_w : Su özgül kütlesi

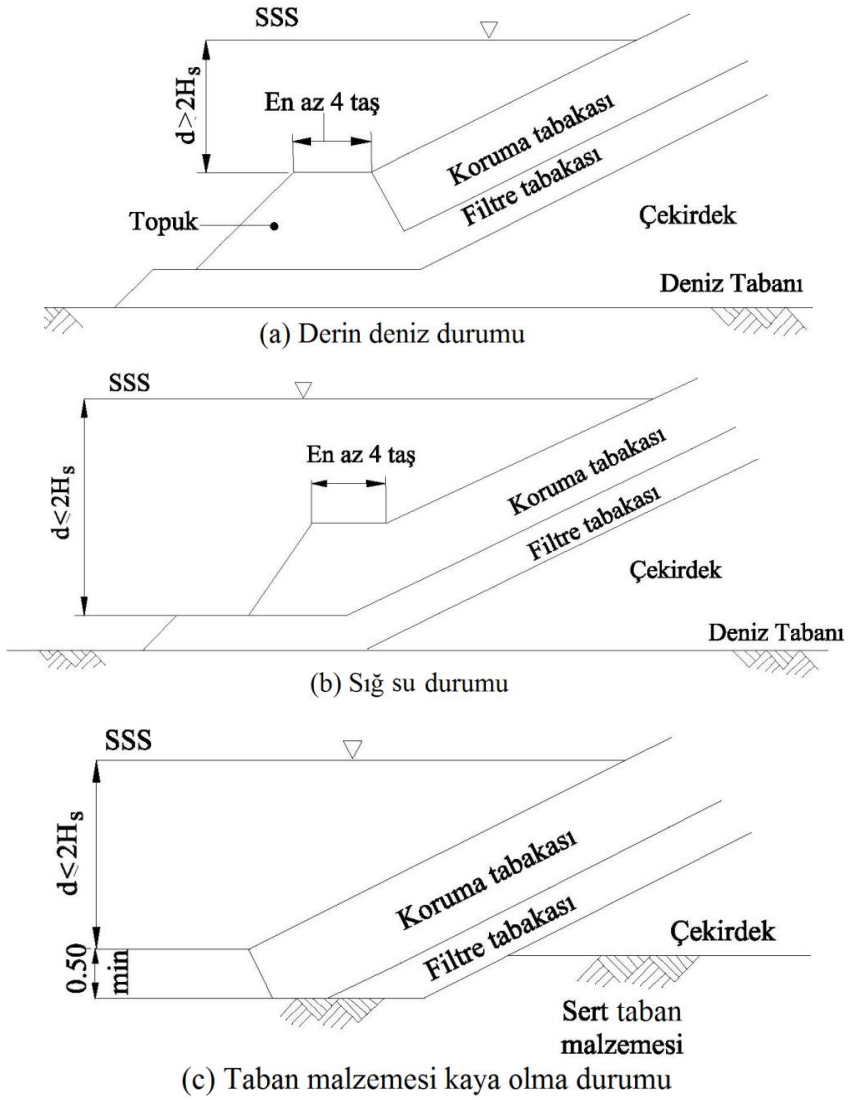
D_{n50} : Taşların %50 sinin ağırlığının daha az olduğu nominal taşın çapıdır

Dalgakıran topuk koruması için uyulması gereken asgari koşullar Şekil 2.18, 2.19 ve 2.20'de verilmiştir.

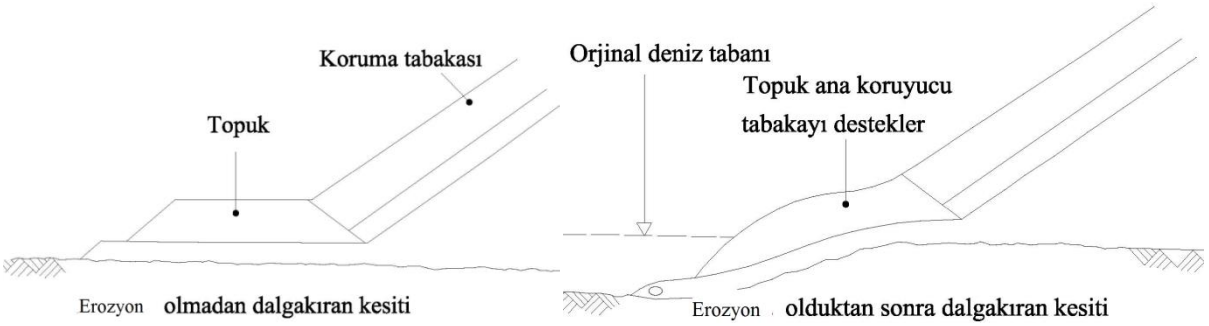
Bu ifadeler genelde çok derin suda (d>20 – 25 m) tasarlanan dalgakıranların topukları için kabül edilebilir sonuçlar vermektedir. CIRIA (2012) derinlik oranına göre stabilite parametresinin alacağı değerleri aşağıdaki gibi vermiştir.

d_b/d_s	$N_s=H_s/(\Delta D_{n50})$
0.5	3.3
0.6	4.5
0.7	5.4
0.8	6.5

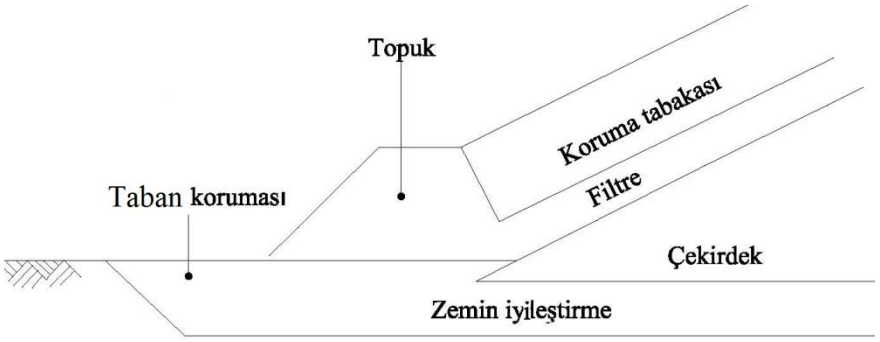
Şekil 2.18, 2.19 ve 2.20'de farklı koşullar için tipik topuk tasarımları ve hasar durumları gösterilmiştir.



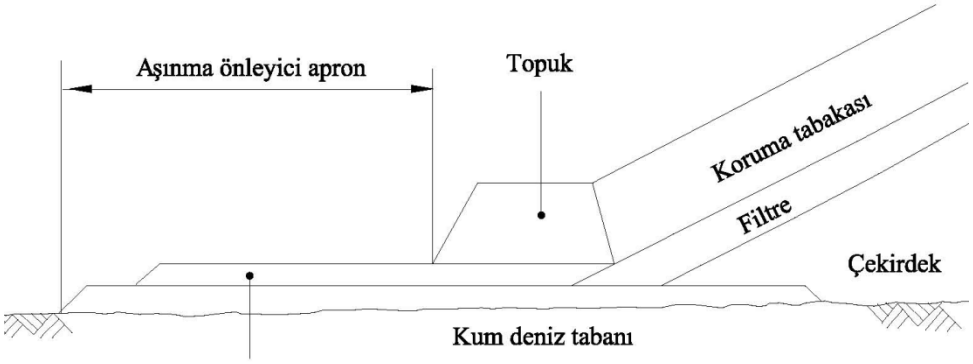
Şekil 2.18 Topuk koruması için asgari koşullar (BS 6349:Part 7:1991)



Şekil 2.19 Erozyon olmadan ve olduktan sonra dalgakıran kesiti (BS 6349,Part 7:1991)



Taban malzemesinin taşıma gücünündüşük olması durumu



5-100mm lik taş filtre üzerindeki 1-2 m kalınlığındaki çekirdek malzemesi

Şekil 2.20 Taban malzemesinin taşıma gücünün düşük olması durumu (BS 6349,Part 7:1991)

2.2 Düşey Yüzlü Dalgakıranlar

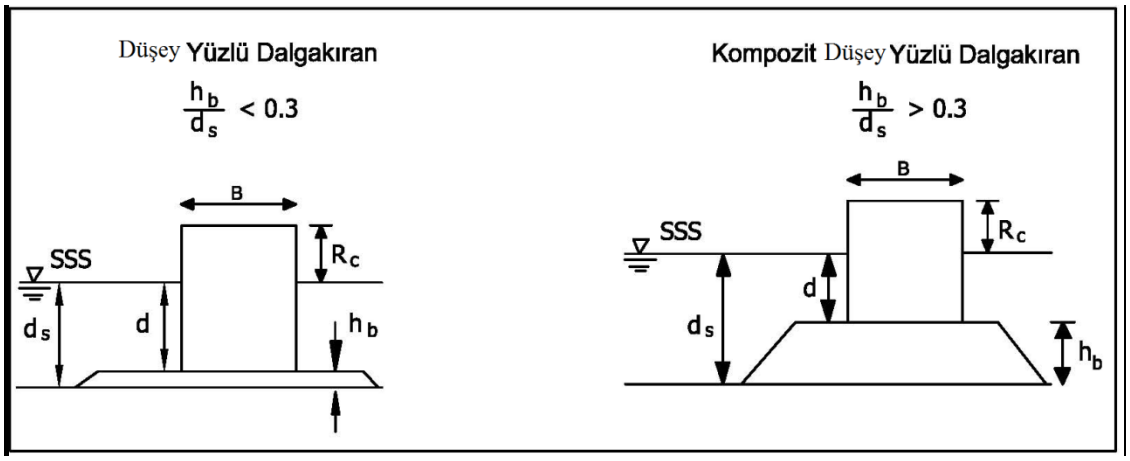
2.2.1 Düşey Yüzlü Dalgakıranlar için Yapısal Tanımlar ve Hasar Tipleri

A) Yapısal Tanımlar

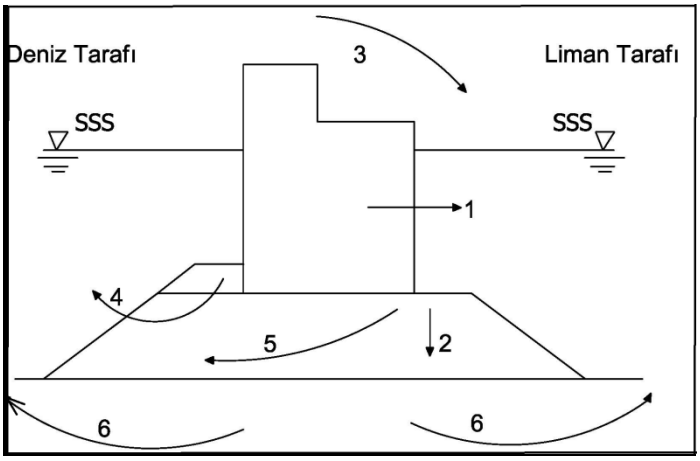
Düşey yüzlü dalgakıranların tasarımında yapının bulunduğu su derinliğindeki (d_s) tasarım dalga yüksekliği (H) ve periyodu (T) bilinmelidir. Düşey yüzlü dalgakıranlar, temel seddesi yüksekliğinin (h_b), yapının su derinliğine (d_s) oranına göre (Şekil 2.21 (a));

1. Düşey yüzlü dalgakıran, $\frac{h_b}{d_s} < 0.3$
2. Kompozit dalgakıran, $\frac{h_b}{d_s} > 0.3$

olarak sınıflandırılırlar. Şekil 2.21 (a)'da d temel seddesi üzerindeki su derinliği, R_c ise kret hava payıdır.



(a) Düşey yüzlü ve kompozit dalgakıranlar (CERC, 2003)



(b) Yapının farklı yıkılma durumları (BS 6349, Part 7:1991)

Şekil 2.21

B) Hasar Tipleri

Yapının farklı yıkılma durumları Şekil 2.21 (b)'de verilmiştir. Burada 1 kayma ötelenmesi, 2 temel seddesinin göçmesi, 3 eğilme, 4 topuk oyulması, 5 topuğun toptan göçmesi, 6 zemin göçmesidir.

2.2.2 Hidrolik Davranış (Dalga Yapı Etkileşimi)

2.2.2.1 Düşey Yüzeyden Yansıma

Düzensiz dalgaların yapıya dik gelmesi durumunda yansıma katsayıları aşağıdaki gibi verilmiştir;

$$C_r = \begin{cases} 0.79 + 0.11\dfrac{R_c}{H_s} & \dfrac{R_c}{H_s} \le 1.0 \\ 0.90 & \dfrac{R_c}{H_s} > 1.0 \end{cases} \qquad (2.56)$$

C_r : Yansıma katsayısı
H_s : Tasarım dalga yüksekliği.

Bu ifade $0.02 \le s_m \le 0.06$ ve deniz tabanı eğimi 1/50 alınarak elde edilmiştir (CERC, 2003).

2.2.2.2 Düşey Yüzlü Dalgakıranlarda Dalga Aşması

- Düşey yüzlü duvar önündeki topuğun ihmal edildiği durumda ($d_s/d \ge 0.6$) aşağıdaki bağıntılar kullanılır.

Düşey duvarlar için Şekil 2.22'de gösterilen üç durum söz konusudur.

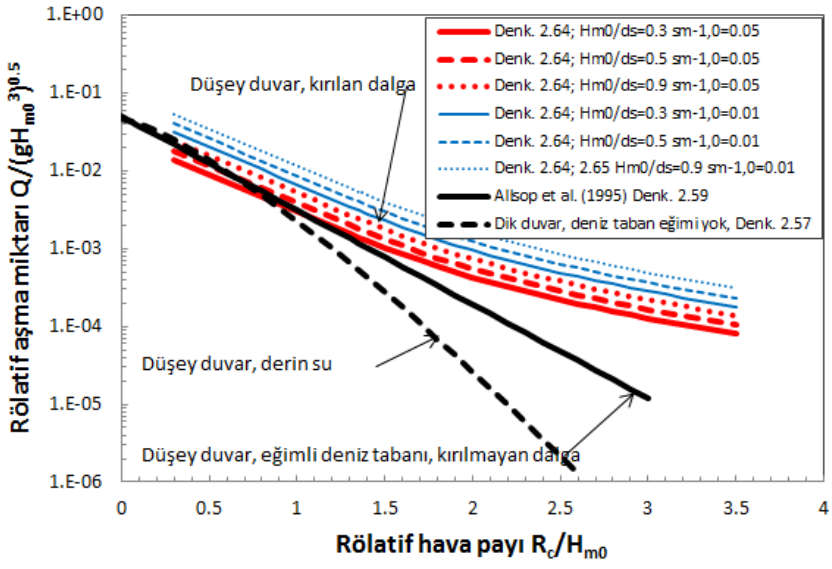
i) Dik duvar veya çok dik eğimli duvar. Yapı önünde deniz taban eğimi çok küçüktür. Bu durum (dik duvar, derin su) ortalama aşma debisinin düşük tahmin edilmesine yol açmaktadır.

Kırılmayan dalgalar için $$\frac{Q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = a.\exp\left[-\left(b\frac{R_c}{H_{m0}\gamma_\beta}\right)^{1.3}\right] \qquad (2.57)$$

$\cot\alpha$ <2 için $a = 0.09 - 0.01(2 - \cot\alpha)^{2.1}$

$b = 1.5 + 0.42(2 - \cot\alpha)^{1.5}$ maksimum değeri; b=2.35

burada yapının ön yüzey eğimi ($\cot\alpha$) dik duvar ($\cot\alpha$ =0) ve oldukça dike yakın düzgün eğimli ($\cot\alpha$ =2) arasındadır.



Şekil 2.22 Düşey duvarda dalga aşma debisi için genel durum (WOM, 2016)

(2.57) ifadesinin güvenilirliği a ve b katsayıları için verilen varyasyon katsayısı ile $\sigma' = \sigma / \mu$ tanımlanır. $\sigma'(a) = 0.15$ ve $\sigma'(b) = 0.10$. (2.57) ifadesi dalga aşmasının *ortalama değer yaklaşımını* vermektedir ve bu durumda dik duvar için ($\cot\alpha$ =0) a=0.047 ve b=2.35 ile tanımlanır.

Tasarım veya güvenli değerlendirme yaklaşımı için ifadelerin katsayılarına bir standart sapma eklenmelidir ve bu durum için (2.57) ifadesinde dik duvarda a=0.054 ve b=2.11 alınmalıdır.

ii) Eğer yapı önünde belirgin bir eğime sahip deniz tabanı söz konusu ise bu durumda $d^2/(H_{m0}L_{m-1.0})$ geçiş parametresi belirlenmelidir. Bu parametreyle belirlenen kırılan ya da kırılmayan dalga koşullarına göre hesaplama yapılır.

$$\frac{d^2}{H_{m0}\,L_{m-1,0}} > 0.23 \text{ kırılmayan dalga koşulları} \qquad (2.58\text{ a})$$

$$\frac{d^2}{H_{m0}\,L_{m-1,0}} \le 0.23 \text{ kırılan dalga koşulu} \qquad (2.58\text{ b})$$

Kırılmayan dalga koşullarında, ortalama dalga aşma debisi yapı önünde belirgin bir deniz tabanı eğimi olmaması durumuna göre biraz daha büyüktür (bkz. Şekil 2.22).

Ortalama değer yaklaşımı ile probabilistik tasarım veya ölçümlerin karşılaştırılması için (2.59) ifadesi kullanılmalıdır.

$$\frac{Q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.05\exp\left(-2.78\frac{R_c}{H_{m0}}\right) \qquad (2.59)$$

(2.59) ifadesinin güvenilirliği $\sigma(0.05)=0.012$ ve $\sigma(2.78)=0.17$ ile verilmiştir. Buna göre;

Tasarım ve güvenli değerlendirme yaklaşımı (2.60) ifadesiyle belirlenir.

$$\frac{Q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.062\exp\left(-2.61\frac{R_c}{H_{m0}}\right) \qquad (2.60)$$

iii) Kırılan dalga koşullarında çok büyük kret yüksekliklerinde dahi oldukça büyük dalga aşması meydana gelmektedir. (2.61) ve (2.62) ifadelerinden hesaplanan tahminler Şekil 2.22'de de görülmektedir. Şekil 2.22'de kırılma parametresinin (H_{m0}/d) ve dalga dikliğinin $(s_{m-1.0}) = H_{m0}/L_{m-1.0}$ farklı kombinasyonları görülmektedir.En küçük dalga dikliği ile en büyük dalga kırılması parametresi kombinasyonu en büyük dalga aşma debisi tahminini vermektedir.

Ortalama değer yaklaşımı:

$0.1 < R_c/H_{m0} < 1.35$ için $$\frac{Q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.011\left(\frac{H_{m0}}{d_s\, s_{m-1,0}}\right)^{0.5}\exp\left(-2.2\frac{R_c}{H_{m0}}\right) \qquad (2.61)$$

Büyük boyutsuz hava payına sahip kretler ($R_c/H_{m0} \ge 1.35$) için (2.62) ifadesi kullanılmalıdır.

$R_c/H_{m0} \ge 1.35$ için $$\frac{Q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.0014\left(\frac{H_{m0}}{d_s\, s_{m-1,0}}\right)^{0.5}\left(\frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{-3} \qquad (2.62)$$

Sırasıyla (2.61) ve (2.62) ifadelerinin güvenirlikleri $\sigma(0.011)=0.0045$ ve $\sigma(0.014)=0.0006$

İle verilmiştir. Buna göre *tasarım veya güvenli değerlendirme yaklaşım* için (2.61) ve (2.62) ifadelerindeki katsayılar sırasıyla 0.0155 ve 0.0020 olarak dikkate alınmalıdır.

- Kompozit düşey duvar halinde ($d_s/d<0.6$) kırılmayan dalgadan kırılan dalgaya geçiş parametresi aşağıdaki ifadeyle hesaplanır;

$$h_* = 1.3 \frac{d}{H_{m0}} \frac{2\pi d_s}{g T_{m-1.0}^2} \qquad (2.63)$$

Bu durumda düşey yüzlü dalgakıranda, kırılmayan dalganın ($h_* > 0.85$) yaklaşması durumunda birim aşma debisi (WOM, 2016) (2.59) ve (2.60) ifadeleri yardımıyla hesaplanır.

Kırılan dalganın ($h_* \le 0.85$) tesir etmesi halinde birim aşma debisi, *ortalama değer yaklaşımı* için;

$$\frac{R_c}{H_{m0}} \ge 1.35 \text{ için } \frac{Q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 1.3 \left(\frac{d}{d_s}\right)^{0.5} \times 0.0014 \left(\frac{H_{m0}}{d_s s_{m-1,0}}\right)^{0.5} \left(\frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{-3} \qquad (2.64\text{ a})$$

$$\frac{R_c}{H_{m0}} < 1.35 \text{ için } \frac{Q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 1.3 \left(\frac{d}{d_s}\right)^{0.5} \times 0.0011 \left(\frac{H_{m0}}{d_s s_{m-1,0}}\right)^{0.5} \exp\left(-2.2 \frac{R_c}{H_{m0}}\right) \qquad (2.64\text{ b})$$

(2.64 a ve b) ifadelerinin güvenilirliklerinin iyi tanımlanması için yeterince veri bulunmamaktadır. Bu nedenle basamaklı yapılar için *tasarım ve güvenli değerlendirme yaklaşımı* kırılan dalga koşullarında verilememiştir.

Farklı duvar tipleri için (ön yüzü eğimli, eğimli deniz tabanı gibi) WOM (2016) ve CERC (2003)'e bakınız.

Aşma debisinin azaltılması için duvar dalgayı yansıtacak biçimde planlanabilir. Dalganın yansıtılmasında en etkin yapılardan biri de duvar kretine yerleştirilen "bullnose" gibi parapet yapılardır. Bu tip yapıların tasarım ilkeleri WOM (2016)'de verilmiştir. Dalga aşmasında kuvvetli rüzgar etkisinde dalga aşması analizi için WOM(2016)'ya bakılabilir.

Normal ve özel yapılar için fiziksel model çalışması yapılmalıdır. Fiziksel model çalışmalarında dalga yansıması analiz edilmeli ve ayrıca ölçek etkisi raporlanmalıdır.

Düşey duvarın kara tarafındaki uzamsal aşma debisi tahmini WOM (2016)'a göre yapılabilir.

Aşma debisinin tolerans değerleri için Tablo 2.2'e bakınız.

2.2.3 Düşey Yüzlü Dalgakıran Tasarım Yöntemleri

Tasarım ilkeleri;

1. Yapı üzerinden dalga aşması limiti, dalgakıran arkasındaki korunaklı su alanında izin verilen çalkantı düzeyine göre belirlenmelidir.
2. Yapının üzerine gelen dalga yükleri, dalga yansıması, yapım su derinliğinde tasarım dalgalarının kırılmaması veya tasarım dalgalarının kırılması durumuna göre hesaplanır.
3. Yapının stabilite hesapları; düşey yüzlü üst yapı ve topuk için ayrı ayrı yapılır.

Küçük ölçekli model çalışmaları esas alınarak geliştirilen yöntemler Tablo 2.17'de özetlenmiştir. Bu tip yapılara tesir eden dalga kuvvetlerinin hesaplanması amacıyla literatürde bir çok yöntem tanımlanmıştır. Bunlardan en bilinen yöntemler kırılmayan dalga kuvvetinin hesabında Sainflou (1928) yöntemi ve kırılan dalga kuvvetinin hesabında ise Minikin (1963)'dir. Ancak bu yöntemlerin gerçek dalga kuvvetlerinden saparak tahmin yaptığı anlaşılmış ve bu yöntemlere göre daha doğru tahmin yapan Goda (2010) yöntemi dalga

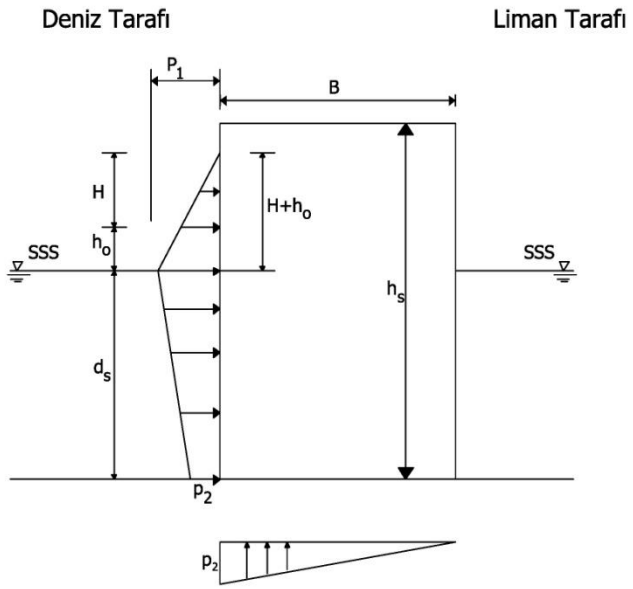
kuvvetlerinin belirlenmesi için önerilmiştir. Goda yöntemi surf bölgesi içinde ve dışındaki dalga basınçlarını başarı ile tahmin edebilmektedir. Kullanılan yöntemlerin geçerlilik koşullarına dikkat edilmelidir.

Tablo 2.17 Düşey yüzlü dalgakıranlar için ifadeler ve geçerlilik koşulları (CERC, 2003)

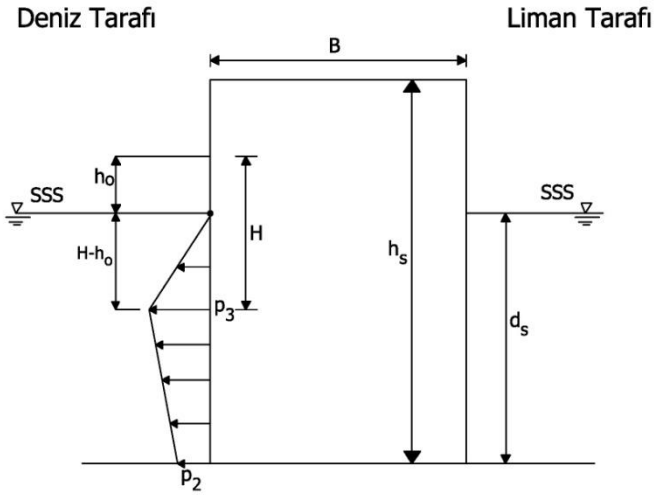
İfade	Dalga	Yapı
Sainflou ifadesi	Duran dalga	Geçirimsiz düşey duvar
Goda ifadesi	2 Boyutlu, açı ile yaklaşan dalga	Geçirimsiz düşey duvar
Takahashi, Tonimoto ve Shimosako (1994) tarafından geliştirilen Goda ifadesi	Kırılan dalga	Geçirimsiz düşey duvar
Kuvvet ve momentlerin verildiği Goda ifadesi	Kırılan dalga	Geçirimsiz düşey duvar
Tanimoto ve Kimura (1985) tarafından geliştirilen Goda ifadesi	2 boyutlu, dik yaklaşan dalga	Geçirimsiz eğimli duvar
Takahashi ve Hosoyamada (1994a) tarafından geliştirilen Goda ifadesi	2 boyutlu, dik yaklaşan dalga	Geçirimsiz eğimli kronmanlı duvar
Takahashi, Tonimoto ve Shimosako (1990) tarafından geliştirilen Goda ifadesi	2 boyutlu, dik yaklaşan dalga	Yatayda kompozit duvar
Takahashi, Tonimoto ve Shimosako (1994b) tarafından geliştirilen Goda ifadesi	3 boyutlu, dik yaklaşan dalga	Perfore düşey duvar

2.2.3.1 Sainflou Yöntemi (1928)

Bu yöntem kırılmayan düzenli dalga durumları için geçerlidir**.** Yapıya dik gelen ve %100 yansıyan düzenli dalgalar için yapı üzerinde deniz tarafındaki net basınç dağılımı Şekil 2.23 ve Şekil 2.24'te dalga tepesi ve dalga çukuru için verilmiştir. Deniz ve liman tarafında oluşacak hidrostatik basıncın birbirini dengelediği kabul edilmiştir.



Şekil 2.23 Dalga tepesi olması durumunda net basınç dağılımı



Şekil 2.24 Dalga çukuru olması durumunda net basınç dağılımı

Yapı üzerindeki en büyük dalga kuvveti yapıya gelen dalganın tepesinin yapı üzerine geldiği durumda oluşur. Dalga çukurunun oluşma durumunda ise en büyük emme kuvveti oluşur.

Basınç ifadeleri:

$$p_1 = (p_2 + \rho_w g\, d_s)\frac{H + h_0}{d_s + H + h_0} \tag{2.65}$$

$$p_2 = \frac{\rho_w g H}{\cosh(2\pi d_s / L)} \tag{2.66}$$

$$p_3 = \rho_w g (H - h_0) \tag{2.67}$$

$$h_0 = \frac{\pi H^2}{L}\coth\frac{2\pi d_s}{L} \tag{2.68}$$

H : Tasarım dalga yüksekliği (Düzensiz dalgalar kullanıldığı zaman tasarım dalgası olarak karakteristik dalga yüksekliği kullanılır. Burada $H = H_{1/10}$ dikkate alınacaktır).

d_s : Yapının önündeki su derinliği (m)

p_1 : Sakin su seviyesinde dalga tepesine karşılık gelen dalga basıncı

p_2 : Düşey duvar tabanındaki dalga basıncı

p_3 : Sakin su seviyesinde dalga çukuruna karşılık gelen dalga basıncı

h_0 : Dalga tepesi ve çukurundaki düşey değişim

ρ_W : Suyun özgül kütlesi

L_0 : Derin su dalga boyu

Not: Sainflou denklemi teorik olarak düzenli dalgaların ve düşey duvarın söz konusu olduğu durumlardaki dalga tepesi ve çukuru için tanımlanmıştır. Bu formül dalga kırılmasının ve /veya aşmanın olduğu durumlarda kullanılamaz.

Dalga aşmama durumu için yapı yüksekliğinin en az;

$$h_s = d_s + h_o + H \ \text{(m)} \tag{2.69}$$

olması gerekir.

Yapı yüksekliğinin (h_s); $h_s < d_s + h_0 + H$ olması durumunda ise dalga aşması olur. Dalga kuvveti ise Şekil 2.23 ve Şekil 2.24'te verilen tüm basınç alanının tabanı ve h_s yüksekliği arasında kalan alan göz önüne alınarak hesaplanır. Net basınç dağılımı bu durum gözetilerek belirlenir.

Dönme ve kayma güvenlik katsayıları en az 1.2 olarak alınacaktır. Kayma güvenlik katsayısı hesabında beton ve taş temel tabakası arasında sürtünme katsayısı **μ=0.6** olarak alınacaktır.

Kaymaya karşı güvenlik katsayısı;

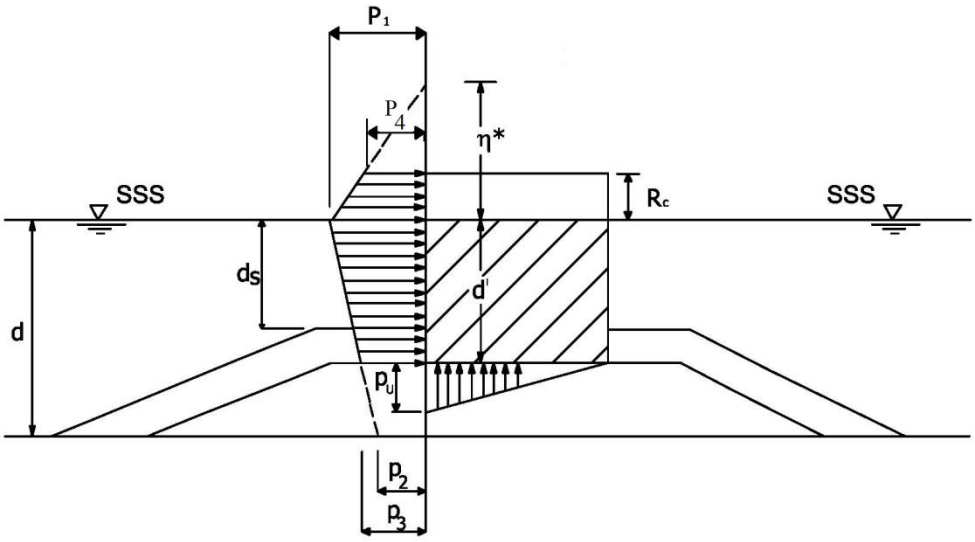
$$FS=\frac{\mu\sum(Mg-U)}{\sum P} \tag{2.70}$$

M : Düşey yüzlü dalgakıran kütlesi
U : Dinamik kaldırma kuvveti
P : Yatay kuvvetler

2.2.3.2 GODA Yöntemi (OCDI, 2009)

Kırılan veya kırılmayan düzensiz dalga durumu her ikisi için de geçerli olan ve düşey yüzlü kompozit dalgakıran ön yüzünde oluşan dalga basıncı dağılımlarının tahmin edilmesi için verilmiştir (Şekil 2.25).

Dalga basıncının doğrusal dağılımı sakin su seviyesinde p_1 en yüksek değerini, sakin su seviyesi üzerinden η^* kadar yükseklikte sıfır değerini, deniz tabanında ise p_2 değerini alır. Dalga basınçları aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanacaktır.



Şekil 2.25 Tasarımda dalga basınç dağılımı

$$\eta^* = 0.75(1+\cos\beta)\lambda_1 H_D \tag{2.71}$$

$$p_1 = 0.5(1+\cos\beta)\left(\alpha_1\lambda_1 + \alpha_2\lambda_2\cos^2\beta\right)\rho_0 g H_D \tag{2.72}$$

$$p_2 = \frac{p_1}{\cosh(2\pi d/L)} \tag{2.73}$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1 \tag{2.74}$$

$$p_4 = \begin{cases} \left(1-\frac{R_c}{\eta^*}\right)p_1 & \text{for } \eta^* > R_c \\ 0 & \text{for } \eta^* \le R_c \end{cases} \tag{2.75}$$

η^* : Sakin su seviyesi üzerinde dalga basıncının sıfır olduğu yükseklik (m)

p_1 : Sakin su seviyesinde ki dalga basıncı
p_2 : Tabanda oluşan dalga basıncı
p_3 : Topuk kısmında dalga basıncı
p_4 : Keson kretindeki basınç
ρ_w : Suyun özgül kütlesi (kg /m^3)
g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
β : Dik duvar normali ile dalga geliş yönü arasındaki açı (eğer dalga belirli bir açı ile dalgakırana geliyorsa bu açı en fazla 15°alınır)
λ_1, λ_2 : Dalga basıncı düzeltme faktörleri (düşey duvarlarda 1.0 alınır, diğer duvar tipleri için farklı değerler alır)
d : Yapı önündeki su derinliği
d_s : Düşey duvar önünde taban seddesi önündeki su derinliği (m)
L_0 : Derin su dalga boyu (m)
L : d_b derinliğindeki, $T_s \cong 1.1T_m$ belirgin dalgaya karşılık gelen dalga boyu, burada T_m ortalama dalga periyodudur.
H_D : Tasarım dalga yüksekliği (m)

Tasarım koşullarında dalgakıranın hemen önündeki en yüksek dalga yüksekliğidir. Eğer yapı surf bölgesinin açık deniz tarafında ise Rayleigh dağılımına göre dalga yüksekliğinin % 15 aşılma olasılığına karşılık gelen $1.8H_s$ tasarım dalga yüksekliği olarak önermiştir. Bu değer $H_{1/250}$ (büyükten küçüğe doğru sıralanmış toplam dalga adedinin 1/250'sine denk gelen dalgaların ortalamasını ifade etmektedir) değerine karşılık gelmektedir. Eğer bölge kırılma bölgesi içinde ise; H_D yapıdan açık deniz tarafına doğru $5H_s$ mesafe uzaklıkta düzensiz kırılan dalgaların en büyüğü olarak alınır.

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2}\left\{ \frac{4\pi d/L}{\sinh(4\pi d/L)} - \right\}^2 \qquad (2.76)$$

$$\alpha_2 = \min\left\{ \left(\frac{d_b - d_s}{3d_b} \right) \left(\frac{H_D}{d_s} \right)^2 , \frac{2d_s}{H_D} \right\} \qquad (2.77)$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{d'}{d}\left\{ 1 - \frac{1}{\cosh(2\pi d/L)} \right\} \qquad (2.78)$$

d_b : Düşey duvar yüzeyinden $5H_s$ açıktaki su derinliği (m)
H_0 : Derin deniz tasarım dalga yüksekliği (m)
d' : Düşey duvarın su içindeki yüksekliği
min (a,b) : a veya b değerlerinden küçük olan
α_2 : Hesaplanan değerlerden küçük olanı alınır.

Düşey duvar altından duvarı kaldırmaya çalışan dinamik basınç (topuk önündeki), aşağıda verilen ifade kullanılarak bulunur .

$$p_u = 0.5\,(1+\cos\beta)\,\alpha_1\alpha_3\lambda_3\rho_0 g H_D \qquad (2.79)$$

p_u : Düşey duvarın ön topuk kısmına etkiyen dalgadan dolayı kaldırma basıncı
λ_3 : Düzeltme faktörü (düşey duvar için genellikle 1.0 alınır)

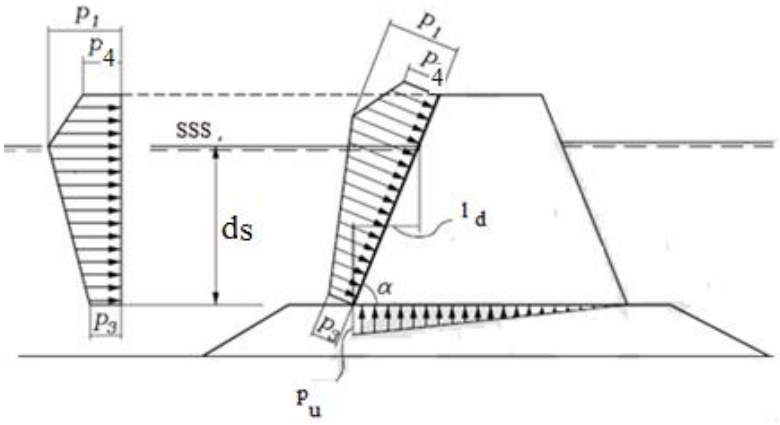
Dönme ve kayma güvenlik katsayıları en az 1.2 olarak alınacaktır. Kayma güvenlik katsayısı hesabında beton ve taş dolgu temel arasında sürtünme katsayısı μ=0.6 olarak alınacaktır.

Kaymaya karşı güvenlik katsayısı;

$$F.S. = \frac{\mu \sum (Mg - U)}{\sum P} \qquad (2.80)$$

M : Düşey yüzlü dalgakıran kütlesi
U : Dinamik kaldırma kuvveti
P : Yatay kuvvet

Ön yüzü eğimli keson dalgakıranda dalga yükünün hesabı için Tanimato ve Kimura (1985) tarafından verilen ve Goda yönteminin değiştirilmesi ile elde edilen yöntem önerilmiştir (Şekil 2.26).



Şekil 2.26 Eğimli ön yüze sahip keson (CERC, 2003)

Taban üzerindeki dalgadan dolayı oluşan kaldırma kuvveti düşey yüzey durumuna göre azalmıştır. Sonuç olarak, Goda denkleminde p_u hesabı için λ_3 aşağıdaki gibi düzenlenmiştir.

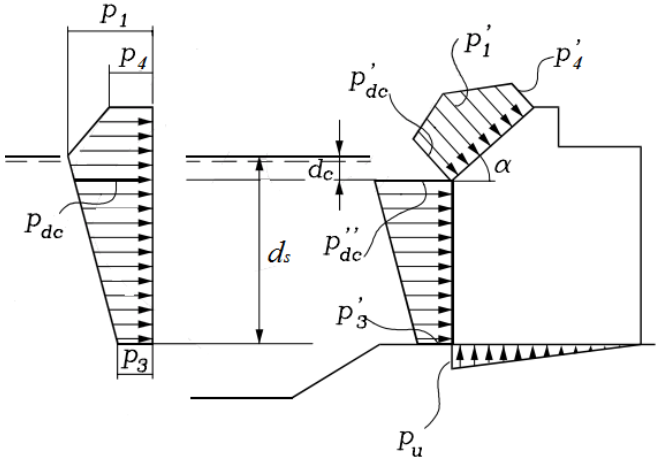
$$\lambda_3 = \exp\left[-2.26\left(7.2 l_d / L\right)^3\right] \qquad (2.81)$$

$l_d = d_s \cot\alpha$

L : Dalga boyu

Denklem (2.81) $\alpha \geq 70°$ ve $l_d < 0.1L$ durumu için geçerlidir.

Kronman duvarı eğimli keson için Takahashi ve Hosoyamada (1994) tarafından Goda ifadelerinden türetilen yöntem uygulanmaktadır (Şekil 2.27).



Şekil 2.27 Eğimli kronman (CERC, 2003)

$$p_1' = \lambda_{SL}\, p_1 \sin\alpha \;,\; p_4' = \lambda_{SL}\, p_4 \sin\alpha \text{ ve } p_{d_c}' = \lambda_{SL}\, p_{d_c} \sin\alpha \qquad (2.82)$$

$$p''_{d_c} = \lambda_V p_{d_c} \ , \ p'_3 = \lambda_V p_3 \tag{2.83}$$

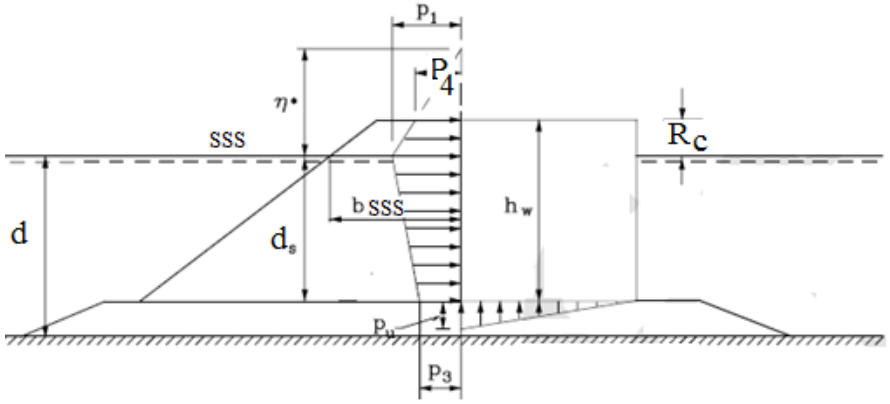
burada

$$\lambda_{SL} = \frac{1}{\sin^2\alpha} \min\left[1.0,\ \text{maks}\left(\sin^2\alpha,\ 1+0.46\cos^2\alpha - 23\cos^2\alpha H/L\right)\right] \tag{2.84}$$

$$\lambda_V = \min\left[1.0,\ \text{maks}\left(1.1,\ 1.1+11 d_c/L\right) - 5.0 H/L\right] \tag{2.85}$$

p_1, p_4, p_3, p_{dc} ve p_u parametreleri Goda denklemlerinden hesaplanmaktadır.

Yatayda kompozit keson dalgakırana (Şekil 2.28) gelen dalga yükleri için Goda ifadeleri aşağıdaki gibi değiştirilerek verilmiştir (CERC, 2003).



Şekil 2.28 Yatayda kompozit keson (CERC, 2003)

λ_1, λ_2 ve λ_3 parametreleri Goda formülü'nde aşağıdaki gibi düzenlenmiştir:

$$\lambda_1 = \lambda_3 = \begin{cases} 1.0 & H_D/d < 0.3 \\ 1.2 - 0.67\left(H_D/d\right) & 0.3 \le H_D/d \le 0.6 \\ 0.8 & H_D/d > 0.6 \end{cases} \tag{2.86}$$

$$\lambda_2 = 0$$

Geçerlilik aralığı: Bu değerler, Tetrapod ve Dolos gibi karmaşık tipteki bloklar için de geçerlidir. Şev eğimi yaklaşık olarak 1/1.5'tir. Model deneyleri, $\left(d/L_{1/3} = 0.07 - 0.11\right)$ ve $b_{SSS}/L_{1/3} = 0.046 - 0.068$ parametre aralıkları dikkate alınmıştır (bkz. Şekil 2.28).

Belirsizlikler: Deney sonuçlarından, λ_1 için yaklaşık olarak tahmin edilen ortalama değer, μ_{λ_1}, ve varyasyon katsayısı, $\dfrac{\sigma_{\lambda_1}}{\mu_{\lambda_1}}$, aşağıda verilmiştir;

$$\mu_{\lambda_1} = \begin{cases} 0.90 & H_D/d < 0.4 \\ 0.90 - \left(H_D/d - 0.4\right) & 0.4 \le H_D/d \le 0.7 \\ 0.60 & 0.7 < H_D/d < 0.8 \end{cases} \tag{2.87}$$

ve

$$\frac{\sigma_{\lambda_1}}{\mu_{\lambda_1}} = \%5 - \%10 \qquad (2.88)$$

dir.

Düşey yüzlü dalgakıranlarda kırılan dalgalarda anlık en yüksek basınçlar stabilite için kritik olabilir. En yüksek basıncın hesaplanması için (OCDI, 2009; CERC, 2003; Goda, 2010)'a bakılabilir.

2.2.4 Düşey Yüzlü Dalgakıranlarda Topuk Stabilitesi (CERC, 2003)

Kompozit dalgakıran topuğunda kullanılan beton blokların ve taşların ağırlığının hesaplanmasında aşağıda verilen bağıntı kullanılacaktır (Şekil 2.29).

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = \left(5.8 \frac{d}{d_s} - 0.6 \right) N_{0d}^{0.19} \qquad (2.89)$$

H_s : Yapı önünde belirgin dalga yüksekliği (m)
N_S : Stabilite sayısı (hasar başlangıcı için 0.5, orta hasar için 2 ve hasar durumu için 5 alınır)
d : Topuğun üzerindeki su derinliği
d_s : Yapı önünde su derinliği

Bu ifadenin geçerlilik sınırları $0.5<d/d_s<0.8$, $7.5<d/D_{n50}<17.5$ ve $0.3<B_m/d<0.55$'tir.

Taş dolgu topuklar için stabilite sayısı (N_S) için Takahashi, Tanimoto ve Shimosako (1990) tarafından geliştirilmiş bağıntı denklem (2.90) ile verilmiştir.

$$N_s = \text{maks}\left\{1.8, 1.3\frac{1-\kappa\, d}{\kappa^{1/3} H_s} + 1.8\exp\left[-1.5\frac{(1-\kappa)^2}{\kappa^{1/3}}\frac{d}{H_s} \right] \right\} \qquad (2.90)$$

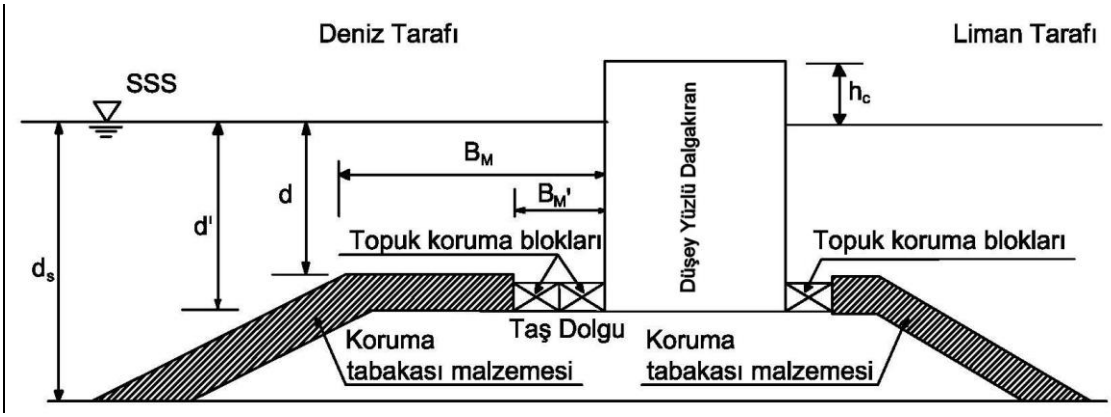
$$\kappa = \kappa_1(\kappa_2) \qquad (2.91)$$

$$\kappa_1 = \frac{2k\, d}{\sinh(2kd)} \qquad (2.92)$$

$$\kappa_2 = \text{maks}\left\{0.45\sin^2\beta.\cos^2(kB_m\cos\beta), \cos^2\beta.\sin^2(kB_m\cos\beta)\right\} \qquad (2.93)$$

d : Topukta su derinliği
d' : Topuktaki tabaka kalınlığı dahil su derinliği (m)
β : Dalga geliş açısı
H_s : Tasarım belirgin dalga yüksekliği
B_m : Topuk genişliği
$k = 2\pi / L_p$

ℓ : Dalgaların yapıya dik gelmesi durumunda $\ell = B_M$, dalgaların yapıya açı ile gelmesi durumunda $\ell = B'_M$, (κ_2)'ifadesinde maksimum değeri verecek B_M veya B'_M ℓ olarak alınır.



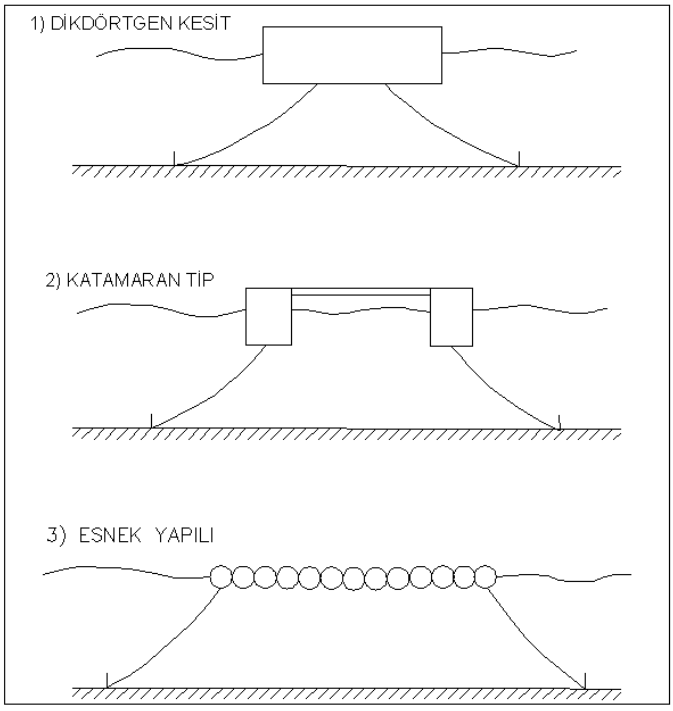
Şekil 2.29 Kompozit dalgakıran kesiti üzerinde parametrelerin gösterilmesi (CERC, 2003)

Yapı temelinde zemin taşıma gücü hesapları için "Geoteknik Tasarım Esaslara" bakınız.

2.3 Yüzen Dalgakıranlar

Yüzen dalgakıranlar, farklı sayıda yüzen birimlerden oluşur ve gelen dalga yüksekliklerinin dalgakıran arkasındaki korunaklı su alanına küçülerek geçmesini sağlarlar. Uygulamada en çok kullanılan yüzen dalgakıran tipleri Şekil 2.30'da verilmiştir.

1. Dikdörtgen kesitli
2. Katamaran tip
3. Esnek yapılı



Şekil 2.30 Yüzen dalgakıran tipleri

Yüzen dalgakıranlar yapısal olarak, dalga enerjisinin bir kısmının korunaklı su alanına geçmesine izin verdiği için kullanılabilme olanakları daha sınırlıdır. Yüzen dalgakıranlarla tasarım yapılırken bu dalgakıran tipinin sunduğu olumlu ve olumsuz yönleri göz önüne almak gereklidir. Yüzen dalgakıranlarla tasarlanan limanlarda, liman içi korunaklığı ve yüzen dalgakıran birimlerinin yapısal tasarımı, tabana bağlama sistemleri fiziksel modeller yardımı ile araştırılması gereklidir.

Yüzen dalgakıranların olumlu yanları

- Kıyı boyu kum taşınımına engel olmazlar.
- Farklı zemin koşullarında kullanılabilirler, gerektiğinde liman yerleşim planları; farklı yüzen dalgakıran üniteleri ile değiştirilebilir.

Yüzen dalgakıranların olumsuz yanları

- Diğer dalgakıran tiplerine göre sağladıkları korunaklılık daha azdır.
- Liman içi koruma kapasiteleri, tasarım dalga özelliklerine bağlıdır.
- Küçük dalgalar ($H \leq 1m$, $T \leq 4.0$ s) için kullanılmaları önerilir. Uzun dalgalara karşı etkin değillerdir.
- Büyük dalga kuvvetlerine karşı dayanıklılıkları ve dengeleri azdır.
- Tabana demirleme sistemlerinin tasarımında büyük özen gösterilmesi gerekir. Zemin koşulları, bağlama sistemleri ve malzemeleri tasarımda temel parametrelerdir.

Yüzen dalgakıran tasarım parametreleri

Yüzen dalgakıranların tasarımında göz önüne alınacak parametreler;

A) Yüzen dalgakıranların işlevi için temel parametreler

- Tasarım dalgası (yükseklik, periyot, yaklaşım açısı).
- Su seviyesi değişimleri.
- Liman içinde izin verilen çalkantı düzeyi.

B) Yüzen dalgakıranların yapısal tasarım temel parametreleri;

- Tasarım dalga özellikleri (Dalga yüksekliği, periyodu, yinelenme dönemi, yaklaşım açısı).

Yüzen dalgakıranlar için genelde 50 yıllık yinelenme dönemine sahip (Bölüm B.1. En Büyük Dalga Yükseklikleri Dağılımı konusuna bakınız) tasarım dalgaları seçilir. Uygulamada yüzen dalgakıranlar dalga yüksekliğinin 1 m'den ($H \leq 1$), dalga periyodunun de 4 s'den küçük ($T \leq 4$) olduğu yerlerde düşünülmelidir. Yüzen dalgakıran en etkin genişliği 5-10 m arasında değişmektedir. Yüzen dalgakıranlar korunaklı yerlerin dışında liman içinde daha az çalkantılı alanlar elde etmek için ve liman içi su hareketlerine engel olmadığı, kirliliği azaltması nedeniyle tercih edilirler.

Dikkat edilmesi gerekli parametreler;

- Su derinliğindeki değişimler (en yüksek su seviyesi, fırtına kabarması, mevsimsel su değişimleri).
- Akıntı (hız ve yönü).
- Rüzgar (hız ve yönü).
- Zemin koşulları: zemin özellikleri (kaya, kum, kil gibi) deniz tabanına demirlenecek olan yüzen dalgakıranların bağlanma sistemleri açısından incelenmelidir.
- Yapının serbest salınım sınırları.
- Diğer (teknelerin yüzen dalgakıran birimlerine çarpmasından doğacak kazalar gibi)

Yüzen Dalgakıranların Tasarım Yükleri

- **Dalga Yükü** (BS 6349-6:1989)

Yüzen dalgakıranların üzerine etkiyen dalga yükleri, yüzen dalgakıran birimlerinin üzerinde dalga direnç kuvvetinin etkimesine neden olur.

Düzensiz dalgalar için dalga direnç kuvveti;

$$F_w = \frac{\rho g L H_s^2}{16} \qquad (2.94)$$

ρ : Suyun özgül kütlesi (kg/m^3)
g : Yerçekimi ivmesi ($9.81\ m/s^2$)
L : Dalga ortogonaline dik yapı uzunluğu (m)
H_s : Belirgin dalga yüksekliği (m)

Düzenli dalgalar için dalga direnç kuvveti;

$$F_w = \frac{\rho g L H^2}{8} \qquad (2.95)$$

H : Dalga yüksekliği (m)

Soluğan dalgalar için direnç kuvvetinin hesaplamalarında Denklem (2.95) kullanılır.

- **Akıntı Kuvveti** (OCDI, 2009)

Yüzen dalgakıranlara etki eden akıntı kuvveti Denklem (2.96) ile hesaplanır.

$$F_c = \frac{1}{2}\rho C_{DC} A_C |U_C - U|(U_C - U) \quad (2.96)$$

F_C : Akıntı direnç kuvveti (N)

ρ : Akışkan özgül kütlesi (deniz suyu için, kg/m^3)

A_C : Akıntının etki ettiği izdüşüm alanı (su çekimi alanı) (m^2)

U_C : Akıntı hızı (m/s)

U : Yüzen dalgakıran hızı (ihmal edilecektir)

C_{DC} : Hidrodinamik direnç kuvveti katsayısı (Tablo 2.18'den alınacaktır)

Uygulamada yerel akıntı hızına ek olarak deniz yüzeyinden 10 m yükseklikte hesaplanan tasarım rüzgarının deniz yüzeyinde yarattığı rüzgardan dolayı kabarmanın neden olacağı akıntı da dikkate alınır. Rüzgar nedenli akıntı ise rüzgar hızının %2 veya %3'ü olarak göz önüne alınır. Tasarım rüzgarı ise uzun dönem rüzgar hızı istatistiğinden 12 saat/yıl olarak bulunur.

- **Rüzgar Kuvveti**

Rüzgar direnç kuvveti, yüzen dalgakıranın su yüzeyi üstünde kalan alanına etki eder ve Denklem (2.97) kullanılarak hesaplanır.

$$F_W = \frac{1}{2}\rho_a C_{DW} A_W U_W^2 \quad (2.97)$$

F_W : Rüzgar direnç kuvveti (N)

ρ_a : Havanın özgül kütlesi (1.23 kg/m^3)

A_W : Rüzgar kuvvetinin etki ettiği yapının su yüzeyi üstünde kalan izdüşüm alanı(m^2)

U_W : Rüzgar hızı (m/s) (Deniz seviyesinden 10 m yükseklikteki rüzgar hızı)

C_{DW} : Rüzgar direnç katsayısı (Tablo 2.19'dan alınacaktır)

Bu tip yapıların tasarımında dikkate alınacak diğer yükler Bölüm 4'te verilmiştir.

Yüzer Dalgakıran Performans Değerleri

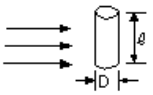
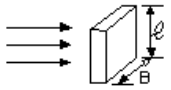
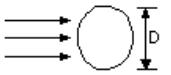
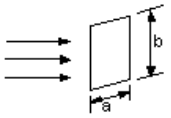
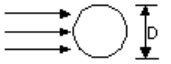
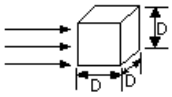
Yüzer dalgakıranların dalga geçirim ve sönümleme oranları yapılacak fiziksel model deneyleri ile tespit edilmelidir. Üreticilerden edinilerek kullanılacak ürünlerde, üreticilerin bu tür deneyleri uzman araştırma kurumlarında yaptırmış olmaları ve dalga boyu ile geçirimlilik arasındaki ilişkiyi farklı dalgakıran genişlikleri için tespit etmiş olmaları talep edilmelidir.

Liman içi çalkantı model deneylerinde, kullanılacak ürün için geçerli olan geçirimlilik oranları kullanılmalıdır.

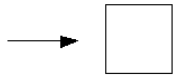
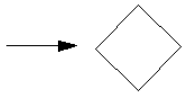
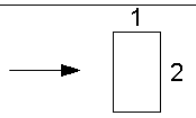
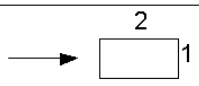
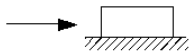
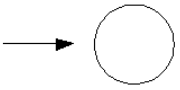
Özel yüzer dalgakıran tasarımlarında, dalgakıran ankraj sistemlerine gelecek yüklerin tespitinin de laboratuvar deneyleriyle tespit edilmesi talep edilebilir.

Yüzer dalgakıranların performans değerlendirmesinde, dalga sönümleme oranları yanında, dalga etkisi altında yapının hareketinin tanımlanması (ötelenme, sallanma, rezonans, vb) büyük önem taşır. Dalga ortamında yüzer dalgakıranın dinamik hareketleri de uygun yöntemler kullanılarak hesaplanmalıdır.

Tablo 2.18 Hidrodinamik direnç katsayıları (OCDI, 2002)

Şekil	İzdüşüm alanı (AL)	Direnç katsayısı (CD)
Silindir (pürüzlü yüzey) 	$D\ell$	$1.0(\ell > D)$
Dikdörtgen pirizma 	$B\ell$	$2.0(\ell > B)$
Dairesel disk 	$\frac{\pi}{4}D^2$	1.2
Düz plaka 	$a\ b$	$a/b=1$ 1.12 $a/b=2$ 1.15 $a/b=4$ 1.19 $a/b=10$ 1.29 $a/b=18$ 1.40 $a/b=\infty$ 2.01
Küre 	$\frac{\pi}{4}D^2$	$0.5 \sim 0.2$
Küp 	D^2	$1.3 \sim 1.6$

Tablo 2.19 Rüzgar direnç katsayıları (OCDI, 2002)

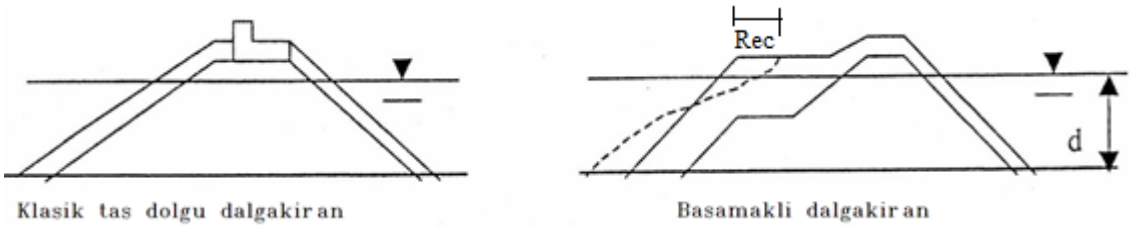
	Kare kesit	2.0
	Kare kesit	1.6
	Dikdörtgen Kesit (kenar uzunlukları oranı =1:2)	2.3
	Dikdörtgen Kesit (kenar uzunlukları oranı =1:2)	1.5
	Dikdörtgen Kesit (Bir yüzeyin zeminle temas etmesi durumu)	1.2
	Dairesel kesit (Düzgün yüzey)	1.2

2.4 Basamaklı Dalgakıranlar

Basamaklı taş dolgu dalgakıranlar aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır PIANC (2003);

- Şekillenmeyen statik stabil basamaklı dalgakıran. Bu durumda klasik taş dolgu dalgakıranlarda olduğu gibi sadece birkaç taşın yer değiştirmesine müsaade edilir.
- Şekillenebilen statik stabil basamaklı dalgakıran. Bu durumda dalgakıran yeni şekline ulaştıktan sonra statik stabil koşullara ulaşılacaktır. Böylece her bir taş stabil olacaktır.
- Şekillenebilen dinamik stabil basamaklı dalgakıran. Bu durumda dalgakıran yeni şekline ulaşınca stabil profile sahip olacaktır ancak her bir taş aşağı yukarı hareket edecektir.

Şekillenebilen taş dolgu dalgakıranlar geleneksel dalgakıranlardan farklıdırlar (Şekil 2.31).



Şekil 2.31Klasik ve basamaklı taş dolgu dalgakıran

Basamaklı dalgakıranlarla ilgili daha detaylı bilgi PIANC (2003), CIRIA (2012), CERC (2003), Van Gent (2013), Van der Meer and Sigurdarson (2016) ve Yüksel (2011)'de bulunabilir.

Statik stabil basamaklı dalgakıranlar Bölüm 2.1'de anlatılan hasar parametresi kullanılarak tasarlanır. Statik stabil basamaklı dalgakıranlarda aşma miktarı ve koruma tabakasında kullanılan taş ağırlıkları önemli miktarda azalmaktadır. Statik stabil dalgakıranlarla ilgili olarak Van Gent (2013) tarafından yapılan çalışma yardımıyla, bu çalışmanın geçerlilik koşullarına bağlı olarak tasarım yapılabilir.

Van Gent (2013) basamaklı dalgakıranların koruma tabakalarının stabilitesinin şev eğimine (1:2 ve 1:4), basamak genişliğine, basamağın düşeydeki konumuna ve dalga dikliğine bağlı olduğunu belirtmiştir. Basamağın üstündeki şevin stabilitesi basamağın seviyesine, genişliğine dalga dikliğine ve şev eğimine bağımlıdır. Basamağın düşeydeki konumu arttıkça şevde hasarın azaldığı, ancak basamağın düşük seviyede bulunması halinde artan dalga yüksekliği ile hasarın hızla arttığı, büyük dalga dikliklerinde daha düşük hasarın meydana geldiği belirlenmiştir.

Basamağın altındaki şevde ise; basamağın sakin su seviyesinde olması durumunda hasarda azalmanın gözlemlenmediği, basamağın batık ya da batık olmadığı durumlarda gerek şevde gerekse basamakta hasar azalması gözlemlendiği, batık basamakta şevdeki hasar azalmasının basamağın seviyesine ve genişliğine bağımlı olduğu, batık basamakta dalga dikliğinin şev üzerinde belirgin etkisinin gözlemlenmediğini, batık olmayan basamaklarda şevin stabilitesinin basamak seviyesine – genişliğine ve dalga dikliğine bağımlı olduğunu bulmuştur.

Basamaktaki hasar durumu da gözlemlenmiştir; hasar basamağın deniz tarafında olmaktadır, basamaktaki geri çekilme miktarının (Rec) hasar miktarına ve basamağın düşeydeki seviyesine bağımlı olduğu belirlenmiştir.

Van Gent (2013) basamaklı dalgakıranın üst ve alt şevleri ile basamaktaki hasar durumunu Tablo 2.20'deki ifadeler ile vermiştir.

Tablo 2.20 Van Gent (2013)'e göre basamaklı dalgakıran için hasar ifadeleri

Üst Şev	$S = \gamma_{basamak}\gamma_{konum}\left(\frac{1}{c_{plunging}}\frac{H_s}{\Delta D_{n50}}\xi_{m-1.0}^{0.5}P^{-0.18}N^{0.1}\frac{H_{\%2}}{H_s}\right)^5$
	$\gamma_{konum}=(0.25+0125\cot\alpha(1+\frac{d_{basamak}}{H_s}))^5 \quad 0 \le \gamma_{konum} \le 1$
	$\gamma_{basamak}=1-0.15\xi_{m-1.0}(\frac{B}{H_s})^{0.3} \qquad \gamma_{basamak} \ge 0$
Alt Şev	$S=(\gamma_{basamak}\frac{1}{c_{plunging}}\frac{H_s}{\Delta D_{n50}}\xi_{m-1.0}^{0.5}P^{-0.18}N^{0.1}\frac{H_{\%2}}{H_s})^5$
	Batık basamak için $\gamma_{basamak}=1-0.12\frac{B}{H_s}\frac{d_{basamak}}{H_s} \qquad \frac{d_{basamak}}{H_s} \ge 0$
	Batık olmayan basamak için $\gamma_{basamak}=1-0.02\xi_{m-1.0}\frac{B}{H_s}\left\lvert\frac{d_{basamak}}{H_s}\right\rvert \qquad \frac{d_{basamak}}{H_s} \le 0$
Basamak	$\frac{R_{ec}}{D_{n50}}=\gamma_R S \qquad R_B \le B$ burada S alt şev için verilmiştir Basamak genişliği çekilme miktarı ile kontrol edilir.
	$\gamma_R=(0.3+0.3(1+\frac{d_{basamak}}{H_s}))^2 \qquad 0 \le \gamma_R \le 1$
Açıklamalar; Burada S hasar, $d_{basamak}$ basamağın sakin su seviyesine göre düşeydeki seviyesini göstermektedir. R_{ec} basamağın geri çekilme miktarıdır. γ_{konum} basamağın düşeydeki konum etkisi, $\gamma_{basamak}$ basamak etkisidir.	

Basamak genişliği çok kaba bir yaklaşım olarak dalga boyunun beşte biri olarak alınmaktadır ancak bu çok basit bir yaklaşımdır çünkü basamak genişliği ön yüzey profil oluşumu, tırmanma, stabilite gibi bir çok faktörün bir arada düşünülerek tasarlanmasını gerektirmektedir. Basamak genişliği (B_b) aşağıdaki ifade yardımıyla da hesaplanabilir (Kamphuis, 2010 ve Yüksel, 2011).

$$B_b = D_{a,50}\left[K_b + 7.5\left(\frac{D_{a,85}}{D_{a,15}}\right) - 1.1\left(\frac{D_{a,85}}{D_{a,15}}\right)^2 + 6.1\,Pr\right]$$

$$K_b = -10.4 + 0.5\left(\frac{H_s}{\Delta_a D_{a,50}}\right)^{2.5} \qquad (2.98)$$

burada Pr yuvarlak taşların mertebesini, D_a koruma tabakasında kullanılan taş çapını göstermektedir. Aşmayı azaltmak amacıyla, basamağın sakin su seviyesinden yüksekliği $a_b=0.2H_s$ ve basamak ile kret arasındaki düşey mesafe (b_b) ile kret genişliği (c_b) sırasıyla $b_b=c_b=1.25H_s$ ifadesi.ile verilmiştir.

Dinamik stabil yapılar ön şevlerinde oluşan profil gelişimi ile tanımlanırlar (Şekil 2.32). Şekillenebilen basamaklı dalgakıranda en önemli parametre Şekil 2.33'de görülen **çekilme miktarıdır** (recession). Çekilme miktarı için aşağıdaki polinom vermiştir (CIRIA 2012),

$$\frac{Rec}{D_{n50}} = 0.0000027(H_0T_0)^3 + 0.000009(H_0T_0)^2 + 0.11(H_0T_0) - (-9.9f_g{}^2 + 23.9f_g - 10.5) - f_d \qquad (2.99)$$

burada

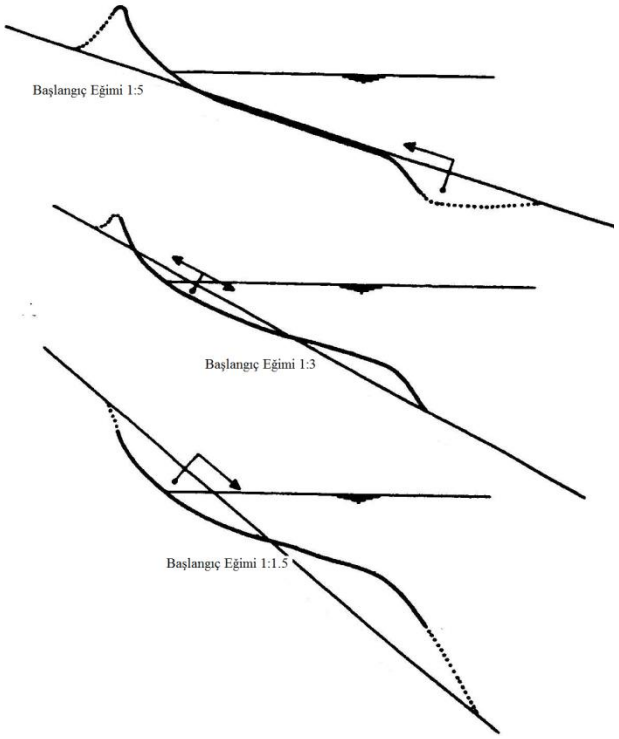
Periyot stabilite sayısı, $H_0T_0 = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}}\sqrt{\frac{g}{D_{n50}}}T_m$ (2.100)

$f_g=D_{n85}/D_{n15}$ sınıflanma faktörü (bu ifade, $1.3< f_g<1.8$ sınırlarında geçerlidir), f_d derinlik faktörüdür. Derinlik faktörü,

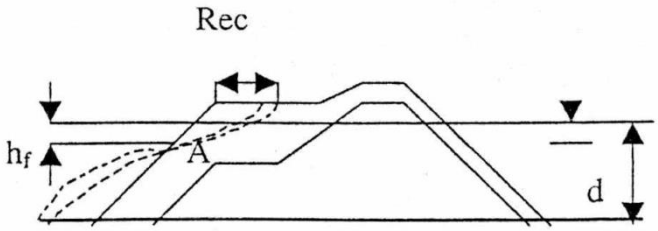
$12.5<d/D_{n50}<25$ için $$f_d = -0.16\left(\frac{d}{D_{n50}}\right) + 4.0 \quad (2.101)$$

burada d basamaklı dalgakıranın önündeki su derinliğidir. Şekil 2.33'ten görüldüğü gibi çekilme profili orijinal eğimi h_f kadar derinlikte kesmektedir. h_f yaklaşık olarak aşağıdaki ifade ile belirlenmektedir.

$12.5<d/D_{n50}<25$ için $$\frac{h_f}{D_{n50}} = 0.2\frac{d}{D_{n50}} + 0.5 \quad (2.102)$$



Şekil 2.32 Farklı şev eğimlerinde dinamik stabil profiller



Şekil 2.33 Çekilme miktarı

Dinamik stabil dalgakıranlarda dalgakıran boyunca anroşman hareketliliğine müsade edilmez. Dinamik stabil ve şekillenebilen statik stabil dalgakıranların tasarımı için CIRIA (2012)'ye bakınız. Basamaklı dalgakıranların tasarımında uygulamanın doğrulanması amacıyla fiziksel model çalışmalarının yapılması önerilir.

2.5 Düşük Kretli Dalgakıranlar

Dalganın üstününden aşmasına müsade eden ve kret kotu yaklaşık olarak SSS civarında olan yapılar, düşük kretli yapılar olarak isimlendirilir. Kıyı stabilite yapısı olarak tasarlanırlar.

Düşük kretli taş dolgu dalgakıranlar üç kategori içinde tanımlanırlar. Dinamik olarak stabil düşük kretli dalgakıranlar (reef), statik stabil düşük kretli dalgakıranlar (kret SSS'nin üzerindedir) ve statik stabil batık dalgakıranlar.

- Statik Stabil Düşük Kretli Dalgakıran ($R_c > 0$)

Bu tip dalgakıranların stabilite hesaplamaları Bölüm 2.1'de tanımlanan Van der Meer ifadeleri kullanılarak yapılır. Bu tip yapılarda üstten aşmaya müsade edildiğinden ön şevdeki koruma tabakasının büyüklükleri azaltılır. Azaltma faktörü (CIRIA, 2012);

$$r_D = \left(1.25\text{-}4.8 \frac{R_c}{H_s} \sqrt{\frac{s_{0p}}{2\pi}} \right)^{-1} \qquad (2.103)$$

Böylece anroşman çapları $r_D D_{n50}$ ile belirlenir. Krette ve arka şevde aynı büyüklükte koruma tabakası kullanılır.

- Dinamik Stabil ve Batık Dalgakıranlar

Bu tip dalgakıranların tasarımı için CIRIA (2012)'e bakınız. Bu dalgakıranların tasarımında fiziksel model çalışması yapılması önerilir.

2.6 Tabana Yakın Koruma Yapıları

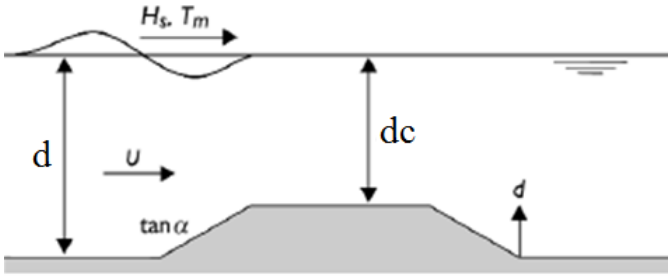
Bu tip yapıların dalganın ilerlemesi sırasında değişimine önemli bir etkisi yoktur (Şekil 2.34). Su alma yapıları, boru hatları gibi yapıları koruyan tabana yakın taş dolguların tasarımı daha farklıdır. Dalga ve/veya akıntı etkisindeki bu tip dolgu yapılarda geleneksel dalgakıranlara göre daha fazla hasara (S>20) müsade edilir. Bu nedenle bu konuda çok kesin bir ifade verilmemekle birlikte dolgunun stabilitesi H_s, T_m, N, U (derinliğe göre ortalama akıntı hızı), d_c (dolgunun üzerindeki su derinliği) ve D_{n50}'ye bağımlıdır. Dalga etkisindeki böyle bir dolgu için CIRIA (2012) aşağıdaki ifadenin kullanılmasını önermiştir.

$$\frac{S}{\sqrt{N}} = 0.2 \left(\frac{u^2}{g \Delta D_{n50}} \right)^3 \qquad (2.104)$$

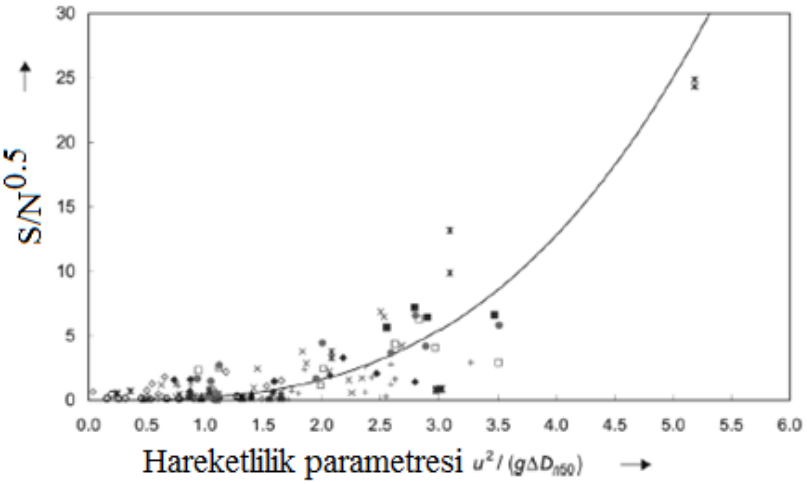
veya

$$\frac{u^2}{g \Delta D_{n50}} = \left(5 \frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{1/3} \qquad (2.105)$$

burada u tabandaki maksimum yörüngesel hızı göstermektedir ve lineer dalga teorisi kullanılarak hesaplanabilmektedir. Akıntı etkisini içeren bir ifade önerilmemiştir ancak bu durumda katı madde taşınımını tanımlayan hareketlilik parametresinden faydalanılabilir. Ancak U/u<2.2 olması durumunda akıntı etkisi ihmal edilmektedir. (2.105) ifadesine ilişkin değişim Şekil 2.35'te verilmiştir.



Şekil 2.34 Taban yakınında tasarlanan koruma yapısı



Şekil 2.35 (2.105) ifadesi için değişim (CIRIA, 2012)

2.7 Taş Dolgu Şevli Yapılarda Taş Özelliklerinin Tanımlanması ve Başlıca tasarım Parametreleri

2.7.1 Malzemelerin Fonksiyonları

Hidrolik dolgu yapılarda kullanılan malzemelerin ana birimleri

- Çekirdek malzemesi
- Temel malzemesi ve filtre sistemi
- Yapının dalga ve akıntı ile erozyon etkisine karşın korunması amacıyla oluşturulan koruma tabakası

Her bir malzemenin kendine göre bir fonksiyonu olup, bu durum tasarımın önemine, sağladıkları avantaj ve dezavantajlarına göre dikkate alınmalıdır. Örneğin görünümüne, sürdürülebilirliğine, permeabilitesine, inşaat kolaylığına, esnekliğine, uygunluğuna, efektif olabilmesine, ulaşılabilirliğine, bakım ve onarım durumuna, toplum güvenliğine, hijyen ve maliyetine bağlıdır (CIRIA, 2012).

Hidrolik fonksiyonlar esas alındığında, Tablo 2.21'de faklı tipten malzemelerin her bir tabaka için kullanım uygunlukları özetlenmiştir (CIRIA, 2012). Bunun yanısıra jeolojik özellikleri açısından hidrolik yapılarda kullanılmak üzere (dalgakıranlar gibi) her bir tabakada kullanıma uygunluğunun belirtildiği bir özet Tablo 2.22'de verilmiştir (CIRIA, 2012).

Tablo 2.21 Hidrolik fonksiyonlar (CIRIA, 2012)

Malzeme Tipleri				
Fonksiyon	Doğal Koruma Tabakası Taşı	Beton Koruma Tabakası Birimleri	Gabion	Alternatif İri Taneli Malzeme
Çekirdek	***	-	-	**
Filtre	***	-	*	*
Koruma Tabakası	***	**	**	*
Not: *** genellikle ideal; ** bu fonksiyon için uygun; *bu fonksiyonun sağlanması için kullanılabilir veya özel koşullar altında gerekebilir; - uygun değil				

Bazı yapılarda dalga etkisi koruma tabakasındaki taşların hareket etmesine neden olabilmektedir. Dalga etkisinin şiddeti arttığında, en kötü dalga koşulları için, bu hareketlilik sallanma etkisinden yuvarlanma veya kaymaya doğru gelişebilmektedir. Bu tür yapılarda, kırılma ve aşınma durumu, yapının daha hızlı aşınmasına ve taş şekillerinin deforme olarak yuvarlaklaşmasına sebep olmaktadır. Böylesi bir etkinin sonucu olarak, tasarımda belirlenen taş kütlesinin zaman içerisinde azalması söz konusu olacaktır. Dolayısıyla, yüksek-dayanımdaki (sürdürülebilirlik) karakteristik özelliklerin sağlanabilmesi açısından uyulması zorunlu geometrik şartlar (üretilen taşların boyutları, kütlesi, şekli ve granülometrik özellikleri) yerine getirilmelidir (CIRIA, 2012).

2.7.2 Malzeme Özellikleri

Hidrolik yapılarda ve diğer mühendislik çalışmalarında kaba agrega kullanılmaktadır. Koruma tabakası taşları gevşek iri taneli forma sahip olduğu için, kullanımda öncelikli olarak ocak taşının yanı sıra diğer alternatif seçenekleri de (geri dönüştürülmüş ve imal edilmiş malzemeler gibi) içerebilmektedir. Agregalar; birincil, ikincil ve geri dönüştürülmüş malzemeler olarak tanımlamıştır ve bunlar uygulamadaki gereksinimleri sağlayacak standartlara sahip olmalıdır.

- **Doğal koruma tabakası taşı**: Yalnızca mekanik sürece tabii olmuş mineral kaynaklar
- **Üretilmiş koruma tabakası taşları**: Endüstriyel süreçten geçerek (termal ya da diğer modifikasyonlarla) üretilmiş olanlar (koruma tabakası birimleri dışındaki malzemeler)
- **Geri dönüştürülmüş malzeme**: Daha önceden bir inşaatta kullanılmış inorganik materyallerden işlenerek elde edilmiş malzeme (koruma, filtre ve çekirdek malzemeleri hariç).
- **Beton koruma tabakası birimleri**: Koruma tabakası için üretilmiş beton birimler

Tablo 2.22 Hidrolik yapılardaki aşınmamış kayaların kullanımının genel değerlendirilmesi, (CIRIA, 2012)

Kaya		Kullanım Uygunluğu			Özellikler		
Grup	Tip	Koruma	Filtre	Çekirdek	Yoğunluk (t/m^3)	Maksimum Büyüklük	Şekil
Volkanik	Granit	*	*	*	2.5-2.8	HG	Eş eksenli
	Diyorit	*	*	*	2.6-3.1	HG	Eş eksenli
	Gabro	*	*	*	2.8-3.2	HG	Eş eksenli
	Riyolit	*	*	*	2.3-2.8	LG	Şekilsiz ile Eş eksenli arasında
	Andezit	*	*	*	2.4-3.1	LG	Eş eksenli
	Bazalt	*	*	*	2.5-3.1	HG	Eş eksenli
	Siyenit	*	*	*	2.6-2.9	HG	Yassı ile Eş eksenli arasında
Sedimenter	Kuvarsit	*	*	*	2.6-2.8	HG	Yassı ile Eş eksenli arasında
	Kumtaşı	!	*	*	2.3-2.8	LG	Yassı
	Silttaşı	!	!	*	2.3-2.8	LG	Yassı
	Şeyl	!	!	*	2.3-2.7	LG	Yassı
	Kireç taşı	*	*	*	2.3-2.7	HG	Yassı ile Eş eksenli arasında
	Kalker	!	!	*	1.5-2.3	LG	Eş eksenli
Metamorfik	Sleyt	x	x	*	2.7-2.8	LG	Yassı
	Fillit	x	x	*	2.3-2.7	LG	Levhamsı/Yapraksı
	Şist	!	!	*	2.7-3.2	LG	Levhamsı ile Yassı Arasında
	Gnays	*	*	*	2.6-2.8	HG	Eş eksenli
	Mermer	*	*	*	2.7-2.8	HG	Eş eksenli
	Serpantinit	*	*	*	2.5-2.6	LG	Şekilsiz
	Eklojit	*	*	x	3.3-3.6	HG	Şekilsiz

Not: "*" Kullanım için uygun; "!" stabilitenin sağlanması açısından dikkat edilmesi gerekli; "x" kullanım için uygun değil
CG: Kaba Gradasyon; LG: Hafif Gradasyon; HG: Ağır Gradasyon

Fonksiyonel özelliklerine bağlı olarak, koruma tabakası taşlarının kullanım ömürlerinin farklı fazlarda incelenmesi önerilmektedir, buna göre üç ayrı özellikte tanımlama yapılmıştır;

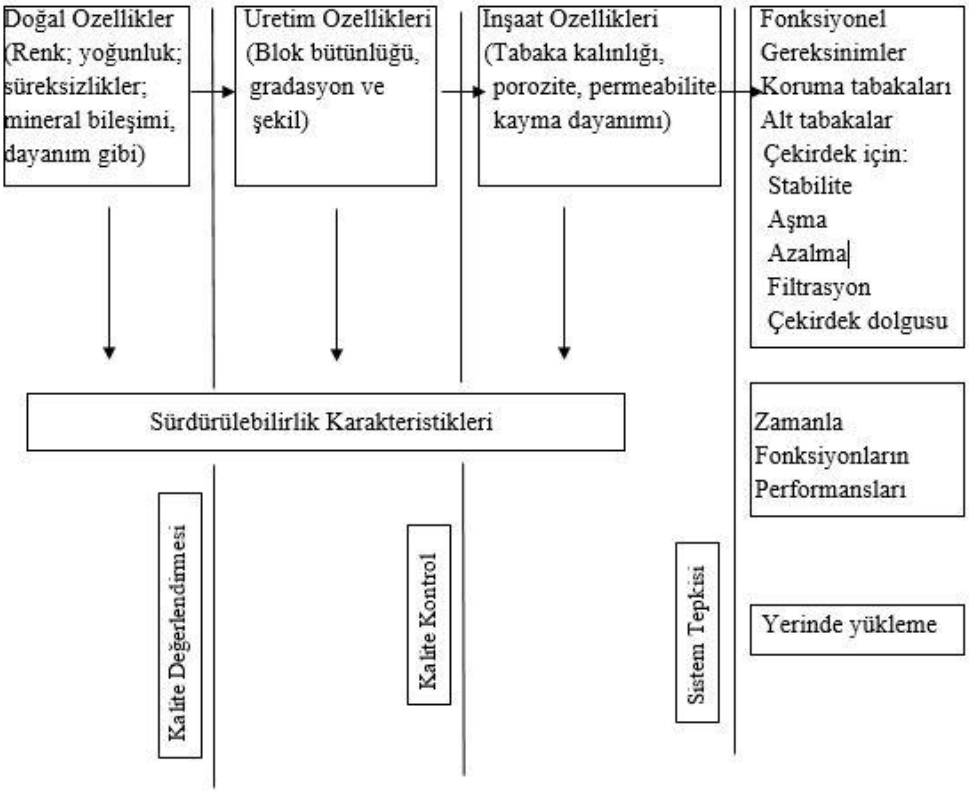
Doğal özellikler: Kayanın geldiği kaynaktaki özellikleriyle ilgilidir; yani jeolojik geçmişi veya endüstriyel bir işlemden geçirilmiş olduğunun belirlenmesi. Bu özellikler, mühendislik jeolojisinin kapsamına girmektedir ve bu doğrultuda kayacın mineral karakteristiğinin, sahip olduğu süreksizliklerin, hava koşulları nedeniyle meydana gelmiş olan aşınma derecesinin ve tektonik durumunun belirlenmesi gerekmektedir.

Üretim Özellikleri: Bu özellik, koruma tabakası taşlarının her bir (tekil; bireysel) parçasının ya da tekil parçalarının granüler malzeme bileşimleriyle ilgilidir ve koruma tabakası taşının doğal özellikleri bu durum üzerinde belirleyici bir faktördür. Buna bağlı olarak üretim teknikleri belirlenmektedir; örneğin patlatma tasarımı, seçim, yükleme-boşaltma, sınıflandırma (ayıklama) teknikleri ve kullanılacak aletlerin tespiti gibi.

İnşaat özellikleri: Koruma tabakasının inşaatında, taşların yerleşim teknikleri, şekli ve maruz kaldığı koşullar (suyun üzerinde veya altında bulunması gibi) o tabakanın kalınlığını ya da porozitesini kontrol eden etmenlerdir.

Yukarıda tanımlanan bu özellikler zaman içerisinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik etmenler neticesinde değişime uğrayabilmektedir. Dolayısıyla, koruma tabakası taşlarının sürdürülebilirliği yani dayanımı dikkate alınması gereken bir parametredir.

Yapılacak inşaatın amacına göre ve buna bağlı olarak koruma tabakası taşlarının özelliklerinin ve fonksiyonun belirlenerek kullanılması amacıyla aşağıda kavramsal bir şema sunulmuştur (Şekil 2.36).



Şekil 2.36 Koruma tabakası taşlarının fonksiyon ve özelliklerinin ortaya konduğu kavramsal şema, (CIRIA, 2012)

Geleneksel projelerde genellikle ocak taşı kullanılmaktadır ve bu taşlar elde edildikleri kaynak dolayısıyla yüksek kalitede, marjinal ya da zayıf özelliklere sahip olabilmektedir. Dolayısıyla, yapılacak inşaatın kullanım amacı ve önemine bağlı olarak koruma tabakası taşlarının karakteristiklerinin ortaya konması açısından sahada ve laboratuvarda bir takım malzeme testlerinin yapılması uygun görülmektedir. Tablo 2.23 ve 2.24'te verilen koruma tabakası taşlarının kalite ve sürdürülebilirliğinin belirlenmesi açısından, CIRIA (2012)'nin saha ve laboratuvar deneyleri için tanımlamış olduğu özellikler ve sınıflandırmalar bulunmaktadır.

Tablo 2.23'de D_{i80} Yerinde % 80 geçen kaya bloğunun boyutu, B_n Kırık ya da çatlak oranı, I_{D50} Çatlak indeksi, I_c Süreklilik indeksi V_p/V_*x100, V_p Kayadaki boşluk oranı, V_* Mineralin teorik ses hızı, D_f Fissur derecesi.

Tablo 2.23 Koruma tabakasında kullanılacak taşların dayanıklılığı ve kalitesini belirlemek için taşocağından alınan taşların laboratuvar ve saha verileri

Kalite ve Dayanıklılık Değerlendirmesi					
Kriter	**Referans**	**Mükemmel**	**İyi**	**Marjinal**	**Zayıf**
Litolojik sınıflandırma	EN 932-3 (1997)	Damarsız, magmatik ve metamorfik kayaçlar, Kuvarzit ve yüksek silis içerikli çimentolanmış kumtaşı, rekristalize kireçtaşı	Kristalize dolamitler, kristalize kireçtaşı ve iyi çimentolanmış kumtaşı	Killi kireçtaşı, zayıf çimentolanmış kumtaşı, boşluklu resifal dolomit	Dağılgan kireçtaşı, **resif breşi**, şist, kiltaşı, **slate, kalk,** alçıtaşı
Arazideki Gerilme Koşulları	Lienhart (1988)	Düşük gerilme, kıvrımlanma yok, çatlaksız	Orta gerilme**,** yük boşalması nedeniyle gözlenebilen özellikler	Yüksek gerilme, ocak aynasına paralel çatlak yapısı	Çok yüksek gerilme, taş ocağı aynasında faylanma gözlenebilir ve tabanda kaya patlaması söz konusu olabilir.
Hava koşullarına göre ayrışma derecesi	BS 5930⊗1999)	IA- Ayrışmamış	IB- hafif ayrışmış (yüzeyde lekelenmeler)	II- Kısmen ayrışmış(taş kütlesinin büyük bölümünde lekelenmeler)	III-Orta dereceli ayrışma (kaya kütlesinin yarısından azı parçalanmış)
Süreksizlik analizleri(IBSD)	Wang vd. (1990)	D_{I80}>2m ****	D_{I80}=1.5-2m ****	D_{I80}=1-1.5m ****	D_{I80}<1m ****
Yeraltısuyunun durumu	Lienhart (1998)	Kuru	Nemli	Taşocağı duvarlarından sızma	Suyun duvarlardan akması ve yerde göllenme oluşumu
Üretim yöntemi	Lienhart (1998)	Patlatmasız yöntem: yani boyutları belli ocak taşı üretimi	Tek sıra patlatma, düşük şok enerjisi, **barut miktarı**<0.2kg/m^3 patlatma çukurunun çapı-75mm	ANFO ile geleneksel patlatma, **barut miktarı** 0.2-0.4kg/m^3 patlatma çukurunun çapı-100mm	Üretimde büyük taşların tamamının patlatılması **Barut miktarı** >0.4kg/m^3
Taş şekli ve hava şartlarına göre taşın parçalanması	Lienhart (1998)	Taşların %5'ten azı LT>3 ise ve Taşların %95'inin hava koşullarına göre ayrışma derecesi IA ise	Taşların %5-%10 için LT>3 ise ve Taşların %95'inin hava koşullarına göre ayrışma derecesi IB	Taşların %10-%15 için LT>3 ise ve Taşların %95'inin hava koşullarına göre ayrışma derecesi II	Taşların %15'den fazlası LT>3 Taşların %95'inin Hava koşullarına göre ayrışma derecesi III
İstif/Depolama Alanı	Lienhart (1998)	Koruma tabakası taşlarının kürleme ve gerilme rahatlaması için üç ay boyunca istiflenmesi	Koruma tabakası taşları iki ay boyunca istifleme	Koruma tabakası taşlarının bir ay boyunca istiflenmesi	Çıkartılan taşların bekletmeksizin inşaat için kullanılması
Koruma tabakasının bütünlüğü	Lienhart (1998)	Taşların % 95'ten fazlasında gerilme rahatlaması nedeniyle ve ayrıca özensiz taşıma, patlatma veya stok alanındaki iki aylık bekleme sürecinde herhangi bir nedenle çatlak ya da yarık oluşmaması	Taşların % 90-95'inin stok alanında 2 ay bekleme sonrasında çatlak oluşmaması	Taşların % 85-90'nının stok alanında 2 ay bekleme sonrasında çatlak oluşmaması	Taşların % 85'inden azının stok alanında 2 ay bekleme sonrasında çatlak oluşmaması
Bütünlük (Darbe testi)	Bölüm 3.8.5 Kayacın Mekanik Özellikleri	I_{M50}<2% B_n<5%*	I_{M50}=2-5% B_n=5-10%*	I_{M50}=5-15% B_n=10-35%*	I_{M50}>15% B_n>35%*
Blok (monolit) Bütünlüğü (FSST)	Dupray (2005)	FSST, kaynağın gerçek bütünlüğünü belirlemek için kullanılan tasarım aracıdır. Buna bağlı olarak C_{FSST} değerleri sınıflandırılmasından kaçınılması gerekir.			
Blok (monolit)Bütünlüğü (ses dalgalarının hızı: I_c, D_f)	Tourenq vd (1971)	I_C>80 D_f<20	I_C=80-70 D_f<20	I_C=70-50 D_f<20	I_C<50 D_f≥20

Tablo 2.24 Saha ve laboratuvar kriterleri kullanılarak taş ocağından alınan anroşmanın kalite ve dayanıklılık rehberi, (CIRIA, 2012)

	Kalite ve dayanıklılık rehberi					
	Kriter	**Referans**	**Mükemmel**	**İyi**	**Sınırda**	**Kötü**
Laboratuvar testleri	Petrografik gelişim	Eğitimli petrograf	**	**	**	**
	Kütle yoğunluğu ρ_{kaya} (t/m^3)	EN13383-2-2002	>2.7	2.5-2.7	2.3-2.5	<2.3
	Su emilimi (%)	EN 13383-2-2002	>0.5	0.5-2.0	2.0-6.0	>6
	Mikro porozite/ Toplam porozite (%)	Lienhart (2003)	<2	2-6	6-20	>20
	Metilen mavisi emme (g/100g)	Verhoef (1992)	<0.4	0.4-0.7	0.7-1.0	1.0
	Basınç dayanımı (MPa)	EN 1926:1999	>120	120-80	80-60	<60
	Schmidt darbe etkisi **(**% geri tepme **rebound)**	ISRM (1988)	>60	50-60	40-50	<40
	Ses hızı (km/s)	EN 14579:2004	>6	4.5-6	3-4.5	<3
	Nokta yükü dayanımı (MPa)	ISRM (1985)	>8	4-8	1.5-4	<1.5
	Kırılma dayanımı (MPa m$^{1/2}$)	ISRM (1988)	>1.7	1.0-1.7	0.6-1.0	<0.6
	Aktarmalı **(İndirekt)** çekme (Brezilya deneyi) dayanımı (MPa)	ASTM D3967-95a (2004) ISRM (1978)	>10	5.-10	2-5	<2
	Los Angeles (% kayıp)	EN 1097-2:1998	<15	15-25	25-35	>35
	Mikro-Deval (% kayıp)	EN 1097-1:1996	<10	10-20	20-30	>30
	$MgSO_4$ Sağlamlık (% kayıp)	EN 1367	<2	2-10	10-30	>30
	Buz çözücü (% kayıp)	EN 13383:2002	<0.5	0.5-1	1.0-2	>2
	Buz çözücü ile sonik hız azaltma (% değişşim)***	Bölüm 3.8.6	<5	5-15	15-30	>30
	Islak kuru	ASTM D5313-04	<0.5	0.5-1	1.0-2	>2

Not
* Kırılma oranı B_w, tartılarak doğru elde edilmiş ya da tartılmadan sayarak görsel olarak tahmin edilebilir
** hiçbir kriter kurulmamıştır, Bölüm 3.3.2'ye bakınız
*** yapılacak araştırmalar ile onaylanması gereken geçici kriter
**** D_{t80}= blok boyutunun %80 geçiren.

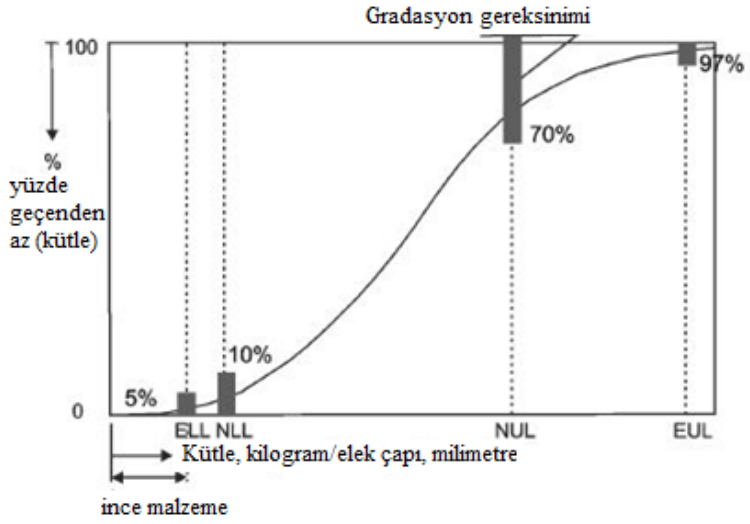
2.7.3 Koruma Tabakası Taşlarının Granülometrik Özellikleri

Bu tanım genellikle koruma tabakası ve filtre malzemesi için geçerli olmakla birlikte geniş bir gradasyon aralığına sahip olan çekirdek malzemesi için uygun değildir (CIRIA, 2012).
Koruma tabakası taşlarının üretimi dolayısıyla üç farklı gradasyon ile ifade etmiştir;

- Ağır gradasyon ("HM"): Büyük boyutlardaki koruma tabakası taşları için
- Hafif gradasyon ("LM"): Koruma tabakası, alt tabaka ve filtre tabakası için
- Kaba gradasyon ("CP"): Genellikle filtre tabakası için kullanılmaktadır ve genellikle 200 mm'den daha küçük boyuttaki parçalara sahip malzemeler için uygundur.

Ağır gradasyon için tanımlanan sistem yüzde geçen kütle açısından bazı limit değerlere sahiptir (bkz. Şekil 2.37). Nominal limitler koruma tabakasının hedef büyüklüklerine karşılık gelirken; ekstrem limitler toleransları ifade etmektedir.
Standart gradasyon için gereksinimler ve yüzde geçen değerler Tablo 2.25'te özetlenmiştir.
Granüler malzemelerin gradasyonunun belirlenmesi aşağıda sıralanan sebepler nedeniyle oldukça önemlidir.
1-Dökülen malzemenin istiflenmesi (dizilimi) ve porozitesi, gradasyon eğrisinin eğimine bağlıdır.
2-Özellikle farklı granüler malzemeler arasındaki geçişlerde filtre, borulanma davranışı gradasyon kuralları tarafından kontrol edilir.
3-Geniş gradasyona sahip malzemelerin, yığın halinde taşınması ve stoklanması sırasında segregasyona uğrama olasılığı söz konusu olduğundan, gradasyon eğrisinin genişliğinin belli bir limit değer ile sınırlandırılması, bu etkinin kontrol altına alınmasını sağlayacaktır.
Ocaklardan çıkartılan doğal taş numunelerinin blok kütleleri ya da elek boyutları çeşitli aralıklarda elde edilebilmektedir.
Belli bir kütleden veya çaptan daha hafif ya da küçük olan toplam malzeme kütlesinin yüzdesi, o malzemenin kümülatif kütle ve çap dağılım eğrisi olarak nitelendirilmektedir. Burada M_y, blok kütlesi; y ise M kütlesinden daha hafif olan malzemenin toplam (veya

kümülatif) kütlesinin yüzdesini ifade etmektedir. Örneğin, M_{50}, teorik olarak malzeme kütlesinin yarısının daha hafif olduğu kütleye denk gelmektedir.
Bir malzemenin üniformluluğu, o malzemeye ait granülometrik eğrinin dikliğinden yani genişliği veya gradasyonundan belli olmaktadır. Üniformluluk genellikle M_{85}/M_{15} ya da D_{85}/D_{15} oranının aldığı değere bağlı olarak ifade edilebilmektedir. Bölüm 2.1.7'de verilen gradasyon aralıklarına göre malzemeye ait gradasyonun üniformluluk durumu, eğrinin genişliğine göre tayin edilebilmektedir. Geniş gradasyona sahip malzemeler genellikle iyi derecelenmiş olarak ifade edilmektedir. Kötü derecelenmiş malzeme ise doğal yollarla meydana gelmiş veya iki farklı boyutta üretilip-karıştırılmış numuneden elde edilmektedir. Genellikle koruma tabakasının dar genişlikte bir gradasyona sahip olması beklenir.



Şekil 2.37 Ağır gradasyon (HM) için tanımlanan EU standart gradasyon limitleri – yüzde geçen, (CIRIA, 2012)

Ağır gradasyon için tanımlanan limitler;

- Ekstrem Alt Limit (ELL) : Yüzde 5'ten daha fazla geçmeyen kütle
- Nominal Alt Limit (NLL) : Yüzde 10'dan daha fazla geçmeyen kütle
- Nominal Üst Limit (NUL) : Yüzde 70'ten daha az geçmeyen kütle
- Ekstrem Üst Limit (EUL) : Yüzde 97'den daha az geçmeyen kütle

Özel bir ocaktan koruma tabakası taşı temin edilmediği durumlarda standart gradasyon kullanılabilmektedir. Dolayısıyla, bu gibi sınırlayıcı durumlarda da standart gradasyona benzer şekilde kütle veya tane dağılımı yaklaşımı dikkate alınabilmektedir. CIRIA (2012)'ye göre iki adet kategori tanımlanmıştır;
Kategori A gradasyonu : Efektif ortalama taş ağırlığının (M_{em}) belirlenmesinin gerektiği ve koruma tabakasının tasarımını kontrol eden parametre ortalama kütle olduğunda kullanılır
Kategori B gradasyonu : Koruma tabakası için kullanılmaz ve efektif ortalama kütlenin (M_{em}) denetimi söz konusu değildir.
Kategori A için, standart gradasyona benzer kütle dağılımı aşağıda ifade edildiği gibi (granülometrik özelliklerin) belirlenmektedir (ağır ve hafif gradasyon yaklaşımına uygunluk söz konusudur);
Herhangi bir standart gradasyona benzer kütle dağılımı temini için malzeme taş ocağından kolaylıkla üretilebilmektedir. Bunun için, daha önceden tasarımda belirlenmiş olan M_{50} (kg) değerine bağlı olarak aşağıda verilen ifade yardımıyla spesifik limit kütle değerleri elde edilebilmektedir. Eşitlik (2.106)'da belirtilmiş olan A ve B katsayıları, Tablo 2.26'da sunulmuştur.

$$Y=AM_{50}^{B} \qquad (2.106)$$

Çekirdek malzemesiyle ilgili olarak CIRIA (2012) tepe boyutlarının belirtilmesi gerektiğini, alt kısmının ise kontrol edilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Bu malzeme için tipik geoteknik özellikler (kayma direnci, porozite ve permeabilite gibi özellikler) CIRIA (2012) Bölüm 5.4'te

açıklanmıştır. Bu geoteknik özellikler, gradasyon genişliğini ve ince malzeme içeriğini etkileyen önemli faktörlerdir. Çekirdek malzemesinin uygun poroziteye sahip olup olmadığını tahmin edebilmek açısından CIRIA (2012) Bölüm 3.4.4.3'de verilmiş olan ifadeler tavsiye edilmektedir. Çekirdek malzemesinin alt sınırı 1kg dır. Eşitlik (2.107)'te, LT (uzunluk-kalınlık oranı) için verilmiş olan ampirik bir ifade yardımıyla bu oranın değeri kontrol edilebilmektedir.

$$LT=2.3M_{50}^{-0.02} \quad (2.107)$$

LT oranının, CIRIA (2012)'ye göre özellikle koruma tabakasındaki taşların bütünlük ve kilitlenme mekanizması açısından 3'ten küçük olması tavsiye edilmektedir.

Tablo 2.25 Ağır, Hafif ve Kaba Gradasyon için gereksinimler, (CIRIA, 2012)

	Sınıf Seçimi	ELL	NLL	NUL	EUL	M_{em}	
	Aşma Gereksinimleri kg	<5% kg	<10% kg	>70% kg	>97% kg	Alt Limit kg	Üst Limit kg
Ağır	10 000-15 000	6500	10 000	15 000	22 500	12 000	13000
	6000-10 000	4000	6000	10 000	15 000	7500	8500
	3000-6000	2000	3000	6000	9000	4200	4800
	1000-3000	700	1000	3000	4500	1700	2100
	300-1000	200	300	1000	1500	540	690

	Sınıf Seçimi	ELL	NLL	NUL	EUL	M_{em}	
	Aşma Gereksinimleri kg	<2% kg	<10% kg	>70% kg	>97% kg	Alt Limit kg	Üst Limit kg
Hafif	60-300	30	60	300	450	120	190
	10-60	2	10	60	120	20	35
	40-200	15	40	200	300	80	120
	5-40	1.5	5	40	80	10	20
	15-300*	3	15	300	450	45	135

	Sınıf Seçimi	ELL	NLL	NUL	EUL	
	Aşma Gereksinimleri (mm)	<5% mm	<15% mm	>90% mm	>98% mm	<50% mm
Kaba	45/125	22.4	45	125	180	63
	63/180	31.5	63	180	250	90
	90/250	45	90	250	360	125
	45/180**	22.4	45	180	250	63
	90/180***	45	90***	180***	250	NA

Not: * =geniş hafif dağılım. ** =geniş kaba dağılım. *** = gabion dağılım. NLL=%20 ve NUL=%80

Tablo 2.26 Standart olmayan dağılım içim önerilen katsayıları, (CIRIA, 2012)

Kütle değerleri		Özellikler						Ek Bilgi			
		ELL <5%/ <2%*	NLL <10%	NUL >70%	BUL >97%	M_{eml} min M_{em}	M_{eml} max M_{em}	M_{15}	M_{85}	M_{50} min	M_{50} maks
A faktörü		0.027	0.156	2.520	5.160	0.449	1.060	0.160	3.340	0.663	1.515
B faktörü		1.32	1.160	0.920	0.880	1.080	0.990	1.171	0.918	1.041	0.959
Standart dağılım için örnek											
M_{50} -35 kg	Hesaplanmış	2.9	9.6	66.4	117.9	20.9	35.8	10.3	87.2	26.9	45.9
	Yaklaşık	3	10	65	120	20	35	10	90	27	45
Standart dağılıma benzeyen standart olmayan dağılım için örnek											
M_{50} - 300 0 kg	Hesaplanmış	1050	1685	3984	5923	2556	2935	1893	5180	2768	3279
	Yaklaşık	1000	1700	4000	6000	2500	3000	1900	5200	2750	3250
Not: Hafif gradasyon için (NLL<300 kg), belirtilen kütle %2 ile sınırlandırılmıştır, aksi takdirde limit %5'tir.											

3. YANAŞMA YAPILARI

3.1 Yanaşma Yapı Tipleri

Yanaşma yapıları yapısal olarak deniz ile etkileşimleri ve dış yükler açısından stabiliteleri bakımından genelde kapalı ve açık yapılar olmak üzere sınıflandırılmaktadırlar. Bu yapılar kıyıya paralel yapılmaları durumunda rıhtım, kıyıdan açığa doğru yapılmaları durumunda iskele yapısı olarak adlandırılırlar. Kapalı tipten rıhtım yapılarının tasarımında geri dolgunun uyguladığı yük ön plana çıkmaktadır. Bu tip yapılara tesir eden çevresel yükler; dalga, akıntı, deprem, gemi basınçları gibidir.

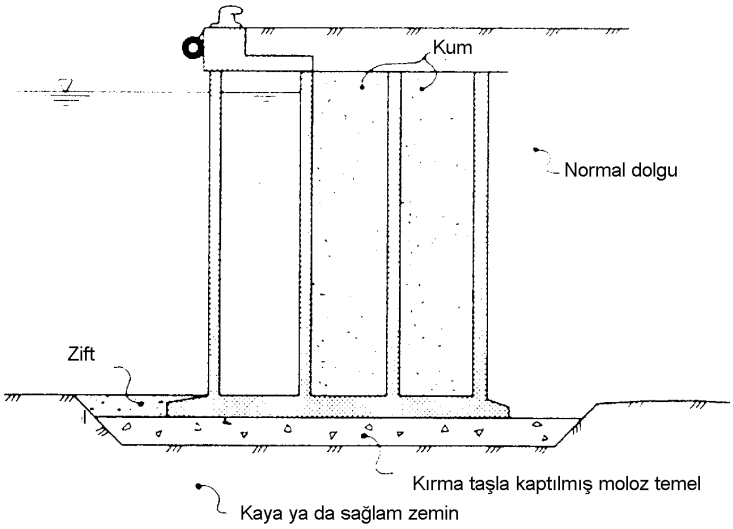
Kapalı yanaşma veya rıhtım yapıları deniz etkilerini ön yüzeyleri ile karşılayan ve arka taraflarına geçirmeyen yapılardır, bu yapılar stabiliteleri açısından ise iki ana gruba ayrılmaktadırlar (Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3).

i) Ağırlık Tipi Rıhtım Duvarları

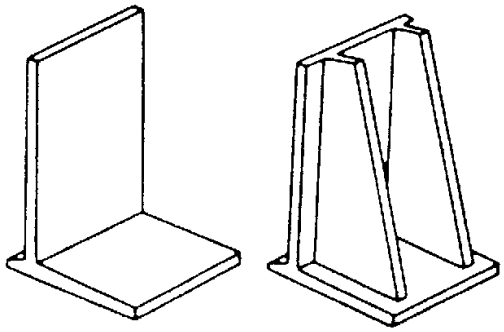
Duvar biçiminde olan yapı kendi ölü ağırlığı ve taban sürtünmesi ile kendisine etki eden yatay ve düşey yüklere karşı koyarlar.

ii) Palplanş Rıhtım Duvarı (Esnek Tip Rıhtım Duvarı)

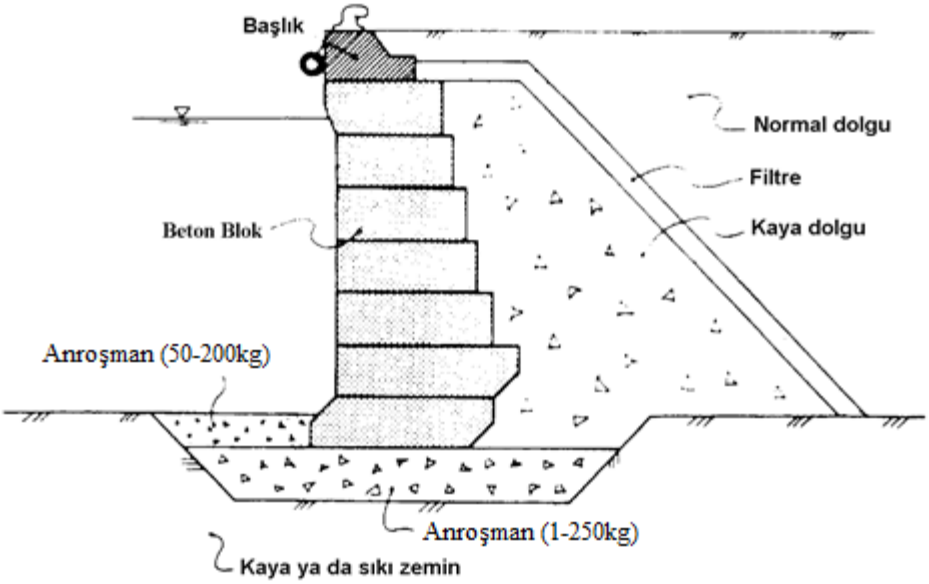
Kazık ya da özel imal edilmiş elemanların yan yana çakılması ile imal edilirler. Bu tip duvarların yüzeyleri yapıya etki eden herhangi bir yatay yüke karşı dayanabilmesi için yeterince uygun değillerse rıhtım gerisine bağlanırlar.



Şekil 3.1 Üç bölmeli keson rıhtım (Thoresen, 2015)

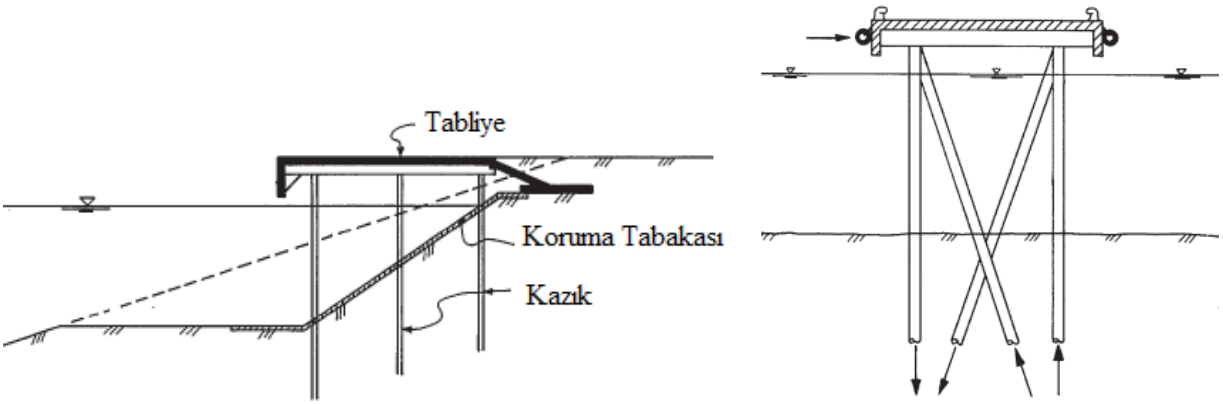


Şekil 3.2 L tipi yanaşma yapısı elemanları (payandalı ve payandasız) (Thoresen, 2015)



Şekil 3.3 Bloklu rıhtım duvarı (Thoresen, 2015)

Açık yanaşma yapıları, rıhtım platformlarının deniz tarafından dolgu alanının en üst noktasına kadar uzatılması ile meydana getirilmektedirler (Şekil 3.4). Betonarme yanaşma yapıları ya da ahşaptan yapılmış açık yanaşma yapılarının yapım kuralları, taşıma kapasitesi vb. hemen hemen aynıdır. Kazıklı açık yüzlü rıhtımlar, çelik, beton veya ahşap kazıklardan inşa edilirler. Ağırlık tipi rıhtımlara göre kazıklı açık tip rıhtımlar oldukça esnek yapılardır. Açık tipten rıhtımlarda geri dolgu tipik olarak taş dolgu dalgakıranlarda uygulanan tasarım kriterleri uygulanarak hesaplanırlar. Şev üst koruma tabakası dalga etkisinde kalırken topuk bölgesi gemi pervanelerinden çıkan su jetinin etkisinde kalırlar ve stabiliteleri bozularak hasar görebilirler. Bu tasarım koşulu göz önüne alınmalıdır. Özellikle feribot, Ro-Ro ve yolcu gemileri kısacası yanaşma desteği almadan kendi güçleri ile yanaşıp ayrılan gemiler bu tip hasarlara neden olmaktadırlar. Kıyıdan açığa doğru planlanan açık yanaşma yapılarında ise yapının her iki tarafına yanaşma yapılabilmektedir (Şekil 3.4 b).



(a) Açık tip rıhtım (b) Açık tip iskele

Şekil 3.4 Açık tip yanaşma yapısı (Thoresen, 2015)

Yanaşma yapılarının tabliye kotları;

- Terminal apron kotuna
- Hizmet verilecek gemi tipine
- En yüksek su seviyesine
- Rüzgar etkisinde kabarmaya
- Dalga etkisinde kabarmaya
- Liman donanım ve yük operasyonuna

bağlı olarak belirlenir.

Yanaşma yapı tipinin seçimi;

- Zemin koşullarına
- Su altı çalışmalarına
- Dalga etkisine
- Tasarım deneyimine
- Yapım ekipmanlarına
- Malzeme teminine
- Yapım süresine
- Gelecekteki büyüme koşullarına
- Büyüme için birleşim detaylarına (örneğin bir ano yanaşma yapısı 100 ile 200 m uzunluğunda planlanabilir)
- Fizibilite çalışmalarına

bağlı olarak yapılmaktadır.

Ağırlık tipi rıhtımların tasarımında dikkate alınan bazı temel koşullar aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

- Bloklu rıhtımlarda özellikle deprem yükleri altında stabilite koşullarının sağlanması için blokların ön boyutlandırılmasındaki ilk kısıt $B/h>2$ ile verilebilir, ancak yeterli koşul değildir ve (H/h) yapının yüksekliği ile orantılı blok yüksekliği belirlenmelidir, vinç kaldırma kapasitesine bağlı olarak blok sayısı az tutulmalıdır (Yüksel vd., 2015), daha sonraki hesaplamalarla stabilite tahkiki yapılarak uygulama boyutları belirlenir. Burada B rıhtıma dik en kısa blok'un genişliği, h blok yüksekliği ve H rıhtım yüksekliğidir.
- Blok büyüklükleri kullanılacak vinçlerin kaldırma kapasitesinden etkilenmektedir ve yüklenici ile proje mühendisi bunu dikkate almalıdır. Örnek; blok ağırlıkları uygulamada 150 ile 2000 kN arasında değişebilmektedir, böylece vinç kaldırma kapasitesine göre blok uzunlukları belirlenebilir.
- Bloklu rıhtımların arka yüzeyi kambura sahiptir, kamburun üst tarafındaki geri dolguya doğru olan eğimi, alt tarafındaki eğimden daha büyük planlanır. Gerekli dolgudan kaynaklanan itki kuvvetinde kambur eğimleri dikkate alınmalıdır.
- L tipi rıhtımlarda, L elemanların maksimum yüksekliğinin 7 m olması tercih edilmelidir, bundan daha yüksek elemanlar payandalı olarak tasarlanmalıdır. Payandalı L elemanların maksimum yükseklikleri 20 m'ye kadar olabilmektedir. Bu elemanların uzunlukları vinçlerin kaldırma kapasitesine bağlı olarak 3-12 m aralığında değişmektedir. Mobil vinçler 100 tona kadar kaldırabilmektedir ancak yüzen vinçler 200 t'a kadar kaldırabilmektedir, 800 t'a kadar kaldıran özel yüzen vinçler de mevcuttur.
- L tipi elemanların yerleştirilmesinde, x, y ve z doğrultularında müsaade edilecek hata toleransı 50 mm, düşeyde eğim toleransı 1/400, rıhtım boyunca açısal tolerans ise 0.5°'yi geçmemelidir.
- Keson rıhtımlar kuru ya da yüzen havuzlarda inşa edilebilirler. Ekonomik nedenler, yüzme koşulları ve gerilmelere karşı dayanımları açısından uzunlukları 30 m'yi geçmemelidir. Her bir kesonun genişliğinin 25 m ve yüksekliğinin 20 m'yi geçmemesi tavsiye edilmektedir. Keson

elemanların genişlik/yükseklik oranı birden büyük olacak şekilde seçilerek stabiliteleri hesaplanmalıdır. Kesonların kaldırılmasında vinç kapasiteleri göz önüne alınmalıdır. Keson hesaplamalarında yüzme hesapları da yapılmalıdır.

- Genişlikleri büyük kesonlar, mevcut gerilmelerin azaltılması amacıyla birden fazla bölmeden oluşacak şekilde tasarlanır.
- Korunmuş su alanlarında kesonların birleşim yerlerinde müsaade edilecek yerleşim toleransı $\pm$100 mm'yi geçmemelidir.
- Ağırlık tipi rıhtımların geri dolgularının yapımı ve tasarımı, yapıya etkiyecek yükler bakımından büyük önem taşımaktadır. Yapı arkasındaki dolgu, genel olarak "yapısal dolgu" olarak adlandırılan ve yüksek mekanik niteliklere sahip ocak taşı ile oluşturulmaktadır. Yapısal dolgunun geri alandaki mesafesi en az yapı yüksekliğinin iki katı kadar olmalıdır ve yeterli drenaj koşulları sağlanmalıdır. Seçilen dolgu malzemesinin gradasyonu, tasarımda kullanılan dolgu kayma parametrelerini (içsel sürtünme açısı) sağlayacak şekilde belirlenmelidir. Yapısal dolgu ile gerisinde kalan alansal dolgu ile ara kesitinde gerekmesi halinde filtre malzemesi kullanılmalıdır. Yapısal dolguda 1kg'dan küçük malzeme kullanılmamalıdır.

Açık ve kapalı yapılar birlikte kompozit yapı olarakta tasarlanabilmektedir.

3.2. Gemi Bağlama Kuvveti

Gemi bağlama yükü geminin liman içinde rıhtıma veya iskele ve dolfenlere bağlı olduğu süre içinde rüzgar ve akıntının gemi üzerinde oluşturduğu yüktür. Bu yük rıhtım üzerine yerleştirilen bağlama yapılarının (baba gibi) tasarımında kullanılır. Gemi bağlama yükleri yanaşma yapılarının tasarımında kullanılmaktadır.

Bağlama kuvveti;

- Geminin yüklü veya yüksüz olmasına ve
- Rüzgar ile akıntı hız ve yönüne bağlı olarak hesaplanacaktır.

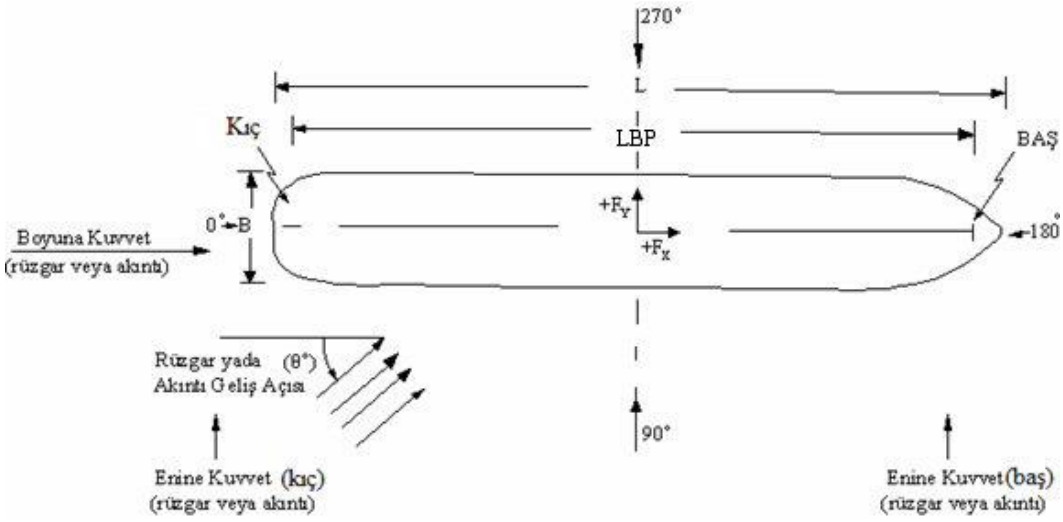
3.2.1. Bağlanma Yüklerinin Belirlenmesi:

Gemi bağlama kuvvetinin hesabında, yapıyı kullanacak olan geminin özelliklerin tespit edilmesi ve bu proje gemisine göre tasarım yapılması esastır.

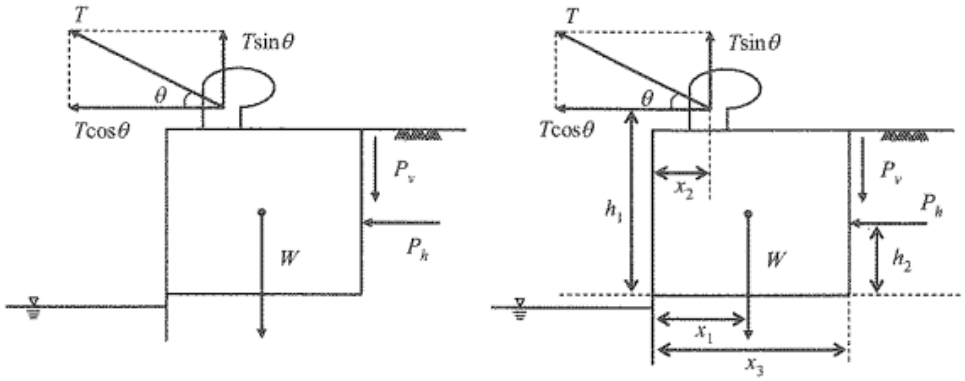
Bağlama yüklerinin belirlenmesinde özel bir değerlendirmenin yapılamadığı durumlarda, yüklü deplasman tonajı 20 000 t'dan küçük olan gemilerde (DT<20 000 t), baba aralıkları rıhtım üzerinde 15 m ile 30 m arasında alınabilir. (Tablo 3.8, Tablo 3.9 ve Tablo 3.10'da yaklaşık baba yükleri verilmiştir).

Yüklü deplasman tonajı 20 000 t'dan fazla (DT >20.000 t) olan gemilerde bağlama yüklerinin bulunması için özel ve ayrıntılı hesaplamalar yapılmalıdır. Bu hesaplamalarda kullanılan tanımlar ve işaret sistemi Şekil 3.5'te verilmiştir.

Bağlama kuvveti etkisindeki yapı en gayrimüsait bağlama durumu için kontrol edilmelidir. Hesaplamalarda kayma ve dönme durumlarına bakılır. Şekil 3.6'da baba yapısına etkili kuvvetler gösterilmiştir. Bu şekilde θ bağlanma açısı, T bağlama kuvveti, P_v düşey toprak basıncı (kN/m), P_h yatay toprak basıncı (kN/m), W üstyapı ağırlığıdır (kN/m).



Şekil 3.5 Gemi üzerinde etkili kuvvetler



(a) Kayma (b) Dönme

Şekil 3.6 Bağlama kuvvetinin etkileri (OCDI, 2009).

Gemilerin yanaşma yerine bağlı olması durumunda maksimum kabul edilebilecek belirgin dalga yükseklikleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Bu dalga yükseklikleri dalga periyodunun 10 s'ye kadar olması durumunda geçerlidir. Daha uzun periyotlu dalgalarda bu dalga yükseklikleri azaltılmalıdır. Yönsel dalga durumu ise Tablo 3.2'de verilmiştir. Dalga yükseklikleri geminin gövdeden alması durumuna göre belirlenmiştir. Liman içi salınımlar ya da daha uzun dalgalar daha küçük dalga yüksekliklerinde dahi gemilerin hasar almasına neden olabilir.

Gemiye etkiyen üç tip kuvvet vardır:

- Rüzgar kuvveti
- Akıntı kuvveti
- Dalga kuvveti

Hesaplamalarda kullanılacak formüller aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.1 Maksimum belirgin dalga

Bağlı gemi tipi	Yanaşma yerinde H_s (m)
Yatlar[1]	0.15
Balıkçı tekneleri	0.30
Genel kargo (<30,000 DWT)	0.70
Dökme yük (<30,000 DWT)	0.80
Dökme yük (30,000-100,000 DWT)	0.80-1.50
Sıvı yük tanker (<30,000 DWT)	1.00
Sıvı yük tanker(30,000-150,000 DWT)	1.00-1.70
Yolcu gemisi	0.70
[1]Detaylı durum Bölüm C.4 Yat Limanı planlamasında tanımlanmıştır.	

Tablo 3.2 Farklı yönler için maksimum belirgin dalga yükseklikleri (m)

Gemi tipi	Baş ve kıçtan (0°)	45-90°
Genel kargo	1.0	0.8
Konteyner, Ro-Ro	0.5	-
Dökme yük (30,000-100,000 DWT, yükleme)	1.5	1.0
Dökme yük (30,000-100,000 DWT, boşaltma)	1.0	0.8-1.0
Tanker 30,000 DWT	1.5	-
Tanker 30,000-200,000 DWT	1.5-2.5	1.0-1.2
Tanker >200,000 DWT	2.5-3.0	1.0-1.5

A) Gemiye Etkiyen Akıntı Kuvvetleri

- Gemiye etkiyen enine akıntı kuvveti (F_{TC})

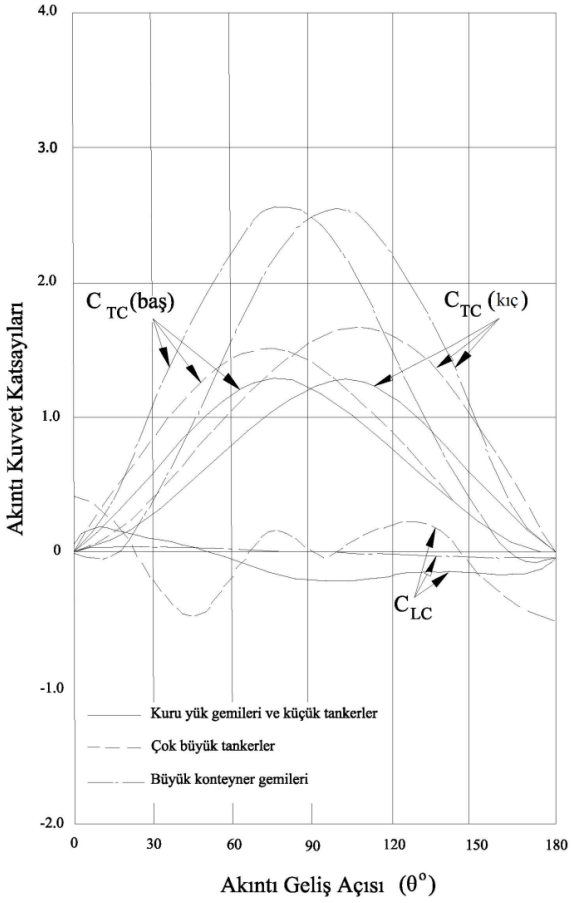
$$F_{TC} = C_{TC} \times C_{CT} \times \rho \times L_{BP} \times D_m \times \left(V_c\right)^2 \times 10^{-4} \quad \text{(kN)} \qquad (3.1)$$

C_{TC} : Enine akıntı katsayısı (akıntı yönüne bağlı) (Şekil 3.7)
C_{CT} : Enine akıntı kuvveti için düzeltme katsayısı (su derinliğinin, gemi su çekimine oranına, d/D, bağlıdır) (Şekil 3.8)
ρ : Deniz suyu özgül kütlesi (kg/m^3)
D_m : Ortalama gemi su çekimi (draft)
V_c : Ortalama akıntı hızı (m/s)
LBP : Gemi boyu

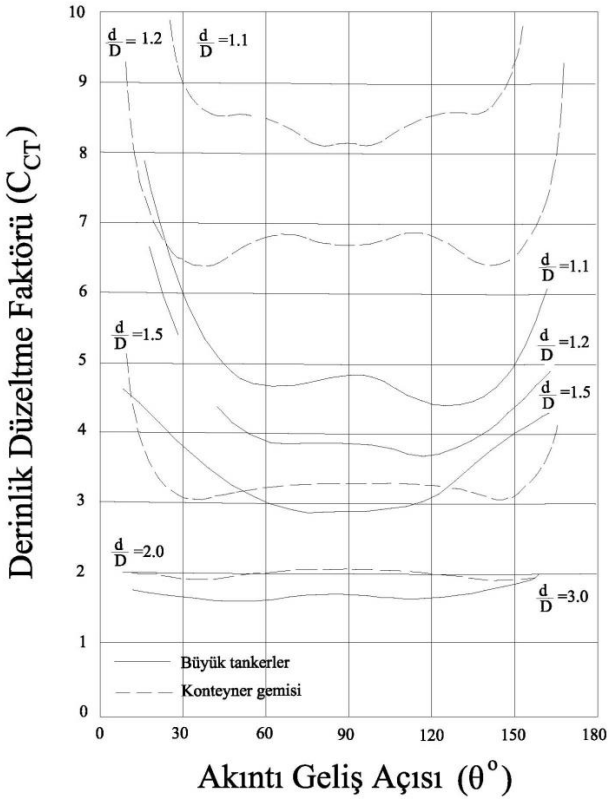
- Gemiye etkiyen boyuna akıntı kuvveti (F_{LC})

$$F_{LC}=C_{LC}\times C_{CL}\times \rho \times L_{BP}\times D_m\times \left(V_c\right)^2\times 10^{-4} \quad \text{(kN)} \qquad (3.2)$$

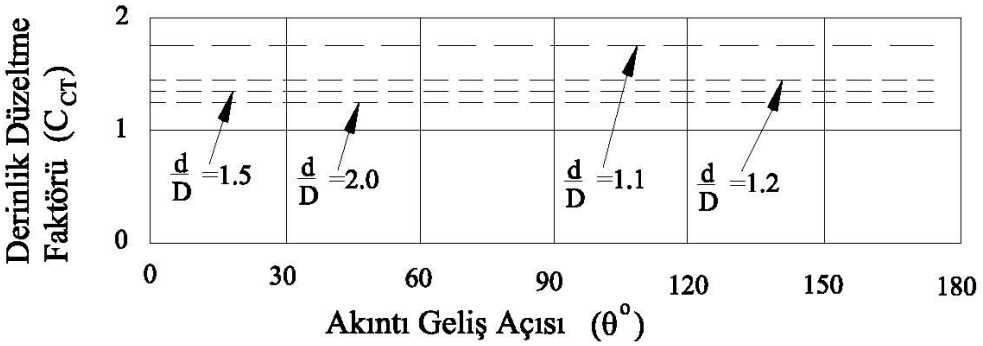
C_{LC} : Boyuna akıntı katsayısı (akıntı yönüne bağlı) (Şekil 3.7)
C_{CL} : Boyuna akıntı kuvveti için düzeltme katsayısı (su derinliğinin gemi su çekimi oranına, d/D, bağımlıdır) (Şekil 3.9)
ρ : Deniz suyu özgül kütlesi (kg/m^3)
D_m : Ortalama gemi su çekimi (draft)
V_c : Ortalama akıntı hızı (m/s)
LBP : Gemi boyu
d : Su derinliği (m)



Şekil 3.7 Bütün gemiler için derin denizde akıntı direnç katsayıları (BS 6349-1:2000)



Şekil 3.8 Enine akıntı kuvvetleri için derinlik düzeltme faktörü (BS 6349-1:2000)



Şekil 3.9 Boyuna akıntı kuvvetleri için derinlik düzeltme faktörü (BS 6349-1:2000)

Şekil 3.7'de enine akıntı katsayısı C_{TC} (kıç), C_{TC} (baş) olarak gösterilmekte ve hesaplamalarda büyük olan katsayı alınmaktadır.

Burada gemi boyu, LBP, gemi boyu geminin başının yazın tuzlu su hattı ile kesiştiği düşey ile geminin dümeni arasındaki yatay mesafenin metre cinsinden ölçüsüdür. Gemi su çekimi, D, gemi tamamen dolu olduğunda ortalama su çekimidir (m).

Tasarım yapılacak bölgede ortalama akıntı hızlarının belirlenmesi, akıntı iklim çalışmalarıyla gerçekleştirilir.

Büyük tankerler için C_{TC}, C_{CT}, C_{LC} ve C_{CL} katsayıları BS 6349-1(2000)'de Tablo 3.3'te verildiği gibi tanımlanmıştır.

Tablo 3.3 Akıntı katsayıları (BS 6349-1, 2000)

(a) Büyük tankerler için enine akıntı katsayıları

Baştan kıça kadar olan açı (°)	Derinlik düzeltmesi d/D=1.1			Derinlik düzeltmesi d/D=1.5			Derinlik düzeltmesi d/D=2.0		
	$C_{TCbaş}$	$C_{TCkıç}$	C_{CT}	$C_{TCbaş}$	$C_{TCkıç}$	C_{CT}	$C_{TCbaş}$	$C_{TCkıç}$	C_{CT}
0	0.00	0.001	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	2.00
15	0.50	0.20	8.00	0.50	0.20	4.50	0.50	0.20	1.70
30	0.80	0.40	6.00	0.80	0.40	3.80	0.80	0.40	1.70
45	1.20	0.70	5.00	1.20	0.70	3.40	1.20	0.70	1.60
60	1.40	1.00	4.70	1.40	1.00	3.00	1.40	1.00	1.60
75	1.50	1.30	4.80	1.50	1.30	2.90	1.50	1.30	1.70
90	1.40	1.60	4.90	1.40	1.60	2.90	1.40	1.60	1.70
105	1.20	1.70	4.70	1.20	1.70	2.90	1.20	1.70	1.70
120	0.90	1.60	4.50	0.90	1.60	3.10	0.90	1.60	1.70
135	0.60	1.40	4.50	0.60	1.40	3.60	0.60	1.40	1.70
150	0.30	1.00	5.00	0.30	1.00	4.00	0.30	1.00	1.80
165	0.10	0.60	6.50	0.10	0.60	4.40	0.10	0.60	2.00
180	0.00	0.00	9.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	2.20

(b) Büyük tankerler için boyuna akıntı katsayıları

Baştan kıça kadar olan açı (°)	Derinlik düzeltmesi d/D=1.1		Derinlik düzeltmesi d/D=1.5		Derinlik düzeltmesi d/D=2.0	
	C_{LC}	C_{CL}	C_{LC}	C_{LC}	C_{CL}	C_{LC}
0	0.40	1.70	0.40	1.40	0.40	1.20
15	0.20	1.70	0.20	1.40	0.20	1.20
30	0.20	1.70	0.20	1.40	0.20	1.20
45	0.40	1.70	0.40	1.40	0.40	1.20
60	0.20	1.70	0.20	1.40	0.20	1.20
75	0.20	1.70	0.20	1.40	0.20	1.20
90	0.00	1.70	0.00	1.40	0.00	1.20
105	0.10	1.70	0.10	1.40	0.10	1.20
120	0.20	1.70	0.20	1.40	0.20	1.20
135	0.20	1.70	0.20	1.40	0.20	1.20
150	0.10	1.70	0.10	1.40	0.10	1.20
165	0.40	1.70	0.40	1.40	0.40	1.20
180	0.50	1.70	0.50	1.40	0.50	1.20

B) Gemiye Etkiyen Rüzgar Kuvvetleri

Rüzgar kuvvetleri Beaufort rüzgar ölçeği ile sınıflandırılır. Beaufort ölçeği Tablo 3.4'te verilmiştir. Ortalama rüzgar hızı ve yönü Beaufort ölçeğine göre ortalama su seviyesinin 10 m üzerinde 10 dakikalık kayıtlar ile tanımlanır. Tasarım yapılacak bölgede kısa periyotlu rüzgar hızı ile ortalama rüzgar hızı oranı "gust faktörü" için yeteri bilgi mevcut değilse, PIANC yüksek rüzgar hızları için Tablo 3.5'teki gust oranlarını teklif etmiştir. Burada gust 1 dakikadan az kısa süre içindeki esen rüzgar hızının anlık artış ve düşüşüdür (BS 6349, 2013).

10 dakika ve 1 saat ortalama süreli rüzgar hızları ile gust oranı arasındaki ilişkiler Tablo 3.5'te verilmiştir. Maksimum rüzgar hızı, ortalama rüzgar hızının tabloda verilen katsayılar ile çarpılmasıyla bulunur. Liman ve gemi operasyonlarında talep edilen gust süresinin 1 dakikadan az alınması tavsiye edilmektedir. Bağlama analizlerinde balastlı bir tanker için rüzgar kuvvetinin hesaplanmasında 1 dakika süreli ortalama rüzgar hızı tavsiye edilmektedir. Normal koşullarda rüzgar hızının 25-30 m/s'nin üzerine çıkması durumunda geminin bağlandığı yanaşma yapısından ayrılması veya balast yükünü azaltması istenmektedir.

Tablo 3.4 Beaufort rüzgar ölçeği

Beaufort	Rüzgar Adı	Rüzgar Hızı	
		m/s	knots
0	Sakin	0.0-0.2	0.-0.5
1	Gayet Sakin	0.3-1.5	1-3
2	Hafif	1.6-3.3	4-6
3	Latif	3.4-5.4	7-10
4	Mutedil	5.5-7.9	11-16
5	Frişka	8.0-10.7	17-21
6	Kuvvetli	10.8-13.8	22-27
7	Mutedil fırtına	13.9-17.1	28-33
8	Fırtına	17.2-20.7	34-40
9	Kuvvetli fırtına	20.8-24.4	41-47
10	Büyük fırtına	24.5-28.4	48-55
11	Bora	28.5-32.6	56-63
12	Kasırga	32.7-	64-

Tablo 3.5 On dakika ve bir saat rüzgar hızı ile gust faktörü arasındaki ilişki

Rüzgar Süresi	Gust Faktörü	
	On dakika rüzgar hızı	Bir saat rüzgar hızı
Ortalama 3 saniye	1.35	1.56
Ortalama 10 saniye	1.30	1.48
Ortalama 15 saniye	1.27	-
Ortalama 30 saniye	1.21	-
Ortalama 1 dakika	1.15	1.28
Ortalama 10 dakika	1.00	1.12
Ortalama 30 dakika	-	1.05
Ortalama 1 saat	-	1.00

Not: Ortalama saatlik rüzgar hızı U_{3600} ve gust arasında ilişki için yeteri yerel bilgi veya detayların olmaması durumunda BS 6349 (2013) aşağıdaki ifadenin kullanılmasını önermiştir.

$$U(t)=U_{3600}\left\{1.277+0296\tanh\left[0.9\log_{10}(45/t)\right]\right\}$$

burada t saniye cinsinden ölçüm süresidir.

- Enine rüzgar kuvveti (F_{TW})

$$F_{TW}=C_{TW}\ \rho_A\ A_T\ V_w^2\times10^{-4} \quad (kN) \qquad (3.3)$$

- Boyuna rüzgar kuvveti (F_{LW})

$$F_{LW}=C_{LW}\ \rho_A\ A_L\ V_w^2\times10^{-4} \quad (kN) \qquad (3.4)$$

C_{TW} : Enine rüzgar kuvveti katsayısı.

Enine rüzgar katsayısı Şekil 3.10, Şekil 3.11, Şekil 3.12'de rüzgar yaklaşım açısı (θ) ve gemi özelliklerine göre verilmektedir. Büyük tanker ve konteyner gemileri için katsayılar Tablo 3.6'da verilmiştir.

Şekillerde enine rüzgar katsayısı C_{TW} (kıç), C_{TW} (baş) olarak gösterilmekte ve hesaplamalarda büyük olan katsayı alınmaktadır.

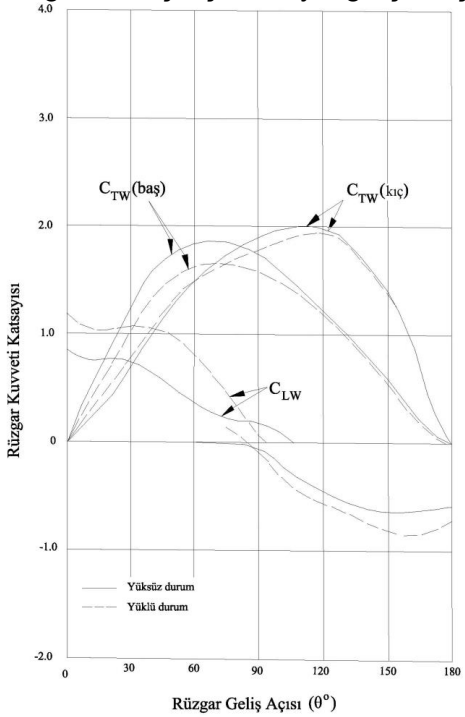
C_{LW} ; Boyuna rüzgar kuvveti katsayısıdır. Boyuna rüzgar katsayısı Şekil 3.10, Şekil 3.11, Şekil 3.12'de rüzgar yaklaşım açısı (θ) ve gemi özelliklerine göre verilmektedir. Büyük tanker ve konteyner gemileri için katsayılar Tablo 3.6'da verilmiştir. Bu ifadelerde;

ρ_A Havanın özgül kütlesi (kg/m^3)

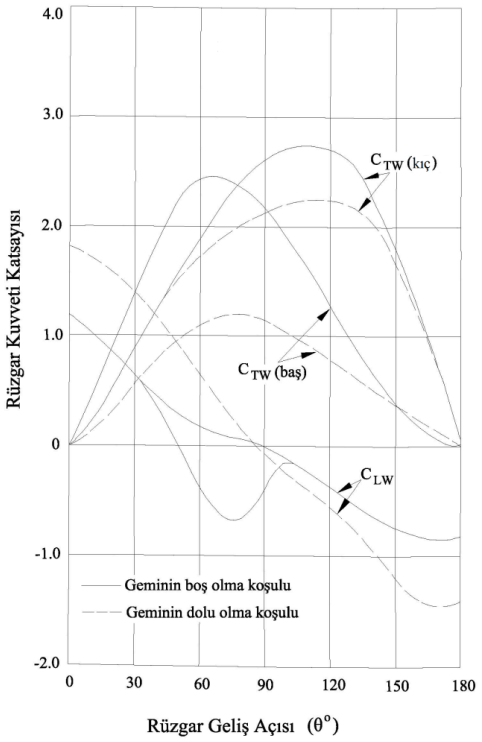
0^o C de = 1.3096 kg/m^3,

30^o C de = 1.1703 kg/m^3 alınabilir.

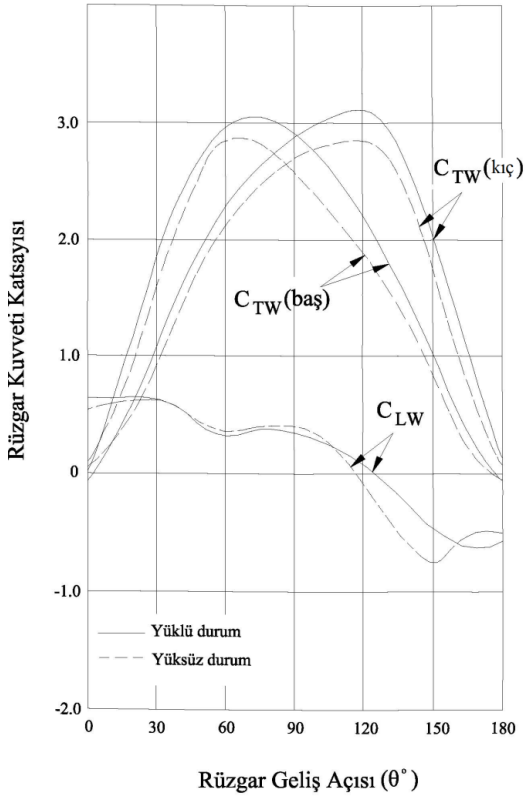
A_L Geminin su seviyesi üzerindeki boyuna izdüşüm alanı (m^2) A_T Geminin enine su seviyesi üzerindeki enine izdüşüm alanı (m^2), gemi tipine ve boyutlarına göre değişmektedir. Bu alan geminin balast koşullarına göre de değişmektedir. Gemi alanları Bölüm C.1'de verilmiştir. Her iki tarafına yanaşma yapılan iskelelerde etkili toplam rüzgar yükü en büyük gemiye etkili rüzgar kuvvetinin üzerine diğer tarafa yanaşmış gemiye etkili rüzgar kuvvetinin %50'si ilave edilerek bulunur. V_w Su seviyesinden 10 m yukarıdaki tasarım rüzgar hızı dır (m/s). Bağlanma durumu için 1 dakika ortalama rüzgar hızının kullanılması önerilmektedir. Tasarım yapılacak bölgede rüzgar hızlarının belirlenmesi, rüzgar iklim çalışmalarıyla gerçekleştirilir.



Şekil 3.10 Rüzgar geliş açısı ile rüzgar kuvveti katsayıları arasındaki ilişki (BS 6349-1, 2000)



Şekil 3.11 Çok büyük petrol tankerleri için rüzgar kuvveti katsayıları (BS 6349-1, 2000)



Şekil 3.12 Yük gemileri için rüzgar kuvveti katsayıları (BS 6349-1, 2000)

Tablo 3.6 Rüzgar katsayıları

(a) Balastlı durumda tanker ve konteyner gemilerinde rüzgar katsayıları

Baştan kıça kadar olan açı (°)	İngiliz Standardı BS 6349-1, 2000					
	Çok büyük tankerler			Güverte yükü olmayan büyük konteyner gemileri		
	$C_{TWbaş}$	$C_{TWkıç}$	C_{LW}	$C_{TWbaş}$	$C_{TWkıç}$	C_{LW}
Baş 0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.7
15	0.7	0.3	0.9	0.8	0.4	0.7
30	1.4	0.9	0.7	1.8	1.0	0.7
45	2.1	1.4	0.4	2.5	1.7	0.5
60	2.4	1.9	0.2	2.9	2.2	0.3
75	2.4	2.3	0.1	3.1	2.6	0.4
90	2.2	2.6	0.0	2.9	2.9	0.4
105	1.8	2.8	0.2	2.7	3.0	0.3
120	1.3	2.7	0.4	2.2	3.1	0.1
135	0.8	2.5	0.6	1.7	2.9	0.2
150	0.4	1.8	0.7	1.0	2.0	0.5
165	0.1	1.0	0.8	0.4	1.2	0.6
Kıç 180	0.0	0.0	0.8	0.0	0.2	0.6

(b) Yüklü durumdaki tanker ve konteyner gemilerinin rüzgar katsayıları

Baştan kıça kadar olan açı (°)	İngiliz Standardı BS 6349-1, 2000					
	Çok büyük tankerler			Güverte yükü olmayan büyük konteyner gemileri		
	$C_{TWbaş}$	$C_{TWkıç}$	C_{LW}	$C_{TWbaş}$	$C_{TWkıç}$	C_{LW}
Baş 0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.6
15	0.2	0.3	1.7	0.6	0.4	0.6
30	0.5	0.8	1.4	1.6	0.9	0.6
45	0.9	1.4	1.1	2.4	1.6	0.5
60	1.1	1.7	0.7	2.8	2.1	0.3
75	1.2	2.0	0.3	2.8	2.5	0.4
90	1.1	2.1	0.0	2.6	2.7	0.4
105	1.0	2.2	0.3	2.3	2.8	0.3
120	0.8	2.3	0.6	1.9	2.8	0.1
135	0.6	2.1	0.8	1.5	2.6	0.5
150	0.4	1.7	1.2	0.9	1.8	0.8
165	0.2	1.0	1.4	0.3	0.8	0.5
Kıç 180	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.5

C) Gemiye Etkili Dalga Kuvvetleri

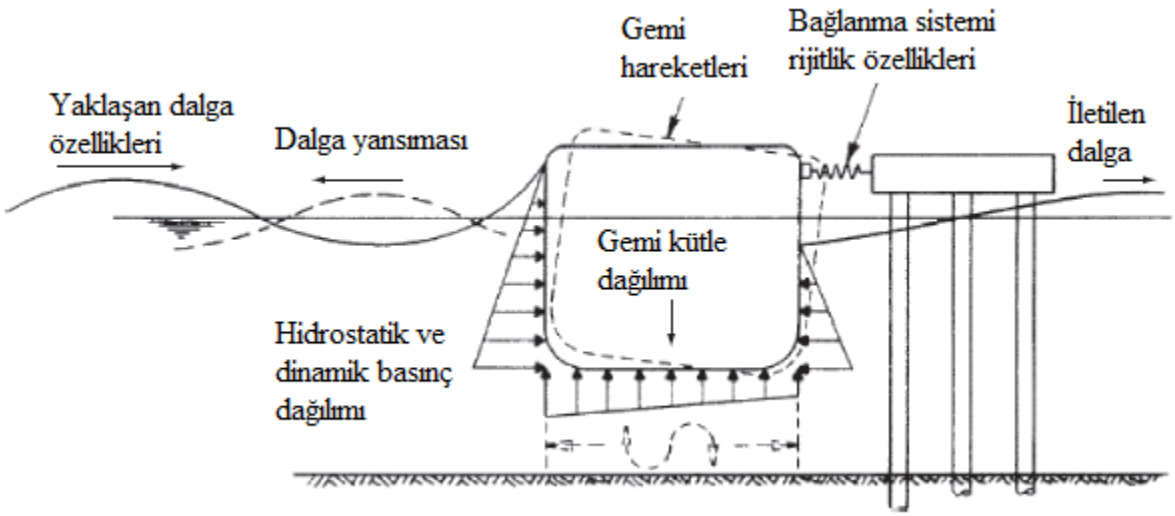
Her ne kadar yanaşma yerleri göreceli olarak dalga etkilerine karşı korunmuş su alanlarında tasarlansa da, dalga koşulları belirli koşulları aştığında gemiler üzerinde etkin olurlar ve istenmeyen gemi hareketlerine neden olurlar (Şekil 3.13). Ancak bu konuda, bağlanmış bir gemiye etkili dalga kuvvetlerinin hesaplanmasına yönelik standart yöntem bulunmamaktadır. Dalgalar özellikle aşağıdaki koşullarda etkin olurlar;

(a) 20 s'den büyük periyotlu dalgalar bağlama kuvvetleri üzerinde oldukça etkin olurlar.

(b) Gemilerin yalpa (roll) hareketleri 13 ile 19 s periyotlu soluğan dalgalarından etkilenirler.

(c) Baş kıç vurma (pitch) küçük ve etkisizdir. Buna karşın, dalıp çıkma (heave) dalga periyodu boyunca dalga yüksekliğine eşittir ve küçük periyotlu dalgalarda küçüktür.

Farklı gemi tipleri için maksimum belirgin dalga yükseklikleri Tablo 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.13 Bağlı gemi üzerine etkili dalga kuvveti için şematik gösterim (Thoresen, 2015).

Dalga kuvvetlerinin hesaplanması için İspanyol Şartnamesi ROM (1990) 0.2-90 akıntı ve rüzgar kuvvetlerinin hesaplanmasına benzer ifadeler önermiştir.

Operasyon koşullarının belirlenmesinde, dinamik bağlama analiz yöntemlerinin kullanılması istendiğinde sayısal yöntemler kullanılarak çözüme gidilebilir. Bu amaçla kullanılacak yazılımların uluslararası kabul görmeleri istenir.

Gemilere etki eden dalga kuvvetlerinin İspanyol Standartı ROM0.2-90 (1990) tarafından aşağıdaki ifadelerle hesaplanabileceği belirtilmiştir.

Enine kuvvet (kN)

$$F_{Tdalga}=10\,C_{fw}\,C_{dw}\,\gamma_w H_s^2\,D^*\sin^2\theta \qquad (3.5)$$

Boyuna kuvvet (kN)

$$F_{Ldalga}=10\,C_{fw}\,C_{dw}\,\gamma_w H_s^2\,D^*\cos\theta \qquad (3.6)$$

burada

$$D^*=L_{BP}\sin\theta+B\cos\theta \qquad (3.7)$$

burada

C_{fw} dalga boyuna ve gemi su çekimine bağımlı katsayı. Eğer $(2\pi/L)D>1.4$ ise $C_{fw}=0.064$, eğer $(2\pi/L)D<0.2$ ise $C_{fw}=0.0$ alınır.

C_{dw} dalga boyuna ve su derinliğine bağımlı katsayı. Eğer $(4\pi/L)d>6.0$ ise C_{dw}=1.0, eğer $(4\pi/L)d=0.0$ ise C_{dw}=2.0 alınır.

γ_w deniz suyu özgül ağırlığı; 1.034 t/m^3

θ Geminin boyuna ekseni ile dalga ışını arasındaki açı
D^* Yaklaşan dalganın gördüğü gemi boyunun izdüşümü
B Gemi genişliği
D Su çekimi
D Su derinliği
H_s Belirgin dalga yüksekliği

D) Ön Tasarım

Bağlama analizlerinde, aşağıdaki bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır;

- Tasarım gemi tip ve boyutları
- Operasyon kriterleri
- Mevcut koşullar (su derinliği, yanaşma yeri boyutları, yaklaşım koşulları, gemi trafik durumu, babalar, usturmaçalar)
- Bağlanma düzeni (halat özellikleri, usturmaça karakteristikleri, gövde basınçları)
- Çevresel koşullar (rüzgar, akıntı, dalga, gel-git)

Yukarıdaki koşullara dayalı tasarımın nasıl yapılacağı tanımlanmıştır. Ancak yeterli bilginin bulunmadığı durumda, ön tasarım koşullarında bazı pratik bilgiler kullanılabilir. Ön tasarımda, babaya etkiyen yaklaşık bağlama kuvvetleri Tablo 3.8 ve Tablo 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.7 Maksimum belirgin dalga yükseklikleri (ASCE, 2015; Thoresen, 2015)

Gemi tipi	Limit Dalga Yüksekliği H_s(m)	
	0° (baş/kıç deniz)	45°-90°
Küçük tekne yat limanı	0.3	0.15
Balıkçı teknesi	0.4	0.3
Genel kargo	1.0	0.8
Konteyner veya Ro-Ro	0.5	
Kuru yük (30,000-100,000 DWT) yükleme	1.5	1.0
Kuru yük (30,000-100,000 DWT) boşaltma	1.0	0.8-1.0
Tanker (<30,000 DWT)	1.5	
Tanker (30,000-200,000 DWT)	1.5-2.5	1.0-1.2
Tanker (>200,000 DWT)	2.5-3.0	1.0-1.5
Yolcu gemisi	1.0	0.7

Tablo 3.8 Gemilerin bağlama kuvvetleri (OCDI, 2009)

Gemi GT (t)	Baba çekme kuvveti (kN)
200<GT<500	150
500<GT<1,000	250
1,000<GT<2,000	250
2,000<GT<3,000	350
3,000<GT<5,000	350
5,000<GT<10,000	500
10,000<GT<20,000	700
20,000<GT<50,000	1000
50,000<GT<100,000	1000

Tablo 3.9 Genel kargo ve dökme yük gemileri için bağlama kuvvetleri (BS 6349: Part 4, 2004)

Yerdeğiştirme Tonajı (ton)	Babaya Etki Eden Bağlama Kuvveti (kN)
20 000 < DT ≤ 50 000	800
50 000 < DT ≤ 100 000	1000
100 000 < DT ≤ 200 000	1500
DT > 200 000	2000

Hesaplamalar her bağlama noktasına gelecek muhtemel maksimum yükün belirlenmesiyle gerçekleştirilir. Hesaplamalarda tasarım gemisi boyut ve bağlama ekipmanlarının kapasitesi dikkate alınır. Bu hesaplamalar için beş yöntem tanımlanmaktadır (BS 6349-4:2004).

Yöntem 1

Gemiye gelecek rüzgar ve akıntı yükleri hesaplanır. Her bir babaya gelen yükü bulmak için, sistemin tamamen elastik davranış gösterdiği varsayımı yapılarak elle veya bilgisayar yazılımı kullanılarak çözüm yapılır.

Elle çözümde, boyuna kuvvet bağlama noktalarındaki yayların aldığı direnç kuvvetleri ile, baş ve kıçtaki dik kuvvetler ise sırasıyla baş ve kıçtaki yaslanma hatlarına tesir eden direnç kuvveti ile tahmin edilir. Bağlama halatlarının karakteristikleri dikkate alınmalıdır. Halatların uzunluk ve bağlanma açıları da dikkate alınır.

Yöntem 2

Her babaya gelen yükleri bulabilmek için kullanılan bu yöntemde, eğer iskelede 6 adet baba varsa, iskeleye gelen gemi üzerindeki toplam dik kuvvetin üçte birinin bir tane baba tarafından karşılandığı kabul edilerek yapılır. Bağlama noktasında normal işletme sırasındaki gerilme dikkate alınarak bu kuvvet bulunur. Boyuna kuvvet ise yöntem 1'deki gibi belirlenir.

Eğer dört bağlanma noktası varsa, bu durumda bir bağlama noktasında gemi üzerindeki toplam dik kuvvetin yarısı dikkate alınarak hesap yapılır.

Yöntem 3

20,000 ton'dan küçük gemiler için, veya tanımlanmış bağlama halatlarına ve bağlanma düzenine sahip özellikli gemiler için, bağlanma noktaları; halatın minimum kopma yüküne eşit kuvvet için normal işletme sırasındaki gerilme dikkate alınarak tasarlanmalıdır.

Yöntem 4

Uluslararası kabül görmüş bir bilgisayar yazılımı veya fiziksel model yardımıyla tasarım yapılır. Bu durumda gemi üzerinde etkili dalga kuvvetleri ve geminin dinamik davranışı belirlenmeli, bağlama noktaları ve usturmaça sistemleri dikkate alınmalıdır.

Yöntem 5

Sürekli yanaşma yerlerinin ön tasarımında, eğer yukarıda verilen metotları uygulamak için yeterince bilgi yoksa, genel kargo, dökme yük gemileri için Tablo 3.8, Tablo 3.9'daki baba yükleri kullanılabilir. Akıntı veya rüzgarın şiddetli olduğu durumlarda tablolarda verilen yükler %25 artırılır.

Rıhtımlarda kullanılacak babalar için baba aralıkları ve sayıları Tablo 3.10'da verilmiştir. Fırtına babası olarak tasarlanan babaların kapasiteler 250 ton veya daha büyüktür.

Tablo 3.10 Rıhtımlarda kullanılacak babalar için baba aralıkları ve sayıları

GT	En Büyük Baba Aralığı (m)	Birim Yanaşma Yeri için En Küçük Baba Sayısı
< 2000 GT	10-15	4
2000<GT<5000	20	6
5000<GT<20000	25	6
20000<GT<50000	35	8
50000<GT<100000	45	8

Not: Gemi bağlama analizlerinde gemi tipine bağlı olarak kabül edilebilir dalga koşulları ve gemi davranışları için BS 6349-1-1 (2013), PIANC ile OCIMF (2008)' den yararlınalabilir.

3.3 Gemi Yanaşma Yükleri

Gemi yükleri belirlenirken dikkat edilmesi gereken parametreler:

- Gemi boyutları
- Yanaşma şekli, yöntemi, yanaşma hızı
- Bağlama tesislerinin yapısı
- Bağlama şekli ve bağlama sistemi özellikleri
- Rüzgar, dalga ve gel-git akıntılarının etkileri

Gemi limana yanaşırken ya da bağlanırken, yanaşma yapılarına etki eden yükler;

1. Gemi yanaşmasından kaynaklanan yükler (Gemi çarpma yükleri)
2. Bağlanan gemi hareketlerinden doğan yükler (Bağlama kuvveti)

Yanaşma yapılarına etki eden yanaşma kuvvetleri, geminin yanaşma enerjisine bağlı olarak hesaplanmalıdır ve bu hesaplamalar yapılırken usturmaçaların yükleme-deformasyon (load-deflection) özellikleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

Normal yanaşma koşullarında, yanaşma enerjisi ve çarpma kuvvetleri aşağıdaki yöntemlerle hesaplanabilir:

(a)Teorik yöntem

(b) Ampirik yöntem

(c) İstatistiksel yöntem.

Burada teorik yöntem tanımlanmıştır. Gemilerin çarpma enerjisi geminin ek su kütlesi ve yaklaşım hızının karesiyle orantılıdır. Geminin ağırlık merkezinden belirli bir mesafe ile yanaşma yapısına çarpması halinde eksantrik yanaşmanın neden olduğu dönme çarpma enerjisini azaltmaktadır.

Gemi yanaşma yükleri gemi yanaşma enerjisinin hesaplanması ile bulunur.

3.3.1 Gemi Yanaşma Enerjisi

Gemi yanaşma enerjisi (E_f)

$$E_f = \left(\frac{M_s V^2}{2} \right) C_e C_M C_s C_c \qquad (3.8)$$

olarak verilir. Burada;

E_f : Gemi yanaşma enerjisi (kJ = kNm)
M_s : Gemi kütlesi (t)
V : Gemi yanaşma hızı (m/s)
C_e : Dış merkezlik faktörü (eksantriklik)
C_M : Hidrodinamik atalet katsayısı
C_s : Esneklik faktörü (Genellikle 1.0 alınır)
C_c : Yanaşma şekli faktörü (Genellikle 1.0 alınır)

M_s tasarım gemisinin yer değiştirme (deplasman) tonajıdır (Gemi tam doluyken yer değiştiren su kütlesi). Tasarım gemisinin yer değiştirme tonajının tanımlanmadığı durumlarda Tablo 3.11 kullanılarak geminin karakteristik yer değiştirme tonajı bulunur. Karakteristik yer değiştirme tonajı OCDI (2009) tarafından tanımlanmıştır.

Hesaplarda kullanılacak karakteristik yer değiştirme tonajları ile ölü ağırlık tonajları (DWT) ve gross tonajı (GT) arasındaki ilişki Tablo 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.11 Gemilerin karakteristik yer değiştirme (deplasman) tonajları (DT_k) ile ölü ağırlık tonajları (DWT) ve GT arasındaki ilişki (OCDI, 2009)

Genel kargo	DT_k=1.174DWT
Konteyner	DT_k=1.385DWT
Tanker	DT_k=1.235DWT
Ro-Ro	DT_k=1.022GT
Araba taşıyıcı	DT_k=0.751GT
LPG	DT_k=1.400GT
LNG	DT_k=1.118GT
Yolcu gemisi	DT_k=0.573GT
Kısa ve orta mesafe feribot (seyir mesafesi 300 km'den az)	DT_k=1.279GT
Uzun mesafe feribot (seyir mesafesi 300 km veya fazla)	DT_k=1.240GT

- C_e Dışmerkezlik Faktörü (Eksantriklik) **(**OCDI, 2009)

Dışmerkezlik Faktörü (3.9) ifadesi kullanılarak hesaplanır. Şekil 3.14'te geminin yanaşması şematik olarak gösterilmiştir.

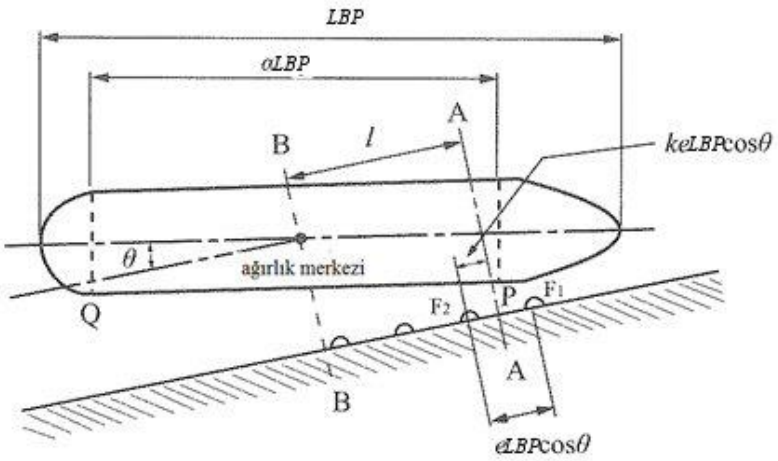
$$C_e = \frac{1}{1+\left(\frac{\ell}{r}\right)^2} \qquad (3.9)$$

Burada; ℓ geminin usturmaçaya yaslanma noktası (P) ile ağırlık merkezi (G) arasında rıhtıma paralel doğrultudaki uzaklıktır (A-B). r geminin ağırlık merkezinden geçen dik eksen etrafında dönme yarıçapıdır.

Şekil 3.14'te görüldüğü gibi, F_1 ve F_2 noktaları gemi usturmaçalarını temsil etmektedir. Temsili olarak gösterilen P noktası ve yaslanma noktası ile ağırlık merkezi arasında rıhtıma paralel doğrultudaki uzaklık ℓ uzunluğu; Denklem 3.10 ve Denklem 3.11 eşitlikleri kullanılarak hesaplanabilir. k>0.5 ise ℓ_1, buna karşın k<0.5 ise ℓ_2'yi hesaplayan formüller kullanılır. k= 0.5 ise ℓ_1 ve ℓ_2 hesaplanır ve C_e formülünde yerine yazılır. Büyük olan C_e (Denklem 3.9) değerini veren "ℓ" değeri olarak kabul edilir.

$$\ell_1 = \left(0.5\alpha + e(1-k)\right) L_{BP}\cos\theta \qquad k > 0.5 \qquad (3.10)$$

$$\ell_2 = (0.5\alpha - ek) L_{BP}\cos\theta \qquad k < 0.5 \qquad (3.11)$$



Şekil 3.14 Geminin yanaşmasının şematik gösterimi (OCDI, 2009)

ℓ_1 : Geminin F_1 usturmaçasına değdiği nokta ile geminin ağırlık merkezi arasında yer alan ve yanaşma yapılarına paralel düzlemde belirlenmiş olan mesafedir (m).

ℓ_2 : Geminin F_2 usturmaçasına değdiği nokta ile geminin ağırlık merkezi arasında yer alan ve yanaşma yapılarına paralel düzlemde belirlenmiş olan mesafedir (m).

θ : Yanaşma açısı (0 – 10^o) arasında alınabilir. Bu açının 10^o alınması önerilmektedir.

e : Usturmacalar arasındaki mesafe ile L_{BP} arasındaki orandır.

α : 1/2 veya 1/3 alınır, C_e değerini en büyük yapan α değerinin kullanılması önerilmektedir.

k : F_1 ve F_2 usturmacaları arasında yer alan ve geminin bağlama tesislerine en yakın olduğu noktanın temsili konumunu gösteren parametredir. k parametresi, 0 ile 1 arasında değerler alabilir fakat genellikle k= 0.5 kabul edilir.

r : Yatay düzlemde geminin ağırlık merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme yarıçapı Denklem (3.12) kullanılarak hesaplanır.

$$r=(0.19C_B+0.11)L_{BP} \tag{3.12}$$

Burada blok katsayısı (C_B), bu katsayının farklı gemi tipleri için aldığı değerler Bölüm C.1'de verilmiştir.

$$C_B=\frac{\nabla}{L_{BP}\times B\times D} \tag{3.13}$$

∇ : Gemi tarafından yer değiştirilen su hacmi (m^3)

Gemi tarafından yer değiştirilen su hacmi (∇), yer değiştirme tonajının (DT) deniz suyu özgül kütlesine bölünmesi ile bulunur. $\left(\nabla=\frac{DT}{\rho_w}\right)$

D : Tamamen dolu haldeki geminin su çekimi (m)

B : Gemi genişliği (m)

L_{BP} : Gemi boyu (m)

Ölü ağırlık tonajı (DWT) veya Gros ton (GT) verileri ile L_{BP} hesaplanmasını sağlayan eşitlikler Tablo 3.12'de verilmiştir.

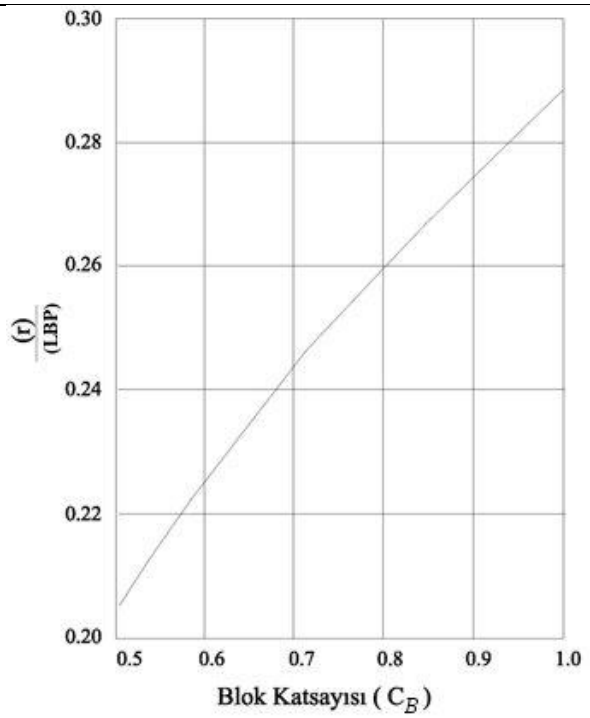
Tablo 3.12 Ölü ağırlık tonajı (DWT) veya Gros tonaj (GT) verileri ile L_{BP} hesaplanmasını sağlayan eşitlikler (OCDI, 2002)

Yük Gemileri (10,000 DWT'den daha az)	log (L_{BP}) = 0.867 + 0.310 log (DWT)
Yük Gemileri (10,000 DWT'den daha fazla)	log (L_{BP}) = 0.964 + 0.285 log (DWT)
Konteyner Gemiler	log (L_{BP}) = 0.516 + 0.401 log (DWT)
Feribotlar (uzun mesafe;13,000 GT'den daha az)	log (L_{BP}) = log(94.6 + 0.00596 GT)
Feribotlar (kısa-orta mesafe; 6,000 tondan daha az)	log (L_{BP}) = 0.613 + 0.401 log (GT)
İçe dışa yalpalayan gemiler	log (L_{BP}) = 0.840 + 0.349 log (DWT)
Yolcu Gemisi	log (L_{BP}) = 0.787 + 0.330 log (GT)
Otomobil Taşıyıcısı	log (L_{BP}) = 1.046 + 0.280 log (GT)

C_B değeri Denklem 3.13'dan hesaplanabilir veya **Tablo 3.13** kullanılarak tahmin edilebilir. Daha ayrıntılı olarak gemi tipi ve büyüklüklerine bağlı bu katsayı **Bölüm C.1**'de verilen gemi büyüklüklerine ait tablolardan da bulunabilir. **Şekil 3.15** r/L_{BP} oranı ile C_B arasındaki ilşkiyi göstermektedir.

Tablo 3.13 C_B Değerleri (BS 6349: Part 4 1994)

Gemi Tipi	C_B Aralığı
Tanker	0.72 - 0.85
Konteyner	0.65 - 0.70
Ro-Ro	0.65 - 0.70
Yolcu	0.65 - 0.70
Kuru Yük	0.60 - 0.75
Feribot	0.50 - 0.65



Şekil 3.15 Dönme yarıçapı r ile blok katsayısı (C_B) ilişkisi

- C_M, Hidrodinamik Atalet Katsayısı (OCDI, 2009)

Hidrodinamik atalet katsayısını hesaplamak için Denklem (3.14) kullanılır.

$$C_M = 1 + \frac{\pi}{2C_B} \times \frac{D}{B} \qquad (3.14)$$

Burada;

C_B : Blok Katsayısı
L_{BP} : Gemi uzunluğu (m)
B : Gemi genişliği (m)
D : Tamamen dolu haldeki geminin su çekimi (m)

- C_s , Esneklik Faktörü (BS 6349: Part 4, 1994)

Esneklik faktörü, tekne yüzeyinin ve usturmacanın rijitliği ile ilgilidir. Bu katsayının belirlenmesi ile ilgili yapılan araştırmalar neticesinde, C_s = 0.9 – 1.0 olduğu belirlenmiştir.

- C_c , Yanaşma Şekli Faktörü (BS 6349: Part 4, 1994)

Yanaşma şekli faktörünün değeri, geminin gövde kısmı ile rıhtım duvarı arasındaki etkileşimi tanımlar. Kapalı ve açık yanaşma yeri tipine bağımlıdır. C_c değerine etki eden parametreler; rıhtım yapım tipi ve rıhtımın gemi kenarından olan uzaklığı, yanaşma açısı, gövdenin şekli ve gemi omurga altı açıklığıdır. Rıhtım tiplerine göre belirlenen yanaşma şekli faktörleri aşağıdaki gibidir.

C_c = 1.0 Açık rıhtım

C_c = 0.9 Yarı açık rıhtım

C_c = 0.8 Kapalı rıhtım

Standart olarak C_c = 1.0 kabul edilir.

- V: Yanaşma Hızı

Yanaşma hızını etkileyen faktörler,

Tasarım gemi tipi ve büyüklüğü
Yanaşma yapılarının tipi ve konumu
İklim koşulları
Römorkörün kullanılabilirliği ve büyüklüğüdür.

1. Yanaşma hızı ile ilgili yapılan çalışmalar, yük gemileri için yanaşma hızının genellikle 10 cm/s'den düşük olması gerektiğini göstermiştir. Yük gemileri için yanaşma hızı bilinmiyorsa 10 cm/s alınacaktır**.**
2. Çeşitli gemilerin yanaşma hızları Tablo 3.14 ve 3.15'te verilmiştir.
3. Büyük gemiler ve büyük petrol tankerleri, rıhtım duvarına paralel olarak ve aralarında belli mesafe kalıncaya kadar yanaşırlar. Daha sonra çekici römorkörlerle rıhtıma kadar çekilirler. Rıhtıma doğru şiddetli rüzgarların estiği durumlarda, gemiler farklı bir şekilde, dışarıya doğru römorkörler yardımıyla çekilerek rıhtıma yanaşırlar. Bu şekilde yapılan bir uygulamada yanaşma hızı 10- 15 cm/s olmalıdır.

3.1 Kendi güçleriyle rıhtıma yanaşan feribotların hızı 10 cm/s' den azdır. Fakat bazen yanaşma hızının 15 cm/s'yi geçtiği durumlarla karşılaşılabilinir, bu nedenle feribot rıhtımları tasarlanırken buna dikkat edilmelidir.

3.2 Küçük gemiler ve küçük yük gemileri ve çekici römorkorlar olmadan rıhtıma yanaşabilen balıkçı gemilerinde, yanaşma hızı büyük gemilerin yanaşma hızından daha büyüktür. Bazı durumlarda bu hız 30 cm/s'yi geçebilir.

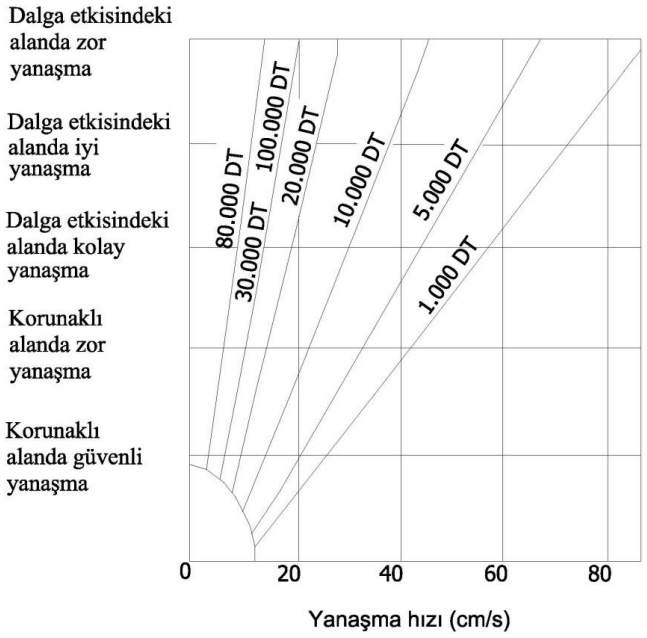
Tablo 3.14 Römorkör desteği ile gemi yanaşma hızı (Thoresen, 2015)

DT (ton)	Hız (m/s)		
	İyi koşullar	Orta koşullar	Zor koşullar
<10,000	0.20-0.16	0.45-0.30	0.60-0.40
10,000-50,000	012-0.08	0.30-0.15	0.45-0.22
50,000-100,000	0.08	0.15	0.20
>100,000	0.08	0.15	0.20

Tablo 3.15 Ortalama gemi yanaşma hızı (OCDI, 2009)

DWT	Yanaşma hızı (cm/s)			
	Genel kargo	Konteyner	Araba taşıyıcısı	Tüm gemiler
1.000	8.1	-	-	8.1
5,000	6.7	7.8	-	7.2
10,000	5.0	7.2	4.6	5.3
15,000	4.5	4.9	4.7	4.6
30,000	3.9	4.1	4.4	4.1
50,000	3.5	3.4	-	3.4
Tüm gemiler	5.2	5.0	4.6	5.0

4. Feribotlar, Ro-Ro gemileri ya da küçük yük gemileri çekici römorkör yardımı olmaksızın rıhtıma yanaşabilirler. Eğer bu gemilerin baş ve kıç kısmında rampa varsa, gemiler rıhtıma dik olarak yanaşır. Bu durumda yanaşma yöntemi büyük gemilerin yanaşma yöntemlerinden farklı olur. Önemli olan nokta yanaşma hızının doğru bir şekilde belirlenmesidir.
5. Şekil 3.16, gemi büyüklüğü, gemi yanaşma durumları ile yanaşma hızı arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 3.16 Gemi yanaşma durumları ile yanaşma hızı arasındaki ilişki (OCDI, 2009)

3.3.2 Usturmaça Tasarımı

Usturmaça seçiminde aşağıdaki kriterlere dikkat edilmelidir;

- Usturmaça yeterli enerji sönümleme kapasitesine sahip olmalıdır.
- Usturmaçadan gelen reaksiyon kuvveti, yanaşma sisteminin yük kapasitesini aşmamalıdır.
- Usturmaçadan gelen basınç gemi gövde basınç alma kapasitesini aşmamalıdır.
- Yanaşma yapısı ve usturmaça sisteminin her ikisi için de yatırım, işletme maliyetleri dikkate alınmalıdır.

Usturmaçalarla ilgili detaylı bilgi temini için PIANC Rep. WG 33 (2002) ve Thoresen (2015)'e bakılabilir. Usturmaça aralıklarına yönelik genel bilgiler Bölüm C Liman Planlaması'nda verilmiştir.

Usturmaçalarda güvenlik marjinini sağlayabilmek için, güvenlik katsayıları Tablo 3.16'da verilmiştir. Çelik aksamlarda ise maksimum gerilme akma gerilmesinin 0.8 katını geçmemelidir.

Detay proje veya uygulama aşamasında kullanılacak ürünün üretim özelliklerine bağlı olarak ek güvenlik katsayılarının kullanılması da gerekli olabilir.

Tablo 3.16 Güvenlik katsayısı (PIANC, 2002)

Yanaşma yerine çarpma tipi	Gemi	Güvenlik katsayısı
Tanker ve Dökme yük	Büyük (>30,000 DWT)	1.25
	Küçük	1.75
Konteyner	Büyük (>30,000 DWT)	1.5
	Küçük	2.0
Genel kargo		1.75
Ro-Ro ve Feribot		2.0 veya daha büyük
Römorkör vd.		2.0

3.3.3 Yanaşma Reaksiyonları ve Yük Dağılımı

Yanaşma reaksiyonları yanaşma enerjisine ve usturmaça sistemine bağlı olarak değişir. Yanaşma yapıları aşağıda verilen şartlara göre düzenlenmelidir.

a) Gemi gövdesine gelen temas basınçları kabul edilebilir limitlerde olmalıdır.
b) Gemi gövdesi ile usturmaçalar arasında yanaşma yapısına doğrudan temastan sakınılmalıdır
c) Usturmaça kapasitesini geçmemelidir (usturmaçanın müsade edilir defleksiyonun aşmayacak boyutlarda seçilir).

- Gemi gövde basıncı

Gemi gövdesine gelen maksimum basınç geminin tipine, boyutlarına, usturmaçaların yüzeysel özelliklerine (rijit, esnek) ve temas alanının gemi iskeleti pozisyonuna bağlı olarak değişir. LNG/LPG tankerleri (VLCC) için bu değer 15 t/m^2 ile 20 t/m^2 arasında değişir. Gemi gövde basınçları Tablo 3.17'de verilmiştir.

- Açılı yanaşmadan doğan usturmaça reaksiyonu

Eğer çarpma gövdenin düz olduğu noktada ve gemi pozisyonunun yanaşma yapısına paralel olduğu durumda gerçekleşmemişse, usturmaça açısal bir yükleme ile karşı karşıya kalır.

Gemi gövdesinin geometrisi gereği çarpma hem dikey hem de yatay düzleminde düşünülerek,

a) Her usturmaçaya gelen yük açısı

b) Her usturmaça ünitesinin sönümlendirdiği enerji ve tüm usturmaça sisteminin sönümlendirdiği enerji
c) Gemi gövdesi ve usturmaça arası mesafe

ile belirlenmelidir.

Bir çok elastomer ve pnömatik usturmaça üreticileri yanaşma pozisyonları için açısal düzeltme faktörleri verirler. Eğer gemi açıyla yanaşıyorsa, usturmaçalar da paralel bir yaklaşma sağlayacak şekilde yerleştirilir.

Tablo 3.17 Gemi gövde basınçları (PIANC, 2002)

Gemi tipi	Gövde basıncı (kN/m^2)
Konteyner 1. ve 2. nesil	<400
3. nesil	<300
4. nesil	<250
5. ve 6. nesil	<200
Genel kargo	
≤20,000DWT	400-700
>20,000 DWT	<400
Tanker	
=/<60,000DWT	<300
>60,000DWT	<350
VLCC	150-200
LNG/LPG	<200
Kuru Yük	<200
Ro-Ro	Bu gemiler genelde kuşaklı
Yolcu gemisi	Bu gemiler genelde kuşaklı

- Usturmaçaların gerilme kapasiteleri

İleri-geri ve aşağı-yukarı hareket eden deniz araçları bu sırada usturmaçalara çarparlarsa usturmaçalarda kayma deformasyonları ve gerilmeleri oluşur. Bu kayma deformasyonlarının kabul edilebilir sınırlar içinde olması gerekmektedir. Usturmaça üreticisinin malzeme bilgilerini sağlamadığı durumlarda, kayma gerilmeleri sürtünme katsayıları, μ, ve yüzeye gelen normal kuvvet kullanılarak hesaplanabilir. Aşağıdaki Tablo 3.18'de tipik sürtünme katsayıları verilmiştir.

Tablo 3.18 Usturmaça yüzeyi kaplama malzemeleri sürtünme katsayıları

Malzeme	Sürtünme katsayısı, μ
Polietilen	0.2
Naylon	0.2
Kauçuk	0.5
Ahşap	0.3
Not: Yukarıda verilen katsayılar sadece düzgün yüzeylerin bulunduğu durumlarda geçerlidir. Dolayısıyla gemi gövdeleri çok paslı ise ya da civatalar, somunlar gövde üzerinde çıkıntı yaratmış ise bu katsayılar yeniden değerlendirilmelidir.	

3.4 Gemilerin Seyir Sırasında Birbirlerini Geçmesi

Bir geminin bağlı geminin yanından geçmesi önemli bir husustur. Bağlı geminin davranışlarında değişime neden olur ve usturmaça hasarı, yükleme kolları ile bağlanmada sorunlara yol açar. Bu konuda sınırlı bilgi olmasına karşın genellikle, bağlı gemiden 50 m mesafede geçen geminin 2 m/s hızın, 100 m mesafede geçen geminin ise 2.5 m/s hızın üzerinde seyir etmesi istenmez.

3.5 Kazık Destekli Yapılarda Dalga Yükleri

Kazık destekli yapılar iki kategoride sınıflandırılır:

- Küçük çaplı yapılar, bu yapılarda D/L<0.2'dir.
- Büyük çaplı yapılar, bu yapılarda D/L>0.2'dir.

D : Kazık çapı,
L : Tasarım dalga boyudur.

Bu tip yapıların çözüm esasları birbirlerinden farklıdır. Küçük çaplı yapılarda dalga formu etkilenmez. Bu tip yapılara etkiyen dalga kuvvetlerinin hesaplanmasında CERC (2003) ve/veya BS6349 Pt 1 (2000) kullanılabilir. Ayrıca Yüksel ve Çevik (2010)'a bakılabilir.

Tek kazığa gelen kırılmayan dalga kuvvetini bulabilmek için, Morison ifadeleri kullanılır (Şekil 3.17).

A. Tek bir kazığa gelen dalga yükü

- Direnç kuvveti
- Atalet kuvveti

olarak iki bileşenden oluşur;

Düşey bir kazığın birim uzunluğuna gelen toplam yatay dalga kuvveti;

$$F_i=C_D\frac{\rho}{2}|u|uD+C_M\rho\frac{\pi D^2}{4}\frac{du}{dt} \qquad (3.15)$$

ile verilmektedir, burada

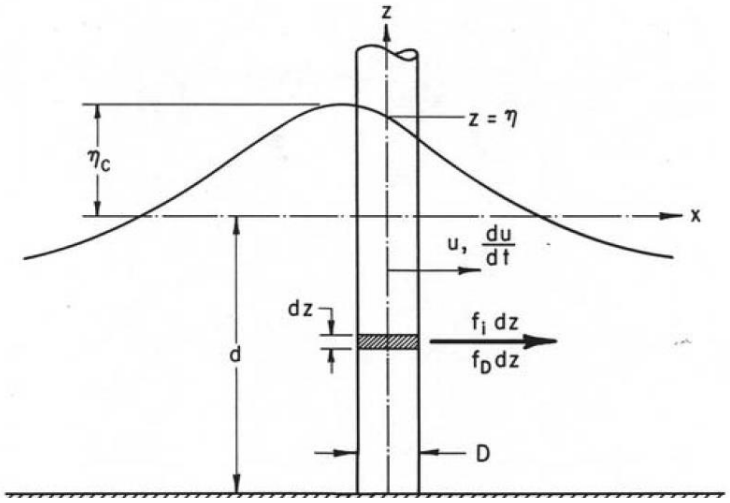
D : Silindirik yapının çapı,
ρ : Deniz suyunun özgül kütlesi,
u : Yörüngesel hız,
C_D : Hidrodinamik direnç katsayısı
C_M : Hidrodinamik atalet katsayısı
$\frac{\partial u}{\partial t}=\frac{du}{dt}$: Yörüngesel ivme

Akıntıdan dolayı etkili kuvvet ise sadece direnç kuvveti dikkate alınarak,

$$F_D=\frac{1}{2}C_D\rho V^2D \qquad (3.16)$$

ifadesiyle bulunabilir.

Hidrodinamik katsayılar akım Re sayısına, KC sayısına $\left(=\frac{u_mT}{D}\right)$, yapının geometrisine ve pürüzlülüğüne bağlıdır, burada u_m maksimum yörüngesel hız, T dalga periyodu ve D kazık çapıdır. Silindirik kazıklarda birim izdüşüm alanı A=D'dir. Toplam kuvvet atalet ve direnç kuvvetlerinin arasındaki faz farkı dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Direnç kuvveti dalga tepesinin kazığa etkili olduğu, atalet kuvveti ise sakin su seviyesinin oluştuğu anda maksimum olmaktadır. Bu nedenle maksimum toplam kuvvetin elde edilmesi için Morison ifadesi bir dalga periyodu boyunca zaman serisi şeklinde çözümlenerek elde edilebilir. Hidrodinamik katsayılar için bazı tipik değerler Tablo 3.19'da verilmiştir.



Şekil 3.17 Silindirik kazığa tesir eden dalga kuvvetinin şematik gösterimi (CERC, 2003)

Dalganın kırılma koşulları ile ilgili kazığa gelecek hesap yöntemleri mevcut değildir. Bu durumda da bir takım varsayımlarla Morison yöntemi kullanılabilir. Bu varsayıma göre dalga kırılma koşulunda su kütlesi yüksek hızla kazığa etki eder ve su kütlesi ivmesi sıfır kabul edilir. $C_M = 0$ alınır, C_D ise 1.75'e kadar artırılır.

B. Kazık gruplarına gelen dalga yükleri

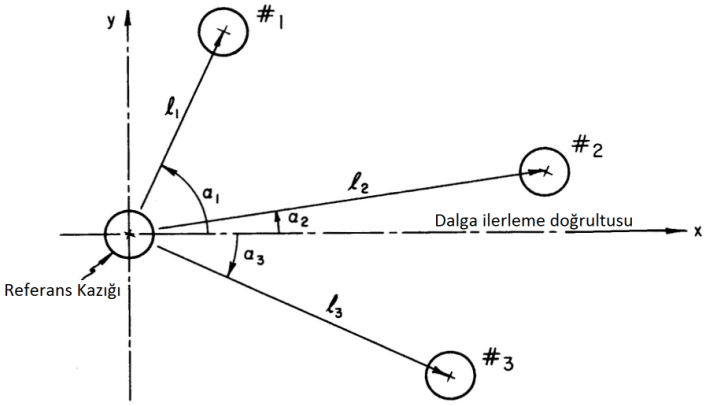
Kazık gruplarının bulunması durumunda kazıklar arasındaki mesafelerin dalga boyundan kısa olması durumunda, kazık grubuna tesir eden maksimum kuvvet ile moment her bir kazığa tesir eden maksimum kuvvet ve momentlerin toplamı olarak hesaplanmaktadır (Şekil 3.18). Bir kazığın diğerinin akım alanından etkilenmemesi için aralarındaki mesafenin kazık çapının üç katından daha fazla olması gerektiği belirtilmektedir (CERC, 2003).

Güvenlik katsayıları

Tasarım dalgası seyrek oluşuyorsa (derin denizde) güvenlik katsayısı F = 1.5.

Tasarım dalgası sık oluşuyorsa (sığ deniz koşullarında) güvenlik katsayısı F = 2.0 alınır.

Kazıklara gelecek dalga kuvvetlerinin detaylı hesapları için CERC (1984), CERC (2003) ve OCDI (2002)'den yararlanılabilir ve bu kaynaklarda bulunan yöntemler kullanılabilir.



Şekil 3.18 Kazık grupları (CERC, 2003)

Tablo 3.19 Farklı kazık geometrileri için direnç ve atalet kuvveti katsayıları (McConnell vd., 2003)

Kesit		Direnç katsayısı, C_D		Atalet katsayısı, C_M
Dairesel		Cilalı kazık (Düzgün yüzeyli)	Pürüzlü	
Det Norske Veritas (1991) dalga için		Min. 0.7	Maks. 1.1	-
American Petrol Enstitüsü (1993) dalga için		0.65	1.05	-
Nath (1984) kararlı akım, yüksek Re sayısı		0.7	1.05	-
Sarpkaya ve Çakal (1983), dalga için		0.6 -2.5 Ortalama 1.3		2.0
Sarpkaya ve Storm (1985) dalga ve akıntı birlikte (KC=60)		0.9	1.5	
Sarpkaya (1986) (KC=40)		0.7	1.2-1.4	
Kare	→ □	2.0		2.5
	→ ◇	1.6		2.2
Yuvarlatılmış köşeli kare	→ ▢	0.6		2.5
	→ ◇	0.5		2.5

Eğer grup kazık sisteminde kazık aralıkları 3 kazık çapından az ise komşu kazıklarda enine kuvvet artar ve kazık diziliş yönüne paralel dalga kuvveti azalır. Kazıkların aralarındaki uzaklıklarına bağlı olarak yük düzeltme katsayıları Tablo 3.20'de verilmiştir.

Tablo 3.20 Düzeltme katsayıları

e/ D	2	3	4
Dalga tepesinin kazık sırasına paralel gelmesi durumu	1.5	1.25	1.0
Dalga tepesinin kazık sırasına dik gelmesi durumu	0.7[1)]	0.8[1)]	1.0
[1)] dalgaya maruz öndeki kazıklarda azaltma yapılmaz			

e: İki kazık merkezi arasındaki mesafe.

3.6 Yükler ve Yük Kombinasyonları

3.6.1 Yükler

Konteyner Yükleri

Bir konteyner liman sahasına konulduğu zaman, konteyner yükünün dört köşesinde noktasal yük (175x160 mm^2) olarak etki ettiğini düşünmek gerekir. Konteynerler üst üste yerleştirilmiş ise yüklemeler yayılı yük olarak alınır.

- 1 sıra 15 kN/m^2
- 2 sıra 25 kN/m^2
- 3 sıra 30 kN/m^2
- 4 sıra 40 kN/m^2
- 5 sıra 50 kN/m^2

Sıra sayısı arttıkça maksimum yük taşıyan konteynerlerin üst üste konma şansı azalır.

Kuru Yükler

Liman sahalarında kuru yükler depolanıyorsa, liman kenarından uzaklık ve yığınların yüksekliklerinin bilinmesi gereklidir. Aşağıdaki tabloda kuru yük özgül ağırlıkları ile içsel sürtünme açıları verilmiştir (Tablo 3.21). Bu değerler kullanılarak liman sahası sürşarj yükü hesaplanabilir.

Tablo 3.21. Kuru yük özgül ağırlıkları ve içsel sürtünme açıları

Malzeme	Özgül Ağırlık kN/m^3	İçsel Sürtünme Açısı ϕ (derece)
Demir	22.4-30	35-40
Bakır	25.6	38-45
Alüminyum (Boksit)	14	28 (kuru) /50 (ıslak)
Çinko	15-17.9	38
Kurşun	25.6-27.6	35-40
Magnezyum	15	35
Kok	3.6-5.1	37
Kömür	7.2-9	30-45
Çimento	12	25
Çakıl	16 (kuru) / 20 (ıslak)	40
Kum	17-18 (kuru) / 20 (ıslak)	30-40
Fırın Cürufu	11	25
Atık Metal	10 – 16	35
Genel Atık	5 – 6	10-40
Tuz	9	45
Soya Fasulyesi	8.2	35-60

Kreyn Yükleri

Kreyn tipi yüklerinin bilinmediği durumlarda ön tasarımlar için Tablo 3.22'de verilen kreyn yükleri kullanılabilir.

Tablo 3.22 Liman sahasına etkiyen kreyn yükleri

Ray Aralığı	Kaldırma Kapasitesi ve Kreyn Kol Uzunluğu (Su tarafı)	Kaldırma Kapasitesi ve Kreyn Kol Uzunluğu (Kara tarafı)	Öz Ağırlık (kN)	Maks. Teker Yükü (Deniz tarafı) (kN)	Maks. Teker Yükü (Kara tarafı) (kN)	Tekerler Arası Mesafe (m)
15.24 m	410 kN– 36 m	410 kN – 13 m	5150	293	274	1.75
15.24 m	500 kN - 38 m	500 kN - 12 m	8100	474	433	1.20
20.00 m	500 kN - 43 m	500 kN - 16 m	9770	568	542	1.00
30.48 m	500 kN - 40 m	500 kN - 18 m	8970	408	609	1.24
35.00 m	670 kN - 52 m	670 kN - 25 m	12122	691	691	1.05
48.00 m	450 kN - 30 m	450 kN - 20 m	7350	420	383	1.50

Konteyner Elleçleyiciler

Konteyner elleçlenmesi için terminal işletmesinde çalışan elleçleyiciler, forkliftler, straddle carrier taşıyıcılar, otomatik kumandalı araçlar, terminal traktörleri ve şasi kullanılabilir. Tablo 3.23'te ön tasarım için dikkate alınacak yükler verilmiştir. Liman sahası için doğrudan yükleme olarak dingil ve teker yükleri önemlidir. Bu yükler için teker konfigürasyonları çok önemlidir ve bu yükler hesaplamalarda düzgün yayılı yük olarak kabul edilebilir. Konteyner yüklerinin meydana getirdiği sürşarj yükleri ile aynı kategoridedir.

Tablo 3.23 Liman sahasına etkiyen konteyner taşıyıcı yükleri

Tanım	Dingil Yükleri (kN)	Maksimum Teker Yükleri (kN)	Ortalama Teker Yükleri (kN)
Hafif Taşıyıcı	320	110	80
Orta Taşıyıcı	900		
Ağır Taşıyıcı	1050	325	265
Forklift 4 ton	90	55	45
Forklift 16 ton		92	75
Forklift 37 ton	850	255	215
Otomatik Kumandalı Araç CT 40	290	160	145
Otomatik Kumandalı Araç CT 60	400	220	200
Terminal Traktörü		65	50
Terminal Şasisi		30	25
Çoklu Trayler Sistemi	340	65	45
Straddle carrier 3 Sıra istif	320	170	110
Straddle carrier 4 Sıra istif		160	90

3.6.2 Yük Kombinasyonları

BS 6349 (2010)'a göre, nihai limit durumu tasarımı için genel yaklaşım aşağıdaki maddelerde belirtilmiştir.

a) Yapıya gelen yükler tanımlanır.

b) Yapısal eleman malzeme ve özelliklerine karar verilir.

c) Kısmi azaltma ve artırma faktörlerine göre, bir seri yük kombinasyonu üretilmektedir.

d) Malzeme özellikleri, kısmi faktörler ve yük kombinasyonları dikkate alınan yapısal modele uygulanır. İç gerilmeler, eğilme momenti, kesme kuvveti vb. elde edilir.

e) Yapı ve yapı elemanlarının dayanımları ve kısmi faktörler tanımlanır.
f) Eğer azaltılmış kapasite değeri etkilerden büyük ise, yapı yeterli miktarda dayanımlı kabul edilir.
Deniz yapıları için tanımlanan yük ve yük kombinasyonları aşağıda belirtilen genel prosedüre göre kullanılmalıdır.
1) Yapıya uygulanması gereken tüm yükler tanımlanmalıdır.
2) Birbirleriyle mukayese edilebilen yük kombinasyonlarını içeren tasarım durumları tanımlanmalıdır.
3) Tüm kombinasyonlar, kalıcı ve değişken, aynı zamanda öngerme gibi içsel yükleri de içermelidir.
4) Tekil ve değişken yükler için belirlenen kısmi faktörler Tablo 3.24'den alınmalıdır.
NOT-1 Farklı kabuller için kullanılan farklı kısmi faktör değerleri aşağıdaki gibidir:
- **EQU**: Yapının devrilme stabilitesi, yapısal elemanlarının mukavemeti ve zemin durumunun değerlendirilmediği **genel denge durum** değeridir.
- **STR**: Yapının yapısal dayanımının değerlendirilmesinde kullanılan **yapısal dayanım** değeridir.
- **GEO**: Zemin dayanımının yetersiz kalması veya aşırı deformasyonunun değerlendirilmesinde kullanılan değerdir.
- **FAT**: Yapı ve yapı elemanlarının yorulma kırılmasının değerlendirildiği değerdir.
- **UPL**: Yapı veya zeminde su basınçlarından dolayı oluşan kaldırma kuvvetinin yarattığı denge kaybının değerlendirilmesinde kullanılan değerdir.
- **HYD**: Deniz kabarması, içsel erozyon ve deniz altı borulama gibi hidrolik eğimlerin değerlendirilmesinde kullanılan değerdir.

5) Eğer kombinasyon kalıcı yükler ve sadece bir adet değişken yük içeriyorsa, yapı analizinde sadece Tablo 3.24'deki kısmi faktörler kullanılmalıdır.
6) Eğer kombinasyon kalıcı yükler ve birden fazla değişken yük içeriyorsa, değişken yüklerden bir tanesi öncü yük, diğer değişken yükler ise ikincil yükler olarak tanımlanmalıdır. Kalıcı yükler ve esas değişken yük Tablo 3.24'de verilen kısmi faktörlere göre artırılmalı, ancak ikincil değişken yükler, Ψ faktörleri ile çarpılmalıdır. Bu faktörler, kombinasyon değeri faktörü Ψo, yaygın değer faktörü Ψ_1 , yarı - kalıcı değer faktörü Ψ_2 olarak tanımlanmıştır. Bu durum birden fazla değişken yük ele alındığında maksimum etki olasılıklarının eş zamanlı olarak azaltıldığını göstermektedir. Ψ faktörleri Tablo 3.25'de listelenmiştir.
7) Uygun olduğu hallerde, tasarım değişken yüklerin öncü yük olarak tanımlanmasına bağlı olarak yapısal etkilere göre farklı değerler doğuracağından tasarım farklı durumlar için değerlendirilmelidir. Bu da her farklı farklı tasarım durumunda farklı bir değişkenin Ψ faktörü ile azaltılması demektir.
8) Tablo 3.26'da verilen formül, kısmi ve Ψ faktörleri kullanılarak, kalıcı, öngermeli ve değişken yükler için uygulanmalıdır.
NOT-2 *Kısmi ve Ψ faktör sistemi, yük hallerinin ayrı ayrı düşünüldüğü geleneksel yaklaşımın yerine geçmiştir ve her durum için kısmi faktör listesi belirlenmiştir.*

Limit Durumlar
Yükler için belirlenen kısmi faktörler
Kısmi faktörler Tablo 3.24'de verilmiştir ve aşağıdaki gibi kullanılmalıdır.

- Statik denge durumu genel global faktörler için (örn. yapının veya zeminin dayanımının dahil edilmemesi) EQU, Set A'daki tasarım değerleri kullanılarak doğrulanmalıdır.

- Geoteknik yüklerin dahil edilmediği yapısal elemanların tasarımında STR, Set B tasarım değerleri kullanılmalıdır.

- Temel, kazıklar istinat duvarları gibi yapısal elemanların tasarımında STR/GEO Set B ve STR/GEO Set C'nin en olumsuz faktörleri kullanılmalıdır.

- Tablo 3.24'e dahil edilmeyen su basıncı, kaldırma kuvveti ve hidrolik eğim etkilerinden kaynaklanan geoteknik etkiler için kullanılacak kısmi faktörler BS EN 1997'den alınabilir.

Tablo 3.24 Kısmi Faktörler (BS 6349, 2010)

Etki			Sembol (BS EN 1990)	EQU (Set A)		STR/ GEO (Set B)		STR/ GEO (Set C)	
				Uygun olmayan	Uygun	Uygun olmayan	Uygun	Uygun olmayan	Uygun
Kalıcı Etkiler		Geoteknik etkiler dahil kalıcı etkiler (Uygun olmayan)	$\gamma_{G,sup}$	1.05	-	1.35	-	1.0	-
		Geoteknik etkiler dahil kalıcı etkiler (Uygun)	$\gamma_{G,\inf}$	-	0.95	-	1.0	-	1.0
		Yüzey kaplaması	$\gamma_{G,sup}$	1.75	0	1.75	0	1.0	1.0
Değişken Etkiler	Sürekli	Kargo yükleri	γ_Q	1.5	0	1.5	0	1.3	0
		Gemi rampa yükleri	γ_Q	1.2	0	1.2	0	1.2	0
		Yol ve trafik etkileri (Yayalar dahil)	γ_Q	1.35	0	1.35	0	1.15	0
		Kreyn yükleri[A]	γ_Q	1.35	0	1.35	0	1.15	0
		Rüzgar yükleri	γ_Q	1.4	0	1.4	0	1.3	0
		Sıcaklık	γ_Q	1.3	0	1.3	0	1.3	0
		Farklı oturmalar	γ_Q	1.2	0	1.2	0	1.0	0
		Kar yükleri	γ_Q	1.4	0	1.4	0	1.3	0
		Akıntı yükleri	γ_Q	1.4	0	1.4	0	1.3	0
		Dalga yükleri	γ_Q	1.4	0	1.4	0	1.3	0
		Gemi yanaşma yükleri	γ_Q	1.4	0	1.4	0	1.3	0
		Bağlanma yükleri	γ_Q	1.4	0	1.4	0	1.3	0
		Gemi pervane kuvvetleri	γ_Q	1.5	0	1.5	0	1.3	0
		Toprak ve geoteknik su basıncı	γ_Q	1.5	0	1.5	0	1.3	0
	Geçici	Standart dışı yanaşma yükleri	γ_Q	1.2	0	1.2	0	1.3	0
		Mobilizasyon	γ_Q	1.2	0	1.2	0	1.3	-
		Toprak ve geoteknik su basıncı	γ_Q	1.5	0	1.5	0	1.3	0
Öngerilme			γ_P	Bkz. BS EN 1992 veya ilgili Eurocode	---	Bkz. BS EN 1992 veya ilgili Eurocode	---	Bkz. BS EN 1992 veya lgili Eurocode	---

NOT: UPL ve HYD limit durumları BS EN1997'de, FAT limit durumları ise BS EN 1993-1-9 ve BS EN 1993-3'de belirtilmiştir.

[A)] Kreyn yükleri, ayrı ayrı kreynin kendi yükü, kreyn üzerindeki rüzgar yükü ve yük elleçlemesini içerir.

Tablo 3.25 Kombinasyonlar için ψ faktörleri (BS 6349, 2010)

Etki		Ψ_0 Değişken etkilerin kombinasyonları için kullanılan katsayı	Ψ_1 Değişken etkilerin kombinasyonları için kullanılan yaygın değer katsayısı	Ψ_2 Değişken etkilerin kombinasyonları için kullanılan yarı kalıcı değer katsayısı
Genel kargo yükleri vs.	Kargo yükleri	0.7	0.50	0.3
	Gemi rampa yükleri	0.7	0.5	0
Trafik hareketleri (yayalar dahil)	Liman araç yükleri	0.75	0.75	0
	Tandem sistem[A)]	0.75	0.75	0
	Üniform dağılan yükler[A)]	0.75	0.75	0
	Yayalar, şerit yükü	0.4	0.4	0
	Kreyn yükleri	0.75	0.75	0
	Geleneksel olmayan araçlar[B)]	0	0	0
Çevresel Etkiler	Rüzgar yükleri	0.6	0.2	0
	Sıcaklık	0.6	0.6	0.5
	Kar yükü	0.5	0.2	0
	Hidrostatik yükler (yeraltısuyu etkileri hariç)	0.7	0.5	0.3
	Akıntı yükleri	0.6	0.2	0
	Dalga yükleri	0.6	0.2	0
Gemi ve bağlanma yükleri	Gemi yanaşma yükleri	0.75	0.75	0
	Bağlanma yükleri	0.6	0.2	0
	Gemi pervane kuvvetleri	0.75	0.75	0
	Toprak ve geoteknik su basıncı	1.0	1.0	1.0
	Farklı oturmalar	1.0	1.0	1.0
Diğer	Mobilizasyon	1.0	-	1.0
	Öngerilme	Bknz. BS EN 1992 veya ilgili Eurocode	Bknz. BS EN 1992 veya ilgili Eurocode	Bknz. BS EN 1992 veya ilgili Eurocode

A) BS EN 1992'ye göre Gr1, TS ve UDL sistemlerini içeren yük kombinasyonudur.
B) Bu tip araçlar kontrollü olarak yüklenen özel tip araçlar olarak kabul edilir.
C) Yüzen deniz yapıları için hidrostatik yükler kalıcı yükler olarak kabul edilir.

Tablo 3.26 Farklı etki kombinasyon ifadeleri (BS 6349, 2010)

Tasarım aşaması	Limit durum	Kalıcı etkiler	Öngerilme	Esas kaza veya sismik etkiler	Esas değişkenlerin etkisi	ikincil değişkenlerin etkisi
Nihai limit durum						
Sürekli ve geçici	Uygun olmayan	$\sum \gamma_{Gj,\sup} G_{kj,\sup}$	$+\gamma_p P$	-	$+\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$+\sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \cdots$ B)
	Uygun	$\sum \gamma_{Gj,\inf} G_{kj,\inf}$	$+\gamma_p P$	-	$+\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$+\sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \cdots$ B)
Kaza	Uygun olmayan	Ya $\sum G_{kj,\sup}$ Yada $\sum G_{kj,\sup}$	$+P$ $+P$	$+A_d$ $+A_d$	$+\psi_{1,1} Q_{k,1}$ $+\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$+\sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$ $+\sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$
	Uygun	Ya $\sum G_{kj,\inf}$ Yada $\sum G_{kj,\inf}$	$+P$ $+P$	$+A_d$ $+A_d$	$+\psi_{1,1} Q_{k,1}$ C) $+\psi_{2,1} Q_{k,1}$ C)	$+\sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$ $+\sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$
Sismik	Uygun olmayan	$\sum G_{kj,\sup}$	$+P$	$+A_{Ed}$ D)	-	$+\sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$
	Uygun	$\sum G_{kj,\inf}$	$+P$	$+A_{Ed}$ D)	-	$+\sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$
Kaza İnşaat sırasında (uygulama halinde)	Uygun olmayan	$\sum G_{kj,\sup}$	$+P$	$+A_d$	-	$+\sum \psi_{2,} Q_{c,k}$ E)
	Uygun	$\sum G_{kj,\inf}$	$+P$	$+A_d$	-	$+\sum \psi_{2,} Q_{c,k}$ E)
Hizmet sırasında limit durum						
Karakteristik	Uygun	$\sum G_{kj,\sup}$	$+P$	-	$+Q_{k,1}$	$+\sum \psi_{0,i} Q_{k,i}$
	Uygun olmayan	$\sum G_{kj,\inf}$	$+P$	-	$+Q_{k,1}$	$+\sum \psi_{0,i} Q_{k,i}$
Sık sık	Uygun	$\sum G_{kj,\sup}$	$+P$	-	$+\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$+\sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$
	Uygun olmayan	$\sum G_{kj,\inf}$	$+P$	-	$+\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$+\sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$
Yarı kalıcı	Uygun	$\sum G_{kj,\sup}$	$+P$	-	-	$+\sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$
	Uygun olmayan	$\sum G_{kj,\inf}$	$+P$	-	-	$+\sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$

Not:

\+ ile beraber

$\sum$ Birlikte etki etmesi

A) Değişken etkiler Tablo A.2'de verilmiştir. Tasarım aşamasında kullanılan değişken etkilerinden herhangi biri 'esas değişken' olarak diğerleri ise 'ikincil değişken' olarak sınıflandırılmıştır.

B) Set A, Set B ve Set B ULS durumları için yapıya eş zamanlı etkiyen rüzgar ve dalgaların bulunduğu durumda, BS EN 1991-1-4 tarafından rüzgar yükü olarak verilen gerçek tasarım fırtına seviyeleri gerçek maksimum dalga ile örtüşecek düşük olasılığa izin vermek için ψ_0, ψ_1 olarak alınabilir. Her iki yükün karakteristik değerlerini kulaanarak ilave bir kontrol yapılmalı, fakat kaza yükü olarak dikkate alınmalıdır.

C) $\psi_{1,1}$ veya $\psi_{2,1}$ arasındaki seçim ilgili kaza tasarım durumu ile ilişkilidir.

D) $A_{Ed} = \gamma_I A_{Ek}$ burada; sismik etkiler BS EN 1998'de tanımlanmıştır.

E) $Q_{c,k}$, BS EN 1991-1-6'da tanımlanan inşa yüklerinin karakteristik değeridir.

3.7 Yanaşma Yapılarında Dalga Çarpma Tesiri

Yanaşma yapıları ya da açık deniz yapılarının döşeme alt kotları tasarım dalgasına göre yeterli yükseklikte tasarlanmadığında, dalga döşeme ve bağlantı yapılarına alttan ve yandan çarparak etkili olacaktır. Bu durumda yapı hasar görebilir. Bu amaçla döşeme alt kotu emniyetli bir hava payı dikkate alınarak korunabilir, eğer mümkün değilse çarpmadan kaynaklanan dalga yükleri hesaplanmalıdır.

Dalga çarpması için yaklaşık ifade aşağıda verilmiştir;

$$\eta_{maks} = \frac{H_{maks}}{2} \exp\left(\frac{2\pi}{L_m}\frac{H_{maks}}{2}\right) \qquad (3.17)$$

burada

L_m Ortalama dalga periyoduna bağlı dalga boyu

H_{maks} Maksimum dalga yüksekliği, $(H_{maks}/H_s)=0.706\sqrt{\ln N_z}$ (Goda yönteminden de bulunur)

H_s Belirgin dalga yüksekliği

N_z Fırtına süresi (dalga sayısı)

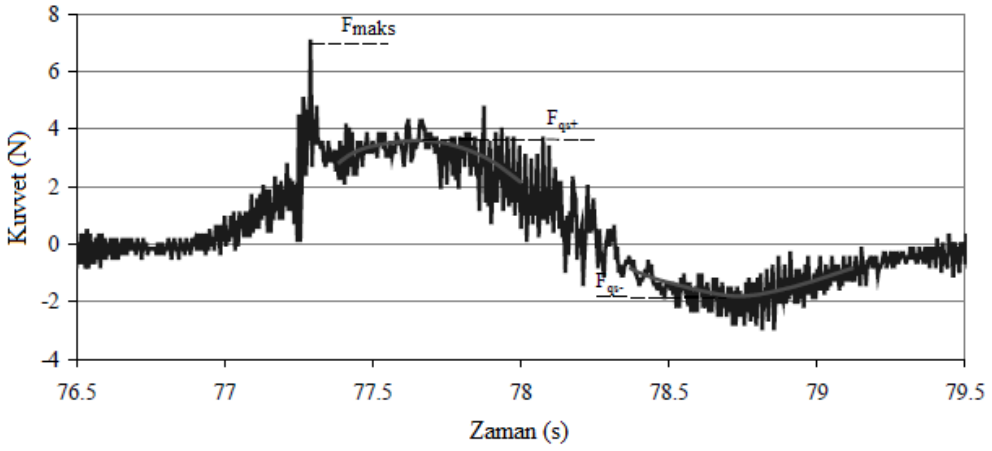
Döşeme alt kotu η_{maks}'tan büyükse çarpma etkisi dikkate alınmayabilir.

McConnell vd. (2003) iskele tipi yapıların döşeme ve kirişlere etkili olan dalga kuvvetlerinin hesabı için aşğıdaki ifadelerin kullanılmasını önermiştir. Bu kuvvetler; her bir yapı elemanı için ölçülen deney verilerinden elde edilmiştir (Şekil 3.19).

F_{imp} : Çarpma Kuvveti (Kısa sürede, çok büyük)

$F_{qs+, v veya h}$: Maksimum pozitif (yukarı ya da karaya doğru) yarı statik kuvvet

$F_{qs-, v veya h}$: Maksimum negatif (aşağı ya da denize doğru) yarı statik kuvvet



Şekil 3.19 Kuvvet parametrelerinin tanımları (McConnell vd., 2003)

Hidrostatik basınç dağılımı tanımı kullanılarak yapı elemanının üst ve altında oluşan basitleştirilmiş basınç dağılımları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$p_1 = \left[\eta_{maks}\left(b_h + c_1\right)\right]\rho g \qquad (3.18)$$

$$p_2 = \left(\eta_{maks} - c_1\right)\rho g \qquad (3.19)$$

p_1 ve p_2 : Yapı elemanının altında ve üstünde etkili basınçlar,

b_w, b_h : Sırasıyla yapı elemanının genişliği ve yüksekliği,
b_l : Elemanın uzunluğu,
c_1 : Yapı elamanının sakin su seviyesinden olan açıklığı,
η_{maks} : Maksimum dalga genliği, (Denklem 3.17)
A : Elemanın dalga etkisinde kalan izdüşüm alanı

İskele döşemesinin alt yüzeyine tesir eden düşey dalga kuvveti basınç dağılımının integre edilmesiyle bulunur.

$$F_v^* = \int_{b_w}\int_{b_l} p_2 dA \cong b_w b_l p_2 \qquad (3.20)$$

Yatay dalga kuvveti;

$$\eta_{maks} \le c_1 + b_h \quad \text{için} \quad F_h^* = \int_{b_w}\int_{c_1}^{\eta_{maks}} p_{hid} dA = b_w (\eta_{maks} - c_1)\frac{p_2}{2} \qquad (3.21)$$

ve

$$\eta_{maks} > c_1 + b_h \quad \text{için} \quad F_h^* = \int_{b_w}\int_{c_1}^{c_1+b_h} p_{hid} dA = b_w b_h \frac{(p_1+p_2)}{2} \qquad (3.22)$$

Burada tedrici değişen (yarı-statik) kuvvetler, F_{qs+} ve F_{qs-} verilmiştir. Ayrıca daha kısa sürede ve daha fazla büyüklükte çarpma kuvvetleri de tartışılmıştır.

Pozitif ve negatif (yukarı ve aşağı) kuvvetler $(\eta_{maks} - c_1)/H_s$ ile benzer davranış göstermektedir.

- $(\eta_{maks} - c_1)/H_s > 0.8$ için F_v^*, F_{vqs+}'in güvenilir olarak tahmin edilmesini sağlar,
- $(\eta_{maks} - c_1)/H_s < 0.8$ için aşağı yönlü kuvvetler genellikle yukarı yönlü kuvvetlere göre daha azdır
- $(\eta_{maks} - c_1)/H_s < 1$ için $(\eta_{maks} - c_1)/H_s$'in azalan değerleri ile F_v^*'a göreceli olarak yukarı ve aşağı yönlü kuvvetler artar
- $(\eta_{maks} - c_1)/H_s < 1$ için göreceli kuvvetler önemli miktarda saçılım gösterir.

İskele döşeme elemanları üzerine etkili düşey kuvvet aşağıdaki deterministik ifade kullanılarak belirlenir;

$$\frac{F_{vqs(+veya-)}}{F_v^*} = \frac{a}{\left[\dfrac{(\eta_{maks} - c_1)}{H_s}\right]^b} \qquad (3.23)$$

a ve b katsayıları Tablo 3.27'te verilmiştir.

Tablo 3.27 Düşey dalga kuvvetlerinin tahmini için katsayılar

Dalga yükü ve yapılandırması	a	b
Yukarı yönlü düşey kuvvetler (deniz tarafındaki kiriş ve döşeme)	0.82	0.61
Yukarı yönlü düşey kuvvetler (sadece içteki kiriş)	0.84	0.66
Yukarı yönlü düşey kuvvetler (içteki döşeme, 2 ve 3 boyutlu etkiler)	0.71	0.71
Aşağı yönlü düşey kuvvetler (deniz tarafındaki kiriş ve döşeme)	-0.54	0.91
Aşağı yönlü düşey kuvvetler (sadece içteki kiriş)	-0.35	1.12
Aşağı yönlü düşey kuvvetler (içteki döşeme, 2 boyutlu etkiler)	-0.12	0.85
Aşağı yönlü düşey kuvvetler (içteki döşeme, 3 boyutlu etkiler)	-0.80	0.34

Kuvvetler oldukça saçılımlı davranış göstermesi nedeniyle, üst ve alt limitler Tablo 3.28'te verilen C katsayısı yardımıyla belirlenebilir. Bu hesaplama probabilistik yaklaşım için kullanılır.

$$\frac{F_{vqs(+veya-)}}{F_v^*} = \frac{a}{\left[\frac{(\eta_{maks} - c_1)}{H_s}\right]^b} C \qquad (3.24)$$

Tablo 3.28 Üst ve alt sınırları için katsayılar

Dalga yükü ve yapılandırması	$C_{üst}$	C_{alt}
Yukarı yönlü düşey kuvvetler (deniz tarafındaki kiriş ve döşeme)	1.5	0.5
Yukarı yönlü düşey kuvvetler (sadece içteki kiriş)	1.4	0.5
Yukarı yönlü düşey kuvvetler (içteki döşeme, 2 ve 3 boyutlu etkiler)	2.2	0.1
Aşağı yönlü düşey kuvvetler (deniz tarafındaki kiriş ve döşeme)	1.6	0.4
Aşağı yönlü düşey kuvvetler (sadece içteki kiriş)	1.8	0.5
Aşağı yönlü düşey kuvvetler (içteki döşeme, 2 boyutlu etkiler)	2.1	-
Aşağı yönlü düşey kuvvetler (içteki döşeme, 3 boyutlu etkiler)	1.4	0.65

İskele döşeme elemanlarına tesir eden yatay dalga kuvveti aşağıdaki deterministik ifade kullanılarak belirlenir.

$$\frac{F_{hqs(+veya-)}}{F_h^*} = \frac{a}{\left[\frac{(\eta_{maks} - c_1)}{H_s}\right]^b} \qquad (3.25)$$

a ve b katsayıları Tablo 3.29'da verilmiştir.

Tablo 3.29 Yatay dalga kuvvetlerinin tahmini için katsayılar

Dalga yükü ve yapılandırması	a	b
Kıyı tarafındaki yatay kuvvetler, F_{hqs+} (deniz tarafındaki kiriş)	0.45	1.56
Kıyı tarafındaki yatay kuvvetler, F_{hqs+} (içteki kiriş)	0.72	2.30
Deniz tarafındaki yatay kuvvetler, F_{hqs-} (deniz tarafındaki kiriş)	-0.20	1.09
Deniz tarafındaki yatay kuvvetler, F_{hqs-} (içteki kiriş)	-0.14	2.82

Kuvvetler oldukça saçılımlı davranış göstermesi nedeniyle, üst ve alt limitler Tablo 3.30'de verilen C katsayısı yardımıyla belirlenebilir. Bu hesaplama probabilistik yaklaşım için kullanılır.

$$\frac{F_{hqs(+veya-)}}{F_h^*} = \frac{a}{\left[\frac{(\eta_{maks} - c_1)}{H_s}\right]^b} C \qquad (3.26)$$

Tablo 3.30 Deney verilerinin alt ve üst sınırları için katsayılar

Dalga yükü ve yapılandırması	$C_{üst}$	C_{alt}
Kıyı tarafındaki yatay kuvvetler, F_{hqs+} (deniz tarafındaki kiriş)	2	0.25
Kıyı tarafındaki yatay kuvvetler, F_{hqs+} (içteki kiriş)	1.8	-
Deniz tarafındaki yatay kuvvetler, F_{hqs-} (deniz tarındaki kiriş)	2	0.15
Deniz tarafındaki yatay kuvvetler, F_{hqs-} (içteki kiriş)	3	-

Kritik durumlar hariç (3.23) ve (3.25) deterministik ifadelerinin kullanılması yeterlidir. Ancak önemli yapılarda probabilistik yaklaşımlarla hesaplamalar kontrol edilebilir.

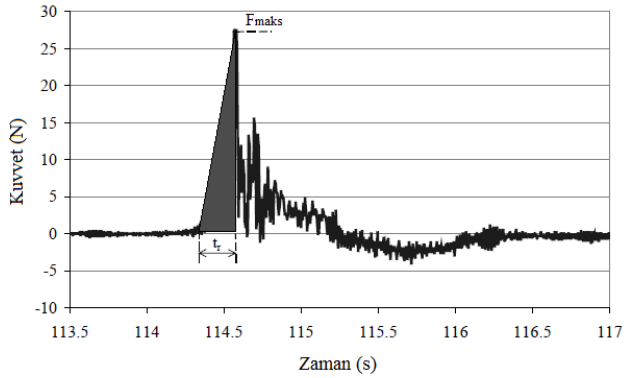
Anlık çarpma kuvvetinin belirlenmesi aşağıdaki ifade kullanılarak yapılabilir. a ve b katsayıları Tablo 3.31'de verilmiştir.

$$\frac{F_{imp}}{F_{qs+}}.\frac{P_{maks}}{p_{qs+}}=\frac{a}{(t_r/T_m)^b} \quad (3.27)$$

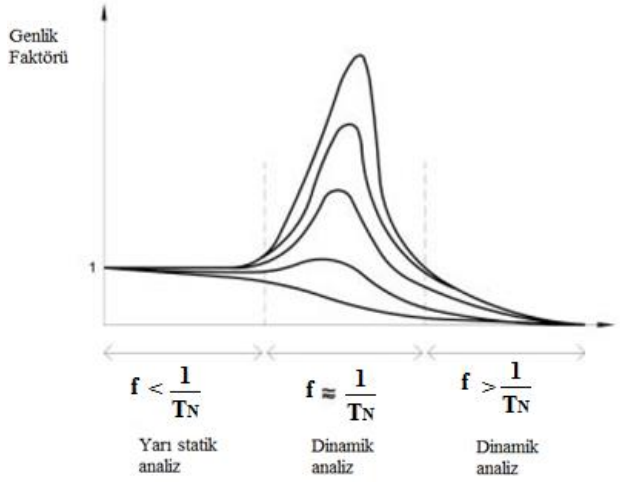
Tablo 3.31 Çarpma kuvveti ile yükselme zamanı arasındaki ilişki için katsayılar

		Orta dereceli koruma		Üst limit	
Yük	Eleman	a	b	a	b
Düşey Kuvvet	Döşeme (İçteki ve deniz tarafındaki eleman)	0.4	0.7	1.0	0.7
Düşey Kuvvet	Kiriş (İçteki ve deniz tarafındaki eleman)	0.5	0.9	1.0	0.9
Yatay Kuvvet	Kiriş (İçteki eleman)	0.5	0.9	1.0	0.9
Yatay Kuvvet	Kiriş (Deniz tarafındaki eleman)	1.0	0.9	1.5	0.9
Yatay Basınç	Kiriş	0.7	0.3	0.7	0.7

Yapının davranışı yapının doğal frekansı $1/T_n$ ile yükün frekansı f arasındaki ilişkiye bağlıdır. Dalga kuvveti için, f yükün yükselme zamanına t_r eşittir (Şekil 3.20). Yarı statik kuvvet tipik olarak 0.25 – 0.5xT (dalga periyodu) zaman aralığında meydana gelmektedir. Yapının dinamik davranışı Şekil 3.21'de özetlenmiştir.



Şekil 3.20 Deniz tarafındaki döşeme elamanı üzerinde düşey kuvvetin değişimine örnek (McConnell vd., 2003)



Şekil 3.21 Dinamik davranış (McConnell vd., 2003)

4. YÜZEN İSKELELER

Bu bölümde verilen tasarım yöntemleri dalgalardan, gel-git akımlarından ve rüzgarlardan oluşan meteorolojik ve hidrolik olayların zayıf olduğu yerlerde, güvenli su alanlarında ve liman içinde uygulanabilir.

Bu tip yapıların kullanım amaçlarına bağlı olarak yapı performans sınıfı belirlenmelidir. Örneğin Ro-Ro ve feribot terminallerinde kullanılan yüzen iskeleler normal yapı sınıfında dikkate alınabilirken, yat limanlarında kullanılan yüzen iskeleler basit yapı sınıfında dikkate alınabilecektir. Çünkü bu tip yapılar için tasarım yükleri oldukça farklıdır. Bu tip yapılar için yapının kullanımına göre ek yükler tanımlanmalıdır.

Bu tip yapıların tasarımında dalga ve akıntı ikliminin belirlenmesi gerekir ve yeterli bilginin bulunmaması durumunda fiziksel model deneylerinin yapılması önerilir.

Diğer performans kriteri ise iskele hava payıdır, bu bağlanacak tasarım gemi veya tekne özelliklerine bağlıdır. Yük elleçleme ve yolcu indi bindileri güvenle yapılabilmelidir. Endüstriyel tesislerde kullanılacak sabit rıhtıma bağlı (kazık mesnetli) yüzen iskeleler için D1 deprem düzeyinde tasarım yapılmalıdır.

Stabilite için yüzme hesapları dikkate alınan tasarım yükleri altında yapılmalıdır. Tasarım yükleri emniyetli olarak bağlama elemanlarına aktarılmalıdır. Bağlama elemanları halat ya da zincir ile bağlandıkları sabit yapı ya da deniz tabanına yerleştirilen çapa (anchor), dip çivisi (screw pile mooring) ile beton tonoz gibi yapı elemanlarıdır (bu tip elemanlar Bölüm 8.3'de ayrıca anlatılmıştır).

Özellikle ticari liman terminallerinde tasarlanan yüzen iskelelerde gemi çarpması gibi kaza yükleri de dikkate alınmalıdır.

Bu tip yapılar iki farklı tipte planlanırlar;

(i) Monoblok birimler

(ii) Çoklu üniteli yüzer iskele

dir. Bu yapılar betenorme, çelik, alüminyum ve polietilen malzemelerden imal edilebilmektedir.

Şekil 4.1'de çoklu üniteye sahip yüzen iskelenin temel bileşenleri ve dubaların yapısı gösterilmektedir. Yüzen rıhtım dubası, dubaları karaya bağlayan bir bağlantı köprüsü, dubaları birbirine bağlayan geçiş köprüleri, dubaları deniz tabanına bağlama zincirleri ve bağlama ankrajlarına sahiptir.

Çeşitli yüzen yapıların tasarımı bu bölümde verilen yönetmelikler çerçevesinde gerçekleştirilmelidir. Daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulması durumunda OCDI, BS, PIANC, ASCE gibi uluslararası kuruluşların güncel yayınlarındanda faydalanılabilir.

4.1 Tasarım Prensibi

Yüzen iskeleler; yük elleçlemesi ile yolcu ve araçların inip binmesi sırasında yeterli stabiliteyi, güveni ve dayanıklılığı verecek şekilde tasarlanmalıdırlar. Ayrıca bağlama zincirleri ve ankrajlarını kapsayan bağlama sistemine etkiyecek olan dış kuvvetlere karşı da yeterli stabiliteye sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır.

Bu tip yapılar mümkün olduğunca dalga yüksekliğinin 1 m'yi ve akıntı hızının 0.5 m/s'yi geçmeyen su alanlarında tasarlanması uygundur. Rüzgar hızı en az 25 m/s alınmalıdır.

Dalga, akıntı ve rüzgar ve gemi yanaşma yüklerinin bulunmasında Bölüm D.3'de verilen bağıntılar kullanılacaktır.

Yat limanları için tasarlanacak yüzen iskelelerde, yatların rüzgar alanları için “Ekler Tablo E8” de verilen değerler kullanılabilir.

4.2 Duba Tasarımı

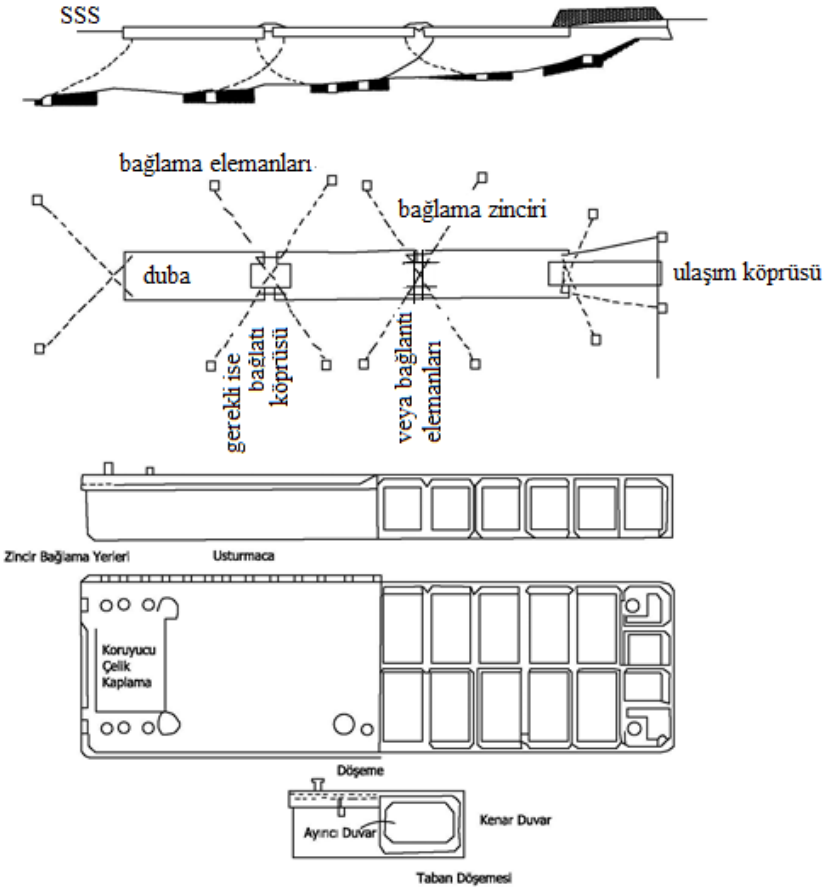
1 Dubanın Boyutları;

Bir duba kullanım amacına uygun yüzey alanına ve hava payına sahip olmalıdır. Dubanın boyutları; üzerine etkiyen dış kuvvetlere ve yüklere karşı stabil olmalıdır.

2 Dubaya Etkiyen Dış Kuvvetler ve Yükler

Bir dubanın tasarımında hesaba alınacak olan dış kuvvetler ve yükler;

a) Statik ve hareketli yük
b) Geçişler ve/veya bağlantı köprülerinin reaksiyon kuvvetleri
c) Hidrostatik basınç
d) Ölü ağırlık
e) Stabilitenin sağlanması için kullanılan ağırlık
f) Dalga, rüzgar ve akıntı kuvveti (Bölüm 2.3’de tanımlanmıştır)



Şekil 4.1 Duba parçalarının gösterimi

Usturmaca reaksiyon kuvveti, dalga kuvveti, akıntı kuvveti ve dinamik su basıncı, kritik koşullar mevcut olmadığında göz önüne alınmaz. Ancak, dubanın dalga etkisine maruz kalabileceği gibi bir risk varsa bu kuvvetleri dikkate almak gerekmektedir. Bu durumda, bağlama kuvveti dubanın hareketleri göz önünde bulundurularak hesaplanmalıdır.

Ticari limanlarda planlanan; yüzen iskelelerde genellikle yolcular için 5.0 kN/m^2 lik hareketli yük alınır ve genellikle yolcu gemilerine inip/binen insanlar için kullanılır. Trafik yükü olan yüzen iskelelerde, kamyon yükü olarak genellikle 20.0 kN/m^2 dikkate alınır. Kuru ya da sıvı dökme yük için hareketli yük üniform ise 15.0 kN/m^2 olarak alınır.

Yat limanları gibi tesislerde kullanılan yüzen iskeler daha düşük hareketli yüklere maruz kalmaktadır. Bu yükler Tablo 4.1'de verilmiştir. Ancak bu iskelerde golf arabaları gibi araçlar veya çok fazla yaya kullanımı söz konusu ise bu yükler 2 kat artırılabilir.

Tablo 4.1 Yat limanlarında yüzen iskelede hareketli yükler (ASCE, 2012)

Yüzen iskele aktiviteleri	Üniform yayılı yük	Tekil yük
Sınırlı geçiş	1.4 kPa	1.4 kN (dubanın kenarından 300 mm daha yakın değil)
Sınırlanmamış yaya kullanımı	1.9 kPa	1.8 kN
Sınırlanmamış yaya kullanımı ile golf araçlarının da kullanımına açık	2.4 kPa	2.2 kN

Yüzen iskelelerin su üstünde kalan hava payları tasarım gemi ya da teknesine bağlı olarak belirlenir. Hava payı aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir.

$$h' = d - \frac{W_l}{\gamma_w A} \qquad (4.1)$$

burada h' hava payı (m), W_l duba ağırlığı (kN), d duba yüksekliği (m), γ_w suyun özgül ağırlığı (kN/m^3), A dubanın yatay kesit alanı (m^2) dır.

Yüzen dubalara tesir eden dalga kuvvetlerinde, dubanın tasarım fırtınasına karşı koyabilecek şekilde tasarlanması istenir.

Rüzgar kuvvveti duba tarafından bağlama zincirlerine aktarılırlar bu nedenle dubalar rüzgar kuvvetine karşı koyabilecek şekilde tasarlanmalıdırlar.

Akıntı kuvvetleri, proje alanında yapılan ölçümler ve modelleme çalışmalarından bulunan akıntı hızları kullanılarak hesaplanılır.

Yüzen iskele ünitelerinin sistem seçiminde (monoblok veya çok yüzdürücülü) ve boyutlandırılmasında kullanım gereksinimleri ile buna bağlı tasarım yükleri ve stabilite kapasiteleri birlikte ele alınmalıdır.

Bağlantı elemanlarının kapasiteleri özenle seçilmelidir. Bağlantı noktalarında dinamik davranışa cevap verebilecek yeterli serbestlik koşulları sağlanmalıdır.

Betonarme monoblok üniteler beş yüzlü ya da altı yüzlü olarak tasarlanabilir. Beş yüzlü tasarlandığında açık yüzü tabanda olmak üzere dört bir yanı betonarme perde ve üstü betonarme döşeme olarak, kısa yönde iç perde bağlantıları ile gerekli eksen ve konumlarda, yatayda ve düşeyde, kesit boyutları büyütülerek betonarme bir çerçeve sistemi oluşturulmalıdır.

Betonarme sistemde korozyona karşı sıcak daldırma galvaniz ya da paslanmaz çelik donatı kullanılmalıdır. Ünitenin iç dolgu malzemesi yeterli yoğunlukta (en az 16 kg/m^3) genleştirilmiş polistyren köpük olmalıdır. Tüm bağlantı elemanları sıcak daldırma galvaniz ya da paslanmaz çelikten imal edilmelidir. Betonarme monoblok yüzer iskele bloğu altı yüzlü beton olduğunda da yukarıdaki gereklilikler geçerlidir.

4.3. Dubanın Stabilitesi

Dubalar kullanım amaçları için istenen yapısal stabilite seviyesini güvende tutacak şekilde tasarlanmalıdırlar. Dubanın stabilite hesaplarında, aşağıdaki koşullar yerine getirilmelidir;

a) Duba yüzen kütlenin stabilite koşulunu sağlamalı ve istenilen hava payına sahip olmadır. Bağlantı köprüsünden gelen reaksiyon kuvvetleri ve dubanın üstünden gelen sürşarj ve duba içine sızan su ağırlığı da gözönüne alınmalıdır.

b) Duba stabilitesi, güverte üstündeki tüm sürşarj, sadece güvertenin bir tarafında yüklü ve boyuna simetri eksenine bölünmüş ve reaksiyon kuvveti de bu taraftan etkimesine rağmen yüzen kütlenin stabilite koşulu ile dubanın eğiminin 1:10'a eşit veya daha küçük olacak şekilde sağlanması gerekmektedir.

Dubanın stabilitesinin incelenmesinde dubanın içine sızan suyun yüksekliği dubanın yüksekliğinin %10'u olarak alınır. Hava payı bu durumda en çok 0.5 m civarında alınır.

Duba düzgün yayılı bir yüke maruz kaldığında, (4.2) ifadesini sağlaması durumunda stabil olduğu kabul edilebilir.

$$\frac{\gamma_w I}{W} - \overline{CG} > 0 \qquad (4.2)$$

burada; I sakin suda enkesit alanının boylamasına eksene göre geometrik atalet momenti (m^4), W dubanın ağırlığı ve düzgün yayılı yük (kN), γ_w deniz suyunun özgül ağırlığı (kN/ m^3). $\overline{CG}$ ağırlık ve kaldırma kuvveti merkezi arasındaki mesafedir.

Duba sızmadan dolayı kısmen dolduğunda, (4.3) ifadesi sağlandığı takdirde stabil kabul edilir. Denklemdeki W, I, C, ve G parametreleri su dolu duruma aittir.

$$\frac{\gamma_W}{W(I-\Sigma i)} - \overline{CG} > 0 \qquad (4.3)$$

burada; i dubanın dönme eksenine paralel her bölme içindeki su yüzeyinin merkez eksenine göre geometrik atalet momenti (m^4) dir.

Duba eksantrik yüke maruz kaldığında, (4.4) ifadesinden bulunan tanα değeri (4.5) ve (4.6) ifadesini sağlıyorsa stabil kabul edilebilir (Şekil 4.2).

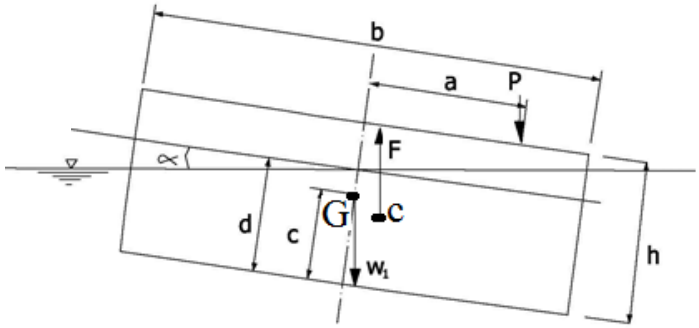
$$(W_1+P)\left[b^2 \tan\alpha / (12d\cos^2\alpha) - \left((b^2/24d)\tan^2\alpha + c-d/2\right)\tan\alpha\right] - P\left[a+(h-c)\tan\alpha\right] = 0 \qquad (4.4)$$

$$\tan\alpha < 2(h-d)/b \qquad (4.5)$$

$$\tan\alpha < 1/10 \qquad (4.6)$$

burada;

W_1 : Dubanın ağırlığı (kN)
P : Eksantrik yükün toplam kuvveti (kN)
b : Dubanın genişliği (m)
h : Dubanın yüksekliği (m)
d : P dubanın merkezine uygulandığında dubanın su çekimi (m)
c : Dubanın ağırlık merkezinin tabandan ölçülen yüksekliği (m)
a : P'nin dubanın merkez ekseninden sapması (m)
α : Dubanın eğim açısı (°)



Şekil 4.2. Eksantrik yük altında dubanın stabilitesi (OCDI, 2009)

4.4 Dubanın Tekil Elemanların Tasarımı

Dubayı oluşturan tekil parçalara etkiyen gerilme hesapları, dış kuvvetler ve her bir parçaya etkiyen yükler ve yapısal karakteristikleri göz önünde bulundurularak yapılır.

1. Döşeme

Bir döşeme plağı normalde iki yönlü plak olarak ve dört yandan bağ kirişleri ve yan perde duvarlarla aşağıda verilen yük kombinasyonlarından en büyük gerilmeye karşı dayanacak şekilde tasarlanır.

a) Dubaya sadece statik yük etkidiğinde;
Statik yük ve ölü ağırlık
b) Dubaya hareketli yük etkidiğinde;
Hareketli yük ve ölü ağırlık;
c) Ulaşım köprüsünün destek noktası dubaya oturduğu durumda;
Ulaşım köprüsünün destek noktasının reaksiyon kuvveti ve ölü ağırlık

2. Yan Perde Duvarlar

Yan perde duvar normalde duba 0.5 m güvertenin üstünden itibaren battığı zaman, etkiyen hidrostatik basınca karşı döşeme plağı, taban plağı ve yan duvarlar veya bağ kirişlerle dört yönde sabitlenen iki yönlü plak olarak tasarlanır.

3. Taban Döşemesi

Taban döşemesi, normalde duba güvertenin üstünden itibaren 0.5 m battığı zaman etkiyen hidrostatik basınca karşı yan perde duvarlar veya bağ kirişlerle dört yönde sabitlenen iki yönlü plak olarak tasarlanır.

4. Bölme Duvarları

Bölme duvarı dört yönde sabitlenen plak olarak tasarlanır.

5. Bağ Kirişler ve Destekler

Döşeme plağının, taban plağın ve yan perde duvarların bağ kirişleri ve orta destek normalde maksimum yük dubanın döşeme plağına etkimesi ve dubanın su çekimi için hidrostatik basıncın boyuna eşit olması koşulu altında rijit çerçeve kutu kesitli olarak tasarlanır.

6. Dalga hareketleri göz önüne alındığında, kesit kuvvetleriyle ilgili hesaplamalar Muller denkleminin " Prestressed Concrete Barge" veya DNV kuralıyla yapılır (OCDI, 2009).

4.5 .Bağlama Sisteminin Tasarımı

4.5.1 Bağlama Metodu

Yüzen bir rıhtım dubasının bağlanma metodu, yükleme alanına uygun doğal koşullar göz önünde bulundurularak seçilmeli ve böylece yüzen rıhtım kullanım amacına bağlı olarak yerine getirilebilmelidir.

Tonoz - zincir ile yapılan bağlama sistemleri , su seviyesi değişimlerinin az olduğu bölgelerde sıklıkla tercih edilir. Su seviyesinin fazla değiştiği yerlerde ise bu değişimlere uyum sağlayacak şekilde kazıklı bir bağlama sistemi tercih edilebilir. Bazı durumlarda yüzer elemanların yatay hareketlerini de kontrol etmek için kazıklı bağlantılar kullanılması gerekebilir.

Güncel uygulamalar, ağır zincir elemanlarda yapılan bağlamaların dezavantajlarını azaltmak için kauçuk ve esnek halat ile bağlamalar ve zincir-halat komposit sistemleri de içermektedir.

4.5.2 Bağlama Zincirinin Tasarımı

Dış Kuvvetlerin Tasarımı

Bağlama zincirlerinin yapısı en büyük kuvvet etkisinde dubanın pozisyonunu güvenli tutacak şekilde uygun bir metodla denenebilir.

1. Bu bölümde verilen yöntemler genellikle yüzen iskele tasarımı için kullanılan zincirle bağlanmış dubalar için uygulanır.
2. Dış kuvvetler esas alınarak aşağıdakilerden en büyük toplam kuvveti verecek kombinasyon kullanılabilir.
   a) Usturmaça reaksiyon kuvveti ve gel-git kuvveti
   b) Gemilerin bağlama çizgilerinin çekme kuvveti ve gel-git kuvveti
   c) Dalga kuvveti ve yerel akıntı ile gel-git kuvveti

Zincirin Yerleştirilmesi

Her zincir, zincir deliği boyunca dubanın dört köşesinde bulunan zincir yuvalarına oturtulmalı ve deniz tabanına ankrajla sabitlenmelidir.

Zincirin Çapı

Zincirin çapı, dubaya etkiyen dış kuvvetlerin tasarımında belirlenen kuvvetlerden dolayı oluşan kuvvetlerde kopmayacak şekilde seçilmelidir.

Her zincir üzerine etkiyen maksimum gerilme zincirin ve dubanın dinamik analizi yoluyla tanımlanmalıdır. Bu hesap yöntemi çok zor olacağı için statik analiz yöntemi ikinci en iyi yöntem olarak kullanılabilir. Zincir normalde sadece zincire etkiyen dış kuvvetlere direnç gösterecek şekilde tasarlanır (Şekil 4.3).

Zincire etkiyen maksimum gerilme aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$T=P\sec\theta_2 \tag{4.7}$$

Halatların ankrajına etkiyen yatay kuvvet, dubaya etkiyen yatay kuvvete ve ankraja etkiyen düşey kuvvete eşittir.

$$V_a=P\tan\theta_1 \tag{4.8}$$

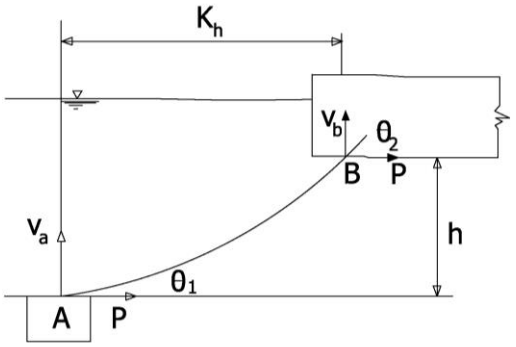
Zincirle duba arasındaki noktaya etkiyen düşey kuvvet (4.9) ifadesi ile verilmiştir

$$V_b=P\tan\theta_2 \tag{4.9}$$

Zincirin uzunluğu ℓ ve birim uzunlukta zincir ağırlığı w kabul edilerek (4.10). ve (4.11) ifadeleri. kullanılarak θ_1 ve θ_2 açıları hesaplanır.

$$\ell = P/w\left(\tan\theta_2-\tan\theta_1\right) \tag{4.10}$$

$$h=P/w\left(\sec\theta_2-\sec\theta_1\right) \tag{4.11}$$



Şekil 4.3 Bağlama zinciriyle ilgili semboller

Yatay kuvvet dubaya etkidiği zaman bağlantı ankrajı ve duba arasındaki mesafe (4.12) ifadesinden hesaplanır. Böylece dubanın orjinal pozisyonuna göre yatay yöndeki ötelenme mesafesi hesaplanabilir.

$$K_h = P/w\left[\sinh^{-1}(\tan\theta_2) - \sinh^{-1}(\tan\theta_1)\right] \quad (4.12)$$

Normal çaptaki bir zincirin yaklaşık olarak düz bir çizgiyle gösterildiği kabul edilerek (4.7) ifadesinden (4.12) ifadesine kadar kullanılarak;

$$\theta_2 = \theta_1 = \sin^{-1}(h/\ell) \;\; ve \;\; K_h = \sqrt{\left(\ell^2 - h^2\right)} \quad (4.13)$$

bulunur. Burada ;

T : Zincire etkiyen maksimum gerilme (kN)
P : Yatay dış kuvvet (kN)
V_a : Bağlama ankrajına etkiyen düşey kuvvet (kN)
V_b : Dubayla zincir arasındaki noktaya etkiyen düşey kuvvet (kN)
θ_1 : Zincirin zincirle bağlama ankrajı arasındaki noktayla yatay düzlem arasında yaptığı açı (º)
θ_2 : Zincirin, dubayla bağlama zinciri arasındaki noktayla yatay düzlem arasında yaptığı açı (º)
ℓ : Zincirin uzunluğu (m)
w : Zincirin su içindeki birim uzunluk ağırlığı (kN / m)
h : Duba tabanının altındaki su derinliği (m)
K_h : Zincirle duba arasındaki noktayla bağlama ankrajı arasındaki yatay mesafe

Zincir çapının tanımında, zincirin aşınma, korozyon ve deniz canlılarının etkisiyle mukavemetinin azalacağı göz önüne alınmalıdır. Buna ek olarak, zincir üzerinde periyodik kontroller ve gerektiğinde yenileme gibi uygun bakım yapılmalıdır. Zincirde çekme emniyet katsayısı, kırılma (kopma) yüküne göre en az 3 olmalıdır.

4.6 Bağlama Ankrajının Tasarımı

(A) Dış Kuvvetlerin Tasarımı

Bağlama zincirinin tasarımında kullanılan **(**4.12) ifadesi bağlama ankrajının tasarımında da kullanılabilir.

Düşey Kuvvet

$$V_a = P\tan\theta_1 \quad (4.14)$$

Yatay Kuvvet (P)

V_a , P ve θ_1 için Şekil 4.3'e bakınız.

(B) Bağlama Ankrajının Tasarımı

Bağlama ankrajı (çapa, beton blok (tonoz), kazık gibi) bağlama zincirine etkiyen maksimum gerilmeye karşı dubayı stabil tutması beklenen direnç kuvvetini sağlamalıdır ve uygun bir güvenlik katsayısıyla tasarlanmalıdır.

Normalde aşağıda verilen kuvvetler bağlama ankrajının kuvvetleri olarak tanımlanır, fakat bağlama ankrajı için yerinde stabilite testlerinin yapılması önerilir.

(i) Bağlama Ankrajının Beton Blok Olması Durumu (Tonoz)

1. Kil

Yatay direnç kuvveti: Taban ve yan yüzeylerin kohezyonu, pasif ve aktif toprak basıncı arasındaki fark.

Düşey direnç kuvveti: Batık ağırlık, su içindeki etkili aşırı yük

2. Kum

Yatay direnç kuvveti: Taban sürtünme kuvveti, pasif ve aktif toprak basıncı arasındaki fark.

Düşey direnç kuvveti: Batık blok ağırlığı, su içindeki aşırı yük

Taban sürtünme kuvvetinin hesabında kullanılan düşey kuvvet bloğun batan ağırlığıyla, bloğa etkiyen zincir gerilmesinin düşey bileşeni arasındaki farka eşittir.

Sürtünme katsayısı en az 0.50 alınır. Kaymaya karşı güvenlik katsayısı en az 1.5, yukarı doğru kalkamaması için güvenlik katsayısı ise en az 3.0 alınmalıdır.
(ii) Bağlama Ankraj Bloğunun Çelik Olması Durumu
Yatay direnç kuvveti: Direnç kuvveti
Düşey direnç kuvveti: Batık blok ağırlığı
Çelik direnç kuvveti Tablo 4.2 'ye göre hesaplanır.

Tablo 4.2 Çelik bağlama ankrajı tutma gücü (çapa kapasitesi) (OCDI, 2009)

Yumuşak çamur	$H_t = 17\ W_A^{2/3}$
Sert çamur	$H_t = 10\ W_A^{2/3}$
Kum çakıl	$H_t = 3.0\ W_A$
Kaya	$H_t = 0.4\ W_A$

burada;
H_t : Bağlama ankrajının tutma gücü (kN)
W_A : Bağlama ankrajının batan ağırlığı (kN)
Bağlama ankrajının bloğunun stabilitesi için güvenlik katsayısı 1.2 alınabilir.

5. KIYI KORUMA YAPILARI

Bu bölümde kıyıları erozyona ve taşkınlara karşı korumak amacıyla planlanan kıyı çözümleri tanımlanmıştır. Kıyılarda planlanan çözüme karar verilmesi sırasında detaylı saha ölçümleri (Bölüm E'de belirtilen süreler ile saha gözlemleri) yapılmalıdır. Bu amaçla batimetri, kıyı çizgisi, akıntı, su seviyesi, katı madde özelliklerini belirleyen ölçümler yapılmalıdır. Bu ölçümlerin yanısıra dalga ve akıntı iklimi modelleme çalışmalarıyla belirlenmelidir. Bu çalışmalardan sonra üç ayrı soru sorularak tartışılmalıdır (Yüksel, 2011). Bunlar;

1-Kıyı korumasına ihtiyaç var mıdır?
2-Mevcut alternatifler ne olabilir?
3-Kıyıyı doğal hali ile bırakabilir miyiz, koruma nasıl olabilir?

Kıyıların erozyona uğraması durumunda yapısal ya da yapısal olmayan çözümlerle önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Yapısal çözümler kıyı duvarları, iksa, mahmuz, dalgakıran gibi "**sert yapılar**" kıyı yenileme, kum geçişi sistemleri ile oluşturulan yapay plajlar gibi "**yumuşak yapılar**" dır. Genellikle sert yapılar yerel çözüm sağlarlar. Ancak problemin ardışık kıyı bölgesine ilerlemesine de sebep olabilirler. Kıyıların kumla beslemesi ile yenilenme çalışmaları son yıllarda genellikle tercih edilmektedir. Kıyı duvarları ve iksalar (kaplamalar) "**kıyı koruma yapıları**" dır, mahmuz, ardışık dalgakıranlar ve kıyı yenileme "**kıyı stabilite yapıları**" olarak bilinmektedir.

Kıyı koruma yapıları için Tablo 5.1'de verilen hizmet süreleri önerilmektedir. Benzer koruma alanları için Tablo 5.2'deki risk değerleri önerilmektedir.

Tablo 5.1 Korunacak alanın büyüklüğüne, korunacak alanın tipine ve proje tipinin fonksiyonuna bağlı olarak önerilen L hizmet süreleri (PIANC, 2014)

Projenin tipi	Korunacak alanın büyüklüğü	Korunacak alanın tipi	L, Hizmet süresi (yıl)
Esnek: Yumuşak çözüm (Kumul veya Sedde) veya Kıyı Yenileme	Küçük	Tarım arazisi ve rekreasyonel alan	~ 20
		İkamet ve alt yapı	~ 30
	Büyük	Tarım arazisi ve rekreasyonel alan	~ 50
		İkamet ve alt yapı	~ 100
Rijit: Sert çözüm (Kıyı duvarı veya Kıyı Tahkimatı) veya Rekreasyon	Küçük	Tarım arazisi ve rekreasyonel alan	~ 50
		İkamet ve alt yapı	~ 100
	Büyük	Tarım arazisi ve rekreasyonel alan	50 ~ 100
		İkamet ve alt yapı	>100

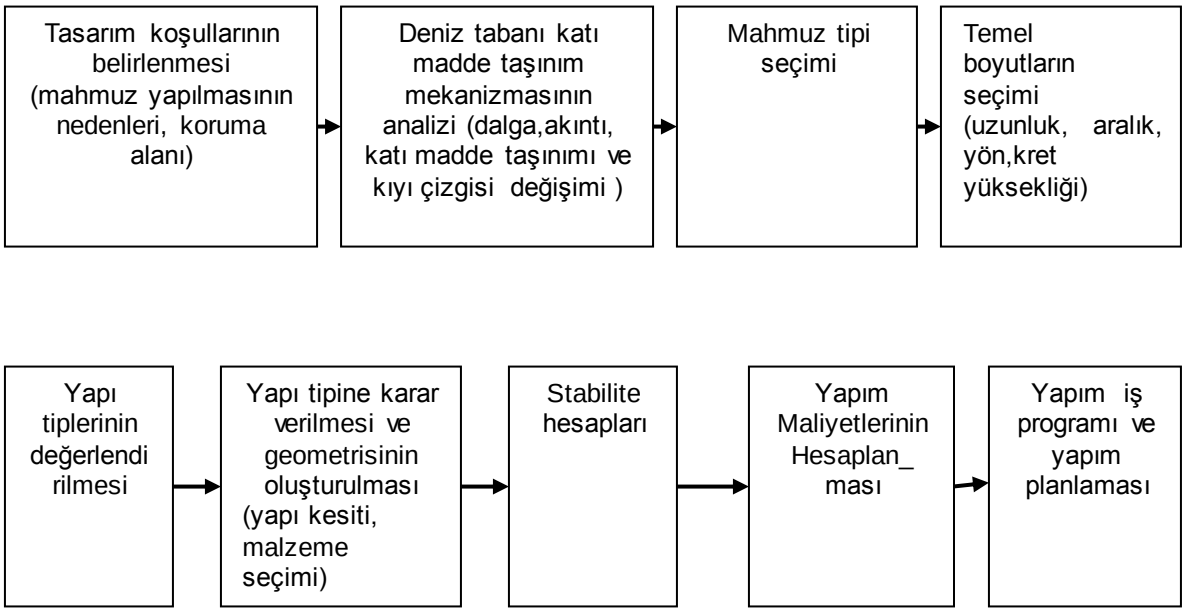
Tablo 5.2 Korunan alanın büyüklüğü ve tipine göre önerilen risk değerleri

Korunacak alanın büyüklüğü	Korunacak alanın tipi	Hizmet süresi boyunca kabül edilebilecek hasar riski
Küçük	Tarım arazisi ve rekreasyonel alan	50 – 80
	İkamet ve alt yapı	10 – 20
Büyük	Tarım arazisi ve rekreasyonel alan	25 – 40
	İkamet, alt yapı ve kamu hizmeti kuruluşları	0.1 -5

5.1. Mahmuzlar

Mahmuz veya mahmuz sistemi kıyı stabilite yapısıdır ve kıyı dengesini korumak için inşa edilirler. Mahmuz ve mahmuz sistemleri belirli bir kumsal alanı korumak, yapay olarak yapılmış veya doğal kıyı alanlarının korunması için planlanırlar.

Mahmuzlar kıyıya dik ya da belli bir açı ile inşa edilen yapılardır. Mahmuzlar kıyı boyu katı madde taşınımını etkilerler ve kıyının stabil hale gelmesini sağlarlar. Mahmuz tasarımında takip edilecek akış şeması Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 Mahmuz tasarımında takip edilecek akış şeması

Tasarım mühendisinin kıyı boyu katı madde taşınım miktarını doğru tahmin etmesi gerekmektedir. Mahmuzların katı madde tutma verimlilikleri, yapının boyuna, yüksekliğine, kıyı özelliklerine (gelen dalga yüksekliği dağılımına, tabandaki kum özelliklerine ve batimetri ile kıyı topoğrafyasına) bağlıdır. Mahmuz tasarımı yapılırken mahmuz veya mahmuz sisteminin eko sistem ve çevre üzerindeki etkileri de gözönüne alınmalıdır.

5.1.1 Mahmuz Tasarımı Aşamasında İncelenecek Konular

a) Dalga ve Gel-git

Kıyı boyu katı madde taşınımından dolayı mahmuzlar arasındaki kıyı çizgisinin değişimi orta ve uzun dönemde tahmin edilmelidir. Kıyı çizgisinin değişiminde etken olan dalga, gel-git ve ortalama su seviyesi değişimleri detaylı olarak incelenmelidir.

Mahmuz boyu, kıyı boyu katı madde taşınımını doğrudan etkileyen faktörlerden biridir. Mahmuz yüksekliğinin de kıyı boyu katı madde taşınımına etkisi fazladır. Dalga aşması, mahmuzların katı madde tutmasındaki verimliliğini azaltmaktadır. Yüksek dalgalar kısa dönemde batimetride, mahmuz topuğunda ve mansabında değişimlere veya erozyona neden olmaktadır. Bu tür sorunların çözülebilmesi için yıllık en büyük dalgaların belirlenmesi gerekmektedir. En büyük dalga yüksekliklerinin belirlenmesi için uzun dönem dalga istatistiği çalışması yapılmalıdır. Mahmuzların planlanmasında uzun dönem dalga istatistiğinden elde edilecek dalga iklim çalışması da gereklidir. Ayrıca su seviyesi değişimlerinin belirlenmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir. Mahmuz stabilite hesapları için tasarım dalgası ve en yüksek su seviyesi kullanılmalıdır.

b) Taban Malzemesi ve Jeoloji

Mahmuz yapısı ve stabilitesi; en önemli faktörler taban malzemesi ve joelojisinin belirlenmesidir. Taban malzemesi ve jeolojisinin belirlenmesi için yeterli ölçüde arazi çalışması yapılmalıdır.

c) Batimetrik Çalışma ve Kıyı Morfolojisi

Mahmuz tasarımının plandaki tasarımı ile birlikte dalga transformasyonu dalga tırmanması, dalga aşması ve mahmuz yapısının stabilitesinin kontrolu için batimetrik çalışmalar ve kıyı morfolojisinin belirlenmesi önemlidir. Belirli dönemlerde (yılda en az her mevsim sonu olmak üzere) batimetri ölçülmeli katı madde birikimi veya kaybı belirlenmelidir. Yapısal tasarım için batimetrideki değişim nedenleri belirlenmelidir.

d) Akıntı ve Katı Madde Taşınımı

Mahmuzlar, kıyı boyu katı madde taşınımını kontrol etmelerinden dolayı, tasarımcı katı madde taşınımının, yönünü, miktarını, katı madde kaynağını anlamalı ve belirlemelidir. Katı madde taşınımının miktarı ve yönü gelen dalga yönleri ile değişiklik gösterdiğinden kısa dönem ve orta vadede katı madde taşınımı ve yönü doğru belirlenmelidir. Yakın kıyı hidrodinamiği özellikle mahmuz boyunca meydana gelen akıntılar, mahmuzların katı madde tutma verimliliğini düşürdüğünden mahmuzların çevresindeki akıntı yapısı belirlenmelidir.

e) Yapım Koşulları

Tasarımcı (karadan veya denizden) yapım yöntemini, yapım dönemini ve zamanlamasını dikkate almalıdır.

5.1.2 Yapı Tipleri

a) Yapı Tiplerinin Sınıflandırılması

Mahmuzlar fonksiyonlarına (geçirgen veya geçirimsiz) göre sınıflandırılırlar. Yapı tipi sınıfları Tablo 5.3 'te verilenlerden seçilebilir.

Tablo 5.3 Mahmuz yapı tipleri

	Yapı tipi	Yapı özellikleri
Geçirgen	Taş dolgu ve beton bloklu	Düzensiz veya düzenli yerleştirilen taş veya beton bloklardan oluşan şevli yapıdır. Yapısal olarak taş dolgu dalgakıranlara benzer tasarlanır.
	Beton kazıklı	Beton kazıklar iki sıra halinde düzenlenir, bu iki sıra kazık içine orta büyüklükte taşlar doldurulur. Geçirgenliği azdır.
Geçirimsiz	Beton blok	Beton bloklardan yapılır.
	Keson ve hücre tipi yapılar	Dik duvar tipi yapılardır.
	Çiftli palplanşlı yapılar	İki hat halinde palplanşlar çakılarak içi kum veya taş doldurularak yapılan geçirimsiz yapılardır.
	Kazıklı duvar tipi	Tek sıra halinde çakılan geçirimsiz yapılardır.

Mahmuzlar yapı kesiti şekline göre de sınıflandırılır. Bunlar sırasıyla a) düşey yüzeyli, b) şevli c) kompozit kesittir. Plan görünüşünde ise a) düz b) T c) L d) Y vb. şeklinde inşaa edilebilirler.

b) Yapı tipinin seçimi

Geçirgen yapılar katı madde tutma verimliliği az olan yapılardır. Geçirimsiz ve kret yüksekliği fazla olan yapılar ise katı madde tutma verimliliği yüksek olan yapı tipleridir. Mahmuz boyu değiştirilerek kıyı boyu katı madde tutma verimliliği artırılabilir. Bu nedenle geçirimsiz mahmuzların kullanılması tercih edilebilir. Ancak geçirimsiz mahmuzlar gelen dalgayı yansıttıkları için mahmuz yapısı etrafında deniz tabanında oyulmalara neden olabilirler. Geçirgen olan yapılarda ise bu oyulmalar daha az ve onarılması daha kolaydır. Her durumda geçirgen olan mahmuzların çalışıp çalışmadığı laboratuvar deneyleri veya saha çalışmaları ile kontrol edilmelidir.

Yapı tipi ve kesiti seçilirken ;

1. Mahmuzun inşa edileceği su derinliğine, 2. Dalga kuvvetlerine, 3. Taban malzemesine, 4. Zemin özelliklerine, 5. Batimetriye, 6. Batimetrinin yapısal stabiliteye etkisinin tahmin edilmesine, 7. Maliyetine, 8. Yapılabilirliliğine, 9. Çevresel faktörlere ve kıyının kullanılabilirliğine dikkat edilmelidir.

Planda ise mahmuz şekli (I, L, Y), kıyı boyu katı madde taşınımını kontrol edebilme kapasitesine göre seçilmelidir.

5.1.3 Temel Kesit Tasarımı

a) Mahmuz boyu

Mahmuzun boyu arttıkça, katı madde tutma verimliliği artar ve aşağı kıyı yönünde erozyon da artar. Mahmuz boyu çok kısa ise katı madde taşınımının kontrolü mümkün olmayabilir. Bu nedenle mahmuz boyu, mahmuzun katı madde tutma verimliliğine bağlı olarak belirlenmelidir.

Mahmuz karada dalganın ulaşamayacağı yere kadar uzatılmalıdır. Karadaki bu nokta aylık en yüksek su seviyesi ile yıllık en yüksek dalganın tırmanma yüksekliğinin toplanması ile elde edilmelidir.

Dalga kırılma (surf) bölgesi dalga yüksekliği ile değişmektedir. Bu nedenle mahmuz uzunluğu surf bölgesinin genişliğine göre değişmektedir. Dalga kırılma koşulları belirlenerek mahmuzun katı madde tutma verimliliğine karar verilmeli ve mahmuz boyu buna göre hesaplanmalıdır. Aktif kıyı boyu taşınımında belirgin dalga yüksekliğinin 1.6 katı alınan kapama derinliği ilk yaklaşım olarak dikkate alınabilir (veya Bölüm B denk. (4.31) kullanılır) ve mahmuz uzunluğu tahmin edilebilir.

b) Kret yüksekliği

Kret yüksekliği kıyı boyu katı madde tutma verimliliğini etkileyen parametrelerden birisidir, ancak bu etkiyi gösteren herhangi bir hesap yöntemi henüz geliştirilmemiştir. Kretin maksimum yüksekliği; dalganın mahmuzdan aşmaması için yıllık oluşan maksimum dalga yüksekliğinin dalga aşma yüksekliği ile aylık en yüksek su derinliğin toplanması ile bulunur. Aşma miktarına projelendirme sırasında karar verilecek bir parametredir. Bunun için mahmuzun verimliliği ve çevresel koşullar esas alınmalıdır.

Mahmuz yapısının ekonomik olması için kret (mahmuz) yüksekliği, katı madde taşıma verimliliğine göre azaltılabilir. Ayrıca estetik ve doğa uyumu da gözönüne alınmalıdır.

c) Kret genişliği

Kıyı boyu kum taşınımında kret genişliğinin etkisi azdır. Ancak mahmuz yapısının stabilitesinde dikkate alınmalıdır.

d) Mahmuz yönü

Mahmuzlar genellikle kıyı çizgisine dik inşa edilirler ancak kıyı ile yapacakları açı detaylı çalışmalar sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bunun için fiziksel ve/veya sayısal modellemeye ihtiyaç duyulmaktadır.

e) Mahmuz aralığı

Kıyı boyunca uzanan mahmuz sisteminde mahmuz aralıkları tekil mahmuzun uzunluğu ile belirlenir. Kıyıya dik olarak planlanan mahmuzlar arasındaki mesafe genellikle deniz içindeki mahmuz uzunluğunun 2 veya 3 katı kadar alınır (X_g/ Y_g=2-3). X_g iki mahmuz arası mesafe, Y_g ise mahmuzun kıyıdan olan mesafesidir (Şekil 5.2).

Mahmuzların planlamasında kıyı yenileme çalışmasının yapılması tavsiye edilmektedir. Böylece mahmuzlardan dolayı kıyının başlangıç aşamasında davranışında meydana gelecek eozyon etkisi en aza indirilmiş olacaktır.

f) Mahmuz Sistemi Geçişleri

Genellikle aşağı kıyı bölgesinde kalan mahmuz sistemlerinin boyları Şekil 5.3'te görüldüğü gibi tam mahmuz boyundan itibaren kıyı çizgisi ile 6° açı yapan hat boyunca kısaltılmaktadır.

Mahmuz sistemlerinin kıyılara olan çevresel etkileri önemlidir. Bu nedenle tasarım öncesi kıyı çizgisi ve bölgesi ile ilgili detaylı bilgiler toplanmalıdır. Bu bilgiler ışığında sayısal model yardımıyla mahmuz uzunluğu, aralığı, kum tutma verimliliği detaylı olarak çalışılmalı ve yapısal tasarıma geçilmelidir. İnşaat işleri tamamlandıktan sonra mahmuzların kum tutma verimliliğini kontrol etmek için yılda en az dört kez kıyı çizgisi ölçümleri alınmalıdır.

Her ne kadar çoğunlukla mahmuzlar kıyıya dik tasarlansalar da, neden olabilecekleri rip akımlarını en aza indirmek, kıyı boyu taşınım üzerindeki etkisini artırmak gibi nedenlerle farklı şekillerde planlanabilmektedirler (Şekil 5.4). Ancak bu mahmuzların uygulama şekillerine sayısal model sonuçlarından sonra karar verilmelidir.

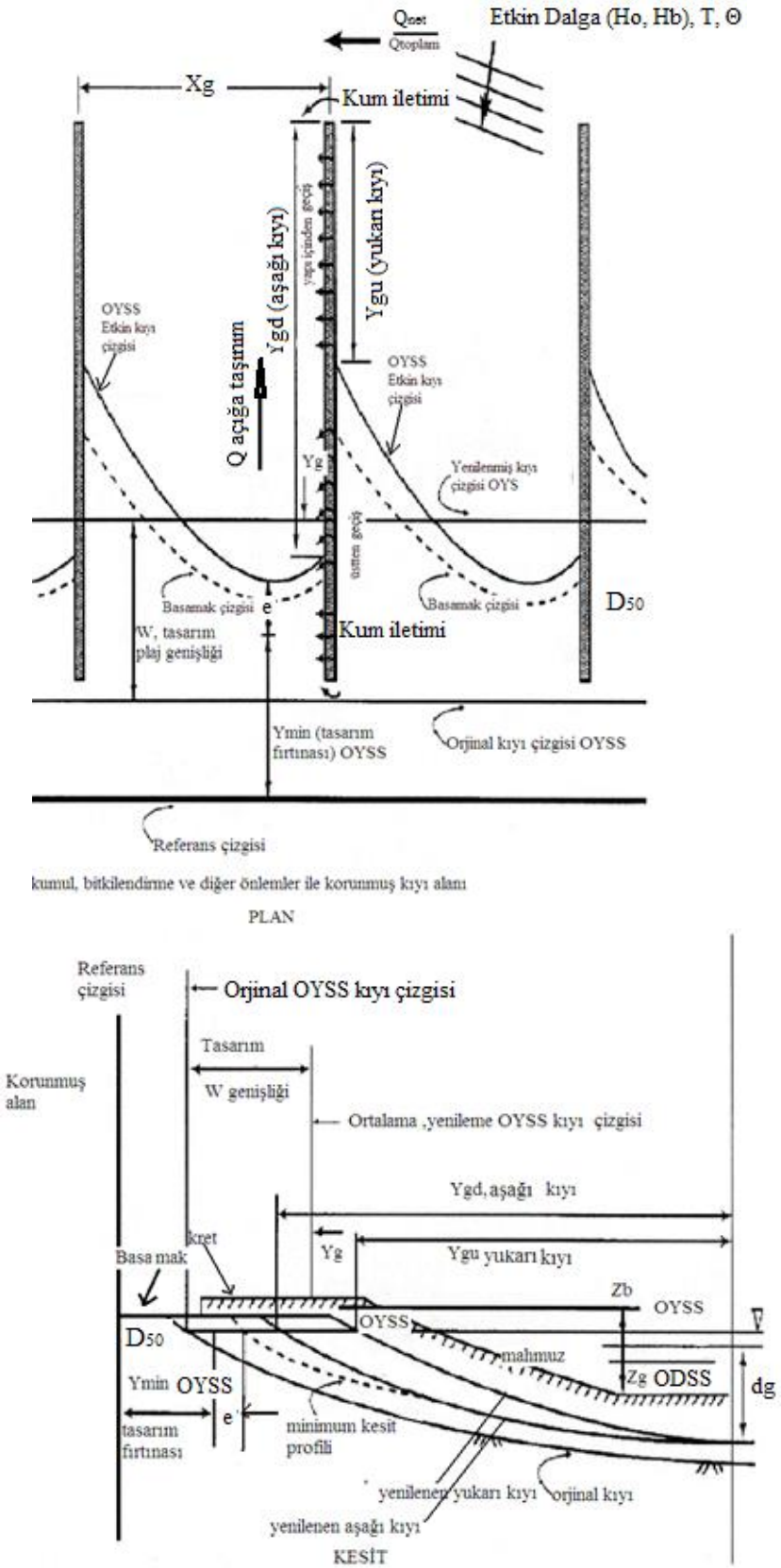
Mahmuzlar kıyıya dik taşınımın hakim olduğu kıyılarda planlanmamalıdır. Bu durumda etkin olan yapısal çözüm ardışık dalgakıranlardır.

5.2 Ardışık Dalgakıranlar

Açık deniz dalgakıranları kıyı stabilitesini ve yönetilmesini sağlamak için yapılan yapılardır. Kıyı ile bağlantısı yoktur ve kıyıya paralel inşa edilirler. Geleneksel, düşük kretli ve dinamik stabil, tek veya birkaç dalgakırandan oluşan yapılardır. Ardışık dalgakıranlar kıyıya dik taşınım modu etkin olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Ancak arkalarında korunmuş bir deniz alanı yaratmaları nedeniyle kıyı boyu taşınımını da etkilemektedir. Bu yapılar katı madde taşınım mekanizması ve istenen plaj stabilizasyonuna bağlı olarak kırılma (surf) bölgesi içinde ve dışında planlanabilmektedirler (Şekil 5.5).

Ardışık dalgakıranların planlanmasında l dalgakıran boyu, Y dalgakıranın kıyıdan uzaklığı, X_{80} kırılma (surf) bölgesi genişliği, l_g ardışık dalgakıranlar arasındaki açıklığa bağlıdır. Bu parametrelerin aldığı değerlere bağlı olarak kıyı alanı şekillenmektedir Ardışık dalgakıranlar, dalgakıranın arka tarafına dönme nedeniyle oluşan akıntılardan dolayı muska veya tomboloların oluşumuna neden olurlar (Şekil 5.6).

Ardışık dalgakıranların kıyı alanında yaratabilecekleri olumsuz koşullardan kaçınmak amacıyla kıyı yenileme çalışmasıyla birlikte uygulanması önerilmektedir (CERC, 2003). Şekil 5.7'de ardışık dalgakıranlar için aşağıda verilen boyutsuz ifadelerin içerdiği değişkenler görülmektedir.



Şekil 5.2 Mahmuz uzunlukları ve genişliklerinin şematik gösterimi (CERC , 2003)

Burada

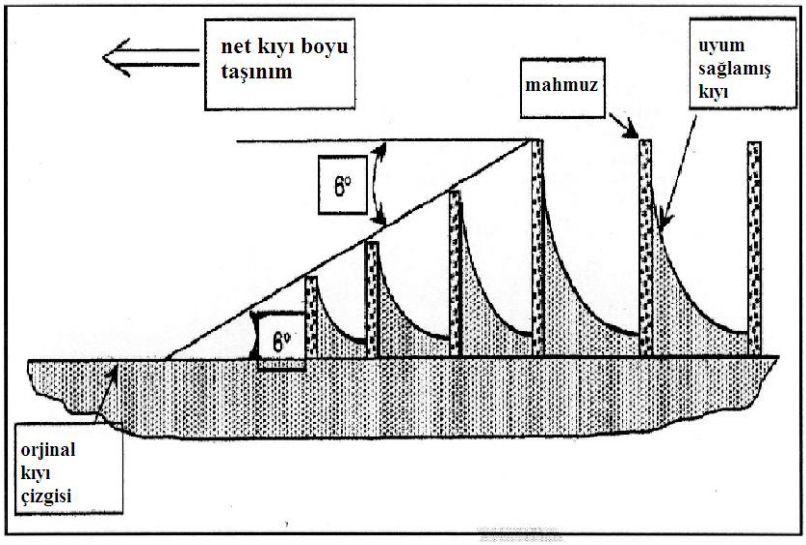
Y : Dalgakıranın kıyıdan olan uzaklığı,
l : Dalgakıranın boyu,
l_g : Ardışık dalgakıranlar arasındaki açıklık,
d_s : Dalgakıranın önündeki su derinliği.

l/Y=1-2 değeri tombolo oluşumu için uygundur. CERC (2003);

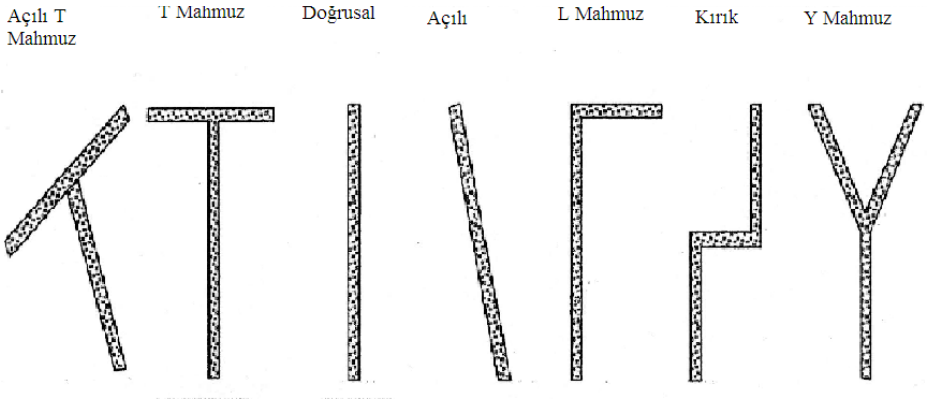
Tek dalgakıran için l/Y=1.5 - 2

Ardışık dalgakıranlar için l/Y=1.5 ($L<l_g<l$)

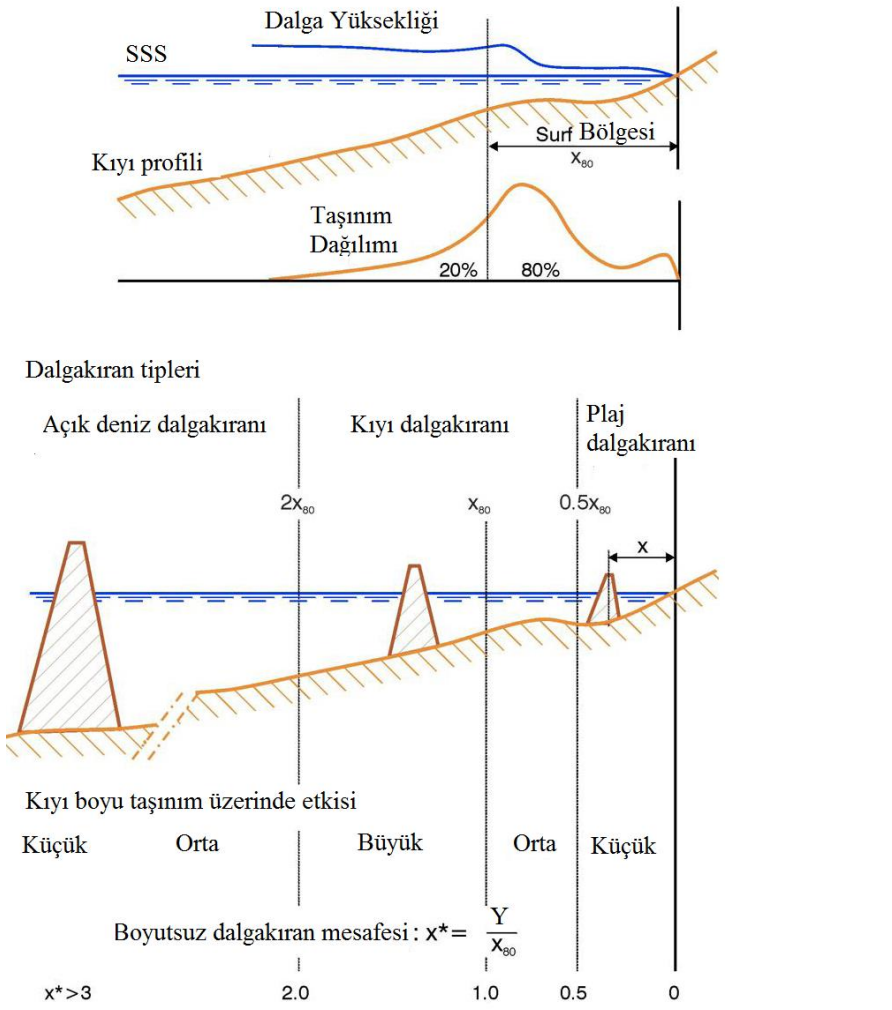
olarak önermektedir, burada L yapı önündeki dalga boyudur.



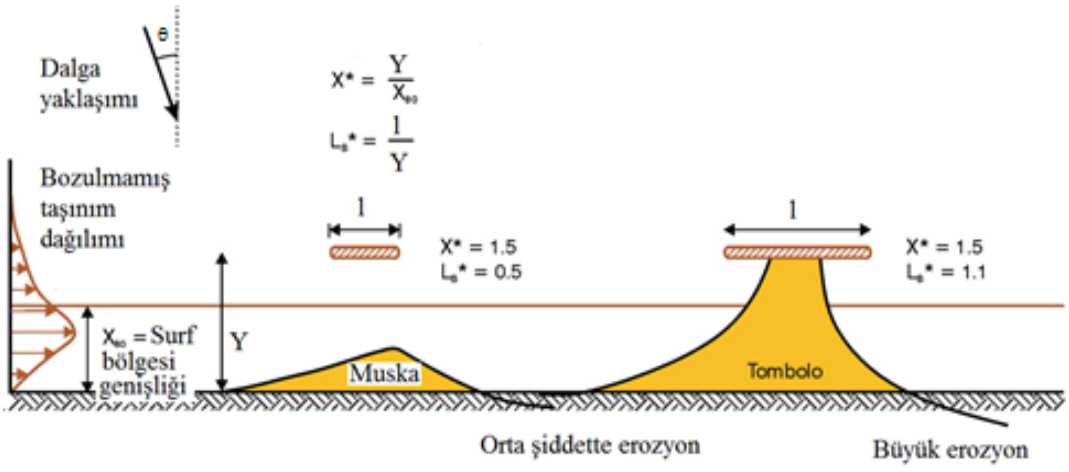
Şekil 5.3. Mahmuz ve kıyı geçiş sistemi (CERC , 2003)



Şekil 5.4 Mahmuz geometrileri (CERC, 2003)



Şekil 5.5 Ardışık dalgakıran tipleri (PIANC, 2014)



Şekil 5.6 Ardışık dalgakıranlarda etkili parametreler ve kıyı şekilleri (PIANC, 2014)

Açık deniz tarafında kıyıdan daha uzak inşa edilmiş daha kısa dalgakıranlar plaj muskası oluşumuna neden olurlar. Bunun için genellikle l/Y<1 şartı verilmektedir. CERC (2003)'e göre tek ya da ardışık dalgakıranlar için;

l/Y=0.5-0.67

dir. Ancak çok uzun mesafeler için tombolo oluşumu arzu edilmiyor ise,

l/Y=0.125

olmalıdır.

Geçirimli yapılar (kısmen batmış, büyük açıklık "l_g") tombolo oluşumu için dalga enerjisinin yeterince küçülmesini sağlamaktadırlar. Minimum kıyı davranışı için teklif edilen genellikle l/Y=0.125-0.33'tür. CERC (2003)'te kıyı davranış parametresi tanımlanmıştır, bu parametreye göre;

l_s=exp(1.72-0.41 l/Y)

ile tanımlanmıştır.

l_s =1 ise kalıcı tombolo oluşumu

l_s =2 ise periyodik tombolo

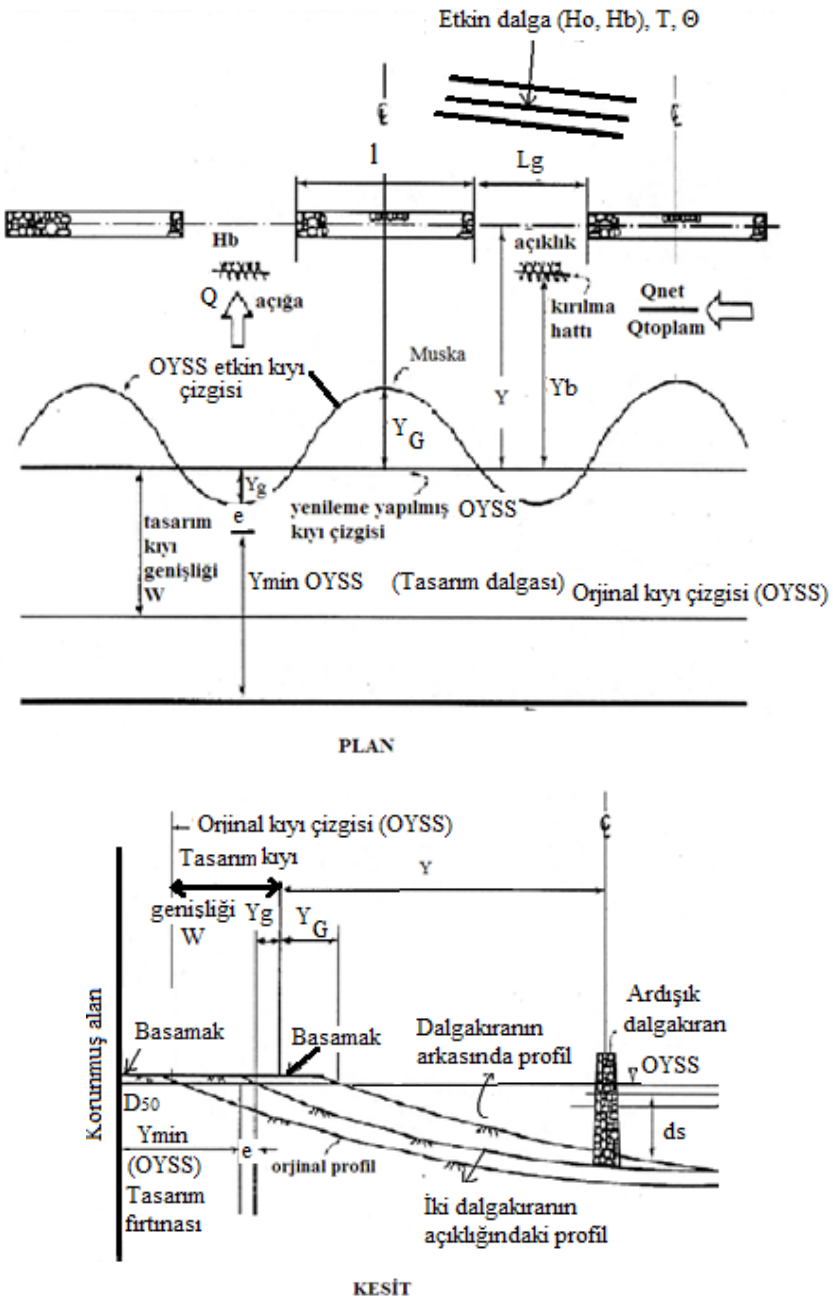
l_s =3 ise iyi gelişmiş plaj muskası

l_s =4 ise plaj muskası oluşumuna eğilim

l_s =5 ise sinüzoidal oluşum söz konusu olmaması halidir.

Tombolo oluşumunun yüzme sporlarını ve kıyı boyu taşınım mekanizmasını engelleyeceği düşünülmelidir.

Açık deniz dalgakıranlarının kıyılara olan çevresel etkileri önemlidir. Bu nedenle tasarım öncesi kıyı çizgisi ile ilgili detaylı bilgiler toplanmalıdır. Bu bilgiler ışığında sayısal modeller kullanılarak, dalgakıranların kıyı çizgisinden uzaklığı, dalgakıran uzunluğu, dalgakıranlar arası mesafe, tombolo veya muska oluşumu detaylı olarak çalışılmalıdır. Bu çalışmalar tamamlandıktan sonra yapısal tasarıma geçilmelidir. İnşaat işleri tamamlandıktan sonra kıyı çizgisindeki değişimlerin her mevsim sonu ölçümler alınarak izlenmesi uygundur.



Şekil 5.7 Ardışık dalgakıran için tanımlar (CERC,2003)

5.3 Kıyı Duvarları

Kıyı duvarları, inşa edildikleri kıyı alanını yerel olarak erozyona karşı korurlar. Bu tip yapılar kıyı koruma yapılarıdır ve kıyı alanının geri bölgesini kıyı taşkınlarına karşı korumak amacıyla da inşa edilirler. Arka taraflarında geri dolgu yapılabilir. Bu durumda geri dolgunun yaratacağı yükün hesaplanması gerekmektedir. Dalganın kıyıdan denize doğru ilerlemesini engellemek, dalganın aşarak kıyı gerisindeki yapılara zarar vermesini önlemek veya kıyı erozyonunu durdurmak için yapılan yapılar kıyı duvarları olarak isimlendirilir. Bu tip yapıların bulundukları konuma komşu kıyı alanında ve topuklarında, önlerindeki plaj alanında erozyona neden olması muhtemeldir. Bu nedenle detaylı çalışma yapılmalıdır.

Kıyı duvarlarının tasarımı için dikkate alınması gereken parametreler aşağıda sıralanmıştır;

- Dalga ve Gel-git seviyesi

Kıyı duvarındaki kret yüksekliği, dalga tırmanması ve dalga aşması sonucu kıyı duvarlarının gerisinde toplanan su miktarı ile belirlenir. Aşan suyun miktarı belirlenerek duvarın arkasında bu suyu uzaklaştıracak drenaj sistemi tasarlanmalıdır. Yapı stabilitesi hesapları ise yapıya etkiyen dalga kuvvetleri ve toprak itkileri ile hesaplanmalıdır. Bu nedenle yapı yüksekliğinin belirlenmesi için tasarım dalgası ve gel-git seviyesindeki değişimler hesaplanmalıdır.

- Zemin Özellikleri

Kıyı duvarlarının inşa edileceği yerlerde zemin özelliklerini tespit etmek için geoteknik çalışmalar yapılmalıdır. Zemin taşıma güçleri hesaplanmalıdır. Taşıma gücü zayıf olan zeminlerde zemin iyileştirmeleri yapılması gerekmektedir (Geoteknik Tasarım Esaslarına bakınız)**.**

- Deniz Tabanı ve Yakın Kıyı Batimetrisi

Deniz taban eğimi çok dik olan yerlerde dalgalar kıyıya yakın kırılırlar. Kırılan bu dalgalar büyük dalga kuvvetleri yaratırlar ve dalga aşmasına neden olurlar. Ayrıca kumsal olan kıyılarda kıyı duvarları erozyona (veya yerel oyulmalara) neden olurlar. İnşası planlanan kıyı duvarı bölgesinde kıyı dalga etkileşiminin incelenmesi için batimetri ve deniz tabanındaki malzeme niteliğini belirleme çalışmaları yapılmalıdır.

- Sismik kuvvet

Kıyı duvarı stabilite hesapları yapılırken deprem kuvvetleri yapının fonksiyonuna ya da önemine bağlı olarak dikkate alınmalıdır.

- Kıyı duvarı geri alanı

Kıyı duvarı belirli sınırlarda hasara izin vermeyecek şekilde, yapının önemine bağlı olarak dalga aşmasına izin verecek şekilde tasarlanabilirler. Kıyı duvarı arkasında yer alan alanda yerleşim yerleri veya önemli yapılar varsa dalga aşmasını minimize etmek için gerekli önlemler alınmalıdır.

- Yapım koşulları

Deniz içine yapılacak olan kıyı duvarları dalgalar ve akıntılardan etkilenirler. Çalışma süreleri kısıtlıdır. Ayrıca denizde bulanıklık varsa yapım çalışmalarını etkiler. Yüklenici bu tür zorlukları dikkate almalıdır.

- Yapı tipleri

Kıyı duvarı tasarımındaki ilk adım yapı tipininin seçilmesidir. Ekolojik koşullar, zemin özellikleri, kıyı duvarı yapım malzemeleri, akıntı koşulları ve yapım süreleri kapsamlı değerlendiridikten sonra yapı tipleri belirlenir. Yapı tipleri aşağıda sıralanmıştır;

- Eğimli Kıyı Duvarları
- Dik Kıyı Duvarları
- Kompozit Kıyı Duvarları

Kesit Tasarımı

Kesit tasarımında dikkat edilecek hususlar, kıyı duvarı yapı önü eğimi, kret kotu ve kret genişliğidir.

- Şevli yapı

Yapı önünün eğimli olarak seçilmesi, kıyı duvarının stabilitesine, ekolojik koşullara, akıntı durumlarına, zemin ve morfolojik koşullara, bağlıdır. Kıyıya etkiyecek dalga kuvvetleri büyükse uygun eğimli yapılar yapılmalıdır.

Tasarımda kret yüksekliği önemli parametrelerden biridir. Dalga tırmanması ve dalga aşmasını kontrol etmek için kret yüksekliği aşağıdaki gibi hesaplanır;

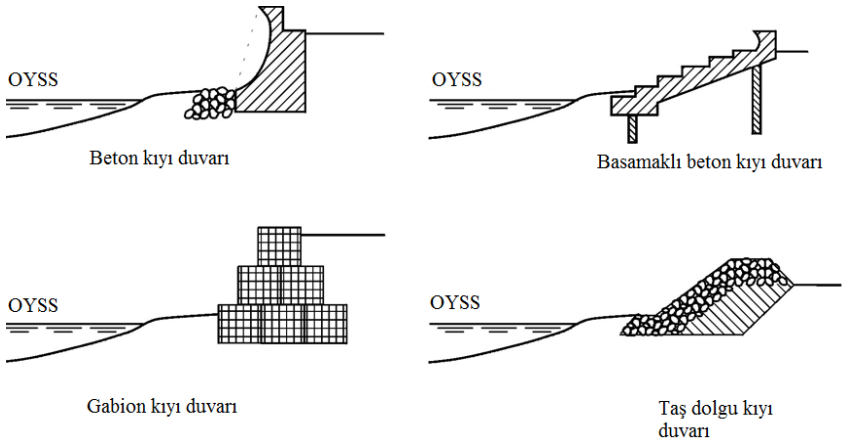
Kret yüksekliği= Tasarım gel-git seviyesi + yapı önü dalga yüksekliği + gerekli hava payı.

Kret yüksekliği hesaplanırken dalga tırmanma hesabı ve dalga aşma miktarı da hesaplanmalıdır.

Kıyı duvarlarında aşma ve tırmanma miktarını azaltmak için duvara parabolik şekil verilebilir ya da basamaklı planlanabilir (Şekil 5.8).

Kıyı duvarı taş dolgu dalgakıran tipinde de projelendirilmesi mümkündür. Bu tip yapılar dalga yansımasını azaltmaktadır.

Gabion'lardan da kıyı duvarları tasarlanabilmektedir ancak bu tip yapıların dalga etkisinin büyük olduğu kıyı alanlarında uygulanmaması önerilir. Gabion kafesleri paslanmaz çelikten yapılmalıdır.



Şekil 5.8 Tipik kıyı duvarları (PIANC, 2014)

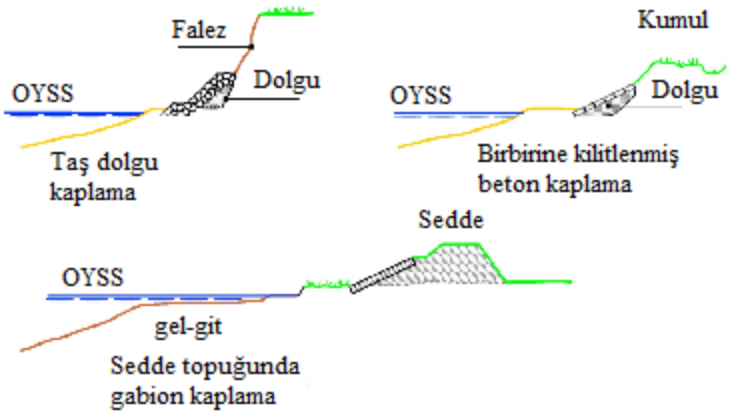
5.4 Kıyı Tahkimatları

Kıyı tahkimatları kaplama taş veya beton gibi kıyı koruması için yapılan eğimli yapılardır (Şekil 5.9). Doğal kıyı yapısını, yamaçları ve diğer kıyı sistemlerini erozyondan korumak, dalga aşmasını veya dalga yansımasını azaltmak için yapılan yapılardır. Kıyı tahkimatları;

- Koruma tabakası
- Filtre
- Topuk'tan oluşur.

Koruma tabakası dalga etkisine karşı koruma sağlamasına karşı filtre tabakası taban zemininin yıkanmasını önler. Topuk deniz tarafına doğru kaymayı engeller.

Koruma tabakası rijit veya fleksibil olabilir. Örneğin kilitlenmiş beton elemanlar rijit yapılardır. Koruma tabakasında taş, beton, beton şilte (mattress), asfalt gibi malzemeler de kullanılabilir.



Şekil 5.9 Tipik tahkimat (iksa) yapıları (PIANC, 2014)

Bu bölümde koruma tabakası taş olarak seçilen kıyı tahkimatları verilmiştir.

Kıyı tahkimatları tasarımı sırasında aşağıda verilen yol izlenmelidir.

- Tasarım yapılacak yöre için su seviyesinin değişimleri belirlenmeli,
- Tasarım dalga yüksekliği belirlenmeli,
- Tasarım dalgasına dayanabilecek uygun koruma tabakası seçilmeli,
- Koruma tabakasında kullanılacak taş büyüklüğü hesaplanmalı,
- Kret kotunun hesaplanabilmesi için tırmanma yüksekliği ve aşma hesaplanmalı,
- Drenaj tasarımı yapılmalı,
- Filtre ve alt tabakaları tasarlanmalı,
- Topuk tasarımı yapılmalı,
- Geri dolgu alanı iyileştirilmelidir

5.4.1 Koruma Tabakası Tasarımı

Koruma tabakası hesap yöntemleri "Dalgakıran Tasarımı" bölümünde detaylı olarak anlatılmıştır.

5.4.1.1 Koruma Tabakası Kalınlığı

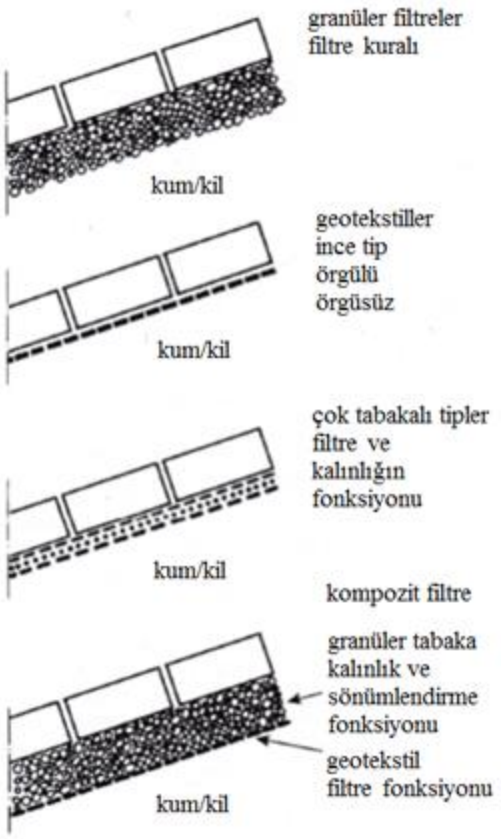
Koruma tabakası kalınlığı kullanılacak malzemeye bağlı olarak değişir. Koruma tabakası taş büyüklüğü Van der Meer formülleri ile hesaplandığında koruma tabakası kalınlığı $t_a=2D_{n50}$ olarak önerilmektedir.

Van der Meer'in önerdiği boşluk oranına göre tabaka kalınlıkları Şekil 2.9'da verilmiştir. Tahkimatların dalgakıranlara göre permeabiliteleri daha düşük olacaktır.

5.4.1.2 Filtre Tabakası Tasarımı

Pere (riprap), blok ve hasır blok (block mats), gabion ve şilte (mattress) asfalt veya beton levha veya herhangi geleneksel koruma malzemesinin altında kalan zeminin dalga etkisi ile yıkanarak erozyona uğramaması için taneli (granular) ve/veya geotekstil filtre tasarlanmalıdır. Ancak geotekstil malzemelerin bu tip yapılardaki davranışı yeterince bilinmemektedir. Bazı zemin stabilitesizliklerinin oluşması söz konusu olabilmektedir. Buna karşın taneli malzeme alttan kaldırma basıncı nedeniyle daha düşük stabiliteye neden olabilmektedir (Detaylı bilgi için BS, CIRA-CUR, PIANC'dan yararlanılabilir).

Şekil 5.10'da görüldüğü gibi taneli malzeme ya da geotekstil tek başına filtre malzemesi olarak kullanılır. Ayrıca bu malzemeler birlikte de kullanılabilmektedir.



Şekil 5.10 Filtre tasarım örnekleri

Taş kaplama, riprap, blok, gabion gibi koruma tabakası altında taneli filtre tabakası kullanılabilir. Bu tip yapılarda aşağıda verilen filtre kuralı uygulanır;

$d_{f15}/d_{b85} \leq 4\text{-}5$ stabilite ölçütü
$d_{f15} > 5\ d_{b15}$ geçirgenlik (permabilite) ölçütü
$d_{f50} < 25\ d_{b50}$ üniformluk ölçütü

Burada f ve b alt indisleri sırasıyla filtre ve taban zeminini göstermektedir.

5.4.1.3 Topuk Tasarımı

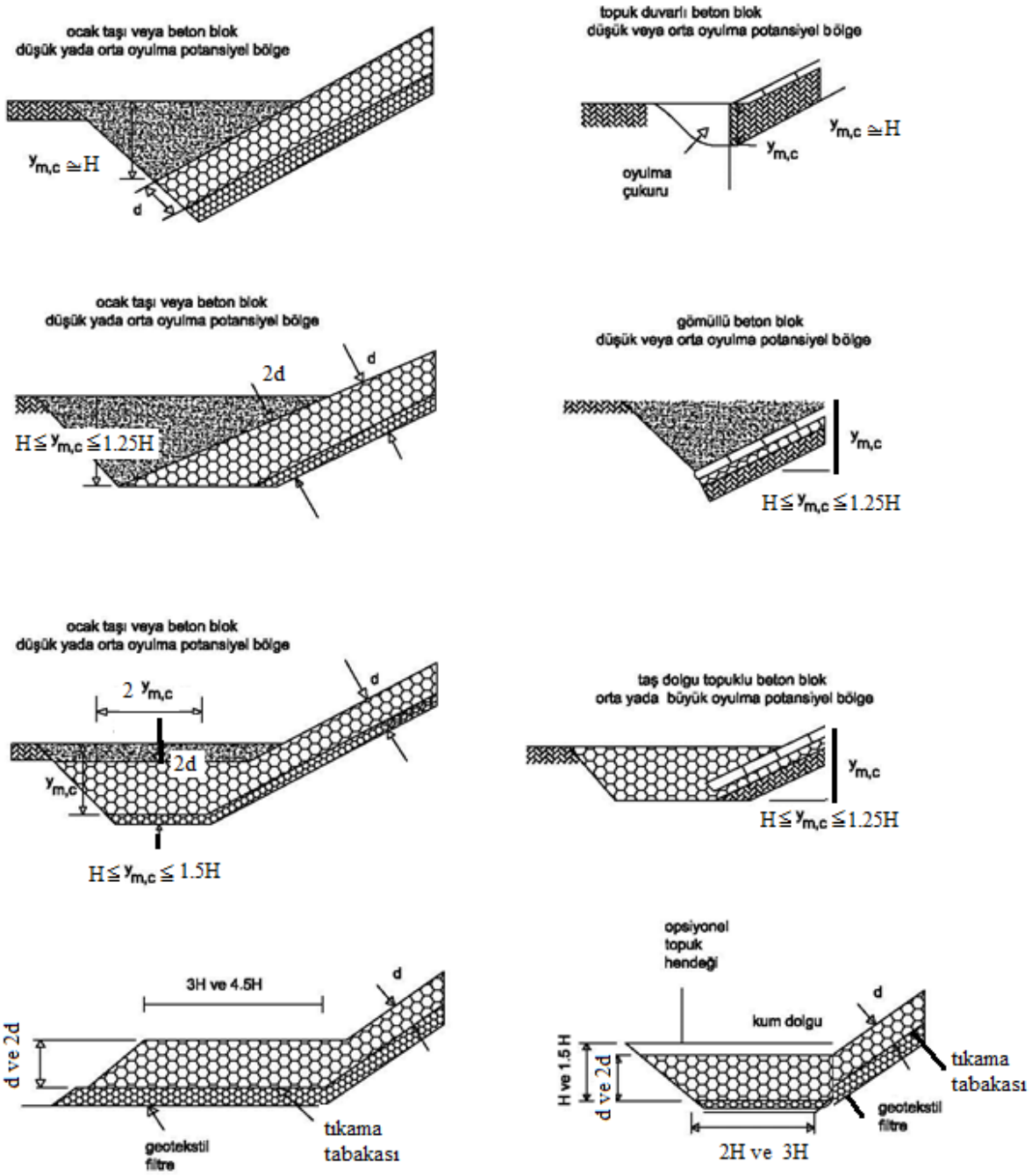
Topuk hasarı oluşması durumunda tüm koruma tabakası hasar görebilir. Bu durumdan kaçınabilmek için Şekil 5.11'de görülen topuk koruma seçenekleri uygulanmalıdır. Özellikle kıyı tahkimatı şevi üzerindeki dalga nedeniyle oluşan geri dönüş akımları ile topuk önünde oluşan dalga kırılması, topuk oyulmasına neden olabilmektedir. Bu şartlar altında, kumsal olan kıyılarda CERC (1984) topuk önünde oluşacak erozyon veya oyulma derinliği ilk yaklaşım olarak kırılmamış maksimum dalga yüksekliğine eşittir. Maksimum dalga yüksekliği ise $H_{maks}=1.8H_s$'tir (burada H_s yapı topuğundaki belirgin dalga yüksekliğidir).

Topuk önü erozyonu yapının yansıma katsayısına bağlıdır. 1/3'ten dik eğimli şevlerde yansıma oyulmaya neden olabilmektedir. Dalga ve güçlü akıntının (>1 m/s) birlikte olması durumunda kaplama tabakası boyutunun 1.3 kat artırılması tavsiye edilmektedir.

5.4.2 Dalga Aşması Miktarı (Q)

Dalga aşması kıyı tahkimatları arkasında bulunan yapılara zarar verir. Tablo 2.2'de kabul edilen aşma limitleri verilmiştir.

Şevli yapılar için dalga aşma model ve hesap yöntemi **Bölüm D.2**'de verilmiştir.



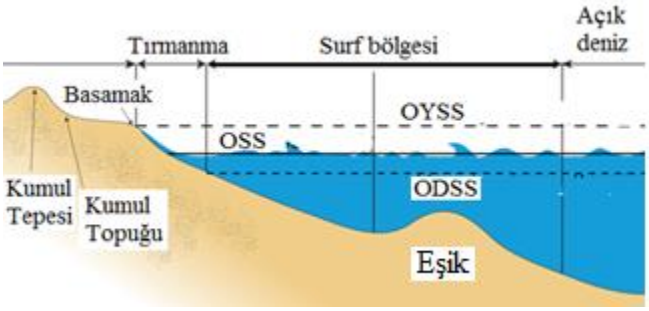
Şekil 5.11 Topuk koruma yapı tipleri (Tsinker, 2004)

5.5 Kıyı Yenileme

Bu yöntemde kıyı sistemi dışındaki bir kaynaktan sağlanan kum ile kıyı beslenmektedir. Bu kaynak açık deniz ya da kara orijinli olabilir. Kıyı yenileme işleminde, belirlenen kaynaktan kum pompalanarak ya da taşınarak kıyı bölgesi beslenir. Taşınan kumun genellikle ya beslenecek mevcut kıyının kumu ile aynı çapta ya da biraz daha büyük çapta olması istenir. Aksi durumda taşınan kum çok çabuk erozyona uğramaktadır. Aşağı kıyıda yığılan ya da tutulan kumun tekrar yukarı kıyı bölgesine taşınması da mümkündür, bu tip yenilemeye "kum geçişi (by-pass"ı) denir.

Kıyı yenileme işlemi sert stabilite yapıları ile birlikte yapılabilir. Bu yapılar; mahmuz, ardışık dalgakıran, batık dalgakıran olabilir. Büyük miktarda kumun yerleştirilmesi durumunda rüzgar etkisine karşı da stabilizasyonun yapılması gerekebilecektir. Kıyı yenileme projesi ile daha geniş bir plaj alanı ve/veya daha kalıcı kumullar yaratılmaktadır böylece yumuşak çözümle kıyı erozyonu azaltılmaktadır ve kıyı korunmaktadır. Kıyı yenileme kronik bir erozyonun önlenmesi için kalıcı bir çözümdür.

Kıyı yenileme projesinde, basamak (berm), kumul (dune), beslenen plaj (feeder beach), yakın kıyı basamağı (nearshore berm), kumul stabilizasyonu (yani kum kapanları veya bitkilendirme) veya sert yapı stabilizasyonu (örneğin mahmuz, dalgakıran) gibi özelliklerden bir veya birkaçı imal edilir. Bir kumsal kıyı alanındaki bazı özellikler Şekil 5.12'de gösterilmiştir.



Şekil 5.12 Kıyı özellikleri

Kıyı yenilemesi yapıldıktan sonraki yıl izleme yapılmalıdır ve kıyı davranışına göre çözüm üzerinde bazı stratejik değişimler yapılabilir.

Kıyı yenileme çalışmasında kullanılan kum açık denizden ya da kara alanından temin edilir bu bölge "ödünç kum alanı" olarak isimlendirilir. Bu bölgenin seçiminde genellikle kıyı yenileme çalışması yapılacak alana ait kum özelliklerine benzer kuma sahip olmasına dikkat edilir. Daha kaba bir kumun kullanılması durumunda basamak şevi daha dik, daha ince kumun kullanılması durumunda ise daha yatık olmaktadır. Bu amaçla kıyıya dik kıyı denge profili oluşumu ile ilgili çalışma yapılmalıdır (Dean, 2002).

Üst sınırı basamak yüksekliği (B) alt sınırı ise kapama derinliği (d_c) olan kıyı profilinin birim kıyı uzunluğundaki kum hacminde meydana gelen değişimin neden olacağı ilerleme miktarı;

$$\Delta y = \frac{V}{d_c + B} \tag{5.1}$$

ile belirlenmektedir. Yenileme yapılan kıyıda dalgaların etkisiyle kıyı boyunca kum dağıtılacaktır. Kıyı çizgisindeki değişim,

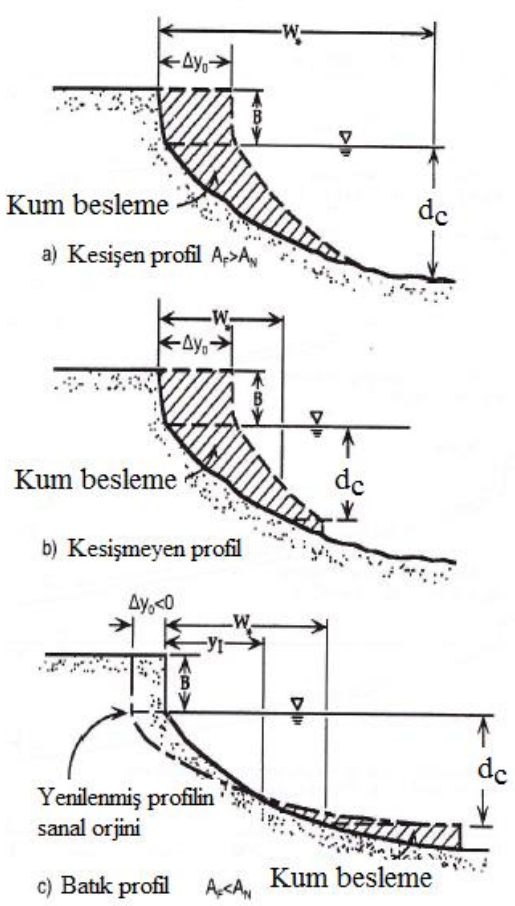
$$\frac{\partial y}{\partial t} = G\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \tag{5.2}$$

ifadesiyle (Pernard-Considere ifadesi) tanımlanır.

G : Kıyı boyu difüzyonu (m^2/s)
t : Zaman

Şekil 5.13'te yenileme yapılmış kıyı profilleri görülmektedir. Profiller "kesişen", "kesişmeyen " ve "batık" profiller olarak sınıflandırılmaktadır. Kesişen profilde dolgu malzemesinin orijinal malzemeden kaba olması gereklidir ancak yeterli değildir. Bu tip profilin avantajı topuğunun kapama derinliğine kadar uzatılmasına ihtiyaç olmayışıdır. Eğer dolgu malzemesi çapı orijinal

malzemeninkine eşit yada daha küçük ise kesişmeyen profil daima oluşmaktadır, ancak dolgu malzemesinin kaba olması durumunda da oluşabilmektedir. Bu profil tipi daima kapama derinliğine (d_c) kadar ulaşmaktadır. Üçüncü tip olan batık profilde dolgu malzemesi orijinal malzemeden incedir. Şekil 5.13'teki A_F ve A_N dolgu ve orijinal malzemelerin ölçek parametreleri olarak tanımlanmaktadır ($y(x)=A_{F veya N}\, x^{2/3}$).



Şekil 5.13 Yenilenmiş kıyı profilleri

Kıyı yenileme çalışmasının başarılı olması için ödünç alınan malzemenin dikkatli seçilmesi gerekmektedir. İnce malzeme stabil olmayacaktır ve açığa doğru hızla yayılacaktır. Kaba dolgu malzemesi daha stabildir, ancak her zaman ekonomik olmayabilir. Daima yenileme yapılan malzemenin ne kadarının kaybedileceğinin bilinmesi istenmektedir. Böylece ne kadar malzemenin yeniden yenilemede (dolguda) kullanılacağı tahmin edilmiş olacaktır. Bu amaçla orijinal ve yenilemede kullanılacak malzemenin karışımını tanımlayacak granülometri belirlenmelidir (Yüksel, 2011). Tane çapı dağılımı Wenthworth ölçeği ile tanımlanmaktadır.

$$\phi = \log_2 d \qquad (5.3)$$

Tane dağılımının ortalaması;

$$\mu = (\phi_{84} + \phi_{16})/2 \qquad (5.4)$$

Standart sapma;

$$\sigma = (\varphi_{84} - \varphi_{16})/2 \qquad (5.5)$$

Orijinal malzeme ile ödünç alınan malzemenin karşılaştırılması için phi ortalamalarının farkı tanımlanmaktadır;

$$\delta = \frac{\mu_F - \mu_N}{\sigma_N} \tag{5.6}$$

N alt indisi orijinal, F alt indisi ise dolgu malzemesini göstermektedir. Phi sınıflandırma (sorting) parametresi;

$$\sigma_r = \sigma_F / \sigma_N \tag{5.7}$$

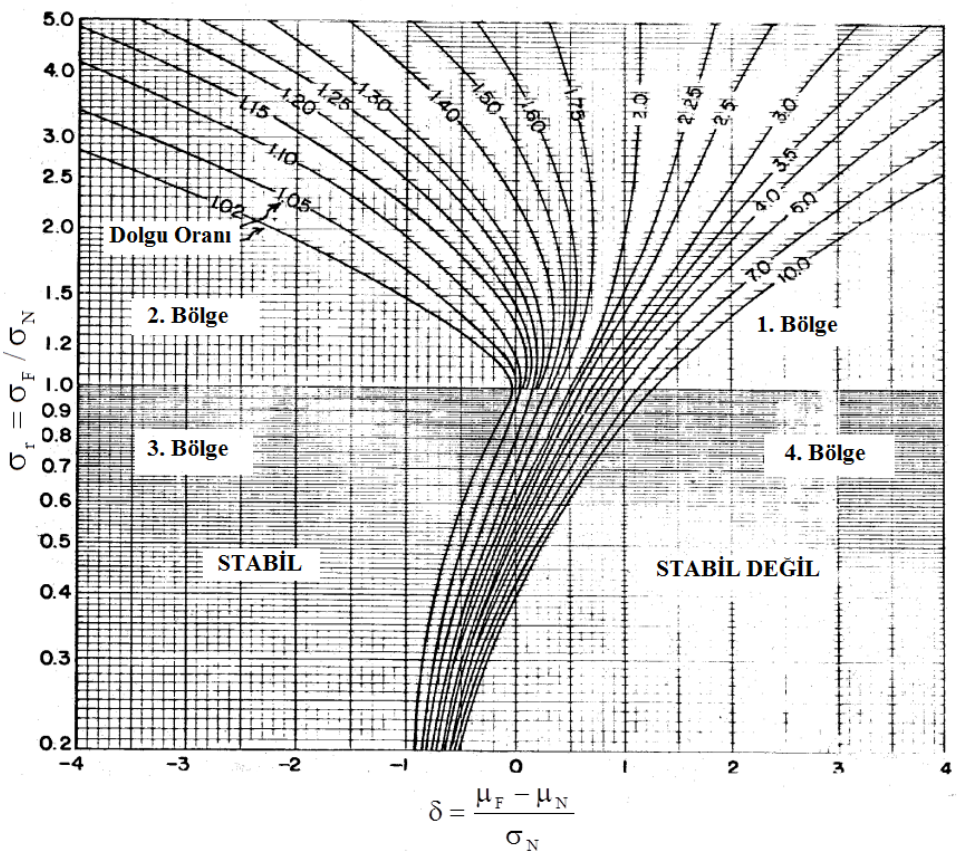
ile ifade edilir. Yerleştirilmesi gereken dolgu malzemesinin arzu edilen tasarım hacmine oranı olan "dolgu oranı (R)" aşağıdaki ifade ile verilmiştir;

$$\frac{1}{R} = 1 - F\left(\frac{\theta_2 - \delta}{\sigma_r}\right) + \left(\frac{\theta_1 \delta}{\sigma_r}\right) + \frac{F(\theta_2) - F(\theta_1)}{\sigma_r} \exp\left\{\frac{1}{2}\left[\theta_1^2 - \left(\frac{\theta_1 - \delta}{\sigma_r}\right)^2\right]\right\} \tag{5.8}$$

$\sigma_r \geq 1$ için $\quad \theta_1 = \text{mak}\left[-1, \frac{-\delta}{\sigma_r^2 - 1}\right] \quad \theta_2 = \infty$

$\sigma_r < 1$ için $\quad \theta_1 = \text{mak}\left[-1, \frac{1 - 2\delta}{1 - \sigma_r^2}\right] \quad \theta_1 = -1$

(5.8) ifadesi, Şekil 5.14'te grafik formda gösterilmiştir. Grafik dört bölgeden oluşmaktadır.



Şekil 5.14 Dolgu oranı

Kıyı yenileme çalışması yapılan yapay burunlar, yapay cep kıyıları, korunmuş plajlar gibi çözümler stabilite yapıları ile birlikte geliştirilebilir (PIANC, 2014).

Diğer yumuşak çözümler ise;

1-Çakıl plajlar
2-Kum geçişi

olarak sıralanabilir. Bu çözümde, sayısal modelleme çalışmaları yapılırken kıyının geçmişine yönelik bilgilerin toplanması ve detaylı saha ölçümlerinin yapılması önemlidir. Yenileme çalışmasından sonra yıllık izleme işlemleri tanımlanmalıdır. Ayrıca proje için fizibilite çalışmalarının yapılması projenin ekonomik olması açısından da gereklidir.

5.6 Alternatif Çözümler

Kıyı yenileme gibi yumuşak çözümlere; uygulama çabukluğu, uyum sağlama, hızlı karar verme, kolaylıkla yer değiştirilebilme özellikleriyle ve taş, beton blok gibi sert yapılara alternatif olmalarıyla geotekstil tüp, konteyner ve çuval gibi kıyı koruma yapıları da dahil edilmiştir. Geotekstil ve geomembran'ların tamamı geosentetik olarak bilinmektedir. Geomembran geçirimsiz malzeme olmasına karşın geotekstil geçirimli bir malzemedir. Bu malzemelerin ömürleri 50 yıl olarak belirtilmekte ancak güneş ışınları, kimyasal ve biyolojik etkiler, çevresel yüklerden dolayı genellikle 20-25 yıllık hizmet süresi dikkate alınmaktadır (Yüksel, 2011). Ancak bu çözümlerin büyük dalga etkileri altındaki kıyılarda kullanılması tavsiye edilmemektedir. Ayrıca bu tip çözümlerin uzun süreli kalıcı çözüm olarak kullanılmaması ve genellikle akut durumlara acil müdahalelerde kullanılması uygun olmaktadır.

Bu tip yapılar, özelliklerine göre; geotüp, geokonteyner ve geobag olarak sınıflandırılmaktadır. Kalıcı yapılarda daha küçük hacimli kum dolu geotekstiller tercih edilmektedir. Geotekstil kum konteynerleri (GSC) "yumuşak taş" olarak da adlandırılmaktadır. Bu yapılar, kıyıları erozyon ve taşkına karşı korumada oldukça etkin olabilmektedirler. Şev koruma, mahmuz yapımı, oyulmaya karşı koruma, sedde yapımı, topuk koruma ve dalgakıran çekirdek teşkili gibi birçok kıyı yapısında geotekstil ürünler kullanılmaktadır.

Geotekstil malzemelerin özellikle güneş ışığından ve vandal saldırılardan etkilendiği bilinmektedir. Bu nedenle tasarımın detaylı yapılması gereklidir.
Kıyı alanlarının taşkın ve erozyona karşı korunmasında aşağıda belirtilen alternatif çözümler de sürdürülebilir dayanım için sık sık uygulanmaktadır, bunlardan bazıları;

- Plaj mobilyaları
- Batıklar
- Bitkilendirme

dir. Bu tip çözümler son yıllarda çevresel açıdan doğa ile uyumlu olarak tasarlanmaları nedeniyle tercih edilmektedir.

Yapay Resifler

Gittikçe daha fazla uygulama alanı bulan kıyı koruma yapılarından bir tanesi de yapay resiflerdir. Batık dalgakıranlara benzer olarak kıyıdan biraz açıkta, su içinde ve kıyıya paralel yapılan yapay resifler genelde beton da dahil değişik malzemelerden üretilmiş boşluklu ve gözenekli elemanların yan yana ve üst üste yerleştirilmeleriyle oluşturulurlar. Batık dalgakıranlara göre daha geçirimli ve hafif yapılar olduğundan daha çevre dostu çözümler olarak kabul edilirler. Dalga etkisinin büyük olmadığı bölgelerde kıyı şeridini korumak, deniz hayatını canlandırmak ve güçlendirmek amacıyla tercih edilmektedir.

5.7 Yapılaşmama ya da Geri Çekilme

Yapılaşmamak kıyı alanını doğal hali ile bırakmak anlamına gelmektedir. Eğer kıyıda meydana gelecek erozyona karşı alınacak önlemler ekonomik değil ise kıyının doğal haline bırakılması daha uygun olabilmektedir. Bu duruma, yapılacak fizibilite ve çevresel etki değerlendirme çalışmalarıyla karar verilmelidir.

Planlanacak çözümlerin seçilmesi bir çok koşula bağımlıdır. Esas olarak bu koşullar teknik ve ekonomik olarak sınıflandırılmaktadır. Teknik koşullar açısından karşılaştırılması gereken bazı koşullar Tablo 5.4'te özetlenmiştir.

Tablo 5.4 Farklı tipte kıyılar ve aşağı kıyı erozyonu problemleri dikkate alınarak önerilen koruma çözümleri (PIANC, 2014)

Erozyon problemi tipi	Koruma tipi	Çözüm	Kıyı taşkınına karşı koruma	Plaj koruması	Etkin dalganın yaklaşım açısına bağlı olarak kıyı tipleri					Aşağı kıyıda erozyon
					Dik $\theta_0 \approx 0$	Küçük açı $0 < \theta_0 < 10$	Açılı $10 < \theta_0 < 50$	Büyük açılı $50 < \theta_0 < 85$	Kıyıya paralel $\theta_0 > 85$	
Kıyı boyu taşınımdaki değişimden dolayı kronik erozyon	Yumuşak	Kıyı yenileme	Hayır	Evet	X	X	X	-	-	Hayır
		Kumul yenileme	Evet	Evet	X	X	X	-	-	Hayır
		Çakıl plaj	Hayır	Evet	X	X	X	X	X	Hayır
		Kum geçişi	Hayır	Evet	-	X	X	X	X	Hayır
	Sert	Tahkimat	Hayır	Hayır	X	X	X	X	X	Evet
		Acil koruma	Hayır	Hayır	X	X	X	X	X	Evet
		Kıyı duvarı	Evet	Hayır	X	X	X	X	X	Evet
		Perde duvar (Bulkhead)	Evet	Nötr	X	X	X	X	X	Hayır
	Karma	Mahmuz	Hayır	Evet	-	X	X	-	-	Evet
		Ardışık dalgakıran	Hayır	Evet	X	X	X	-	-	Evet
		Yapay burunlar	Hayır	Evet	X	X	X	-	-	Evet
		Korunmuş kıyı yenileme	Hayır	Evet	X	(X)	-	-	-	Hayır
		Korunmuş plaj veya yapay cep kıyılar	Hayır	Evet	X	X	X	X	X	Evet
		Sürdürülebilir bütünleşik kıyı çizgisi yönetimi, plaj parkları	Evet	Evet	X	X	X	-	-	Hayır
	Geri çekilme	Dinamik geri çekilme	Hayır	Evet	X	X	X	X	X	Hayır
Fırtına kabarmasından dolayı akut erozyon	Yumuşak	Kıyı yenileme	Hayır	Evet	X	X	X	-	-	Hayır
		Kumul yenileme	Evet	Evet	X	X	X	-	-	Hayır
		Plaj drenajı	Hayır	Evet	X	X	X	-	-	Az
	Sert	Tahkimat veya kıyı duvarı	Kıyı duvarı için Evet	Hayır	X	X	X	X	X	Evet
	Karma	Akut erozyona karşı güçlendirilmiş karma çözüm	Hayır	Evet	X	X	X	-	-	Hayır
	Geri çekilme	Statik geri çekilme	Hayır	Evet	X	X	X	X	X	Hayır

6. DENİZALTI BORU HATLARININ TASARIMI

Boru hatlarının tasarımında, çevresel ve yapısal yükler ile bu yüklere karşı yapının davranışı incelenmelidir. Bunun için (a) Tasarlanacak yapının çevresindeki dalga ve akıntı ikliminin, dalga ve akıntı ölçümlerine veya meteorolojik verilere bağlı tahmin edilmesi, (b) Tasarım dalgası ve akıntı özelliklerinin belirlenmesi, (c) Yapıya tesir edecek dalga ve akıntıdan kaynaklanan hidrodinamik kuvvetlerin hesaplanması, (d) Yapının davranışının belirlenmesi, (e) Yüzdürme ya da çekme işlemi ile batırma analizlerinin yapılması, (f) Yapının gerilme analizi, (g) Zemin analizi, (h) Yapı elemanlarının bağlantı analizi, (i) Ayrıca deniz tabanı yerel katı madde hareketinin incelenmesi gereklidir.

Boru üzerine etkiyen hidrodinamik kuvvetler aşağıda önerilen şekilde hesaplanacaktır.

6.1 Akıntı Kuvvetleri

Üniform akım doğrultusuna dik olarak yerleştirilen çapı D olan düzgün yüzeyli bir silindir dikkate alındığında, silindirin birim uzunluğuna etkili kararlı eksenel veya direnç kuvveti F_D aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanır.

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 D \qquad (6.1)$$

C_D : Hidrodinamik direnç katsayısı

C_D, Reynolds (Re) sayısı, boru şekli, pürüzlülüğü gibi parametrelerin fonksiyonudur. Reynolds sayısı;

$$R_e = VD/\nu \qquad (6.2)$$

V : Silindirin bulunduğu konumdaki akım hızı (boru yerleştirilmeden önce)
ν : Akışkanın kinematik viskozitesi

Tabana yerleştirilmiş yatay silindirin, tabanın mevcudiyetinden dolayı oluşan akım alanındaki asimetri dolayısıyla düşey doğrultuda meydana gelecek hidrodinamik kaldırma kuvveti ise

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho V^2 D \qquad (6.3)$$

ile ifade edilir.

C_L : Hidrodinamik kaldırma katsayısı

Deniz tabanının mevcudiyetinden dolayı bir boru hattına etkiyen kuvvet Re sayısına, boru şekline, göreceli pürüzlülüğe, boru ile taban arasındaki açıklığa bağlıdır.

6.2 Dalga Kuvvetleri

Dalga kuvvetlerinin belirlenmesinde dalga boyuna göre silindirik yapının boyutunun sahip olduğu değerler oldukça önemlidir. Eğer D/L silindir çapının dalga boyuna oranı 0.2'den küçükse akışkanın viskozitesi ve böylece sınır tabakası oluşumu ile sınır tabakasından ayrılma sonucunda vorteks oluşumu önemli olur. Bu halde silindirin mevcudiyetinden dolayı akım alanında meydana gelecek değişimler yereldir ve dalga kuvvetleri "Morison denklemi" ile hesaplanmaktadır. Bu tip yapılara küçük hacimli yapılar denir. Diğer taraftan D/L>0.2 için akışkan zerreciklerinin hareket miktarları silindirin çapına göre göreceli olarak küçüktür ve silindir etrafındaki akımda ayrılma olayı meydana gelmez. Bu durumda silindir etrafındaki basınç dağılımını ve etkili kuvveti bulabilmek için "difraksiyon teorisi" kullanılmaktadır. Bu tip yapılara da büyük hacimli yapılar denir. Dalga kuvvetlerinin bulunduğu rejimler Tablo 6.1'de verilmiştir.

Morison denklemine göre(denklem 6.4) boru hattının birim uzunluğundaki dalga kuvveti; dalga tepesinin silindir eksenine paralel olması durumunda, kararsız akım alanından dolayı direnç kuvvetine ilave olarak atalet kuvveti de etkili olacaktır. Bu durumda boru hattının birim uzunluğuna etkili yatay kuvvet aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanır.

$$F_i=C_D\frac{\rho}{2}|u|uD+C_M\rho\frac{\pi D^2}{4}\frac{du}{dt} \qquad (6.4)$$

Tablo 6.1 Hidrodinamik katsayıların değişimi (Patel, 1989)

KC	D/L < 0.20	D/L > 0.20
KC>25	Direnç kuvveti daha hakimdir. Dalga kuvvetleri C_M ve C_D ile Morison denklemi yardımı ile hesaplanır. $C_D=C_D$ (Re)'dir. $10^5<Re<1.5\times10^6$ için $C_M=1.8$, $C_D=1.0$ alınabilir.	
5<KC<25	Direnç ve atalet kuvvetleri arasında geçiş bölgesi. Morison denklemi uygulanır ancak C_m ve C_D değerleri oldukça saçılmış bir dağılım gösterir. Akım yapısı oldukça komplekstir. $Re>1.5\times10^6$ için $C_M=1.8$, $C_D=0.62$ alınabilir.	
KC<5	Atalet kuvveti daha hakimdir. Morison denklemi veya difraksiyon teorisi yardımıyla dalga kuvvetleri hesaplanabilir.	Morison denklemi uygulanamaz, difraksiyon teorisi yardımıyla dalga kuvvetleri bulunur.
$Re=u_mD/\nu$ $KC=u_mT/D$	Reynolds sayısı Keulegan Carpenter sayısı	U_m silindirin mevcut olmaması durumunda maksimum yörüngesel hız.

Bu ifadede C_D ve C_M Reynolds sayısının (Re), Keulegan Carpenter sayısı (KC) ve boru pürüzlülüğünün fonksiyonu olduğu gibi ayrıca G/D açıklık oranının da bir fonksiyonudur, burada G silindir ile deniz tabanı arasındaki açıklıktır.

$$C_D, C_M=f(KC, Re, \frac{G}{D}) \qquad KC=\frac{u_m T}{D} \qquad (6.5)$$

Hidrodinamik direnç ve atalet katsayılarının alacağı değerler boyutsuz sayıların fonksiyonu olarak konu ile ilgili kaynaklardan bulunabilir.

Boru hattı üzerine etkili dalga kuvvetlerinin belirlenmesi için akışkan partiküllerinin yörüngesel hız ve ivmelerinin boru eksenine dik bileşenleri Morison denkleminde kullanılmalıdır.

Dalgaların boru hatları üzerinde kırılmaları esnasında meydana getirecekleri kuvvetler hakkında pek az bilgi mevcuttur. Bu nedenle zemin koşullarının uygun olması durumunda denizaltı boru hatları surf bölgesinde gömülerek kırılan dalga koşullarına karşı korunmaktadır. Gömülmeden sonraki kısımda borular zeminin üzerine serbestçe yerleştirilebilirler. Bazen deniz tabanının özellikleri boruların ne gömülmesine ne de zincirlenmesine müsaade eder. Bu durumda boru hattının kırılmaya karşı mukavemetinin kontrol edilmesi gerekmektedir.

Şekil 6.1'de gösterildiği gibi bir boru hattı akıntı ve dalga etkisinden dolayı hidrodinamik eksenel (yatay) (F_i) ve kaldırma (düşey) (F_L) kuvvetlerinin etkisi altında kalır. Stabilite kuvveti olan borunun batmış haldeki birim uzunluğundaki ağırlığı W ise borunun dönmeye karşı stabilitesi

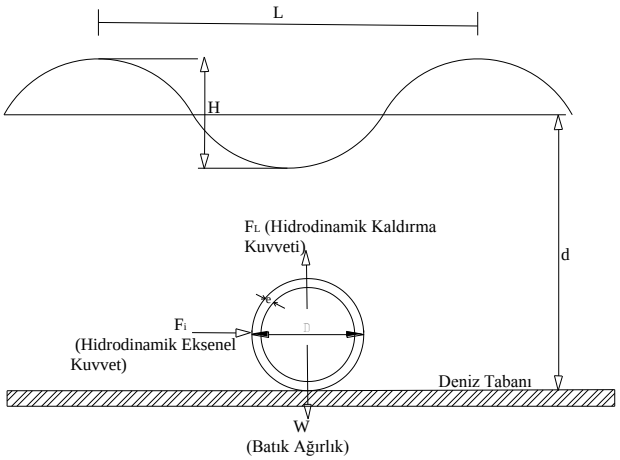
$F_i < \mu (W - F_L)$ (6.6)

ile hesaplanır.

μ : Deniz tabanı ile boru arasındaki sürtünme katsayısı

Hidrodinamik kaldırma kuvveti ise aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

$$F_L = C_L \frac{\rho}{2} u^2 D \quad (6.7)$$



Şekil 6.1 Deniz tabanına döşenmiş boru hattına etkili kuvvetler (Yüksel ve Çevik 2009)

C_L : Hidrodinamik kaldırma kuvveti katsayısıdır ve direnç ile atalet katsayıları gibi Reynolds, Keulegan Carpenter sayısı, Açıklık oranı ve göreceli pürüzlülüğün fonksiyonudur.

Boru hattının dalga ve/veya akıntı kuvvetlerine karşı stabil olarak yerinde durabilmesi amacıyla ağırlığının artırılması için tespit blokları kullanılmalıdır. Bu bloklar farklı geometrilerde tasarlanabilmektedir, blokların da dalga ve/veya akıntı kuvvetlerine karşı stabil olmaları tahkik edilmelidir. Boru hatlarının ve tespit bloklarının bulundukları zeminin taşıma koşulları belirlenmeli ve gerekli iyileştirme filtre kuralı gözetilerek yapılmalıdır. Sıvılaşabilir zemin koşulları ayrıca incelenmelidir. Boru hatlarının yerleştirildikleri hareketli deniz tabanı yerel oyulmaya karşı korunmalıdır. Bu amaçla deniz tabanı katı madde hareketi hesaplanmalıdır ve yerel oyulmaya karşı stabil zemin koşulları oluşturulmalıdır. Gömülü boru hatlarının üzerleri dalga ve/veya akıntı etkisinde açılmayacak şekilde stabil koruma tabakası ile filtre kuralına da uyularak tahkim edilmelidir. Bu amaçla Bölüm B.4 “Katı Madde Taşınımı ve Morfoloji” ile ilgili bölüme bakınız.

6.3 Boru Hattı Etrafında Yerel Oyulma

Dalga etkisindeki hareketli taban ile boru hattı arasındaki etkileşim boru hatları çevresinde oyulma olayına neden olduğu gibi yığılma gibi yerel taban hareketine de neden olabilmektedir. Sümer and Fredsøe (1990) boru hatları etrafındaki yerel oyulma çukuru derinliğinin belirlenmesi için;

$$S/D = 0.1\sqrt{KC} \quad (6.8)$$

ifadesini vermiştir.

S : Boru hattının altında meydana gelen yerel oyulma derinliği

Bu ifadeye alternatif olarak sığlaşma koşullarını da içeren bir başka ifade Çevik ve Yüksel (1998) tarafından verilmiştir, buna göre;

$$S/D = 0.0418 U_{Rb}^{0.4066} \quad (6.9)$$

dir.

U_{Rb} : Boru Ursell sayısı, $U_{Rb}\left(=U_R\left(\frac{H}{D}\right)^2 \text{ veya } \frac{H^3L^2}{d^3D^2}\right)$

H : Yerel dalga yüksekliği
L : Yerel dalga boyu
d : Su derinliği
D : Boru dış çapı

6.4 Su Alma Yapılarının Tasarımı

Su alma yapıları tasarımı su alma noktasının açıkta, deniz tabanında veya kıyıda, yüzeyden su alınmasına bağlı olarak farklılıklar gösterebilir. Her iki yapı tipi tasarımı için öncelikle yapının yapılması planlanan bölgede detaylı saha çalışmaları yapılmalıdır. Çalışmalar kapsamında; batimetri, oşinografik ölçümler, dalga iklim ve istatistiğine yönelik çalışmalar, akıntı ölçümleri, sondaj çalışmaları, geoteknik analizler, deniz tabanı sediman dağılımları ve sismik çalışmalar gerçekleştirilmelidir.

Su alma yapısının deniz içindeki konumunun tespitinde su alma debisi ve istenilen su alma sıcaklığı ana parametreler olarak öne çıkmaktadır. Yer belirlenmesinde uzun süreli saha ölçümleri yapılması ve bunların iki ve üç boyutlu hidrodinamik sayısal model çalışmaları ile birleştirilmeleri gerekir.

Su alma yapısının yeri tespit edilirken, yukarıdakilere ilave olarak şu kriterler de göz önünde bulundurulmalıdır:

- zemin koşulları
- askıdaki madde miktarı
- gemi trafiği ve yapı güvenliği
- çevresel etkiler

Su alma yapısının boyutlarının seçiminde, yapının etrafında deniz ortamında oluşacak akıntı hızının canlı yaşamı olumsuz etkilememesi hedeflenir. Genel olarak yapı girişinde akım hızının 15 cm/s'yi aşmaması uluslararası olarak kabul görmüştür. Yapının su giriş açıklıklarının uygun büyüklüklerde ızgaralarla kaplanması ve yapı içine canlı girişinin engellenmesi gerekir.

Su alma yapısının içinde ve su alma boru hattı üzerinde denizel yaşamın (biofouling) oluşmasını engellemek için şok kolorlama uygulanması genel olarak kabul görmüş bir yöntemdir. Gerekli ise klorlama yöntemi ve miktarı çevresel faktörlere bağlı olarak ve ilgili yönetmeliklere bağlı olarak tespit edilmelidir.

Su alma yapısının kıyıya yakın bölgelerde yer alması durumunda, dalga etkisiyle askıya kalkan malzemenin içeri girişinden kaynaklı sorunlar yaşanması muhtemeldir. Bu amaçla yapının su giriş ağızlarının tabandan yeterince yükseğe yerleştirilmesi ve yapı etrafında askıya kalkan malzeme miktarını azaltacak tedbirler alınması düşünülmelidir. Askıya kalkan malzeme miktarı saha ölçümleri ve bunlarla ilintili olarak yürütülecek dalga ve katı madde taşınım model çalışmasıyla belirlenebilir.

Su alma yapısındaki tüm elemanların, yapının ekonomik ömrü gözetilecek şekilde korozyona karşı korunması önemlidir. Izgaralar, kapaklar gibi bazı parçaların sökülebilir ve değiştirilebilir yapılmasında fayda bulunmaktadır.

Su alma yapısının stabilite hesaplarında yapıya etki eden yükler (dalga, akıntı, toprak, ve sismik) hesaplanarak stabilite (kayma, devrilme, oturma, sıvılaşma vb.) tahkikleri yapılmalıdır. Özel kesiti olan yapılar için ise laboratuvarlarda deneyler yapılarak hidrodinamik direnç, atalet ve kaldırma katsayılarının tespit ve teyid edilmesi gerekli olabilir.

Su alma yapılarının zemin etkileşiminin detaylı araştırılması önem taşır. Zaman içinde oluşması muhtemel oturmaların ve hareketlerin, yapıya olan boru bağlantılarında oluşturacağı gerilmelerin kabul edilebilir mertebelerde olduğu kontrol edilmelidir ve gerekli tedbirler alınmalıdır.

7. BAĞLAMA ŞAMANDIRALARI

7.1 Giriş

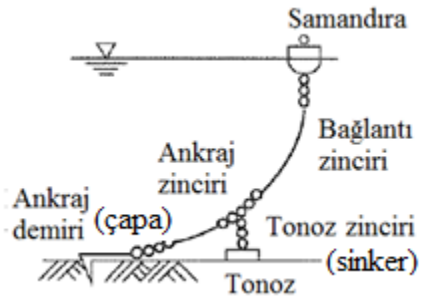
Dalga, akıntı, rüzgar ve gemi bağlama yüklerine göre tasarlanırlar. Bu tip yapılar için performans kriterleri;

i) Şamandıra hava payı

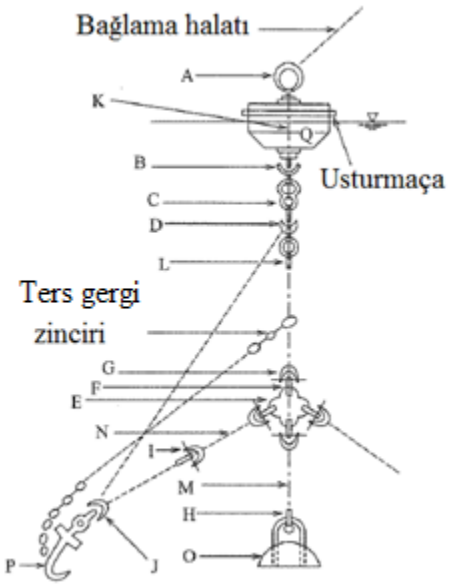
ii) Gemi demirleme alanı

iii) Dalga, akıntı ve gemi bağlama yük kriterlerine göre şamandıra yapısı, bağlantı zinciri ve deniz tabanında tasarlanan ankraj yapısıdır.

Bağlama şamandıraları genellikle Şekil 7.1'de görüldüğü gibi tasarlanır. Şamandıranın şematik şekli ise Şekil 7.2'de gösterilmiştir. Bu şekilde A çabuk bırakma kancası, B ankraj kilidi, C fırdöndü, D bağlantı kilidi, E bağlama halkası, F bağlama kilidi, G birleşim kilidi, H ankraj kilidi, I birleşim kilidi, J ankraj kilidi, K zincir, L ana zincir, M tonoz zinciri (sinker), N ters gergi zinciri, O tonoz, P ankraj demiri (çapa) veya zemin çivisi, Q şamandıradır.



Şekil 7.1 Tonoz ve ankraj demirli (çapa) tipi bağlama şamandırası (OCDI, 2009)



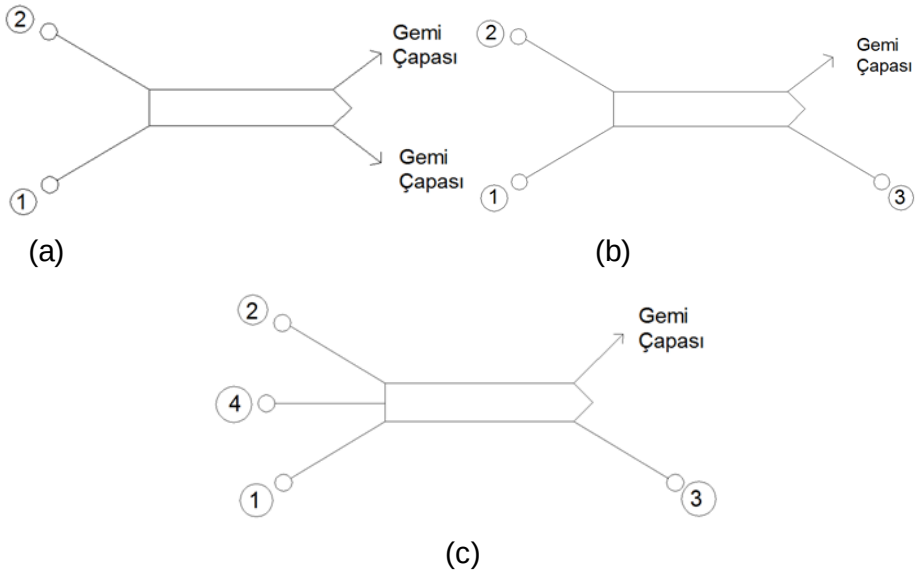
Şekil 7.2 Bağlama şamandırasının şematik gösterimi (OCDI, 2009)

Burada şamandıraya bağlanma durumuna ait tasarım anlatılmıştır. Şamandıranın yapısal tasarımı bu tasarım esaslarının konusu dışındadır.

7.2 Çok Noktalı Bağlama Sistemleri

Burada bahsi geçen sistemler şamandıralı gemi bağlama sistemleridir. Açıklanan kurallar şamandıra sistemini oluşturan zincir, çapa gibi elemanların mukavemet ve stabilite hesapları ile şamandıranın yüzme hesaplarını içermektedir.

Tipik olarak bazı şamandıralara bağlanma sistemleri Şekil 7.3'te gösterilmiştir. Sistem seçimi fiziki şartlara ve gemi tonajına bağlıdır.



Şekil 7.3 Çoklu şamandıra siteminde farklı bağlama tipleri

7.3 Tasarım Yükleri ve Analiz

Şamandıralı yanaşma sistemleri sıvı yüklerin elleçlenmesi amacı ile tankerlerin bağlandığı sistemlerdir. Hesaplarda, sisteme bağlanacak en büyük tanker özellikleri dikkate alınmalıdır. Tankerlere ait özellikler için planlama kısmındaki Bölüm C Tablo 1.8'den yaralanılabilinir. Boş gemi su çekiminin belirlenmesi için yine Bölüm C - 1.4 gemiler ile ilgili verilen bağıntıdan yararlanılabilinir. Bu bağıntıda gösterilen k katsayısı 1.2 olarak alınabilir. Eldeki gemi bilgisi GRT ise aynı bölümdeki Tablo C 1.6 yardımı ile geminin DWT'a dönüştürülmesi gerekir.

Çok noktalı bağlama sistemlerine ait hesaplarda üç adet yük dikkate alınır. Bunlar dalga, rüzgar ve akıntı yükleridir. Bu yüklerin ne şekilde belirleneceği aşağıda açıklanmıştır.

Tasarımcı, burada belirlenen operasyon ve bağlama koşulları ötesindeki dalga, akıntı ve rüzgar koşullarında bağlama (halat) yüklerini hesaplamak isterse, bu durumda proje alanına ait dalga, akıntı ve rüzgar iklimini belirleyerek, tasarım dalgasını, akıntısını, rüzgarını doğrultu ve yönleri ile birlikte tanımlamak zorundadır.

Dalga Yükleri

Hesaplarda esas alınacak dalga yükseklikleri için Bölüm C Tablo 1.3'te tankerler için verilmiş olan dalga verileri kullanılabilir. Bu tabloya göre, gemiye enine ve boyuna doğrultuda etkiyen dalga yükseklikleri tanımlanmıştır. İlerideki bölümde diğer yüklerle birlikte yapılacak yük kombinasyonlarında dalgaların farklı bir açı ile etkilerinin de söz konusu olabileceği belirtilmiştir. Bu etkilerin belirlenmesinde Bölüm C Tablo 1.3'de en altta verilen 3 ve 4 no'lu uyarı notlarına dikkat edilmelidir. Etkili dalga 45°, 135° açılarda ise her iki yöndeki (enine ve boyuna) dalga yüksekliklerinin aritmetik ortalaması dikkate alınacaktır. Dalga yüklerinin hesabı Bölüm D 3.2.1'de anlatıldığı yapılabilecektir. Bu yöntem ile dalga periyodunun 7 s'nin üzerinde olması

durumunda yeteri doğrulukta tahmin yapılamamaktadır. Bu nedenle bu tip bağlama sistemleri soluğan tesirlerinin etkin olduğu deniz alanlarında tercih edilmez.

Rüzgar ve Akıntı Yükleri

Rüzgar ve akıntı yüklerinin hesabı Bölüm D 3.2.1'de anlatıldığı gibi yapılacaktır. Rüzgar ve akıntı değerleri ise Bölüm C Tablo 1.3'te verilmiştir.

Analiz

Çok noktalı bağlama sistemleri, planlamanın yapıldığı bölgenin özelliklerine göre çevre yüklerini (rüzgar, dalga, akıntı) en uygun koşullarda karşılayabilecek şekilde planlanmalıdır. Gemilerin en uygun şekilde bağlanabilmesi sağlanmalıdır. Ancak farklı bağlama şekilleri göz önüne alındığında, sistem üzerine gelen yüklerin en büyük değerleri dikkate alınmalıdır.

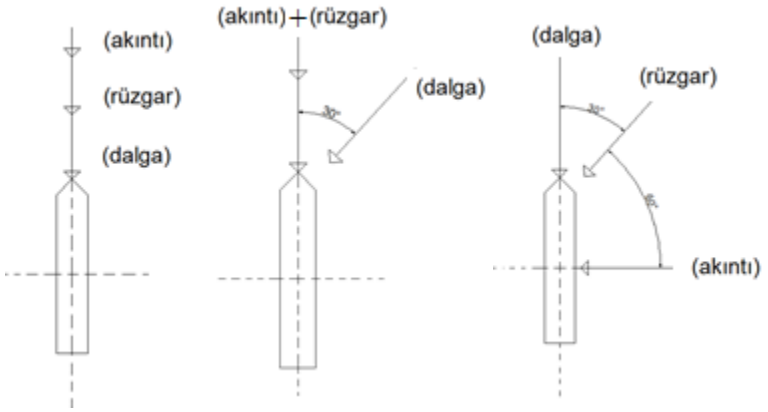
Hesaplar, simetrik çok noktalı bağlama sistemlerinde simetri eksenine göre 0^o'den 180°'ye, simetrik olmayan sistemlerde ise kadar 0^o'den 360°'ye kadar 45°'lik maksimum aralıklarla aşağıda belirtilen haller için yapılacaktır.

Eğer mevcut ise rüzgar, dalga ve akıntının yönsel dağılım verileri kullanılabilir. Yönsel dağılım verileri çok noktalı bağlama sisteminin yerleştirileceği bölge için mevcut değilse, aşağıdaki yük kombinasyonları uygulanabilir.

Aşağıdaki kombinasyonlar ayrıca geminin baş tarafına göre 0^o, 45^o, 90^o, 135^o, 180°'lik beş farklı açı için tekrarlanacaktır. Burada 180^o'lik açı, geminin kıç tarafına karşılık gelmektedir.

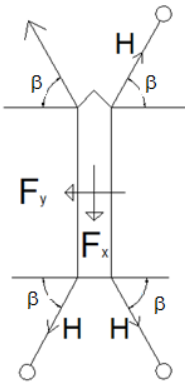
1. Kombinasyon : Rüzgar, dalga ve akıntının aynı yönde etkimesidir.
2. Kombinasyon : Rüzgar ve akıntı aynı yönde, dalga ise 30° açı yapmaktadır.
3. Kombinasyon : Rüzgar yönü dalgaya göre 30° akıntı yönü ise dalgaya göre 90° açı yapmaktadır.

Bu kombinasyonların her birinin Şekil 7.4'te görüldüğü gibi açıklanması mümkündür.



Şekil 7.4 0° için örnek kombinasyon

Diğer açılar için; yani 45^o, 90^o, 135^o, 180° için de yapılacak olan kombinasyonlar dahil edildiğinde ve geminin tam yüklü durumu dikkate alındığında, toplam 15 adet yükleme kombinasyonu yapılacaktır. Rüzgar hızları için Bölüm C Tablo 1.3'te verilen değerlerin üzerine çıkılması durumunda geminin boş durumu için aynı yükleme kombinasyonları tekrarlanacaktır. Her bir kombinasyondan sonra, gemiye x ve y doğrultularında etki eden F_x ve F_y bileşke kuvvetleri bulunacaktır. Maksimum halat yükü (H) ; halat açısı (β) ve her yükleme kombinasyonundan belirlenen Fx , Fy bileşke kuvvetleri dikkate alınarak tespit edilecektir (Şekil 7.5).

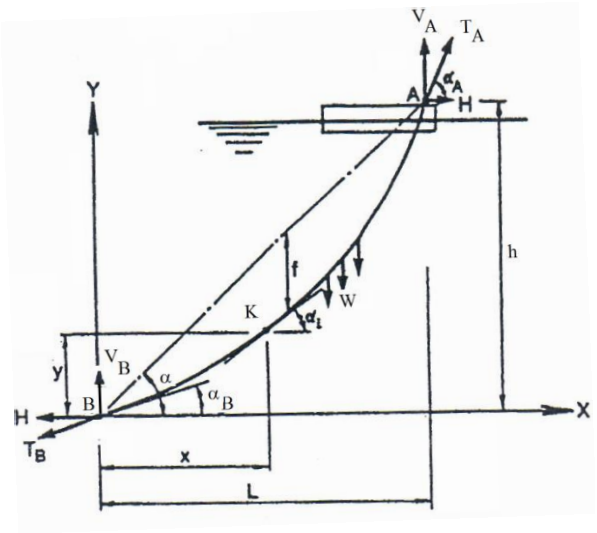


Şekil 7.5 Halat yükleri

Halat Yüküne Göre Zincir ve Çapa Yükleri

Uluslararası bir yazılım yada geçerli bir hesap yöntemi mevcut değilse hesaplar aşağıdaki gibi yapılabilir.

Şamandıranın deniz tabanındaki beton bloğa (sinker bloğu) bağlandığı parabolik zincir eğrisi Şekil 7.6'da görülmektedir.



Şekil 7.6 Şamandıra ve beton blok (tonoz) arası zincir

Bu şekilde;

H : Yükleme kombinasyonları ile bulunan maksimum halat yükü
W : Zincirin su içindeki birim boy ağırlığı
V_A : H ve W yükleri ile oluşan, şamandıraya etkiyen düşey kuvvet
V_B : H ve W yükleri ile oluşan, beton bloğa (sinker bloğu) etkiyen düşey kuvvet

Şekil 7.6'da görülen yüklerin etkisinde kalan zincir eğrisi bir paraboldür. Eğri üzerindeki herhangi bir K noktasına göre H, V_B, W dikkate alınarak moment dengesi yazıldığında parabol denklemi elde edilir.

$$y = \frac{V_B}{H} x + \frac{W}{2H} x^2 \qquad (7.1)$$

Düşey denge denklemi ile

$$V_A = V_B + WL \tag{7.2}$$

Benzer şekilde K noktasına göre moment dengesi A noktasındaki V_A, H kuvvetleri ile W yükü dikkate alınarak yazılırsa

$$V_A L = Hh + \frac{WL^2}{2} \tag{7.3}$$

(7.2) ve (7.3) bağıntıları düzenlenirse,

$$V_A = \frac{Hh}{L} + \frac{WL}{2} \tag{7.4}$$

$$V_B = \frac{Hh}{L} - \frac{WL}{2} \tag{7.5}$$

bulunur. Böylece zincir eğrisi denklemi;

$$y = \left(\frac{h}{L} - \frac{WL}{2H}\right)x + \frac{W}{2H}x^2 \tag{7.6}$$

ile ifade edilir.

A noktasındaki bileşke kuvveti;

$$T_A = \sqrt{H^2 + V_A^2} \tag{7.7}$$

B noktasındaki bileşke kuvveti;

$$T_B = \sqrt{H^2 + V_B^2} \tag{7.8}$$

Zincir kesitinin belirlenmesinde T_A kuvveti esas alınır. Blok ağırlığı seçiminde ise V_B kuvveti dikkate alınmalıdır. Burada,

W_b Bloğun su altındaki ağırlığı

$W_b > V_B$ (Bkz. Yükleme Durumu 1 ve Yükleme Durumu 2) (7.9)

Blokların su dışındaki ağırlığı 25.0 kN'dan daha küçük olamaz.

Şekildeki α_A ve α_B açıları aşağıdaki gibi hesaplanır.

Zincir eğrisinin herhangi bir K noktasındaki eğimi,

$$\frac{dy}{dx} = \left(\frac{h}{L} - \frac{WL}{2H}\right) + \frac{2W}{2H}x \tag{7.10}$$

B noktasındaki eğimi ($\tan\alpha_B$) bulmak için x=0 almak yeterlidir.

$$\tan\alpha_B = \frac{h}{L} - \frac{WL}{2H} \tag{7.11}$$

benzer şekilde,

$$\tan\alpha_A = \frac{h}{L} + \frac{WL}{2H} \quad \text{dir} \tag{7.12}$$

α_B için L mesafesi,

$$L = \sqrt{\frac{H^2 \tan\alpha_B}{W^2} + \frac{2H}{W}} - \frac{H \tan\alpha_B}{W} \qquad (7.13)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

Şamandıranın su altındaki en alt ucundan belirli bir mesafe aşağıya, zincir üzerinde bulunan ve fırdöndü (swivel) adı verilen bir parçanın monte edilmesi gereklidir. Bu parça, çevre etkileri nedeniyle ekseni etrafında dönen şamandıranın bu hareketi ile zincirin dolanmasını engeller. Buna ek olarak şamandıra yüklü iken yani halat yükü etkisine maruz iken zincirin deniz tabanına temas etmeden önce, deniz tabanından en az 1.0 m yukarıda kalacak şekilde zincir halkası ya da ring olarak isimlendirilen halka şeklinde bir ara elemanın daha bulunması gerekir. Şamandıra yüksüz iken bu ring deniz tabanı ile temas eder durumda olmalıdır. Ring ile şamandıra arasında bulunan zincir kısmına "Yükselen Zincir" adı verilir. Şamandıra yüksüz iken yükselen zincir gergin durumda olmamalıdır. Yükselen zincir kesit hesabında yukarıda belirtilen T_A kuvveti dikkate alınmalıdır.

Genellikle ring ile bloklar arasındaki zincir sistemini iki ya da üç adet taşıyıcı zincir hattına çıkarmak gerekmektedir. Bu hatlara kısaca "Taşıyıcı Hat" adı verilir. Her hatta en az üç boy zincir kullanılmalıdır. Boy kelimesi uygulamada "Kilit" olarak ifade edilir. 1 Boy=1 Kilit=27.50 m zincir uzunluğudur. Taşıyıcı hatların diğer ucunda çapalar bulunur. Genellikle her zincir hattında birden çok çapa bulunur. Bu çapaları zincir hattına bağlayan zincirlerin her birine çapa hattı denir. Çapa hattı zincir uzunluğu en az bir boy olmalıdır. Şamandıraya tam yük geldiğinde çapa hattı zincirlerinin yukarıya doğru (düşey doğrultuda) hareket etmemesi gerekir. Bu nedenle çapa hatlarına yaklaşıldığında taşıyıcı zincir hattına bağlı ilave bloklar konulmalıdır.

Her bir şamandıraya ait zincir bağlama sistemi, planda simetrik olmalıdır. Blok yerleşimleri, çapa yerleşimleri de planda simetrik olmalıdır. Tercihen her bir taşıyıcı hatta aynı çapa tipi ve ağırlığı kullanılmalıdır. Ancak bu koşula uyulması zorunlu olmamakla birlikte simetrik olarak yerleştirilmeleri zorunludur.

Deniz tabanındaki düzensizlikler vs. gibi zorunluluk hallerinde her bir şamandıra altındaki zincir bağlama sistemi birbirinden farklı olabilir. Zincir bağlama sistemlerine ait koşullar aşağıda belirtildiği gibidir.

Taşıyıcı hatlar arasındaki ve çapa hatları arasındaki açıların, üç taşıyıcılı hatlarda ϕ_1=45°'nin, iki taşıyıcılı hatlarda ϕ_1=30°'nin üstüne çıkmasına izin verilmemelidir. Aynı koşul ϕ_2 açısı için de geçerlidir.

Yükselen zincir hattına ring ile bağlı olan ters gergi hattından vazgeçilemez. Sistemin yeterince gergin kurulması şartı ile yan gergi hatlarından vazgeçilebilir.

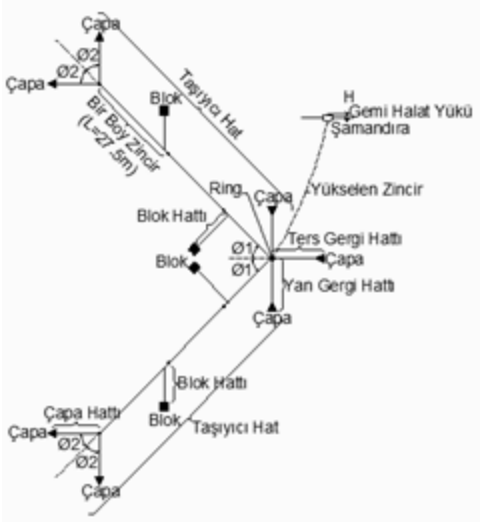
Şamandıraya gemi halatından gelen yük 30 ton'u geçerse "Bağlama Sistemi 1" kullanılamaz.

Zincir Bağlama Sistemleri

Aşağıdaki sistemlerin hiçbirinde blok hattı zincirlerinin uzunluğu 4.0 metreyi geçemez,

a) Bağlama sistemi 1 (Şekil 7.7)

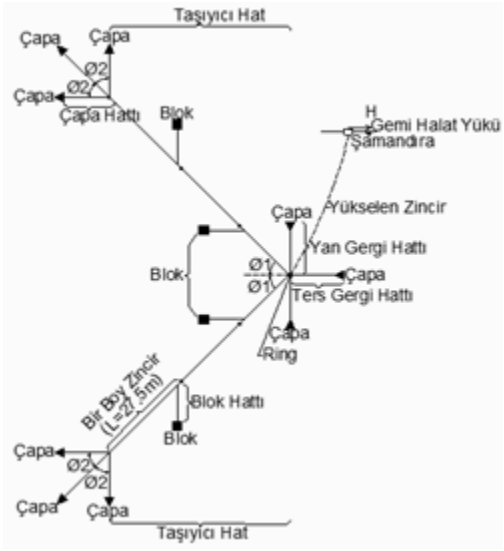
- Blok ağırlıkları hesaplanırken, blokların ringe eşit mesafede olması koşulu ile V_B kuvveti ikiye bölünebilir.
- ϕ_1 ve ϕ_2 açıları 30°'yi geçemez.



Şekil 7.7 Bağlama sistemi 1

b) Bağlama sistemi 2 (Şekil 7.8)

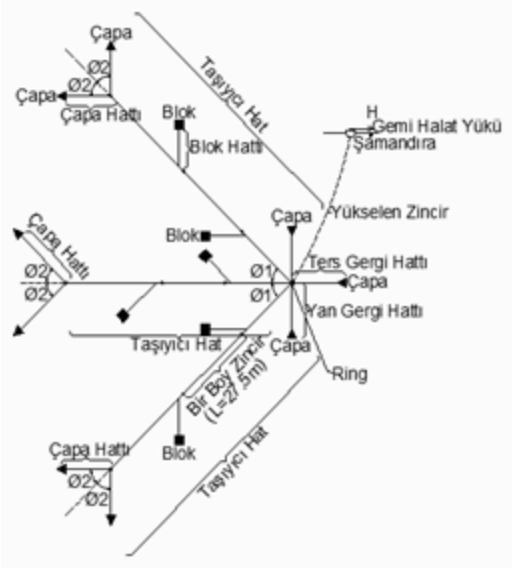
- Blok ağırlıkları hesaplanırken, blokların ringe eşit mesafede olması koşulu ile V_B kuvveti ikiye bölünebilir.
- ϕ_1 açısı 30°'yi, ϕ_2 açısı 45°'yi geçemez.



Şekil 7.8 Bağlama sistemi 2

c) Bağlama sistemi 3 (Şekil 7.9)

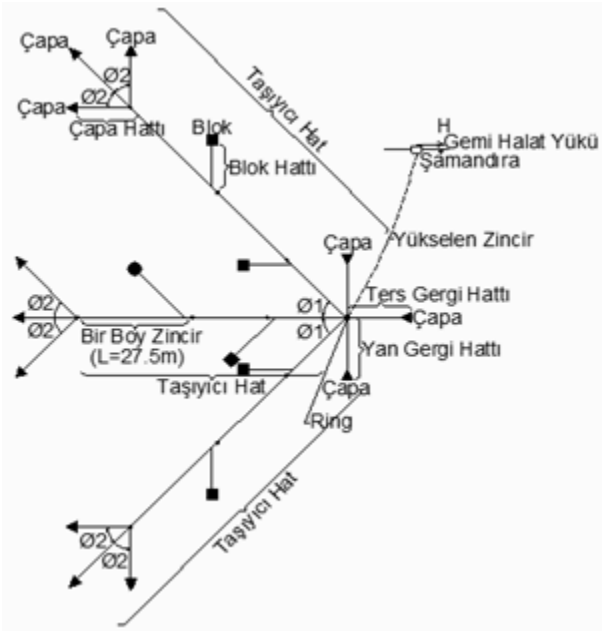
- Blok ağırlıkları hesaplanırken, blokların ringe eşit mesafede olması koşulu ile V_B kuvveti üçe bölünebilir.
- ϕ_1 açısı 45°'yi, ϕ_2 açısı 30°'yi geçemez.



Şekil 7.9 Bağlama sistemi 3

d) Bağlama sistemi 4 (Şekil 7.10)

- Blok ağırlıkları hesaplanırken, blokların ringe eşit mesafede olması koşulu ile V_B kuvveti üçe bölünebilir.
- ϕ_1 ve ϕ_2 açıları 45°'yi geçemez.



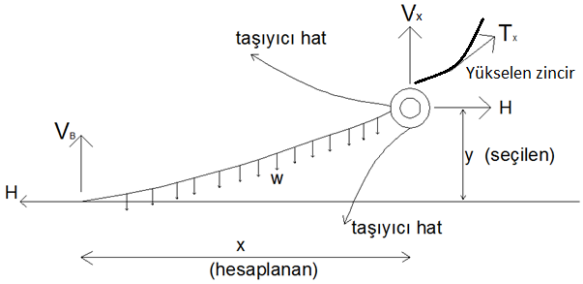
Şekil 7.10 Bağlama sistemi 4

Taşıyıcı Hatlara ve Çapa Hatlarına Gelen Yüklerin Belirlenmesi

"Bağlama sistemi 1" ve "Bağlama sistemi 2"'de görüldüğü gibi yükselen zincir halkasından (ring) sonra iki adet taşıyıcı hat mevcuttur. Bu hatlardaki zincirin seçimi için halkanın (ring) bulunduğu noktadaki zincir kuvvetinin bulunması gerekmektedir. Zincir halkasının (ring) deniz tabanından yüksekliği seçildikten sonra (minimum 1.0 m)

$$y = \left(\frac{h}{L} - \frac{WL}{2H}\right)x + \frac{W}{2H}x^2 \qquad (7.14)$$

denkleminde y yerine seçilen yükseklik yazılarak x hesaplanır (Şekil 7.11).



Şekil 7.11 Temsili şekil

Not: Şekilde, x boyunca çizili olan zincir kısmı teorik ve zahiridir.

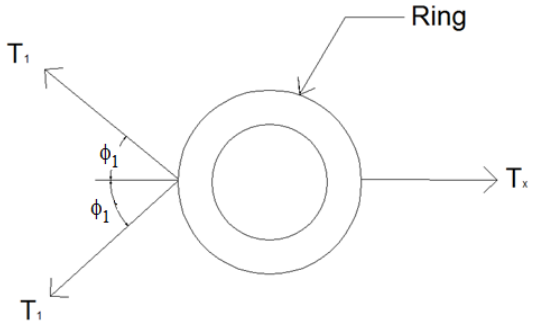
Burada;

$V_x = V_B - xW$ (V_x: Halkanın bulunduğu noktadaki düşey kuvvet) (7.15)

ve

$$T_x = \sqrt{V_x^2 + H^2} \qquad (7.16)$$

hesaplanır (Şekil 7.12). Aşağıdaki bağıntılar taşıyıcı hat ve çapa hattı zincirlerinin aynı çapta ve aynı boyda olması halinde kullanılır. Ayrıca H halat ekseni, zincir bağlama sisteminin simetri ekseni ile aynı doğru üzerinde olmalıdır.



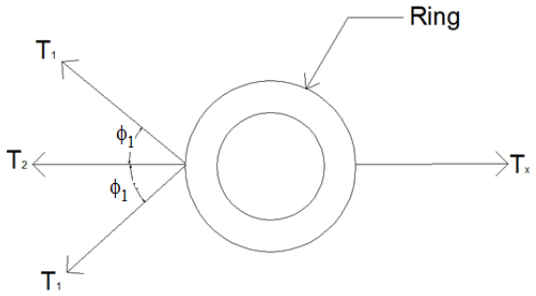
Şekil 7.12 Ring

Ring üzerinde etkili yük

$$T_1 = \frac{T_x}{2\cos\phi_1} \qquad (7.17)$$

T_1 kuvveti dikkate alınarak her iki hattaki zincir seçimi yapılabilir.

“Bağlama sistemi 3” ve Bağlama sistemi 4” te yükselen zincir halkasından sonra üç adet taşıyıcı hat mevcuttur (Şekil 7.13).



Şekil 7.13 Bağlama sistemi 3 ve 4 için ring

$$T_1 = \frac{T_x \cos\phi_1}{1 + 2\cos^2\phi_1} \tag{7.18}$$

$$T_2 = \frac{T_x}{1 + 2\cos^2\phi_1} \tag{7.19}$$

T_1 ve T_2 kuvvetleri için her taşıyıcı hatta ait zincir seçimi yapılacaktır. Her hatta aynı zincir çapı kullanılacaktır ve sadece T_2 kuvveti dikkate alınacaktır.

Benzer şekilde çapa hatlarına gelen kuvvetler bulunabilir. Bağlama sistemi 1 ve bağlama sistemi 3 için aynı bağıntılar kullanılabilir.

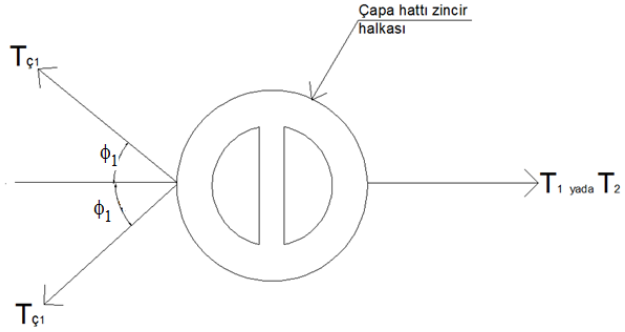
$$T_{ç1} = \frac{T_1 \left(\text{veya } T_2\right)}{2\cos\phi_2} \tag{7.20}$$

Bağlama 2 ve 4 sistemleri için ise bu kuvvetler :

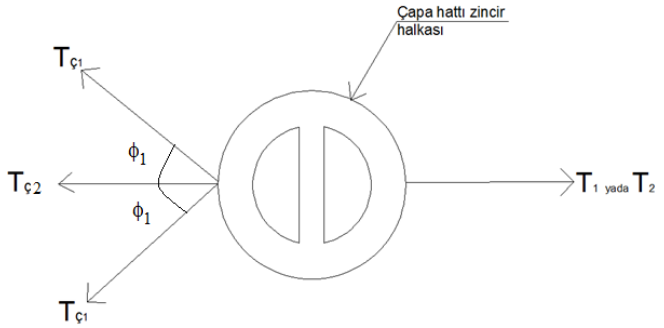
$$T_{ç1} = \frac{T_1 \cos\phi_2}{1+2\cos^2\phi_2} \quad \text{veya} \quad T_{ç1} = \frac{T_2 \cos\phi_2}{1+2\cos^2\phi_2} \tag{7.21}$$

$$T_{ç2} = \frac{T_1}{1+2\cos^2\phi_2} \quad \text{veya} \quad T_{ç2} = \frac{T_2}{1+2\cos^2\phi_2} \tag{7.22}$$

dir.



Şekil 7.14 Bağlama 1 ve 3 için çapa kuvvetleri



Şekil 7.15 Bağlama 2 ve 4 için çapa kuvvetleri

Çapa Seçimine Esas Yükler

Çapa hatlarındaki zincirlere gelen yükler ile çapa seçimi yapılabilir. Özetle T_{C1} ve T_{C2} kuvvetlerine göre seçim yapılabilir.

Sistem Bileşenleri;

Şamandıra

Burada sadece genel kurallar ve yüzme hesabında uyulacak kriterler verilecektir.

Şamandıralar mutlaka enine ve boyuna iki adet su geçirmez çelik levha (ya da perde) ile dört bağımsız bölüme ayrılmalıdır. Her bölümün içine, şamandıra üstünde teşkil edilecek menholler vasıtasıyla girilebilmelidir. Herhangi bir nedenle şamandıranın içine su girmesi durumunda suyun diğer bölümlere ulaşmaması ve dolayısıyla batmaması sağlanmış olmalıdır. Şamandıralarda kullanılan çelik malzemenin akma limiti 3150 kg/cm^{2}'nin altında olmamalıdır. Korozyona karşı gerekli önlemler alınmalıdır. Şamandıra tasarımında tekne yapım kuralları geçerlidir. Şamandıralar gerek su basıncına ve gerekse uzun dönem dalga yüklerine karşı yeterli mukavemete sahip olmalıdır. Şamandıra üzerinde gemi halatının bağlandığı halka ya da çabuk bırakma kancası ile şamandıraya bağlanan yükselen zincirin arasındaki "çeki çubuğu" yeterli mukavemete sahip olmalıdır.

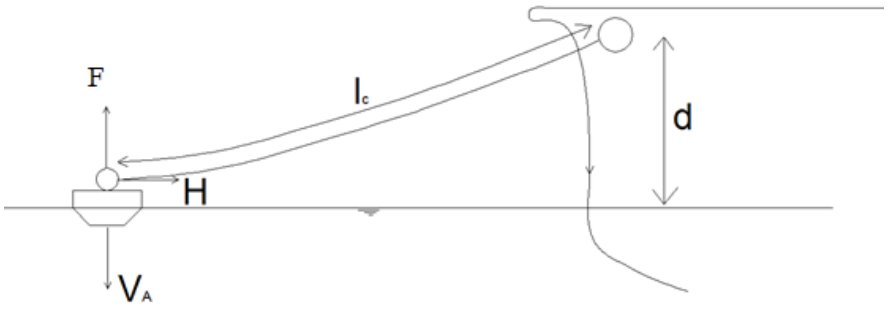
Gemi bağlanmadığında, şamandıra yüksekliğinin 1/2 - 1/3'ü kadarlık hava payına sahip olacak biçimde yüzmelidir. Şamandıra yüksekliği, şamandıranın su üstü yüksekliği ile su altı derinliğinin toplamıdır. Hava payı, şamandıranın su üstü yüksekliğidir. Yüzme hesabında şamandıra ağırlığı, suyun kaldırma kuvveti ve yükselen zincirin deniz derinliği kadar olan kısmının su altı ağırlığı dikkate alınmalıdır.

Gemi halatı bağlı durumda iken şamandıra bir miktar yükselecektir. Bu durumda şamandıra yüzebilmeli, tamamen su dışına çıkmamalıdır. Şamandırayı yukarı doğru çeken kuvvet aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$F = V_A - \frac{H}{\sqrt{\left(\frac{\ell_c}{d}\right)^2 - 1}} \qquad (7.23)$$

burada,

H : Bağlama kuvveti (kN)
ℓ_c : Gemiye bağlı halat boyu (m) (Şekil 7.16)
d : Gemi güverte yüksekliği (m)
V_a : Şamandıraya etkiyen düşey kuvvet (kN)
F : Yüzme için gerekli kaldırma kuvveti (kN)



Şekil 7.16 Şamandıraya bağlı gemi

Zincirler

Çok noktalı bağlama sistemlerinde mutlaka sertifikalı zincirler ve aranjmanları (fırdöndü, ring, kilit, vs.) kullanılmalıdır. Zincir seçiminde ilgili tablolardan yararlanılabilir (Tablo 7.1). Üç farklı zincir kalitesi vardır.

Grade U1 : Normal kalite f_y=370-490 N/mm^2
Grade U2 : Özel kalite f_y=490-690 N/mm^2
Grade U3 : Ekstra özel kalite f_y=min 690 N/mm^2

Hesapla bulunan zincir kuvveti, Tablo 7.1'de gösterilen kırılma dayanımının belirli bir emniyet katsayısına bölünmüş değerini geçemez. Bu emniyet katsayısı (n) ile gösterilmiştir.

Beton Bloklar (Sinker Bloklar)

Beton bloklar kare ya da dairesel tabanlı kubbe tipi olabilir. Yerlerine yerleştirilebilmeleri ve yerlerinden alınabilmeleri için uygun mukavemette kaldırma kancaları olmalıdır. Kaldırma kancaları kare tabanlı bloklarda bloğun su içindeki ağırlığının üç katına, kubbe tipi olanlarda ise beş katına göre hesaplanmalıdır. Bunun sebebi özellikle kum ve killi zeminlerde oluşan vakum etkisidir.

Beton kalitesi en az C35 olmalıdır. Blok içine gerekirse inşaat demiri konulabilir. Pas payı böyle durumlar için en az 7.5 cm olmalıdır. Kaldırma kancası teşkilinde korozyon etkisi ihmal edilmemeli ve emniyet gerilmelerinin yarısı aşılmamalıdır. Gerektiği takdirde kaldırma kancası yerine zincir hattına bağlanabilecek boyutta zincirler kullanılabilir.

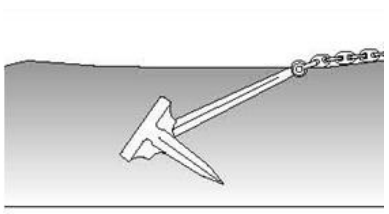
Blokların büyük tonajlara çıkması halinde seçenek olarak beton blok yerine çapa kullanılabilir. Bu durumda çapa tutunma kapasitesi, bloğun su üstündeki ağırlığının en az üç katı olmalıdır.

Tablo 7.1 Zincir büyüklükleri

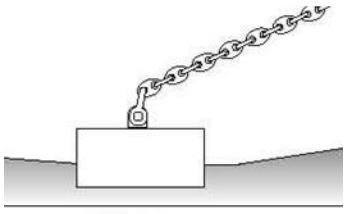
Zincir halkasının çapı	Derece						Her 27.5m için minumum ağırlık
	U1		U2		U3		
	Elastik limite kadar maksimum yük	Kırılma yükü	Elastik limite kadar maksimum yük	Kırılma yükü	Elastik limite kadar maksimum yük	Kırılma yükü	
mm	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
12.5	4700	6720	6720	9400	9400	13450	105
14	5880	8400	8400	11770	11770	16800	127
16	7660	10940	10940	15310	15310	21950	157
17.5	9130	13040	13040	18260	18260	26100	186
19	10740	15340	15340	21470	21470	30700	216
20.5	12470	17800	17800	24930	24930	35600	248
22	14310	20440	20440	28620	28620	40900	286
24	16970	24240	24240	33930	33930	48500	345
26	19840	28340	28340	39670	39670	46700	405
28	22920	32740	32740	45840	45840	65500	475
30	26200	37450	37450	52400	52400	74900	545
32	29700	42450	42450	59400	59400	84850	615
34	33400	47700	47700	66800	66800	95450	690
36	37300	53300	53300	74600	74600	106600	775
38	41400	59150	59150	82800	82800	118300	860
40	45700	65280	65280	91400	91400	130550	950
42	50200	71700	71700	100350	100350	143400	1040
44	54850	78350	78350	109700	109700	156750	1130
46	59700	85300	85300	119450	119450	170650	1240
48	64750	92550	92550	121550	121550	185050	1345
50	70000	100000	100000	140000	140000	200000	1455
52	75400	107750	107750	150800	150800	215450	1575
54	81000	115700	115700	162000	162000	231400	1690
56	86750	123950	123950	173500	173500	247850	1810
58	92700	132400	132400	185350	185350	264800	1945
60	98800	141100	141100	197550	197550	282850	2075
62	105050	150050	150050	210100	210100	300150	2220
64	111500	159250	159250	222950	222950	318500	2370
66	118050	168650	168650	236150	236150	337350	2525
68	124800	178300	178300	249600	249600	356600	2685
70	131700	188150	188150	263400	263400	376300	2850
73	142350	203350	203350	284700	284700	406700	3100
76	153300	219050	219050	306650	306650	438050	3360
78	160800	229750	229750	321600	321600	459450	3535
81	172300	246150	246150	344650	344650	492350	3820
84	184150	263050	263050	368250	368250	526100	4105
87	196250	280350	280350	392500	392500	560700	4405
90	208650	298100	298100	417300	417300	596150	4705
92	217100	310100	310100	434150	434150	620250	4905
95	229950	328500	328500	459900	459900	657000	5210
98	243100	347300	347300	486200	486200	694550	5530
100	252000	360000	360000	504000	504000	720000	5745
102	261000	372900	372900	522050	522050	745760	5970
105	274750	392500	392500	549500	549500	784980	6320
108	288700	412450	412450	577400	577400	824850	6695
111	302900	432700	432700	605800	605800	865450	7080
114	317300	453300	453300	634600	634600	906600	7475
117	331950	474200	474200	663850	663850	948350	7870
120	346750	495350	495350	693500	693500	990700	8270

Çapalar

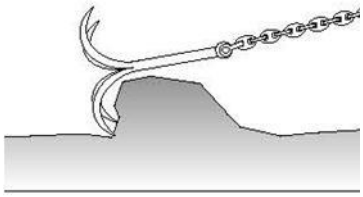
Uygulamada çeşitli çapa tipleri bulunmaktadır (Şekil 7.17). Bunlar sürüklenerek gömülen çapalar, batık çapalar, takılmalı çapalar, gömülen çapalar, sapmalı (kazık) çapalardır. Burada "Yeni İnşa Edilecek Çok Noktalı Bağlama Sistemleri" yani Şamandıralı Gemi Bağlama Sistemleri için "Sürüklenerek Gömülen Çapa" tipine izin verilecektir. Mevcut şamandıra sistemlerinde hesap tahkikleri olumlu çıktığı takdirde diğer çapa tiplerine izin verilebilir.



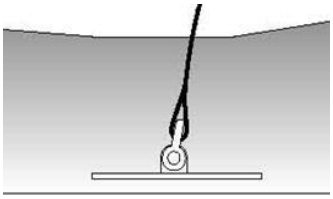
(a) Sürüklenerek gömülen çapa



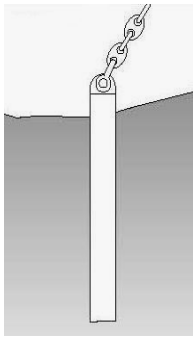
(b) Batık çapa



(c) Takılmalı çapa



(d) Gömülen çapa



(e) Kazık çapa

Şekil 7.17 Çapa tipleri

Batık çapaların hesap metodu, yüzen iskelelere ait Bölüm D 4.6'da açıklanmıştır.

Sürüklenerek gömülen çapaların hesabında "Çapa Seçimine Esas Yükler" bölümünde tanımlanan (7.20), (7.21) ve (7.22) ifadelerinden bulunan T_{C1} ve T_{C2} yükleri esas alınır. Sürüklenerek gömülen çapaların tutunma kapasitesi

$$H_t = H_r (W_h / 4536)^a \qquad (7.24)$$

bağıntısı ile bulunacaktır. Burada,

H_t : Statik tutunma kapasitesi (kN)
H_r : Referans çapanın havadaki tutunma kapasitesi (kN)
W_h : Çapanın havadaki ağırlığı (kg)
a : Üstel sabit

H_r ve a değerleri Ekler Bölümü E7(c) 'deki tabloda "tutunma kapasitesi parametreleri" olarak verilmiştir. Deniz tabanına ait yeterli veri yok ancak çapa ile ilgili bilgiler mevcut ise, çapaların tutunma kapasitesi için H_t=e W_h bağıntısı ile kullanılacaktır (Ekler Bölümü Tablo E7(a)). Burada e boyutsuzdur ve çapa efektiflik katsayısıdır. Deniz tabanındaki zemin hakkında yeterli veri olmadığından çapa efektiflik katsayı değerlerinin minimum olanı alınır. Bu bağıntı ağırlığı ve tipi bilinen bir çapanın e katsayısı ile ağırlığını çarpmak suretiyle bulunabilir. Çapa tipi seçimi için "Türk Loydu, 2009" kaynak olarak kullanılabilir.

Bazı durumlarda çapanın ağırlığı bilinirken tipi bilinmeyebilir. Zemin hakkında yeterli bilgi olmalıdır. Bu durumda çapa kapasitesi Tablo 4.2 kullanılarak bulunabilir. Burada, W_A, çapanın su altındaki ağırlığıdır (W_A=0.85W_H alınabilir). Çapa yükleri, çapaların tutunma kapasitesinin belirli bir emniyet katsayısına (n) bölünerek elde edilen değerini geçemez. Ek7'de verilen tablolarda çapa tipleri ve tutunma kapasiteleri verilmiştir.

Zincir, Blok ve Çapa Seçimi için Yükleme Durumları

Bölüm C Tablo 1.3 deki veriler dikkate alınarak zincir kesitlerinin, blok ağırlığının, çapa tipleri ve ağırlıklarının belirlenebilmesi için üç adet halat yükleme durumu dikkate alınacaktır.

a) Durum 1

Bölüm C Tablo 1.3 Tanım 2 (Elleçleme Operasyonunun Durması) bölümünde tankerler için verilmiş olan dalga, rüzgar, akıntı verileri kullanılacaktır. Bu verilere göre "Analiz" kısmında açıklanan kombinasyonlara göre bulunan maksimum halat yükü dikkate alınarak yapılan statik hesap sonuçlarındaki zincir ve çapa kuvvetleri dikkate alınacaktır. Tüm zincirlerde, kesit hesaplarında emniyet katsayısı (n), minimum 3 olarak alınacaktır. Bloklarda Wb>Vb şartı sağlanacaktır. α_B açısı maksimum 6° olacaktır. Çapalarda emniyet katsayısı (n), minimum 1.5 olarak alınacaktır.Şamandıra yüzme tahkiki bu duruma ait halat yüküne göre yapılacaktır.

b) Durum 2

Bölüm C Tablo 1.3 Tanım 3 (Yanaşma Yerine Bağlı Gemi) bölümünde tankerler için verilmiş olan dalga, rüzgar, akıntı verileri kullanılacaktır. Bu verilere göre "Analiz" kısmında açıklanan kombinasyonlara göre bulunan maksimum halat yükü dikkate alınarak yapılan statik hesap sonuçlarındaki zincir ve çapa kuvvetleri dikkate alınacaktır. Tüm zincirlerde, kesit hesaplarında emniyet katsayısı (n), minimum 1.5 olarak alınacaktır.Bloklarda Wb>Vb şartı sağlanacaktır. α_B açısı maksimum 3° olacaktır. Çapalarda emniyet katsayısı (n), minimum 1.2 olarak alınacaktır.

c) Durum 3

Elleçleme Operasyonu anında taşıyıcı hatlardan bir tanesinin devre dışı kalması (kopması) sonucunda operasyonun devam edebilmesi amacıyla gereken emniyet koşullarının sağlanmasına yönelik tahkikleri içerir. Yukarıda Durum 1 için hesaplanmış halat yükü dikkate alınacaktır. Sadece zincir ve çapalar için emniyetli taşıma gücü kontrolü ile ilgili bir yük durumudur. Altyapı sisteminde iki adet taşıyıcı hat var ise (Bağlama sistemi 1 ve 2) , her bir taşıyıcı hattın halat yükünün (H) tamamını karşılaması zorunludur. Altyapı sisteminde üç hat var ise (Bağlama Sistemi 3 ve 4), her bir taşıyıcı hattın halat yükünün en az yarısını karşılaması zorunludur.Tüm zincirlerde, kesit hesaplarında emniyet katsayısı (n), minimum 1.5 olarak alınacaktır. Çapalarda emniyet katsayısı (n), minimum 1.2 olarak alınacaktır.

8. DENİZ YAPILARINDA MALZEME

Bu bölüm "Kıyı Yapıları ve Limanlar Malzeme, Yapım, Kontrol ve Bakım Onarım Teknik Esasları (2007)"na ilave bilgileri içermektedir.

8.1 Malzeme Seçimi

Çevresel etkiler dikkate alındığında kıyı yapılarının inşası için malzeme seçimi ve uygulanması büyük öneme sahiptir. Bu yapılarda kullanılan en genel yapı malzemeleri ahşap, çelik, beton ve taştır. Kıyı yapılarında kullanılmak üzere malzeme seçilirken aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

- Yapısal özellikler (yoğunluk, dayanım, enerji yutma kapasitesi, yorulma ve darbe direnci, sıcaklık altındaki davranışı). Ayrıca malzeme özellikleri kurulum, satış veya uygulama alanı için zorluk derecelerini etkiler.
- Dürabilite (yapı çevresi ve diğer bozucu etkenlere karşı doğal direnci, koruyucu önlemler ve uzun dönem bakım gereksinimleri)
- Uyumluluk (diğer malzemelerle fiziksel ve kimyasal etkileşimleri ve diğer malzemelerle yapısal olarak uyum sağlayabilme yeteneği)
- Maliyet ve temin edilebilirlik (taşıması ve uzun dönem bakımı, maliyeti ve istenilen büyüklük ile sayıda elde edilebilirliği)

Yapısal çeliğin özellikleri dayanım, enerji yutma kapasitesi, yorulma ve kırılma özellikleri, kaynaklanabilirliği ve bağlantı yöntemleri ile korozyondan koruma ölçümleri düşünülerek belirlenmelidir. Kıyı yapıları tasarımında hem yapı elemanı ve hem de bağlantı kaynakları için izin verilen korozyon ve aşırı gerilme durumlarında metal kalınlıkları çok önemli bir yere sahiptir. Kıyı yapılarında yüksek dayanımlı çelik kullanımında hidrojen kırılganlığı problemi dikkate alınmalıdır. Hidrojen kırılganlığı düzensiz akım/kaynaklamadan veya aktif katodik koruma sisteminden oluşmaktadır.

Beton, özenli şekilde imal edildiği ve uygulaması yapıldığı durumda, kıyı yapıları için mükemmel bir malzemedir. Beton özellikleri -sülfat direnci ve donma çözünme etkisi gibi dürabilite gereksinimlerini etkilediğinden- dayanım, permeabilite, tasarım özellikleri ve mineral katkı kullanımı düşünülerek belirlenmelidir (Tablo 8.1, Tablo 8.2). Çevresel etki sınıfları dikkate alınarak (XS1, XS2, XS3) tasarlanan betonun daha uzun servis ömrüne sahip olduğu hem laboratuvar çalışmalarında hem de saha uygulamalarında bilinen bir durumdur. Betonun karışımı ve yerleştirilmesi, kalite kontrolü, istenilen özelliklere ulaşılmada önemlidir. Betonarme elemanların özellikleri, kullanılan çeliğin özellikleri, yerleştirilmesi ve detayları önemlidir. Yerinde yerleştirilen yapısal beton, prekast ve öngerilmeli beton, kütle beton, tiremi beton, pompalanmış ve paketlenmiş beton, püskürtme beton gibi özel uygulamalara beton karışımları uyum sağlar. Tablo 8.1 bazı tipik uygulamalar için beton karışımlarını göstermektedir.

Tablo 8.1 Tipik liman beton uygulamaları ve karışım içerikleri

Uygulama	Zararlı etken	Min. basınç dayanımı (28. gün) (Mpa)	Min çimento içeriği (kg/m^3)	Maks su/bağlayıcı oranı	Maks agrega boyutu (mm)	Katkı
Yerinde yerleşen yapısal beton	Rüzgar, dalga çarpması, gel-git	30-35	365-390	0.40	22.4--40	Hava sürükleyici
Prekast/öngerilmeli yapısal elemanlar	Tüm alanlar	35-65	420	0.40	20	Hava sürükleyici, su azaltıcı
Kütle yapıları	Tüm alanlar	60	365-390	0.40	40-63	Hava sürükleyici, akışkanlaştırıcı, puzolan
Tremi	Batırma	30-45	420	0.40	20	Hava sürükleyici, akışkanlaştırıcı
Püskürtme beton (Shotcrete)	Dalga çarpması ve gelgit	35-45	420	0.55-0.50	-	Priz hızlandırıcı

Beton geçirimliliğini azaltmak, klorür iyonlarının geçişini ve karbonatlaşmayı yavaşlatmak için tipik olarak liman yapılarında beton su/bağlayıcı oranı maksimum 0.40 olarak seçilir. Dürabilite bazen mineral katkı maddesi kullanımı ile iyileştirilmektedir. Bu amaçla uçucu kül, mikro silika gibi katkılar kullanılmaktadır. Fakat uçucu kül kullanımında dürabilite artışı yanında erken dayanım kazanma hızı düşmekte ve bunu iyileştirmek için silis dumanı katkısı eklenerek erken dayanım arttırılabilmektedir.

Genellikle, normal yapısal betonda istenilen dayanım ve dürabilite özelliklerine ulaşmak için şu karışım tasarımı uygulanmaktadır: Bağlayıcı içeriği 365-420kg/m^3 aralığında, maksimum su/bağlayıcı oranı 0.38-0.40 aralığında, maksimum agrega boyutu 20 mm civarında, hava sürükleyici katkı maddesi hava içeriği %4-8 aralığında olacak şekilde (agrega tane çapı ve zararlı ortam özellikleri dikkate alınarak) seçilir.

İstenilen işlenebilirliğin sağlanabilmesi için süper akışkanlaştırıcı gibi çeşitli kimyasal katkılar bu tip yapıların betonlarında kullanılmaktadır. Katkı kullanımı ile istenilen yoğunluğun ve işlenebilirliğin sağlanması özel hafif veya ağır uygulamalarda elde edilebilmektedir. Donatı çeliğinin korozyonu ile genel olarak kıyı yapılarında karşılaşılmaktadır. Etkili bir beton örtüsü, genellikle 5-7.5 cm civarında donatı üzerinde, yoğun bir durabil karışımın birleşimi olarak donatı yüzeyinde yüksek alkalinite sağlaması ile birçok zararlı ortama karşı direnç göstermesi ile olmaktadır.

Tablo 8.2 (a) TS EN 206-1'e göre çevresel etki sınıfları

		Korozyon etkisi ve riski yok	Donatı korozyonu									
			Karbonasyon nedeniyle korozyon				Klorür iyonları nedeniyle korozyon					
							Deniz suyu haricindeki klorür			Deniz suyundan gelen klorür		
Sıra	Etki Sınıfı	X0[a]	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
1	En büyük su/çimento oranı[b]	-	0.70	0.65	0.60	0.55	0.55	0.50	0.45	XD1'e bakılmalıdır	XD2'ye bakılmalıdır	XD3'e bakılmalıdır
2	En düşük beton sınıfı	C8/10	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45 [d]	C35/45			
3	En az çimento içeriği[c] (kg/m^3)	-	240	260	270	280	300	320	320			
4	Mineral katkı ile birlikte en az çimento içeriği[c] (kg/m^3)	-	240	240	240	270	270					
5	En az hava içeriği (%)	-	-	-	-	-	-	-	-			
6	Diğer özellikler	-	-									

[a] Sadece donatı veya gömülü metal içermeyen betonlar içindir
[b] Hafif betona uygulanmaz
[c] Agrega en büyük tane büyüklüğü 63 mm olan betonlar için çimento dozajı 30kg/m^3 azaltılabilir
[d] Dayanım kazanma hızı daha yavaş betonlar için bir sınıf altı uygulanır (r<0.30 olduğunda). Bu durumda sınıflama için basınç dayanımı Madde 4.3.1'de olduğu gibi 28 günlük numunelerde belirlenir.

Tablo 8.2 (b) TS EN 206-1'e göre çevresel etki sınıfları

		Donatı Korozyonu											
		Donma çözülme etkisi						Zararlı kimyasal ortam			Aşınma		
Satır	Etki Sınıfı	XF1	XF2		XF3		XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
1	En büyük su/çimento oranı	0.60	0.55[f]	0.5[f]	0.55	0.5	0.5[f]	0.6	0.5	0.45	0.55	0.45	
2	En az beton sınıfı[b]	C25/30		C35/45[d]	C25/30	C35/45[d]	C30/37	C25/30	C35/45[d]	C35/45	C30/37	C35/45	
3	En az çimento içeriği[c] (kg/m^3)	280	300	320	300	320		280	320		300	320	
4	Mineral katkı ile birlikte en az çimneto içeriği[c]	270	270[f]		270		270[f]	270					
5	En az hava içeriği (%)	-	e	-	e	-	e,i	------					
6	Diğer özellikler	XF1'den XF4 etki sınıfına kadar olan betonlar için tane büyüklüğü dağılımı						------	I	----	İşlem uygulanacak beton düzeyi	Sert agrega kullanılarak	
		F_4	MS_{25}		F_2		MS_{18}						

b, c ve d notları için TS EN206-1'e ve ekine (TS 13515, 2012) bakılmalıdır.

e)Betonun yerleştirilmeden hemen önceki ortalama hava içeriği; agrega en büyük tane büyüklüğü 8 mm olan betonlar için hacimce en az % 5.5, agrega en büyük tane büyüklüğü 16 mm olan betonlar için hacimce en az % 4.5, agrega en büyük tane büyüklüğü 32 mm olan betonlar için hacimce en az % 4, agrega en büyük tane büyüklüğü 63 mm olan betonlar için hacimce en az % 3.5 olmalıdır. Herhangi bir deney sonucunun verilen bu deney sonuçlarından sapması % 0.5'ten fazla olmamalıdır.

f) En az çimento miktarı ve su/çimento oranının hesaplanmasında, çimentoya eklenecek, bağlayıcı mineral katkı olarak sadece uçucu kül dikkate alınır. Diğer tip II mineral katkılar bu hesaplamada dikkate alınmaz. Betonda uçucu kül ve silisin birlikte kullanılması durumunda hesaplamada uçucu kül dikkate alınmaz.

g) TS 706 EN 12620'ye uygun agrega kullanılmalıdır.

h)Yüksek dayanımlı beton dışında maksimum çimento miktarı 360 kg/m^3 olmalıdır.

i) Su/çimento oranı 0.4'ten daha düşük olan nemli toprak kıvamındaki betona hava sürüklenmesine gerek yoktur.

j)Yüzeydeki suyun vakumla çekilmesi ve yüzeyin tesviyesi gibi

k)Koruyucu önlemler için Madde 5.3.2'ye bakılmalıdır.

Tablo 8.2 (c) TS EN 206-1'e göre çevresel etki sınıfları (Açıklamalar)

Sınıf Gösterimi	Çevrenin tanımı	Etki sınıflarının meydana gelebileceği yerlere ait bilgi mahiyetinde örnekler
1 Korozyon veya zararlı etki tehlikesi yok Etki sınıfı X0 donatı veya gömülü metal içermeyen bileşenler için hiçbir zararlı etkinin olmadığı çevrelerde kullanılabilir.		
X0	Donatı veya gömülü metal bulunmayan beton: Donma-çözülme, aşınma ve kimyasal etkiler haricindeki bütün çevresel etkiler.	Donatısız ve donma-çözülme etkilerine maruz kalmayan temel betonları: donatısız içyapı elemanları.

Tablo 8.2 (d) TS EN 206-1'e göre çevresel etki sınıfları (Açıklamalar)

2 Karbonatlaşmanın sebep olduğu korozyon Donatı veya diğer gömülü metal ihtiva eden betonun hava ve nem etkisine maruz kaldığı etki, aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır. Not - Burada bahse konu olan nem şartları, donatı veya diğer gömülü metali saran beton örtü tabakası içerisindeki şartlardır. Ancak çoğu durumda beton örtü tabakası şartlarının betonun içerisinde bulunduğu çevre şartlarının yansıttığı kabül edilir. Bu durumda çevre şartlarının sınıflandırılması yeterli olabilir. Beton ve içerisinde bulunduğu çevre arasında bariyer tabaka varsa bu şartlar geçerli olmayabilir.		
XC1	Kuru veya sürekli ıslak	Çok düşük rutubetli havaya sahip ortamdaki donatılı beton. Sürekli olarak, zararlı etkisi olmayan su içerisindeki beton.
XC2	Islak, ara sıra kuru	Su ile uzun süre temas eden beton bileşenler Su depoları, çoğu temeller (Zararlı etkisi olmayan toprak içerisine tamamen gömülmüş donatılı ve öngerilmeli beton)
XC3	Orta derecede nemli	Orta derecede veya yüksek rutubetli havaya sahip binaların iç kısımlarındaki betonlar yağmurdan korunmuş, açıkta bulunan betonlar (sundurma tipi binalar, ticari mutfaklar, banyolar, çamaşır odaları, içerdeki yüzme havuzlarının rutubetli odaları, zeminler)
XC4	Döngülü ıslak ve kuru	Yağmura maruz kalan tüm harici beton elemanları.

Tablo 8.2 (e) TS EN 206-1'e göre çevresel etki sınıfları (Açıklamalar)

3 Deniz suyu haricindeki klorürlerin sebep olduğu korozyon [a)] Donatı veya diğer gömülü metal ihtiva eden betonun, buz çözücü tuzları da ihtiva eden, deniz suyu haricindeki kaynaklardan gelen klorürleri ihtiva etmesi halindeki etki, aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır.		
XD1	Orta derecede nemli	Trafik alanları nedeniyle hava ile taşınan klorürlere maruz kalan beton yüzeyler; özel garajlar. Buz çözücü maddeler içeren doğrudan serpintilerden uzak olan kemer bölümlerinde donatılı ve ön-gerilmeli beton yüzeyler. Çok az buz çözücü etkisine maruz kalan yapıların bölümleri.
XD2	Islak, ara sıra kuru	Tuzlu su; Klorür içeren suya tamamen batırılmış donatılı ve ön-gerilmeli beton yüzeyler[b)] Yüzme havuzları, klorür içeren endüstriyel sulara maruz betonlar.
XD3	Döngülü ıslak ve kuru	Buz çözücüler veya buz çözücüler içeren serpintilerden doğrudan etkilenen donatılı ve öngerilmeli yüzeyler (örneğin duvarlar, köprü ayakları, taşıt yolundan 10 m içerideki kolonlar, korkuluk kemerleri ve taşıt yolu seviyesinden 1 m aşağıda gömülü yapılar, döşemeler ve otopark döşemeleri)[a)]

Tablo 8.2 (f) TS EN 206-1'e göre çevresel etki sınıfları (Açıklamalar)

Sınıf Gösterimi	Çevrenin tanımı	Etki sınıflarının meydana gelebileceği yerlere ait bilgi mahiyetinde örnekler
4 Deniz suyundan kaynaklanan klorürlerin sebep olduğu korozyon Donatı veya diğer gömülü metal ihtiva eden betonun deniz suyunda bulunan klorürlere veya deniz suyundan kaynaklanan tuz taşıyan hava ile temas etmesi halinde etki, aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır.		
XS1	Hava ile taşınan tuzlara maruz, ancak deniz suyu ile doğrudan temas etmeyen	Sahilde veya sahile yakın yerde bulunan beton yapılar.
XS3	Sürekli olarak su içerisinde	Tamamen daldırılmış ve doygun kalan donatılı ve öngerilmeli beton; örneğin deniz suyunun altında kalan beton
XS2	Gel-git, dalga ve serpinti bölgeleri	Yüksek gel-git bölgelerinde çamurlu ve püskürtme bölgelerinde iskele duvarları gibi donatılı ve öngerilmeli beton bileşenler

Tablo 8.2 (g) TS EN 206-1'e göre çevresel etki sınıfları (Açıklamalar)

5 Buz Çözücü maddenin de bulunduğu veya bulunmadığı donma/çözülme etkisi Betonun, etkili donma/çözülme döngülerine, ıslak durumda maruz kalması halinde etki, aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır.		
XF1	Buz çözücü madde içermeyen suyla orta derecede doygun	Tüm dış yapı elemanları
XF2	Buz çözücü madde içeren suyla orta derecede doygun	Trafiğin olduğu alanlarda serpinti ve sıçrama yolu ile temas eden XF4 sınıfından farklı olarak buz çözücü maddeler içeren sulara maruz beton bileşenler. Deniz suyunun serpintilerine maruz beton yapılar.
XF3	Buz çözücü madde içermeyen suyla yüksek derecede doygun	Açık su depoları; gel-git etkisi altındaki tuz içermeyen suya maruz beton bileşenler.
XF4	Buz çözücü madde içeren su veya deniz suyu ile yüksek derecede doygun	Buz çözücü maddelere maruz yol ve köprü kaplamaları; Buz çözücü tuz ihtiva eden su serpintisine doğrudan ve donma etkisine maruz beton yüzeyler; Deniz yapılarının dalga etkisi altındaki donmaya maruz bölgeleri.
a) Nem koşulu, demir veya diğer gömülü metal bulunan betonun pas payındaki nemle ilişkilidir, fakat birçok durumda, beton pas payındaki koşullar çevreden kaynaklı koşul olarak değerlendirilebilir. Eğer beton ile çevresi arasında bir bariyer varsa, böyle bir etki söz konusu olmaz. b) Bir yüzeyi klorür içeren suya batırılmış, diğer yüzeyi ise havaya maruz kalan donatılı ve öngerilmeli beton elemanları potansiyel olarak daha ciddi koşul altındadır. Özellikle de kuru tarafın yüksek ortam ısısına maruz kaldığı durumlarda söz konusu koşul daha da şiddetlidir. Karşılaşılacak muhtemel koşullara uygun bir şartname geliştirmek için, gerekli görüldüğünde, uzman tavsiyesine başvurulmalıdır.		

Tablo 8.2 (h) TS EN 206-1'e göre çevresel etki sınıfları (Açıklamalar)

6 Betonun kimyasal etkilere maruz kalması Betonun TS EN 206-1 Çizelge 2 'de verilen tabii zeminler ve yer altı sularından kaynaklanan zararlı kimyasal etkilere maruz kalması durumunda etki, aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır. Deniz suyu coğrafik bölgeye göre sınıflandırılır, bu nedenle betonun kullanılacağı yerde geçerli sınıflandırma uygulanır. **Not-** XA3 etki sınıfında veya TS EN 206-1 Çizelge 2, geçerli etki sınıfının tayini için özel çalışma yapılmasına gerek duyulabilir. TS EN 206-1 Çizelge 2'de verilenler dışındaki sınır değerler, diğer zararlı kimyasal maddeler, kimyasal maddelerle kirlenmiş zemin veya su, TS EN 206-1 Çizelge 2'de verilen kimyasallarla birlikte yüksek hızda akan su bulunması.		
XA1	TS EN 206-1 Çizelge 2'ye göre az zararlı kimyasal ortam	Atık su arıtma tesislerinde bulunan depolar; sıvı gübre konteynerleri.
XA2	TS EN 206-1 Çizelge 2'ye göre orta zararlı kimyasal ortam	Deniz suyu ile temas halindeki beton bileşenler, zararlı zeminler üzerindeki beton bileşenler.
XA3	TS EN 206-1 Çizelge 2'ye göre çok zararlı kimyasal ortam	Endüstriyel atık su arıtma tesisleri; hayvan besleme yemlikleri; baca gazı arıtma ile soğutma kuleleri

Tablo 8.2 (ı) TS EN 206-1'e göre çevresel etki sınıfları (Açıklamalar)

Sınıf gösterimi	Çevrenin tanımı	Etki sınıflarının meydana gelebileceği yerlere ait bilgi mahiyetinde örnekler
7 Mekanik Aşınma Etkisi Beton, kullanım esnasında önemli derecede mekanik aşınmaya maruz kalacaksa etki, aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır.		
XM1	Orta derecede aşınma	Üzerinde, şişme lastikli araçların hareket ettiği taşıyıcı zeminler veya yüzeyi sertleştirilmiş sanayi tesisine ait zeminler.
XM2	Önemli derecede aşınma	Üzerinde, şişme lastikli veya içi dolu lastikli çatallı yükleyicilerin hareket ettiği taşıyıcı zeminler veya yüzeyi sertleştirilmiş sanayi tesisine ait zeminler.
XM3	Çok yüksek derecede aşınma	Üzerinde içi dolu lastik veya çelik tekerli çatallı yükleyicilerin hareket ettiği taşıyıcı zeminler veya yüzeyi sertleştirilmiş sanayi tesisine ait zeminler; Üzerinde sık sık paletli araçların hareket ettiği zeminler; hızlı ve türbülanslı akan sulardaki beton su yapıları (enerji kırıcı havuzlar vb.)

Tablo 8.2 (j) TS EN 206-1'e göre çevresel etki sınıfları (Açıklamalar)

8 Alkali silika reaksiyonu etkisiyle donatının korozyonu[c] Betonda alkali silika reaksiyonunun oluşabileceği ortamlarda etki, aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır.		
XWO	Normal kür işleminin ardından çok kısa süreyle rutubetli kalma dışında, kullanımı boyunca büyük ölçüde kuru kalan beton	Bina içinde kullanılan yapı bileşenleri; yağmur, yüzey suyu, zemin rutubeti vb. ile temas halinde olmayan ve/veya bağıl nemi %80'den daha fazla olan ortam şartlarına sürekli olmayan şekilde maruz kalan bina dışında kullanılan yapı bileşenleri
XWF	Sık sık veya daha uzun süreyle rutubetli ortamlara maruz beton	Yağmur, yüzey suyu, zemin rutubeti vb. 'ye maruz kalan korumasız dış yapı bileşenleri; endüstriyel veya ticari binalarda bulunan ıslak mekanlar, iç mekan yüzme havuzları, çamaşır odaları ve ıslak odalar gibi %80'den daha fazla rutubete sahip ortamlarda kullanılan yapı bileşenleri; sık sık çiğlenme noktasının altındaki sıcaklıklara maruz kalan yapı elemanları (baca delikleri, ısı aktarım merkezleri, hayvan ahırları vb) en küçük boyutu 0.8 m olan kütle betonu elemanları (herhangi bir rutubeti dikkate almadan)
XWA	XWF sınıfındaki şatlara ilave olarak betonun, aynı şartlara alkalilerin de bulunduğu şekilde maruz kalması	Deniz suyu ile temas halindeki yapı bileşenleri; herhangi ilave dinamik yüke maruz olmayan, ancak buz çözücü tuzlarla temas eden yapı bileşenleri (deniz suyunun çarptığı bölgeler, otopark zeminleri ve park için ayrılmış özel alan); alkalilerle temas halindeki endüstriyel veya tarımsal yapılarda kullanılan yapı bileşenleri (sıvı gübre konteyneri gibi).
XWS	Yüksek dinamik yüklerin olduğu ve alkalilerin doğrudan etki ettiği ortamdaki beton	Deniz suyu ile temas halinde ve yüksek dinamik yüklere maruz beton bileşenler (beton yol yüzeyleri veya döşemeleri gibi)
[c] Alkali silika reaksiyonu riskini önlemek ve zararlı etkisini azaltmak için alınacak önlemler Ek M'de verilmektedir.		
TS EN 206-1 Çizelge 2'de NH_4^+, $(NH_4^+)^d$ olarak değiştirilmiş ve [d]'nin açıklanması için TS EN 206-1 Çizelge 2'nin dip notuna aşağıdaki cümle eklenmiştir. [d] NH_4^+'ün içeriğine bakılmadan, sıvı gübre XA1 çevre etki sınıfı olarak sınıflandırılabilir.		

En yaygın olarak bilinen reaksiyon, agrega içerisinde bulunan reaktif silis minerali ile çimentodan gelen alkaliler arasında meydana gelendir. Silis mineralinin reaktif oluşumları arasında opal, kalsedon ve tridimi sayılabilir. Bu reaktif malzemeler opalin veya kalsedonink çörtlerde, silisli kireçtaşında, riyolit ve riyolitil tüflerde, dasit ve dasit tüfünde, andesit ve andesit tüfünde ve filitlerde oluşabilmektedir. Tablo 8.2 (k) betonda zararlı alkali silica reaksiyonuna neden olabilecek reaktif mineral, kaya ve diğer maddeler verilmiştir.

Tablo 8.2 (k) Betonda alkali silika reaksiyonu-ASR (Açıklamalar)

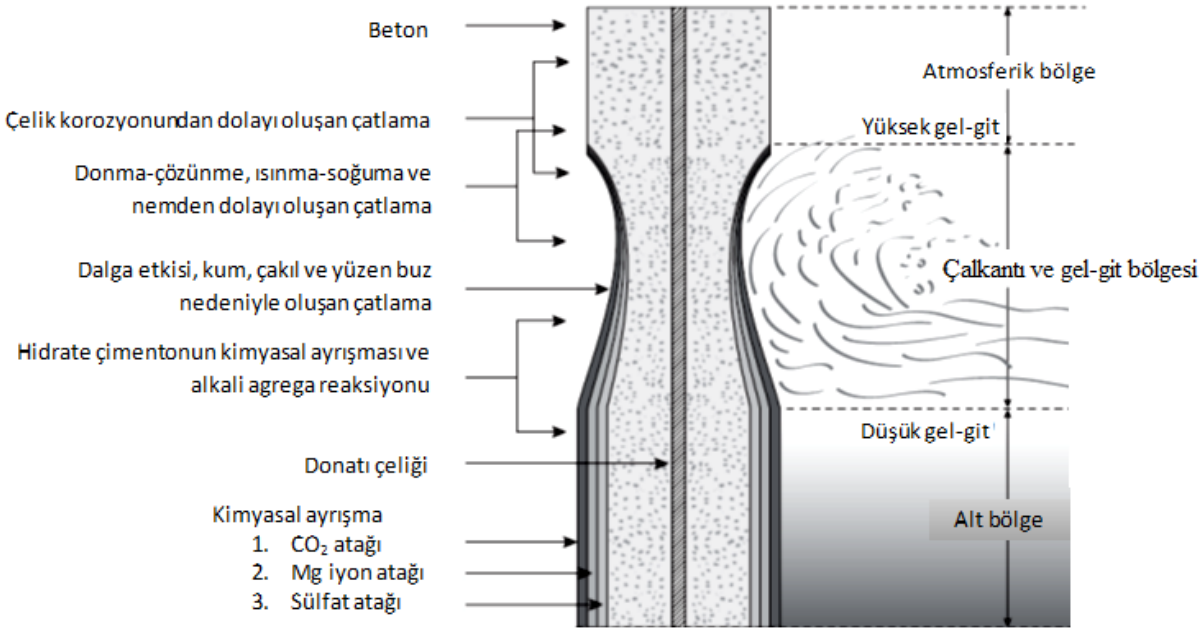
Mineraller		
Opal, Tridimit, Kristobalit, Kalsedon, kriptokristalin, mikrokristalin veya camsı kuvars, İri taneli kuvars (yoğun şekilde parçalanmış, granüle olmuş ve basınca maruz kalmış veya ikincil kapanımlarla zengin) Asidik (Silisli), ara bileşimli (nötr) ve bazik volkanik camlar, damar kuvarsı		
Kayalar		
Kaya		Reaktif Bileşen
Volkanik	Granodiyorit, şarnokit, granit	Basınca maruz kalmış kuvars; mikrokristalin kuvars
	Pumis (sünger taşı), riyolit, andezit, dasit, latit, perlit, obsidiyen, volkanik tüf.	Silisli veya ara bileşimli (nötr) silisce zengin volkanik camlar; devitrifiye camlar, tridimit
	Bazalt	Kalsedon, kristobalit, palagonit, bazik volkanik camlar
Metamorfik	Gnays, Şist	Basınca maruz kalmış kuvars; mikrokristalin kuvars
	Kuvarsit	Basınca maruz kalmış ve mikrokristalin kuvars, çört
	Hornfels, fillit, arjillit	Basınca maruz kalmış kuvars; mikrokristalin - kriptokristalin kuvars
Sedimanter	Kumtaşı	Basınca maruz kalmış ve mikrokristalin kuvars, çört, opal
	Grovak	Basınca maruz kalmış ve mikrokristalin - kriptokristalin kuvars
	Silttaşı	Basınca maruz kalmış ve mikrokristalin - kriptokristalin kuvars; opal
	Şeyl	
	Tillit	Basınca maruz kalmış ve mikrokristalin - kriptokristalin kuvars
	Çört	Kriptokristalin kuvars; kalsedon; opal
	Çakmaktaşı	
	Diyatomit	Opal, kriptokristalin kuvars
	Killi dolomitik kireçtaşı ve kalsitik dolomit kuvars içeren killi kalsitik dolomit	Dolomit; kil mineralleri didolomitizasyona maruz kalmış
Diğer Maddeler		
Sentetik cam silika jel		

Ahşap, geleneksel bir kıyı yapısı malzemesidir. Göreceli olarak ucuz, durabil, çalışmaya uyumlu, darbe etkisine karşı dirençli ve etkili yük dağıtma özelliğine sahip malzemedir. Ahşap minimum dayanım, yoğunluk ve sınıflandırma derecesine göre tanımlanır. Nem içeriği ve darbe direnci önemli parametreleridir. Ahşap koruması yağ bazlı veya su bazlı koruma uygulaması ile yapılır.

Taş, genellikle granit bloklarla en durabil kıyı malzemesidir ve yaygın şekilde birçok limanda küresel ölçekte kullanılmıştır. Maliyet ve temin edilebilirlik kütle yapılarda en önemli kısıtlayıcılardır fakat parçalı ve düzensiz şekilli taşlar halen şevli yapılarda uygulanmaktadır.

8.2 Deniz Yapısı Durum Tespiti Yöntemleri

Her cins deniz bir çok çevresel etkiye ve hasar görme mekanizmasına açık olduğu bilinmekle birlikte bu hasarlardan bazıları zamanla oluşurken, bazıları da insan kaynaklı olaylar sonucu oluşabilmektedir. Örneğin, bir deniz yapısı elemanında oluşması muhtemel hasarlar şematik olarak Şekil 8.1'de gösterilmiştir.



Şekil 8.1 Betonarme su yapısında oluşan hasarlar (rev edilmiştir, Kumar ve Monteiro, 2006)

Beton, çelik ve ahşap gibi yapı elemanları için bozulma oranları deniz suyu içinde bulunma durumlarına göre değişmektedir. Yapıdaki korozyon bölgesi tanımları Tablo 8.3'te tanımlanmıştır. Bu bölgelerden bozulma açısından en kritik olanı çalkantı bölgesidir.

Çalkantı bölgesinde çelik kazık korozyon miktarları Tablo 8.4'te verilmiştir. Batık bölgede izin verilen maksimum korozyon miktarı 0.036 mm/yıl, atmosferik bölgede ise 0.01 mm/yıl'dır.

Oluşan hasarların bir kısmı gözle tespit edilebilirken bazı hasarlar yapı elemanlarının veya bileşenlerinin içinde belirli sürelerde gizli kalabilmektedir. Bu gibi durumlarda özel uzmanlık gerektiren tahribatsız ve/veya kısmi tahribatlı hasar tespit yöntemleri kullanılabilir. Bunlar Tablo 8.5'te verilmiştir.

Yerinde beton basınç dayanımının belirlenmesi için TS EN 13791 "Basınç Dayanımının Yapılar ve Öndökümlü Beton Bileşenlerde Yerinde Tayini" standardından yararlanılmalıdır. Yapılardan alınacak beton karot örnek sayısı Tablo 8.6'da verilmiştir.

Çelik boru kazıklı mevcut yapılarda, çelik et kalınlığı ve çelik sınıfının belirlenmesi için, çelik boru kazığın batık bölgesinde (bkz. Tablo 8.3) Tablo 8.7'de tanımlanan çalışmalar yapılır.

Tablo 8.3 Korozyon bölgesi tanımları (ASCE, 2015)

Bölge	Tanım
Atmosferik bölge	Çalkantı bölgesinin üst tarafında kuru kalan bölgedir. Ancak bu bölge tuzlu hava etkisindedir.
Çalkantı bölgesi	Bu bölge sürekli suyun çalkantı etkisi nedeniyle periyodik olarak ıslak ve kuru kalan bölgedir. Oksijenin çok olması ile karakterize edilir. Bu bölge yüksek oranda klorid etkisindedir. Bu alan "ortalama yüksek su seviyesi (OYSS)" nin üzerinde kalan bölgedir.
Gel-git bölgesi (Orta gel-git seviyesi)	Bu alanda düşük su seviyesi ODSS (ortalama düşük su seviyesi) ve çalkantı bölgesinin en düşük sınırı arasında kalan bölgedir. Bu bölge günlük gel-git ile kuru ve ıslak etkide kalan bölgedir. Ancak bu bölgede çalkantı bölgesi kadar oksijen bulunmaz ve o miktarda klorid etkisi de yoktur. Gel-git bölgesinin alt bölgesi ODSS'nin 0.5 m altında kalan seviye ile en düşük astronomik gel-git (LAT) arasında kalan bölgedir. Bu bölgede de agrasiv korozyon olur.
Alçak su bölgesi	Bu alan gel-git'in en düşük sınırının 0.5 m altı ile ODSS arasında kalan bölgedir. Bu bölgede kısmi korozyon etkileri görülür.
Batık bölge	Bu alan deniz tabanı ile gel-git'in en düşük sınırı arasında kalan bölgedir. Bu bölge sürekli ıslaktır.
Örselenmiş zemin bölgesi	Dalga, akıntı, gemi pervane jeti etkisi ile rahatsız olan ve deniz tabanından yaklaşık 1.0 m civarında örselenme tesirinde kalan bölgedir. Bu bölge sıkı zemin yoğunluğundan daha düşük zemin yoğunluğu ile karakterize edilir.
Örselenmemiş zemin bölgesi	En düşük oksijen seviyesine sahip, örselenmiş zemin bölgesinin alt seviyesinden temelin en düşük seviyesine kadar olan bölgedir.

Tablo 8.4 Çalkantı bölgesinde izin verilen maksimum korozyon miktarları (ASCE, 2015)

Bölge	**mm/yıl**
Yüksek	1.50
Düşük	0.08
Orta	0.41

Tablo 8.5 Hasar tespit yöntemleri

	Analiz, ölçüm, deney yöntemi	Kullanım yeri
1	**İnfrared Termografi (Infrared Thermography)**	Yapı katları ve döşemesindeki katmanlaşmanın yerinin tespiti ve bunların haritalandırma işleminde alternatif bir araçtır.
2	**Yer Tarama Radarı (Groung-Penetrating Radar)**	Perde arkasında düden algılaması, yapı katları durum değerlendirmesi, kaplama kalınlığı belirlemede, döşeme altında boşluk yeri belirlemede, donatı yeri tayininde, temel araştırmasında, su altı profili oluşturulmasında kullanılan bir radar tarama yöntemidir.
3	**Akustik Emisyon (Acoustic Emission)**	Deformasyon şiddetine, tipine, akış büyüklüğü ve kırılmaya göre malzemelerin gerilme altındaki çıkartmış oldukları işitme sınırı dışındaki sesleri absorbe ederek durumunun tespitinin yapılmasında ve ayrıca çatlak, korozyon, kaynak kusurları ve malzeme gevrekliği tespitinde kullanılır.
4	**Çelik Donatı Testi (Steel ReinforcingTesting)**	Manyetik akım ile betonda beton örtüsü kalınlığı, donatı yeri tespiti ve donatı çapı belirlenmesinde kullanılmaktadır.
5	**Schmidt Çekici (Schmidt Hammer)**	Betonun yerinde basınç dayanımı tespitinde kullanılır. Betonun üniformluğu, düşük kaliteli olduğu yerlerin tespiti, zamanla beton karakteristiğindeki değişimi (çimento hidratasyonu gibi) belirlemede kullanılır.
6	**Darbe-Yansıma Testi (Impact-Echo Test)**	Betondaki iç kusurların (alt yüzey katmanlaşması, peteklenme, çatlaklar, boşluklar vs.) dalga yansıması ile belirlenmesinde kullanılır.
7	**Windsor Probu (Windsor Probe)**	Betonun yerinde üniformluluğunun tespitinde ve düşük kaliteli ve özelliği bozulan bölgenin haritalanmasında kullanılır. Ayrıca, betonun basınç dayanımı ve aynı yapı boyunca göreceli basınç dayanımı tahmininde kullanılır.
8	**Yarı-Hücre Ölçümü Korozyon Tespiti (Half-Cell Testing Corrosion Survey)**	Gömülü ve kaplanmış çelik elemanlar üzerinde korozyonun oluşma durumunun tespitinde kullanılır.
9	**Klor Iyon Testi (Chloridelon Testing)**	Betondan toz parçaları alınarak beton bünyesindeki klor miktarı tespitinde kullanılır. Klor, donatıda korozyona neden olmaktadır.
10	**Malzeme Örneği Alma (Material Sampling)**	Betonun karbonatlaşma, permeabilite, çimento içeriği, hava içeriği, nem içeriği, basınç dayanımı, yoğunluk, elastisite modülü, su emme özelliklerinin tespitinde. Çelik: Brinell sertlik testi, charpy darbe testi, kimyasal analiz, çekme dayanımı tespitinde. Ahşap: bakteriolojik veya mantar çürümesi, içsel çürüme, ahşap türü tespitinde.
11	**Ultrasonik Test (Ultrasound Testing)**	Malzemelerde süreksizliklerin, çatlakların tespitinde, malzeme kalınlığı kontrolünde kullanılır.
12	**Sıvı Nüfuzu (Liquid Penetrating)**	Kırık veya kusur tespitinde kullanılır. Küçük yüzey kusurları buna dahildir.
13	**Manyetik Parça Deneyi (Magnetic Particle Testing)**	Yüksek hassasiyette dar kırık yüzeyi ve küçük süreksizliklerin tespitinde kullanılır.
14	**Yapı-Görüntüleme Sistemi (Structure- Monitoring System)**	Straingage: Gerilim ve gerilme ölçümünde. Clinometre: Eğim ölçümünde. Accelerometers: İvme ölçümünde. Thermocouple: Yapı çevre sıcaklık ölçümünde.
15	**Bilinmeyen Temel Araştırması (Unknown Foundation Investigation)**	Temel genişliği, temel tipi, temel geometrisi, temel malzemesi, temel bütünlüğü tespitinde kullanılır.
16	**Sualtı Akustik Görüntüleme ve Kanal Tabanı Görüntüleme (Underwater AcousticImaging And Channel Bottom Sounding)**	Kanal tabanı, oyulma derinliği, batık kalıntıları, batıkların parçalarının tespiti ve özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır.
17	**Mikrobial Korozyon (Microbial-İnduced Corrosion)**	Ahşap, çelik ve beton yapılarda bakterilerin oluşturdukları bozulmaların tespitinde kullanılır. Özellikle çelikte korozyona neden olan bakterilerin ve yerlerinin tespitinde yararlanılır.

Tablo 8.6 Mevcut betonarme yanaşma yapılarında minimum karot sayısı

Yapı Türü	**Karot adedi***
Basit yapı	Karot yerlerinin belirlenmesi amacıyla her anodan/dolfenden en az dört bölgede tahribatsız ölçüm (schmidt, ultarses vb.) yapılarak en düşük sonucun alındığı 2 yerden karot alınacaktır.
Normal yapı	Karot yerlerinin belirlenmesi amacıyla her anodan/dolfenden en az altı bölgede tahribatsız ölçüm (schmidt, ultarses vb.) yapılarak en düşük sonucun alındığı 3 yerden karot alınacaktır.
Özel yapı	Karot yerlerinin belirlenmesi amacıyla her anodan/dolfenden en az on bölgede tahribatsız ölçüm (schmidt, ultarses vb.) yapılarak en düşük sonucun alındığı 5 yerden karot alınacaktır.
***1.** Mevcut kazıklı rıhtım, iskele ya da dolfen gibi yapılarda ano uzunluğunun en fazla 100m'ye kadar olması durumunda, betonarme yapı elemanlarından alınacak minimum karot numune adedidir. **2.** Hesaplarda her bir ano için tespit edilen ortalama basınç mukavemetinin %85'i dikkate alınmalıdır. **3.** Beton mukavemetinin hesaplarda dikkate alınmadığı beton yapı ya da yapı elemanlarda karot alınmayabilir (su içi beton,blok,tetrapot vs.).		

Tablo 8.7 Mevcut çelik boru kazıklarda malzeme özelliklerinin belirlenmesi

Yapı Türü	**Çelik et kalınlığ ölçümü*,****	**Çelik sınıfı**
Basit yapı	Her ano için Kazık adedi=maks(en az 1 adet kazık veya anodaki toplam kazık adedinin %5'i kadar) olmak üzere çelik boru kazığın et kalınlığı ölçümü yapılır	Eğer çelik boru kazıkların malzeme özelliği bilinmiyorsa en düşük çelik malzeme özellikleri ve sınıfı dikkate alınır.
Normal yapı	Her ano için Kazık adedi=maks(en az 3 adet kazık veya anodaki toplam kazık adedinin %10'i kadar) olmak üzere çelik boru kazığın et kalınlığı ölçümü yapılır	Mevcut yapıya ait çelik boru kazıkların malzeme özelliği bilinmiyorsa her ano için en az bir kazıktan örnek kesilerek ve deney yapılarak malzeme özelliği belirlenir. Çıkarılan örneğin yeri onarılarak kaptılmalıdır**.
Özel yapı	Her ano için Kazık adedi=maks(en az 5 adet kazık veya anodaki toplam kazık adedinin %20'i kadar) olmak üzere çelik boru kazığın et kalınlığı ölçümü yapılır	Mevcut yapıya ait çelik boru kazıkların malzeme özelliği bilinmiyorsa her ano için en az iki kazıktan örnek kesilerek ve deney yapılarak malzeme özelliği belirlenir. Çıkarılan örneğin yeri onarılarak kaptılmalıdır**.
*Et kalınlığı ultrasonik yöntem ile tahribatsız olarak belirlenir **Örnek alımı ve ölçümler çelik boru kazığın batık bölgesinde gerçekleştirilir.		

KAYNAKLAR

Allsop, N.W. and Hettiarachchi, S.S., 1988, “Reflections from Coastal Structures”, Proceedings of the 21st ICCE, ASCE, Vol. 1, pp. 782-794.

Allsop, N.W., 1990, “ Reflection Performance of Rock Armoured Slopes in Random Waves” Proceedings of the 22st ICCE, ASCE, Vol. 2, pp. 1460-1472.

ASCE (2014) “Seismic Design of Piers and Wharves”, ASCE/CORPI 61-14

ASCE, 2012, “Planning and Design Guidelines for Small Craft Harbors”, COPRI

ASCE, 2014, “Mooring of Ships to Piers and Wharves”.

ASCE, 2014, “Seismic design of Piers and Wharves”.

ASCE, 2015, “Waterfront Facilities Inspection and Assessment”.

ASN, 2013, “Protection of Basic Nuclear Installations Against External Flooding”, Basıc Nuclear Installatıons, Guide no:3

ASTM D3967-95a, 2004, Standard test method for splitting tensile strength of intact core specimens

ASTM D5313-04 Standard test method for evaluating durability of rock for erosion control under wetting and drying.

Australian Standard, 2001, “Guidelines for Design of Marinas”, Standarts Australia.

Beneoit, M. And Teisson, C., 1994, “Laboratory Study of Breakwater Reflection-Effect of Wave Obliquity, Wave Steepness and Mound Slpoe”, Int. Symposium: Waves-Physical and Numerical Modelling, Vol. 2, pp. 1021-1030.

Bruce, T., van der Meer, J., Franco, L., Pearson, J.M., 2009, “Overtopping Performance of Different Armour Units for Rubble Mound Breakwaters”, Coastal Engineering Journal, 56, pp. 166-179

BS 5930:1990 Code of practice for site investigation

BS 6349:Part 2,1988, “Maritime Structures Part 2. Design of Quay Walls, Jetties and Dolphins”, British Standard Institution.

BS 6349:Part 6,1989, “Maritime Structures Part 6. Design of inshore morrings and floating structures” British Standard Institution.

BS 6349-Part 1, 2000, “Maritime Works – Part 1: Code of Practice for General Criteria”, The British Standards Institution

BS 6349-Part 1, 2013, Maritime Works – Part 1-1: General – Code of practice for planning and design for operations”.

BS 6349-Part 4, 2014, 2004, 1994 “Maritime Works – Part 4: Code of Practice for Design of Fending and Mooring Systems”, The British Standards Institution.

BS 6349-Part 7, 2010, 1991 ““Maritime Structures – Part 7: Guide to the Design and Construction of Breakwaters” The British Standards Institution.

Carver R.D. and HeimbaughM.S., 1989, “Stability of Stone and Dolos-Armored Rubble Mound Breakwater Heads Subjected to Breaking and Nonbreaking Waves with no Overtopping”, Technical Report, CERC 89-4, U.S. Army Engineer Waterways Experimental Station, Coastal and Hydraulics Laboratory, Vicksburg, MS.

Carver, R.D. and Davidson, D.D., 1983, “Jetty Stability Study, Oregon Inlet, North Carolina”, Technical Report CERC 83-3, U.S. Army Engineer WaterwaysExperiment Station, Vicksburg, MS.

CERC, 1984, “Shore Protection Manual”

CERC, 2003, “Coastal Engineering Manual”

CIRIA, 2012 and 2009, “Rock Manual”, C683

Cihan, K., and Yuksel, Y., 2011, “Deformation of Rubble-Mound Breakwaters under Cyclic Loads”, Coastal Engineering Journal, Vol58, pp. 528-539.

Çevik, E. ve Yüksel, Y., 1998. “Scour under Submarine Pipelines in Waves in Shoaling Conditions”, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol. 125, No. 1, pp. 1-11.

Davidson, M.A., Bird, P.A., Bullock, G.N. and Huntley, D.A., 1994, “Wave Reflection: Field Measurements, Analysis and Theoretical Developments”, Proccededings of Coastal Dynamics, 1994, ASCE, pp. 642-655.
Dean, R. G., 1977, “Equilibrium Beach Profiles”, US Atlantic and Gulf Coasts Tech. Rep. No.12, Univ. of Delaware, New York.
Dean, R. G., 1983, “Principles of Beach Nourishment”, Handbook of Coastal Processes and Erosion, P. Komar (Ed), CRC Press.
Dean, R. G., 1990, “Equilibrium Beach Profiles; Characteristics and Applications”, Jour. Of Coastal Research, 7(1), pp: 53-84.
Dean, R. G., 2002, “Beach Nourishment, Theory and Practice”, Advanced Series on Ocean Engineering, Vol. 18, World Scientific.
Defra/Environment Agency Flood and Coastal Defence R and D Programme, 2003, “Low Cost Rock Structures for Beach Control and Coast Protection” Practical Design Guidance, R and D Technical Report FD2409.
Dupray, S, 2002,. “Integrity of rock blocks for armouring of hydraulic works-towards full scale test to predict mass distribution chages”. Phd. Thesis, Earth Sciences and Engineering Department, Imperial Collage Royal School of Mines, London, 325 pp.
EN 1097-1, 1996 Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Determination of the resistance to wear (Micro-Deval) (AMD 14864)
EN 1097-2, 1998 Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Methods for the determination of resistance to fragmentation
EN 13383-1, 2002 Armourstone. Specification
EN 13383-2, 2002 Armourstone. Test methods
EN 1367-2, 1998 Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Determination of the resistance to wear
EN 14579, 2004 Natural stone test methods. Determination of sound speed propagation
EN 1926, 1999 Natural stone test methods. Determination of compressive strength.
EN 932-3, 1997 Tests for general properties of aggregates. Procedure and terminology for simplified petrographic description (AMD 14864)
Gaythwaite, J.W., 2004, Design of Marine Facilities for Berthing, Mooring, and repair of Vessels”, ASCE.
Gijt, J.G. and Broeken, M.L., 2014, “Quay Walls”, Second Edititon, SBRCUR Publication 211E, Rotterdam, The Netherlands.
Goda , Y., 2008, “Seminar on Recent Developments in Ocean Engineering”, Ankara.
Goda, Y. and Ahrens, J.F., 2008, “New Formulation of Wave Transmission at Low Crested Structures with Breaking Dissipation and Permeation”, 37th ICCE, Hamburg.
Goda, Y. and Kakizaki, S., 1966”Study on Finite Amplitude Standing Waves and Their Pressures upon a Vertical Wall”, Rept. Port and harbour Res. Ins. Vol 5 No 10, 57p.
Goda, Y., 1970, “A Synthessis of Breaker Indices”, Trans Japan Soc. Civil Engr. 2(2), pp227-230.
Goda, Y., 1985, “Random Seas and Design of Maritime Structures”, Univ. Of Tokyo Press.
Goda, Y., 1988, “Statistical Variability of Sea State Parameter as a Function of Specturum” Coastal Engr. İn Japan, 31 (2), pp. 39-52.
Goda, Y., 1992, The Design of Upright Breakwaters, in Proceedings of the Short Course on
Goda, Y., 2010 a, “Random Seas and Design of Maritime Structures” 3rd edition, Word Scientific.
Goda, Y., 2010 b, “Reanalysis of regular and random Breaking Wave Statistics”, Coastal Engineering Journal, 52, JSCE, World Scientific, pp71-106.
Grace. R. A., 2009, “ Marine Outfall Construction”, ASCE.
Hudson, R.Y., 1974, “Conrete Armor Units for Protection Against Wave Attack”, Miscellaneous Paper H. 74-2, U.S. Army Engineer Waterways Experimental Station, Vicksburg, MS.

Hudson, R:Y:, 1958, “design of Quarry-Stone Cover Layers for Rubble-Mound breakwaters; Hydraulic Laboratory Investigations”, Research report No: 2-2, U.S. Army Engineer Waterways Experimental Station, Vicksburg, MS.
Kamphuis, J.W., 2010, “Introduction to Coastal Engineering and Management”, Advanced Series on Ocean Engineering, Vol. 30, Word Scientific.
Kumar Mehta P., Monteiro, P.J.M., 2006, “Concrete - Microstructure, Properties, and Materials”, Third Edition, McGraw-Hill.
Lienhart, D. A., 1998,. “Rock engineering rating system for assessing the suitability o9f armourstone sources”. In: J-P Latham (ed), Advances in aggragetes and armourstone sources. Engineering Geology Special Publication no 13, Geo Soc, London, pp 91-106.
Lienhart, D. A., 2003,. “A system approach to evaluation of riprap and armourstone sources”.
Mangor, K., 2004, “Shoreline Management Guidelines”, copyright by author and DHI Water and Environment, Horsholm, Denmark 2004.
Mangor, K., Mocke, G., Giarrusso, C., Smit, F., Bloch, R., Fuchs, J., Lumborg, U., and Niemann, S.L., 2008, “Shoreline Management of the Dubai Coast”, COPEDEC VII, 2008, Dubai, UAE.
Maritime Works Recommendations - ROM 0.2-90, 1990, “Actions in the Design of Maritime and Harbor Works”, Madrid, Spain.
McConnel, K., Allsop, W., and, Cruickshank, I., 2003, “Guidelines for the Hydraulic Design of Exposed Jetties”, published by Thomas Telford Publishing, Thomas Telford Ltd, 1Heron Quay, London E14 4JD.
Minikin R.R., 1963, “Wind , Waves and Marine Structures” Griffin, London.
OCDI, 2002, “Technical Standarts and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan”
OCDI, 2009, “Technical Standarts and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan”
OCIMF (Oil Companies International Marine Forum/International Society of Gas Tanker and Terminal Operators), 2008, “Jetty Maintenance and Inspection Guide”, London:OCIMF/SIGTTO.
ODTÜ, 1999, “Yalçıner, A.C., Ergin, A., Kahyaoğlu, I.C. and Yüncü, H., 1999, “3D Experimental Study on the Stability Coefficients for Breakwaters Armoured with Antifer Blocks under Irregular Waves”, Proceedings of the COPEDEC V., Cape Town, pp. 1458-1469.
Patel, M. H., 1989, “Dynamics of Offshore Structures”, Butterworth and Co. Pub., ltd.
PIANC, 1980, “Final report of the 3rd International Commission for the Study of Waves”, 1980, Belgium.
PIANC, 1986, “List of Sea State Parameters”, 1986, Belgium.
PIANC, 1989, “Analysis of Rubble Mound Breakwaters”, 2006, Belgium.
PIANC, 1992, “Analysis of Rubble Mound Breakwaters” Permanent International Association of Navigation Congresses”, ISBN 2-87223-047-5, Belgium.
PIANC, 1992, “Uncertainty Related to Environmental Data and Estimated Extreme Events”, Belguim.
PIANC, 1992,. Analyses of Rubble Mound Breakwaters, Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC), Summary Report of Working Group No: 12, Supplement to Bulletin No: 78/79, Brussels, Belçika.
PIANC, 1993, “Formulae for Rubble Mound Breakwater Failure Modes”, Belguim.
PIANC, 1994, “Floating Breakwaters” ISBN 2-87223-052-1, Belgium.
PIANC, 1995, “Criteria for Movements of Moored Ships in Harbours” ISBN 2-87223-070-X, Belgium.
PIANC, 1995, “Guidelines for the Use of Certain Powered Craft, such as Waterscooter, Personal Watercraft, Waterbike, Jetski, Waverunner, Seadoo, on Controlled Waters” ISBN 2-87223-065-3, Belgium.
PIANC, 1995, “Port Facilities for Ferries” ISBN 2-87223-066-1, Belgium.
PIANC, 1997, “Guidelines for the Design of Armoured Slopes under Open Piled Quay Walls”, 1997, Belgium.

PIANC, 1998, “Lifecycle Management of Port Structures General Principles” ISBN 2-87223-103-X, Belgium.
PIANC, 1998, “Planning for Fishing Ports” ISBN 2-87223-091-2, Belgium.
PIANC, 2000, “Dangerous Cargoes in Ports” ISBN 2-87223-119-6, Belgium.
PIANC, 2000, “Protecting Water Quality in Marinas”, Report No:98-2000.
PIANC, 2000, “Site Investigation Requirements for Dredging Works” ISBN 2-87223-113-7, Belgium.
PIANC, 2001, “Seismic Design Guidelines for Port Structures” ISBN 2-87223-120-X, Belgium.
PIANC, 2001, Seismic Design Guidelines for Port Structures, International Navigation Association, The Netherlands.
PIANC, 2002, “Guidelines for the Design of Fenders Systems” ISBN 2-87223-125-0, Belgium.
PIANC, 2002, “Mooring System for Recreational Craft” ISBN 2-87223-126-9, Belgium.
PIANC, 2002, “Recreational Navigation and Nature” ISBN 2-87223-130-7, Belgium.
PIANC, 2003, “Breakwater with Vertical and Inclined Concrete Walls”, 2003, Belgium.
PIANC, 2003, “Guidelines for Managing Wake Wash from High Speed Vessels ” ISBN 2-87223-142-0, Belgium.
PIANC, 2004, “Disability Access Guidelines for Recreational Boating Facilities”, 2004, Belgium.
PIANC, 2004, “Dredging of Marinas” ISBN 2-87223-144-7, Belgium.
PIANC, 2004, “Inspection, Maintenance and Repair of Maritime Structures Exposed to Damage and Material Degradation Caused by Salt Water Environment” ISBN 2-87223-145-5, Belgium.
PIANC, 2005, “Accelerated Low Water Corrosion” ISBN 2-87223-153-6, Belgium.
PIANC, 2006, “Waterborne Transport, Ports and Waterways; A Review of Climate Change Drivers, Impacts, Responses and Mitigation”, 2006, Belgium.
PIANC, 2008, “Lifecycle Management of Port Structures Recommended Practice for Implementation”, Report No:103-2008.
PIANC, 2008, “Minimizing Harbour Siltation”, Report No:102-2008.
PIANC, 2009, “The Use of Alternative Materials in Marine Structure Construction”, Report No:105-2009.
PIANC, 2011, “The Application of Geosynthetics in Waterfront Areas”, Report No:113-2011.
PIANC, 2012, “Criteria for the (Un) Loading of Container Vessels”, Report No:115-2012.
PIANC, 2012, “Safety Aspects Affecting the Berthing Operations of Tankers to Oil and Gas Terminals”, Report No:116-2012.
PIANC, 2012, “Use of Hydro/Metro Information for Port Access and Operations”, Report No:117-2012.
PIANC, 2013, “Design and Operational Guidelines for Superyacht Facilities”, Report No:134-2013.
PIANC, 2013, “Dry Stack Storage”, Report No:132-2013.
PIANC, 2014, “Classification of Soils and Rocks for the Maritime Dredging Process”, Report No:144-2014.
PIANC, 2014, “Countries in Transportation (CIT): Coastal Erosion Mitigation Guidelines”, Report No:123-2014.
PIANC, 2014, “Design Principles for Small and Medium Marine Container Terminals”, Report No:135-2014.
PIANC, 2014, “Harbour Approach Channels Design Guidelines”, Report No: 121-2014
PIANC, 2014, “Sustainable Ports a Guide for Port Authorities”, Report No:150-2014.
PIANC, 2014, “Tsunami Disaster in Ports due to the Great East Japan Earthquake”, Report No:122-2014.
PIANC, 2015, “Guidelines for Protecting Berthing Structures from Scour Caused by Ships”, Report No:180-2015.
PIANC, 2015, “Semi – Probabilistic Design Concept for Inland Hydraulic Structure”, Report No:140-2015.

Qumeraci, H., Kortenhaus, A., 1998, Probabilistic Design Tools for Vertical Breakwaters (PROVERBS), Commission of the European Communities: MAST Days and EUROMAR Project Reports, Lisbon, Portekiz, sayfa 1-15.
Sainflou, M., 1928, “Treatise on Vertical Breakwaters”, Annals des Ponts et Chaussee, Paris, France.
Sarpkaya, T. ve Isaacson, M., 1981. “Mechanics of Wave Forces on Offshore Structures”, Van Nostrand Reinhold Company, New York.
Sunamura, T. and Horikawa, K., 1974, “Two Dimensional Beach Transformation due to Waves”, Proc. 14th Conf. on Coastal Eng., pp: 920-938.
Sümer, B. M. and Fredsϕe, J. and Christiansen N., 1992, “Scour around Vertical Pile in Waves”, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol. 11, No. 1
Sümer, B. M. and Fredsϕe, J., 1990, “Scour below Pipelines in Waves”, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 3, pp: 307-323.
Sümer, B. M. and Fredsϕe, J., 1991, “Onset of Scour Below a Pipeline Exposed to Waves”, Journal of Offshore and Polar Eng., Vol. 1, No. 3, pp: 189-194.
Sümer, B. M. and Fredsϕe, J., 1997, “Hydrodynamics around Cylindrical Structure”, World Scientific.
Sümer, B. M. and Fredsϕe, J., 2002, “The Mechanics of Scour in the Marine Environment”, Advanced Series on Ocean Engineering, Vol. 19, World Scientific.
Takahashi, S. and Hosoyamada, S., 1994, “Hydrodynamic Characteristics of Sloping Top Caissons”, Proceedings of International Conference on Hydro-Technical Engineering for Port and Harbour Construction, Port and Harbour Research Institute, Yokosuka, Japan Vol. 30, No. 4, pp. 3-34, (in Japanese).
Takahashi, S., Shimosako, K., and Hanzawa, M. (2015), “Performance Design for Maritime Structures”, Chapter 3, Design of Coastal Structures and Sea Defenses, Wordscientific.
Takahashi, S., Tanimoto, K and Shimosako, K., 1990, “Wave and Block Forces on a Caisson Covered with Wave Dissipating Blocks”, Report of Port and Harbour Research Institute, Japan, Vol. 1, pp. 733-746.
Tanimoto, K. and Kimura, K., 1985, “A Hydraulic Experimental Study on Trapezoidal Caisson Breakwater” Technical Note No. 528, Port and Harbour Research Institute, Yokosuka, Japan (in Japanese).
Thomas, R. S. and Hall, B., 1992. “Seawall Design”, Butterworth-Heinemann, CIRIA, Oxford.
Thoresen C. A., 2003, “Port Designer’s Handbook; Recommendations and Guidelines” Thomas Telford.
Thoresen C. A., 2015, “Port Designer’s Handbook; Recommendations and Guidelines” Thomas Telford.
Thoresen, C. A., 1988, “Port Design” Tapir Pub., Norway.
Thoresen, C.A., 2003, “Port Designer’s Handbook: Recommendations and Guidelines”.
Thoresen, C.A., 2015, “Port Designer’s Handbook”, Third Edition, ICE Publishing, One Great George Street, Westminster, London SW1P 3AA.
Tomlinson, M. and Woodward, J., 2015, “Pile Design and Construction Practice”, Sixth Edition, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Landon, Newyork.
Tourenq, C, Fourmaintraux, D and Dennis, A, 1971, “Propagation des ondes et discountinuites des roches/ wave propagation and discontinuities in rock”. In: Proc rock fractures: symp Int Soc Rock Mech, Nancy. Paper I1
TS 13515, 2012 TS EN 206-1’in uygulamasına yönelik tamamlayıcı Standard (Complementary Turkish standard to TS EN 206-1).
TS EN 13791, 2010, Basınç Dayanımının Yapılar ve Öndökümlü Beton Bileşenlerde Yerinde Tayini.

TS EN 206, 2014 Beton - Özellik, performans, imalat ve uygunluk (Concrete - Specification, performance, production and Conformity).
Tsinker, G. P., 1995, “Marine Structures Engineering Specialized Applications”, Chapman and Hall.
Tsinker, G.P., 2004, “Port Engineering” Wiley.
Türk Loydu, 2009, “Çok Noktalı Bağlama Sistemleri”
USACE, 2015, “Technical Basis for Flood Protection at Nuclear Power Plants”, James R. Leech, Loren L. Wehmeyer, David A. Margo, Landris T. Lee, Aaron R. Byrd, and Donald L. Ward., SR-15-3.
Van der Meer, J. W., Wang, B., Wolters, A., Zanutting, B. And Kramer, M., 2004, “ObliqueWave Transmission OverLowCrested Structures”, In: J.A. Melby (ed), Proc. 4th Int. Coastal Structures Conf. Portland, OR, 26-30, Aug. 2003, ASCE, Reston, VA, pp. 567-579.
Van der Meer, J.W. and Sigurdarson, S., 2016, “Berm Breakwaters”, in press
Van der Meer, J.W., 1988, “Rock Slopes And Gravel Beaches Under Wave Attack”, Doctoral thesis. Delft University of Technology. Also: Delft Hydraulics Communication No. 396.
Van Gent, M.R.A, 2003, “Wave Overtopping Events at Dikes”, In: J. McKee Smith (ed), Proc. 28th ICCE, Cardiff, 2002, Word Scientific, vol. 2, pp. 2203-2215.
Van Gent, M.R.A., 2005, ”on the Stability of Rock Slopes”, In: C. Zimmermann, R.G. Dean and V. Penhev (eds), Environmentally Friendly Coastal Protection, NATO Science Series, Springer, New York, Vol. 53, pp.73-92.
Van Gent, M.R.A., 2013, “Rock stability of rubble mound breakwaters with a berm”, Coastal Engineering Journal, 78, pp. 35-45.
Verhoef, P N W, 1992, “ The methylene blue test applied to geomaterials. GEOMAT.02, Delf, 85 pp.
Wang, H, Latham, J-P and Poole, A B, 1990,. “In situ block size assessment from discontinuity spacing data”. In: Proc 6th cong Int Assoc Engg Geol, Amsterdam, 6-10 Aug, pp 117-127.
WOM, EurOtop, 2007 ve 2016, “Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures; Assessment Manual”.
Yüksel, Y. ve Çevik, Y., 2008, “Kıyı Mühendisliği”, BETA Yayınevi.
Yüksel, Y. ve Özkan Çevik, E., 2010, “Liman Mühendisliği”, BETA Yayınevi, 2. Bası.
Yüksel, Y., 2011, “Dalgakıran Tasarımı”, BETA Yayınevi.
Yüksel, Y., 2011, “Deniz Tabanı Hidrodinamiği ve Kıyı Morfolojisi, Planlama ve Tasarım”, BETA Yayınevi, 2. Bası
Yüksel, Y., 2014, “Teori ve Çözümlü Problemler ile Bilgisayar Uygulamalı Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik”, BETA Yayınevi, 5. Bası.
Yüksel, Y., Alpar, B., Yalçıner, A,C., Çevik,E., Özgüven, O., Çelikoğlu, Y., 2003. “Effects of the Marmara Earthquake on the Marine Structures and Coastal Areas”, ICE, Water and Maritime Eng. Journal, 156/147-163.
Yüksel, Y., Cevik, E., Berigen, M., Doran, B., Aydoğan, B., Yüksel, Z.T., Başaran, B., 2015, “Ağırlik Tipi Rıhtım Yapılarının Sismik Davranışı”, MAG 113M426.
Yüksel, Y., Narayanan, R., 1994a. “Breaking Wave Forces on Horizontal Cylinders”, Journal Coastal Engineering, Vol. 23, 115-148.
Zanuttigh, B. Ve van der Meer, J.W., 2008, ”Wave Reflection from Coastal Structures in Design Conditions”, Coastal Engineering, 55, pp. 771-779.

BÖLÜM E

MODELLEME ve SAHA ARAŞTIRMALARI

İÇİNDEKİLER

1. GENEL 445
2. SAYISAL MODELLEME 447
2.1 Sayısal Modelleme Esasları 447
2.1.1 Dalga Tahmini 447
2.1.2 Liman İçi Çalkantı 448
2.1.3 Hidrodinamik Modelleme 449
2.1.4 Katı Madde Taşınımı ve Morfolojik Modelleme 451
2.1.5 Su Kalitesi Modelleri 451
2.1.6 İklim Değişikliği ve Kıyı Alanlarına Etkisinin Modellenmesi 453
3. FİZİKSEL MODELLEME 457
4. SAHA ARAŞTIRMALARI 459
4.1 Meteo-oşinografik Veriler için Saha Ölçümleri 459
4.2 Alansal Veriler İçin Saha Ölçümleri 460
KAYNAKLAR 467

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Fiziksel modeller için ölçek oranları ve tercih edilen boyutlar 457
Tablo 4.1 Dalga ölçüm sistemleri 460

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Spektral model yardımıyla çözümlenen örnek hesaplama ağı 448
Şekil 2.2 Dalga ölçümleri ve model verilerinin kalibrasyon sonucuna örnek 448
Şekil 2.3 Boussinesq dalga modeli uygulanarak liman içi çalkantının modellenmesine bir örnek 449
Şekil 2.4 Kuzey Denizi'nde yapılmış 3 boyutlu hidrodinamik model için büyük hesap ağına örnek 450
Şekil 2.5 ADCP ölçümü ile modelden elde edilen akıntı ölçümleri için kalibrasyon ile doğrulamaya bir örnek 450
Şekil 2.6 (a) Kıyı mahmuzlarının kıyı çizgisinde değişime etkisi ile ilgili örnek, (b) Kıyıda iki büyük yapının kıyı çizgisine etkisi ile ilgili örnek 452
Şekil 2.7 Katı madde taşınım modellemesi için akış diyagramı 452
Şekil 2.8 Kıyı alanları üzerindeki etkilere yönelik farklı fiziksel elemanlar ve işlemler 454
Şekil 2.9 Bruun kuralı'na göre kıyı profili 455
Şekil 2.10 1000 yıl yinelenme dönemine sahip fırtına kabarması için meydana gelecek dinamik taşkın senaryosuna bir örnek 455
Şekil 4.1 Otomatik veri toplama sisteminin bileşenleri 461
Şekil 4.2 Tek ışınlı derinlik ölçer 461
Şekil 4.3 Çok ışınlı derinlik ölçer 462
Şekil 4.4 Sismik yansıma amaçlı kullanılan cihazlar. 462
Şekil 4.5 (a) Deniz Jeofiziğinde örnek bir subbottom (dip altı) sığ sismik yansıma kaydı.(b) Denizde alınan nispeten daha derin sismik yansıma kaydı(c) Bir sismik yansıma profili ve yorumlama 463
Şekil 4.6 (a) Yandan Taramalı Sonar (Side Scan Sonar) Sistemi (b) Yandan taramalı sonar sisteminde gemi ve towfishin şematik görüntüsü. 464
Şekil 4.7 Yandan taramalı sonar kayıt örneği 464

1. GENEL

Kıyı ve deniz yapılarının planlanması ve tasarlanmasında yapı tipine bağlı olarak geçmiş verilere ve geleceğe yönelik tahminlere de ihtiyaç duyulmaktadır. Tahminlerde sistematik olarak kayıt edilmiş geçmiş verilere ihtiyaç duyulur. Örneğin;

- ✓ Terminal planlamalarında yüklerin orjinleri, tipleri ve miktarları hakkında kayıtlara,
- ✓ Yat limanlarının planlanmasında yatların büyüklükleri, tipleri, orjinleri gibi kayıtlara,
- ✓ Her türlü kıyı ve deniz yapısı için uzun süreli rüzgar, akıntı, dalga, su seviyesi değişimi verilerine,
- ✓ Özellikle kıyı morfolojisindeki değişimler ile kıyı yapısı deniz tabanı etkileşiminin anlaşılması için kum hareketini tanımlayacak verilere,

ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler kullanılarak geleceğe yönelik tahminler, modelleme teknikleri kullanılarak yapılabilmektedir.

Kıyı alanlarındaki oşinografik, meteorolojik ve morfolojik değişimlerin doğru anlaşılması için farklı zaman ölçeklerinde verilerin toplanması ve geleceğe yönelik tahminlerin yapılması gerekmektedir.

Tasarım için mevcut veriler aşağıdaki gibi toplanır;

- ✓ Proje alanında mevcut kıyı yapılarının kıyı alanı ile etkileşiminin raporlanması,
- ✓ Kıyı çizgisi değişimi, batimetri, rüzgar ve dalga iklimi, su seviyesi verileri toplanarak raporlanmalı,
- ✓ Tasarım kriterlerine yönelik mevcut bilgiler değerlendirilmeli,
- ✓ Yukarıdaki mevcut verilere ilave olarak sayısal modellerin kalibrasyonu ve doğrulanması için ihtiyaç duyulan veriler belirlenmelidir.

Detaylı araştırmalar için ihtiyaç duyulan veriler iki ana grupta tanımlanır. Bunlar

- ✓ Alansal veriler; Haritalama çalışmalarıdır (batimetrik ve topoğrafik veriler, jeolojik ve geoteknik veriler, sediment dağılımı, kıyı çizgisi değişimi gibi). Batimetrik çalışmalar IMO satandartlarını, TSK SHOD komutanlığı batimetrik ölçümlere ait standartları sağlamalıdır. Batimetrik çalışmalar (DGPS (Differential Global Positioning) ya da RTK-GPS (Real Time Kinematics) ile birlikte) single ya da multi-beam (echo-sounder) kullanılarak yapılabilir. Echo-sounder kullanılarak 1 – 2 m derinliğe kadar tekne özelliğine bağlı olarak ölçümler yapılabilmektedir ancak kıyı çizgisi ölçümü RTK-GPS kullanılarak yapılmalıdır ve batimetri haritalarına işlenmelidir. Son yıllarda LIDAR (Light Detecting and Ranging) kullanılarak batimetrik çalışmalar da yapılabilmektedir. Saha ölçümlerinde yine LADS (Laser Airborne Depth Sounder) kullanılmaktadır.
- ✓ Meteorolojik ve hidrodinamik veriler (meteomarine), bunlar uzun süreli kayıtlardır. Meteorolojik veriler genellikle ulusal ve uluslararası enstitülerden temin edilir, bunlar ulusal meteoroloji istasyonları (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, DMİ), ECMWF ve NCEP gibi kurumlardır, bu kurumlardan uzun süreli rüzgar verileri elde edilir. Su seviyesi ölçümleri (gel-git, tsunami, rüzgar kabarması, küresel iklim değişikli nedeniyle su seviyesi değişimi, dalga kabarması), dalga ve akıntı ölçümleri. Gel-git ölçümleri TSK Harita Genel Komutanlığı, mareograf deniz seviyesi ölçüm istasyonları kayıtlarından temin edilir.

Yeterli saha verisi mevcut değilse;

- ✓ Fiziksel model çalışmalarıyla doğal yapı benzeştirilebilir,
- ✓ Uydu teknolojileri yardımıyla temin edilen veriler ya da hava fotoğrafları değerlendirilebilir (Uzaktan algılama)

.

2. SAYISAL MODELLEME

2.1 Sayısal Modelleme Esasları

Günümüzde Kıyı ve Liman Mühendisliği planlama ve tasarım çalışmalarının pek çok aşamasında kullanılabilecek çeşitli sayısal modeller geliştirilmiş durumdadır. Tasarım çalışmalarında, günümüzde ampirik ve teorik yaklaşımların yanında sayısal modellerin kullanımı artmaktadır. Bu amaçla;

- Kullanılacak modellerin dinamik sayısal modellerin olması tercih edilmelidir.
- Tasarımda kullanılacak olan sayısal yazılımların, ulusal ve uluslararası uygulamalarda sınanmış, çözüm doğruluğu değişik uygulama şartları altında denenmiş olması güvenilirlik açısından önem taşımaktadır.
- Kullanılan sayısal modellerin, hesap yöntemleri, çözüm yaklaşımları ve doğruluk değerlerinin belgelenmesi gereklidir. Modelleme kabulleri, hesap yöntemleri ve uygulama sınırları bilinmeyen raporlanmamış ya da yayınlanmamış modeller tasarımda kullanılmamalıdır.
- Modelleme çalışmalarında, modellerin saha ölçümleri ya da laboratuvar ölçümleri ile kalibre edilmesi şart olarak görülmektedir. Kalibre edilmemiş bir modelin güvenilirliği belirsiz olarak kabul edilmelidir. Model kalibrasyonu "parametre tahmini" esasına dayalı olmalıdır. Kalibrasyon için saha ya da laboratuvar verisinin olmadığı durumlarda, modelin kalibre edilmemiş olduğu rapor ve hesaplarda vurgulanmalı, bu durumun yarattığı hata oranları için tahminler verilmelidir.
- Modellerin kalibre edilmeden kullanıldığı hallerde, sonuçların niteliksel bir anlam taşıyabilmesi için model parametreleri bazında hassasiyet analizleri mutlaka yapılmalıdır.
- Sayısal modelin hesap alanı tanımlanmalıdır. Sayısal yazılımlarda kullanılan sayısal çözüm yöntemlerinin özellikleri dikkate alınarak dinamik modelin hesap alanındaki zaman ve mesafe adımları doğru belirlenmelidir. Kullanılan modellere ait parametrelerin çözümlenecek problemi yeterince tanımlaması sağlanmalıdır.
- Tanımlanan hesap alanının sınır şartları doğru tariflenmelidir. Girdi verileri ve çıktılar problemin özelliğine göre doğru belirlenmelidir. Girdi verilerinin doğruluğu kontrol edilmelidir.
- Çıktılar grafik veya diğer şematik gösterimler yardımıyla yorumlanmalıdır.

2.1.1 Dalga Tahmini

Günümüzde derin deniz dalga tahmini çalışmalarında 3. nesil spektral dalga tahmin modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Dalga tahmini çalışmalarında, rüzgar etkisinde dalga oluşumunu modelleyebilen, saha ölçümleri ile kalibre edilmiş bu tür modellerin kullanılması hedeflenmelidir. Dalga modelleri, girdileri olan batimetrik ölçümlerin ve rüzgar verilerinin doğruluğuna hasastırlar.

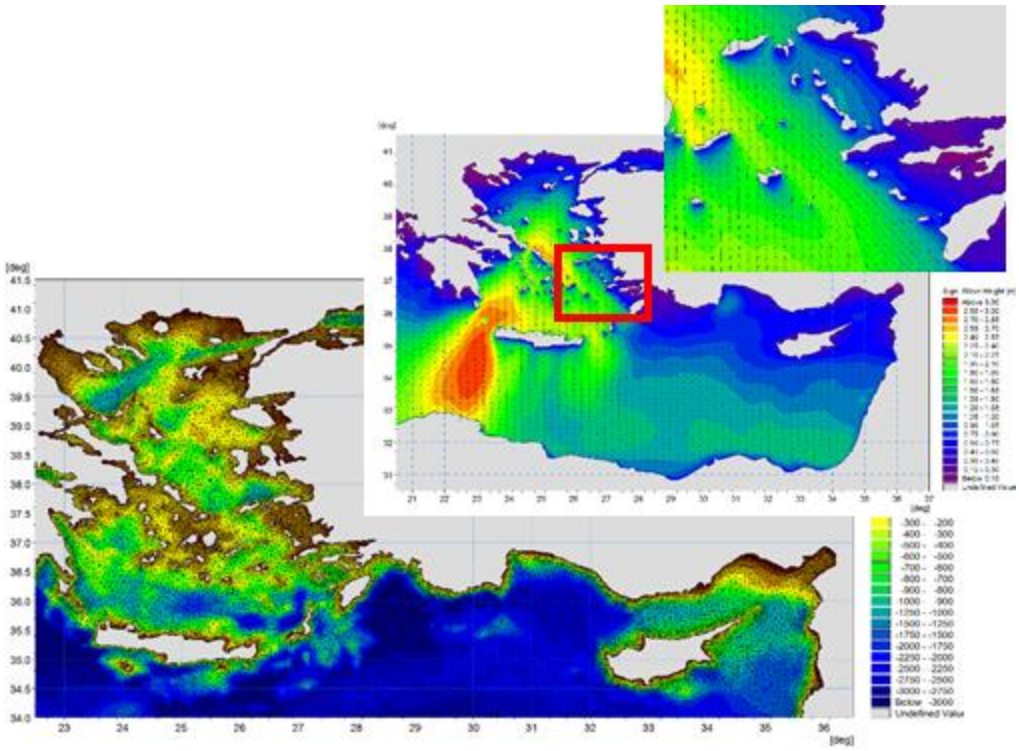
Derin deniz dalgalarının yakın kıyı dağılımlarının modellenmesinde spektral transformasyon modelleri kullanılmalıdır. Spektral dalga modelleri rüzgar etkisinde yönsel dalga spektrumunun dinamik gelişimini tanımlamaktadır. Açık deniz koşullarından yakın kıyıya doğru olan hesap ağları 10 km'den bir kaç 100m'ye kadar değişebilmektedir. Bu modellerde;

- Dalga sapması, dalga sığlaşması ve dalga dönmesi modellenebilmelidir.
- Dalga kırılması modellenebilmelidir.
- Dalgaların kıyıya yaklaşırken uğrayacakları spektral değişimler modellenebilmelidir.
- Tüm spektral değerler model çıktısı olarak alınabilmelidir (H_{ort}, H_s, T_z, T_m, T_p, gibi). Model gerilme akılarını hesaplayabilmelidir.
- Modelde taban batimetrisi yeterli hassasiyette tanımlanabilmeli, ağlı sayısal modellerde çözüm ağı sıklığı batimetrik şartlara bağlı olarak gerekli düzeyde arttırılabilmelidir (Şekil 2.1).
- Günümüzde açık deniz alanlarında dalga modellemesinin, alansal rüzgar verileriyle yapıldığı gözetilerek, kullanılacak modelde noktasal rüzgar verileri yanında alansal veriler ve sinoptik

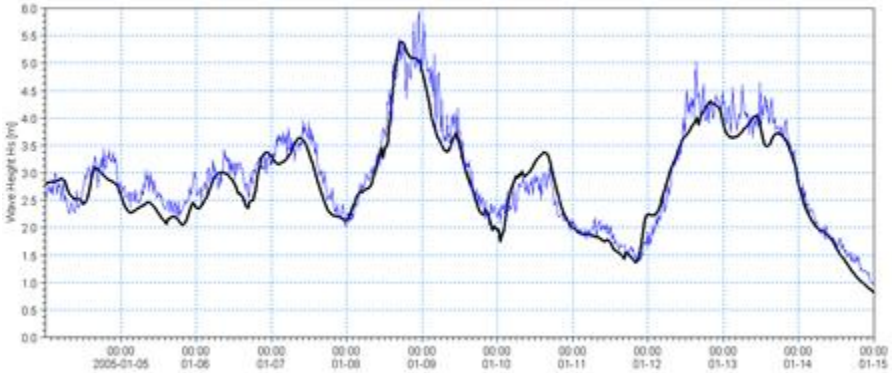
veriler girdi olarak kullanılabilmelidir. Bu rüzgar ölçüm tarihçeleri ECMWF veya NCEP den temin edilebilir.

- Kullanılan sayısal model dalga ölçer yada uydu tabanlı SAR dalga ölçümleri ile kalibre edilmiş olmalıdır (Şekil 2.2).

Güncel spektral dalga tahmin modelleri yakın kıyı alanlarını da aynı model içinde kapsayacak özelliklere sahip olabilmektedir. Bu modellerde, çözüm ağı sıklığı aynı model içinde derin denizde ve yakın kıyıda farklı seçilebilmektedir. Dalga tahmini ve transformasyonu çalışmalarında bu tür modellerin kullanılması, çözüm hızını ve doğruluğunu arttırmaktadır. Derin deniz dalga parametreleri yine model sonuçlarına dayalı Bölüm B.1'de tanımlanan yöntemler de (Goda yöntemi gibi) kullanılarak sığlaşma hesapları yapılarak yapı önündeki tasarım dalgaları bulunabilir.



Şekil 2.1 Spektral model yardımıyla çözümlenen örnek hesaplama ağı



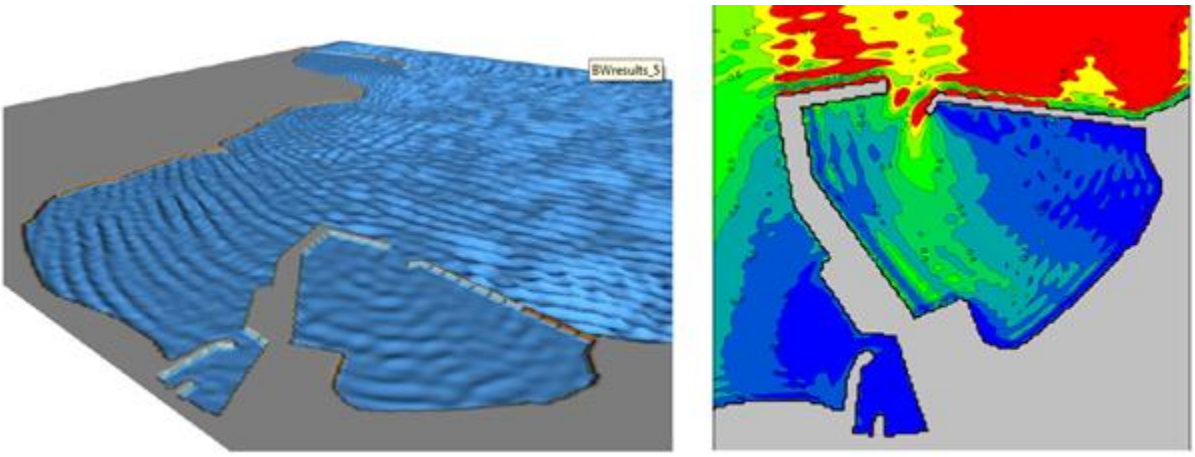
Şekil 2.2 Dalga ölçümleri ve model verilerinin kalibrasyon sonucuna örnek

2.1.2 Liman İçi Çalkantı

Liman içi çalkantı modelleri mevcut bir liman yapısı için kullanılıyor ise mutlaka gözlem sonuçları ile kalibre edilmesi veya sınanması sağlanmalıdır. Henüz inşa edilmemiş bir limanda uygulama

yapıldığı durumlarda ise liman içi yapılarından oluşacak yansıma değerleri de kullanılarak hassasiyet analizleri mutlaka yapılmalıdır. Bu tip problemleri çözen sayısal modeler Boussinesq modelleri olarakta tanımlanmaktadır. Model Şekil 2.3'de görüldüğü gibi hemen yakınındaki su alanınıda içerecek şekilde liman alanine kapsamaktadır. Model yeterince doğru batimetri, liman planı, dalgakıran ve liman yapılarının yansıma özellikleri ve gelen dalga özelliklerine girdi olarak ihtiyaç duymaktadır. Liman içi çalkantı çalışmalarında kullanılacak modellerin özellikleri için şunlar aranmalıdır.

- Liman içi çalkantısının düzensiz dalga serileri altında test edilebilmesine olanak sağlamalıdır.
- Çalkantı simülasyonları, liman içindeki durumu gerçekçi bir şekilde yansıtacak süreçte olmalıdır.
- Tüm liman yapılarının öngörülen dalga yansıtma özellikleri modelde tanımlanabilmelidir. Yansıma katsayıları pürüzlülüğe ve gelen dalganın dikliğine bağlıdır. Geçirimli yapılar ile yüzen dalgakıran ve iskele sistemlerinin benzer şekilde dalga iletimi katsayıları ile modellenebilmesi mümkün olabilmelidir.
- Liman içi batimetrisi modelde tanımlanabilmelidir.
- Model sınırlarından veya arzu edilmeyen bölgelerden oluşabilecek dalga yansımaları modelde engellenebilmelidir.
- Model sonuçları, liman içindeki istenen ve kritik olan tüm noktalarda su seviyesini zaman serisi şeklinde ifade edebilmelidir.

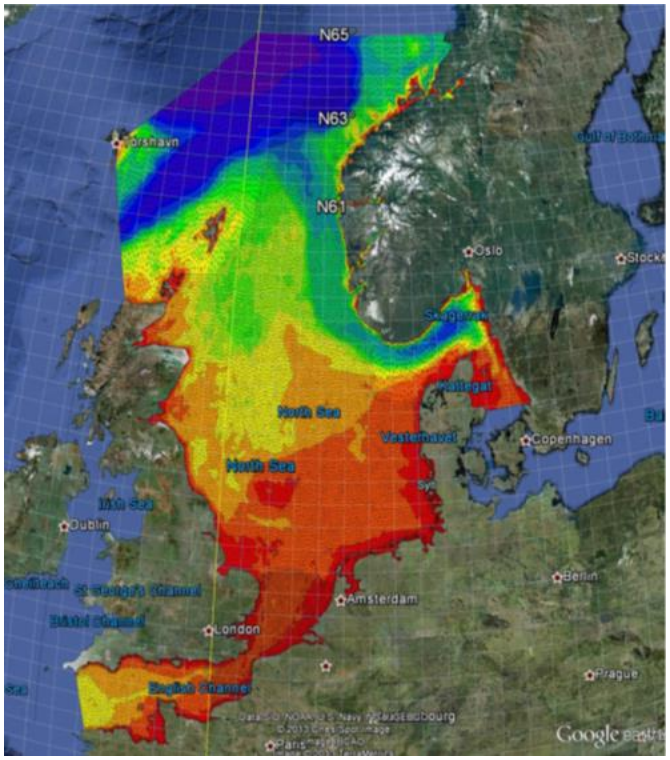


Şekil 2.3 Boussinesq dalga modeli uygulanarak liman içi çalkantının modellenmesine bir örnek

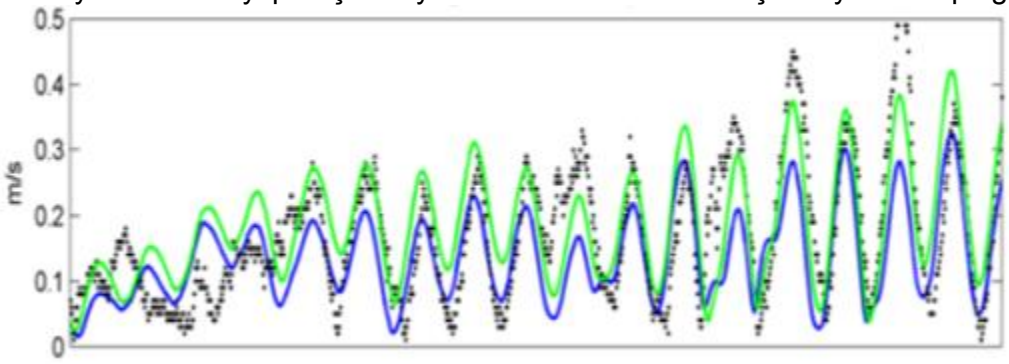
2.1.3 Hidrodinamik Modelleme

Bu tip modeller rüzgar, dalga, atmosferik basınç değişimleri, gel-git gibi etkilerin altında su seviyesi değişimlerini ve akım alanını benzeştirirler. Bu tip modellemeler uzmanlık isteyen çalışmalardır. Gelişmiş sayısal modeler iki boyutlu (derinlik ortalama) ve üç boyutlu akıntı modellemesi yapabilmektedir. Açık denizdeki 3-10km'lik çözüm alanından yakın kıyıda çok daha hassas çözüm alnına geçilebilmelidir (Şekil 2.4). Üç boyutlu modeler tüm model yüzyi boyunca rüzgar verisine ihtiyaç duymaktadır. Açık sınırlar akıntı ve gel-git verileri gerektirir. Baraclinic sirkülasyonun dahil edildiği modellerde sıcaklık ve tuzluluk değişimleri sınırlarda ve tüm çözüm alanında başlangıç koşulu olarak tanımlanmalıdır. Bu veriler okyanus very tabanı olan Copernicus'dan temin edilebilir.

- Akıntı modellemesinde kullanılacak yazılım rüzgar, su seviyesi değişimleri (gel-git ve diğ.) Coriolis etkisi, taban sürtünmesi, dalga etkisinde gerilme akıları, yoğunluk ve sıcaklık farklılıkları etkilerini modelleyebilmelidir.
- Uygulama alanı tabakalı akım şartları içeriyorsa mutlaka üç boyutlu bir model kullanılmalıdır. İki boyutlu modeller sadece akımın derinlik boyunca üniform olduğu ispatlanabilen durumlarda kullanılmalıdır.
- Model, parametrik kalibrasyona olanak sağlayacak özelliklere sahip olmalıdır.
- Model sonuçlarından, akıntı iklimi, su seviyesi değişimleri elde edilebilmelidir.
- Modelin doğruluğu proje alanında ADCP ile yapılan ölçümlerle kalibre edilerek sağlanmalıdır (Şekil 2.5).
- Ekstrem ve normal koşullara ait istatistiksel çalışmaların yapılabilmesi için üç yıllık model çalışması yapılmalıdır.



Şekil 2.4 Kuzey Denizi'nde yapılmış 3 boyutlu hidrodinamik model için büyük hesap ağına örnek



Şekil 2.5 ADCP ölçümü ile modelden elde edilen akıntı ölçümleri için kalibrasyon ile doğrulamaya bir örnek

2.1.4 Katı Madde Taşınımı ve Morfolojik Modelleme

Katı madde taşınım modelleri yeterince doğru girdi bilgisinin toplanmasını gerektirmektedir. Bu bilgiler;

Katı madde karakteristikleri (sediment karakteristikleri); Granülometrik dağılım eğrisi, taban malzemesinin karakteristik tane çapları, taban malzemesinin geometrik standart sapması (sorting)

$$\sigma_G = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}}$$

Tane çökelme hızının hesaplanması için su sıcaklığı bilinmelidir.

Proje alanına ait rüzgar ve dalga istatistiğine gereksinim duyulur.

Proje alanına ait su seviyesi ve akıntı istatistiğine gereksinim duyulur.

Jeolojik haritalardan yararlanılır. Bu haritalardan proje alanındaki kum mevcudiyeti belirlenir.

Güncel ve geçmişe ait kıyı çizgisi verileri modelin kurulması ve kalibrasyonu ile doğrulanması için gereklidir.

Katı madde kaynakları belirlenmelidir (akarsu, gel-git girişeri, kayalık, kumul gibi).

Katı madde taşınım modelleri, kıyı boyu ve kıyıya dik taşınım miktarlarının hesaplanmasında kullanılır. Kıyı boyu taşınım miktarı; toplam, net ve sağ-sol ile sol-sağ taşınım miktarları (kardan denize bakılması haline göre) olarak ifade edilir.

Katı madde taşınım modelleri morfolojik modeller olarak adlandırılır ve bu tip modeller ile kıyı çizgisi değişimi belirlenir. Bu amaçla kıyı alanı batimetrisi ölçülmeli, bu ölçümlerden kıyı profilleri önceden bulunmalıdır, bu veriler modelin girdilerini oluşturacaktır. Kıyı yapılarının kıyı çizgisi değişimi üzerindeki ekileride belirlenebilir (Şekil 2.6).

Bu tip modeler ile çalışılırken;

- Katı madde taşınım modellerinde gerekli girdi verileri olan model alanına ait katı madde ve deniz suyu özellikleri ölçümlerle belirlenmelidir (ölçüm koşulları Bölüm B.4'te tanımlanmıştır).
- Taşınan katı madde debilerinin modellenmesi için öncelikle hesap alanına ait modellenen dalga ve hidrodinamik koşullar modellenmeli ve doğrulanmalıdır.
- Kıyı çizgisi değişimi gibi morfolojik hesaplamalarda ise sınır koşulları doğru belirlenmelidir. Hesaplamalar zamana bağlı olarak yapılmalıdır.
- Kıyı çizgisi modelleri ölçüm ya da ölçümlerin bulunmadığı durumlarda uydu görüntüleri kullanılarak kalibre edilmelidir.
- Kıyı çizgisi modelleri yeterli doğrulukta batimetrik çalışmaları gerektirir. Batimetrik çalışma kıyı çizgisi ölçümünü içermelidir. Ayrıca modelcinin belirleyeceği aralıklarda kıyı profilleri temin edilmelidir. Kıyı profilleri kapama derinliğinden kıyı çizgisnin kara tarafında kıyı özelliklerini içerecek (basamak, kumul gibi) biçimde elde edilmelidir. Batimetrik çalışmalar bu ihtiyaçları karşılayacak biçimde yapılmalıdır.

İki ve üç boyutlu morfolojik modellerin stabilitesinde zaman ve hesap adımlarının yanı sıra deniz taban pürüzlülüğü gibi parametrelerin de doğru belirlenmesi gerekmektedir.

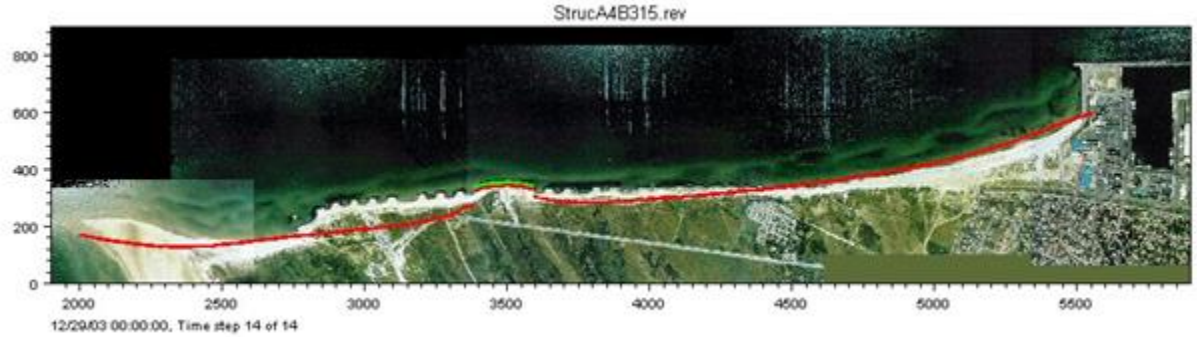
Katı madde taşınım ve morfoloji sayısal model çalışması Şekil 2.7'de verilen akış diyagramı kullanılarak yapılır.

Seçilen katı madde taşınım sayısal modeli, deniz taban özelliğini (koheziv veya koheziv olmayan) tanımlayan ve hesaplama yeteneğine sahip bir model olmalıdır.

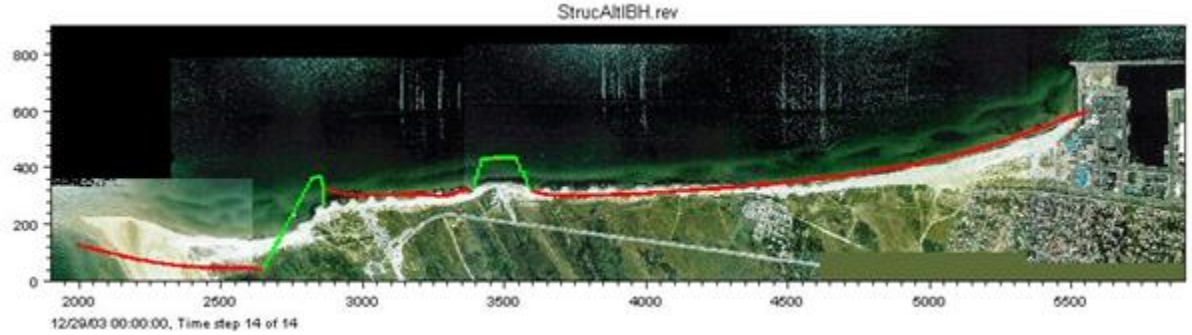
2.1.5 Su Kalitesi Modelleri

Bu tip modeller öncelikle hidrodinamik ve dalga modellerinin kurulması ve çalıştırılmasıyla elde edilen dalga ve akıntı verilerine ihtiyaç duyarlar. Öncelikle bu tip modellerin koşturulması gerekir. Bu tip modeller termik santral su alma ve deşarj, atık su deşarjlarının seyrelme hesaplarının yapılması için gereklidir.

Sayısal model çalışmalarında kıyı ve deniz yapılarının etkileri dikkate alınması isteniyorsa “yapı - dalga ve/veya akıntı – deniz tabanı etkileşimi” bu durumda model ağ boyutları yapı boyutları dikkate alınarak belirlenmelidir. Bu durumun sayısal modellerin çözüm yükünü artırdığı bilinmektedir, bunun üstesinden yapıların bulunduğu bölgesinde ağ inceltilmesi (nested) yapılır.

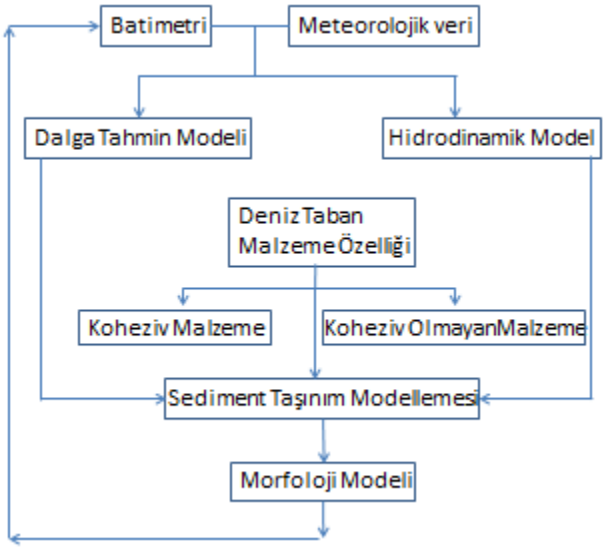


(a) Kıyı mahmuzlarının kıyı çizgisinde değişime etkisi ile ilgili örnek



(b) Kıyıda iki büyük yapının kıyı çizgisine etkisi ile ilgili örnek

Şekil 2.6



Şekil 2.7 Katı madde taşınım modellemesi için akış diyagramı

2.1.6 İklim Değişikli ve Kıyı Alanlarına Etkisinin Modellenmesi

İklim değişikliğinin kıyı alanları üzerindeki etkisinin belirlenmesi için mevcut olan en güvenilir iklim tahmin verileri ile birlikte proje alanındaki kıyının durumu hakkında da veriye ihtiyaç duyulur. Gelecekteki iklim durumu için yüksek doğruluklu verilerin bulunması gerçekte pek mümkün olmayabilir. Çünkü bu durum iklim araştırmalarının doğasında vardır ve tam doğru iklim değişikliği tahminleri yeterince güvenilir olmamaktadır. Bu nedenle belirsizliklerin iyi tanımlanması gerekir. Tahminlerin yapılması için aşağıdaki verilere ihtiyaç duyulur.

- Mevcut meteo-oşinografik durum (rüzgar, dalga, gel-git ve akıntı istatistikleri)
- Mevcut morfolojik durum (erozyon miktarı, tarihsel/mevcut değerlendirme)
- Mevcut en büyük durum istatistiği (en büyük değer fırtına kabarma miktarları, dalga yükseklikleri)

İdeal durumda, verilen iklim değişikliği senaryoları için optimum veriler listesi ise aşağıdaki gibidir.

- Su seviyesi tahminleri
- Rüzgar istatistiği ile ilgili tahminler
- Eğer mevcutsa morfolojik değişimler.

Ancak çoğu kez bu gibi veriler bulunmayabilir, çoğunlukla da bu veriler yeteri doğrulukta olmayabilir.
Küresel ölçekte yapılmış su seviyesi tahminleri IPPC (2013)'de mevcuttur (Bkz., Bölüm B2 Şekil 2.4). Rüzgar ve bölgesel iklim tahminleri ise yerel meteorolojik istasyonlardan veya uluslararası hava tahmin kurumlarından (ECMWF ya da NOAA) temin edilebilir.

İklim değişikliği tahminlerindeki belirsizlikler aşağıdaki nedenlerden kaynaklanmaktadır.

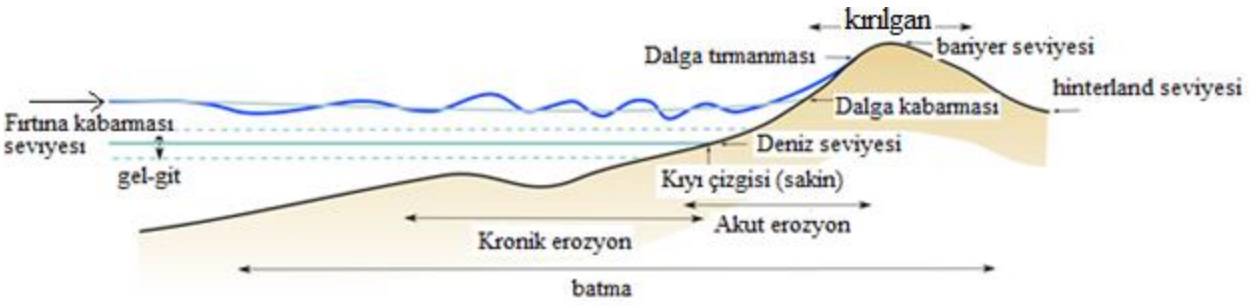
- Gelecekteki küresel gerçek sera gazı çıkışlarının bilinmemesi
- Küresel ısınma ve iklim değişiklikleri için iklim modellerinin yaklaşık tahminler yapmasıdır.

İklim değişiminin kıyı alanlarına olan etkisi aşağıdaki gibidir;

- Kronik erozyonda değişim (uzun dönem kıyı çizgisi değişimleri)
- Akut erozyonda değişimler (en büyük fırtına kabarması durumları)
- Taşkın ve kırılganlıklardaki değişimler.

Buna göre bir çok eleman analiz edilmelidir (Şekil 2.8);

- Deniz seviyesi
- Fırtına kabarması ve dalgalar
- Dalga tırmanması ve aşma
- Kronik erozyon
- Akut erozyon
- Batma
- Bariyer kırılganlığı
- Hinterland taşkınları



Şekil 2.8 Kıyı alanları üzerindeki etkilere yönelik farklı fiziksel elemanlar ve işlemler

Her iki uzun ve kısa dönemli erozyon; batimetrik, topoğrafik ve kıyı kumulları gibi bariyerlerin kırılganlıklara olan dirençleride dikkate alınarak taşkın afetini etkileyen potansiyel kıyısal işlemlerdir.
İklim değişiminden dolayı oluşan etkilerin analizi iki farklı başlık altında yapılır, bunlar;

- Kırılganlık analizi
- Senaryolar

Kırılganlık Analizi
Verilen bir kıyı sisteminde ve/veya alt yapıda iklim değişikliğinden dolayı ana parametrelerdeki değişikliğin ne kadar değişime neden olacağının analiz edilmesidir. Örneğin kronik, akut erozyon üzerinde ve kıyı taşkınında (örneğin dalga yüksekliği ve periyotta %10 değişim, rüzgar/dalga doğrultusunda $\pm 5^0$ değişim, deniz seviyesinde 0.5m artış, fırtına koşullarının oluşma sıklığının %10 artması koşullarında) etkisi nedir. Kırılganlık analizi kıyının küresel iklim değişikliği altında ne kadar direnç gösterebileceğinin analizidir.

Senaryolar
Senaryo yaklaşımının uygulanmasında güvenilir bir veya daha fazla senaryo seçilmelidir. Böylece sayısal modele girilecek senaryo kurulur. IPPC (2013) küresel sera gazı emisyonu için en gerçekçi tahminleri vermektedir.

1-En büyük değer deniz seviyesi istatistiği
Bu istatistiksel çalışa iki türlü yapılabilir;

a) Deniz seviyesinin yükselmesinin hızlı tahmini;

Mevcut en büyük deniz seviyesi istatistiğine deniz seviyesi yükselmesi eklenir. Bu yöntem fırtına koşullarındaki değişim etkisini içermemektedir.

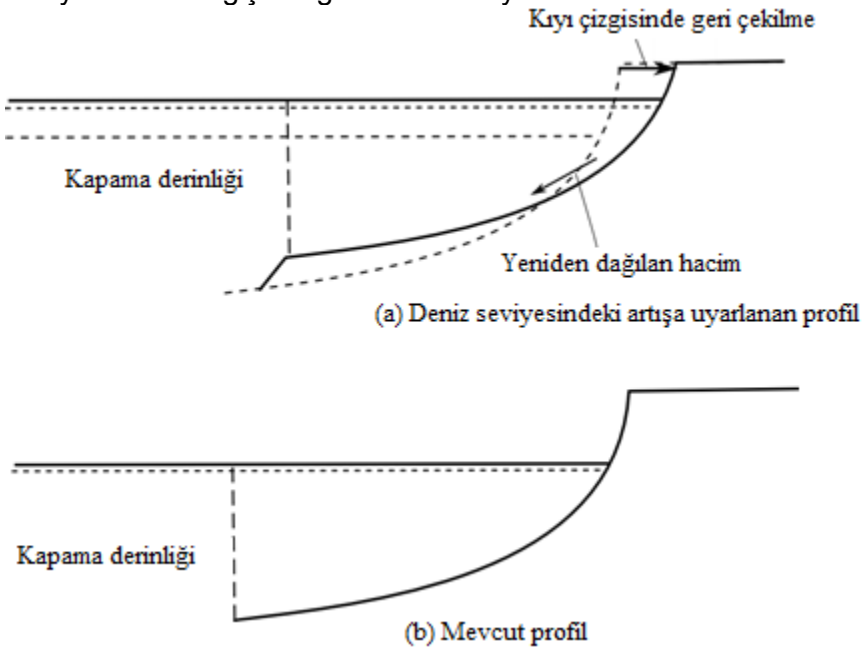
b) Farklı etkiler göz önüne alınarak detaylı sayısal model çalışmasını esas alan tahminler

Sayısal modelde; deniz seviyesi değişiminin fırtına kabarması istatistiğine etkisi ve kontrol eden etkili faktörlerin değişimlerinin yerel etkileri dikkate alınarak araştırılır. Karmaşık batimetri ve geometri üzerinde uzamsal ve zamana bağımlı yapılan bu sayısal modelleme daha güvenilir sonuçlar verecektir. Örnek olarak bu çalışma için; deniz seviyesi verileri ve geçmişe yönelik meteo-oşinografik verilerin toplanması, geçmişe yönelik çok sayıda fırtına seçimi, yüksek deniz seviyesi için farklı fırtınalarda model koşturulması (basit senaryo), farklı fırtına şiddet ve yönlerinde modelin koşturulması (kırılganlık) gibi koşullar dikkate alınır.

2-Kıyı morfolojisi üzerindeki etkiler
Bu etki iki katagoride ele alınabilir. Bunlar;

- Deniz seviyesi yükselmesinde tedrici etki
- Kontrol eden koşullardaki değişim etkileri

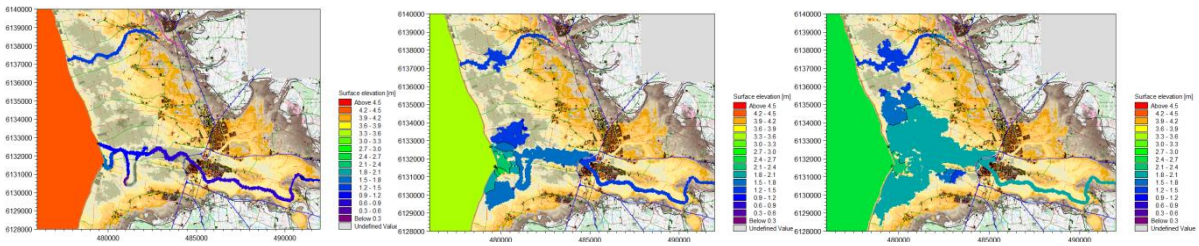
Deniz seviyesi yükselmesinde tedrici etki: Yeni deniz seviyesi koşullarına uyum sağlayan kıyı profili genellikle Bruun kuralı uygulanarak tahmin edilmektedir. Bruun kuralına göre kıyı profili orjinal şeklini korur (dalga koşullarında ve sediment temininde değişim olmadığı koşuluyla) ve bu profil deniz seviyesindeki değişime göre kendini uydurmaktadır.



Şekil 2.9 Bruun kuralı'na göre kıyı profili

Kontrol eden koşullardaki değişim etkileri: Gelecekteki koşullara benzer sınır koşulları ile sayısal model çözümü yapılır. Örneğin; (i) Farklı dalga koşullarında kıyı boyu taşınım ve kıyı çizgisi değişimi modellemesi, (ii) Su seviyesi ve kabül edilen dalga iklimi için tahmin edilecek en büyük değer istatistiği kullanılarak fırtına kabarması sırasında akut erozyon üzerindeki en büyük durumun etkisinin belirlenmesi. Fırtına sırasında erozyon için modelin ve fırtına kabarmasının gelecekte oluşabilecek bir çok fırtına senaryosu ile uygulanması.

3-Kıyı taşkını üzerinde iklim değişiminin sonucunda, hinterland da oluşacak taşkın için meydana gelebilecek etkilerin araştırmasını içermektedir. Bu araştırmanın sonucunda maksimum taşkın haritaları oluşturulur. Bu çalışma için: Fırtına sıklığı, fırtana şiddeti-rüzgar hızı ve doğrultusu, fırtına uzunluğu, deniz seviyesi artışı, hassas batimetri (kumul, sedde ve diğer kıyı korumalar) ve hinterland, batimetrik değişimler kabul edilebilir.
Statik ve dinamik olmak üzere iki tip taşkın analizi yapılabilir. Statik analizde, taşkının zamansal değişimi dikkate alınmaksızın potansiyel taşkın belirlenir. Bu tip analizler yavaş değişen kontrol koşullarındaki (su seviyesi, dalga yüksekliği, vd.) küçük alanlarda uygulanır. Dinamik analiz sadece sayısal modelleme ile taşkının zamanla değişimini elde edecek şekilde yapılır.



Şekil 2.10 1000 yıl yinelenme dönemine sahip fırtına kabarması için meydana gelecek dinamik taşkın senaryosuna bir örnek, http://eng.kyst.dk/

3. FİZİKSEL MODELLEME

Kıyı mühendisliği alanında sayısal modelin yanında 2 veya 3 boyutlu fiziksel modellerin de yapılması gerekli olduğu durumlar söz konusudur. Özellikle dalgakıran stabilite (denge) deneylerinin fiziksel model yardımıyla yapılması, ekonomik dalgakıran kesitlerinin elde edilmesine olanak sağlayacaktır. Ayrıca yüzen dalgakıran stabilitesi, kum taşınımı gibi konuların da fiziksel model deneylerine tabi tutulması uygun olacaktır.

Kıyı mühendisliğinde iki tip fiziksel model tanımlanır. Bunlar;

- Sabit tabanlı modeller. Genellikle hidrodinamik model çalışmalarında tercih edilirler. Sabit tabanlı modeller özellikle deniz ve kıyı yapılarının tasarımında kullanılırlar. Bunlara örnek olarak dalga aşması, yapı stabilitesi, kıyı alanındaki dalga koşulları, dalga nedenli akıntı koşullarının karmaşık kıyı alanlarında ya da yapılar etrafında belirlenmesi verilebilir.
- Hareketli tabanlı modeller. Bu tip modeller, hidrodinamik koşullar ile deniz tabanı etkileşiminin ortaya konulması durumunda tercih edilirler. Özellikle kıyı koruma çalışmalarında, kıyı morfolojisinin belirleneceği çalışmalarda kullanılırlar. Bunlara örnek olarak kıyı boyu katı madde taşınımı, morfolojik özelliklerin belirlenmesi, yerel oyulmanın modellenmesi, plaj stabilitesi gibi çalışmalar verilebilir.

Fiziksel modeller, ölçek etkileri en aza indirilecek biçimde kurulmalıdır. Bu nedenle çok küçük ölçekli modellerden kaçınılmalıdır. Yapılan modelleme çalışmalarında olması muhtemel ölçek etkileri açıklanmalıdır. Özellikle ölçek etkileri hareketli tabanlı modellerde daha karmaşık bir hal alabilmektedir.

Fiziksel model çalışmalarında, dalga kanalı ya da dalga havuzlarında yansımaların önüne geçilmeli ve ölçülmelidir, sonuçlar raporlanmalıdır. Bu amaçla yeterli sayıda dalga ölçer doğru konumlara yerleştirilmelidir. Dalga üreteçleri kendileri yansıyan dalgaları sönümlendirebilir. Dalga üreteçleri düzenli ya da düzensiz dalgaları üretebilir, ancak düzensiz dalga üreteçlerinin kullanılması tercih edilmelidir.

Modeller iki boyutlu olarak dalga kanallarında ya da üç boyutlu olarak dalga havuzlarında kurulabilir. Bu modellerin ölçekleri genelde 1/20 ile 1/80 arasındadır. Bu modellere ait uyulması gereken ölçek oranları Tablo 2.1'de verilmiştir.

Fiziksel model deneylerinde kullanılan cihazların doğru ölçüm yaptıklarından emin olunmalıdır. Bu amaçla ölçüm sistemlerinin kalibrasyonu ayrıca raporlanmalıdır. Cihazların sertifikalı olması tercih edilmeli ve raporlanmalıdır.

Tablo 2.1 Fiziksel modeller için ölçek oranları ve tercih edilen boyutlar.

Fiziksel modelin tipi	Çalışılacak model	Tercih edilmesi gereken ölçek oranı (model/prototip)	Önerilen dalga kanalı ve havuz boyutları (metre)
Dalga kanalı	Tahkimat, kıyı duvarı, sedde, dalgakıran gövdesi gibi enkesitler	1/20-1/50	1x1x25
Dalga havuzu	Dalgakıran kafası	1/20	25x35
	Küçük liman, yat limanı	1/40	25x35
	2 boyutlu kıyı yapısı	1/50	40x60
	Büyük liman	1/80	40x60

4. SAHA ARAŞTIRMALARI

Kıyı alanlarındaki morfolojik değişimlerin belirlenmesi, kıyı yapılarının tasarlanması amacıyla detaylı saha araştırmaları gerekmektedir. Saha araştırmaları güç ve pahalı çalışmalardır ancak yapılacak planlama ve tasarım çalışmalarında doğru kurgulanmış saha araştırmalarına ihtiyaç vardır. Saha araştırmalarının kapsamının, verilerin nihai kullanıcısı olanlar ve deniz yapıları tasarımını yürütecek olan mühendislik ekibiyle birlikte belirlenmesinde faydalar bulunmaktadır. Saha araştırmaları geleceğe yönelik doğru tahminlerin yapılması ve sayısal modellere girdi olmaları açısından yeteri doğrulukta yapılmalıdır. Yapılan saha çalışmalarına ait hata miktarları detaylı ve yapılan ölçümlere özgü olarak tanımlanmış standartlar dahilinde raporlanmalıdır.

4.1 Meteo-oşinografik Veriler için Saha Ölçümleri

Meteo-oşinografik veriler sayısal modellerin kalibrasyonu, kıyı yapılarının planlanması ve tasarımı, kıyı morfolojisinin anlaşılması, alansal ölçümlerin hassasiyeti gibi işlemler için gereklidir. Bu ölçümler;

- Su seviyesi ölçümleri; Gel-git analizleri için en az iki ay, tercih edilen 8 – 9 ay'lık ölçümlerdir. Rüzgar ve fırtına kabarmalarının belirlenmesi için minimum bir yıllık ölçüm yapılmasını gerektirir.
- Dalga ölçümleri; Dalga tahminleri genellikle sayısal model yardımıyla yapılmaktadır Ancak bu modellerin kalibrasyon ve doğrulanmaları için bu ölçümlere ihtiyaç duyulur. Bu amaçla, proje şartları daha fazlasını gerektirmediği durumlarda, en az bir adet istasyonda 3 – 6 ay süreli ölçüm yapılması genel olarak yeterli kabul edilebilir. Ölçümler 2Hz örnek alma frekansı ile 1 veya 3 saat aralıklarla genellikle 20 dakikalık periyoda sahip olarak yapılır. Tablo 4.1'de dalga ölçüm sistemleri özetlenmiştir.
- Akıntı ölçümleri; En az iki ay ölçüm yapılmalıdır. Tercih edilen bir yıl boyunca mevsimsel değişimlerin anlaşılmasıdır yani her mevsim en az bir ay boyunca akıntı ölçümü yapılmasıdır. Veri toplama sıklığı 1 saat aralığını geçmemelidir. Akıntı ölçümleri Eulerian ya da Lagrangian yöntemle yapılır. Eulerian ölçümler akıntı ikliminin belirlenmesi ve sayısal modellerin kalibrasyonu için yapılır ancak Lagrangian ölçüm örnek olarak bir mahmuz etrafındaki iki boyutlu akıntı yapısının belirlenmesinde kullanılır.
  Akıntı ölçüm istasyonundaki su derinliği 10 m'nin altındaysa, orta derinliğe yerleştirilecek bir noktasal ölçüm cihazı yeterli olabilir. 10 m'den derin sularda ise, biri yüzeyin 1 m altında, diğeriyse deniz tabanının 1 m üstünde olacak şekilde iki farklı derinlikte noktasal ölçüm yeterli olacaktır. Alternatif olarak yukarı bakışlı (deniz tabanına yerleştirilmiş) veya aşağı bakışlı (şamandıra üzerinde) ADCP (Akustik Doppler Current Profiler) cihazı kullanımı yerinde olabilir.
- SLR (Küresel iklim değişikliği nedeniyle su seviyesi ölçümleri); Çok uzun süreli ölçüm gerektirir.
- CTD Ölçümleri : CTD (sıcaklık, iletkenlik, tuzluluk, yoğunluk vb) ölçümleri, belli bir derinlikte sürekli olarak yapılabilmesinin yanısıra, bir profil oluşturacak şekilde belirlenen noktalarda su kolonu boyunca (su yüzeyinden deniz tabanına kadar) ve her 1 m'de bir olacak şekilde ölçülmelidir. Proje ihityacına bağlı olarak ölçüm periyodu mevsimsel (4 mevsim veya yaz ve kış) veya tüm yıl olacak şekilde belirlenebilir ancak bir gün içindeki ölçüm sıklığı minimum 3 kez (yüksek su seviyesi, durgun seviye ve alçak su seviyesi zamanlarında) olmalıdır.
- Proje alanının deniz tabanı sediment yapısının ve özelliklerinin bilinmesine yönelik örnekleme, laboratuvar analizleri ve sonuçlarına göre oluşturulmuş dağılım haritası oluşturulmalıdır. Veri toplama yöntemi Bölüm B 4.2'de tanımlanmıştır.

Tablo 4.1 Dalga ölçüm sistemleri (PIANC, 2014)

Alet	Operasyon modu	Ölçülen parametre	Dalga periyodu sınır değerleri
Şamandıra	Yönsel ya da yönsel olmayan accelerometer şamandıra	Yönsel dalga spektrumu. Frekans ve zaman alanında tüm dalga parametreleri	Serbest yüzme modunda 1.6 – 30 s. Bağlanmış modda 1.6 – 20 s.
Basınç algılayıcı	Hidrostatik basınç ölçer	Dalga spektrumu. Frekans ve zaman alanında tüm dalga parametreleri (yönsel olmayan)	Derinliğe bağlı sığ suda 5 s dalga ölçülen en kısa dalgadır.
Akıntı ölçer + basınç algılayıcı	Hidrostatik basınç ölçer ve dalgaların ürettiği iki boyutlu yatay hızı kayıt eder	Yönsel dalga spektrumu. Frekans ve zaman alanında tüm dalga parametreleri	Derinliğe bağlı sığ suda 5 s dalga ölçülen en kısa dalgadır.
ADCP (Accoustic Doppler Current Profiler)	Dalgaların ürettiği yörüngesel hızlar acoustic doppler tekniği ile ölçer	Yönsel dalga spektrumu. Yüzeyindeki değişimin zaman serisi elde edilir.	Derinliğe bağlıdır. Tipik olarak bir ADCP su yüzünden 15 m derine yerleştirilir ve yönsel dalga periyodu 3 s'dir.
HF Radar (High Frequency Radar)	Mikro dalga tekniği ile (10GHz) deniz yüzeyine olan mesafe ölçümü yapar. Genellikle açık deniz yapılarına yerleştirilir.	Yüzeyindeki değişimin zaman serisi ve frekans spektrumu elde edilir. Tüm dalga parametresi bu spektrumdan bulunur.	Yüksek frekansa sahip olması nedeniyle mesafe ölçümleri çok hassastır. Tüm dalga periyotları ölçülür.
X-Bant Radar	Yönsel dalga ve yüzey akıntılarını ölçer.	Tüm dalga ve akıntı parametresi ölçülür.	En az 2m/s'lik rüzgar hızı gerekir. Yerleştirme yüksekliği en az 15 m' dir.

4.2 Alansal Veriler için Saha Ölçümleri

Alansal ölçümler;

1. Batimetri; Bir su kütlesinde derinlik ölçümü ve tabanının şeklinin veya topoğrafyasının haritalanmasıdır.

Batimetrik çalışmaların iki önemli bileşeni, konum ve derinlik ölçmeleridir. Bir deniz alanında yapılacak batimetrik ölçümler temel olarak Gerçek Zamanlı Konum Belirleme, derinlik ölçer ve uygun yazılımdan oluşan bir Otomatik Veri Toplama Sistemi (OVTS) ile gerçekleştirilmelidir. Bu sistemler, "Hidrografik Donanım" ve "Hidrografik Yazılım" olmak üzere iki temel bileşenden oluşmaktadır.

Hidrografik Donanım (Hardware)

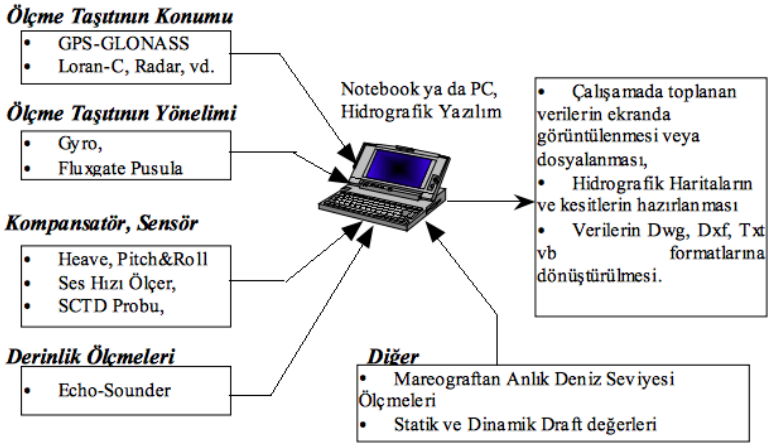
Otomatik Veri Toplama Sistemlerinde yer alan başlıca donanımlar:

- Konum ölçmelerinde kullanılan GPS, GLONASS gibi uydu sistem alıcıları,
- Ölçme taşıtının yönlendirilmesi için Gyro ve özel pusula,
- Ölçmelerdeki ses hızı, heave ve pitch&roll gibi hataları azaltmaya dönük ölçme sensörleri,
- Derinlik ölçmelerinde kullanılan sayısal ve grafik çıkışlı derinlik ölçer (tek veya çok ışınlı),
- Konum ve derinlik bilgilerinin bir yazılım desteğinde depolanacağı bir PC veya dizüstü bilgisayardır.

Hidrografik Yazılım (Software)

Bir hidrografik yazılımın esas görevi, eş zamanlı konum ve derinlik bilgilerini ve aşağıda verilen diğer sensör ya da sistemlerden gelen verileri birleştirerek depolamasıdır.

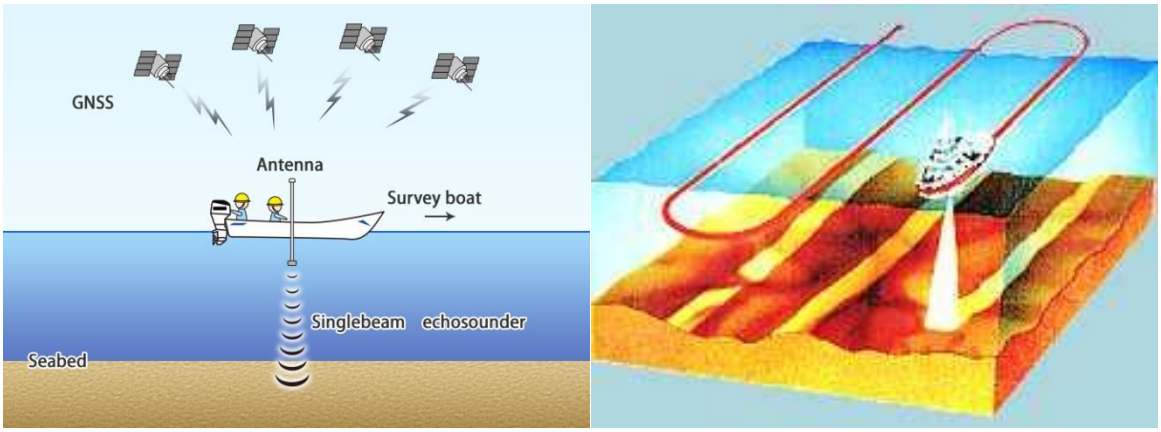
Genel olarak bir Otomatik Veri Toplama Sisteminin bileşenleri Şekil 4.1'de, verilmiştir.



Şekil 4.1 Otomatik veri toplama sisteminin bileşenleri

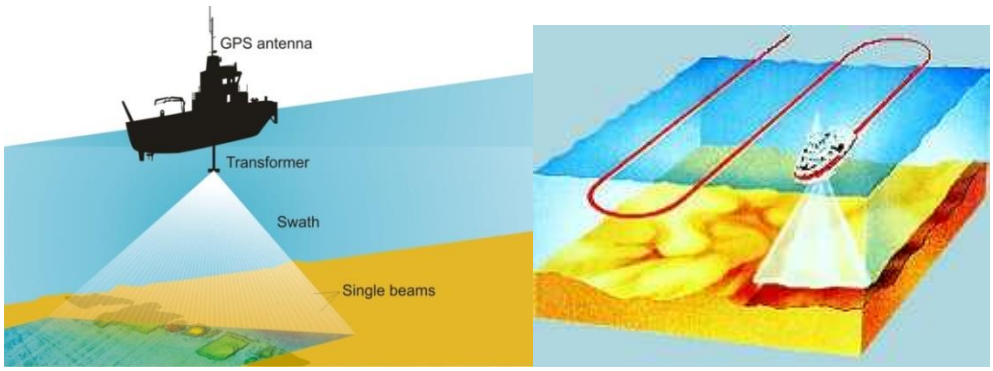
Batimetri ölçümleri günümüzde bu amaca yönelik geliştirilmiş elektronik sistemler vasıtasıyla yürütülmektedir. Türkçe ismi "iskandil/derinlik ölçer" olan "echo-sounder" lar genel olarak Tek Işınlı Derinlik Ölçer/İskandil (Single-beam Echosounder) ve Çok Işınlı Derinlik Ölçer / İskandil (Multi-beam Echosounder) olarak ikiye ayrılır.

Tek ışınlı derinlik ölçerle deniz tabanı derinliğinin belirlenen hatlar boyunca ölçülmesi ve deniz tabanı yüzeyi topoğrafyasının belirlenmesi amaçlanmaktadır (Şekil 4.2). Bu derinlik ölçerle, proje alanında belirlenen bir başlangıç noktasına bağlı olarak oluşturulan ölçme hatları (aralıkları 10 m, 20 m, 50 m..vb) üzerinde minimum 5 m' de bir olacak şekilde eş zamanlı olarak konum ve derinlik verileri kaydedilmektedir. Ayrıca, ölçmelerde çift frekanslı (düşük 30-33 kHz, yüksek 200-210 kHz) derinlik ölçerlerin kullanılmasının su altındaki çökelti tabakası hakkında da fikir edinilmesini sağladığı göz önüne alınarak, bu şekilde ölçmeler yapılmaya çalışılmalıdır. Böylelikle sadece hassas derinlik bilgilerine değil, aynı zamanda zeminin belirli bir kesimi hakkında bilgi de edinilmiş olacaktır.



Şekil 4.2 Tek ışınlı derinlik ölçer

Çok Işınlı Derinlik Ölçerler ise (Şekil 4.3), yine belirlenen hatlar üzerinde ancak bu kez daha geniş bir alanı tarayacak şekilde deniz tabanına gönderilen ses sinyalleri vasıtasıyla ölçümleri gerçekleştirirler. Çok Işınlı Derinlik Ölçerlerin avantajı, bir geçişte daha geniş bir alanı taramasının mümkün olmasıdır. Ancak, 10 m'den daha sığ sularda bu avantajını yitirmektedir. Ayrıca derinlik kalibrasyonu için daima Tek Işınlı Derinlik Ölçer ile eş zamalı kullanılmalıdır.



Şekil 4.3 Çok ışınlı derinlik ölçer

Batimetrik ölçümler IHO ve SHOD standartlarına uygun hazırlanmalıdır. Kıyı çizgisi ölçümleri yapılmalıdır. Ölçümlerde kullanılan cihazlar ve hata miktarları raporlanmalıdır.

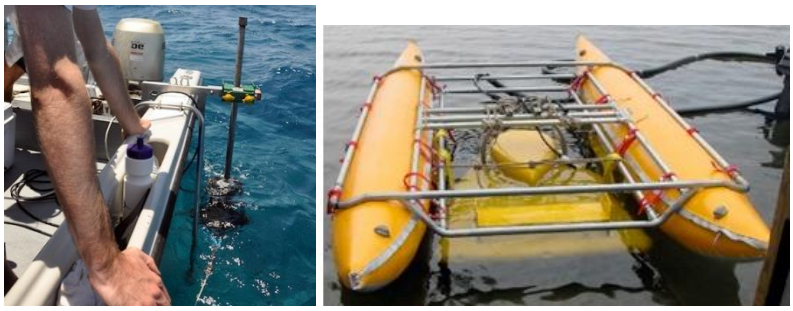
2. Deniz Jeofiziği; Deniz jeofiziği çalışmaları, deniz tabanının ve altının doğal ve doğal olmayan yapısının araştırılması, deniz tabanı çökelleriyle bu çökellerin ve diğer birimlerin jeolojik davranışlarının anlaşılması ve tüm bu birimlerin zaman içinde değişimlerinin belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır.

Deniz jeofiziği yöntemleri, deniz jeofiziği sistemlerinin kullanım amacı, etki derinlikleri, sistemlerin çalışma ilkeleri ve taşıdıkları bilgiler açısından kullanılan geleneksel jeofizik yöntemlerden farklılık gösterir.

Denizaltı yapılarının doğru ve etkin tasarlanması ve bu yapıların inşaları ve yerleştirilmesi için önceden yapılan detaylı jeofiziksel çalışmalar önem taşımaktadır. Proje alanının jeofiziksel yapısının ortaya çıkarılması amacıyla yapılan çalışmalar, sualtı mühendislik, inşaat, arkeoloji ve enerji sektörlerine veri sağlamaktadır.

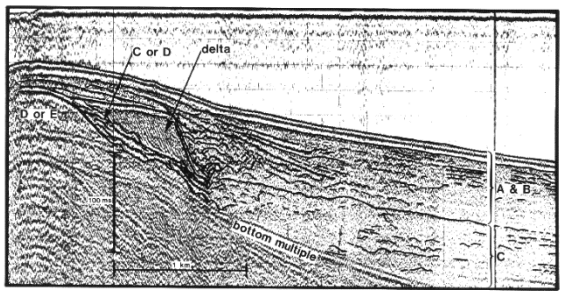
Deniz jeofiziğinde uygulanan başlıca 2 yöntem vardır. Bunlar; Deniz Sismiği ve Yandan Taramalı Sonar yöntemleridir.

(A) Deniz Sismiği: Bölgenin zemin özelliklerinin belirlenmesi, deniz tabanı altındaki güncel tabakaların ve varsa temel kaya konumlarının tespit edilmesi, mevcut sismik birimler arasındaki süreksizliklerin saptanması, sismik birimlerin doku analizlerinin yapılarak bu birimlerin muhtemel litolojik yapılarının kestirimi, sahada potansiyel aktif fayların olup olmadığının saptanması ve sondaj yapılacak noktaların belirlenmesi maksadıyla batimetrik ölçme çalışmaları ile eş zamanlı olarak icra edilir.
Sismik ölçümler, üretilen düşük frekanslı bir ses dalgasının tabaka sınırlarından yansıyıp gelmesiyle elde edilen kayıtların yorumlanmasına dayanır. Deniz sismiğinde ses dalgası denize indirilen bir towfish'ten gönderilebildiği gibi sörvey teknesine monteli bir cihazdan da gönderilebilir (Şekil 4.4).

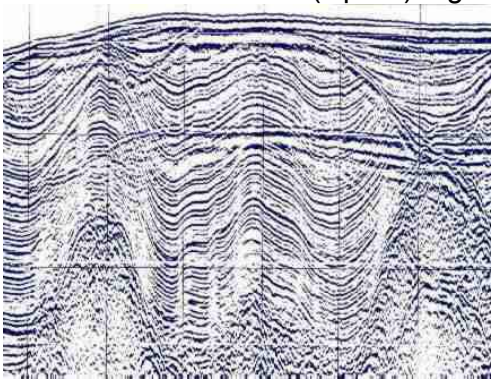


Şekil 4.4 Sismik yansıma amaçlı kullanılan cihazlar.

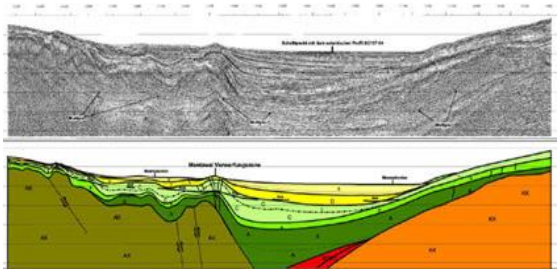
Örnek olarak Şekil 4.5(a)'da dip altı (subbottom) ve Şekil 4.5(b)'de ise nispeten daha derin dip altı sığ sismik yansıma kayıtları görülmektedir.



(a) Deniz Jeofiziğinde örnek bir subbottom (dip altı) sığ sismik yansıma kaydı.



(b) Denizde alınan nispeten daha derin sismik yansıma kaydı



(c) Bir sismik yansıma profili ve yorumlama
Şekil 4.5 Örnek deniz sismiği kayıtları

Proje ihtiyaçlarına göre kullanılacak sistemin minimum kabiliyeti, dip yapısına bağlı olarak 40 m'ye kadar nüfuz edebilecek yüksek ayrımlılığa sahip yüksek frekanslı bir sistem olmalıdır Sörvey hatları ise, yine projeye bağlı olarak minimum 50 m aralıklarla belirlenmelidir.

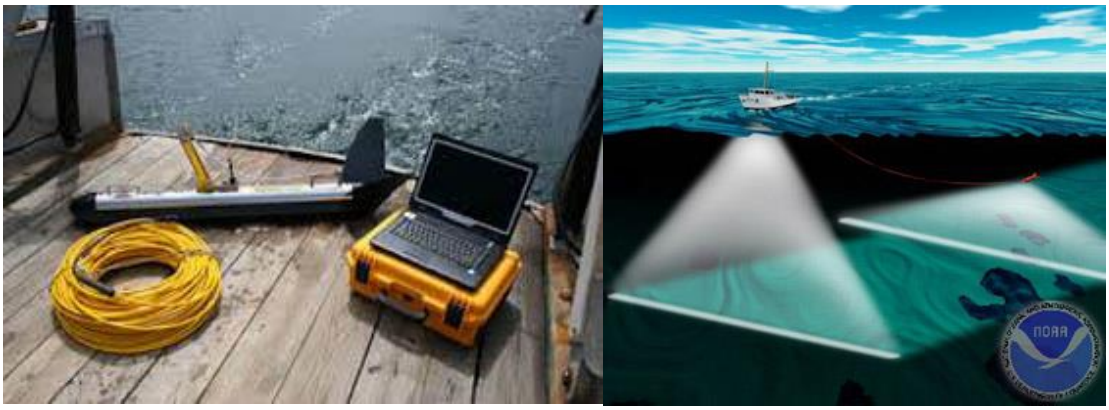
(B) Yandan Taramalı Sonar; Deniz tabanı yüzey yapısının özelliklerini saptamak, deniz tabanı üzerinde olabilecek doğal ve doğal olmayan yapıları tespit etmek ve batimetrik çalışmayı desteklemek amacıyla icra edilir. Yandan Taramalı Sonar çalışmasından elde edilen tüm bulgular ölçekli batimetri haritası (deniz taban topografik haritası) üzerine işlenir. Ayrıca sonar mozaik haritası yapılarak, proje sahası deniz tabanındaki tüm bulgular işlenmelidir.
Yandan Tarama Sonarı çalışmaları

- Sualtı kablo çekme ve petrol/doğalgaz boru hattı araştırmalarında
- Batık araştırmalarında
- Arkeolojik araştırmalarında kullanılmaktadır.

Bunlarla beraber sismik ve jeoteknik çalışmaları desteklemek adına yürütülmesi; deniz tabanı ve taban altının profil bütünlüğünü sağlayacak, yapılan çalışmaları daha da etkin kılacaktır.

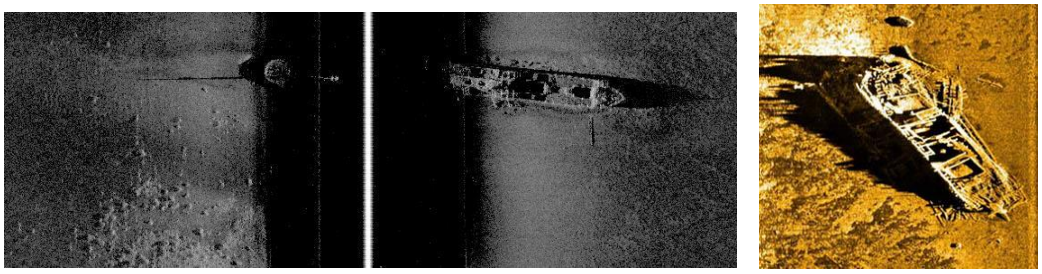
Kullanılacak cihaz ve sistemler tüm sahayı kaplayacak ve ayrıca izlenecek yöntem de çalışma hatları ile orantılı, en iyi çözümlemeye sahip ve % 100 sonuç verecek şekilde çalıştırılmalıdır.

Yandan Taramalı Sonar yönteminde towfish, verici ve alıcısı yüksek frekanslı ses sinyalleri gönderip almak sureti ile deniz tabanının haritası görüntülenir. Bu sistem, towfish'in iskele ve sancak transducer'lerinden belirli zaman aralıklarında pingler göndermesi ve tabandan yansıyıp gelen sinyallerin alıcılar tarafından algılandıktan sonra bilgisayarlarda kayıt edilmesi ilkesine dayanır (Şekil 4.6(a) ve (b)).



Şekil 4.6 (a) Yandan taramalı sonar (Side Scan Sonar) sistemi
(b) Yandan taramalı sonar sisteminde gemi ve towfishin şematik görüntüsü (NOAA'dan alınmıştır)

Şekil 4.7'de iskele ve sancak görüntüleri ortadaki beyaz çizgi ile ayrılmış olup, deniz tabanında yatan "batık gemi" açıkça görülmektedir.



Şekil 4.7 Yandan taramalı sonar kayıt örneği (deniz tabanındaki batık açıkça görülmektedir)

3. Zemin Araştırmaları; Zemin araştırmaları, ilgilenilen projenin özelliklerine ve saha jeojik şartlarına bağlı olarak belirlenmelidir. Bu araştırmalar zemin sondajları ve bunlarla ilintili yerinde ve labortuvarda deneyler, yükleme testleri, gözlem çukurları, sismik deneyler, vb. pek çok etüdü içerebilir.

Yapılacak araştırmaların kapsamının, zemin hakkında yeterli bilgi edinilebilecek ve zemin şartlarının yeterli doğrulukta modellenmesine olanak sağlayacak şekilde planlanması önemlidir. Ön tasarımlarda kullanılmak için yapılacak etüdlerde minimum olarak aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır;

- Sondaj deniz tabanından minimum 15 m, tercih edilen 30 m derinliğe kadar yapılmalıdır. Taşıyıcı zemin içine ise en az 5 – 10 m girmelidir, dolayısı ile zemin sondaj derinliği buna göre dikkate alınmalıdır. SPT her 1.5 m için yapılmalıdır. Gerekmesi durumunda CPT deneyleri yapılmalıdır.

- Sondaj aralıkları en fazla 100 m olmalıdır. Ancak iki sondaj farklı birimleri kesiyorsa, elde edilen mevcut zemin kesitinden faydalanılarak uygun konumlarda bir veya daha fazla sondaj yapılmalıdır ve bu durumda sondaj derinliği artırılmalıdır (30 m +10 m gibi).
- Yapılan sondaj verileri kullanılarak proje alanına ait zemin profilleri (jeolojik kesitler) elde edilmelidir.

KAYNAKLAR

BS 6349-Part 1, 2013, Maritime Works – Part 1-1: General – Code of practice for planning and design for operations".

CERC, 2003, "Coastal Engineering Manual".

IHO (International Hydrographic Organization), 2008, "Standards For Hydrographıc Surveys" S-44 5th Edition, IHB File No. S3/7198.

IPCC; Church, J.A., P.U. Clark, A. Cazenave, J.M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M.A. Merrifield, G.A. Milne, R.S. Nerem, P.D. Nunn, A.J. Payne, W.T. Pfeffer, D. Stammer and A.S. Unnikrishnan, 2013: Sea Level Change. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Mangor, K., 2004, "Shoreline Management Guidelines", copyright by author and DHI Water and Environment, Horsholm, Denmark 2004.

OCDI, 2002, "Technical Standarts and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan"

OCDI, 2009, "Technical Standarts and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan"

PIANC, 2014, "Countries in Transportation (CIT): Coastal Erosion Mitigation Guidelines", Report No:123-2014.

Thoresen C. A., 2015, "Port Designer's Handbook; Recommendations and Guidelines" Thomas Telford.

Yüksel, Y. Ve Çevik, Y., 2008, "Kıyı Mühendisliği", BETA Yayınevi.

Yüksel, Y. Ve Özkan Çevik, E., 2010, "Liman Mühendisliği", BETA Yayınevi, 2. Bası.

Yüksel, Y., 2011, "Dalgakıran Tasarımı", BETA Yayınevi, 1. Bası

Yüksel, Y., 2011, "Deniz Tabanı Hidrodinamiği ve Kıyı Morfolojisi, Planlama ve Tasarım", BETA Yayınevi, 2. Bası.

Yüksel, Y., 2014, "Teori ve Çözümlü Problemler ile Bilgisayar Uygulamalı Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik", BETA Yayınevi, 5. Bası.

Yüksel, Y., Cevik, E., Berigen, M., Doran, B., Aydoğan, B., Yüksel, Z.T., Başaran, B., 2015, "Ağırlik Tipi Rıhtım Yapılarının Sismik Davranışı", MAG 113M426

EKLER

TABLO LİSTESİ

Tablo E1 Dalga periyodu ile su derinliği ilişkisini veren tablo 473
Tablo E2 Dalga yüksekliklerinin Rayleigh dağılımına uyan deniz koşulları için karakteristik dalga yükseklik oranları 474
Tablo E3 1m su derinliğinde koheziv olmayan taban malzemesi için U_1, kritik derinliğe göre ortalama akım hızları 476
Tablo E4 D=0.3-3m derinlik aralığı için d=1.0m su derinliği değerlerinden yapılan K_1 düzeltme katsayıları 476
Tablo E5 Operasyon kriterlerine karşılık rüzgar hızları 477
Tablo E6 (a) Demirleme alanında operayon için rüzgar ve akıntı hızlarının sınır Değerleri 478
Tablo E6 (b) Bağlanma alanında ve şamandıra sistemleri için operayonel rüzgar ve akıntı hızlarının sınır değerleri 478
Tablo E6 (c) Manevra alanında operasyonel rüzgar ve akıntı için sınır değerler 478
Tablo E 7 (a) Sürüklenerek gömülen çapalar 479
Tablo E 7 (b) Çapa tipleri 480
Tablo E 7 (c) Çapa tutunma kapasiteleri 481
Tablo E 8 Yatların rüzgar etkisindeki alanları 481

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil E1 Bir gemi için rüzgarın etkili olduğu izdüşüm alanı 474
Şekil E2 Tankerler için izdüşüm alanları 475
Şekil E3 Konteyner gemileri için uzunluk ve izdüşüm alanları 475
Şekil E4 Yanaşma yeri etrafında tarama alanı 476

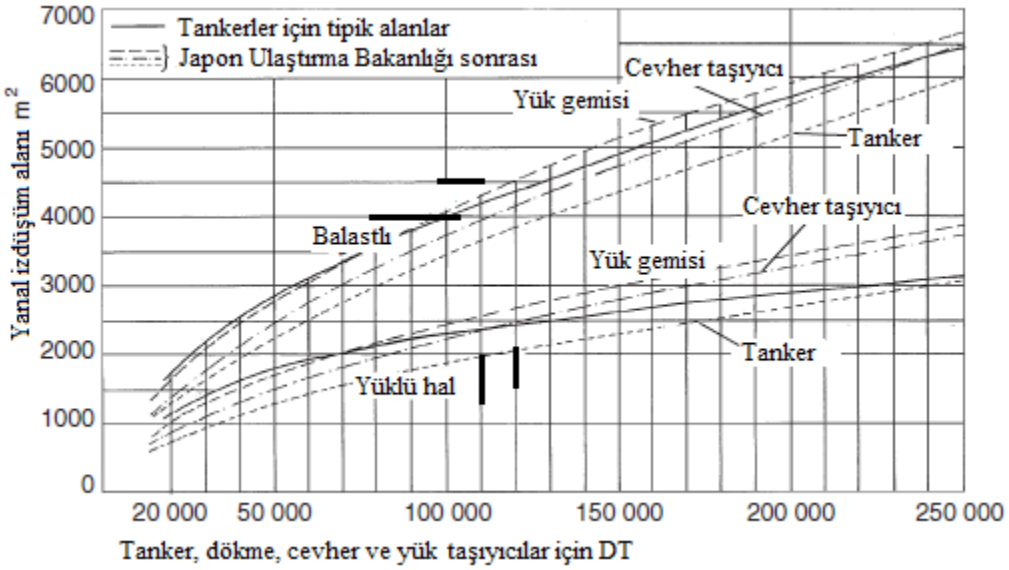
Tablo E1 Dalga periyodu ile su derinliği ilişkisini veren tablo

$\frac{d}{L_0}$	$\tanh\frac{2\pi d}{L}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\sinh\frac{2\pi d}{L}$	$\cosh\frac{2\pi d}{L}$	$\frac{4\pi d/L}{\sinh 2\pi d/L}$	$\frac{H}{H_0'}$
0.00	0.000	0.0000	0.000	0.000	1.000	1.000	-
0.01	0.248	0.0403	0.253	0.256	1.032	0.958	1.440
0.02	0.347	0.0576	0.362	0.370	1.066	0.918	1.230
0.03	0.420	0.0713	0.448	0.463	1.102	0.878	1.120
0.04	0.480	0.0832	0.523	0.547	1.140	0.839	1.060
0.05	0.531	0.0941	0.592	0.627	1.180	0.800	1.020
0.06	0.575	0.104	0.655	0.703	1.222	0.762	0.993
0.07	0.614	0.114	0.715	0.778	1.267	0.726	0.971
0.08	0.649	0.123	0.774	0.853	1.314	0.690	0.955
0.09	0.681	0.132	0.831	0.930	1.366	0.654	0.942
0.10	0.709	0.141	0.885	1.01	1.42	0.621	0.933
0.11	0.735	0.150	0.940	1.08	1.47	0.588	0.926
0.12	0.759	0.158	0.994	1.17	1.54	0.555	0.920
0.13	0.780	0.166	1.05	1.25	1.60	0.525	0.917
0.14	0.800	0.175	1.10	1.33	1.67	0.494	0.915
0.15	0.818	0.183	1.15	1.42	1.74	0.465	0.913
0.16	0.835	0.192	1.20	1.52	1.82	0.437	0.913
0.17	0.850	0.200	1.26	1.61	1.90	0.410	0.913
0.18	0.864	0.208	1.31	1.72	1.99	0.384	0.914
0.19	0.877	0.217	1.36	1.83	2.08	0.359	0.916
0.20	0.888	0.225	1.41	1.93	2.17	0.336	0.918
0.21	0.899	0.233	1.47	2.05	2.28	0.313	0.920
0.22	0.909	0.242	1.52	2.18	2.40	0.291	0.923
0.23	0.918	0.251	1.58	2.31	2.52	0.270	0.926
0.24	0.926	0.259	1.63	2.45	2.65	0.251	0.929
0.25	0.933	0.268	1.68	2.59	2.78	0.233	0.932
0.26	0.940	0.277	1.74	2.76	2.93	0.215	0.936
0.27	0.946	0.285	1.79	2.92	3.08	0.199	0.939
0.28	0.952	0.295	1.85	3.11	3.27	0.182	0.942
0.29	0.957	0.304	1.91	3.30	3.45	0.168	0.946
0.30	0.961	0.312	1.96	3.47	3.62	0.156	0.949
0.31	0.965	0.321	2.01	3.68	3.81	0.144	0.952
0.32	0.969	0.330	2.08	3.92	4.05	0.131	0.955
0.33	0.972	0.339	2.13	4.14	4.26	0.121	0.958
0.34	0.975	0.348	2.18	4.39	4.50	0.111	0.961
0.35	0.978	0.358	2.25	4.69	4.79	0.100	0.964
0.36	0.980	0.367	2.31	4.97	5.07	0.092	0.967
0.37	0.982	0.377	2.37	5.30	5.39	0.083	0.969
0.38	0.984	0.386	2.43	5.61	5.70	0.076	0.972
0.39	0.986	0.396	2.49	5.98	6.06	0.069	0.974
0.40	0.988	0.405	2.54	6.33	6.41	0.063	0.976
0.41	0.989	0.414	2.60	6.69	6.76	0.057	0.978
0.42	0.990	0.424	2.66	7.14	7.21	0.052	0.980
0.43	0.991	0.434	2.73	7.61	7.68	0.047	0.982
0.44	0.992	0.443	2.78	8.06	8.12	0.043	0.983
0.45	0.993	0.453	2.85	8.58	8.64	0.038	0.985
0.46	0.994	0.463	2.91	9.14	9.20	0.035	0.986

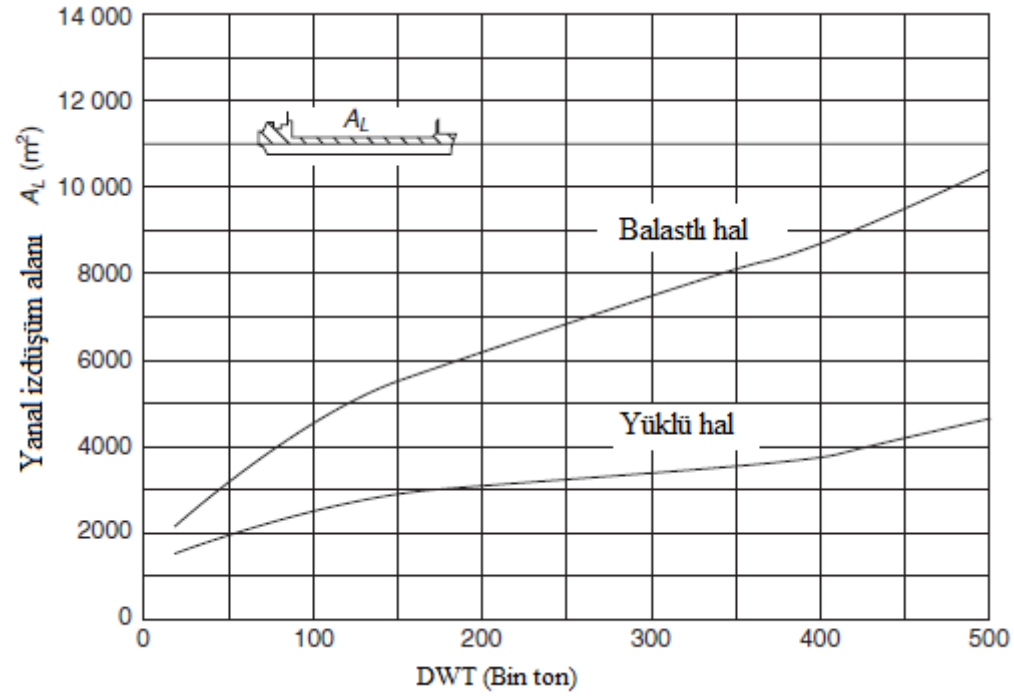
0.47	0.995	0.472	2.97	9.68	9.73	0.031	0.987
0.48	0.995	0.482	3.03	10.3	10.4	0.028	0.988
0.49	0.996	0.492	3.09	11.0	11.0	0.026	0.990
0.50	0.996	0.502	3.15	11.7	11.7	0.023	0.990

Tablo E2. Dalga yüksekliklerinin Rayleigh dağılımına uyan deniz koşulları için karakteristik dalga yükseklik oranları

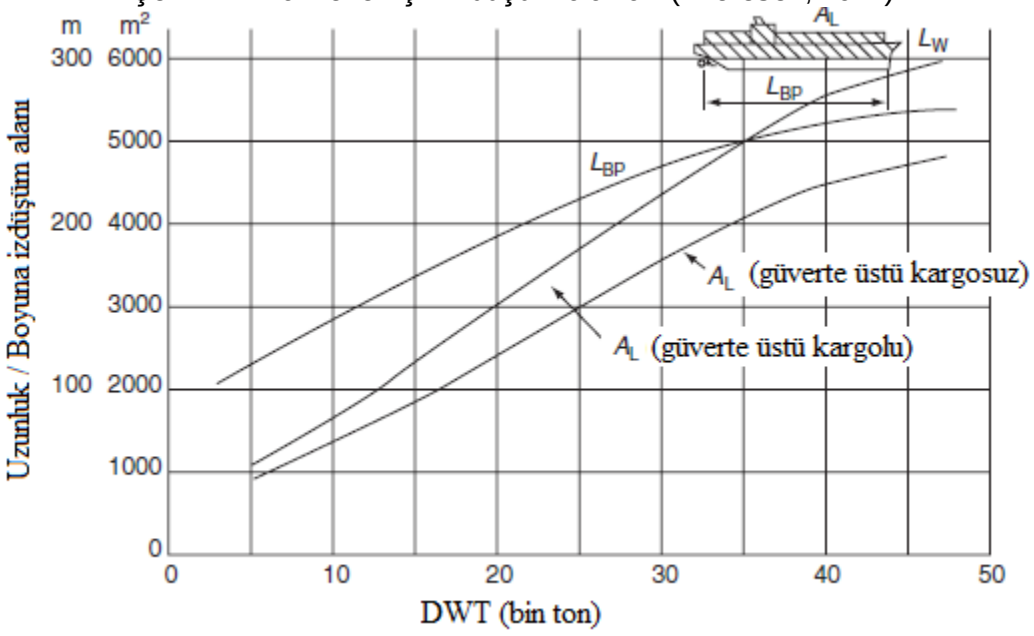
H, Karakteristik dalga yüksekliği	Dalga yükseklik oranları			
	$H/\sqrt{m_0}$	H/H_m	H/H_{rms}	H/H_s
Serbest yüzeyin standart sapması $\sigma_\eta=\sqrt{m_0}$	1	0.399	0.353	0.250
Ortalama dalga yüksekliği H_m	2.507	1	0.886	0.626
rms dalga yüksekliği H_{rms}	2.828	1.128	1	0.706
Belirgin dalga yüksekliği $H_s=H_{1/3}$	4.004	1.597	1.416	1
Dalga yüksekliği $H_{1/10}$	5.090	2.031	1.800	1.273
Dalga yüksekliği $H_{1/100}$	6.673	2.662	2.359	1.668
Dalga yüksekliği $H_{\%2}$	5.594	2.232	1.978	1.397



Şekil E 1. Bir gemi için rüzgarın etkili olduğu izdüşüm alanı (Thoresen, 2014)



Şekil E 2. Tankerler için izdüşüm alanları (Thoresen, 2014)



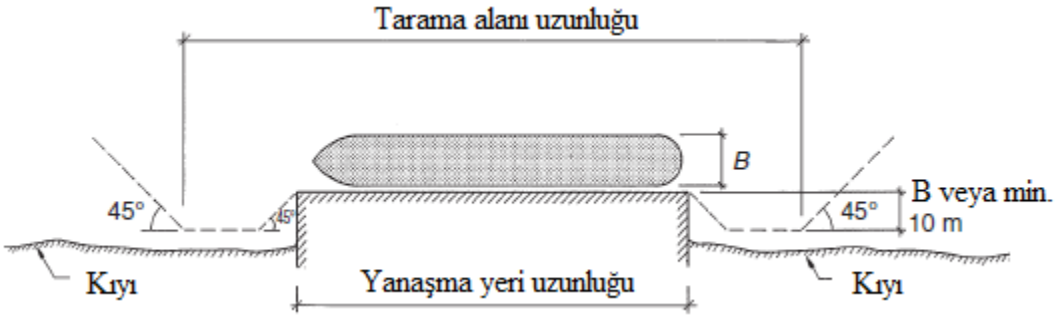
Şekil E 3. Konteyner gemileri için zunluk ve izdüşüm alanları (Thoresen, 2014)

Tablo E3. 1 m su derinliğinde koheziv olmayan taban malzemesi için U_1, kritik derinliğe göre ortalama akım hızları (CIRIA, 2012).

Malzeme	Elek çapı; D(mm)	d=1 m için kritik hız; U_1(m/s)
Çok kaba çakıl	200-150 150-100	3.9-3.3 3.3-2.7
Kaba çakıl	100-75 75-50 50-25 25-15 15-10 10-5	2.7-2.4 2.4-1.9 1.9-1.4 1.4-1.2 1.2-1.0 1.0-0.8
Çakıl	5-2	0.8-0.6
Kaba kum	2-0.5	0.6-0.4
İnce kum	0.5-0.1	0.4-0.25
Çok ince kum	0.1-0.02	0.25-0.20
Silt	0.02-0.002	0.20-0.15

Tablo E4. D=0.3-3 m derinlik aralığı için d=1.0m su derinliği değerlerinden yapılan K_1 düzeltme katsayıları (CIRIA, 2012).

Derinlik d (m)	0.3	0.6	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
K_1 (m)	0.8	0.9	1.0	1.1	1.15	1.20	1.25



Şekil E 4 Yanaşma yeri etrafında tarama alanı

Tablo E5. Operasyon kriterlerine karşılık rüzgar hızları (ASCE, 2004)

Beaufort	Rüzgar Adı	Rüzgar hızı (knots)	Rüzgar Hızı	
			Gemi	Ekipmanlar
0	Sakin	0.-1.0		
1	Gayet Sakin	1-3		
2	Hafif	4-6		
3	Latif	7-10		
4	Mutedil	11-16		
5	Frişka	17-21		
6	Kuvvetli	22-27	Bağlanma limiti	Vinçlerin operasyonu durur
7	Mutedil fırtına	28-33	Römorkör limiti	Yükleme kolları ayrılır
8	Fırtına	34-40	Feribot operasyonunun durması	
9	Kuvvetli fırtına	41-47	Güvenlik bağlanması	
10	Büyük fırtına	48-55	Büyük gemiler açığa çıkar	Ekipmanlar koruma altına alınır
11	Bora	56-63		
12	Kasırga	64-71		

Tablo E6 (a) Demirleme alanında operasyon için rüzgar ve akıntı hızlarının sınır değerleri (PIANC, 2014)

Operasyon	$V_{W,1\ min}$ (m/s)	$V_{F,1\ min}$ (m/s)	H_s (m)
Demirleme alanında yaklaşım ve bağlama manevraları	17	2	2.5
• Baştan tek demirleme	24	2	3.5
• Baştan kıçtan çift demirleme	30	2	4.5
• Boyuna kuvvetler	24	2	3.5
• Enine kuvvetler	Demirleme operasyonel değil		
Elleçleme operasyonu	Elleçleme ekipmanlarına bağımlı		

Tablo E6 (b) Bağlanma alanında ve şamandıra sistemleri için operasyonel rüzgar ve akıntı hızlarının sınır değerleri (PIANC, 2014)

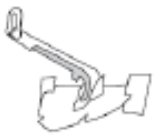
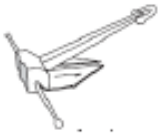
Operasyon	Serbest oryantasyon ile bağlanma alanı			Sabit oryantasyonla bağlanma alanı[2,3]
	Tek şamandıraya bağlanma	Mini tek şamandıraya bağlanma[1]	Tek dolfen'e bağlanma	
Yaklaşım ve bağlanma				
$V_{W,1\ min}$ (m/s)	17	17	17	10
$V_{F,1\ min}$ (m/s)	2.0	2.0	2.0	0.50
H_s (m)	2.5	2.0	2.5	2.0
Bağlı gemi				
$V_{W,1\ min}$ (m/s)	30	24	30	30, 22
$V_{F,1\ min}$ (m/s)	2.0	2.0	2.0	2.0, 1.0
H_s (m)	4.5	2.0	3.5	3.0, 2.0

1. Mini ya da küçük şamandıralara bağlanma genellikle balıkçı ve yatlar için yapılır.
2. Sabit oryantasyon ile bağlanma genellikle şamandıra sistemleri içindir.
3. Bu kolondaki ilk değer boyuna kuvvet ikinci değer enine olarak gemiye tesir eden kuvvetler içindir.

Tablo E6 (c) Manevra alanında operasyonel rüzgar ve akıntı için sınır değerler (PIANC 2014)

Römorkör desteği yok	
$V_{W,1\ min}$ (m/s)	$\leq$ 10 (20 knots)
$V_{F,1\ min}$ (m/s)	$\leq$ 0.50 (1 knot)
H_s (m)	$\leq$ 2.0 / 3.0 (manevra tipine bağlı)
Römorkör desteği var	
$V_{W,1\ min}$ (m/s)	$\leq$ 10 (20 knots)
$V_{F,1\ min}$ (m/s)	$\leq$ 0.10 (1 knot)
H_s (m)	$\leq$ 1.5 / 2.0 (manevra tipine bağlı)

Tablo E 7 (a) Sürüklenerek gömülen çapalar (SGÇ) (Türk Loydu, 2009)

Tip	Efektiflik Katsayısı				
1. Tip	33-55	TLC – 1	TLC – 3	FFTS	
2. Tip	17-25	TLC – 23	TLC – 24	 TLC – 22	
3. Tip	14-26	TLC – 5	TLC – 18	TLC – 20	TLC – 6
4. Tip	8-15	 TLC – 7	TLC – 8	TLC -9 TLC -10 TLC -14	TLC – 16
5. Tip	8-11	TLC – 11	Stokes	TLC – 17	Weldhold
6. Tip	4-6	TLC – 12	TLC – 13	Union	Spek
7. Tip	<6	Tek Tırnaklı Çipo	Çipo	Tarama Çiposu	Demirleme Çapası

Tablo E 7 (b) Çapa tipleri (Türk Loydu, 2009)

Terminoloji		
	Türkçe	**English**
TLC – 1	Stevpris	Stevpris
TLC – 2	Yeni Jenerasyon Stevpris	New Generation stevpris
TLC – 3	Stevshark	Stevshark
TLC – 4	Stevmanta	Stevmanta
TLC – 5	Stevin	Stevin
TLC – 6	Flipper Delta	Flipper Delta
TLC – 7	Danfort	Danfort
TLC – 8	LWT	LWT (US Navy Lightweight Type)
TLC – 9	Moorfast	Moorfast
TLC – 10	Stato	Stato
TLC – 11	AC 14	AC 14
TLC – 12	ABD Donanması Çiposuz	US Navy Stockless
TLC – 13	Baldt Çiposuz	Baldt Stockless
TLC – 14	Offdril 2	Offdril 2
TLC – 15	GS Tipi	GS Type
TLC – 16	Boss	Boss
TLC – 17	Snug Stowing	Snug Stowing
TLC – 18	Stevfix	Stevfix
TLC – 19	Stevfix + Çamur Adaptörü	Stevfix + Mud Adoptor
TLC – 20	Stevmud	Stevmud
TLC – 21	Stevdig	Stevdig
TLC – 22	Hook	Hook
TLC – 23	Mark 2	Mark 2 (Bruce SS)
TLC – 24	TS Tipi	TS Type (Bruce TS)

Tablo E 7 (c) Çapa tutunma kapasiteleri (Türk Loydu, 2009)

Çapa Tipi (1)	Yumuşak Zemin *(Yumuşak kil ve balçak)*		Sert Zemin *(Kum ve balçık kil)*	
	H_r [kN]	a	H_r [kN]	a
TLC – 16	934	0.94	1201	0.94
TLC – 23 Cast	142	0.92	1112	0.8
TLC – 25 Düz tırnaklı ikiz gövde	1112	0.92	(2)	(2)
TLC – 24 İkiz gövde	841	0.92	934	0.94
TLC – 7	387	0.92	560	0.8
TLC – 6	618	0.92	(2)	(2)
TLC – 11	387	0.92	560	0.8
TLC – 22	841	0.92	445	0.8
TLC – 8	387	0.92	560	0.8
TLC – 9	520	0.92(8)	267 445 (3)	0.8 0.8
TLC – 12	934	0.94	1201	0.94
TLC – 14	520	0.92(8)	267 445 (3)	0.8 0.8
TLC – 10	934	0.94	1112 (4) 845 (5)	0.94 0.94
TLC – 21	618	0.92	1290	0.8
TLC - 18	841	0.92	1290	0.8
TLC – 5	618	0.92	734	0.8
TLC – 20	1112	0.92	(6)	(6)
TLC – 1 Düz gövde	841	0.92	934	0.94
TLC – 13 Sabit tırnak	205	0.92	311 196 (7)	0.8 0.8
TLC - 13 Hareketli tırnak	107	0.92	311 196 (7)	0.8 0.8

(1) *Sert zeminde üretici şartnamesine göre, yumuşak zeminde 50° 'lik tırnak açısı için, diğer notlar hariç*

(2) *Veri yok*

(3) *Tırnak açısı 28°*

(4) *Tırnak açısı 30°*

(5) *Yoğun kum şartlarında*

(6) *Çapa zemin şartları için uygun değil.*

(7) *Tırnak açısı 48°*

(8) *Tırnak açısı 20°*

a: üstel sabit

Tablo E 8 Yatların rüzgar etkisindeki alanları (Avustralya Yat Limanları Tasarım Standartı, 2001)

Tekne uzunluğu (m)	Motor yat		Yat	
	Alan (m^2)		Alan (m^2)	
	Baş	Gövde	Baş	Gövde
8	5	16	4	11
10	7	22	5	15
12	11	29	6	20
15	18	45	9	28
18	22	64	11	40
20	24	76	12	44
25	30	95	15	60
30	45	120	35	92
35	54	167	36	122
40	78	213	40	182
45	85	264	50	210
50	90	285	60	249

Birim Çevirme

Deniz Birimleri

1 deniz mili=1.151 kara mili=6,076.1 ft=1,852 m
1 knot= 1 deniz mili/saat=1.151 m/saat=1.688 ft/s= 0.515 m/s
1 fathom= 6.0 ft (su derinliği)
1 long ton= 2,240 lb= 1.12 short ton= 1.016 metrik ton

SI (metrik)

1 ft= 0.3048 m
1 ft^3= 0.0283 m^3
1 lbF= 4.448 N
1 lb/ft^3= 16.0185 kg/m^3(kg/cm)(1 kg=9.80665N)
1 ft-kip (moment veya enerji)= 1.356 kN-m
1 kip/ft= 14.59 kN7m
1 kip/ft^2= 47.88 kN/m^2
1 kip/in^2 (gerilme veya basınç)=6.897 Mpa
1 ton-meter= 9.807 kN-m