

**ULAŖTIRMA BAKANLIĞI DEMİRYOLLARI, LİMANLAR VE
HAVAMEYDANLARI İNŖAATI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
KIYI YAPILARI, DEMİRYOLLARI VE HAVAMEYDANLARI İNŖAATLARI
DEPREM TEKNİK YÖNETMELİĞİ İÇİN**

DEPREM TEHLİKESİ BELİRLEMESİ

Mustafa Erdik, Karin ŖeŖetyan, Mine B. Demircioğlu, Eser Durukal

*Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı
Boğaziçi Üniversitesi
Kandilli Rasathanesi ve Deprem AraŖtırma Enstitüsü*

İstanbul, Mayıs 2006

İÇİNDEKİLER

1. Giriş.....	5
2. Neo-Tektonik Veriler	7
3. Sismolojik Veriler	14
4. Deprem Tehlikesinin Probabilistik Yaklaşımla Belirlenmesi.....	18
4.1. Deprem Oluşumu Modelleri	18
4.2. Kaynak Bölgelendirmesi.....	19
4.3. Deprem Yinelenme İlişkileri (Deprem oluşum frekansları)	20
4.4. Azalım İlişkileri	26
4.5. Kullanılan Yazılım	26
4.6. Fiziksel Belirsizlikler	27
5. Sonuçlar.....	28
6. Davranış Spektrumunun Belirlenmesi	38
6.2.1 Genel Yöntem	39
Kaynaklar	45

ŞEKİLLER

Şekil 1. Doğu Anadolu bölgesindeki fayların konumu	8
Şekil 2. Orta Anadolu bölgesindeki fayların konumu	9
Şekil 3. Isparta ve civarındaki fayların konumu	10
Şekil 4. Batı Anadolu bölgesindeki fayların konumu	11
Şekil 5. Bölgedeki aktif fayların dağılımı (A. Barka)	12
Şekil 6. Türkiye diri fay haritası (Şaroğlu ve diğerleri, 1992)	13
Şekil 7. 1960 'dan sonra meydana gelen aletsel büyüklüğü Mw 5'in üstünde olan depremler.	15
Şekil 8. 1980'dan sonra meydana gelen aletsel büyüklüğü Mw 4'ün üstünde olan depremler.	16
Şekil 9. Aletsel büyüklüğü Mw 6'nın üstünde olan depremler	17
Şekil 10. Bu çalışmada kullanılan kaynak modeli	22
Şekil 11. NEHRP B/C sınırı zemin koşuluna göre 50 yılda %2 aşılma olasılığına karşılık gelen en büyük yer ivmesi (PGA, birim" g").	29
Şekil 12. NEHRP B/C sınırı zemin koşuluna göre 50 yılda %10 aşılma olasılığına karşılık gelen en büyük yer ivmesi (PGA, birim" g").	30
Şekil 13. NEHRP B/C sınırı zemin koşuluna göre 50 yılda %50 aşılma olasılığına karşılık gelen en büyük yer ivmesi (PGA, birim" g").	31
Şekil 14. NEHRP B/C sınırı zemin koşuluna göre 50 yılda %2 aşılma olasılığına karşılık gelen T=1.0 sn'deki Spektral İvme (S1, birim" g").	32
Şekil 15. NEHRP B/C sınırı zemin koşuluna göre 50 yılda %10 aşılma olasılığına karşılık gelen T=1.0 sn'deki Spektral İvme (S1, birim" g").	33
Şekil 16. NEHRP B/C sınırı zemin koşuluna göre 50 yılda %50 aşılma olasılığına karşılık gelen T=1.0 sn'deki Spektral İvme (S1, birim" g").	34
Şekil 17. NEHRP B/C sınırı zemin koşuluna göre 50 yılda %2 aşılma olasılığına karşılık gelen T=0.2 sn'deki Spektral İvmeler (Ss, birim" g").	35
Şekil 18. NEHRP B/C sınırı zemin koşuluna göre 50 yılda %10 aşılma olasılığına karşılık gelen T=0.2 sn'deki Spektral İvme (Ss, birim" g").	36
Şekil 19. NEHRP B/C sınırı zemin koşuluna göre 50 yılda %50 aşılma olasılığına karşılık gelen T=0.2 sn'deki Spektral İvme (Ss, birim" g").	37
Şekil 20. Davranış Spektrumu standart şekli (NEHRP, 2003)	41

TABLÖLAR

Tablo 1. Kaynak bölgeleri ile ilgili bilgiler.....	23
Tablo 2. Kısa periyot zemin katsayısı F_a	39
Tablo 3. 1.0 sn. periyodu zemin katsayısı F_v ,	40
Tablo 4. NEHRP 2003 hükümlerindeki zemin sınıfları.....	43

1. Giriş

Bu çalışma, Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar ve Havameydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü tarafından kullanılmak üzere kıyı yapıları, demiryolları ve havameydanları inşaatları deprem teknik yönetmeliği kapsamında kullanılacak olan Türkiye deprem tehlike haritasının güncel bilgiler ışığında hazırlanmasını amaçlamaktadır.

Deprem tehlikesi, hasar ve can kaybı yaratabilecek büyüklükte bir depremden kaynaklanan yer hareketinin belli bir yerde ve belli bir zaman periyodu içerisinde belirlenmesi olarak tanımlanır ve deprem nedeni ile hasar, mal ve can kaybı ihtimali olarak tanımlanan, deprem riski kavramının önemli bir ögesi oluşturur. Gelecek depremlerin konumu, oluş zamanı, büyüklüğü ve diğer özellikleri belirsizlik arzettiği için deprem tehlikesi tayinlerinde olasılık hesaplarına dayalı tahminler önemli karar araçlarıdır.

Deprem tehlikesi analizlerinin temel sonucu, belirlenmiş bir bölge için mevcut jeoloji ve depremsellik bilgilerine dayalı olarak, verilen bir dönüş periyodu (veya aşılma olasılığı) için hesaplanan maksimum yer hareketi parametrelerine (maksimum ivme, spektral ivme, şiddet gibi) tekabül eden münhanilerdir. Deterministik yöntemlere nazaran, probabilistik (ihtimal hesaplarına dayalı) deprem tehlikesi analizleri jeolojik, jeofizik, sismolojik ve tarihsel verilerin daha uyumlu ve akılcı bir şekilde göz önüne alınmasını sağlar. Genelde, ihtimal hesaplarına dayalı deprem tehlikesi belirlemelerinde kullanılan kuramsal modeller: (1) jeolojik ve sismolojik verilerden hareketle potansiyel deprem kaynaklarının tanımlanması, (2) deprem büyüklükleri için ihtimal dağılımının tayini, (3) stokastik işlem modellemesi ve (4) yer hareketi azalım ilişkilerinin belirlenmesi aşamalarını ihtiva eder.

Ülkemizde ilk resmi deprem tehlikesi bölgeleme haritası, 1940 tarihli birinci deprem şartnamesini takiben 1945 yılında hazırlanmış ve küçük değişikliklerle 1947 yılında ikinci deprem şartnamesi ile beraber yayınlanmıştır. Harita ülkemizde meydana gelmiş tarihi depremlerde hasar görmüş yöreleri iki tehlike bölgesi olarak ayırmaktadır. Deprem hasarı beklenmeyen yöreler üçüncü bir bölge olarak nitelendirilmiştir. 1963 yılında yayınlanan ikinci resmi deprem tehlikesi bölgeleme haritasında dört tehlike bölgesi belirlenmiştir. Bu bölgeler sırasıyla VIII ve daha büyük, VII, VI ve V MSK (Medvedev-Sponeuer-Karnik) deprem şiddeti değerlerine karşı gelmektedir. Daha sonraki tarihlerde, tehlikesiz olarak belirlenmiş bölgelerde meydana gelen depremler ve Avrupa Sismoloji Komisyonu'nun 1968 yılındaki tavsiyeleri üzerine üçüncü resmi deprem tehlikesi bölgeleme haritası hazırlanmış ve 1972 yılında yayınlanmıştır. Bu haritadaki deprem tehlike bölgelerinin belirlenmesinde geçmişte maruz kalınmış maksimum deprem şiddetleri esas kabul edilmiş, ancak, sismo-tektonik yapı ve bu şiddetlerle ilgili yinelenme süreleri itibari olarak göz önüne alınmıştır. Harita sırasıyla IX ve daha büyük, VIII, VII, VI ve V şiddetlerine tekabül eden beş tehlike bölgesini kapsamaktadır. Bu tip deterministik deprem tehlikesi haritalarının depremlerin oluşum frekansları (veya dönüş periyotları) ile ilgili bilgileri sağlayamamalarının doğurduğu eksiklikler diğer ülkelerde olduğu gibi 1970'li yıllardan itibaren ülkemizde de hissedilmiş ve bu konuda çalışmalar yapılmıştır. Çok sayıda yerel kapsamlı çalışmaların yanında Hattori (1979) ve Burton ve diğerleri (1984) sadece deprem istatistiklerine dayalı yaklaşımlarla Türkiye'deki deprem tehlikesini probabilistik açıdan belirlenmesi yolunda faaliyet göstermişlerdir. Depremsellik ve neo-tektonik yapının rasyonel bir metodoloji kapsamında beraberce değerlendirildiği genel kapsamlı probabilistik deprem tehlikesi çalışmaları ise Yazar ve diğerleri (1980), Erdik ve Öner (1982), Erdik ve diğerleri (1982, 1985) ve Gülkan ve diğerleri (1993) tarafından gerçekleştirilmiştir.

1998 yılında yürürlüğe konmuş bulunan ve halen geçerli deprem tehlikesi bölgeleme haritası Gülkan ve diğ. (1993) tarafından hazırlanmış probabilistik tehlike haritasını baz alarak 5 adet deprem tehlike bölgesi tanımlamaktadır. Mevcut deprem şartnamesi kapsamında önerilmiş bulunan tasarım ivme spektrumu a-priori olarak dört tehlike bölgesine tekabül eden 0.1g, 0.2g, 0.3g ve 0.4g düzeylerinde dört etkin enbüyük ivme katsayısı ile ölçeklendirilmekte ve ilgili deprem tehlikesi bölgelendirme haritasından bu katsayıları içeren coğrafi bölgeleri sağlamasını beklemektedir.

Boğaziçi Üniversitesi-Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, Türkiye ve civarının deprem tehlikesi belirlenmesinde önemli projelerde yer almıştır. Birleşmiş Milletler Uluslararası Deprem Zararlarının Azaltılması On-Yılı (IDNDR) etkinlikleri (GSHAP - <http://seismo.ethz.ch/GSHAP/>) Global Deprem Tehlikesi Belirlemesi programı kapsamında ve Avrupa Birliği – Akdeniz Bölgesi Deprem Tehlikesi Belirlemesi Projesi (SESAME – <http://wija.ija.csic.es/gt/earthquakes/MapaESC.htm>) kapsamında çalışmalar yapılmış ve enbüyük ivme (PGA) bazlı probabilistik deprem tehlikesi belirlemeleri Poisson modeline dayalı 50 yılda %10 aşılma olasılığı için uluslararası standartlarla uyumlu ve komşu ülkelerle uyum sağlayacak şekilde belirlenmiştir (Erdik ve diğ., 1999 ve Jimenez ve diğ., 2001). Dünya Bankası destekli TEFER projesi kapsamında (TEFER, 2000; Bommer, 2002) Türkiye Zorunlu Deprem Sigortası uygulamaları için SESAME projesi deprem kaynak bölgelemesi kullanılarak 50 yılda %10 aşılma olasılığına karşılık gelen PGA ve 0.2s ve 1s periyotlarındaki spektral ivme, SA(0.2s) ve SA(1s), haritaları üretilmiştir. Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar ve Havameydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü tarafından kullanılmak üzere kıyı yapıları, demiryolları ve havameydanları inşaatları deprem teknik yönetmeliği kapsamında kullanılacak olan Türkiye deprem tehlikesi haritalarının çok kısa bir sürede hazırlanmasında bu bilgi ve tecrübe birikiminden istifade edilmiştir.

Çalışmada göz önüne alınan temel araştırma adımları şunlardır:

1. Jeolojik ve sismolojik verilerin derlenmesi,
2. Bu verilerden hareketle sismik kaynakların belirlenmesi (deprem kaynak bölgelemesi),
3. Deprem kaynaklarındaki deprem oluşumlarının istatistiksel özelliklerinin ve depremsellik parametrelerinin belirlenmesi,
4. Deprem kaynakları için uygun olabilecek azalım ilişkilerinin belirsizlik katsayıları ile beraber çıkartılması ve/veya derlenmesi,
5. Bilgisayar programlarına dayalı olarak maksimum şiddet ve maksimum yatay yer ivmesi aşılma olasılığı dağılımlarının elde edilmesi,
6. Belirlenmiş dönüş periyotlarına tekabül eden eş-ivme eğrileri haritalarının hazırlanması.

Bu çalışma kapsamında probabilistik deprem tehlikesi haritaları 50 yılda %50, %10 ve %2 aşılma olasılıklarına tekabül eden enbüyük yatay yer ivmesi ve 0.2 sn ve 1.0 sn. periyotlarına karşılık gelen spektral ivme eş-eğrileri cinsinden ve referans zemin mostrası için sunulacaktır. Bu aşılma olasılıkları ve deprem tehlikesi parametreleri bugün için dünya çapında kullanılan değerlerdir. Aynı deprem tehlikesi kavram, parametre ve olasılık değerleri Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından yayınlanmış 2006 tarihli Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik kapsamında da yer almaktadır.

2. Neo-Tektonik Veriler

Deprem tehlikesinin belirlenmesinin en önemli unsurlarından biri deprem kaynak bölgelendirmesidir. Deprem tehlikesi haritalarının hazırlanmasında diri fay haritaları ve bu haritalarda yansıtılan diri fayların deprem etkinlik düzeylerinin belirlenmesi bu haritaların temel veri tabanını oluşturur. Diri fayların segmentasyon modellerinin, yer değiştirme hızlarının, karakteristik deprem tarihçelerinin ve en büyük deprem potansiyellerinin belirlenmesi gerekir.

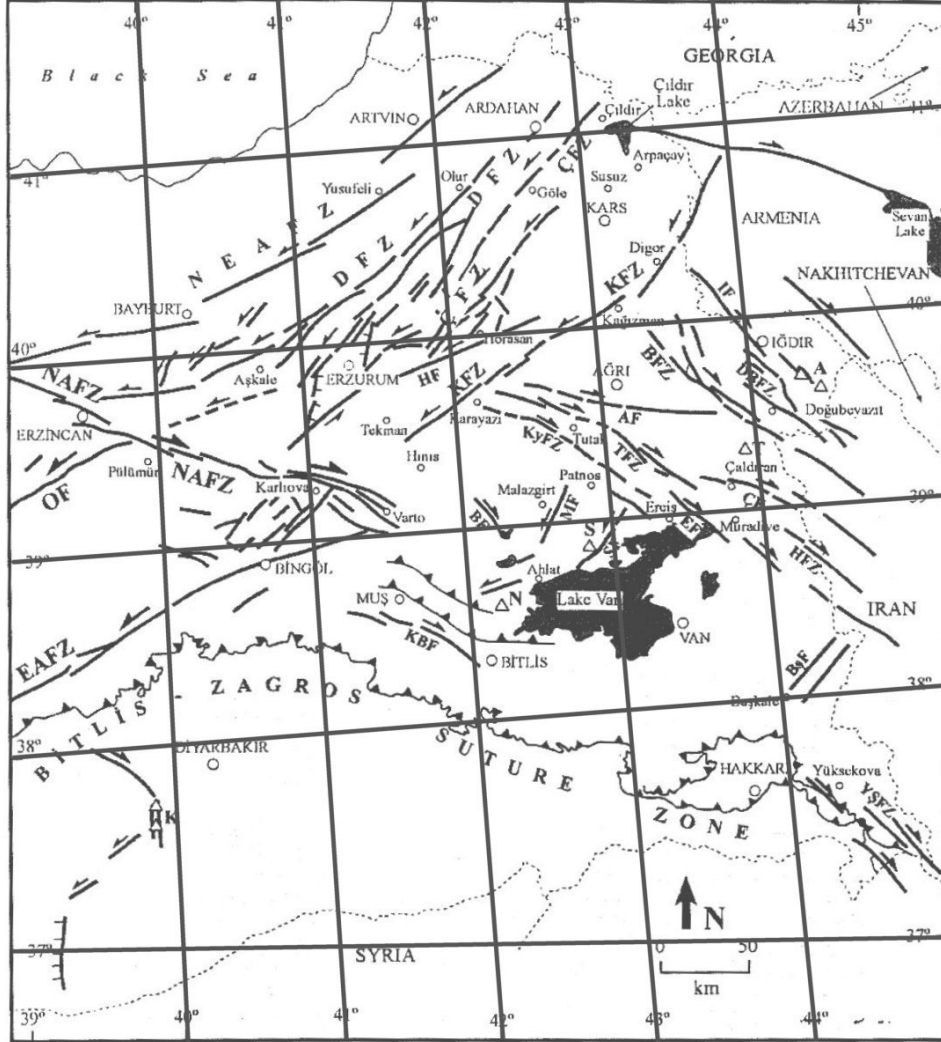
Erdik ve diğerleri (1985) tarafından kullanılan deprem kaynak bölgelendirmesi 14 adet alan tipi kaynağı içermektedir. Kullanılan metodolojiyi Doyuran (1987) ayrıntılı olarak açıklamıştır. Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay zonları tekil, Marmara ve Ege grabenleri ile Kuzey Doğu Anadolu kırık zonu ise global olarak modellendirilmiştir. Karadeniz ve Anadolu mikro-plakası içinde varlığı bilinen bazı faylar ve deprem oluşumları her iki çalışmada da münferit küçük kaynak bölgeleri olarak (örneğin Bartın ve Kırşehir) değerlendirilmiştir. Bu kaynaklar nihai tehlike haritalarında anomaliler halinde açığa çıkmaktadır.

Deprem kaynakları genellikle jeo-tektonik elemanların özellikleri ile, deprem oluşumlarının ve kaynak mekanizmalarının homojenliklerine göre ayrılır. Kaynak bölgelemesi için: genel kabuk yapısı; genel tektonik yapı; bölgesel deformasyon şekil ve hızları, GPS ve diğer jeodezik veriler; bölgesel deformasyonu kontrol eden ana fayların özellikleri; bu faylardaki büyük depremlerle ilgili paleo-sismik veriler ve yinelenme periyotları; ve neo-tektonik elemanların etkinlik ve yetkinliklerine ilişkin bilgiler gerekli olmaktadır. Makro-sismik verilere dayalı sismo-tektonik haritalar ve paleo-sismik veriler fay hatları ile depremler arasındaki ilişkiyi belirleyen en önemli araçtır. Konu ile ilgili güncel bilgi birikimi herhangi bir standart uygulamaya izin vermemekte, aksine değişik akılcı kriterlere dayalı olarak bulunacak alternatif kaynak bölgeledirmelerini teşvik edecek bir özellik sunmaktadır. Nitekim bir çok ülkede yapılan ulusal nitelikli deprem tehlikesi bölgelendirmeleri değişik yaklaşımlar arasında bir uzlaşımı yansıtmaktadır (Basham ve diğerleri, 1995; Muir-Wood, 1993).

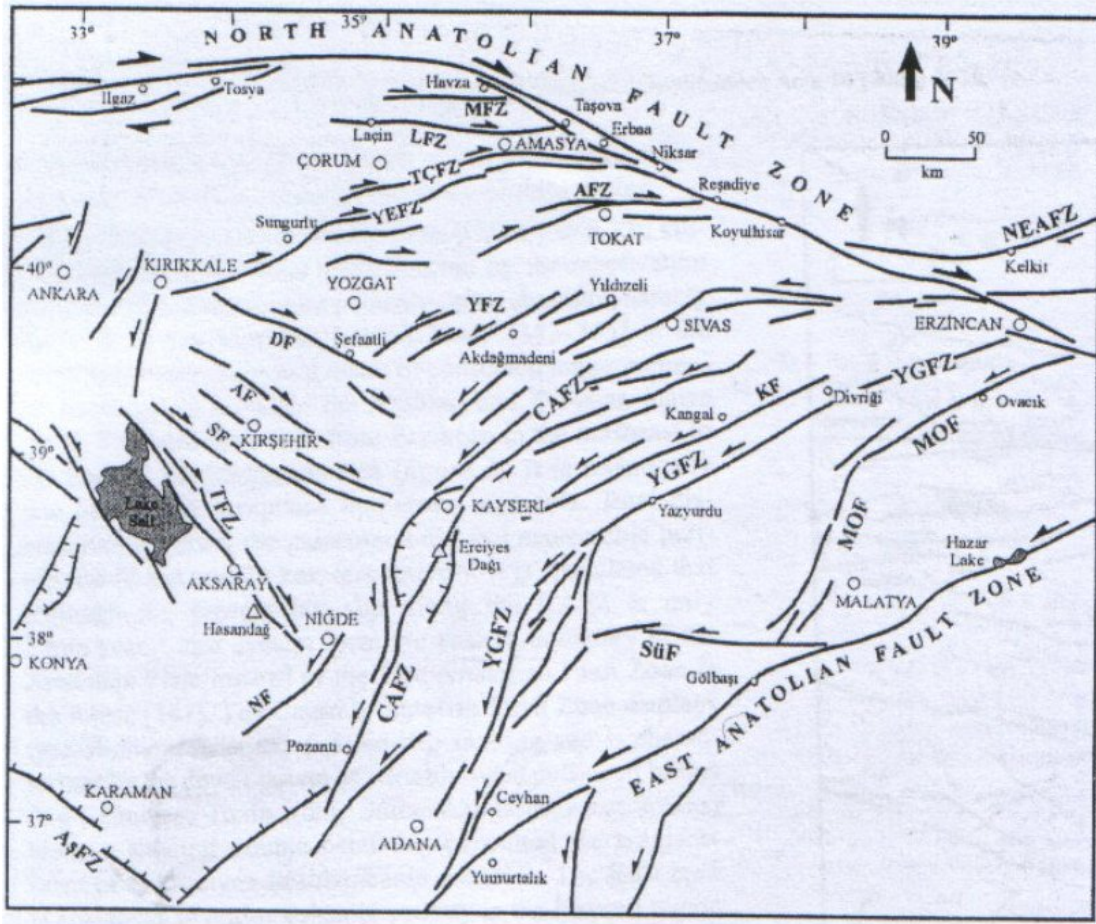
Dünyanın değişik yerlerindeki mikro-plakalar (Anadolu gibi) içinde çok sayıda küçük fayların ve kırık zonlarının yer aldığı bilinmektedir. Bu mikro-plakalar içinde yer alan depremlerin faylarla ilişkisi ancak yırtılma ve diğer makro-sismik verileri sağlayan ender sayıda büyük depremler için mümkün olmaktadır. Çok yoğun olarak incelenmiş yörelerde bile fay hatları ile ilişkisi ancak olaydan sonra kurulabilen büyük depremlerin (1994 Northridge gibi) meydana geldiği görülmektedir. Bu durumda sadece son yüzyılda oluşmuş deprem-fay ilişkileri göz önüne alınarak mikro-plaka içi kaynakların ayrılması gerçekçi olmamaktadır. Mikro-plaka içlerinin belirli bir muhafazakarlıkla bulunacak arka-plan deprenselliğini yansıtacak şekilde global olarak bölgelendirilmesi akılcı bir yaklaşımdır.

Türkiye Neo-tektonik verileri ile ilgili temel kaynak MTA tarafından 1987 yılında hazırlanmış “Türkiye’nin Neotektoniği ve Diri Fayları” çalışması ve 1/ 1.000.000 ölçekli diri fay haritası ve 1992 tarihli ek-çalışmadır. Günümüzdeki bilgi birikimi, MTA tarafından üretilmiş olan 1992 tarihli haritanın çok ilerisindedir. Haritanın yenilenmesi konusunda MTA Genel Müdürlüğünce önemli çalışmaların sürdürüldüğü bilinmektedir.

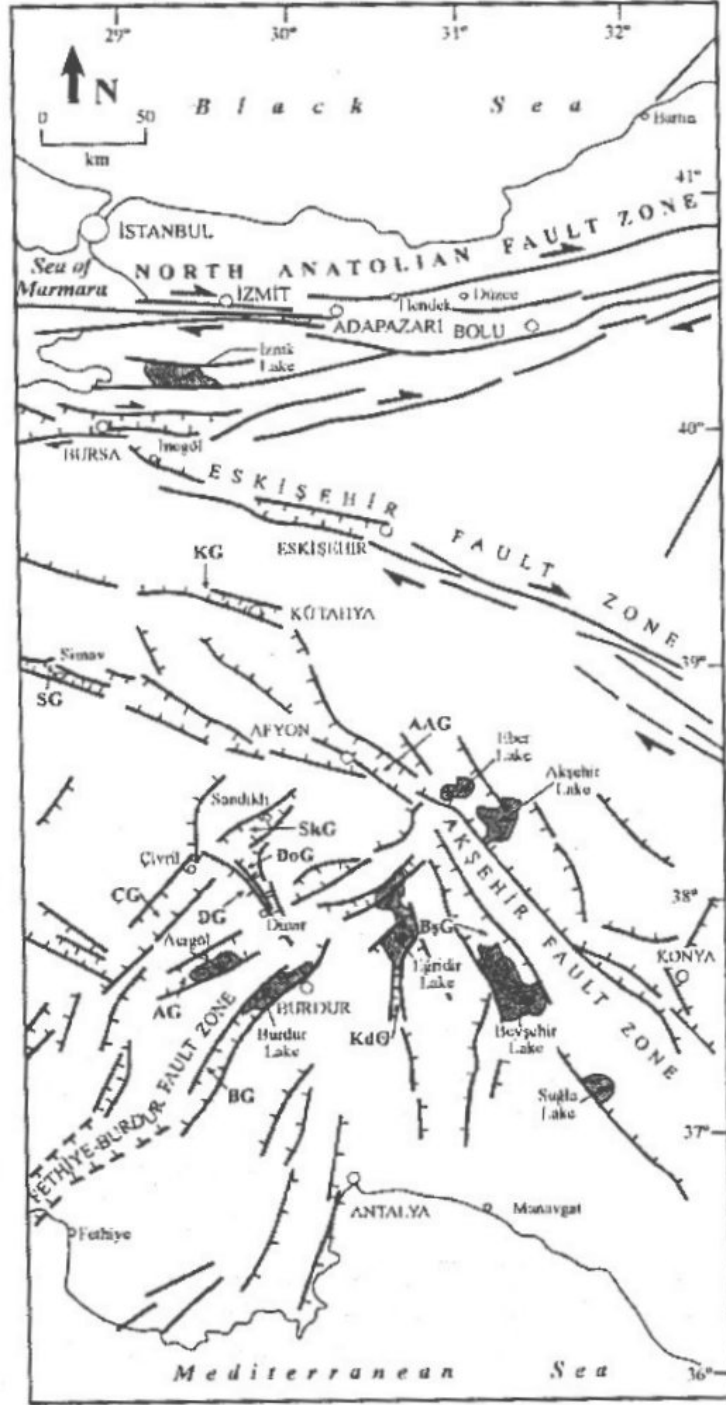
Bu raporda sunulan deprem tehlikesi haritalarına temel oluşturan neo-tektonik veriler yakın zamanda hazırlanmış literatür ve referanslardan elde edilmiştir (TEFER, 2000). Çalışma kapsamında derlenmiş olan tektonik yapılar Şekil 1 ile Şekil 6 arasında gösterilmiştir.



Şekil 1. Doğu Anadolu bölgesindeki fayların konumu
(Bozkurt E.,2001 tarafından çeşitli kaynaklardan derlenmiştir)



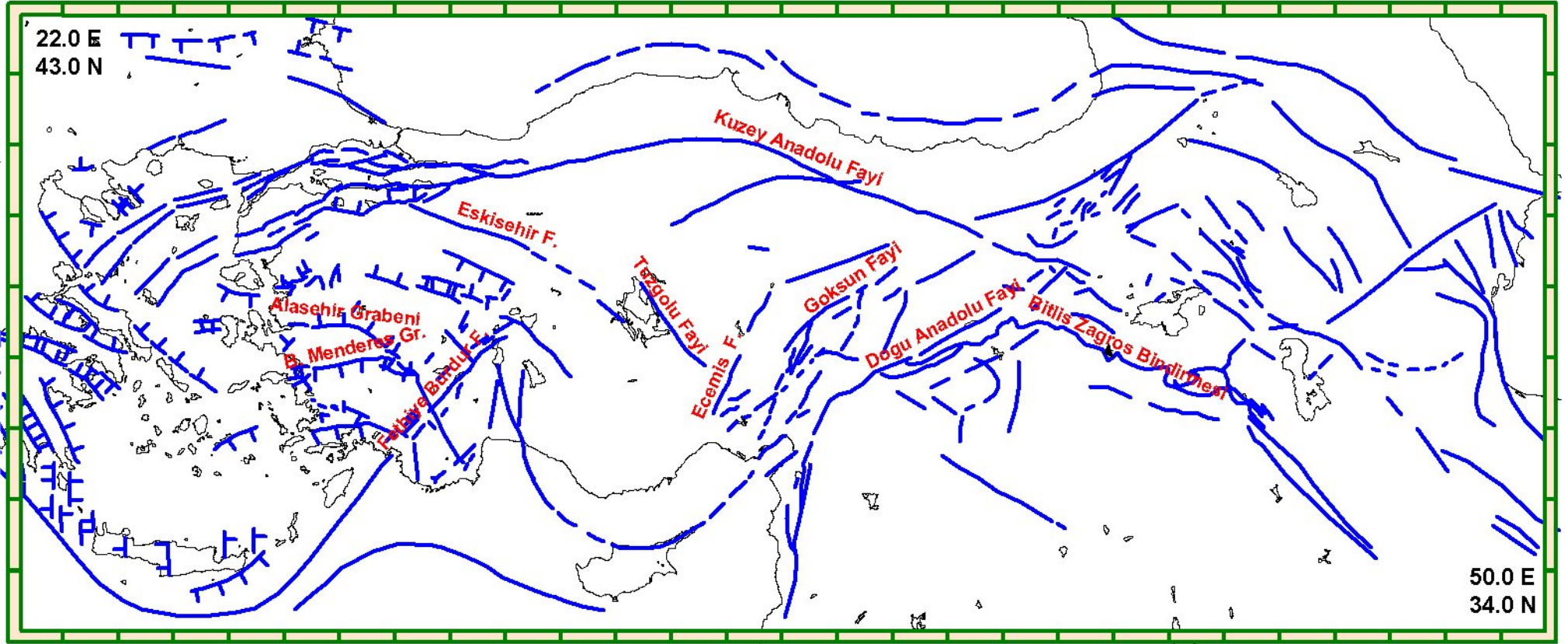
Şekil 2. Orta Anadolu bölgesindeki fayların konumu
(Bozkurt E.,2001 tarafından çeşitli kaynaklardan derlenmiştir)



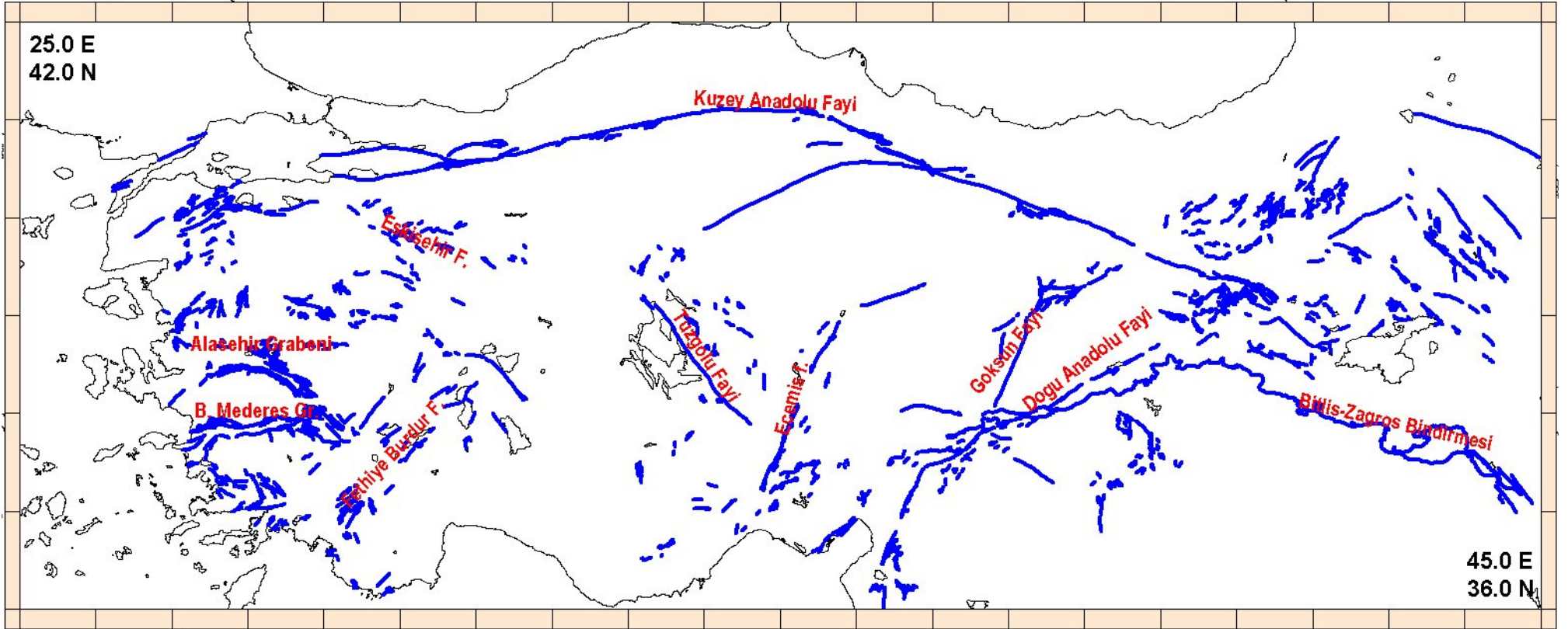
Şekil 3. Isparta ve civarındaki fayların konumu
(Bozkurt E.,2001 tarafından çeşitli kaynaklardan derlenmiştir)



Şekil 4. Batı Anadolu bölgesindeki fayların konumu
(Bozkurt E.,2001 tarafından çeşitli kaynaklardan derlenmiştir)



Şekil 5. Bölgedeki aktif fayların dağılımı (A. Barka)



Şekil 6. Türkiye diri fay haritası (Şaroğlu ve diğerleri, 1992)

3. Sismolojik Veriler

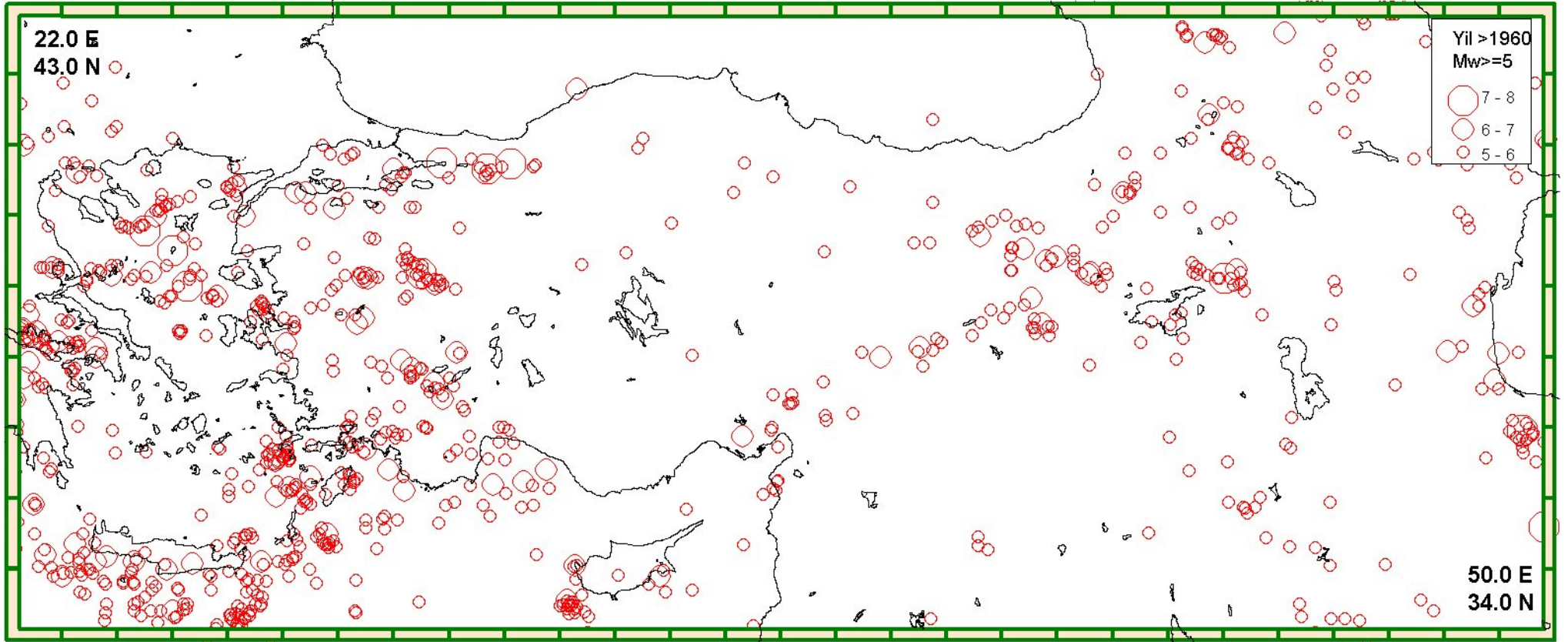
Tarihi, makro-sismik ve aletsel deprem verilerinin değerlendirilmesi deprem tehlikesi belirlemelerinin ana unsurunu oluşturur. Bu veriler deprem kaynak bölgelerinin; frekans-aletsel büyüklük, aletsel büyüklük-yırtılma ve azalım ilişkilerinin; en büyük deprem potansiyelinin; sismik boşluk ve periodisitelerin; ve arka plan sismisitesinin belirlenmesinde önem taşır.

Deprem tehlikesi açısından önem taşıyan makro-sismik merkez ve diğer verilere ait derlemeler Ambraseys (1988), Eyidoğan ve diğerleri (1991) ve Erdik (1996) tarafından yapılmıştır. Özellikle Ambraseys (1988) ve Ambraseys ve Finkel (1995) tarafından yapılan çalışmalar ülkemizde meydana gelmiş tarihi depremlerle ilgili değerli bilgileri sağlamaktadır. Deprem kataloğunun seçiminde çalışmada kullanılacak azalım ilişkisi ve fay yırtılma boyu ilişkisinde kullanılan deprem büyüklüğü tanımı ile katalogda kullanılan tanımın aynı olmasına dikkat edilmiştir.

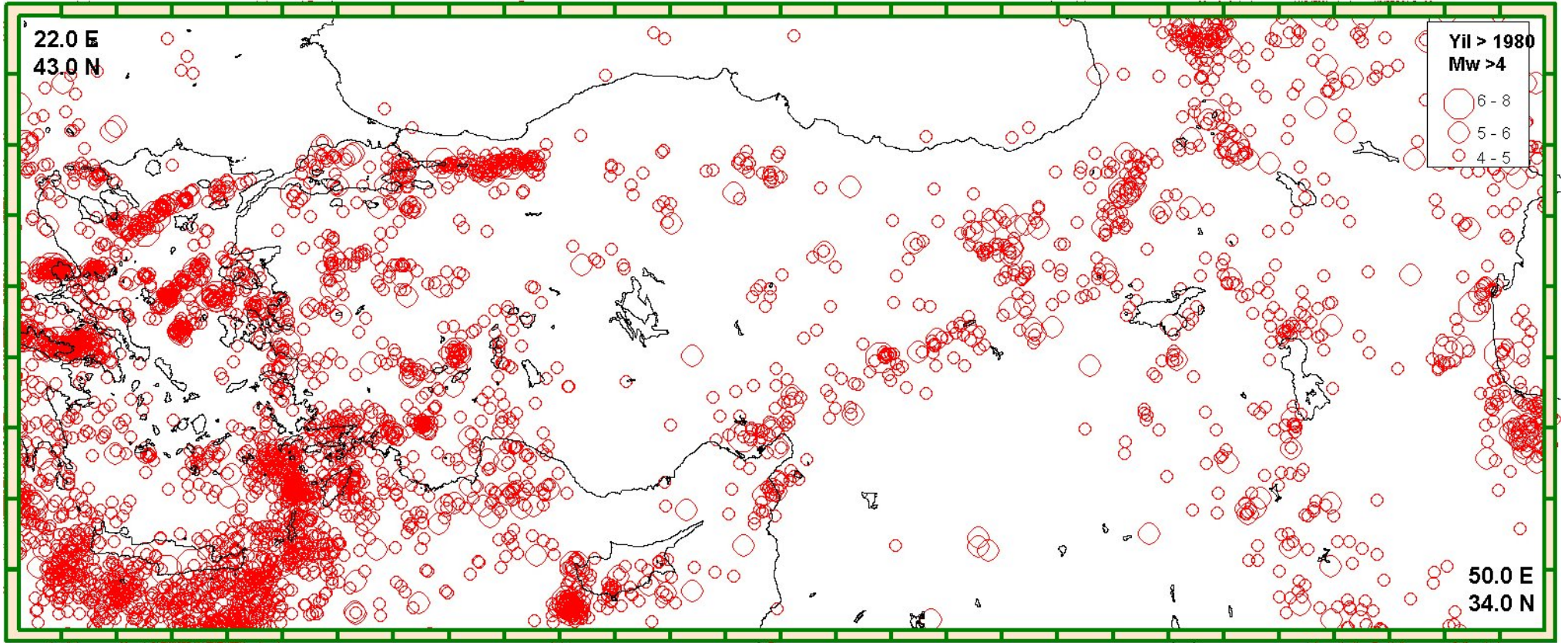
Deprem kataloglarında değişik zaman periyotlarında kapsanan depremler her bir deprem büyüklüğü için homojen değildir. Bu yüzden, bir kaynak bölgesindeki frekans-deprem büyüklüğü bağlantısını belirlemek için küçük depremleri tam olarak içeren kısa süreli yakın bir zaman aralığının ve büyük depremleri tam olarak içeren uzun süreli bir zaman aralığının kullanılması gerekir. Bu hususta, deprem oluşumlarının Poisson sürecine uyduğu kabulüyle, Stepp (1973) tarafından önerilmiş homojenleştirme yaklaşımı kullanılmıştır.

Dünya çapında ISS (International Seismological Summary), BCIS (Bureau Central International Sismologique), NOAA-USGS (National Oceanographic and Atmospheric Administration - US Geologic Survey), USGS-PDE (United States Geological Survey-Preliminary Determination of Epicenters) ve ISC (International Seismological Centre) bülten ve katalogları Türkiye'deki depremleri kapsamaktadır. Türkiye'deki deprem kataloglarının büyük bir çoğunluğu bu kaynaklardan derleme niteliğindedir. Ancak kısıtlı sayıda katalogda ilk referanslara inilmiş, tekrarlanan veriler ayıklanmış, merkezler yeniden değerlendirilmiş, aletsel büyüklükler homojenleştirilmiş ve ulusal kayıt şebekesinden elde edilen bilgiler telif edilmiştir. Bu çalışmada esas olarak Boğaziçi Üniversitesi – Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü - Üllusal Deprem İzleme Merkezi tarafından derlenmiş bilgiler diğer verilerle telif edilerek kullanılmıştır. Ayrıntılı bilgilere TEFER (2000) kapsamında hazırlanmış raporlardan ulaşılabilir.

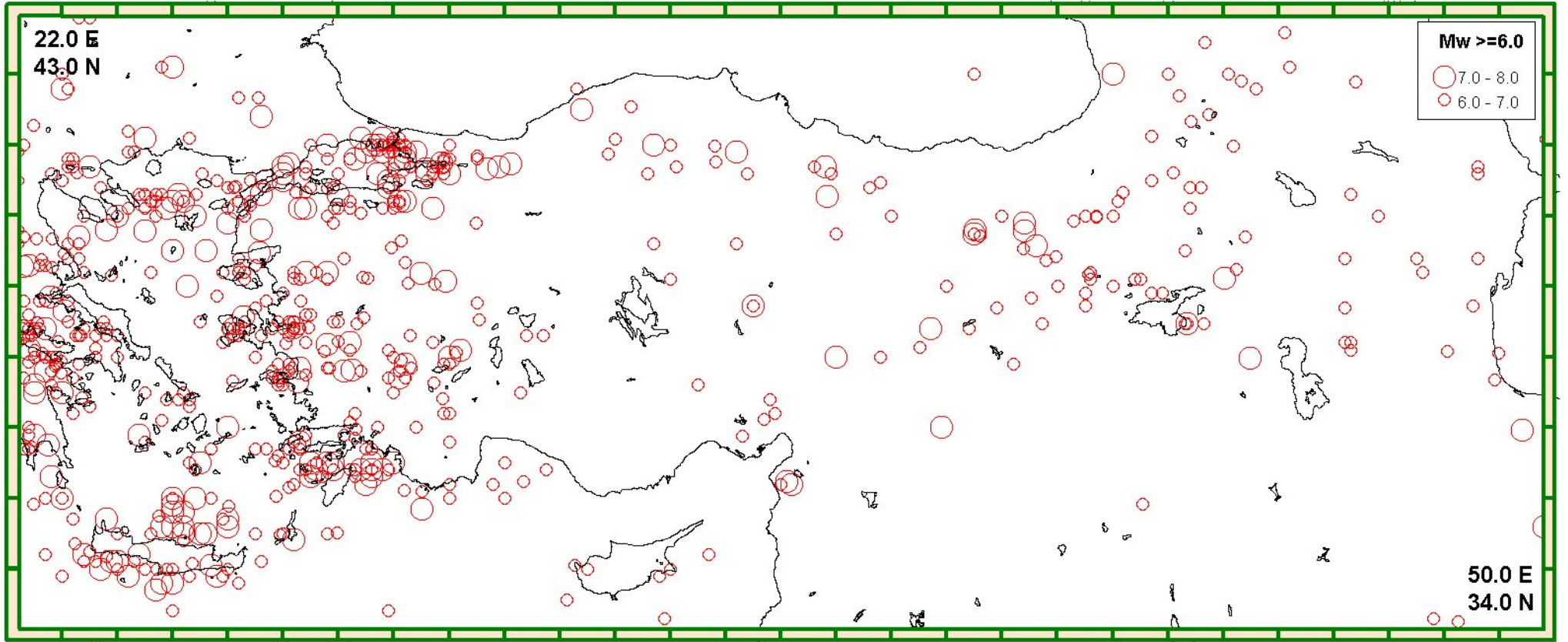
Çalışma kapsamında derlenmiş olan deprensellik verileri Şekil 7'dan Şekil 9'a kadar sunulmaktadır.



Şekil 7. 1960 'dan sonra meydana gelen aletsel büyüklüğü Mw 5'in üstünde olan depremler.



Şekil 8. 1980'dan sonra meydana gelen aletsel büyüklüğü Mw 4'ün üstünde olan depremler.



Şekil 9. Aletsel büyüklüğü Mw 6'nın üstünde olan depremler.

4. Deprem Tehlikesinin Probabilistik Yaklaşımla Belirlenmesi

4.1. Deprem Oluşumu Modelleri

Gelecekteki depremlerin konum, büyüklük ve oluş zamanlarında belirsizlikler mevcuttur. Deprem oluşumlarını modellemede kullanılan stokastik modeller bu belirsizliği yansıtır. Deprem tehlikesi hesaplarında kullanılan deprem oluşum modelleri: probabilistik (hafızalı veya hafızasız), deterministik ve prediktif olmak üzere üç grupta toplanabilir. En yaygın olarak kullanılan probabilistik model basit Poisson modelidir. Bu model deprem oluşumlarının hafızasız olduğunu ve bir kaynak bölgesi içinde depremlerin gerek konum ve gerekse zaman açısından birbirinden bağımsız olarak meydana geldiğini kabul eder. Zaman-bağımsız modellerden birisi de jeolojik bilgilerdeki belirsizliğin ağırlık faktörleri ile değerlendirildiği Bayes modelidir.

Zaman-bağımlı (hafızalı) modeller zaman-tahminli modeller, kayma-tahminli modeller ve semi-Markov modelleridir. Bu hafızalı modellerden en yaygın olarak kullanılanı “karakteristik deprem” modelidir (Youngs ve Coppersmith, 1985). Bu modeller ancak üzerinde çok çalışılmış fay hatları (San Andreas Fayı gibi) ve sadece karakteristik depremlerden kaynaklanacak deprem tehlikesi için geçerli olmakta ve fay segmentasyonu ve yinelenme sürelerinden kaynaklanan belirsizlikler bu modellerin Poisson modelinin yerini almasına müsaade etmemektedir.

Gutenberg-Richter (Richter, 1958) tarafından bulunmuş frekans-deprem büyüklüğü bağıntısı ($\log N(M)=a+bM$) deprem oluşumu modellendirmelerinin temelini teşkil eder. Burada N, verilen bir bölge ve zaman periyodu için, aletsel büyüklüğü M veya daha fazla olan depremlerin sayısını, “a” ve “b” ise regresyon katsayılarını göstermektedir. Regresyon analizi için yaygın olarak en büyük olabilirlik (maximum likelihood) (Weichert, 1980) metodu kullanılmaktadır. Deprem katalogları, kaynak bölgeleri içindeki frekans-büyüklük ilişkilerinin hesaplanmasında kullanılır. Ancak, Poisson modelinin kullanıldığı durumlarda, deprem oluşumları bağımsız kabul edildiği için, deprem kataloglarının artçı şok ve deprem fırtınaları gibi deterministik unsurlardan arındırılması gerekir.

Özellikle San Andreas ve kısmen Kuzey Anadolu Fay Hattında yapılmış paleo-sismik etüdler bu fayların çoğunlukla aletsel büyüklükleri dar bir aralık arasında kalan “karakteristik” depremler ürettiğini ve bu depremlerin yinelenme sürelerinin rassal olmadığını göstermektedir. Schwartz ve Coppersmith (1984) tarafından önerilen karakteristik deprem modeli California, Mexico ve Japonya’da başarı ile uygulanmaktadır. Büyük fay hatlarındaki karakteristik depremlerin aletsel büyüklük ve yırtılma boylarının tayini: fay uzunluğu, uzun vadedeki kayma hızı, en yakın tarihli karakteristik depremdeki atım ve, geçmiş karakteristik depremlerin oluş tarihleri gibi verilere dayanılarak yapılmaktadır. Karakteristik depremler, Gutenberg-Richter frekans-deprem büyüklüğü bağıntısına dayalı olarak (küçük depremlerden extrapolasyonla) bulunandan daha fazla sıklıkta meydana gelmekte ve frekans-büyüklük ilişkilerinin bu noktada yükseltilmesini gerektirmektedir. Konu ile ilgili güncel bilgi düzeyi orta ve küçük aletsel büyüklüğü olan depremler ve büyük kaynak bölgeleri için Poisson modelinin gerçekçi sonuçlar sağladığını, ancak uzun fay hatları üzerinde yer alan büyük depremlerin modellenmesi için semi-Markov ve karakteristik

deprem oluşumu modellerlerinin daha uygun olduğunu göstermektedir. Nitekim, Stein ve Barka (1995) tarafından yapılmış çalışmalar Kuzey Anadolu Fay hattında meydana gelmiş olan her 10 depremden 9 tanesinin bir önceki deprem nedeni ile yırtılmaya hazır duruma geldiğini göstermektedir. Türkiye’de karakteristik deprem oluşumuna dayalı yinelenme (renewal) stokastik modelinin kullanıldığı çalışmalar Marmara bölgesi ile kısıtlı kalmıştır (Atakan ve diğ. 2002; Erdik ve diğ. 2004).

Poisson modeli her durumda diğer modellere nazaran daha emniyetli tarafta (konservatif) deprem tehlikesi sonuçları doğurmaktadır (Jordanovski ve Todorovska, 1995). Kiremidjian (1982) tarafından yapılan bir çalışmada Poisson ve Markov Modelleri karşılaştırılarak "Sık ve orta büyüklükte deprem oluşumlarını içeren bölgelerdeki deprem tehlikesinin tahmini için Poisson modeli yeterlidir. Seyrek fakat çok büyük deprem oluşumlarına haiz bölgelerde ise Poisson modelinin kullanılması kısa vadedeki deprem tehlikesi tahminlerinde gerçekten daha büyük, uzun vadedeki deprem tehlikesi tahminlerinde ise gerçekten daha küçük aşılma olasılıklarına yol açmaktadır" denilmektedir. Konu ile ilgili güncel bilgi düzeyi orta ve küçük aletsel büyüklüğü olan depremler ve büyük kaynak bölgeleri için Poisson modelinin gerçekçi sonuçlar sağladığını, ancak uzun fay hatları üzerinde yer alan büyük depremlerin modellenmesi için semi-Markov ve karakteristik deprem oluşumu modellerlerinin daha uygun olduğunu göstermektedir. Bu nedenle USGS tarafından tüm ABD için geliştirilmiş probabilistik tehlike haritalarında, Avrupa ve Japonya ulusal kapsamlı probabilistik deprem tehlikesi çalışmalarında basit Poisson modeli kullanılmıştır.

Bütün bu hususlar değerlendirilerek, Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar ve Havameydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü tarafından kullanılmak üzere kıyı yapıları, demiryolları ve havameydanları inşaatları deprem teknik yönetmeliği kapsamında kullanılacak olan Türkiye deprem tehlike haritalarının hazırlanmasında deprem oluşumu modellemesinin Poisson modeline dayandırılmasına karar verilmiştir.

4.2. Kaynak Bölgelendirmesi

Bölgesel probabilistik deprem tehlikesinin belirlenmesinde karşılaşılan en önemli meselelerden biri deprem kaynak bölgelendirmesidir.

Bu hususta, makro-sismik verilere dayalı sismo-tektonik haritalar, paleo-sismik verilerin fay hatları ile depremler arasındaki ilişkiyi belirleyen en önemli araçlar kabul edilmiş ve deprem kaynakları tektonik elemanların özellikleri ile, deprem oluşumlarının ve kaynak mekanizmalarının homojenliklerine göre ayrılmıştır. Bu kapsamda: genel kabuk yapısı; genel tektonik yapı; bölgesel deformasyon şekil ve hızları, GPS ve diğer jeodezik veriler; bölgesel deformasyonu kontrol eden ana fayların özellikleri; bu faylardaki büyük depremlerle ilgili paleo-sismik veriler ve yinelenme periyotları; ve neo-tektonik elemanların etkinlik ve yetkinliklerine ilişkin bilgiler kullanılmıştır. Herhangi bir bilinen tektonik yapı ile ilişkilendirilemeyen depremler için arka-plan depremselliğini yansıtacak şekilde global kaynak bölgesi oluşturulmuştur.

Aşağıda listesi sunulan deprem kaynak bölgelerinin belirlenmesinde prensip olarak:

1. Kaynak bölgeleri sismik özellikleri mümkün olduğunca homojen sahalar şeklinde tanımlanmış,

2. Farklı sismik potansiyele sahip kaynak bölgeleri arasındaki sınır, daha aktif olanına yakın bir şekilde belirlenmiş,
3. İstatistiksel olarak yeterli sayıda güvenilir depremlerin bulunduğu bölgelerde, sınırlar, tektonik verilerle desteklenerek, sismik veriler esasına göre belirlenmiş,
4. Yeterli deprem kayıtlarının olmadığı ya da bu kayıtların güvenilirliği konusunda kuşku bulunması durumunda sınırların belirlenmesinde en belirgin tektonik verilere başvurulmuştur.

Bu çalışma kapsamında kullanılan kaynak bölgelemesi esasen 1999 Kocaeli depremi sonrasında yürürlüğe konmasına karar verilen zorunlu deprem sigortası ile ilgili parametrelerin belirlemesi amacıyla TEFER projesi (2000) kapsamında yürütülmüş olan Deprem Tehlikesi Belirlenmesi çalışmasında oluşturulan deprem kaynak bölgelemesine dayanmaktadır. Ancak daha önceki bu bölgelemeye ek olarak aşağıda listesi verilen ana fay kuşakları için çizgisel kaynaklar kullanılmış ve büyüklüğü $M_w > 6.5$ olan depremlerin bu çizgisel kaynakların üzerinde meydana geldiği kabul edilmiştir. Her bir kaynak bölgesinde meydana gelen 6.5 ve daha düşük magnitudlü depremlerin episantrlarının ise fay kuşağı civarında daha geniş bir alana yayılacağı varsayılmıştır. Bu şekilde değerlendirmeye alınan fay kuşakları şunlardır:

1. Kuzey Anadolu Fayı
2. Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara bölgesi içindeki kuzey ve güney kolları
3. Ezinepazarı Fayı
4. Doğu Anadolu Fayı
5. Ölüdeniz Fayı'nın Hatay bölgesindeki segmenti
6. Güneydoğu Anadolu Bindirmesi (Bitlis-Zagros bindirmesi)
7. Göksun Fayı
8. Ecemiş Fayı
9. Tuzgölü Fayı
10. Eskişehir Fay Zonu
11. Simav-Sultandağ Fay Zonu
12. Fethiye-Burdur Fay Zonu
13. Gökova Fay Zonu
14. Büyük Menderes Fay zonu
15. Gediz Fay Zonu
16. Bergama-Foça Fayı

Oluşturulan kaynak bölgeleme haritası Şekil 10'da sunulmuştur. Kaynak bölgeleri ile ilgili bilgiler Tablo 1'de verilmektedir.

4.3. Deprem Yinelenme İlişkileri (Deprem oluşum frekansları)

Richter (1958) tarafından öne sürülen, deprem oluşumlarına ilişkin ampirik magnitud-frekans bağıntısı aşağıda verilmektedir.

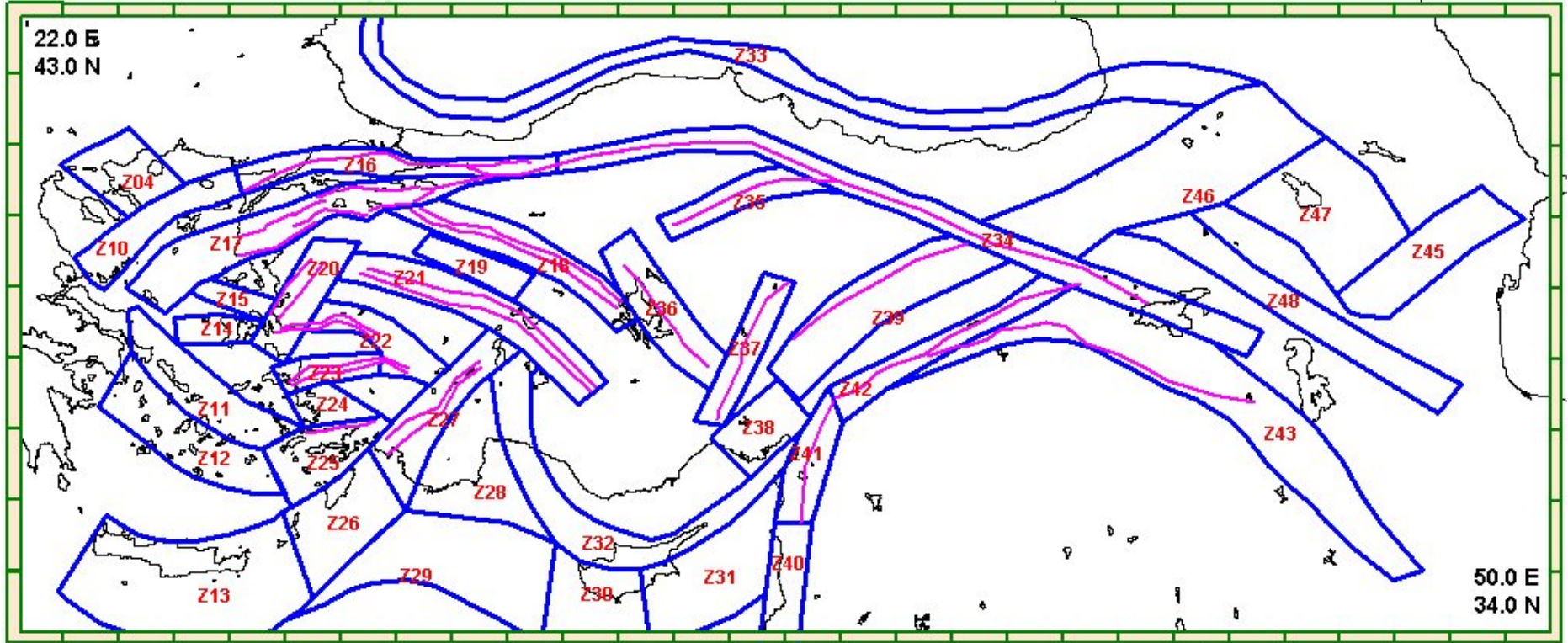
$$\log N(M) = a - bM$$

Burada N, verilen bir bölge ve periyod için, magnitudü M'e eşit veya daha büyük olan depremlerin sayısını, a ve b ise regresyon katsayılarını göstermektedir. Yukarıdaki bağıntı gerçekleştirilen sismisite çalışmalarının temelini teşkil etmiştir.

Kullanılan deprem kataloglarında değişik zaman periyotlarında kapsanan depremler her bir deprem büyüklüğü için homojen değildir. Bu yüzden, bir kaynak bölgesindeki frekans-deprem büyüklüğü bağlantısını belirlemek için: küçük depremleri tam olarak içeren kısa süreli yakın bir zaman aralığının ve büyük depremleri tam olarak içeren uzun süreli bir zaman aralığının kullanılması gerekir. Bu hususta, deprem oluşumlarının Poisson sürecine uyduğu kabulüyle, Stepp (1973) tarafından önerilmiş homojenleştirme yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşım kapsamında, magnitüd-frekans bağlantısının bir bölgeye uyarlanması için:

- (1) Küçük depremleri tam olarak içeren kısa süreli deprem grubu kullanmak,
- (2) Büyük depremleri tam olarak içeren uzun süreli deprem grubu kullanmak,
- (3) Her iki veri grubunu birleştirerek eksik verileri tamamlayıp, homojen bir veri temelini kullanılması gerekmektedir.

Her kaynak bölgesi için yapılmış aletsel büyüklük istatistikleri sonucunda düzeltilmiş yıllık oluşum oranları, ve analizde kullanılan maksimum magnitüdler Tablo 1’de sunulmuştur.



Şekil 10. Bu çalışmada kullanılan kaynak modeli

Tablo 1. Kaynak bölgeleri ile ilgili bilgiler

Kaynak Bölge Kodu	İlgili Faylar	Mekanizma	a	b	$M_{min} - M_{maks}$
Z10	KAF (Ege Denizi)	Sağ Yanal Atımlı	6,5	1,2	5,0 – 7,8
Z12			3,0	0,8	5,0 – 7,6
Z13			3,2	0,7	5,0 – 7,2
Z14	Sakız Fayı	Normal	3,8	0,9	5,0 – 7,0
Z15	Midilli	Normal	4,5	1,0	5,0 – 6,8
Z16 Dış Bölge	KAF (Marmara Denizi)	Sağ Yanal Atımlı + Normal	5,3	0,9	5,0 – 6,9
Z16 İç Hat					7,0 – 7,9
Z17 Dış Bölge	KAF (Marmara Bölgesi Güney Kolu)	Sağ Yanal Atımlı ve Normal Segmentler	4,7	0,9	5,0 – 6,6
Z17 İç Hat					6,7 – 7,4
Z18 Dış Bölge	Eskişehir Fayı	Normal Bileşenli Sağ Yanal Atımlı	4,3	1,0	5,0 – 6,6
Z18 İç Bölge					6,7 – 7,0
Z19	Kütahya Fayı	Normal	3,8	1,0	5,0 – 5,8
Z20 Dış Bölge	Bergama_Foça Fayı	Sol Yanal Atımlı	3,8	0,8	5,0 – 6,6
Z20 İç Bölge					6,7 – 7,0
Z21 Dış Bölge	Simav-Sultandağ Fay Sistemi	Normal ve Ters	5,4	1,1	5,0 – 6,9
Z21 İç Bölge					7,0 – 7,3
Z22 Dış Bölge	Gediz Fayı	Normal	4,0	0,9	5,0 – 6,9
Z22 İç Bölge					7,0 – 7,3
Z23 Dış Bölge	Menderes Fayı	Normal	4,1	1,0	5,0 – 6,8
Z23 İç Bölge					6,9 – 7,6
Z24	Muğla-Yatağan Fayı	Yanal Atımlı + Normal	4,8	1,1	5,0 – 6,8
Z25 Dış Bölge	Gökova Fayı	Normal	5,3	1,0	5,0 – 6,8
Z25 İç Hat					6,9 – 7,8
Z26	Helen Arkı	Normal Bileşenli Sol Yanal Atımlı	6,0	1,2	5,0 – 6,7

Kaynak Bölge Kodu	İlgili Faylar	Mekanizma	a	b	M _{maks}
Z27 İç Bölge	Fethiye-Burdur Fayı	Normal Bileşenli Sol Yanal Atımlı	5,0	1,0	5,0 – 6,8
Z27 Dış Bölge					6,9 – 7,4
Z28	Antalya Fayı	Yanal Atımlı	5,6	1,2	5,0 – 7,0
Z29	Kıbrıs Arkı – Florans Yükseltisi	Yanal Atımlı + Bindirme	5,9	1,3	5,0 – 5,9
Z30	Kıbrıs Arkı – Trodos	Yanal Atımlı + Bindirme	4,8	1,0	5,0 – 6,8
Z31	Hecataeus Ridge-Bölge adı-	Tanımlanmamış	3,4	0,8	5,0 – 6,6
Z32	Kıbrıs Çukurluğu	Yanal Atımlı + Bindirme	2,7	0,7	5,0 – 6,8
Z33	Karadeniz Fayı	Bindirme ve Normal? Jeolojik açıdan aktif olarak bilinmekte	3,8	0,9	5,0 – 7,3
Z34 Dış Bölge	Kuzey Anadolu Fayı (KAF)	Sağ Yanal Atımlı	5,0	0,8	5,0 – 6,7
Z34 İç Hat					6,8 – 7,9
Z35 Dış Bölge	Alaca Ezinepazarı Fayı	Sağ Yanal Atımlı	3,2	0,8	5,0 – 6,7
Z35 İç Hat					6,8 – 7,9
Z36 Dış Bölge	Tuz Gölü Fayı	Sağ Yanal Atımlı	2,9	0,8	5,0 – 6,7
Z36 İç Hat					6,8 – 7,9
Z37 Dış Bölge	Ecemiş Fayı	Sol Yanal Atımlı	3,9	0,9	5,0 – 6,7
Z37 İç Hat					6,8 – 7,9
Z38	Adana Bölgesi Fay Zonu	Sol Yanal Atımlı	3,1	0,8	5,0 – 7,0
Z39 Dış Bölge	Goksun Fayı	Sol Yanal Atımlı	2,7	0,7	5,0 -6,9
Z39 İç Hat					7,0 – 7,5
Z40	Ölüdeniz Fayı	Sol Yanal Atımlı	4,7	0,9	5,0 – 7,7
Z41 Dış Bölge	Ölüdeniz-Hatay Fayı	Sol Yanal Atımlı +Normal	3,6	1,0	5,0 – 6,7
Z41 İç Hat					6,8 – 7,9
Z42 Dış Bölge	Doğu Anadolu Fayı (DAF)	Sol Yanal Atımlı	4,6	0,9	5,0 – 6,7

Kaynak Bölge Kodu	İlgili Faylar	Mekanizma	a	b	M _{maks}
Z42 İç Hat					6,8 – 7,9
Z43 Dış Bölge	Güneydoğu Anadolu	Bindirme	4,7	1,0	5,0 – 6,6
Z43 İç Hat	Bindirmesi				6,7 – 7,0
Z45	Aras Fayı	Sol Yanal Atımlı	4,2	1,0	5,0 - 7,8
Z46	Kuzeydoğu Anadolu Fayı	Sol ve Sağ Yanal Atımlı Faylar	5,6	1,1	5,0 - 7,7
Z47	PambaSevan Fay Bölgesi	Sağ Yanal Atım ve Bindirm	3,9	0,9	5,0 - 7,3
Z48	Tebriz Fayı	Sağ Yanal Atımlı	4,4	1,0	5,0 - 7,3

4.4. Azalım İlişkileri

Deprem şartnamesi isteklerine uygun olarak geliştirilecek bir deprem tehlikesi bölgelendirme haritasının şartnamede kullanılan deprem tasarım spektrumunun belirlenmesinde kullanılacak parametreyi veya parametreleri sağlaması gerekir. Deprem tehlikesi belirlemelerinde en yaygın olarak kullanılan tek belirleyici PGA olarak kısıltacağımız en büyük yatay yer ivmesidir. PGA değerinin kullanılmasındaki en önemli gerekçelerden biri deprem şartnamelerinde önerilen tasarım spektrum şekillerinin PGA (veya “etkin ivme” gibi PGA ile ilişkilendirilebilen parametreler) ile ölçeklendirilebilmesidir. Şimdiye kadar gerçekleştirilmiş probabilistik, genel kapsamlı deprem tehlikesi çalışmalarında PGA değerinin bulunması hedeflenmiş ve bu amaçla ampirik azalım ilişkileri kullanılmıştır.

Boğaziçi Üniversitesi – Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı tarafından 1997 yılı sonrasında gerçekleştirilmiş olan deprem tehlikesi çalışmalarında yer hareketi parametreleri PGA, SA(0.2s) ve SA(1s) olarak ve yumuşak kaya zemin (referans zemin) için belirlenmiştir (NEHRP B/C sınırı). Azalım ilişkisi olarak da Boore ve diğ. (1997), Campbell (1997) ve Sadigh ve diğ. (1997) çalışmaları epistemik belirsizliğin azaltılması için değişik ağırlıklarla kullanılmıştır. Esasen California bölgesi için üretilmiş olan bu azalım ilişkileri USGS tarafından yapılan çalışmalarda da kullanılmıştır.

Ülkemizde elde edilmiş kuvvetli yer hareketi kayıtları kullanılarak geliştirilmiş azalım ilişkileri mevcuttur (Gülkan ve Akkar, 2003 Özbey ve diğerleri, 2004). Çoğunluğu Marmara bölgesinde 1999 yılında elde edilmiş verilere dayalı bu azalım ilişkileri 1999 Kocaeli depreminden kaynaklanan sebepler nedeni ile diğer kovansiyonel azalım ilişkilerinin çok altında deprem tehlikesi belirlemektedir. Bu fark California ve Türkiye arasındaki tektonik ve jeolojik farktan ziyade azalım ilişkisinin tek bir depreme bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Gelecekte oluşacak depremlerin 1999 Kocaeli depremi gibi düşük seviyede yüksek frekanslı yer hareketleri doğurma ihtimali hakkında bilgimiz bulunmamaktadır. Bu açıdan 1999 Kocaeli depremi ağırlıklı yerel azalım ilişkisinin kullanılması yerine batı ABD ve dünya depremlerine dayalı ilişkilerin kullanılması tercih edilmiştir.

Çalışmada en büyük yer ivmesi azalımı için Boore ve diğ. (1997), Campbell vd.(2003) ve Sadigh ve diğ. (1997) azalım ilişkilerinin ortalaması , spektral ivmelerin azalımında ise Boore ve diğ. (1997) ve Sadigh ve diğ. (1997) kullanılmıştır. Azalım ilişkileri %50’şer ağırlıkla ele alınmıştır. Bu hususta ayrıntılı bilgi TEFER (2000) proje raporlarında mevcuttur.

4.5. Kullanılan Yazılım

Günümüzde mevcut metodoloji birikimi ve paket bilgisayar yazılımları (örneğin, NEQRISK: Lee ve Trifunac, 1985; FRISK: McGuire, 2001; SEISRISK III: Bender ve Perkins, 1987; STASHA: Kiremidjian ve diğerleri, 1992, CRISIS2001: M Ordaz ve diğerleri, 2002 ve USGS programları, Frankel ve diğerleri, 1996) göz önüne alındığında probabilistik deprem tehlikesi belirlemelerinin artık akademik niteliğinin azalıp mesleki bir uygulamaya dönüştüğü söylenebilir. Deprem tehlikesi haritalarından geçmiş deprem oluşumlarını yansıttıkları kadar, gelecekte meydana gelecek deprem tehlikelerini de yeterli bir muhafazakarlıkla belirleyebilmeleri

beklenir. Bu beklenti özellikle paleo-sismik ve neo-tektmik verilerin önemini arttırmaktadır.

Bu çalışmada gerçekleştirilmiş deprem tehlikesi analizinde SEISRISK III (Bender ve Perkins, 1987) yazılımı'nın Boğaziçi Üniversitesi – Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı tarafından revize edilmiş versiyonu kullanılmıştır (TEFER, 2000). Bu yazılım, belirlenmiş bir aşılma olasılığı ve zaman periyodu için, bölge üzerinde tanımlanmış iki boyutlu karelej sisteminin her düğüm noktasındaki en büyük zemin hareketinin hesabını yapacak şekilde tasarlanmıştır. Yukarıda da belirtildiği gibi deprem oluşumları dağılımı için yazılım, Poisson modelini kullanmaktadır.

Bu yazılımın diğer özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Kaynaklarda depremlerin homojen olarak dağıldığı, dolayısıyla kaynak içerisindeki her noktanın gelecekteki bir depremin episantrı olma ihtimalinin eşit olduğu varsayılır.
2. Fay göçme modelinde, göçmeden meydana gelen zemin hareketi bölgeye en yakın göçme mesafesinin fonksiyonu kabul edilir. Buna bağlı olarak göçme sonucu ortaya çıkan ivme yoğunluğu düzeltilerek hesaplanır.
3. Kaynak bölgesi sınırlarında meydana gelebilecek ani sismisite değişimlerini önlemek için deprem merkezleri belirli bir 'deprem merkezi belirsizliği' katsayısı ve standart sapma dahilinde dağıtılır.
4. Belirlenen zaman periyodu içinde bölgenin sismisitesinin sabit kaldığı kabul edilir.
5. Alan kaynaklarının yanısıra, fayların lineer kaynak bölgesi olarak tanımlanmasına imkan verir.
6. Depremden meydana gelecek zemin hareketi, depremin büyüklüğünün artan ve mesafesinin de azalan fonksiyonu olarak verilmiş azalım ilişkisinin interpolasyonu ile hesaplanır.

4.6. Fiziksel Belirsizlikler

Bir yerdeki deprem tehlikesinin mertebesi deprem oluşumlarındaki büyüklük, zaman ve konuma doğrudan doğruya bağlı olmakla beraber, aynı zamanda bu oluşum parametrelerindeki belirsizliklerin de bir fonksiyonudur. Özellikle düşük aşılma olasılığı seviyelerinde bu belirsizlikler önemli bir etken olarak ortaya çıkmaktadır ve bu depremlerle ilgili kaynak bölgesi, oluşum frekansı, faylanma ve azalım belirsizliklerinin tehlike sonuçlarına yansıtılması gerekli olmaktadır.

Belirli bir büyüklük ve mesafede oluşan depremlerin yaratacağı ivmelerin log-normal bir dağılımı olduğu ve standart sapmalarının deprem büyüklük ve odak mesafesinden bağımsız olduğu kabul edilmektedir. Tabii logaritma kullanıldığı zaman standart sapma 0.3 - 0.6 arasında değişmektedir. Bu durumda bir standart sapma sınırı ortalama (median) ivmenin 1.35 - 1.82 katı olmaktadır. Bu dağılım yayılma hattı, zemin ve topoğrafya farklılıklarıyla depremler arası farklılıktan kaynaklanmaktadır. Sadece depremler arası farklılaşma 1.35 seviyesinde ve indirgenemeyen bir standart sapma faktörü doğurmaktadır. Probabilistik deprem tehlikesi hesaplarında azalım ilişkilerindeki bu dağılımın göz önüne alınması enbüyük ivmeleri arttırmaktadır. 475

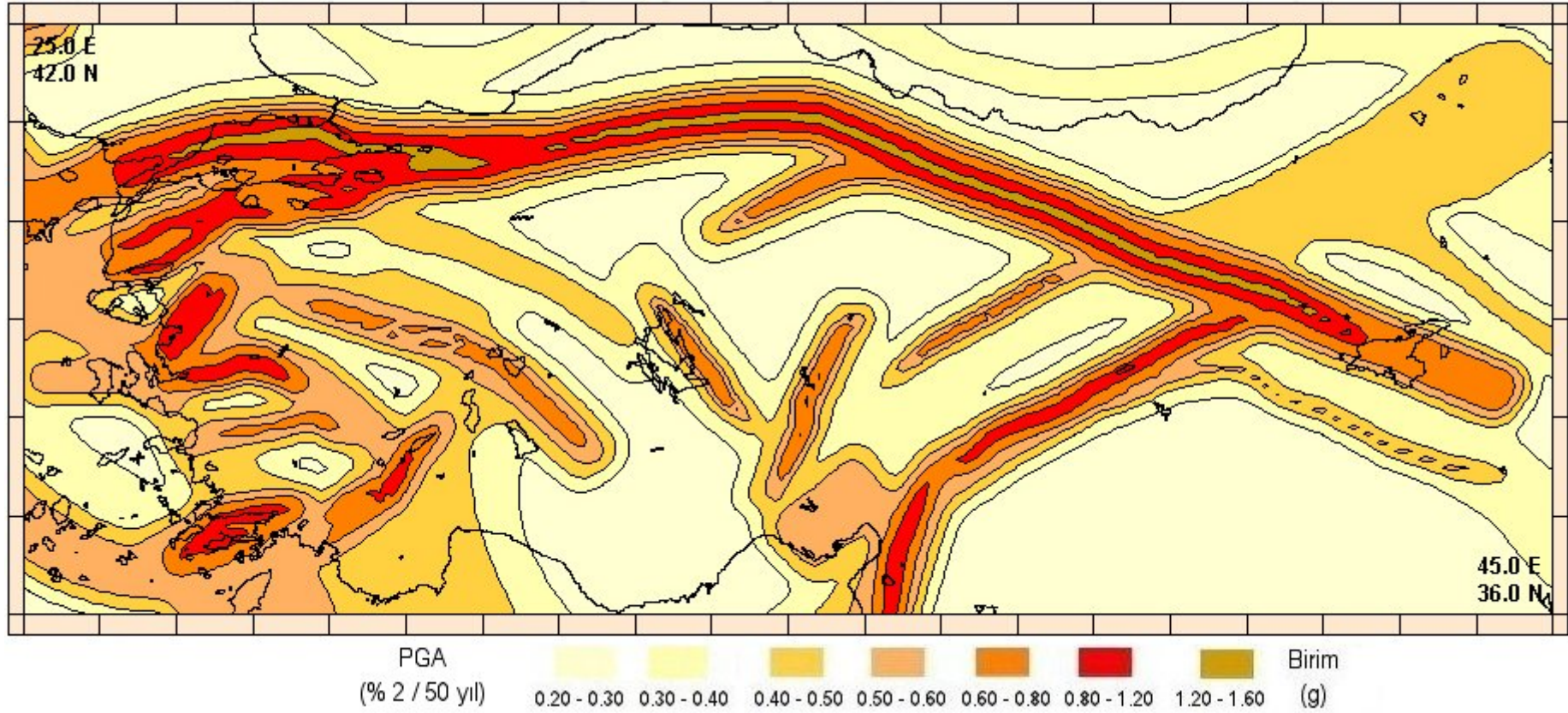
yıllık bir yinelenme süresi ve 0.5 değerinde bir standart sapma için bu artım, kaynak geometrisine bağlı olarak, %10 - %30 arasında değişmektedir.

Bir kaynak bölgesinde yer alan bir deprem merkezinin konumu sabit olarak alınmayıp bu nokta etrafında normal bir dağılımı olduğu kabul edilmektedir. Bu normal dağılımın standart sapması ortalama kaynak bölgesi genişliğinin %25'i kadar alınmaktadır. Normal dağılım kabulüyle sismisite kaynak sınırında ani olmayan, yumuşak bir şekilde değişmektedir. Kaynak bölgelerinin konumlarında normal bir dağılım olduğu kabulüyle elde edilen enbüyük ivmeler, büyük yinelenme süreleri için, kaynak bölgesinin içlerinde azalmakta ancak dışındaki konumlarda bir miktar artmaktadır. Bu değişiklik 475 yıl ve daha az yinelenme süreleri için tamamen önemsiz düzeylerdedir.

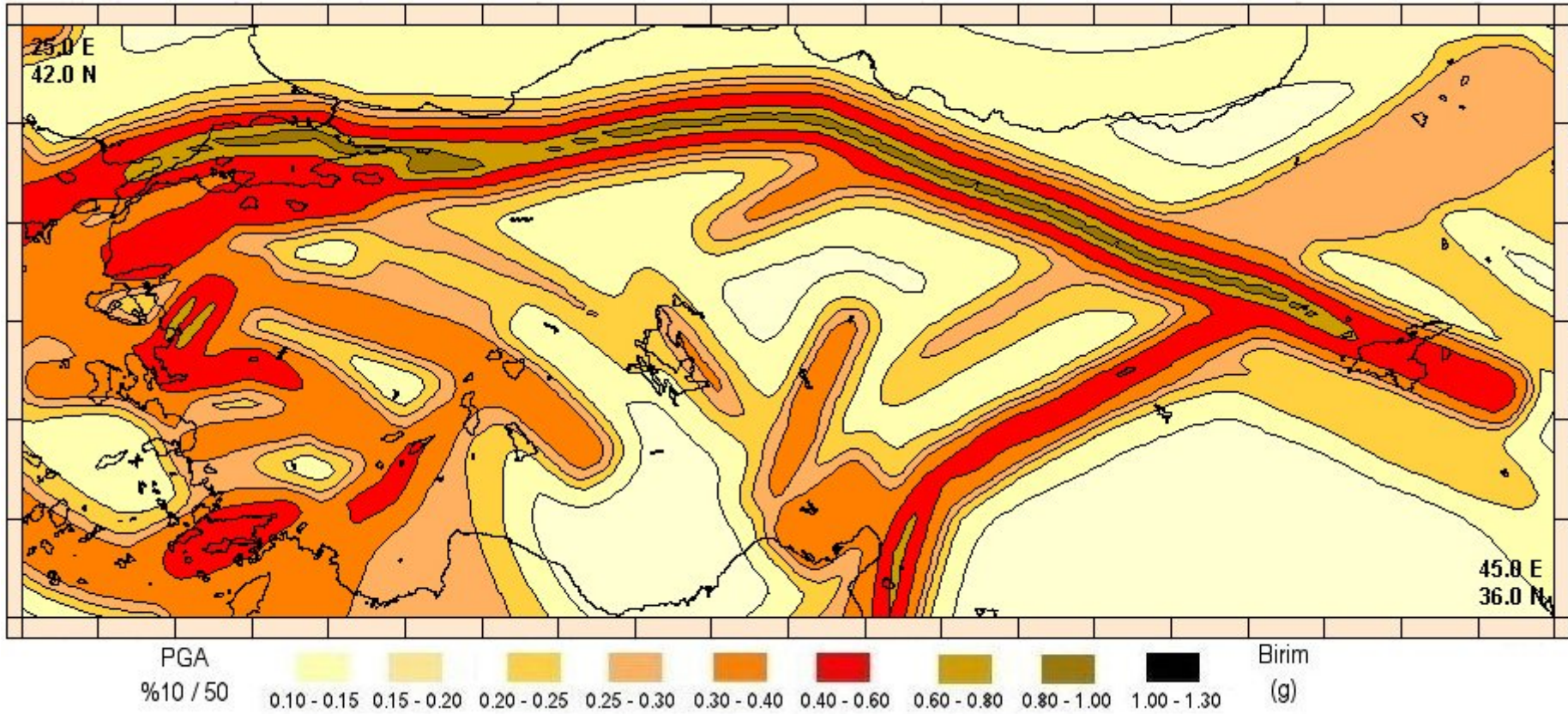
Kaynak bölgesi sınırlarındaki belirsizlikleri tehlike haritasına yansıtmanın en geçerli yolu değişik gruplar tarafından veya metodoloji ile hazırlanmış alternatif deprem kaynak bölgelendirmeleri için hesaplanacak deprem tehlikeleri arasında yeterli muhafazakarlıkta bir uzlaşmanın sağlanmasıdır. Vakit kısıtlamaları nedeni ile bu tip bir çalışmanın bu rapor kapsamında yapılması imkanı bulunamamıştır.

5. Sonuçlar

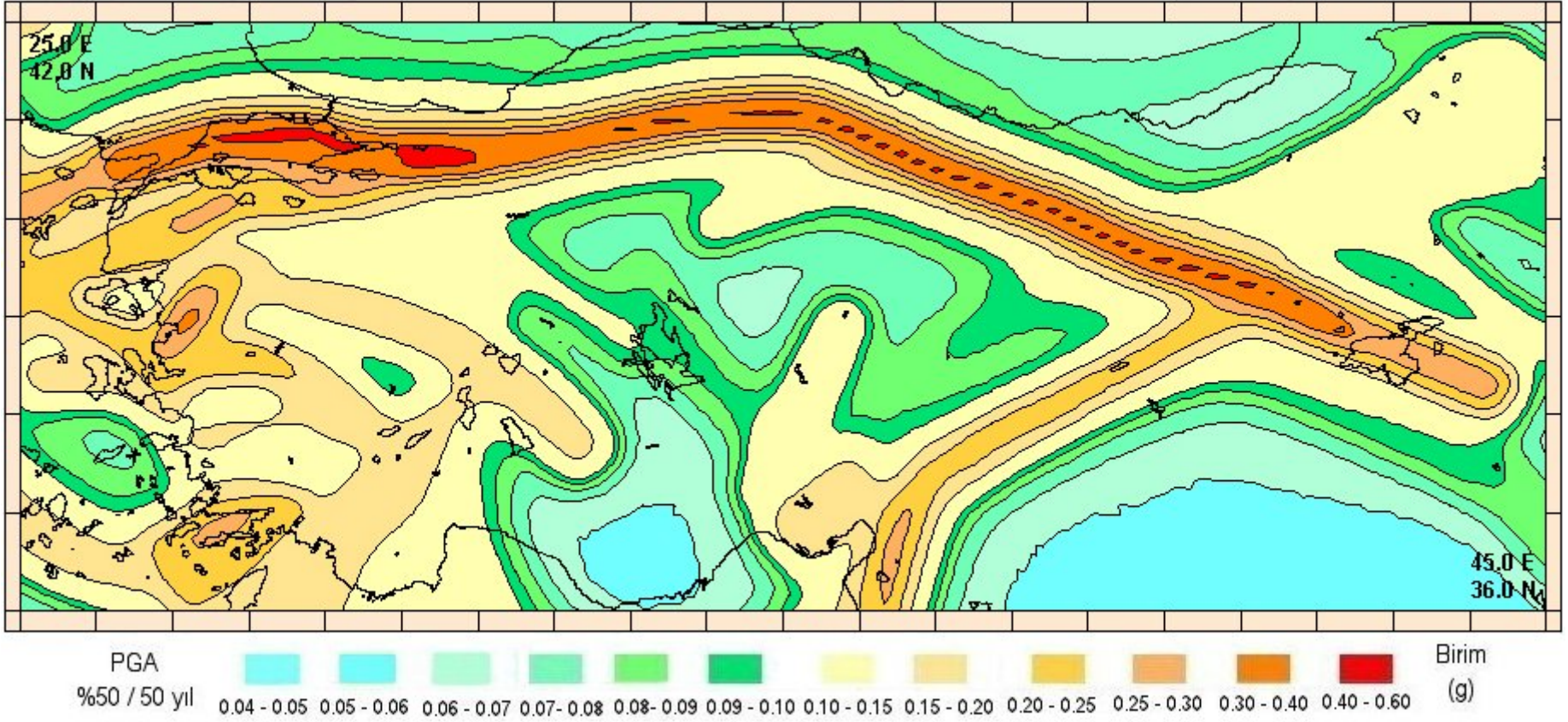
Sunulan çalışma neticesinde Şekil 11'den Şekil 19'a kadar sunulan deprem tehlikesi haritaları elde edilmiştir. Deprem tehlikesi haritaları 50 yıllık ekonomik ömrü içinde %50, %10 ve %2 aşılma olasılığı (sırasıyla 72, 475 ve 2475 yıllık dönüş süreleri) için verilmektedir. Haritalarda sunulan en büyük yer ivmesi (PGA) ve 0.2 ve 1.0 saniye peryotlarında spektral ivmeler NEHRP zemin sınıfı B/C sınırı (Referans Zemin Mostrası) için elde edilmiştir.



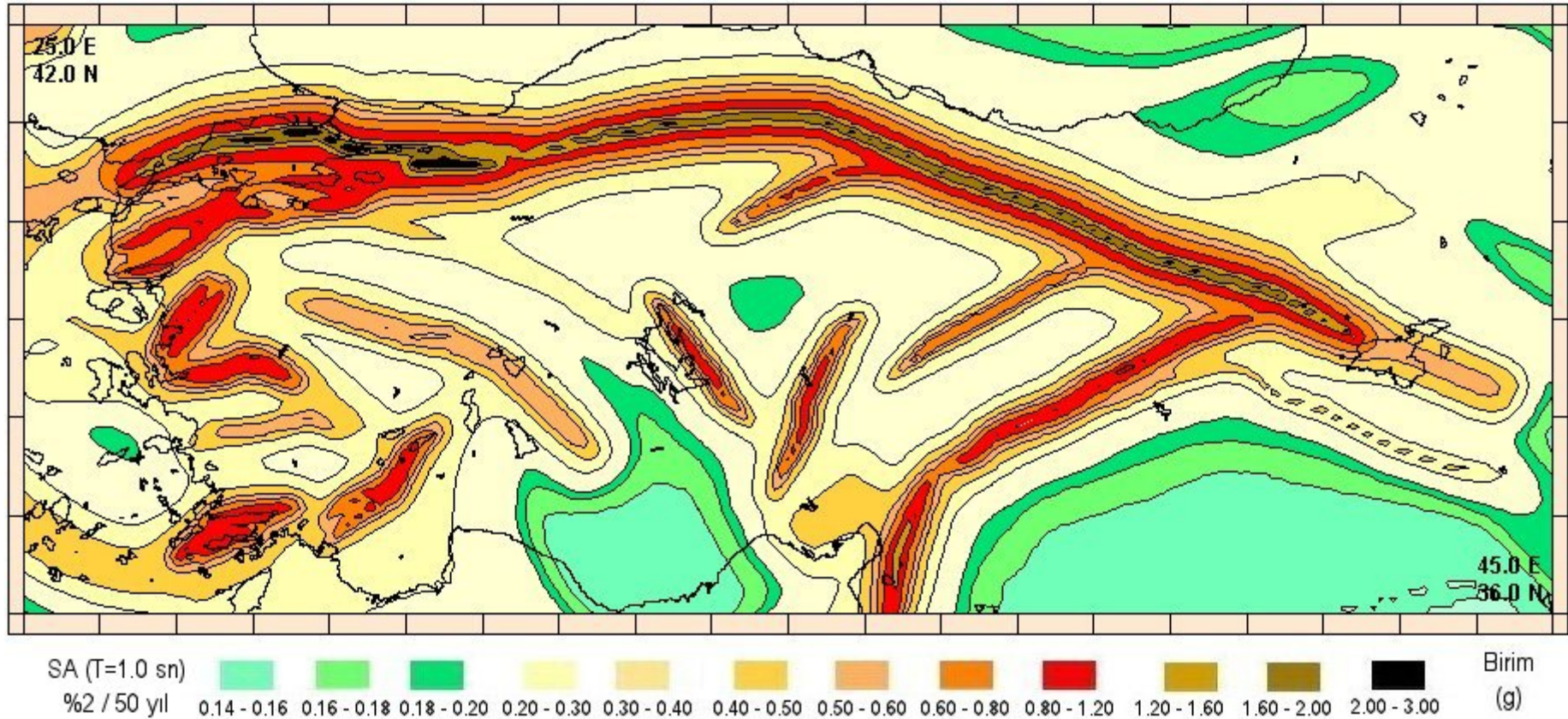
Şekil 11. NEHRP B/C sınırı zemin koşuluna göre 50 yılda %2 aşılma olasılığına karşılık gelen en büyük yer ivmesi (PGA, birim”g”).



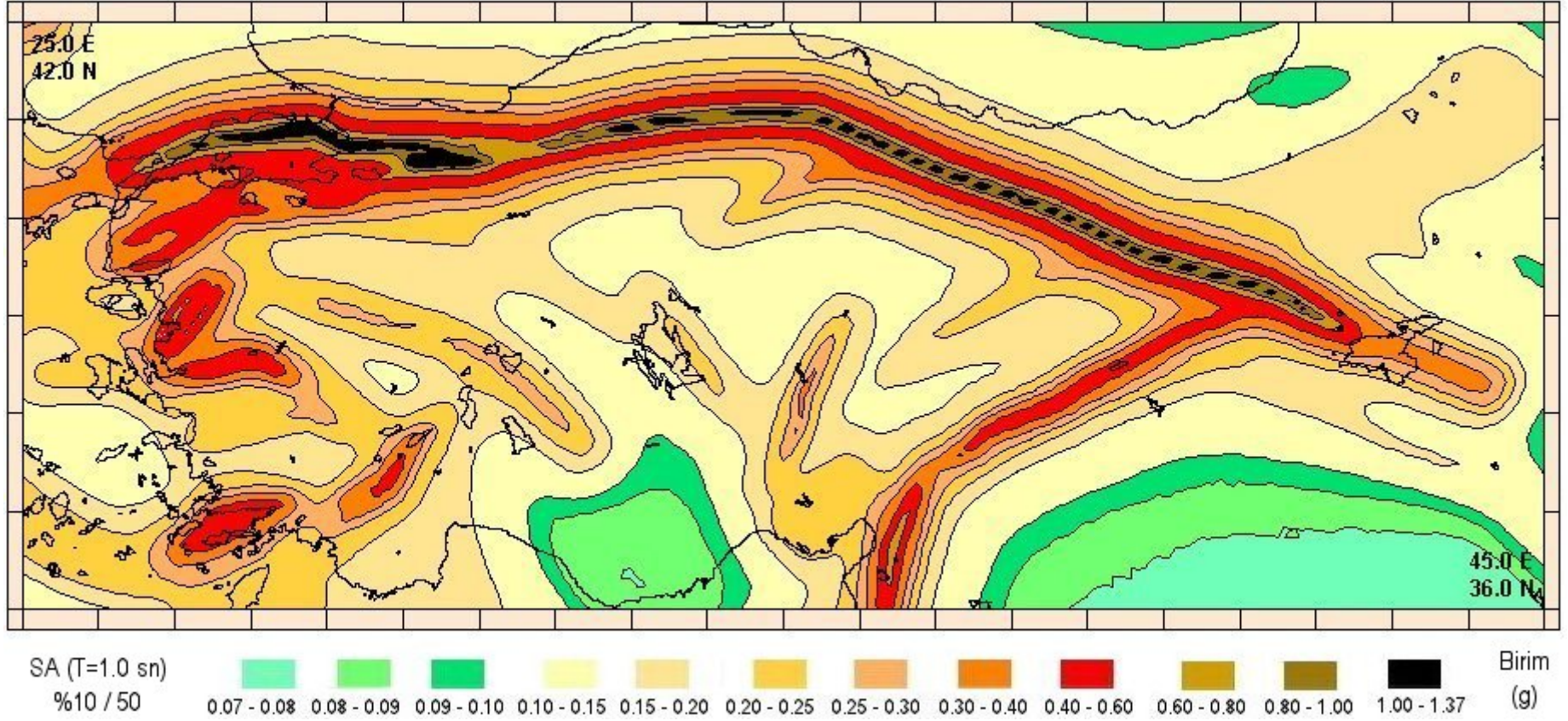
Şekil 12. NEHRP B/C sınırı zemin koşuluna göre 50 yılda %10 aşılma olasılığına karşılık gelen en büyük yer ivmesi (PGA, birim" g").



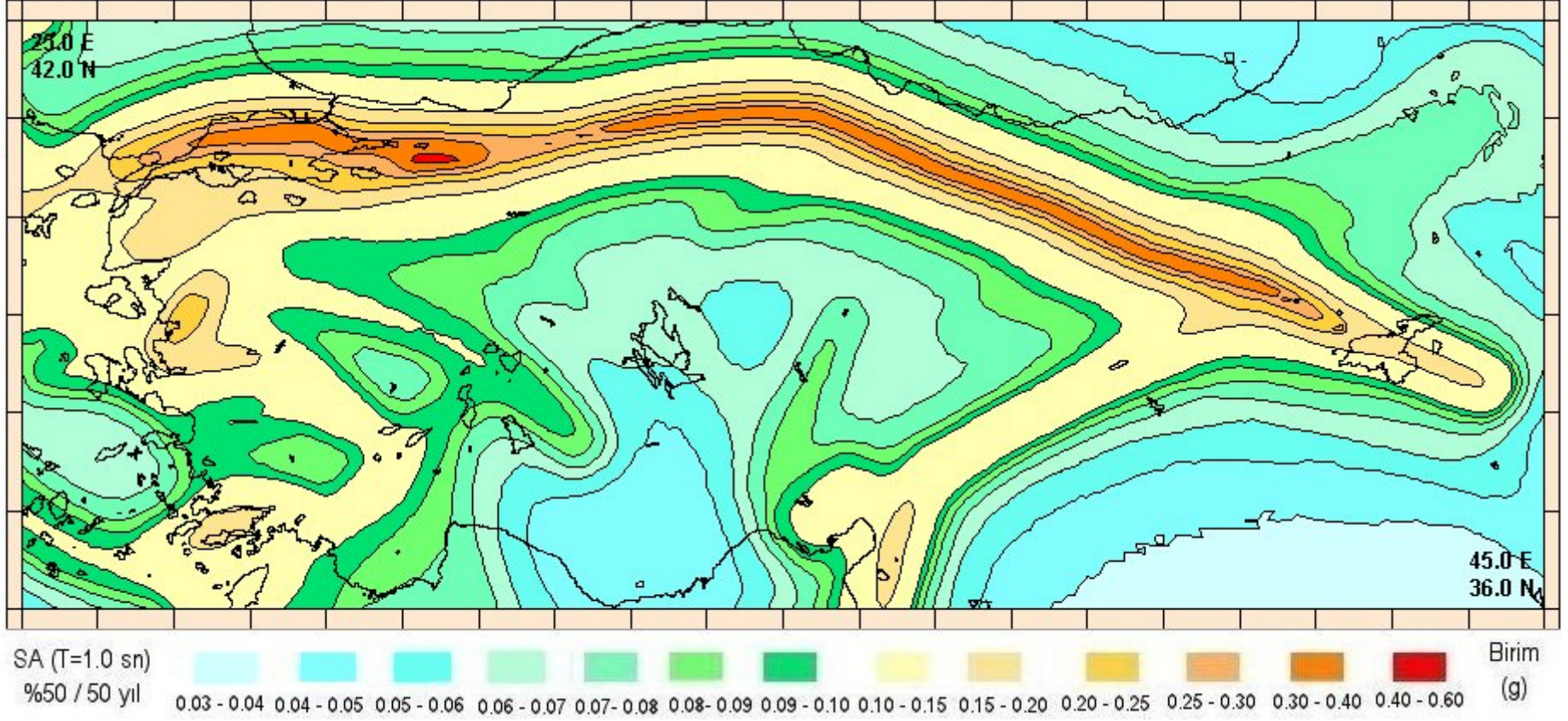
Şekil 13. NEHRP B/C sınırı zemin koşuluna göre 50 yılda %50 aşılma olasılığına karşılık gelen en büyük yer ivmesi (PGA, birim''g'').



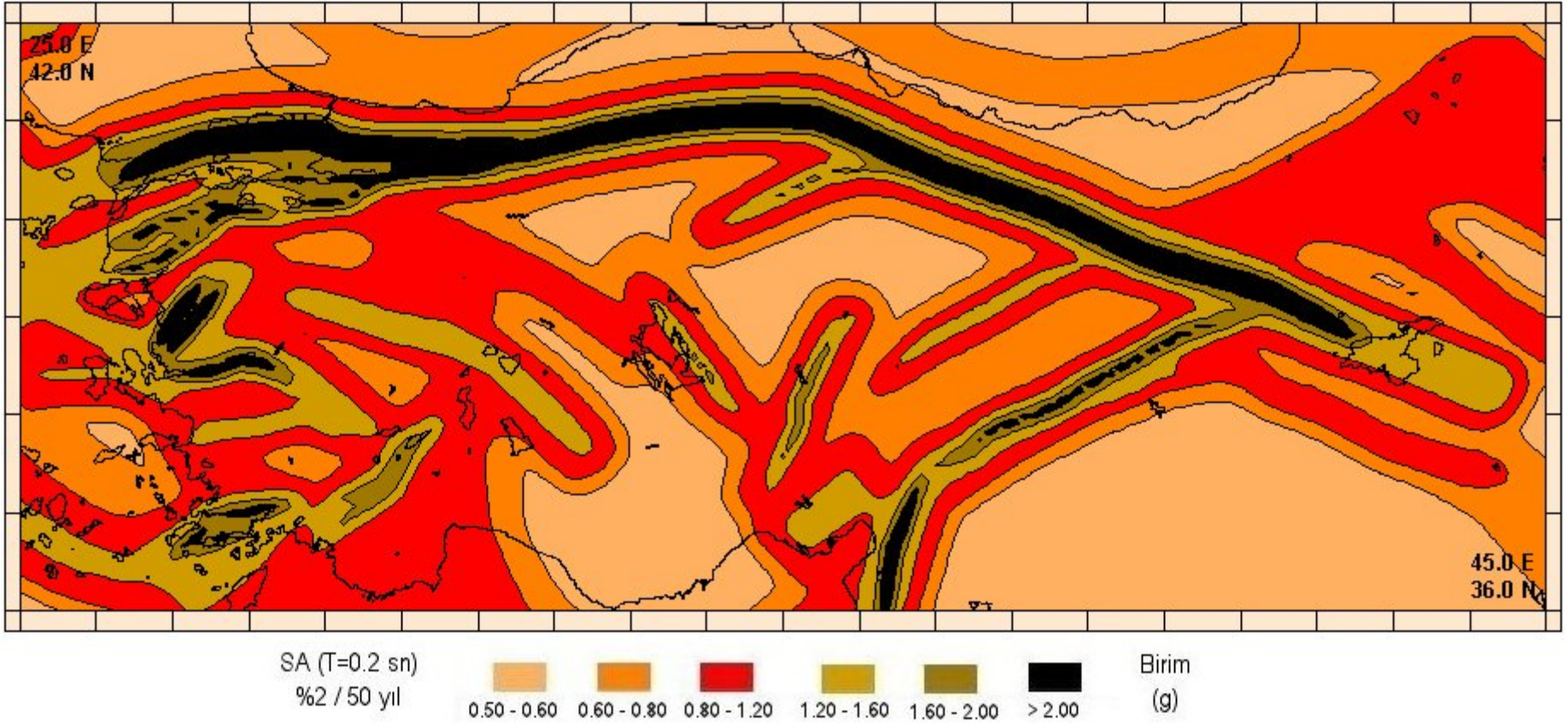
Şekil 14. NEHRP B/C sınırı zemin koşuluna göre 50 yılda %2 aşılma olasılığına karşılık gelen T=1.0 sndeki Spektral İvme (S1, birim''g'').



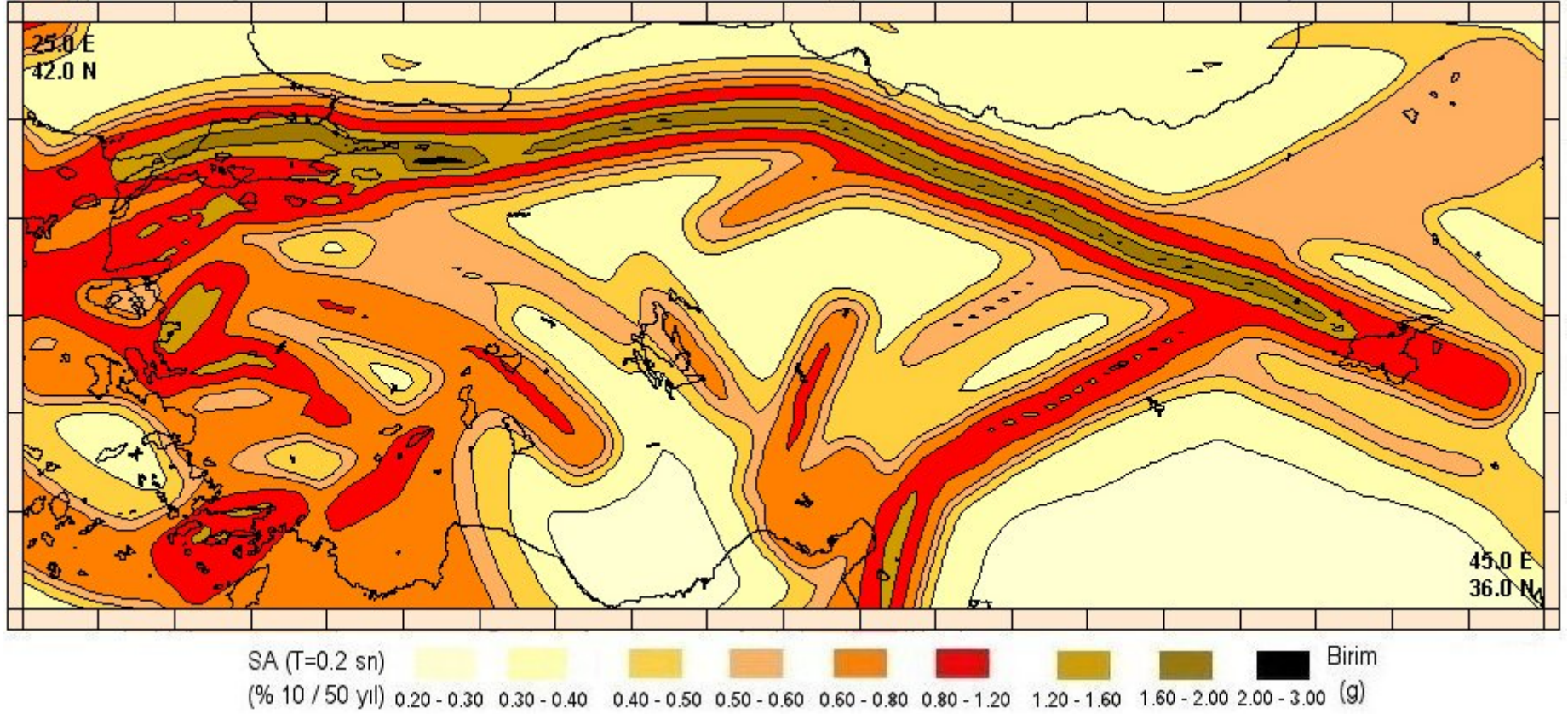
Şekil 15. NEHRP B/C sınırı zemin koşuluna göre 50 yılda %10 aşılma olasılığına karşılık gelen T=1.0 sndeki Spektral İvme (S1, birim" g").



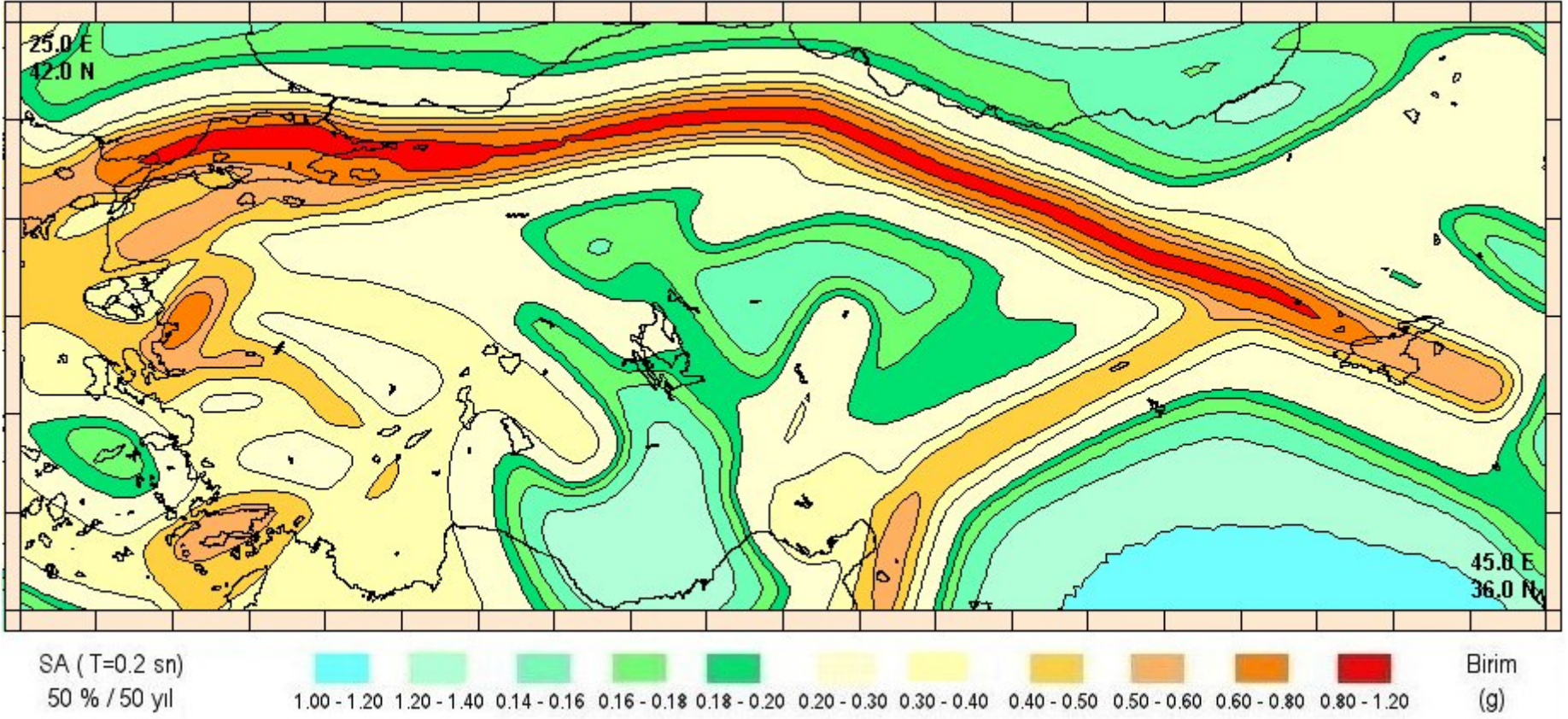
Şekil 16. NEHRP B/C sınırı zemin koşuluna göre 50 yılda %50 aşılma olasılığına karşılık gelen T=1.0 sn'deki Spektral İvme (S1, birim''g'').



Şekil 17. NEHRP B/C sınırı zemin koşuluna göre 50 yılda %2 aşılma olasılığına karşılık gelen T=0.2 sn.deki Spektral İvmeler (Ss, birim”g”).



Şekil 18. NEHRP B/C sınırı zemin koşuluna göre 50 yılda %10 aşılma olasılığına karşılık gelen T=0.2 sn.deki Spektral İvme (Ss, birim”g”).



Şekil 19. NEHRP B/C sınırı zemin koşuluna göre 50 yılda %50 aşılma olasılığına karşılık gelen T=0.2 sn.deki Spektral İvme (Ss, birim”g”).

6. Davranış Spektrumunun Belirlenmesi

6.1. Giriş

Yapıların deprem tasarımı için deprem ter hareketi frekans tanım alanında (Davranış Spektrumu) ve/veya zaman tanım alanında (Akselerogram = İvme kaydı) olarak belirlenir. Davranış spektrumu belirlemelerinde esas olarak %5 sönüm oranına tekabül eden parametrik spektral şekiller kullanılır. Spektrumun belirlenmesinde kullanılan parametreler deprem tehlikesi haritalarında nicelendirilmiş spektral ivmeler (veya enbüyük ivme) değerleri ve zemin tipi ile ilişkilendirilmiş faktörlerdir.

Her ne kadar depreme dayanıklı yapı tasarımında çoğunlukla davranış spektrumu kullanılmakta ise de, performans dayalı tasarım yaklaşımının benimsenmesi ile birlikte, kuvvetli yer hareketinin gerçeğe en yakın şekilde simüle edilmesi konusu önem kazanmıştır. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen doğrusal olmayan dinamik analizde kullanılan bilgisayar yazılımları ve yapısal modelleme tekniklerindeki son gelişmeler, bu tip analizlerde girdi olarak kullanılan yapay akselerogramlar konusunu ön plana çıkarmaktadır. Tasarım depremi olarak, benzer özellikler taşıyan mevcut deprem kayıtlarının kullanılması uygun gözükse dahi, tektonik yapı, deprem büyüklüğü, yerel jeoloji ve yakın fay bölgesi koşullarını sağlayan uygun bir veri dizisinin bulunması çok olası değildir.

Türk yönetmeliğinde (ABYYHY, 2005) tasarıma esas deprem hareketi, aşılma olasılığı 50 yıllık süre için %10 olan yer hareketi olarak kabul edilmektedir. Tasarıma esas olarak alınan spektral ivme, (Etkin Yer İvmesi Katsayısı, diğer bir deyişle deprem bölgesi katsayısı) %5 sönüm oranı için elastik tasarım ivme spektrumu ile ilişkili olarak bulunmaktadır. Yönetmelik, zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan analiz için, mevcut yer hareketi kayıtlarının veya yapay olarak üretilmiş kayıtların kullanımına izin vermektedir.

ABD’nde NEHRP (2003) ve International Building Code (IBC, 2003) şartnamesi hükümleri kapsamında davranış spektrumları, probabilistik deprem tehlikesi analizi ile hesaplanan, kısa periyot (0.2 sn, S_s) ve uzun periyot (1 sn, S_l) spektral ivme haritaları aracılığıyla elde edilmektedir. Bu haritalar referans zemin koşulu olarak tanımlanan NEHRP B zemin sınıfı içindir. Bu şekilde bulunan iki spektral ivme değeri, yönetmelik tarafından tanımlanan *Eş Olasılıklı Davranış Spektrumunun* çiziminde kullanılmaktadır. Zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan analiz için en az üç adet uygun yer hareketinin kullanılması önerilmektedir.

Eurocode8 (2002) - EC8 şartnamesinde referans zeminde probabilistic yaklaşımlarla belirlenmiş en büyük yer ivmesi (*referans ivme*), yatay ve düşey yönde, küçük ve büyük depremler için olmak üzere iki tür spektrumun elde edilmesinde kullanılmaktadır. Deprem hareketi, kaydedilmiş (*ampirik*) veya yapay (simüle edilmiş) akselerogramlar kullanılarak tanımlanabilir.

Bu bölümde zemin-bağımlı deprem yer hareketinin belirlenmesi hususunda geçerli kurallar belirlenmiştir. Bu belirlemede büyük bir çoğunlukla NEHRP (2003) çalışması esas alınmıştır.

6.2. Zemin-Bağımlı Tasarım Spektrumu

Bu şartnamede kullanıldığı şekli ile spektral ivme parametreleri yer çekimi ivmesi g cinsinden spektral ivmelere karşılık gelen katsayılarıdır.

Zemin sınıfı Tüm yapılar için zemin sınıfı Bölüm 6.2.2’te tanımlanan şekilde belirlenecektir.

Tepki spektrumu ile ifade edilen yer hareketleri ve bu spektrumlarla ilgili parametreler Bölüm 6.2.1’de anlatılan genel yöntem uyarınca belirlenecektir.

6.2.1 Genel Yöntem

S_S ve S_I parametreleri istenilen aşılma olasılığına tekabül edecek şekilde sırası ile Şekil 14’ten Şekil 19’a kadar gösterilmiş olan 0.2 sn. ve 1 sn.deki spektral ivmeler aracılığı ile belirlenecektir.

Gözönüne alınan aşılma olasılığına tekabül eden zemine göre düzeltilmiş (zemin-bağımlı) spektral ivme parametreleri S_{MS} ve S_{MI} aşağıda verilen denklemler kullanılarak hesaplanacaktır.

$$S_{MS} = F_a \times S_S \quad \text{ve} \quad S_{MI} = F_v \times S_I$$

F_a ve F_v parametreleri sırası ile Tablo 2 ve Tablo 3’de tanımlanmıştır.

Tablo 2. Kısa periyot zemin katsayısı F_a

Zemin Sınıfı	0.2 sn Periyodunda Spektral İvme Parametresi ^a				
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.0$	$S_S \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	-- ^b	-- ^b	-- ^b	-- ^b	-- ^b
^a S_S ’nin ara değerleri için lineer interpolasyon yapılacaktır.					
^b Sahaya özel geoteknik inceleme ve dinamik zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Tablo 3. 1.0 sn. periyodu zemin katsayısı F_v ,

Zemin Sınıfı	1.0 sn Periyodunda Spektral İvme Parametresi ^a				
	$S_I \leq 0.1$	$S_I = 0.20$	$S_I = 0.3$	$S_I = 0.4$	$S_I \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	-- ^b	-- ^b	-- ^b	-- ^b	-- ^b
^a S_I 'nin ara değerleri için lineer interpolasyon yapılacaktır.					
^b Sahaya özel geoteknik inceleme ve dinamik zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Davranış spektrumu Şekil 20'de gösterildiği üzere aşağıdaki gibi hesaplanacaktır:

1. T_0 'dan küçük veya eşit periyotlar için S_a aşağıdaki denklem ile hesaplanacaktır:

$$S_a = 0.6 \frac{S_{MS}}{T_0} T + 0.4 S_{MS}$$

2. T_0 'dan büyük veya eşit ve T_S 'den küçük veya eşit periyotlar için S_a S_{MS} 'ye eşit alınacaktır.

3. T_S 'den büyük ve T_L 'den küçük veya eşit periyotlar için S_a aşağıdaki denklemde verildiği üzere hesaplanacaktır:

$$S_a = \frac{S_{M1}}{T}$$

4. T_L 'den büyük periyotlar için S_a aşağıdaki denklemde verildiği üzere hesaplanacaktır:

$$S_a = \frac{S_{M1} T_L}{T^2}$$

Yukarıdaki denklemlerde kullanılan ifadelerin açıklamaları:

S_{MS} = Kısa periyot tepki spektrumu ivme parametresi

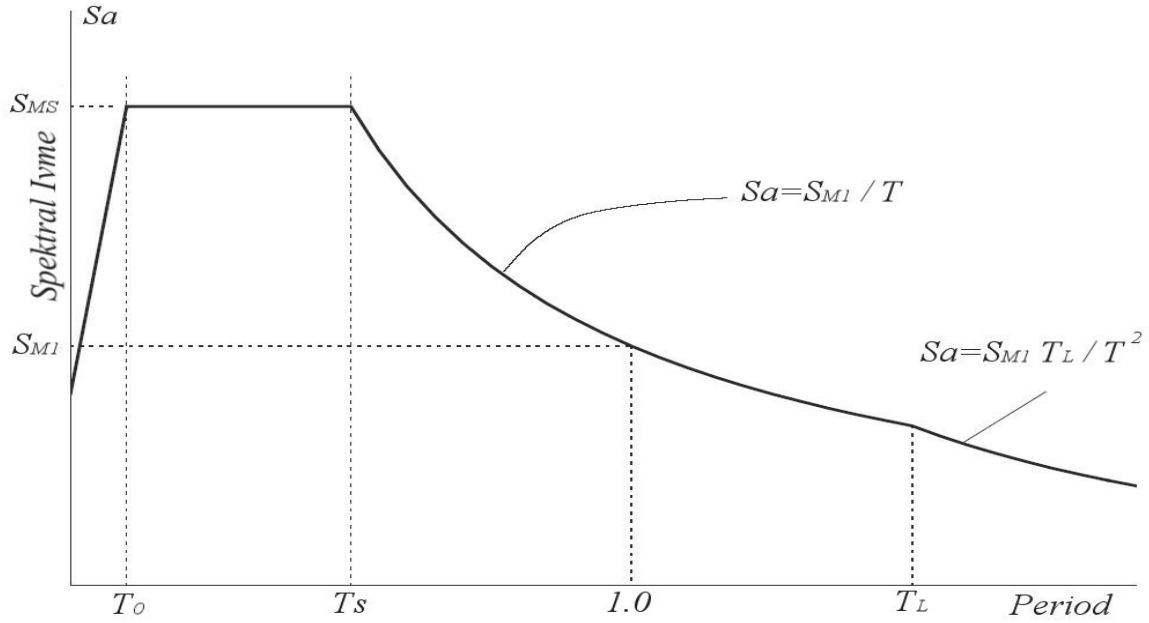
S_{M1} = 1 sn. periyodunda tepki spektrumu ivme parametresi

T = Yapının hakim periyodu (sn.)

$T_0 = 0.2 S_{M1}/S_{MS}$

$T_S = S_{M1}/S_{MS}$

T_L = Uzun-periyot geçiş periyodu = 12 s



Şekil 20. Davranış Spektrumu standart şekli (NEHRP, 2003)

6.2.2 Zemin Sınıflandırması

Zemin sınıfları aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

- A Sert kaya, kayma dalgası hızı, $\bar{v}_s > 1500$ m/sn
- B Kaya, $760 \text{ m/sn} < \bar{v}_s \leq 1500 \text{ m/sn}$
- C Çok sıkı zeminler ve yumuşak kaya, $360 \text{ m/sn} < \bar{v}_s \leq 760 \text{ m/sn}$, veya $\bar{N} > 50$ veya $\bar{s}_u > 100 \text{ kPa}$
- D Katı zeminler, $180 \text{ m/sn} < \bar{v}_s \leq 360 \text{ m/sn}$, veya $15 \leq \bar{N} \leq 50$ veya $50 \text{ kPa} \leq \bar{s}_u \leq 100 \text{ kPa}$
- E $\bar{v}_s < 180 \text{ m/sn}$ veya $\bar{N} < 15$ veya $\bar{s}_u < 50 \text{ kPa}$ olan bir zemin profili veya 3 metreden kalın yumuşak kil bulunan bir zemin profili ($PI > 20$, $w \geq \%40$ ve $\bar{s}_u < 25 \text{ kPa}$)
- F Sahaya özel değerlendirime gerektiren zeminler
 1. Sismik yüklemeler altında potansiyel çökme veya göçme duyarlılığı olan zeminler, sıvılaşabilen zeminler, hızlı ve yüksek derecede hassas killer ve zayıf çimentolanmış zeminler, vb.

İstisna: Hakim periyodu 0.5 sn'den düşük olan yapılar için sıvılaşabilen zeminlerde spektral ivmelerin bulunmasında sahaya özel geoteknik araştırmaya gerek yoktur. Zemin sınıfı Bölüm 0'de tanımlanan yöntem ile hesaplanabilir.

 2. Turbalar ve/veya yüksek derecede organik killer ($H > 3$ m kalınlığında turba ve/veya organik kil)

3. Çok yüksek plastisiteli killler ($H > 8$ m ve $PI > 75$)
4. Çok kalın yumuşak/orta sert killer ($H > 36$ m ve $\bar{s}_u < 50$ kPa)

Zemin sınıfının tanımlanan için yeterli geoteknik verinin mevcut olmaması halinde sahanın zemin sınıfı E ve F olarak sınıflandırılması gerekmeyen durumlarda D olarak kabul edilecektir.

Zemin sınıfının tanımlanmasında kullanılan parametreler zemin profilinin üst 30 m'si için hesaplanır. Üst 30 m'de farklı kaya ve zemin tabakaları içeren profiller sayısı 1'den n'ye kadar olmak üzere bu tabakalara ayrılır. i sembolü 1'den n'ye kadar olan herhangi bir tabakayı temsil etmektedir.

Burada

v_{si} = kayma dalgası hızı (m/sn)

d_i = 1 ila 30 m arasında yer alan her bir tabakanın kalınlığı

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}} \quad \left(\sum_{i=1}^n d_i = 30m \right)$$

N_i = süzülten yapılmamış standart penetrasyon sayısı (ASTM D 1586, 100 vuruş/ft'den büyük alınmayacaktır.)

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (\text{kaba daneli veya ince daneli zemin tabakaları ve kayalar için})$$

$$\bar{N}_{ch} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^m \frac{d_i}{N_i}} \quad (\text{kaba daneli zeminler için, } \sum_{i=1}^m d_i = d_s)$$

d_s = üst 30 m'de kaba daneli zeminlerin toplam kalınlığı

s_{ui} = Drenajsız kayma mukavemeti (kPa), (ASTM D 2166 veya D 2850, 250 kPa'dan büyük alınmayacaktır.)

$$\bar{s}_u = \frac{d_c}{\sum_{i=1}^k \frac{d_i}{s_{ui}}} \quad (\text{ince daneli zeminler için, } \sum_{i=1}^k d_i = d_c)$$

d_c = üst 30 m'de ince daneli zeminlerin toplam kalınlığı

PI = Plastisite indisi

w = Su muhtevası

6.2.2.1. Zemin sınıflandırması için adımlar

1. F sınıfı zemin için tanımlanan dört grup kontrol edilir. Saha bu dört gruptan herhangi birine giriyor ise Zemin Sınıfı F olarak değerlendirilir ve sahaya özel değerlendirme yapılır.

2. 3 metreden kalın yumuşak kil tabakası olup olmadığı kontrol edilir (gerekli kriterler $PI > 20$, $w \geq \%40$ ve $\bar{s}_u < 25$ kPa). Var ise Zemin Sınıfı E atanır.
3. $\bar{v}_s$, $\bar{N}$ veya $\bar{s}_u$ yöntemlerinden herhangi bir kullanılarak zemin sınıfı belirlenir.
 - a. Üst 30 m için $\bar{v}_s$ yöntemi
 - b. Üst 30 m için $\bar{N}$ yöntemi
 - c. Kaba daneli zeminlerde ($PI < 20$) üst 30 m için $\bar{N}_{ch}$ yöntemi ve ince daneli zeminlerde ($PI > 20$) üst 30 m için $\bar{s}_u$ yöntemi

Tablo 4. NEHRP 2003 hükümlerindeki zemin sınıfları.

Zemin Sınıfı	Açıklama	$\bar{v}_s$ (m/sn)	$\bar{N}$ veya $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa) ^a
C	Çok sıkı zemin ve yumuşak kaya	360 - 760	> 50	> 100
D	Sert zemin	180 - 360	15 - 50	50 - 100
E	Yumuşak zemin	< 180	< 15	< 50
^a $\bar{s}_u$ yöntemi kullanılmış ve $\bar{N}_{ch}$ ile $\bar{s}_u$ kriterleri farklı sonuç veriyor ise, daha yumuşak olan zemin sınıfı seçilmelidir.				

Zemin Sınıfı B, kaya için kayma dalgası hızına dayanılarak atanmalıdır. Az aşınmış sert kayalar için kayma dalgası hızının tahminine izin verilir. Yüksek derecede aşınmış veya kırılmış kayalar için kayma dalgası hızı ölçülmeli veya Zemin Sınıfı C atanmalıdır.

Zemin Sınıfı A ataması sahada Vs ölçümleri veya aynı kaya türündeki profiller üzerinde yapılan ölçümler ile yapılmalıdır.

Kaya tabakası ile temel seviyesi arasında 3 m'den fazla bir zemin tabakası var ise Zemin Sınıfı A veya B atanmamalıdır.

6.3. Zaman Tanım Alanında Belirleme

Deprem yer hareketinin zaman tanım alanında akselerogram (ivme kaydı) olarak belirlenmesi için aşağıda verilen özelliklere sahip en az üç ivme kaydının seçilerek, bunlardan elde edilen en elverişsiz davranış değerlerinin (veya yedi adet kayıttan elde edilen ortalama davranış değerlerinin) tasarıma esas teşkil etmesi gerekir.

- Kullanılacak ivme kayıtları manyitüd, fay mesafesi ve kaynak mekanizması bakımından göz önüne alınan en büyük depremi kontrol eden parametrelerle uyum içinde olmalıdır.
- Elastik davranış spektrumu ile uyumlu yapay akselerogramlar üretilebilir.
- Aynı akselerogramın her iki yatay doğrultu için kullanılması mümkün değildir.

- Yer hareketleri dizisi, %5 sönümlü davranış spektrumlarının $0.2T$ ile $1.5T$ arasındaki değerlerinin ortalaması inşaat mahalline ait (saha-spesifik) tasarım spektrumundan daha düşük olmayacak şekilde ölçeklendirilecektir. Burada T yapının incelenen doğrultudaki birinci doğal periyodudur.
- Sahaya ait veri olmaması halinde, akselerogramların stasyoner kısmının süresi en az 10 sn. olmalıdır.
- Tüm mesnet noktalarında aynı yer hareketinin oluşacağı kabulü mümkün olmayan özel yapılar için, üç boyutlu asenkronize yer hareketi modelleri kullanılmalıdır.
- Yeterli sayıda uygun yer hareketi kaydının bulunamaması halinde gerekli sayıya ulaşmak amacıyla uygun bir şekilde simüle edilmiş yer hareketleri kullanılmalıdır. Yapay (*simüle edilmiş*) akselerogram dizisi aşağıdaki kurallara uygun olmalıdır:
 - o Her bir akselerogramdan hesaplanan 0 saniye periyodundaki spektral tepkilerin ortalaması referans ivmeden düşük olmamalıdır.
 - o Tüm akselerogramlar kullanılarak hesaplanan %5 sönümlü ortalama elastik davranış spektrumunun her bir periyoddaki değeri, hedeflenen %5 sönümlü elastik davranış spektrumunun o periyottaki değerinin %90'ından düşük olmamalıdır.
 - o Bir deprem kaydının genliğinin $\pm 0.05g$ 'i ilk ve son olarak aştığı iki nokta arasında kalan süre yapının birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmamalıdır.

KAYNAKLAR

Ambraseys, N.(1988), Engineering Seismology, Jour. Earthq. Eng. & Struct. Dyn., v.17, pp.1-105.

Ambraseys,N. and C.Finkel (1995), The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas, EREN Publications, İstanbul.

Atakan,K., A.Ojeda, M.Meghraoui, A.Barka, M.Erdik, and A.Bodare (2002), Seismic Hazard in Istanbul following the 17 August 1999 İzmit and 12 November 1999 Düzce Earthquakes, Bulletin of the Seismological Society of America, Volume 92, Number 1, February 2002.

Barka A. A. and K. Kadinsky-Cade, , “Strike-Slip Fault Geometry in Turkey and its influence on earthquake activity”, Tectonics, Vol. 7, No. 3, pp: 663-684, 1988.

Basham,P.W., J.Adams, D.H.Weichert ve S.Halchuk (1995), Forth Generation Seismic Hazard Maps for Canada, Proc. 11th Course on Active Faulting Studies for Seismic Hazard Assessment, Int.School of Solid Earth Geophysics, Erice, Italya, 27 Eylül-5 Ekim 1995.

Bender, B. and D.M. Perkins (1987), SEISRISK III: A computer program for seismic hazard Estimation, USGS Bulletin 1772, U.S Government Printing Office.

Bommer, J., R.Spence, M.Erdik, S.Tabuchi, N.Aydinoglu, E.Booth, D. del Re, O.Peterken (2002), Development Of And Earthquake Loss Model For Turkish Catastrophe Insurance, Journal of Seismology, 6: 431-466.

Boore, D.M (1997), Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak acceleration from Western North American Earthquakes: A summary of Recent work. Seismological Research Letters, Vol:68, No:1

Bozkurt E., 2001, “Neotectonics of Turkey – a Synthesis”, *Geodinamica Acta*, 14

Burton,P.W, R.W.McGonigle, R.W.Macropoulos and S.B.Üçer (1984), Seismic Risk in Turkey, the Aegean, and the Eastern Mediterranean: the occurrence of large magnitude earthquakes, Geophys.J.R.Astr.Soc. 78, 475-506

European Macroseismic Scale 1998, EMS-1998,
<http://www.gfz-potsdam.de/pb5/pb53/projekt/ems>

Campbell, K. W. (1997). Empirical Near-Source Attenuation Relationships for Horizontal and Vertical Components of Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Pseudo-Absolute Acceleration Response Spectra, Seismological Research Letters, Vol. 68, No. 1, pp. 154-179.

Campbell, K. W. And Bozorgnia Y. (2003) Updated Near-Source Ground- Motion (Attenuation) Relationships for the Horizontal and Vertical Components of Peak

Ground Acceleration and Acceleration Response Spectra, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 93, No.1, pp:314-331

Doyuran, V. (1987), Seismic Source Regionalization, in Strong Ground Motion Seismology, ed.by M.Erdik, M.N.Toksöz, Reidel, pp.461-479.

Erdik, M. (1996), Natural Hazards and Vulnerabilities in Turkey, Report prepared for Oxford Center for Disaster Studies, Oxford, England.

Erdik, M. and Oner, S., 1982. A rational approach for the probabilistic assessment of the seismic risk associated with the North Anatolian Fault. In: A. Işıkara and Vogel (Editors), Multi-disciplinary Approach to Earthquake Prediction. Vieweg, Braunschweig-Wiesbaden, pp. 115-127.

Erdik, M., Doyuran, V., Yüccemen, S., Gülkan, P. and Akkaş, N., 1982. A probabilistic assessment of the seismic hazard in Turkey for long return periods. Proc. 3rd Int. Earthquake Microzonation Conf., Seattle, Wash, pp. 1261-1272.

Erdik, M., V. Doyuran, N. Akkaş, P. Gülkan, A probabilistic assessment of the seismic hazard in Turkey, Tectonophysics, 117 (1985), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp. 295-344.

Erdik, M. M.Demircioğlu, K.Şeşetyan, E.Durukal ve B.Siyahi (2004), Assessment of Probabilistic Earthquake Hazard in the Marmara Region, Soil Dynamic and Earthquake Engineering, Vol: 24, 605–631.

Erdik, M., V. Doyuran, N. Akkaş and P. Gülkan (1985), A Probabilistic Assessment of the Seismic Hazard in Turkey, Tectonophysics, 117: 295-344.

Eyidoğan ve diğ (1991) Türkiye Büyük Depremleri Makro-Sismik Rehberi (1900-1988)

Frankel, A., Mueller, C., Barnhard, T. , Perkins, D., Leyendecker, E. V., Dickman, N., Hanson, S. and M. Hopper, 1996. *National Seismic-Hazard Maps: Documentation June 1996*, USGS Open-File Report 96-532: United States Geological Survey.

Giardini, D. and P. Basham (1993): The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP), Ann. di Geofisica, 36, 3-14

Gülkan, P., A.Koçyiğit, M.S.Yüccemen, V.Doyuran and N.Başöz (1993), A Seismic Zones Map of Turkey Derived from Recent Data (in Turkish), Middle East Technical University, Earthquake Engineering Research Center, Report No:93-01, Ankara.

Hattori, S., 1979. Seismic risk maps in the world, 11. Bull. Int. Inst. Seismol. Earthquake Eng., 17: 33-96.

ISC. From 1964. Bulletin of the International Seismological Centre. (Newbury: International Seismological Centre.) [A monthly list of station readings: interpreted by location and magnitude of each source.]

ISS. 1918-1964. International Seismological Summary. (London: IUGG and British Association Seismological Committee).

Jimenez, M., D.Giardini, G.Grunthal, M.Erdik, M.Garcia-Fernandez, J.Lapajne, K.Makropoulos, R.Musson, Ch. Papaioannou, A.Rebez, S.Riad, S.Sellami, A.Shapira, D.Slejko, T. van Eck, A.El Sayed (2001), Unified Seismic Hazard Modeling Throughout The Mediterranean Region, *Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 42: pp.3-18, Mar-June 2001.

Jordanovski, L.R., & M.I. Todorovska (1995). Earthquake source parameters for seismic hazard assessment: how to obtain them from geologic data, historic seismicity and relative plate motions, in G. Duma (Ed.), *Proc. 10th European Conf. Earthquake Engrg*, Aug. 28 - Sept. 2, 1994, Vienna, Austria. Spec. Theme Sess. S01.2: Source mechanism, Balkema, Rotterdam, 1995, Vol. 4, pp. 2561-2566.

Kiremidjian, A.S., C.Mortgat ve H.Shah (1992), Stanford Seismic Hazard Analysis-STASHA, The John Blume Earthq. Engrg. Ctr., Stanford Univ., Stanford, CA.

McGuire, K.R 1976, "FORTRAN computer program for seismic risk anaysis", U.S. Geol. surv. open file report no:76-67

McGuire, R.K. (1993), Computations of Seismic Hazard, *Annali di Geofisica*, v.36, pp.181-200

McGuire, R., 2001. *FRISK-88M User's Manual* (version 1.80), Risk Engineering Inc., Boulder, Colorado

Muir-Wood, R.(1993), From Global Seismotectonics to Global Seismic Hazard. *Annali di Geofisica*, v.36, pp.153-169.

NEHRP (1997), Recommended Provisions For Seismic Regulations For New Buildings and Other Structures, FEMA-303, Prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.

NEHRP (2003) Recommended Provisions For New Buildings And Other Structures, FEMA-450, prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.

Ordaz, M 2001, "CRISIS2001. A computer program to compute seismic hazard", authonomous University of Mexico (UNAM).

Özbey, C., A. Sari, L. Manuel, M. Erdik, Y. Fahjan (2004), An Empirical Attenuation Relationship for Northwestern Turkey Ground Motion Using A Random Effects Approach, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*

Richter, C.F., (1958), Elementary Seismology, W.H. Freeman and Co. Inc., San Francisco

Sadigh K, Chang CY, Egan JA, Makdisi F, Youngs RR (1997), "Attenuation Relationships for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data," *Seismological Research Letters*, 68 (1): 180-189.

Saroğlu, F., O. Emre and I. Kuscu, "Active Fault Map of Turkey", Mineral Res. Explor. Inst. Turkey, 1992.

Schwartz, D. P., and Coppersmith, K. J. 1984. "Fault Behavior and Characteristic Earthquakes from the Wasatch and San Andreas Faults," *Journal of Geophysical Research*, Vol 89, pp 5681-5698.

Stein, R.S. ve A.A.Barka (1995), Stress Triggering of Progressive Earthquake Failure on the North Anatolian Fault, Turkey, Since 1939: Implications for the Interaction of Faults and the Forecast of Hazard, Proc.11th Course: Active Faulting Studies for Seismic Hazard Assessment, Int. School of Solid Earth Geophysics, Italy

Stepp, J.C., (1973). Analysis of completeness of the earthquake sample in the Puget Sound area. In: S.T. Harding (Editor), Contributions to Seismic Zoning. NOAA Tech. Rep. ERL 267-ESL 30, U.S. Dep. of Commerce.

TEFER (2000), A Probabilistic Seismic Hazard Assessment For Turkey, Report prepared in connection with the Improvement Of Natural Hazard Insurance And Disaster Funding Strategy (TEFER) Project, Başbakanlık Hazine ve Dış ticaret Müsteşarlığı - Sigortacılık Genel Müdürlüğü.

Weichert, D.H. (1980), Estimation of the Earthquake Recurrence Parameters for Unequal Observation Periods for Different Magnitudes, *Bull.Seism.Soc.Am.*, 70, 1337-1346.

Wells& Coppersmith (1994) New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area and Surface Displacement *Bull.Seism.Soc.Am.*, Vol:184 pp 963-1291

Yarar, R., Ergünay, O., Erdik, M. and Gülkan, P., 1980. A preliminary probabilistic assessment of the seismic hazard in Turkey. *Proc. 7th World Conf. Earthquake Eng.*, Istanbul, pp. 309 316.

Youngs, R.R. ve K.J.Coppersmith (1985), Implications of Fault Slip Rates and Earthquake Recurrence Models to Probabilistic Seismic Hazard Estimates, *Bull.Seism. Soc. Am.*, v.75, pp.939-964.