T.C. ULAŞTIRMA VE ALTYAPI BAKANLIĞI

TEKNİK ARAŞTIRMA VE KALİTE YÖNETİMİ DAİRESİ BAŞKANLIĞI

KAPLAMA ÖLÇÜM VE KİMYA ŞUBE MÜDÜRLÜĞÜ

ELEKTRONİK PÜRÜZLÜLÜK CİHAZI İLE PÜRÜZSÜZLÜĞÜN ÖLÇÜLMESİ (IRI/BBI) TEKNİK ŞARTNAMESİ

AYGM
Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü

Şubat 2025

T.C.

ULAŞTIRMA VE ALTYAPI BAKANLIĞI

ALTYAPI YATIRIMLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

TEKNİK ARAŞTIRMA VE KALİTE YÖNETİMİ DAİRESİ BAŞKANLIĞI

ELEKTRONİK PÜRÜZLÜLÜK CİHAZI İLE PÜRÜZSÜZLÜĞÜN ÖLÇÜLMESİ (IRI/BBI) TEKNİK ŞARTNAMESİ

Halit YILMAZ Makine Teknikeri	Kenan USLU Hidrojeoloji Mühendisi
Murat FEYZİFAR Jeoloji Mühendisi	Levent KADIOĞLU Şube Müdürü Y.
	Dr. Yavuz YEGİN Daire Başkanı
Uygun görüşle arz ederim. **Erhan Ümit EKİNCİ** Genel Müdür Yardımcısı V.	**ONAY** 10/02/2025 **Dr. Yalçın EYİGÜN** Genel Müdür

İÇİNDEKİLER

1. UYGULAMA REHBERİNİN AMACI 7
ELEKTRONİK PÜRÜZLÜLÜK DENEYİ UYGULAMA REHBERİ 8
2. ELEKTRONİK PÜRÜZLÜLÜK DENEYİ 9
2.1. IRI (INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX) 10
2.1.1. PROFİL TANIMI 10
2.1.2. PÜRÜZLÜLÜĞÜN TANIMI 11
2.1.2.1. HAVALİMANI KAPLAMA PÜRÜZLÜLÜĞÜ 16
2.1.3. ÖLÇÜM PROSEDÜRÜ 18
2.1.3.1. SİNYAL İŞLEME 20
2.1.3.2. ÖRNEKLEM ARALIĞI 20
2.1.3.3. FİLTRELEME 23
2.1.3.4. HAREKETLİ ORTALAMA 23
2.1.4. KAPLAMALARIN PÜRÜZLÜLÜK LİMİTLERİ 27
2.2. BBI METODU 28
2.2.1. TANIM VE AMAÇLAR 28
2.2.1.1. DENEYİN GENEL AMACI 28
2.2.1.2. ARAZİ DENEYİNİN SPESİFİK HEDEFLERİ 28
2.2.1.3. KAPLAMA PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİNDE ÖNEMLİ FAKTÖRLER 28
2.2.1.3.1. KAPLAMA YÜZEY DÜZENSİZLİKLERİ 28
2.2.1.3.2. HAVALİMANI VE OTOYOL PÜRÜZLÜLÜĞÜ 28
2.2.1.3.3. HAVALİMANI KAPLAMA PÜRÜZLÜLÜĞÜ KATEGORİLERİ 29
2.2.1.3.3.1. TEK OLAYLI TÜMSEK 29
2.2.1.3.3.2. PROFİL PÜRÜZLÜLÜĞÜ 29
2.2.1.3.4. YOLCU KONFORU 29
2.2.1.3.5. UÇAK OPERASYONLARININ GÜVENLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER 29
2.2.1.3.6. PİLOT YANITI VE GERİ BİLDİRİM 30
2.2.1.3.7. YÜZEY DOKUSU 30
2.2.1.3.8. İNŞAAT STANDARTLARI 30
2.2.2. PİST KAPLAMASINDA TEK OLAYLI TÜMSEKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ 30
2.2.2.1. TEK OLAYLI TÜMSEK DEĞERLENDİRMESİNE GİRİŞ 30
2.2.2.2. BOEİNG ÇARPMA OLAYI TANIMLAMA PROSEDÜRÜ 31
2.2.2.2.1. TEMEL PROSEDÜR 31
2.2.2.2.2. MAKSİMUM MASTAR UZUNLUĞU 31
2.2.2.2.3. MİNİMUM MASTAR UZUNLUĞU. 31
2.2.2.2.4. BİR ARAŞTIRMA ARALIĞIYLA İLİŞKİLİ MASTAR SAYISI 33
2.2.2.2.5. ÖNERİLEN ARAŞTIRMA ARALIĞI 33
2.2.2.2.6. ÖNERİLEN ARAŞTIRMA KONUMU 33
2.2.2.2.7. ATALETSEL PROFİLOMETRELERİN KULLANIMI 34
2.2.2.3. BOEİNG ÇARPMA PARAMETRELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ 34
2.2.2.3.1. ÇARPMA DEĞERLENDİRME PROSEDÜRLERİ 34
2.2.2.3.2. DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ 34
2.2.2.4. BOEİNG BUMP İNDEKSİNİN GELİŞİMİ 36
2.2.2.4.1. BOEİNG BUMP ENDEKSİ İHTİYACI 36
2.2.2.4.2. BOEİNG ÇARPMA İNDEKSİNİ HESAPLAYACAK YAZILIMIN GELİŞTİRİLMESİ 37

2.2.2.4.3. PROFAA YAZILIMI 37
2.2.2.4.4. ORİJİNAL BOEİNG ÇARPMA PROSEDÜRÜYLE KARŞILAŞTIRMA 37
2.2.2.5. BBI DEĞERİ İLE KAPLAMA PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ 38
2.2.2.5.1. BOEİNG ÇARPMA ENDEKSİ DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ 38
2.2.2.5.2. BOEİNG BUMP ENDEKSİNİN PROFAA RAPORLAMASI 38
2.2.2.6. İNŞAAT SIRASINDA GEÇİCİ KAPLAMA GEÇİŞLERİ 39
2.2.3. PROFAA YAZILIMI KULLANMA 39
2.2.3.1. PROFAA YAZILIMININ GELİŞTİRİLMESİ 39
2.2.3.2. PROFAA'YA VERİ GİRİŞİ 39
2.2.3.2.1. VERİ FORMATI DÖNÜŞÜMÜ 39
2.2.3.2.2. PROFAA GİRİŞ VE ÇIKIŞ FORMATLARI 40
2.2.3.2.3. VERİ FORMATI DÖNÜŞTÜRME ÖRNEĞİ 41
2.2.3.2.4. PROFİL FORMATINI DÖNÜŞTÜRME PROGRAMININ KULLANIMI 43
2.2.3.2.5. BBI DEĞERİNİ HESAPLAMAK 43
2.3. PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ KARŞILAŞTIRMASI 45
2.3.1. GİRİŞ 45
2.3.2. ISO HIZLANMA ENDEKSLERİ 45
2.3.3. İSTATİSTİKSEL ANALİZ 46
2.3.4. İSTATİSTİKSEL REGRESYON ANALİZİ SONUÇLARI 47
2.3.4.1. B737 PİST MODELLERİ 47
2.3.4.2. A330 PİST MODELLERİ 47
2.3.5. PİST MODELLERİ ÖZETİ 48
2.3.6. TAKSİYOLU MODELLERİ ÖZETİ 49
2.3.7. SONUÇ 50
EKLER 51
EK 1 - PROFAA 52
EK 2 - HAVACILIK ALFABESİ 57
EK 3 - TANIMLAR 59
EK 4 - KISALTMALAR 68
EK 5 - KAYNAKLAR 71
EK 6 - DEĞİŞİKLİKLER 74

ŞEKİLLER

ŞEKİL 1. PROFİL ÇEŞİTLERİ 10
ŞEKİL 2. IRI ÖLÇÜMÜ İÇİN ÇEYREK-ARAÇ MODELİ 11
ŞEKİL 3. MİKRODOKU VE MAKRODOKU 13
ŞEKİL 4. ORTALAMA PROFİL DERİNLİĞİ 13
ŞEKİL 5. DOKU, DALGA BOYU VE MEKANSAL FREKANSIN TANIMI 15
ŞEKİL 6. LAZER PROFİLOMETRE EKİPMANI ÇALIŞMA PRENSİBİ 18
ŞEKİL 7. LAZER PROFİLOMETRE EKİPMANI ÖLÇÜM YÜKSEKLİĞİ AYARI 18
ŞEKİL 8. LAZER PROFİLOMETRE KURULUM ŞABLONU 19
ŞEKİL 9. GPS KURULUM ŞABLONU 19
ŞEKİL 10. GERÇEK EĞİMİN YAKINDAN GÖRÜNÜMÜ 21
ŞEKİL 11. İKİ NOKTA ARASINDAKİ ÖLÇÜLEN EĞİM 21
ŞEKİL 12. ÖRNEK ARALIĞI-RMS EĞİMİ İLİŞKİSİ 22
ŞEKİL 13. KONVOLÜSYON, ÇAPRAZ KORELASYON VE OTOKORELASYON KIYASLAMASI 24
ŞEKİL 14. HAREKETLİ ORTALAMA FİLTRESİ 25
ŞEKİL 15. ÇARPMA YÜKSEKLİĞİ ÖLÇÜMÜ ŞEMASI 32
ŞEKİL 16. MİNİMUM MASTAR MESAFESİ BELİRLEME 32
ŞEKİL 17. TEK OLAYLI TÜMSEK-PÜRÜZLÜLÜK KABUL KRİTERLERİ 35
ŞEKİL 18. BOEİNG BUMP ENDEKSİ - PÜRÜZLÜLÜK KABUL KRİTERLERİ 38
ŞEKİL 19. PROFİL BİÇİMİNİ DÖNÜŞTÜRME PROGRAMININ EKRAN GÖRÜNTÜSÜ 40
ŞEKİL 20. ÖRNEK PROFİLİ VE PROFİLDEN HESAPLANAN BBI DEĞERİNİ GÖSTEREN PROFAA EKRAN GÖRÜNTÜSÜ 43
ŞEKİL 21. BBI ÇIKTISININ YAKINLAŞTIRILMIŞ KISMI 44
ŞEKİL 22. SEÇİLEN BİR NOKTADA BBI DETAYLARI 44

TABLOLAR

TABLO 1. UÇAK TASARIM GRUBU (ADG) 17
TABLO 2. PROFİL FORMATINI DÖNÜŞTÜRMEK İÇİN GİRİŞ VE ÇIKTI DOSYA FORMATLARI 40
TABLO 3. ŞEKİL 19'TE GÖSTERİLEN ÖRNEK VERİLER 42
TABLO 4. B737 PİST MODELLERİ 47
TABLO 5. A330 PİST MODELLERİ 47
TABLO 6. B737 İÇİN İSTATİSTİKSEL MODELLERİN ÖZETİ 48
TABLO 7. A330 İÇİN İSTATİSTİKSEL MODELLERİN ÖZETİ 48
TABLO 8. PİST İÇİN B737 VE A330 MODELLERİNİN KORELASYON KATSAYILARININ KARŞILAŞTIRILMASI 48
TABLO 9. TAKSİ YOLLARINDA B737 İÇİN PÜRÜZLÜLÜK İNDEKSİ MODELLERİ 49
TABLO 10. TAKSİ YOLLARINDA A330 İÇİN PÜRÜZLÜLÜK İNDEKSİ MODELLERİ 49
TABLO 11. PİSTLERİN KABUL EDİLEBİLİRLİK LİMİTLERİ 56
TABLO 12. TAKSİYOLLARININ KABUL EDİLEBİLİRLİK LİMİTLERİ 56
TABLO 13. HAVACILIK ALFABESİ 58

1. UYGULAMA REHBERİNİN AMACI

Bu rehberin amacı Elektronik Pürüzlülük (IRI/BBI) deneyleri ile ilgili saha çalışmaları öncesi ofis hazırlıkları, arazide deneylerin nasıl gerçekleştirileceği ve elde edilen verilerden doğru sonuçlara hangi yöntemlerle ulaşılacağı ile ilgili olarak ofis ve saha personeline (teknisyen/tekniker/mühendis vb.) kılavuz sağlamaktır.

ELEKTRONİK PÜRÜZLÜLÜK DENEYİ UYGULAMA REHBERİ

ELEKTRONİK PÜRÜZLÜLÜK DENEYİ
UYGULAMA REHBERİ

2. ELEKTRONİK PÜRÜZLÜLÜK DENEYİ

Rijit ve esnek kaplamaların yüzey profili verileriyle tanımlanan pist pürüzlülüğünün ölçülmesi ve değerlendirilmesinde aşağıdaki yöntem ve standartlar takip edilmiştir

1) AASHTO M 328 - Standard Specification for Inertial Profiler

2) AASHTO R 57 - Standard Practice for Operating Inertial Profiling Systems

3) ASTM D 5340 - Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys

4) ASTM E 867- Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems

5) ASTM E 950 - Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer-Established Inertial Profiling Reference

6) ASTM E 1170 - Standard Practices for Simulating Vehicular Response to Longitudinal Profiles of Traveled Surfaces

7) ASTM E 1364 - Standard Test Method for Measuring Road Roughness by Static Level Method

8) ASTM E 1845 - Standard Practice For Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth

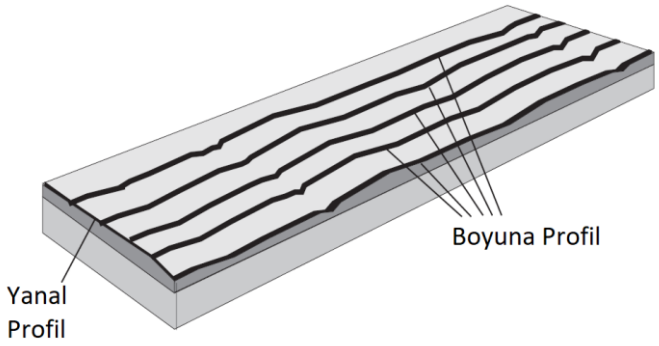
9) ASTM E 1926 - Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements

Bu doküman, yüzey düzensizliklerinin miktarının belirlenmesine ve yüzey düzensizliklerinin belirli uçak kategorilerini nasıl etkileyebileceğinin belirlenmesine yönelik teknik prosedürleri sağlamaktadır.

2.1. IRI (INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX)

2.1.1. PROFİL TANIMI

Yanal bir çizgi boyunca alınan profiller, yol tasarımının yüksekliğini ve tepesini, ayrıca tekerlek izlerini ve diğer sıkıntıları gösterir. Boyuna profiller tasarım derecesini, pürüzlülüğü ve dokuyu gösterir.



Şekil 1. Profil Çeşitleri

Bir yolun, kaplamanın veya zeminin profili, yüzeydeki herhangi bir sürekli hayali çizgi boyunca ölçülebilir. Bir ölçüm tekrarlandığında aynı profilin oluşması ancak aynı hayali çizginin takip edilmesi durumunda beklenebilir. (Tekrarlanabilir ölçümler elde etmek için, fiziksel olarak işaretlemek üzere boya veya bant kullanılarak çizginin daha az hayali olmasına yardımcı olur.)

Eğri bir çizgi için profili ölçmek mümkündür. Normalde bir yoldan beklenen, çizginin merkez çizgisinden veya yol geometrisini takip eden başka bir referanstan sabit bir mesafede olmasıdır. Profil sıklıkla her tekerlek izinde bir tane olmak üzere şerit başına iki çizgi boyunca ölçülür. Daha fazla ayrıntı için istenilen sayıda çizgi ölçülebilir.

Genişlik genellikle kullanılan aletin türüne göre tanımlanır. Örneğin, lazer sistemiyle yapılan ölçümler yolun yalnızca birkaç milimetre kalınlığında bir dilimini kaplayabilirken, ultrasonik sistemle yapılan ölçümler birkaç santimetrelik daha kalın bir dilimi kapsayabilir.

Profil konseptini görselleştirmek kolaydır. Fiziksel bir yüzeye çizilen bir çizginin “gerçek profil”inin var olduğunu görmek kolaydır. Ancak profili ölçme gereklilikleri verilerle ne yapmak istenildiğine bağlıdır. Örneğin profilin tamamen farklı iki kullanımını düşünülürse, öncelikle yeni bir yol yapılacağı varsayılabilir. Tasarımcı yolun her iki tarafından profili isteyebilir. Profil, birkaç milimetrelik çözünürlüğe sahip ölçümlerle, birkaç yüz metre boyunca 3 metre aralıklarla alınan yükseklik noktalarıyla tanımlanacaktır. Şimdi, ikinci bir uygulama için, ölçülen profile dayalı olarak dokuyu karakterize etmek için bir bilgisayar analizi düşünülürse, analiz, 0,1 mm (0,004 inç) çözünürlüğe sahip, 1 metrelik bir mesafe boyunca 1,0 mm (0,04 inç) aralıklı profil noktaları gerektirecektir. Her iki sayı grubu da yoldaki bir çizginin “gerçek profilinin” parçasıdır.

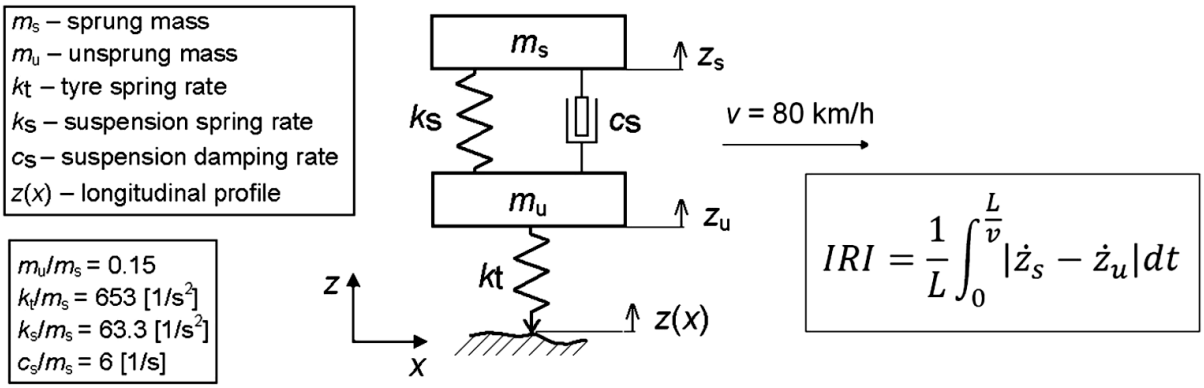
2.1.2. PÜRÜZLÜLÜĞÜN TANIMI

Uluslararası pürüzlülük indeksi (IRI), ölçülen kaplama profillerinden en yaygın olarak elde edilen pürüzlülük indeksidir. Eğim birimleri inç/mil, m/km, vb. şeklinde verilebilir.

Karayolu endüstrisi, kaplamanın düzgünlüğünü/pürüzlülüğünü bir yolcunun deneyimlediği sürüş kalitesi açısından tanımlar. Tanımın tam olarak karşılığı şudur: "Taşıt dinamiklerini, sürüş kalitesini, dinamik yükleri ve drenajı etkileyen karakteristik boyutlara sahip bir kaplama yüzeyinin enine profil ve çapraz eğim gibi gerçek düzlemsel yüzeyden sapması" *(ASTM E867 Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems).* Bu, yol pürüzlülüğüne katkıda bulunan faktörleri kapsar. Ancak pürüzlülük için niceliksel bir tanım veya standart bir ölçek sağlamaz. Ayrıca drenaj ve sürüş kalitesi gibi genellikle birbiriyle ilgisi olmayan nitelikleri de içeren çok geniş bir kavramdır.

Dünya Bankası *(World Bank Technical Paper Number 46)* ise IRI'yı şu şekilde tanımlamıştır: "IRI, tepki tipi yol pürüzlülüğü ölçüm sistemleri (Response-Type Road Roughness Measurement Systems, RTRRMS) tarafından elde edilenlerle ilgili standartlaştırılmış bir pürüzlülük ölçümüdür: kilometre başına metre (m/km) = metre başına milimetre (mm/m) = eğim x 1000." Örneğin, değer 10 m/km ise, yolun genliği (yukarı ve aşağı) her yol uzunluğunda km başına 10 m'dir. IRI değeri, kaplama yüzeyiyle orantılıdır. Bu nedenle, IRI geometrik bir yol karakteristiğidir. Aynı yön için aynı değerleri üreten zaman açısından kararlı bir endekstir. Ayrıca, IRI yol performans göstergelerinden biri ve yolun yıpranmasına dair iyi bir tahmin modelidir.

RTRRMS'den elde edilen ölçü, teknik adıyla ortalama düzeltilmiş eğim *(average rectified slope, ARS)* veya daha yaygın olarak kullanılan birimlerle (mm/km, in/mi, vb.) ifade edilir. ARS ölçüsü, bir aracın toplam süspansiyon hareketinin (inç, mm vb.), test sırasında aracın kat ettiği mesafeye (mi, km vb.) bölünmesiyle elde edilen orandır. IRI için kullanılan referans RTRRMS, mekanik bir sistemden ziyade matematiksel bir modeldir ve ölçülen bir profile uygulanan bir hesaplama prosedürü olarak var olur. Hesaplama prosedürüne çeyrek araç simülasyonu (quarter-car simulation, QCS) adı verilir. Referans simülasyonundan elde edilen ölçüme Referans ARS (RARS) adı verilir. Ölçüm türü aracın hızına göre değişmektedir ve bu nedenle IRI tanımında standart hız 80 km/h olarak belirtilmiştir. Bu nedenle, IRI'nin daha teknik adı $RARS_{80}$'dir ve 80 km/h hızdaki bir referans (R) cihazından alınan ortalama düzeltilmiş eğimin (Average Rectified Slope, ARS) ölçüsünü belirtir.



Şekil 2. IRI Ölçümü için Çeyrek-Araç Modeli

Pürüzlülük verisi toplama ekipmanlarından, genellikle “yol ölçerler” olarak adlandırılan tepki tipi yol pürüzlülük ölçerlerdir (RTRRM). RTRRM sistemleri, bir kaplama ağının rutin olarak izlenmesi ve ağın durumu hakkında genel bir resim sağlamak için yeterlidir. Çıktı, yöneticilere genel ağ durumu ve bakım ihtiyaçları hakkında genel bir gösterge sağlayabilir.

RTRRM'ler, bir otomobilin arka aksının veya bir römorkun aksının araç şasisine göre dikey hareketlerini ölçer. Ölçerler, aksın ortası ile bir binek otomobil veya römorkun gövdesi arasında bulunan gövde üzerinde bir yer değiştirme dönüştürücüsü bulunan araçlara takılır. Dönüştürücü, araç gövdesine göre küçük aks hareketi artışlarını algılar. Çıktı verileri, gerçek aks gövdesi hareketinin seyahat süresine göre bir şerit grafik çiziminden oluşur.

Bir RTRRM'nin dezavantajı, ölçülen aks gövdesi hareketinin zamana göre belirli ölçüm aracının dinamiklerine bağlı olmasıdır ve bu da iki istenmeyen etkiye neden olur:

1. Pürüzlülük ölçüm yöntemleri zamanla sabit hale getirilememiştir. Bugün yol ölçerlerle yapılan ölçümler, birkaç yıl önce yapılanlarla güvenle karşılaştırılamaz.

2. Pürüzlülük ölçümleri taşınabilir değildir. Bir sistem tarafından yapılan yol ölçer ölçümleri, başka bir sistem tarafından nadiren tekrarlanabilir.

Bu iki etki nedeniyle, profilometre cihazları daha popüler hale gelmiştir.

Profilometre cihazları, belirli bir aralıktaki kaplama profilinin doğru, ölçekli ve eksiksiz kopyalarını sağlamak için kullanılır. Birkaç formda mevcuttur ve RTRRM'lerin kalibrasyonu için kullanılabilir. Ekipman oldukça pahalı ve karmaşık hale gelebilir. Günümüzde üç genel profilleme sistemi türü kullanılmaktadır:

1. Düz kenar (straightedge). En basit profilleme sistemi düz kenardır. Düz kenarda, bir tekerleğe monte etmek gibi değişiklikler, bir profilografla sonuçlanır.

2. Düşük hızlı sistemler. CHLOE profilometresi gibi düşük hızlı sistemler, hareketli referans düzlemleridir. CHLOE, 3 ila 8 km/h (2 ila 5 mph) düşük hızlarda çekilen uzun bir römorktur. Yavaş hız, okumalar sırasında herhangi bir dinamik tepki ölçümünü önlemek için gereklidir. Günümüzde bazı kurumlar, RTRRM’lerini kalibre etmek için hala CHLOE’yi kullanmaktadır.

3. Eylemsiz referans sistemleri (Inertial reference systems). En gelişmiş kaplama profilometre ekipmanlarının çoğu eylemsiz referans sistemini kullanır. Profilometre cihazı, ölçüm aracının gövdesine yerleştirilen ivmeölçerleri kullanarak bir eylemsiz referans oluşturarak uzunlamasına profili ölçer ve hesaplar ve araç gövdesi hareketini ölçer. İvmeölçer ile kaplama profili arasındaki bağıl yer değiştirme, bir “temaslı” veya “temassız” sensör sistemiyle ölçülür.

Havalimanlarında ise bundan farklı olarak, bir uçak süspansiyon sisteminin temel amacı iniş sırasında harcanan enerjiyi absorbe etmektir. Uçak süspansiyon sistemleri, iniş sırasında absorbe edilmesi gereken enerjinin büyüklüğünden dolayı yüzey düzensizliklerinin etkisini azaltma konusunda daha az kapasiteye sahiptir. Havalimanı kaplamalarının pürüzlülüğü, uçak bileşenlerindeki yorulma (artan gerilim ve aşınma) ve/veya uçağın güvenli çalışmasına zarar verebilecek diğer faktörler (kokpit titreşimleri, aşırı g kuvvetleri, vb.) açısından tanımlanır.

Özetle, IRI'nın en genel uygulamaları şunlardır:

1) Yapısal ve işlevsel yüzey (beton/asfalt) koşullarının tahmini,

2) Kaplama performansı,

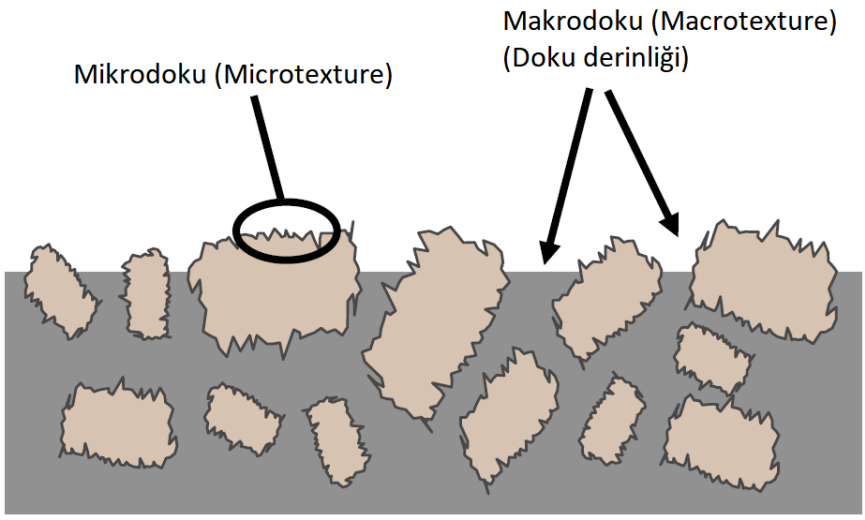
3) Kaplama yönetim sistemleri,

4) Kaplama pürüzlülüğü etkileri,

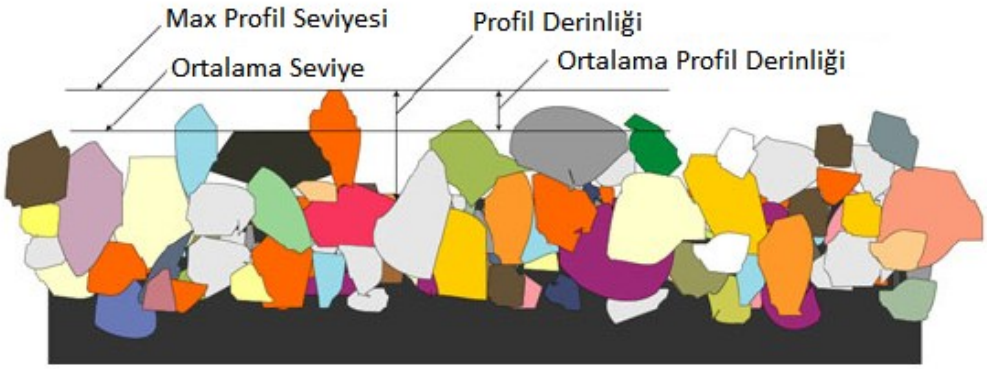
5) Kaplama bozulması tespiti.

Pürüzlülük terimi, dalga boyu alanındaki eşik sınırları literatürde açıklanmıştır ve aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. Ancak pürüzlülük ile kaplama yüzeyinin mikro, makro ve mega doku özellikleriyle karıştırılmamalıdır.

Mikro doku, kauçuk lastikler ile yol yüzeyi arasındaki yapışmayı sağlar ve bu nedenle kayma direncini korumak için hayati önem taşır. Makro doku, araç lastiklerinin altındaki yüzeyden suyun büyük kısmının hızla boşaltılmasını kolaylaştırır.



Şekil 3. Mikrodoku ve Makrodoku



Şekil 4. Ortalama Profil Derinliği

Taban uzunluğu, n—analiz edilen bir kaplama makro doku profili segmentinin uzunluğu, bu uygulamada 100 mm olması gerekir.

Tahmini doku derinliği (estimated texture depth, ETD), n—ortalama profil derinliğinin (MTD) doğrusal dönüşümü yoluyla tahmini.

Ortalama profil derinliği (mean profile depth, MPD), n—profilin tüm segmentlerinin tüm ortalama segment derinliklerinin ortalaması.

Ortalama segment derinliği (mean segment depth, MSD), n—belirli bir taban uzunluğuna sahip bir segmentin iki yarısının profil derinliğinin ortalama değeri.

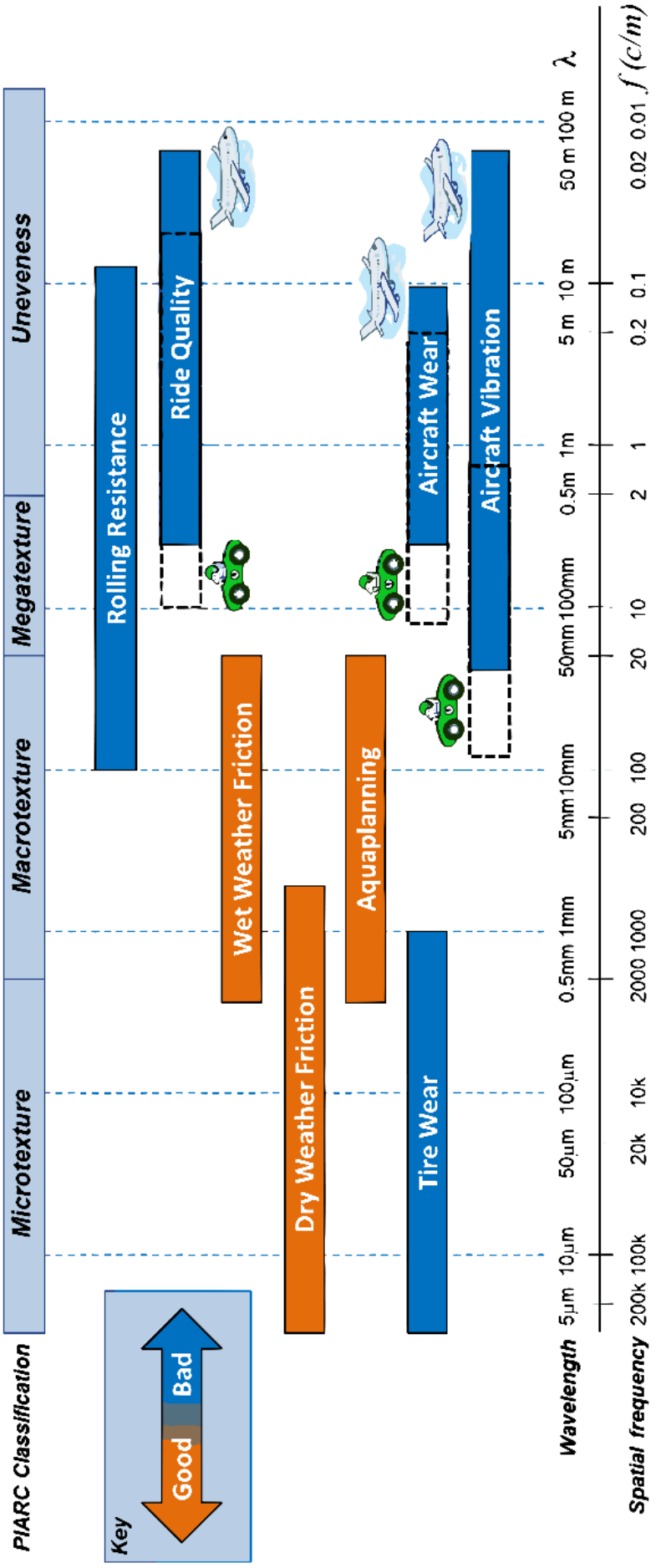
Ortalama doku derinliği (mean texture depth, MTD), n—Test Yöntemi E 965.5'in hacimsel tekniği ile belirlenen kaplama yüzey makro dokusunun ortalama derinliği

Profil derinliği (profile depth, PD), n—yol makro dokusunun genlik ölçümleri ile belirli bir taban uzunluğu içindeki en yüksek tepe noktasının tepesinden geçen yatay bir çizgi arasındaki fark.

0,05 mm - 50 m dalga boyları bölgesindeki dalga boyları araçlarda rahatsızlık ve aşınma kaynağıdır. 0,5 m - 50 m dalga boyları ise yol engebeliğinin göstergesidir, bu nedenle esas olarak 0,6 m ila 10 m arasındaki yol dalga boyunun bir fonksiyonu olan IRI, yol engebeliği ve araç rahatsızlığının iyi bir göstergesidir. 50 mm'nin altındaki dalga boylarının yol makro ve mikro dokusuyla ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu makro ve mikro dokuların etkisi 50 mm'nin altındaki dalga boylarıdır.

IRI ile süspansiyon hızı arasındaki basitleştirilmiş ilişki, aracın farklı kaplama tiplerine ve kaplama düzensizliklerine verdiği tepkinin iyi anlaşılmasını sağlar ve şu şekilde formülize edilmiştir:

$$IRI = 45\ x\ \left|\left(\dot{Z}_s\right) - \left(\dot{Z}_u\right)\right|$$



Şekil 5. Doku, Dalga Boyu ve Mekansal Frekansın Tanımı

2.1.2.1. HAVALİMANI KAPLAMA PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Tek durumlu tümsekler *(single event bump)*, kaplama yüksekliğindeki değişikliklerin 100 metre (328 feet) veya daha kısa bir mesafe boyunca meydana geldiği izole durumlardır. Bu tür yükseklik değişiklikleri ani bir dikey kayma şeklinde veya planlanan kaplama profilinden daha kademeli bir sapma şeklinde meydana gelebilir. Operasyonel hıza ve tümsek uzunluğuna bağlı olarak, bir uçak süspansiyon sistemi bir tümsekle karşılaştığında üretilen enerjiyi tam olarak absorbe edemeyebilir. Uçak bileşenleri ve yolcular darbeyi şok veya ani sarsıntı olarak hissederler. Temel "mastar" *(straightedge)* analizi, tek durumlu tümsekleri kolaylıkla tanımlayabilir. *DOT/FAA/TC-21/32* dökümanında da belirtildiği üzere inşaat kalitesinin kabulü için mastar *(straightedge)* testlerinin yapılmaya devam edilmesi tavsiye edilir.

FAA, profil pürüzlülüğünü, uçakların uçak bileşenlerindeki yorgunluğu artıracak, frenleme etkisini azaltacak, kokpit operasyonlarını bozacak ve/veya yolculara rahatsızlık verecek şekilde tepki vermesine neden olan, pistin bir bölümünde mevcut olan yüzey profili sapmaları olarak tanımlamaktadır. Pürüzlülüğün oluşturacağı tepki uçağın boyutuna, ağırlığına ve operasyon hızına bağlıdır. Pürüzlülük yolculara rahatsızlık vermese bile, uçak bileşenlerinin yorulma ömrünü etkileyebilir veya uçağın operasyonel güvenliğini azaltabilir. Uçağın özelliklerine ve çalışma hızına bağlı olarak, uçak yapısı içindeki atalet kuvvetlerini veya titreşimleri artırabilen profil pürüzlülüğü nedeniyle bir uçak, harmonik rezonansla karşılaşabilir. Tek olay tümsek *(single event bump)* değerlendirilmesinde yakın hızlarda (130 ila 200 knot) çalışan tam yüklü jet nakliye uçaklarının hareketi esas alınır ve bu değerlendirme pist uygulamaları için uygundur. Taksi yolları veya apronlar gibi trafiğin yavaş hareket ettiği kaplama alanları için muhafazakâr *(conservative)* sonuçlara neden olur. İstatistikte, muhafazakâr özellikle hipotez testleri, test sonuçları veya güven aralıkları söz konusu olduğunda dikkatli olmayı ifade eder. İhtiyatlı bir şekilde raporlama yapmak, yanlış bilgi verme olasılığının daha düşük olduğu anlamına gelir.

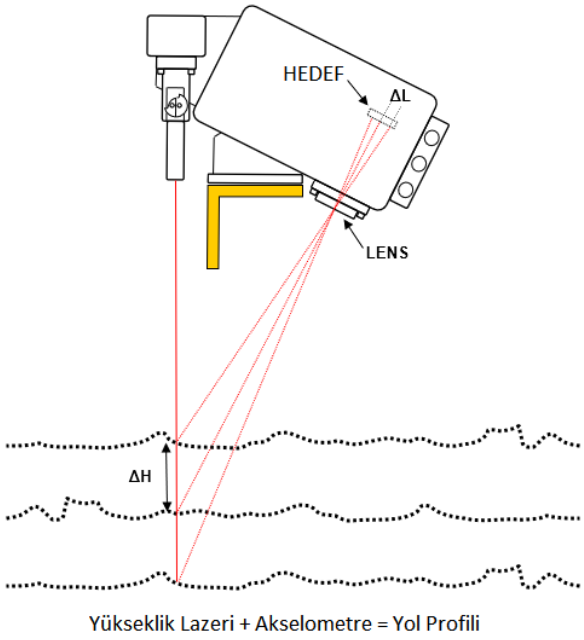
FAA, pist yüzey profilinin merkez çizgisi boyunca ve yanal bir ofset (sol ve sağ) ile ölçülmesini önerir. 3.05 metrelik (10 feet) ofset, Uçak Tasarım Grubu *(Airport Design Group)* II ve III uçaklarına etkili bir şekilde hitap edebilirken, 5.22 metrelik (17.5 feet) ofset, ADG IV, V ve VI uçaklarına yönelik olabilir. Uçak Tasarım Grubu *FAA AC No: 150/5300-13 (Airport Design)* aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.

Tablo 1. Uçak Tasarım Grubu (ADG)

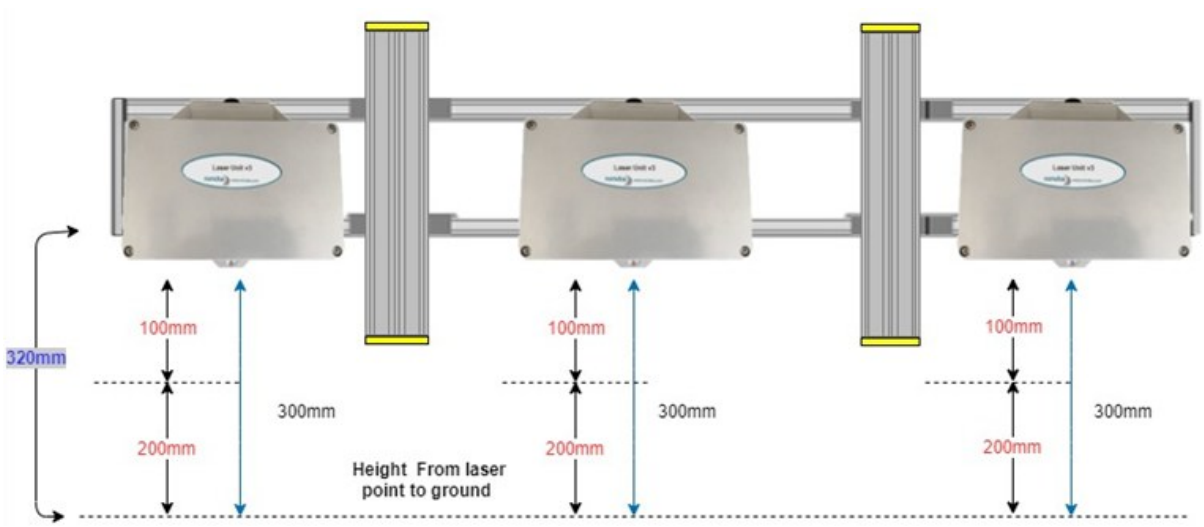
Grup #	Kuyruk Yüksekliği	Kanat Genişliği
I	< 20 feet (< 6.1 m)	< 49 feet (< 14.9 m)
II	20 feet - < 30 feet (6.1 m - < 9.1 m)	49 feet - < 79 feet (14.9 m - < 24.1 m)
III	30 feet - < 45 feet (9.1 m - < 13.7 m)	79 feet - < 118 feet (24.1 m - < 36 m)
IV	45 feet - < 60 feet (13.7 m - < 18.3 m)	118 feet - < 171 feet (36 m - < 52 m)
V	60 feet - < 66 feet (18.3 m - < 20.1 m)	171 feet - < 214 feet (52 m - < 65 m)
VI	66 feet - < 80 feet (20.1 m - < 24.4 m)	214 feet to < 262 feet (65 m - < 80 m)

2.1.3. ÖLÇÜM PROSEDÜRÜ

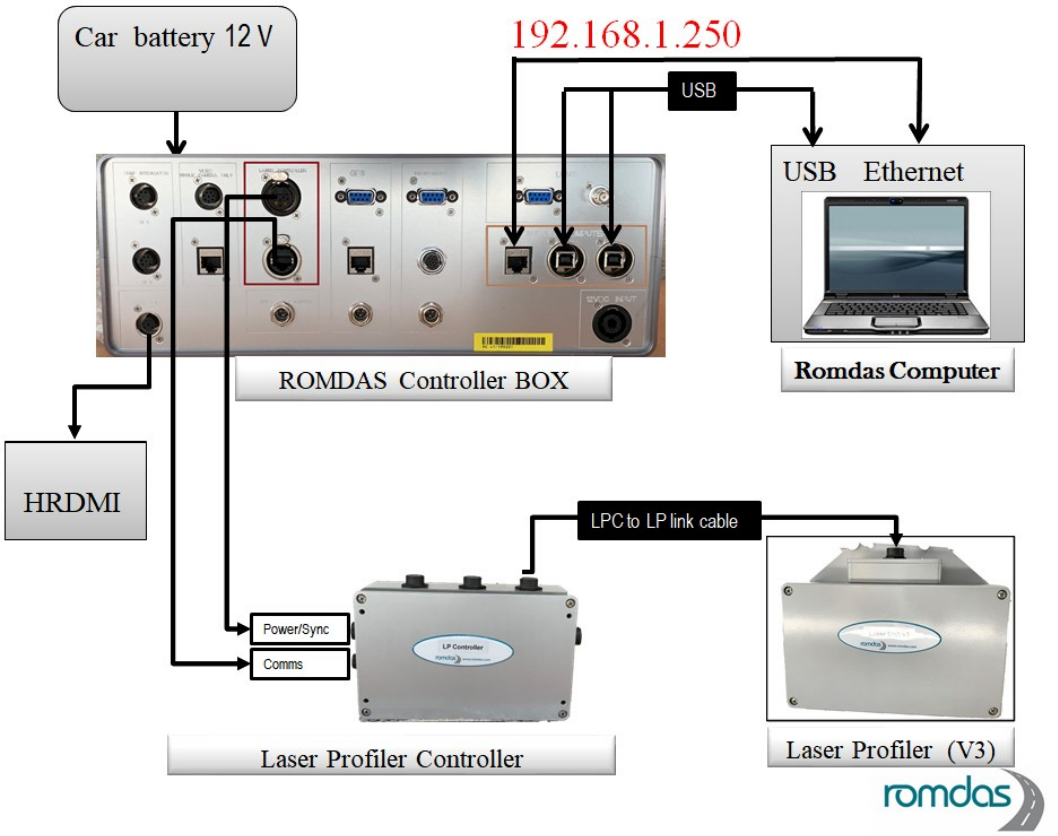
Pürüzlülük indeksi için kullanılan cihazın (World Bank Class 1 Profiler, ASTM E950 standardında, 3 eksenli ivme ölçerli) temel çalışma prensibi aşağıda gösterilmiştir. Deney cihazı bu standarda göre 320 m'de yüzde 2 doğrulukta ölçüm yapabilmeli, maksimum boyuna örnekleme aralığı ≤ 25 mm (1 inç) ve dikey çözünürlüğü ≤ 0,1 mm (0,005 inç) olmalıdır.



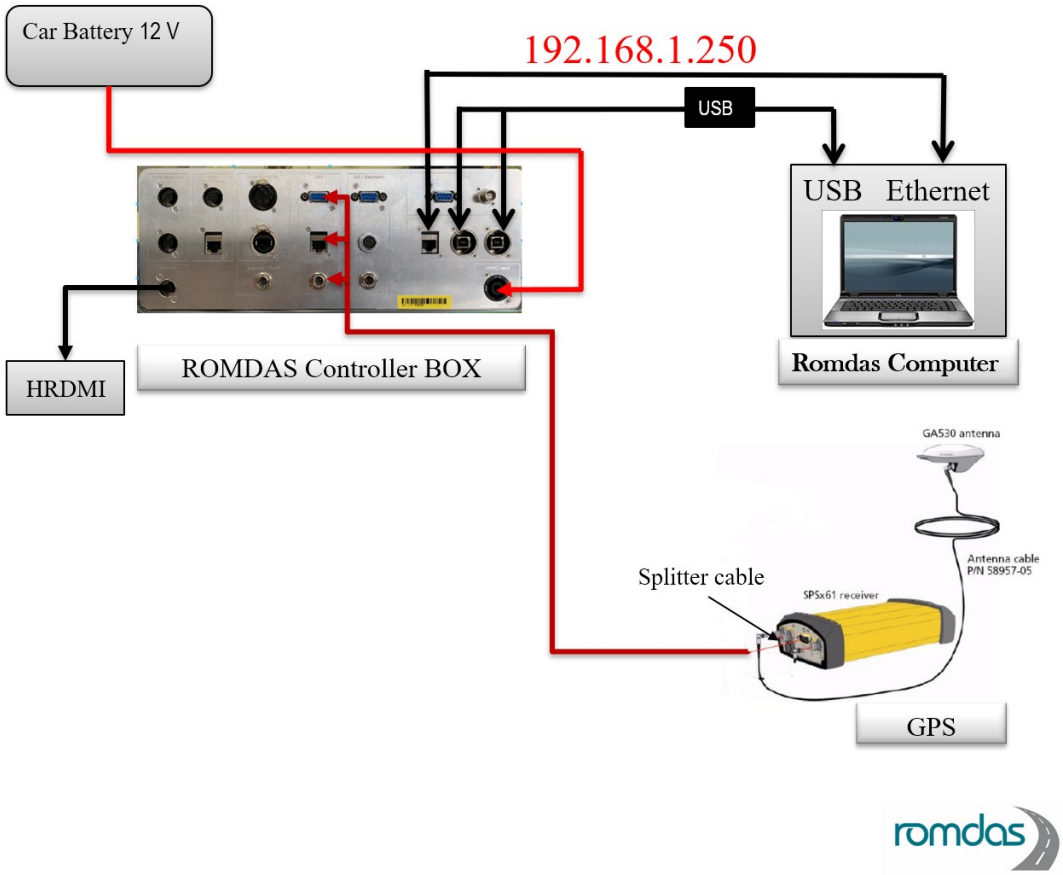
Şekil 6. Lazer Profilometre Ekipmanı Çalışma Prensibi



Şekil 7. Lazer Profilometre Ekipmanı Ölçüm Yüksekliği Ayarı



Şekil 8. Lazer Profilometre Kurulum Şablonu



Şekil 9. GPS Kurulum Şablonu

Mesafe Ölçüm Cihazı (DMI), profil oluşturucunun kat ettiği uzunlamasına mesafeyi ölçen bir dönüştürücüdür. Bir tekerleğin dönüşü, tekerlek dönerken ve çentikler geçerken darbelerin algılanmasıyla ölçülür. Lastiğin yuvarlanma yarıçapından etkilenir. GPS ile birlikte lastiğe monteli DMI cihazı engtegre edilmiştir. DMI, aracın belirtilen maksimum test hızında seyahat ederken mil başına %0,15 oranında hata payı ile doğrulukta çalışmaktadır.

2.1.3.1. SİNYAL İŞLEME

Profil oluşturma bilgileri mühendisler tarafından kaplamaların durumunu değerlendirmek için ve yöneticiler ve planlamacılar için yol ağlarını yönetmek için kullanılır. Profil ölçümlerini işlemek ve analiz etmek için kullanılan yöntemlerin çoğu, elektrik ve makine mühendisleri tarafından oluşturulmuştur ve bu nedenle, bir inşaat mühendisinin repertuarının standart bir parçası olmayan birçok terim ve teknik kullanılmaktadır.

Profillerin nasıl kullanılabileceğini anlamak için profil oluşturucu kullanıcılarının sinyal, sinyal işleme, filtre ve frekans yanıtı gibi terimleri anlaması gerekir.

İlk eylemsiz profil oluşturucuların çıktıları, gerçek profildeki değişikliklerle iyi tanımlanmış bir ilişki içinde dalgalanan voltajlardı. Elektrik mühendisliği tanımlarında, bilgi içeren dalgalanan bir voltaja sinyal denir. Modern eylemsiz profil oluşturucular aynı tür bilgileri içeren sayı dizileri üretir. Modern sistemlerde bir sayı dizisine sinyal denir.

Profilometredeki dönüştürücülerin *(transducers)* çıktıları sayılara dönüştürülerek bilgisayar tarafından işlenir. Eylemsiz bir profil oluşturucuda çeşitli sayı serileri mevcuttur. Dönüştürücü değişkenlerinin değerleri ve hesaplanan profil dizilerinin her birine sinyal denir.

Sinyal işleme, sinyallerin matematiksel analizi ve dönüşümüdür. Sinyaller esas olarak iki nedenden dolayı işlenir;

1. Verilerdeki istenmeyen “gürültüyü” ortadan kaldırarak ölçümün kalitesini artırmak,

2. Sinyalden istenilen bilgiyi çıkarmak.

Bir kaplama profilinin analizi sinyal işleme kategorisine girmektedir. Ayrıca dönüştürücü sinyallerinden profilin hesaplanması bir sinyal işleme biçimidir.

2.1.3.2. ÖRNEKLEM ARALIĞI

Gerçek profil süreklidir. Kaplama veya zemin yüzeyinin bir kesitidir. Sürekli ölçümler üreten araçlara analog denir çünkü ölçüm ilgilenilen değişkene benzerdir. Örneğin mürekkepli kalemle yapılan şerit grafik analog bir gösterimdir. Alternatif olarak sürekli bir değişken genellikle bir sayı dizisiyle temsil edilir. Bu temsile dijital denir.

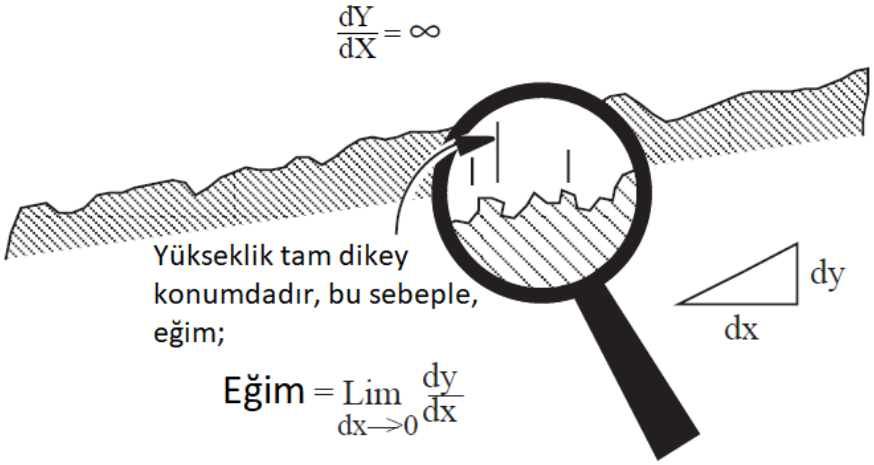
Eylemsiz profil oluşturucuların dönüştürücülere bağlı bilgisayarları vardır. Belirli bir zaman veya mesafe aralığında bilgisayar, bireysel ivmeölçerlerin ve yükseklik sensörlerinin okumalarını “örnekler”. Okumalar sayılarla temsil edilir ve okumaların örneklendiği konumun yüksekliğini elde etmek için bilgisayarın profil hesaplama algoritmasına beslenir.

Yüksek hızlı eylemsiz profil oluşturucular için aralık, bilgisayarın dönüştürücülerden dijital okumaları "örneklediği" zamanlar arasında aracın kat ettiği mesafedir.

Veri toplamanın önemli aşaması olan "örnek aralığı" kilometre başına saklanan yükseklik (pürüzlülük) sayısını belirler. ΔX örnek aralığının birimi metre ise, km başına 1000 örnek vardır. ΔX için ne kadar küçük örnek aralığı varsa, bir profili kaydetmek için daha fazla depolamaya ihtiyaç duyulduğu anlamına gelir. Bu aynı zamanda işlenecek daha fazla sayı olduğundan profil analizinin daha uzun süreceği anlamına da gelir.

Bir ölçüm yapıldıktan sonra kaplama profili hakkında bilinen tek şey, ölçümü oluşturan sayılardır. Yükseklik örnekleri arasında gerçek profilin ne yaptığı hakkında hiçbir bilgi yoktur. İdeal olarak örnek aralığı ilgilenilen profil özelliklerini yakalayacak kadar küçüktür.

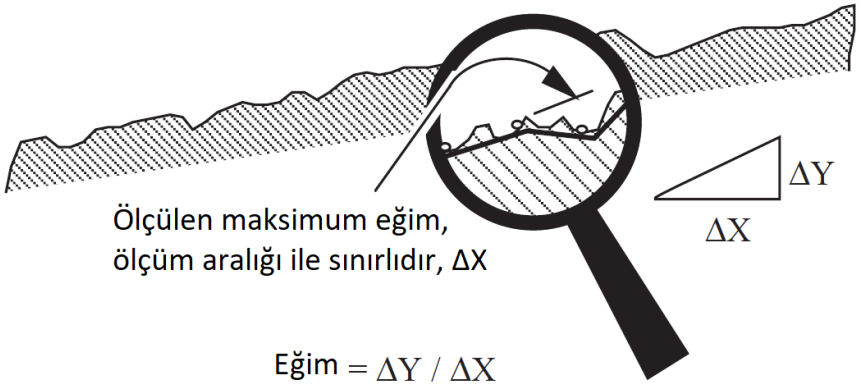
Yol pürüzlülüğünü temsil etmek için kullanılan birçok istatistik metre/kilometre veya inç/mil gibi eğim birimleri ile ifade edilir. Bir profil oluşturucuyla iyi bir ölçümün "gerçek eğim" olacağı düşünülebilir. Ancak buradaki teorik sorun gerçek bir kaplamanın gerçek eğiminin sonsuz olmasıdır Bunun nedeni, doku düzeyinde yakından bakıldığında profilin dikey olduğu yerler görünecektir (Şekil 10).



Şekil 10. Gerçek Eğimin Yakından Görünümü

Şimdi profilin bir dizi örneklenmiş yükseklikle nasıl temsil edildiği dikkate alınmalıdır. X mesafesinin bir fonksiyonu olarak sürekli bir Y yüksekliği yerine, i'nin bir veri kümesindeki yükseklik sayısı olduğu Y_i değerleri mevcut olacaktır. Herhangi iki nokta arasındaki eğim şu şekilde hesaplanır:

$$\frac{dY}{dX} \approx \frac{Y_{i+1} - Y_i}{\Delta X}$$



Şekil 11. İki Nokta Arasındaki Ölçülen Eğim

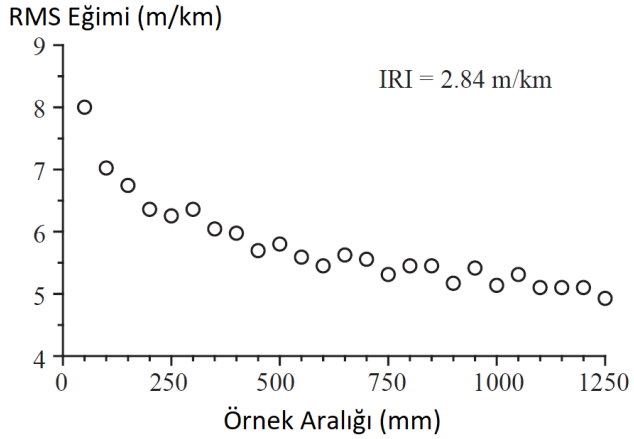
ΔX küçüldükçe eğimin ortalama karekök (RMS) değerinin arttığı ortaya çıkacaktır. Karekök ortalama; matematikte root mean square (kısaltması RMS) ayrıca kuadratik ortalama olarak da bilinir. Değişen miktarların büyüklüğünün ölçülmesinde kullanılan istatistik bir ölçüttür. Değişimin artı ve eksi yönde olduğu dalgalarda özellikle çok faydalıdır.

Sürekli olarak değişen bir fonksiyonun sürekli olmayan değer serisi için hesaplanabilir. Karekök ortalama ismi karelerin ortalamasının karekökünün alınmasından gelir.

Sinüs dalga için		
RMS değeri	=	0,707 x Tepe değeri
Ortalama Değeri	=	0,637 x Tepe değeri
Tepeden tepeye değeri	=	2 x Tepe değeri
Kare dalga için		
RMS değeri	=	Tepe değeri
Ortalama Değeri	=	(Tepe değeri x Darbe süresi) / Periyot
Tepeden tepeye değeri	=	2 x Tepe değeri
Üçgen dalga için		
RMS değeri	=	0,577 x Tepe değeri
Ortalama Değeri	=	0,33 x Tepe değeri
Tepeden tepeye değeri	=	2 x Tepe değeri

Profil operatörleri “gerçek RMS eğimini” pürüzlülük indeksi olarak raporlamaya çalışırlarsa, örnek aralığı standartlaştırılmadıkça anlamsız sonuçlara ulaşırlar. Bir operatör, bir yolun RMS eğiminin 3 m/km (190 im/mi) olduğunu bildirirken başka bir operatör farklı bir yolun RMS eğiminin 4 m/km (253 inç/mi) olduğunu bildirirse, en azından örnek aralığını bilmedikçe hangi yolun daha eğimli olduğunu söylenemez. Daha yüksek değerde okuma, gerçek profilin pürüzlülüğünden ziyade kısa bir örnek aralığının kullanılmasından kaynaklanabilir.

Şekil 12 yaklaşık 50 mm'lik (2 inç) bir numune aralığında (ΔX) yapılan tek bir profil ölçümü için RMS eğimini ve aynı ölçüm için çeşitli simüle edilmiş numune aralıklarında RMS eğimini gösterir. Orijinal ölçümden noktalar çıkarılarak daha büyük örnek aralıkları elde edilir. Şekil, profil oluşturucular için tipik örnek aralıkları aralığında RMS eğiminin çok hızlı değiştiğini göstermektedir. Beklendiği gibi RMS eğimi numune aralığının artmasıyla azalmaktadır.



Şekil 12. Örnek Aralığı-RMS Eğimi İlişkisi

2.1.3.3. FİLTRELEME

Elektronik filtre kavramı, özellikle bir dizi sayının bilgisayar tarafından işlenmesi durumunda genel olarak matematiksel işlemlere kadar genişletilmiştir.

Dijital filtre, bir dizi sayıyı (bir sinyal) yeni bir sayı dizisine dönüştüren bir hesaplama prosedürüdür. Profil ölçümünün pratik olarak kullanılabilmesi için profili oluşturan sayı dizisinin filtrelenmesi neredeyse zorunludur. Profil oluşturucu kullanıcısının dönüşümün ayrıntılarını detaylı olarak anlamasına gerek yoktur çünkü hesaplamalar bir bilgisayar tarafından otomatik olarak gerçekleştirilir. Ancak filtrelemenin önemini anlamak ve filtrelemeyi profil ölçümü ve yorumlamanın bir parçası olarak düşünmek gerekir.

Yüksek hızlı eylemsiz profil oluşturuculardan gelen verileri görüntülerken filtreleme özellikle önemlidir. Bunun nedeni, filtrelenmemiş ölçümün en görünür özelliklerinin (temel eğim ve genel eğrilik) verilerin en az doğru olan kısımları olmasıdır.

Her eylemsiz profil oluşturucunun yerleşik en az bir filtreye sahip olduğu bilinmelidir. Filtreleme, ivmeölçer ve mesafe sensöründen gelen verileri aynı birimlere dönüştürmek için kullanılır. Elektronik “gürültü”nün hesaplanan profilde büyük bir kaymaya neden olmasını önlemek için ek filtreleme uygulanır. Bazı yaygın analizler birden fazla filtre içerir; bir filtrenin çıktısı bir sonrakinin girdisi olur.

Tüm profil uygulamaları için kullanılan tek bir filtre yoktur. Filtre, yalnızca bir sayı dizisini değiştiren matematiksel dönüşümün adıdır. Hayal edilebilecek ve programlanabilecek sınırsız sayıda filtre vardır. Çeşitli standart filtreler mevcuttur ve bunlardan bazıları rutin olarak kaplama profillerine uygulanır.

2.1.3.4. HAREKETLİ ORTALAMA

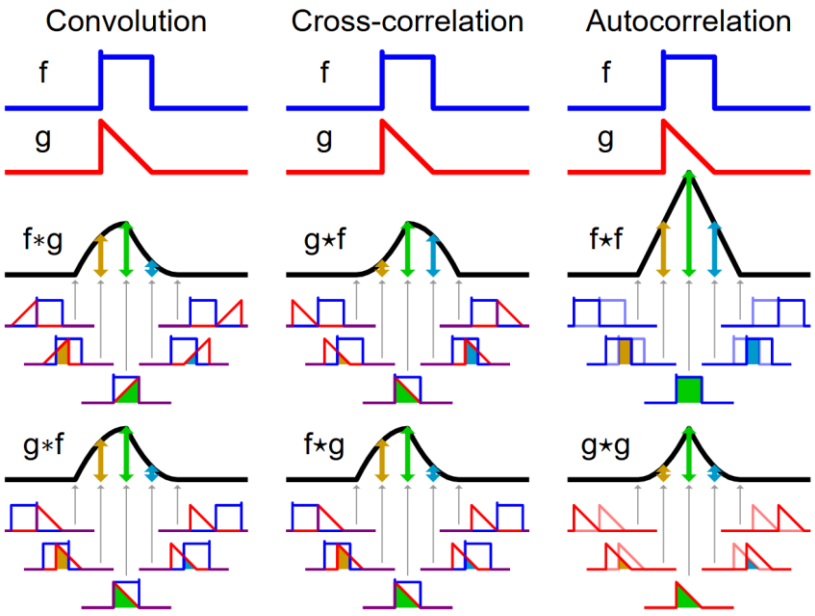
İstatistikte, hareketli ortalama tam veri kümesinin farklı seçimlerinin bir dizi ortalamasını oluşturarak veri noktalarını analiz etmek için yapılan bir hesaplamadır. Çeşitlemeler şunları içerir: basit , kümülatif veya ağırlıklı formlar .

Matematiksel olarak, hareketli ortalama bir tür konvolüsyondur. Konvolüsyon, bir fonksiyonun şeklinin başka bir fonksiyon tarafından nasıl modifiye edildiğini gösteren bir integral işlemdir. Bir f ile g fonksiyonunun konvolüsyonu aşağıdaki şekilde gösterilir:

$$(f * g)(t) \triangleq \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) g(t-\tau) d\tau$$

Bu nedenle sinyal işlemede düşük geçişli sonlu dürtü tepkisi filtresi (low-pass finite impulse response) olarak görülür . Boxcar fonksiyonu filtre katsayılarını özetlediğinden, boxcar filtresi olarak adlandırılır . Bazen aşağı örnekleme ile takip edilir .

Bir dizi sayı ve sabit bir alt küme boyutu verildiğinde, hareketli ortalamanın ilk elemanı sayı serisinin başlangıçtaki sabit alt kümesinin ortalaması alınarak elde edilir. Daha sonra alt küme “ileri kaydırılarak” değiştirilir; yani serinin ilk sayısı hariç tutulur ve alt kümedeki bir sonraki değer dahil edilir.



Şekil 13. Konvolüsyon, Çapraz Korelasyon ve Otokorelasyon Kıyaslaması

Hareketli ortalama, genellikle kısa vadeli dalgalanmaları yumuşatmak ve uzun vadeli eğilimleri veya döngüleri vurgulamak için zaman serisi verileriyle kullanılır . Kısa vadeli ve uzun vadeli arasındaki eşik uygulamaya bağlıdır ve hareketli ortalamanın parametreleri buna göre ayarlanacaktır. Ayrıca ekonomide gayri safi yurtiçi hasıla, istihdam veya diğer makroekonomik zaman serilerini incelemek için kullanılır. Zaman serisi olmayan verilerle kullanıldığında, hareketli ortalama, belirli bir zamanla bağlantısı olmaksızın daha yüksek frekanslı bileşenleri filtreler, ancak tipik olarak bir tür sıralama ima edilir. Basitçe bakıldığında, verilerin yumuşatılması olarak kabul edilebilir.

Hareketli ortalama, profil analizinde, özellikle de profillerin grafik görünümlerinin oluşturulmasında yaygın olarak kullanılan basit bir filtredir. Hareketli ortalama filtresi, her profil noktasını birkaç bitişik noktanın ortalamasıyla değiştirir.

Özet olarak hareketli ortalama, bir veri serisindeki ortalama değişimi zaman içinde yakalayan bir istatistiktir. Hareketli ortalamalar genellikle analistler tarafından verilerin trendlerini (yukarı veya aşağı yönlü) takip etmek için kullanılır. Hareketli ortalamadaki yukarı yönlü bir eğilim, bir verinin değerinde veya momentumunda bir yükselişi ifade edebilirken, aşağı yönlü bir eğilim bir düşüş işareti olarak görülebilir.

ΔX aralığında örneklenen bir p profili için, hareketli ortalama yumuşatma filtresi aşağıdaki toplama işlemi ile tanımlanır.

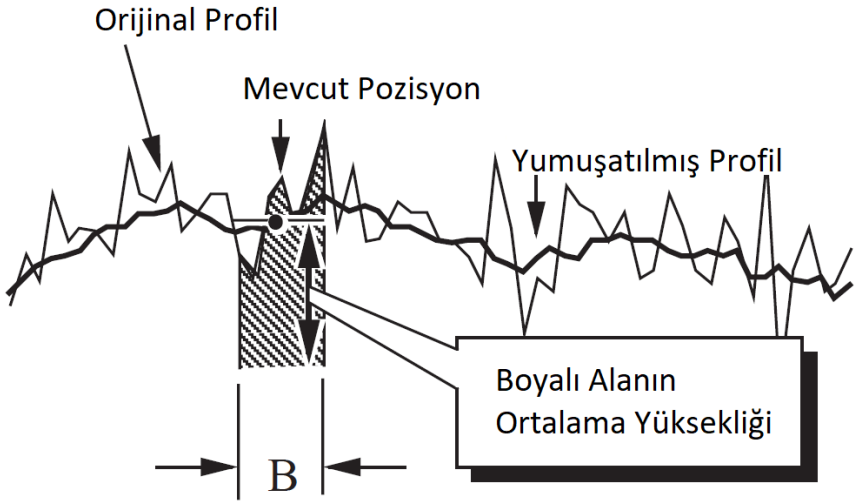
$$p_{fL}(i) = \frac{1}{N} \sum_{j=i-\frac{B}{2\Delta x}}^{i+\frac{B}{2\Delta x}} p(j)$$

p_{fL} = Düzleştirilmiş *(smoothed)* profil (aynı zamanda low-pass filtresi uygulanmış profil)

B = Hareketli ortalama alınan mesafe

N = Toplama dahil olan örneklem sayısı

Hareketli ortalama filtresinin etkisi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Bunun etkisi, noktadan noktaya dalgalanmaların ortalamasını alarak profili düzeltmektir.



Şekil 14. Hareketli Ortalama Filtresi

Düzleştirilmiş profili ortadan kaldırmak için de hareketli ortalama kullanılabilir. Çoğu durumda, ilgi alanı oldukça düzgünleştirilmiş bir profil incelemesi değildir. Bu sadece yolun yukarı mı aşağı mı gittiğini yoksa aynı seviyede mi kaldığını gösterir. Ataletsel bir profil oluşturucuyla uzun süreli eğim bilgisi bile tam anlamıyla doğru değildir. Bunun yerine düzleştirilmiş profilden sapma miktarları asıl ilgi konusudur. Sonuç olarak uçağın taksi hareketini ve yolcu konforunu etkileyen temel unsuri, profildeki sapmalardır. Hareketli ortalama filtresinin basit bir modifikasyonu, düzleştirilmiş profili orijinalinden çıkarmaktır.

$$p_{fH}(i) = p(i) - \frac{1}{N} \sum_{j=i-\frac{B}{2\Delta x}}^{i+\frac{B}{2\Delta x}} p(j)$$

p_{fH} = Düzleştirilmiş *(smoothed)* profil (high-pass filtresi uygulanmış profil)

B = Hareketli ortalama alınan mesafe

N = Toplama dahil olan örneklem sayısı

Filtrenin hem düzleştirme *(low-pass)* hem de zıt *(high-pass, anti-düzleştirme (anti-smoothing))* biçimleri faydalıdır. Her iki versiyon da aynı profilde kullanılabilir, ancak bunu yapmak yalnızca *anti-smoothing* versiyon için temel uzunluğu B 'nin, düzleştirme versiyonunun temel uzunluğundan daha uzun olması durumunda anlamlıdır.

Hareketli ortalama filtresi, anlaşılması ve programlanması kolay bir profili düzleştirmenin sezgisel bir yoludur. Hesaplama açısından da verimlidir, çünkü ilk ortalama nokta hesaplandıktan sonra ilişkiyle sonraki değerler elde edilebilir.

$$p_{fL}(i) = p_{fL}(i-1) + \frac{1}{N}\left[p\left(i + \frac{B}{2\Delta x}\right) - p(i - \frac{B}{2\Delta x} - 1)\right]$$

Ortalama yüzlerce noktayı kapsasa bile, yalnızca iki profil değerinin etkisini hesaba katmak gerekir: biri ortalama aralığına girerken diğeri ortalama aralığından çıkar.

IRI hesaplanırken aşağıdaki üç aşama takip edilir:

1) Profil 250 mm uzunluğunda *box-filter* ile düzleştirilir.

2) İdeal-araç *(golden-car)*, belirli bir hızda Çeyrek-araç *(quarter-car)* modeli ile simüle edilir.

3) Ölçüm yapılan yolun ilgili bölümünün IRI değeri, toplam süspansiyon hareketinin toplam gidilen yola bölünmesi ile elde edilir.

Çeyrek-araç *(quarter-car)* modeli, Newton'ın hareket kanunlarının dört tane birinci derece diferansiyel denklemi ile tanımlanır ve aşağıdaki matriks ile ifade edilir:

$$\frac{dx}{dt} = x' = Ax(t) + bh(t) \quad \{1\}$$

Başlangıç durumu $x(0) = x_o$'dır ve x, A ve B değerleri aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$x(t) = [z_s(t), z_{s'}(t), z_u(t), z_{u'}(t)]^T \quad \{2\}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -k_2 & -c & k_2 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{k_2}{u} & \frac{c}{u} & -\frac{(k_1+k_2)}{u} & -\frac{c}{u} \end{bmatrix} \quad \{3\}$$

$$b = [0,0,0,\frac{k_1}{u}]^T \quad \{4\}$$

z_s	=	Yaylı (sprung) ağırlık
$z_u(t)$	=	Yaylanmamış (unsprung) ağırlık
$h(t)$	=	Profil yüksekliği
c	=	6,0 s^{-1}
k_1	=	653 s^{-2}
k_2	=	63,3 s^{-2}
u	=	0,15

Zamana türevleri asal işaretle (‘) gösterilmiştir. Zaman, aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi aracın simüle edilen hızıyla uzunlamasına bir mesafeyle ilişkilidir:

$$t = \frac{x}{V} \quad \{5\}$$

x = Uzunlamasına mesafe
V = IRI için belirlenmiş simüle hız

IRI aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$IRI = \frac{1}{L}\int_0^{L/V} |z_{s'}(t) - z_{u'}(t)|dt \quad \{6\}$$

2.1.4. KAPLAMALARIN PÜRÜZLÜLÜK LİMİTLERİ

Kaliteli kaplamaların pürüzlülük limitleri için

1. “Bitümlü Temel Teknik Şartnamesi Şartname No:8-A.RV, Ankara 2017” dokümanında “8-A.3.2.10 Yüzey Düzgünlük Koşulları ve Kontrolü” başlığına ,

2. “Beton Asfalt Binder ve Aşınma (Satıh) Tabakası Kaplama Teknik Şartnamesi Şartname No: 8-RV, Ankara 2017” dokümanında “8.3.2.10 Kaplama Yüzeyinin Düzgünlük Koşulları ve Kontrolü” başlığına,

3. “Kaliteli Beton Kaplama Teknik Şartnamesi Şartname No: 9-RV, Ankara 2017” dokümanında “9.3.23 Beton Sathının Pürüzlülük ve Çatlakları İçin Şartlar” başlığına bakılmalıdır.

2.2. BBI METODU

Bu bölümde *"Federal Aviation Administration'ın yayınladığı AC 150/5380-9 - Guidelines and Procedures for Measuring Airfield Pavement Roughness, 2009."* dokümanından yararlanılmıştır.

2.2.1. TANIM VE AMAÇLAR

Bu bölüm havalimanı kaplama pürüzlülüğünün ölçülmesine ilişkin kılavuz ve prosedürleri içerir.

2.2.1.1. DENEYİN GENEL AMACI

Bu rehber rijit ve esnek havalimanı kaplamalarının yüzey profili verileriyle tanımlandığı şekliyle pist pürüzlülüğünün ölçülmesi ve değerlendirilmesine yönelik kılavuzlar ve prosedürler sağlar. Bu rehber, yüzey düzensizliklerinin miktarının belirlenmesine ve yüzey düzensizliklerinin belirli uçak kategorilerini nasıl etkileyebileceğinin belirlenmesine yönelik teknik prosedürleri sağlar.

2.2.1.2. ARAZİ DENEYİNİN SPESİFİK HEDEFLERİ

Bu rehber, havalimanı operatörlerine, kaplama yüzey profilini pürüzlülük ve kaplama pürüzlülüğünün sivil uçaklar üzerindeki etkisi açısından değerlendirmeye yönelik prosedürler sağlar.

2.2.1.3. KAPLAMA PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİNDE ÖNEMLİ FAKTÖRLER

2.2.1.3.1. KAPLAMA YÜZEY DÜZENSİZLİKLERİ

Havalimanı kaplama yüzeyleri, güvenli operasyonlara zarar verebilecek, hasara neden olabilecek veya uçağın yapısal yorgunluğunu artırabilecek düzensizliklerden arındırılmış olmalıdır. Yüzey düzensizlikleri kaplama pürüzlülüğü veya düzgünsüzlük olarak adlandırılır.

2.2.1.3.2. HAVALİMANI VE OTOYOL PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Karayolu endüstrisi, kaplamanın düzgünlüğünü/pürüzlülüğünü bir yolcunun deneyimlediği sürüş kalitesi açısından tanımlar. Otomotiv üreticileri, yaygın yüzey düzensizliklerinin etkisini azaltmak ve genel sürüş kalitesini artırmak için süspansiyon sistemleri tasarlarlar. Bunun aksine, bir uçak süspansiyon sisteminin temel amacı iniş sırasında harcanan enerjiyi absorbe etmektir. Uçak süspansiyon sistemleri, iniş sırasında ele alınması gereken enerjinin büyüklüğünden dolayı yüzey düzensizliklerinin etkisini azaltma konusunda daha az kapasiteye sahiptir. Havalimanı kaplama pürüzlülüğü, uçak bileşenlerindeki yorulma (artan gerilim ve aşınma) ve/veya uçağın güvenli çalışmasına zarar verebilecek diğer faktörler (kokpit titreşimleri, aşırı g kuvvetleri, vb.) açısından tanımlanır.

2.2.1.3.3. HAVALİMANI KAPLAMA PÜRÜZLÜLÜĞÜ KATEGORİLERİ

FAA, yüzey defleksiyonlarının boyutlarına ve sıklığına bağlı olarak havalimanı kaplama pürüzlülüğünü iki kategoriye ayırır:

2.2.1.3.3.1. TEK OLAYLI TÜMSEK

Tek olaylı tümsekler, kaplama yüksekliğindeki değişikliklerin 100 metre (328 feet) veya daha kısa bir mesafe boyunca meydana geldiği izole olaylardır. Bu tür yükseklik değişiklikleri ani bir kayma şeklinde veya planlanan kaplama profilinden kademeli bir sapma şeklinde meydana gelebilir. Operasyonel hıza ve tümsek uzunluğuna bağlı olarak, bir uçak süspansiyon sistemi bir tümsekle karşılaştığında üretilen enerjiyi tam olarak absorbe edemeyebilir. Uçak bileşenleri ve içindekiler darbeyi şok veya ani sarsıntı olarak hissederler. Temel "doğrultu (mastar)" analizi, tek olay tümseklerini kolaylıkla tanımlayabilir. Kaplamada üzerinde araçla yolculuk yapmak, kısa uzunluktaki tümsekleri ortaya çıkarabilir, ancak daha uzun tümsekleri bulmak için kaplama profilinin kapsamlı bir analizi yapılmalıdır.

2.2.1.3.3.2. PROFİL PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Amerika Birleşik Devletleri Ulaştırma Bakanlığına bağlı Federal Havacılık İdaresi (FAA), profil pürüzlülüğünü, uçakların uçak bileşenlerindeki yorgunluğu artıracak, frenleme etkisini azaltacak, kokpit operasyonlarını bozacak ve/veya yolculara rahatsızlık verecek şekilde tepki vermesine neden olan, pistin bir bölümünde mevcut olan yüzey profili sapmaları olarak tanımlar. Tepki, uçağın boyutuna, ağırlığına ve operasyon hızına bağlıdır. Pürüzlülük yolculara rahatsızlık vermese bile, uçak bileşenlerinin yorulma ömrünü etkileyebilir ve/veya uçağın operasyonel güvenliğini azaltabilir. Uçağın özelliklerine ve hızına bağlı olarak, uçak yapısı içindeki atalet kuvvetlerini veya titreşimleri artırabilen profil pürüzlülüğü nedeniyle bir uçak, harmonik rezonansa uyarılabilir.

2.2.1.3.4. YOLCU KONFORU

Havalimanı kaplamasının pürüzlülüğü, algılanan sürüş kalitesi veya yolcuların rahatsızlığı ile tanımlanmaz. Önemli olmasına rağmen, kaplama yüzeyindeki düzensizliklerden kaynaklanan yolcu rahatsızlığı, rahatsızlığın derecesi önemsiz ölçüde küçük olduğundan ve maruz kalma süresi birkaç saniye ile sınırlı olduğundan çoğu zaman asıl sorun olarak ele alınmaz.

2.2.1.3.5. UÇAK OPERASYONLARININ GÜVENLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Uçak bileşenleri üzerindeki baskı, frenleme etkisi ve kokpit göstergelerini görebilme yeteneği, uçağın güvenli şekilde çalışmasını etkileyebilir. Kaplama yüzeyindeki düzensizlikler, kokpitte, pilotların kritik enstrümanlara odaklanamamasına, kalkış veya iniş sırasında kontrolleri ele almalarında zorluk çekmesine neden olacak kadar titreşime neden olabilir. Kaplama yüzeyindeki düzensizlikler aynı zamanda kritik uçak bileşenleri üzerinde artan strese neden olabilir ve bu da erken arıza riskini artırır. Uçağın yüzey düzensizliklerine tepkisi, uçağın dikey hızlanmaya tepki vermesi nedeniyle frenleme kapasitesini azaltabilir. Bu faktörler uçağın tepkisine bağlı olarak tek başına veya bir arada ortaya çıkabilir.

2.2.1.3.6. PİLOT YANITI VE GERİ BİLDİRİM

Pilot gözlemleri ve şikayetleri kaplama pürüzlülüğünün belirlenmesinde önemli bir faktördür. Pilot gözlemleri, uçak bileşenlerinde yapısal yorulmanın meydana geldiğini doğrudan göstermese de bunlar genellikle kaplama profilinde bir sorun olduğuna dair ilk işarettir.

2.2.1.3.7. YÜZEY DOKUSU

Bu uygulama rehberinde bahsedildiği gibi kaplama pürüzlülüğü, kaplama dokusu ile aynı değildir. Kaplama dokusu, uçak tekerleği ile kaplama yüzeyi arasındaki sürtünmeye katkıda bulunan kaplama yüzeyinin mikro dokusudur. Kaplama dokusu ve kaplama olukları pürüz kaynağı kabul edilmez. Doku tanımları için *"ASTM E867 Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems"* dökümanına bakılmalıdır.

2.2.1.3.8. İNŞAAT STANDARTLARI

Bir havalimanı, "AC 150/5300-13, Havalimanı Tasarımı" ve "AC 150/5370-10 Havalimanları İnşaatına İlişkin Standart Uygulama rehberiler"e uygun olarak inşa edildiğinde, bir havalimanı kaplaması yüzey düzensizlikleri ile ilgili sorunlara sahip olmamalıdır. Ancak kaplama yaşlandıkça yüzey profili, donma/çözülme kabarması veya zemin oturması gibi faktörlerden dolayı orijinal tasarım standartlarından farklılık gösterebilir.

2.2.2. PİST KAPLAMASINDA TEK OLAYLI TÜMSEKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

2.2.2.1. TEK OLAYLI TÜMSEK DEĞERLENDİRMESİNE GİRİŞ

Pist kaplamalarındaki istenmeyen yükseklik değişiklikleri, uçak bileşenleri üzerindeki baskıyı artırabilir, frenleme etkisini azaltabilir, pilotların kokpit göstergelerini okumasını zorlaştırabilir ve/veya yolcuların rahatsızlığına neden olabilir. Tipik olarak, büyük dalga boyundaki darbeler en yaygın olanıdır ancak genellikle çıplak gözle görülemez. Bu büyük dalga boyu tümsekleriyle ilişkili en kritik tümsek yüksekliği, dalga boyu ile uçağın doğal frekansı arasındaki ilişkiye bağlıdır. Tek olaylı tümsekler veya sıfır uzunlukta dikey sapma, yani kaplama yüzeyindeki dikey kenar veya kırılma, Şekil 17 ve Şekil 18'da belirtildiği gibi genellikle kabul edilebilir aralıkta olduğundan hizmette nadiren sorunlara neden olur.

Bu bölüm, uçak operasyonlarını etkileyebilecek potansiyel tek olay yüzey sapmalarını belirlemek amacıyla kaplama yüzey profilinin değerlendirilmesine ilişkin rehberlik sağlamaktadır. Dönüşe yakın hızlarda (130 ila 200 knot) çalışan tam yüklü jet nakliye uçaklarına dayanan kılavuz, pist uygulamaları için uygundur. Taksi yolları veya apronlar gibi trafiğin yavaş hareket ettiği kaplama alanları için muhafazakâr sonuçlara sebep olduğundan ölçüm yapılması önerilmez.

Uygulama rehberi, *"Boeing Document D6-81746 - Runway Roughness Measurement, Quantification, and Application – The Boeing Method"* dökümanına dayanmaktadır. Havacılık sektörü ve Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) bu prosedüre *"Boeing Bump"* yöntemi adını veriyor.

2.2.2.2. BOEİNG ÇARPMA OLAYI TANIMLAMA PROSEDÜRÜ

2.2.2.2.1. TEMEL PROSEDÜR

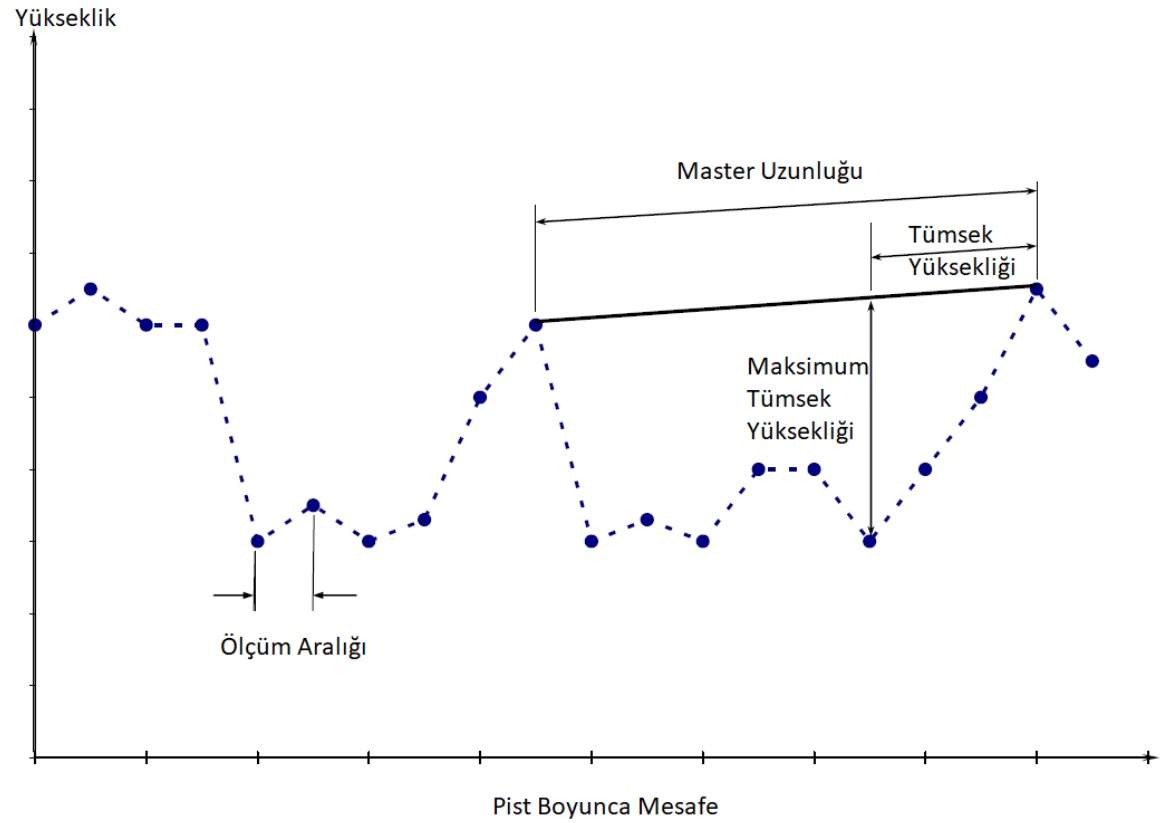
Boeing Bump yönteminin temeli, bir pistin uzunlamasına yükseklik profili üzerindeki iki nokta arasında sanal bir düz kenar (mastar) oluşturmak ve düz kenardan kaplama yüzeyine olan sapmayı ölçmektir. (Not: Sanal düz kenar, profildeki iki nokta arasındaki hayali bir çizgidir ve fiziksel bir alet veya mekanizmayı imâ etme amacı taşımaz.) Prosedür, “tümsek yüksekliğini” düz kenardan düz kenara maksimum sapma (pozitif veya negatif) olarak bildirir. Kaplama yüzeyi Şekil 15’te gösterildiği gibidir. Çarpma uzunluğu, düz kenarın her iki ucundan çarpma olayının ölçüldüğü konuma kadar olan en kısa mesafedir. Prosedür, Şekil 17’daki kabul kriterlerine göre tümsek yüksekliğini ve tümsek uzunluğunu belirler.

2.2.2.2.2. MAKSİMUM MASTAR UZUNLUĞU

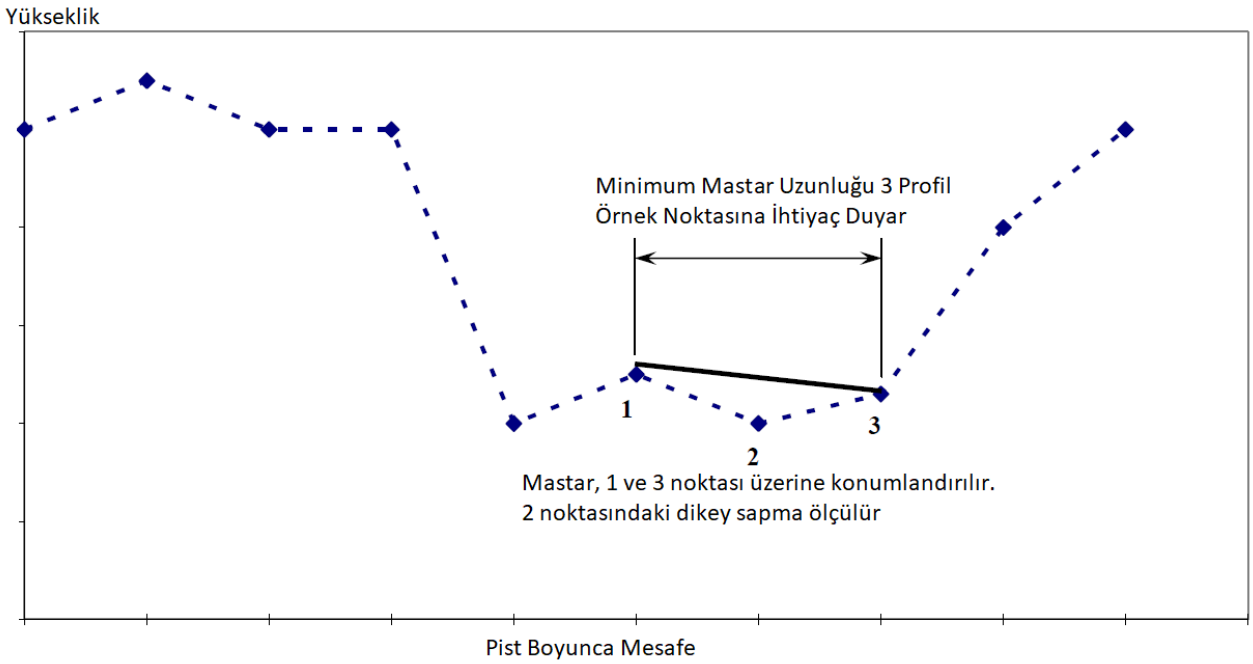
Boeing Bump prosedürü, 120 metreye (394 feet) kadar olan mastar uzunluklarını (dalga boylarını) dikkate alır. Boeing Çarpma prosedürü izole çarpma olaylarını hedeflediği için, “dalga boyu” terminolojisi “çarpma uzunluğu” ile değiştirilmiştir. Boeing tarafından yaptırılan araştırma, 120 metreyi (394 feet) aşan tümsek uzunluklarının uçağın dinamik tepkisine katkıda bulunmadığını veya uçağı olumsuz yönde etkilemediğini göstermiştir.

2.2.2.2.3. MİNİMUM MASTAR UZUNLUĞU.

Mastarın minimum uzunluğu, profil verilerinin örnek aralığına veya araştırma aralığına bağlıdır. Minimum uzunluk araştırma aralığının iki katına eşittir. Yöntem, Şekil 16’te gösterildiği gibi, mastardan bir defleksiyon elde etmek için minimum üç profil veri noktası gerektirir. Dıştaki iki nokta mastarın uçlarını tanımlar ve iç nokta bir profil sapması sağlar. Boeing Bump'un değerlendirilmesi için numune aralığı standardı 0,25 metredir (0,82 feet). Bu nedenle minimum düz kenar uzunluğu 0,5 metredir (1,64 feet).



Şekil 15. Çarpma Yüksekliği Ölçümü Şeması



Şekil 16. Minimum Mastar Mesafesi Belirleme

2.2.2.2.4. BİR ARAŞTIRMA ARALIĞIYLA İLİŞKİLİ MASTAR SAYISI

Herhangi bir araştırma noktasıyla ilişkili mastarların sayısı araştırma aralığının boyutuna bağlıdır. Her nokta kendisiyle ilişkilendirilmiş NS kadar mastara sahip olabilir; burada:

$$N_S = (\frac{Maksimum\ mastar\ uzunluğu}{Araştırma\ Aralığı} - 1)$$

$Maksimum\ Mastar\ Uzunluğu$ = 120 metre (394 feet)
$Araştırma\ Aralığı$ = 0,25 metre (0,82 feet)

FAA için standart yapılandırma aşağıdaki gibidir;

$$N_S = \left(\frac{120}{0.25} - 1\right) = 479$$

Herhangi bir profil örnekleme noktasında prosedür, (a) numune noktasında mastarın başlangıcı, (b) numune noktasında mastarın sonu veya (c) mastarın uzunluğu boyunca herhangi bir artıştaki numune noktası ile bir mastar oluşturulmasına izin verir. Olası her mastar yapılandırmasında prosedür, burada tanımlandığı gibi tümsek yüksekliğini ve tümsek uzunluğunu hesaplar.

1) Çarpma Yüksekliği: Profil boyunca mastarın tüm konumları için mastardan profil numune noktasına kadar maksimum dikey mesafeye eşittir. Birimler santimetredir (inç).

2) Çarpma Uzunluğu: Tümsek uzunluğu, (a) tümsek yüksekliği konumundan mastarın başlangıcına kadar olan mesafenin veya (b) mastarın ucundan tümsek yüksekliği konumuna kadar olan mesafenin en küçüğüne eşittir. Birimler metredir (fit).

2.2.2.2.5. ÖNERİLEN ARAŞTIRMA ARALIĞI

Boeing Bump prosedürünün doğruluğu veya saha koşullarını temsil etme yeteneği, araştırma aralığı azaldıkça artar. Araştırma aralığı değiştiğinde prosedürün doğruluğu da değişeceğinden, FAA, Boeing Bump'un değerlendirilmesi için 0,25 metrelik (0,82 fit) bir araştırma aralığı zorunlu tutar.

2.2.2.2.6. ÖNERİLEN ARAŞTIRMA KONUMU

Bir pistin merkez hattına göre uçak dişlisinin konumu uçaktan uçağa değişir ancak uçak dişlisinin konumunun yüzey profilinin konumuyla tam olarak eşleştirilmesi gerekli değildir. FAA, pist yüzey profilinin merkez çizgisi boyunca ve ve bu merkez çizgiye yanal bir ofset (sol ve sağ) ile ölçülmesini önerir. 3.05 metrelik (10 fit) ofset, Uçak Tasarım Grubu (ADG) II ve III uçaklarına etkili bir şekilde hitap edebilirken, 5,22 metrelik (17 fit) ofset, ADG IV, V ve VI uçaklarına yönelik kabul edilebilir. Bütün uçak gruplarının kullandığı bir pist için tüm lokasyonlarda ölçüm yapılmalıdır. Her profil “2.2.2.3 BOEİNG ÇARPMA PARAMETRELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ” maddesine göre değerlendirilmelidir. Pürüzlülük üzerindeki etkileri özel olarak değerlendirilmediği sürece, uzunlamasına derzler veya bir dizi aydınlatma elemanı/kapak gibi bariz yüzey sapmaları ölçüme dahil edilmemelidir.

2.2.2.2.7. ATALETSEL PROFİLOMETRELERİN KULLANIMI

Tipik otoyol ve hafif atalet profilometreleri için veri işleme, dengeleme hatalarını önlemek ve değişen eğimlerde seyahat etmekten ve test aracının frenlenmesinden ve hızlanmasından kaynaklanan hataları azaltmak için entegrasyon öncesinde ivmeölçer sinyalinin yüksek geçişli filtrelenmesini içerir. Yüksek geçiş filtrelemesi, Boeing Çarpma İndeksinin (BBI) ve simüle edilmiş uçak ivmelerinin hesaplanması üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir çünkü bu hesaplamalar, IRI gibi tipik otoyol indekslerinin hesaplanmasından ziyade profillerdeki daha uzun süreli bozulmaları dikkate alır. Tipik otoyol ve hafif atalet profilometreleri, test aracının hızlanması, frenlenmesi ve viraj alınması sırasında önemli hatalar üretir. Bu nedenle, eşikten eşiğe pist profillerinin önemli hatalara yol açmadan ölçülmesi zordur. Bu nedenle, BBI hesaplamak veya havalimanı kaplamalarında simüle edilmiş uçak ivmelerini hesaplamak için kullanılacak profillerin ölçümü için yüksek geçiş filtreleme içeren ataletsel profilometrelerin kullanılması önerilmez.

2.2.2.3. BOEİNG ÇARPMA PARAMETRELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

2.2.2.3.1. ÇARPMA DEĞERLENDİRME PROSEDÜRLERİ

Tümsek yüksekliği ve tümsek uzunluğunun her kombinasyonu Şekil 17'ya göre değerlendirilmelidir. Bahsi geçen şekil, *Boeing Document D6-81746 - Runway Roughness Measurement, Quantification, and Application – The Boeing Method* dökümanında sunulan kriterleri yeniden oluşturmakta ve tek bir çarpma olayıyla ilişkili **Kabul Edilebilir**, **Aşırı** veya **Kabul Edilemez** kaplama pürüzlülüğünün sınırlarını göstermektedir. Boeing, pist kaplamasının genel durumunu tanımlayan tek çarpma olaylarına yönelik operasyonel deneyime dayalı kriterleri geliştirmiştir. Kriterler, uçak tepkisine ilişkin ayrıntılı bir analiz sunmamakta ve ortalama karekök pürüzlülüğü (RMS) sorununu ele almaya çalışmamaktadır. Kriterler aynı zamanda uçak frekans tepkisinin önemli olduğu bir dizi uzun dalga boyu dalgalanmasının etkilerini de ele almamaktadır. Karekök ortalaması ve frekans tepki faktörlerini ortadan kaldıran bu basitleştirilmiş prosedür, yapısal tasarım veya fiziksel özelliklerine bakılmaksızın tüm uçaklara uygulanabilir.

2.2.2.3.2. DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ

Şekil 17'daki değerlendirme kriterleri, operasyonel koşulları ve uçağa yönelik yapısal etkiyi tanımlar.

1) Kabul edilebilir

FAA, yeni inşa edilmiş veya rehabilite edilmiş kaplamanın kabul edilebilir aralığın alt bölgesi dahilinde kalan tümsek yüksekliği ve uzunluk kombinasyonlarıyla sonuçlanmasını tavsiye etmektedir. *FAA AC 150/5370-10* dökümanındaki P-401 ve P-501 Maddelerinde açıklanan toleranslar, Şekil 17'da gösterildiği gibi 4.8 metrede (16 feet) 0.64 santimetreye (0.25 inç) izin verir. Bu aralıktaki operasyonlar tüm uçaklar için kabul edilebilir. Kaplama yaşlandıkça, donma/çözülme kabarması veya münferit kaplama problemleri gibi çeşitli faktörler, kabul edilebilir aralık limitlerine yaklaşan tümsek yüksekliği ve uzunluk kombinasyonlarına yol açabilir.

Deneyimler, koşullar aralığın limitlerine yaklaştıkça pilotların aşırı pürüzlülük bildirmeye başladığını göstermektedir. Pilot raporlar oluşmaya başladığında, havalimanı operatörleri tümseğin yerlerini belirlemeye ve düzeltici eylemlere hazırlanmaya başlamalıdır. Bu hazırlıklar, kaplama profilini izlemek için planlı bakım faaliyetlerini içermelidir.

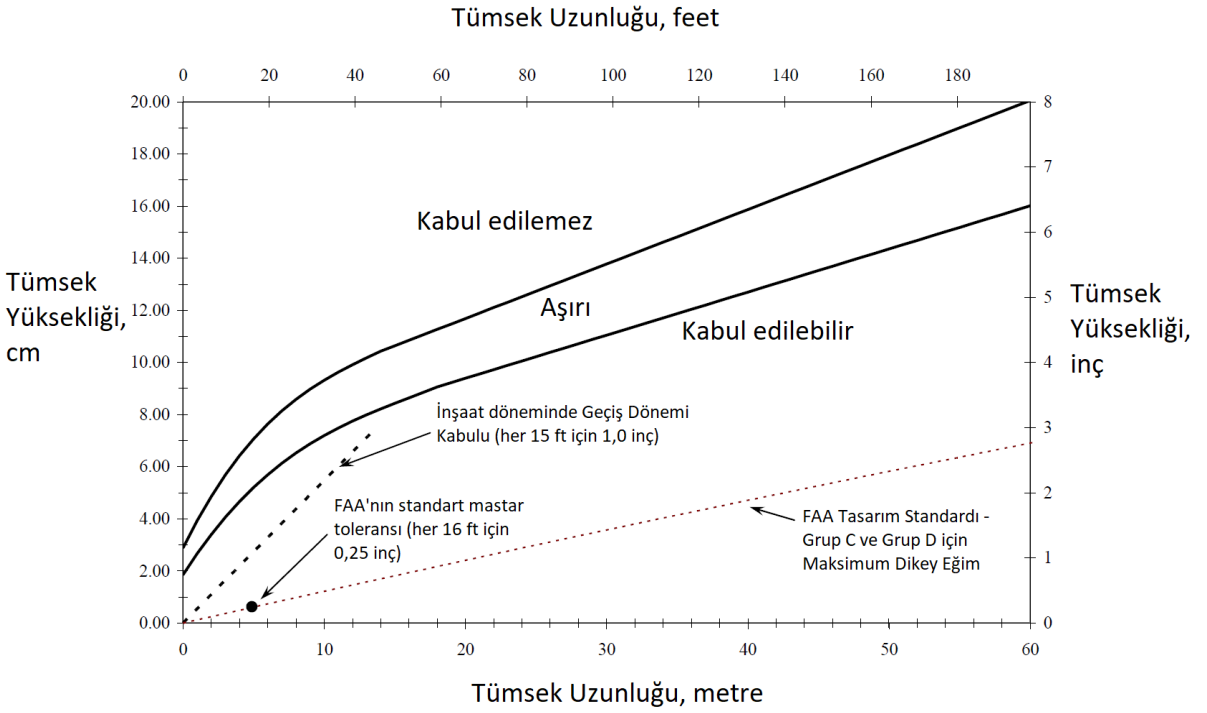
Pürüzlülük kabul edilebilir bölgenin üzerinde olduğunda, uçak donanımının yorulması, yolcunun rahatsızlığından veya kokpit hızlanma sınırlamalarından daha kritik hale gelir.

2) Aşırı

FAA, havalimanı operatörlerini, pürüzlülük seviyeleri aşırı bölgeye ulaştığında kaplamaları onarmaya teşvik etmektedir. Aşırı seviyedeki pürüzlere karşı uçağın tepkisi hem uçak mürettebatı hem de yolcular için fark edilir derecede dayanılmaz hale gelir. Bu büyüklükteki pürüz, uçaktaki tüm yolcular için ciddi rahatsızlık yaratacaktır. Kokpitte alet paraziti ciddi seviyeye ulaşabilir. Bu pürüzlülük seviyesi aynı zamanda uçağın kısa süreli olarak yönlendirilememesine ve ayrıca burun ve ana dişli yorulma ömrünün aşırı azalmasına neden olabilir. Bu seviyede pürüzlülüğe sahip kaplamanın derhal onarılması gerekir ancak söz konusu pürüzlü kaplamanın uçuşa kapatılması gerekli değildir.

3) Kabul edilemez

Kabul edilemez bölgedeki pürüzlülük seviyelerine ulaşan kaplamanın derhal uçuşa kapatılmalıdır. Kaplamanın kabul edilebilir bir seviyeye getirilmesi için onarım gereklidir.



Şekil 17. Tek Olaylı Tümsek-Pürüzlülük Kabul Kriterleri

2.2.2.4. BOEİNG BUMP İNDEKSİNİN GELİŞİMİ

2.2.2.4.1. BOEİNG BUMP ENDEKSİ İHTİYACI

Boeing Bump yöntemini bir kaplama profiline uygulamak zaman alıcı olabilir çünkü profil araştırmasındaki her noktanın tüm olası mastar uzunlukları için değerlendirilmesi gerekir. Herhangi bir özel pist pürüzlülüğü durumunda, özellikle bakım yoluyla pürüzlülüğün azaltılmasına yönelik stratejiler dikkate alındığında hem tümsek yüksekliği hem de tümsek uzunluğu önemlidir.

Çarpma kriterlerini özetlemek ve hesaplanan çarpma kriterlerini diğer pürüzlülük ölçümleriyle karşılaştırmak için FAA, Boeing Çarpma prosedürü için ek bir parametre oluşturmuştur. “Boeing Bump Index” (BBI) olarak adlandırılan bu yeni endeks aşağıdaki süreçle belirlenir:

1. Profilde seçilen bir örnek nokta için tüm mastar uzunluklarının tümsek yüksekliği ve tümsek uzunluğu hesaplanır.

2. Her bir mastar uzunluğu için, hesaplanan tümsek uzunluğunun kabul edilebilir tümsek yüksekliği sınırı (kabul edilebilir bölgenin üst sınırı) hesaplanır.

3. Her mastar uzunluğu için $\frac{(\text{ölçülen tümsek yüksekliği})}{(\text{kabul edilebilir tümsek yüksekliği sınırı})}$ oranı hesaplanır

4. Profildeki tüm örnek noktalar için 1'den 4'e kadar olan adımlar tekrarlanır.

Seçilen örnek noktası için BBI değeri, seçilen örnek noktası için 3. adımda hesaplanan tüm değerlerin en büyüğüdür. Hesaplanan indeks değeri 1.0'den küçükse pürüzlülük kabul edilebilir bölgededir; 1.0'dan büyükse aşırı veya kabul edilemez bölgededir.

2.2.2.4.2. BOEİNG ÇARPMA İNDEKSİNİ HESAPLAYACAK YAZILIMIN GELİŞTİRİLMESİ

BBI değerini hesaplamak için bir bilgisayar programının geliştirilmesine yardımcı olmak amacıyla FAA, aşağıda verildiği gibi alt ve üst kriter eğrilerinin matematiksel modellerini oluşturmuştur:

1- Alt Limit Eğrisi (kabul edilebilir bölgenin üst limiti)

$H = 1.713187 + 0.800872\mathrm{L} - 0.031265\mathrm{L2} + 0.000549\mathrm{L3}$ $(\mathrm{L} < 20$ metre olanlar$)$

$H = 6.4 + 0.16\mathrm{L}$ $(20 < \mathrm{L} < 60$ metre olanlar$)$

2- Üst Limit Eğrisi (Aşırı Bölgenin Üst Limiti)

$H = 2.747222 + 1.433399\mathrm{L} - 0.183730\mathrm{L2} + 0.013426\mathrm{L3}$ $(\mathrm{L} < 5$ metre olanlar$)$

$H = 2.7590 + 1.085822\mathrm{L} - 0.053024\mathrm{L2} + 0.001077\mathrm{L3}$ $(5 < \mathrm{L} < 20$ metre olanlar$)$

$H = 7.775 + 0.20375\mathrm{L}$ $(20 < \mathrm{L} < 60$ metre olanlar$)$

H = Tümsek yüksekliği (cm)

L = Tümsek uzuluğu (cm)

2.2.2.4.3. PROFAA YAZILIMI

FAA, BBI değerinin hesaplanmasına yardımcı olmak için ProFAA yazılımını geliştirmiştir. Bölüm 2.2.3'te FAA'nın kullanıma sunduğu bu yazılımın kullanımına ilişkin ek bilgiler verilmiştir.

2.2.2.4.4. ORİJİNAL BOEİNG ÇARPMA PROSEDÜRÜYLE KARŞILAŞTIRMA

Boeing Bump Index prosedürü, orijinal Boeing Bump prosedüründen farklıdır çünkü ikinci yöntem manuel veri işlemeye dayanmaktadır. Bunun ötesinde,

1. "*Boeing Document D6-81746 - Runway Roughness Measurement, Quantification, and Application – The Boeing Method*" dökümanında tanımlanan tümsek uzunluğu yerel minimum veya yerel maksimumdadır. Belirli bir mastar uzunluğu için birden fazla yerel minimum veya maksimum olabilir. Tümsek yüksekliği ve uzunluğunun en kötü kombinasyonunun bu yöntemle elde edildiği varsayılır.

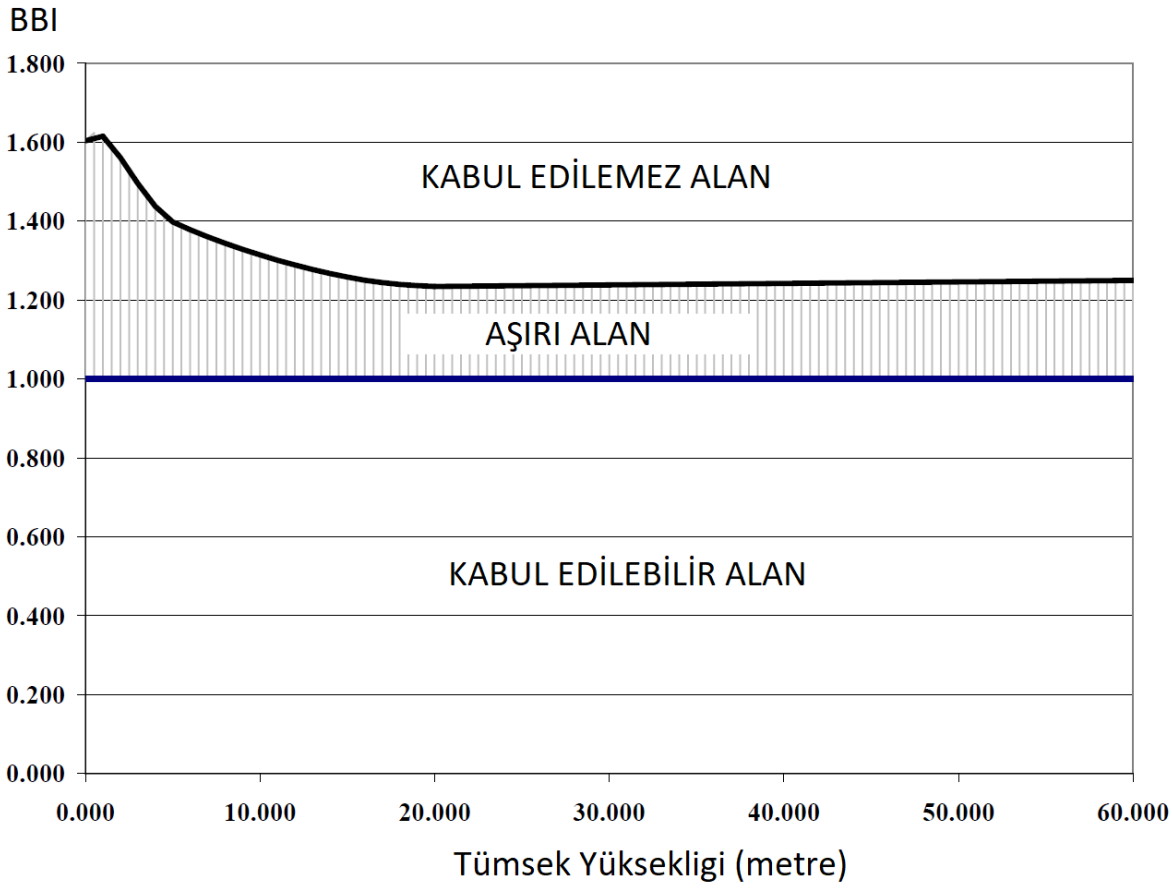
2. ProFAA tümsek uzunluğu, bir profil noktasında maksimum BBI değerini veren kombinasyon içindir.

2.2.2.5. BBI DEĞERİ İLE KAPLAMA PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

2.2.2.5.1. BOEİNG ÇARPMA ENDEKSİ DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ

Bir kaplama profilinin BBI ile değerlendirilmesi, Boeing Bump yöntemiyle yapılana benzer. BBI aynı üç pürüzlülük derecelendirme bölgesine dayandığından, bu bölgelerin paragraf 2.2.2.3.2'deki tanımları BBI'nın karşılık gelen aralıklarına uygulanır.

Şekil 18'de verilen grafik, Şekil 17'daki kavramların BBI ile tümsek uzunluğu açısından karşılaştırmalı ifadesidir. Aşağıdaki şekil, yukarıda bahsedilen "kabul edilebilir", "aşırı" ve "kabul edilemez" bölgelerin BBI açısından yorumlanmış halidir. BBI değeri 1.0'ın altında olduğunda Boeing çarpma kriteri kabul edilebilir bölgededir. 1.0'dan büyük BBI değerleri ya aşırı ya da kabul edilemez bölgelere düşer.



Şekil 18. Boeing Bump Endeksi - Pürüzlülük Kabul Kriterleri

2.2.2.5.2. BOEİNG BUMP ENDEKSİNİN PROFAA RAPORLAMASI

ProFAA yazılımı, bir kaplama profilindeki tüm araştırma aralıkları için BBI değerini hesaplar. ProFAA, bir profilin kabul edilebilir ve aşırı bölgeleri aştığı her seferinde kayıt yapar ve her olayı gösteren bir rapor hazırlar.

2.2.2.6. İNŞAAT SIRASINDA GEÇİCİ KAPLAMA GEÇİŞLERİ

Havalimanlarında inşaat işinin devam ettiği esnada uçakların kullanımına hazır bir kaplamalı sahanın sağlanması gerekir; dolayısıyla kaplama inşaatı genellikle yoğun olmayan saatlerde bölümler halinde gerçekleşir. Sonuç olarak kaplama projelerinin tamamlanması genellikle birkaç aşamadan oluşur. Bu aşamalar sırasında, kaplama yüzeyi üniform olmayabilir ve uçakların bir alandan diğerine geçişine izin vermek için geçici yollar gerektirebilir. Çoğu zaman bu durum Sıcak Karışım asfalt yapımıyla sağlanır.

"FAA AC 150 5370-13A - Off-Peak Construction Of Airport Pavements Using Hot-Mix Asphalt" dökümanı, Sıcak Karışım asfalt kullanılarak yoğun olmayan inşaatlara ilişkin rehberlik sağlar. AC 150/5370-13, her 2.54 santimetrelik (1 inç) yükseklik değişikliği için 4.57 metrelik (15 fit) bir rampa önerir. Şekil 17 bu kriterin kabul edilebilir pürüzlülük bölgesinin üst sınırıyla nasıl karşılaştırıldığını göstermektedir. Kabul edilebilir bölgenin üst sınırının aşılmasını önlemek için, 7.62 santimetreden (3 inç) büyük yükseklik değişiklikleri rampa uzunluğunun ayarlanmasını gerektirir.

2.2.3. PROFAA YAZILIMI KULLANMA

2.2.3.1. PROFAA YAZILIMININ GELİŞTİRİLMESİ

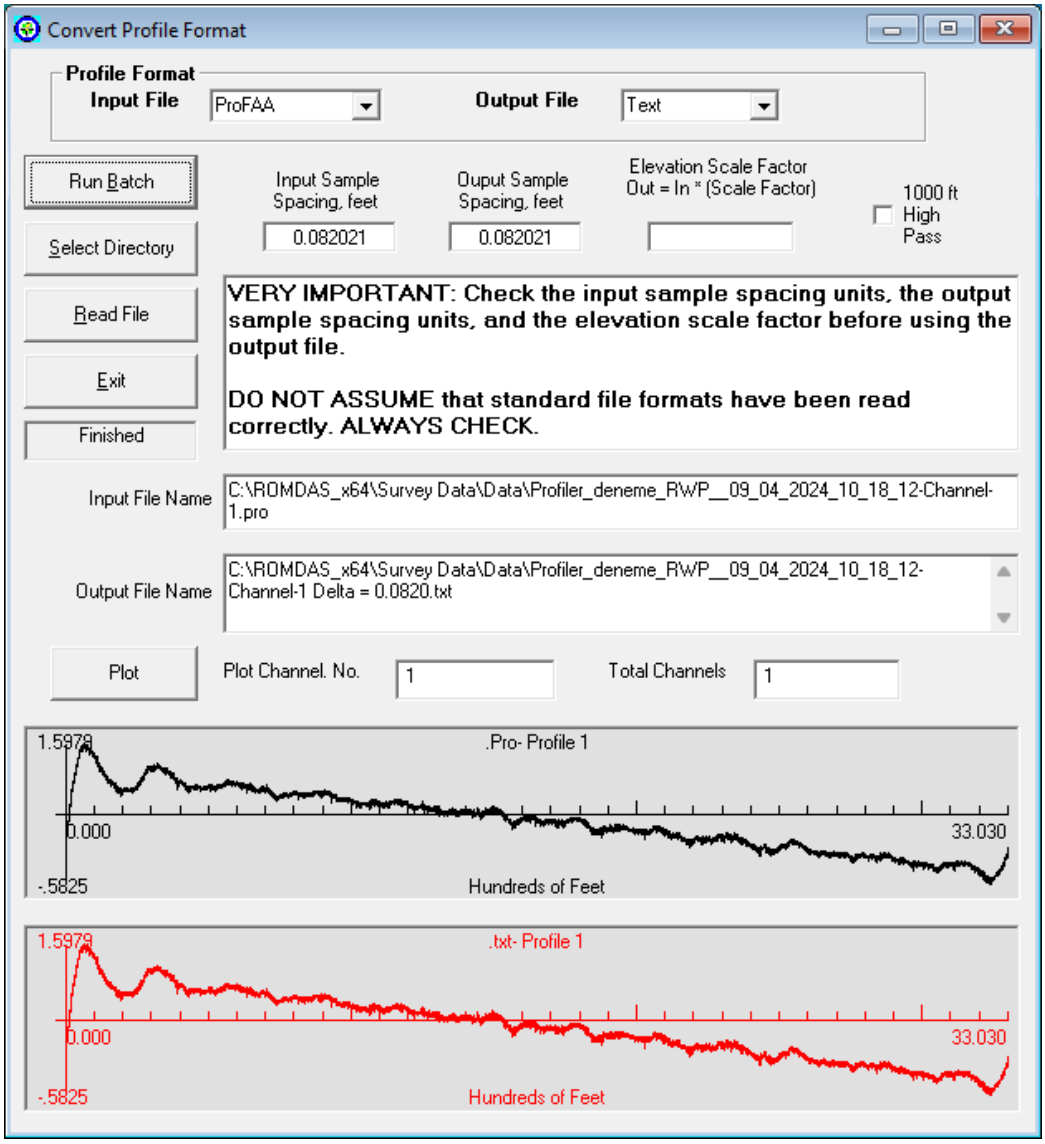
FAA'nın ProFAA yazılımı, çeşitli formatlardaki giriş verilerini kabul edebilir, giriş verilerini tercih edilen formata dönüştürebilir ve BBI ile diğer kaplama pürüzlülüğü parametrelerini hesaplayabilir.

2.2.3.2. PROFAA'YA VERİ GİRİŞİ

ProFAA, 0.984 inç (25 milimetre) aralıklarla tek bir profil için ikili formattaki veri dosyalarını kabul eder. Yükseklik örneklerine ilişkin sayılar, IEEE 754 tek duyarlıklı kayan nokta formatında sıralı olarak saklanır. Örnek aralığının sabit olduğu varsayılır ve mesafe bilgisi dahil edilmez. Dosyalar üç harfli "pro" uzantısıyla belirtilir. Profil ProFAA'ya okunduktan ve BBI hesaplaması seçildikten sonra yazılım, verilere 0.6096 döngü/inç (2 döngü/metre) kesme frekansında altıncı dereceden Butterworth filtresiyle alçak geçiş filtrelemesi uygular ve 0,25 metrelik (0,8202 fit) numune aralığı sağlamak için her dördüncü örneği değer olarak atar. Yazılım daha sonra profili BBI değerini hesaplamak için bir alt program aracılığıyla çalıştırır ve sonuçları çıkış ekranında görüntüler.

2.2.3.2.1. VERİ FORMATI DÖNÜŞÜMÜ

ProFAA tarafından kabul edilen profil veri dosyası formatı, ticari profil ekipmanları tarafından yaygın olarak kullanılmadığından ve farklı ekipman üreticileri tarafından farklı formatlar kullanıldığından, yazılım, en yaygın profil veri formatlarını dönüştürmek için "Convert Profile Format" adı verilen bir dönüştürme yardımcı programı içerir. Şekil 20 örnek bir dönüşümün görüntülendiği programın ekran görüntüsünü göstermektedir. Çıkış dosyalarında, başlangıç ve bitiş örneklerinin sıfır olması zorlanarak doğrusal eğilim her zaman kaldırılır.



Şekil 19. Profil Biçimini Dönüştürme Programının Ekran Görüntüsü

2.2.3.2.2. PROFAA GİRİŞ VE ÇIKIŞ FORMATLARI

Tablo 2, ProFAA ile ilişkili mevcut giriş ve çıkış formatlarını listelemektedir. Yazılım, giriş ve çıkış formatlarının herhangi bir kombinasyonuna izin verir.

Tablo 2. Profil Formatını Dönüştürmek İçin Giriş ve Çıktı Dosya Formatları

Giriş Formatı	Çıkış Formatı
ERD	ProFAA
ASTM	ERD
ProFAA	ASTM
Text	Text
	CSV

ERD	:	Michigan Üniversitesi Ulaştırma Araştırma Enstitüsü'nde geliştirilen format
ASTM	:	Federal Karayolu İdaresi'nin ProVAL dosya formatından geliştirilen, ASTM E2560'ta belirtilen format
ProFAA	:	ProFAA yazılımı tarafından kullanılan format
Text	:	Sabit örnek aralığında yükseklik değerlerini temsil eden ASCII sayısal değerlerinin tek sütunu (CRLF sınırlayıcıları)
CSV	:	Sabit örnek aralığındaki yükseklik değerlerini temsil eden ASCII sayısal değerlerinin virgülle ayrılmış listesi

Bu, CSV formatına dönüştürülmüş bir profilin ilk 27 örneğinin bir örneğidir: İlk örneğin sıfır olduğuna dikkat edilmelidir.

0.000000,-0.009628,-0.050756,-0.068883,-0.060211,-0.065839,-0.076467,-0.081894,-0.088522,-0.073250,-0.080278,-0.078406,-0.070933,-0.069461,-0.074489,-0.084417,-0.085144,-0.096472,-0.104800,-0.105828,-0.095856,-0.094983,-0.105911,-0.089639,-0.108767,-0.099394,-0.112622,-

2.2.3.2.3. VERİ FORMATI DÖNÜŞTÜRME ÖRNEĞİ

Şekil 19, giriş dosyasının Metin formatında ve çıktının ProFAA formatında olduğu bir örneği göstermektedir. Tablo 3 bu profilin ilk 7.62 metresine (25 feet) ait verileri göstermektedir. Veriler orijinal olarak bir elektronik tabloda hazırlanmıştır ve her bir profil veri noktasıyla (A sütunu) ilişkili boylamsal mesafeyi içermektedir. 2.2.2.2.1'de belirtildiği gibi boylamsal aralık sabit olmalıdır. Verilerin ProFAA yazılımına hazırlanması için mesafe verileri kaldırılmış ve dosya metin formatında kaydedilmiştir (bkz. Tablo 3'teki C sütunu).

ProFAA için gerekli örnek aralığı 25 milimetredir (0.082021 feet) ve giriş dosyasının örnek aralığı 1 fittir (0.305 metre). Yazılım, çıktı dosyasındaki yükseklik değerleri için birim olarak inç, giriş dosyasındaki yükseklik değerleri için ise fit kullanır. Bu nedenle Tablo 3'de gösterilen "Yükseklik Ölçek Faktörü" metin kutusuna girilen değer 12 inç/fit'tir.

Tablo 3. Şekil 19'te Gösterilen Örnek Veriler

Verilerin kaynağı Elektronik Tablo formatındadır (mesafe verilerinin dahil edildiğine dikkat edin)		Metin formatında saklanan veriler (mesafe verileri çıkarılmıştır)
A	B	C
Mesafe (fit)	Yükseklik (fit)	Örnek 1 fit aralık
0	-0.0003	-0.0003
1	0.0125	0.0125
2	0.000	0.000
3	-0.0033	-0.0033
4	-0.0085	-0.0085
5	-0.0207	-0.0207
6	-0.0358	-0.0358
7	-0.0351	-0.0351
8	-0.0482	-0.0482
9	-0.042	-0.042
10	-0.0512	-0.0512
11	-0.0499	-0.0499
12	-0.0649	-0.0649
13	-0.0548	-0.0548
14	-0.0548	-0.0548
15	-0.0554	-0.0554
16	-0.0548	-0.0548
17	-0.0551	-0.0551
18	-0.0679	-0.0679
19	-0.0597	-0.0597
20	-0.059	-0.059
21	-0.064	-0.064
22	-0.0574	-0.0574
23	-0.0604	-0.0604
24	-0.0682	-0.0682
25	-0.0646	-0.0646

2.2.3.2.4. PROFİL FORMATINI DÖNÜŞTÜRME PROGRAMININ KULLANIMI

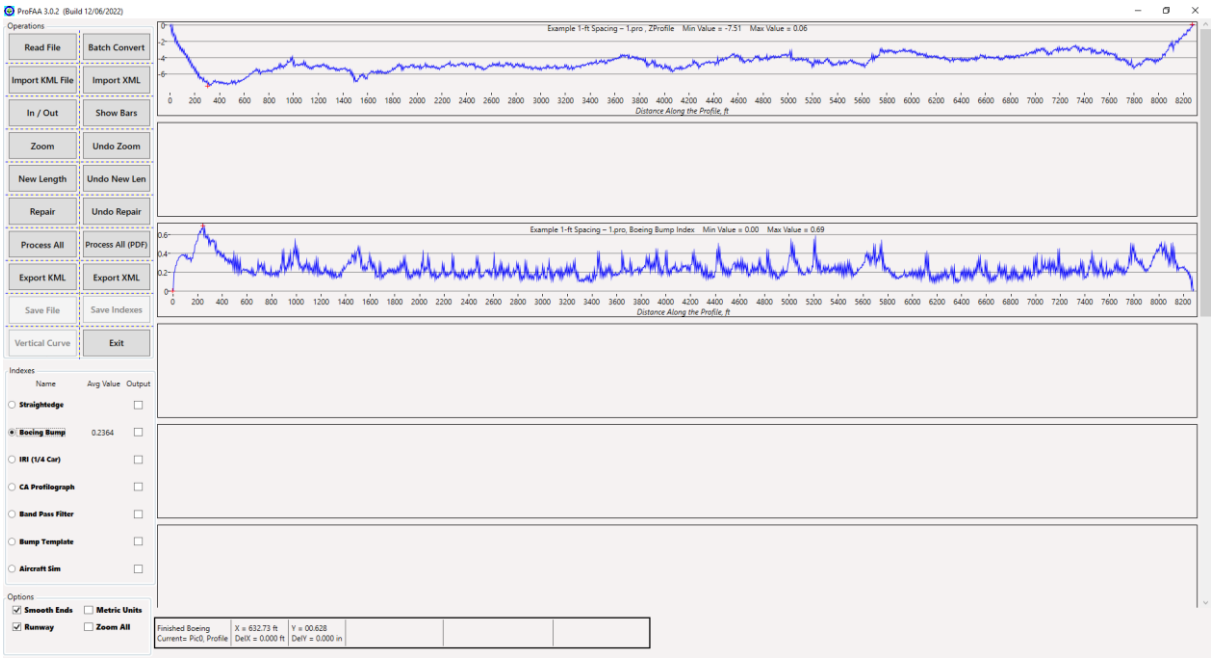
1) Standart bir Windows dosya seçimi iletişim kutusu açmak için “Read File” düğmesine basın.

2) Dosyayı seçin. Program onu dönüştürdükten sonra ProFAA'ya yükleyebilirsiniz.

3) Dönüşümü görsel olarak doğrulayabilmeniz için giriş ve çıkış dosyalarını ekranda çizmek için “Plot” düğmesine basın. Giriş dosyasında birden fazla profil varsa; sol, orta ve sağ profiller için veri sütunları — “Plot Channel No.” alanına çizilecek profili girin. Metin kutusu. Girilen sayısal değer, verilerin saklandığı sütuna karşılık gelmelidir. Giriş örnek aralığı, çıktı örnek aralığından daha büyük olduğunda, dönüştürme işlemi kübik eğrileri giriş profili noktalarına yerleştirir ve çıktı örnek aralığındaki kübik eğrilerden çıkış yükseklik değerlerini hesaplar. Giriş örnek aralığı, çıkış örnek aralığından daha küçük olduğunda, yazılım düşük geçişli, kenar tırtıklılığını önlemek için giriş profilini filtreler ve kübik eğrileri filtrelenen giriş profili noktalarına yerleştirir. Çıkış yükseklik değerleri daha sonra çıkış örnek aralığındaki eğrilerden hesaplanır.

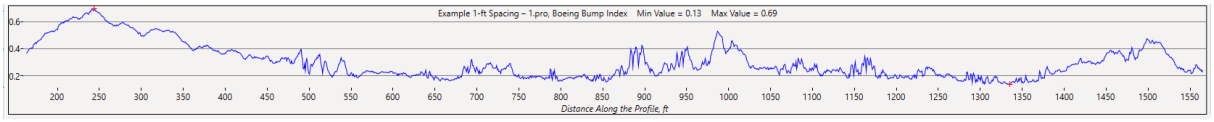
2.2.3.2.5. BBI DEĞERİNİ HESAPLAMAK

1) Çıktı dosyasındaki profil için BBI değerini hesaplarken (bu örnekte, “Example 1-ft Spacing – 1.pro”), ProFAA'yı başlatılır, dosyayı programa okutulur ve indeksler listesinden Boeing Bump Index seçilir. Şekil 20 bu işlemler gerçekleştirildikten sonra ProFAA'nın ekran görüntüsünü göstermektedir.



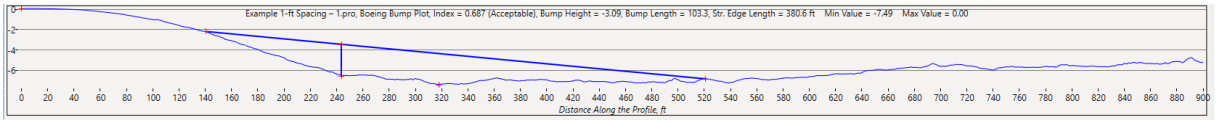
Şekil 20. Örnek Profili ve Profilden Hesaplanan BBI Değerini Gösteren ProFAA Ekran Görüntüsü

2) Kaba kesiti daha detaylı incelemek için "Yakınlaştır" butonuna basıp yakınlaştırılacak kesitin sağına ve soluna tıklayın. Şekil 21 sonucu göstermektedir.



Şekil 21. BBI Çıktısının Yakınlaştırılmış Kısmı

3) Yakınlaştırılmış grafikte BBI değerinin okunmasını istediğiniz bir konumda fare işaretçisini sağ tıklayın. Tıklanan noktanın yakınındaki grafiğin ikinci bir görünümü, BBI grafiğinin altındaki resim kutularından birinde, BBI değerinin hesaplandığı mastarın da dahil olduğu hesaplamayla ilgili bilgilerle birlikte görünecektir. Şekil 22, maksimum BBI konumunda fare işaretçisine sağ tıklandığındaki sonucu gösterir.



Şekil 22. Seçilen Bir Noktada BBI Detayları

Örnek analiz görüntüsüne göre aşağıdaki bilgiler elde edilmiştir

Boeing Bump Index	=	0,687 (Kabul edilebilir)
H (Tümsek Yüksekliği)	=	-3,09 inç
L (Tümsek Uzunluğu)	=	103,3 feet
EL (Master Uzunluğu)	=	380,6 feet

BBI aşırı veya kabul edilemez bölgelerde ise program, BBI satırındaki "Kabul Edilebilir" ifadesini "Aşırı" veya "Kabul Edilemez" ile değiştirir.

2.3. PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ KARŞILAŞTIRMASI

Bu bölümde *"Federal Aviation Administration'ın yayınladığı DOT/FAA/TC-21/39 - Development of New Roughness Standards for In-Service Airport Pavement, 2021."* dokümanından yararlanılmıştır.

2.3.1. GİRİŞ

Havalimanı inşaat aşamasında, havalimanı yüzey pürüzlülüğü, AC 150/5370-10 ve AC 150/5320-5 gibi gibi uzunlamasına ve enine eksenler boyunca maksimum değişiklikleri içeren bir dizi standart tarafından sıkı bir şekilde düzenlenmektedir.

Pist ve taksi yolu profil verileri hem ABD hem de diğer havalimanlarından toplandıktan sonra pist ve taksi yolu profili verileri, Oklahoma City'deki Mike Monroney Havacılık Merkezi'ndeki (MMAC) FAA Boeing 737-800 (B737) ve Airbus 330-200 (A330) uçuş simülatörlerine girilmiştir. Profil verileri, kaplama yükseklik profili pürüzlülük indekslerinin hesaplanması için FAA tarafından geliştirilen program olan ProFAA kullanılarak işlenmiştir. Pilotların, uzunlamasına kaplama yüzeyindeki bozuklukların neden olduğu dikey kokpit titreşimlerine karşı subjektif tepkileri de toplanmıştır. Pilotun subjektif derecelendirmeleri ve B737 ve A330 simülasyon çalışmalarından seçilen Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (ISO) hızlanma endeksleri, daha sonra istatistiksel analizlerle birlikte ProFAA tarafından hesaplanan pürüzlülük endeksleriyle karşılaştırılmıştır.

2.3.2. ISO HIZLANMA ENDEKSLERİ

Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (ISO), ivme endeksleri hakkında "Ölçülen ve simüle edilen ivmeyi insan rahatsızlığıyla ilişkilendirmek için kullanılan ISO 2631-1 (1997)" ve "ISO 2631-5 (2004)" iki belge yayınlamıştır. ISO 2631-1 (1997)'de indekslerin hesaplanmasından önce ham ivmeye frekans ağırlıklandırma tekniği uygulanır. Bu standarttan dört ivme indeksi kullanılır;

1) Ağırlıklı ortalama karekök (weighted root mean square, WtRMS),

2) Ağırlıklı maksimum geçici titreşim değeri (weighted maximum transient vibration value, WtMTVV),

3) Ağırlıklı dördüncü kuvvet titreşim dozu (weighted fourth-power vibration dose, WtVDV),

4) Ağırlıklı dikey distorsiyon yöntemi (weighted vertical distortion method, WtVDM).

ISO 2631-5 (2004), insanın omurgasının hızlanmaya verdiği tepkiyi temel alan bir indeks sunmaktadır. Bu endekse omurga tepkisi hızlanma dozu *(spinal response acceleration dose, DK)* adı verilir ve bu raporda da yer alacaktır. DK'nin iki çeşidi vardır: omurga tepkisi dozu artırma *(spinal response dose up, DKup)* ve omurga yanıtı azaltma *(spinal response dose down, DKdown)*.

Ayrıca tepe faktörü *(crest factor, CF)* ve ağırlıklı tepe faktörü *(weighted crest factor, WtCF)* de dikkate alınmalıdır. CF, ivmenin maksimum mutlak değerinin, aynı zaman periyodundaki ivmenin ağırlıksız ortalama karekköküne oranıdır. WtCF, ağırlıklı ivmenin maksimum mutlak değerinin aynı zaman periyodundaki ivmenin WtRMS'sine oranıdır.

2.3.3. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Bu çalışma için istatistiksel analiz, Mike Monroney Aeronautical Center (MMAC)'daki simülatör projelerinden elde edilen sonuçlar ve ProFAA tarafından oluşturulan pürüzlülük endeksleri kullanılarak yapılmıştır. MMAC projeleri, ISO endekslerini ve pilotların subjektif değerlendirmesi PSR'yi *(pilots' subjective rating)* hesaplamak için 74 adet gerçek dünyada aktif hizmet veren havalimanı pisti ve taksi yolu profili kullanıldı. Kaplama profilleri, test edilen 37 pist ve 37 taksi yolu profili ile pist ve taksi yolu arasında eşit şekilde bölünmüştür. Bu çalışmada kullanılan ISO endeksleri (WtRMS, WtMTVV, WtVDV, WtVDM, DKup, DKdown ve WtCF), MMAC simülatörünün her profile yönelik hızlandırma yanıtından oluşturulmuştur. Profil başına ortalama PSR kullanılmış ve B737 simülasyonu için 36 pilottan ve A330 simülasyonu için 25 pilottan oluşturulmuştur. Pürüzlülük indeksleri ProFAA kullanılarak oluşturulmuştur ve Mastar İndeksi *(Straightedge Index, SE)*, Boeing Bump İndeksi *(Boeing Bump Index, BBI)*, Uluslararası Pürüzlülük İndeksi *(International Roughness Index, IRI)*, California Profilograf İndeksi *(California Profilograph Index, PI)* ve RMS bandpass filtreden *(RMS Bandpass Filter, BP)* oluşur. *Straightedge Index (SE),* FAA'nın AC 150/5370-10F "Standards for Specifying Construction of Airports" dökümanında ayrıntıları verilen kabul kriterlerine göre, 16 metrelik (sanal) düz kenarın tüm uzunluğu boyunca maksimum sapmayı bulacak şekilde yapılandırılmıştır.

2.3.4. İSTATİSTİKSEL REGRESYON ANALİZİ SONUÇLARI

2.3.4.1. B737 PİST MODELLERİ

Yalnızca pist verileri kullanıldığında endeksler birbirleriyle iyi bir uyum içerisindedir. Analiz için çoklu regresyon, varyans analizi (ANOVA) ve veri dönüşümleri gibi bazı doğrusal regresyon teknikleri kullanılmıştır. Analiz süreci boyunca %5 anlamlılık düzeyi seçilmiştir.

Bu analiz, beş pürüzlülük indeksinin WtRMS ile korelasyonunu ortaya çıkarmıştır. Pist pürüzlülük indekslerinin B737 uçak simülatörü sonuçlarıyla korelasyonu Tablo 4'de verilmiştir.

BBI'nin pistler için WtRMS ile güçlü bir doğrusal korelasyonu bulunmaktadır. BBI ile karşılaştırıldığında IRI'nin WtRMS ile daha zayıf bir korelasyonu bulunmaktadır. IRI uçaklardan ziyade otomobillerde kullanılmak üzere geliştirildiğinden bu sonuç beklenmelidir. Uyum değeri ile orijinal veri karşılaştırıldığında BBI modeli, incelenen pürüzlülük indeksi modelleri arasında en az saçılıma sahip olan model olmuştur.

Tablo 4. B737 Pist Modelleri

B737 Taksiyolu Modeli	R^2
$BBI = 0.2559 x WtRMS$	0.986
$\sqrt{IRI} = 5.964 + 6.133 x WtRMS$	0.836
$\sqrt{SE} = 0.2468 + 0.1770 x WtRMS$	0.716
$\sqrt{PI} = 5.279 x WtRMS$	0.980
$BP = 0.4559 x WtRMS$	0.963

2.3.4.2. A330 PİST MODELLERİ

B737 istatistiksel analizine benzer şekilde, A330 simülasyonlarına dayalı olarak beş pürüzlülük indeksi ve WtRMS arasında regresyon modelleri geliştirilmiştir. Genel olarak BBI modeli, A330 simülatör pist grubu için pürüzlülük endeksleri arasında en yüksek korelasyon katsayısını ve en az saçılımı sergilemektedir.

Tablo 5. A330 Pist Modelleri

A330 Taksiyolu Modeli	R^2
$BBI = 0.3091 x WtRMS$	0.9899
$\sqrt{IRI} = 5.936 + 7.473 x WtRMS$	0.8983
$\sqrt{SE} = 0.2445 + 0.2174 x WtRMS$	0.8312
$\sqrt{PI} = 6.393 x WtRMS$	0.9898
$BP = 0.05546 x WtRMS$	0.9814

2.3.5. PİST MODELLERİ ÖZETİ

İstatistiksel regresyon analizi, ProFAA'nın hesaplanan pürüzlülük endekslerini, pist profillerini kullanan B737 ve A330 simülatör testlerinden (100 knot hızda) elde edilen WtRMS çıktılarıyla ilşkilendirmiştir. Analiz, tüm endekslerin WtRMS ile doğrusal bir modelle yeterince ilişkili olduğunu göstermiştir. Ayrıntılı bilgi için DOT/FAA/TC-21/39 dökümanının ilgili bölümlerine bakılmalıdır. Tablo 6 ve Tablo 7, B737 ve A330 simülatörleri için regresyon modellerini özetlemektedir.

Tablo 6. B737 için İstatistiksel Modellerin Özeti

	BBI	IRI	SE	PI	BP
Veri Transformasyonu	-	Kare kök	Kare kök	Kare kök	-
Tahmin Yöntemi	WtRMS	WtRMS	WtRMS	WtRMS	WtRMS
R^2	0.9860	0.8360	0.7610	0.9800	0.9634

Tablo 7. A330 için İstatistiksel Modellerin Özeti

	BBI	IRI	SE	PI	BP
Veri Transformasyonu	-	Kare kök	Kare kök	Kare kök	-
Tahmin Yöntemi	WtRMS	WtRMS	WtRMS	WtRMS	WtRMS
R^2	0.9899	0.8983	0.8312	0.9898	0.9814

Tablo 8. Pist için B737 ve A330 Modellerinin Korelasyon Katsayılarının Karşılaştırılması

Model	Katsayı	B737	A330	Oran (A330/B737)
BBI	WtRMS	0.2559	0.3091	1.21
IRI	Intercept	5.964	5.936	1.00
	WtRMS	6.133	7.473	1.22
SE	Intercept	0.2468	0.2445	0.99
	WtRMS	0.1770	0.2174	1.23
PI	WtRMS	5.279	6.393	1.21
BP	WtRMS	0.04559	0.05546	1.22

2.3.6. TAKSİYOLU MODELLERİ ÖZETİ

İstatistiksel regresyon analizi, ProFAA'nın hesaplanan pürüzlülük endekslerini, pist profillerini kullanan B737 ve A330 simülatör testlerinden (20 deniz mili hızla) elde edilen WtRMS çıktılarıyla ilşkilendirmiştir. Analiz, tüm endekslerin WtRMS ile doğrusal bir modelle yeterince ilişkili olduğunu göstermiştir. Ayrıntılı bilgi için DOT/FAA/TC-21/39 dökümanının ilgili bölümlerine bakılmalıdır. Tablo 9 ve Tablo 10, B737 ve A330 simülatörleri için regresyon modellerini özetlemektedir.

Taksi yolu verileri açısından IRI, SE, PI ve BP, uçak simülasyon sonuçlarıyla iyi bir korelasyona sahiptir. Bununla birlikte, BBI'ın taksi yollarından daha yüksek hızda kullanılan pistlerde kullanılmak üzere geliştirilmesi nedeniyle BBI ile uçak simülasyon sonuçları arasındaki korelasyon zayıftır. Bu nedenle taksi yolları için BBI modelinin kullanılması tavsiye edilmemektedir.

Tablo 9. Taksi Yollarında B737 için Pürüzlülük İndeksi Modelleri

B737 Taksiyolu Modeli	R^2
$BBI = 0.2704 + 0.3457\ x\ WtRMS$	0.2387
$IRI = 40.24 + 243.11\ x\ WtRMS$	0.9533
$SE = 0.06285 + 0.25744\ x\ WtRMS$	0.9394
$PI = 84.07\ x\ WtRMS$	0.9632
$BP = 0.1034\ x\ WtRMS$	0.9829

Tablo 10. Taksi Yollarında A330 için Pürüzlülük İndeksi Modelleri

A330 Taksiyolu Modeli	R^2
$BBI = 0.2557 + 0.5493\ x\ WtRMS$	0.2242
$IRI = 25.33 + 399.43\ x\ WtRMS$	0.9638
$SE = 0.04744 + 0.4219\ x\ WtRMS$	0.9447
$PI = 126.3\ x\ WtRMS$	0.9581
$BP = 0.1552\ x\ WtRMS$	0.9770

2.3.7. SONUÇ

Uçak simülatör testlerine dayalı olarak havalimanı kaplama yüzey koşulları için yeni bir endeksin oluşturulmasında çeşitli değişkenler dikkate alınmıştır. Bu değişkenler kokpit hızlanmaları, pilotların subjektif derecelendirmeleri (PSR'ler), kaplama pürüzlülük endeksleri, uçak tipleri, uçak hızları ve kaplamanın taksi yolu mu yoksa pist mi olduğu şeklindedir.

Kaplama pürüzlülüğüne ilişkin subjektif pilot derecelendirmeleri ve kokpit ivmelerinin objektif ölçümleri tüm oturumlar için toplanmıştır. Mevcut pürüzlülük indekslerine ek olarak dört adet Uluslararası Standart Organizasyonu (ISO) indeksi değerlendirilmiştir. Pilot derecelendirmelerini kokpit ivmeleri ve pürüzlülük endeksleriyle ilişkilendirmek için veri analizleri yapılmıştır. ISO 2631-1 standardına göre ağırlıklı ortalama karekök ivme indeksi (WtRMS), ölçülen kokpit ivmeleriyle doğrudan ilişkili olduğu için seçilmiştir.

İstatistiksel analizlere göre, pistlerde ve taksiyollarında farklı uçak hızları sebebiyle uçağın kaplama profiline verdiği tepki farklıdır. Bu nedenle pist ve taksi yollarına ayrı pürüzlülük indeksi modelleri uygulanabilir.

Boeing Bump Indeksi (BBI), ProFAA tarafından hesaplanan diğer endekslerle (R^2>0.98) karşılaştırıldığında pistlerdeki WtRMS ile en iyi korelasyona sahiptir. Bu nedenle pistlere yönelik BBI modelinin kullanılması tavsiye edilmektedir.

Uluslararası pürüzlülük indeksi (IRI), master indeksi (SE), California Profilograf Indeksi (PI) ve ortalama kare bandpass filtrenin (BP) taksi yolu uçak simülasyon sonuçlarıyla iyi bir korelasyonu vardır ve bu da her birinin kullanılabileceğini göstermektedir. Buna karşılık, BBI ile uçak simülasyon sonuçları arasındaki korelasyon tatmin edici olmadığından taksi yolu pürüzlülük ölçümlerinde BBI modelinin kullanılması önerilmemektedir.

EKLER

EK 1 - PROFAA

ProFAA, Federal Havacılık İdaresi'nin kaplama yükseklik profillerini görüntülemek ve analiz etmek ve pürüzlülük endekslerini hesaplamak için kullandığı bilgisayar programıdır. ProFAA özellikleri şunlardır:

- İngiliz veya Metrik birimler.
- Profilin tüm uzunluğu boyunca yükseklik profillerini okuma ve görüntüleme.
- Tam profil uzunlukları veya kullanıcı tarafından seçilen uzunluklar boyunca profil pürüzlülük endekslerinin hesaplanması ve görüntülenmesi.

Pürüzlülük endeksleri şunlardır:

1. Düz Kenar (Straightedge)
2. Boeing Çarpma Endeksi (Boeing Bump Index, BBI)
3. Çoklu Olay Pürüzlülüğü (Multiple Event Roughness, MER)
4. Uluslararası Pürüzlülük Endeksi (International Roughness Index, IRI)
5. California Tipi Profilograf (California-Type Profilograph, CT)
6. Bant Geçirgen Endeksi (Band-Pass Index, BPI)
7. Çarpma Şablonu (Bump Template)

- Ortalama endeks değerlerini hesaplama ve görüntüleme.
- BBI ve düz kenar için olasılık dağılımı gösterimi.
- B727, B737, B747, DC-9 ve DC-10 uçak tiplerinin simülasyonları.
- Yakınlaştırma yeteneği.

ProFAA, parantez içinde listelenen ilişkili dosya uzantılarıyla aşağıdaki dosya türlerini tanır:
- ERD (.erd): Bir veya birden fazla kanala sahip metin biçimi.
- PRO (.pro): 0,984 inç (25 milimetre) aralıklı tek bir profil için ikili biçim.
- (.txt): Metin biçiminde genel dosya. Metin dosyası, bir sütunda (bir kanalda) profil verileri gerektirir.

“Read File”ya tıklandığında, kullanıcının okumak için bir veri dosyası seçebilmesi için bir tarayıcı açılır. TEXT dosya biçimlerinde, veri birimleri ve örnek aralığı belirtilmemiştir. Bu nedenle, kullanıcı uygun birimi seçmeli ve sorgulama penceresinde örnek aralığı bilgilerini sağlamalıdır.

Bir ERD dosya biçimi birden fazla profilden oluşabilir; örneğin, sol, orta ve sağ profiller için veri sütunları. Bir ERD dosyasında birden fazla kanal varsa, Giriş Kanal Numarası penceresi açılır ve kullanıcıdan analiz için yüklenecek bir kanal numarasını seçmesini ve ardından onaylamasını ister. Seçilen kanal numarası aralık dışındaysa (1'den az veya kanal sayısından fazlaysa), bir hata kutusu görüntülenir.

Bir dosya seçilip okunduktan sonra, ProFAA profili üstteki çizim penceresi “ZProfile”da görüntüler. ProFAA’ya bir profil yüklenirken, profil yaklaşık olarak yatay olacak şekilde döndürülecektir. Bu, profilden lineer trend kaldırılarak yapılır. Profil döndürüldükten sonra, giriş dosyasının Nyquist frekansına ayarlanmış 4. dereceden düşük geçişli bir filtre (low-pass) uygulanarak yeniden örnekleme yapılır, ardından 0,082021 ft (25 mm) örnekleme hızına ulaşmak için kübik spline enterpolasyonu yapılır.

Sinyal işlemede, Harry Nyquist'in adını taşıyan Nyquist frekansı (veya katlama frekansı), sürekli bir fonksiyonu veya sinyali ayrı bir diziye dönüştüren bir örnekleyicinin karakteristiğidir. Belirli bir örnekleme hızı (saniye başına örnek) için, Nyquist frekansı (saniye başına döngü), döngü uzunluğu (veya periyodu) örnekler arasındaki aralığın iki katı olan frekanstır, yani 0,5 döngü/örnektir. Örneğin, ses CD'lerinin örnekleme hızı 44100 örnek/saniyedir. 0,5 döngü/örneklemede, karşılık gelen Nyquist frekansı 22050 döngü/saniyedir (Hz). Tersine, 22050 Hz sinyali örneklemek için Nyquist hızı 44100 örnek/saniyedir.

Bir sinyalin en yüksek frekansı (bant genişliği) örnekleme cihazının Nyquist frekansından daha az olduğunda, ortaya çıkan ayrık zamanlı dizinin, takma ad olarak bilinen (aliasing) bozulmadan arınmış olduğu söylenir ve karşılık gelen örnekleme hızının, o belirli sinyal için Nyquist hızının üzerinde olduğu söylenir.

Örneklemenin tipik bir uygulamasında, beklenen içerik ve istenen doğruluk temelinde korunacak ve yeniden oluşturulacak en yüksek frekans ilk olarak seçilir. Daha sonra örnekleyicinin önüne bir anti-aliasing filtresi yerleştirilir. Görevi, bu sınırın üzerindeki frekansları zayıflatmaktır. Son olarak, filtrenin özelliklerine dayanarak, kabul edilebilir derecede küçük miktarda aliasing sağlayacak bir örnekleme hızı (ve karşılık gelen Nyquist frekansı) seçilir. Örnekleme hızının önceden belirlendiği uygulamalarda, filtre tam tersi yerine Nyquist frekansına göre seçilir.

Matematiksel sayısal analiz alanında, spline interpolasyonu, interpolantın spline adı verilen özel bir parçalı polinom türü olduğu bir interpolasyon biçimidir. Yani, tüm değerlere aynı anda tek bir yüksek dereceli polinom uydurmak yerine, spline interpolasyonu düşük dereceli polinomları değerlerin küçük alt kümelerine uydurur, örneğin, hepsine tek bir dokuzuncu derece polinom uydurmak yerine, on nokta çiftinin her biri arasına dokuz kübik polinom uydurur. Spline interpolasyonu genellikle polinom interpolasyonuna tercih edilir çünkü spline için düşük dereceli polinomlar kullanıldığında bile interpolasyon hatası küçük tutulabilir. Spline interpolasyonu ayrıca, yüksek dereceli polinomlar kullanılarak interpolasyon yapıldığında noktalar arasında salınım meydana gelebilen Runge fenomeni sorununu da ortadan kaldırır.

Kübik spline interpolasyonu, Runge fenomeni probleminden kaçınmak için çok sık kullanılan Spline interpolasyonu için özel bir durumdur. Bu yöntem, Lagrange polinomu ve Newton polinomu gibi diğer bazı interpolasyon polinomlarından daha pürüzsüz ve daha küçük hataya sahip bir interpolasyon polinomu verir.

"In/Out"u seçmek yeni bir ProFAA Giriş-Çıkış penceresi açacaktır. Dosyayı okumadan önce, örnek aralığı, yumuşatma mesafesi, uçlarda kesme uzunluğu, bant geçişi Lo kesme noktası (bandpass Lo cutoff) ve bant geçişi Hi kesme noktası (bandpass Hi cutoff) varsayılan değerleri gibi parametreler değiştirilebilir. Kalan parametreler için, değişiklik yapmadan önce giriş dosyası okunmalıdır. İmleç bir parametre kutusunun üzerine getirildiğinde, kabul edilebilir aralık görüntülenir. Seçilen değerler aralığın dışında kalırsa, bir hata kutusu açılır. Uçak Tipi, simülasyon için dahil edilen beş tipten (B727, B737, B747, DC-9 ve DC-10) herhangi biri arasından seçilebilir, her birinin kendi dahili model parametreleri vardır. Dahili model parametreleri uçak tipine göre belirlenir ve uçak boyutları, uçak ağırlığı, lastik özellikleri ve uçak titreşim modlarını içerir. Uçak simülasyon parametreleri, kullanıcı tarafından parametre tablosundaki varsayılan değerlerden ayarlanabilir. Bunlara uçak tipi, uçak hızı, mod sayısı ve gövde sönümleme faktörü dahildir. Parametre tablosundaki Uçak Hızı, uçağın knot cinsinden uzunlamasına hızıdır. Gövde Sönümleme Faktörü, gövde titreşiminin sönümleme faktörüdür. Mod sayısı, uçak simülasyonunda kullanılan titreşim modlarının sayısıdır.

Parametre değerleri ayarlandıktan ve "In/Out" penceresi kapatıldıktan sonra değişikliklerin uygulanabilmesi için ilgili endeks analizinin çalıştırılması gerekmektedir.

Ek olarak, ProFAA "In/Out" penceresinde iki komut düğmesi vardır: Düz Kenar (Straightedge) ve Boeing Çarpma (Boeing Bump). Bir profil üzerinde bir düz kenar ve/veya BBI endeks analizi çalıştırıldıktan sonra, bileşenlerin ve endekslerin olasılık dağılım fonksiyonu (PDF) grafiği pencerede görüntülenebilir.

Düz kenar tipi profil ekipmanı aşağıdaki seçeneklerden herhangi birinden seçilebilir:

- Fiziksel Düz Kenar, Tam Uzunluk Üzerinde Sapma (Physical Straightedge, Deviation Over Full Length) - Düz kenardan maksimum sapma, düz kenarın tüm uzunluğu üzerinden hesaplanır.
- Fiziksel Düz Kenar, Destekler Arası Sapma (Physical Straightedge, Deviation Between Supports) - Düz kenardan maksimum sapma, destekler arasında hesaplanır.
- Yuvarlanan Düz Kenar, Tam Uzunluk Üzerinde Sapma (Rolling Straightedge, Deviation Over Full Length) - Yuvarlanan düz kenardan maksimum sapma, düz kenarın tüm uzunluğu üzerinden hesaplanır.
- İki Tekerlekli Profilograf, Merkezdeki Sapma (Two-Wheel Profilograph, Deviation at the Center) - İki Tekerlekli Profilograf'tan sapma, cetvelin merkezinde hesaplanır.

Veri dosyasını okuduktan sonra, düz kenar uzunluğu "Current Parameter Value" tablosunda 5 ile 1500 ft (1,5 ve 457,2 m) arasındaki herhangi bir değere değiştirilebilir.

Bandpass filtresi, "Bandpass Lo Cutoff" ve "Bandpass Hi Cutoff" filtre kesme frekanslarına sahip giriş profilinin dördüncü dereceden Butterworth bantpass filtresidir. Bu parametreleri değiştirmek, çıkış bantpass filtresinin grafiğini etkiler. Bantpass filtresinin toplam uzunluk özet değeri, bantpass filtreli profilin ortalama kareköküdür.

Veri dosyasını okuyup endeksleri çalıştırdıktan sonra, "Show Bars"a tıklamak, endekslerin ortalama değerlerini ve her kesit için uçak simülasyonunu görüntüleyen Endeksler Ortalama Özeti (Indices Average Summary) penceresini açacaktır. 500 ft (152,4 m) kesit uzunluklarını kullanan CA Profilograph hariç, tüm varsayılan kesit uzunlukları 1.000 ft'dir (304,8 m). CA Profilograph için kesit uzunluğu varsayılan değeri, In/Out menüsünün Section Length for CA PI'dan değiştirilebilir. Diğer tüm endeksler için kesit uzunluğu varsayılan değerleri, In/Out penceresinin Ortalama Mesafe (Averaging Distance) parametresinden değiştirilebilir.

Bir endeks ana pencereden hesaplanmazsa, o endeksin ortalama değerlerinin görüntülenmeyeceği unutulmamalıdır.

Show Bars penceresinin işlemler bölümündeki Copy Chart'a tıklandığında görüntülenen grafik Panoya kopyalanır ve burada Microsoft Word veya Excel gibi diğer uygulamalara yapıştırılabilir. PDF grafiği oluşturulur ve bir pdf dosya biçiminde kaydedilebilir.

“Min/Max Values” seçildiğinde, tüm pist için minimum ve maksimum ProFAA değerlerini veren bir açılır pencere oluşturulur.

“Filter Profile” yüklenen profile 4. dereceden bir Butterworth filtresi uygulamak için kullanılır. Bu seçildiğinde filtre profili penceresi açılır. Bu pencereden, kullanıcı aşağıdaki seçeneklerden açılır menüden uygulanacak filtre türünü seçebilir: Alçak Geçiren Filtre, Yüksek Geçiren Filtre ve Bant Geçiren Filtre (Low Pass Filter, High Pass Filter, ve Band Pass Filter). Bir filtre türü seçildiğinde, uygun filtre dalga boyu seçenekleri etkinleştirilir, böylece kullanıcı filtre dalga boyu değerlerini değiştirebilir.

Filtrelerin varsayılan değerleri, yüklenen profile hiçbir filtre uygulanmadığını göstermek için sıfıra ayarlanır. Bu işlev yalnızca bir kez uygulanabilir. Uygulandıktan sonra, profil buna göre filtrelenir. Ek olarak, ProFAA'nın tüm başlık pencereleri profile uygulanan filtrenin türünü gösterir. Sonuç profili sonrasında daha fazla ProFAA analizi için kullanılabilir.

MER düğmesi, ProFAA'daki Çoklu Olay Pürüzlülüğü (Multiple Event Roughness, MER) yöntemine özgü prosedürleri etkinleştirir.

MER yöntemi, pistler ve taksi yolları için pürüzlülük seviyelerini tespit etmek ve değerlendirmek için üç adımlı bir sürecin parçası olarak kullanılmak üzere tasarlanmıştır. ProFAA'nın Çoklu Olay Pürüzlülüğü (MER) Yöntemini gerçekleştirmek için kullandığı dört farklı araç vardır. Bu araçlar hem tek hem de çoklu tümsek pürüzlülüğünü belirlemek için kullanılır.

1. Profil İndeksi (PI-100): Bu araç, birden fazla uzun dalga boylu (Tip 3) tümsek ve çukuru tespit edecek ve miktarını belirleyecektir. 1 inçlik bir boşluk bandı (BB) ile simüle edilmiş 100 fit uzunluğunda bir profilograf kullanır. Bu endeks, 10 fitlik bir alçak geçiş filtresi ile yapılandırılmıştır.

2. Profil İndeksi (PI-25): Bu araç, tekrarlanan kısa dalga boylu tümsek ve çukurları (Tip 1 ve 2 pürüzlülük) belirlemek için kullanılan 0,4 inçlik bir BB ile standart 25 fitlik bir profilograf simülasyonudur. Bu endeks, 10 fitlik bir alçak geçiş filtresi ile yapılandırılmıştır.

3. Yuvarlanan Düz Kenar (12-foot RSE): Bu araç, endekslerin (Tip 1 ve 2 pürüzlülük) ortalama süreçlerinde kaybolabilecek tek bir tümseği veya çukuru belirlemek için kullanılır. 0,4 inçlik maksimum izin verilen sapmaya sahiptir. Bu endeks, düz kenar simülasyonunu gerçekleştirmeden önce profile 10-foot’luk bir alçak geçiş filtresi uygular.

4. Boeing Tümsek Endeksi (BBI): BBI, Tip 2 ve 3 tek olay pürüzlülüğünü belirlemek için analize dahil edilir.

MER kabul edilebilirlik sınırları, çok pürüzlüden yeni pürüzsüz kaplamalara kadar değişen 70'ten fazla pist ve taksi yolu profilini değerlendirerek deneysel olarak belirlenmiştir.

Tablo 11. Pistlerin Kabul Edilebilirlik Limitleri

PİSTLER			
PI-100 (1 inç BB)	PI-25 foot (.4 inç BB)	12-foot RSE	BBI
●Red > 35	●Red > 35	●Red > (ABS .8)	●Red > 1.2
●Yellow 20-35	●Yellow 20-35	●Yellow (ABS .4 - .8)	●Yellow 1.0 – 1.2
●Green < 20	●Green < 20	●Green < (ABS .4)	●Green < 1.0

Tablo 12. Taksiyollarının Kabul Edilebilirlik Limitleri

TAKSİYOLLARI	
PI-25 foot (.4 inç BB)	12-foot RSE
●Red > 35	●Red > (ABS .8)
●Yellow 20-35	●Yellow (ABS .4 - .8)
●Green < 20	●Green < (ABS .4)

MER yöntemini kullanmak için üç adımlı süreç şöyledir:

1. Profili ölçün. MER analizinin kalitesi profil verilerinin kalitesiyle sınırlıdır. Verilerdeki güveni artırmak için birden fazla çizgiyi incelemek iyi bir uygulamadır.
2. Ölçülen profili 500 fitlik bölümlerde analiz edin. Her bölüm Kabul Edilebilir, Aşırı veya Kabul Edilemez olarak etiketlenecektir. Tüm bölümlerin kabul edilebilir olduğu bulunursa, MER kaplama değerlendirmesi tamamlanır ve kaplama bir sonraki periyodik değerlendirmeye kadar "kullanılabilir" olarak ilan edilir. Herhangi bir bölümün kabul edilebilir olmadığı bulunursa, 3. Adıma geçin.
3. Düzeltici eylem için değerlendirme yapın: Uçak simülasyonu, mühendislik yargısı ve ProFAA'daki diğer araçlar gibi ek analizler, kaplama bölümü(leri) için ne zaman, hangi düzeltici eylemin gerekli olduğunu belirlemek için kullanılabilir.

ProFAA'da pürüzlülük tarama işlemi otomatik olarak şu şekilde hesaplanır:

1. Analiz edilecek profili seçilir.
2. Profili Pist veya Taksi Yolu olarak tanımlanır.
- “Pist”seçilirse, program otomatik olarak PI-100, PI-25, 12 fitlik RSE ve BBI analizleri tetiklenir.
- “Taksi Yolu” seçilirse, program yalnızca PI-25 ve 12 fitlik RSE analizlerini tetikler.
3. Çizilen sonuçlar otomatik olarak görünür. Pist veya taksi yolu profili seçildiğinde, analiz gerçekleştirilir ve sonuçlar 500 fitlik bölümler halinde çizilir. Her 500 fitlik bölüm Kabul Edilebilir, Aşırı veya Kabul Edilemez olarak renk kodludur.

ProFAA, bir kullanıcının profilin 500 fitlik bireysel bölümlerine bakmasına olanak tanır. Bu özellik tüm MER analiz endeksleri için kullanılabilir.

EK 2 - HAVACILIK ALFABESİ

Tablo 13. Havacılık Alfabesi

A	Alpha
B	Bravo
C	Charlie
D	Delta
E	Echo
F	Foxtrot
G	Golf
H	Hotel
I	India
J	Juliet
K	Kilo
L	Lima
M	Mike
N	November
O	Oscar
P	Papa
Q	Quebec
R	Romeo
S	Sierra
T	Tango
U	Uniform
V	Victor
W	Whiskey
X	X-ray
Y	Yankee
Z	Zulu

EK 3 - TANIMLAR

-A-

Abrasion / Aşınma
Beton yüzeyinde sürtünmeye bağlı olarak gelişen yıpranma.

Accuracy / Doğruluk
Öngörülen veya ölçülen değer ile gerçek değer arasındaki uygunluk derecesi.

Aerodrome (AD) / Havaalanı
Hava araçlarının tamamen veya kısmen, inişi, kalkışı ve yer hareketi için kullanılması öngörülen, içerisindeki bina, teçhizat ve tesisat da dâhil olmak üzere karada veya suda belirlenmiş alan.

Aggregate / Agrega
Uygun bir bağlayıcı vasıtasıyla örneğin bir kaplama oluşturmak için katı bir kütle halinde birleştirilebilen mineral parçaları veya parçacıkları için genel terim.

Air Taxi (Hover Taxi) / Hava Taksi
Bir helikopterin yerden yaklaşık 100 feet yüksekliğe kadar gerçekleşen uçuşu.

Air Traffic / Hava Trafiği
Bir meydanın manevra sahasında hareket eden hava araçları ile uçuştaki hava araçların tamamı.

Aircraft-Airplane / Uçak
Havadan ağır, motor gücü ile seyreden kara, deniz veya kara ve denize inip kalkabilen hava aracı.

Airside / Hava Tarafı
Hava meydanında, pistleri, taksi yollarını, apronları ve bunlara bitişik sahaları ve belirli durumlarda doğrudan uçuş faaliyeti amacıyla kullanılan bina ve yapıları veya bunların bazı kısımları ve bu bölümlerin hepsine girişin kontrollü olduğu yerler.

Airport-Aerodrome / Havalimanı
Uluslararası hava trafiği, geliş ve gidişlerine hizmet vermek amacıyla tesis edilmiş olup, gümrük, göçmenlik, halk sağlığı, hayvan ve bitki karantina işlemleri ve benzeri işlemlerin bünyesinde vakit kaybedilmeksizin yürütüldüğü hava meydanı.

Air Traffic / Hava Trafiği
Bir meydanın manevra sahasında hareket eden hava araçları ile uçuştaki hava araçların tamamı.

Airway / Havayolu
Koridor formatında oluşturulmuş kontrollü saha veya bu sahanın bir bölümü.

Altitude / İrtifa
Bir seviye, nokta ya da nokta olarak kabul edilen bir cismin ortalama deniz seviyesinden ölçülen dikey mesafesi.

Apron / Apron
Bir kara havalimanında hava araçlarının yolcu, posta ve kargo indirme bindirme, yakıt ikmali, bakım ve park etme amaçlarına yönelik tanımlanmış alan.

Apron Taxiway / Apron Taksi Yolu
Bir apron üzerinde yer alan ve apron boyunca tam bir taksi güzergahı sağlaması amaçlanan bir taksi yolu sisteminin bir kısmını ifade eder.

Asphalt / Asfalt
Bitüm olarak da adlandırılan, petrolün sıvı veya yarı katı formunda oluşan yüksek viskoziteli bağlayıcı. Doğal yataklarda bulunabilir veya rafine edilmiş bir ürün olabilir.

Asphalt Concrete / Asfalt Beton
Asfalt betonu veya bitümlü beton olarak da adlandırılan, sıcak veya soğuk olarak yerleştirilen ve haddelenen, agrega ve asfalt veya bitümlü dolgu maddesinin dereceli bir karışımı.

-B-

Band Pass Filter / Band Geçirgen Filtre
Ayarlandığı frekans aralığındaki frekansların geçişine izin veren, aralığın dışındaki freakansların geçmesini engelleyen elektronik filtre.

Binder / Binder
Asfaltın bağlayıcı tabakası.

Bitumen / Bitüm
Keskin bir koku, alev ve koyu duman çıkararak yanan, karbon ve hidrojen bakımından çok zengin doğal yakıt maddelerinin genel adı.

-C-

Cement / Çimento
Ana hammaddeleri kalkerli kil olan ve mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla vs.) yapıştırmada kullanılan bir malzeme.

Clearway / Aşma Sahası
Üzerinde bir uçağın belirli bir yüksekliğe kadar ilk tırmanışının bir bölümünü gerçekleştirebileceği uygun bir alan olarak seçilmiş veya hazırlanmış, ilgili otoritenin kontrolü altında bulunan, yerde veya su üzerinde belirlenmiş dikdörtgen bir saha.

Coarse Aggregate / İri Agrega /
En büyük agrega tane çapının 4 mm veya daha fazla olduğu; en küçük agrega tane çapının ise 2 mm veya daha fazla olduğu agregaya verilen ad.

Composite Pavement / Kompozit Kaplama
Ayırıcı granüler katmanlara sahip olan veya olmayan hem esnek hem de sert katmanlardan oluşan bir kaplama.

Compressed Stabilized Filling Ground / Sıkıştırılmış Stabilize Dolgu Zemin
Zemin emniyet gerilmesi 0,7-1,0 kg/cm² olan zeminler.

Coordinate / Koordinat
Bir pozisyon ya da yeri belirlemesi amacıyla enlem/boylam olarak (derece/dakika/saniye) ifade dilen referans değerler.

Correlation / Korelasyon
Uçuş yolu ve profili konusunda SSR kod tanımlaması, coğrafi ve zaman kontrollerini temel alan uçuş planı verileri ve pozisyon vektörü arasında ilişki oluşturan fonksiyon.

Crosswind / Yan Rüzgâr
Bir uçağın takip ettiği rotaya ya da kullanılan piste paralel olmayan 90 derecelik dik rotada esen rüzgâr yönü.

-D-

Data Accuracy / Veri Doğruluğu
Tahmin edilen veya ölçülen değer ile gerçek değer arasındaki uyum derecesi.

Data Completeness / Veri Tamlığı
Amaçlanan kullanımı desteklemek için gereken tüm verilerin sağlandığına dair güven derecesi.

Data Integrity / Veri Bütünlüğü
Bir havacılık verisinin ve değerinin, oluşturulmasından veya resmî olarak yapılan değişiklikten bu yana kaybolmadığına veya değiştirilmediğine dair bir güvence derecesi.

Data Quality / Veri Kalitesi
Bir verinin, kullanıcılar için doğruluk, bütünlük ve çözümsellik açısından belirlenen gereklilikleri karşılaması/sağlaması amacıyla belirlenen güvenlik derecesi/seviyesi.

Data Set / Veri Seti
Tanımlanabilir veri koleksiyonu (ISO 19101). ISO 19115'e göre aynı ürün spesifi kasyonunu paylaşan veri seti koleksiyonları veri seti dizisi (data set series) olur. ISO 19131'e uygun olan veri seti veya veri seti dizisi, veri ürünü (data product) özelliğini kazanır.

Datum / Başlangıç Noktası
Başka miktarların hesaplanmasına yönelik bir referans veya esas niteliğinde olabilecek herhangi bir miktar veya miktarlar seti.

Departure Clearance / Kalkış Müsaadesi
Kalkış sonrası izlenecek yolu ve tırmanılacak seviyeyi belirleyen talimatlar.

Departure Control / Kalkış Kontrolü
Kalkıştan sonra belli bir süre boyunca, kalkan IFR uçuşlara sağlanan hava trafik kontrol hizmeti.

Departure Time / Kalkış Zamanı
Uçağın pistten teker kestiği kalkış zamanı.

Dummy Joint / Yalancı Derz
Öngörülen noktalarda sonradan kesilen derzdir.

-E-

Elevated Heliport / Yükseltilmiş Heliport
Kara üzerinde yükseltilmiş bir yapı üzerinde bulunan bir heliport.

Error / Hata
Ölçülen değer ile fiziksel değer arasındaki meydana gelen farklılık.

European Organisation for the Safety of Air Navigation / Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı (EUROCONTROL)
Avrupa seyrüsefer emniyetini sağlamak üzere kurulan ve Türkiye'nin de üyesi olduğu çok uluslu organizasyon.

European Aviation Safety Agency (EASA) / Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı /
Avrupa hava sahasının emniyetini temin etmek amacıyla gerekli mevzuat ve uygulamaları tesis ve takip etmek üzere 2002 yılında faaliyete başlayan, 2010 yılı itibarıyla JAA'in birçok yetki ve sorumluluğunu devralan ve 2022 yılı itibarıyla büyük çoğunluğu AB üyesi olmak üzere toplam 31 devletin üye olduğu bir havacılık otoritesidir. Türkiye henüz EASA'ya üye olmamakla beraber, EASA tarafından üye olmayan devletlerle Avrupa Birliği havacılık emniyeti kurallarının uygulanması konusunda iş birliği yapılması amacıyla oluşturulan Pan-Avrupa Ortakları (PANEP) arasında yer almaktadır.

Expansion Joint / Genleşme Derzi
Beton tam kürünü aldıktan sonra ortam sıcaklığına bağlı olarak genleşmesi ya da çekmesi ile betonda istenmeyen çatlamalar oluşmasını engellemek için betonun yapısına göre ortalama 30 metre aralıklarda bırakılan derzler.

-F-

Filler / Filler
#200 altında kalan malzeme (asfalt için).

Fine Aggregate / İnce Agrega
En büyük agrega tane çapının 4 mm'den küçük veya eşit olduğu agregaya verilen ad.

Finisher / Finişer
Asfalt serimini yapan makinedir. Beton finişeri de betonun serimini yapar.

Flexible Pavement / Esnek Kaplama
Zemin ile yakın teması koruyan ve yükleri alt zemine dağıtan ve stabilite için agrega kenetlenmesine, parçacık sürtünmesine ve kohezyona bağlı olan bir kaplama yapısı.

FOD Clean-Up Chart / FOD Temizlik Aracı
PAT sahalarının FOD'dan arındırılması için kullanılan özel donanımlı temizlik aracı.

-G-

Geodetic Datum / Yüzey Referans Bilgisi
Global referans sistemine göre yerel referans sisteminin yerleşim ve oryantasyonunun tanımlanması amacıyla gerek duyulan azami parametreler bütünü.

Glide Path (GP) / Süzülüş Yolu
Aletli yaklaşma sisteminin bir parçasıdır. Piste göre dikey olarak güvenli bir süzülüş açısıyla yaklaşmayı sağlar.

Global Positioning System (GPS)/ Küresel Konumlandırma Sistemi /
Uzaydan yapılan hız, zaman, pozisyon belirleme ve geliştirme sistemi.

Gradation / Gradasyon
Agrega tanelerinin büyüklüklerine göre gösterdikleri tane dağılım oranına verilen isim.

Grading / Granülometri
Kum, çakıl, kırmataş gibi yapı malzemelerinin elek analizleri sonucunda tane dağılımlarının belirlenmesi.

-H-

Hareket PAT (Pist-Apron-Taksi Yolu) sahası
Hava araçları ve bunların faaliyetleri ile ilgili araç ve gereçlerin hareket ve park edilmesinde kullanılan asfalt, beton ve toprak yapıdaki pist, apron ve taksi yolları ile yakın çevresi.

Height / Yükseklik
Bir nokta, seviye ya da nokta olarak kabul edilen bir cismin referans olarak alınan yere olan dikey mesafesi.

Helicopter Air Taxiway / Helikopter Hava Taksi Yolu
Helikopterlerin havada taksi yapmaları için oluşturulmuş yüzey üzerinde belirli bir yol.

Helicopter Ground Taxiway / Helikopter Yer Taksi Yolu
Tekerlekli iniş takımına sahip helikopterlerin yerdeki hareketi için öngörülmüş yer, taksi yolu.

Helipad / Heliped (Küçük Heliport)
Helikopterleri kullanan pilotların aletsiz ve görerek uçuş kuralları (VFR) dahilinde iniş-kalkış yapabildikleri, basit teknik yapılar dışında önemli üstyapı tesisleri bulunmayan heliport.

Heliport / Heliport
Helikopterlerin iniş, kalkış ve yer hareketlerini tamamen veya kısmen yapabilmelerine elverişli alan.

-I-

IATA Airport Code / IATA Havalimanı Kodu
IATA tarafından havalimanlarını belirtmek üzere verilen üç harfli koddur. Genellikle, havalimanının bulunduğu şehrin adında yer alan harfl er baz alınarak oluşturulur.

Instrument Runway / Aletli Pist

a) *Hassas olmayan yaklaşma pisti.* Direkt bir yaklaşma için yeterli olan, en azından istikamet bilgisi sağlayan görsel yardımcıların ve bir görsel olmayan yardımcının hizmet verdiği bir aletli pist.
b) *Hassas yaklaşma pisti, Kategori I.* karar yüksekliğinin en az 60 m (200 ft) olduğu ve görüş mesafesinin en az 800 m veya pist görüş mesafesinin en az 550 m olduğu operasyonlar için öngörülen, ILS ve/veya MLS ve görsel yardımcılar ile hizmet veren bir aletli pist.
c) *Hassas yaklaşma pisti, Kategori II.* Karar yüksekliğinin 60 m'den (200 ft) az olduğu, fakat 30 m'den (100 ft) az olmadığı ve pist görüş mesafesinin en az 300 m olduğu operasyonlar için öngörülen, ILS ve/veya MLS ve görsel yardımcılar ile hizmet veren bir aletli pist.
d) Hassas yaklaşma pisti,
    i. *Kategori III. A* - Karar yüksekliğinin 30 m'den (100 ft) az olduğu, veya hiçbir karar yüksekliğinin bulunmadığı ve pist görüş mesafesinin en az 175 m olduğu operasyonlar için öngörülen,

ii. *Kategori III. B* - Karar yüksekliğinin 15 m'den (50 ft) az olduğu, veya hiçbir karar yüksekliğinin bulunmadığı ve pist görüş mesafesinin 175 m'den az olduğu, fakat 50 m'den az olmadığı operasyonlar için öngörülen,

iii. *Kategori III. C* - Hiçbir karar yüksekliğinin ve hiçbir pist görüş mesafesi sınırlamasının bulunmadığı operasyonlar için öngörülen, pist yüzeyine doğru ve pist yüzeyi boyunca ILS ve/veya MLS ile hizmet veren bir aletli pist.

-J-

Joint Sealant / Derz Dolgusu
Derz kesme işleminden sonra sıra derzlerin esnek bir malzeme ile doldurulması işlemi.

-L-

Landside / Kara Tarafı
Bir hava meydanında doğrudan uçuş faaliyetlerine dahil olmayan terminal binalarını, diğer tüm yapıları, kullanımlı veya boş sahaları içine alan, ana giriş yolu/yolları kontrol noktasından başlayarak hava tarafı dışında kalan hava meydanı bölümü.

Lean Concrete / Zayıf Beton
Havalimanlarında temel yerine dökülen düşük dozlu beton.

-M-

Manoeuvring Area / Manevra Alanı
Manevra alanı, apronlar hariç olmak üzere, bir havalimanının uçakların kalkışı, inişi ve taksi yapması için kullanılacak kısmı anlamına gelmektedir.

Microcrack / Mikro Çatlak
Beton üzerinde oluşan, gözle görülemeyen, çok ince çatlak.

Modified Bitumen / Modifiye Bitüm
Üretim sırasında bir ya da daha fazla kimyasal katkı kullanılarak reolojik özellikleri iyileştirilen bitüm.

Movement Area (Runway-Apron-Taxiway) / PAT (Pist-Apron-Taksi Yolu) Sahası
Hava araçları ve bunların faaliyetleri ile ilgili araç ve gereçlerin hareket ve park edilmesinde kullanılan asfalt, beton ve toprak yapıdaki pist, apron ve taksi yolları ile yakın çevresi.

-N-

Near-Parallel Runways / Paralele Yakın Pistler
Uzatılmış merkez hatlarının yakınsama/sapma açısı 15 derece veya daha az olduğu, kesişmeyen pistler.

-P-

Parallel Runways / Paralel Pistler /
Aynı havalimanında merkez hatları birbirine paralel olan 2 veya daha fazla sayıdaki pistleri ifade eder. Paralel pistlerde pist numarasına ilave olarak L (left/sol) ve R (right/sağ) veya 3 paralel pist var ise L (left/ sol), C (center/ merkez) ya da R (right/ sağ) olduğu belirtilir.

Parking Position / Park Yeri
Bir uçağın park ettiği veya park etmesinin planlandığı tanımlanmış saha.

Pavement Structure / Kaplama Yapısı (veya kaplama)
Trafik yükünü desteklemek ve zemine dağıtmak için bir zemin üzerine yerleştirilen alt temel, temel tabakası ve yüzey tabakasının birleşimi.

Plant Mix Base / Plentmiks Temel
Belirli gradasyon limitleri içerisinde sürekli gradasyon verecek şekilde kaba ve ince olmak üzere en az üç ayrı tane boyutu grubunun uygun oranda su ile bir plentte karıştırılmasıyla hazırlanan malzemenin projesinde belirtilen

plan, profil ve enkesitlere uygun olarak bir ya da birden fazla tabakalar halinde serilip sıkıştırılmasıyla oluşturulan tabaka.

Polymer Modified Bitumen / Polimer Modifiye Bitüm (PMB)
Genellikle asfalt kaplamalarda tekerlek izi oluşumunu, kaplamalardaki çatlakları, bitümün oksidasyonunu ya da kaplamanın sudan dolayı zarar görmesini kontrol altına almak amacıyla bitüme bir ya da daha fazla organik polimerler karıştırılması ile oluşan bitümlü bağlayıcı.

Polymer Modified Bitumen Emulsion / Polimer Modifiye Bitüm Emülsiyonu /
Dağıtılan fazı polimer modifiye bitüm olan emülsiyon ya da lateks ile modifiye edilen bitüm emülsiyonu.

Portland Çimento Betonu (PCC)
Dereceli agreganın Portland çimentosu ve su ile karışımı.

Primary Runway(s) / Ana Pist(ler)
Şartlar müsait olduğunda diğerlerine nazaran kullanılması tercih edilen pist(ler).

-Q-

Quality Assurance-Quality Check (QA/QC) / Kalite Güvencesi-Kalite Kontrol
"Kalite güvencesi" süreç odaklıdır ve kusur önlemeye odaklanırken, "kalite kontrolü" ürün odaklıdır ve kusur tanımlamaya odaklanır. Buradaki "kusur" terimi "ürün kusuru" anlamına gelir.

Quality Management System (QMS) / Kalite Yönetim Sistemi
Kalite yönetim sistemleri, bir kuruluş içerisinde hedeflenen kalitenin gerçekleşmesi için planlı ve stratejik bir şekilde sürdürülen faaliyetlerin tamamıdır.

-R-

Rapid Exit Taxiway / Hızlı Çıkış Taksi Yolu /
İnen uçakların, piste dar bir açıyla bağlanan ve diğer çıkış taksi yollarında yapılandan daha yüksek hızlarla dönüş yapmasını sağlayan, böylece pistin işgal süresini azaltan taksi yolu.

Ready Mixed Concrete / Hazır Beton
Bilgisayar kontrolüyle istenilen oranlarda bir araya getirilen malzemelerin, beton santralinde veya mikserde karıştırılmasıyla üretilen ve tüketiciye taze beton olarak teslim edilen betondur.

Rigid Pavement / Rijit Kaplama
Beton kaplama olarak da adlandırılan, nispeten yüksek bükülme direncine sahip bir Portland çimentolu beton levhaya sahip, yüzey tabakası olarak yükleri zemine dağıtan bir kaplama yapısı.

Rubber-Paint-Skid Mark Removal Vehicle / Lastik İzi ve Boya Silme Aracı /
PAT sahalarında lastik izi ve boyaların silinmesinde kullanılan özel donanımlı araç.

Runway / Pist
Uçakların inişi ve kalkışı için hazırlanmış bir kara havalimanı üzerinde belirlenmiş dikdörtgen alan.

Runway-Holding Position / Pist Bekleme Pozisyonu
Havalimanı kontrol kulesi tarafından başka şekilde onaylanmadıkça, taksi yapan uçakların ve araçların duracağı ve bekleyeceği bir ILS/MLS kritik/hassas alanını, bir mania sınırlama yüzeyini veya bir pisti korumak üzere öngörülen belirli bir yer.

Runway End Safety Area (RESA)/ Pist Sonu Emniyet Sahası
Esasen piste erken temas eden veya pistte duramayan bir uçağın hasar riskini azaltmak üzere tasarlanmış, pist merkez hattı uzantısına simetrik ve şerit sahanın sonuna bitişik bir saha.

Runway Heading / Pist İstikameti
Pist merkez hattı uzantısına tekabül eden manyetik istikamettir. Ancak bu, pist üzerinde yazılı pist numarası değildir. Örneğin bir pistin numarası 04 olabilir (04 pisti diye adlandırılır), ancak pistin manyetik başı 044 derecedir. Pist numaraları bu manyetik uçuş başlarının yuvarlanmasıyla oluşturulur.

Runway Number / Pist Numarası
Pist merkez hattı uzantısına tekabül eden manyetik istikamettir. İstikametleri pilotlara manyetik kuzeye göre gideceği yönü gösteren bir görsel yardımcıdır. Pistin manyetik kuzey ile yaptığı açı eğer 2 basamaklı bir sayı ise bunun önüne "0" konularak pist numaraları bu manyetik uçuş başlarının yuvarlanmasıyla oluşturulur. 01 ile 36 arasında bir sayıdır. Mutlaka iki basamaklı yazılır. Örn: 44/224 olan pistin pist başı numarası 04/22 olur.

Runway Strip / Pist Şeridi
Aşağıdaki amaçlar için öngörülmüş, pisti ve -varsa- durma uzantısını içeren belirli bir alan:
a) Pistten çıkan bir uçağın göreceğ hasar riskini azaltmak; ve
b) Kalkış veya iniş operasyonları sırasında üzerinden uçan uçakları korumak için.

Runway Turn Pad / Pist Dönüş Cebi
Bir pist üzerinde 180 derecelik bir dönüşü tamamlamak amacıyla bir piste bitişik bir kara havalimanı üzerindeki belirli bir alan.

Rutting / Oluk (tekerlek izinden oluşan)
Asfalt kaplamalarda araçların tekerlek izleri boyunca meydana gelen çökmeler.

-S-

Safety Area / Emniyet Sahası
Hava seyrüsefer amaçlı gerekli olanlar dışında, manialardan arındırılmış olan FATO'yu çevreleyen bir heliport üzerinde bulunan ve kazaen FATO'dan sapan helikopterlerin hasar görme riskini azaltmayı amaçlayan belirli bir alan.

Shoulder / Banket
Kaplama ile bitişiğindeki yüzey arasında geçiş sağlayacak şekilde hazırlanmış, kaplamanın kenarına bitişik bir alan.

Slump / Slamp (Çökme)
Çökme. Betonun (kıvamının) ölçülebilen oturması.

Stone Mastic Asphalt / Taş Mastik Asfalt
Kaba agrega danelerinin birbirine temasının sağlandığı bir iskelet ile boşlukları dolduran ince agrega, filler ve bitümlü bağlayıcıdan oluşan, aşınma tabakasında kullanılan bir sıcak karışım.

Subbase Layer / Alt Temel Tabakası
Bir temel tabakayı desteklemek için bir zemin üzerine yerleştirilen, tasarlanmış kalınlıkta, seçilmiş malzemeden tabaka veya tabakalar.

Surface Layer / Yüzey Tabakası
Bir kaplama yapısının en üst tabakası, aynı zamanda aşınma tabakası olarak da anılır.

-T-

Take-Off Alternate / Kalkış Yedek Meydanı
İlk kalkış meydanının tekrar kullanılmasının mümkün olmadığı hallerde, gerektiğinde uçağın kalkıştan kısa bir süre sonra iniş yapabileceği yedek meydan.

Take-Off Runway / Kalkış Pisti
Sadece kalkış amaçlı kullanılan pistler.

Taxi / Taksi
Uçağın yerde yaptığı hareket anlamındadır: park yerinden kalkış koşusuna başlayana kadar olan kalkış taksi ve geliş taksi kavramlarını içine alan safha.

Taxi Holding Position / Taksi Bekleme Pozisyonu
Taksi yapmakta olan uçak ve diğer araçların, pistten yeteri kadar uzaklıkta bekletilmeleri için belirtilmiş pozisyon.

Taxing / Taksi Yapma
Bir hava aracının hava meydanında iniş ve kalkış koşuları hariç, kendi motor gücü ile yapmış olduğu manevra.

Taxiway / Taksi Yolu
Bir kara meydanında hava araçlarının taksi yapmaları ve meydanın bir noktasını diğerine bağlamayı amaçlayan tanımlanmış yollar olup aşağıdaki bölümlere ayrılır:
A) Hava aracı bekleme taksi yolu: Apronun bir parçası olup; hava aracına yalnızca bekleme imkânı tanınan bölüm.
B) Apron taksi yolu: Taksi yolları ağının bir parçası olup; hava aracının apronu katetmesine imkân veren bölüm.
C) Hızlı taksi yolu: Pistle uygun bir açı ile bağlantısı olan ve iniş yapan hava aracının pisti en az işgal edecek şekilde yüksek bir hızda terk etmesine imkân veren taksi yolu.

Threshold / Eşik
Pistin iniş için kullanılacak bölümünün başlangıcı.

Touchdown Zone (TDZ) / Teker Koyma Bölgesi
Pist eşiğinin ilerisinde bulunan ve uçakların iniş sırasında ilk temas etmesi istenilen pist bölümü.

-V-

Vehicle Service Road / Araç Servis Yolu
Genel olarak PAT Sahalarının araç trafiğince kullanılması için çizgilerle belirlenmiş kısmı.

EK 4 - KISALTMALAR

A/A	:	Air to air / Havadan havaya
A/D	:	Aerodrome / Havameydanı
A/P	:	Airport / Havalimanı
AASHTO	:	American Association of State Highway and Transportation / Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma Birliği
ACPA	:	American Concrete Pavement Association / Amerika Beton Kaplamalar Birliği
ADG	:	Airplane Design Group / Uçak Tasarım Grubu
ADEP	:	Aerodrome of Departure / Kalkış havalimanı
ADES	:	Aerodrome of Destination / İniş havalimanı
ADIP	:	Airport Data and Information Portal / Havalimanı Veri ve Bilgi Portalı
ANOVA	:	Analysis of Varianca / Varyans Analizi
ANSI	:	American National Standarts Institute / Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
ASTM	:	American Society for Testing and Materials / Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
AYGM	:	General Directorate of Infrastructure Investments / Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü
BBI	:	Boeing Bump Index / Boeing Çarpma İndeksi
BSI	:	British Standarts Institute / İngiliz Standartlar Enstitüsü
CAT I	:	Category I (One) Approach / Kategori 1 Yaklaşması
CAT II	:	Category II (Two) Approach / Kategori 2 Yaklaşması
CAT III	:	Category III (Three) Approach / Kategori 3 Yaklaşması
CEN	:	European Committee for Standardization / Avrupa Standart Komitesi
CG	:	Centre of Gravity / Ağırlık Merkezi
COV	:	Coefficient of Variations / Varyasyon Katsayısı
CTB	:	Cement Treated Base / Çimento ile İyileştirilmiş Temel
CWY	:	Clearway / Aşma sahası
DHMİ	:	General Directorate of State Airports Authority / Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü
DGCA	:	The Directorate General of Civil Aviation / Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
DIN	:	Deutsches Institut für Normung / Alman Standartlar Enstitüsü
DUPE	:	Duplication / Mükerrer
ETD	:	Estimated Texture Depth / Tahmini Doku Derinliği
FAA	:	Federal Aviation Administration / Federal Havacılık İdaresi
FHWA	:	Federal Highway Administration / Federal Karayolu İdaresi
FOD	:	Foreign Object Damage / Yabancı Madde Hasarı
GA	:	General Aviation / Genel Havacılık
GLONASS	:	Global Orbiting Navigation Satellite System Küresel Yörünge Seyrüsefer Uydu Sistemi (Rusya)
GPS	:	Global Positioning System / Küresel konumlandırma sistemi
GPR	:	Ground-Penetrating Radar / Yer Radarı
HEL	:	Helikopter
HMA	:	Hot Mix Asphalt / Sıcak Sıcak Karışımlı Asfalt
IATA	:	International Air Transport Association / Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği
ICAA	:	International Civil Airports Association / Uluslararası Sivil Havalimanları Birliği
ICAN	:	International Commission for Air Navigation / Uluslararası Hava Seyrüsefer Komisyonu
ICAO	:	The International Civil Aviation Organization / Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü
IEEE	:	Institute of Electrical and Electronics Engineers / Elektrik ve Elektronik Mühedisleri Enstitüsü
IR	:	İnfrared / Kızılötesi
IRI	:	International Roughness Index / Uluslararası Pürüzsüzlük İndeksi
JPCP	:	Jointed Plain Concrete Pavement / Derzli Düz Beton Kaplama
LDA	:	Landing Distance Available / Mevcut İniş Mesafesi
LLNL	:	Lawrence Livermore National Laboratory / Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı
LTE	:	Load Transfer Efficiency / Yük Transfer Verimliliği
MLAW	:	Maximum Landing Weight / Azami İniş Ağırlığı
MPD	:	Mean Profile Depth / Ortalama Profil Derinliği
MSD	:	Mean Segment Depth / Ortalama Segment Derinliği
MTD	:	Mean Texture Depth / Ortalama Doku Derinliği
NOTAM	:	Notice to Airman / Havacılara Bildiri
PCC	:	Portland Cement Concrete / Portland Çimento Betonu
PD	:	Profile Depth / Profil Derinliği
PDDL	:	Pavement Deflection Data Logging / Kaplama Defleksiyon Verilerinin Kaydedilmesi
PSR	:	Pilots' Subjective Rating / Pilotların Subjektif Değerlendirmesi

QCS	:	Quarter-Car Simulation / Çeyrek Araba Simülasyonu
RADAR	:	Radio Detection and Ranging / Radyo Tespit ve Mesafelendirme
RARS	:	Reference Average Rectified Slope / Referans Ortalama Düzeltilmiş Eğim
RESA	:	Runway End Safety Area / Pist Sonu Güvenlik Alanı
RMS	:	Root Mean Square / Ortalama Karekök
RTRRMS	:	Response-Type Road Roughness Measurement Systems / Tepki Tipi Yol Pürüzlülüğü Ölçüm Sistemleri
RWY	:	Runway / Pist
SGHM	:	Directorate General of Civil Aviation of Türkiye / Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
STOL	:	Short Take-off and Landing / Kısa Mesafe Kalkış ve İniş
TDZ	:	Touch-Down Zone / Teker Koyma Bölgesi
THK	:	Turkish Aeronautical Association / Türk Hava Kurumu
THR	:	Threshold / Eşik
TODA	:	Take-Off Distance Available / Mevcut Kalkış Mesafesi
TORA	:	Take-Off Run Available / Mevcut Kalkış Koşu Mesafesi
TSE	:	Türk Standartları Enstitüsü
TWY	:	Taxiway / Taksi Yolu
Tx	:	Transmitter / Verici
TX	:	Transmitter Station / Verici İstasyonu
UDA	:	User Defined Aircraft / Kullanıcı Tanımlı Uçak
USCS	:	Unified Soil Classification System / Birleşik Toprak Sınıflandırma Sistemi
WGS-84	:	World Geodetic System / Dünya Jeodezi Sistemi – 1984
WtCF	:	Weighted Crest Factor / Ağırlıklı Tepe Faktörü
WtMTVV	:	Weighted Maximum Transient Vibration Value / Ağırlıklı Maksimum Geçici Titreşim Değeri
WtRMS	:	Weighted Root Mean Square / Ağırlıklı Ortalama Karekök
WtVDM	:	Weighted Vertical Distortion Method / Ağırlıklı Dikey Distorsiyon Yöntemi
WtVDV	:	Weighted Fourth-Power Vibration Dose / Ağırlıklı Dördüncü Kuvvet Titreşim Dozu

EK 5 - KAYNAKLAR

KAYNAKLAR

Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, Havacılık Terimleri Sözlüğü, Gözden Geçirilmiş ve Güncellenmiş 2. Baskı, Ankara, 2022.

Federal Aviation Administration AC No: 150/5300-13B - Airport Design.

Federal Aviation Administration AC No: 150/5370-10H - Standards for Specifying Construction of Airports.

Federal Aviation Administration AC No: 150/5380-7B, Airport Pavement Management Program.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx

ELEKTRONİK PÜRÜZLÜLÜK DENEYİ İÇİN YARARLANILAN KAYNAKLAR

AASHTO M 328 - Standard Specification for Inertial Profiler.

AASHTO R 57 - Standard Practice for Operating Inertial Profiling Systems.

ASTM D 5340 - Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys.

ASTM E 867- Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems.

ASTM E 950 - Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer-Established Inertial Profiling Reference.

ASTM E 1170 - Standard Practices for Simulating Vehicular Response to Longitudinal Profiles of Traveled Surfaces.

ASTM E 1364 - Standard Test Method for Measuring Road Roughness by Static Level Method
Boeing Document D6-81746 - Runway Roughness Measurement, Quantification, and Application – The Boeing Method.

ASTM E 1845 - Standard Practice For Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth.

ASTM E 1926 - Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements.

Federal Aviation Administration AC No: 150/5380-9 - Guidelines and Procedures for Measuring Airfield Pavement Roughness.

Federal Aviation Administration DOT/FAA/TC-21/32 - New Index Testing and Verification - Runway Roughness Index.

Federal Aviation Administration DOT/FAA/TC-21/39 - Development of New Roughness Standards for In-Service Airport Pavement.

Giuseppe Loprencipe & Pablo Zoccali (2017): Comparison of methods for evaluating airport pavement roughness, International Journal of Pavement Engineering, DOI:10.1080/10298436.2017.1345554.

M. Surbakti and A. Doan, "Priority of road maintenance management based on halda reading range on NAASRA method," in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Mar. 2018, vol. 309, no. 1, doi: 10.1088/1757-899X/309/1/012114

National Cooperative Highway Research Program Report 434 - Guidelines for Longitudinal Pavement Profile Measurement.

PIARC, 1987. World Road Association: report of the committee on surface.

PROFAA Version 3.0 The Federal Aviation Administration Computer Program For Roughness Index Analysis, User's Manual.

R. Hassan, K. Mcmanus, and J. Holden, "Predicting Pavement Deterioration Modes Using Waveband Analysis," Transportation Research Record, vol. 2, pp. 181–187, 1999, doi:10.3141/1652-57

Sayers, M. W., Gillespie, T. D., and Patterson, W. D. O., "Guidelines for Conducting and Calibrating Road. Roughness Measurements," World Bank Technical Paper Number 46, 1986.

Sayers, M. and Karamihas, S. (1997) ERD File Format For Storage And Analysis of Road Profiles. Available at: https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/106533/102995.pdf.

Sayers, M.W., Karamihas, S.M. and University of Michigan. Transportation Research Institute (1998) The Little Book of Profiling. University of Michigan.

EK 6 - DEĞİŞİKLİKLER

Revizyon No	Revizyon Tarihi	Revizyon Gerekçesi	Yapılan Değişiklik
0	Şubat 2025	-	İlk baskı