

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAVAALANI ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ

ŞEBNEM SARGIN

Danışman: Doç. Dr. Serdal TERZİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ISPARTA, 2011**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	ix
1.GİRİŞ	1
1.1.Araştırmanın Amacı Ve İzlenen Yol.....	3
2.KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1.Havaalanı Üstyapı Yönetim Sistemi	5
2.2.Üstyapı Performans Tahmini	10
3.MATERYAL VE YÖNTEM	14
3.1.Materyal	14
3.1.1.Havaalanı üstyapı yönetim sistemi	14
3.1.1.1.Giriş.....	14
3.1.1.2.Havaalanı üstyapı yönetim sisteminin amacı.....	15
3.1.1.3.Ağ düzeyi yönetim	19
3.1.1.4.Proje düzeyi yönetim.....	21
3.1.1.5.Olası yabancı obje hasarı (Foreign Object Damage - FOD) durum oranı	42
3.1.1.6.Havaalanı üstyapıları için bozulma çeşitleri	45
3.1.1.7.Havaalanı üstyapıları için B&R yöntemleri.....	81
3.1.1.8.Ekonomik değerlendirme ile bakım takviminin yönteminin belirlenmesi.....	98
3.1.2.Bakım ve rehabilitasyon programı.....	113
3.2.Yöntem	118
3.2.1.Bulanık mantık yöntemi	119
3.2.1.1.Bulanık kümeler ve üyelik dereceleri.....	119
3.2.1.2.Üyelik fonksiyonları.....	122
3.2.1.3.Bulanıklaştırma	124
3.2.1.4.Durulaştırma.....	124
3.2.1.5.Bulanık kurallar ve sistemler.....	127
3.2.1.6.Grafik çıkarım teknikleri.....	128
4.ARAŞTIRMA BULGULARI	130
4.1.Üstyapı Performans Tahmini Modeli Geliştirilmesi Ve Uygulanması	130
4.1.1.Üstyapı performans tahmini ve önemi.....	130
4.1.2.Havaalanı üstyapıları için performans tahmini modeli geliştirilmesi ve	131
özellikleri	131
4.1.2.1.Seçilen değişkenlerin bulanık mantık üyelik fonksiyonları	143
4.1.2.2.Sonuçlar ve karşılaştırma	146
5.TARTIŞMA ve SONUÇ	147
6.KAYNAKLAR.....	148
ÖZGEÇMİŞ	149

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HAVAALANI ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ Şebnem SARGIN

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Serdal TERZİ

Havaalanı üstyapı yönetim sistemi oluşturulabilmesi amacıyla gereken tüm incelemeler ve yönetim sisteminin oluşturulması için gereken alt aşamalar detaylı olarak açıklanmıştır. Havaalanı üstyapı yönetim sisteminin karayolu üstyapı yönetim sisteminden farkları belirtilmiştir.

Herhangi bir tahmin modeli için gereksinim duyulan temel bilgiler; bir veri tabanı, bozulmayı etkileyen tüm önemli değişkenlerin belirlenmesi, gerçek yol koşullarını dikkate alacak şekilde bir model seçimi ve ölçütlerin belirlenmesidir.

Bu çalışmada MCAS Cherry Point havaalanındaki inceleme sonuçlarıyla bulanık mantık yöntemi kullanılarak bir performans tahmin modeli oluşturulmuştur. PCI yöntemi kullanılırken ihtiyaç duyulabilecek bozulma tanımları da bu çalışmada açıklanmıştır. İnceleme raporundan alınan ölçüm verileri ve tahmin sonuçları da bu çalışmada sunulmuştur. Geliştirilen bu sistem, tüm havaalanları için üstyapı yönetim uygulamalarını gerçekleştirebilmektedir.

Performans tahmininden sonra, havaalanı üstyapı yönetim sistemi (Airport Pavement Management System - APMS) oluşturulabilmesi için gereken en önemli bileşen, üstyapı bakım ve rehabilitasyon stratejisinden hangisinin, ne zaman ve hangi üstyapı kesimine uygulanacağını belirlenmesidir. Bu çalışmayla önceliklerin belirlenmesi amacıyla bir öncelikler listesi anlatılmıştır.

Son olarak bu amaçla bakım ve rehabilitasyon takvimi oluşturulması için gelecekteki bozulma ve rehabilitasyon stratejileri tahmin edilmiştir. Örnek olarak MCAS Cherry Point raporunda oluşturulan takvim sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Havaalanı, Üstyapı Yönetim Sistemi, Beton Yollar, Bozulmalar.

2011, 153 Sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

AIRPORT PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEM

Şebnem SARGIN

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Construction Education**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Serdal TERZİ

In order to prepare Airport Pavement Management System levels that required and required detailed inspections have been explained. The differences between airport pavement management system and pavement management system have been explained.

Required basic information about any prediction model are a database, determining important variables effected deterioration and model selection.

In this study a performance prediction model has been conducted with data from MCAS Cheery Point Airport inspection report using fuzzy logic. Deterioration models have been explained in this study when using PCI method.

After performance prediction the most important element to conduct APMS is determining which maintenance and rehabilitation strategy and determining implemented when and which pavement section. With this study a priority list has been explained in order to determining priorities.

At last with this aim for making maintenance and rehabilitation schedule the maintenance strategies have been predicted. For an example the schedule prepared in MCAS Cherry Point inspection report has been presented.

Key Words: Airport, Pavement Management System, Distresses, Portland Cement Concrete Pavements.

2011, 153 Pages

TEŞEKKÜR

Bu çalışma konusunu öneren, destek ve görüşlerini esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Serdal TERZİ (Süleyman Demirel Üniversitesi)' ye şükranlarımı sunarım. Çalışma süresinde görüş ve önerileri ile çalışmaya katkıda bulunan Arş. Gör. Nihat MOROVA (Süleyman Demirel Üniversitesi)' ya teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmanın her safhasında anlayış gösteren ve bugünlerimi borçlu olduğum aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. “Havaalanı Üstyapı Yönetim Sistemi” isimli projeyi maddi olarak destekleyen SDÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi'ne ayrıca teşekkür ederim.

Şebnem SARGIN
ISPARTA, 2011

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Tipik üstyapı durum yaşam döngüsü	16
Şekil 3.2. Üstyapı yönetimi ve temel bileşenlerin uygulamalarının basit işletim şeması	18
Şekil 3.3. Bir üstyapının performans eğrisi ve rehabilitasyon seçeneklerinin etkisi	19
Şekil 3.4. Tipik bir kritik PCI aralığını gösteren bozulma eğrisi	20
Şekil 3.5. APMS bileşenleri	22
Şekil 3.6. Dynatest HWD	26
Şekil 3.7. Dynatest FWD	27
Şekil 3.8. Dynaflect	28
Şekil 3.9. Dynaflect dinamik-statik kuvvet uygulaması	28
Şekil 3.10. Road Rater	29
Şekil 3.11. Enine ve boyuna profiller	31
Şekil 3.12. Çeyrek taşıt modeli	33
Şekil 3.13. IRI ve sürüş sayısı ile ortalama panel oranı (PSI) arasındaki ilişki	34
Şekil 3.14. PI (RN tanımlanması için kullanılan) ve IRI arasındaki ilişki	35
Şekil 3.15. Langley, Virginia NASA uçak donanımı iniş tesislerinde (Aircraft Dynamics Landing - ADLF) beton üstyapıların özelliklerinin sürtünme değerlendirmesi için test donanımı	36
Şekil 3.16. NASA ADLF tesislerinde test yüzeyi	36
Şekil 3.17. Farklı kayma hızlarında üstyapı-tekerlek sürtünmesinin makro-doku ve mikro-doku etkisi	38
Şekil 3.18. İngiliz pandüllü test cihazı	40
Şekil 3.19. Kilitli tekerlekli kayma treyleri	40
Şekil 3.20. Yabancı obje zararı	45
Şekil 3.21. Üstyapı durum oranlama ölçeği	46
Şekil 3.22. Asfalt üstyapılar için düzeltilmiş azaltma değerleri	47
Şekil 3.23. Rijit üstyapılar için düzeltilmiş azaltma değerleri	48
Şekil 3.24. Orta ve yüksek derecede çatlak oluşumu	49
Şekil 3.25. Timsah sırtı çatlak oluşumu için azaltma değerleri	49
Şekil 3.26. Düşük ve orta derecede blok çatlağı oluşumu	50
Şekil 3.27. Blok çatlağı için azaltma değerleri	50
Şekil 3.28. Yüksek derecede tekerlek izi oluşumu	52
Şekil 3.29. Tekerlek izi oluşumu için azaltma değerleri	52
Şekil 3.30. Orta derecede boyuna çatlak oluşumu	53
Şekil 3.31. Boyuna ve enine çatlaklar için azaltma değerleri	54
Şekil 3.32. Orta ve yüksek derecede yansıma çatlağı oluşumu	54
Şekil 3.33. Yansıma çatlakları için azaltma değerleri	55
Şekil 3.34. Orta ve yüksek derecede yama oluşumu	55
Şekil 3.35. Yama ve oyuklar için azaltma değerleri	56

Şekil 3.36. Ondülasyon oluşumu	57
Şekil 3.37. Ondülasyon oluşumu için azaltma değerleri	57
Şekil 3.38. Yüksek derecede kasma oluşumu	58
Şekil 3.39. Kasma için azaltma değerleri	58
Şekil 3.40. Cilalanma oluşumu	59
Şekil 3.41. Cilalanma oluşumu için azaltma değerleri	59
Şekil 3.42. Orta ve yüksek derecede sökülmeler	60
Şekil 3.43. Sökülmeler için azaltma değeri	60
Şekil 3.44. Çatlaklar/Burkulmalar	61
Şekil 3.45. Çatlaklar/Burkulmalar için azaltma değerleri	62
Şekil 3.46. Düşük ve orta derecede köşe kırıkları	63
Şekil 3.47. Köşe kırıkları için azaltma değerleri	64
Şekil 3.48. Düşük ve orta derecede bölünmüş plak	64
Şekil 3.49. Bölünmüş plak için azaltma değerleri	65
Şekil 3.50. Durabilite çatlakları	66
Şekil 3.51. D-Çatlakları için azaltma değerleri	67
Şekil 3.52. Boyuna çatlaklar	68
Şekil 3.53. Enine çatlaklar	69
Şekil 3.54. Çatlaklar için azaltma değerleri	70
Şekil 3.55. Plak köşesinde oluşan düşük ve orta derecede soyulma	71
Şekil 3.56. Enine ve boyuna derzlerde oluşan düşük ve orta derecede soyulma	71
Şekil 3.57. Soyulmalar için azaltma değerleri	71
Şekil 3.58. Sökülmeler	72
Şekil 3.59. Sökülmeler için azaltma değerleri	73
Şekil 3.60. Düşük ve orta derecede bankette şerit boyu oturma ve ayrılmalar	75
Şekil 3.61. Bankette şerit boyu oturmalar ve ayrılmalar için azaltma değerleri	75
Şekil 3.62. Yama	76
Şekil 3.63. Yama oluşumu için azaltma değerleri	77
Şekil 3.64. Pompaj etkisi	78
Şekil 3.65. Pompaj etkisi için azaltma değerleri	78
Şekil 3.66. Patlama oluşumu	79
Şekil 3.67. Patlama oluşumu için azaltma değerleri	80
Şekil 3.68. Orta ve yüksek derecede derz dolgu bozulmaları	81
Şekil 3.70. Ontario’ da kullanılan rehabilitasyon ve bakım seçenekleri	84
Şekil 3.71. Yolun Performans Eğrisi	85
Şekil 3.72. Çatlat sıkıştırı metodunun uygulanaşı	86
Şekil 3.73. Geotekstil	88
Şekil 3.74. Bağlayıcısız takviye tabakasının uygulama zamanı	89
Şekil 3.75. İnce BSK serilmesinden sonra PCC takviye tabakasının serilmesi	89
Şekil 3.76. PCC takviye tabakasının serilmesinden sonraki durum	89
Şekil 3.77. Uygulanan PCC takviye tabakasının yüksekliği (30 cm)	90
Şekil 3.78. PCC ve BSK dolgu	90

Şekil 3.79. Bağlayıcı takviye tabakasının uygulama zamanı	91
Şekil 3.80. Bölgesel yama	92
Şekil 3.81. Kompaktör ile sıkıştırma	92
Şekil 3.82. Püskürtme uygulaması	93
Şekil 3.83. İnce karışım uygulaması	94
Şekil 3.84. Kum kaplama uygulaması	94
Şekil 3.85. Tam derinlik yaması uygulama sınırları	98
Şekil 3.86. Analiz periyodu olarak en uzun performans periyodunun kullanılması	104
Şekil 3.87. Tüm alternatifler için takip eden rehabilitasyonu kapsayan analiz periyodunun seçimi	104
Şekil 3.88. Optimal üstyapı tasarım stratejisi için performans kazanımları örneği	113
Şekil 3.89. Klasik sistem	120
Şekil 3.90. Bulanık mantığın temel elemanları	120
Şekil 3.91. Bitişik dikdörtgen gösterim	123
Şekil 3.92. Örtüşmeli üçgen gösterimi	124
Şekil 3.93. İki bulanık kümenin (a) birleşimi, (b) kesişimi	125
Şekil 3.94. En büyük üyelik derecesi durulaştırması	125
Şekil 3.95. Sentroid yöntemi durulaştırması	125
Şekil 3.96. Ağırlıklı ortalama yöntemi durulaştırması	126
Şekil 3.97. Ortalama en büyük üyelik durulaştırması	126
Şekil 3.98. En büyük alan merkezi ile durulaştırma	127
Şekil 3.99. “VE” bağlacı ile bağlanan kuralın kullanıldığı model uygulaması	128
Şekil 3.100. “VEYA” bağlacı ile bağlanan kuralın kullanıldığı model uygulaması	129
Şekil 4.1. PCI değerlendirme ölçeği	130
Şekil 4.2. MCAS Cherry Point bölüm yerleşimi	133
Şekil 4.3. MCAS Cherry Point pist 14 bölüm yerleşimi	134
Şekil 4.4. MCAS Cherry Point pist 05 bölüm yerleşimi	135
Şekil 4.5. MCAS Cherry Point için son incelemedeki (Haziran 1999) PCI	136
Şekil 4.6. MCAS Cherry Point için tahmin edilen (Haziran 2004) PCI	137
Şekil 4.7. MCAS Cherry Point için tahmin edilen (Haziran 2009) PCI	138
Şekil 4.9. Bozulma şiddeti üyelik fonksiyonu	144
Şekil 4.10. Bozulma miktarı üyelik fonksiyonu	144
Şekil 4.11. Bozulma yoğunluğu üyelik fonksiyonu	144
Şekil 4.12. Azaltma değeri üyelik fonksiyonu	145
Şekil 4.13. Bulanık mantık kural tabanı	145
Şekil 4.13. Bulanık mantık PCI sonuçlarıyla gerçek değerlerin karşılaştırılması	146

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. FOD algılama sistemlerinin özeti	43
Çizelge 3.2. Ortalama tekerlek izi kriterleri (UFC, 2001)	51
Çizelge 3.3. Bölünmüş plak önemli düzeyleri	65
Çizelge 3.4. Pist, taksi yolu ve apronlarda oluşan bankette şerit boyu oturma ve ayrılmalar şiddet düzeyleri (UFC, 2001)	74
Çizelge 3.5. Takviye tabakası kalınlıkları	91
Çizelge 3.6. Bakım ve onarım işlemleri maliyetleri	116
Çizelge 3.7. Cherry Point için gelecek bakım ve rehabilitasyon maliyetlerinin belirlenmesi	117
Çizelge 3.8. PCI değerleri ve bakım onarım işlemleri	139
Çizelge 3.9. MCAS Cherry Point için yapılan inceleme ve tahmin sonuçları	139

SİMGELER DİZİNİ

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation
ACN	Aircraft Classification Number -
ADOT	Arizona Ulaştırma Bölümü tarafından
ALDOT	Alabama Ulaştırma bölümünün
APMS	Airport Pavement Management System
B ve R	Bakım ve rehabilitasyon
BM	B ve R maliyeti
BPN	British Pendulum Numbers
CBR	Kaliforniya Taşıma Oranı
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
DAD	Düşen Ağırlıklı Deflektometre
DCP	Dinamik Konik Penetrasyon Ölçer
DFT	Dynamic Friction Tester
e	Birim şekil değiştirme
EDYS	Eşdeğer dingil yükü sayısı
ESAL	Equivalent Single Axle Load
FHWA	The Federal Highway Administration
FOD	Foreign Object Damage
GIS	Geographic Information Systems
GPS	Global konum belirleme sistemi
GDOT	Georgia Ulaştırma Bölümü
HWD	High Weight Deflectometer
ICAO	International Civil Aviation Organization
IRI	International Roughness Index- Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi
ITD-AERO	Idaho Transportation Department-Division of Aeronautics -
i	İskonto oranı
KM	Kaza Maliyeti,
KKS	Kaza Kayıt Sistemi
L	Normal yük
LCC	Life cycle costs
LCN	Load Classification Number
MFT	Mathematical Failure-Theory
NPIAS	Entegre Havaalanı Sistemlerinin Ulusal Planı
NDT	Nondestructive Deflection Testing- Tahribatsız Defleksiyon Testi
PCI	Üstyapı Durum İndeksi
PCN	Pavement Classification Number
PCR	Üstyapı Durum Oranlaması (0-100)
PI	Profil İndeksi
PSI	Üstyapı Hizmet yeteneği İndeksi
PSR	Present Serviceability Rating
RCI	Sürüş konforu indeksi
RH	Rehabilitasyon durumu göstergesi
RN	Sürüş Sayısı
RTRRMS	Response Type Road Roughness Measurement System
S	Ağdaki kesim sayısı
SCRIM	Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine

SFC	Sideways Force Coefficient
SN	Skid number
SSM	Seyahat Süresi Maliyeti,
TIM	Taşıt İşletme Maliyeti,
UC	t yılındaki s kesiminin r yönteminin uygulanmasıyla oluşacak kullanıcı faydaları
$\ddot{u}(x)$	x üyelik fonksiyonunun üyelik derecesi
ÜYS	Üstyapı yönetim sistemi
VDOAV	Virginia Department of Aviation
W	Ölçüm zamanında açısız tekerlek hızı
W0	Serbest yuvarlanmada açısız tekerlek hızı
WSASP	Washington Eyaleti Havaalanı Sistemleri
YAŞ	Üstyapının yaşı
YOGT	Yıllık ortalama günlük trafik
YSA	Yapay sinir ağları

1. GİRİŞ

Üstyapı yönetimi kavramı, mevcut kaynakların en iyi biçimde dağıtımını sağlamak amacıyla ilk olarak 1960'lı yıllarda ortaya atılmıştır. Otomobil teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, ortaya çıkan karayolu ihtiyacını karşılamak amacıyla inşa edilen üstyapıların artması ve zamanla bozulmaya başlaması, daha fazla kaynağın üstyapı bakım ve rehabilitasyon işlerine aktarılmasını zorunlu kılmıştır.

İlk yıllarda üstyapı durumunu belirlemede kullanılan görsel değerlendirmeler, daha sonraki yıllarda yerini çeşitli tahribatlı deneylere bırakmıştır. Tahribatlı deneylerin zorluğu ve çeşitli sakıncaları nedeniyle, tahribatsız deneyler geliştirilmiş ve uygulanmaya başlanmıştır. Bu deneyler üstyapının taşıma gücü ve yapısal durumu hakkında fikir vermesine karşın, özellikle kullanıcıların sürüş konforunu yansıtan fonksiyonel durumu hakkında fikir verememektedir (Terzi, 2004).

Hava ulaştırması alanında hem asfalt hem de beton üstyapı malzemesinin yaygın kullanımı bulunmaktadır. Özellikle uçak iniş ve kalkış pistleri, taksi yolları ile apron sahalarında beton ya da asfalt üstyapı kullanılmaktadır. Havaalanlarında üstyapıyı kullanacak en ağır hava aracı Hava Aracı Sınıflandırma Numarası (Aircraft Classification Number - ACN) ve o aracı taşıyacak olan Üstyapı Sınıflandırma Numarası (Pavement Classification Number - PCN) değerlerine göre yapılmaktadır. İlk sınıflandırma sistemleri üstyapıları taşıyabilecekleri en ağır hava aracı yüküne göre tanımlanmaktadır ve bir ağırlık birimiyle ifade edilmektedir. Sonraları Uluslar Arası Sivil Havacılık Organizasyonu (International Civil Aviation Organization - ICAO) tarafından geliştirilen Yük Sınıflandırma Numarası (Load Classification Number - LCN) yöntemiyle bir yük sınıflandırma sistemi oluşturulmuştur. Kullanıldığı yıllarda oldukça başarılı sonuçlar veren LCN yöntemi ICAO tarafından 1983 yılında geliştirilen ACN-PCN yönteminden sonra kullanılmamaya başlanmıştır (Mazılıgüneş, 2006).

Fonksiyonel durumun belirlenmesi için ilk olarak Amerikan Karayolu ve Ulaştırma Teşkilatı (American Association of State Highway and Transportation - AASHTO) panel oranlaması adı verilen ve üç üstyapı puanlayıcısının üstyapı üzerinde bir taşıtla seyahat ederken yaptığı puanlamaların ortalamasını kullanan bir gösterge önermişlerdir. Sonraki yıllarda hizmet yeteneğinin üstyapı düzgünsüzlüğünün bir fonksiyonu olabileceği düşünülmüştür. Düzgünsüzlük ilk olarak AASHO profilometresi kullanılarak ölçülmüştür. Proje düzeyindeki bu değerlendirmeler önceleri yeterli görülmesine karşın, gelecek yıllarda oluşacak kaynak ihtiyacının belirlenmesi ve detaylı planlamaların yapılabilmesi amacıyla ağ düzeyinde değerlendirmelere gereksinim duyulmuştur. Bu amaçla performans tahmin yöntemleri geliştirilmiştir. Herhangi bir tahmin modeli için gereksinim duyulan temel bilgiler; bir veri tabanı, bozulmayı etkileyen tüm önemli değişkenlerin belirlenmesi, gerçek yol koşullarını dikkate alacak şekilde bir model seçimi ve ölçütlerin belirlenmesidir. Üstyapı durum tahmini için kullanılan modeller; lineer azalan tahmin modeli, regresyon (ampirik) modeli, mekanistik-ampirik model, en küçük kareler yöntemi ile polinom modeli, S-şekilli eğriler, olasılık dağılımı, Markov modeli ve özellikle son yıllarda yapay zeka yöntemlerini de kullanan yeni modeller olarak sınıflandırılabilir.

Hava araçlarının kullanımında olan üstyapıların yapımı oldukça maliyetlidir ve bu üstyapıların yapım maliyetlerine göre çok daha pahalı olan hava araçlarının güvenliği için uygun koşullara sahip olmaları hayati önem taşımaktadır. Söz konusu hava araçları savaş uçakları ve askeri uçaklar olduğunda ise bu maliyetler ve üstyapıların önemi katlanarak artmaktadır. Üstyapıların tasarımına yönelik ülkemizde herhangi bir sıkıntı bulunmadığı ve Türk mühendislerin bu konularda oldukça uzman oldukları; fakat üstyapıların bakım ve onarımı konularında bazı eksikliklerin olduğu bilinmektedir. Amerikan ordusunca ve birçok NATO ülkesince Üstyapı Durum İndeksi (Pavement Capacity Index - PCI) yöntemi hem beton hem de asfalt üstyapılar için kullanılmaktadır. NATO, üstyapıların mevcut durumlarını tanımlamak ve gerektiğinde onarım bütçesi ayırmak için PCI yöntemini benimsemiştir (Mazıllıgüney, 2006). Bu yöntemin ülkemizde de kullanılabilmesi için bir Üstyapı Yönetim Sistemi geliştirilmesi gerekmektedir.

Performans tahmininden sonra, üstyapı yönetim sistemi (Pavement Management System - PMS) oluşturulabilmesi için gereken en önemli bileşen, üstyapı bakım ve rehabilitasyon işlemlerinden hangisinin, ne zaman ve hangi üstyapı kesimine uygulanacağına belirlenmesidir. Artan karayolu ağı ve azalan kaynaklar, üstyapıda oluşan bakım ve rehabilitasyon ihtiyacının tüm ağa aynı anda uygulanamaması sorununu ortaya çıkarmıştır. Kullanıcılara maksimum faydayı sağlayacak olan yöntemin seçimi ve mevcut kaynakların optimum dağıtımını sağlamak için optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler; eşdeğer düzenli yıllık maliyet yöntemi, bugünkü değer yöntemi, dönüş oranı yöntemi, fayda maliyet oranı yöntemi ve maliyet etkinlik yöntemi olarak gruplandırılabilir (Terzi, 2004). Gelişen bilgisayar teknolojisi ile beraber son yıllarda bu yöntemlere yapay zeka yöntemlerinden genetik algoritma yöntemi de eklenmiştir.

1.1. Araştırmanın Amacı ve İzlenen Yol

Havaalanı Üstyapı Yönetim Sistemi (Airport Pavement Management System-APMS) sadece üstyapının mevcut durumunu değerlendirmez, aynı zamanda üstyapı durum indeksinin kullanımı aracılığıyla gelecek durumu da öngörür. Bozulma oranı projelendirilerek, bir yaşam-döngü maliyet analizi çeşitli alternatiflerle desteklenebilir. Bu analiz en iyi alternatif yöntemini uygulamak için optimum zamanı belirlemede yardımcı olacaktır. Böyle bir karar gelecekteki yüksek bakım ve onarım maliyetlerinden kaçınmak için gereklidir. Bir üstyapı genellikle bir “kritik durum” a ulaşana ve hızla bozulmaya başlayana kadar ömrünün büyük çoğunluğu için iyi performans gösterir. Birçok çalışma, iyi durumdaki bir üstyapıya yapılan bakım, kötü durumdaki bir üstyapıya uygulanan periyodik rehabilitasyona karşı 4-5 kat daha pahalı olduğunu göstermiştir. Hızla bozulmaya başlamadan önce inşaat tipi ve kalitesi, üstyapı kullanımı, iklim ve bakım gibi birçok faktöre bağlı olarak bir üstyapı yıllarca “iyi” durumda kalır. Bir APMS optimum rehabilitasyon noktasının belirlenmesine yardım edebilir ve karar vericilerin daha etkili olacak mevcut kaynakları hedeflemelerine yardım edebilir. APMS bunu, gelecekteki durumu öngörecekle ve bozulmanın yüklemeye ya da çevresel etkenlerle ilişkili olup olmadığını belirleyecek bir üstyapı durum oran sisteminden alınan verinin

kullanımıyla yapabilir (AC150/5380-7A, 2006). Bu amaçla çalışmada, günümüzde yaygın olarak kullanılan Bulanık Mantık Yöntemi ile Üstyapı Bakım İşletim Sistemlerinin modellenmesi, çözümlenmesi, sorgulanması ve raporlanması gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, kaynak taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde materyal ve yonteme yer verilmiştir. Çalışmanın materyal kısmı üstyapı yönetim sistemini kapsamaktadır. Yöntemler ise, bulanık mantık yönteminden oluşmaktadır. Bu bölümde, genel olarak tüm tanımlar ve açıklamalar yapılarak bu sistem ve yöntemler tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde ise, araştırma bulgularına yer verilmiştir. Bulanık mantık yöntemi ile geliştirilen performans tahmin modelleri tanıtılarak üstünlükleri anlatılmıştır. Beşinci bölümde, yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde tez çalışması ile ilgili kaynaklarda yayımlanmış bilgiler özetlenmiştir. Kolay anlaşılabilir olması için bu çalışmalar; Havaalanı Üstyapı Yönetim Sistemi, Üstyapı Durum Değerlendirmesi ve Üstyapı Bozulma Modelleri başlıkları altında gruplandırılmıştır.

2.1. Havaalanı Üstyapı Yönetim Sistemi

McGhee (1990), Virginia Havacılık Bölümünün (Virginia Department of Aviation – VDOAV) yetki alanı altında 56 genel havacılık havaalanında bir üstyapı yönetim sistemi uygulamak amacıyla gerçekleştirilen aktiviteleri özetlemiştir. Uygulama, tahmini maliyetler ve bakım onarım fizibilitesinin geliştirilmesi, her bir pist üstyapısının mevcut durumunu toplamak ve her bir havaalanı için geçmiş veri tabanı geliştirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Genel havaalanı üstyapı yönetim sisteminin geleceği için VDOAV tarafından çeşitli öneriler sunulmuştur.

Gendreu and Soriano (1994), çalışmalarında, Havaalanı Üstyapı Yönetim Sistemini (Airport Pavement Management System - APMS) tanımlamış, APMS'nin temel elementlerini belirtmişlerdir. Bu çalışmada, ağ envanteri, üstyapı durum değerlendirme, üstyapı performans tahmini ve yönetim planlama metotları tanımlanmış, uygulamadaki farklı yöntemleri anlatmışlar ve bunların eksik ya da yeterli kısımlarını mümkün olduğu kadar aydınlatmaya çalışmışlardır. Üstyapı durum değerlendirmesinde, yapısal ve fonksiyonel performansı incelemişlerdir. PCI değerlerinin belirlenmesini, kullanılan veri tabanını (PAVER), Bakım ve Rehabilitasyon çalışmalarının eksik ve yeterli kısımlarını göstermişlerdir. Planlama metotlarını ve aşamalarını incelemişlerdir. Sonuçta, PAVER sisteminin yeterli olduğuna, Markov modelinin proje düzeyi planlamasında ve ağ düzeyi planlamasında optimizasyon modellerinin APMS için uygun olduğuna karar vermişlerdir. Gelecek yıllar için bu yaklaşımların geliştirilmesi gerektiğini de vurgulamışlardır.

Ağ optimizasyon analizini gerçekleştirmek için bilgisayarlı bir metot geliştirilmiştir. Analizler belirlenmiş üstyapı bölümüne uygulanan en etkili onarımı belirlemek için yaşam döngü maliyet analizleri ile birlikte performans modellerini kullanmaktadır. Performans modelleri en yaygın bakım onarımları (kum örtme tabakası ve sathi kaplama ile çatlakların kapatılması) ve rehabilitasyon onarımları (takviye tabakası, üstyapı iyileştirmesi) için geliştirilmiştir. Modeller geçmiş 15 yıl için arazi bölümü üzerinde toplanan gerçek üstyapı yönetimi verilerini kullanarak geliştirilmiştir. Yıllık üstyapı bölümlerinin performansı Mevcut Servis Yeteneği (Present Serviceability Index - PSI) açısından modellenmiştir. En etkili onarım alternatifi, alternatifin toplam maliyeti tarafından bölünen PSI-Zaman eğrisi altında bölgenin oranlaması olarak tanımlanan en yüksek fayda maliyet tabanlı olarak seçilmiştir. Bir kez en etkili alternatif analiz için seçilen üstyapı bölümü grubu için sağlanan yıllık masrafların özeti olarak her bir üstyapı bölümü için seçilmiştir. Proje gruplarının mühendisler tarafından seçilmiş olan üstyapı bölümü grubu ya da tüm ağ olabileceği düşünülmüştür (Sebaaly et al., 1999).

Abraham et al. (2003), geliştirdikleri projede, Alabama Genel Havacılık (General Aviation – GA) havaalanlarında kullanımı için Alabama Ulaştırma bölümünün (ALDOT) havacılık bürosu için yeni bir yıllık kontrol sistemi sunmuşlardır. Kontrol oranlama algoritması geliştirilmiş, bir web- site dizayn edilmiş ve yeni bir kontrol veri tabanı oluşturulmuş ve online olarak yayınlanmıştır. MicroPAVER 5.0 programı kullanılarak, PCI değerlerini oluşturmak amacıyla Üstyapı Yönetim Sistemine dahil edilmiş ve kontrol raporlama sistemi test edilmiştir. Proje ekibi havaalanı kontrol etme sistem yazılımının yaygınlaşmasına yardım etmiş olacağını ve sistem gelecek GA havaalanları Devlet Lisanslaması için kullanılacağını belirtmişlerdir. Sonuçta uygulanan Üstyapı Yönetim Sisteminin havaalanı üstyapıları için PCI verilerinin hesaplanmasına yardımcı olduğunu belirtmişlerdir. Bunun da gelecekte havaalanı yöneticilerine verilen zamanda bakım onarım için tam olarak ne kadar para harcanması gerektiğinin tahmininde yardımcı olacağını belirtmişlerdir.

Chou et al. (2004), çalışmalarında Chiang-Kai-Shel (CKS) Uluslararası Havaalanını incelemişlerdir. 05/23 ve 06/24 pistlerinde ciddi hasarların olduğunu tespit etmişlerdir. Ana rehabilitasyon için görsel olarak karar verme aşamasını

gerçekleştirmişlerdir. Sistematik bir yaklaşım ortaya koymamışlar ve kullanmamışlardır. Çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri (Geographic Information Systems – GIS) ile entegre bir bilgisayar programı ve plak geçmiş veri tabanı geliştirilmiştir. Tüm havaalanı ağı için her bir bölge örneği için PCI verileri hesaplanmıştır. Nispeten pist, taksi yolu ve apron için üç adet PCI bozulma tahmin modeli geliştirilmiştir. CKS havaalanı Üstyapı Yönetim Sistemi için bu üç PCI bozulma tahmin modeli ile birleştirilmiş beş adet bakım senaryosu oluşturulmuştur.

FAA çalışmasında, APMS kavramını incelemiş, APMS'nin temel bileşenlerini ve üstyapı B&R analizinde etkili maliyet analizini nasıl uyguladığını araştırmıştır. Öncelikle havaalanı yönetiminin maliyeti acil ve en gerekli yerde B&R uygulamalarını incelemiştir. Mevcut veri tabanları araştırılmış MicroPAVER veri tabanı incelenmiştir ve yönetim düzeyleri açıklanmıştır. Bütçe planlaması ve yaşam döngüsü maliyet analizi incelenmiştir. Bir projenin genelde çoklu üstyapı bölümlerinden oluştuğu ve farklı B&R bölümleri için farklı faaliyetler barındırabileceği belirtilmiştir. APMS uygulamasının faydaları ve gerekliliği vurgulanmıştır (AC150/5380-7A, 2006).

McNerney and Harrison ticari servis havaalanlarının tam maliyet değerlendirmesi ile birleşik ileri seviyede Üstyapı Yönetim Sistemine ihtiyaç duyduğunu belirtmişlerdir. Uygun Üstyapı Yönetim Sisteminin bozulma maliyetleri ve operasyonel uçak maliyetlerini de içeren üstyapı çalışmasının tüm ekonomik etkisini göstermesi gerektiğini savunmaktadırlar. Bugün GIS içindeki gelişmeler ileri bir havaalanı üstyapı yönetim sistemine entegre edilebilmesi için en iyi çerçeveyi oluşturduğunu belirtmişlerdir. GIS ile entegre bir havaalanının üstyapı yerleşiminin fonksiyonu olarak tüm maliyetlerin hesaplanabilirliğini anlatmışlardır.

Tighe and Covalt (2008), APMS uygulamasını, gerekli verileri ve güncellemeleri açıklamışlardır. Fayda maliyet analizi ile APMS uygulamasını incelemişlerdir. Uygulamada ilk olarak APMS kullanıcıları ve onların ihtiyaçlarını belirlemişler, üstyapı geçmişini, üstyapı durum değerlendirmesini, analiz verilerini, raporlamayı ve diğer çıktıları elde etmişlerdir. APMS'nin uygulanmasından sonra destek ve güncellemelerini gerçekleştirmişlerdir. Son olarak, APMS'nin gelecekte kullanıcı ihtiyaçları ve genişlemesini sağlamak için esnek olması gerektiğini belirtmişlerdir.

APTech (2006), eyalet çapında bir üstyapı yönetim sisteminin geliştirilmesi için asıl amacının kendi üstyapı programlarını yönetmek için gereken teknik kapasite ve çalışana sahip bir kaç havaalanı kuruluşu dışında FAA Entegre Havaalanı Sistemlerinin Ulusal Planı (NPIAS) ve Washington Eyaleti Havaalanı Sistemleri (WSASP) içinde seçilen Washington havaalanları için üstyapının ilgili durumunu belirlemek olduğunu belirtmiştir. Washington Eyaleti Ulaştırma Bölümü (Washington State Department of Transportation – WSDOT) programın geliştirilmesini desteklemek amacıyla Micro PAVER üstyapı bakım yönetimi yazılımını kullanmıştır. Micro PAVER üstyapının bakım ve rehabilitasyon, yeniden inşaat ya da onarım gereksinimlerini belirlemek için denetleme sonuçlarını kullanmaktadır. Bu bilgi kullanıcılara yeniden inşaat, bakım ve rehabilitasyon gereksinimlerini belirlemede ve kabul edilebilir düzeyde ağın sürdürülebilirliği için gereken bütçeyi tahmin etmede ve hazırlamada üstyapı ağ durumunu belirlemeyi sağlamaktadır. Eyalet için Havaalanı Üstyapı Yönetim Programının (Airport Pavement Management Program - APMP) kurulması süresince her bir havaalanında üstyapı hakkında belirli bilgiler toplanmıştır. Bu bilgi minimum düzeyde üstyapı yerini, üstyapı boyutlarını, üstyapı yüzey tipini ve son inşaat tarihini içermektedir. Bu bilgi her bir havaalanı üstyapısının yönetilebilir birimlere bölünebilmesi amacıyla toplanmıştır ve bu süreç ağ düzeyi tanımlama olarak adlandırılmaktadır.

Wang et al. (2008), ağ düzeyi bir Markov-işlem tabanlı üstyapı yönetim sistemi geliştirmişlerdir. Georgia Ulaştırma Bölümü (GDOT) 1980'den beri üstyapı bakımını gerçekleştirmektedir. Mevcut kaynakların eksikliğinden dolayı birçok GDOT üstyapı bakım onarım projesi iptal olmuş ya da gecikmiştir. Eksik kaynakların etkileri ile ilgili yönetim ve paydaşların etkili bir şekilde iletişimde olması amacıyla ağ düzeyi, uzun süreli üstyapı durumları ve yıllık bütçe ihtiyacının tahmini için bir Markov modeli tabanlı üstyapı yönetim sistemi geliştirilmiştir. 10 yıllık üstyapı durum tahmini, mevcut bütçe düzeyinin yetersiz ve üstyapı durumunu sadece 3 yıl daha uzatabileceğini göstermiştir.

Pavement Consultants Inc. (2008), Idaho Ulaştırma Bölümü, Havacılık bölgesi (Idaho Transportation Department-Division of Aeronautics - ITD-AERO) için mevcut üstyapı durumunun havaalanı operatörlerine faydalı olabileceğini

belirtmişlerdir. Havaalanı operatörlerini desteklemek amacıyla ITD-AERO 1980lerin ortalarında ağ düzeyi üstyapı yönetim sistemi uygulaması için seçilmiştir. Bir havaalanı üstyapı yönetim sisteminin proje önceliklerinin oluşturulması ve üstyapı için gerekli bakım ve onarım etkinliklerini tanımlamak için etkili bir ilerleme sağladığını belirtmişlerdir. Çalışmada 45 havaalanı ITD-AERO ve FAA`e yardım etmesi amacıyla tüm eyalet üstyapı durumunu belirlenmiş ve üstyapı bozulma oranları belirlenmiştir. Uygulanan ağ düzeyi üstyapı yönetim sistemi bakım ve onarım stratejilerini belirlemiş ve bakım ve onarım gereksinimlerini çeşitli maliyet düzeylerinde oluşturmuştur.

Üstyapı durumları, havaalanı üstyapıları için ASTM D 5340 ve FAA AC 150/5380 de özetlenen PCI prosedürü kullanılarak belirlenmiştir. PCI incelemesi sırasında, seçilen örnek bölge üzerindeki bozulmaların görünür değerleri kaydedilmiş ve analiz edilmiştir. PCI değerlendirmesinin bakım ve rehabilitasyon gereksinimlerinin doğru değeri yansıtmasına olanak vermekte ve gelecek bozulmaların tahminine imkan sağlamakta olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada Minnesota Ulaştırma Bolumu (MN/DOT) üstyapı durumlarını yansıtan APMS`deki en güncel üstyapı durum verisini elde etmek amacıyla 3 yıl döngüsünde her bir havaalanına PCI denetlemelerini gerçekleştirmiştir (Applied Research Associates, Inc., 2008).

Nejad et al. (2009), sadece yol yönetimi maliyetlerinin değil aynı zamanda kullanıcı maliyetlerinin de altyapı yatırım kararlarına yardım etmesi amacıyla yaşam döngü maliyeti içinde bulunması gerektiğini açıklamışlardır. Bu yüzden yaşam döngü maliyetinin tahmininde, Üstyapı bakım ve onarım metodunun seçiminin teknolojik kapasitenin yeterli olmadığı durumda gerekli olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada PMS ve yaşam döngü maliyeti içinde istatistiki ve tahmini faktörlerin birleştirilmesinde Matematiksel Hata Teoremi (Mathematical Failure-Theory – MFT) sunmuşlardır. Bu yaklaşımın mühendislere Bakım ve Onarım metot seçimi için yaşam döngü maliyetinin hesaplanmasında tahmini ve istatistiki faktörlerin ve farklı bakım ve onarım metodunun istatistiki ve yaklaşık düşüncelerine imkan tanıyacağını belirtmişlerdir.

Villarreal (2009), toplamda eyalet üzerindeki 107 havaalanından 137 pist incelemiştir. MicroPAVER ile bir Üstyapı Yönetim Sistemi geliştirmiştir. Başlangıç

veri tabanı ağ düzeyinde bütün pistler için geliştirilmiştir. Yapılan incelemeler FAA tarafından kullanılan ve ASTM D 5340-04 tarafından oluşturulan ana hat çerçevesinde üstyapı durum indeksi (Pavement Condition Index – PCI) açısından üstyapı durumunu belirlemek için Mayıs-Temmuz 2008 ayları arasında gerçekleştirilmiştir. Tüm bunlar çerçevesinde ağ düzeyi üstyapı durumu “Yeterli” olarak oranlanmıştır. Durum tahmin eğrisi her iki farklı yüzey tipi için geliştirilmiştir. İki bütçe senaryosu karşılaştırması raporu FAA bütçesi için seçilen 78 havaalanından 108 pistin gelecek 5 yıl için her yıl ortalama 15 milyon dolar harcayarak (örn. Ortalama $PCI \geq 70$) “Yeterli” duruma getirebileceğini göstermiştir.

APTech (2010), Arizona Ulaştırma Bölümü tarafından (ADOT) 2000 yılında Arizona havaalanı yapısı ve onun bakım planı için geliştirilen APMS için güncelleme yapmıştır. Projenin en önemli amacının; havaalanları, ADOT ve FAA için proje önceliklerinin uzun süreli etkilerinin değerlendirilmesi, uzun yıllar süresince onarımları ve proje seçiminin optimize edilmesi, üstyapı ile ilişkili ihtiyaçları belirlemeye yardımcı olan analitik araçların ve üstyapı bilgilerinin sağlanması olduğunu belirtmiştir.

2.2. Üstyapı Performans Tahmini

Witczak (1976), çalışmasında üstyapı sistemlerinin yorulma çatlakları için o yılların son teknoloji ürününü sunmuştur. Bu çalışma portland çimento betonu, çimento katkı malzeme, kireç çimento uçucu kül karışımları, kireç uçucu kül, kireç katkı malzeme, çimento emülsiyonları, asfalt emülsiyonları ve asfalt betonunun yorulmasına bağlı öncelikli araştırma olarak öne çıkmıştır. Bu nedenle gelecek çalışmalar için ana sonuçlar, malzeme tipine rağmen yönetim sistemi ve üstyapı tasarımında kullanılabilen bozulma-performans modelinin geliştirilmesi üzerine odaklanmıştır. Sonuç olarak laboratuvar tipi incelemelere rağmen arazi performans çalışmalarının daha uygun olduğunu düşünmektedir.

Bendar (1989), geçmiş yıllardaki verileri baz alarak Arkansas performans verilerini kullanarak mevcut yıl için üstyapının durum oranlamasını tahmin etmiştir. Üstyapı

sürüş ve bozulmalarının bileşenleri trafik hacmi için düzeltilmiştir. Üstyapıların durum oranlaması üstyapı yaşına karşılık yıllık olarak grafik haline getirilmiştir. Arkansas'da yapılan kısıtlı analizlerden, eğrilerin verilerle mantıklı bir şekilde örtüşmesine rağmen kümülatif Eşdeğer Standart Dingil Yüğü (Equivalent Single Axle Load - ESAL)' nün etkilerinin hesaplanması için yeniden düzenlenmek zorunda olduğu çıkarılmıştır.

Iowa Ulaştırma Bölümü (Iowa Department of Transportation - Iowa DOT) takviye tabakasının performansını etkileyebilecek kalınlık, agrega dayanımı, temel ve alt temel karakteristikleri gibi faktörleri daha açık tanımlayan daha ayrıntılı bir model geliştirmiştir. Kesimler seçilmiş ve servis düzeyleri ve üstyapı tiplerine (rijit ve kompozit) bölünmüştür. Model, Iowa DOT için malzeme seçiminde bazı genellemeler sağlamıştır fakat bunun yanında birçok eksikliğe de sahiptir. Bunlar rehabilitasyon ve bakım tekniklerine izin vermemesi, yükleme ve yaş için veri noktalarının dağıtımını kısıtlaması, ilk PSI'ların sabit kabul edilmesi ve sadece üstyapı performansını etkileyebilecek çok az açık değışkenin göz önünde bulundurulmasıdır.

Pennsylvania Ulaştırma Bölümü (Pennsylvania Department of Transportation - Pennsylvania DOT) 22 gözlenmiş kesimin her biri için trafik verileri ve düzgünlük verilerinden performans eğrileri oluşturmuştur. Bu eğriler sadece rijit ve kompozit üstyapı kesimleri olarak düşünölmüş ve eğriler PSI tahmininin kabul edilebilir olmasını sağlarken veriler kısıtlı kalmıştır.

Washington Eyaleti Ulaştırma Bölümü (Washington State Department of Transportation - WSDOT) veri tabanındaki mevcut 5 yıllık veriler üzerinde eğriler oluşturmuştur. Tüm modellerinde yaş en önemli bağımsız değışken olarak belirlenmiştir. Diğer değışkenler takviye tabakası tipi gibi, genel olarak gösterilmiş fakat önemli olarak düşünölmemiştir. Modelin kısıtları geliştirilen modelden alınan orijinal veri setlerine atanabilmektedir.

Bryan et al. (1999), yaptıkları çalışmada o yılda ölçölen bozulma değerlerini baz alarak bakım ve rehabilitasyon gereksinimlerini planlamışlar ve gelecekte

oluşabilecek bozulmalara göre Üstyapı Durum İndeksi (Pavement Condition Index - PCI) tahmini yapmışlardır.

Kim and Kim (2006), gelecekteki üstyapı durum tahmini yeteneğinin üstyapı yönetim sistemi için ekonomik sebepler ve akıllı bir öncelik takvimi geliştirme ihtiyacı için yaygın olarak sorgulama olduğunu belirtmişlerdir. Üstyapı performans tahmin modeli eğer geçmiş üstyapı performans verilerine bağlı olarak geliştirilebilirse üstyapının kalan servis ömrü tahmin edilebilmektedir. Bu da rehabilitasyon aktivitelerinin takviminin ve performansın önceden belirlenmesini gerçekleştiren gerekli fonun belirlenmesini optimize etmektedir. Ancak genel üstyapı durum tahmin modellerinin geliştirilmesi için yapılan girişimlerin sonuçları üstyapı performans verilerinin toplanmasındaki, üstyapı inşaat durumunun karmaşıklığındaki ve üstyapı malzemelerinin farklı özelliklerindeki zorluklardan dolayı güvenilir değildir. Georgia Ulaştırma Bölümü (GDOT) geçmiş 15 yıl için Georgia üstyapılarında üstyapı durum değerlendirmesi için Üstyapı Durum Değerlendirme Sistemi (PACES) kullanmışlardır. Yazarlar bu çalışmalarında PACES verileri ve PACES oranlarıyla basit ve çoklu regresyon analizi metodunu kullanarak performans tahmin modelleri oluşturmuşlardır. Çoklu regresyon analiz modeli yıllık ortalama günlük trafik (YOGT) oranlarıyla üstyapı performans tahmininin etkili olduğunu belirtmişlerdir. Eğer üstyapı performans tahmin modeli olarak çoklu regresyon modeli kullanılırsa Üstyapı Yönetim Sistemine uygulanabileceği ve üstyapı yönetim sistemi için karar verme sürecinde önemli rol oynayacağı belirtilmiştir.

Ahyudanari et al. (2010) havaalanı üstyapılarının havaalanı operasyonlarının güvenliği amacıyla düzenli olarak bakıma ihtiyaç duyduğunu belirtmişlerdir. Havaalanı üstyapı bakımının zamanının planlanması havaalanı üstyapı durumunun inceleme verilerinin analizine bağlıdır. İnceleme sistemi genellikle belirli aralıklarla ya da günlük olarak gerçekleştirilmektedir. Yoğun havaalanları için gündüz saatlerinde üstyapı incelemesi çok zor olmaktadır. Ahyudanari et al. bu çalışmada kaydedilmiş üstyapı bakım geçmişi verileri ve trafik verilerine bağlı olarak üstyapı durum tahmin metodunu bir alternatif olarak sunmuşlardır. Tahmin metodu havaalanını kullanan uçak tipleri ve havaalanı üstyapı kapasitesinin karşılaştırılmasıyla başlar ve üstyapı inşaatının tasarım yeteneğinin kontrolüyle

devam eder. Üstyapı kapasitesi ve inşaatı gibi öncelikli değerlendirmeleri taşıyan üstyapılar maalesef yapısal bozulmalara maruz kalmaktadır, fakat bunlar yüzey bozulmaları olarak göz önünde bulundurulurlar. İkinci karşılaştırma uygulama karakteristikleri ve üstyapı fonksiyonel bozulma tipi arasında yapılmaktadır. İkinci karşılaştırmanın kabulü var olan üstyapı performansının öncelikli kararı olarak düşünülmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada materyal olarak havaalanı üstyapı yönetim sistemi kullanılmıştır. Bu bölümde genel olarak havaalanı üstyapı yönetim sistemi tanımlanarak, ağ düzeyi ve proje düzeyi analiz bileşenleri anlatılmıştır.

3.1.1. Havaalanı üstyapı yönetim sistemi

3.1.1.1. Giriş

Üstyapı Yönetimi, çeşitli yönetim düzeylerinde optimum stratejileri oluşturmayı ve oluşturulan bu stratejilerin uygulamalarını da kapsayan aynı zamanda veri toplama, değerlendirme ve yeterli servis düzeyinde, üstyapıların yenileme, bakım ve onarım gibi aktivitelerinin tümünü içeren ve üstyapının servis düzeyini periyodik olarak takip eden işlemler topluluğuna verilen isimdir. PMS, ise hazırlanan optimum stratejilerin ilişkili ve eşgüdümlü biçimde çeşitli özellikler, ölçütler ve kısıtlar göz önüne alınarak karar vericiler tarafından dinamik bir şekilde değerlendirilmesi ve işleme konulması adımlarının tamamına denir (Terzi, 2004).

Hava tarafındaki üstyapılar havaalanında altyapı incelemelerinin büyük bir bölümünü temsil etmektedir. Bu üstyapılar tüm uçaklar için güvenli uçuş, iyi sürüş kalitesi ve taşıma gücü kapasitesi sağlamak için tasarlanmıştır. Ancak, bir kere üstyapı inşaatı tamamlandıktan sonra üstyapılar üstyapı tabakalarının diferansiyel hareketleri, yüzey drenajı, yapısal hatalar ve yüzey sıcaklık değişimlerinden dolayı çok çabuk bozulmaya başlamaktadır. Hatalı yapım teknikleri standartların altındaki malzemelerin kullanımı ve zayıf işçilik bu bozulmaların sürecini hızlandırmaktadır. Zamanla, birçok üstyapı orijinal tasarım yüklerinden daha büyük yüklere maruz kalmakta ya da iniş ve kalkışlarda frekans artışları gözlenmektedir, bu da erken üstyapı bozulmalarına katkıda bulunmaktadır.

Her incelemede havaalanı sahipleri ve sponsorları apron, pist ve taksi yolu yapımının tasarım ömrü boyunca istenen performansı sağlayacak üstyapıların inşa edilmesini istemektedir. İstenen performans tasarım ömrü boyunca bozulmanın oranı ve belirli bir üstyapının yaşam boyu maliyetleri (Life cycle costs – LCC)’ne bağlı olmalıdır. İdeal olarak havaalanı sahipleri uçak operasyonları için her zaman güvenli olan yüzeyi sağlamak yerine ana bakım çalışmaları ya da onarım gerektirmeyecek uzun ömürlü bir üstyapı inşa etmek isterler. Ancak gerçekte biliyoruz ki üstyapılar inşaat tamamlanır tamamlanmaz gelecekte bir noktada bakım onarım ve yeniden inşa edilmek zorundadır (API, 2009).

3.1.1.2. Havaalanı üstyapı yönetim sisteminin amacı

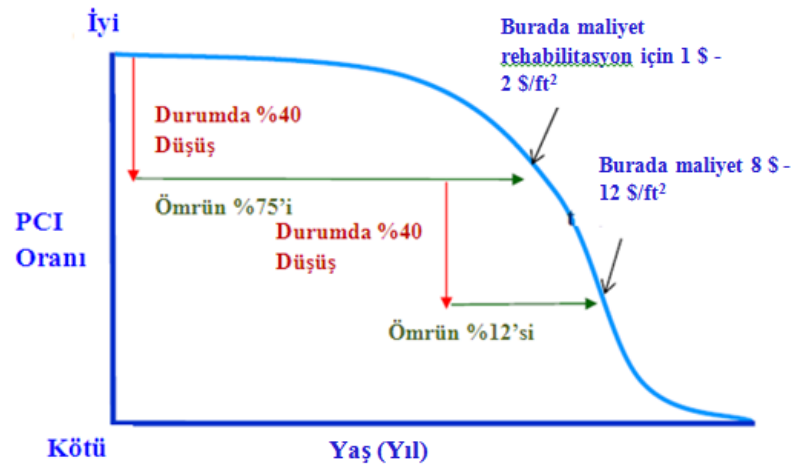
APMS sadece üstyapının mevcut durumunu değerlendirmez, aynı zamanda üstyapı durum indeksinin kullanımı aracılığıyla gelecek durumunu da öngörür. Bozulma oranı projelendirilerek, bir yaşam-döngü maliyet analizi çeşitli alternatiflerle desteklenebilir. Bu analiz en iyi alternatif yöntemini uygulamak için optimum zamanı belirlemede yardımcı olacaktır. Böyle bir karar gelecekteki yüksek bakım ve onarım maliyetlerinden kaçınmak için gereklidir.

Şekil 3.1., bir üstyapının genellikle nasıl bozulduğunu göstermektedir ve üstyapı ömrü boyunca çeşitli zamanlarda rehabilitasyon maliyetiyle ilgilidir. Bir üstyapı genellikle bir “kritik durum” a ulaşana ve hızla bozulmaya başlayana kadar ömrünün büyük çoğunluğu için iyi performans gösterir. Birçok çalışma, kötü durumdaki bir üstyapıya uygulanan periyodik rehabilitasyonun, iyi durumdaki bir üstyapıya yapılan bakıma karşın 4-5 kat daha pahalı olduğunu göstermiştir. Hızla bozulmaya başlamadan önce inşaat tipi ve kalitesi, üstyapı kullanımı, iklim ve bakım gibi birçok faktöre bağlı olarak bir üstyapı yıllarca “iyi” durumda kalır.

Şekil 3.1 aynı zamanda, ana rehabilitasyon için ideal zamanın aynen bir üstyapının bozulma oranı gibi artmaya başladığını da göstermektedir. Eğer üstyapı açık belirtiler gösterirse, bakım ve rehabilitasyon çözümlerini planlamak çok kolay olabilir, fakat ne yazık ki öyle değildir. Bozulma eğrisinin şekli ve bu yüzden optimum bakım ve onarım noktaları, bir üstyapı ağıyla birlikte belirgin şekilde değişir. Bir üstyapı,

operasyonlarda ya da uçak yüklemelerinde birden artış gözlenmesi durumunda, sırf çevresel etkenlerden kaynaklanan bozulmalardan daha hızlı bir bozulmaya meyilli olacaktır.

Çevresel zararlardan bozulan üstyapı, doldurulması gereken birçok çatlığa sahip olabilir, fakat yapısal olarak yine de sağlam kalır. Aksine, bu üstyapının doğru test etmekle belirlenebilecek yükleme bozulmalarının en erken seviyesinde olabilmesiyle aynıdır. Çünkü, bir üstyapı kritik düzeye ulaştığında bozulmaları belirlemek çok zordur, bir APMS optimum rehabilitasyon noktasının belirlenmesine yardım edebilir ve karar vericilerin daha etkili olacak mevcut kaynakları hedeflemelerine yardım edebilir. APMS bunu, gelecekteki durumu öngörece ve bozulmanın yüklemeye ya da çevresel etkenlerle ilişkili olup olmadığını belirleyecek bir üstyapı durum oran sisteminden alınan verinin kullanımıyla yapabilir (AC150/5380-7A, 2006).



Şekil 3.1. Tipik üstyapı durum yaşam döngüsü (API, 2009)

Maliyet-Etkili Çözümler:

Üstyapı bozulmasındaki bilgi, kendisi tarafından, bakım ve onarım seçimiyle ilgili stratejilerde maliyet-etkili soruları cevaplamak için yeterli değildir. Örneğin, bir üstyapıya yama mı yapılmalı, yeniden inşaat mı yapılmalı yoksa yeniden yüzeyi mi kaplanmalıdır?

Bu tür bir karar çeşitli bakım ve onarım prosedürleri ve etkinliğinin maliyeti hakkında bilgi gerektirir. Bu durumda etkililiği; önerilen çözüm yetersiz maliyetin kaynağını hedefler ve üstyapı durumunun değerlendirmesini geliştirir, bu üstyapı optimum çözüm maliyetini elde etmek için bu gelişmiş durumda birkaç yıl süreyle kalır. Bir üstyapı yönetim sistemi üstyapı durum ve bakım veri tabanı bilgilerini saklamak ve en etkili-maliyet üstyapı bakım çözümleri için programın kaynak kullanımını belirlemek için bir kullanıcı sağlamaktadır (AC150/5380-7A, 2006).

Bir APMS birçok yarar sağlar;

- Üstyapı ağının durumunun nesnel ve tutarlı değerlendirmesini sağlar,
- Bakım ve rehabilitasyon ihtiyaçlarının belirlenmesi için sistematik ve kaydedilebilir mühendislik temeli sağlar,
- Servis kabiliyetinin çeşitli düzeylerinde üstyapıyı korumak için gerekli olan bütçe gereksinimleri belirlenmesini sağlar,
- Bir ağ içinde üstyapıya mevcut ve gelecekteki durumunu belgesel olarak sağlar,
- Çeşitli bakım ve rehabilitasyonu alternatifleri için yaşam- döngüsü maliyetleri belirlemeyi sağlar,
- Büyük onarım performansı gerektirmemesinin bir sonucu olarak üstyapı ağı üzerindeki etkisini saptamayı sağlar.

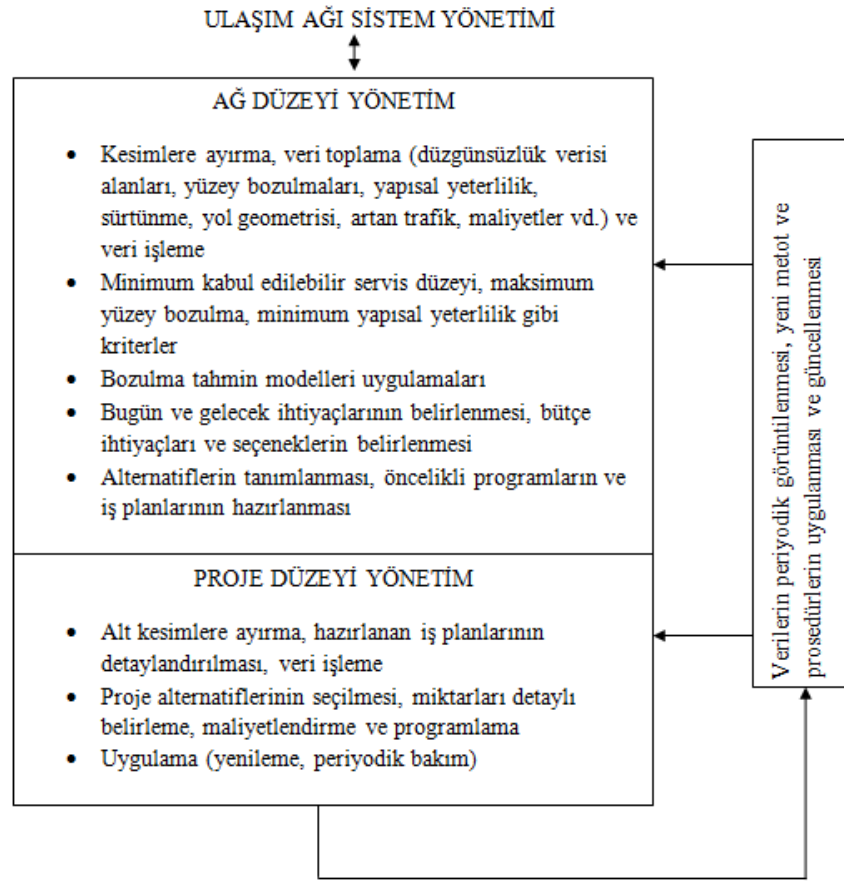
Üstyapı yönetim sisteminden tam anlamıyla faydalanabilmek için, üstyapı durum bilgisi toplanmalı ve periyodik olarak güncellenmelidir. Alternatif rehabilitasyon stratejileri karar kriterleriyle ve hangi prosedürün uygulanacağını belirleyecek olan alınan bakım önlemiyle beraber belirlenmelidir. Ayrıca, üstyapı yönetim sistemi performans tahmini, farklı stratejilerin maliyeti ve bütün olarak üstyapının yaşam döngüsünü ilgilendiren iyileştirme prosedürleri ile alakalı modelleri barındırmalıdır.

Bu amaçlara ulaşabilecek bir sistem genelde şunları barındırmalıdır:

- Bilgiyi toplamanın ve saklamanın sistematik bir yolu
- Üstyapı durumunu değerlendirmek için tarafsız ve tekrarlanabilir bir sistem
- Üstyapının gelecekteki durumunu tahmin etmek için gerekli prosedürler

- Üstyapı performansını modellemek için gerekli prosedürler (hem geçmiş hem de gelecekteki durumu)
- Belirli bir B ve R bütçesi için üstyapı durumu yaşam döngüsü maliyeti üzerindeki sonuçları belirlemek için gerekli prosedürler.
- Minimum bir durumu korumak gibi yönetim hedeflerini karşılamak amacıyla bütçe gereksinimlerini belirlemek için gerekli prosedürler.
- B ve R projelerini tasarlamak ve onlara öncelik tanımak için gerekli prosedürler. Bir proje genelde çoklu üstyapı bölümlerinden oluşur ve farklı B ve R bölümleri için farklı faaliyetler barındırabilir (AC150/5380-7A, 2006).

Şekil 3.2, üstyapı yönetimi ve temel bileşenlerin uygulamalarının basit işletim şemasını göstermektedir.



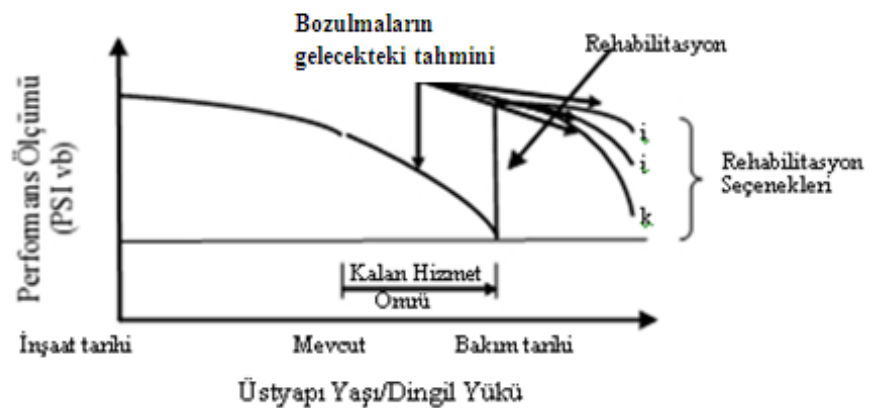
Şekil 3.2. Üstyapı yönetimi ve temel bileşenlerin uygulamalarının basit işletim şeması (Terzi, 2004)

3.1.1.3. Ağ düzeyi yönetim

Ayrı ayrı üstyapı bölümleri için doğrudan performans tahmini ağ düzeyi üstyapı yönetimi için geçerlidir. Aslında havaalanı firmaları programlama amaçları için her bir üstyapı için performans tahminini kullanmışlardır. Ancak bu metot veri toplama, veri tabanı organizasyonu ve üstyapı yönetim sisteminin on yıldan sonra günümüzde kullanılmaya başlanmıştır (Pedigo et al., 1981).

Ağ düzeyi havaalanı üstyapı yönetim sistemi gelecek yılların bütçe planlamasının yetki altında tüm üstyapıların değerlendirilmesini içermektedir. Üstyapı değerlendirme düzeyi üstyapı örneklerini temsil eden görsel belirleyiciler içeren yönetimin bu tip uygulanmasını gerektirmektedir. Ağ düzeyi analize bağlı olarak üstyapı durum verileri, aday üstyapı alanları potansiyel bakım ve rehabilitasyon (B&R) projeleri için seçilmektedir. Genel birim maliyetleri ağ düzeyinde kullanılmaktadır ve özel tasarımlar geliştirilmemektedir (APTech, 2006).

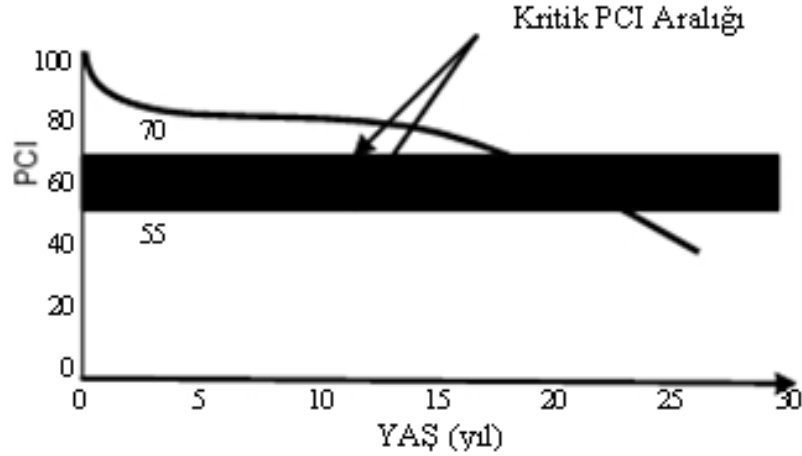
Şekil 3.3, bir üstyapı kesiminde gelecekteki bozulma durumuna göre bakım zamanını tahmin etmek için kullanılacak performans eğrisini şematik olarak göstermektedir. Ayrıca aynı şekil, bakım yılında uygulanan rehabilitasyon seçenekleri için bozulma modellerinin uygulamasını gösterir.



Şekil 3.3. Bir üstyapının performans eğrisi ve rehabilitasyon seçeneklerinin etkisi (Shahin, 2002)

Üstyapıya belirli bir standardın üzerinde bakım ve onarım yapabilmek için gereken yıllık bütçenin tahmin edilmesi gereklidir. Bütçe tahmini yapıldığında, farklı senaryolar analiz edilebilir. Böyle bir rapor, üstyapı performansını belirli bir düzey üzerine getirebilmek için gereksinim duyulan ana bakım ve rehabilitasyon (B ve R) uygulamalarının gerektirdiği bütçe gereksinimlerini içerir. Bu maliyet, birim B ve R maliyeti ile yol üstyapı kesimi alanının çarpılmasıyla tahmin edilir. Kullanıcı, birim B ve R maliyeti ile enflasyon oranı arasındaki ilişkiyi mutlaka tanımlamalıdır.

Yıllık ve uzun süreli B ve R iş planları için, kritik durum (PCI veya diğer göstergeler) kavramı kullanılır. Kritik PCI süreci, kritik PCI değerinin üzerindeki üstyapıları korumak için daha ekonomiktir. Bu yöntem, dinamik programlama, ağ optimizasyon çözümlenmesi sonuçları ve birçok projedeki ömür döngüsü (life-cycle) maliyet analizleri kullanılarak geliştirilmiştir. Bir kritik PCI, zamanla PCI kaybındaki artış oranı olarak tanımlanır. Şekil 3.4’de 55 ile 70 arasındaki alışlagelmiş kritik PCI aralığını gösteren örnek bir bozulma eğrisinin şematik olarak gösterilmiştir (Shahin, 2002).



Şekil 3.4. Tipik bir kritik PCI aralığını gösteren bozulma eğrisi (Shahin, 2002)

Üstyapı davranışı, tepkisi, performansı, bozulması veya gerçek ölçümlerle tahminlerin karşılaştırmasını yapılabilmek için bazı ölçütler koymak gereklidir. Örneğin, PSI için minimum kabul edilebilir değer 2.0 olarak alınırsa, herhangi bir kesimde PSI değeri 2.0'ye eşit veya daha az olduğunda mevcut bir bozulma olduğu

veya “bakım zamanının” gelmiş olduğu anlaşılır. Proje düzeyinde, ölçüt genellikle şartnameler esas alınarak belirlenir. Örneğin, bir karayolu kuruluşu düzgünlük için maksimum bir sınır koyabilir. Bu ölçütü koymanın ana sebebi, kaliteyi güvence altına almaktır (Haas et al., 1994).

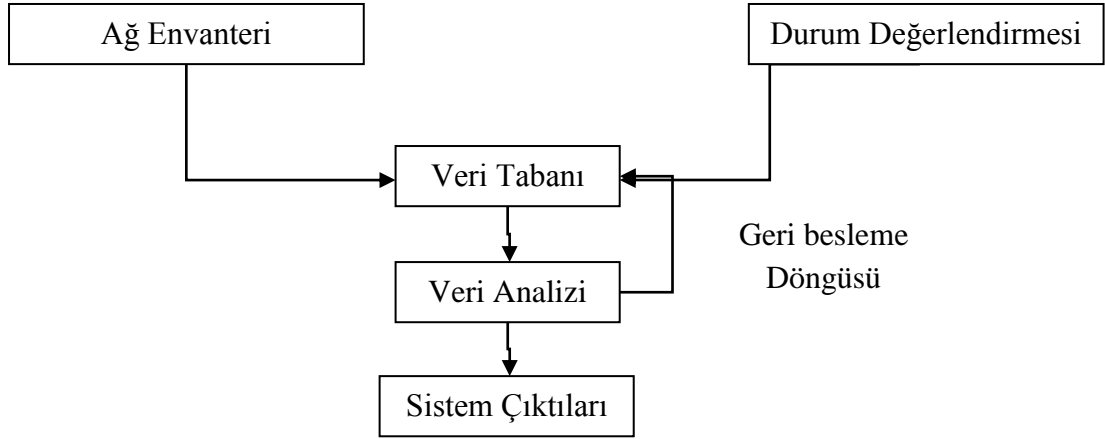
3.1.1.4. Proje düzeyi yönetim

Proje düzeyi yönetimde değerlendirilebilir bilgi üstyapı yapısına, mevcut ve beklenen trafiğe, mevcut ve geçmiş bozulma ölçümlerine, defleksiyona ve daha ileri verilere bağlı olarak işe yarar hale gelecektir. Tahmin modeli doğru ve güvenilir biçimde verilen bölümün performansı için belirli verileri tahmin edebilir olmalıdır.

Proje düzeyi yönetime bir yaklaşım da üstyapının gelecekteki servis yeteneğini tahmin etmek için üstyapı durumu üzerine mevcut ve geçmiş bilgilerin kullanımına bağlı olmalıdır. Böyle modeller “bozulma/performans ilişkisi olarak adlandırılır (Pedigo et al., 1981).

Proje düzeyindeki yönetim, proje düzeyindeki araştırmaların yürütülmesini ve bir proje için en iyi bakım ve rehabilitasyon seçeneğinin seçimini sağlar. Proje düzeyi değerlendirmeleri, B ve R projesi için planlar hazırlanmadan önce yapılır. Proje düzeyinden elde edilen üstyapıya ait veriler B ve R tasarım sürecinde kullanılacaktır (Shahin, 2002).

Proje düzeyi yönetimde geçmiş verilerin yanında üstyapının mevcut durumunun belirlenmesi için tahribatlı ve tahribatsız deneyler, düzgünlük ve kayma direnci ölçümleri de yapılabilir. Bu deneylerin hepsi bir arada yapılabileceği gibi sadece bir tanesi de yeterli olabilir. Şekil 3.5, APMS bileşenlerini şematik olarak göstermektedir (APTech, 2006).



Şekil 3.5. APMS bileşenleri (APTech, 2006)

a) Geçmiş veri toplama

Üstyapı yapımı ve orijinal inşaat tarihi, sonradan yapılmış herhangi bir takviye tabakasının kalınlığı ve tarihi, derz ve çatlak doldurma uygulaması ve yama gibi bakım uygulamalarının tarihi, herhangi bir inşaat evresinde kullanılan malzemelerin özellikleri tarihini belirlemek çok önemlidir. Trafik kayıtları, hem mevcut hem de gelecekteki trafik beklentilerini içerir. Doğru bir trafik kaydı, etkili bir bakım ve rehabilitasyon (B ve R) tasarımı yapılması için gereklidir (Shahin, 2002). Trafik kayıtları hem yıllık ortalama günlük trafik (YOGT) hem de eşdeğer dingil yükü sayısı (EDYS) olarak veri tabanına kaydedilebilir.

b) Drenaj

Yeterli yüzey drenajı ve yer altı suyu üstyapı bozulma ve çökmelerinin büyük ölçüde sorumlusu olduğundan havaalanı üstyapılarının bakımında önemli bir yer tutmaktadır. Yüzey akışı ve yer altı suyunun yok edilmesi ve toplanması için yeterli drenaj üstyapılarının servis yeteneği ve durumunun korunması açısından temel değişkendir. Drenaj sisteminin periyodik muayenesi eğitimli personel tarafından

gerçekleştirilmeli ve kusurlu yüzey ve yeraltı durumlarında drenaj sistemleri doğrulanmalı ve kaydedilmelidir. Pist ve taksi yolu kenar ve havzaların drenajı aralıklı olarak kontrol edilmeli (ilkbahar, yaz, güz ve kış mevsimlerinde gibi) ve beklenmedik ağır yağış takip edilmelidir. Aşağıda belirtilen bozulma belirtileri göz önünde bulundurulmalıdır:

- a. İstenmeyen bölgelerde su birikimi
- b. Üstyapı kenarlarında toprak birikimini önleyici akış
- c. Aşınmış hendekler ve dökülmüş havzalar
- d. Kırılmış ya da yer değiştirmiş giriş ızgaraları ya da menhol kapakları
- e. Tıkanmış ya da üzeri kaplanmış giriş ızgaraları ve menhol kapakları
- f. Tıkalı yer altı drenaj çıkışları
- g. Kırılmış ya da deforme olmuş borular
- h. Boruların üzerindeki dolgu yerleşimler
- i. Girişlerin çevresinde oluşan erozyon
- j. Genellikle güçsüz banketlerin şekil değiştirmesi ve rastgele oluşan erozyon
- k. Derzlerde ya da çatlaklarda üstyapının renk değiştirmesi (AC 150/5380-6A, 2006).

c) Tahribatsız defleksiyon testi

Servise açık bir üstyapının yapısal durumunu belirlemek için güvenilir yöntemlerden biri, tahribatsız deney yöntemleridir (Nondestructive Deflection Testing - NDT). NDT, tahribatlı deneylere göre iki önemli faydaya sahiptir. Birincisi, tahribatlı deneyler üstyapıya zarar verir veya deney için üstyapı malzemesinin çıkarılmasını gerektirir. Oysa NDT üstyapıya zarar vermeden

üstyapının değerlendirilmesini sağlar. İkinci faydası ise, tahribatlı deneylere göre trafiğin daha az kesintiye uğraması ve ucuz olmasıdır. Tabaka elastisite modülünün doğru bir şekilde geri hesaplanması için tabaka kalınlığının karot alınarak belirlenmesi önerilir. Ancak genellikle, bu gereksinim çok az ortaya çıkar.

Tahribatsız defleksiyon deneyi (NDT), proje çözümlemesi için değerli bilgileri içerir. NDT donanımlarının birçok tipi mevcuttur. NDT sonuçları, üstyapılarda aşağıdaki bilgileri belirlemede kullanılır:

- Yapısal tabakaların her birinin elastiklik modülü,
- Üstyapı yapısal yeterliliği,
- Takviye tabakası kalınlık tasarımı,
- Hem trafiğe açık hem de açık olmayan alanlar için defleksiyon profili,
- Kalan yapısal ömür (Shahin, 2002).

NDT verileri, en iyi bakım ve rehabilitasyon (B ve R) seçeneğinin seçimi için bozulma incelemesinden elde edilen bilgilerle ilişkilendirilebilir.

a) İtmeli Defleksiyon Ekipmanı

Bu bölümde açıklanan itmeli defleksiyon donanımı, “Düşen Ağırlıklı Deflektometre (Falling Weight Deflectometer)” dir. Bir kılavuz sistem ile bir kütle (düşen ağırlık) vasıtasıyla güç uygulanmasıdır. Bu kütle, önceden belirlenmiş bir veya daha fazla ağırlık şeklinde olabilir. Yük yaklaşık yarım sinüs dalgası şeklinde üstyapıya iletilir. Yük darbe şekli ve süresi defleksiyon miktarı üzerinde büyük etki yapar (Terzi, 2004).

b) Kuab Düşen Ağırlıklı Deflektometre (FWD)

Üstyapı defleksiyonlarını üretmek için tamponlu ikinci yükün üzerine düşürülen bir düşen ağırlığın olduğu 2 ağırlıklı sistem kullanarak yüklemelerini üreten römork monteli itmeli yükleme cihazıdır. Yükleme oluklu kauçuk ped bulunan yastıklı ve çeyrek bölümlere ayrılmış 11.8 inç ölçüsünde plaka tarafından üstyapıya iletilmektedir. Test edilen model 2.600 – 14.000 lb arasında bir güce sahiptir. Test

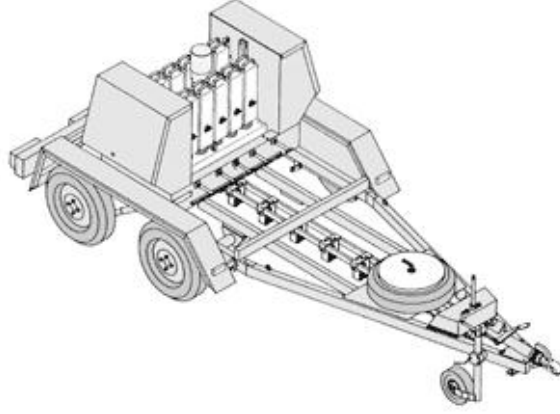
sisteminin enerjisi çekici araç üzerinde ayrı bir alternatör tarafından şarj edilen römork üzerindeki bateriler tarafından desteklenmektedir. Defleksiyonlar yükleme plakasından uzakta yer alan 7 sistometre kullanılarak belirlenmiştir. Test edilen Kuab FWD üstyapı yüzeyinin altında 28 inç kadar olan uzaklıklarda plak yüklemelerini gerçekleştirebilmekte ve karot teçhizatıyla donanmıştır, fakat yine de bu çalışmada bu özelliklerin hiç biri kullanılmamıştır ya da değerlendirilmemiştir.

Üstyapı yüklemeleri 4 ayarlanabilir düşüş düzeyinde üretilebilir. Verilen konumda üretilebilmesinde sıralama için ya da düşüş sayısı için bir kısıtlama yoktur. Yük ve defleksiyon verileri her bir düşüş için kaydedilmekte ve MS-DOS sistemli bir bilgisayar ile kaydedilmektedir. Bilgisayar toplanan veriler olarak bir kopya üretmekte ve bilgileri manyetik bantta saklayabilmektedir (Bentsen et al., 1989).

c) 8081 Model Dynatest Ağır Düşen Ağırlıklı Deflektometre (High Weight Deflectometer - HWD)

8000 – 55000 lb arasında itme yüklemesi üretebilen römork monteli cihazdır. Tek titreşimli süreksiz yük gücü hem 11.8 hem de 17.7 inç boyutlarında ince bir kauçuk altlıkla yastıklı çelik plaka boyunca üstyapıya ileten kauçuk altlıklar üzerine düşen ağırlıklar tarafından oluşturulmaktadır. Test sisteminin enerjisi çekici araç üzerinde ayrı bir alternatör tarafından şarj edilen römork üzerindeki bateriler tarafından desteklenmektedir. Defleksiyonlar yükleme plakasının merkezinden başlayarak 1 ft uzakta yerleşmiş 7 jeofon kullanılarak belirlenmektedir, ancak dıştaki 6 jeofonun yerleşimi plakadan 12 – 96 inç kadar uzaklıkta değişebilmektedir.

Düşen ağırlıklı sistem MS-DOS sistemli bir bilgisayar tarafından kontrol edilmektedir ve ayarlanabilir düşüş ağırlıklarının herhangi bir kombinasyonundan seçilen 5 yükleme kadar yük üretebilir (Bentsen et al., 1989). Şekil 3.6, Dynatest HWD'yi göstermektedir.



Şekil 3.6. Dynatest HWD (Dynatest, 2011)

d) 8000 Model Dynatest FWD

1.500 – 25.000 lb arasında yükleme yapabilen römork monteli bir cihazdır. Tek titreşimli süreksiz yük gücü 11.8 inç boyutlarında bir çelik ya da lastik plaka tarafından oluşturulmaktadır. Test sisteminin enerjisi çekici araç üzerinde ayrı bir alternatör tarafından şarj edilen römork üzerindeki bateriler tarafından desteklenmektedir. Defleksiyonlar yükleme plakasının merkezinden başlayarak 1 ft uzakta yerleşmiş 7 jeofon kullanılarak belirlenmektedir, ancak dıştaki 6 jeofonun yerleşimi plakadan 12 – 96 inç kadar uzaklıkta değişebilmektedir.

Düşen ağırlıklı sistem Hewlett-Packard tamamlayıcı kişisel bir bilgisayar tarafından kontrol edilmektedir ve ayarlanabilir düşüş ağırlıklarının herhangi bir kombinasyonundan seçilen 5 yükleme kadar yük üretebilir. Yük ve defleksiyon verileri her bir yükleme için bir kağıda kaydedilmektedir ve manyetik disklerle kaydedilebilir (Bentsen et al., 1989). Şekil 3.7, Dynatest FWD'yi göstermektedir.



Şekil 3.7. Dynatest FWD (Dynatest, 2011)

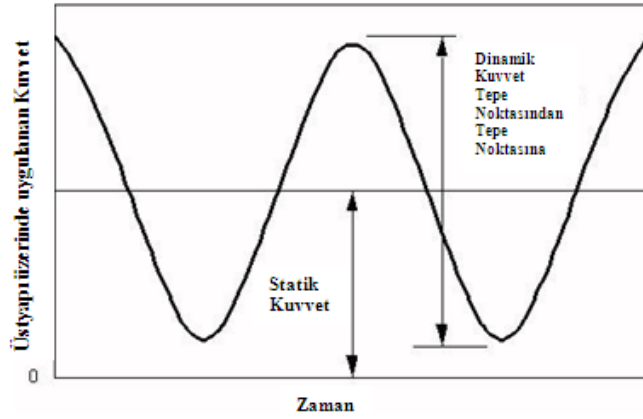
e) Dynaflect

Üstyapının dinamik defleksiyonlarını ölçmek için römork monteli elektromekanik bir sistemdir. Üstyapı defleksiyonu ayarlanmış 8 Hz. Frekansıyla dönen 2 adet eksantrik yükleme ağırlığının dönüş sayısı ile üretilmektedir. 1000 lb en yoğun sinüzoidal yük 20 in uzakta yerleşmiş 4 in genişliğinde ve 16 in. dış kalınlığında poliüretan kaplı çelik tekerlekler tarafından üstyapıya iletilmektedir.

Bir kararlı tip yükleme durumu başarıldığında, Dynaflect sürekli sinüzoidal üstyapı defleksiyonu üretir ve üstyapı boyunca düşük hızda çekilebilir. Test noktasındaki üstyapı defleksiyonu istenen defleksiyon ölçümleri olduğunda düşürülebilir ve iki tekerlek arasında hizalanabilen 5 jeofon kullanılarak belirlenmektedir. Bir jeofon doğrudan tekerlekler arasına yerleştirilmiştir ve diğerleri yükleme tekerleklerinden 1 ft aralıklarla yerleştirilmiştir. Defleksiyonlar elektronik kontrol sistemi tarafından görsel okumalarla gösterilir ve yazıcı aracılığıyla kağıt üzerinde aktarılabilir (Bentsen et al., 1989). Şekil 3.8, Dynaflect ekipmanını göstermektedir. Şekil 3.9 ise Dynaflect dinamik-statik kuvvet uygulamasını göstermektedir.



Şekil 3.8. Dynaflect (Dynatest, 2011)



Şekil 3.9. Dynaflect dinamik-statik kuvvet uygulaması (Dynatest, 2011)

f) Road Rater Model 2008

Road Rater kararlı tip dinamik bir defleksiyon aygıtı olup, elektro hidrolik dinamik kuvvet uygulama sistemine sahiptir. Şekil 3.10'da görülen 2008 modeli yanında 400B ve 2000 gibi modelleri de mevcuttur. Bu modeller, öncelikle uygulayabilecekleri yükün büyüklüğüne göre değişir. 400B modeli 226.8 ile 1360.8 kg (500 ile 3000 lb), 2000 modeli 453.6 ile 2494.8 kg (1000 ile 5500 lb), ve 2008 modeli ise 453.6 ile 3628.8 kg (1000 ile 8000 lb) arasında yük uygulayabilir. Bu aygıtlardaki yükleme plağının birçok farklı boyutu vardır. Her bir aygıtın oluşturduğu yükün büyüklüğü bir strengeyç tipi trans düşer yardımıyla ölçülür. Yükleme sıklığı, 5 ile 70 devir/sn arasında değişir. 10 ile 60 devir/sn arası normal olarak kabul edilir. Defleksiyon, yükleme plağı ile aynı zamanda üstyapıya düşürülen

dört hız transdüseri kullanılarak ölçülür. Yükleme alanının merkezine bir sensor yerleştirilir, kalan üçü bir çubuğa 0.3048 m (1 ft) aralıklarla bağlanır. Daha yeni modeller bir bilgisayar ile kontrol edilir, tamamen otomatik olarak veri toplar ve çalışır. Bu aygıtın teknik sınırlamaları, sınırlı yük düzeyleri ve daha yeni modeller için yüksek statik ön yüklemelerdir. Şekil 3.10, Road Rater ekipmanını ve bilgisayar kontrol sistemini göstermektedir (Terzi, 2004).



Şekil 3.10. Road Rater (Terzi, 2004)

g) WES 16 kip vibratör

10.97 m (36 ft) uzunluğunda yalnız arka tekerlekleri olan bir treylerde çalışır ve U.S. Army Waterways Experiment Station (U.S. Army WES) tarafından üretilmiştir. 7257.6 kg (16000 lb) statik ön yükleme ve 13608 kg (30000 lb) civarında yük büyüklüğü üreten dinamik bir güç yaratıcı kullanır. Yükleme frekansı, 5 ile 100 devir/sn arasında değişir. Normalde 15 devir/sn kullanılır. Dinamik yükleme, 45.72 cm (18 inç) çapındaki yükleme plağına monte edilen üç yük birimi ile ölçülür. Hız transdüserleri, daha önceden seçilen aralıklarda yerleştirilir ve yükleme plağının altındaki defleksiyonları ölçer. Tüm işlemler otomatiktir. Bu aygıt, ağır yüklere maruz kalan havaalanları için geliştirilmiştir (Terzi, 2004).

d) Tahribatlı testler

Tahribatlı deneyler, NDT olmaksızın gerekli bilgiyi sağlamak için veya NDT sonuçlarına ilaveler için kullanılabilir. Üstyapı çözümlemesindeki mevcut teknoloji uygulamaları ile en doğru sonuçları elde etmek için tahribatlı deneylerden faydalanmak gerekir. Tabaka özelliklerinin doğru geri hesaplanması için, deney yapılan bölgede tabaka kalınlıklarını belirlemek amacıyla karot alınması mutlaka önerilir. NDT'ye ilave olarak aşağıdaki tahribatlı deneyler kullanılabilir:

1. Kesin tabaka kalınlığının belirlenmesi için karot,
2. Temel ve alt temel malzemelerinin görsel sınıflandırması,
3. Esnek üstyapılar için Marshall stabilite deneyi,
4. Rijit üstyapılar için, birkaç örnekleyici numunedeki basınç dayanımı veya indirekt çekme dayanımı.

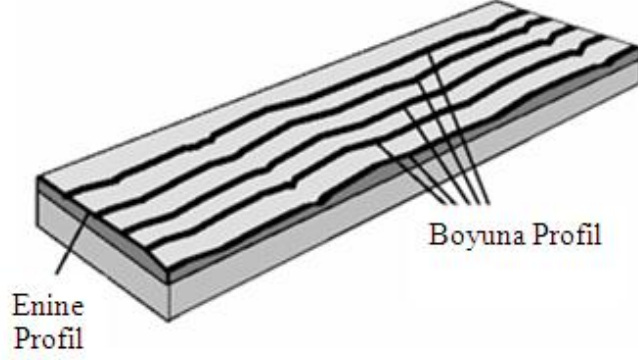
Bazı tahribatlı deney yöntemleri şunlardır:

1. Arazi Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Testi: Bu deney, zemin direncini ölçer. CBR deneyi, esnek üstyapılar için alt temel ve granüler tabakaların davranışını belirler.
2. Dinamik Konik Penetrasyon Ölçer (DCP): CBR deneyine benzer. DCP de zemin direncini ölçer. Bununla beraber, CBR deneyi DCP'ye göre daha fazla zaman alır. DCP 1,5875 cm (5/8 inç) uzunluğundaki bir çelik çubuk ve ucunda çelik bir koniden oluşur.
3. Alt Temel Reaksiyon Modülü: Bir plak yükleme deneyi kullanılarak belirlenen alt temel reaksiyon modülü (K), beton üstyapının tasarımı ve değerlendirmesinde kullanılır (Shahin, 2002).

e) Düzgünsüzlük (Roughness)

Üstyapı düzgünsüzlüğü taşıt dinamiğini, sürüş kalitesini, dinamik yüklemeleri ve drenajı etkileyen karakteristik boyutlarıyla bir üstyapı yüzeyinin gerçek bir düzlemsel

yüzeyden sapmalarıdır, örneğin; boyuna profil, enine profil ve çapraz eğim (ASTM E867).



Şekil 3.11. Enine ve boyuna profiller (Awashti et al., 2003)

Şekil 3.11, enine ve boyuna profili görsel olarak göstermektedir. Bir yolun (ya da uçak pistinin) düzgünlüğü, sadece üstyapı yüzeyinden sürüş konfor düzeyini belirten değil aynı zamanda araç titreşimine, uygulama hızına, tekerlek aşınma ve yıpranmasına, taşıt operasyon maliyetine vb. bağlı önemli bir parametredir. Ağır yük tekrarlarına maruz kalan bir üstyapı, eğer yüzeyi bozulmuş ve düzgünlükse fonksiyonel açıdan kullanılamaz durumda olabilir. Üstyapı mühendisleri tarafından bir üstyapının yıpranma performansı ve otomobil mühendisleri tarafından taşıt performansı değerlendirilirken üstyapı yüzeyinin düzgünlük düzeyinin miktarı asıl sorun olarak gelişir (Awashti et al., 2003).

Servis yeteneğinin en sık ölçümü Mevcut Servis Yeteneği İndeksi (Present Serviceability Index - PSI) olmuştur. Ölçüm üstyapı durumunun değerlendirilmesi için uygundur. Ancak NCHRP “servis yeteneğinin sadece üstyapı sürüş kalitesi ya da sürüş yeteneğinin ölçümü değil aynı zamanda yüzey bozulmaları için faktörleri içeren bozulmalar” olduğunu gözlemlemiştir (Technical Appendix).

1987/1988 yıllarında, TRB ulusal ulaşımın kabul edilebilirliğini belirlemek için bir üstyapının boyuna profilinin objektif ölçümlerini kullanmak amacıyla mümkün kılınmış, sürüş kabiliyetiyle boyuna profilin korelasyonu için bir eşitlik geliştirmiştir. Aynı zamanda Dünya Bankası tarafından desteklenen Uluslararası Yol

Düzgünsüzlük Deneyi yol düzgünsüzlük ölçümlerini gerçekleştirmek ve kalibre etmek için kılavuz oluşturmaya başlamıştır.

Günümüzde düzgünsüzlük değerlendirmesi için birkaç gösterge kullanılmaktadır. Bu göstergeler ya üstyapı yüzey profilini ya da bir taşıta monte edilmiş bir cihazın çıktılarını esas alır. Bahsedilen ikinci yöntem tepki tipli yol düzgünsüzlük ölçüm sistemi (Response Type Road Roughness Measurement System -RTRRMS) olarak bilinir. Tepki tipli göstergeler taşıta bağımlıdır ve aynı taşıt ile tekrar uygulansalar bile aynı yol kesiminde farklı sonuçlar verebilirler. Profil tabanlı göstergeler ise, matematiksel bir model kullandıkları için aynı yol kesiminde tekrar ölçüm yapıldığında aynı sonucu verebilirler, yani tekrarlanabilirler (Terzi, 2004).

Sonuçlar (Response-Type Road Roughness Measurement Systems – RTRRMS) düzgünsüzlük ölçümleri için tepki tipli yol düzgünsüzlük ölçüm sistemi tarafından elde edilen uluslararası standart, International Roughness Index (IRI) Uluslararası düzgünsüzlük indeksini getirir (Technical Appendix).

Kabul edilen dünya standardı IRI'dır. IRI Yol Düzgünsüzlük Deneyinin çıktısıdır ve zamanla stabile, taşınabilir ve yeniden üretilebilir. Temelde IRI algoritması, yol profiline modellenen çeyrek taşıtın devinimi ile ilişkili olan diferansiyel eşitliğin bir serisidir. IRI profilin uzunluğuyla normalize edilmiş çeyrek taşıt sisteminde hareketli ve hareketsiz kütleler arasındaki devinimin toplanmasıdır (Morrow, 2006).

Hesaplama prosedürü Şekil 3.12'de gösterilen şekilde, çeyrek taşıt sistemi olarak adlandırılır, çünkü matematiksel model tek tekerleğe sahip bir RTRRMS i temsil eder. Bu tip ölçüm taşıtın hızıyla değişiklik gösterir (Technical Appendix).

Prosedür matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^{L/S} |Z_s - Z_u| dt \quad (3.1)$$

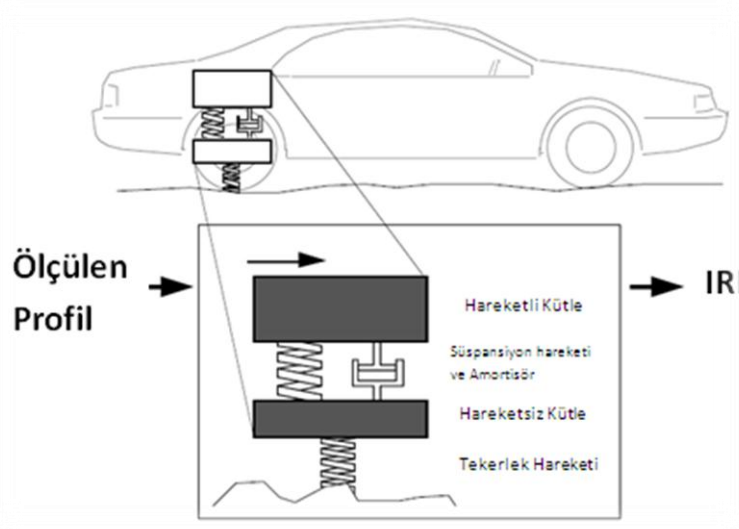
Burada; IRI Düzgünsüzlüktür, (m/km);

L profilin uzunluğudur, (km);

S modellenen hızdır, (80 km/h);

Z_s hareketli kütlenin yüksekliğinin zaman türevidir ve

Z_u hareketsiz kütlenin yüksekliğinin zaman türevidir (Morrow, 2006).



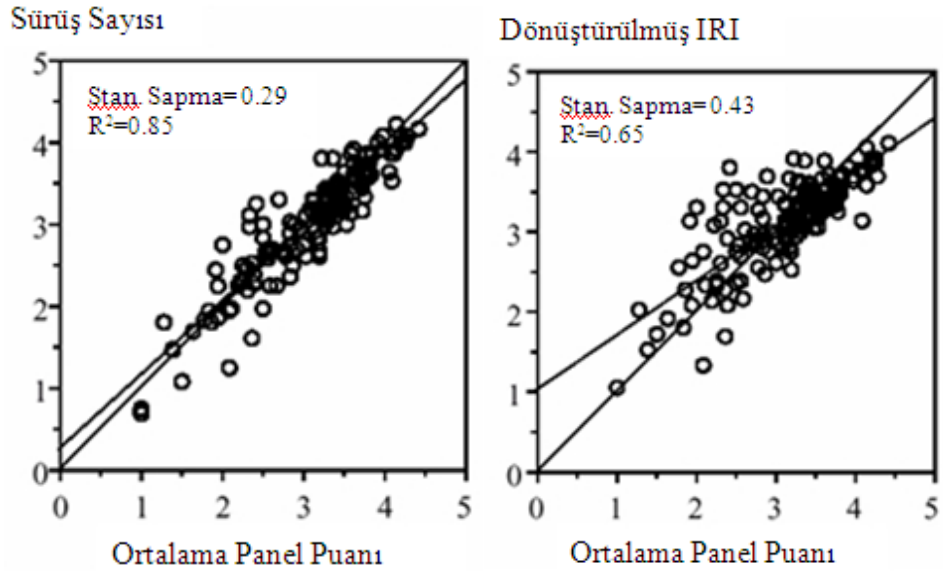
Şekil 3.12. Çeyrek Taşıt Modeli (Terzi, 2004)

Papagionnakis and Delwar (1999), IRI değerleri kullanılarak PSI hesabı için bir yöntem önermişlerdir.

$$PSI = 5,0e^{-0,18 IRI} (m/km) \quad (3.2)$$

(Terzi, 2004).

Yüksek hızlı profil ölçme teknikleri geliştirilmeden önce, mühendisler değişik yol düzgünlük ölçme aygıt ve yöntemleri kullanarak seçilen karayolunun durumunu tahmin etmeye çalışırlardı. Karayolu kurumları veya şirketleri için uygun bir teknoloji olan yol profil ölçümünün ortaya çıkmasından kısa süre sonra, profil özellikleri ile sürüş kabiliyeti arasındaki ilişki araştırılmaya başlanmıştır. Daha sonra, Sürüş Sayısı (RN) hesabı için IRI hesabında da kullanılan Profil İndeksini kullanan bir algoritma geliştirilmiştir. Sürüş Sayısı hesabının amacı, IRI ile PSI hesabı yerine doğrudan PSI değerini hesaplamaktır. Özellikle Ohio'da yapılan çalışmalarda PSI değeri ve Sürüş Sayısı değeri ile PSI arasındaki ilişki ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Şekil 3.13'de bu ilişkiler görülmektedir (Sayers and Karamihas, 1998).



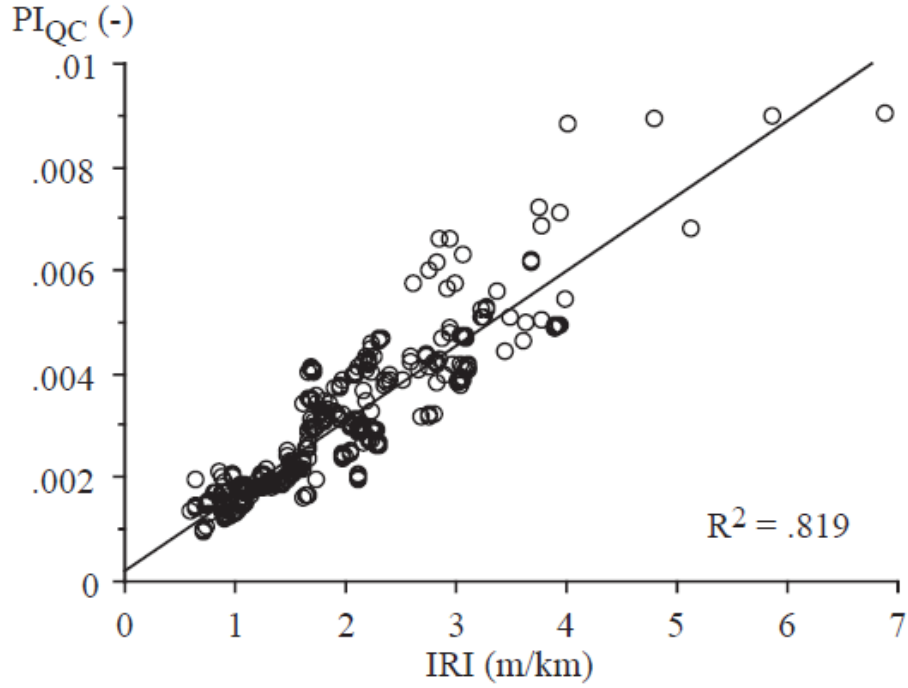
Şekil 3.13. IRI ve Sürüş Sayısı ile Ortalama Panel Oranı (PSI) arasındaki ilişki
(Sayers and Karamihas, 1998)

Sürüş Sayısı da PSI gibi 0-5 ölçeğini kullanır. Profil İndeksi (PI) genellikle 0 ile düzensizliğin tipine göre pozitif değerler alır. Sürüş Sayısı (RN) için bu değer aşağıdaki formül ile 0 (maksimum olası düzensizlik) ile 5 (tamamen düzgün) arasında bir değer alır. Deneysel çalışmalar bu değerlerin 1 ile 4.5 arasında değiştiğini göstermiştir.

$$RN = 5e^{-160 (PI)} \quad (3.3)$$

Eğer sadece bir profil varsa bu RN değeri doğrudan kullanılır. Fakat bir profilin hem sağ hem de sol tekerlek izi ölçülmüşse, iki değerlerin ortalaması aşağıdaki formülden hesaplanır. Şekil 3.14, PI (RN tanımlanması için kullanılan) ve IRI arasındaki ilişkiyi göstermektedir (Sayers and Karamihas, 1998):

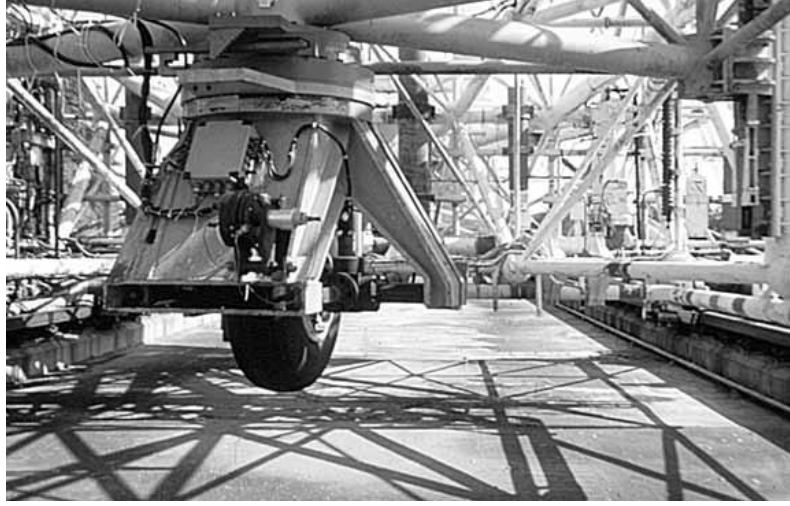
$$PI = \sqrt{\frac{PI_L^2 + PI_R^2}{2}} \quad (3.4)$$



Şekil 3.14. PI (RN tanımlanması için kullanılan) ve IRI arasındaki ilişki (Sayers and Karamihas, 1998)

f) Havaalanı üstyapıları için kayma direnci

1983'ten beri kilitli beton üstyapının 12 milyon ft² (1.2 milyon m²) den fazlası havaalanı uygulamalarında kullanılmaktadır. Havaalanı ve U.S. Ulusal Havacılık ve Uzay Yönetimi (NASA) tarafından gerçekleştirilen testler beton üstyapıların kayma direnci özelliklerini göstermektedir. Bir NASA çalışması Langley, Virginia'da Uçak İniş Takımları Tesislerinde 5 knot/saat ve 100 knot/saat hızda beton üstyapıları test etmiştir. Testler Boeing 737 ya da DC-9'a benzer şekilde 1.17 MPa basınç yapan ve 123 KN yük yükleten bir tekerlekten yararlanmıştır. Şekil 3.15'de test ekipmanı ve Şekil 3.16'da test yüzeyi gösterilmiştir. Test sonuçları beton üstyapılar için yan kuvvet sürtünme değerlerinin ıslak durumlarda düz Portland Çimento Betonu yüzeyinden daha yüksek değerler verdiğini göstermiştir. Rapor ıslak durumlarda uçak yer direksiyon manevraları için üstyapı kütlelerinin geleneksel pürüzsüz beton yüzeylerden daha iyi sürtünme sağladığını ortaya koymuştur. Diğer kayma direnci testleri yeni kilitli beton üstyapıları belirlemek için 1990'da Saab kayma testinin yapıldığı Dallas/Fort Worth Uluslararası Havaalanını da kapsar (ICPI, 2004).



Şekil 3.15. Langley, Virginia NASA Uçak Donanımı İniş Tesislerinde (Aircraft Dynamics Landing - ADLF) beton üstyapıların özelliklerinin sürtünme değerlendirmesi için Test Donanımı (ICPI, 2004)



Şekil 3.16. NASA ADLF Tesislerinde Test Yüzeyi (ICPI, 2004)

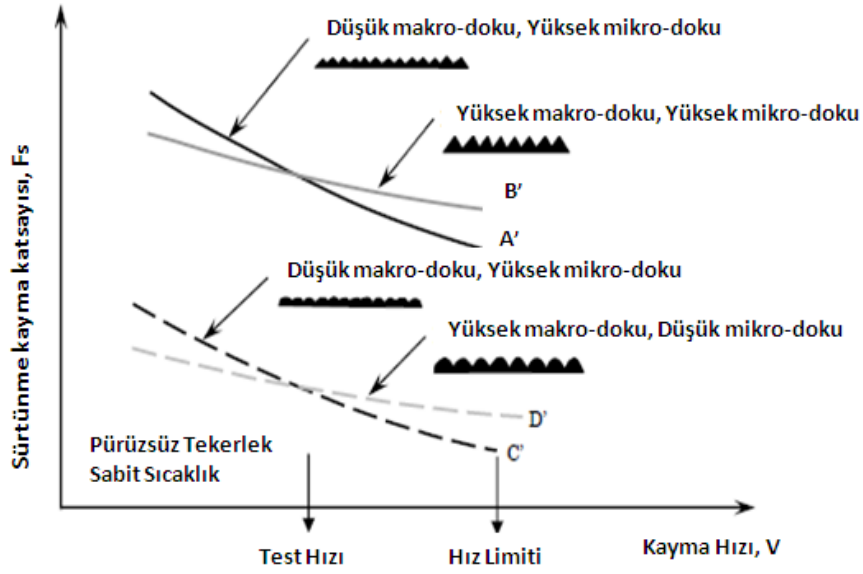
Kayma Direnci taşıt tekerlekleri ve üstyapı arasındaki harekete dayanımdır. Üstyapı-tekerlek sürtünmesi üstyapı karakteristikleri, doku, düzgünlük ve tekerlek izi gibi faktörlerden etkilenir.

Üstyapı dokusu mikro doku ve makro dokudan oluşur. Makro doku üstyapı-tekerlek etkileşiminden etkilenen yüzeyde (gerçek bir düzlemsel yüzeyden) büyük sapmalar ya da 0.2 inç (0.5 mm) olarak tanımlanır. İyi makro dokuya sahip bir üstyapı 25 mph (40 kph)'nin üzerinde kayma direncine katkıda bulunur. Oluklu rijit üstyapılar bu

hızda kayma direncine fayda sağlayabilen tek makro dokuyu desteklemektedir. Mikro doku 0.2 inç (0.5 mm) den daha az olan yüzeydeki daha küçük sapmalar olarak tanımlanır. Mikro doku 25 mph (40kph) den daha az taşıt tekerlek geçişinin kayma direncinde ilk olarak etkilidir. Mikro doku rijit üstyapılarda agreganın sertliğiyle değişiklik gösterir (ICPI, 2004).

Taşıt kontrolü ve uçak iniş güvenliği, büyük bir oranda üstyapı yüzey özelliklerine bağlıdır. Üstyapı kuru olduğunda, lastikler ile üstyapı arasında oluşan sürtünme normalde yüksektir. Yağışlı havalarda, özellikle üstyapının kayma direnci düşük olduğunda patinajdaki veya durma mesafesindeki potansiyel artışla kritik bir durum oluşabilir. Yeterli kayma direnci olmadığında, sürücü veya pilot direksiyon hakimiyetini sağlayamayabilir ve ıslak üstyapıda duramayabilir. Kayma direnci verisi toplamanın ana sebebi, kazaları azaltmak veya artmasına engel olmaktır. Bu veriler, kayma direncinin yavaş veya hızlı bozulma düzeyine sahip üstyapı kesimlerini tanımlamada kullanılır. Bu bilgi daha sonra uygun bakım ve rehabilitasyon (B ve R) seçeneğini seçmek için ve öncelikli üstyapı B ve R bulmak için bir yönetim aracı olarak kullanılabilir (Shahin, 2002).

Düzensüzlük birçoğu taşıt dinamiği ve sürüş konforunu etkileyen üstyapı yüzeylerindeki geniş ölçüdeki sapmalar olarak tanımlanmaktadır. Pürüzlü bir üstyapı tekerleklerin zıplamasına neden olabilir ve bu da sürtünmeyi azaltır. Tekerlek izi oluşumu da özellikle yağmur sularıyla dolduğunda sürtünmeyi azaltır. Şekil 3.17. Farklı kayma hızlarında üstyapı-tekerlek sürtünmesinin makro-doku ve mikro-doku etkisini göstermektedir (ICPI, 2004).



Şekil 3.17. Farklı kayma hızlarında üstyapı-tekerlek sürtünmesinin makro-doku ve mikro-doku etkisi (ICPI, 2004)

- Tekerlek tipini, tekerlek geçişini ve şişme baskısını içeren tekerlek karakteristikleri
- Aracın tipi, aks yükleri, tekerlek kayması ve hız gibi taşıt işlevsel karakteristikleri

Aracın hızı kayma direncinde en baskın faktörlerden biridir. Hız artışıyla, suyun dağıtılması için geçen zaman miktarı azalır ve üstyapı üzerindeki su kayganlaşma etkisi yapar. Boşluklar uygulandığında tekerlek hızı azalır. Eğer tekerlek hızı taşıtın hızından daha yüksek oranda azalırsa tekerlekler üstyapı yüzeyinde kayacaktır.

- Islaklık, buz ve kar, kirlilik ve sıcaklık gibi çevresel faktörler

Mühendisler ve yol güvenlik yetkilileri kuru ve ıslak kayma karakteristikleri arasında önemli bir farkın olmasından dolayı üstyapı ıslak olduğunda üstyapı kayma performansı ile daha ilgilidir. Bir üstyapı kayma direncindeki bir azalmayı fark etmek için tamamen üstyapı suyla kaplı olmak zorunda değildir. 0.002 inç (0.05 mm) kadar ince bir su film tabakası kayma direncini büyük ölçüde azaltabilir. Buz, kar ve kirlilik (çamur, yağ, kum, vb.) kayma direncinin kaybına belli bir katkıda bulunur.

Kayma direnci tekerlek sıcaklıkları ve çevredeki hava yükseldiğinde azalır (ICPI, 2004).

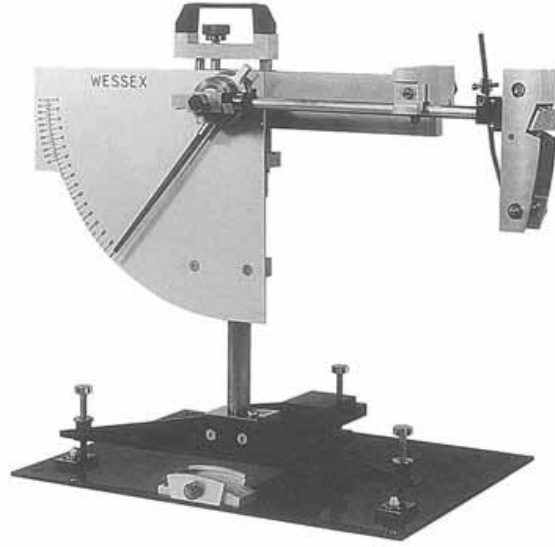
Üstyapı Kayma Direncinin Ölçümü

Statik ve dinamik olmak üzere kayma direncinin ölçümünde iki yaklaşım vardır. Statik ölçüm araçları üstyapının küçük bir bölümünden geçerek direnci ölçer. Bunlar tekerlek kullanımını içermez. Dinamik araçlar sabit hızda üstyapı yüzeyinden geçerek bir tekerlek ile ölçüm yapar. Statik kullanımda yaygın kullanılan araç Şekil 3.18’de görülen portatif (British Pendulum Tester – BP Tester) İngiliz Pandüllü Test Cihazıdır. Bu test metodu ASTM 303’te British Pendulum Tester kullanarak yüzey sürtünme özelliklerinin ölçümü için standart test metodunda tanımlanmıştır (ICPI, 2004).

BP, BPN (British Pendulum Number)’ın belirlenmesi için kayan bir pandülle lastik bağlantı pedi kullanır. Aracın oryantasyonu ve kayan kolun yüksekliği her test için istenen bağlantı bölgesi sağlamak için kontrol edilir. BPN 0 – 150 arasında değişen bir ölçekten doğrudan okunur (Shoenberger).

Arazide düşük hızda ya da laboratuvarında üstyapı sürtünme karakteristiklerini ölçmek için kullanılan en yaygın iki araç BPT (AASHTO T 278 ya da ASTM E 303) ve Dinamik Sürtünme Test Cihazı (Dynamic Friction Tester – DFT)’dir. Her iki araçta üstyapı yüzeyi ile bağlantılı olduğunda dönen bir disk ya da kayan pandülün kinetik enerjisindeki kaybı belirleyerek sürtünme özelliklerini ölçer (Hall et al., 2009).

BP testi genellikle dinamik tekerlek ve treyler testlerinden daha yüksek kayma direnci oranları vermektedir.



Şekil 3.18 İngiliz Pandüllü Test Cihazı (ICPI, 2004)

Birçok dinamik kayma direnci ölçüm metodu Şekil 3.19 da görülen kilitli tekerlekli kayma treyleri kullanır ve üstyapı arasındaki etkileşimi değerlendirir (ICPI, 2004).



Şekil 3.19. Kilitli Tekerlekli Kayma Treyleri (ICPI, 2004)

Kilitli tekerlekli test sonuçları aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanan Sürtünme Sayısı ya da Kayma Sayısı (Friction Number (FN) or Skid Number (SN)) olarak raporlanmaktadır:

$$FN(V) = 100\mu = 100 \times (F/W) \quad (3.5)$$

Burada:

V = Test tekerleğinin hızı, mi/sa.

μ = Sürtünme Katsayısı

F = Tekerleğe uygulanan yatay çekiş gücü, lb.

W = Tekerleğe uygulanan dikey yük, lb.

Kilitli tekerlekli sürtünme test cihazı genellikle 40 ve 60 mi/sa (64 ve 96 km/sa) arasında hızlarda kullanılır. Test pürüzsüz (ASTM E524) ya da fitilli (ASTM E 501) bir tekerlek kullanarak yapılabilir. Fitilli tekerlek üstyapı yüzeyi su film kalınlığına duyarsızdır; böylece üstyapı makro-dokusuna da duyarsızdır. Diğer yandan pürüzsüz tekerlek, makro-dokuya duyarlıdır. Yan-kuvvet metodu (ASTM E 670) eğrilerdeki kontrolü sürdürmek için taşıtların kabiliyetini ölçer ve hareket yönü ve tekerlek arasındaki yalpa açısını, sabit açığı korumayı da kontrol eder. Yan-kuvvet katsayısı (Side-Force coefficient – SFC) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$SFC (V, \alpha) = 100 \times (FS/W) \quad (3.6)$$

Burada:

V = Test tekerleğinin hızı, mi/hr.

α = Yalpa açısı.

FS = Döndürme yüzeyine dik kuvvet, lb.

W = Tekerleğe uygulanan dikey yük, lb.

Yalpa açısının 7.5 ve 20° arasında küçük olmasından dolayı, kayma hızı da biraz düşüktür; bu da yan-kuvvet test cihazları özellikle üstyapı mikro-dokusuna hassastır fakat genellikle üstyapı makro-dokusuna duyarsızdır demektir (Hall et al., 2009).

Sabit kayma cihazları kilitsiz boşluklu taşıtlar tarafından uygulanan sürtünmeyi ölçer. Sabit kayma cihazları test tekerleğine uygulanan dikey yük olarak % 10 ve 20 arasında sabit kaymayı korur (Henry, 2000). Tekerlek ve üstyapı arasındaki hareket yönündeki sürtünme gücü ölçülür ve % kayma aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$SFC (V, \alpha) = 100 \times \left(\frac{Fs}{W}\right) \quad (3.7)$$

Burada:

% Kayma = Yüzde, test hızına kayma hızının oranı.

V = Test hızı.

r = Efektif tekerlek yalpalama çapı

ω = Test tekerleğinin açısal hızı

Asfalt üstyapılar üzerinde yapılan kayma direnci ölçümleri yıllık zamanla ve hava koşullarıyla değişiklik gösterir. Asfalt üstyapılar için yıllardır toplanan kayma verilerinden dolayı, normalizasyon prosedürü hava ve sezonun etkilerini ortadan kaldırmak için kullanılmaktadır. Rijit üstyapılar üzerindeki hava ve sezonluk etkiler kayma testinde daha az tahmin edilebilir. Bu yüzden rijit üstyapılar için henüz bir normalizasyon prosedürü bulunmamaktadır (ICPI, 2004).

3.1.1.5. Olası yabancı obje hasarı (Foreign Object Damage - FOD) durum oranı

FOD'un havaalanı pistlerindeki, taksi yollarındaki, apronlardaki ve rampalardaki varlığı hava yolculuğunun güvenliğini tehdit etmektedir. FOD ölümcül yaşam ve uçak kaybına yol açan ya da bakım ve uygulama maliyetini artıran uçuşun kritik durumları sırasında uçağa zarar verme potansiyeline sahiptir. Sektöre maliyetlerin doğrudan maliyetler için yılda 1-2 milyar doları aştığı, dolaylı maliyetler düşünüldüğünde ise 12 milyar dolar kadar olduğu tahmin edilmektedir. FOD tehlikeleri ancak etkili FOD Yönetim Programı kurulduğunda azaltılabilir (AC 150-5220, 2008).

FOD Tipleri

FOD'un kesin doğası değişkendir. FOD herhangi bir malzemeden oluşabilir ya da herhangi bir renk ya da boyutta olabilir. Tipik FOD aşağıdakileri içerir:

- Uçak ve motor parçaları (cıvatalar, rondelalar, güvenlik teli vb.);

- Uçak yedek parçaları (benzin kapakları, iniş takımı parçaları, benzin çubukları, metal levhalar ve lastik parçaları);
- Mekanik aletler;
- Yemek Servisi Malzemeleri;
- Uçuş hattı maddeleri (çivi, çalışan rozetleri, bagaj etiketleri, soda tenekeleri, vb.);
- Apron maddeleri (yemek servisinin kağıt ve plastik parçaları ve yükleme paletleri, bagaj parçaları ve rampa malzemelerinin atıkları);
- Pist ve taksi yolu malzemeleri (beton ve asfalt yığınları, lastik derz malzemeleri ve boya izleri);
- İnşaat atıkları (ağaç parçaları, taşlar, parçalar ve çeşitli metal objeler);
- Plastik ve/veya polietilen malzemeler;
- Doğal malzemeler (bitki parçaları ve yaban hayatı); ve
- Hava koşullarından gelen kirlilikler (AC 150-5220, 2008). Çizelge 3.1, FOD algılama sistemlerinin bir özetini göstermektedir.

Çizelge 3.1. FOD algılama sistemlerinin özeti

Sistem	Algılama İlkeleri	Kabiliyet	FOD Yönetim Programında Fonksiyon
İnsan / Görsel	FOD algılama sistemlerinin performansı için temel hatlar. İnsan gözlemleri algılamayı sağlar ve insan yargıları güvenliği sağlamak için risk değerlendirme kabiliyetini sağlar.	Düzenli planlanmış, periyodik durum ve özel denetlemeleri destekler. *	İnsan temsilcisi tüm FOD yönetim programlarının temel elementidir fakat etkililik eğitim ve şartlar tarafından kısıtlanabilir. Hali hazırda güvenli risklerin değerlendirilmesindeki insan yargıları için vekil bulunmamaktadır.

Çizelge 3.1. (Devam)

Radar	Yüzeydeki ve pistlerdeki FOD algılaması için temel anlam olarak radyo aktarma verilerini kullanır.	Belirli sistemler sürekli gözlemi desteklemektedir. Mobil sistemler İnsan/görsel denetlemelerini ilave etmektedir.*	Sürekli radar sistemleri tarama bölgesinde FOD algılamasında alarm tabanlı bir sistem sağlamaktadır. Sürekli radar sensorları eklenmiş ilave teknoloji FOD tehlikelerinin değerlendirilmesi ve isimlendirilmesine fırsat tanımak için video bilgisi sağlamaktadır. Mobil sistemler tüm havaalanı yüzeylerindeki aktiviteler için hazır FOD için FOD algılamasıyla havaalanı çalışanlarına uyarıcı personel ve normalin üzerinde görsel açı sağlamaktadır.
Elektro-Optik	Yüzeydeki ve pistlerdeki FOD algılaması için temel olarak görüntü işleme verilerini ve video teknolojisini kullanır.	Sürekli gözlemi destekler.	Elektro-Optik sistemler FOD bulunmasına uyarı sağlar. Elektro-Optik sistemler olayların video kayıtlarını sağlayabilirler.
Melez	Yüzeydeki ve pistlerdeki FOD algılaması için temel olarak elektro-optik verilerin ve radarın kombinasyonunu kullanır.	Sürekli gözlemi destekler.	Sistemler FOD yönetim programındaki uyarı veya alarm fonksiyonlarını destekleyen FOD varlığı için melez sensor tepkisi sağlar.

* AC 150/5200-18'de tanımlandığı gibi Havaalanı Güvenlik kendi kendine denetleme (AC 150-5220, 2008).

Herhangi bir zarar performans karakteristikleri ya da ürünün güvenliğini geriletebilen ya da geriletemeyen fiziksel ya da ekonomik terimlerde ifade edilebilen Yabancı Objeye atfedilebilir Şekil 3.20, yabancı objelerin uçak motoruna verebileceği zararı göstermektedir (Swanburg).



Şekil 3.20. Yabancı Objeye Zararı (Swanburg)

FOD'un Havaalanlarına Ekonomik Maliyeti

Çok büyük 300 havaalanı toplu olarak her yıl 55 milyondan daha az servis vermektedir ve 60.000 den daha fazla FOD kazası görmektedir. Trafiğe ve uygulama çevrelerinin özelliklerine bağlı olarak havaalanı yüzeyindeki atık (yabancı obje atıkları ya da FOD) her havaalanına yılda 20 milyon Amerikan doları büyüklüğünde doğrudan maliyete uğratmaktadır.

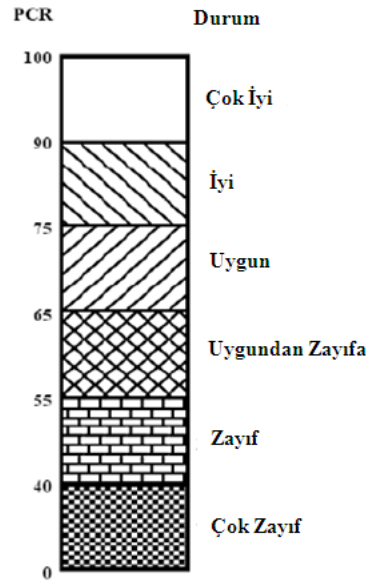
Havayolları “iş yapma maliyeti” olarak bu maliyeti kolaylıkla harcamaktadırlar. Tekerlek üreticileri FOD zararından dolayı değişimi de içine akarak fiyatlandırmaktadırlar. Ancak, şu da açık ki, FOD ortadan kaldırılsa, maliyetlerde benzer olarak ortadan kalkacaktır. FOD bu yüzden sadece güvenlik riski ve sıkıntısı değil aynı zamanda havaalanlarının uygulamalardan büyük değerleri kaptırmamaları gereken bir alandır (McCreary, 2008).

3.1.1.6. Havaalanı üstyapıları için bozulma çeşitleri

Rijit bir üstyapı olmasına karşın beton plaklarında, gerek betonun özellikleri gerekse yan etkiler ve faktörler nedeniyle bazı bozulmaların görülmesi hiç de ender rastlanan hallerden değildir. Bu bozulmalar başlıca, çatlakların oluşması, çukurların oluşması,

plak oturmaları, genişleme derzlerindeki bozulmalar, alt yapı tesis inşaatının yol açtığı bozulmalar ve yüzeysel pürüzlüğün azalması şekilleriyle kendini gösterir (Akıllı, 2003) .

Üstyapı durum oranlama metodu (Pavement Condition Rating – PCR) üstyapı bozulmalarının görsel değerlendirmesine bağlıdır. Üstyapı bozulma ve performansı arasındaki ilişkiye rağmen tam olarak tanımlanamamaktadır. Oranlama metodu üstyapı bozulmalarının şiddeti ve genişliği aracılığıyla tanımlamayı sağlamaktadır. Oranlama metodunun matematiksel ifadesi üstyapının tüm durumu üzerine bozulma tipi, şiddeti ve genişliğinin karmaşık etkilerini yansıtan bir indeks sunmaktadır Şekil 3.21, üstyapı durum oranlama ölçeğini göstermektedir (Terzi vd., 2009).



Şekil 3.21. Üstyapı durum oranlama ölçeği (Terzi vd., 2009)

PCR hesaplama modeli her bir görsel bozulma tipi için azaltma değerinin toplamına dayanmaktadır. Azaltma değerleri bozulma tipi, şiddeti ve genişliğinin bir fonksiyonudur. Her bir bozulma tipi için azaltma bozulmanın şiddeti ve genişliği için ağırlıkların bozulma ağırlıkları kadar çarpımıyla hesaplanmaktadır. Bozulma ağırlıkları her bir bozulma tipinin azaltılabilir değerinin maksimum sayısıdır (Terzi vd., 2009).

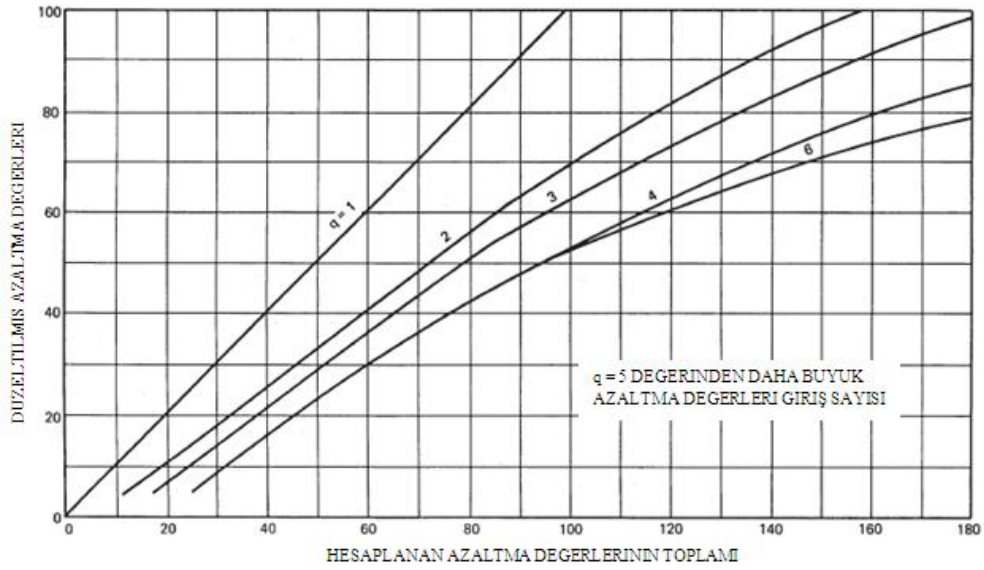
$$PCR = 100 - \sum_{i=1}^n Azaltma_i \quad (3.8)$$

Burada,

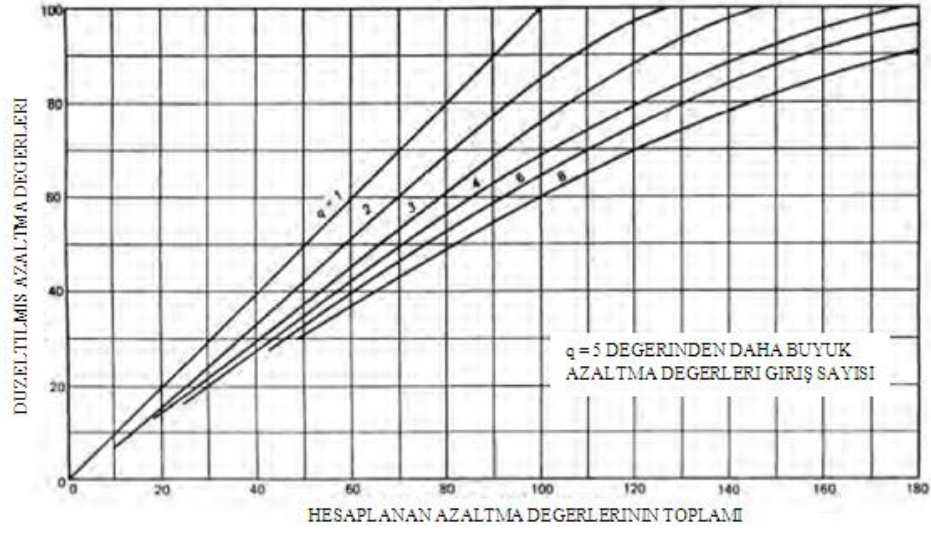
n = Görsel olarak bozulmanın sayısı

(Azaltma) = (Bozulma ağırlıkları)(Bozulma şiddeti ağırlıkları)(Bozulma genişliği ağırlıkları)

Her bir örnek üstyapı kontrolü için kaç tane 5'ten daha büyük azaltma değeri olduğunun kontrol edilmesi ve düzeltilmiş azaltma değerlerinden elde edilmesi gerekmektedir. Örnek üstyapı PCI değeri bu işlemten sonra hesaplanır ve oranlama değeri kaydedilir. Eğer düzeltilmiş azaltma değeri en yüksek düzeltme değerinden daha yüksekse en yüksek değer PCI belirlenmesinde kullanılır. Şekil 3.22, asfalt üstyapılar için, 3.23 ise rijit üstyapılar için azaltma değerlerinin tablosunu göstermektedir (UFC, 2004).



Şekil 3.22. Asfalt üstyapılar için düzeltilmiş azaltma değerleri (UFC, 2001)



Şekil 3.23. Rijit üstyapılar için düzeltilmiş azaltma değerleri (UFC, 2001)

a) Asfalt kaplamalar için bozulma yöntemleri

Asfalt betonu kaplamalı esnek üstyapılarda meydana gelen bozulmalar beş ana sınıfta toplanabilir.

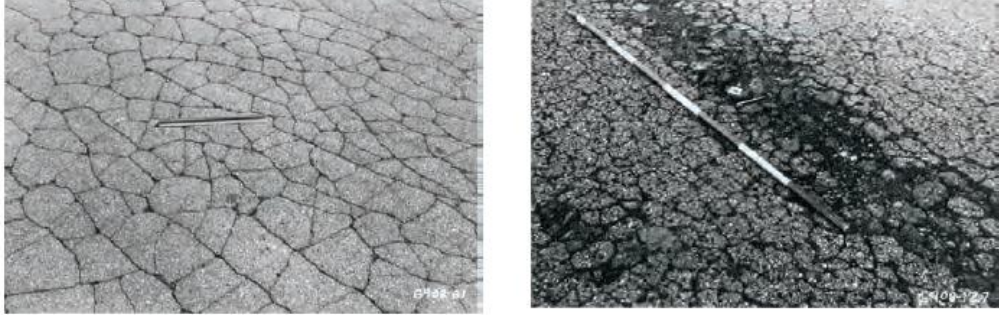
• Kırılma

Genel olarak kırılma veya çatlak, çeşitli nedenlerle üstyapı yüzeyinde oluşan çeşitli şekillerdeki kırılmalara denir.

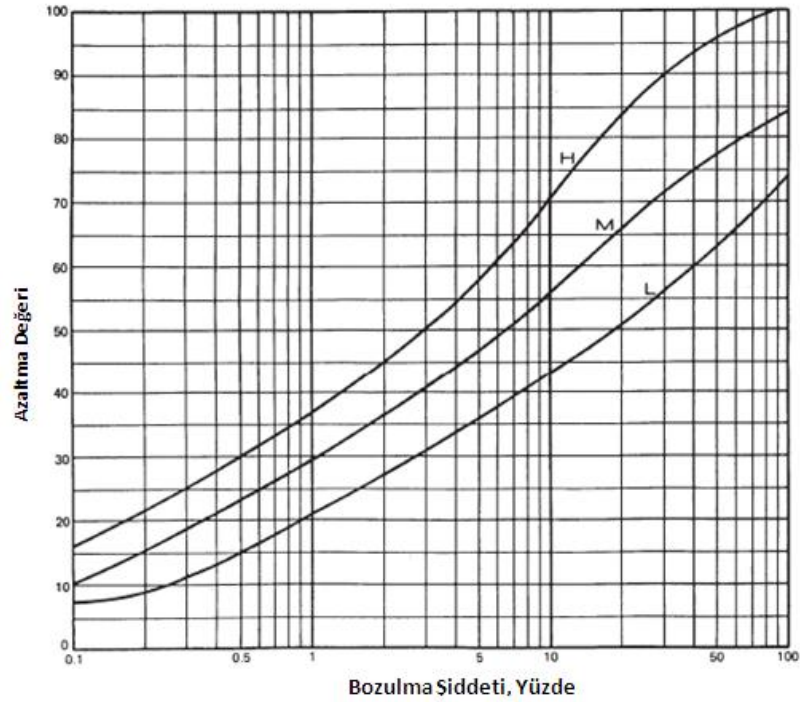
– Yorulma Çatlağı (Timsah Sırtı Çatlak)

Stabil olmayan temel veya taban zemininden dolayı yükleme nedeniyle veya tekrarlı yükler altında belli bir süre sonra oluşur. Başlangıçta boyuna yönde çatlak oluşur, daha sonra enine yönde çatlamlar meydana gelerek boyuna çatlaklar ile birleşir. Çatlaklar parçalanmamış ya da yarıkları doldurulmamış ise düşük önemde, çatlaklar gözle görünür biçimde parçalanmış ise orta önemde, kırık parçalar trafik etkisi ile yer değiştirdiyse yüksek önemde olduğu kabul edilir. Şekil 3.24, bozulmanın şeklini

görsel olarak 3.25 de timsah sırtı çatlak oluşumu için azaltma değerlerini göstermektedir (SHRP, 1993).



Şekil 3.24. Orta ve yüksek derecede çatlak oluşumu (UFC, 2001)



Şekil 3.25. Timsah sırtı çatlak oluşumu için azaltma değerleri (UFC, 2001)

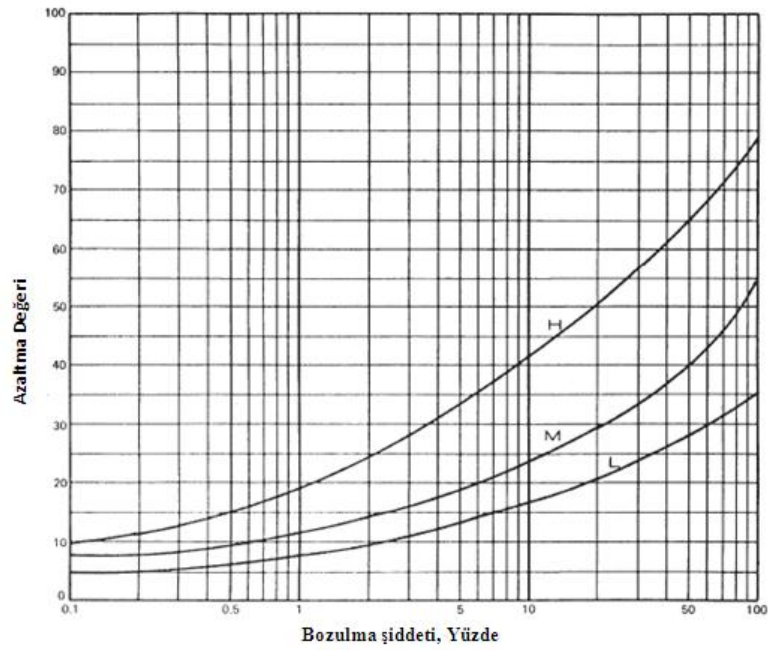
– Blok Çatlak (Büzülme Çatlağı)

Bir seri poligondan oluşan çatlaklardan meydana gelir. Poligonlar keskin köşeli veya açılıdır. Yükten dolayı meydana gelmez, genellikle asfaltın sertleşmesi ve rötresinden (büzülme) meydana gelir (tekerlek izi dışında). Şekil 3.26, bozulma şeklini 3.27 ise blok çatlakları için azaltma değerlerini göstermektedir.

Genişliği ≤ 6 mm (0.25 inç) kırıklar düşük önemde, genişliği >6 mm (0.25 inç) ve ≤ 19 mm (0.75 inç) kırıklar orta önemde, genişliği >19 mm (0.75 inç) kırıkların yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 3.26. Düşük ve orta derecede blok çatlağı oluşumu (UFC, 2001)



Şekil 3.27. Blok çatlağı için azaltma değerleri (UFC, 2001)

– Kenar Çatlağı

Kaplama kenarından yaklaşık 30 cm içerde meydana gelen boyuna çatlaklardır. Bazen bu çatlaklar ile banket arasında enine çatlaklar da meydana gelir (KGM, 1998).

Malzeme kaybı olmayan kırıklar düşük önemde, etkilenen üstyapı kısmı uzunluğunun % 10'nu kadar malzeme kaybı olan kesimlerin orta önemde, etkilenen üstyapı kısmı uzunluğunun % 10'dan daha fazla malzeme kaybı olan kesimlerin yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).

– Tekerlek izi çatlak

Yüklemeden dolayı oluşan yorulma kırıkları olarak adlandırılır. Tekerlek izinin şeklini aldığı ve tekerlek izleri altında meydana geldiği için tekerlek izi çatlak olarak isimlendirilir. Çizelge 3.2, ortalama tekerlek izi kriterlerini göstermektedir. Şekil 3.28, bozulma şeklini 3.29 ise tekerlek izi oluşumu için azaltma değerlerini göstermektedir.

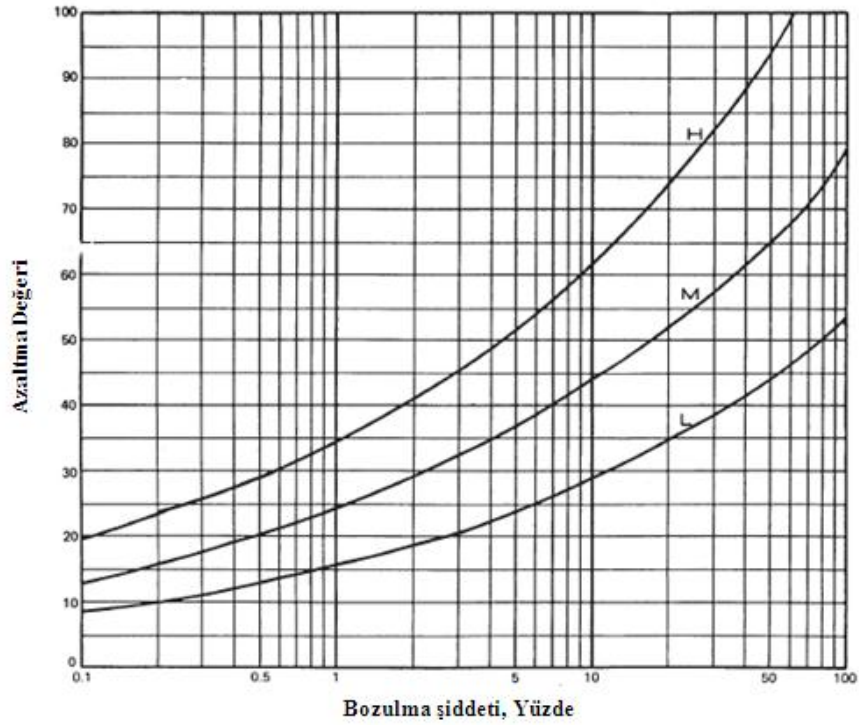
Çizelge 3.2. Ortalama tekerlek izi kriterleri (UFC, 2001)

Şiddeti	Tüm Üstyapı bölümleri
L	$\leq \frac{1}{4}$ den $\frac{1}{2}$ inç (≤ 6.4 ten 12.7 mm.)
M	$> \frac{1}{2}$ inç ≤ 1 inç (> 12.7 den ≤ 25.4 mm.)
H	> 1 inç (> 25.4 mm.)

Genişliği ≤ 6 mm (0.25 inç) kırıkların düşük önemde, genişliği >6 mm (0.25 inç) ve ≤ 19 mm (0.75 inç) kırıkların orta önemde, genişliği >19 mm (0.75 inç) kırıklar; ya da genişliği ≤ 19 mm (0.75 inç) olan çatlakların ise yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 3.28. Yüksek derecede tekerlek izi oluşumu (UFC, 2001)

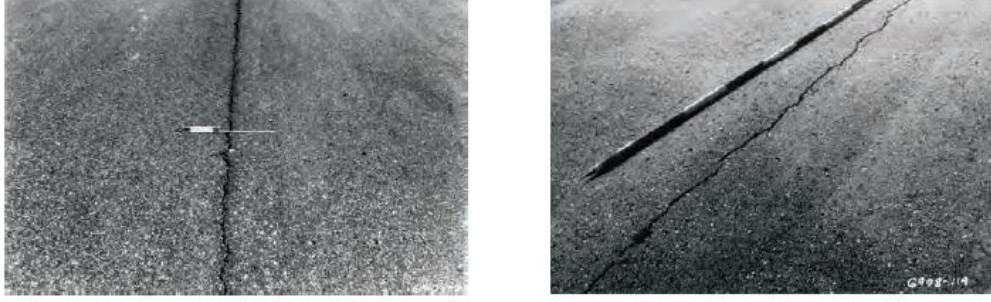


Şekil 3.29. Tekerlek izi oluşumu için azaltma değerleri (UFC, 2001)

– Boyuna Çatlak

Yüklemeden dolayı oluşmaz. Kötü yapılmış inşaat derzleri, yüzey tabakasının büzülmesi, yansıma çatlakları ve taban zemininin oturması nedeniyle oluşur. Şekil 3.30 bozulmayı görsel olarak göstermektedir.

Genişliği ≤ 6 mm (0.25 inç) kırıkların düşük önemde, orta genişliği > 6 mm (0.25 inç) ve ≤ 19 mm (0.75 inç) kırıkların orta önemde, orta genişliği > 19 mm (0.75 inç) kırıklar; ya da orta genişliği ≤ 19 mm (0.75 inç) olan çatlakların ise yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).

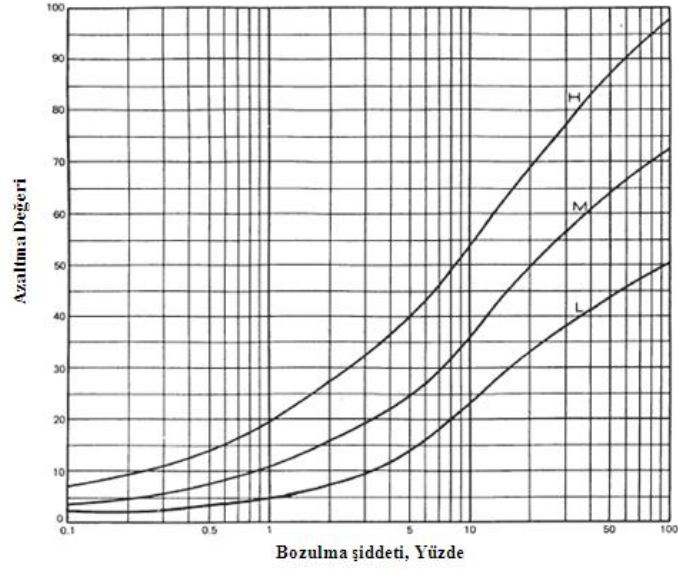


Şekil 3.30. Orta derecede boyuna çatlak oluşumu (UFC, 2001)

– Enine Kırılma

Genelde yüklemenden dolayı oluşmaz. Yüzey tabakasının büzülmesinden veya yansıma nedeniyle oluşur. Şekil 3.31, hem boyuna hem de enine kırılma için azaltma değerlerini göstermektedir.

Genişliği ≤ 6 mm (0.25 inç) kırıkların düşük önemde, genişliği > 6 mm (0.25 inç) ve ≤ 19 mm (0.75 inç) kırıkların orta önemde, genişliği > 19 mm (0.75 inç) kırıklar; ya da genişliği ≤ 19 mm (0.75 inç) olan çatlakların ise yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 3.31. Boyuna ve enine çatlaklar için azaltma değerleri (UFC, 2001)

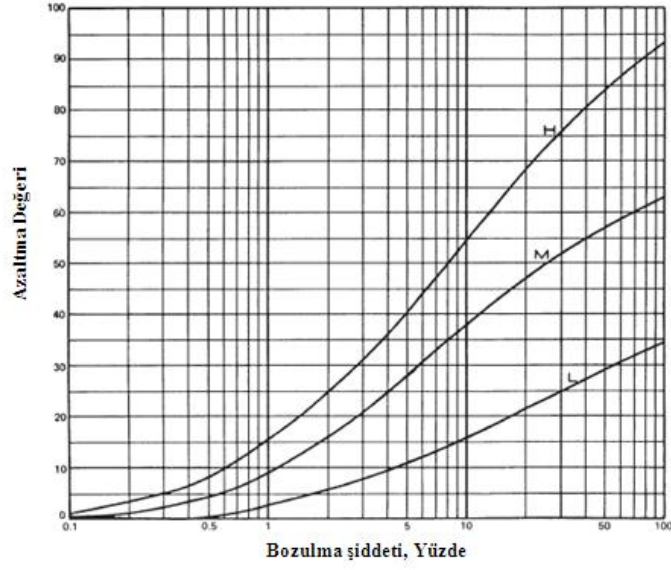
– Yansıma Çatlakları

Asfalt takviye tabakası üzerindeki çatlaklar olup, altta kalmış olan esas kaplamada daha önce mevcut olan çatlakların takviye tabakasına yansısıyla meydana gelir. Bu çatlaklar boyuna, enine, diyagonal veya bloklar şeklinde olabilirler. Şekil 3.32, bozulmanın şeklini, 3.33 ise yansıma çatlakları için azaltma değerlerini göstermektedir. (KGM, 1998).

Genişliği ≤ 6 mm (0.25 inç) kırıkların düşük önemde, genişliği > 6 mm (0.25 inç) ve ≤ 19 mm (0.75 inç) kırıkların orta önemde, genişliği > 19 mm (0.75 inç) kırıklar; ya da genişliği ≤ 19 mm (0.75 inç) olan çatlakların ise yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 3.32. Orta ve yüksek derecede yansıma çatlakları oluşumu (UFC, 2001)



Şekil 3.33. Yansıma çatlakları için azaltma değerleri (UFC, 2001)

b) Yama ve oyuklar

– Yama Bozulması

Üstyapı yüzeyinin 0.1 m^2 den daha büyük kısmına orijinal inşaattan sonra kaldırma, yer değiştirme veya ilave malzeme uygulamasıdır. Yama sınırındaki herhangi bir bozulma yama oranı içinde değerlendirilir. Şekil 3.34, yama oluşumunu görsel olarak sunmaktadır (SHRP, 1993).

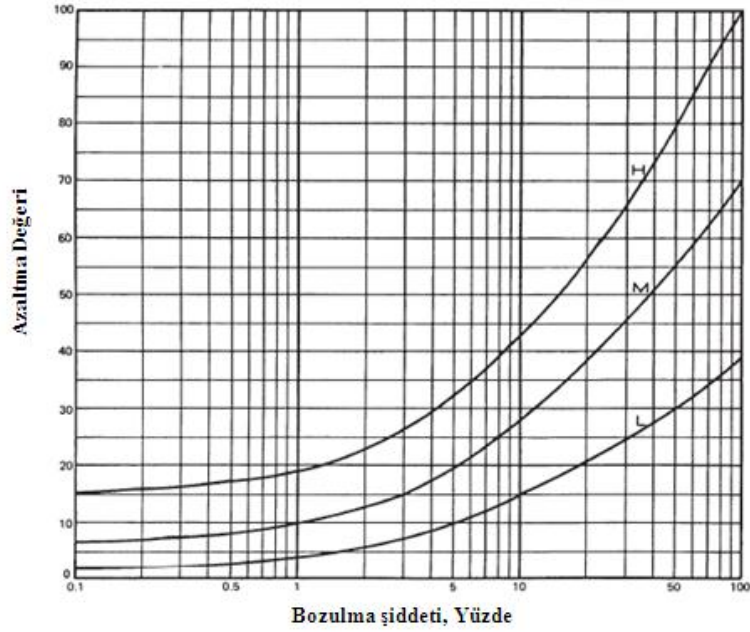


Şekil 3.34. Orta ve yüksek derecede yama oluşumu (UFC, 2001)

– Oyuklar

Üstyapı yüzeyindeki çeşitli yuvarlak şekilli deliklerdir. Minimum plan boyutu 15 cm (6 inç)'dir. Şekil 3.35, yama ve oyuklar için azaltma değerlerini göstermektedir.

Derinliği 25 mm den daha az olan oyukların düşük önemde, 25 mm ile 50 mm derinliğinde olanların orta önemde, 50 mm den daha fazla derinliğe sahip olanların ise yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 3.35. Yama ve oyuklar için azaltma değerleri (UFC, 2001)

c) Yüzey deformasyonu

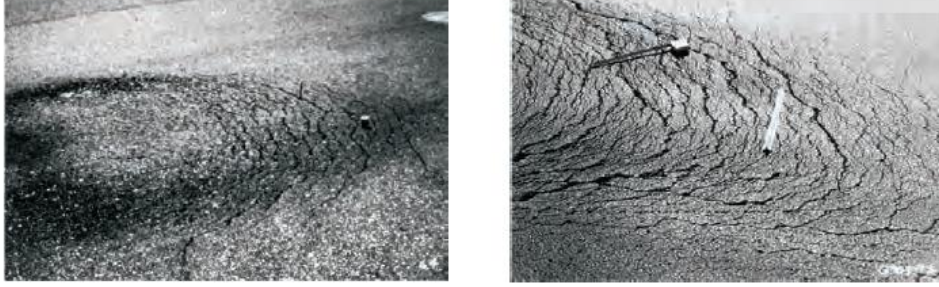
Bu bölüm yüzey deformasyonlarının ondülasyon ve yığılma tiplerini içerir:

a) Ondülasyon ve Yığılma

Ondülasyonlar, plastik bir hareket sonucu, asfalt kaplamalarda meydana gelen enine ve aralıklı kabarmalardır. Yığılmalar ise, plastik bir hareket sonucu asfalt kaplama yüzeyinde meydana gelen tümsekler ve şişkinliklerdir (KGM, 1998).

Etkilenen alanın metre kare cinsinden alanı veya ondülasyon yüksekliği kullanılarak tanımlanır. Yüksekliği 5 mm den daha az olanların düşük önemde, 5 mm ile 10 mm yüksekliğinde olanların orta önemde, 10 mm'den daha fazla yüksekliğinde sahip

olanların ise yüksek önemde olduğu kabul edilir. Şekil 3.36, bozulmanın şeklini; 3.37 ise ondülasyon oluşumu için azaltma değerlerini göstermektedir.



Şekil 3.36. Ondülasyon oluşumu (UFC, 2001)



Şekil 3.37. Ondülasyon oluşumu için azaltma değerleri (UFC, 2001)

d) Yüzey kusurları

– Kasma (Terleme)

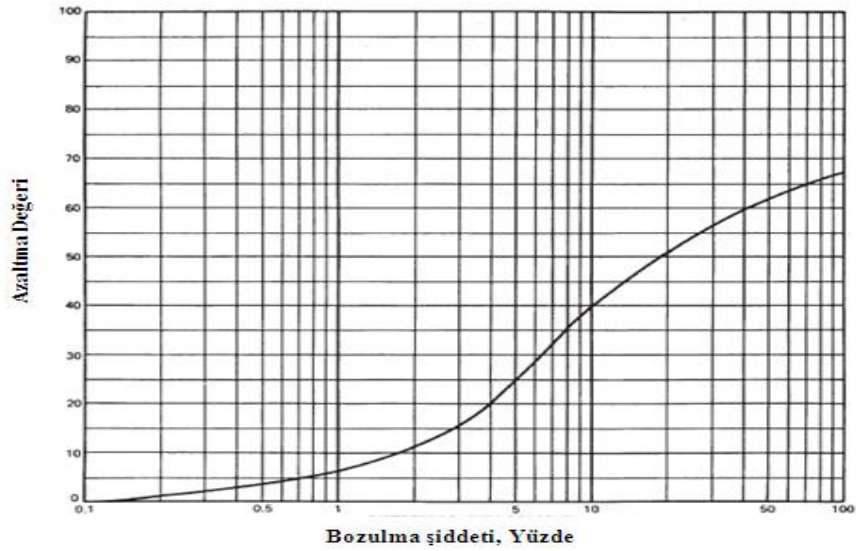
Sıcak havalarda, serbest bitümün yol yüzeyine çıkması ile meydana gelir. Kaygan bir yüzey oluşur. Soğuk havalarda işlem geri dönemez.

Aşırı asfalt nedeniyle kaplamadan taşıdığı için kaplama yüzeyinin nispeten rengi değiştiğinde düşük önemde, kaplama yüzeyinin yapısı kaybolduğunda orta önemde, asfalt parlak bir kaplama yüzeyi ortaya çıkardığında, agrega aşırı asfalt ile görünmediğinde ve tekerlek izleri aşırı sıcakta açıkça görülebildiğinde yüksek

önemde kasma olduğu kabul edilir. Şekil 3.38, bozulmanın şeklini; 3.39 ise kasma için azaltma değerlerini göstermektedir. (SHRP, 1993).



Şekil 3.38. Yüksek derecede kasma oluşumu (UFC, 2001)



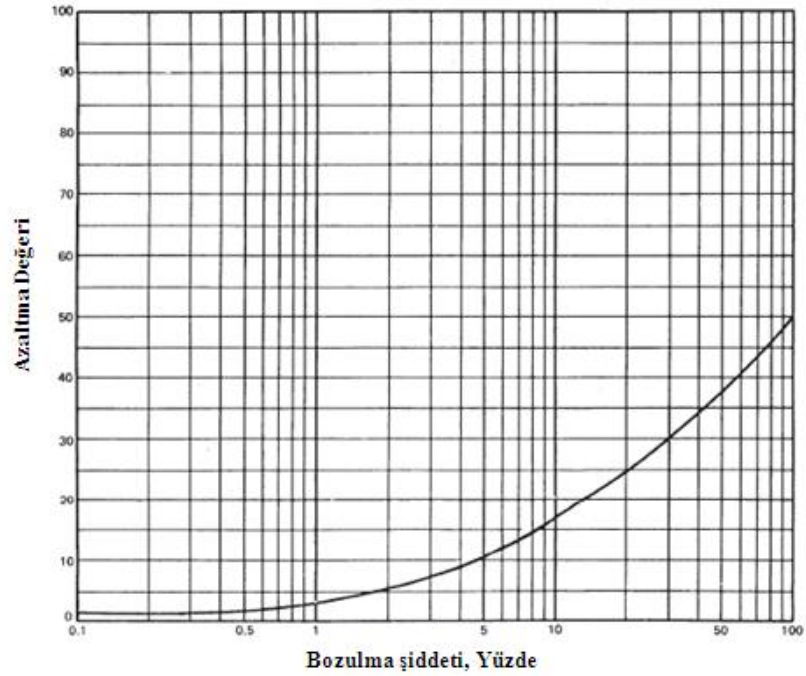
Şekil 3.39. Kasma için azaltma değerleri (UFC, 2001)

– Cilalanma

Bu bozulma, kaplama yüzeyindeki agrega danelerinin cilalı ve pürüzsüz hale gelmesidir. Bu tip bozulma hem doğal olarak pürüzsüz yüzeyli kırılmamış agrega kullanılmasından, hem de kırma taşın trafik etkisiyle aşınmasından meydana gelir (KGM, 1998). Etkilenen alanın metre kare cinsinden alanı kullanılarak tanımlanır. Şekil 3.40, bozulmanın şeklini; 3.41 ise cilalanma için azaltma değerlerini göstermektedir.



Şekil 3.40. Cilalanma oluşumu (UFC, 2001)

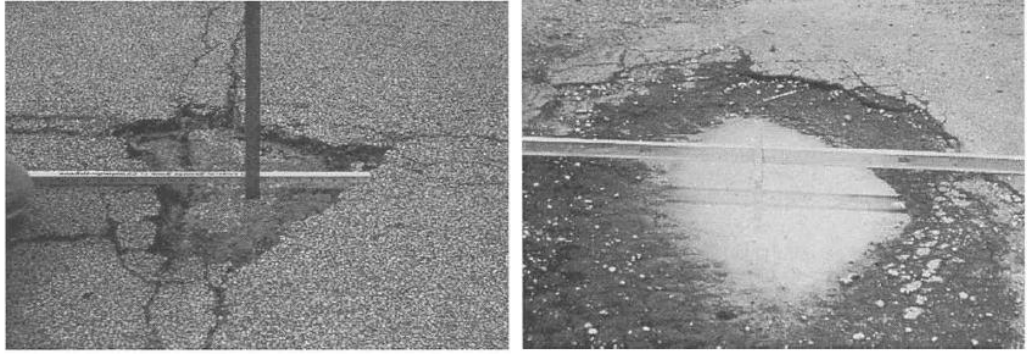


Şekil 3.41. Cilalanma oluşumu için azaltma değerleri (UFC, 2001)

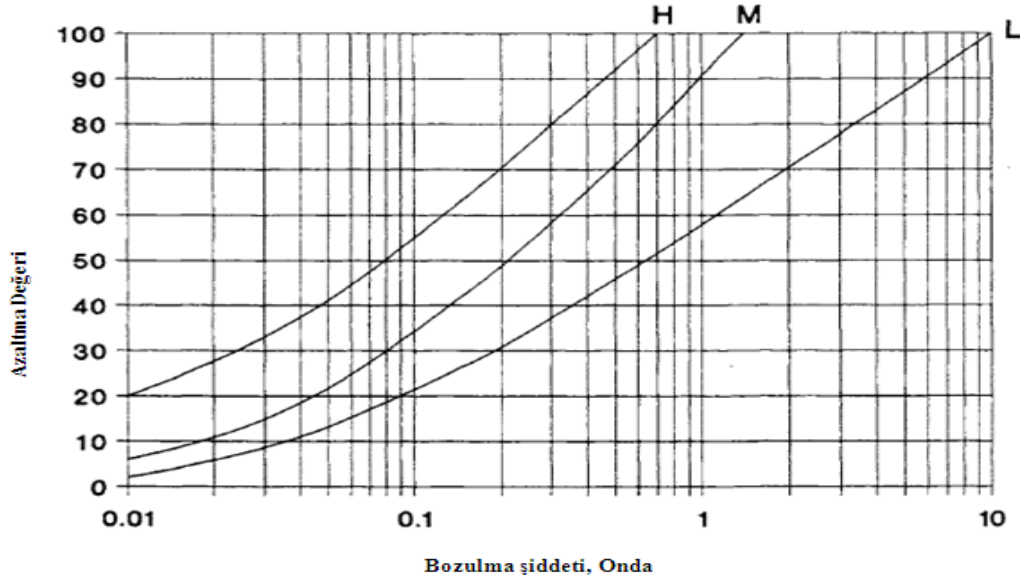
e) Sökülme/Ayrışma

Sökülmeler, asfalt kaplamadaki agrega daneleri arasındaki bağlantının yeteri kadar olmayışı nedeni ile yerinden çıkması ile oluşur. Yerinden çıkma (sökülme), trafiğin yarattığı yatay kuvvetler ve vakum nedeni ile kütledeki bağlantısı zayıf danelerin yerinden çıkması ve bu nedenle yolda delikler meydana gelmesi ile oluşur (KGM, 1998).

Bazı ince agregaların kayıp olduğu durumların düşük önemde, agrega ve/veya binderin kaplamadan ayrıldığı ve yüzey yapısının pürüzlü ve oyuklu olduğu durumların orta önemde ve yüzey yapısının çok pürüzlü ve oyuklu olduğu, aynı zamanda bazı kaba agregaların kayıp olduğu durumların yüksek önemde olduğu kabul edilir. Şekil 3.42, bozulmanın şeklini; 3.43 ise sökümler için azaltma değerlerini göstermektedir. (SHRP, 1993).



Şekil 3.42. Orta ve yüksek derecede sökümler (UFC, 2001)



Şekil 3.43. Sökümler için azaltma değeri (Shahin, 2002)

b) Beton kaplamalar için bozulma yöntemleri

Rijit bir üstyapı olmasına karşın beton plaklarında, gerek betonun özellikleri gerekse yan etkiler ve faktörler nedeniyle bazı bozulmaların görülmesi hiç de ender rastlanan hallerden değildir. Bu bozulmalar başlıca, çatlakların oluşması, çukurların oluşması, plak oturmaları, genişleme derzlerindeki bozulmalar, alt yapı tesis inşaatının yol açtığı bozulmalar ve yüzeysel pürüzlülüğün azalması şekilleriyle kendini gösterir (Akıllı, 2003).

• Çatlaklar

– Çatlaklar/Burkulmalar

Çatlaklar sıcak havada meydana gelir, genellikle plağın genişlemesine izin vermeyecek kadar genişlikte enine ya da boyuna bozulmalardır. Bu yetersiz genişlik genellikle, çatlak boşluğunun içindeki sıkıştırılmayan malzemenin sızıntı yapmasına neden olur. Genleşme, yeterli basınca ulaşamadığında, kırılmanın ya da plak kenarındaki burkulmanın yükselen hareketi çatlağın çevresinde meydana gelecektir. Çatlaklar ayrıca faydalı kesikler (derz) ve drenaj girişlerinde meydana gelirler. Şekil 3.44, çatlak oluşumunu göstermektedir, 3.45 ise çatlak oluşumu için azaltma değerlerini göstermektedir (Shahin, 2002).



Şekil 3.44. Çatlaklar/Burkulmalar (UFC, 2001)

Önemli Düzeyleri

L- Çatlaklar ya da burkulmalar düşük dereceli sürüş kalitesi oluştururlar.

M-Çatlaklar ya da burkulmalar orta dereceli sürüş kalitesi oluştururlar.

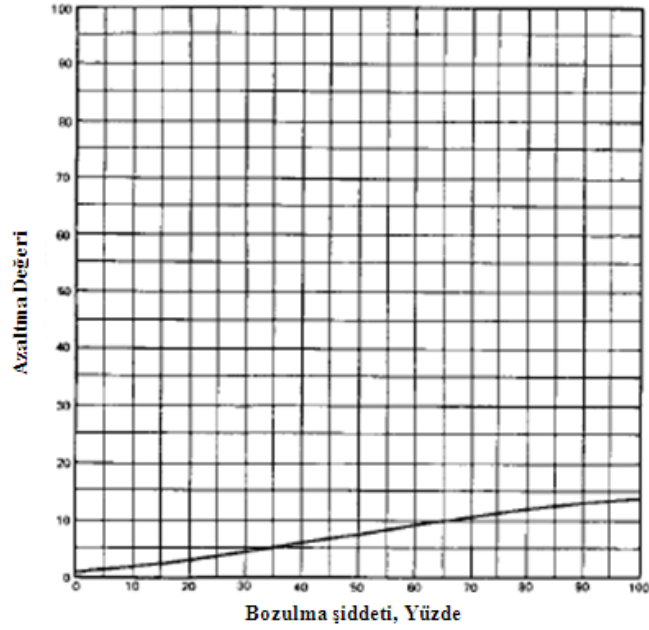
H- Çatlaklar ya da burkulmalar yüksek dereceli sürüş kalitesi oluştururlar.

Onarım Seçenekleri

L- Hiçbir işlem yapılmaz: kısmi- ya da tam derinlikte yama yapılır.

M- Tam derinlikte yama: Plak değiştirme

H- Tam derinlikte yama: Plak değiştirme (Shahin, 2002).



Şekil 3.45. Çatlaklar/Burkulmalar için azaltma değerleri (UFC, 2001)

– Köşe Kırıkları

Köşe kırıkları, plağın köşesinden ölçülen, her iki tarafın üzerindeki bir buçuk plak uzunluğundan az ya da eşit mesafedeki birleşimle kesişen çatlaklardır.

Örneğin, 12 ft den 20 ft (3.7 m den 6,1 m) boyutlarındaki, 5 ft (1.5 m) bir tarafında 12 ft (3.7 m) diğer tarafında çatlığa sahip olan bir plak, bir köşe kırığı olarak

düşünülmez, bu bir köşegen çatlaktır. Ancak, bir çatlak, bir tarafta 4 ft (1/2 m) ve diğer tarafta 8 ft (2.4 m) de kesişiyorsa köşe kırığı olarak düşünülür. Bir köşe kırığı, tüm plak kalınlığı boyunca dikey olarak genişletilen çatlak olarak bir köşe parçalanmasından ayrılır. Hâlbuki bir köşe çatlağı birleşim yerinden bir açıyla kesişir. Destek azlığı ve burkulma etkisi ile birleşmiş tekrarlı yük genellikle köşe kırıklarına yol açar. Şekil 3.46, düşük ve orta derecede köşe kırıklarının şeklini; 3.47 ise köşe kırıkları için azaltma değerlerini göstermektedir. (Shahin, 2002).



Şekil 3.46. Düşük ve orta derecede köşe kırıkları (UFC, 2001)

Önemli Düzeyleri

L- Köşe kırığı düşük önemde çatlak olarak tanımlanır ve çatlak ve derzler arasındaki bölge çatlak olarak kabul edilmez ya da hafif çatlak olarak kabul edilebilir.

M- Köşe kırığı orta önemde çatlak olarak tanımlanır ve çatlak ve derzler arasındaki bölge orta çatlak olarak kabul edilir.

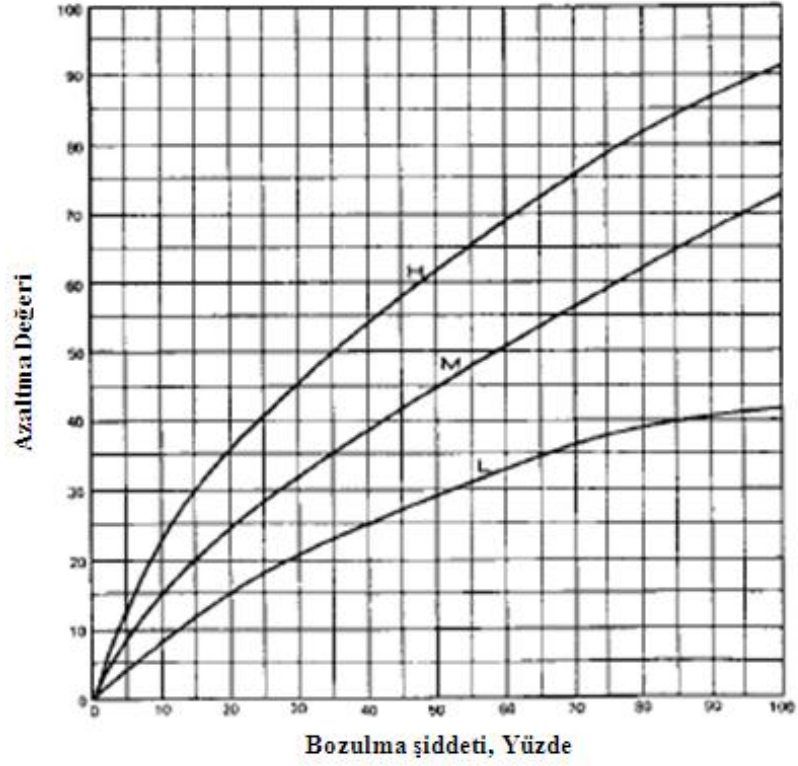
H- Köşe kırığı yüksek önemde çatlak olarak tanımlanır ve çatlak ve derzler arasındaki bölge yüksek çatlak olarak kabul edilir (Shahin, 2002).

Onarım Seçenekleri

L- Hiçbir işlem yapılmaz: 1/8 in (3 mm) üzerinde çatlak doldurma

M- Çatlak doldurma; tam derinlikte yama

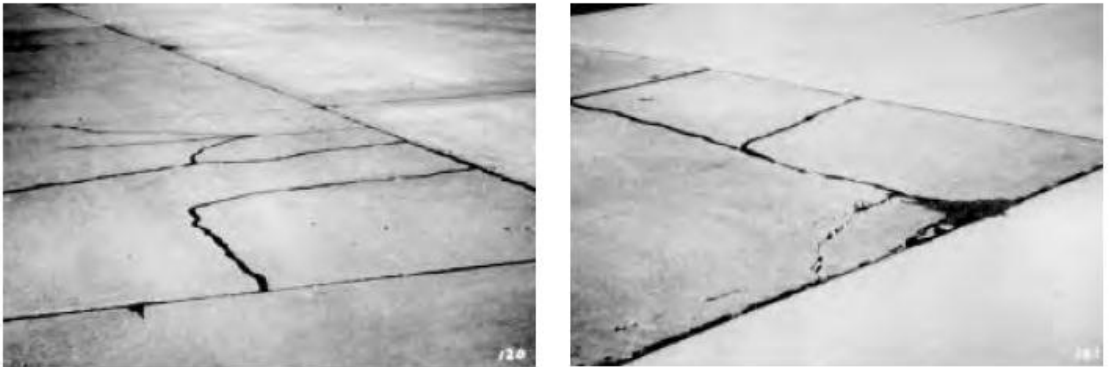
H- Tam derinlikte yama (Shahin, 2002).



Şekil 3.47. Köşe kırıkları için azaltma değerleri (UFC, 2001)

– Bölünmüş Plak

Plak, aşırı yükleme ve/veya yetersiz destekten dolayı 4 ya da daha fazla parçaya çatlak yüzünden bölünür. Eğer tüm parçalar ya da çatlaklar köşe kırıkları ile tamamlanırsa, bozulma şiddetli bir köşe kırığına dönüştürülür. Şekil 3.48, bölünmüş plak bozulma oluşumunu göstermektedir (Shahin, 2002).



Şekil 3.48. Düşük ve orta derecede bölünmüş plak (UFC, 2001)

Çizelge 3.3. Bölünmüş plak önemli düzeyleri

Çatlakların Öneminin Şiddeti	Çatlamış Plaktaki Parçaların Sayısı		
	4-5	6-8	8 ya da daha fazla
L	L	L	M
M	M	M	H
H	M	H	H

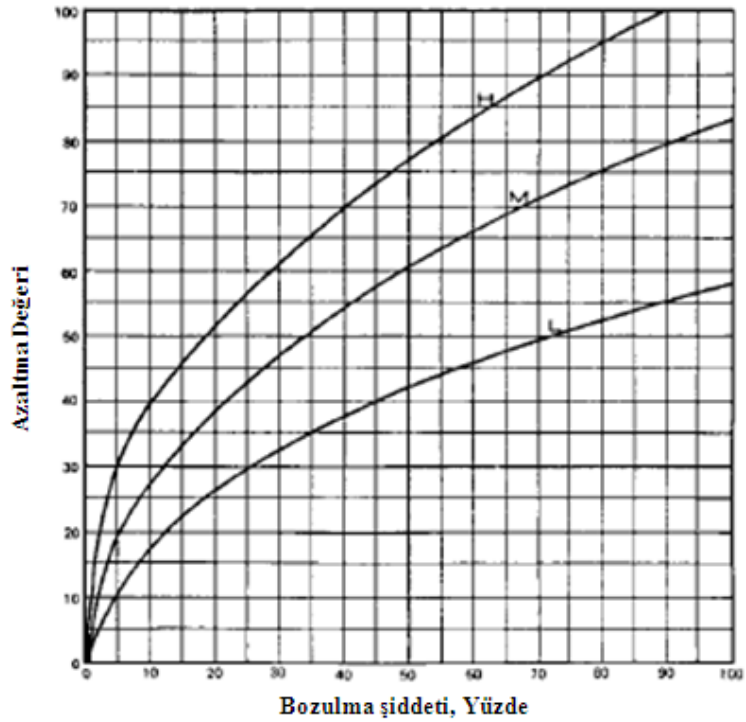
Çizelge 3.3. bölünmüş plak için bozulmanın şiddetini ve önemli düzeyleri göstermektedir. Şekil 3.49 ise bölünmüş plak için azaltma değerlerini göstermektedir.

Onarım Seçenekleri

L- Düşük - Hiçbir işlem yapılmaz; 1/8 inç genişliğinden daha fazla ise çatlak doldurma

M- Orta - Plak değiştirme

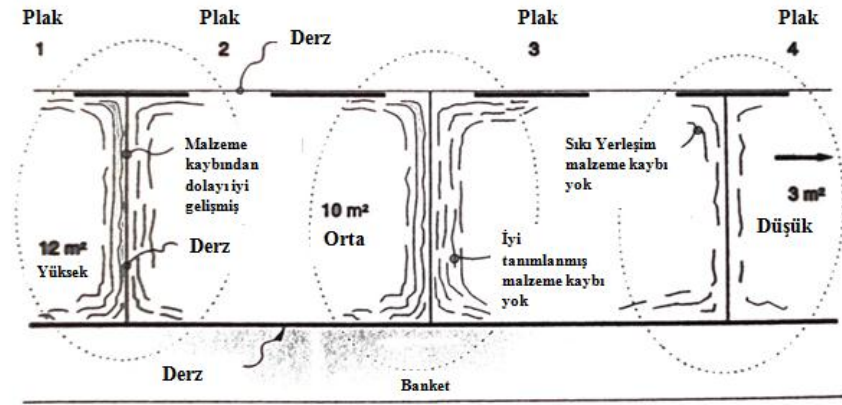
H- Yüksek - Plak değiştirme (Shahin, 2002).



Şekil 3.49. Bölünmüş plak için azaltma değerleri (UFC, 2001)

– Durabilite “D” Çatlakları

“D” çatlakları donma- çözülme etkisiyle zamanla, betonu yavaş yavaş çöktüren büyük daneli agreganın genişlemesine sebep olur. Bu bozulma genellikle doğrusal çatlak ya da derze yakın ve paralel olarak oluşan çatlakların modeli olarak görünür. Derzlerin ve çatlakların yakınında beton doygun hale geldiği için, hassas “D” çatlakları etrafında genellikle siyah renkli bir katman bulunabilir. Bu tip bozulma sonuçta plağın tamamının parçalanmasına neden olabilir. Şekil 3.50 durabilite çatlaklarını görsel olarak açıklamaktadır (Shahin, 2002).



Şekil 3.50. Durabilite çatlakları (SHRP, 1993)

Önemli Düzeyleri

L- “D” çatlakları plak bölgesinin %15’inden daha azını kaplar. Çatlakların çoğunluğu sıkışiktır, fakat çok az parçası dışarı taşmış olabilir.

M- Aşağıdaki durumlardan biri ortaya çıkar:

1. “D” çatlakları bölgenin $< \%15$ inçi kaplar ve parçaların çoğunluğu dışarı taşmıştır ya da kolaylıkla ortadan kaldırılabilir.
2. “D” çatlakları bölgenin $> \%15$ inçi kaplar. Çatlakların çoğunluğu sıkışiktır, fakat çok az parça dışarı taşmış olabilir ya da kolaylıkla ortadan kaldırılabilir.

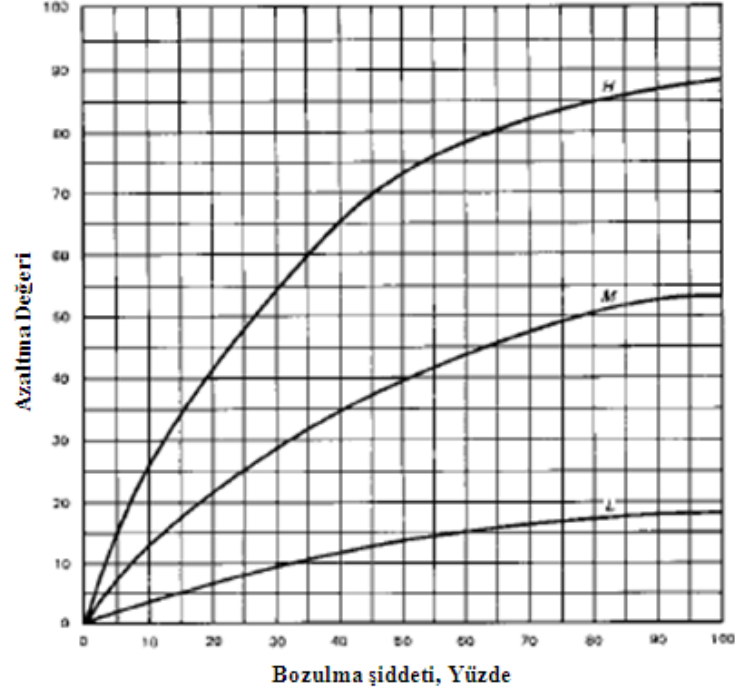
H- “D” çatlakları bölgenin $> \%15$ inçi kaplar ve parçaların çoğunluğu ortaya çıkar ya da kolaylıkla ortadan kaldırılabilir. Şekil 3.51 D-çatlakları için azaltma değerlerini göstermektedir (Shahin, 2002).

Onarım Şekilleri

L- Hiçbir işlem yapılmaz

M- Tam derinlikte yama: derzlerin yeniden yapılması

H- Tam derinlikte yama: derzlerin yeniden yapılması; plağın değiştirilmesi (Shahin, 2002).



Şekil 3.51. D-Çatlakları için azaltma değerleri (UFC, 2001)

– Doğrusal Çatlaklar (Boyuna, Enine ve Köşegen Çatlaklar)

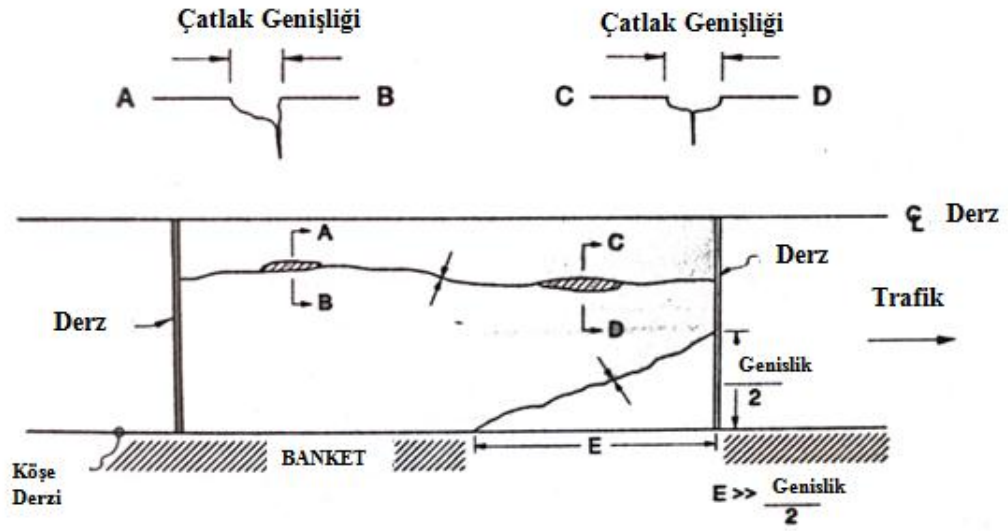
Boyuna Çatlaklar

Bu tip çatlaklar yol eksenine paralel yönde, genelde imalat sırasında oluşan kaplama boyuna ayırım yerlerinde, kaplama ile banket ayırım yerlerine yakın yerlerde ve ağır tekerlek yüküne maruz kalan yerlerde görülmektedir. Şekil 3.52 boyuna çatlakları göstermektedir.

Bozulmanın Sebepleri

- Tekrarlı ağır trafik yükleri
- Yüksek sıcaklık etkileri

- Kıvrılma etkisi
- Donatı korozyonu
- Beton kaplama kalınlığının yetersiz olması
- Beton kaplamanın genişliğinin fazla olması
- Boyuna derzlerde yetersiz yük aktarımı
- Banketlerde ve boyuna derzlerde oluşan pompaj nedeniyle kaplama altı tabakasının erozyona uğraması ve taşıyıcılığını kaybetmesi
- Taban zemininde oluşan konsolidasyon boyuna çatlaklara neden olabilmektedir (Akıllı, 2003).



Şekil 3.52. Boyuna çatlaklar (SHRP, 1993)

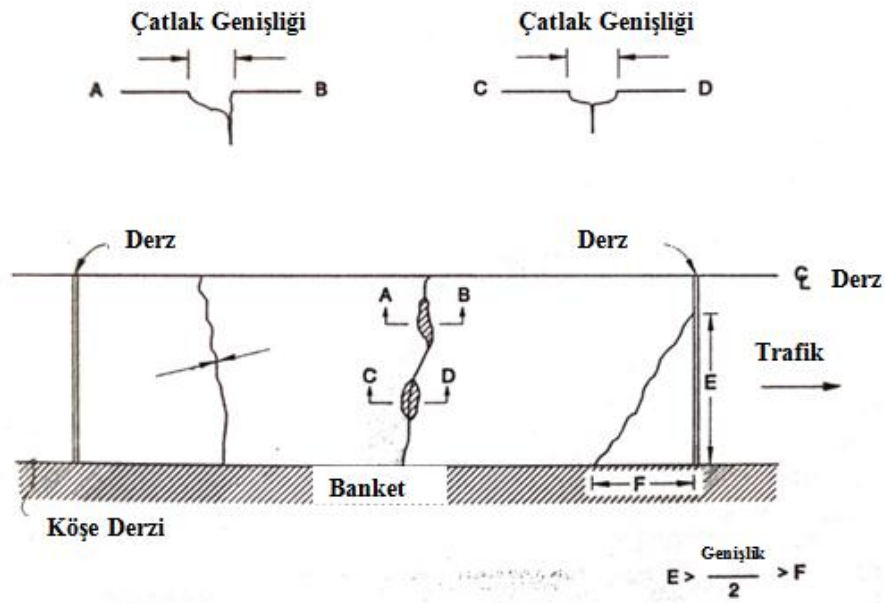
Enine Çatlaklar

Enine çatlaklar genellikle kaplama eksenine dik olarak oluşur. Enine çatlaklar beton kaplamanın herhangi bir yerinde ve değişik sıklıklarla görülür.

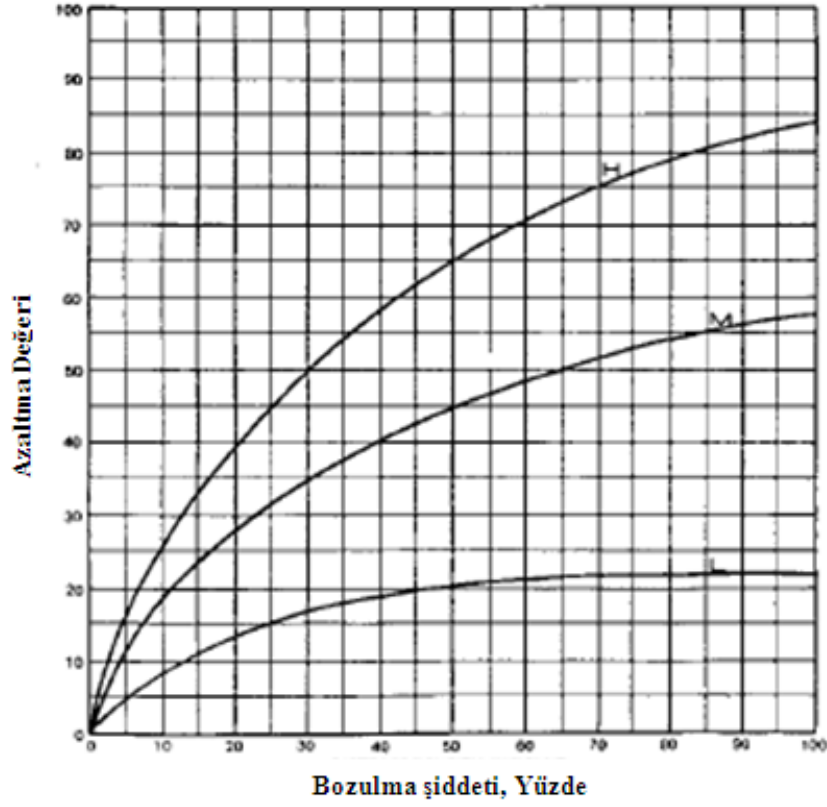
Bozulmanın Sebepleri

- Tekrarlı ağır trafik yükleri
- Yüksek sıcaklık değişimleri
- Plastik ve kuruma rötrelerinin oluşması

- Taban zemininde oluşan konsolidasyon
- Beton kaplama kalınlığının yetersiz olması
- Derzlerin yabancı maddeler nedeniyle dolması ve işlevini yerine getirememesi
- Donatı korozyonu
- Beton kaplama kalınlığının üniform olmaması
- Enine derz aralıklarının büyük olması
- Donatı pas payının düşük olması
- Yapım aşamasında kür şartlarının olumsuzluğu
- Geç açılan enine yabancı derzler gibi sebepler nedeniyle enine çatlaklar oluşabilmektedir. Şekil 3.53, enine çatlakları, 3.54 ise enine ve boyuna çatlaklar için azaltma değerlerini göstermektedir (Akıllı, 2003).



Şekil 3.53. Enine çatlaklar (SHRP, 1993)



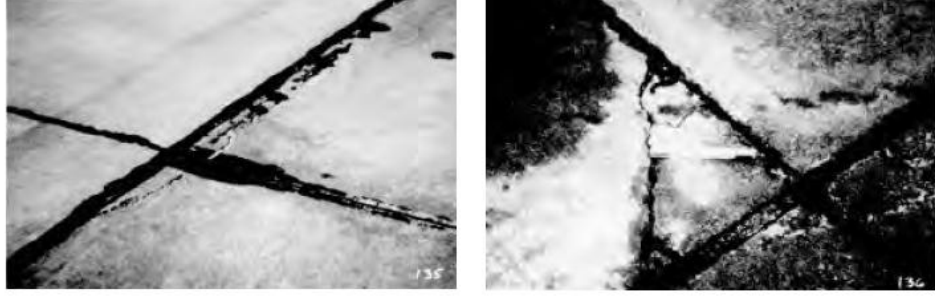
Şekil 3.54. Çatlaklar için azaltma değerleri (UFC, 2001)

- **Yüzeysel kusurlar**

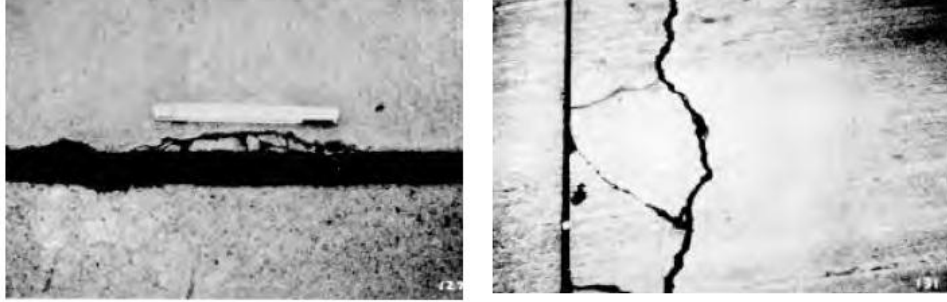
Beton kaplamaların yüzeylerinde meydana gelen bozulmalar genelde sürüş konforunu bozmayan fakat sürüş emniyetini bozan bozulmalardır. Bu bozulmalar kaplamanın yüzeyinde ve yüzeyine yakın bölümlerinde oluşur (Akıllı, 2003).

- Soyulma

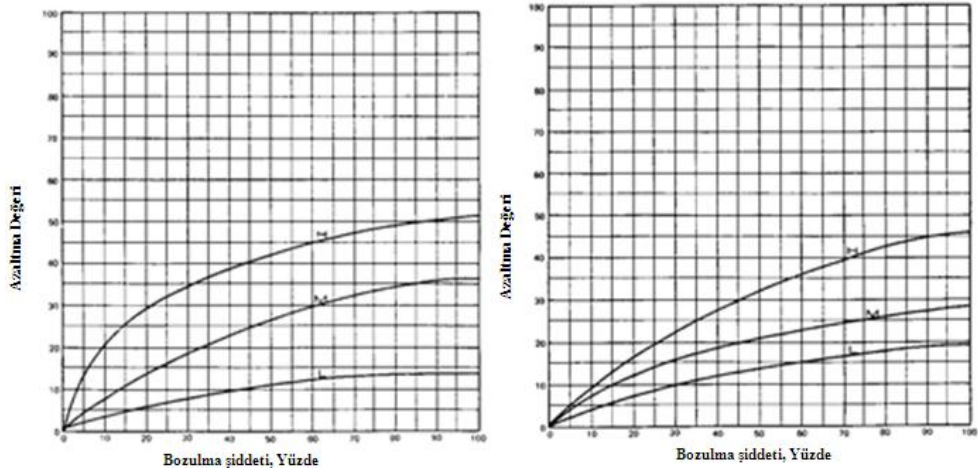
Soyulma beton kaplamanın üst yüzeyinde, 3 mm ile 13 mm kalınlık arasında oluşmaktadır. Beton kaplamanın herhangi bir bölgesinde görülebilen yüzeysel bozulma çeşididir. Soyulma genellikle çok ince ve zayıf bir tabakanın varlığından ve trafiğin aşındırma etkisinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.55, plak köşesinde oluşan düşük ve orta derecede soyulmaları, 3.56, enine ve boyuna derzlerde oluşan düşük ve orta derecede soyulmaları ve 3.57 ise Soyulmalar için azaltma değerlerini göstermektedir (Akıllı, 2003).



Şekil 3.55. Plak köşesinde oluşan düşük ve orta derecede soyulma (UFC, 2001)



Şekil 3.56. Enine ve boyuna derzlerde oluşan düşük ve orta derecede soyulma (UFC, 2001)



Şekil 3.57. Soyulmalar için azaltma değerleri (UFC, 2001)

– Kayma Direncinde Azalmalar

Yüzey kayma direnci sürüş emniyetini etkileyen ve yol yüzeyinin aşınması veya hatalı imalat nedeniyle oluşur. Beton yol yüzeyinin makro dokusu yüksek trafiğe maruz kalan yollarda çok önemlidir. İnşaat sırasında yüzeyin düzgün imal

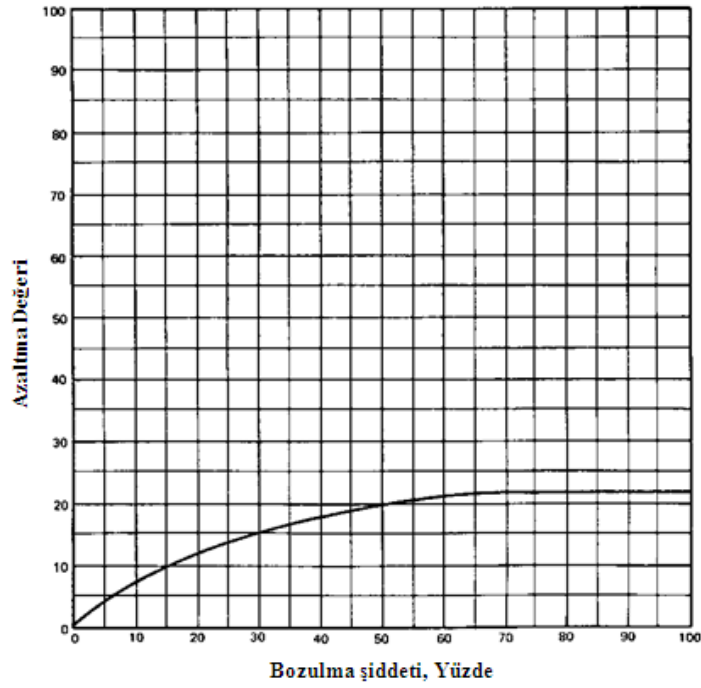
edilmemesi nedeniyle yüzeyde meydana gelen su birikmeleri kayma direncini ve sürüş emniyetini azaltmaktadır. Ayrıca makro dokuyu etkileyen kaba agreganın özellikleri de oldukça önemli bir faktördür. Yüzey kayma direncine etki eden diğer büyük önemi olan etken beton kaplama yüzeyinin mikro dokusudur. Buna etki eden en büyük etken ise yüzeyin perdahlanması ve yüzey dokusu içerisindeki ince agreganın özellikleridir. Uygun ince agreganın kullanımı uzun yıllar kayma direncini sağlamada oldukça önemli bir etkidir (Özerdoğan, 2005).

– Beton Yüzeyindeki Küçük Çaplı Sökümler

Küçük parçalar halinde beton yüzeyinden kopan beton veya agregaların yarattığı bozulmalardır. Genelde 6mm ile 30mm arası genişlikte ve 3mm ile 15 mm arası derinlikte. Beton blok yüzeyinde belli bir bölümünde dağılmış şekilde çeşitli boyutlarda ve çeşitli yoğunlukta görülebilmektedir. Şekil 3.58, sökümleri 3.59 ise sökümler için azaltma değerlerini göstermektedir (Özerdoğan, 2005).



Şekil 3.58. Sökümler (UFC, 2001)



Şekil 3.59. Sökülmeler için azaltma değerleri (UFC, 2001)

– Beton Yüzeyinde Gölgeleme ve Renk Farklılıkları Oluşumu

Beton yollarda kaplama yüzeyinde renk farklılıklarının oluşması halinde gece sürüşlerinde farklı ışık yansıtacağından dolayı sürücünün yorgunluğuna ve göz aldanmasına sebep olmaktadır. Beton kaplamalarda bu tip kusur farklı boyutlarda farklı tonlarda süreksizlik şeklinde görülmektedir. Bu ise görünümün homojenliğini bozmaktadır. Bu durum sürüş emniyetini etkileyen önemli bir sorundur (Akıllı, 2003).

• **Çukur oluşumları**

Beton kaplamada görülen çukurların, genelde çapları 6 ile 100 mm derinlikleri ise 10 ile 75 mm arasındadır. Daha fazla çapta ve derinlikte de olabilmektedir. Beton yolda ve diğer yollarda da çukurlar sürüş kalitesini düşürdüğü gibi sürüş emniyetini de önemli ölçüde etkilemektedir. Kaplama yüzeyinden küçük parçacıkların ya da agreganın kopması sonucu oluşmaya başlar. Bu küçük boşluklar daha sonra trafik, iklim ve çevre etkileriyle ilerleyerek çukurlara dönüşmektedir (Akıllı, 2003).

Bozulmanın Sebepleri

Beton kaplamalarda görülen çukurlar içsel basınçların artması, kimyasal ve fiziksel etkiler nedeniyle oluşmaktadır. Ayrıca;

- Beton yüzeyinin mukavemetinin düşük olması geçirimsizliğinin yüksek olması
- İnce daneli kalker, çörç, dolomit ve prit gibi porozitesi yüksek olan agregaların su emerek genişmesi sonucu
- Betonun su emmesi ve suyun donma- çözülme etkisi ile betonda oluşan içsel basınçlar
- Sökülmelerin zamanında onarılmaması gibi sebeplerden oluşabilmektedir.

Diğer taraftan beton kaplamalarda görülen çukurların ilerlemesi ve ilerleme hızı betonun mukavemetine, iklim şartlarının şiddetine ve trafik hacmine bağlıdır. Bu yüzden beton dayanımını arttırmak için beton dökümü yapılırken vibrasyonu, kuru ve diğer önemli unsurları çok iyi şekilde uygulamak gerekir (Akıllı, 2003).

• Bankette şerit boyu oturma ve ayrılmalar

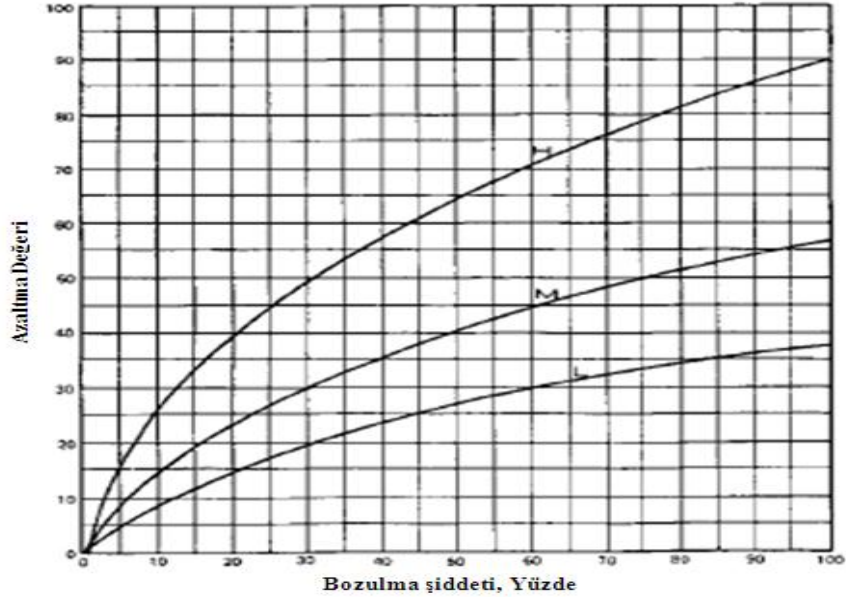
Bankette şerit boyu oturma ve ayrılmalar kabarma ya da konsolidasyonun neden olduğu derz ya da çatlaklarda yükseklik farkıdır. Çizelge 3.4, pist, taksi yolu ve apronlarda oluşan bankette şerit boyu oturmaların şiddet düzeylerini, şekil 3.60, düşük ve orta derecede bankette şerit boyu oturma ve ayrılmaları, şekil 3.61 ise bankette şerit boyu oturmalar ve ayrılmalar için azaltma değerlerini göstermektedir.

Çizelge 3.4. Pist, taksi yolu ve apronlarda oluşan bankette şerit boyu oturma ve ayrılmalar şiddet düzeyleri (UFC, 2001)

	Pist/Taksi Yolu	Apron
L	< ¼ in. (6,4 mm.)	1/8 ≤ 1/2 in. (3,2 – 12,7 mm.)
M	¼ - ½ in. (6,4 – 12,7 mm.)	½ - 1 in. (12,7 – 25,4 mm.)
H	> ½ in. (12,7 mm)	> 1 in. (25,4 mm.)



Şekil 3.60. Düşük ve orta derecede bankette şerit boyu oturma ve ayrılmalar (UFC, 2001)

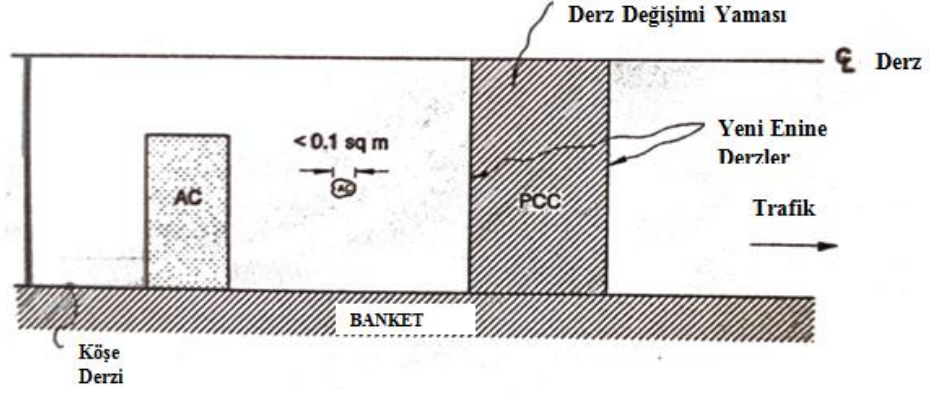


Şekil 3.61. Bankette şerit boyu oturmalar ve ayrılmalar için azaltma değerleri (UFC, 2001)

- **Yama**

Bir yama filler malzemesiyle yer değiştirmiş ya da ortadan kaldırılmış orijinal üstyapının bir bölümüdür. Bir faydalı kesik, alt tabakanın kullanılabilirliğinin bakımı için yapılan ya da yüklemeye oluşacak orijinal üstyapıyla yer değiştirmiş bir yamadır. Faydalı kesiklerin şiddetli seviyeleri düzenli yama yapımı için aşağıdaki

gibidir. Şekil 3.62, yama oluşumunu, 3.63 ise yama oluşumu için azaltma değerlerini göstermektedir (Shahin, 2002).



Şekil 3.62. Yama (SHRP, 1993)

Önemli Düzeyleri

L- Çok az bozulmayla ya da hiç bozulma olmadan yama işlevini uygun bir şekilde yerine getirir.

M- Yama orta seviyede bozulmalar gösterir ve/veya köşelerin etrafında orta seviyede parçalanmalar görülebilir.

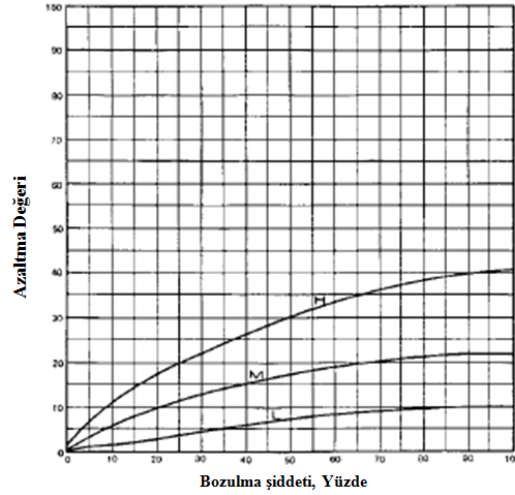
H- Yama kötü derecede bozulmuştur. Bozulmanın genişlemesi plağın değişmesini garanti eder.

Onarım Şekilleri

L- Hiçbir işlem yapılmaz.

M- Çatlak doldurma, yama değişimi

H- Yama değişimi (Shahin, 2002)



Şekil 3.63. Yama oluşumu için azaltma değerleri (UFC, 2001)

- **Pompaj etkisi**

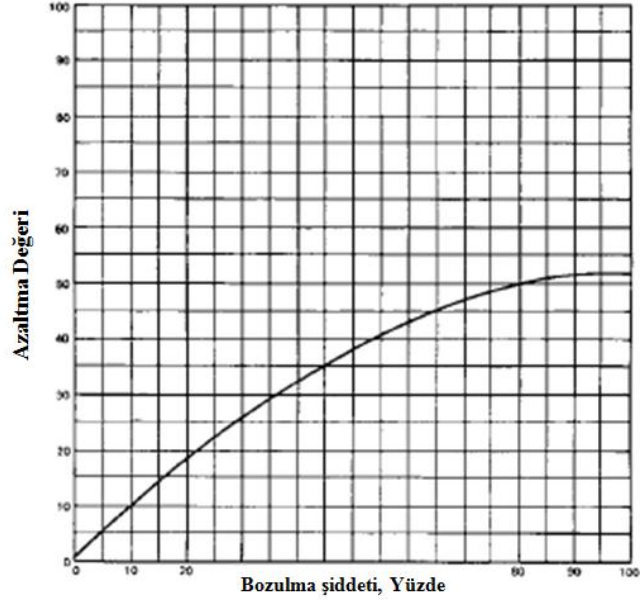
Sızma ya da fişkıma şeklinde suyun çatlaklardan ya da arızalı derzlerden trafik etkileri nedeniyle alt tabakadan yukarıya çıkmasıdır. Bazı durumlarda ince tortu malzemeleri alt tabakadan su ile birlikte çıkararak çatlak, derz ve banket etrafında yüzeyi lekelemesi ve tozlandırması şeklinde de görülebilir. Bu bozulmanın şekli alt tabakadaki su muhtevasına bağlıdır. Bu olay, hareket eden yükler altında kaplamının yukarı aşağı doğru hareketiyle birlikte, çok ıslak kum, kil ve siltin pompalanarak yukarı yani yüzeye çıkması şeklinde gerçekleşmektedir. Pompaj etkisi beton kaplamada birçok hasara yol açmaktadır. Yüzeyin ıslanması ve tozlanması gibi etkiler dışında alt temelde erozyona sebep olarak alt temelin taşıyıcı özelliğini azaltıp alt temelin düzgünlüğünü de bozmaktadır. Bu olayı aşama aşama anlatmak gerekirse, su, bozulmuş derzlerden ve çatlaklardan alt tabakaya sızarak alt tabakada hapsolmektedir. Trafik etkisi ile su, yaklaşım plağının altından önündeki geçiş plağının altına sızar. İnce malzemelerde bu bloğun altından su içerisinde girmektedir. Tekerlek yükü öteki bloğa geçtiğinde su ve su içerisindeki kum, kil ve silt gibi ince malzemelerde hızlı bir şekilde yaklaşım bloğunun altına geçer. Geçiş çok yüksek basınçta ve çok hızlı bir şekilde oluştuğu için su ve ince malzemelerin bir kısmı derzden ya da kırıklıklardan yüzeye fişkıyarak çıkar ve pompaj etkisi meydana gelmiş olur. Şekil 3.64, pompaj etkisini, 3.65 ise pompaj etkisi için azaltma değerlerini göstermektedir (Özerdoğan, 2005).

Bozulmanın Sebepleri

- Beton kaplamanın porozitesinin yüksek olması
- Yalıtımını kaybetmiş derzlerden ve çatlaklardan alt temele suyun sızması
- Alt temel malzemesinin çok ince malzemedan oluşması
- Alt temel yüzey ve drenajının yetersiz olmasıdır (Akıllı, 2003).



Şekil 3.64. Pompaj etkisi (Akıllı, 2003)



Şekil 3.65. Pompaj etkisi için azaltma değerleri (UFC, 2001)

- **Patlama oluşumu**

Patlamalar sıcak havalarda genellikle beton plağın genişlemesine yeteri kadar izin vermeyen derz ya da enine çatlaklarda oluşur. Bu yetersiz genişlik genellikle sıkışmayan malzemelerin derz boşluklarına sızmasından kaynaklanmaktadır. Genişleme yeteri kadar basınca ulaşamadığında plak köşelerinin bölgesel yukarı doğru hareketi ya da tahrip olması şeklinde oluşur. Patlamalar faydalı kesikler ve drenaj girişlerinde de oluşur. Bozulmanın bu şekli uçak için zarar verme potansiyeli olduğu için hemen tamir edilmektedir. Şekil 3.66, patlama oluşumunu, 3.67 ise patlama oluşumu için azaltma değerlerini göstermektedir.

Şiddet düzeyleri

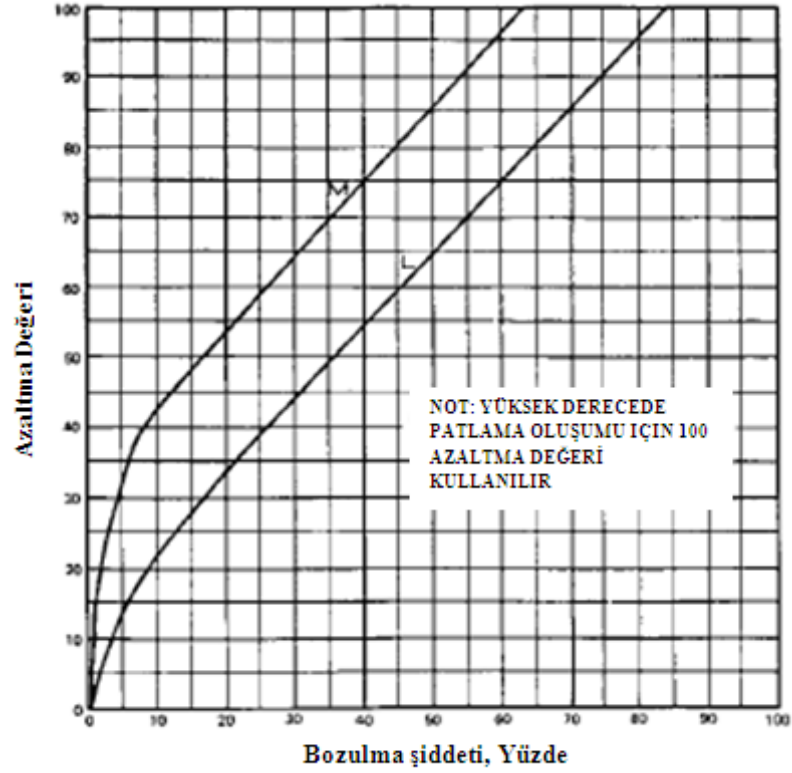
L – burkulma ya da sızma üstyapıyı tamamen etkisiz kılmaz ve sadece hafif miktarda düzgünlük meydana gelir.

M – burkulma ya da sızma üstyapıyı tamamen etkisiz kılmaz fakat belirgin miktarda düzgünlük meydana gelir.

H - burkulma ya da sızma üstyapıyı tamamen etkisiz kılar.



Şekil 3.66. Patlama oluşumu

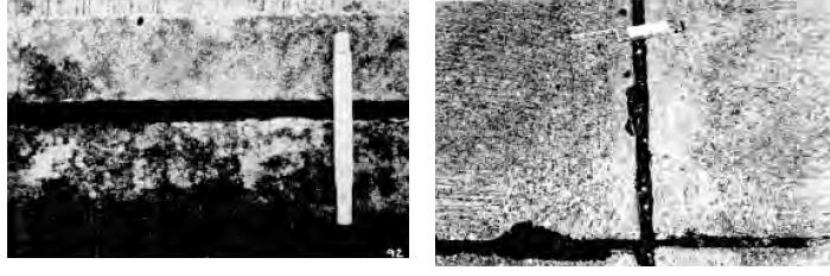


Şekil 3.67. Patlama oluşumu için azaltma değerleri

- **Derz dolgu bozulmaları**

Derz dolgu bozulması suyun fark edilir derecede sızmasına izin vermek ya da derzlerde toplamak için toprak ya da kayaların oluşmasına izin veren her durumda oluşmaktadır. Sıkıştırılmayan malzemelerin birikmesi plağın genişlemesini önler ve burulma, bozulma ya da dökülmelerle sonuçlanabilir. Plağın kenarlarına bağlı bükülebilir derz dolgusu derzi malzemelerin dolmasından korur ve aynı zamanda suyun aşağı sızmasını önler ve plağı destekleyen temeli yumuşatır.

Derz dolgu bozulmasının tipik çeşitleri dolgu malzemesinin sıyrılması, dolgu malzemesinin yerinden çıkması, yabancı otların büyümesi, dolgu malzemesinin sertleşmesi (oksidasyon), plak kenarlarındaki bağlantının kaybı ve derz dolgu malzemesinin eksikliğidir. Şekil 3.68, orta ve yüksek derecede derz dolgu bozulmalarını göstermektedir (UFC, 2001).



Şekil 3.68. Orta ve yüksek derecede derz dolgu bozulmaları

L - Derz dolgusu genellikle üstyapı boyunca iyi durumdadır. Dolgu malzemesi iyi performans gösterir sadece küçük miktarda yüzeysel bozulmalar vardır.

M - Derz dolgusu genellikle üstyapı boyunca kötü durumdadır bir ya da daha fazla miktarda bozulma meydana gelir. Dolgu 2 yıl içinde değiştirilmeye ihtiyaç duyar.

H – dolgu malzemesi genellikle üstyapı boyunca zayıf durumdadır. İleri düzeyde bir ya da daha fazla bozulma meydana gelir. Dolgu acil olarak değiştirilmelidir. Derz dolgu bozulması bozulmanın şiddetine göre oranlanmaz. Bozulmanın şiddeti her bir bölge için dolgunun tüm durumuyla belirlenir. Bozulma şiddetinin üç düzeyi için azaltma değerleri;

1. Yüksek Düzey – 12 Puan
2. Orta Düzey – 7 Puan
3. Düşük Düzey – 2 Puan (UFC, 2001).

3.1.1.7. Havaalanı üstyapıları için B&R yöntemleri

Üstyapı rehabilitasyonu bir bilim olduğu kadar aynı zamanda da bir sanattır. Üstyapı rehabilitasyonu için “doğru” ve “yanlış” çözüm yoktur, “daha iyi” ve “optimum” çözümler vardır. Faydayı maksimize ederken maliyeti minimize eden “optimum” çözüm, kısıtlar (örneğin sınırlı sermaye) nedeniyle her zaman mümkün olmayabilir. Bununla beraber, ekonomik, diğer arzu edilen niteliklere sahip ve mevcut kısıtları karşılayan çözüm “tercih edilen” bir çözüm olacaktır. Mühendis, verilen özel durumlar ve sınırlamalara göre en “tercih edilen” rehabilitasyon yöntemini kendine göre belirlemekle yükümlüdür. Tercih edilen çözümün seçimi çok kompleks bir

mühendislik problemi olmasına karşın, rehabilitasyon çözümlenmesi adım-adım yaklaşım kullanılarak daha kolay yapılabilir. Bu yaklaşımın temelleri; üstyapı problemleri veya bozulmalarının sebeplerinin belirlenmesi, olası çözüm listesinin geliştirilmesi ve rehabilitasyon yönteminin seçim gereksinimlerini esas alır (Terzi, 2004).

Beton yolda meydana gelen çeşitli tipteki bozulmaları gidermenin ilk yolu, hiç kuşkusuz bu bozulmaların oluşmasına olanak vermemektir. Bunun için de iyi bir projelendirme, çeşitli kontrollerden geçmiş ve uygunluğu sağlanmış malzeme temini, çeşitli idari birimler arası koordinasyon, iyi, ciddi ve kontrollü bir inşaat ve imalat ve nihayet istenen nitelikte bir koruma gereklidir. Yine de tüm bu safhaların istenen biçimde gerçekleşmiş olmasına karşın, beton yolda belirli bozulmalar görülebilir ve doğal olarak yukarıda sayılan safhaların en az bir veya bir kaçındaki zayıflığın da belirli bozukluklara yol açacağı açıktır. Bu nedenle bir beton yolun inşası kadar onun bakım ve gerekiyorsa onarımı da, yolun hizmet ömrünü etkilemektedir (Ağar vd., 1998).

Etkili bir kaplama bakımı yönetimi programı uygun koruyucu ve kaplama bakımının zamanında yapıldığından emin olunmasını sağlayacak prosedürleri belirtir. Havaalanı sponsorları kendilerine en uygun herhangi bir formatı kullanabilirler, ama programda en azından aşağıdakiler bulunmalıdır (DLH, 2007):

1. Meydan Verileri

Aşağıdakiler uygun bir formda ve detaylı bir şekilde tarif edilmiş olmalıdır:

- a. Pistlerin, araç yollarının ve apronların yerleri
- b. Boyutlar
- c. Kaplama türü
- d. İnşaat yılı veya en yakın önemli bakım-onarım tarihi
- e. Kaplamanın inşası, yeniden inşası veya onarımı sırasında kamu finansal yardımı alıp almadığı, tarif edilmelidir (DLH, 2007).

2. Muayene Çizelgesi

a. Sürekli Muayene. Kaplama durumundaki beklenmeyen değişiklikleri yakalayabilmek için ayda en az bir kere kaplamada araç kullanarak inceleme yapılmalıdır.

b. Detaylı Muayene. Eğitimli personel havaalanı kaplamanın detaylı bir muayenesini yılda en az bir kere yapmalıdır. ASTM D 5340, Havaalanı Kaplama durumu İndeks Tetkikleri için Standart Test Yöntemi'nde belirtilen türde bir Kaplama Durumu İndeksi (PCI) formunda bir kaplama bozulması kaydı bulunuyorsa, muayene sıklığı 3 yıla kadar çıkabilir (DLH, 2007).

3. Kayıtların Saklanması

Havaalanı incelemelerin ve gerçekleştirilen bakımların detaylı bilgisini kaydetmeli ve en az 5 yıl boyunca saklamalıdır. Sorunların türleri, yerleri ve önleyici eylemler, planlanan veya gerçekleştirilmiş mutlaka kayıt altına alınmalıdır. Kaydedilmesi gereken en az bilgi aşağıda listelenmiştir (DLH, 2007):

a. İnceleme Tarihi

b. Yeri

c. Sorun türleri

d. Planlanan ya da gerçekleştirilen onarım çalışmaları

Araç kullanarak yapılan incelemelerin kayıtlarında muayene tarihi ve varsa gerçekleştirilen bakım belirtilmelidir (DLH, 2007).

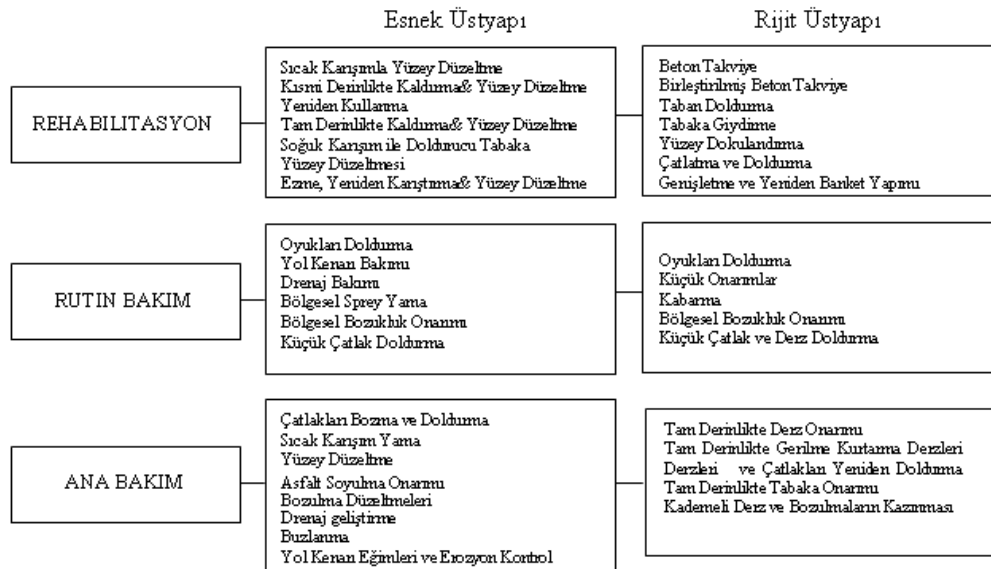
4. Bilginin Ulaşılabilirliği ve Kayıtların Tutulması

Havaalanı sponsorları kaplama incelemesi sırasında oluşturulan bilgi ve kayıtlar DLH yetkililerin her an erişebileceği şekilde kendilerine uygun gelen kayıt saklama yöntemini kullanabilirler.

DLH yetkilileri bütün muayenelerin ve gerçekleştirilen bakımların tam bir kaydını hazırlamalı ve saklamalıdır. Bu kayıtlar mevcut sorun türlerini, bunların yerlerini, olası nedenlerini, çözümlerini ve düzenli muayene ve bakımın sonuçlarını

belgelemelidirler. Ayrıca dosyalarda sorun çıkması muhtemel alanlarla ilgili bilgi ve önleyici ve düzeltici faaliyetlerin tanımları bulunmalıdır. Bütün bakım ve onarım işlerinde kullanılan malzeme ve ekipman kayıtları da gelecekte referans olabilmeleri için dosyalarda bulunmalıdır. Bu kayıtlar daha sonra malzeme ve çözüm önlemlerinin kolayca bulunabilmesini sağlayarak bakım maliyetlerinin düşmesini ve kaplamanın kullanılabilirliğinin gelişmesini sağlayacaktır (DLH, 2007).

Şekil 3.70, Ontario Ulaştırma Bakanlığı (MTO) tarafından kullanılan bakım ve rehabilitasyon seçeneklerinin listesini göstermektedir. Mevcut bakım ve rehabilitasyon seçeneklerinin açıkça tanımlanması, mevcut stratejilere ilave yapmak veya silmek, ve mevcut şartlardan en uygununa karar vermek önemlidir. Böylece öncelik programlaması süreci etkili bir biçimde uygulanabilir (Terzi, 2004).



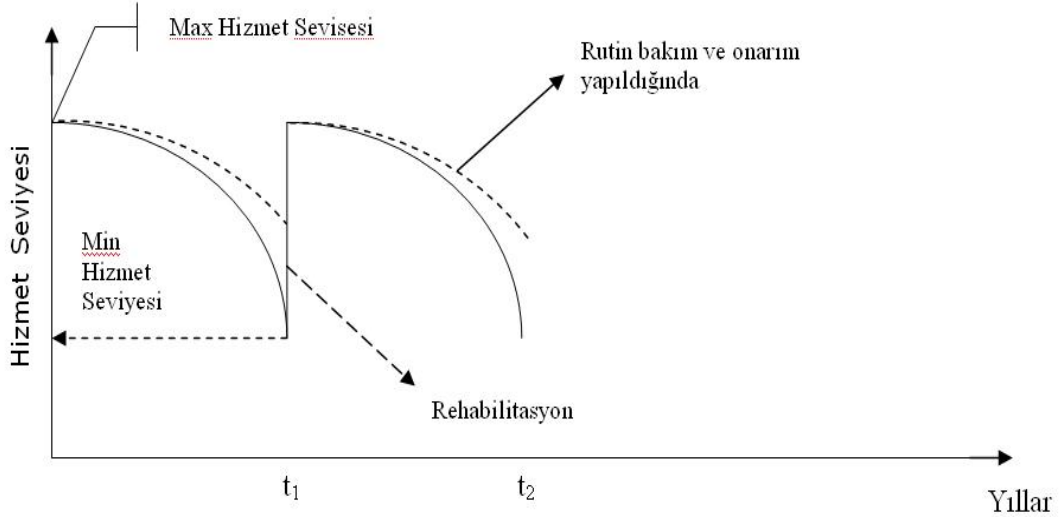
Şekil 3.70. Ontario’ da kullanılan rehabilitasyon ve bakım seçenekleri (Terzi, 2004)

a) Sınırlandırılmış B&R

- Takviye Tabakaları

Yolun trafiğe açıldığında kaplamanın performansı en üst düzeyde iken zamanla tekerrür eden trafik yükleri ve çevre koşulları ile performansı gittikçe azalır.

Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi, belli periyotlarda rehabilitasyona yani takviye tabakalarına ihtiyaç duyarlar. Şekil 3.71, yolun performans eğrisini göstermektedir (Anonim).



Şekil 3.71. Yolun Performans Eğrisi (Anonim)

Üstyapılar maruz kaldığı ağır trafik yoğunluğu yüzünden üstyapı üzerindeki kaplamalarda yaygın birçok bozulma gözlenebilir. Takviye tabakası türüne bağlı olarak ve uygulanmış olan temel kaplaması dört şekilde uygulanır (Anonim).

- Asfalt Kaplama Üzerine BSK (Bitümlü Sıcak Kaplama) Takviye Tabakası

BSK takviye tabakası, asfalt kaplamaya en sık uygulanan kaplama türüdür. Bu kaplama türünün tasarımı, mühendislerin mekanik ve ampirik işlemleri kullanışlarına göre farklılık gösterir. Eğer takviye tabakasından önce kaplama düzgün ve uygun bir biçimde tamir edilir ve uygulanırsa, elverişli bir tasarımla başarıya ulaşılır (Anonim).

- PCC (Portland Cement Concrete) Kaplama Üzerine BSK (Bitümlü Sıcak Kaplama) Takviye Tabakası

PCC kaplamalar üzerine uygulanan BSK takviye tabakası çok yaygın olarak kullanılmasına rağmen mekanik özelliklerinin analizi çok zordur. Çünkü iki farklı tip malzeme içermektedir. Teorik olarak PCC alt tabakası üzerine uygulanan BSK takviye tabakası uygulanırken sonlu plak metodu kullanılmaktadır. Buna rağmen bu

metodun çatlak bulunan beton alt tabakada uygulanması zordur. Eğer plağın kenarındaki gerilme faktörü ve köşe yüklemeleri biliniyor ise bu tip kaplamalarda elastik katman programı kullanılarak analiz edilip uygulanabilir.

PCC alt tabakası (Portland çimento tabakası) üzerine uygulanan BSK takviye tabakasındaki en temel problem yansıma çatlaklarıdır. Bazı metotlar kullanılarak bu tip yansıma kırılmaları en aza indirilebilir (Anonim).

- Çatlat Sıkıştır Metodu

Mevcut beton kaplamanın uygun kırıcılarla belirli bir miktar kırıldıktan sonra ağır pnömatik silindirlerle iyice sıkıştırılarak üzerine yapılacak takviye tabakasında yansıma çatlaklarını önlemek ya da geciktirmektir.

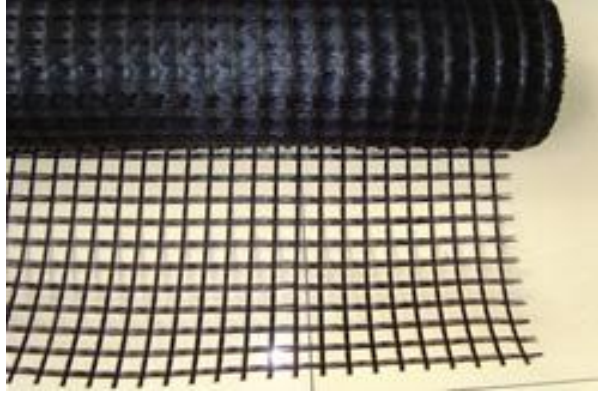
Bunun için hidrolik veya pnömatik olarak çalışan kırıcılar ile beton kaplama 115 ile 155 cm² büyüklükte olacak şekilde kırılır. Beton kaplamalarda kırılmış parçalar en az 30 cm, en çok 90 cm olması önerilmektedir. Şekil 3.72'de çatlat sıkıştır metodunun uygulanışı görülmektedir (Anonim).



Şekil 3.72. Çatlat sıkıştır metodunun uygulanışı (Anonim)

- Gerilmeleri Absorbe Edebilen Tabakaların Kullanılması (Geotekstil)

Güler (2006), bilindiği gibi asfalt tabakası birbiri üzerine farklı zamanlarda serilen bitümlü temel, binder ve aşınma tabakalarından oluştuğunu belirtmiştir. Bu malzemeler kendi içlerinde bağlayıcılıkları dolayısı ile homojen bir malzeme özelliği taşımaktadır. Ancak üzerlerine tekerlek yükü etkidiğinde düşey yükleri aşağı tabakalara doğrudan aktarmalarına rağmen bunların her birisini bir kiriş gibi düşündüğümüzde tabakanın üst seviyelerinde basınç gerilmeleri alt seviyelerinde ise çekme gerilmeleri meydana gelmektedir. Özellikle aşınma ve temel tabakalarının 5 – 10 cm gibi ince tabakalar olduğu göz önünde tutulduğunda bunların alt kesimlerinde meydana gelen çekme gerilmeleri önemli olmaya başlamakta ve tekrarlı yükler ve zaman etkisi ile çekme gerilmesinin etkisindeki bu bölgelerde çatlaklar oluşmaya başlamakta, bu ise uzun vadede giderek asfaltın tamamen tahrip olmasına yol açmaktadır. İşte bitüm emdirilmiş geotekstil uygulaması iki katmanın birbirine bağlanmasına yol açmakta ve adeta bu iki tabaka arasında kayma meydana gelmesini engelleyerek atalet momenti açısından alt ve üstündeki tabakanın beraber çalışmasını sağlamaktadır. Bu durumda şüphesiz ki örneğin 5 cm kalınlığındaki aşınma tabakası ve 7 cm kalınlığındaki binder tabakası ayrı ayrı çalışmayacaklar, tekerlek yükü altında adeta 12 cm kalınlığında bir kiriş olarak çalışacaktır. Bu durumda ise meydana gelecek çekme gerilmeleri çok daha küçülecektir. Bu durumu basit bir örnekle şöyle açıklayabiliriz. Ufak bir engeli aşmak için karşıdan karşıya bir ahşap kalas uzattığımızda bunun taşıyabileceği bir yük vardır. Eğer iki kalas üst üste koyarsak atalet momentini ikiye katlamış oluruz ve sistem iki misli yük taşır. Ancak bu iki kalası çiviler ile birbirine çakar ve dolayısı ile iki kalasın birbirine göre kaymasını engellersek atalet momentini tek lataninkinin 8 misline çıkartmış oluruz ki bu da iki latanın birlikte artık iki kat değil sekiz kat yük taşıyabileceği anlamına gelir. İşte bitüm emdirilmiş geotekstil de asfalt tabakalarının birbirleri üzerinde kaymasını engelleyerek taşıma gücünü son derece de artırmaktadır. Şekil 3.73’de geotekstil görülmektedir (Yılmaz, 2007).



Şekil 3.73. Geotekstil (Yılmaz, 2007)

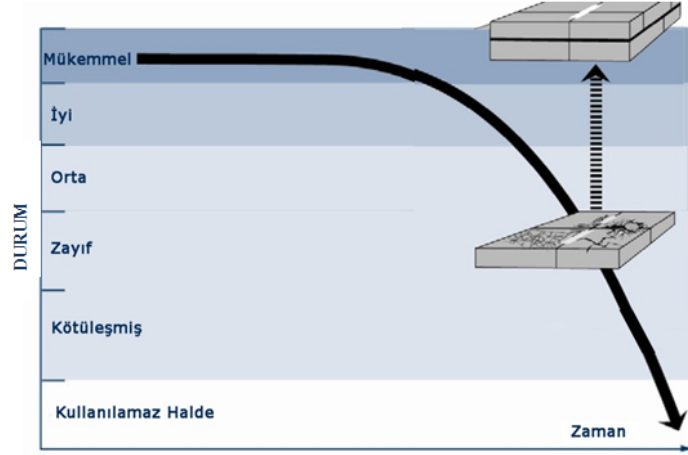
- Asfalt Kaplama Üzerine PCC (Portland Cement Concrete) Takviye Tabakası

Pek yaygın olmayan kaplama türüdür. Ama Birleşik Devletler ve bazı ülkeler bu sistemi sağlıklı bir biçimde uygulamaktadır. Bu sistem dikey olarak uygun olan alanlar için uygulanmaktadır. Eğer asfalt kaplama malzemesi şiddetli bir hasara uğramış ya da sadece PCC kaplaması için temel kaplaması olarak kullanılabilirse uygun bir maliyetle uygulanabilir. Bu uygulamanın tasarım işlemleri, hem yeni temel tabakası üstüne kaplama için hem de önceden yapılmış olan temel tabakası üstüne kaplama için aynıdır. Yansıma çatlaklarına önlem olarak üst kaplama tabakası yapılmadan asfalt temel tabakasında bulunan büyük çatlaklar onarılmalı ve sıkıştırılmalıdır (Anonim).

- PCC Kaplama Üzerine PCC Takviye Tabakası

Bağlayıcısız Takviye Tabakası

Genellikle temel tabakasında şiddetli çatlaklar bulunduran alanlara uygulanır. Kaplama tabakasını uygulamaya başlamadan önce temel tabakasındaki arıklar temizlenir. Yansıma çatlaklarını önlemek için yeni takviye tabakası ve bulunan temel tabakası arasına en az 51 mm kalınlığında HMA ya da kum asfalt döşenir. Uygulanacak bağlayıcısız takviye tabakasının kalınlığı 250-300 mm arasında değişir. Şekil 3.74, bağlayıcısız takviye tabakasının uygulama zamanını, 3.75 ince BSK serilmesinden sonra PCC takviye tabakasının serilmesini, 3.76, PCC takviye tabakasının serilmesinden sonraki durumu ve 3.77, uygulanan PCC takviye tabakasının yüksekliğini (30 cm) göstermektedir (Anonim).



Şekil 3.74. Bağlayıcısız takviye tabakasının uygulama zamanı (Anonim)



Şekil 3.75. İnce BSK serilmesinden sonra PCC takviye tabakasının serilmesi (Anonim)

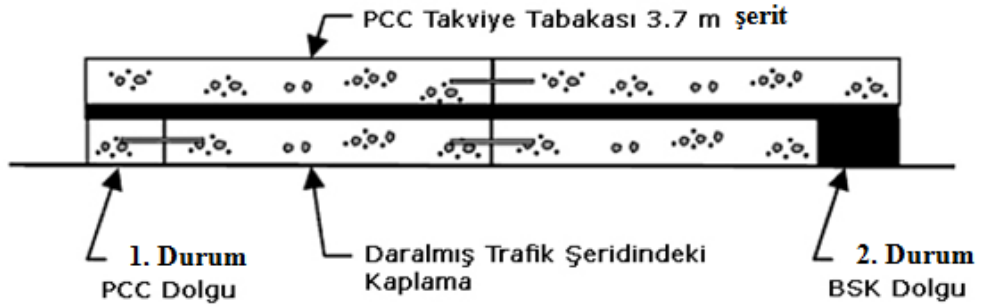


Şekil 3.76. PCC Takviye Tabakasının serilmesinden sonraki durum (Anonim)



Şekil 3.77. Uygulanan PCC Takviye Tabakasının yüksekliği (30 cm) (Anonim)

Eğer önceki kaplama tabakası aşırı yıpranmadan dolayı daralmış ise; yolu genişletmek için ya da takviye tabakası yapımı ile yolun yüksekliği artacağı için şerit kenarlarına PCC veya BSK dolgular yapılmalıdır. Şekil 3ç78’de PCC ve BSK dolgu tabakaları görülmektedir (Anonim).



Şekil 3.78. PCC ve BSK Dolgu (Anonim)

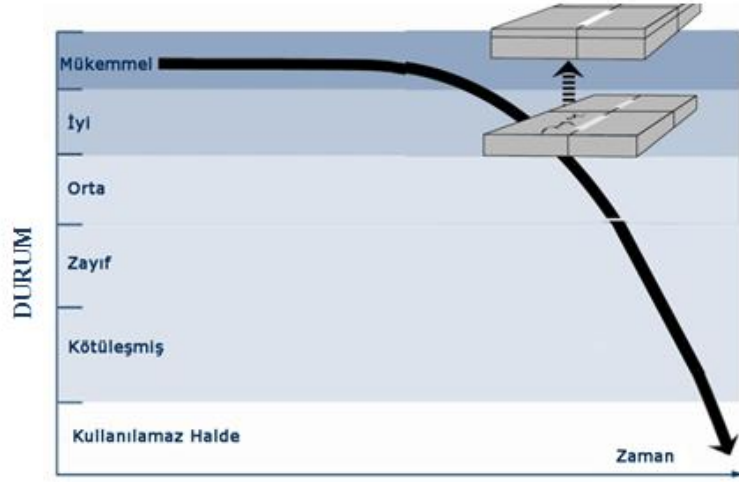
Bağlayıcı Takviye Tabakası

Bağlayıcı takviye tabakası ancak iyi durumda olan temel tabakaları ya da bozuklukları giderilmiş temel tabakalarında uygulanır. Bu kaplama türü çok hassas olacağı için döşenmeden önce temel tabakası, etki edecek bütün zararlı malzemelerden (yağ, boya, gres) arındırılmış olmalıdır. Sonra bu temizlenmiş ve nemden arındırılmış katman üzerine ince bir çimento serilir. Bu işlemden sonra çimento üzerine viskozitesi düşük sıvı bir reçine bağlayıcı olarak kullanılabilir. Bağlayıcı reçine serilmesinden sonra takviye tabakasının serim işlemi yapılır.

Çizelge 3.5, otoyollar ve havaalanları için takviye tabakası kalınlıklarını göstermektedir, Şekil 3.79 ise Bağlayıcı takviye tabakasının uygulama zamanını göstermektedir (Anonim).

Çizelge 3.5. Takviye tabakası kalınlıkları

	Takviye tabakası kalınlıkları
Otoyollarda	75-100 mm
Havaalanlarında	150 mm ve üstü

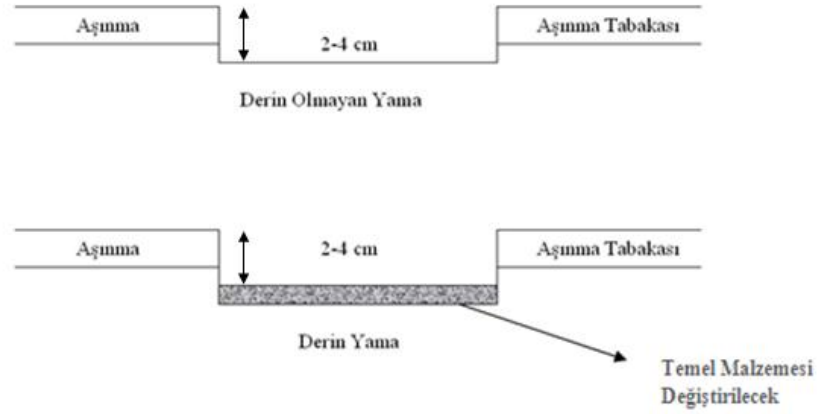


Şekil 3.79. Bağlayıcı takviye tabakasının uygulama zamanı (Anonim)

b) Genelleştirilmiş B&R

- Bölgesel Yama

Deformasyonun durumuna göre yama için çukur açılır. Bozuk yerler dikdörtgen şeklinde dik olarak kesilir ve o tabaka oradan çıkartılır. Yama çukuru süpürge ve basınçlı hava ile temizlenir. Kesilen yerin tabanına yapıştırma tabakası yapılır. Sıcak bitümlü karışım yama çukuruna doldurulur. Ahşap gelberiler ile sıcak bitümlü karışım tesviye edilir. Kompaktör ile yama dar yönde sıkıştırılır. Şekil 3.80 bölgesel yamayı, 3.81 ise kompaktör ile sıkıştırma işlemini göstermektedir (Anonim).



Şekil 3.80. Bölgesel yama(Anonim)



Şekil 3.81. Kompaktör ile sıkıştırma

- Çatlakların Onarımı

Eğer çatlak genişliği 0.3 mm den küçükse onarılması imkansızdır. Eğer çatlak 0.3 ile 3 mm arasında ise basınçlı hava ile temizlendikten sonra boşluklar MC-30 katbek asfalt ile doldurulur. Eğer çatlaklar daha da geniş ise; kumla karıştırılmış ve sulandırılmış asfalt emülsiyonu ile doldurulup üzerine çok ince kum serilip kurduktan sonra süpürülür (Anonim).

- Çatlak Azaltıcı Tabaka Kullanımı

- Püskürtme Uygulaması

Bu teknik, bir distribütör (dağıtıcı) kullanılarak mevcut üstyapımın yüzeyine ince bir bitüm tabakası (her yard kare alana 0.03 ile 0.05 galon) püskürtülmesidir. Bu yöntem, su geçirimsizliği artırmak ve ayrışmayı azaltmaya yardımcı olmak amacıyla

asfalt betonu üstyapının ömrünü uzatmak için kullanılır. Püskürtme uygulaması, özellikle trafiğin olmadığı veya az olduğu üstyapıların bakımı için iyi bir yöntemdir. Şekil 3.82’de bu uygulama görülmektedir. Asfalt betonu üstyapılar trafik olmadığında, ağır veya orta derecede trafiğin bulunduğu üstyaplardan daha çabuk serleşme ve ayrışma eğiliminde olur (SHRP, 1993).



Şekil 3.82. Püskürtme Uygulaması (SHRP, 1993)

Bu malzeme uygulamadan önce 150 °F sıcaklığına getirilir. Bir püskürtme uygulaması, çevre sıcaklığı 40 °F’nin üzerinde olduğunda yapılır. Emülsiyon çabucak kırılabacağı için, daha yüksek sıcaklıklar arzu edilir. Üstyapı, malzemenin kürüne izin verebilmek amacıyla 12 ile 24 saat arasında trafiğe kapatılır.

Asfalt emülsiyon doğrudan veya bir birim malzemeye on birim su katılarak uygulanabilir. Normal uygulama bir birim malzemeye dört birim su katılarak seyreltilmesidir (TRB, 2000).

– İnce Karışım Uygulaması

Bu teknik, iyi derecelenmiş agrega su ve mineral fillerden oluşan asfalt emülsiyon karışımının ince bir tabaka şeklinde uygulanmasıdır.

Derzli üstyapılarda, kayma direnci veya yüzey sızdırmazlığı sağlamak için kullanılır. İnce karışım uygulaması, küçük çatlakları (genişliği 1/8 inçten küçük) doldurur. Daha büyük çatlaklar, bu uygulamadan önce bireysel uygulamaları gerektirir. Bu ince karışım uygulaması, orta veya düşük trafik hacmine sahip üstyapılar için en uygun çözümdür. Şekil 3.83’de ince karışım uygulaması görülmektedir (TRB, 2000).



Şekil 3.83. İnce Karışım Uygulaması (TRB, 2000)

Bir sürekli karışık ince karışım makinesi, yayıcı ve pnömomatik-lastikli silindiri bu uygulama için kullanılır. İnce karışım tabaka genellikle $\frac{1}{4}$ inç kalınlıkta olur. Bu uygulama, çevre sıcaklığı 60°F 'ın üzerinde olduğunda ve yağmur tehlikesi olmadığında uygulanır. Kür işlemi, soğuk havalarda ve ıslak durumlarda yavaşlatılır veya durdurulur. Yeni polimer sistemleri sayesinde, ince karışım uygulamadan sonra 45 dakika içinde yol trafiğe açılabilir (AASHTO, 1986).

– Kum Kaplayıcı Uygulaması

Hızlı serilen asfalt emülsiyon binder olarak kullanılır. Kaplayıcı agrega ise tek boyutta olabilir. Agregalar temiz ve kübik olmalıdır. Uzun agregaların kullanımı, asfalt içine agreganın batması ve kuma ile sonuçlanır. Şekil 3.84'de kum kaplama uygulaması görülmektedir (AASHTO, 1986).



Şekil 3.84. Kum Kaplama Uygulaması (AASHTO, 1986)

– Kısmi Derinlikte Yama

Kısmi derinlik onarımı veya kısmi derinlik yamasının amacı kaplama üzerindeki lokal bozulmaları düzeltmektir. Bu tarz bir onarım kaplamanın sürüş kalitesini geri kazandıracak, daha fazla bozulmayı önleyecektir. Kısmi derinlik onarımında beton yerine asfalt da kullanılabilir.

– Derz ve Çatlak Onarımı

Çatlakların izolasyonu nemin kaplama yapısına geçmesini engeller. Bu türden onarımlardan önce uygun şekillendirilmiş izolasyon maddesi kanalı oluşturulacaktır. Bu maddenin uygulanmasında hareketli ekipman yerine testereleler kullanılacaktır. Çünkü hareketli araçlar malzemenin temizlenmesi için mekanik darbeler kullanırlar ve kaplamada mikro çatlaklara yol açabilirler (DLH, 2007).

Çatlak doldurma genellikle, en maliyet etkili (ucuz) yöntemdir. Bu teknik 0.3 cm (1/8 inç)'den geniş enine ve boyuna çatlakları doldurmak için kullanılır. Çatlak doldurmanın başlıca amacı, yüzeyden üstyapı tabanına su akışına engel olmaktır. Üstyapının genel durumu iyi olduğunda bu tekniğin kullanımı en düşük maliyetli yöntemdir (Shahin, 2002).

Uzunlamasına, Enlemesine ve Çapraz Çatlaklar

Bu türden çatlakların onarımı için kullanılan yöntemler şunlardır:

- a. Dolgu macunu üreticisinin önerdiği genişlikte ve derinlikte bir kanal açılacaktır. Genişlik malzemenin kaplamada hareket ederken esneyip, büzülmesine izin verecek büyüklükte olmalıdır.
- b. Kumlama kanalın her iki tarafına da püskürtülecek ve sıkıştırılmış havayla kanalda kalan kum taneleri temizlenecektir. Kanal kuru olacak ve içinde toz, toprak ve macunun yapışmasını engelleyecek yabancı maddeler olmayacaktır.
- c. Kırıcıyla dolgu macunun uygulanacağı çatlak kanalı açılacaktır. Kırıcılar dolgu macununun çatlağın tabanına bağlanmasını engellemek için zorunludur. Yanlış bağlanma dolgu macununun genişlemesini ve daralmasını sınırlar ve olası sorunlara yol açabilir.

d. Kanal macunla doldurulup, kaplama yüzeyinin yaklaşık ¼ inç (6 mm) derinliğine yerleştirilecektir. Kaplama yüzeyinde artan macun çatlağın izolasyonuna yardımcı olmaz ve tekerlere ve kar temizleme araçlarına zarar verebilir, bu nedenle çatlak doldurulduktan sonra artık malzemeler kaplamadan temizlenecektir (DLH, 2007).

Köşe Çatlakları

Yapısal gerilmeler nedeniyle onarımların tam derinlikte yapılması gerekir. Köşe çatlakları (iki kesişen derzin arasındaki düzlemin çatlaması), 19 mm den daha geniş parçalanmış çatlaklar, 38 mm den daha geniş ve/veya tipik olarak yapısal gerilmelerden kaynaklanan sorunları belirten alt temel desteğinin olmamasıyla ilişkili çatlaklardır. Bu türden çatlakların onarımı için aşağıdakiler yapılacaktır (DLH, 2007):

a. Yapılan derz yerleri testerelerle tam derinliğe kesilirler. Tam derinlikteki kesmeler çatlağın sınırlarının en az 60 cm ilerisine kadar yapılacaktır. Köşe çatlaklarında ise onarım alanı kare şeklinde olmalıdır.

b. Testere kesiğinin sınırlarındaki malzemeyi temizlemek için havalı pompa kullanılır. Kopan ve geride kalan parçalar elle temizlenir. Onarım sırasında alt temel toprağına veya taban malzemesine teması en aza indirmek gerekmektedir.

c. Onarım edilen düzlemin taban yükseltisindeki alt temel veya alt taban malzemeleri eski haline getirilir.

d. Trafığe paralel hizada dübeller kullanılır. Apronlarda ve trafiğin ek yerlerine eğri olduğu yerlerde derz yerinin her iki yüzünde de dübel kullanılır. Dübeller kaplama betonu delinerek ve dübele paralel yüzlerden en az bir dübel mesafeye konularak yerleştirilirler. Kesişen derz yerlerinin köşelerinde dübeller en az bir dübeli boş bırakacak şekilde yerleştirilecektir.

e. Onarım alanı tekrar betonla doldurulur, betonun onarımın sınırları içinde pekiştiğinden emin olmak gerekir. Pekişme sırasında onarım alanının çevresindeki mevcut beton yüzlere karışmamasına dikkat etmek gerekir.

f. Beton kuruduktan sonra doldurma tahtasını çıkartılıp, ek yeri macununu tekrar doldurulmalıdır (DLH, 2007).

“D” Çatlakları

Bu türden sorunlarda genellikle bütün katmanın onarım edilmesi gerekir çünkü “D” çatlağının onarım edilen alana bitişik yerlerde ortaya çıkması normaldir (DLH, 2007).

Çarpıklık

Çok pahalı değilse, yapıdan kaynaklananlar gibi bazı bozulma türleri katmanın orijinal kalitesine yükselterek düzeltilebilirler. Katman kaldırma teknikleri bu türden sorunları düzeltmek için kullanılabilir. Katman kaldırırken harç basınçla kaplamada açılmış deliklerden kaplamanın altındaki boşluklara pompalanır. Harç deliğine olan mesafe arttıkça yukarı doğru olan basınç da azalır. Sonuç olarak, katmanın bir kenarı bütün katmanı kaldırmadan yükseltilebilir (DLH, 2007).

c) Ana B&R

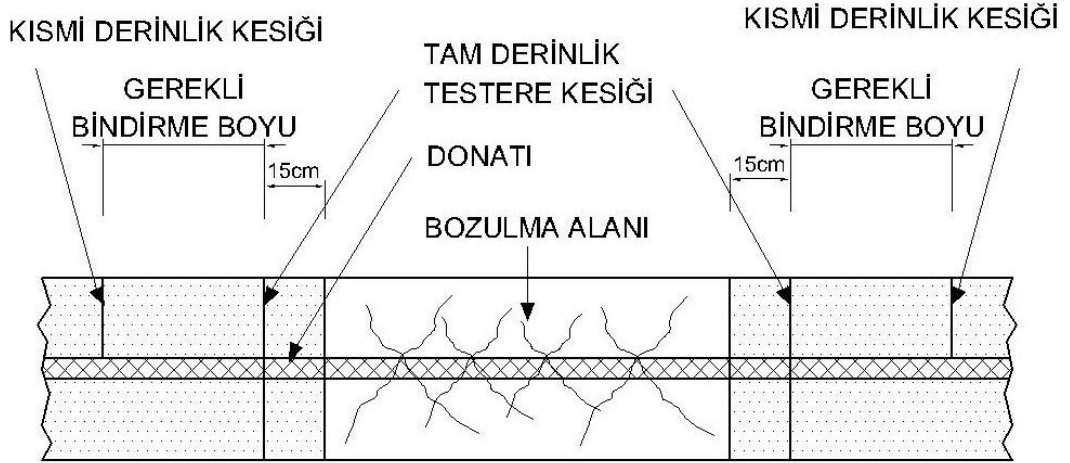
- Tam Derinlikte Yama

Kaplamanın normal bakım yöntemleriyle korunmasının artık mümkün olmadığı ve kaplamanın üzerine gelen yükleri artık taşıyamayacak kadar bozulduğu durumlarda tam derinlik onarımı veya tam derinlik yaması kaçınılmaz olur.

Sınırlar belirlenip işaretlendikten sonra elmas bir kesiciye sahip beton testeresi kullanılarak kesim işi yapılır. Oluşabilecek düzensiz derz kenarlarının ve kontrolsüz atmaların önüne geçebilmek amacıyla kompresör tarzı cihazların kullanımından kaçınılmalıdır. Beton testeresinin donatıları kesmesi çoğu zaman kaçınılmazdır. Bu nedenle yama boyutunun bindirme boyu kadar uzatılması gerekir.

Yama kenarları düzgün bir şekilde kesildikten sonra yama içinde kalan beton kaldırılmalıdır. Tam derinlik onarımı yapılırken beton yerine asfalt da kullanılabilir (Mazılıgüney, 2006).

Tüm üstyapı tiplerine uygulanabilen bu yöntem aynı zamanda yüksek maliyete sahiptir. Fakat yüksek maliyeti nedeniyle onarımı geciktirmek, daha yüksek maliyete ve daha hızlı bozulmaya neden olur. Şekil 3.85'te tam derinlik yaması uygulama sınırları görülmektedir (AASHTO, 1986).



Şekil 3.85. Tam derinlik yaması uygulama sınırları (Mazılığüney, 2006)

- Yeniden İnşaat

Bu yöntem, mevcut üstyapının kaldırılması ve yenisiyle değiştirilmesidir. Mevcut üstyapı aşırı derecede bozulduğunda ve ekonomik analiz değerlendirmeleri esas alındığında bu yöntem kullanılır. Bu işlem, yeni üstyapı tasarımı ve inşaatına benzer (Shahin, 2002).

3.1.1.8. Ekonomik değerlendirme ile bakım takviminin yönteminin belirlenmesi

Mühendislik ekonomisi ilkelerinin üstyapıları da içeren ulaşım projelerine uygulanması temelde iki düzeyde gerçekleşir. Birincisi, projenin fizibilitesi ve zamanlamasını belirlemek için gereksinim duyulan yönetim kararlarıdır; ikincisi, proje bir kere seçildikten sonra maksimum ekonomiyi sağlamak için gerekliliklerdir (Terzi, 2004).

a) Temel prensipler

Yaşam boyu maliyet analizinin amacı belirli bir zaman diliminde karşılıklı olarak ayrıcalıklı yatırım alternatiflerinin ekonomik etkililiğini değerlendirmek ve en etkili maliyet alternatiflerini belirlemektir. Bir üstyapı için uygun rehabilitasyon stratejisinin seçimi bu stratejinin seçiminin sonucunda katlanılacak olan fayda ve maliyetlerin tümünü göz önünde bulundurmalıdır. Bu fayda ve maliyetler farklı strateji alternatifleri arasında performans farklılıklarını yeterince uzun yansıtan zaman çerçevesinde tahmin edilmelidir. Bu zaman periyodu genellikle Analiz Periyodunu temsil eder. Analiz periyodu boyunca alternatifler arasındaki adil karşılaştırma bazı yaygın parasal ölçümler açısından ifade edilen birleşik maliyetleri gerektirir. Analiz periyodu boyunca farklı alternatiflerin fayda ve maliyetlerinin karşılaştırılması ve hesaplanması ise, yaşam boyu maliyet analizi olarak adlandırılır.

Servise açılacak yeni bir üstyapı ya da bir rehabilitasyon işlemi için gereken zaman dilimi dizayn periyodu olarak adlandırılır. Rehabilitasyon stratejisinin seçimi bağlamında performans periyodu terimini kullanmak uygun olmaktadır. Bazı rehabilitasyon işlemlerinde takviye tabakası gibi, belirli bir zaman periyodu için ya da trafik yükleme sayısında dizayn edilebilir fakat diğer işlemlerde elmas öğütme ya da alt drenaj tabakası güçlendirmede dizayn edilemez. Bir çok rehabilitasyon tekniği için tekniğin ömrünün en iyi tahmini alan performans gözlemlerinden ya da alan performans verilerinden geliştirilen ampirik modellerden gelmelidir. Böylece performans periyodu kavramı genellikle herhangi bir rehabilitasyon işleminin beklenen ömrünün dizayn edilip edilmeyeceğini kapsar.

Üstyapı rehabilitasyon stratejisi alternatiflerinin yaşam boyu maliyet analizi doğru yapıldığında analiz periyodu süresince en düşük maliyette istenen performansı sağlayarak en iyi değeri veren stratejinin belirlenmesine olanak sağlar. İdeal olarak geniş kapsamlı üstyapı rehabilitasyon stratejisi alternatiflerinin yaşam boyu maliyet analizi analiz periyodu süresince hem kullanıcılar hem de acenteler tarafından tahakkuk edilen sayılabilir maliyetlerin tamamını göz önünde bulundurur (Hall et al., 2003). Ancak yaşam boyu maliyet analizinde kolaylıklar gerektiren bu maliyetlerin

bazılarını hesaplamak zordur. Dahası, yaşam boyu analiz sürecinde bazı girdilerin nasıl hesaplanacağı konusunda görüş farklılıkları vardır. Her bir acente gerçekleştirilen yaşam boyu analizde istenilen karmaşıklık düzeyi hakkında ve analizde girdilerin tanımlanma şekilleri hakkında kendi seçimlerini yapmak zorundadır (Hall et al., 2003).

b) Üstyapı maliyetleri

Alternatif üstyapı stratejilerini ekonomik açıdan değerlendirmede düşünülebilecek en önemli maliyetler şunları içerir (Terzi, 2004) :

1. Yapımcı Kuruluş Maliyetleri:

- a) İnşaatın ilk yatırım maliyeti
- b) İnşaatın veya rehabilitasyonun gelecekteki maliyeti (kaplama, rehabilitasyon, yeniden inşa, vs.)
- c) Tasarım periyodu boyunca tekrar oluşan bakım maliyetleri
- d) Tasarım periyodu sonunda kurtarılan veya artan ücret dönüşü (negatif maliyet de olabilir)
- e) Mühendislik ve yönetim

2. Kullanıcı Maliyetleri

- a) Seyahat süresi maliyeti
- b) Taşıt işletme maliyeti
- c) Kaza maliyeti
- d) Yüzey yenileme ve büyük bakımlar süresince seyahat süresi gecikmesi ve ek taşıt işletme maliyetleri

3. Kullanıcı ile ilgili olmayan maliyetler

- a) Hava kirliliği
- b) Ses kirliliği
- c) Çevre bozulmaları

c) Üstyapı faydalarının belirlenmesi

Ulaşım projesinin faydaları, doğrudan veya dolaylı maliyet iskontolarından ve arazi kullanımından oluşabilir. Önceki kısımda listelendiği gibi, üstyapı faydaları, birincil olarak, kullanıcının ulaştırma maliyetindeki direkt iskontosundan sağlanır. Aynı zamanda, faydayı ek yol kullanıcı vergileri olarak düşünmek de mümkündür. Bu kabul, bütün bir karayolu projesine uygulanabilir olmasına karşın, ek enerji tüketimi anlamında da sorgulanabilir. Bunun bazı eksiklikleri vardır ve üstyapılar için önerilmez.

Üstyapı faydalarını ölçmek ve hesaplamak için, taşıt işletmesi, seyahat süresi, kaza ve konfor bozukluğunun kullanıcı maliyetlerine etki edecek olan üstyapı karakteristiklerini açıklamak gereklidir. Bunlar, hizmet yeteneği, kayganlık, görünüm, renk, ışık yansıtma karakteristiği olabilir. Yine de, hizmet yeteneği (taşıt işletme maliyetini, seyahat süresi maliyetini, kaza maliyetini, konforsuzluk maliyetini etkilediği için) ve kayganlık (kaza maliyetlerini etkilediği için) en büyük etkiye sahiptir.

Hizmet yeteneği düştükçe, seyahat süresi maliyetleri artar. Çünkü ortalama seyahat hızı lineer olmayan biçimde düşer. Rehabilitasyon esnasında trafik gecikmelerinden dolayı, yüksek seyahat süresi maliyeti oluşur.

Kullanıcı maliyetlerinin diğer üç bileşeni önemli bir noktaya işaret eder: Üstyapı hizmet yeteneği bitiş düzeyine yaklaştıkça, kullanıcı maliyeti artar.

Proje değerlendirme amacıyla faydaları belirlemede, mevcut trafiğin mi yoksa aktarılan trafiğin mi dikkate alınacağı sorusu düşünülmelidir. Genellikle, bu sorun kendi başına üstyapıdan ziyade, bütün karayolu projeleri ile ilgili olarak ortaya çıkar. Bununla beraber, üstyapı gelişiminin kendiliğinden, mevcut veya aktarılan trafik ile sonuçlanabileceği olasıdır (Terzi, 2004).

d) Üstyapı projeleri için kullanıcı maliyetlerinin ve faydalarının ölçümü

Kullanıcı maliyetleri, seyahat süresi maliyeti, taşıt işletme maliyeti ve kaza maliyetini içerir. Genel olarak kullanıcı maliyeti (KM) modeli aşağıdaki formdadır:

$$KM = \text{Kaza Maliyeti} + \text{Taşıt İşletme Maliyeti} + \text{Seyahat Süresi Maliyeti} \quad (3.9)$$

Kullanıcı maliyeti hesaplamasında kullanılan anahtar değişkenler:

- Ortalama Günlük Trafik,
- Trafikteki ağır taşıt yüzdesi,
- Taşıt işletme maliyeti (taşıt başına birim uzunluk maliyeti),
- Seyahat süresi maliyeti (taşıt başına birim uzunluk maliyeti),
- Kaza oranları, durum değişkenlerindeki (PSI vd) değişim nedeniyle kaza oranındaki değişim (kaza başına birim maliyet)
- Bakım uygulaması esnasında trafik gecikmesi ve yolun uzaması nedeniyle ilave maliyetler (taşıt başına birim uzunluk maliyeti).

Yol durumu ile trafik arasındaki ilişki, özellikle bakım kararının ekonomik çözümlenmesinde önemlidir. Yol durumu farklı şekillerde yol trafiğini etkiler. Bu etkiler:

- Taşıt maliyetleri (yakıt, bakım ve onarım maliyeti, lastik aşınması),
- Seyahat süresi (hızdaki değişimin maliyeti),
- Konfor,
- Yol güvenliği,
- Çevre (emisyon, gürültü).

Birçok trafik etkisi, trafik etki modelleri kullanılarak trafik durumu özelliklerinden tahmin edilebilir. Bu modeller, belirli bir süre için nispeten sabit kalabilir. Trafik etkileri para cinsinden belirlenebilir, böylece trafik maliyetine dönüştürülür. Bu

değerler, hızlı bir biçimde değişir. Trafik maliyetinin tam değerini belirlemek oldukça zordur. Trafik ilave maliyetleri için önerilen seçenek parametre:

$$\text{Trafik maliyeti} = \text{Mevcut trafik maliyeti} - \text{En iyi durumdaki trafik maliyeti} \quad (3.10)$$

olarak kullanılabilir (Terzi, 2004).

e) Tasarım veya analiz periyodu

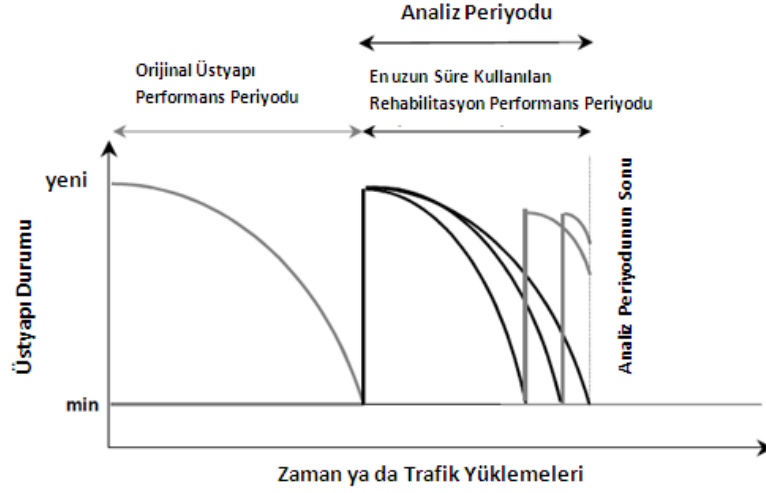
Trafik için tasarım veya analiz periyodu için üst limit olarak genellikle 20 yıl kullanılır. Kullanılan iskonto oranına bağlı olarak, gelecek zamanlardaki maliyetlerin veya faydaların bugünkü değeri önemsiz olabilir. Ulaşım projelerinin çoğunda, 20-30 yıllık bir dilim kullanır ve bu üstyapılar için mantıklı görünmektedir (Terzi, 2004).

Analiz periyodu alternatiflerin karşılaştırıldığı zaman sürecidir. Rehabilitasyon strateji alternatiflerinin karşılaştırılması için analiz periyodunun orijinal üstyapının performans periyodunun sonunda başlaması gerekmektedir. Alternatiflerin tümü aynı performans periyoduna sahip olduğunda analiz periyodunun en yaygın tanımlandığı yöntem yaygın olan performans periyodunun kullanılmasıdır. Daha uzun analiz periyodu takip eden rehabilitasyon işleminin tüm alternatiflere atanmak zorunda olması durumunda kullanılabilir. Aşağıdaki seçenekler farklı performans periyotları alternatiflerinin yatırımının analizinde analiz periyodunun tanımlanması için kullanılmaktadır:

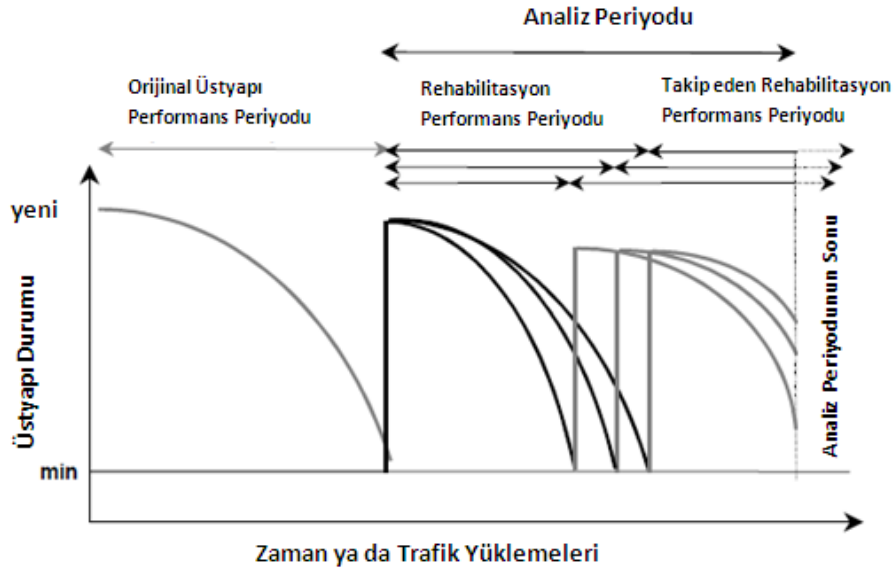
- Tüm alternatiflerin performans periyotlarının en az yaygın katsayısı
- Alternatifler arasında en kısa performans periyodu
- Alternatifler arasında en uzun performans periyodu
- Bazı diğer zaman periyotları.

Analiz periyodunun seçimi, analiz periyodunun tamamlanması amacıyla diğer alternatiflere atanan takip eden rehabilitasyon işlemlerini gerektiren en uzun süre kullanılan alternatifin performans periyoduna eşittir. Bu işlem Şekil 3.86.'da gösterilmektedir. Daha uzun bir analiz periyodu takip eden rehabilitasyon işleminin tüm alternatiflere atanmak zorunda olduğu durumlarda kullanılabilir. Bu işlem de

Şekil 3.87’de gösterilmektedir. Her iki şekilde böyle bir durum hiçbir şekilde olmasa dahi aynı başlangıç üstyapı durumunun geliştirilmesini başaran tüm 3 rehabilitasyon işleminin başlangıcıdır.



Şekil 3.86. Analiz periyodu olarak en uzun performans periyodunun kullanılması (Hall et al., 2003)



Şekil 3.87. Tüm alternatifler için takip eden rehabilitasyonu kapsayan analiz periyodunun seçimi (Hall et al., 2003)

Uygun analiz periyodunun seçimi hakkındaki en önemli şey, farklı strateji alternatifleri arasında performanstaki önemli değişimleri yansıtan yeterli derecede uzun olandır rehabilitasyon işlemidir (Hall et al., 2003).

f) İskonto ve faiz oranı

İskonto oranı kavramı enflasyon oranı ve yatırım faiz oranlarının her ikisindeki dalgalanmaların hesaplanmasında paranın gerçek değerinde zamanla oluşan değişimlerin oranını temsil etmek için mühendislik ekonomisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. İskonto oranı yaşam boyu maliyet analizinde düşünülen her bir alternatifle ilişkili analiz periyodu sürecinde başlangıçtaki ve gelecekteki maliyetlerin tümünün bugünkü değerini belirlemede kullanılmaktadır. Enflasyon iskonto oranının seçiminde göz önünde bulundurulduğunda tüm başlangıç ve gelecek maliyet parçaları sabit dolar kuruyla ifade edilmelidir, örneğin; bu parçaların maliyetleri açısından o yıl içinde tahakkuk edilmiş gibi yaşam boyu maliyet analizi sürecinde gerçekleştirilmiştir.

İskonto oranı yaklaşık olarak faiz oranı eksi enflasyon oranına eşittir. Hem faiz oranı hem de enflasyon oranı zamanla dalgalanma yapmaktadır, fakat ikisi arasındaki fark sabit olmadıklarında, birbirleriyle tutarlıdır. Seçilen iskonto oranı mümkün olduğu kadar gerçekçi olmalıdır (Hall et al., 2003).

g) Enflasyon

Ekonomik bir değerlendirmede enflasyonun nasıl dikkate alınacağı sorusu, birçok mühendisi ve yöneticiyi ilgilendirir. Fiyatların değişeceğine dair önemli delillerin olmaması durumunda, değerlendirmede enflasyon kullanılmaz. Üstyapı projelerinin ekonomik değerlendirmesinde enflasyon etkeninin kullanılmamasıyla ilgili sebepler şunlardır:

1. Enflasyonu tahmin etmesi çok zordur.

2. Karayolu ekonomi çalışmalarında enflasyon kullanılmışsa, bugünün daha büyük sermaye yatırımlarını doğrulama eğiliminde olmalıdır.
3. Eğer enflasyon dikkate alınır, maliyetler kadar faydalar da artar, böylece bunların nispi büyüklükleri de aynı kalır.
4. Ekonomik değerlendirmenin amacı, yönetime karar verme için bir araç sağlamaktır.
5. “Gerçek sabit dolarlar” ekonomik analizler için daha iyi bir araçtır (Terzi, 2004).

h) Kurtarılan ve kalan değer

Kurtarılan veya kalan değer, ekonomik analizlerde bazı yapımcı kuruluşlarca kullanılır. Bu değer, tasarım periyodunun sonunda tekrar kullanılabilir materyallerin değerini gösterir. Özellikle tekrar çalışabilen ve tekrar kullanılacak türde malzemelerin yeni bir üstyapıda dikkate alınması, gelecekte önem kazanabilirler. Bir malzemenin kurtarılan değeri, malzemenin hacmi, kirlenmesi, yaşı veya ömrü, tasarım periyodu sonunda beklenen kullanımı gibi birkaç etkene bağlıdır. Bu, toplam maliyetin yüzdesi olarak projelendirmede kullanılabilir (Terzi, 2004).

Rehabilitasyon alternatifinin kurtarılan ya da kalan değeri analiz periyodunun sonunda alternatifte katkıda bulunabilen değerdir. Kalan değer her analiz periyodunun sonunda belirgin derecede farklı kalan değere sahip olması istenen alternatifler olduğu zaman üstyapı rehabilitasyon stratejisinin karşılaştırılmasında hesaba katılmalıdır.

Yaşam boyu maliyet analizi üzerine FHWA (Federal Highway Administration) Teknik Ara Bildiri (Interim Technical Bulletin) kalan değer son rehabilitasyonun maliyetinin oranının son rehabilitasyonun kalan ömrünün oranına eşit olarak belirlenmesini önermektedir. Örneğin; eğer tahmin edilen ömrü 12 yıl olan takviye tabakası analiz periyodunun sonundan önce 8 yıl olarak yerleştirilmiş ise, kalan değer takviye tabakasının maliyetinin %33'ü (4/12) olarak belirlenir.

Analiz periyodunun sonunda servis yeteneği düzeyi kalan değerin iyi bir belirleyicisi değildir. Çok az yapısal ömrü kalan bir üstyapı eğer analiz periyodunun sonuna yakın bir zamanda takviye tabakasıyla kaplanmış ise servis yeteneği düzeyi yüksek olabilir. Ancak bu üstyapı rehabilitasyonun yapısal ömrüne çok küçük bir katkıda bulabilir (Hall et al., 2003).

i) Ekonomik değerlendirme metotları

Yaşam boyu maliyet analizinde değerlendirilen alternatifler ekonomik değerin ölçümünün yaygın kullanımı ile karşılaştırılmalıdır. Yatırımın ekonomik değeri birçok yöntemle ölçülebilir;

___ Bugünkü değer yöntemi: Tüm nakit akışının iskonto oranı kullanılarak sıfır zamanda eşdeğer tek toplama dönüştürülmesidir.

___ Yıllık maliyet yöntemi (Eşdeğer düzenli yıllık maliyet yöntemi): Analiz periyodu süresince tüm nakit akışının iskonto oranı kullanılarak nakit akışının eşdeğer düzenli yıllık serisine dönüştürülmesidir.

___ Gelecek değer yöntemi: Tüm nakit akışının iskonto oranı kullanılarak analiz periyodunun sonunda eşdeğer tek toplama dönüştürülmesidir.

___ İç dönüş oranı yöntemi (iskontolu nakit akış yöntemi): Her bir alternatif için iskonto oranının hesaplanması böylece tüm alternatif değerlerin eşit olmasıdır.

___ Dış dönüş oranı yöntemi: Alternatifin dönüş oranı için özgün olmayan çözümün mümkün olmasını engelleyen dönüş oranı yöntemine bir alternatiftir (nakit akış serisinde tek bir değişiklik işaretinden daha fazla var ise oluşabilir).

___ Fayda-Maliyet oranı yöntemi (yatırımı koruma oranı yöntemi): Negatif nakit akışının (bugünkü değer) değerine pozitif nakit akışının (bugünkü değer) değerinin oranının hesaplanmasıdır.

___ Geri ödeme periyodu yöntemi: Sıfır faiz oranıyla başlangıç yatırımını kurtarmayı gerektiren zamanın uzunluğunun belirlenmesidir. Bu metodun önceki metotlarla eşdeğer olmadığına dikkat etmek önemlidir. Bu metot, tüm önceki metotlara

alternatiflerin bağıl istenebilirliğine bağlı aynı kararı sağlayacaktır fakat bazı durumlarda olmayacaktır.

— Sermaye değeri yöntemi: Yatırım süreklilik içinde belirtilen bir yıllık miktarı öderse oluşan miktarın bugünkü değerinin belirlenmesidir.

Üstyapı rehabilitasyon stratejisi gibi yatırım alternatiflerini belirlemek için yaygın olarak kullanılan yöntemler bugünkü değer, yıllık değer (eşdeğer düzenli yıllık maliyet) ve iç dönüşüm oranıdır. Eğer ölçülebilen parasal olmayan faydalar düşünülürse alternatifler fayda-maliyet oranları açısından karşılaştırılabilir (Hall et al., 2003).

– Bugünkü Değer

Bugünkü değer analiz periyodunun ilk yılındaki eşdeğer değerleri açısından analiz periyodu süresince fayda ve maliyetlerin tamamını ifade eder. İlk yılda tahakkuk edilen tüm maliyetler (örn; ilk rehabilitasyon inşaat maliyetleri) asıl bugünkü değeri açısından ifade edilir.

Tüm gelecek fayda (takip eden rehabilitasyon) ve maliyetler (analiz periyodunun sonunda kalan değer) eşdeğer bugünkü değerine iskontolandırılır.

Gelecek bir zamandaki fayda ya da maliyetinin (\$F) bugünkü değeri (\$P) için aşağıdaki formül kullanılmaktadır (Hall et al., 2003):

$$\$P = \$F \times \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right) \quad (3.11)$$

Burada,

i = iskonto oranı

n = fayda ya da maliyetin oluştuğu bir zamandaki yıl

– Eşdeğer Düzenli Yıllık Maliyet

Eşdeğer düzenli yıllık maliyet analiz periyodunun her yılı için aynı olan eşdeğer yıllık değer açısından analiz periyodu süresince tüm maliyetleri ifade eder. İlk yılda tahakkuk edilen maliyetler (ilk rehabilitasyon inşaat maliyetleri), gelecek bir zamanda oluşacak maliyetler (takip eden rehabilitasyon) ve faydalar (analiz periyodunun sonundaki iskonto oranı) eşdeğer düzenli yıllık maliyetleri açısından ifade edilebilir.

İlk yıldaki maliyetin (\$P) yıllık değeri (\$A) için aşağıdaki formül kullanılmaktadır (Hall et al., 2003):

$$\$A = \$P \times \left(\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \right) \quad (3.12)$$

Burada,

i = iskonto oranı

N = analiz periyodundaki yılların sayısı

– İç Dönüşüm Oranı Yöntemi

İç dönüşüm oranı yöntemi daha tipik olan bugünkü değeri kullanma yaklaşımına rağmen eşdeğer düzenli yıllık maliyet ya da bugünkü değer açısından ifade edilen fayda ve maliyetlere uygulanabilir. Hem maliyet hem de fayda yaşam boyu maliyet analizinde düşünüldüğünde ve her ikisi de aynı parasal terimde ifade edildiğinde alternatifler maliyetlerin faydalara eşit olduğu zamanda iskonto oranının iç dönüşüm oranına bağlı olarak karşılaştırılabilir (Hall et al., 2003).

– Dış Dönüşüm Oranı Yöntemi

Nakit akışının analiz serisinde birden fazla belirgin değişiklik olduğunda dış dönüşüm oranı yöntemi çoklu çözüm sağlayabilir. Pozitif nakit akışının minimum

cazip dönüş oranında birleştirilen (varsayılan iskonto oranı) varsayım olan dış dönüş oranı yönteminin kullanımından kaçınılmalıdır. Dış dönüşüm oranı yöntemi pozitif nakit akışının gelecek değerine elit olan negatif nakit akışının gelecek değerinde oranın birleşimidir. Nesnel avantajı iterasyondan ziyade genellikle doğrudan hesaplanabilir olmasıdır. Bu yöntem net bugünkü değer olanlar, eşdeğer düzenli yıllık maliyet ve gelecek değer yöntemi olanlarla karmaşık nakit akış modelleri için olsa bile tutarlı sonuçlar sağlar (Hall et al., 2003).

– Fayda-Maliyet Oranı Yöntemi

Fayda/maliyet oranı yöntemi, karayolu alanında, tüm yöntemler arasında belki de en yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu, bir seçeneğin faydasının bugünkü değerinin, maliyetinin bugünkü değerine oranının veya eşdeğer düzenli yıllık faydanın, eşdeğer düzenli yıllık maliyete oranının bulunmasıdır. Faydalar, seçeneklerin karşılaştırılması ile oluşturulur. Mühendis, ekonomistlerin çoğu tarafından tercih edilen bugünkü değer formülasyonunu kullanarak, fayda/maliyet oranı aşağıdaki eşitlikteki gibi açıklanabilir (Terzi, 2004):

$$Fayda\ Maliyet\ Oranı = \frac{TIM+KM+SSM}{BM} \quad (3.13)$$

Burada,

TIM= Taşıt İşletme Maliyetindeki Azalma,

KM= Kaza Maliyetindeki Azalma,

SSM= Seyahat Süresi Maliyetindeki Azalma,

BM= B ve R maliyetini göstermektedir.

Önerilen bir dizi seçeneğin fayda/maliyet oranlarının hesaplanması, Eşitlik 3.13 yardımıyla, standart veya temel seçenek ile karşılaştırılarak yapılır. Sonra, 1.0'den daha büyük oran veren seçenekler, detaylı bir şekilde karşılaştırılırlar.

Fayda/maliyet oranı yönteminin bazı dezavantajları da vardır. En önemlisi, oranın tek başına kavranması zor olan soyut doğasıdır. Diğer bir dezavantaj, bakım maliyet iskontosu payda mı yoksa paydada mı olması gerektiği, maliyet iskontolarının fayda mı yoksa maliyet mi olduğu gibi karışıklıklardır (Terzi, 2004).

j) Optimal tasarım stratejisinin seçimi

– Karar Vericinin Rolü

Üstyapı yönetim sistemi doğrudan karar vermez. Karar verme yöneticilerin işidir. Ne yazık ki, hâlâ, bir üstyapı yönetim sistemi kullanımının karar vericilerin karar verme fonksiyonlarını engellediği yanlış algılayışı vardır.

Bir üstyapı yönetim sistemi karar vericinin rolünü genişletir. İşlenmiş bilgileri veya girdileri önceden seçilmiş bir dizi modelle düzenler. Böylece, bilgileri organize etme ve işleme için etkili araçlar sağlar ve karar vericinin odağını ve etkinliğini artırır.

Üstyapı yöneticisinin rolü şudur:

1. Üstyapı yönetim sisteminin şartlara uygun yapılanmasını ve yapımçı kuruluş personeline doğru anlaşılıp kullanılmasını sağlar,
2. Doğru veriyi elde etme ve doğru kullanmayı sağlar.

Karar vericinin rolü ise şudur:

1. Üstyapı yönetim sisteminin çıktılarını analiz edip değerlendirme ve son karara ulaşmak için sonuçları kullanma,
2. Hem tahminleri güncelleme hem de bakım ve rehabilitasyonu içeren sonraki kararları vermede bilgileri takip etme ve kullanma.

Böylece, karar verme fonksiyonunda bir araç olarak geçerli bir üstyapı yönetim sisteminin kullanılmasını sağlamak karar vericinin sorumluluğundadır. Bir projenin seçilmesi için son tasarım kararlarının alınması şunları da içermelidir:

1. Trafik, malzeme özellikleri, iklim etkenleri ve birim maliyetler gibi proje tasarım etkenleri üzerinde elde edilen detaylı bilgi,
2. Minimum tabaka kalınlığı, “homojen” kısımların boyu ve maksimum maliyetler gibi kısıtlar,
3. Proje için tabaka malzemeleri ve kalınlık stratejileri (Terzi, 2004).

– Optimal Strateji Seçimi için Esaslar

Yürütme için bir tasarım stratejisinin son seçimi kısmen subjektiftir. Karar için ekonomik analizlerin bir temel oluşturması gerekmesine karşın, tamamen takip edilebilecek kuralları yoktur.

Son seçimi yapmak ve ekonomik analiz sonuçlarının maksimum kullanımını sağlamak için, sadece ekonomik olarak en optimal strateji değil, aynı zamanda birkaç yaklaşık optimal strateji de belirlemelidir.

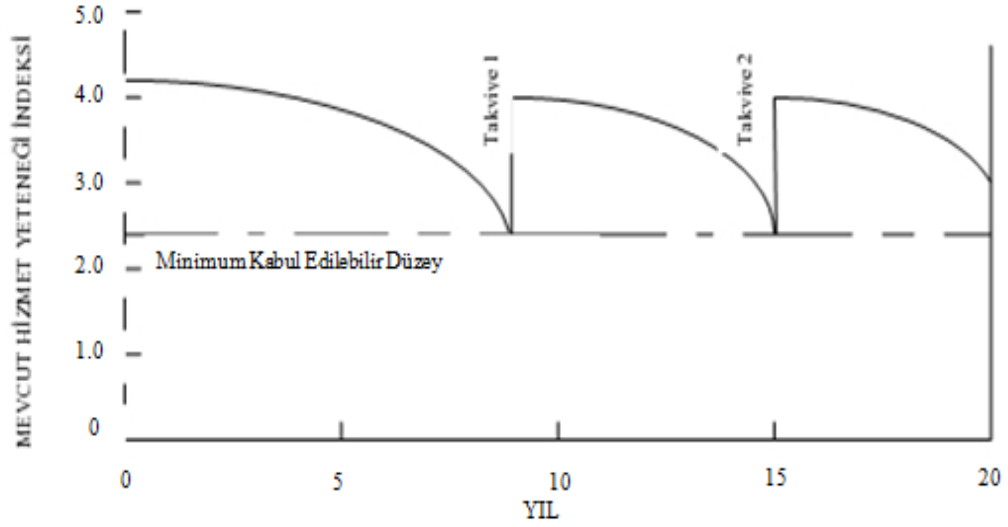
Strateji seçiminde düşünülebilecek etkenlerden biri risktir ki bu, istenilen performansın başarıma olasılığıdır. Herhangi bir tasarım seçeneğinin güvenilirliği artarsa, yapımcı kuruluş maliyetleri ve bununla beraber kullanıcı maliyetleri büyük olasılıkla düşecektir.

Sonuçta karar alma, bir tasarım stratejisinin seçimi ile sona ermez. Üstyapı inşa edildikten sonra, kararlar periyodik olarak “yenilenmelidir”.

– Sonuçları İletme

Bir tasarım projesinin analiz sonuçları, üstyapı yönetim sistemlerine girdi olan ölçülebilir etkenler ile üstyapı uygulayıcı tarafından değerlendirilmiş subjektif etkenler dikkate alınarak üstyapı kesimi için optimum strateji seçilir. Üstyapı yönetiminin etkili olabilmesi için, analiz sonuçları yapımcı kuruluş tarafından dikkate alınmalıdır. Bu, sadece projenin ilk inşasını içermekle kalmaz; bununla beraber, üstyapı yönetim sistemi analiz boyunca geliştirilmiş bakım ve rehabilitasyon programlarını da içerir. Tasarım stratejisinin ilettilmesinin önemi, özellikle tahmin edilen performans ve inşaat için gelecekteki bakım ve rehabilitasyon

gereksinimlerinin belirlenmesidir. Şekil 3.88 optimal üstyapı tasarım stratejisi için performans kazanımları örneğini göstermektedir (Terzi, 2004).



Şekil 3.88. Optimal üstyapı tasarım stratejisi için performans kazanımları örneği
(Terzi, 2004)

3.1.2. Bakım ve rehabilitasyon programı

Rutin bakım ve rehabilitasyon çalışmaları seçilen üstyapı için kabul edilebilir düzeydeki PSI (Present serviceability index) korunması için güncel olarak gerçekleştirilmelidir. Bakım ve rehabilitasyon çalışmaları arasındaki ana fark rehabilitasyon PSI düzeyinde ilk artışı gösterirken ve bozulma oranı tamamen değişebilirken bakım PSI mevcut düzeyinde ilk artışı göstermez ve sadece bozulma oranının yavaşça azalmasına yardım etmektedir (Sebaaly, 1999).

Literatürde bakım ve rehabilitasyon takviminin oluşturulması için MicroPAVER programı kullanılmıştır. MicroPAVER programı onarım işlemi için önleyici bakımın ya da ana bakımın uygun olup olmadığını belirlemek için kritik PCI değerlerini kullanmaktadır. MicroPaver farklı ağa sahip olan havaalanları ile çoklu ağların eş zamanlı analizini sağlamaktadır. Yazılım durum verisi ya da diğer üstyapı özelliklerini saklamak için tüm koşullara sahiptir. MicroPaver metinsel tanımlamalar,

sayısal indeksler ve ASTM D5340 bozulmalara bağlı bozulma indeksi gibi ek durum ölçümlerinin oluşturulmasını da sağlamaktadır (Shahin, 2007).

MicroPaver aynı zamanda kullanıcılara B&R stratejilerinin miktarını maliyetini bozulma verilerinden alarak tahmin etme imkanı sağlamaktadır. Durum tahmin modelleri gelecek bozulma eğilimlerini temel alan üstyapı durum bilgilerini kullanmaktadır. MicroPaver ise üstyapı ömrünü etkileyebilecek inşaat, trafik, hava ve diğer faktörlerle benzer şekilde üstyapıyı tanımlamak için küme model sürecini kullanmaktadır. Modele atanan bir grup üstyapı üstyapı yaşı ve PCI verileri üzerinde oluşturulmuş eğriler ve kümelerle adlandırılır. Bu küme eğrileri sonraki üstyapı incelemeleriyle işlenmektedir. Performans modeli pist, taksi yolu ya da apronun alt bileşenleri ya da üstyapı bölümlerinin her birinden alınan PCI sonuçlarını kullanmaktadır. Bir üstyapı bölümü genellikle uzaklık fonksiyonuyla üstyapı bölgesinin bileşenleri olan üstyapı tesislerini temsil etmektedir (örn. Pist).

MicroPaver durum analiz işlemi küme tahmin eğrileriyle ilişkili durumunun tanımlanarak üstyapı bölümlerinin durumunu tahmin etmektedir. Küme içindeki üstyapı bozulmalarının benzer olduğu farz edilerek gelecekte istenen bir yılda PCI tahmin edilebilmektedir. PCI tahmin adımları:

- Üstyapı kümesinin tanımlanması,
- Verilerin seçilmesi,
- Küme modelinin oluşturulması,
- Üstyapı bölüm durumunun tahmin edilmesi.

Performans modelleri oluşturulmadan önce her bir üstyapı tipinin ortalama ömrünün ve durumunun bilinmesi önemlidir. Bu bilgi performans tahmininin iyi bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır (API, 2009).

En yaygın üstyapı performans tahmin modeli periyodik temel üzerine gerçek üstyapı kesiminin incelemesi ve arazi testleriyle yapılan incelemelerdir. Havaalanı üstyapı yönetim sistemi bu amaçla gerçekleştirilmektedir.

Etkili bir üstyapı bakım onarım yönetimi programı için aşağıdaki önleyici ve ana bakım ve rehabilitasyon işlemleri gerçekleştirilmelidir:

1. Üstyapı Envanteri:

a. Pist, taksi yolu ve apronların yerleşimi

b. Ölçülendirme

c. Üstyapı Tipi

d. İnşaat tarihi ve geçmiş yıllarda gerçekleştirilen ana bakım onarım işlemleri

e. Finansal değerlerin belirlenmesi

2. İnceleme Takvimi

a. Detaylı inceleme

b. Sürüş İncelemesi

3. Raporların Kaydedilmesi

a. İnceleme Tarihi

b. Yerleşim

c. Bozulma Tipi

d. Bakım onarım takviminin oluşturulması

4. Bilgi Geri Alma

5. Program Finansmanı

Cherry Point Havaalanı için gelecekte gerekli bakım ve rehabilitasyon işlemleri için maliyetler çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Bakım ve onarım işlemleri maliyetleri

AÇIKLAMA	UYGULAMA ALANI	MALİYET
AC YENİDEN İNŞAAT-SICAK	ft.kare	2.05
KOMPLE YENİDEN İNŞAAT - AC	ft.kare	15.00
ÇATLAK DOLDURMA-AC	ft.	1.50
ÇATLAK DOLDURMA	ft.	2.50
ÇATLAK DOLDURMA-PCC	ft.	2.25
ÇATLAK DOLDURMA-TİP A	ft.	0.80
BÖLGESEL PARÇALAMA-PCC	ft.kare	0.35
PARÇALAMA- PCC	ft.kare	0.35
KANAL AÇMA-AC	ft.kare	0.20
KANAL AÇMA-PCC	ft.kare	0.20
DERZ DOLDURMA-BİTÜM	ft.	1.50
DERZ DOLDURMA TAMEMEN DEĞİŞTİRME	ft.	3.10
DERZ DOLDURMA-SİLİKON	ft.	3.10
KAZIMA-BÖLGESEL AC	ft.kare	0.50
KAZIMA VE TAKVİYE TABAKASI 2" AC	ft.kare	1.00
KAZIMA-BÖLGESEL PCC	ft.kare	0.50
TAKVİYE TABAKASI-1.5" AC	ft.kare	0.75
TAKVİYE TABAKASI-2.5" AC	ft.kare	0.95
TAKVİYE TABAKASI-4" AC	ft.kare	1.25
TALVİYE TABAKASI-1" AC	ft.kare	0.75
YAMA-AC KAZIMA VE YÜZEY DEĞİŞTİRME	ft.kare	2.75
YAMA-AC KOMPLE	ft.kare	1.25
YAMA-PCC TAM DERİNLİKTE	ft.kare	17.50
YAMA-PCC BÖLGESEL DERİNLİKTE	ft.kare	30.00

Aşağıdaki çizelge Cherry Point için gelecek bakım ve rehabilitasyon maliyetlerini göstermektedir. 2000-2009 yılları için gelecekte oluşabilecek bozulmalar esas

alınarak bakım ve rehabilitasyon gereksinimleri düşünülerek bir çizelge oluşturulmuştur.

Çizelge 3.7. Cherry Point için gelecek bakım ve rehabilitasyon maliyetlerinin belirlenmesi

KESİM/BÖLÜM	MALİYET BİN \$	GEREKLİ İŞLEM
2000 YILINDA BAŞLANMASI PLANLANAN İŞLEMLER		
TXOUT-13D	250	25' BANKETLERDE (2) 1"-4" AC TAKVİYE TABAKASI SAĞLANMASI VE T/W BATI SON NOKTASINDA AC/PCC ARAYÜZEY DEĞİŞİMİ
2001 YILINDA BAŞLANMASI PLANLANAN İŞLEMLER		
R32L-4	850	60' X 500' BANKETİN KAZINMASI VE TAKSİYOLU C VE D 2" AC İLE DEĞİŞTİRİLMESİ
TXE-9	195	100' R32L TAKSİ YOLUNUN KAZINIP 2" AC İLE KAPLANMASI
2002 YILINDA BAŞLANMASI PLANLANAN İŞLEMLER		
ADA-A1 VE CROSE-CR1	40	PCC DERZLERİN YENİDEN DOLDURULMASI VE KÜÇÜK BAKIM ONARIMIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
AP1-30	50	PCC DERZLERİN YENİDEN DOLDURULMASI VE KÜÇÜK BAKIM ONARIMIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
FL2-26	350	PCC DERZLERİN YENİDEN DOLDURULMASI VE KÜÇÜK BAKIM ONARIMIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
RNP-10	100	SEAL COAT UYGULAMASI
TXF-12A	700	2" AC TAKVİYE TABAKASI
WRMP-11B	450	1/2" KAZIMA VE 2" AC TAKVİYE TABAKASI UYGULANMASI
2003 YILINDA BAŞLANMASI PLANLANAN İŞLEMLER		
APR1-16	670	PCC DERZLERİN YENİDEN DOLDURULMASI VE KÜÇÜK BAKIM ONARIMIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
AP3-19B		PCC DERZLERİN YENİDEN DOLDURULMASI VE KÜÇÜK BAKIM ONARIMIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
2004 YILINDA BAŞLANMASI PLANLANAN İŞLEMLER		
TXC-7	70	ÇATLAKLARIN DOLDURULMASI VE TÜM T/W BÖLÜMÜNE FOG SEAL UYGULANMASI
2005 YILINDA BAŞLANMASI PLANLANAN İŞLEMLER		
AP2-21A	152	PCC DERZLERİN YENİDEN DOLDURULMASI VE KÜÇÜK BAKIM ONARIMIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
AP2-22A	220	PCC DERZLERİN YENİDEN DOLDURULMASI VE KÜÇÜK BAKIM ONARIMIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
AP2-23B VE	368	PCC DERZLERİN YENİDEN DOLDURULMASI VE KÜÇÜK

Çizelge 3.7. (devam)

AP3-20		BAKIM ONARIMIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
CRAPR-11C	75	SEAL COAT UYGULAMASI
TXF-12B	975	2 3/4" AC TAKVİYE TABAKASI VE SEAL COAT UYGULAMASI
TXF-12C	100	2" AC TAKVİYE TABAKASI
TXIN-15D	60	BANKETTE FOG SEAL UYGULAMASI
2006 YILINDA BAŞLANMASI PLANLANAN İŞLEMLER		
TXB-17	2750	PCC YENİDEN İNŞAAT
2007 YILINDA BAŞLANMASI PLANLANAN İŞLEMLER		
AP2-21B	240	PCC DERZLERİN YENİDEN DOLDURULMASI VE KÜÇÜK BAKIM ONARIMIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
AP3-18	280	PCC DERZLERİN YENİDEN DOLDURULMASI VE KÜÇÜK BAKIM ONARIMIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
AP3-19A VE WR-W1	85	PCC DERZLERİN YENİDEN DOLDURULMASI VE KÜÇÜK BAKIM ONARIMIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
V23-VE VE V32-VA	130	2" AC TAKVİYE TABAKASI
2008 YILINDA BAŞLANMASI PLANLANAN İŞLEMLER		
AP1-25A	290	PCC DERZLERİN YENİDEN DOLDURULMASI VE KÜÇÜK BAKIM ONARIMIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
AP2-23A	330	PCC DERZLERİN YENİDEN DOLDURULMASI VE KÜÇÜK BAKIM ONARIMIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
HOTRF-HF1 THRU HF5	120	PCC DERZLERİN YENİDEN DOLDURULMASI VE KÜÇÜK BAKIM ONARIMIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
TXOUT-13D	60	25' BANKETTE FOG SEAL UYGULAMASI
2009 YILINDA BAŞLANMASI PLANLANAN İŞLEMLER		
AP1-24A	325	PCC DERZLERİN YENİDEN DOLDURULMASI VE KÜÇÜK BAKIM ONARIMIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
AP1-24B	270	PCC DERZLERİN YENİDEN DOLDURULMASI VE KÜÇÜK BAKIM ONARIMIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
AP2-22B	50	PCC DERZLERİN YENİDEN DOLDURULMASI VE KÜÇÜK BAKIM ONARIMIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
AP1-25B	100	PCC DERZLERİN YENİDEN DOLDURULMASI VE KÜÇÜK BAKIM ONARIMIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

3.2. Yöntem

Çalışmada yöntem olarak, Bulanık Mantık ve Genetik Algoritma yöntemleri kullanılmıştır. Bu bölümde bahsedilen yöntemler tanımlanmıştır.

3.2.1. Bulanık mantık yöntemi

Her insan, günlük hayatında kesin olarak bilinmeyen, bazen de önceden sanki kesinmiş gibi düşünülen, ama sonuçta kesinlik arz etmeyen durumlarla karşılaşabilir. Bu durumların sistematik bir şekilde önceden planlanarak sayısal öngörülerinin yapılması ancak bir takım kabul ve varsayımlardan sonra mümkün olabilmektedir Şen (2001).

1965’de L. A. Zadeh (Lütfi Askerzade), yeni bir matematiksel yöntemi açıklayan “Fuzzy Sets (Bulanık Kümeler)” adlı ünlü makalesini Information and Control isimli dergide yayınladı. Bu yöntem, “kısa adam”, “ güzel kadın” veya 1’den daha büyük gerçek sayılar” gibi belirsiz kümeleri veya şüpheli fikirleri elde etmeye ve tanımlamaya olanak sağlamıştır. O zamandan günümüze, bulanık kümeler kuramı hem Zadeh’in kendisi, hem de sayısız araştırmacı tarafından hızlı bir biçimde geliştirilmiştir. Aynı zamanda bu kuramın gerçek uygulamaları da başarılı bir biçimde gerçekleştirilmiştir. Bulanık kümeler kuramının ana fikri, tamamen sezgisel ve doğal olmasıdır.

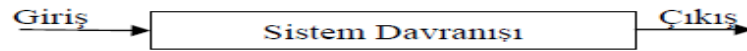
Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durumdan ilki, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer vermesi, ikincisi ise insan muhakemesine, kavrayışlarına ve karar vermesine gereksinim gösteren hallerdir (Terzi, 2004).

3.2.1.1. Bulanık kümeler ve üyelik dereceleri

Klasik kümeler olarak bilinen kesin kümeler ait olduğu evrensel kümenin her bir elemanına 1 ya da 0 değerini atamaktadır. Bir nesne 1 değerini alırsa kümenin elemanıdır, 0 değerini alırsa kümenin elemanı değildir. 0 ve 1 değerlerini alan kesin kümelere karşılık olarak bulanık mantık kümelerinde 0 ve 1 arasında değişebilen değerler vererek üyelik işlevlerini ortaya koymuştur. Bulanık mantıkta belirsizlik durumları, bu durumu temsil eden küme elemanlarına üyelik fonksiyonlarının verilmesi ile tanımlanır. En büyük önem derecesine sahip olan öğelere 1 değeri atanırsa, diğerleri 0 ile 1 arasında değişim gösterir. Bu şekilde 0 ile 1 arasındaki

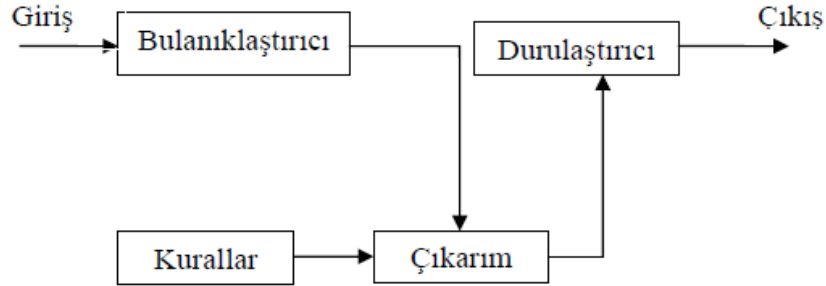
değişimin her bir öge için değerine üyelik derecesi ve bunun bir alt küme içindeki değişimine de üyelik fonksiyonu denilmektedir (Uygunoğlu ve Yurtcu, 2006).

Genellikle bilinen matematik, stokastik veya kavramsal sistemlerin hemen hepsi Şekil 3.89’de görülen üç ayrı birimden ibarettir. Bunlar giriş, bu girişi çıkışa dönüştüren ve sistem davranışı olarak isimlendirilen bir kutu ve buradan çıkış kısımlarıdır. Bu birimlerin hepsinde sayısal veri çıkış veya işlemler yapılmaktadır (Şen (2001)).



Şekil 3.89. Klasik sistem Şen (2001)

Teodorovic and Vukadinovic (1998), bulanık sistemlerin bu klasik tasarımdan farkının sistem davranışı kısmının dörde ayrılarak Şekil 3.90’da gösterildiği gibi kendi aralarında bağlantılı dört birimin olması şeklinde tanımlamışlardır.



Şekil 3.90. Bulanık mantığın temel elemanları Şen (2001)

Girdi değerleri çoğunlukla kesin değerlerdir. *Bulanıklaştırıcının* görevi, bulanık kümeler (burada girdiler bulanık üyelik fonksiyonları tarafından tanımlanan bulanık değişkenlerdir) içine kesin sayıları haritalamaktır. *Kurallar* “Eğer-İse” kurallarının oluşturduğu bulanık mantığı esas alır. Bir tipik “Eğer-İse” kuralı:

Eğer Yolun kapasitesi AZ

İse Akan Taşıt Hızı ÇOK tur.

Klasik uzman sistemlerde, kurallar insan deneyimlerinden çıkarılır. Bulanık kural-tabanlı sistemlerde, kural tabanı insan deneyimlerinin yardımıyla şekillendirilir. Bulanık kural tabanında kullanılan insan deneyimlerinden elde edilen sözel (linguistic) bilgi ve ölçümlerden elde edilen sayısal bilgi birleştirildiğinde ilginç bir durum ortaya çıkar. Bu durumda, kurallar ilk adımda sayısal verilerden çıkarılır. Sonraki adımda ise, bulanık kural tabanı insan deneyimlerinden elde edilen kurallar ile birleştirilebilir. Bulanık mantığın Çıkarım makinesi, bulanık kümeler içine haritalanır. Durulaştırma esnasında, çıktı değişkeni için bir değer seçilir. Literatürde birçok farklı durulaştırma yöntemi mevcuttur. Seçilen sonuç değeri çoğunlukla ya en yüksek üyelik derecesine sahip değer ya da ağırlık merkezi değeridir (Terzi, 2004).

Giriş/Veri Tabanı: İncelenecek olan olayın maruz kaldığı girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Buna veri tabanı veya kısaca giriş adı da verilir. Genel veri tabanı denilmesinin nedeni, buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesidir.

1. Bulanıklaştırıcı: Sistemden alınan denetim giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işleminin yapıldığı bölümdür.
2. Bulanık Kural Tabanı: Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal, EĞERİSE türünde yazılabilen bütün kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm aralık bağlantıları düşünülür. Böylece, her bir kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamların tümü kural tabanını oluşturur.
3. Bulanık Çıkarım: Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdileri altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.
4. Durulaştırma: Bulanık çıkarım motorunun bulanık küme çıkışları üzerinde ölçek değişikliği yapılarak gerçek sayılara dönüştürüldüğü birimdir.

5. Çıkış: Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım vasıtasıyla etkileşimi sonucunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir.

Bulanık küme kavramında belirli bir çerçeve ile sınırlandırılmış bir küme içindeki elemanların çeşitli üyelik dereceleri ile kümeye ait olabilir. Bu üyelik derecelerinin belirlenmesinde pek çok formülasyon ve teknik kullanılmaktadır. Bunlar lineer ve lineer olmayan fonksiyonlar olabileceği gibi üçgen ve çan eğrisi olarak adlandırılacak bilinen şekillerde de olabilmektedir (Uygunoğlu ve Yurtcu, 2006).

3.2.1.2. Üyelik fonksiyonları

Bulanık sistemlerin öğeleri bulanık kümelerden alınır. Kümeler belirli şartlara bağlı olsalar bile göz önünde bulundurulabilen tüm öğeleri içerir.

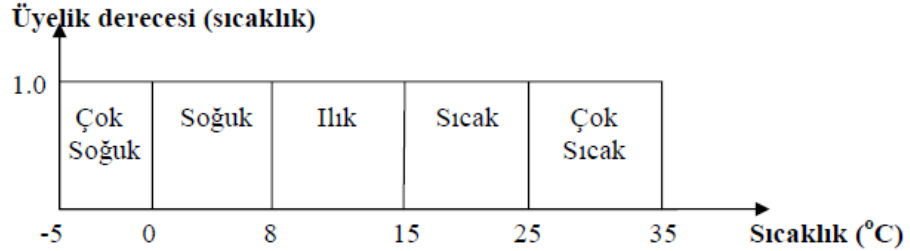
Kümenin öğeleri bazı derecelerde belki sıfıra bile ayarlanabilen bulanık kümelerin üyeleridir. Sıfır olmayan bir üyeye sahip öğelerin kümeleri bulanık kümenin destekleyicisi olarak adlandırılmaktadır. Kümenin her bir öğesine bir sayı bağlayan fonksiyon üyelik fonksiyonu olarak adlandırılır.

Tıpkı cebirsel değişkenler değer olarak sayılar alması gibi, sözel değişkenler de değer olarak kelime ya da cümleler alırlar. Alabildiği değerlerin kümeleri kavram kümesi olarak adlandırılır. Kavram kümesindeki her bir değer temel değişkenin üzerinde tanımlanan bulanık değişkendir. Temel değişken kavram kümesindeki bulanık değişkenlerin tamamı için kümeleri tanımlar. Kısaca, buradaki hiyerarşi şu şekildedir:

Sözel değişken → bulanık değişken → temel değişken (Jantzen, 2007).

Mesela, İstanbul'da sıcaklık derecesinin değişim aralığının yaklaşık olarak -5°C ' den $+35^{\circ}\text{C}$ ' ye kadar olduğu söylenebilir. İşte bu aralık sıcaklık kümesinin İstanbul için öğelerinin bulunabileceği aralığı belirtir. Böylece tüm sıcaklık uzayı belirlenmiştir. Ancak günlük konuşmalarda bu sıcaklık uzayının da bir takım alt

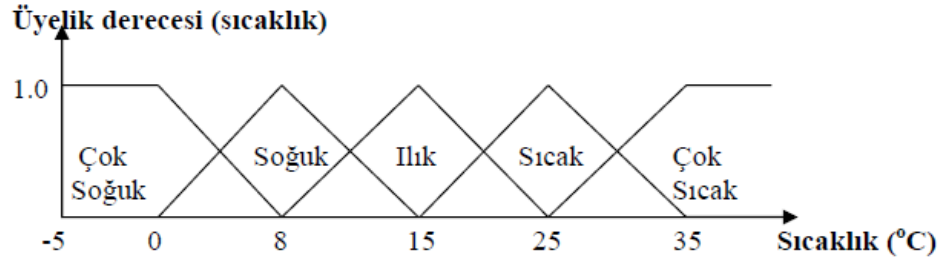
aralıklardan oluştuğu düşünülür. Mesela, ‘çok soğuk’, ‘soğuk’, ‘ılık’, ‘sıcak’, ‘aşırı sıcak’ gibidir. Şekil 3.91’de görüldüğü gibi bu aralıklar için tahminlerde bulunulmuş ve her bir alt aralıktan biri bitince diğeri başlamıştır (Terzi, 2004).



Şekil 3.91. Bitişik dikdörtgen gösterim Şen (2001)

Bu aralıkların sınırlarında yine Aristo mantığına göre katı kararlar alınmalıdır. Örneğin 7.9 °C’nin soğuk, 8.1 °C’nin ise ılık olduğuna karar verilir. Bu şekilde gösterim bakımından önemli bir nokta, her alt aralığa düşen sıcaklık değerinin üyelik derecesinin, sadece o aralıkta 1’e, diğer aralıklarda ise 0’a eşit olduğudur. Bu nedenle, her sıcaklık alt kelimesinin üyelik fonksiyonu yüksekliği 1’e eşit olan bir dikdörtgen şeklindedir.

Aslında, bu aralıkların arasındaki geçiş kısımlarının böyle birbirinin devamı olmayacağını ve bir örtüşmenin söz konusu olabileceği söylenirse, daha mantıklı olur. Çünkü ılık sınırının +5 ile +15 °C’de sıfır üyelik derecelerine sahip olacağı düşünülemez. Böylece, sıcaklık alt aralıklarının birbiri ile örtüşmeli geçişlere sahip olmasının gerekliliği Şekil 3.92’de gösterilmiştir. Bu fonksiyonların simetrik olması zorunlu değildir. Problemin özelliklerine göre simetrik olmayan üçgen, yamuk veya çan eğrisi şeklinde üyelik fonksiyonları kullanılabilir.



Şekil 3.92. Örtüşmeli üçgen gösterimi Şen (2001)

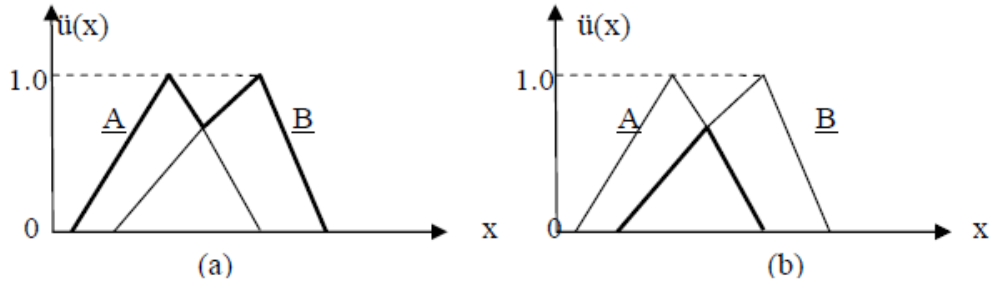
3.2.1.3. Bulanıklaştırma

Şen (2001) pratikte genel olarak, klasik küme şeklinde beliren değişim aralıklarının bulanıklaştırılması, bulanık küme, mantık ve sistem işlemleri için gereklidir. Bunun için, bir aralıkta bulunabilecek öğelerin hepsinin, 1'e eşit üyelik derecesine sahip olacak yerde, 0 ile 1 arasında değişik değerlere sahip olması düşünülür. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin başlıcaları; a) sezgi, b) çıkarım, c) mertebe, d) açılı bulanık kümeler, e) yapay sinir ağları, f) genetik algoritmalar, g) çıkarımcı muhakemedir (Terzi, 2004).

3.2.1.4. Durulaştırma

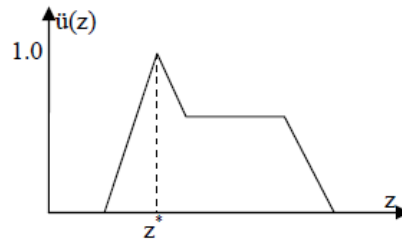
Şen (2001) pratik uygulamalarda, özellikle cihaz ve mühendislik plan, proje ve tasarımlarında boyutlandırmalar için kesin sayısal değerlere gereksinim duyulduğunu belirtmiştir. İşte bu durumlara bulanık olarak elde edilmiş veya verilmiş bilgilerden yararlanarak gerekli cevapların verilmesi için bulanık bilgilerin durulaştırılması (defuzzification) gerekmektedir. Şekil 3.93'de iki farklı bulanık çıkarım görülmektedir. Gerçek bir uygulamada bunlara benzer veya daha farklı şekiller ortaya çıkabilir.

Durulaştırma işlemlerinde kullanılan yedi farklı yöntem vardır. Bunların hangisinin kullanılacağına, elindeki sorunun türüne göre araştırma ve tasarım yapanın karar vermesi gerekir. Burada z^* durulaştırılmış değeri gösterir (Terzi, 2004).



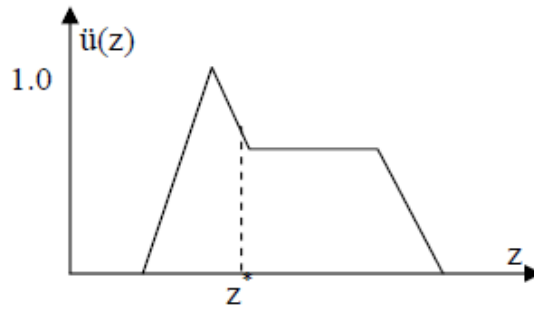
Şekil 3.93. İki bulanık kümenin (a) birleşimi, (b) kesişimi Şen (2001)

1. En büyük üyelik ilkesi: Bunun diğer bir adı da yükseklik yöntemidir. Kullanılabilmesi için tepeleri olan çıkarım bulanık kümelerine gerek vardır. Şekil 3.94, bu durulaştırma işlemini göstermektedir.



Şekil 3.94. En büyük üyelik derecesi durulaştırması Şen (2001)

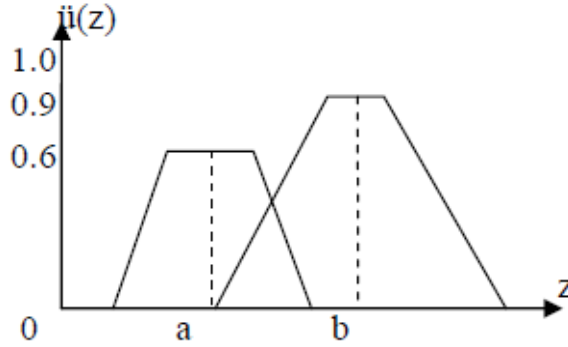
2. Sentroid yöntemi: Diğer bir adı da ağırlık merkezi yöntemidir. Durulaştırma işlemlerinde, en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Şekil 3.95, bu yöntem kullanılarak yapılan durulaştırma işlemini gösterir.



Şekil 3.95. Sentroid yöntemi durulaştırması Şen (2001)

3. Ağırlıklı ortalama yöntemi: Bu yöntemin kullanılabilmesi için simetrik üyelik fonksiyonunun bulunması gerekir. Örnek olarak Şekil 3.96'da görülen bulanık kümenin ağırlıklı ortalaması (durulaştırılmış değeri) aşağıdaki şekilde hesaplanır :

$$z^* = \frac{a(0,6)+b(0,9)}{0,6+0,9} \quad (3.14)$$

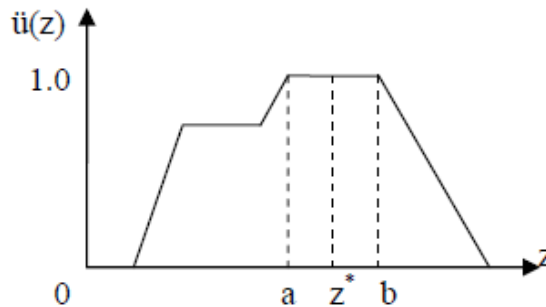


Şekil 3.96. Ağırlıklı ortalama yöntemi durulaştırması Şen (2001)

4. Ortalama en büyük üyelik: Bu yöntem aynı zamanda en büyüklerin ortalaması yöntemi olarak da bilinir. Bu bakımdan en büyük üyelik derecesi yöntemine çok yakındır. Ancak, en büyük üyeliğin konumu tekil olmayabilir. Şekil 3.97'de gösterilen durulaştırma işlemine ait bu yöntemle göre durulaştırılmış değer:

$$z^* = \frac{a+b}{2} \quad (3.15)$$

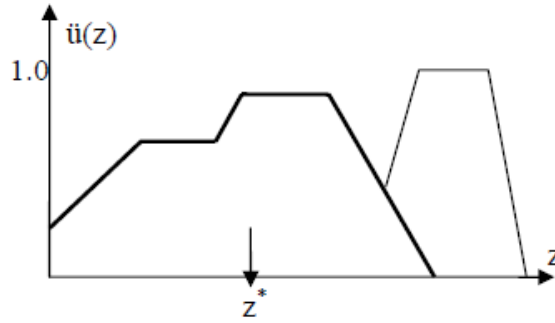
olarak bulunur. Buradaki a ve b değerleri şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.97. Ortalama en büyük üyelik durulaştırması Şen (2001)

5. Toplamların merkezi: Durulaştırma işlemleri arasında en hızlı olan yöntemdir. Bu yöntemde iki bulanık kümenin birleşimi yerine onların cebirsel toplamı kullanılır. Bunun bir sakıncası, örtüşen kısımların iki defa toplama girmesidir. Bir bakıma bu hesaplama tarzı ağırlıklı ortalama durulaştırmasına benzer. Ancak bu yöntemde ağırlıklar ilgili üyelik fonksiyonlarının alanlarıdır. Ağırlıklı ortalama yönteminde ise bu, üyelik derecesidir.

6. En büyük alanın merkezi: Eğer çıkış bulanık kümesi en azından iki tane dış bükey alt bulanık kümeyi içeriyorsa, bu bulanık kümelerin en büyük alanlısının ağırlık merkezi durulaştırma işleminde kullanılır. Şekil 3.98 örnek bir durulaştırma işlemini gösterir.



Şekil 3.98. En büyük alan merkezi ile durulaştırma Şen (2001)

7. En büyük ilk veya son üyelik derecesi: Bu yöntem de, tüm çıktıların birleşimi olarak ortaya çıkan bulanık kümede en büyük üyelik derecesine sahip olan en küçük veya en büyük bulanık küme değerini seçmek esasına dayanır Şen (2001).

3.2.1.5. Bulanık kurallar ve sistemler

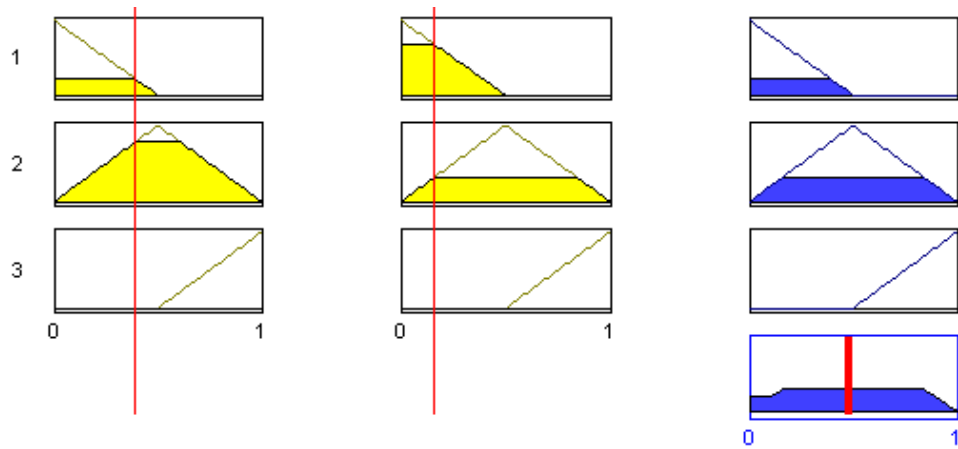
Günlük konuşmada ve matematikte cümleler ve, veya, eğer-ise (ya da çıkarım) kelimeleri ile bağlanırlar. Bunlar bağlayıcılar olarak adlandırılırlar. “değil” kelimesi tarafından değiştirilen bir cümle orijinal cümlenin olumsuzluğu olarak adlandırılır. “ve” kelimesi iki cümlenin bağlacı formunda iki cümleyi birbirine bağlamak amacıyla kullanılır. Benzer şekilde “or” kelimesiyle birbirine bağlanan bir cümle formu da ayrı

olarak adlandırılır. İki cümleden bir tane “Eğer-İse” formunun birini kurabiliriz bu da bağlı cümle olarak adlandırılır. “Eğer” ile devam eden bir cümle öncül veya ön şartlar, “İse” ile devam eden cümle de soncul veya çıkarım cümlesidir. “Eğer p, ise q” (burada p ve q cümledir) anlamına gelen ile ilgili olduğumuz diğer koşullarda “p, q anlamına gelir”, “p sadece q ise” ve “q ise p” gibidir (Jantzen, 2007).

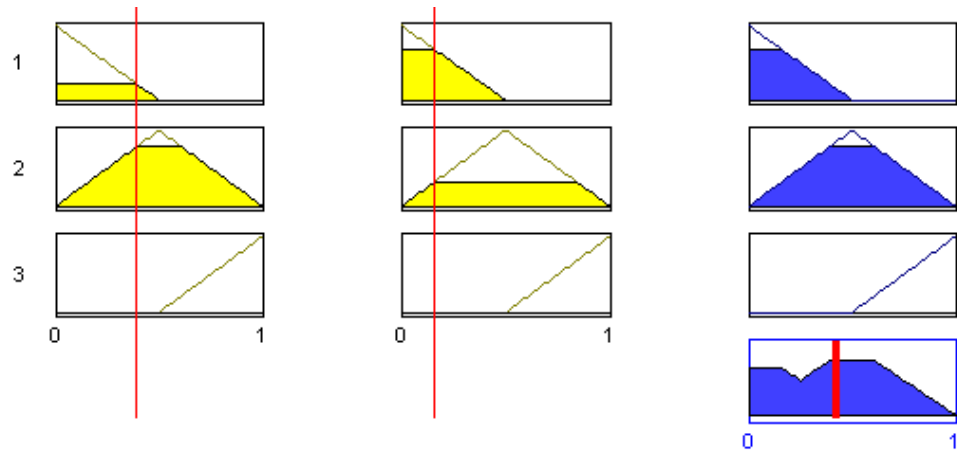
3.2.1.6. Grafik çıkarım teknikleri

Şen (2001) çıkarım yöntemlerini anlatabilmek için, iki tane öncül bir tane de çıkarımı olan EĞER-İSE kural tabanlı bir sistem düşünmüştür. Genel olarak bu sistemin iki tane girdisi bir tane çıktısı vardır. Şekil 3.99’da Kural “VE” bağlacı ile bağlanmıştır. Bu durumda EB-EB kuralı gereğince her iki girdinin üyelik derecelerinden büyük olanın üyelik derecesi çıktının üyelik derecesi olacaktır. Dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da mevcut üç kuraldan sadece ikisinin çalışmasıdır. Üçüncü kuraldaki şartlar sağlanmadığı için hesaplama yapılmamıştır.

Şekil 3.100’de kural “VEYA” bağlacı ile bağlanmıştır. Bu durumda En Büyük-En Küçük (EB-EK) kuralı gereğince her iki girdinin üyelik derecelerinden büyük olanın üyelik derecesi çıktının üyelik derecesi olacaktır (Terzi, 2004).



Şekil 3.99. “VE” bağlacı ile bağlanan kuralın kullanıldığı model uygulaması (Terzi, 2004)



Şekil 3.100. “VEYA” bağlacı ile bağlanan kuralın kullanıldığı model uygulaması
(Terzi, 2004)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Üstyapı Performans Tahmini Modeli Geliştirilmesi ve Uygulanması

4.1.1. Üstyapı performans tahmini ve önemi

PCI üstyapının yapısal bütünlüğünü korumak ve üstyapının kullanıma hazır yüzeyinin durumunu belirlemek için kullanılmaktadır. PCI incelemesi sırasında bozulma tipi, bozulma şiddeti ve bozulma miktarı kaydedilmiş ve analiz edilmiştir. Bu bilgi üstyapı kesitinin PCI değerini hesaplamak için kullanılmıştır. Kesin PCI değeri 0-100 arasında bir değerdir ve 100 Şekil 4.1’de gösterildiği şekilde kusursuz üstyapıyı temsil etmektedir.



Şekil 4.1. PCI değerlendirme ölçeği (APTech, 2007)

PCI incelemelerinde belirlenen bozulma tipleri üstyapı bozulmasının nedenini anlamayı sağlamaktadır. PCI bozulma tipleri; yüklemeye bağlantılı (AC üstyapılar için timsah sırtı çatlakları ya da PCC üstyapılar için köşe çatlakları gibi), iklim/durabiliteyle bağlantılı (AC üstyapılar için kötü havadan dolayı ayrışma ya da PCC üstyapılar için D-Çatlakları gibi) ve diğer kaynaklı (sadece iklim ya da yüklemeye bağlı olarak nitelendirilemeyen bozulma tipleri) olarak tanımlanmaktadır.

Bozulmanın nedeninin anlaşılması, nedenin doğrulanmasını ve bozulmanın tekrarlanmasını elimine etmek amacıyla bir rehabilitasyon alternatifinin seçilmesine yardımcı olmaktadır. PCI incelemelerinde her bir bölgenin fotoğrafları alınmaktadır ve bu fotoğraflar da tipik durumların genel görünüşünü sağlamakta ve alanda tanımlanan şiddetli ya da daha önce karşılaşılmamış herhangi bir bozulmayı kapsamaktadır (APTech, 2007).

4.1.2. Havaalanı üstyapıları için performans tahmini modeli geliştirilmesi ve özellikleri

Üstyapı Durum İndeksi (Pavement Condition Index - PCI) trafik yükleri ve çevre faktörlerinden etkilenen üstyapı durumunu tanımlamak için kullanılan indekstir. PCI aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$PCI = 100 - a X \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} f(T_i, S_j, D_{ij}) \quad (3.16)$$

Burada,

a = Düzeltme faktörü

m = Toplam bozulma tipi

n_i = i nci bozulma için şiddet düzeylerinin toplamı

$f(T_i, S_j, D_{ij})$ = var olan D_{ij} yoğunluğundaki S_j şiddet düzeyindeki T_i bozulma tipi için azaltma değeri

Yapısal Durum İndeksi (Structural Condition Index - SCI) ise aşağıdaki formülden hesaplanmaktadır.

$$SCI = 100 - a X \sum_{i=1}^{m_s} \sum_{j=1}^{n_i} f(T_i, S_j, D_{ij}) \quad (3.17)$$

Eşitlik 3.16'daki m değeri her zaman eşitlik 3.17'deki m_s değerine eşit ya da daha büyüktür çünkü m_s üstyapı yapısal bozukluğuna bağlı bozulma tipidir ve m de tüm bozulma tiplerinin sayısıdır. Bu yüzden;

$$PCI = SCI - \text{diğer tüm azaltma değerleri} \quad (3.18)$$

Diğer tüm azaltma değerleri = $D_E + D_M + D_C + D_O$

D_E = Çevresel faktörlerden kaynaklanan azaltma değeri, sıcak karışım asfalt için sökülme gibi.

D_M = Malzemeye bağlı bozulmalardan kaynaklanan azaltma değeri, rijit üstyapılar için sökülme gibi.

D_C = Yapısal kaynaklı bozulmalardan kaynaklanan azaltma değeri, asfalt üstyapılar için kasma gibi.

D_O = Bakım onarım gibi uygulama kaynaklı bozulmalardan kaynaklanan azaltma değeri, rijit üstyapılar için yama gibi.

Yukarıdaki kurallar hem rijit hem de asfalt üstyapılar için kullanılabilir. SCI=80 yapısal ömrün sonunu tanımlamak için rijit üstyapılarda iyi bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak asfalt üstyapılar için yeni bir kullanım olduğundan dolayı daha önce gösterilmemiştir.

ASTM D 5340 asfalt üstyapıların PCI değeri için 16 bozulma rijit üstyapıların PCI değeri için 15 bozulma tipi kullanmıştır (Garg, et al., 2004).

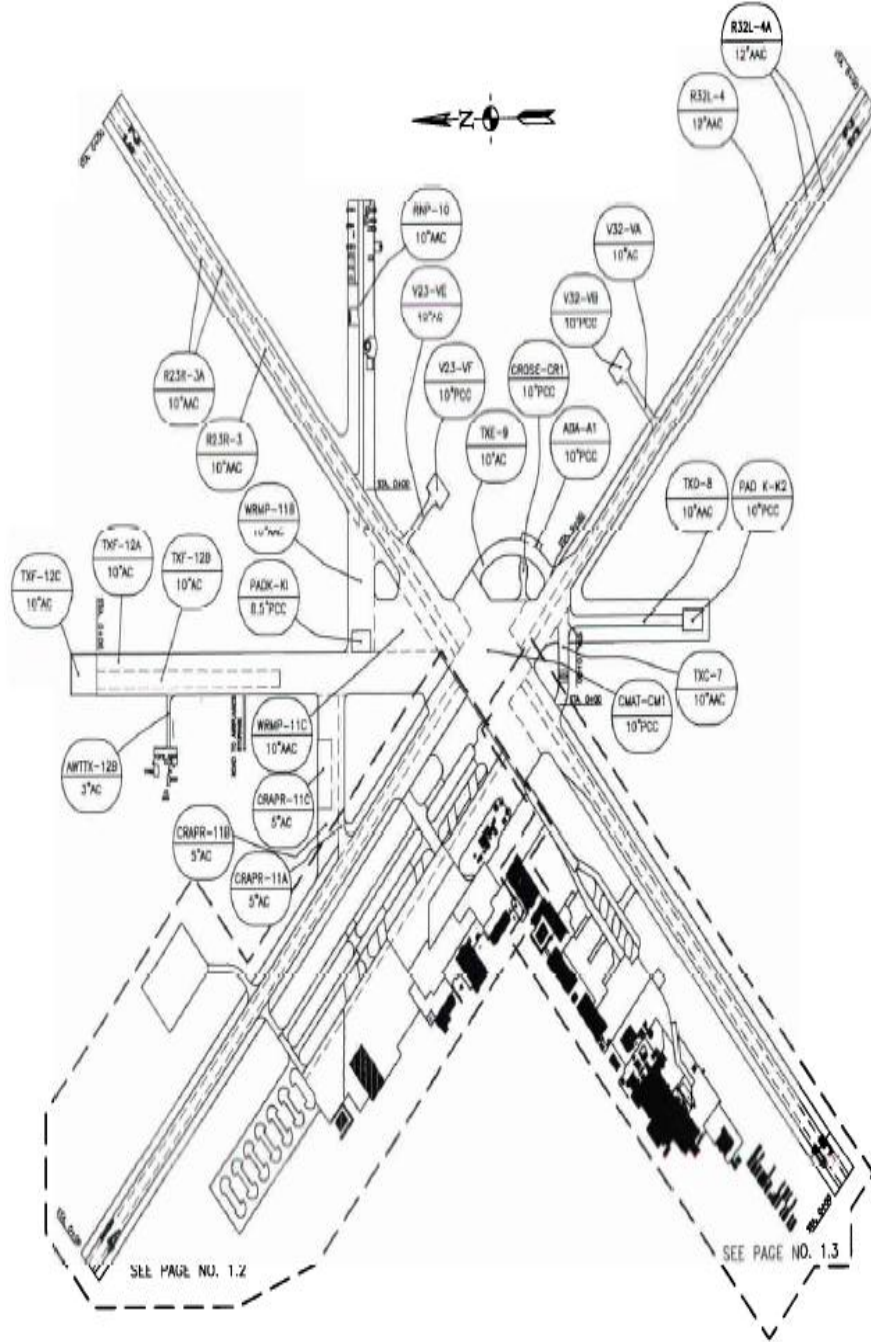
PCI İncelemesi

Bu çalışmada 1999 yılında Deniz Kuvvetleri Mühendislik Genel Kurmayı Atlantik Bölgesinden Üstyapı Değerlendirme Grubu tarafından Kuzey Caroline MCAS Cherry Point'te gerçekleştirilen "Havaalanı Durum İncelemesi ve Yükleme Değerlendirmesi" isimli çalışmada elde edilen veriler kullanılarak tahmin edilen PCI değerleriyle bulanık mantık sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu çalışma aynı zamanda üstyapı yönetim sistemi için gerekli olan bakım ve rehabilitasyon çalışmalarını da bir örnek olarak göstermektedir (Bryan, 1999).

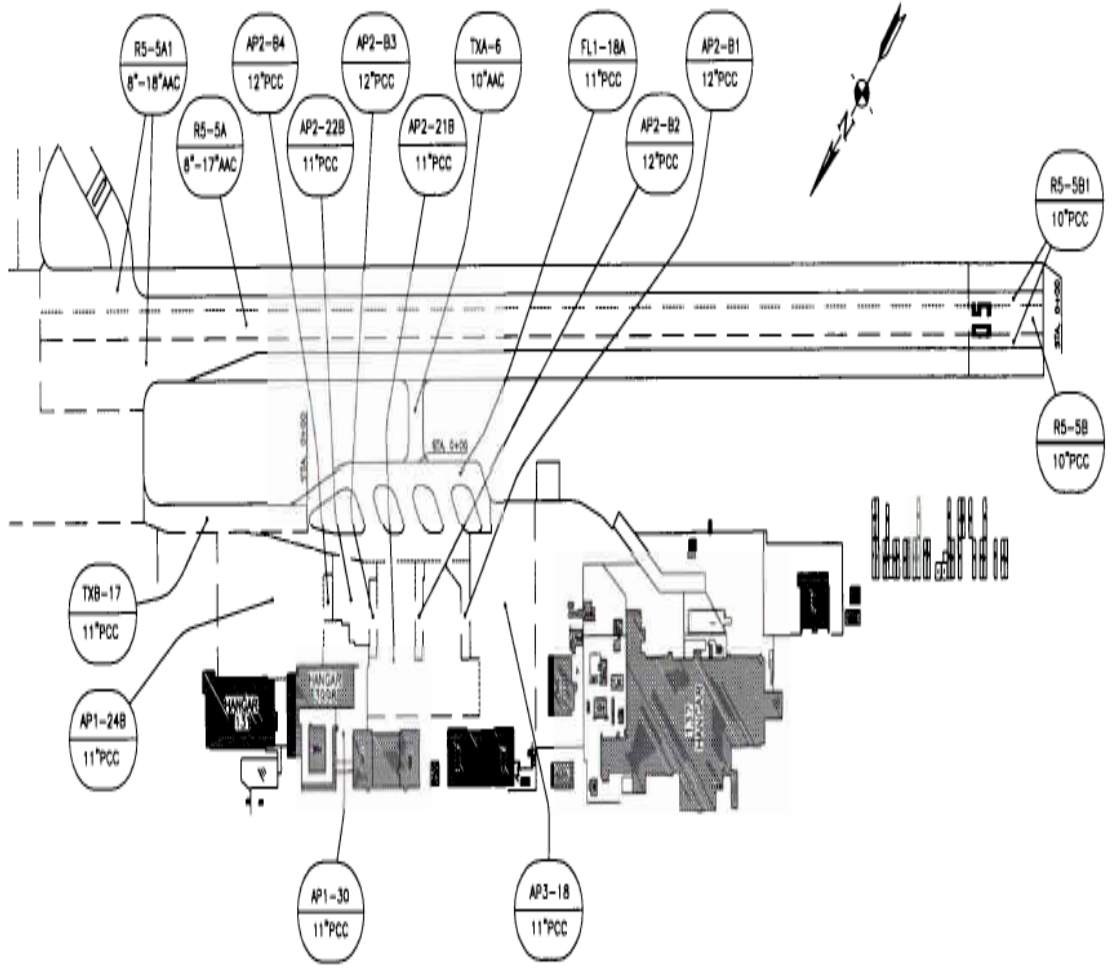
Havaalanı 4 pist (5-23, 14-32, 23-5 ve 32-14) ten oluşmaktadır. Her bir pist 8.000-9.000 feet uzunluğunda 200 feet genişliğindedir. Çoklu taksi yolları ve park apronları

bulunmaktadır. Marine Uçağı 3 AV-8B Harrier filosu, 4 EA-6B Prowler filosu ve 1 KC-130 Hercules yakıt ikmal uçak filosu barındırmaktadır.

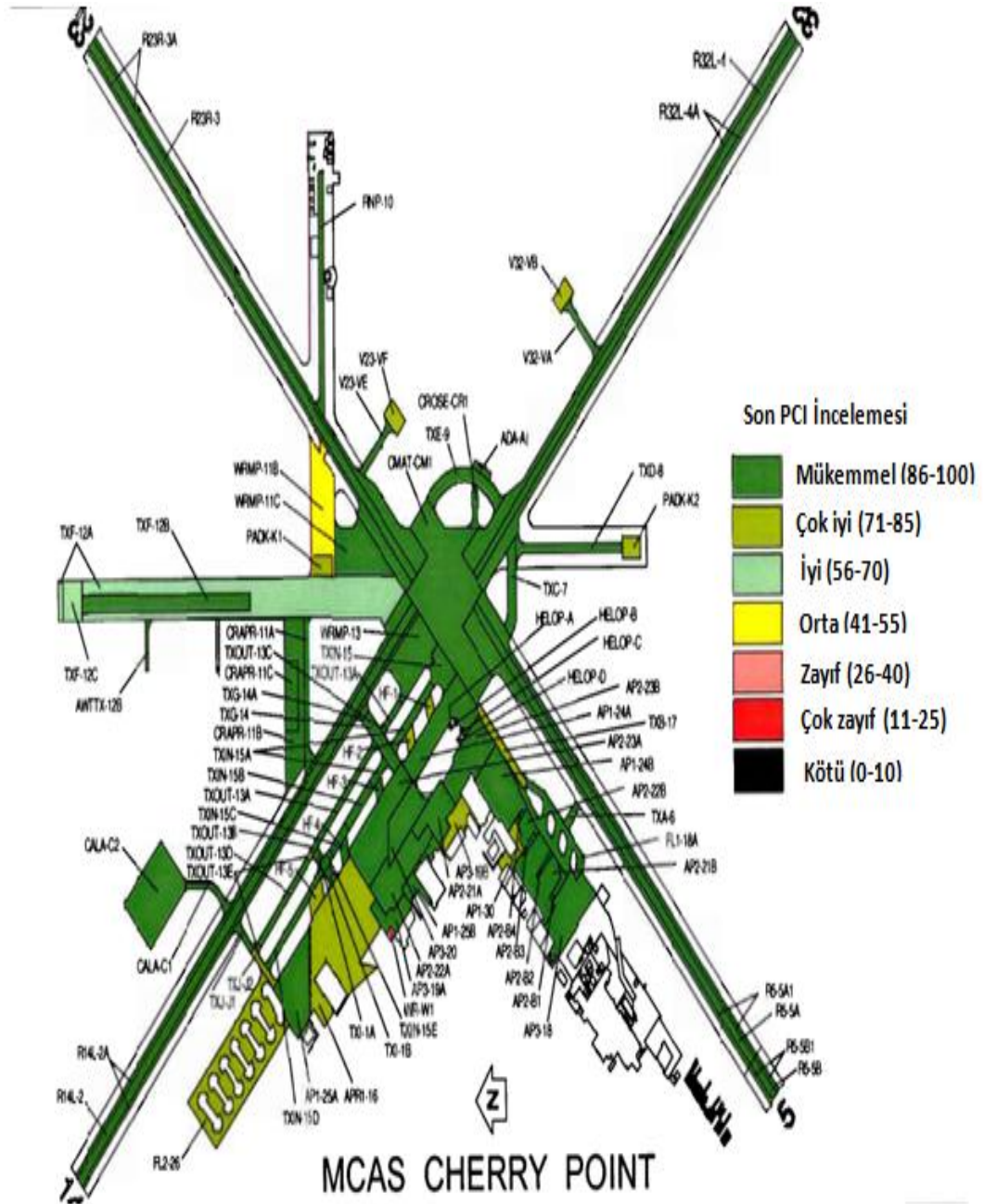
MCAS Cherry Point havaalanı üstyapıları üstyapı tipi ve kullanımına göre bölüm ve kollara ayrılmıştır. Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4 MCAS Cherry Point bölüm yerleşimini, Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7 PCI ve PCN çizelgelerini göstermektedir (Bryan, 1999).



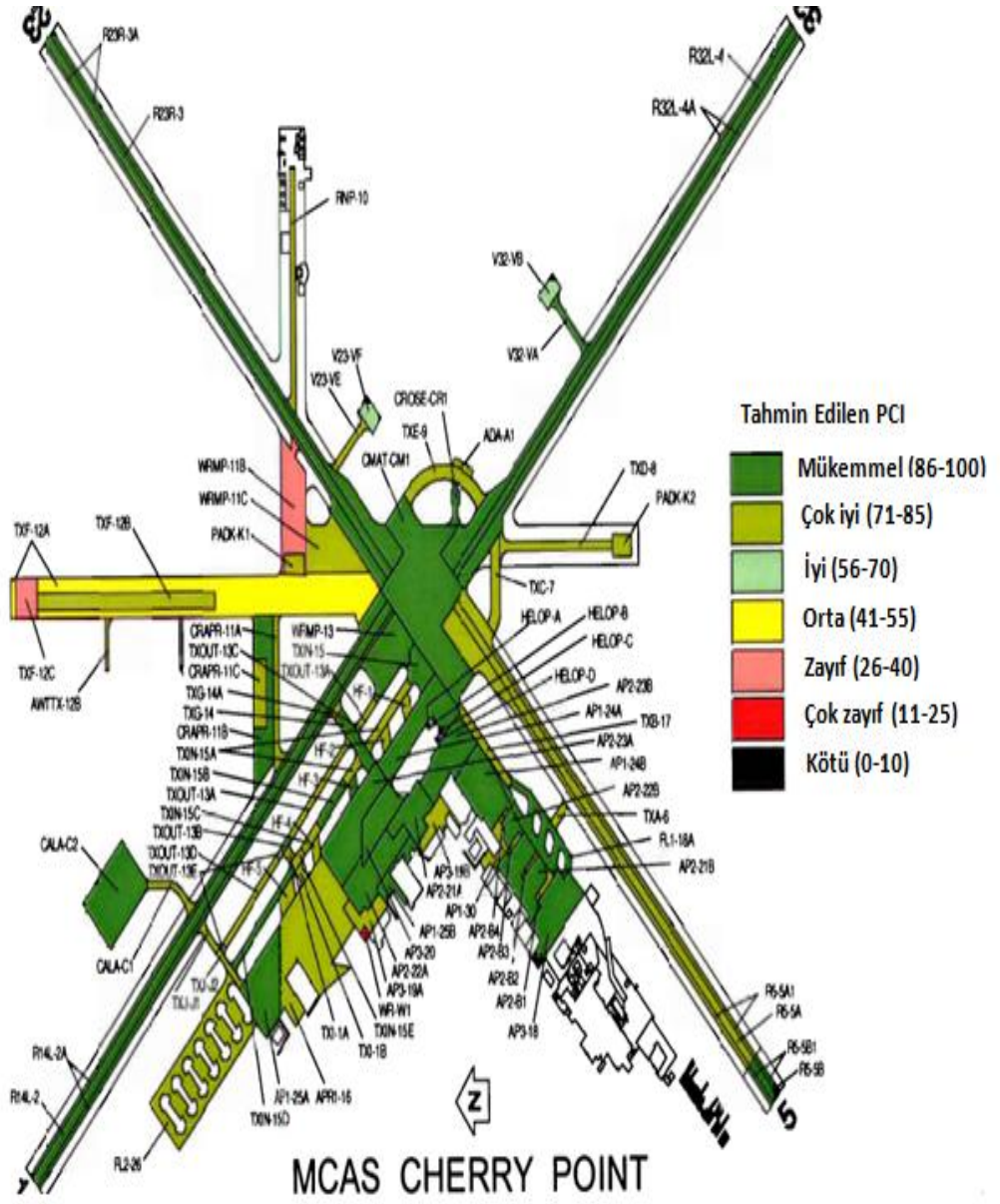
Şekil 4.2. MCAS Cherry Point Bölüm Yerleşimi (Bryan, 1999)



Şekil 4.4. MCAS Cherry Point Pist 05 Bölüm Yerleşimi (Bryan, 1999)



Şekil 4.5. MCAS Cherry Point için son incelemedeki (Haziran 1999) PCI (Bryan, 1999)



Şekil 4.6. MCAS Cherry Point için tahmin edilen (Haziran 2004) PCI (Bryan, 1999)

Çizelge 3.8. PCI değerleri ve bakım onarım işlemleri

PCI Değerleri	Bakım onarım işlemleri
71-100	Önleyici bakım
41-70	Önleyici bakımdan ana bakım ve rehabilitasyon işlemlerine geçebilir. Karar yaşam boyu maliyet analizi ve mühendis değerlendirmesi gerektirir.
26-40	Ana ve tüm bakım onarım işlemleri takviye tabakasını içerir. Karar yaşam boyu maliyet analizi ve mühendis değerlendirmesi gerektirir.
0-25	Tüm bakım ve rehabilitasyon işlemleri yeniden inşaatı içerir. Karar yaşam boyu maliyet analizi gerektirir.

Çizelge 3.9, MCAS Cherry Point için yapılan inceleme ve tahmin sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge 3.9. MCAS Cherry Point için yapılan inceleme ve tahmin sonuçları

Üstyapı	Kullanım	Kesim	Bölüm	Ar al k	Yüze y Tipi	Hazir an 99 PCI	Hazir an 04 PCI	Hazira n 09 PCI	PCN	ALAN F ²
ARM/DE ARM PAD	APRON	ADA	A1	P	PCC	88	85	83	85/R/B/W/T	24.382
HANGA R APRONS	APRON	AP1	24A	P	PCC	91	88	86	56/R/B/W/T	415.279
		AP1	24B	P	PCC	93	90	89	71/R/B/W/T	366.010
		AP1	25A	P	PCC	89	85	82	40/R/B/W/T	370.072
		AP1	25B	P	PCC	91	88	85	44/R/B/W/T	122.475
		AP1	30	P	PCC	83	77	72	101/R/B/W/ T	80.607
	APRON	AP2	21A	P	PCC	92	90	89	65/R/B/W/T	232.398

Çizelge 3.9. (devam)

		AP2	21B	P	PCC	90	87	86	79/R/B/W/T	336.384
		AP2	22A	P	PCC	93	91	90	57/R/B/W/T	342.351
		AP2	22B	P	PCC	90	87	86	104/R/B/W/ T	67.542
		AP2	23A	P	PCC	94	92	91	72/R/B/W/T	463.352
		AP2	23B	P	PCC	92	90	88	65/R/B/W/T	320.584
		AP2	B1	P	PCC	100	84	70	92/R/B/W/T	26.712
		AP2	B2	P	PCC	100	84	70	111/R/B/W/ T	18.178
		AP2	B3	P	PCC	100	84	70	100/R/B/W/ T	14.164
		AP2	B4	P	PCC	100	84	70	107/R/B/W/ T	9.953
	APRON	AP3	18	P	PCC	89	87	86	76/R/B/W/T	404.240
		AP3	19A	P	PCC	86	84	82	49/R/B/W/T	105.133
		AP3	19B	P	PCC	84	81	80	85/R/B/W/T	120.147
		AP3	20	P	PCC	92	90	90	62/R/B/W/T	239.801
C130 APRON AREA #16	APRON	APR1	16	P	PCC	83	81	79	43/R/C/W/T	1.039.75 5
AIRCRA FT WEAPO NS AREA	APRON	AWTT X	12B	P	AC	100	84	70	39/F/B/W/T	25.376
COMBA T ARMS LOADIN G AREA	APRON	CALA	C1	P	AC	98	82	68	26/F/A/W/T	66.235
			C2	P	PCC	94	91	90	44/R/B/W/T	541.701
CENTER MAT	RUNWA Y	CMAT	CM1	P	PCC	95	92	89	52/R/B/W/T	1.329.77 8
CRASH CREW APRON	APRON	CRAP R	11A	P	AAC	95	79	65	29/F/A/W/T	141.234
			11B	P	AAC	97	96	95	34/F/A/W/T	356.966
			11C	P	AAC	100	84	69	-	142.975
COMPOS E ROSE	APRON	CROS E	CR1	P	PCC	95	93	93	74/R/B/W/T	43.838
HARRIE R REFUEL	TAXIWA Y	FL1	18A	P	PCC	89	87	85	83/R/C/W/T	328.072
HEAVY DIRECT REFUELI	APRON	FL2	26	P	PCC	85	80	76	61/R/B/W/T	584.613

Çizelge 3.9. (devam)

NG										
BASE OPS HELICOP TER PADS	HELIPAD	HELOP	A	P	PCC	83	80	78	-	3.750
			B	P	PCC	70	66	62	-	3.750
			C	P	PCC	88	86	85	-	3.750
			D	P	PCC	80	77	75	-	3.750
HOT REFUEL ERS 1-5	APRON	HOTRF	HF1	P	PCC	76	73	70	72/R/B/W/T	25.974
			HF2	P	PCC	77	74	71	74/R/B/W/T	25.974
			HF3	P	PCC	88	86	85	60/R/B/W/T	20.072
			HF4	P	PCC	86	84	83	66/R/B/W/T	25.928
			HF5	P	PCC	82	79	78	72/R/B/W/T	50.949
NORTH AND SOUTH PADS	APRON	PADK	K1	P	PCC	83	76	71	-	60.000
			K2	P	PCC	83	76	71	44/R/B/W/T	60.000
RUNWAY 14L	RUNWAY	R14L	2	P	AC	97	93	89	73/F/A/W/T	797.500
			2A	P	AC	97	96	95	-	797.500
RUNWAY 23R	RUNWAY	R23R	3	P	AAC	95	88	83	101/F/A/W/T	749.000
			3A	P	AAC	95	88	82	-	749.000
RUNWAY 32L	RUNWAY	R32L	4	P	AAC	95	88	81	56/F/A/W/T	750.000
			4A	P	AAC				-	750.000
RUNWAY 5R	RUNWAY	R5	5A	P	AAC	100	84	70	72/F/A/W/T	639.600
	RUNWAY	R5	5A1	P	AAC	100	84	69	-	639.600
			5B	P	PCC	87	85	84	64/R/B/W/T	51.000
			5B1	P	PCC	88	86	85	-	51.000
HIGH POWER RUN-UP AREA	APRON	RNP	10	P	AAC	97	81	67	31/F/B/W/T	206.084
TAXIWAY "A" (ALPHA)	TAXIWAY	TXA	6	P	AAC	100	84	70	33/F/B/W/T	45.367
TAXIWAY "B" (BRAVO)	TAXIWAY	TXB	17	P	PCC	85	83	82	66/R/B/W/T	109.408

Çizelge 3.9. (devam)

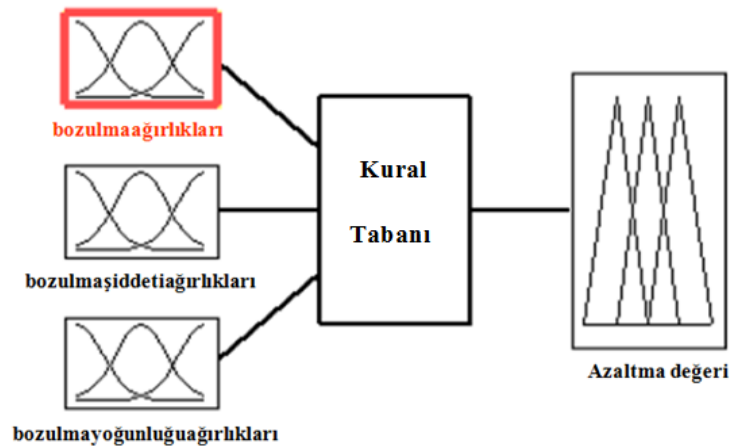
TAXIWA Y "C" (CHARLIE)	TAXIWA Y	TXC	7	P	AAC	94	78	64	43/F/A/W/T	132.600
TAXIWA Y "D" (DELTA)	TAXIWA Y	TXD	8	P	AAC	98	82	68	36/F/A/W/T	181.187
TAXIWA Y "E" (ECHO)	TAXIWA Y	TXE	9	P	AAC	99	83	69	41/F/A/W/T	199.650
TAXIWA Y "F" (FOXROT)	TAXIWA Y	TXF	12A	P	AAC	57	43	30	54/F/B/W/T	681.500
			12B	P	AAC	90	74	60	53/F/B/W/T	462.000
			12C	P	AC	69	37	7	23/F/B/W/T	62.600
TAXIWA Y "G" (GOLF)	TAXIWA Y	TXG	14	P	PCC	98	95	94	94/R/B/W/T	87.000
			14A	P	APC	100	84	70	53/F/B/W/T	18.000
TAXIWA Y "I" (INDIA)	TAXIWA Y	TXI	1A	P	PCC	100	84	70	52/R/C/W/T	23.805
			1B	P	PCC	100	84	70	74/R/B/W/T	20.627
TAXIWA Y INBOUND	TAXIWA Y	TXIN	15	P	AAC	94	87	82	50/F/A/W/T	117.112
			15A	P	PCC	100	84	70	76/R/B/W/T	128.900
			15B	P	AAC	99	98	97	56/F/A/W/T	60.100
			15C	P	PCC	100	84	70	119/R/B/W/ T	39.400
			15D	P	PCC	92	89	87	51/R/B/W/T	103.425
			15E	P	PCC	100	84	70	64/R/B/W/T	17.300
TAXIWA Y "J" (JULIET)	TAXIWA Y	TXJ	J1	P	APC	96	80	66	53/F/A/W/T	36.478
			J2	P	PCC	84	78	73	50/R/B/W/T	38.846
TAXIWA Y OUTBOUND	TAXIWA Y	TXOUT	13A	P	AAC	92	83	76	205/F/A/W/ T	130.425
			13B	P	PCC	98	95	94	91/R/B/W/T	13.125
			13C	P	PCC	100	84	70	76/R/B/W/T	9.115
			13D	P	APC	95	79	65	75/C/C/W/T	90.750
			13E	P	PCC	77	61	47	63/R/B/W/T	14.173

Çizelge 3.9. (devam)

NORTHE AST PAD AND T/W	TAXIWA Y	V23	VE	P	AC	89	85	81	38/F/B/W/T	53.586
	APRON		VF	P	PCC	72	61	52	36/R/B/W/T	60.000
SOUTHE AST PAD AND T/W	TAXIWA Y	V32	VA	P	AC	90	86	83	37/F/A/W/T	53.586
	APRON		VB	P	PCC	77	68	61	39/R/B/W/T	60.000
AIRCRA FT WASHR ACK	APRON	WR	W1	P	PCC	34	24	16	64/R/B/W/T	7.875
WARMU P AREAS	TAXIWA Y	WRMP	11B	P	AAC	46	31	18	27/F/B/W/T	414.361
			11C	P	AAC	99	83	69	43/F/A/W/T	369.258
			13	P	PCC	96	95	95	63/R/B/W/T	269.652
			ORTALAMA PCI			89	82	74	TOPLAM = 19.255.699	

4.1.2.1. Seçilen değişkenlerin bulanık mantık üyelik fonksiyonları

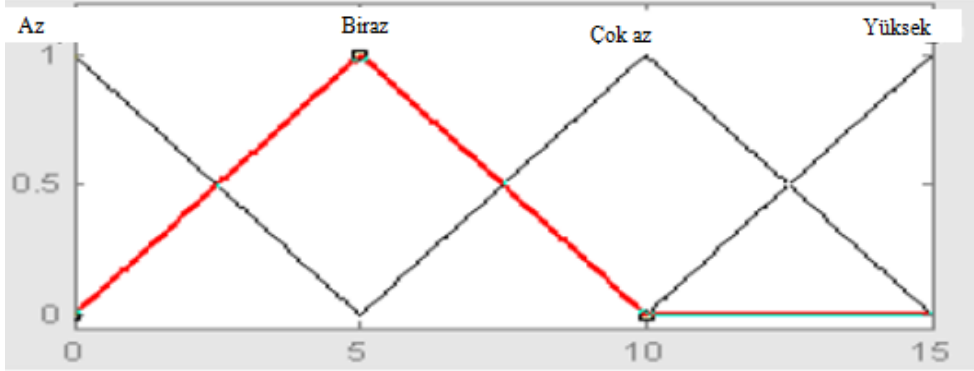
Model yapısında girdi olarak bozulma miktarı, bozulma şiddeti ve bozulma yoğunluğu için ağırlıklar belirlenmiştir. Çıktı olarak da azaltma değeri elde edilmiştir. Bulanık mantık modelinde kullanılan girdiler ve çıktı şekil 4.8'de görülmektedir.



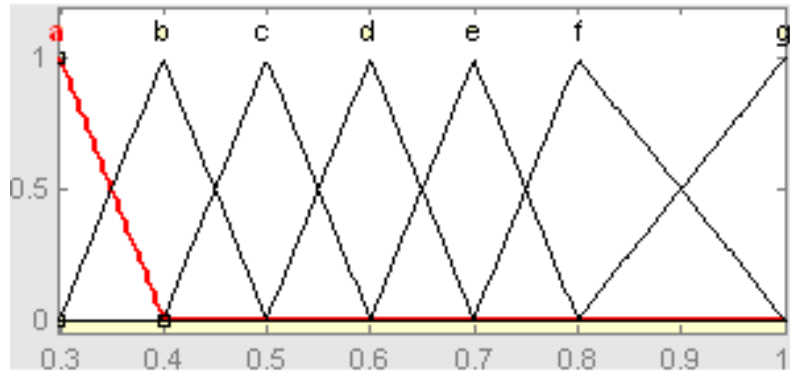
Şekil 4.8. Model yapısı

Bulanık mantık modellerinde sayısal olarak dikkate alınan değişkenler üyelik fonksiyonları ile ifade edilmiştir. Ancak kural yazımında sözel değişkenler de

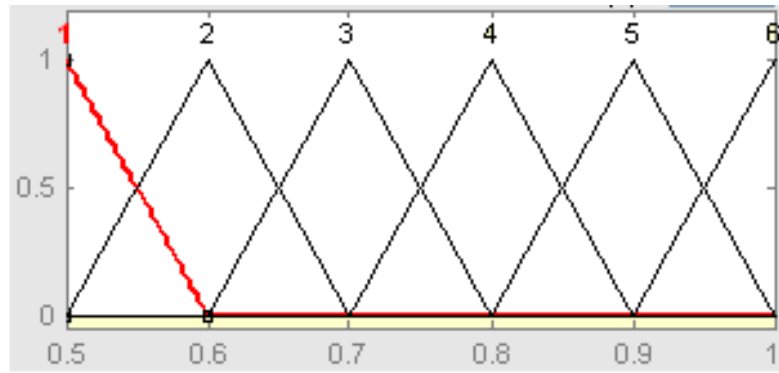
kullanılmıştır. Şekil 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12’de modele ait bulanık mantık üyelik fonksiyonlarını gösterilmiştir.



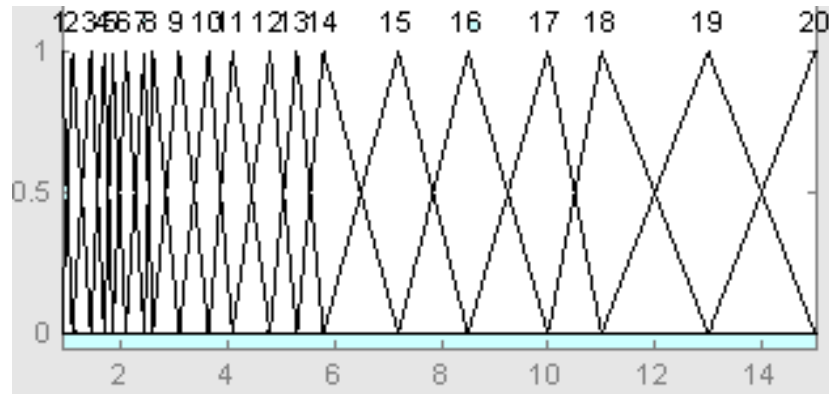
Şekil 4.9. Bozulma şiddeti üyelik fonksiyonu



Şekil 4.10. Bozulma miktarı üyelik fonksiyonu



Şekil 4.11. Bozulma yoğunluğu üyelik fonksiyonu



Şekil 4.12. Azaltma değeri üyelik fonksiyonu

Şekil 4.13 bulanık mantık kural tabanını göstermektedir. Yaklaşık 160 tane kural yazılmıştır. Her olasılık için kural tabanı oluşturulmuştur.

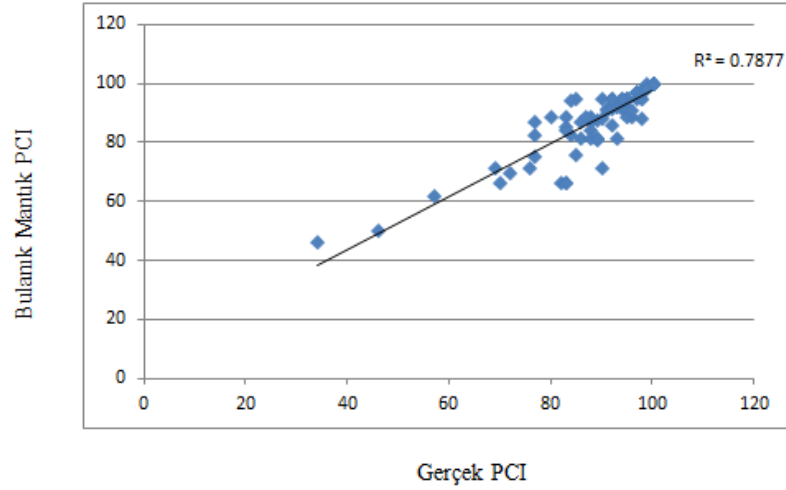
1. If (distresweight is few) and (severityweight is very_high) and (extentweight is high) then (deductpoint is 16) (1)
2. If (distresweight is few) and (severityweight is very_high) and (extentweight is median) then (deductpoint is 14) (1)
3. If (distresweight is little) and (severityweight is some_high) and (extentweight is a-few) then (deductpoint is 6) (1)
4. If (distresweight is few) and (severityweight is little) and (extentweight is some) then (deductpoint is 5) (1)
5. If (distresweight is high) and (severityweight is high) and (extentweight is a-few) then (deductpoint is 13) (1)
6. If (distresweight is high) and (severityweight is very_high) and (extentweight is some-high) then (deductpoint is 17) (1)
7. If (distresweight is high) and (severityweight is very_high) and (extentweight is median) then (deductpoint is 18) (1)
8. If (distresweight is few) and (severityweight is median) and (extentweight is a-few) then (deductpoint is 9) (1)
9. If (distresweight is high) and (severityweight is very_high) and (extentweight is some-high) then (deductpoint is 16) (1)
10. If (distresweight is high) and (severityweight is very_high) and (extentweight is median) then (deductpoint is 16) (1)
11. If (distresweight is high) and (severityweight is very_high) and (extentweight is some-high) then (deductpoint is 17) (1)
12. If (distresweight is high) and (severityweight is high) and (extentweight is high) then (deductpoint is 18) (1)
13. If (distresweight is high) and (severityweight is some_high) and (extentweight is very-high) then (deductpoint is 17) (1)
14. If (distresweight is few) and (severityweight is very_high) and (extentweight is very-high) then (deductpoint is 18) (1)
15. If (distresweight is high) and (severityweight is very_high) and (extentweight is high) then (deductpoint is 18) (1)
16. If (distresweight is few) and (severityweight is very_high) and (extentweight is some-high) then (deductpoint is 16) (1)
17. If (distresweight is little) and (severityweight is median) and (extentweight is median) then (deductpoint is 6) (1)
18. If (distresweight is high) and (severityweight is very_high) and (extentweight is some) then (deductpoint is 15) (1)
19. If (distresweight is high) and (severityweight is very_high) and (extentweight is some-high) then (deductpoint is 17) (1)
20. If (distresweight is high) and (severityweight is high) and (extentweight is median) then (deductpoint is 16) (1)

Şekil 4.13. Bulanık mantık kural tabanı

4.1.2.2. Sonuçlar ve karşılaştırma

Literatürde birçok performans tahmin modeli bulunmaktadır. Bu modeller genel olarak şunlardır: Lineer azalan tahmin modeli, Regresyon (Ampirik) Modeli, Mekanistik-Ampirik Model, En Küçük Kareler Yöntemi ile Polinom Modeli, S- Şekli Eğiriler, Olasılık Dağılımı, Markov Modeli ve Yapay Zeka Modelleridir.

Bu çalışmada ölçülen bozulma değeri esas alınarak bulanık mantık yöntemiyle bir model oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlarla gerçek değeri karşılaştırılmış ve yaklaşık sonuçlar bulunmuştur. Şekil 3.14'de sonuçların gerçek değeriye yakın olduğu ve R^2 değeri 0.7877 olduğu görülmektedir. Bulanık mantıkla modelleme yapmanın mümkün olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.13. Bulanık mantık PCI sonuçlarıyla gerçek değeri karşılaştırılması

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Literatürde birçok performans tahmin modeli bulunmaktadır. Bu çalışmada 1999 yılında Deniz Kuvvetleri Mühendislik Genel Kurmayı Atlantik Bölgesinden Üstyapı Değerlendirme Grubu tarafından Kuzey Caroline MCAS Cherry Point'te gerçekleştirilen “Havaalanı Durum İncelemesi ve Yükleme Değerlendirmesi” isimli çalışmada elde edilen veriler kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar gerçek değerlerle karşılaştırılmış ve yaklaşık sonuçlar bulunmuştur. Bulanık mantıkla modellemenin mümkün olduğu düşünülmektedir. Bu çalışma aynı zamanda üstyapı yönetim sistemi için gerekli olan bakım ve rehabilitasyon çalışmalarını da bir örnek olarak göstermektedir.

Bozulma verilerinin ölçülmesinden sonra gelecekte oluşacak bozulmalar tahmin edilip bakım ve rehabilitasyon takvimi oluşturmak mümkündür. Ancak bu çalışmada sadece tahmin edilen gelecek rehabilitasyon stratejileri sunulmuştur. Örnek olarak MCAS Cherry Point için oluşturulan bakım ve rehabilitasyon takvimi sunulmuştur.

6. KAYNAKLAR

- AASHTO, 1986. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, USA, pp-III-7.
- Abraham, R., Williams, J., Haynes, C. D., 2003. Revised Airport Licensing. The University of Alabama, The University of Alabama in Birmingham, and The University of Alabama at Huntsville, UTCA Report Number 02410.
- Advisory Circular, 2006. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, Airport Pavement Management Program, Washington.
- Advisory Circular, 2008. Draft, Guidelines and Procedures for Measuring Airfield Pavement Roughness. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration.
- Ağar, E., Süttaş, İ., Öztaş, G., 1998. Beton Yollar. İstanbul Teknik Üniversitesi
- Ahyudanari, E., Shafiq, N., Kamaruddin, I., 2010. An Alternative Method In Evaluation Approach Of Airport Pavement Performance. Proceeding of Malaysian Universities Transportation Research Forum and Conferences (MUTRFC2010), 21 December 2010, Universiti Tenaga Nasional. ISBN 978-967-5770-08-1.
- Akıllı, T., 2003. Beton Yolların Tasarımı ve Türkiye’de Uygulanabilirliği. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- All About Pavements, Inc, 2009. Pavement Performance at Southeast Airports, Final Report, Pavement Management – Evaluation – Testing – Design. 1705 Lakeshore Drive, Mahomet, IL 61853.
- Anonim, 2009. Takviye Tabakaları. http://www.trb.org/news/blurb_detail.asp?id=10492.
- Applied Pavement Technology, Inc. (APTech), 2006. Pavement Management Program Update Washington State Department of Transportation Aviation. Washington Department of Transportation.
- Applied Research Associates, Inc., 2008. Minnesota Airport System Pavement Evaluation, 2008 Update. Ely Municipal Airport, Ely, Minnesota.
- Applied Pavement Technology, Inc. (APTech), 2006. WSDOT Aviation, Washington Airport Pavement Management System Pavement Management Manual. Washington.
- Applied Pavement Technology, Inc. (APTech), 2007. WSDOT Aviation, Illinois Airport Pavement Management System Pavement Management Manual. Illinois.
- Applied Pavement Technology, Inc. (APTech), Halikowski S. J., Toth, J., Hawkins, H., McClardy, M., 2010. Arizona Airport Pavement Management

System Update 2010 Executive Summary. Arizona Department of Transportation.

- ASTM E-867, Standard Terminology Relating to Traveled Surface Characteristics. Defines friction resistance as “the ability of the traveled surface to prevent the loss of traction. U.S.
- Awasthi, G., Singh, T., Das, A., 2003. On Pavement Roughness Indices. Vol 84, May, Department of Civil Engineering, IIT, Kanpur 208 016.
- Bendar, J.J., 1989. A Pavement Performance Curves: Four Case Studies, Public Roads. Volume 53, Number 3, December.
- Bentsen, R. A., Bush, III. A. J., Harrison, J. A., 1989. Evaluation of Nondestructive Test Equipment for Airfield Pavements, Phase I, Calibration Test Results and Field Data Collection. Geotechnical Laboratory, Department of the Army.
- Bryan, D. G., Spaugh, G.E., Styron, M. B., Malvar, J. L., 1999. Airfield Pavement Condition (PCI) Survey, And Load Evaluation Data. Marine Corps Air Station Cherry Point, North Carolina.
- Chou, C. P., Lin, S. T., Lin, M. L., Wang, S. Y., 2004. Pavement Engineering. Chinese Petroleum CORP Solvent & Chemical Business Division.
- DLH, 2007. (T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar, Hava Meydanları İnşaatı) Genel Müdürlüğü, Hava meydanları Malzeme, Yapım, Kontrol ve Bakım Onarım Teknik Esasları Sonuç Raporu. Ankara.
- Dynatest A Distinction of Class and Performance, Dynatest Airport PMS, Rev. 050630-11
- Garg, N., Guo, E., McQueen, R., 2004. Operational Life of Airport Pavements, Final Report. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration 13. Type of Report and Period Covered Office of Aviation Research Washington, DC 20591.
- Gendreu, M., Soriano, P., 1994. Airport Pavement Management Systems: An Appraisal Of Existing Methodologies. Centre de recherche sur les transports and DeÂpartement d'informatique et de recherche opeÂrationnelle, UniversiteÂ de MontreÂ al, C.P. 6128, succursale Centre-ville, MontreÂ al, QueÂbec, Canada H3C 3J7.
- Güler, E., 2006, Asfalt içindeki Geotekstilin Çalışma Prensipleri, Boğaziçi Üniv.İnş.Müh. Bölümü, İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı 16-17 Kasım
- Haas, R., Hudson, W. R., Zaniewski, J., 1994. Modern pavement management systems. Krieger Publishing Company, USA
- Hall, J. W., Smith, K. L., Titus-Glover, L., Wambold, J. C., Yager, T. J., Rado, Z., 2009. Guide for Pavement Friction, Contractor’s Final Report. NCHRP Project 01-43.

- Hall, K. T., Correa, C. E., Carpenter, S. H., Elliott, R. P., 2003. Guidelines for Life-Cycle Cost Analysis of Pavement Rehabilitation Strategies. TRB 2003 Annual Meeting.
- Henry, J.J., 2000. Evaluation of Pavement Friction Characteristics. NCHRP Synthesis of Highway Practice 291, Transportation Research Board, National Research Council.
- Interlocking Concrete Pavement Institute (ICPI), 2004. Slip and Skid Resistance of Interlocking Concrete Pavements. Tech Spec Number 13.
- Jantzen, J., 2007. Foundations of Fuzzy Control. Publisher John Wiley & Sons ©2007 ISBN 0470029633.
- Kim, S. H., Kim, N., 2006. Development of Performance Prediction Models in Flexible Pavement Using Regression Analysis Method. KSCE Journal of Civil Engineering Vol. 10, No. 2 / March, pp. 91~96.
- KGM, 1998. Karayolu El Kitabı. Karayolları Genel Müdürlüğü Bakım Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Mazıllıgüney, L., 2006. Hava alanları için kaplamalı sahalar bakım yönetimi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- McGhee, K. H., 1990. Final Report - Implementation of a Pavement Management System for Virginia's General Aviation Airports. Virginia, Transportation Research Council Box 3817, University Station Charlottesville, Virginia 22903-0817.
- McNerney, M. T., Harrison, R., Full-Cost Approach to Airport Pavement Management. The University of Texas at Austin, 3208 Red River, Suite 200, Austin, Texas, 78705-2650.
- McCreary, I., 2008. The economic cost of FOD to airlines. INSIGHT SRI, No 400, 456-458 The Strand London WC2R 0DZ United Kingdom.
- Morrow, G., 2006. Comparison of Roughness Measuring Instruments. Department of Civil and Environmental Engineering University of Auckland Private Bag 92109 Auckland New Zealand.
- Nejad, F. M., Ziari, H., MAhmod, A., 2009. Mathematical Failure-Theory (Mft) Methodology in Pavement Management System for Rehabilitation and Repair Methods Selection. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 4, No. 2, ISSN 1819-6608.
- Özerdoğan, E., 2005. Rijit Üstyapılarda Bakım ve Onarım. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Terzi, S., Morova, N., Karaşahin, M., 2009. Determining of Flexible Pavement Condition Rating Deduct Value with Fuzzy Logic Algorithm. International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, pp 161-168, Trabzon.

- Pavement Consultants Inc., 2008. Network Pavement Management Study Update - 2007/8, Annual Statewide Report Idaho Airport System. 7530 Roosevelt Way N.E. Seattle, Washington 98115-4221 206-523-9796.
- Pedigo, D. R., Hudson, W. R., ve Roberts, F. L., 1981. Pavement Performance Modeling For Pavement Management. Transportation Research Record 814, Transportation Research Board Commission On Sociotechnical Systems National Research Council National Academy Of Sciences Washington, D.C.
- Sayers, M. W., Karamihas, S. M., 1998. The Little Book of Profiling Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles. The Regent of the University of Michigan.
- Sebaaly, P. E., Venukanthan, S., Siddharthan, R., Hand, A., Epps, J., 1999. Development of Pavement Network Optimization System. Pavements/Materials Program Department of Civil Engineering College of Engineering University of Nevada Reno, Nevada 89557.
- Shahin, M. Y., 2002. Pavement management for airports, roads, and parking lots. Kluwer Academic Publishers, London.
- Shoenberger, J. E., Skid Resistance of Rejuvenated Airfield Pavements. American Society of Civil Engineers (ASCE), Research Civil Engineer, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Waterways Experiment Station, 3909 Halls Ferry Road, Vicksburg, MS, 39180.
- SHRP-P-338, 1993. Distress Identification Manuel for the Long-Term Pavement Performance Project. Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, DC.
- Swanburg, D., National Aerospace FOD Prevention Inc., National Aerospace Standard 412, FOD Program Assessment Tool. Boeing Commercial Airplanes.
- Şen, Z., 2001. Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri. Bilge Kültür Sanat, İstanbul.
- Terzi, S., 2004. Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla Karayolu Üstyapı Bakım Yönetim Modeli Geliştirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Doktora Tezi.
- Technical Appendix, National Cooperative Highway Research Program. The National Research Council and the Federal Aviation Administration, by World Bank, Pg. 116-145.
- Teodorovic, D., Vukadinovic, K., 1998. Traffic Control and Transport Planning: A Fuzzy Sets and Neural Networks Approach. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Tighe, S., Covalt, M., 2008. Implementation of an Airport Pavement Management System. Applied Pavement Technology Urbana, Illinois, Transportation Research Board.

- Transportation Research Board (TRB), 2000.
http://www.trb.org/news/blurb_detail.asp?id=10492.
- Unified Facilities Criteria (UFC), 2004. Airfield Pavement Condition Survey Procedures Pavements. U.S. Army Corps Of Engineers.
- Unified Facilities Criteria (UFC), 2001. Paver Concrete Surfaced Airfields Pavement Condition Index (PCI). U.S. Army Corps Of Engineers.
- Uygunoğlu, T., Yurtcu, Ő., 2006. Yapay Zeka Tekniklerinin İnşaat Mühendisliği Problemlerinde Kullanımı. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi (1) 61 – 70.
- Villarreal, J., 2009. Assessment Of General Aviation Airport Pavement Conditions In Kansas. B.S., Kansas State University, A Thesis of Master Of Science.
- Wang, Z., Tsai, Y., Pitts, E., 2008. Pavement Preservation: Pay Now or Pay Big Later. Chapter 2: Paper 41.
- Witczak, M. W., 1976. Pavement Performance Models, Volume I, Repeated Load Fracture of Pavement Systems. U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station Soils and Pavements Laboratory P. O. Box 631, Vicksburg, Miss.
- Yılmaz, R., 2007. Kaplamalı ve Kaplamasız Yollarda Geotekstil kullanımı. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik ABD.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Şebnem SARGIN

Doğum Yeri : Antalya

Doğum Yılı : 1984

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : 1998-2002 Antalya Anadolu Lisesi

Lisans : 2002-2007 SDÜ Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Öğretmenliği Bölümü

Yüksek Lisans: 2008- SDÜ Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalı (Devam Ediyor)

Yabancı Dil : İngilizce

İş Deneyimi : 2009 - Düzce Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü Araştırma Görevlisi

Terzi, S., Sargin, S., Morova, N., Serin, S., “Rijit üstyapılarda Üstyapı Servis Yeteneği Oranının Bulanık Mantık Yöntemiyle Modellenmesi” International Symposium on Innovations in Intelligent SysTems and Applications (ASYU-INISTA), Haziran, 2010

Özgan, E., Orakoğlu, M., Serin, S., Sargin, S., “Kavşaklarda trafik akışının Kuyruk Teorisiyle Modellenmesi” Karayolu Trafik Sempozyumu, 06-08 Mayıs 2010

Özgan, E., Serin, S., Sargin, S., “Trafik Kaza Analizinin Örnek Bir inceleme” Karayolu Trafik Sempozyumu, 06-08 Mayıs 2010

Özgan, E., Serin, S., Sargin, S., “İstatistiksel Yöntem ve Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Kavşakların Kapasitesinin Modellenmesi” Karayolu Trafik Sempozyumu, 06-08 Mayıs 2010

Terzi S., Serin S., Morova N., Sargin Ş., “Yapay Zekâ Ve İstatistiksel Analiz Yöntemleri İle Bitüm Miktarının Asfalt Betonu Dayanımına Etkisinin Belirlenmesi” International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, INISTA, İstanbul, Haziran, 2011

“Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Gerçek Zamanlı Bir Üstyapı Yönetim Sistemi Geliştirilmesi” Tübitak Projesi, Proje Numarası: 108M052, Yönetici: Doç. Dr. Serdal TERZİ, Projedeki görevi: Bursiyer, 2008-2009

