

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ESNEK YOL ÜSTYAPISINDA OLUŞAN
BOZULMALAR VE DEĞERLENDİRMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Erkan HANLI
(501051417)**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Ulaştırma Mühendisliği

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Emine AĞAR

MAYIS 2009

**ESNEK YOL ÜSTYAPISINDA OLUŞAN
BOZULMALAR VE DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Erkan HANLI
(501051417)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 9 Nisan 2009
Tezin Savunulduğu Tarih: 6 Mayıs 2009

Tez Danışmanı: Prof Dr Emine AĞAR (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri: Yrd. Doç. Dr. Şükriye İYİNAM (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Murat AKAD (İÜ)

MAYIS 2009

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezi çalışmasında sürekli desteğini gördüğüm, bilgi ve yol göstermesi ile bu tezi hazırlamamda en büyük katkıyı sağlayan tez danışmanım değerli hocam Prof. Dr. Emine AĞAR' a öncelikle teşekkürlerimi sunarım.

Kaynak sağlamamda benden yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Murat ERGÜN' e, Öğr. Gör. Dr A. Faik İYİNAM' a, konuyla ilgili çalışmalarından yaralandığım değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Şükriye İYİNAM' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasının her aşamasında emeği geçen değerli arkadaşım Pey. Mim. Esra AKARSU' ya teşekkür ederim.

Bu çalışmamı, hayatım boyunca benden desteklerini esirgemeyen aileme ithaf ediyorum.

6 Mayıs 2009

Erkan HANLI

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı.....	1
2. KARAYOLU.....	5
2.1. Karayolu Tanımı.....	5
2.2. Karayollarının Tarihçesi ve Gelişimi.....	5
2.2.1. Dünyada karayollarının gelişimi.....	5
2.2.2. Türkiye’de karayollarının gelişimi.....	6
2.3. Karayolu Yapısının Tanımı.....	9
2.3.1. Karayolu altyapısı.....	9
2.3.2. Karayolu üstyapısı.....	9
2.4. Karayolu Esnek Üstyapısı.....	10
2.4.1 Taban zemini.....	12
2.4.2 Alt temel tabakası.....	13
2.4.3 Temel tabakası.....	13
2.4.4 Kaplama tabakası.....	14
3. ESNEK ÜSTYAPI BOZULMALARI.....	17
3.1. Bozulma.....	17
3.1.1. Bozulma ölçütleri.....	18
3.1.1.1 Servis yeteneği indeksi.....	18
3.1.1.2 Tekerlek izi derinliği.....	20
3.1.1.3 Çatlak.....	20
3.1.1.4 Defleksiyon.....	20
3.1.2 Bozulma nedenleri.....	21
3.1.2.1 Tasarım hataları	21
3.1.2.2 Yapım hataları	22
3.1.2.3 Bakım hataları	22
3.1.2.4 Trafik etkileri	23
3.1.2.5 Çevre ve iklimin etkileri	25
3.1.3 Bozulma seyri.....	26
3.1.4 Bozulma oluşum şekilleri.....	27

4. ESNEK ÜST YAPIDA OLUŞAN BOZULMA TÜRLERİ.....	31
4.1. Şekil Değiştirmeler	32
4.1.1. Tekerlek izinde oturma (kalıcı deformasyon).....	32
4.1.1.1 Tekerlek izi oluşumu ve nedenleri.....	35
4.1.1.2 Tekerlek izi sonucu oluşan kalıcı deformasyon derecelenmesi.....	36
4.1.2. Lokal (yerel) oturma.....	38
4.1.3 Ondülasyonlar, ötelenmeler ve yoğrulmalar.....	41
4.1.4 Tekerlek profil izi oluşması.....	43
4.2 Çatlaklar.....	44
4.2.1 Yorulma çatlakları ve derecelendirilmesi.....	45
4.2.1.1 Hafif şiddette yorulma çatlakları.....	48
4.2.1.2 Orta şiddette yorulma çatlakları.....	48
4.2.1.3 Yüksek şiddette yorulma çatlakları.....	49
4.2.2 Termal (enine) çatlaklar ve derecelendirilmesi.....	50
4.2.2.1 Hafif şiddette termal çatlaklar.....	52
4.2.2.2 Orta şiddette termal çatlaklar.....	53
4.2.2.3 Yüksek şiddette termal çatlaklar.....	54
4.2.3 Kenar çatlakları.....	55
4.2.3.1 Hafif şiddette kenar çatlakları.....	57
4.2.3.2 Orta şiddette kenar çatlakları.....	57
4.2.3.3 Yüksek şiddette kenar çatlakları.....	58
4.2.4 Boyuna çatlaklar ve derecelendirilmesi.....	59
4.2.4.1 Hafif şiddette boyuna çatlaklar.....	61
4.2.4.2 Orta şiddette boyuna çatlaklar.....	61
4.2.4.3 Yüksek şiddette boyuna çatlaklar.....	62
4.2.5 Blok (harita) çatlakları ve derecelendirilmesi.....	63
4.2.5.1 Hafif şiddette blok çatlaklar.....	65
4.2.5.2 Orta şiddette blok çatlaklar.....	65
4.2.5.2 Yüksek şiddette blok çatlaklar.....	66
4.2.6 Yansıma çatlakları.....	67
4.2.6.1 Hafif şiddette yansıma çatlakları.....	68
4.2.6.2 Orta şiddette yansıma çatlakları.....	68
4.2.6.3 Yüksek şiddette yansıma çatlakları.....	68
4.3 Yamalar ve Çukurlar.....	69
4.3.1 Çukurlar.....	69
4.3.1.1 Hafif şiddette çukurlar.....	70
4.3.1.2 Orta şiddette çukurlar.....	71
4.3.1.3 Yüksek şiddette çukurlar.....	71
4.3.2 Yama bozulmaları.....	73
4.3.2.1 Hafif şiddette yama bozulmaları.....	73
4.3.2.2 Orta şiddette yama bozulmaları.....	74
4.3.2.3 Yüksek şiddette yama bozulmaları.....	74
4.4 Çok Yönlü Bozulmalar.....	75
4.4.1 Ayrışma, sökülme ve soyulma.....	75
4.4.1.1 Hafif şiddette ayrışma, sökülme ve soyulma.....	76
4.4.1.2 Orta şiddette ayrışma, sökülme ve soyulma.....	76
4.4.1.3 Yüksek şiddette ayrışma, sökülme ve soyulma.....	77
4.4.2 Çizgisel agrega kaybı.....	78
4.4.3 Bitümlü bağlayıcıların terlemesi (kusma).....	80
4.4.4 Kaplama agregası kaybı.....	83

4.4.5 Kayma direnci kaybı (cılalanma).....	84
4.4.6 Bombelikler.....	85
5. BOZULMALARIN BAKIM VE ONARIMI.....	89
5.1 Bakım-Onarım Yöntemleri.....	90
5.1.1 Bitümlü sıcak karışımın yeniden kullanım yöntemi.....	91
5.1.2 Geotekstillerin bitümlü sıcak karışım takviyelerinde kullanımı.....	92
5.1.3 Yeniden yapım yöntemi.....	92
5.1.4 Diğer onarım yöntemleri.....	93
5.1.4.1 Yama yapılması.....	93
5.1.4.2 Çatlak dolgusu ve yalıtım.....	93
5.1.4.3 Bitümlü koruyucu sathi kaplama	94
5.1.4.4 Harç tipi kaplama.....	95
5.1.4.5 İnce yüzey kaplaması.....	96
5.1.5 Çatlakların ve yüzey bozukluklarının bakım metodunun seçimi.....	96
5.2 Bozulma Tiplerine Göre Bakım-Onarım.....	97
5.2.1 Tekerlek izinde oturmaların onarımı.....	97
5.2.2 Ondülasyonların onarımı.....	98
5.2.3 Yorulma çatlaklarının onarımı.....	98
5.2.4 Enine çatlakların onarımı.....	100
5.2.5 Kenar çatlaklarının onarımı.....	100
5.2.6 Boyuna çatlakların onarımı.....	101
5.2.7 Blok (harita) çatlakları onarımı.....	102
5.2.8 Yansıma çatlaklarının onarımı.....	102
5.2.9 Çukurların onarımı.....	103
5.2.10 Ayırışma, sökülme ve soyulmaların onarımı.....	104
5.2.11 Bitümlü bağlayıcıların terlemesi (kusma) onarımı.....	104
5.2.12 Kayma direnci kaybı (cılalanma) onarımı.....	105
5.2.13 Bombeliklerin onarımı.....	106
6. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ.....	109
6.1 Türkiye’de Üstyapı Yönetim Sistemi ile İlgili Mevcut Durum ve Türkiye Otoyol Ağı Açısından Kullanılabilirliği.....	114
6.2 Üstyapı Bozulmaları Belirleme Yöntemleri.....	117
6.2.1 Fotoğrafik gözlem.....	118
6.2.2 Optik gözlem.....	118
6.3 Üstyapı Bozulmalarının Ölçülmesi.....	119
6.4 Üstyapı Bozulmalarını Belirlemede Kullanılan Aletler.....	122
6.4.1 Defleksiyon ölçme araçları.....	124
6.4.1.1 Statik aletler.....	124
6.4.1.2 Titreşimli aletler.....	125
6.4.1.3 İtici aletler.....	126
6.4.2 Kayma direnci ölçme aletleri.....	126
6.4.3 Enine geometrik düzgünlük ölçme aletleri.....	126
6.4.4 Boyuna geometrik düzgünlük ölçme aletleri.....	127
6.4.5 Üstyapı yüzeylerinin dinamik tepkilerini ölçen aletler.....	127
7. SONUÇLAR.....	129
KAYNAKLAR	131
EKLER.....	133
ÖZGEÇMİŞ.....	139

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
M.Ö.	: Milattan Önce
K.G.M.	: Karayolları Genel Müdürlüğü
CBR	: California Bearing Ratio
AASHTO	: Amerikan Association of State Highway Officials
P	: Servis Yeteneği İndeksi
BSK	: Bitümlü Sıcak Karışım
S.C.R.I.M.	: Sideway-Force Coefficient Routine Investigation Machine
Ü.Y.S.	: Üstyapı Yönetim Sistemi
CEBTP	: Centre Expérimental du Bâtiment et des Travaux Publics
BAST	: The German Federal Highway Research Institute
RDT	: Regardless of The Remaining Dentin Thickness
LPC	: Linear Predictive Coding
BPR	: Business Process Reengineering

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 3.1 : Çeşitli ülke standartlarında yer alan dingil yükleri ve toplam taşıt ağırlıkları.....	24
Çizelge 4.1 : Tekerlek izinde oturmalar ve derecelendirilmesi.....	38
Çizelge 4.2 : Lokal oturmaların derecelendirilmesi.....	41
Çizelge 4.3 : Ondülasyon, öteleme ve yoğrulmaların derecelendirilmesi....	43
Çizelge 4.4 : Yorulma (timsah sırtı) çatlakların derecelendirilmesi	50
Çizelge 4.5 : Enine çatlakların derecelendirilmesi.....	55
Çizelge 4.6 : Kenar çatlaklarının derecelendirilmesi.....	59
Çizelge 4.7 : Boyuna çatlakların derecelendirilmesi.....	63
Çizelge 4.8 : Blok çatlaklarının derecelendirilmesi.....	67
Çizelge 4.9 : Yamaların ve çukurların derecelendirilmesi.....	72
Çizelge 4.10 : Segregasyon, sökölme ve soyulmaların derecelendirilmesi...	78
Çizelge 4.11 : Çizgisel agrega kaybı.....	80
Çizelge 4.12 : Kusmanın derecelendirilmesi.....	83
Çizelge 4.13 : Kaplama agregası kaybı.....	84
Çizelge 4.14 : Esnek üstyapılardaki yüzey bozuklukları, oluşum sebepleri...	87
Çizelge 5.1 : Çatlak bakım metodunun seçimi.....	96
Çizelge 5.2 : Yüzey bozuklukları bakım metodunun seçimi.....	97
Çizelge 6.1 : Esnek üstyapıda oluşan bozulma türleri, üstyapı yönetim sistemi parametreleri ile ilişkilendirilmesi.....	113
Çizelge 6.2 : Ontario' da sökölme miktarını belirlemek için kullanılan şiddet düzeyleri.....	120
Çizelge 6.3 : Ontario' da sökölme miktarını belirlemek için kullanılan yoğunluk sınıfları.....	121
Çizelge 6.4 : Belirli bozulmaların genel önemlerini saptamak.....	121
Çizelge 6.5 : Üstyapı durumuna göre değerlendirme sayısı.....	122

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 : Esnek üst yapı kesiti.....	11
Şekil 2.2 : Esnek üst yapı tabakaları	11
Şekil 3.1 : Kaplamalı yollardaki bozulma oluşum şekilleri (mekanizmaları) ve bunların birbirine etkileri.....	28
Şekil 4.1 : Zayıf alt tabakalarda tekerlek izi oluşumu.....	33
Şekil 4.2 : Zayıf asfalt tabakasında tekerlek izi oluşumu.....	33
Şekil 4.3 : Tekerlek izi oluşumu.....	34
Şekil 4.4 : Tekerlek izi oluşumu ve Oluklanma.....	35
Şekil 4.5 : Düşük şiddette tekerlek izi.....	37
Şekil 4.6 : Orta şiddette tekerlek izi.....	37
Şekil 4.7 : Yüksek şiddette tekerlek izi.....	38
Şekil 4.8 : Hafif şiddette lokal oturma.....	39
Şekil 4.9 : Orta şiddette lokal oturma.....	40
Şekil 4.10 : Yüksek şiddette lokal oturma.....	40
Şekil 4.11 : Hafif şiddette ondülasyon.....	42
Şekil 4.12 : Orta şiddette ondülasyon.....	42
Şekil 4.13 : Yüksek şiddette ondülasyon.....	43
Şekil 4.14 : Tekerlek izi.....	44
Şekil 4.15 : Timsah sırtı çatlağı.....	46
Şekil 4.16 : Yorulma çatlağı oluşumu ve derecelendirilmesi.....	46
Şekil 4.17 : Hafif şiddette yorulma çatlağı (timsah sırtı çatlağı).....	48
Şekil 4.18 : Orta şiddette yorulma çatlağı.....	49
Şekil 4.19 : Yüksek şiddette yorulma çatlağı.....	49
Şekil 4.20 : Termal (enine) çatlak.....	51
Şekil 4.21 : Termal çatlak oluşumu ve derecelendirilmesi.....	51
Şekil 4.22 : Hafif şiddette termal çatlak.....	53
Şekil 4.23 : Orta şiddette termal çatlak.....	53
Şekil 4.24 : Yüksek şiddette termal çatlak.....	54
Şekil 4.25 : Kenar çatlağı oluşumu ve derecelendirilmesi.....	56
Şekil 4.26 : Hafif şiddette kenar çatlağı.....	57
Şekil 4.27 : Orta şiddette kenar çatlağı.....	58
Şekil 4.28 : Yüksek şiddette kenar çatlağı.....	58
Şekil 4.29 : Boyuna çatlak oluşumu ve derecelendirilmesi.....	60
Şekil 4.30 : Hafif şiddette boyuna çatlak.....	61
Şekil 4.31 : Orta şiddette boyuna çatlak.....	62
Şekil 4.32 : Yüksek şiddette boyuna çatlak.....	62
Şekil 4.33 : Blok çatlağı oluşumu ve derecelendirilmesi	64
Şekil 4.34 : Hafif şiddette blok çatlağı.....	65

ŞEKİL LİSTESİ (Devam)

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 4.35 : Orta şiddette blok çatlağı.....	66
Şekil 4.36 : Yüksek şiddette blok çatlağı.....	66
Şekil 4.37 : Yansıma çatlağı oluşumu ve derecelendirilmesi.....	68
Şekil 4.38 : Yüksek şiddette yansıma çatlağı.....	69
Şekil 4.39 : Çukurların oluşumu ve derecelendirilmesi.....	70
Şekil 4.40 : Hafif şiddette çukur.....	70
Şekil 4.41 : Orta şiddette çukur.....	71
Şekil 4.42 : Yüksek şiddette çukur.....	72
Şekil 4.43 : Yama bozulmalarının oluşumu ve derecelendirilmesi.....	73
Şekil 4.44 : Hafif şiddette yama bozulmaları.....	74
Şekil 4.45 : Orta şiddette yama bozulmaları.....	74
Şekil 4.46 : Yüksek şiddette yama bozulmaları.....	75
Şekil 4.47 : Hafif şiddette ayrışma, sökülme ve soyulma.....	76
Şekil 4.48 : Orta şiddette ayrışma, sökülme ve soyulma.....	77
Şekil 4.49 : Yüksek şiddette ayrışma, sökülme ve soyulma.....	77
Şekil 4.50 : Hafif şiddette çizgisel agrega kaybı.....	78
Şekil 4.51 : Orta şiddette çizgisel agrega kaybı.....	79
Şekil 4.52 : Yüksek şiddette çizgisel agrega kaybı.....	80
Şekil 4.53 : Hafif şiddette kuma.....	81
Şekil 4.54 : Orta şiddette kuma.....	82
Şekil 4.55 : Yüksek şiddette kuma.....	82
Şekil 4.56 : Cilalanmış agrega.....	85
Şekil 6.1 : Plan geliştirme kılavuzu.....	110
Şekil 6.2 : Yollarda bozulma zaman ilişkisi.....	111
Şekil 6.3 : Önerilen üstyapı yönetim sistemi.....	117
Şekil 6.4 : Kritik boyutlu benkelman kirişi şematik diyagramı.....	125
Şekil 6.5 : Düşen ağırlıklı deflektometrenin temel prensibi.....	126

SEMBOL LİSTESİ

RD	: Her iki tekerlek izindeki ortalama derinliği
SV	: Ortalama eğim değişimi
C	: Çatlak
P	: Yama
VR	: Potansiyel düşey yükleme
PS	: Şişme olasılığı
I	: Zaman
PK	: Donma kabarma olasılığı
ΔPSI_{max}	: Kabarmadan dolayı maksimum hizmet kabiliyeti kaybı
Φ	: Donma kabarması oranı
a	: Her bir tabakanın mukavemet katsayısı
D	: Kaplama, temel ve alttemel tabaka kalınlıkları
m	: Drenaj faktörü
ΔP	: Başlangıç ve son servis yeteneği indeksi arasındaki fark
P_0	: Başlangıç servis yeteneği indeksi
P_t	: Son servis yeteneği indeksi
EF	: Eş değerlik faktörü
L_i	: Dingil yükü
%	: Yüzde
>	: Büyük
<	: Küçük
$\leq$	: Küçük eşit
$^{\circ}C$	: Derece
Km	: Kilometre
mm	: Milimetre
m	: Metre
m^2	: Metrekare
cm	: Santimetre
lt	: Litre
kg	: Kilogram

ESNEK ÜSTYAPIDA OLUŞAN BOZULMALAR VE DEĞERLENDİRMESİ

ÖZET

Günümüzde, ulaşım ihtiyacı her geçen gün daha dikkat edilmesi gereken boyutlara ulaşmaktadır. Ulaşım, farklı şekillerde sağlanabilmektedir ancak tüm dünyada ve ülkemizde ulaşım hacminin büyük kısmı karayolu ile karşılanmaktadır.

Karayolları inşası yüksek maliyetlerde yapılmaktadır. Ancak artan araç sayısı, artan dingil yükleri, aşırı yüklemeler, çevresel faktörler, yapım hataları, gerekli kontrol ve bakımın yapılmamasından dolayı üstyapı; planlanan hizmet ömründen önce bozulmaktadır. Bozulan bu yolların ya yeniden inşa edilmesi ya da bu yollara çok iyi bir bakım onarım uygulanması gerekmektedir. Bu onarımların yeterli bilgi ve tecrübeye sahip mühendisler kontrolünde yapılması ve karayolu üstyapısına gerekli önem ve özenin gösterilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı, esnek üstyapılarda oluşan bozulma türlerinin ve bakım-onarım yöntemlerinin ortaya konması olup tez çalışmasının birinci bölümünde verilmiştir.

İkinci bölümde, karayolunun tanımı, karayolunun tarihçesi ve gelişimi, karayolu alt ve üstyapısı ile karayolu esnek üstyapısı tabakaları hakkında bilgi verilmiştir.

Bozulmanın tanımı, bozulma ölçütleri, nedenleri ve oluşum şekilleri üçüncü bölümde açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde esnek üstyapıda oluşan bozulma türleri ve derecelendirilmeleri hakkında bilgi verilmiştir.

Bozulma tiplerine göre yapılması gereken bakım onarım yöntemleri beşinci bölümde açıklanmıştır.

Altıncı bölümde, esnek üstyapı yönetim sistemi hakkında genel bilgi verilip, üstyapıda oluşan bozulmaların üstyapı yönetim sistemi parametrelerine etkileri açıklanmıştır.

Sonuçlar bölümünde, esnek üstyapıda oluşan bozulmaların genel ve özel etkenleri sıralanmış, üstyapı yönetim sisteminin kullanılıp, doğru analizler yapılarak bakım onarımın yapılması gereği vurgulanmıştır.

INTERPRETING OF DEFORMATIONS OCCUR AT FLEXIBLE PAVEMENT

SUMMARY

Nowadays, requirement of transportation increases day by day. Transportation can be made by different systems but highways are the most important system in the World and in our country.

Construction of highways is so expensive. Increase of vehicle and axle load, extreme loads, environmental factors, construction errors, insufficient controls damage highways before due to their service life. These damaged highways needs to be reconstructed or to have a restoration. These restorations must be completed by professionals engineers who either have good knowledge and in order highway pavement must be known well enough.

The aim of this thesis, explaining the deformations which occur at flexible pavement and restoration methods.

Along the definition of highway, a short history and development of highways are evaluated at the second part. In addition, pavement of highway and flexible pavement layers are explained.

Definition of deformation and deformation criterion, explained at the third part with reasons and formation figures.

At the fourth part, deformation types which occur at flexible pavement and graduating of deformations are detailed.

According to deformation types recommended restoration methods are mentioned at fifth part.

At the sixth part, a general knowledge about flexible pavement management system is given and explained that how the deformations effect flexible pavement management system parameters.

At the results part, general and special factors of deformations occur at flexible pavement are summarised. Briefly it is suggested that pavement management system must be used. Restorations must be done with the right analyses which is provided by pavement management system.

1.GİRİŞ

1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı

Ulaştırma, günümüzde toplum yaşantısında insanları doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen çok önemli bir hizmettir. Bu nedenle de ulaştırma hizmetlerinin güvenli, hızlı, konforlu ve ekonomik olması gerekmektedir [1].

Gelişmekte olan ülkelerde egemenliğini sürdüren enerji darboğazı ve ekonomik krizler sonucu olarak inşaat sektöründe ortaya çıkan yüksek maliyetler, yüksek enflasyon oranları, giderek artan araç yükleri, bütün ülkeleri yeni karayolu yapımından çok, mevcut karayolunu korumayı amaçlayan takviye ve bakım önlemlerini ön plana almaya zorlamaktadır. Bu nedenle 1980’li yılların uluslararası karayolu politikasının esasını; bir yandan mevcudu korumak, bir yandan da mevcut geometrik standartlardan geniş ölçüde yararlanarak yolların fiziki standartlarını arttırıcı çalışmalar teşkil etmektedir [2].

Ulaştırma altyapısının gelişimi ekonomide kalkınmanın ön şartıdır. Gelişmekte olan bir ülkenin artan endüstriyel üretimi için mamul malın dağıtımı kadar, hammaddenin taşınmasında yararlanılacak iyi çalışan bir ulaştırma sistemine ihtiyaç vardır [1].

Ulaştırmanın stratejik rolü ve büyük yatırım maliyetleri karşısında bu yatırımların dikkatli bir ekonomik değerlendirmeye tabi tutulması gereklidir. Bu nedenle, tipine ve büyüklüğüne bakılmaksızın genel olarak her tür projede, özel olarak da karayolu projelerinde ekonomik bir değerlendirme yapıp yatırım kararı verilmesine ışık tutacak sonuçlar çıkarmak son derece önemlidir [1].

Mühendislik yapıları içerisinde kendine özgü özelliği bulunan yol, sonsuz uzunlukta bir yapıdır ve yol üstyapısının oturduğu taban zemini bir noktadan diğerine farklılık gösterebilmektedir. Üstyapı projelendirmesi inşaat mühendisliğinin en karışık ve en çok araştırma gerektiren konuları arasında yer almaktadır. Yol üstyapısının

projelendirilmesindeki amaç, proje ömrü boyunca üstyapının üzerinden geçen trafiği, büyük deformasyonlara ve çatlamalara maruz kalmadan, güvenli bir şekilde taşıyabilecek üstyapının toplam kalınlığının ve tabakaların tek tek kalınlıklarının belirlenmesi ve kullanılacak malzemelerin özelliklerinin tespit edilmesidir.

2008 yılı verilerine göre 1.987 km.si otoyol, 31.333 km.si devlet yolu, 30.579 km.si il yolu olmak üzere toplam 63.899 km.ye ulaşan yol ağının devlet ve il yollarının çoğu şehir geçişi olmak üzere 1950'den günümüze kadar ancak otoyol dahil 13.052 km. bölünmüş yol yapılabilmektedir. Bu yolların bölünmüş yola dönüştürülmesinde temel amaç; Ülkemizde her yıl çok sayıda kişinin ölümüne ve maddi kayba sebep olan trafik kazalarını azaltmak, sürücülere konforlu bir seyir sağlamak, akaryakıt ve amortisman giderlerinin düşürmek, Avrupa ülkelerinde gelişmiş olan yol ağlarıyla entegrasyonu sağlamaktır [1].

Ülkelerin ulaşımının yeterli düzeyde ve standartta olması gelişmişliğinin bir göstergesi olarak görülmektedir. Ülkemizde ağır taşıt trafiği her geçen gün daha da artmakta ve bu durum yol üst yapısında önemli problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle bir karayolu yatırımının proje ve inşaat aşamalarında optimum çözümlerin üretilmesi gereklidir.

Ülkemizin çok geniş ve engebeli bir topografyaya sahip olması, sert iklim koşulları birçok karayolu sorununu ortaya çıkarmaktadır. Trafiğin, özellikle ağır taşımaların hızla artışı ve yollarda gözlenen bozulmalar, bugüne kadar büyük çabalarla geliştirilen ülke karayolu ağının tamamlanan kesimlerinin bile kısa sürede yeniden elden geçirilmesini zorunlu hale getirmektedir.

Yol yapımında kullanılacak malzemelerden beklenen en önemli özelliklerden birisi, proje şartlarının ekonomik olarak yerine getirilmesine katkı sağlamaktır. Bunun yanında uzun kullanım ömrü, düşük bakım onarım harcamaları, yapım ve onarım süresinin kısa olması, çevre uyumu, atık maddelerin kullanılabilmesi ve kalite kontrol işlemlerine uygun olma gibi özellikler de göz önünde bulundurulmalıdır.

Yol yapımında kullanılacak en ekonomik malzemelerden birisi bitümlü karışımdır. Tarihin en eski yol yapım malzemelerinden biri olan asfalt, geliştirilen teknik özellikleri ile yüksek performanslı, uzun ömürlü, güvenli ve çevre ile uyumlu yolların yapımına imkan tanımaktadır.

Bugün Amerika’da 3.63 milyon km uzunluğundaki kaplamalı yolların %94’ü, Avrupa’nın en gelişmiş ülkelerinden biri olan Almanya’da ise, 130.000 km’ lik devlet yolunun tamamı, 12.000 km uzunluğundaki otoyolların %72’si asfalt kaplamalı olup, ağır ve hafif trafikli yollarda soğuk ve sıcak olarak hazırlanan karışım olanakları ve çeşitli yüzey kaplama tipleri ile asfalt, tüm dünyada yol kaplamasında en yaygın olarak kullanılan kaplama malzemesidir. Ayrıca beton yollarda da sürüş konforunu, yapısal dayanımı ve kayma direncini arttırmak amacıyla beton yolların yüzeyleri asfalt tabakalar ile kaplanmaktadır. Ülkemizde devlet ve il yollarımız ile otoyollarımızın tamamı asfalt ile yapılmakta olup, ortalama yılda 10 milyon ton bitümlü sıcak karışım kullanılmaktadır. İstatistikler göstermektedir ki trafik yüklerini tabana dağıtan, deformasyonlara karşı dirençli esnek üstyapı inşaatında kullanılan asfalt tabakaları, gelecekte de yol yapımının vazgeçilmez bir malzemesi olmayı sürdürecektir.

Yol kullanıcıları olarak sürücüler, düzgün, konforlu, kayma direnci yüksek, hızlı erişimi sağlayan, ulaşım maliyetini düşüren ve gürültü düzeyi düşük yollar isterken, yolu yaptıranlar dayanıklı, minimum bakım gerektiren, kalıcı deformasyona dirençli, aşınma direnci yüksek, hizmet ömrü uzun yolları hedeflemektedir.

Tasarım olarak, 20 yıllık bir ömürle projelendirilen ömrü sonunda kalıcı bir değere sahip olan esnek üstyapılar, bakım onarım ve takviye işlemleri ile gerçekte sonsuza kadar kullanılabilir bir üstyapı tipidir. 21. yüzyılda, hızla artan trafik hacmi ve yükleri karşısında dünya asfalt endüstrisi 50–100 yıl kullanılabilir kalıcı esnek üstyapıları hedeflemiştir. Bu amaçla özellikle ABD’de 20 yıllık periyotlarla yüzey kaplaması yenilenerek, 50 yıldan daha uzun süre hizmet verecek tamamı bitümlü tabakalardan oluşan kalıcı üstyapıların kullanımının yaygınlaştırılmasına çalışılmaktadır. Bu tip üstyapıların bakımı, kalıcı bir yapı olan binanın zamanla boyanması veya çatısının aktarılması gibi bir işlem olacak ve hala sağlam ve fonksiyonundan bir şey kaybetmeyen esnek üstyapı yıllarca gelecek nesillere hizmet verebilecektir [1].

Bu çalışmanın amacı; esnek üstyapılarda oluşan bozulma türlerinin, bakım onarım faaliyetlerinin ortaya konulmasıdır.

2.KARAYOLU

2.1 Karayolu Tanımı

Karayolu; her türlü taşıt ve yayanın güvenli ulaşımı için belirli standartlara göre yapılmış ve belirli standartlara göre işaretlenmiş kamu yararına açık arazi kesimleridir [3].

Karayolları bir arazi kullanım biçimidir. Özellikle yüksek standartlı karayolu ulaşım bağlantılarının kullanılmasından doğacak yüklenmelere karşı çevrenin duyarlılık kapasitesinin bilinmesine gerek vardır. Yeryüzünün binlerce yılda kazandığı temel arazi formunun en hızlı biçimde ve uzun mesafede değiştirildiği tek alan karayollarıdır.

2.2 Karayollarının Tarihçesi ve Gelişimi

Yollara duyulan ihtiyaç 5000 yıl önce eski Filistin'deki Samiriye 'de tekerleğin bulunmasıyla ortaya çıkmıştır (M.Ö. 3000).

Aşağıda dünyanın değişik yerlerinde yapılmış olan ilk yollar konusunda özet bilgi verilmiştir [4].

2.2.1 Dünyada karayollarının gelişimi

Çin Uygarlığı; bilinen en eski yollardan birisi olan ünlü İpek Yolu'nun M.Ö.2600 yıllarına kadar uzanan bir geçmişi vardır.

Britanya M.Ö. 2500; Britanya' da yan yana sıralanan ağaç kütüklerinden oluşan bir yol keşfedilmiştir. Bu yol Somerset ve Glanstonbury arasındaki bataklık arazinin geçilmesinde uygulanmıştır.

Avrupa; Avrupa'nın düşük kotlu bazı kesimlerinde Britanya'daki gibi ağaç kütüklerinden oluşan yollar bulunmuştur. İsviçre Lakeside' daki köyler ve Macaristan'daki Pangola bataklıkları' nın karşısında da aynı türden yollara ait bulgulara rastlanmıştır.

Mezopotamya; yapılan araştırmalarda M.Ö. 1100 yıllarında Asur askerlerinin kuzey Mezopotamya dağlarında yeni bir yol inşa etmiş oldukları görülmüş, Ninova ve Babil'de bitüm ve tuğlayla kaplanmış yollar bulunmuştur.

Büyük Britanya; İberyalılar ve Keltler milattan önce etkin olarak yollar inşa etmişlerdir. Droitwich'den Galler'e kadar uzanan tuz yolunun bir parçası olan Malvern tepelerindeki Wyche geçidi buna güzel bir örnektir.

Roma İmparatorluğu; bu dönem Avrupa'daki en büyük yol yapım çağıdır. Bu dönemde inşa edilen yaklaşık 80.000km'lik yol İspanya'nın batı kıyılarındaki Kadiz'den uzanarak Fransa, İtalya, Almanya, Adriyatik sahillerinden Anadolu'ya, oradan Suriye'den geçerek Akdeniz'in batı ucuna, İskenderiye üzerinden geriye, Afrika'nın kuzey kıyılarına Kartaca'ya ve döngüyü tamamlayarak Tanca'ya kadar geniş bir alana hizmet vermiştir. Kaplamalı yolların ilk örnekleri Roma imparatorluğu döneminde görülmektedir.

2.2.2 Türkiye'de karayollarının gelişimi

Ulusal bağımsızlık savaşından sonra, ülkemizde düşük yoğunlukta olan nüfus, coğrafya ve doğal engebelerin yarattığı yer yer kapalı yörelere dağılmış durumda ve ürettiği malları tüketerek yaşamını sürdürmeye çalışan bir kapalı ekonomi sistemi içerisinde yer alıyordu. Bir yörede bolluk, bir başka yörede ise kıtlık olabiliyordu. Kıtlık çeken bölgelerde ilaç, yiyecek ve giyecek bulunmazken, yiyecek ve giyeceğin bol olduğu bölgelerde de ilkel endüstri malları, örneğin gaz ve tuz bulunamıyordu. Bu dönemde, kırsal alanlarda yaşananların önemli sorunu olan kıtlık, ürettikleri malları ulaştırma altyapısı olmayışı nedeniyle diğer bölgelere götürüp satamamalarından kaynaklanıyordu. Ülkede yer yer kendi içinde kapalı küçük ekonomiler hakimdi. Bu koşullar altında ekonomik birlik bir yana, sosyal ve kültürel birlikten söz etmek bile olanaksız hale gelmiştir.

Cumhuriyetten sonra ülkemizde, karayolu ağı yok denecek kadar az, 1856-1922 arasında yapılan 8.619 km.. demiryolu ağı ise yetersizdi [1]. Cumhuriyetten önceki devirden kalan 18.000 km yolun, 14.000km'si bozuk ve bakıma muhtaç durumda idi. Kaynak, makine ve personel yetersizliği olmasına karşın yinede karayolu konusu bu dönemde ele alınmış ve yürütölmeye çalışılmıştır. Ancak Cumhuriyetin ilk yılları büyük bir ağırlıkla, savunma ve ekonomik gelişme politikasının özünü oluşturan ve çağın en gelişmiş ulaştırma teknolojisi durumunda olan demiryolu yapımının ağırlık kazandığı bir dönem olmuştur. Bu dönem boyunca büyük bir çalışma sonunda, ülkenin ana taşıma sistemini oluşturacak olan demiryolu ağının büyük bir kesimi tamamlanmıştır. Ancak sonraları, ana taşıma sisteminin tamamlanmış olmasıyla birlikte, demiryolunun tek başına yeterli olmadığı görölerek, sistemin ucundaki ulaşım için mutlaka gerekli olan karayolu yapımına önem verilemesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle 1929 yılında Nafia vekaleti içinde şose ve köprüler reisliği kurulmuş ve yol kanunu çıkarılarak karayolu çalışmaları hız kazanmıştır [2]

Ancak, uzun bir savaş döneminin yarattığı kaynak yetersizliği, daha sonra gelen dünya ekonomik bunalımı ve son olarak da II. Dünya Savaşı, çalışmaların istenen düzeye çıkmasını engellemiştir. Özellikle, hızla gelişen teknoloji ve II. Dünya Savaşından sonra karayolu çalışmalarının yeni bir biçimde ele alınmasını gerekli kılmış ve 1947 yılında yeni bir atılım yapılmıştır. Bu atılımın yeni bir kuruluşu gerektirdiği düşünölerek 1 Mart 1950'de Karayolları Genel Müdürlüğü kurularak çalışmalar bu kuruluşa devredilmiştir. Bu dönemde A.B.D.' nin federal yollar idaresi ile işbirliği yapılarak ve Marshall Yardımından yararlanarak, makineli yol yapımına başlayabilmek için gerekli olan makine parkı sağlanmış ve çok sayıda mühendis çeşitli sürelerle A.B.D.' de eğitilerek yeni teknolojik uygulamalara imkan verecek alt yapı çalışmaları hızla tamamlanmıştır [1].

K.G.M. karayolu politikasını; 1950 yıllarında "tekerlek dönsün" sloganı ile başlamıştır. Araba tekerleklerinin bile güçlölkle dönebildiği toprak yollarda, otomobil tekerleğinin dönmesini sağlayacak çalışmalarla bütün yurda gerçekten sahip olma atılımına girişilmiş oluyordu. Bölge teşkilatının kurulması ile yurt çapında planlama, etüt ve proje, yapım ve bakım çalışmaları başlamıştır. Böylece, kazma ve insan gücü ile yol yapım döneminden makineli yol yapımına; at arabasına göre yapılmış yollardan, motorlu taşıtların gideceği ve çağın gelişen koşullarına uygun yol yapımına geçilmiştir.

1950 ile 1970 yılları arasında yol yapım politikasının ana amacı; sosyal niteliği ağır basan, erişebilirlik sağlayacak yol tiplerine öncelik vermek olmuştur. Sağlık, eğitim gibi temel hizmetlerin ülkenin tüm yörelerine götürülebilmesi için yaz-kış geçit verebilmek ilk ve önde gelen amaç olmuştur. Toplum yaşaması, gelişmesi, bütünleşmesi ve devletin işlemesi için gerekli görülen bu tutum, diğer yandan ülke ekonomisinin canlanması için de önemli bir aşama olmuştur. Karayolları bir yandan ticaret, tarım, turizm, hayvancılık, ormancılık gibi sektörlerin gelişmesinde büyük oranda etili olurken, diğer yandan endüstrileşme girişimlerine de büyük katkılarda bulunmuştur.

İlk yıllarda kaynak yetersizliği ve istatiki veri azlığı nedeniyle aşamalı bir yapı yöntemi belirlenmiştir. Önce tekerlek dönmesini sağlayacak nitelikte yollar yapılması, erişebilirliğin sağlanması, sonraları belirecek trafik taleplerine göre aşamalı olarak yolların fiziki ve geometrik standartlarının artırılması öngörülmüştür. Bu politika başarıyla uygulanmış ve bugünkü yaklaşık 60.000 km uzunluğundaki yol ağı geliştirilerek bugünkü halini almıştır.

Ülkemizde, 1970' ler de motorlu taşıt sanayinin gelişmeye başlaması ile karayolu politikası yeni boyutlar kazanmıştır. 1975 yılı sonrası ülke yol ağının bir bölümü, artan ekonomik faaliyetlerinin sonucu olarak, önemli oranda ticari trafik taşımaya başlamıştır. Bu kesimlerde fiziksel yetersizlikler, belirgin şekilde ortaya çıkmış ve sorun olmaya başlamıştır. Ayrıca büyük trafik sıkışıklıklarının olduğu bazı ana akslarda ve büyük kent çevrelerinde çok şeritli ekspres yollar ya da otoyol yapımı ekonomik olma niteliği kazanmıştır. Ekonomik değerlendirmelerin önem kazandığı bu tip yolların planlanması, finansmanı, projelendirilmesi ve yapımı, diğer yollara oranla daha karmaşık ve ileri teknolojiyi gerektirmektedir. Bu konuda ilk sınav Boğaziçi köprüsü ve İstanbul çevre yolu projesinde (1973) verilmiş ve bunları ekspres yollar ile otoyollar izlemeye devam etmiştir [5].

Cumhuriyet döneminden sonra belirtilen bütün aşamalar rağmen inşaat sektöründe ortaya çıkan yüksek maliyetler, ekonomik krizler, Türkiye'nin iklim ve zor topoğrafik koşullarından dolayı yeni karayolu yapımından çok mevcut karayollarının korunması amaçlanmaktadır. Bu nedenle 1980'li yılların uluslararası karayolu politikasının esasını, var olan yolları korumak ve yolların fiziki standartlarını artırıcı çalışmalar uygulanmaktadır [5].

2.3 Karayolu Yapısının Tanımı

Karayolu yapısı, önceden belirlenen geometrik standartlara uygun olarak saptanmış olan bir güzergah boyunca, doğal zeminin istenilen yükseltilere getirilebilmesi ve üzerinde motorlu taşıtların istenilen hız, güvenlik ve konfor koşullarında hareketlerinin sağlanabilmesi amacıyla inşa edilen yapıların tümü olarak tanımlanabilir. Karayolu yapısı, görevi, yapım sırası ve özellikleri açısından alt ve üst yapı olarak iki ayrı bölümde incelenebilir [4].

2.3.1 Karayolu altyapısı

Yapımı tamamlanmış bir karayolunda tesviye yüzeyiyle doğal zemin çizgisi arasındaki bölgeye altyapı adı verilir. Altyapı, yolun dolgu kesimlerinde, dışarıdan getirilen toprakla oluşturulmuş bir toprak gövde, yarma kesimlerindeyse doğal zemindir. Ancak yarma kesimlerinde tesviye yüzeyini oluşturmak amacıyla yapılan dolgu çalışmaları da alt yapıya dahildir. Ayrıca köprü, viyadük, tünel, menfez ve istinat duvarı gibi yapılar da altyapı elemanı olarak kabul edilir.

Altyapının görevleri; istenilen kotta düzgün bir yüzey sağlamak, üstyapı tarafından iletilen yükleri daha geniş bir alana yaymak ve az da olsa, yolu dış etkenlerden korumaktır. Bu görevleri yerine getirebilmesi için trafik yükleri, don ve su etkilerine karşı dayanıklı olması gerekir. Altyapı oluşturulurken bitkisel toprak, çürük zemin ve sıkıştırmaya elverişli olmayan zeminler kullanılmamalıdır. Bu nedenle altyapıyı oluşturan zemin özelliklerinin çok iyi incelenmesi gerekmektedir [4].

2.3.2 Karayolu üstyapısı

Karayolu üstyapısı, trafik yüklerini altyapının taşıyabileceği değere indirmek, altyapıyı korumak ve düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak amacıyla altyapı üzerine yerleştirilen alt temel, temel ve kaplamadan oluşan tabakalı yol yapısıdır.

Üstyapılar, kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin türlerine, özelliklerine ve yapım yöntemlerine göre rijit ve esnek olarak iki ana sınıfa ayrılmaktadırlar. Taban zeminine, trafiğe, çevre koşullarına ve ekonomik koşullara bağlı olarak en uygun üst yapı tipi seçilebilir.

Çimento betonuyla yapılan kaplamalarla oluşan üstyapıya “rijit üstyapı” ya da “beton yollar” denir. Yol kaplaması olarak betonun görevi, trafik yüklerini tabana iletmek ve o esnada tabanın deforme olmamasını sağlamaktır. Bir beton kaplamanın davranışı, dökülen beton tabakalarının özelliklerinin yanı sıra, kaplama altına serilen temel, alttemel tabakaları ve taban zemininin özelliklerine bağlı olarak değişebilir.

Bu nedenle projelendirme sırasında, taban zeminini, temel ve alttemel malzemelerini ve betonu oluşturan kum, çakıl, kırma taş, çimento gibi malzemelerin özelliklerini çok iyi incelemek gerekmektedir. Beton yollar, enine ve boyuna derzlerle birbirinden ayrılmış 20–25 m² alana sahip plaklar halindedir. Beton plağın rijitliğinin yüksek olması nedeniyle taban zemininde oluşan gerilemeler geniş bir alana yayılır.

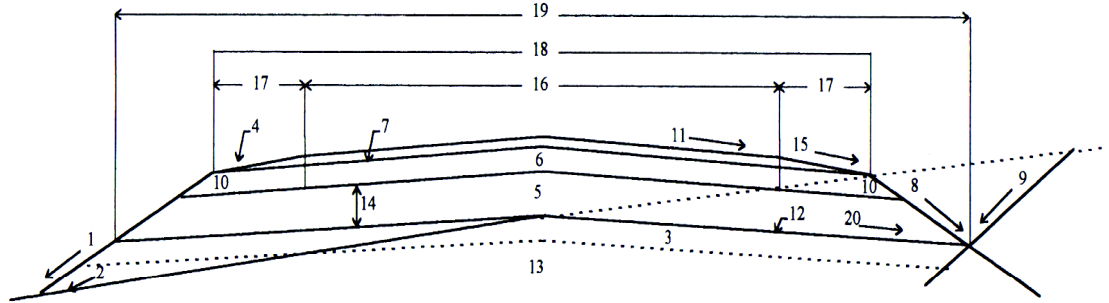
2.4 Karayolu Esnek Üstyapısı

Asfalt kaplama tabakalarıyla oluşturulan üstyapıya “esnek üstyapı” denir. Esnek üstyapı, tesviye yüzeyiyle sıkı bir temas sağlayan ve trafik yüklerini, kaplama, temel ve alttemel tabakaları yoluyla taban zeminine dağıtan bir üstyapı şekli olup, stabilitesi, adezyon, tane sürtünmesi ve kohezyon gibi kullanılan agrega ve bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır [4].

Esnek üstyapı denildiğinde sıkıştırılmış taban zemini üzerine inşa edilen ve dingil yüklerini taban zeminin taşıma gücünü aşmayacak şekilde aktaran aşınma tabakası (bitüm betonu), binder tabakası (bitüm betonu), temel tabakası (bitüm betonu ya da granüler malzeme) ve alttemel tabakalarından (granüler malzeme) oluşan bir üstyapı tipi anlaşılmalıdır (Şekil 2.1).

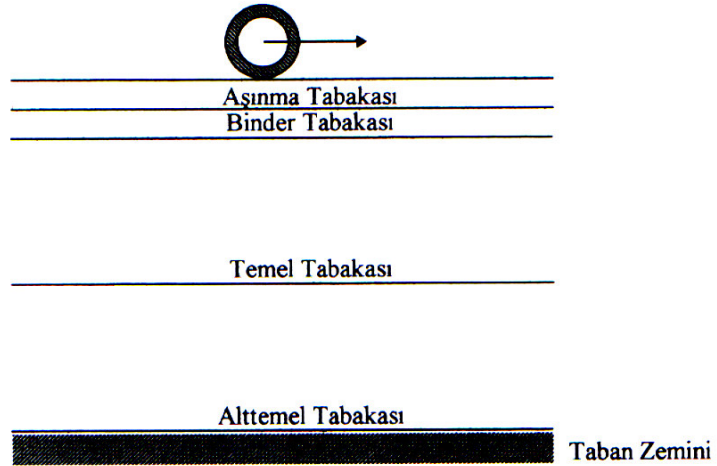
Tabakalı bir sistem olan esnek üstyapının (Şekil 2.2) yük taşıma kapasitesi, sistemi oluşturan tabakaların üst yapı direncine katkısı ve yükü yayma özelliklerine dayanır.

İyi projelendirilmiş bir üstyapıda tabakalar tarafından yayılan yük, tabana ulaştığında tabanın, büyük deformasyonlara maruz kalmadan taşıyabileceği bir düzeye düşürülmüş olur [5].



- | | |
|---|--|
| 1. DOLGU ŞEVLİ | 11. YOLUN ENİNE EĞİMİ |
| 2. TABİİ ZEMİN | 12. TABAN YÜZEYİ (TESVİYE YÜZEYİ) |
| 3. SEÇME MALZEME TABAKASI (GEREKLİ OLDUĞU DURUMDA) | 13. YOL GÖVDESİ (TABAN ZEMİNİ) |
| 4. BANKET KAPLAMASI | 14. ÜST YAPI PROJE KALINLIĞI |
| 5. ALTTEMEL | 15. BANKET EĞİMİ |
| 6. TEMEL TABAKASI | 16. TRAFİK ŞERİTLERİ GENİŞLİĞİ |
| 7. KAPLAMA TABAKASI | 17. BANKET GENİŞLİĞİ |
| 8. HENDEK ŞEVLİ | 18. YOL GENİŞLİĞİ (PLATFORM GENİŞLİĞİ) |
| 9. YARMA ŞEVLİ | 19. ÜST YAPI TABAN GENİŞLİĞİ |
| 10. BANKET TEMELİ | 20. TABAN YÜZEYİNİN ENİNE EĞİMİ |

Şekil 2.1: Esnek üst yapı kesiti [6].



Şekil 2.2: Esnek üstyapı tabakaları [6].

Üstyapıdaki tabakaları oluşturan malzemeler değişik özelliklere sahiptir. Alttemel ve temel tabakalarında granüler malzemeler kullanılırken kaplama tabakasında, özellikleri sıcaklığa ve yükleme hızına bağlı olan, viskoelastik davranış gösteren bitümlü karışımlar kullanılmaktadır. Trafikle ilgili çok sayıda faktör bulunmaktadır, bunlar incelenecek olursa çok sayıdaki etken de birçok değişken faktöre bağlıdır. Bu durumda çok parametrelili bir problem ortaya çıkar. Değişik ülkelerde çeşitli projelendirme yöntemleri geliştirilmiş olmakla beraber halen genel bir projelendirme yöntemi mevcut değildir. 1936–1945 yılları arasında ABD’de geliştirilmiş olan Grup İndeksi ve CBR yöntemleriyle üstyapı tasarımı yapılmış, bu yöntemlerde çoğunlukla ampirik bağıntılardan ve gözlemlerden yararlanılmıştır. 1965–1970 yılları arası yine ABD’de kurulan Deney Yolu verilerinden AASHTO 72 yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem 1986 ve 1993 de yeniden gözden geçirilerek daha gerçekçi veri ve parametrelere dayanan AASHTO 86, AASHTO 93 ve son versiyonu olan AASHTO 2003 yöntemleri oluşturulmuştur. ABD’deki çalışmalara paralel olarak 1980’li yıllarda Avrupa’da Analitik Yöntem, Katalog Yöntemi geliştirilmiştir.

Bir üstyapı yapılmadan önce altyapı, üstyapıya istenilen bir destek sağlayacak şekilde şartnamelere uygun olarak hazırlanırlar. Üstyapının performansı taban zemininin fiziksel özellikleri ve durumu ile doğrudan ilgilidir. Yol üstyapısı, trafik yüklerinin ve doğal şartların etkisi altındadır. Trafik yükleri, taşıtların hareketleri sırasında radyal çekme ve basınç gerilmeleri ile düşey basınç gerilmeleri oluşturur. Gerilmelerin şiddeti ve büyüklüğü, dingil yüklerinin tekrarı ile doğrudan ilgilidir.

2.4.1 Taban zemini

Bir esnek üstyapının davranışı taban zemininin taşıma gücü ile doğrudan ilgili olduğundan taban zemininin şartnamelere uygun olarak hazırlanması üstyapı projelendirmesinde çok önemlidir. Taban zeminlerinde yeraltı su seviyesi tesviye yüzeyinin en az 150 cm altında tutulmalı, bunda sağlanması için uygun yeraltı drenajı yapılmalıdır. Ayrıca uygun drenaj sistemi ile yüzey suyunun yol gövdesini etkilemesi önlenmelidir. Yol gövdesinin, yapım sırasında ve yolun ömrü boyunca stabil kalabilmesi için, etkili ve kalıcı uygun drenaj sistemleri ile sudan korunması sağlanmalıdır. Yol üstyapıları aşırı don kabarması ve tabanın donma çözülme mevsiminde taşıma gücünün azalması ile zarar görebilir. Don olayının yol

üstyapısına olan etkisinin azaltılabilmesi için aşağıdaki faktörlerin incelenmesi gerekir [4].

- ✓ Taban zeminin dona karşı hassasiyeti.
- ✓ Üstyapının toplam kalınlığı.
- ✓ Donma indeksi.
- ✓ Yeraltı su seviyesinin üstyapı düzeyinden ölçülen derinliği.
- ✓ Güzergahtaki yarma ve dolgu yükseklikleri.

2.4.2 Alttemel tabakası

Alttemel, trafik yüklerinin taban üzerine yayılmasını sağlamak, ince taneli altyapıların temel tabakasına nüfuz etmelerini önlemek, ayrıca su ve don tesirlerine karşı direnım sağlamak tampon bölge görevi yapmak için tesviye yüzeyi üzerine serilen tabakadır [4].

Alttemel tabakası taban zeminin taşıma gücünü aşabilecek yüksek gerilmeleri ve tabanda oluşacak don etkisinin üstyapıya yansımısını önleyecek niteliklere sahip olması gerekir. Alttemel tabakasının kalınlığı üstyapı projelendirmesi sonunda belirlenmeli ve Karayolları Teknik Şartnamesinin 401. kısmına uygun olarak, hazırlanmış olan tesviye yüzeyi üzerine serilip, sıkıştırılmalıdır. Minimum alttemel kalınlığı 20 cm olmalıdır. Alttemel tabakası ekonomik faktörler göz önünde tutularak bölgede bulunan ve şartname kriterlerine uygun yuvarlak malzeme ile teşkil edilmeli, eğer uygun yuvarlak malzeme yoksa kırma taş kullanılmalıdır [5].

2.4.3 Temel tabakası

Temel tabakası, bağlayıcısız ya da bağlayıcı bir maddeyle işlem görmüş olan belirli granülometrideki malzemeden oluşur. Ana görevi, üst yapının yük taşıma kabiliyetini arttırmaktır. Ayrıca, trafik hareketlerinden doğan yüksek kayma gerilmelerine karşı koyabilecek, drenaja yardımcı olabilecek ve don olaylarına karşı da koruma sağlayabilecek özelliklere sahip olmalıdır [4].

Bu bakımdan temel tabakası belirli özellikleri olan, kaliteli malzemeden oluşturulmalıdır. Temel tabakası olarak özellikleri Karayolları Teknik Şartnamesinde belirlenmiş olan temel tiplerinden birisi kullanılabilir [1]. Bu temel tipleri;

a) Granüler temel tabakası; çakıl, kırılmış çakıl, kırılmış cüruf, kırmataş ve benzeri malzemeden yapılır. İyi derecelendirilmiş gradasyonda olmalıdır. Modifiye proctorda % 98 sağlanmalıdır. Minimum granüler temel kalınlığı 15 cm olmalıdır.

b) Plentmix temel tabakası; kırılmış çakıl, kırılmış cüruf, kırmataş ve ince malzemeden oluşur. Kaba ve ince olmak üzere en az iki dane boyutu vardır. %100 modifiye proctoru sağlamalıdır. Plentmiks temel kalınlığı 15 cm olmalıdır.

c) Çimento bağlayıcılı granüler temel tabakası; çakıl, kırılmış cüruf, kırmataş ve ince malzemeden oluşur. %98 modifiye proctoru sağlamalıdır. Çimento bağlayıcılı temel kalınlığı 20 cm olmalıdır.

d) Penetrasyon makadam temel tabakası; alt temel üzerine kaba agreganın serilip üzerine AC uygulanması ve ince malzemeyle sıkıştırılmasıdır.

e) Rolled asfalt temel tabakası; asfalt çimentosu, filler, ince ve kaba agreganın karışmasından oluşur.

f) Bitümlü temel; kırılmış ve elenmiş kaba agrega, ince agrega mineral filler ve bitüm ile yapılır. Bitümlü temel kalınlığı ise 8 cm olmalıdır

g) Bitümlü makadam temel; kırılmış taş ve cürufun ince agrega ve AC ile karıştırılması ile yapılır [6].

2.4.4 Kaplama tabakası

Kaplama, taşıtlara uygun bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafiğin aşındırma etkilerine karşı koymak ve yapıya sızan yüzeysel su miktarını ve temel tabakasına iletilen kayma gerilmelerini azaltmak amacıyla temel tabakası üzerine inşa edilen bir tabakadır [4].

Kaplama tabakası üstyapının trafik yüklerine doğrudan maruz kalan en üst tabakadır. Trafik yükleri nedeniyle oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin en yüksek düzeyde olması nedeniyle kaplama tabakası, üstyapının diğer tabakalarına göre daha yüksek

bir elastikiyete sahip olmalıdır. Kaplama tabakasının trafiğin aşındırıcı etkisine karşı koymak, düzgün ve emniyetli bir sürüş sağlamak, yolu kalıcı deformasyonlara karşı korumak gibi işlevleri vardır [1]. Kaplama tabakası genellikle bitüm ve agregâ karışımı ile elde edilen malzemeden meydana gelir. Karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberine göre, kaplama tabakası yüzeysel kaplama ya da bitüm betonu kaplama olabilir.

3.ESNEK ÜSTYAPI BOZULMALARI

3.1 Bozulma

Mühendislik açısından üstyapı bozulması, “ üstyapının özgün fiziksel koşullarından herhangi bir şekilde sapması” olarak düşünülebilir. Bozulma bazen üstyapının doğasında var olan özelliklerin bir sonucu olarak belirir. Bazen de, tasarım yönteminin ve malzemelerin hatalı seçimleri bozulmaya yol açabilir. Bozulma ayrıca, trafik ve iklim koşulları gibi bölgesel etkenler ve yetersiz kalite kontrolü nedenleriyle de ortaya çıkabilir [7].

Yollar yeni inşa edildiklerinde iyi durumdadırlar. Trafik yükleri ve iklim koşulları nedeniyle zamanla bozulurlar. Bu bozulmalar, başlangıçta çok yavaş olduğu için yolun servis seviyesini koruyabilmek için sadece periyodik bakıma ihtiyaç gösterirler. Süre ilerleyip zamanında bakım ve iyileştirme yapılmazsa, bozulmalar artarak çok pahalı bakım ve iyileştirme seçeneklerine gereksinim gösterirler. Bu nedenle bozulmaya başlamış yollarda, zamanında yapılmış bakım programları en fazla kazancı sağlar [8].

Bir yolun hizmet ömrünü uzatmanın veya ekonomik ömrü içerisinde ondan ekonomik bir şekilde faydalanmanın tek çözümü, gerekli düzeyde devamlı bakım yaparken, yol üst yapısının dayanımını gerekirse onarım çabalarıyla yükseltmektir.

Yol bozulmalarının giderilmesi, ancak bozulma nedenlerinin iyice anlaşılmasına bağlıdır. Aksi takdirde, nedeni anlaşılmayan veya yanlış anlaşılan bozuklukların bakım ve onarım hizmetleri, mevcut aksaklıkları gidermekten uzak kalacaktır.

Yol sonsuz uzunlukta bir yapı olduğuna göre, yol boyunca bozulmaya etki eden faktörler devamlı değişim göstermekte, şartnamesine uygun inşa edilmiş bile olsa

mevcut zemin yapısı, nem oranı, iklim, trafik yoğunluğu, farklı dingil yükleri gibi faktörler yolu etkilemektedir. Böylece sayısız aksaklıklar yüzeyde kendini gösterirken, kullanıcıları tarafından bu bozukluklar gözlenmekte ve kullanıcılar bunların giderilmesi konusunda kamuoyu ile baskı unsuru oluşturmaktadır.

Genel olarak, yol üst yapısında meydana gelen bozulmalar, fonksiyonel bozulma ve yapısal bozulma olmak üzere iki şekilde tanımlanır. Fonksiyonel bozulmada, üstyapı için amaçlanan fonksiyonlar yavaş yavaş yerine getirilemez. Yapısal bozulma ise, üstyapı bileşenlerinin bir veya birkaçının kırılmasını, göçmesini veya bozulmasını belirtir [8].

3.1.1 Bozulma ölçütleri

Bozulma ölçütleri dört başlık altında toplanabilir [4].

3.1.1.1 Servis yeteneği indeksi

Bir kaplamanın performansı, uzun süre taşıtların emniyetli ve konforlu olarak seyahat edebilmelerinin göstergesidir. AASHTO–1986 tasarım yönteminde kaplamanın performansı ‘servis yeteneği’ kavramı ile tanımlanmaktadır. AASHTO yol testinde kaplamanın başlangıçta sahip olduğu ve belirli bir kullanımı sonunda azalan servis yeteneğine göre kaplamanın performansının nasıl değiştiği saptanmaya çalışılmış ve buna göre tasarım formülleri geliştirilmiştir. Mevcut servis yeteneği indeksi (PSI) formül 3.1 ile hesaplanmıştır.

$$PSI = 5,03 - 1,91 \log (1+SV) - 1,38 RD^2 - 0,01 (C + P)^{1/2} \quad (3.1)$$

RD : Her iki tekerlek izindeki ortalama derinliği (inç).

SV : Ortalama eğim değişimi (10^0).

C : Çatlakları (her 1000 ft²’ de çatlakların alanı).

P : Yamaları (her 1 ft²’ de yapılan yamaların alanı) göstermektedir.

Servis yeteneği indeksi, 0 ile 5 arasında değişen bir değer olup yolu kullanan ama kaplama tasarımcısı olmayan kişilerin verdiği değerler, ölçüm sonuçları ile

kullanıcıların verdiği değerler arasında yapılan korelasyonlar ve mekanik cihazlarla yapılan ölçümler sonuçlarına göre belirlenmektedir. PSI değeri yol kullanıldıkça ve zaman geçtikçe azalmaktadır. Yapılan gözlemlerde PSI=1,5 olduğunda kaplamanın kullanılmayacak durumda olduğu kabul edilmektedir. Dolayısıyla kaplamanın trafikten ötürü servis yeteneği kaybı $\Delta PSI_T = P_0 - P_t$ olmaktadır. Burada P_0 , kaplamanın trafiğe açıldığı andaki PSI değeri, P_t ise rehabilite edilecek andaki son PSI değeridir. AASHTO-86 yönteminde zemindeki şişme ve donma özelliklerinin etkisinden kaynaklanan servis yeteneği kaybı da dikkate alınmaktadır. Şişmeye duyarlı zeminler artan su içeriği ile şişme gösterecek kaplamada ek gerilmeler yaratmaktadır. Bu ek gerilmelerden ötürü kaplamanın servis yeteneğindeki azalma ΔPSI_S miktarının tayini için formül 3.2 kullanılmaktadır.

$$\Delta PSI_S = 0,00335 V_R P_S (1 - e^{-\theta \cdot t}) \quad (3.2)$$

V_R : Potansiyel düşey yükleme.

P_S : Şişme olasılığı (şişmeye elverişli zeminlerin yol boyunca sahip oldukları uzunlukların toplam yol uzunluğuna oranının yüzde cinsinden değeridir).

t : Zaman (yıl).

θ : Şişme oranı sabiti olup 0-0,2 arasında değişir.

Donma kabarmalarından ötürü servis yeteneğindeki azalma ΔPSI_D formül 3.3 ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta PSI_D = 0,01 P_{DK} \Delta PSI_{max} (1 - e^{-0,02\Phi \cdot t}) \quad (3.3)$$

P_{DK} : Donma kabarma olasılığı.

ΔPSI_{max} : Kabarmadan dolayı maksimum hizmet kabiliyeti kaybı.

Φ : Donma kabarması oranı (mm/gün).

Trafik, zeminde şişme ve donma kabarmasından ötürü servis yeteneğindeki toplam kayıp formül 3.4 ile hesaplanmaktadır.

$$\Sigma\Delta PSI = \Delta PSI_T + \Delta PSI_S + \Delta PSI_D \quad (3.4)$$

Üstyapı sayısı (SN) formül 3.5 ile hesaplanmaktadır.

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3 \quad (3.5)$$

a : Her bir tabakanın mukavemet katsayısı.

D : Kaplama, temel ve alt temel tabaka kalınlıkları.

m : Drenaj faktörü [9].

3.1.1.2 Tekerlek izi derinliği

Tekerlek izi derinliğinin belirli bir düzeyi aşmasıyla o yol bozulmuş kabul edilmektedir. Tekerlek izi derinliğinin büyüklüğüne göre bakım ya da onarım kararı verilmektedir. Genel ölçüt düşey yönde, 1.0-2.5 cm' dir.

3.1.1.3 Çatlak

Yol üstyapısında, basınç ve çekme gerilmelerden dolayı, yol eksenine paralel veya dik doğrultuda oluşan yarılmalardır.

Çatlama / birim alan oranı o yolun çatlama derecesini vermektedir. Bu değerin belirli bir değeri (bölüm 4'te verilmiştir) aşmasıyla gerekli bakım yapılmaktadır.

3.1.1.4 Defleksiyon

Esnek bir üstyapının, üzerinden geçen tekerlek yükleri altında, düşey yöndeki geçici deformasyona 'defleksiyon' denir. Bir üstyapının yük altında gösterdiği defleksiyon, elastik deformasyon şeklindedir. Başka bir deyişle, yükün uygulanmasıyla oluşan defleksiyon, yükün kalkmasıyla geri döner. Ancak, trafik yükünün kısa aralıklarla tekrarlanması nedeniyle, yol üstyapısı sürekli geri gelen deformasyonların etkisinde kalır ve yorulma oluşur. Yorulma, oluşan defleksiyonların mertebesi ve üstyapının mukavemetiyle ilişkilidir. Başka bir deyişle, yüksek defleksiyonlar üstyapının

zayıflığının göstergesidir ve defleksiyonlar arttıkça yol üstyapısındaki bozulmalarda artar.

Üstyapı defleksiyonlarının ölçülmesi için birçok aletler geliştirilmiştir. Bu cihazlar ile statik veya dinamik yükler altında defleksiyonların ölçülmesi mümkündür. Defleksiyon ölçüm için, Benkelman kirişi ve düşen ağırlıklı deflektometre kullanılır [1] (Bu aletler bölüm 6’da açıklanmıştır).

3.1.2 Bozulma nedenleri

Yol esnek üstyapısında çeşitli nedenlerle meydana gelen bozulmaların etkenleri, aşağıda ana başlıklar halinde sınıflandırılmıştır. Bunlar genelde trafik etkileri, iklim şartları, tasarım hataları, yapım hataları ve bakım hatalarından kaynaklanmaktadır.

3.1.2.1Tasarım hataları

Taban zemini etütlerinin yeterince yapılmaması, büyük yükseklikli yarma ve dolguların oluşturulması, şevlerin dik kesilmesi, hendeklerin ve sanat yapılarının uygun yer ve boyutta yapılmaması, büz ve menfez üstlerinde yeterli dolgu yüksekliği bırakılmaması, üstyapı projelendirilmesinde trafik ve çevresel etkilerde yapılan yanlış hesaplamalar sonucu meydana gelen bozulmalardır [8].

Tasarım, üstyapı performansı üzerine doğrudan etkilidir. Trafik ve taban zeminine göre yetersiz tasarlanan bir üst yapıda bozulmaların zamanından önce belirmeleri olasıdır. Bunun nedeni, hatalı tasarım, yetersiz zemin etütleri veya beklenmeyen trafik hacimleri olabilir.

Daha eski (tasarlanmış) yollar, onları kullanan taşıt sayısı ve ağırlıkların artması nedeniyle “yetersiz tasarlanmış sayılırlar. Bir üstyapının zayıflığı (yetersiz tasarımı), çevresel koşullar (özellikle iklim), mevcut malzemeler ve taban zemini tipi göz önüne alınarak, üstyapı yapısını, trafiğe uygun hale getirmek için sağlamlaştırmak (takviye tabakaları yapmak) suretiyle düzeltilmelidir. Bu yapılmadığı takdirde, yolları kullanıcılar bakımından katlanılabilir düzeyde tutacak ve çözülme periyotları esnasında genellikle trafik kısıtlamasına yol açacak günlük bakıma aşırı gereksinme gösteren hızlı bozulmanın oluşması olasıdır. Ayrıca, planlanan bakım programlarının hazırlanmaları ve yürütülmeleri sırasında da zorlular oluşacaktır [7].

3.1.2.2 Yapım hataları

Taşıma gücü zayıf zemin iyileştirilmeden yol gövdesinin oluşturulması, uygun dolgu malzemesi seçilmemesi, drenaj sisteminin yetersiz olması, asfalt tabaka kalınlıklarının şartnameye göre yapılmaması, kaplama malzemesi olarak kullanılan agrega ve bitümlü malzemenin yanlış seçimi ve kalite eksiklikleri, yetersiz yada aşırı sıkıştırma, düşük hava sıcaklığında veya yağışlı havada bitümlü karışım imalatı, kalitesiz işçilik, yapım hataları olarak sayılabilir.

Kaplama tabakasının kendi özellikleri açısından oluşabilecek bozulmaların sebepleri ise; yukarıda belirtildiği gibi kötü malzeme kullanılması, sıkıştırmanın uygun şekilde yapılmaması, yapım sırasında hava sıcaklığının istenilen düzeyde olmaması olarak sayılabilir. Yüzeysel kaplamada ya da bitüm betonu kaplamada kullanılacak agreganın temiz, sağlam ve şartnameye uygun granülometriye sahip olması gerekir. İyi seçilmemiş veya kontrol edilmemiş granülometril, çürük, kirli, çabuk cıralanan ve yüksek oranda yuvarlak agrega içeren malzemeler kullanılmalıdır. Bitüm betonu kaplamalar için filler yüzdesinin yetersiz ya da fazla olmamasına, yetersiz sıkıştırma yapılmamasına dikkat edilmelidir. Ayrıca, aşırı derece veya yetersiz sıkıştırma, astar veya yapıştırma tabakalarının gerekli özenle yapılmaması, bitüm betonu kaplamalar içinde serme ve sıkıştırma sıcaklıklarının düşük olması, yapım sırasında karışımın ayrılmaya uğraması, genel yapım hataları olarak sınıflandırılabilir [8].

Kötü kaliteli yapılmış üstyapı, tasarımcının tasarladığından daha zayıf olacağı için, aslında yetersiz tasarımla aynı etkiye sahiptir. Kötü kaliteli yapım örnekleri, saptanan bir karışıma uyma veya iyice denenmiş ve doğruluğu kanıtlanmış mesleki teknikleri kullanma hususlarındaki başarısızlık; sıkışma yetersizliği şeklinde olabilirler [7]

3.1.2.3 Bakım hataları

Yol gövdesi, kaplama, sanat yapıları, drenaj ve diğer tesisleri zaman içerisinde işlevini yitirmeye başlar başlamaz, bunların bakım ve onarımlarındaki, gecikmeler yüzünden oluşan hatalar ve uygun yapılmayan kar ve buz mücadeleleridir.

Karayolu kenarlarında bulunan banketlerin bakımı, trafik emniyeti ve üstyapının ömrü yönünden önem taşır. Bu bakımdan banketlerin daima düzgün ve sert bir yüzey olarak korunması gerekir. Banket bakımının ihmal edildiği yollarda, kaplama ile

banket yüzey sularının dış ortama akmayışı nedeniyle birbirinden ayrılırlar ve kaplama kenardan ortaya doğru süratle bozulmaya başlar. Bütün drenaj sistemleri, hendek ve kanallar, sanat yapıları sürekli kontrol edilmeli, eğer kanallar, drenaj boruları veya menfezler çeşitli sürüntü maddeleriyle tıkanmış ise gereken temizlik işlemleri yapılmalıdır.

Kışın meydana gelen kar yağışı ve buzlanma, trafiğin güvenli ve hızlı seyretmesini engeller. Bu nedenle, yapılan bakım işlemlerindeki yanlış eylemler kaplamaya zarar verebilmektedir. Kar ve buz ile mücadelede tuz gereğinden fazla uygulanırsa kaplamanın bozulmasına neden olabilirler. Kaplama yüzeyinde kullanılan aşındırıcı malzemeler kırmataş, kum ve kömür cürufu, tuzlar ise sodyum klorür ya da kalsiyum klorürdür. Bunlar ayrı ayrı ya da birlikte kullanılırlar. Aşındırıcılar yoldaki drenaj tesislerinin tıkanmasına neden olurlar [10].

3.1.2.4 Trafik etkileri

Trafiğin yol açtığı ilk ve sonraki bozulmaların gelişimi, göz önüne alınan periyottaki taşıt sayılarına, dingil yükleri ve onların uygulanma sürelerine, taşıt hızlarına v.b etkenlere bağlıdır [7].

Yapılan araştırmalar sonucunda, ülkemizde üstyapı bozulmasının en önemli etkenin denetimsiz seyreden aşırı yüklü kamyonlar olduğu gözlenmiştir. Bu açıdan bakıldığında, konu sadece karayollarına yapılan harcamalar açısından ele alınırsa, hedefe yönelik en etkili önlem, ağır taşıtların izin verilen maksimum dingil yüklerinin artması gerekliliğinde, üstyapı da öngörülen yeni dingil yük değerlerine göre tasarım yapılmasıdır. Buna ek olarak, yollarda seyreden ağır taşıtların ağırlık kontrollerine önem verilmelidir. İzin verilen sınırların üzerinde yüklenmiş taşıtların, yola verdiği zarar önemli seviyelere ulaşmaktadır.

Çizelge 3.1’ de çeşitli ülkelerde uygulanan dingil yükü limitleri verilmiştir. Değer aralığı olarak verilmiş limitler dingiller arası mesafeye, dingilin matris olup olmamasına veya toplam dingil sayısına bağlı olarak değişen yükleri ifade etmektedir.

Karayollarında seyreden taşıtların dingil yüklerinin yolun yıpranmasına olan etkileri, 1957–1961 yılları arasında yapılmış olan AASHTO (Amerikan Association of State

Higway Officials) deney yolu verileriyle ortaya çıkarılmış olan bağıntılarla belirlenmektedir [9].

Çizelge 3.1: Çeşitli ülke standartlarında yer alan yasal dingil yükleri ve toplam taşıt ağırlıkları [10].

	Dingil Yüğü			Taşıt Ağırlığı			
	Direksiyon Dingili (ton)	Tek Dingil (ton)	Tandem (ton)	Tandem Dingili (ton)	Üç Dingilli (ton)	Yarı Römorklu Katar (ton)	Römorklu Katar (ton)
Almanya	10	10	11-20	17	24	40-44	40
Avusturya	10	10	16	16	22	38	38
Bulgaristan	6	10	13-20	16	26	38	42
Belçika	10	10	19-20	19	26	44	44
Danimarka	10	10	16-20	18	24	48	48
Finlandiya	8	10	18	17	25	44	56
Fransa	13	13	21	19	26	40-44	40
Hollanda	10	11	10.5-	20	30	50	50
İngiltere	9.2	10.5	10.5-	17	24.39	38	32.52
İsveç	10	10	16	17	18	37.5-	37.5-
İsviçre	10	10	18	16	19	28	28
İtalya	12	12	20	18	24	40-44	40-44
Macaristan	10	10	16	20	24	40	40
Norveç	10	10	16	20	26	45	50
Polonya	-	8-10	14.5	16	24	38	33
Romanya	-	10	16	16	22	38	38
Türkiye	13	13	19	19	26	42	42
Yugoslavya	10	10	16	18	24	40	40
Yunanistan	7	10-13	20	19	26	38	38

Farklı dingil yüklerinin standart dingil yüküne oranla yol esnek üstyapısına vermiş olduğu zarar “eşdeğerlik faktörü” adı verilmektedir [10].

AASHTO yol deney sonuçları yorumlanarak eşdeğerlik faktörü aşağıdaki (3.6) bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$EF = \sum_{i=1}^n \left| \frac{L_i}{8.2} \right|^a \quad (3.6)$$

EF : Eşdeğerlik faktörü

L_i : Dingil yükü

Burada α katsayısı Türkiye koşulları için 4.4 olarak alınmıştır. Örneğin, yoldan geçen 14 tonluk bir dingil yükü, 8 tonluk dingil yüküne oranla yola; 12 kez daha fazla zarar verecektir (3.6a).

$$EF = \left| \frac{14}{8,2} \right|^{4,4} \cong 12 \quad (3.6a)$$

Diğer bir deyişle, 14 tonluk bir dingil yükünün yoldan bir geçişiyle, 8 tonluk bir dingil yükünün aynı yoldan 12 defa geçmesine eşdeğer olmaktadır [10].

Trafiğin yol açtığı başlıca bozulmalar ise şu şekilde sıralanabilir [7].

- ✓ Yorulma çatlaması.
- ✓ Aşınma kaybı veya agregaların cilalanmaları.
- ✓ Deformasyonlar.
- ✓ Mıcırların aşırı gömülmesi.

3.1.2.5 Çevre ve iklimin etkileri

Bozulmalar;

- ✓ Yağış miktarı,
- ✓ Donma-çözülme devreleri,
- ✓ Yüksek ve düşük sıcaklıklar
- ✓ Su etkisi altında soyulma,
- ✓ Yüksek sıcaklıklarda kuruma ve donmayı etkileyen sıcaklık yüzünden oluşan çatlaklar ve deformasyonlar,
- ✓ Çözülme sırasındaki veya taban zeminin su içeriği yüksek olduğundaki taşıma kapasitesi kaybı,
- ✓ Buz eriten kimyasal malzemelerin kullanımları (kış bakımı) nedeniyle olası hasar hazırlanması, gibi nedenlerle ortaya çıkacaklardır [7].

Bitümlü bağlayıcılar açısından iklimin olumsuz etkisine bakacak olursak; bitümlü bağlayıcıların viskozitesinin doğrudan sıcaklıkla ilgili olduğu görülecektir. Sıcaklığın

düşmesi halinde bitümlü kaplama tabakası büzülmek isteyecektir. Temel tabakası, kaplamayla arasındaki sürtünmeye bağlı olarak bu hareketi önlemek isteyecek ve bunun sonucunda kaplama tabakasında çekme gerilmeleri oluşacaktır. Esnek üstyapıda bitümün hacimsel genleşme katsayısının mineral agreganın katsayısından büyük olması da, sıcaklık düşmesiyle, agrega taneleri arasındaki bitüm filminde çekme gerilmelerinin doğmasına neden olur. Sıcaklık düşüşü, zemini ve zemin suyunu etkilediğinde, zemin boşluklarındaki suyun donuncaya kadar soğumasıyla, önce buz kristalleri daha sonra buz merccekleriyle, kaplamanın yukarıya doğru yükselmesi sonucu oluşan don kabarması olayı da, bitümlü kaplama tabakasında çekme gerilmelerinin doğmasına yol açmaktadır. Kimi durumlarda, don kabarması nedeniyle bitümlü kaplama tabakasında oluşan çekme gerilmeleri, kaplamanın mukavemetini aşarak çatlakların ortaya çıkmasına neden olabilirler. Bu nedenle üstyapının oturduğu taban zemininin dona karşı duyarlılığı, yolun inşa edileceği bölgenin donma indeksi, don penetrasyon derinliği ve hidrolik koşullar gibi hususlar değerlendirilerek üstyapıda dona karşı önlemin gerekli olup olmadığı araştırılmalıdır [4].

İlkbaharda sıcaklık yükselmesi ile birlikte, kaplamanın yumuşaması sonucu üstyapının bozulması da kaçınılmaz olacaktır.

Yağış mevsimlerinde yağmur ve kar sularının drenaj sistemlerinin yardımıyla uzaklaştırılması gerekir. Taban zemininde bulunan kil ve silt gibi bazı malzemeler bünyelerine su aldıklarında, büyük hacim değişikliği gösterirler. Bu hacim değişikliği sonucu meydana gelen kabarmalar ise üstyapıda kırılma ve dağılmalara yol açar. Yağışlardan sonra oluşan yüzeysel sular, yol yüzeyi, banket, yarma ve dolgu şevlerinin erozyonuna sebep olurlar [10].

3.1.3 Bozulma seyri

Bozulmalar genel olarak iki şekilde oluşur:

- ✓ Kayma direnci kaybı, tekerlek izi oluşumu, aşınma tabakası çatlaması şeklinde, genellikle yol yüzeyi boyunca ve zamanla ilerleyerek.
- ✓ Çökme ve sınırlı (mevzi) aşınma tabakası bozulmaları gibi, sınırlı alanlar boyunca hızla veya aniden.

İlerleyen bozulma izlenebilir ve bunun etkisi, mühendis tarafından seçilen yer ve zamanlarda kaydedilir. Yani bozulmalar, gerekli yüzey özelliklerinin kabul edilebilir düzeylerin altına düşmesinden önce, yayılma veya daha da kötüleşmeyi önleme ve düzeltme için bakım planlanabilir.

Hızla gelişen veya aniden oluşan bozulmalar, üstyapısını tehlikeye atan ve yol kullanıcıları için hemen veya potansiyel tehlike arz eden sınırlı (mevzii) bozulmalar ile ertelemeksizin ilgilenilebilmesi açısından, günlük bakım gerektirirler.

Üstyapı bozulma analizi, yolların yaşlanma işlemi ve,

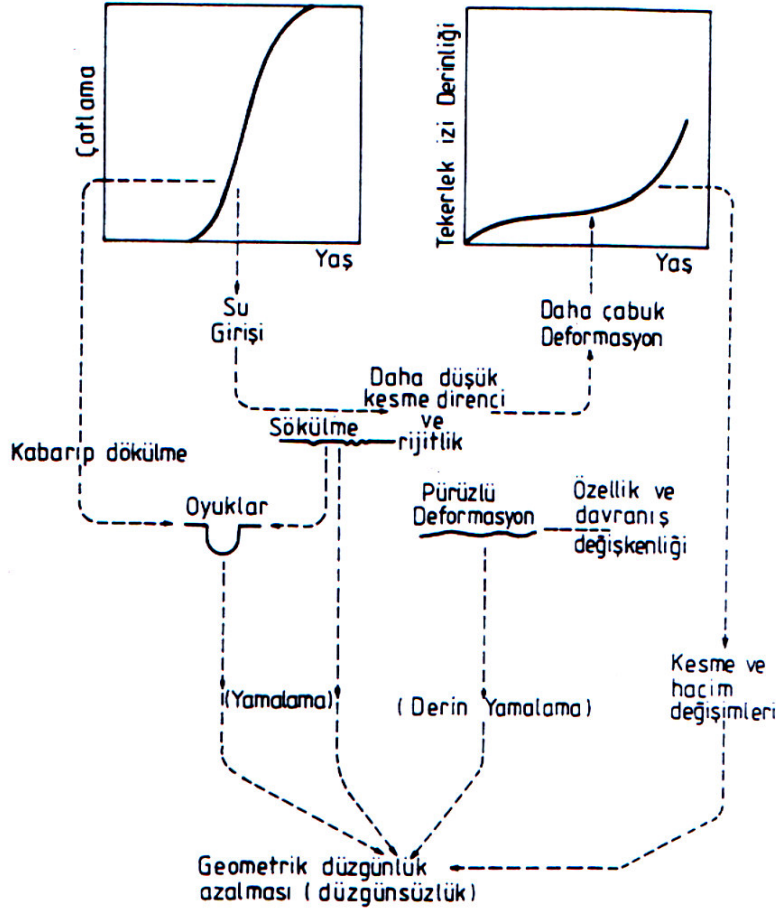
- ✓ Trafik ve taban zemini durumlarının bir fonksiyonu olarak planlanması gereken başlangıçtaki üstyapı tasarımı,
- ✓ Çevre koşulları, özellikle iklim (yağmur, donma-çözülme),
- ✓ Başlangıçtaki yapım kalitesi (yüzey geometrik düzgünlüğü, sıkıştırma),
- ✓ Kullanılan malzemeler,
- ✓ Drenaj etkinliği,

gibi hususlara bağlı yaşlanma hızı hakkında daha fazla bilgi elde etmek amacıyla yapılır.

Bununla birlikte, çeşitli bozulma etkenlerinin etkileri arasında bir ayrım yapmak genellikle çok zordur. Genel ifade ile bozulma işlemi, her bir üstyapı tabakasının, trafik yüklerini dağıtma hususundaki davranışlarını etkiler. Üstteki tabakalar kesme gerilmelerine ve tüm yatay kuvvetlere dayanma, temel ise, düşey yükleri dağıtma yeteneğine sahip olmalıdır [7].

3.1.4 Bozulma oluşum şekilleri

Bozulma tipleri çok sayıda farklı oluşum şekli ile gelişirler (Şekil 3.1). Trafik dingil yükleri üstyapı tabakaları içinde gerilme ve deformasyona yol açarlar.



Şekil 3.1: Kaplamalı yollardaki bozulma oluşum şekilleri (mekanizmaları) ve bunların birbirine etkileri [7].

Bu gerilme ve deformasyonlar, malzemelerin tabaka kalınlığı ve rijitliklerinin fonksiyonları olup, tekrarlı yükleme altında bağlayıcılı malzemelerdeki yorulma etkisiyle çatlamanın başlamasına ve çeşitli derecelerde malzeme özelliklerine bağlı tüm malzemenin deformasyonuna neden olacak düzeydedirler. Hava değişikliği bitümlü üstyapı malzemelerinin gevrekleşmelerine ve böylece çatlama ile sökülme, kabarıp dökülme ve kenar kırılmasını kapsayan dağılmaya karşı daha duyarlı hale gelmelerine neden olur. Çatlama başlar başlamaz alan ve şiddet bakımından, kabarıp dökülmenin olduğu noktaya kadar ilerler ve sonunda oyuklar oluşur.

Yüzeydeki açık çatlaklar ve iyi korunmayan drenaj sistemleri fazla suyun üstyapıya girmesine izin verirler. Bunun sonucunda, dağılma hızlanır, bağlayıcısız malzemelerin kesme dirençleri azalır ve böylece trafik yüklerinin neden olduğu gerilmeler altında deformasyon hızı artar. Üstyapı kalınlığı boyunca toplam

deformasyon, tekerlek geçiş yerlerinde tekerlek izleri olarak veya daha genel şekilde, yüzeyde bir düzgünsüzlük veya geometrik düzgünlük azalması ile saptanan bir profil çarpıklığı olarak kendini gösterir. Drenaj, hava ve mevsimlerin çevresel etkileri, üstyapı malzemelerinin trafik altındaki davranış ve dirençlerini etkiler ve geometrik düzgünlüğün azalmasına yol açan hacim değişmeleri ve çarpılmalar neden olurlar.

Bu yüzden üstyapı geometrik düzgünlüğünün azalması, bir bozulma oluşum şekilleri (mekanizmaları) zincirin sonucudur ve çeşitli bozulma şekillerinin etkilerini birleştirir. Sonunda geometrik düzgünlüğün azalması ile sonuçlanan bu birbirini etkileyen nedenler ve etkiler, modelleme yaklaşımında bir anahtar kavramıdır.

4.ESNEK ÜSTYAPIDA OLUŞAN BOZULMA TÜRLERİ

Çok iyi yapılan bir yol dahi, çevre koşulları nedeniyle belirli bir süre içerisinde bozulmaya başlar. Bir yolun servis ömrünü uzatmanın ya da ekonomik ömrü içerisinde ondan en iyi şekilde yararlanmanın tek yolu gerekli düzeyde sürekli bakım yapmak ya da yol üst yapısını (gerekirse) onarım yöntemleriyle ömrünü yükseltmektir. Genelde kaplama yaşını göz önüne almadan uygun ve doğru bir bakım ve etkin çalışan bir drenaj sistemi, yapılmış olan yatırımın elden çıkmasını önlemekte önemli bir rol oynar.

Türkiye koşullarında, tasarım yönteminin ve malzemenin yanlış seçimi, trafiğin hızlı ve kontrolsüz biçimde artması, iklimsel koşulların ağırlığı yol yapımı sırasındaki projeye ve tekniğe uygunluk oluşturmayan alt yapı inşası, bakım ünitesinin daha az etkin çalışması ve öteki ünitelerle koordinasyon eksiklikleri başlıca bozulma nedenleridir.

Yol bozulmalarının giderilmesi, nedenlerinin iyice anlaşılmasına bağlıdır. Aksi durumda nedeni hiç anlaşılmayan ya da araştırılmayan bir yolun bakım ve onarım hizmetleri var olan aksaklıkları gideremeyecektir [7].

Bozulma; bir üst yapının tasarım süresi sonunda trafik yükleri ve çevresel etkiler sonucunda düşmesi beklenen hizmet yeteneğinin bir derecesidir [8]. Böylece sayısız aksaklıklar yüzeyde kendini gösterirken, başka mühendislik yapılarından farklı olarak, kullanıcıları tarafından bu arızalar gözlenmekte ve bunların giderilmesi konusunda kamuoyu bir baskı unsuru olmaktadır.

Üstyapının bozulması, yol yüzey durumunun hizmet dışı kalması eğilimi ile saptanır. Üstyapı Bozulmalarının miktarları genellikle bir 'üstyapı durum etüdü' sayesinde belirlenir [7] .

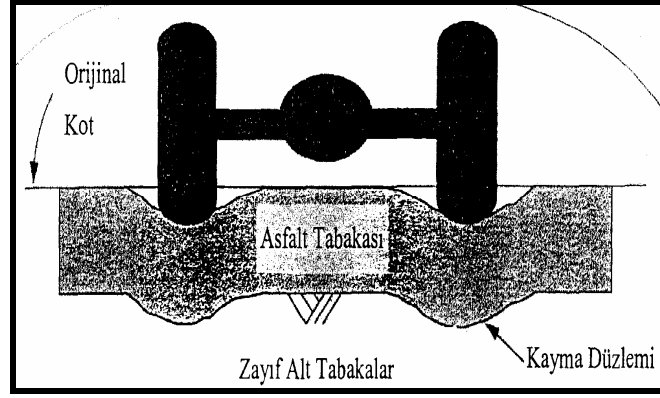
Bu bozulma türlerini dört ana bozulma şekli altında sınıflandırmak mümkündür. Bunlar, şekil değiştirmeler, çatlaklar, yamalar ve çukurlar ile çok yönlü bozulmalar olarak adlandırılır.

4.1 Şekil Değiştirmeler

4.1.1 Tekerlek izinde oturma (kalıcı deformasyon)

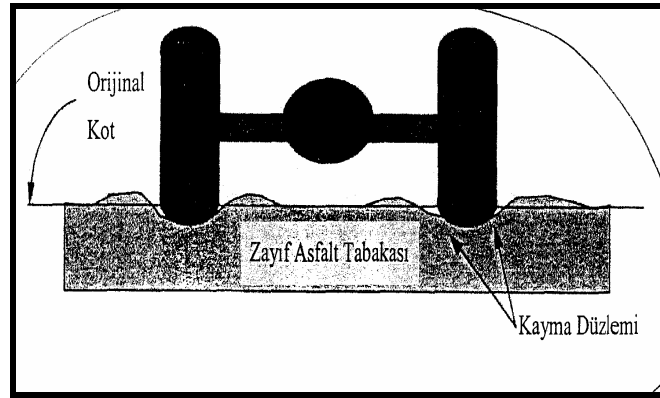
Kalıcı deformasyon, bitümlü sıcak karışım tabakası yüzey enkesitinin, tasarımdaki düzgün durumunu koruyamaması ve bozulmasıdır. BSK (bitümlü sıcak karışım) her yüklendiğinde küçük miktarlarda oluşan geri-dönümsüz deformasyonların toplamını sembolize ettiğinden “kalıcı” deformasyon olarak tanımlanır. Tekerlek izi oluşumu kalıcı deformasyonun en yaygın şeklidir. Tekerlek izi oluşumunun, nem hasarı, aşınma ve trafik yüklerinin yoğunlaşmasıyla sıcak karışım asfaltın temelini teşkil eden tabakaların zayıflaması gibi birçok nedeni olmasına karşın, iki ana sebebi vardır [6].

Birinci durumda, asfalt kaplama tabakası altındaki temele (veya alt temele veya tabii zemine) çok fazla tekrarlı yüklerin uygulanması tekerlek izine sebep olur (Şekil 4.1). Mukavemeti daha yüksek olan kaplama malzemeleri bu tip tekerlek izini kısmen azaltmasına rağmen, normalde bu olay bir malzeme probleminden çok, yapısal bir problem olarak nitelendirilir. Çünkü uygulanan yüklerden kaynaklanan gerilmeleri asfalt tabakası altındaki temel için dayanılabilir seviyeye indirgeyecek bir kaplama mukavemeti veya kalınlığı mevcut değildir. Bu durum, kaplama tabakalarından birinin, suyun nüfuzuyla beklenmedik bir şekilde zayıflaması sonucu da olabilir. Deformasyon, asfalt tabakalarından çok, asfalt tabakası altındaki tabakalardan oluşur [6].



Şekil 4.1: Zayıf alt tabakalarda tekerlek izi oluşumu [6].

Asfalt karışım tasarımcılarının en çok ilgilendiren diğer ana tekerlek izi tipi, asfalt tabakaları içinde meydana gelen deformasyondur. Tekerlek izi, asfalt karışımların tekrarlı ağır yüklere karşı koyacak yeterli kayma mukavemetine sahip olmaması nedeniyle oluşur (Şekil 4.2). Zayıf bir karışımında, her bir ağır kamyon geçişiyle küçük ama kalıcı deformasyonlar oluşur ve bu deformasyonlar da karışımın aşağı ve kenarlara doğru yer değiştirmesi sağlayarak tekerlek izi oluşumuna neden olur. Tekerlek izi asfaltın yüzey tabakasında oluşabilir, ama yüzey tabakasında oluşan tekerlek izi yüzeyin altındaki zayıf asfalt tabakasından kaynaklanabilir [6].



Şekil 4.2: Zayıf asfalt tabakasında tekerlek izi oluşumu [6].

Zayıf asfalt karışımlarda, tekerlek izi genelde yazın, yüksek sıcaklıklarda meydana gelir. Tekerlek izi oluşumu sadece bir bitümlü bağlayıcı problemi olarak ileri sürülmesine karşın, bitümlü bağlayıcı ve mineral agreganın birlikte göz önüne alınması tekerlek izi oluşumunu belirlemede çok daha doğru olacaktır [6].

Tekerlek izi oluşumu (Şekil 4.3), çok küçük kalıcı deformasyonların toplamı olduğundan, karışımın kayma mukavemetini arttırmanın bir yolu, sadece daha sert bir asfalt kullanmak değil, aynı zamanda, yüksek kaplama sıcaklıklarında daha çok elastik bir katı gibi davranan bir asfalt kullanmaktır. Bu yolla, karışımındaki asfalt çimentosuna bir yük uygulandığında lastik bir bant gibi davranacak ve yük kaldırıldığında ilk pozisyonuna geri dönecektir [6].

Şekil 4.3: Tekerlek izi oluşumu [11].

Asfalt karışımın kayma mukavemetini arttırmanın başka bir yolu ise, yüksek içsel sürtünme açısına sahip agrega seçimidir. Bu da, parçalar arasındaki teması iyi biçimde sağlayacak bir granülometriye ve pürüzlü bir yüzeye sahip, kübik bir agrega seçimi ile yapılabilir. Karışıma yük uygulandığında, agrega parçaları sıkıca birbirine kenetlenir ve sadece tekil parçaların bir kümesi değil, daha büyük, tek ve elastik bir taş olarak çalışır. Asfalt çimentosuyla da olduğu gibi, agrega lastik bir bant gibi davranacak ve yük kaldırıldığında ilk şekline geri dönecektir. Böylelikle, hiç bir deformasyon birikmesi olmayacaktır [6].

Oluklar ve tekerlek izleri kaplamanın altındaki bir ya da birden fazla tabakada, trafik tesirinin neden olduğu konsolidasyon ya da yanıl hareketler veya trafik tesiriyle kaplamanın kendisinden oluşan yer değıştirmeler sonucu oluşurlar. Oluklanmalar,

aynı zamanda trafiğin geçtiği izler boyunca kalıcı deformasyonların birikiminden oluşmaktadır. Genellikle ağır trafikli ve çok dalgalı arazilerde sorun olmaktadır [4] .



Şekil 4.4: Tekerlek izi oluşumu ve oluklanma [11].

4.1.1.1 Tekerlek izi oluşumu ve nedenleri

Asfalt tabakasıyla ilgili nedenler:

1. Yüksek bitüm yüzdesi.
2. Filler malzemesinin fazlalığı.
3. Yuvarlak malzemelerin karışımda kullanımı.
4. Karışımın yetersiz sıkışması.
5. Ağır trafik ve tek çizgide akan trafik nedeniyle kaplama tabakasının fazla sıkışması.

Alt tabakalarla ilgili nedenler:

1. Alt tabakaların yetersiz kalınlığı.
2. Doğal zeminin konsolide oluşu.
3. Doğal zeminin ve üst tabakaların yanal hareketleridir.

Çevresel nedenler:

1. Ağır ve yüksek sayıda tekerrür eden yük.

2. Bölgenin fazla sıcak oluşudur.

Ağır taşıt trafiği, iz ve olukların oluşumundaki en önemli etkidir. Yüksek dingil yükü, yüksek lastik basıncı, yükün hızlı tekrarı ve yavaş hızdaki araçlar olumsuz etkilerdir.

İz ve oluklar, aşağıdaki olumsuzlukların ortaya çıkmasına neden olurlar.

1. Suların toplanmasıyla, kayma tehlikesinin artması ve soğuk havalarda ince buz tabakalarının oluşması,

2. Seyir konforunun düşmesiyle birlikte, şerit değiştirmek isteyen hızlı araçlar için tehlike oluşması [4].

4.1.1.2 Tekerlek izi sonucu oluşan kalıcı deformasyon derecelenmesi

1. $6,35 \text{ mm} \leq \text{Tekerlek izi Derinliği} < 12,7 \text{ mm}$ (1/4 inches – 1/2 inches) ise düşük şiddette (Şekil 4.5),

2. $12,7 \text{ mm} \leq \text{Tekerlek izi Derinliği} < 19 \text{ mm}$ (1/2 inches – 3/4 inches) ise orta şiddete (Şekil 4.6),

3. Tekerlek izi Derinliği $> 19 \text{ mm}$ ($> 3/4 \text{ inches}$) ise yüksek şiddette (Şekil 4.7) olarak derecelendirilir [11] . Bu derecelendirme çizelge 4.1’ de verilmiştir.



Şekil 4.5: Düşük şiddette tekerlek izi [12].



Şekil 4.6: Orta şiddette tekerlek izi [12].



Şekil 4.7: Yüksek şiddette tekerlek izi [12].

Çizelge 4.1: Tekerlek izinde oturmalar ve derecelendirilmesi [1].

Bozulma Şiddeti	Bozulma Yoğunluğu	Bozulma Tanımı	Bozulma Şiddeti Tanımı	Alan Oranı (%) (50 m platform)
0	0	Yok	Yok	Yok
0	1	Oturma derinliği 19 mm' den daha azdır. Oturmalar üzerinde hafif şiddette çatlamlar olabilir.	Hafif	% 0–4
0	2			% 4 – 10
0	3			%10 – 30
0	4			%30 – 60
0	5			> % 60
1	1	Oturmaların derinliği 15 – 30 mm arasındadır. Genellikle iz üzerinde çatlamlar vardır.	Orta	% 0–4
1	2			% 4 – 10
1	3			%10 – 30
1	4			%30 – 60
1	5			> % 60
2	1	Oturmaların derinliği 30 mm den daha fazladır. Çatlaklar daha belirginleşmiştir.	Yüksek	% 0–4
2	2			% 4 – 10
2	3			%10 – 30
2	4			%30 – 60
2	5			> % 60

4.1.2 Lokal (yerel) oturmalar

Kaplamanın düşey yönlü deplasman yaptığı bozulma şeklidir. Yerel oturmaların oluşma nedenleri:

1. Taban, alttemel, temel tabakalarında yetersiz sıkışma nedeni ile oluşan yer değiştirmeler.
2. Üst yapı tabanının taşıma gücünün zayıf olması.
3. Sanat yapılarının yaklaşım imlalarındaki yetersiz sıkışma ve drenaj yetersizliği nedeni ile oluşan göçmeler.
4. Kaplamanın bankete yakın kesimlerinde, menfezlerde, eksende, çatlak kesimlerde, rögar kenarlarında, yetersiz drenaja sahip yamalarda gözlenen tekrarlı don-kabarma olayları.
5. Dolgu şevindeki hatalı yapım.
6. Uygun olmayan bakım teknikleri.

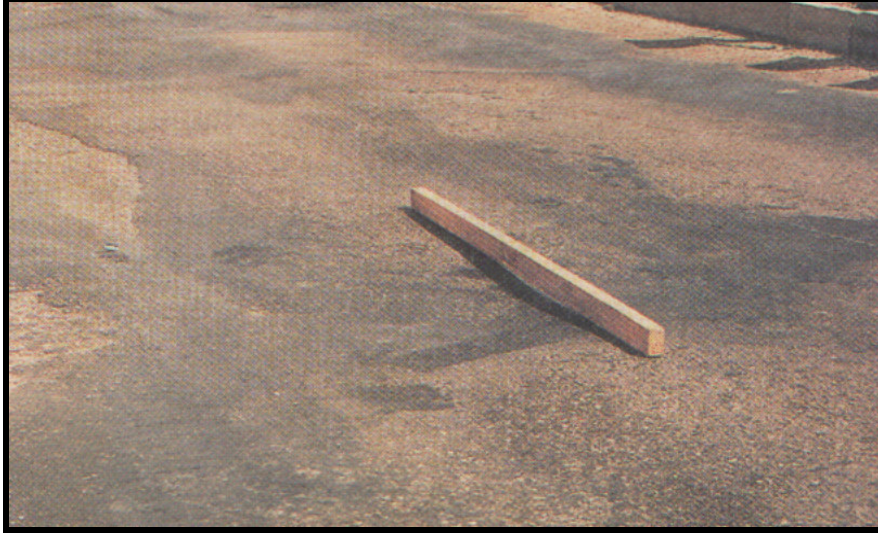
Yerel oturmaların derecelendirilmesi, hafif, orta ve yüksek şiddetli olmak üzere üçe ayrılır. Bunların derecelendirilmesi Çizelge 4.2' de verilmiştir. Hafif şiddette yerel oturmalar (Şekil 4.8), düşey yöndeki deplasman 50 mm' den azdır. Sürüş konforundaki azalma çok az olup, hafif sarsıntılara neden olabilir [10]



Şekil 4.8: Hafif şiddette lokal oturma [1].

Orta şiddette yerel oturmalarda (Şekil 4.9), düşey yönlü deplasman 50mm - 100 mm arasındadır. Hissedilir seviyede yükselmeler ve alçalmalar olmuştur. Bakım yöntemi

olarak, drenaj sistemleri gözden geçirilmeli, bozuk kesim gerekirse kazılıp atılmalı, sıcak veya soğuk karışım malzemesi ile yamanmalıdır [10].



Şekil 4.9: Orta şiddette lokal oturma [1].



Şekil 4.10: Yüksek şiddette lokal oturma [1].

Yüksek şiddette yerel oturmelerde, düşey yönlü deplasman 100 mm' nin üstündedir. Sürekli hale gelen yükselip alçalmalar, rahatsızlık verici seviyededir. Hız azaltma zorunluluğu hissedilir. Bakım yöntemi olarak, drenaj sistemleri gözden geçirilmeli, bozuk kesim gerekirse kesilip atılmalı, sıcak veya soğuk karışım malzemesi ile yamanmalıdır. Gerekli görülürse, üstyapı tabanı ve dolgular iyileştirilmelidir [10].

Çizelge 4.2: Lokal oturumların derecelendirilmesi [1].

Bozulma Şiddeti	Bozulma Yoğunluğu	Bozulma Tanımı	Bozulma Şiddeti Tanımı	Alan Oranı (%) (50 m platform)
0	0	Yok	Yok	Yok
0	1	Düşey yönlü deplasman 50 mm' den azdır. Sürüş konforundaki azalma çok az olup hafif sarsıntı yaratabilir.	Hafif	% 0 – 10
0	2			% 10 – 20
0	3			% 20 – 40
0	4			% 40 – 60
0	5			> % 60
1	1	Düşey deplasman 50 – 100 mm arasındadır. Hissedilir seviyede yükselme ve alçalmalar oluşmuştur.	Orta	% 0 – 10
1	2			% 10 – 20
1	3			% 20 – 40
1	4			% 40 – 60
1	5			> % 60
2	1	Düşey deplasman 100 mm' den fazladır. Sürekli hale gelen yükselip alçalmalar rahatsızlık verici seviyededir. Hız azaltma zorunluluğu hissedilir.	Yüksek	% 0 – 10
2	2			% 10 – 20
2	3			% 20 – 40
2	4			% 40 – 60
2	5			> % 60

4.1.3 Ondülasyonlar, ötelenmeler ve yağrulmalar

Bu tür bozulmalar özellikle sıcak havalarda tekerleklerinde mekanik etkisi ile ötelenerek yol eksenine dik ya da paralel olarak oluşan yüzey bozulmalarıdır. Yol yüzeyinde ondülasyon, tepecik, çukurlaşma ve düzensizlikler görülür. Bu sapsmalar sürüş konforu ve sürüş güvenliğinde düşmelere neden olurlar [5].

Bunlara sebep olarak; asfalt karışım stabilizesinin yetersizliği, karışımın serilmesi sırasındaki serme ve sıkıştırma hataları, kavşak, trafik ışıkları ve duraklarda duruş ve kalkış şeklindeki trafik etkisi, üstyapı tabakaları arasındaki bağlantının yetersizliği, yoğunlaştırma tabakasının gereğinden fazla veya az uygulanması, temel tabakasındaki stabilite bozukluğunun yüzeye yansması, ağır trafik altında suya doymun granüler tabakaların varlığı gibi etkenler sayılabilir [5].

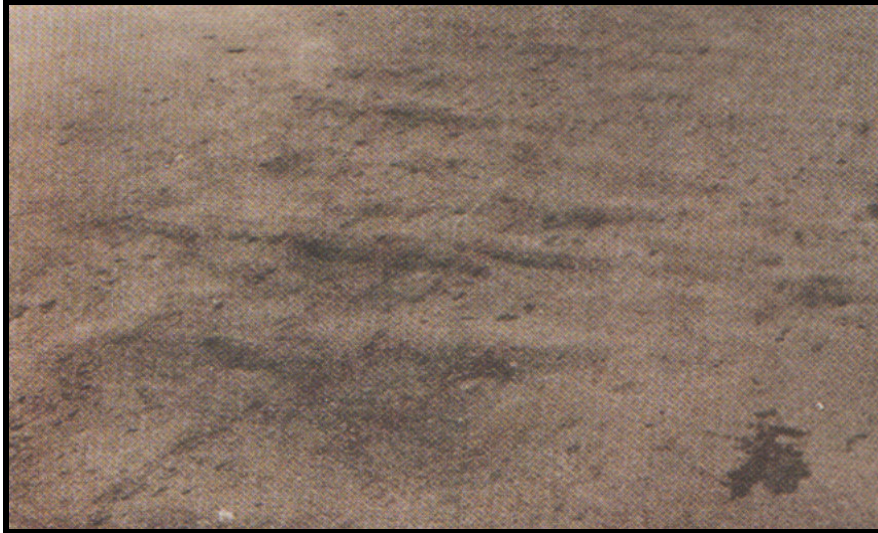
Ondülasyonlar, ötelemeler ve yağrulmaların oluşumu ve görünümü itibariyle birbirine yakın bozulmalar olmalarından dolayı, onarım yöntemlerinin de ortak olduğu görülmektedir. Bozulmaların ilk oluşmaya başladığı aşamada bunların gelişimi gözlenmeli, eğer sürüş konforu ve güvenliğini tehdit eder dereceye

yükseldiyse bozuk kesimler freze makinesi ile kesilmeli, gerekirse yama yapılmalıdır. Bu önlemler yetersiz kalacak düzeyde ise kapsamlı üstyapı etüdü yapılarak yeniden yapım metodu uygulanmalıdır [5].

Ondülasyonlar; üç şekilde incelenebilir hafif (Şekil 4.11), orta (Şekil 4.12) ve yüksek (Şekil 4.13) şiddete. Ondülasyonların derecelendirilmesi ise çizelge 4.3' deki gibidir.



Şekil 4.11: Hafif şiddette ondülasyon [1].



Şekil 4.12: Orta şiddette ondülasyon [1].



Şekil 4.13: Yüksek şiddette ondülasyon [1].

Çizelge 4.3: Ondülasyon, öteleme ve yoğrulmaların derecelendirilmesi [1].

Bozulma Şiddeti	Bozulma Yoğunluğu	Bozulma Tanımı	Bozulma Şiddeti Tanımı	Alan Oranı (%) (50 m platform)
0	0	Yok	Yok	Yok
0	1	Çeşitli yüksekliklerde enine ondülasyonlar ve yerel kabarmalar, ötelemeler oluşmaya başlamıştır. Sürüş konforunda düşüş hissedilmeye başlanmıştır.	Hafif	% 0 – 10
0	2			% 10 – 20
0	3			% 20 – 40
0	4			% 40 – 60
0	5			> % 60
1	1	Sürüş konforu belirgin bir şekilde düşmüş, yol yüzeyi tümsekli bir görünüş almıştır.	Orta	% 0 – 10
1	2			% 10 – 20
1	3			% 20 – 40
1	4			% 40 – 60
1	5			> % 60
2	1	Yol yüzeyindeki düzgünsüzlükler iyice artmış, sürüş konforu iyice azalmıştır. Güvenli sürüş için hız azaltılmalıdır.	Yüksek	% 0 – 10
2	2			% 10 – 20
2	3			% 20 – 40
2	4			% 40 – 60
2	5			> % 60

4.1.4 Tekerlek profil izi oluşması

Tekerlek profil izi (Şekil 4.14) oluşması, sıcak havalarda karışımdaki bitümün yüzeye yansması ile ağır taşıtların lastik desenlerinin kaplama yüzeyine çıkması şeklinde görülür. Tekerlek profili izi oluşması bir bozulma olarak sınıflandırmak

güçtür, ancak oluştuğu kısımlarda bir düzensizlik olduğunu belirtmeleri bakımından önemlidir.

Ağır taşıtların uzun süreli park etmelerinden oluşurlarsa, stabilize yetersizliğine bağlanabilir. Hareket halindeki taşıtlar oluşturuyor ise, o kesimde kuma olduğu ifade edilebilir.

Tekerlek profil izi oluşumu önlenmesi için yüksek stabiliteli karışım kullanmak ve kusmayı önleyici önlemler almak gerekmektedir.



Şekil 4.14: Tekerlek izi [11].

4.2 Çatlaklar

Çatlaklar; genellikle dingil yüklerinden ve bunların fazla tekrarından oluşurlar. Dingil yükünün kaplama tabakasında meydana getirdiği gerilmeler, kaplama malzemesinin mukavemetini aştığı zaman çatlamlar oluşur.

Ayrıca araçların ani hızlanma ya da yavaşlamalarıyla ortaya çıkan yatay kuvvetler de neden olabilir.

Bu etkilerin dışında bir takım dış etkenler kendi başlarına ya da trafik etkisiyle birlikte çatlaklıklara neden olabilir. Şöyle ki;

- ✓ Sıcaklık değişimleri, nem emme kabiliyeti yüksek agrega kullanımı, asfalttaki uçucu maddelerin buharlaşması.

- ✓ Nem ve sıcaklık değişimleri, kireçle stabilizasyonu yapılırken ya da çimento ile kür olurken doğan hacim değişiklikleri.

Çatlamada, asfaltın çekme mukavemeti en önemli rolü oynar. Soğuk havalarda çekme mukavemeti artış gösterirken yavaş yüklemelerde düşmektedir.

Trafik etkeni ve hacim değişiklikleri dışında, çatlamaya neden olan hususlar şunlardır [4]:

1. Fazla miktarda yük tekrarı (yorulma).
2. Kaplama (satih) tabakasının yetersiz kalınlığı.
3. Kaplama altındaki tabakaların yetersiz kalınlığı.
4. Kaplama altındaki tabakaların yüksek deformasyonları nedeniyle, malzemelerin dağılımı, ayrışımı.
5. Yetersiz drenaj.
6. Don tesirine duyarlı olan temel ve alttemel malzemeleri.
7. Satih ve banketlerdeki nem farklılıkları.
8. Yanal desteklerin (banketlerin) yetersizliği.
9. Araçların ani hızlanma ya da yavaşlamalarından oluşan yatay kuvvetler.
10. Karışım tipi kaplamalarda, yapım sırasında finişerin sık sık durması.
11. Yol kaplama yapımında (ek yerlerinin) derzlerin dikkatsiz yapılmasıdır.

4.2.1 Yorulma çatlakları (tımsah sırtı çatlaklar) ve derecelendirilmesi

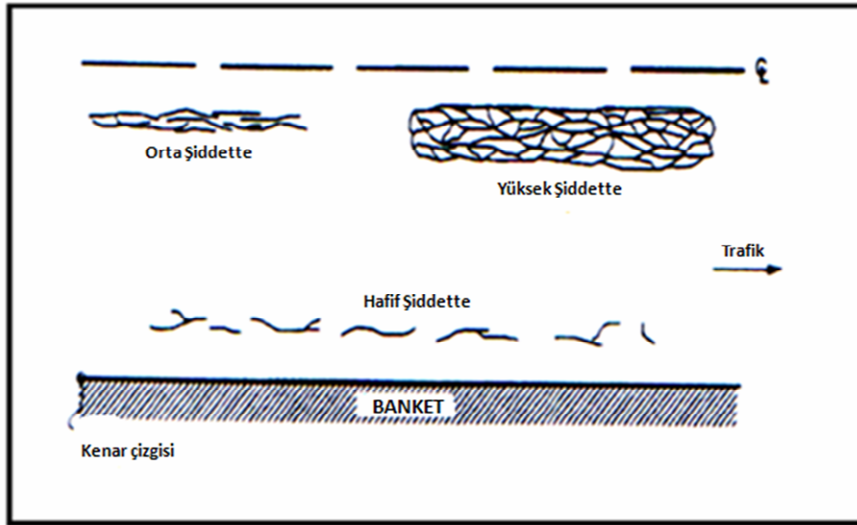
Yorulma çatlaması, asfalt kaplamalara uygulanan yüklerden dolayı, çatlak oluşumuna sebebiyet verecek şekilde kaplamanın gerilme dayanımının aşılması ile meydana gelir. Yorulma çatlağı oluşumunun ilk işareti, trafik yönünde aralıklı olarak, boyuna tekerlek izi çatlaklarının meydana gelmesidir. Yorulma çatlaması, ilk çatlakların birleşmesi ve haliyle daha fazla çatlağın oluşumuna sebep olması nedeniyle tedricen artan bir bozulma türüdür. Yorulma çatlamasının bir ileri safhası,

çatlak bölgesinin timsah derisine benzetilmesinden dolayı, timsah sırtı çatlağı (Şekil 4.15) diye adlandırılır [6].



Şekil 4.15: Timsah sırtı çatlağı [1].

Yorulma çatlama sürecinin son safhası, çatlak parçalarının ayrılması ve parçaların trafik etkisiyle kopması ile çukurların oluşmasıdır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16: Yorulma çatlağı oluşumu ve derecelendirilmesi [13].

Yorulma çatlağı oluşumunun birçok farklı nedeni vardır. Tabii ki, tekrarlı ağır yükler bulunması gereken bir faktördür. İnce kaplamalar veya zayıf alt tabakalara sahip

kaplamalar, ağır tekerlek yükleri altında yüksek defleksiyonlara yatkındır. Yüksek defleksiyonlar da, asfalt tabakasının altında oluşan yatay çekme gerilmelerinin artmasına ve yorulma çatlağı oluşumuna neden olur. Yetersiz drenaj, zayıf inşaat ve iyi tasarlanmamış kaplamalar gibi unsurlar da bu probleme yol açmış olabilir.

Genellikle yorulma çatlağı oluşması, kaplamanın tasarım yük uygulama sayısına eriştiğinin işaretidir. Dolayısıyla, yıpranmıştır ve planlı bir iyileştirme yapılmalıdır. Yorulma çatlağı tasarım ömrünün sonunda meydana gelirse, kaplama tasarımının doğal bir aşaması olarak yorumlanır. Ama yorulma çatlaklarının tasarım ömründen daha önce görülmesi, kaplamanın beklenenden daha fazla trafiğe maruz kaldığının göstergesi olabilir. Sonuç olarak, yorulma çatlamasını engellemenin en iyi yolları şunlardır.

- ✓ Tasarım aşamasında ağır trafik yüklerini hesaba katmak.
- ✓ Kaplamanın altındaki tabakaları kuru tutmak.
- ✓ Daha kalın kaplamalar kullanmak.
- ✓ Nem ile zayıflamayacak malzemeler kullanmak.
- ✓ Normal defleksiyonlara karşı yeterli esnekliğe sahip BSK kullanmaktır.

Konu ile ilgili son husus, esnek malzemelerin seçimidir. BSK, asfalt tabakasının altında oluşan çekme gerilmesini karşılayacak çekme mukavemetine sahip ve tekrarlı yüklemelere karşı çatlamadan dayanım göstermek için yeterince esnek olmalıdır. Bu nedenle, bitümlü sıcak karışımın yumuşak bir elastik malzeme gibi davranması istenir. BSK' nın çekme davranışı daha çok bitümlü bağlayıcıya bağlı olduğundan, bitümlü bağlayıcının sertlik özelliğine bir üst sınır getirilmeli ve yüksek elastisiteye sahip bağlayıcılar seçilmelidir. Zaten yumuşak asfaltlar sert asfaltlardan daha iyi yorulma özelliklerine sahiplerdir [6].

Asfaltın oksidasyonu, asfalt betonun yorulma karakterini etkilemektedir. Oksidasyon, kohezyonu artıracak, bu da karışımın rijitliğini artıracaktır. Bu durum, yorulma çatlakları oluşturacak ve genellikle ince asfalt betonu tabakalarında görülecektir.

Önlem olarak; kaplama çok iyi sıkıştırılmış boşluk yüzde'si minimum olmalı, sert bitüm kullanılmalı ve bitüm yüzdesi, optimum bitüm yüzdesinden biraz (%1 civarında) fazla olmalıdır [4].

Yorulma çatlaklarının derecelendirilmesi hafif, orta ve yüksek şiddetli yorulma çatlakları olmak üzere üç gruba ayrılır.

4.2.1.1.Hafif şiddette yorulma çatlakları

Çatlak derinliği ≤ 6 mm olan çatlaklardır. Birbiriye bağlantılı veya bağlantısı olmayan birkaç çatlaktan oluşan bir alandır, çatlaklar parçalanmamış veya belirginleşmemiştir, çatlaklar içindeki boşalma fark edilebilir düzeyde değildir [11]. Hafif şiddette(Şekil 4.17) iken hiçbir müdahaleye gerek yoktur, sadece çatlakların gelişimi sürekli incelenmelidir.



Şekil 4.17: Hafif şiddette yorulma çatlakları (timsah sırtı çatlakları) [1].

4.2.1.2.Orta şiddette yorulma çatlakları

6 mm < çatlak derinliği ≤ 19 mm arasında olan çatlaklardır. Bir bütün gibi görünen birbiriyle bağlantılı çatlaklardan oluşan bir alandır (Şekil 4.18) çatlaklar hafifçe parçalanmıştır, çatlaklar belirginleşmiştir, çatlaklar içindeki boşalma fark edilebilir düzeyde değildir [11] . Bozulma şiddeti orta dereceye ulaşmış ise, çatlaklı bölge düzgün bir şekilde kesilip atılmalı ve sıcak ya da soğuk karışım malzemesi ile yamanmalıdır. Diğer bir öneri ya bozuk yüzey harç tipi örtü tabakası veya yüzeysel

kaplama ile kaplanmalı, ya da bozuk yüzey asfalt kaplamaların yeniden kullanımı yöntemi ile iyileştirilmeli veya düzeltme tabakası ve geotekstil uygulaması ile düzeltildikten sonra defleksiyon etüdü sonucu belirlenen takviye kalınlıkları uygulanmalıdır [5].



Şekil 4.18: Orta şiddette yorulma çatlağı [1].

4.2.1.3.Yüksek şiddette yorulma çatlakları

Çatlak derinliği > 19 mm olan çatlaklardır. Bir bütün gibi görünen ciddi şekilde parçalanmış birbiriyle bağlantılı çatlaklardan oluşan bir alandır, trafik yüküne maruz kaldığında parçalar kopabilir, çatlaklar belirgindir ve çatlaklar içindeki boşalma fark edilebilir düzeydedir [11]. Eğer çatlaklar yüksek şiddete ulaşmış ise, yeniden yapım yöntemi uygulanmalıdır [5].



Şekil 4.19: Yüksek şiddette yorulma çatlağı [1].

Yorulma çatlaklarının derecelendirilmesinin çizelge olarak incelenmesi ise aşağıdaki gibidir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4: Yorulma (timsah sırtı) çatlakların derecelendirilmesi [1].

Bozulma Şiddeti	Bozulma Yoğunluğu	Bozulma Tanımı	Bozulma Şiddeti Tanımı	Alan Oranı (%) (50 m platform)
0	0	Yok	Yok	Yok
0 0 0 0 0	1 2 3 4 5	Timsah sırtı deseni yeni oluşmaya başlamış, desen oluşumu az sayıda çatlaklarla meydana gelmiş ve çatlaklar kılcal seviyededir.	Hafif	% 0–4 % 4 – 10 %10 – 30 %30 – 60 > % 60
1 1 1 1 1	1 2 3 4 5	Timsah sırtı oluşumu iyice belirginleşmiş, poligon köşelerinde kopmalar başlamıştır. Çatlakların genişliği artmış ve belirginleşmiştir.	Orta	% 0–4 % 4 – 10 %10 – 30 %30 – 60 > % 60
2 2 2 2 2	1 2 3 4 5	Poligon blokları kopmaya başlamıştır. Bazı oyuklar ve lokal oturmalar oluşmuş, kopmalar ileri seviyelere ulaşmıştır.	Yüksek	% 0–4 % 4 – 10 %10 – 30 %30 – 60 > % 60

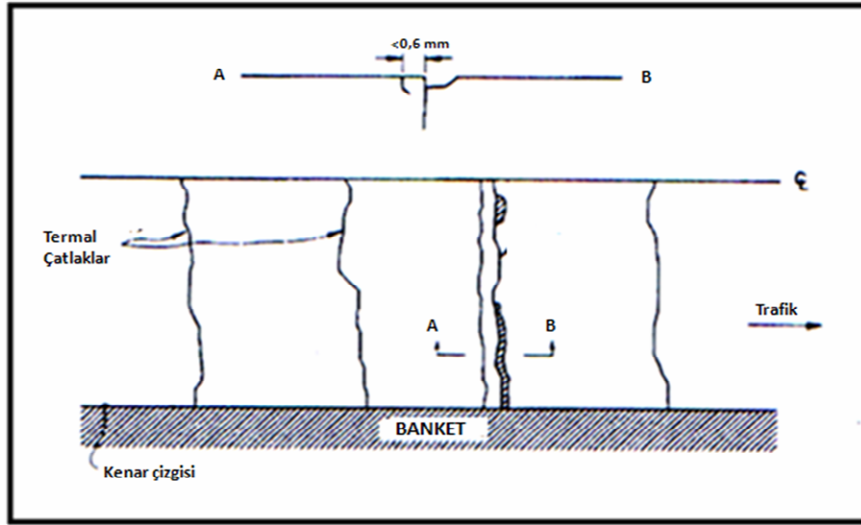
4.2.2 Termal (enine) çatlaklar ve derecelendirilmesi

Düşük sıcaklık çatlaması trafik yüklerinin değil, kötü çevre koşullarının sebep olduğu bir bozulma tipidir. Bunlar, belirli aralıklarla trafik yönüne dik olarak meydana gelen, enine çatlaklardır (Şekil 4.20) [6].



Şekil 4.20: Termal (enine) çatlak [11].

Düşük sıcaklık çatlakları, asfalt kaplama tabakasının soğuk havada büzülmesi sonucu oluşurlar (Şekil 4.21). Kaplama büzüldüğünde kaplama içinde çekme gerilmeleri oluşur. Kaplama boyunca bazı noktalarda çekme gerilmesi çekme dayanımını aşar ve asfalt kaplama çatlar. Düşük sıcaklık çatlakları tekil düşük sıcaklıktan meydana gelir ve düşük sıcaklıkların tekrarlanmasıyla artar [6].



Şekil 4.21: Termal çatlak oluşumu ve derecelendirilmesi [11].

Bitümlü bağlayıcı düşük sıcaklık çatlamlarında önemli bir rol oynar. Genelde düşük sıcaklık çatlama, sert asfaltlar yumuşak asfaltlardan daha fazla eğilimlidir. Gereğinden fazla oksitlenmeye eğilimli olduklarından veya karışımında hava

boşluğu yüzdesinin fazla olmasından dolayı aşırı yaşlanmış bitümlü bağlayıcılar düşük sıcaklık çatlamlarına neden olurlar. Bu nedenle, düşük sıcaklık çatlamlarını önlemek için, yaşlanmaya fazla eğilimi olmayan ve aşırı okside olmaması için karışımındaki hava boşluğu yüzdesi kontrol altında olan yumuşak asfalt bağlayıcılar kullanılmalıdır [6].

Asfalt kaplama çok düşük sıcaklıklarda meydana gelen büzülme, tabanda don etkisi ve su içeriği değişikliği, alt tabakalarda daha önce oluşan çatlakların yüzeye yansması, kaplama içindeki bitümün sıcaklığa olan yüksek hassasiyeti, yetersiz üstyapı kalınlıkları, yetersiz drenaj, sericinin uzun süren duraklamalarla çalışması ve ani sıcaklık düşmelerinin kaplamada oluşturduğu gerilmeler enine (termal) çatlakların oluşmasında etkili olan nedenler olarak sayılabilir [5].

Enine çatlakların giderilmesi gerekirse, çatlaklar genişletilerek uygun bir dolgu malzemesi ile doldurulur veya yol diğer bozukluklar nedeni ile iyileştirilecek ise özel bir çatlak etüdü yapılarak çatlakların oluşma sebepleri belirlendikten sonra gerekirse taban iyileştirilerek asfalt kaplamaların yeniden kullanım yöntemi veya yeniden yapım yöntemlerinden birisi kullanılabilir [5] .

Termal (enine) çatlakların derecelendirilmesi hafif, orta ve yüksek şiddetli termal çatlaklar olmak üzere üç gruba ayrılır.

4.2.2.1.Hafif şiddette termal çatlaklar

Çatlak derinliği ≤ 6 mm olan çatlaklardır (Şekil 4.22). Çatlak içindeki boşalma hesaplanmayacak düzeydedir veya çatlak içi dolgu malzemesi iyi durumdadır [11]. Çatlaklar, üstyapı genişliği boyunca değişken uzunluktadır. Bozuklukların gelişimi sürekli gözlemlenmelidir [10].



Şekil 4.22: Hafif şiddette termal çatlak [1].

4.2.2.2.Orta şiddette termal çatlaklar

6 mm < çatlak derinliği $\leq$ 19 mm arasında olan çatlaklardır (Şekil 4.23) [11]. Çatlak boyunca hafif kopmalar oluşmuş ve kılcal çatlaklar meydana gelmiştir. Bakım yöntemi olarak, çatlak gerekirse uygun bir dolgu malzemesi ile doldurulmalıdır.



Şekil 4.23: Orta şiddette termal çatlak [1].

4.2.2.3.Yüksek şiddette termal çatlaklar

Çatlak derinliği > 19 mm olan çatlaklardır (Şekil 4.24). Çatlak içindeki boşalma fark edilebilir düzeydedir [11]. Bazı kopmalar ve bozulmalar oluşmuştur. Çatlak oluşumu yaygınlaşmıştır. Geçici çözüm olarak (bakım amaçlı) çatlaklar uygun bir dolgu malzemesi ile doldurulmalıdır. Kalıcı çözüm olarak, özel bir çatlak etüdü yapıldıktan sonra gerekirse zemin iyileştirmesi ve asfalt kaplamaların yeniden kullanımı metodu veya yeniden yapım metodu uygulanmalıdır.



Şekil 4.24: Yüksek şiddette termal çatlak [1].

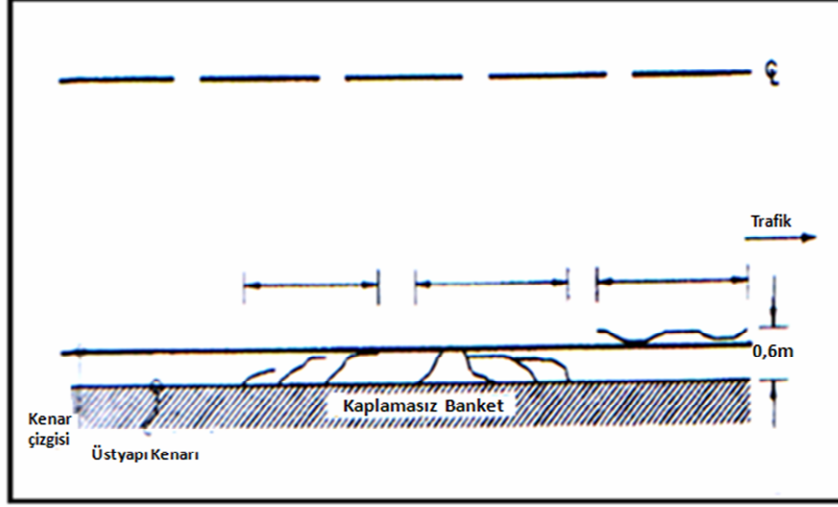
Termal (enine) çatlaklarının derecelendirilmesinin Çizelge olarak incelenmesi ise aşağıdaki gibidir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5: Enine çatlakların derecelendirilmesi [1].

Bozulma Şiddeti	Bozulma Yoğunluğu	Bozulma Tanımı	Bozulma Şiddeti Tanımı	Alan Oranı (%) (50 m platform)
0	0	Yok	Yok	Yok
0	1	Çatlaklar 6 mm' den incedir ve ayrışmamıştır.	Hafif	> 35 m
0	2			25 – 35 m
0	3	Çatlaklar kaplama genişliği boyunca değişken uzunluktadır.		10 – 25 m
0	4			5 – 10 m
0	5			< 5 m
1	1	Çatlaklar 6 ile 19 mm arası genişliğe ulaşmışlardır. Çatlak boyunca hafif kopmalar oluşmuş ve kılcal çatlaklar meydana gelmiştir.	Orta	> 35 m
1	2			25 – 35 m
1	3			10 – 25 m
1	4			5 – 10 m
1	5			< 5 m
2	1	Tek veya birden fazla çatlak ayrışmaya devam edip 19 mm' den fazla açıklığa ulaşmıştır. Bazı kopma ve bozulmalar oluşmuştur. Çatlak oluşumu yaygınlaşmıştır. Çatlakların yanı sıra diğer bozuklukların varlığı bu mertebenin göstergesidir.	Yüksek	> 35 m
2	2			25 – 35 m
2	3			10 – 25 m
2	4			5 – 10 m
2	5			< 5 m

4.2.3 Kenar çatlakları ve derecelendirilmesi

Çatlaklar kaplama kenarına paralel olup bir veya birden fazla olabilirler. Çatlaklar bozulmanın şiddetine göre, kaplama kenarından 300–600 mm kadar içeri ilerlemiş olabilirler. Çatlaklar birbirinden bağımsız boyuna çatlaklar olabileceği gibi bazen de bazen de dalga şeklinde olabilirler (Şekil 4.25). Dalga şeklinde çatlaklar görülmeye başlanmış olup, bunlar timsah sırtı desenine dönüşmüş ve dış tekerlek izinden daha içeri ilerlemiş durumda iseler, kenar çatlaklarının şiddeti üst düzeyde olduğu anlaşılır. Eğer çatlaklar timsah sırtı desenine dönüşmüş ise timsah sırtı çatlak olarak değerlendirilir [5].



Şekil 4.25: Kenar çatlağı oluşumu ve derecelendirilmesi [11].

Kenar çatlaklarının oluşum sebepleri [5]:

1. Don etkisi.
2. Kaplama kenarında yetersiz taşıma gücü.
3. Üstyapı kenarında aşırı trafik yüklemesi.
4. Üstyapı kenarında ve bankette yetersiz drenaj.
5. Üstyapı genişliğinin yetersiz olması nedeniyle trafiğin banket kenarına çok yakın seyretmesi.
6. Kaplama kenarına çok yakın yoğun ot örtüsü ve ağaçlar yol gövdesinden su çekilmesine sebep olmaktadır.

Kenar çatlaklarının onarım yöntemleri bozulma şiddetine göre, ya çatlaklı bölge düzgün şekilde kesilip atıldıktan sonra uygun bir karışımla yamanmalı ya da bozuk kesim yüzeysel kaplama yüzeysel kaplama ile kaplanmalıdır. Ayrıca banket drenajı, gerekli bakımla iyileştirilmeli ve kaplama kenarında çok yakın olan ot, ağaç vb. iri köklü bitkiler bulunuyorsa sökülmelidir [5].

Kenar çatlaklarının derecelendirilmesi hafif, orta ve yüksek şiddetli kenar çatlakları olmak üzere üç gruba ayrılır.

4.2.3.1 Hafif şiddette kenar çatlaklar

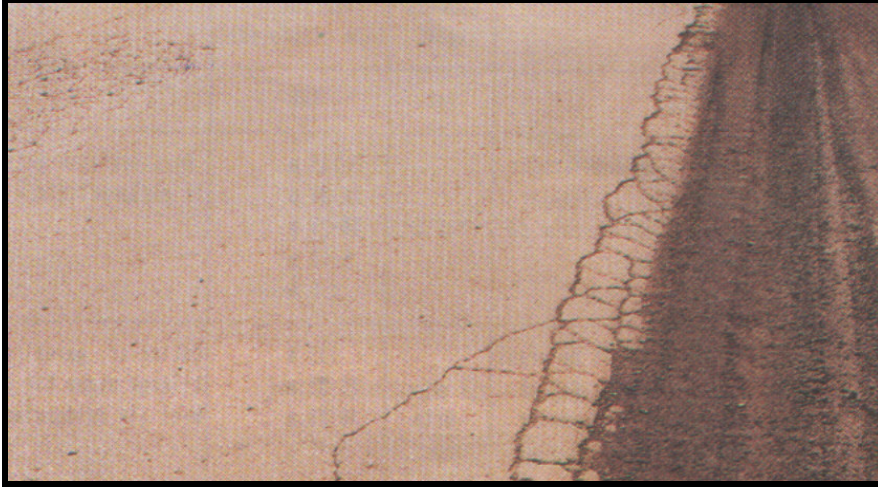
Hafif şiddetli kenar çatlaklarında, çatlaklar kaplama kenarına paralel olup bir veya birden çok olabilir (Şekil 4.26). Çatlaklar kaplama kenarından 300 mm içeriye yayılmış olabilirler. Bozuklukların gelişimi sürekli gözlemlenmelidir [10].



Şekil 4.26: Hafif şiddette kenar çatlağı [1].

4.2.3.2 Orta şiddette kenar çatlakları

Orta şiddetli kenar çatlaklarında, çatlaklar dış tekerlek izine kadar ilerlemiş ya da kaplama kenarlarından 600 mm kadar içeri ilerlemiştir (Şekil 4.27). Çatlaklar birbirinden bağımsız boyuna çatlaklar olabileceği gibi bazen de dalga şeklinde olabilmektedirler. Onarım çalışması olarak, çatlaklı bölge düzgün bir şekilde kesilip atıldıktan sonra uygun bir karışımla yamanmalıdır [10].



Şekil 4.27: Orta şiddette kenar çatlağı [1].

4.2.3.3 Yüksek şiddette kenar çatlakları

Yüksek şiddette kenar çatlaklarında, dalga şeklinde çatlaklar görülmeye başlanmış olup bunlar timsah sırtı desenine dönüşmüş ve dış tekerlek izinden çok daha içeri ilerlemişlerdir (Şekil 4.28) [10] .



Şekil 4.28: Yüksek şiddette kenar çatlağı [1].

Onarım çalışması olarak, çatlaklı bölge düzgün bir şekilde kesilip atıldıktan sonra uygun bir karışımla yamanmalıdır veya bozuk kesim sathi kaplama ile kaplanmalı ve banket drenajı gerekli bakımla iyileştirilmelidir [10] .

Kenar çatlaklarının derecelendirilmesinin çizelge olarak incelenmesi ise Çizelge 4.6’ da verilmiştir.

Çizelge 4.6: Kenar çatlaklarının derecelendirilmesi [1].

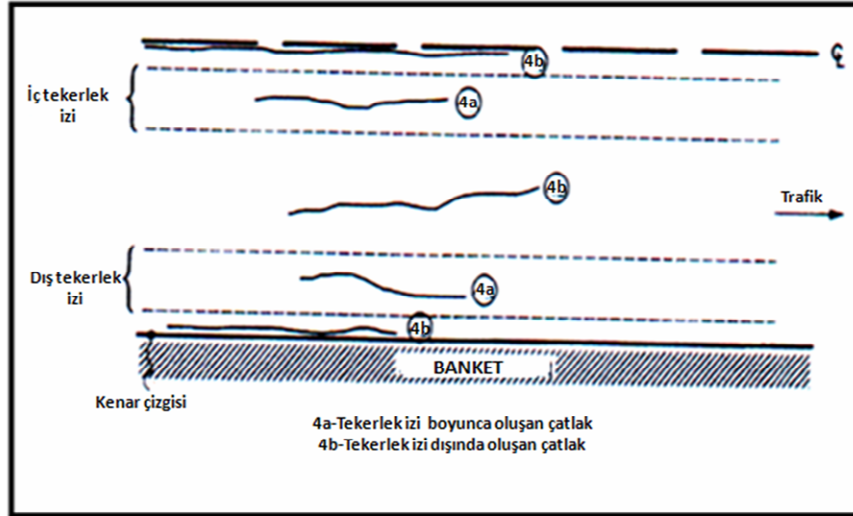
Bozulma Şiddeti	Bozulma Yoğunluğu	Bozulma Tanımı	Bozulma Şiddeti Tanımı	Alan Oranı (%) (50 m platform)
0	0	Yok	Yok	Yok
0 0 0 0 0	1 2 3 4 5	Çatlaklar kaplama kenarına paralel olup bir veya birden çok olabilirler. Çatlaklar kaplama kenarından 300 mm içeriye yayılmış olabilirler.	Hafif	% 0–4 % 4 – 10 %10 – 30 %30 – 60 > % 60
1 1 1 1 1	1 2 3 4 5	Çatlaklar dış tekerlek izine kadar ilerlemiş ve kaplama kenarından 600 mm kadar içeri ilerlemiştir. Birbirinden bağımsız olabilecekleri gibi bazen de dalga şeklinde olabilirler.	Orta	% 0–4 % 4 – 10 %10 – 30 %30 – 60 > % 60
2 2 2 2 2	1 2 3 4 5	Dalga şeklinde çatlaklar görülmeye değer olup bunlar timsah sırtı desenine dönüşmüş ve dış teker izinden daha da içeri ilerlemiştir.	Yüksek	% 0–4 % 4 – 10 %10 – 30 %30 – 60 > % 60

4.2.4 Boyuna çatlaklar ve derecelendirilmesi

Boyuna çatlaklar iki şerit arasında ya da kaplama ile banket birleşim yerlerinde, yol eksenine paralel olarak görülen bozulmalardır. Çatlak genişlikleri 6 – 19 mm, yüksek şiddetlere ulaştığında 19 mm’ den fazla olabilir. Bozulmanın şiddeti arttıkça malzeme ayrışmaları başlar, ayrışmalar derinleşir ve çatlak sayısında artış gözlenir (Şekil 4.29) [5].

Boyuna çatlakların oluşma nedenleri [5]:

1. Dolgularda yetersiz sıkıştırma nedeniyle oturmalar.
2. Yetersiz drenaj.
3. Dolgunun yanal hareketi.
4. Çevre ve iklim şartları (don etkisi, nem değişikliği vb.).
5. Üstyapının taşıma gücünün yetersiz oluşu ve bunun trafik yükü ile birleşmesi sonucu oluşan oturmalar.
6. Boyuna ek yerlerinin uygun inşa edilmeyişi.



Şekil 4.29: Boyuna çatlak oluşumu ve derecelendirilmesi [13].

Bu bozulma türünde enine çatlaklarda olduğu gibi, çatlaklar genişletilip uygun bir dolgu malzemesi ile doldurulabilir. Bozulmanın şiddetine göre de, yol diğer bozukluklar nedeniyle rehabilitasyon gerekiyorsa, özel bir çatlak etüdü yapılmak suretiyle çatlakların oluşum nedenleri belirlenerek, asfalt kaplamaların yeniden kullanımı, yeniden yapım ya da dolgular iyileştirildikten sonra yeniden yapım metotlarından birisi uygulanır [5].

Boyuna çatlakların derecelendirilmesi hafif, orta ve yüksek şiddetli boyuna çatlaklar olmak üzere üç gruba ayrılır.

4.2.4.1 Hafif şiddette boyuna çatlaklar

Hafif şiddetli boyuna çatlaklarda, çatlaklar 6 mm' den incedir ve ayrışmamıştır. Çatlama kaplama kenarına paralel, diyagonal veya kıvrımlar şeklindedir. Bozuklukların gelişimi sürekli gözlemlenmelidir (Şekil 4.30) [13].



Şekil 4.30: Hafif şiddette boyuna çatlak [1].

4.2.4.2 Orta şiddette boyuna çatlaklar

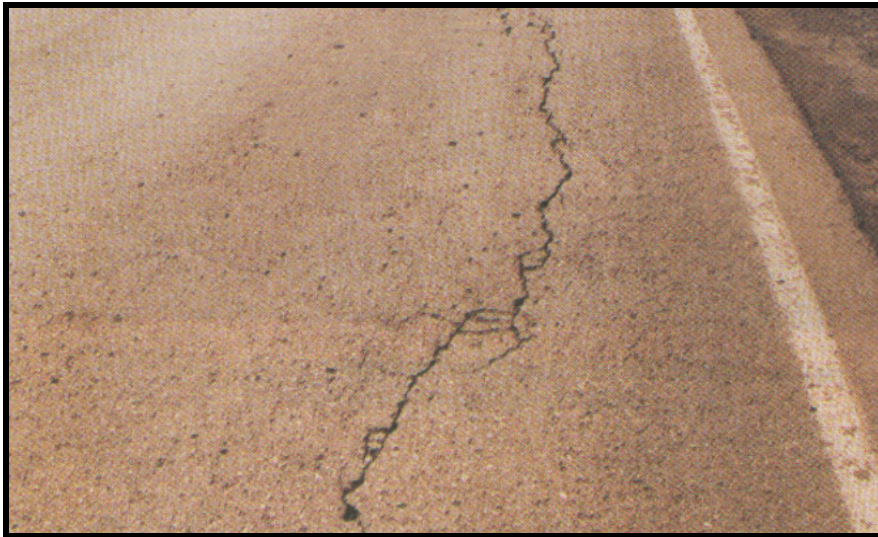
Orta şiddetli boyuna çatlaklarda, çatlaklar 6 ile 19 mm arası genişliğe ulaşmışlardır. Ayrışmalar başlamış ve çok yönlü kılcal çatlaklar oluşmuştur (Şekil 4.31). Bakım yöntemi olarak, çatlaklar gerekirse genişletilerek uygun bir dolgu malzemesi ile doldurulmalıdır [13].



Şekil 4.31 Orta şiddette boyuna çatlak [1].

4.2.4.3 Yüksek şiddette boyuna çatlaklar

Yüksek şiddetli boyuna çatlaklarda, tek veya birden fazla çatlaklar ayrılmaya devam edip 19 mm' den fazla açıklığa ulaşılmıştır (Şekil 4.32). Ayrışmalar derinleşmiş ve çatlak sayısı artmıştır. Geçici çözüm olarak (bakım amaçlı) çatlaklar uygun bir dolgu malzemesi ile doldurulmalıdır. Kalıcı çözüm olarak, özel bir çatlak etüdü yapıldıktan sonra gerekirse zemin iyileştirilmesi ve asfalt üstyapının yeniden kullanımı metodu veya yeniden yapım metodu uygulanmalıdır [11].



Şekil 4.32: Yüksek şiddette boyuna çatlak [1].

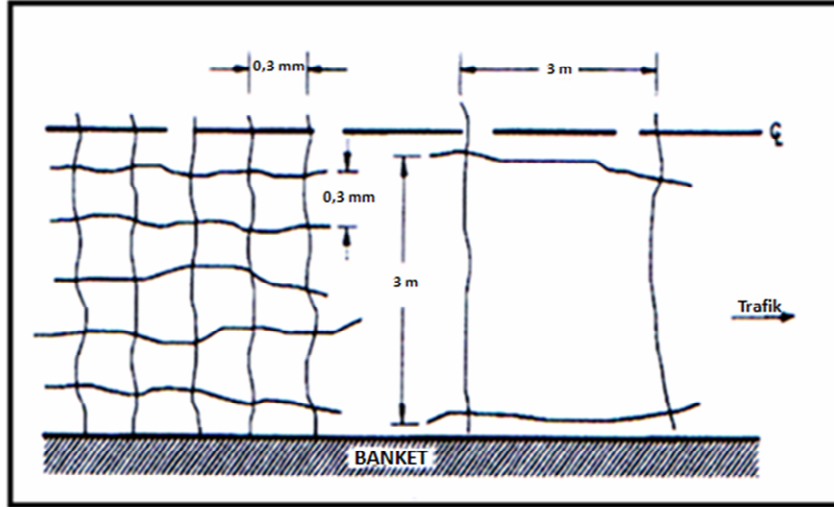
Kenar çatlaklarının derecelendirilmesinin çizelge olarak incelenmesi ise aşağıdaki gibidir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7: Boyuna çatlakların derecelendirilmesi [1].

Bozulma Şiddeti	Bozulma Yoğunluğu	Bozulma Tanımı	Bozulma Şiddeti Tanımı	Alan Oranı (%) (50 m platform)
0	0	Yok	Yok	Yok
0 0 0 0 0	1 2 3 4 5	Çatlaklar 6 mm' den incedir ve ayrışmamıştır. Tek veya birden çok olabilirler. Çatlak, kaplama kenarına paralel, diyagonal veya kıvrımlar şeklindedir.	Hafif	< 50 m 50 – 100 m 100–200 m 200–250 m > 250 m
1 1 1 1 1	1 2 3 4 5	Çatlaklar 6 ile 19 mm arası genişliğe ulaşmışlardır. Bazı ayrışmalar başlamıştır. Çok yönlü kılcal çatlaklar oluşmuştur.	Orta	< 50 m 50 – 100 m 100–200 m 200–250 m > 250 m
2 2 2 2 2	1 2 3 4 5	Tek ve çok yönlü çatlaklar ayrışmaya devam edip 19 mm' den fazla açıklığa ulaşmıştır. Ayrışmalar daha derinleşmiştir ve çatlak sayısı artmıştır.	Yüksek	< 50 m 50 – 100 m 100–200 m 200–250 m > 250 m

4.2.5 Blok (harita) çatlakları ve derecelendirilmesi

Boyuna ve enine çatlakların birbirleriyle birleşerek harita şeklinde görüldüğü bozulma türüdür. Bunlar da 6 – 19 mm ya da 19 mm 'den daha fazla genişliğe ulaşabilirler. Çatlak şekli birden fazla çatlak veya çatlak sistemiyle çevrelenen bloğun ayrılıp kopması şeklindedir. Bozulmanın ileri aşamalarında blok çatlaklar timsah sırtı desenine dönüşmeye başlamıştır (Şekil 4.33) [5].



Şekil 4.33: Blok çatlağı oluşumu ve derecelendirilmesi [13].

Blok (harita) çatlaklarının oluşma sebepleri:

1. Şişme ve büzülme etkisi.
2. Don etkisi.
3. Asfalt kaplamanın yaşlanmasıyla dolaylı sertleşmesi ve kırılmasıdır [10].

Bu bozulma türünün giderilmesi için, bozuk kesim düzgün bir şekilde kesilip atılarak yerine sıcak veya soğuk karışımla yama yapılarak ya da bozuk yüzey harç tipi örtü tabakası veya yüzeysel kaplama ile kaplanabilir. Bozulmanın derecesine göre de, ya bozuk yüzey asfalt kaplamaların yeniden kullanımı metodu ile ya da düzeltme tabakası ve geotekstil ile düzeltildikten sonra defleksiyon etüdü sonucu belirlenen takviye kalınlıkları uygulanmak suretiyle bozulmalar giderilmelidir. Bu yöntemlerde bozulmanın giderilmesi için yeterli değilse yeniden yapım yöntemi uygulanmalıdır.

Blok çatlakların derecelendirilmesi hafif, orta ve yüksek şiddetli blok çatlaklar olmak üzere üç gruba ayrılır.

4.2.5.1 Hafif şiddette blok çatlaklar

Hafif şiddetli blok çatlaklarda, çatlakların genişliği 6 mm' den incedir. Boyuna ve enine çatlaklar birbiri ile birleşerek harita şeklinde görünürler (Şekil 4.34). Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir [11].



Şekil 4.34: Hafif şiddette blok çatlakları [1].

4.2.5.2 Orta şiddette blok çatlaklar

Orta şiddetli blok çatlaklarda (Şekil 4.35), çatlaklar 6 mm ile 19 mm arasında genişliğe ulaşmıştır. Çatlak şekli bir veya birden fazla çatlağın ayrılıp kopması şeklindedir. Geçici çözüm olarak, bozuk yüzey harç tipi örtü tabakası veya yüzeysel kaplama ile kaplanmalıdır. Kalıcı çözüm olarak, bozuk yüzeye ya asfalt kaplamaların yeniden kullanım metodu ile ya da düzeltme tabakası ve geotekstil ile düzeltildikten sonra takviye kalınlıklar uygulanmalıdır [11].



Şekil 4.35: Orta şiddette blok çatlaklar [1].

4.2.5.3 Yüksek şiddette blok çatlaklar

Yüksek şiddetli blok çatlaklarda, çatlaklar çok yönlü olarak ayrılmaya devam edip 19 mm' den fazla açıklığa ulaşmışlardır, timsah sırtı çatlaklar oluşmuştur [11] (Şekil 4.36). Bakım yöntemi olarak, detaylı bir üstyapı etüdü yapıldıktan sonra bozuk yüzey asfalt kaplamaların yeniden kullanımı metodu ile iyileştirilmelidir veya yeniden yapım metodu uygulanmalıdır [5].



Şekil 4.36: Yüksek şiddette blok çatlaklar [1].

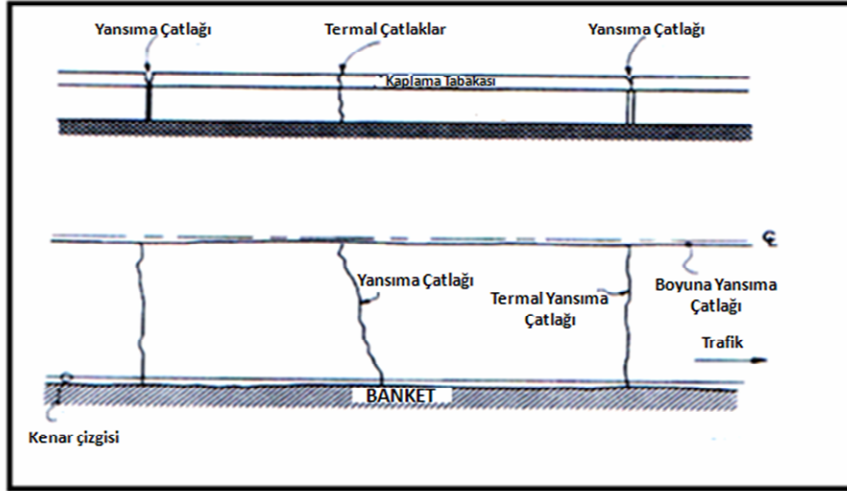
Blok çatlaklarının derecelendirilmesinin çizelge olarak incelenmesi ise aşağıdaki gibidir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8: Blok çatlaklarının derecelendirilmesi [1].

Bozulma Şiddeti	Bozulma Yoğunluğu	Bozulma Tanımı	Bozulma Şiddeti Tanımı	Alan Oranı (%) (50 m platform)
0	0	Yok	Yok	Yok
0 0 0 0 0	1 2 3 4 5	Çatlakların genişliği 6mm' den incedir. Boyuna ve enine çatlaklar birbiri ile birleşerek harita şeklinde görülürler.	Hafif	% 0 – 10 % 10 – 20 % 20 – 40 % 40 – 60 > % 60
1 1 1 1 1	1 2 3 4 5	Çatlaklar 6mm ile 19 mm arasında genişliğe ulaşmıştır. Çatlak biçimi birden fazla çatlak veya bir çatlağın ayrılıp kopması şeklindedir.	Orta	% 0 – 10 % 10 – 20 % 20 – 40 % 40 – 60 > % 60
2 2 2 2 2	1 2 3 4 5	Çok yönlü çatlaklar ayrılmaya devam edip 19 mm den fazla açıklığa ulaşmışlardır. Timsah sırtı çatlaklar oluşmuştur.	Yüksek	% 0 – 10 % 10 – 20 % 20 – 40 % 40 – 60 > % 60

4.2.6 Yansıma çatlakları

Asfalt takviye tabakası üzerindeki çatlaklar olup, altta kalmış olan esas kaplamada daha önce bulunan çatlakların takviye tabakasına yansımasıyla meydana gelen bozulma türüdür. Bu çatlaklar boyuna, enine, diyagonal veya blok şeklinde olabilirler (Şekil 4.37) [14] .



Şekil 4.37: Yansıma çatlakları oluşumu [11].

Yansıma çatlakların derecelendirilmesi hafif, orta ve yüksek şiddetli yansıma çatlaklar olmak üzere üç gruba ayrılır.

4.2.6.1 Hafif şiddette yansıma çatlaklar

Hafif şiddetli yansıma çatlaklarda, çatlakların genişliği 6 mm' den incedir. Boyuna, enine ve blok şeklinde görünürler. Bozuklukların gelişimi sürekli gözlenmelidir [13].

4.2.6.2 Orta şiddette yansıma çatlaklar

Orta şiddetli yansıma çatlaklarda, çatlaklar 6 mm ile 19 mm arasında genişliğe ulaşmıştır [13]. Geçici çözüm olarak, bozuk yüzey harç tipi örtü tabakası veya yüzeysel kaplama ile kaplanmalıdır. Kalıcı çözüm olarak, bozuk yüzeye ya asfalt kaplamaların yeniden kullanım metodu ile ya da düzeltme tabakası ve geotekstil ile düzeltildikten sonra takviye kalınlıklar uygulanmalıdır [11].

4.2.6.3 Yüksek şiddette yansıma çatlaklar

Yüksek şiddetli yansıma çatlaklarda, çatlaklar 19 mm' den fazla genişliğe ulaşmışlardır [13] (Şekil 4.38). Bakım yöntemi olarak, detaylı bir üstyapı etüdü yapıldıktan sonra bozuk yüzey asfalt kaplamaların yeniden kullanımı metodu ile iyileştirilmelidir veya yeniden yapım metodu uygulanmalıdır [11].



Şekil 4.38: Yüksek şiddette yansıma çatlakları [14].

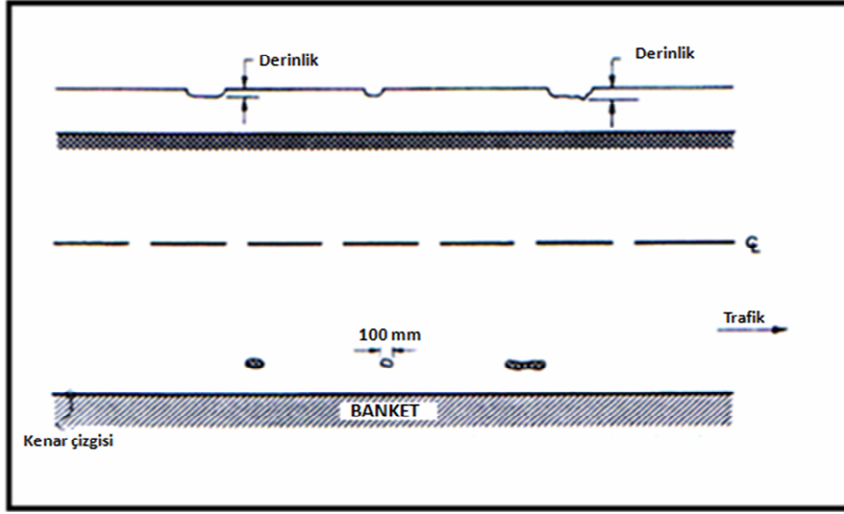
4.3 Yamalar ve Çukurlar

4.3.1 Çukurlar

Yetersiz (kalitesiz) yapım, aşırı dingil yükleri, mevsimsel hava koşulları nedenlerine bağlı olarak yüzey üzerinde derinliği 5 ile 10 cm arasında ya da daha fazla, çapı 10 ile 30 cm arasında ya da daha fazla boyutlu oluşan oyuklardır (Şekil 4.39). Bu bozulmalar yine diğer bozulma türlerinde olduğu gibi sürüş konforunu düşürmekte özellikle de sürüş güvenliği açısından tehlike arz etmektedir [5].

Çukurların muhtemel oluşma nedenleri [10]:

1. Diğer bozulmaların etkileri (soyulma, segregasyon, çatlaklar vb.).
2. Yanlış yapım teknikleri ve düşük kalite kontrolü.
3. Kaplamada düşük kaliteli agrega kullanımı.
4. Üstyapı kalınlıklarının yetersiz oluşu.



Şekil 4.39: Çukurların oluşumu ve derecelendirilmesi [11].

Çukurların derecelendirilmesi hafif, orta ve yüksek şiddetli çukur olmak üzere üç ana gruba ayrılır.

4.3.1.1 Hafif şiddette çukurlar

Hafif şiddette çukurlarda, çukurun derinliği 25 mm' den ve çapı 10 cm' den azdır (Şekil 4.40). Çukur uygun bir şekilde düzeltildikten sonra soğuk veya sıcak karışım ile yamanmalıdır [5].



Şekil 4.40: Hafif şiddette çukur [1].

4.3.1.2 Orta şiddette çukurlar

Orta şiddette çukurlarda (Şekil 4.41), çukur derinliği 25 mm ile 50 mm arasında, çap ise 10 cm ile 30 cm arasındadır. Bozuk kesim bozukluk derinliğine kadar kazınmalıdır, kazılan yer, malzeme cinsinden aynı kalınlıkta malzeme ile kaplanmalıdır. Daha kalıcı bir onarım yapılması gerekiyorsa, yukarıdaki yöntemle ilave olarak üstyapı etüdü sonucu belirlenen takviye kalınlıkları uygulanır ya da yeniden yapım yöntemi uygulanmalıdır [5].



Şekil 4.41: Orta şiddette çukur [1].

4.3.1.2 Yüksek şiddette çukurlar

Yüksek şiddette çukurlarda ise (Şekil 4.42), çukur derinliği 50 mm den fazla, çap ise 30 cm' den fazladır. Çukur yüksek şiddete ulaşmış ise, iki tabaka halinde bitümlü karışım ile yama yapılmalıdır. Buna ilave olarak üstyapı etüdü sonucu belirlenen takviye kalınlıkları veya yeniden yapım yöntemi uygulanmalıdır [10].



Şekil 4.42: Yüksek şiddette çukur [1].

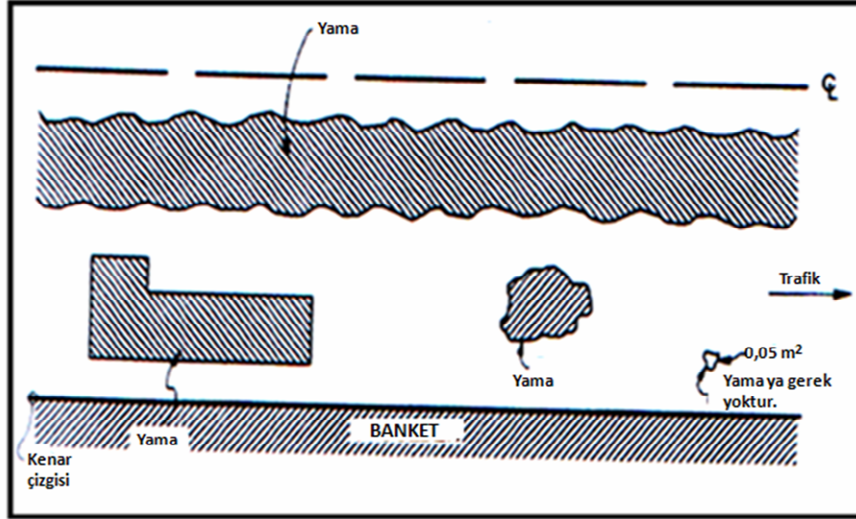
Yamaların ve çukurların derecelendirilmesinin çizelge olarak incelenmesi ise aşağıdaki gibidir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9: Yamaların ve çukurların derecelendirilmesi [1].

Bozulma Şiddeti	Bozulma Yoğunluğu	Bozulma Tanımı	Bozulma Şiddeti Tanımı	Alan Oranı (%) (50 m platform)
0	0	Yok	Yok	Yok
0	1	Çukurun derinliği 5 cm ‘ den çapı 10 cm’ den azdır. Yamalar iyi durumdadır.	Hafif	% 0 – 10
0	2			% 10 – 20
0	3			% 20 – 40
0	4			% 40 – 60
0	5			> % 60
1	1	Yama üzerinde bozulmalar başlamıştır. Çukurların derinliği 5 – 10 cm arasında; Çapı 10 – 30 cm arasındadır.	Orta	% 0 – 10
1	2			% 10 – 20
1	3			% 20 – 40
1	4			% 40 – 60
1	5			> % 60
2	1	Yama üzerinde herhangi bir bozukluk oluşmuşsa bu yama bozuk kabul edilip üzerindeki bozulma ayrıca değerlendirilir. Çukur derinliği 10 cm’ den; çap 30 cm’ den fazladır.	Yüksek	% 0 – 10
2	2			% 10 – 20
2	3			% 20 – 40
2	4			% 40 – 60
2	5			> % 60

4.3.2 Yama bozulmaları

Üstyapı yüzeyinin $0,1 \text{ m}^2$ ’ den daha büyük bir kısmına orijinal inşaattan sonra kaldırma, yer değiştirme veya ilave malzeme uygulamasıdır. Yama sınırındaki herhangi bir bozulma yama oranı içinde değerlendirilmelidir (Şekil 4.43) [11].

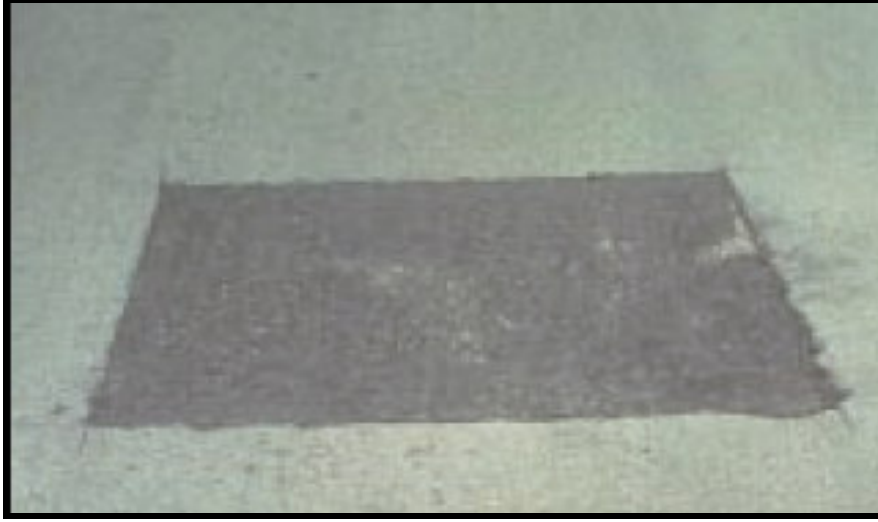


Şekil 4.43: Yama bozulmalarının oluşumu ve derecelendirilmesi [13].

Yamaların derecelendirilmesi hafif, orta ve yüksek şiddetli yama olmak üzere üç ana gruba ayrılır.

4.3.2.1. Hafif şiddette yama bozulmaları

Hafif şiddette yama bozulmaları, her türlü hafif şiddette çatlak, bozulma ve 6 mm den daha az tekerlek izi derinliğinden oluşan bozulmalardır (Şekil 4.44) [13] .



Şekil 4.44: Hafif şiddette yama bozulmaları [11].

4.3.2.2. Orta şiddette yama bozulmaları

Orta şiddette yama bozulmaları, her türlü orta şiddette çatlak, bozulma ve 6 mm ile 12 mm arasında tekerlek izi derinliğinden oluşan bozulmalardır (Şekil 4.45) [11] .



Şekil 4.45: Orta şiddette yama bozulmaları [1].

4.3.2.3. Yüksek şiddette yama bozulmaları

Yüksek şiddette yama bozulmaları, her türlü yüksek şiddette çatlak, bozulma ve 12 mm' den fazla tekerlek izi derinliğinden (Şekil 4.46) oluşan bozulmalardır [13] .



Şekil 4.46: Yüksek şiddette yama bozulmaları [15].

4.4 Çok Yönlü Bozulmalar

4.4.1 Ayrışma, sökölme ve soyulma

Yol yüzeyinde agrega eksikliği, bazı lokal çukurlar ve kopmalar şeklinde oluşan bozulma şeklidir.

Soyulma, ayrışma ve sökölmelerin oluşum nedenleri [5]:

1. Su ve trafik etkisi.
2. Bitümlü sıcak karışım içinde kil toprakları veya kille kaplı agrega taneciklerinin bulunması.
3. Zayıf sıkıştırma.
4. Yüksek boşluk yüzdesi (özellikle soğuk hava koşullarında yapılan kaplamalarda su ve tuzlar tabakalar arasına sızar, donma ve erime olayları sırasında asfaltın bozulmasına neden olur).
5. Yetersiz bitüm yüzdesi.
6. Yaşlanma nedeniyle oluşan asfalt sertleşmesi.

7. Uygun olmayan yapım teknikleri ve ekipman kullanımı.
8. Donma-çözülme olaylarının tekrarlaması ile absorpsiyonu ve kırılabilirliği yüksek agregaların kullanıldığı karışımlarda ayrışma meydana gelmesi.

Soyulmaların derecelendirilmesi hafif, orta ve şiddetli soyulmalar olmak üzere üç gruba ayrılır.

4.4.1.1 Hafif şiddette ayrışma, sökülme ve soyulma

Hafif şiddette soyulmalar, yüzeyde agreg kaybı başlamıştır (Şekil 4.47). Kaplama karışımının dokusal görüntüsünde hafif bir artış meydana gelmiştir. Bozuklukların gelişini sürekli olarak gözlenmelidir [5].



Şekil 4.47: Hafif şiddette ayrışma, sökülme ve soyulma [1].

4.4.1.2 Orta şiddette ayrışma, sökülme ve soyulma

Orta şiddetli soyulmalarda (Şekil 4.48), yol yüzeyinde agreg kaybı artmıştır. Hızlanan agreg kaybı, kaplamada açık görünümlü bir doku meydana getirmiştir. Onarım çalışması olarak, harç tipi örtme tabakası veya sathi kaplama yapılmalıdır.



Şekil 4.48: Orta şiddette ayrışma, sökülme ve soyulma [1].

4.4.1.3 Yüksek şiddette ayrışma, sökülme ve soyulma

Yüksek şiddetli soyulmalarda, agregat kaybının devamında yüzeydeki açık görünümlü doku iyice belirginleşmiştir (Şekil 4.49). Bazı lokal çukurlar ve kopmalar oluşmuştur. Onarım çalışması olarak, çukurlar sıcak karışım yama ile yamanır, yüzey tek tabaka asfalt betonu, sathi kaplama veya harç tipi örme tabakası ile kaplanır.



Şekil 4.49: Yüksek şiddette ayrışma, sökülme ve soyulma [1].

Yamaların ve çukurların derecelendirilmesinin çizelge olarak incelenmesi ise aşağıdaki gibidir (Çizelge 4.10)

Çizelge 4.10: Segregasyon, sökülme ve soyulmaların derecelendirilmesi [1].

Bozulma Şiddeti	Bozulma Yoğunluğu	Bozulma Tanımı	Bozulma Şiddeti Tanımı	Alan Oranı (%) (50 m platform)
0	0	Yok	Yok	Yok
0	1	Yüzeyde agrega kaybı başlamıştır. Kaplama karışımının dokusal görüntüsünde hafif bir artış meydana gelmiştir.	Hafif	% 0 – 4
0	2			% 4 – 10
0	3			% 10 – 30
0	4			% 30 – 60
0	5			> % 60
1	1	Yol yüzeyindeki agrega eksilmesi artmıştır. Yüzeyde sık bir ayrışma gözlenir. Hızlanan agrega kaybı kaplamada açık görünümlü bir doku oluşturmuştur.	Orta	% 0 – 4
1	2			% 4 – 10
1	3			% 10 – 30
1	4			% 30 – 60
1	5			> % 60
2	1	Agrega kaybının devamında yüzeydeki açık görünümlü doku iyice belirginleşmiştir. Bazı lokal çukurlar ve kopmalar oluşmuştur.	Yüksek	% 0 – 4
2	2			% 4 – 10
2	3			% 10 – 30
2	4			% 30 – 60
2	5			> % 60

4.4.2 Çizgisel agrega kaybı

Bu kayıplar doğrusal formasyondadır. Agregat kaybının devamı açık dokulu bir kaplama yüzeyi oluşturur (Şekil 4.50).



Şekil 4.50: Hafif şiddette çizgisel agrega kaybı [1].

Çizgisel agregâ kaybının oluşmasının nedenleri:

1. Bitüm dağıtım tankerindeki püskürtme borusunun uygun olmayan yükseklikte bulunması durumunda püskürtmenin istenen şekilde olmaması.
2. Püskürtme borusunun yanlış açıda tutulması.
3. Püskürtme borusu üzerindeki memelerin tıkalı olması.
4. Püskürtme borusunun bakım eksikliği.
5. Bitümün uygun olmayan hızla ve düşük basınçla yola dökülmesi.
6. Bitüm sıcaklığının düşük olması.
7. Genellikle distribütör yükünün azalması nedeniyle asfaltın dökülme yüksekliğinin değişmesi.
8. Kötü işçilik.

Çizgisel agregâ kaybı görülen bölgelerde, bozuk kesimlerin yüzeysel kaplama ile yenilenmesi önerilir.

Çizgisel agregâ kaybı, hafif, orta (Şekil 4.51) ve yüksek (Şekil 4.52) şiddette çizgisel agregâ kaybı olmak üzere üç gruba ayrılır. Çizgisel agregâ kaybının derecelendirilmesi Çizelge 4.11’ de verilmiştir.



Şekil 4.51: Orta şiddette çizgisel agregâ kaybı [1].



Şekil 4.52: Yüksek şiddette çizgisel agregat kaybı [1].

Çizelge 4.11: Çizgisel agregat kaybı [1].

Bozulma Şiddeti	Bozulma Yoğunluğu	Bozulma Tanımı	Bozulma Şiddeti Tanımı	Alan Oranı (%) (50 m platform)
0	0	Yok	Yok	Yok
0	1	Az oranda agregat kaybı söz konusudur. Bu kayıp doğrusal bir formasyondadır. Düşük seviyede doku artışı gözlenir.	Hafif	% 0 – 10
0	2			% 10 – 20
0	3			% 20 – 40
0	4			% 40 – 60
0	5			> % 60
1	1	Çizgi halindeki agregat kaybı belirginleşmiştir. Bu kayıplar, sık bir ayrışma gösterir.	Orta	% 0 – 10
1	2			% 10 – 20
1	3			% 20 – 40
1	4			% 40 – 60
1	5			> % 60
2	1	Agregat kaybının devamı açık dokulu bir kaplama oluşturur. Fakat çizgi halinde agregat kaybı hala gözlenebilir.	Yüksek	% 0 – 10
2	2			% 10 – 20
2	3			% 20 – 40
2	4			% 40 – 60
2	5			> % 60

4.4.3 Bitümlü bağlayıcının terlemesi (kusma)

Bitümlü bağlayıcının terlemesi (kusması) kaplama üzerinde, özellikle tekerlek izlerinde asfaltın kaplama yüzeyine çıkması olayıdır. Bu kesimlerde sıcak mevsimde yer yer tekerlek profil izleri de görülmektedir [11].

Bitüm terlemesinin oluşma nedenleri:

1. Yapım sırasında aşırı dozda bitüm kullanılması.
2. Özellikle sıcak havalarda trafik etkisiyle bu fazla bitümün agrega üzerine çıkması.
3. Terlemiş yüzey üzerine herhangi bir tedbir almadan yeniden yüzeysel kaplama yapımı.
4. Çok fazla astar malzemesinin kullanılması.
5. Çok fazla agrega soyulması.

Çok sıcak havalarda, terleme görülen yerlerle ilgili granülometriye uygun boyutta agrega serilip, gerekli ise silindir ile sıkıştırmak suretiyle bu tip bozukluklar giderilebilir.

Bitümlü bağlayıcı terlemesi, hafif (Şekil4.53), orta (Şekil 4.54) ve yüksek (Şekil 4.55) şiddette terleme olmak üzere üç gruba ayrılır. Bitümlü bağlayıcı terlemesinin derecelendirilmesi Çizelge 4.12’ de verilmiştir.



Şekil 4.53: Hafif şiddette kuma [1].



Şekil 4.54: Orta şiddette kuma [1]



Şekil 4.55: Yüksek şiddette kuma [1].

Çizelge 4.12: Kusmanın derecelendirilmesi [1].

Bozulma Şiddeti	Bozulma Yoğunluğu	Bozulma Tanımı	Bozulma Şiddeti Tanımı	Alan Oranı (%) (50 m platform)
0	0	Yok	Yok	Yok
0	1	Kaplama üzerinde, özellikle tekerlek izlerinde, çok hafif siyahlaşmalar görülebilir.	Hafif	% 0 – 4
0	2			% 4 – 10
0	3			% 10 – 30
0	4			% 30 – 60
0	5			> % 60
1	1	Siyahlaşmanın tonu koyulaşmıştır. Yüzeyde fazla asfalt görüntüsü hissedilmektedir.	Orta	% 0 – 4
1	2			% 4 – 10
1	3			% 10 – 30
1	4			% 30 – 60
1	5			> % 60
2	1	Yüzeyde çok fazla asfalt görülmektedir. Yer yer lastik desenleri oluşmuştur.	Yüksek	% 0 – 4
2	2			% 4 – 10
2	3			% 10 – 30
2	4			% 30 – 60
2	5			> % 60

4.4.4 Kaplama agregası kaybı

Kaplama yüzeyinde ayrışma görülür ve yüzeyde asfalt lekeleri açığa çıkar. Agreganın kaybının artmasıyla, yüzeyde derin olmayan çukurlar, agregasız alanlar oluşur, yüzeyin görüntüsü agreganın soyulması nedeni ile siyahlaşır ve yüzeyde serbest malzeme görülür. Agreganın kaybının derecelendirilmesi Çizelge 4.13’de verilmiştir [5].

Agreganın kaybının oluşma nedenleri:

1. Agreganın asfalt ısısı düştükten sonra serilmesi.
2. Yola serilen agreganın ıslak ve tozlu olması.
3. Agreganın geç sıkıştırılması.
4. Sıkıştırmada kullanılan ekipmanın uygun olmaması.
5. Hava koşullarının yüzeysel kaplama uygulaması için uygun olmaması.
6. Kaplamanın yapımından hemen sonra hızlı trafik geçmesi.

7. Uygulanan asfaltın yetersiz kalması.
8. Hatalı silindir seçimi ve yüzeyin düzgün olmaması nedeni ile yüzeyde sıkışmamış kesimlerin kalması.

Bu tip bozulmalarda, bozuk kesimlerin yüzeysel kaplama ile yenilenmesi önerilir.

Çizelge 4.13: Kaplama agregası kaybı [1].

Bozulma Şiddeti	Bozulma Yoğunluğu	Bozulma Tanımı	Bozulma Şiddeti Tanımı	Alan Oranı (%) (50 m platform)
0	0	Yok	Yok	Yok
0	1	Az oranda agregası kaybı söz konusudur.	Hafif	% 0 – 10
0	2			% 10 – 20
0	3			% 20 – 40
0	4			% 40 – 60
0	5			> % 60
1	1	Agregası kaybı artmıştır. Kaplama yüzeyindeki sığ bir ayrışma görülür ve yüzeyde asfalt lekeleri açığa çıkmıştır.	Orta	% 0 – 10
1	2			% 10 – 20
1	3			% 20 – 40
1	4			% 40 – 60
1	5			> % 60
2	1	Agregası kaybının daha da artması sonucunda, yüzeyde derin olmayan çukurlar, agregasız alanlar oluşmuştur. Yüzeyin görüntüsü agreganın soyulması nedeniyle siyahlaşmıştır. Yüzeyde serbest malzeme görülür.	Yüksek	% 0 – 10
2	2			% 10 – 20
2	3			% 20 – 40
2	4			% 40 – 60
2	5			> % 60

4.4.5. Kayma direnci kaybı (cilalanma)

Bu bozulma, kaplama yüzeyindeki agregası danelerinin cilalı ve pürüzsüz hale gelmesidir (Şekil 4.56). Bu tip bozulma hem doğal olarak pürüzsüz yüzeyli kırılmamış agregası kullanılmasıyla, hem de kırılma aşınmasıyla aşınmasından dolayı meydana gelir. Etkilenen alanın metrekare cinsinden alanı kullanılarak tanımlanır [10].



Şekil 4.56: Cilalanmış agrega [16].

4.4.6.Bombelikler

Bombeliklerin oluşma nedenleri [5]:

1. Asfalt karışımının stabilizesinin yetersizliği.
2. Karışımın serilmesi sırasında serim ve sıkıştırma hataları.
3. Kavşak, trafik ışıkları ve duraklardaki trafik etkisi.
4. Üstyapı tabakaları arasındaki yapıştırma tabakasının hatalı uygulanması.
5. Temel tabakasındaki stabilize bozukluğunun yüzeye yansımaları.
6. Köprü tahliyesinde su geçirimsizliği için kalın membran kullanılması.
7. Ağır trafik altında suya doymuş granüler tabakaların varlığı.

Bombelikler derecelendirilmesi, hafif, orta ve yüksek şiddette olmak üzere üç gruba ayrılır.

Hafif şiddette bombeliklerde, çeşitli yüksekliklerde enine bombelikler ve yerel kabarmalar, yığılmalar ve ötelemeler oluşmaya başlamıştır. Sürüş konforunda düşüş hissedilmeye başlanmıştır. Bozuklukların gelişimi sürekli gözlemlenmelidir.

Orta şiddette bombelikler, sürüş konforu belirgin bir şekilde düşmüş, yol yüzeyi tümsekli bir görünüş almıştır. Bakım yöntemi olarak, bozuk kesimler freze makinesi ile kesilmeli ve gerekirse yama yapılmalıdır.

Yüksek şiddette bombeliklerde, yol yüzeyindeki bozukluklar iyice artmış ve sürüş konforu iyice azalmıştır. Güvenli sürüş için hızı azaltma zorunluluğu vardır. Bakım yöntemi olarak, bozuk kesimler freze makinesi ile kazılmalı, yama yapılmalıdır. Gerekirse kapsamlı üstyapı etüdü yapılarak yeniden yapım metodu uygulanmalıdır.

Esnek üstyapıda oluşan yüzey bozuklukları ve oluşum sebepleri çizelge 4.14 de bir bütün halinde özetlenmiştir.

Çizelge 4.14 Esnek üstyapılardaki yüzey bozuklukları, oluşum sebepleri [1].

BOZULMA TİPLERİ \ OLUŞMA NEDENLERİ	Trafik Etkisi	İklim ve Çevre Etkisi	Kötü Malzeme Kullanımı	Kötü Yapım Teknikleri	Kötü Bakım Teknikleri	Asfaltın yaşlanması	Yetersiz Sıkıştırma	Yetersiz Drenaj	Yetersiz Taşıma Gücü	Yetersiz Üstyapı Boyutları	Şişme ve Büzülmelerin Etkisi	Önceki Bozulmaların Etkisi
Timsah Sırtı Çatlaklar	X	X	X	X	X			X	X			
Kenar Çatlakları	X	X						X	X	X		
Enine Çatlaklar		X	X	X	X						X	X
Boyuna Çatlaklar	X	X	X	X	X		X	X	X			
Blok (Harita) Çatlakları		X				X					X	X
Tekerlek İzinde Oturmalar	X	X	X				X	X	X			
Ondülasyon, Öteleme ve Yoğrulmalar	X		X	X	X		X		X			
Yerel Oturmalar ve Kabarmalar		X		X	X		X	X	X			
Tekerlek Profil İzi	X	X		X								X
Çukurlar			X	X	X					X		X
Segregasyon, Sökülme ve Soyulmalar	X	X	X	X		X	X					
Kaplama Agregası Kaybı	X	X	X	X	X							X
Çizgisel Agrega Kaybı			X	X								
Bitümün Terlemesi	X	X	X	X	X							X

5. BOZULMALARIN BAKIM VE ONARIMI

Genellikle 20 yıllık bir süre için projelendirilen esnek üstyapılarda, yolda görülen yerel bozuklukların her kış mevsimi sonunda onarımı dışında, aşağıdaki işlemler yapılır:

- ✓ İlk beş yıldan sonra, küçük onarımlar ve yüzey kaplaması gerekebilir.
- ✓ Onuncu yılda, yol yüzeyinin büyük bir olasılıkla yenilenmesi, pürüzlendirilmesi gerekecektir. Zira yolda tekerlek izleri oluşmuş, kayma sürtünme katsayısı düşmüş olacak ve yolda çökme ve kopmalar oluşacaktır.
- ✓ Bir beş yıl daha geçince, ilk beşinci yıldaki gibi yüzey yapısını restore etmek gerekir.
- ✓ Yirmi yıl sonra yol, tasarım ömrünün sonuna geleceğinden yapının yeni bir üstyapı ile takviyesi gerekir. Temelin tekrarlanan trafik yükleri ile zayıfladığı ve tekerlek izlerinden 10 mm. aşan yapısal çöküntülerin olduğu kesimlerde, sorun dikkatle izlenmeli ve yeniden temel yapılmalıdır.

Bunların dışında, temel ve temel altı tabakalarının onarım ve değiştirilmesi gibi çok önemli bakım ve yenilemeler de gerekli olabilir. Bu bakım çalışmaları için oldukça büyük para gerekli olduğu gibi, bakım çalışmaları sırasında yolun bir şeridinin veya tamamının kapanması sebebiyle trafikte önemli aksamlar meydana gelir. Trafiğin çok yoğun olduğu bölgelerde, otoyollarda bu gecikmelerin esnek üstyapıların maliyeti üzerinde kayda değer etkisi vardır.

İngiltere yol araştırma laboratuvarı (Road Research Laboratory) tarafından, kırsal otoyol karakterinde çevreyolu, kırsal ikinci derecede yol ve konut bölgesindeki yol olmak üzere dört farklı yol sınıfı için esnek ve rijit yol üstyapılarının ilk yapım,

bakım ve bakımın neden olduğu trafik gecikmelerinin maliyetleri elli yıllık bir periyot için incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

- ✓ Kırsal ikinci derecede yollarda ve konut bölgesindeki yol ağında beton yolların ilk yapım masrafı esnek üstyapıdan pahalı olmaktadır.
- ✓ Kırsal otoyolda, esnek üstyapıların elli yıllık bakım masrafları ilk yapım masraflarına eşit olmaktadır.
- ✓ Diğer üç yol sınıfı için bu değer ilk yapım masrafının altında kalmaktadır. Konut bölgesindeki yollarda, elli yıllık bakım masrafı / ilk yapım masrafı = 1 /5' e kadar düşmektedir.
- ✓ Yolun bakımından dolayı gecikmeler en fazla çevre yollarında olduğundan, bakım masrafları bu yollar için artmış görünmektedir.
- ✓ Kırsal otoyolda, beton yolun bakım masrafı esnek yoldan hissedilir derecede daha az düzeyde kalmakta, ikince derecedeki yollarda iki tipin masrafları birbirine yaklaşmaktadır [17].

5.1 Bakım-Onarım Yöntemleri

Karayolu ağında geçmişte inşaatı tamamlanmış yolların büyük bir çoğunluğu sadece ulaşılabilirliği amaçlayarak günün trafik ihtiyaçlarına göre yapılmış olduklarından, bugünün artan trafiğine özellikle ağır taşıt trafiğine dayanamamakta, kısa sürede bozulmaktadır. Yol altyapısının yetersiz kalması sonucu, üstyapının da bakım ve onarımının kısa sürelerde tekrarını gerekli kılmaktadır. Özellikle fazla yüklemeler yol yüzeyine ve temeline büyük oranda zarar vermekte ve yolu giderek tahrip etmektedir. Bu nedenle, bir yandan mevcut yollar takviye edilip, daha dayanıklı hale getirilirken diğer yandan da geçerli ve doğru bakım-onarım yöntemleri uygulanarak kaplamaların kullanılabilir durumda kalmaları sağlanmalıdır. Asfalt betonu ve yüzeysel kaplamalı esnek üstyapılarda görülen bozulma tipleri ve bozulma şiddetlerine göre bakım amaçlı ve iyileştirme amaçlı çeşitli önlemler alınabilir. K.G.M.'ce önerilen belli başlı onarım yöntemleri arasında asfalt kaplamaların yeniden kullanımı yöntemi, geotekstillerin sıcak karışım takviyelerinde kullanımı

yöntemi, yeniden yapım yöntemi ve diğer yöntemler (yama yapılması, çatlakların doldurulması vb.) sayılabilir.

5.1.1 Bitümlü sıcak karışımın yeniden kullanım yöntemi

Ömürlerinin bir kısmını kaybetmiş, bozulmuş asfalt kaplamalar, gerekirse yeniden kullanılabilir. Bozulmuş asfalt kaplamalar sıcak karışım olarak yeniden kullanılabilceği gibi soğuk karışım olarak da yeniden kullanılabilir.

Asfalt kaplamaların sıcak karışım olarak kullanımının, ekonomik açıdan bitüm ve agrega kaynaklarının korunması gibi üstünlüklerin varlığı yanı sıra üstyapı kalınlığının çok az arttırılması suretiyle taşıma gücünde artış sağlanır ve ayrıca yüzeydeki geometrik ve yapısal bozukluklar giderilmiş olur.

Özellikle, üstyapıda çatlak ve tekerlek izinde oturma şeklinde oluşmuş bozulmaları gidermekte kullanılabilecek bu metotta, kazıma derinliğinin, önceden dikkatli bir çatlak etüdüyle belirlenmesi gerekir. Çatlaklı bir üstyapıda çatlakların hangi tabakaya kadar devam ettiğini belirlemek için asfalt betonu kaplamanın yukarıdan aşağıya doğru her tabakası teker teker açılarak çatlağın hangi tabakaya kadar ilerlediği incelenir ve buna bağlı olarak kazıma derinliği saptanır. Tabakaların teker teker incelenmesi, çukur çalışmaları ile olabileceği gibi karot numuneleri almak suretiyle de yapılabilir.

Tekerlek izinde oturma, ondülasyon vb. gibi bozulmalarda da deformasyonun hangi tabakaya kadar ilerlediği, yine önceden alınacak karot numuneleri ile belirledikten sonra kazıma işlemi yapılır. Kazılan malzemelere belirlenen miktarda bitüm ve yeni agrega ilave edilerek yeni bir karışım malzemesi elde edilir ve üstyapıda yeniden kullanılır.

Asfalt kaplamaların yeniden kullanım yönteminin uygulanmasından sonra üstyapıya takviye olarak yeni tabakalar gelecek ise takviye öncesinde yapılacak kazıma, kazılan malzeme ile aynı kalınlıkta malzeme, üstyapıya getirildikten sonra takviye tabakaları uygulanmalıdır.

5.1.2 Geotekstillerin bitümlü sıcak karışım takviyelerinde kullanımı

Her türlü çatlak şeklinde bozulmaların meydana geldiği yol üstyapılarının, taşıma gücünü arttırabilmek için takviye edilmesi sırasında, mevcut çatlakların üzerine bitümlü sıcak karışım tabakalarının getirilmesi durumunda çatlakların yüzeye kısa sürede yansması kaçınılmazdır.

Henüz orta şiddet seviyesine ulaşmış çatlaklı bir yüzey üzerine önce geotekstil serilmesi ve daha sonra takviye tabakalarının getirilmesi, bugüne kadar ki denemelerde olumlu sonuç vermiş bir uygulama olmuştur. Takviye tabakalarının serilmesinden önce geotekstillerin uygulamasının, gerilmeleri hafifleterek çatlakların takviye tabakalarına yansmasını geciktirmek ve su geçirimini azaltmak gibi yararları mevcuttur.

Yansımaya çatlaklarının önlenmesi için henüz ideal bir çözüm bulunamamış ise de geotekstil kullanımı, yansımaya çatlakların oluşumunu geciktirmektedir. Geotekstil uygulanması sırasında aşağıdaki hususlar göz önünde tutulmalıdır.

1. Geotekstiller şiddetli seviyeye ulaşmış çatlaklı yüzey üzerine serilmemeli, ancak hafif ya da orta şiddet seviyesine ulaşmış yüzeylerde kullanılmalıdır.
2. Geotekstillerin mümkün olabilen en az kırışıklıkta ve düzgün olarak serilebilmesi için mevcut üstyapı yüzeyinin düzgünlüğü sağlanmalıdır. Bu nedenle geotekstil serilmeden önce 2-3 cm kalınlığında asfalt betonu aşınma tabakası cinsinden düzeltme tabakası mevcut üstyapı üzerine getirilmelidir.
3. Tüm üstyapı yüzeyini kaplaması için geotekstil üst üste bindirilmelidir. Bindirme payları en az 0,2 cm olmalıdır.

5.1.3 Yeniden yapım yöntemi

Yol üstyapılarında yüzey bozuklukları, zamanında müdahale edilmedikleri için bazen yüksek bozulma şiddetine ulaşabilmektedirler. Üstyapı taşıma gücünü büyük ölçüde yitirmiş olarak değerlendirilmesi gereken bu gibi durumlarda yolun bitümlü sıcak karışım tabakaları ile takviye edilmesi, bozulmaların takviye tabakalarına yansıtacağı düşüncesi ile uygun değildir. Bu nedenlerden dolayı mevcut üstyapı üzerine bir yastık tabakası gibi görev yapacak ve aynı zamanda üstyapının taşıma

gücüne katkıda bulunacak granüler bir temel tabakasına ihtiyaç duyulur. Bozuk yol yüzeyine getirilen granüler tabakanın CBR değeri ve standart dingil yükü tekrar sayısı değerine bağlı olarak granüler tabaka üzerine gelecek bitümlü temel, asfalt betonu, binder ve aşınma tabakalarının kalınlıkları belirlenerek temel tabakası üzerine serilir. Bu tür yöntemlerde mevcut üstyapı malzemeleri yol tabanı olarak değerlendirilir ve kalınlıkları dikkate alınmaz.

5.1.4 Diğer onarım yöntemleri

Yukarıda bahsedilen onarım metotları dışındaki yama yapılması, çatlakların doldurulması, bitümlü koruyucu sathi kaplama yapılması, harç tipi kaplama yapılması ve ince yüzey kaplaması yapılmasıdır.

5.1.4.1 Yama yapılması

Yamalar en yaygın olarak kullanılan bakım metotlarından biridir. Çatlakların birleşerek poligon şekli oluşturduğu veya poligonların yavaş yavaş ayrılmaya başladığı timsah sırtı çatlaklı kesimler ile çukur, segregasyon, lokal oturma, tekerlek izinde oturma ve ötelenmelerin olduğu kesimlerde yama uygulaması yapılabilir.

Yama işleminde; bozulmanın olduğu kesimler düzgün bir dikdörtgen şeklinde kesilerek bozulmanın bittiği bitümlü tabakaya kadar kazılıp atılır. Kazıma işlemi en alt tabakada minimum silindirme genişliği kadar (genellikle 1m.), üste doğru ise her bir tabakada kazıma genişliği bir alt tabakaya göre her yönde 50 cm. arttırılarak basamaklı bir şekilde yapılmalıdır.

Üstyapı tabakalarında açılan kazı tabanı ve kazı yüzeylerine uygun yapıştırıcı püskürtülerek aynı türden bitümlü sıcak karışım malzemeleri ile teşkil edilip sıkıştırılarak yama işlemi tamamlanır [18].

5.1.4.2 Çatlak dolgusu ve yalıtım

Çatlaklar, afsal betonu üzerinde görülen en yaygın bozulma türüdür. Kaplama üzerinde çatlakların olması, çatlak boyunca suyun temel ve alttemele sızarak kaplamadaki bozuklukları hızlandırmakta ve üstyapının ömrünü beklenenden daha kısa olmasına neden olmaktadır. Çatlakların yalıtımı ya da doldurulması hem

çatlaklar boyunca suyun geçişini engelleyerek üstyapının zamanından önce bozulmasını engellemekte hem de çatlak kenarları boyunca oluşan agrega kaybının önüne geçmektedir.

Çatlak yalıtımı suyun çatlağa girişini önlemek amacıyla oluk açılıp içi uygun yalıtım malzemesiyle doldurularak, çatlak dolgusu ise suyun çatlağa girişini azaltmak için çatlağın basınçlı hava ile temizlenip uygun dolgu malzemesi ile doldurulmasıyla sağlanmaktadır.

Genel olarak, çatlak yalıtımı aktif çatlaklarda ve çatlak kenarlarında aşırı sökülme bulunmaması durumunda uygulanırken, çatlak dolgusu hareketsiz çatlaklarda ve/veya şiddetli bozulmuş çatlaklarda asıl takviye tabakasının öncesinde yolun belli bir süre hizmet vermesini sağlamak için kullanılmaktadır.

Çatlak genişliğinin 3mm' den küçük olması durumunda herhangi bir müdahaleye gerek görülmemektedir. Ancak, bu çatlakların yol yüzeyinde yaygın bir hal alması durumunda bitümlü sathi kaplama, harç tipi kaplama veya ince yüzey kaplaması yapılabilecektir.

Çatlak genişliği 3-20 mm arası olan enine çatlaklarda çatlak yalıtımı, boyuna çatlaklarda ise çatlak dolgusu yapılacaktır. Çatlak genişliğinin 20 mm den büyük olması durumunda ise harç tipi kaplama veya ince taneli bitümlü sıcak karışım malzemesi ile çatlaklar doldurulacaktır.

Çatlak yalıtımı veya dolgu uygulaması yol yüzeyinin çok şiddetli timsah sırtı çatlaklarla aşırı derecede bozulduğu, tekerlek izinde oturmaların ve taban zemininden gelen oturmaların olduğu çatlak kesimlerinde uygulanmamalıdır. Çatlakların oluk açmaya ve istenilen şekilde doldurulmaya imkan vermeyecek derecede sık olması halinde, yama uygulanması yapılacaktır [18].

5.1.4.3 Bitümlü koruyucu sathi kaplama (SEAL COAT)

Bitümlü Koruyucu Sathi kaplama, aşınmış mevcut bitümlü kaplama üzerine bitümlü bağlayıcı ve agreganın birbirinin peşi sıra serilerek sıkıştırılması ile oluşturulan bir yüzey kaplamasıdır. Bitümlü kaplamanın güneş, rüzgâr ve su gibi atmosferik ve çevresel etkilere maruz kalması, bitümlü bağlayıcının oksidasyona uğrayarak

kaplamanın sertleşmesine ve trafik yükleri etkisi altında daha kırılgan bir yapıya sahip olmasına neden olur.

Ayrıca trafiğin aşındırıcı etkisi, yol kaplamasının zamanla sökülmesine yol açtığı gibi, kaba agregaların daha düz ve cilalı bir yapıya kavuşması ile oluşan kayma direncindeki azalma trafik güvenliğini de tehlikeye sokabilmektedir. Bitümlü koruyucu sathi kaplama uygulaması, kaplamanın oksidasyonunu azaltmakta, kaplama üzerinde geçirimsiz bir yüzey oluşturarak suyun üstyapıya girmesine engel olmakta ve yüzey pürüzlülüğünü arttırarak emniyetli bir sürüş sağlamaktadır [18].

5.1.4.4 Harç tipi kaplama (SLURRY SEAL)

Harç tipi karışım, bir kaplama yüzey işlemi olarak uygulanan iyi gradasyonlu ince agrega, mineral filler, bitüm emülsiyonu, su ve/veya katkı maddeleri ile tasarlanan bir karışım olup, asfalt kaplama yüzeylerinin hem koruyucu hem de düzeltici bakım işlemlerinde kullanılmaktadır.

Lokal olarak yapısal zayıflıklar gösteren kısımlar harç tipi kaplama uygulanmadan önce onarılmalıdır. Sürüş konforunu düşürebilecek olan bütün tekerlek izleri, tümsekler, oturmalar, düşük banketler, enine eğim kusurları, ondülasyonlar ya da diğer yüzeysel düzensizlikler harç tipi kaplama uygulaması öncesinde düzeltilmelidir.

Eski bir kaplama üzerine doğru bir şekilde uygulandığında harç tipi kaplama oldukça etkili sonuçlar sağlamaktadır. Bu kaplama türünün doğru zamanda uygulanması, bitümün oksidasyonu ve karışımın kırılganlaşmasından kaynaklanan yüzey bozukluklarının azaltılmasında yardımcı olmaktadır. Harç tipi kaplama, yüzey çatlaklarının yalıtımını sağlayarak suya ve havaya karşı geçirimsiz bir yüzey oluşturmakta, sökülme ve agrega kaybını durdurmakta, kayma direnci ile sürüş emniyetini arttırmaktadır. Harç tipi kaplama nispeten düşük trafikli yollarda tercih edilmeli, yüksek şiddette çatlak, ondülasyon ve tekerlek izinde oturma içeren yol kesimlerinde uygulanmamalıdır [18].

5.1.4.5 İnce yüzey kaplaması (MICRO-SURFACING)

İnce yüzey kaplaması, esas olarak polimer modifiye bitüm emülsiyonu % 100 kırılmış agrega, mineral filler, su ve bazı katkı maddelerinden oluşan bir harç tipi kaplama türüdür. İnce yüzey kaplaması, kaplamanın oksidasyonunu geciktirmek, kayma direncini arttırmak, agrega sökülmesi ve cilalanmadan kaynaklanan yüzey kusurlarını gidermek ve hafif şiddetteki tekerlek izinde oturma ve profil düzgünsüzlüklerini düzeltmek için kullanılmaktadır.

Tek tabaka yapılabileceği gibi birkaç tabaka halinde yapılarak önemli yol kusurlarının iyileştirilmesinde kullanılabilir. İnce yüzey kaplaması düşük veya yüksek trafikli her yolda uygulanabilmektedir. Ancak, taban zemininin yetersizliğinden kaynaklanan oturmaların olduğu ve şiddetli çatlaklı kesimler üzerinde uygulanmamalıdır.

5.1.5 Çatlakların ve yüzey bozukluklarının bakım metodunun seçimi

Yol esnek üst yapılarında hangi bakım-onarım yönteminin uygulanacağına genel olarak Üstyapı Yönetim Sistemi ilkeleri doğrultusunda Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2 kullanılarak karar verilir.

Çizelge 5.1: Çatlak bakım metodunun seçimi.

Çatlak Türü	Bozulma Şiddeti	Bakım Metodu			
		Yama	Çatlak Dolgusu	Koruyucu Sathi Kaplama	Harç Tipi/İnce Yüzey Kaplama
Timsah Sırtı Çatlak	Düşük			X	
	Orta	X			
	Yüksek	X			
Enine Çatlak	Düşük		X	X	
	Orta		X	X	X
	Yüksek	X	X	X	
Boyuna Çatlak	Düşük		X		
	Orta	X	X		X
	Yüksek	X	X		
Blok Çatlak	Düşük		X		
	Orta		X	X	X
	Yüksek	X	X	X	
Yansıma Çatlağı	Düşük		X		
	Orta		X		
	Yüksek	X	X		

Çizelge 5.2: Yüzey bozukluklarının bakım metodunun seçimi.

Bozulma Türü	Bozulma Şiddeti	Bakım Metodu			
		Yama	Koruyucu Sathi Kaplama	Harç Tipi Kaplama	İnce Yüzey Kaplama
Tekerlek İzinde Oturma	Düşük	X		X	X
	Orta	X		X	X
	Yüksek	X			X
Çukurlar	Düşük	X			
	Orta	X			
	Yüksek	X			
Ötelenme	Düşük				
	Orta	X			
	Yüksek	X			
Cıllanmış Agrega	Düşük		X	X	X
	Orta		X	X	X
	Yüksek		X	X	X
Sökülme	Düşük				
	Orta		X		
	Yüksek	X	X	X	X

5.2 Bozulma Tiplerine Göre Bakım-Onarım

Esnek üstyapıda meydana gelen bozulma tiplerine göre bakım onarımlar aşağıda açıklanmıştır.

5.2.1 Tekerlek izinde oturmaların onarımı

Meydana gelen oluklar tercihen plentmiks bitümlü sıcak karışım ile doldurulup takviye edilir. Sonra aşınma tabakası karışımı kullanılarak ince bir takviye tabakası inşa edilir.

Tekerlek izinde oturmaların onarımı sırasında uygulanacak iş sırası:

1. Bir master veya ip kullanılarak olukların hudutları tespit edilir,
2. İnce bir yapıştırma tabakası tatbik edilir,
3. Aşınma tabakası doldurulurken, olukların olduğu kısımlara bir serici ile serilir, serilen malzemenin teşkil ettiği tabakanın kalınlığı kenarlara doğru gidildikçe azalmalı ve oluğun sınırlarına gidildikçe inceltilerek eski kaplamaya uyulmalıdır.

4. Serilen malzeme lastik tekerlekli silindir veya elik bandajlı silindir ile sıkıştırılır,
5. Plentmiks bitümlü sıcak karışımından sonra bir takviye tabakası yapılır,
6. Eğer aşınma tabakası inşa edilmeyecekse suyun sızmaması için yamanın üzerine bir kumlu silkot koruyucu tabakası yapılır, kumlu tabaka inşa edilirken fazla bitümlü malzeme kullanmamaya özen gösterilmelidir [16].

5.2.2 Ondüasyonların onarımı

Sathi kaplamalardaki ondüasyonların onarımında uygulanacak iş sırası:

1. Freze ile sathi sert olan tabakaya kadar kazıma yapılır.
2. Noksan olan temel tabakası, 15 cm. tabaka kalınlığında veya en az 10 cm. kalınlığında yama yapılır.
3. Yeterli su miktarı kullanılarak temel sıkıştırılır ve reglajı yapılır.
4. Sıkıştırılan temelin üzerine bir astar tabakası tatbik edilir.
5. Yeni sathi kaplama yapılır.

Bitümlü sıcak karışım kaplamalarındaki ondüasyonların onarımında uygulanacak iş sırası:

1. Freze ile kaplama sathındaki ondüleler düzeltilir.
2. Düzeltilmiş olan kaplama kısmına plentmiks bitümlü sıcak karışım veya bitüm emülsiyonlu akıcı harç ile bir koruyucu tabaka (veya gerek görülürse bitümlü sıcak karışım ile takviye tabakası) tatbik edilir.

5.2.3 Yorulma çatlaklarının onarımı

Timsah sırtı çatlaklar çoğunlukla yol tabanının veya temel tabakalarının doygun hale gelmesi neticesinde meydana geldiklerinden bunların onarımı ıslak malzemenin değiştirilmesini ve lüzumlu drenaj şebekesinin inşasını da kapsar. Bundan sonra kuvvetli bir yama elde etmek için yamanın bütün derinliği plentmiks bitüm karışımı ile doldurulur.

Plentmiks bitümlü sıcak karışım yeteri kadar yoksa yama yapılacak kesimin alttemel ve temel tabakaları mevcut yolda her tabaka için kullanılan granüler malzeme ile her biri 15 cm.' den daha kalın olmayan tabakalar halinde doldurulur ve her tabaka ayrı ayrı sıkıştırılır. Granüler malzemeden oluşmuş bu temel sonra astarlanır ve plentmiks bitüm malzeme ile yama yapılır.

Timsah sırtı şeklinde çatlakları içeren kesimler gerektiğinde satih yaması veya agregalı koruyucu tabaka silkot tatbik etmek suretiyle geçici olarak tamir edilebilir.

Timsah sırtı çatlaklarının onarımında uygulanacak onarım tipi “derin yama esaslı onarım” başlığı altında ele alınmıştır.

Derin Yama Esaslı Onarım

Açılan çukurun tabanından itibaren yol sathına kadar olan derinliğinin tamamının bitüm karışımı ile doldurulacağı hallerde uygulanacak iş sırası;

1. Yamanacak olan çukurun bir kenarı yol eksenine dik veya paralel olacak tarzda, dikdörtgen, kare veya her ikisinin karışımı şeklinde ve kaplamanın bozulmamış kısımlarına 30 cm taşacak şekilde çizerek sınırlama yapılır.

2. Kaplama kaldırılır ve sağlam zemine ulaşıncaya kadar teme kazılır.

Sağlam zemine ulaşmak için tabanın bir kısmının da kaldırılması gerekebilir. Kazılan kısım kare, dikdörtgen veya her ikisinin karışımı şeklinde olmalı ve kenarlar düşey olarak kesilmelidir. Boyutlar sıkıştırma yapılabilecek kadar geniş olmalıdır.

3. Kaplamalarda meydana gelen bozulmanın sebebi su ise; önce drenaj yapıları tamamlanmalıdır.

4. Açılan çukurun düşey olarak kesilmiş asfaltlı kısımlarının yüzeylerine bir yapıştırma tabakası tatbik edilir. Çukurun granüler malzemeden oluşan tabanına astar tabakası tatbikine gerek yoktur.

5. Yamadan iyi sonuç alabilmek için açılan çukurun kalınlıkları 7.5 cm.den fazla olmayan tabakalar halinde bitümlü sıcak karışım ile doldurulur. Bitümlü sıcak karışım mevcut değilse sıvı petrol bitüm, emülsiyon ile yapılan plentmiks karışımı da kullanılabilir.

6. Her tabaka ayrı ayrı iyice sıkıştırılır. Küçük yama işleri için en uygun teçhizat vibrasyonlu kompaktördür. Daha büyük işlerde silindir kullanılır.
7. Bir master veya ip yardımı ile yamanın kaplama ile aynı seviyede olup olmadığı kontrol edilir.
8. Aşınma tabakası granül malzemesi olarak kullanıldığında, yama üzerine koruyucu tabaka (silkot) yapılmasına gerek yoktur. Boşluk yüzdesi fazla olan Plentmiks bitümlü sıcak karışım ve soğuk karışımın (rodmiiks, plentmiks) malzemeleri yama malzemesi olarak kullanıldığında, yama üzerine agregalı koruyucu tabaka (silkot) yapılır.

5.2.4 Enine çatlakların onarımı

Enine çatlaklarda, dar çatlaklar (3 mm' den daha dar) önce özel bir alet ile çatlağın genişletilmesi gerekir. Geniş çatlaklar (3 mm. ve daha geniş) ise asfaltın emülsiyonlu akıcı harç ile veya ince kum-sıvı asfalt karışımı ile doldurulur. Geniş çatlakların doldurulmasında veya penetrasyon derecesi yüksek olan BSK da kullanılır.

Geniş enine çatlaklarının onarımında uygulanacak iş sırası:

1. Çatlak, sert süpürge veya basınçlı hava ile temizlenir.
2. Asfalt emülsiyonlu akıcı harç ile veya ince kum-sıvı asfalt karışımı ile çatlak doldurulur.
3. Çatlaklar yüzeye kadar doldurulmaz.
4. Harç veya karışım kürü yapıldıktan sonra, ince ağızlı asfalt dökme kapları kullanılarak çatlaklar doldurulur, fazla asfalt sıyrılır.
5. Sıvı asfalt üzerine kuru kum serpilir, bu suretle asfaltın trafik tesiri ile yerinden çıkması önlenmiş olur.

5.2.5 Kenar çatlaklarının onarımı

Kenar çatlakların onarımın da ince çatlaklar (3 mm' den daha dar) da onarıma gerek yoktur. Geniş çatlaklar (3 mm ve daha geniş) ise bitüm emülsiyonlu akıcı harç ile

veya ince kum-sıva bitüm karışımı ile doldurulurlar. Geniş çatlakların doldurulmasında özel bitüm bileşimleri veya penetrasyon derecesi yüksek olan bitüm çimentoları kullanılmaktadır.

Kenar çatlaklarının onarımında uygulanacak iş sırası:

1. Çatlak sert bir süpürge ile veya basınçlı hava ile temizlenir.
2. Çatlak (geniş çatlak) bitüm emülsiyonlu akıcı veya ince kum-sıvı bitüm karışımı ile doldurulur.
3. Harç veya karışım kürü yapıldıktan sonra çatlakları, ince ağızlı bitüm dökme kapları kullanarak sıvı bitüm ile yalıtımı yapılır. Fazla bitüm ise sıyrıcı yardımıyla sıyrılır.
4. Çatlakların yalıtımının yapılması için uygulanmış olan sıvı bitüm üzerine kuru kum serpilir. Bunun yapılmasının amacı; asfaltın trafik etkisi ile yerinden çıkmasının önlemektir.

5.2.6 Boyuna çatlakların onarımı

Boyuna çatlaklarında, dar çatlaklar (3 mm' den daha dar) önce özel bir alet ile çatlağın genişletilmesi gerekir. Geniş çatlaklar (3 mm. ve daha geniş) ise asfaltın emülsiyonlu akıcı harç ile veya ince kum-sıvı asfalt karışımı ile doldurulur. Geniş çatlakların doldurulmasında veya penetrasyon derecesi yüksek olan bitümlü sıcak karışım da kullanılır.

Geniş boyuna çatlaklarının onarımında uygulanacak iş sırası:

1. Çatlak, sert süpürge veya basınçlı hava ile temizlenir.
2. Asfalt emülsiyonlu akıcı harç ile veya ince kum-sıvı asfalt karışımı ile çatlak doldurulur.
3. Çatlaklar yüzeye kadar doldurulmaz.
4. Harç veya karışım kürü yapıldıktan sonra, ince ağızlı asfalt dökme kapları kullanılarak çatlaklar doldurulur, fazla asfalt sıyrılır.

5. Sıvı asfalt üzerine kuru kum serpilir, bu suretle asfaltın trafik tesiri ile yerinden çıkması önlenmiş olur.

5.2.7 Blok (harita) çatlakları onarımı

Çatlaklar asfalt emülsiyonlu akıcı harç veya ince kum-sıvı asfalt karışımı ile doldurulduktan sonra yol yüzeyinin tamamı sathi kaplama veya asfalt emülsiyonlu akıcı harç tipi koruyucu tabaka ile kaplanır.

Blok çatlaklarının onarımı sırasında uygulanacak iş sırası:

1. Süpürgelerle ve basınçlı hava ile çatlakların içerisi ve kaplama yüzeyi temizlenir.
2. Eğer onarımda asfalt emülsiyonu ve asfalt emülsiyonlu akıcı harç kullanılacaksa kaplama yüzeyinin yan cidarları su ile ıslatılır.
3. Katbek asfalt tipleri veya eşit miktarda su ile sulandırılmış asfalt emülsiyonları ile hazırlanmış bir yapıştırıcı tabakası uygulanır.
4. Çatlaklar asfalt emülsiyonlu akıcı harç karışımı veya ince kum-sıvı asfalt karışımı ile doldurulur, karışımın fazlası sıyrılır.
5. Çatlaklara doldurulan karışımlar kürünü alıp tamamen sertleştikten sonra çatlakları içeren yol yüzeyinin tamamını sathi kaplama ile veya özel makinelerini kullanarak asfalt emülsiyonlu akıcı harç tipi koruyucu tabaka ile kaplanır.

5.2.8 Yansıma çatlaklarının onarımı

Yansıma çatlaklarında, dar çatlaklar (3 mm' den daha dar) önce özel bir alet ile çatlağın genişletilmesi gerekir. Geniş çatlaklar (3 mm. ve daha geniş) ise asfaltın emülsiyonlu akıcı harç ile veya ince kum-sıvı asfalt karışımı ile doldurulur. Geniş çatlakların doldurulmasında veya penetrasyon derecesi yüksek olan BSK da kullanılır.

Geniş yansıma çatlaklarının onarımında uygulanacak iş sırası:

1. Çatlak, sert süpürge veya basınçlı hava ile temizlenir.
2. Asfalt emülsiyonlu akıcı harç ile veya ince kum-sıvı asfalt karışımı ile çatlak doldurulur.
3. Çatlaklar yüzeye kadar doldurulmaz.
4. Harç veya karışım kürü yapıldıktan sonra, ince ağızlı asfalt dökme kapları kullanılarak çatlaklar doldurulur, fazla asfalt sıyrılır.
5. Sıvı asfalt üzerine kuru kum serpilir, bu suretle asfaltın trafik tesiri ile yerinden çıkması önlenmiş olur.

5.2.9 Çukurların onarımı

Çukurlar genellikle esaslı onarım işleminin güçlükle yapılabileceği şartlarda oluşurlar. Çukurun esaslı onarımı, çukurun etrafı ve tabanı, gevşememiş sağlam kısımlara kadar kesilir, temizlendikten sonra çukurun hem temeli hem de kaplama kısmı yeni malzeme ile doldurularak onarımı yapılır.

Çukurların onarımında uygulanacak iş sırası:

1. Yamanacak olan çukur dikdörtgen veya bitişik dikdörtgen şeklinde çizilerek sınırlandırılır. Dikdörtgenin kenarlarından birisi yolun kenarına dik veya paralel olmalıdır. Çukurun kenarı bu çizgilerden düşey olarak kesilerek çukurun içi temizlenir.
2. Çukurun temel tabakasında kalan kısmı yeni temel malzemesi ile doldurularak sıkıştırılır.
3. Çukurun tabanına ve yan yüzeylerine karayollarında uygulanan MC-30 tipi katbek bitümünden bir astar tabakası sürülür ve kürünü tamamlayana kadar beklenir.
4. Çukur 7,5 cm veya daha tabakalar halinde doldurulup, her tabaka ayrı ayrı silindirlenir. Yama yüzeyine agregalı koruyucu tabaka uygulanır.

5.2.10 Ayrışma, sökölme ve soyulmaların onarımı

Asfalt kaplamalarda sökölmelelerin meydana gelmesi kaplamanın poroz hale gelmesi, kaplamanın eskimiş ve oksitlenmiş olması genellikle kaplama üzerine bir sathi kaplama yapılmasını gerektiren hallerdir. Bu işlem bazen onarım, bazen koruyucu bakım olarak nitelendirilir. Sathi kaplama mevcut bir bozukluğu gidermek maksadıyla yapılmış ise bu onarımdır. İstenmeyen bir bozukluğun oluşumuna engel olmak için yapılmışsa bunu koruyucu bakım saymak gerekir.

Ayrışma ve sökölme onarımı sırasında uygulanacak iş sırası:

1. Bütün yabancı maddeler ve yerinden çıkmış agregalar süpürölerek yüzey temizlenir,
2. Bir karartma örtüsü uygulanır. Kaplamanın bünyesine ve porozitesine göre su ile eşit oranda karıştırılmış asfalt emölşiyonu 0,45 - 0,90 lt/m² olacak şekilde püskürtölür.
3. Mevcut kaplama yüzeyinin durumuna ve trafik hacmine bağılı olarak, yol yüzeyine asfalt emölşiyonlu akıcı harç tipi koruyucu tabaka, agregalı koruyucu tabaka veya plentmiks karışım ile yapılan sathi tabakadan biri uygulanır.

Soyulmaların onarımı sırasında uygulanacak iş sırası:

1. Sıcak bir günde agregası soyulmuş olan kesime, 150⁰C' a kadar ısıtılmış iri kum serilir.
2. Serme işleminden hemen sonra lastik tekerlekli silindir ile silindirlerir.

5.2.11 Bitümlü bağılayıcıların terlemesi (kuma) onarımı

Bitümlü bağılayıcıların terlemesi (kuma) bozukluğu birçok hallerde, devamlı olarak sıcak kum, sıcak cüruf veya sıcak elek altı malzemesi tatbik etmek suretiyle giderilebilir.

Bazen kusmanın az olduğı hallerde, emici agreg a kullanılarak plentmiks karışım satlı kaplaması yapmak veya agregalı koruyucu uygulamak yeterlidir.

Bitüm oranı düşük sıcak karışım ile bir düzeltme tabakası yapılması uygun olabilir. Ancak; yüzeyde sökülmeler engel olabilmek için düzeltme tabakası üzerine yeni bir aşınma tabakası yapmak gerekir.

Terlemenin sıcak agrega ile onarımı

Sıcak agrega ile onarımda uygulanacak iş sırası:

1. Terleme meydana gelen kesime en büyük tane boyutu 1cm olan kum, cüruf veya elekaltı malzemesi tatbik edilir.
2. Tatbik edilen agrega en az 150 C⁰ a kadar ısıtılır ve 5.5-8 kg/m miktarında serme işlemi yapılır.
3. Agrega serilir serilmez lastik tekerlekli silindir ile sıkıştırılır.
4. Agrega soğuduktan sonra, fazla ve serbest kalan taneler el süpürgeleri ile süpürülerek yol dışına atılır.

Terlemenin sıyrıcı ile onarımı

Sıyrıcı ile onarımda uygulanacak iş sırası:

1. Satıhta teşekkül edilmiş olan bitüm tabakası sıcak sıyrıcı ile sıyrılır.
2. Plentmiks karışım ile bir satıh kaplaması veya bir koruyucu tabaka (silkot) tatbik edilir.

5.2.12 Kayma direnci kaybı (cilalanma) onarımı

Kayma direnci kaybı meydana gelmiş olan bir yol sathının onarımı için geçerli en iyi çözüm; sathi kaplamaya kumlu koruyucu tabaka veya agregalı koruyucu tabaka tatbik edilmesidir (harç tipi örtme tabakası).

Kullanılacak agrega cüruf, silisli kum veya cilalı hale gelmeyeceği denenmiş malzeme gibi dayanıklı ve aynı zamanda da dişli olmalıdır.

5.2.13 Bombeliklerin onarımı

Oluşan bombelik tıraşlanarak çukur açılır. Açılan çukur bitüm karışımı ile doldurulur. Açılan çukurun tabanından itibaren yol sathına kadar olan derinliğinin tamamının bitüm karışımı ile doldurulacağı hallerde uygulanacak iş sırası;

1. Yamanacak olan çukurun bir kenarı yol eksenine dik veya paralel olacak tarzda, dikdörtgen, kare veya her ikisinin karışımı şeklinde ve kaplamanın bozulmamış kısımlarına 30 cm taşacak şekilde çizerek sınırlama yapılır.
2. Kaplama kaldırılır ve sağlam zemine ulaşınca kadar teme kazılır. Sağlam zemine ulaşmak için tabanın bir kısmının da kaldırılması gerekebilir. Kazılan kısım kare, dikdörtgen veya her ikisinin karışımı şeklinde olmalı ve kenarlar düşey olarak kesilmelidir. Boyutlar sıkıştırma yapılabilecek kadar geniş olmalıdır.
3. Kaplamalarda meydana gelen bozulmanın sebebi su ise; önce drenaj yapıları tamamlanmalıdır.
4. Açılan çukurun düşey olarak kesilmiş asfaltlı kısımlarının yüzeylerine bir yapıştırma tabakası tatbik edilir. Çukurun granüler malzemeden oluşan tabanına astar tabakası tatbikine gerek yoktur.
5. Yamadan iyi sonuç alabilmek için açılan çukurun kalınlıkları 7.5 cm.den fazla olmayan tabakalar halinde bitümlü sıcak karışım ile doldurulur. Bitümlü sıcak karışım mevcut değilse sıvı petrol bitüm, emülsiyon ile yapılan plentmiks karışımı da kullanılabilir.
6. Her tabaka ayrı ayrı iyice sıkıştırılır. Küçük yama işleri için en uygun teçhizat vibrasyonlu kompaktördür. Daha büyük işlerde silindir kullanılır.
7. Bir master veya ip yardımı ile yamanın kaplama ile aynı seviyede olup olmadığı kontrol edilir.
8. Aşınma tabakası granül malzemesi olarak kullanıldığında, yama üzerine koruyucu tabaka (silkot) yapılmasına gerek yoktur. Boşluk yüzdesi fazla olan plentmiks bitümlü sıcak karışım ve soğuk karışımın (rodmiks, plentmiks)

malzemeleri yama malzemesi olarak kullanıldığında, yama üzerine agregalı koruyucu tabaka (silkot) yapılır [16].

Esnek üstyapıda oluşan bozulma tipleri, muhtemel oluşum nedenleri ve onarım yöntemleri Ek A1' de bir bütün halinde verilmiştir.

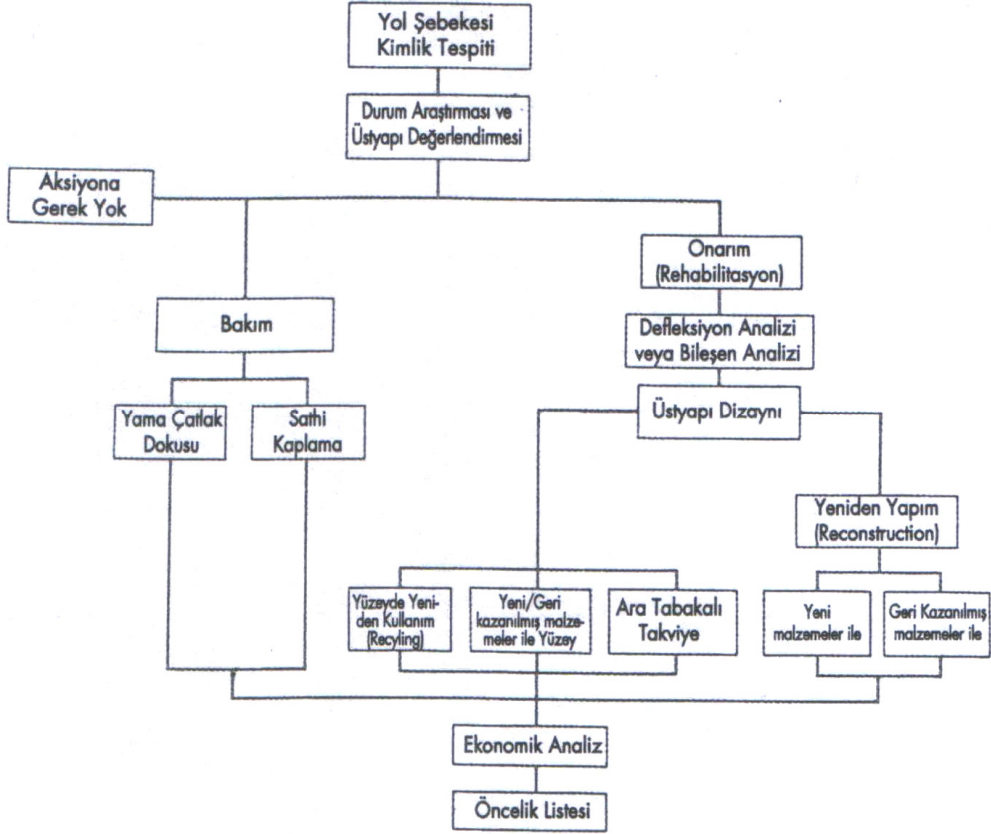
6. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ

Bir yol ağının mevcut durumunu ortaya koyup, buna göre uygulanacak bakım stratejilerinin belirlenmesi üstyapı yönetim sistemi ile sağlanır.

Üstyapı yönetim sistemi, sınırlı mevcut bir bütçeye, azami kazanç sağlayacak optimum bakım, iyileştirme önceliği programlarını oluşturmak için, nesnel ve sistematik yaklaşım sağlayan kompüterize bir araçtır. Bu, karayolu yöneticilerine yolların iyileştirmeleri için sınırlı kamu fonlarının daha iyi kullanılmasında yardımcı olur.

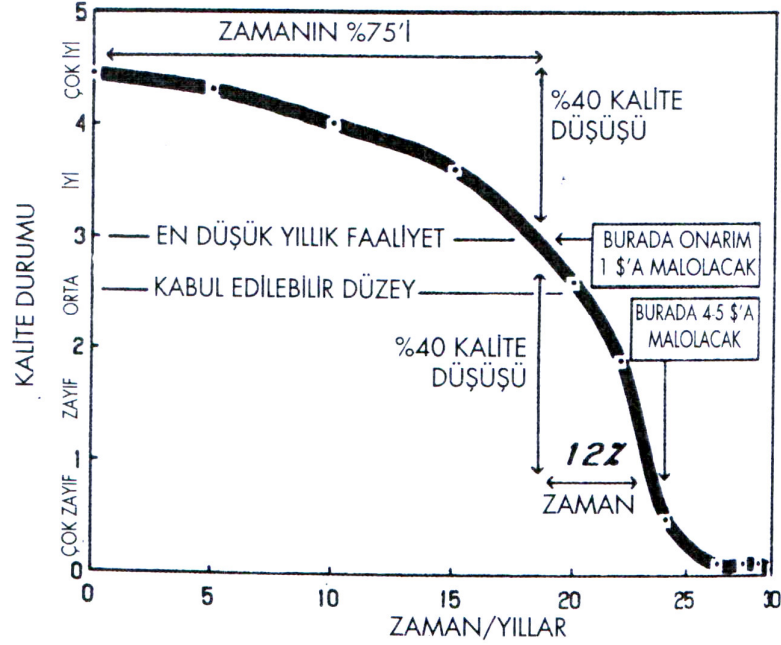
Yollar zaman içerisinde trafik yükleri ve iklim koşulları nedeniyle bozulurlar. Bozulmalar ilk başlarda yavaş olduğundan, yollar rutin bakımla performanslarını koruyabilirler. Ancak, zamanında yapılmayan iyileştirmeler sonucunda daha pahalı onarımlar ortaya çıkar. Üstyapı Yönetim Sistemi, pahalı onarımlardan kaçınmak için, zamanında yapılmış iyileştirme programlarına katkıda bulunur ve böylelikle sınırlı kamu fonlarına azami kazanç sağlar.

Üstyapı yönetimi, karayolu ağının sağlıklı değerlendirilmesiyle başlar. Bu amaçla, karayolu ağı içindeki bütün yollar, yapısal mukavemeti, seyir konforu, yüzey bozuklukları ve kayma direnci yönünden ekonomik olarak doğru ve hassas veri toplayan özel aletler ile etüt edilir. Toplanan verilerin, karayolu ağının mevcut durumunu belirlemek amacıyla analizleri yapılır. Mevcut durum hakkında bilgiler, yalnızca yolların kötü durumda olanlarını belirlemek için değil, aynı zamanda orta ve iyi durumda olanları belirlemek için de kullanılırlar. Şekil 6.1' de basit bir rehabilitasyon/bakım kılavuzunu göstermektedir.



Şekil 6.1: Plan geliştirme kılavuzu [19].

Bundan sonraki adım ise, yolların gelecekteki performansını, yani yolların mevcut performansının zaman içinde nasıl değişeceğini tahmin etmektir. Bu aşamada, yalnızca şu anda iyileştirmeye gereksinim gösteren yollar değil, aynı zamanda gelecekte, yıllar bazında hangi yolların iyileştirmeye gereksinim duyacağı da belirlenir. Şekil 6.2’ de yollardaki bozulmaların zaman bağlı olarak değişimleri ile ertelenen bakım uygulamalarının maliyet ile ilişkisi verilmiştir.



Şekil 6.2: Yollarda bozulma zaman ilişkisi [19].

İyileştirmeye ihtiyaç duyan yolların her birinde en ekonomik, en iyi iyileştirme stratejilerinin seçimi için, sonradan daha ayrıntılı analizler yapılır. Bu seçim ise, başlangıçtaki yol yapım maliyetleri ve gelecekteki bakım giderleri ile taşıt işletme giderlerindeki tasarruflar göz önünde bulundurularak yapılmış kapsamlı ekonomik analizler ile gerçekleştirilir. Son aşama ise, daha önceki aşamada analizleri yapılan yolların 10 yıla kadar belirlenen planlama süresince düşünülen optimum çalışma programının oluşturulması için, iyileştirme stratejilerinin seçimi ile ilgilidir. Bu seçim sonuçlanacak öncelikli çalışma programının optimum olmasını, yani faydaların maksimize edilmesini sağlamak üzere tanımlanan matematiksel optimizasyon teknikleri ve kısıtlı yıllık bütçe kullanılarak yapılır.

Sonuçta amaç; hangi yollara, hangi yöntemle ve ne zaman müdahale edilmesi gerektiğini açıklayan 10 yıllık süre içinde her yıl için öncelikli bir program elde etmektir. Bu öncelikli program, değişiklik yapılmadan uygulamaya geçilirse, kısıtlı devlet ödeneğinin en iyi şekilde kullanılmasını sağlayacaktır [7].

Üstyapı değerlendirmesinin ana amaçları;

1. Yolun mevcut durumunu belirlemek, ilk bozulma belirtileri ve bunları izleyen bozulma ilerlemesini ortaya koyan, sürekli izleme yolu ile bakım gereksinimlerini saptamak.
2. Üstyapıların bozulmaya bağlı olarak gelecekte nasıl davranacaklarını tahmin etmek üzere bilgi sağlamak.
3. Yıllık ve uzun süreli bakım programları planlamak.
4. Çeşitli yol durumlarını karşılaştırarak bakım önceliklerini tayin etmek.
5. Programlanan çalışmanın uygun şekilde yapılıp yapılmadığını kontrol etmek ve onun etkisini değerlendirmek.
6. Karayolu yetkilileri açısından daha nesnel ve düzenli karar vermeye zemin sağlamak.
7. Üstyapı tasarım yöntemleri ile yapım ve bakım tekniklerinin yeterliliğini değerlendirmek şeklinde sıralanabilir.

Bu amaçlara ulaşmak için, aşağıda sıralananlar ile ilgili veri gereklidir;

- ✓ Düzgünsüzlük, kayma direnci ve diğer parametreler gibi, ölçülebilir üstyapı durumu özellikleri.
- ✓ Ölçülen verinin yorumu ve üstyapı durumlarının teşhisi için gerekli, yol geometrisi, kazalar, trafik, üstyapının yapısı, yürütülen çalışmaların tarihçesi, çevre gibi tamamlayıcı etkenler.
- ✓ Ölçülen durumlar veya gözlemlerden sağlanan sonuçların karşılaştırabildiği kalite düzeylerini oluşturan kalite standartlarıdır.
- ✓ Sonuç olarak, gereksinimleri öncelik sırasına göre sıralamayı sağlayan yöntemdir.

Bu işlemler, benimsenen bakım politikası çerçevesinde, elle yapılan veya bilgisayar kontrollü bir veri analizinin, bakım gereksinimlerini öncelik sırasına göre göstermesi bazında tamamlayıcı bir değerlendirme sistemi ile bütünleştirilmelidir [10].

Esnek üstyapıda oluşan bozulma türleri, üstyapı yönetim sistemi parametreleri ile ilişkilendirilmesi çizelge 6.1’ de verilmiştir.

Çizelge 6.1: Esnek üstyapıda oluşan bozulma türleri, üstyapı yönetim sistemi parametreleri ile ilişkilendirilmesi.

Bozulma Türü	Üstyapı Yönetim Sistemi Parametreleri			
	Kayma direnci	Düzensizlik	Yapısal mukavemet	Sürüş konforu
Şekil değiştirmeler	X	XX	XX	XX
Çatlaklar	X	XX	XX	XX
Yamalar	X	XX	XX	XX
Ayrışma-Sökülme	X	XX	XX	XX
Kusma	XX	X	X	XX
Cilalanma	XX	X	X	XX

Üstyapı yönetim sistemleri; ağ düzeyi ve bağımsız düzey (proje düzeyi) olmak üzere iki düzeyde uygulanabilmektedir. Temel bileşenleri; yol tanıtım bilgileri, bilgi toplama, veritabanı yönetimi, geri besleme ve uygulama olarak belirtilebilir. Ağ düzeyinde geniş çaplı bir proje grubu veya tüm karayolu ağı üzerinde ne zaman ve nerede ne yapılacağı (onarım veya iyileştirme ya da diğer ölçümler) hakkında kararlar alınır. Diğer yandan, bağımsız düzey ve proje düzeyi, bağımsız projelere ait daha özgün teknik ve yönetim kararları ile ilgilidir.

Ağ düzeyi; planlama amaçlıdır. Yol ağının mevcut durumunun değerlendirmesi yapılır. ÜYS için veri tabanı oluşturulur. Ağ düzeyinde üstyapı değerlendirmesi yapmak gerektiğinde yol yüzey düzensizliği, kayma direnci ve kaplama bozuklukları ölçümleri 1. derecede önemlidir. Defleksiyon ölçümleri ve tabakalarda kullanılan malzeme özellikleri ise 2. derecede önem taşımaktadır. Buradan hareketle ağ düzeyinde değerlendirme yapmak için yol yüzey düzensizliği, kaplama bozukluklarının belirlenmesi, yüzey kayma direncinin ölçülmesi yeterli görülebilir.

Proje Düzeyi; onarımda öncelikli yol kesimleri belirlendikten sonra, ayrıntılı projelendirme çalışmaları için (alternatif tasarım, yapım, bakım ve rehabilitasyon

çalışmaları) defleksiyon ölçümleri yapıp, karot numunesi alınarak tabaka malzemeleri ve kaplama tipinin belirlenmesi gerekir.

6.1 Türkiye’de Üstyapı Yönetim Sistemi ile İlgili Mevcut Durum ve Türkiye Otoyol Ağı Açısından Kullanılabilirliği

Kanada ve Türkiye hükümetleri, TCK bünyesindeki karayolu ağı için ÜYS’ nin gelişmesi ve gerçekleştirilmesi çalışmalarına başlama kararına dayanan bir ‘ üstyapı yönetim planlama ve pilot uygulama çalışması’ yürütme konusunda bir anlaşma yapmışlardır.

1993 yılında bir Kanada firması olan Pavement Management System Limited şirketi ile Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından pilot çalışma yapılmış olup, bu şirket tarafından önerilen tam sayı programına (integer programming) modifiye edilerek kullanılmıştır.5 yıllık programlama periyodu için 8 farklı rehabilitasyon seçeneği düzenlenmiştir. Performans tahmin modeli, AASHTO-86 ‘dan alınmış olup, matematiksel modeli, maliyet verimlilik sayısını maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Bir optimizasyon programı olan LINDO ile modelin sonuçları karşılaştırılmıştır.

KGM, üstyapı yönetim sistemi uygulaması için, gerekli verilerin en önemlisi olarak kabul edildiği yol yüzeyinin boyuna geometrik düzgünsüzlüğü verilerinin toplanması için, kızılötesi ışın gönderen duyarlılar ile ölçüm yapabilen Profilometre (T6500 Road Surveyor) aletini kullanmaktadır.

KGM, yol yüzeyinin boyuna geometrik düzgünsüzlük değeri ile belirlenen, sürüş konforu indeksini, üstyapı performansının göstergesi olarak kabul etmiş ve bunun belirlenmesinde, karayolu ağı içindeki belirli yollar (asfalt betonu kaplamalı) için, profilometre aleti kullanılarak yapılan ölçümler ile elde edilen RN (Ride Number-Sürüş sayısı) değerleri kullanılmıştır. RN değerleri, 0 ile 5 arasında değişmekte olup, 0 değeri geçit vermeyen bir yolu, 5 değeri ise mükemmel bir yolu göstermektedir. Ölçülen bu RN değerleri, AASHTO yöntemindeki hizmet kabiliyetine karşılık gelen bir değer olarak kabul edilmiş, otoyollar ve asfalt betonu kaplamalı devlet yolları için, $RN=2,5$ müdahale düzeyi, $RN=3$ ise uyarı düzeyi olarak düşünülmüştür.

KGM, kavramsal bir astarım geliştirmek, ülke düzeyinde uygulanabilir ve geliştirilebilir bir planı ortaya koymak, eğitim ve teknoloji transferi sağlamak

amaçlarını taşıyan bir üstyapı yönetim sistemi geliştirmek için 2 aşamayı uygulamaya koymuştur [18].

1. Aşama: ÜYS' nin planlanması ve pilot bölgede uygulanması

Arazi veri toplama işlemleri;

Üstyapı defleksiyon etüdü: Mevcut üstyapının yük taşıma kapasitesini saptamak için alınan üstyapı defleksiyon ölçümleri düşen ağırlıklı Deflektometre, Dynaflekt, Deflektograf veya Benkelman kirişi kullanılarak yapılır.

Üstyapı Düzgünsüzlük etüdü: Seyir özellikleri genellikle üstyapı performansının esas göstergesi olarak düşünülür.

Yüzey bozulma etüdü: Mevcut bozulmaların tipi, şiddeti ve yoğunluğu ile ilgili olarak sınıflandırılır.

Nitelik etüdü: Kesim tanımlanması, geometrik veri, trafik verisi, yapısal veri v.s. şeklinde sıralanabilir.

AASHTO yol deneyi çalışmaları sırasında üstyapılarının performansı hakkında bilgilerinin % 95' i yol yüzeyinin boyuna geometrik düzgünsüzlüğü ile belirlenmiştir. Yol yüzeyinin boyuna geometrik düzgünsüzlüğü (Roughness) kavramı, yol yüzeyi üzerinde seyreden taşıtların sürücü ve yolcuların yolculuk boyunca hissettikleri konfor ve düzgünlük olarak ta ifade edilmektedir.

Sürüş kalitesiyle ilgili algılamalar, yol tarafından sağlanan hizmetin kabul edilebilirliği yönünden, önemli ölçü niteliği taşımaktadır. Yol yüzeyinin geometrik düzgünsüzlüğü, seyredilen düzgünsüzlüğü, seyredilen yüzeyin tekerlek geçiş yerlerindeki boyuna profilin bir özelliği olup, en iyi, yolun hem fonksiyonel hem de yapısal performansı üzerindeki etkisine göre tanımlanmaktadır.

Yürütülen analizler: Elde edilen arazi veri toplama etüdlerinin değerlendirilmesi için analizler yapılmış olup, bunlar;

Yapısal Uygunluk İndeksi (SAI) Analizi: Defleksiyon ölçümleri eşdeğer benkelman kirişi defleksiyon değerlerine dönüştürülmüştür.

Seyir Konfor İndeksi (RCI) Analizi: Bir üstyapı tarafından sağlanan seyir kalitesinin öznel bir ölçüsüdür.

Yüzey Bozulma İndeksi (SDI) Analizi: Pilot ağdaki her bir kesimin belirli aralıklı her bir istasyondaki on yüzey bozulmasının her birinin şiddet ve yoğunluk bakımından bir sınıflamasını ortaya koyar.

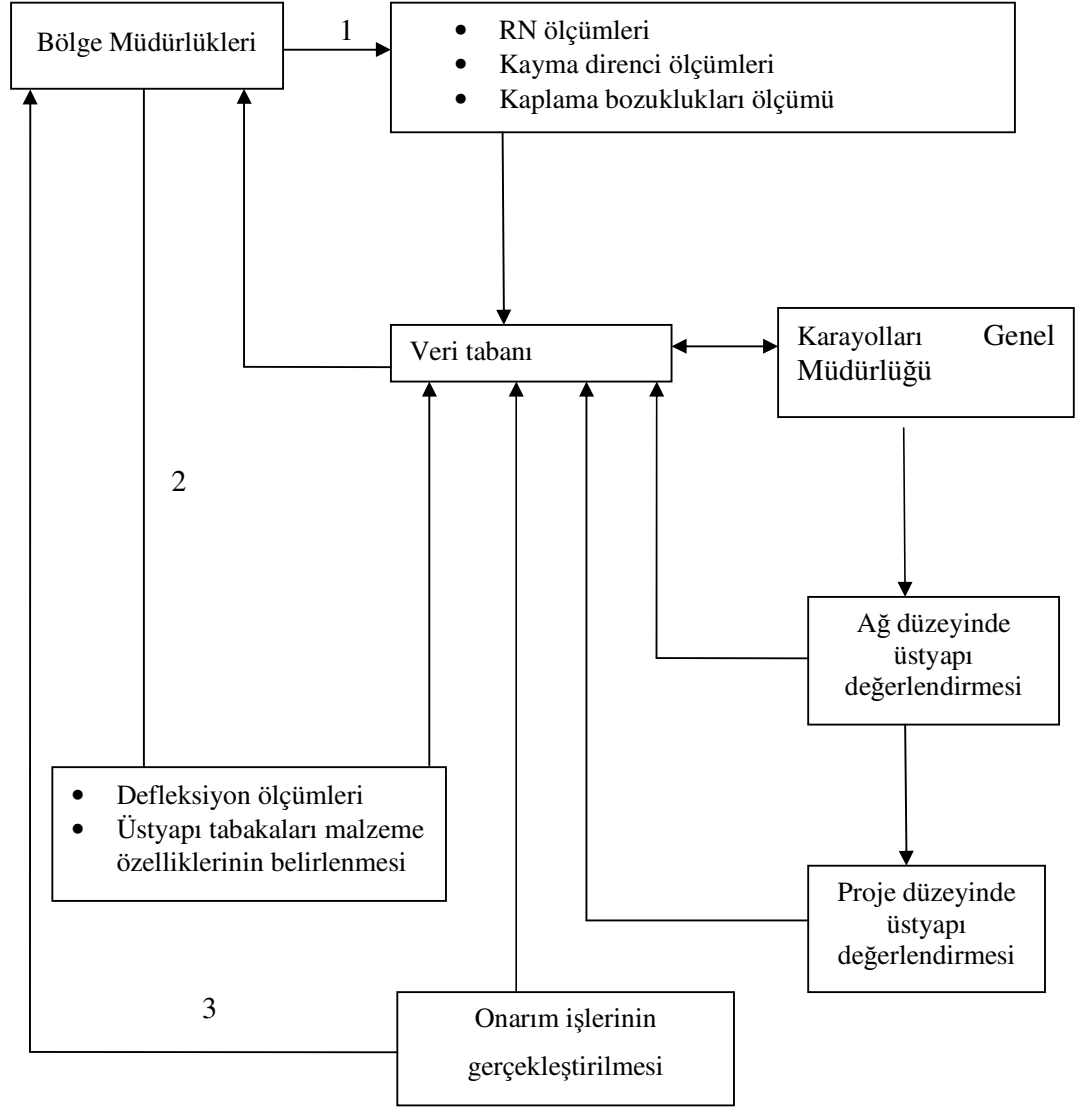
Üstyapı Kalite İndeksi (PQI): Bir üstyapının mevcut ve gelecekteki hizmet verme durumunun genel göstergesidir.

2. Aşama: ÜYS' nin geliştirilmesi ve ülke çapında uygulanması:

İlk aşama esnasında tasarlanmış bulunan ÜYS, ikinci aşamada tamamıyla bilgisayara programları ve mühendislik modelleri bakımından geliştirilir. Türkiye karayolları ağında KGM tarafından ÜYS uygulaması kapsamında RN ölçümü yapılan otoyol ve devlet yollarındaki $T_{8.2}$ eşdeğer standart dingil yükü ile ifade edilen trafik etkisi, yolun geçtiği bölgeye ait sıcaklık değeri ve kaplama yaşına bağlı olarak zamanla bozulma ilişkilerini sınıflandırmak üzere yol yüzeyinin boyuna geometrik düzgünlüğüne karşılık gelen RN değerinin, yani üstyapı performansının tahmin edilmesi amacıyla bir bozulma modeli oluşturulabileceği düşünülmektedir. Bu modelden hesaplanan ve bozulmayı gösterecek olan ileriye dönük RN aralıklarına karşılık gelen bozulmalar için önerilen bakım ve iyileştirme seçenekleri içinden en uygun yani fayda/maliyet oranı en yüksek olanın seçilmesi sağlanacaktır. Böylece model, maliyet açısından bakıldığında hangi yolda, ne zaman ne miktarda bakım-onarım yapılacağını ve bunun için ne miktarda mali kaynak ayrılması gerektiğini ortaya koyacaktır. Ancak bugün gelinen noktada, gerek devlet ve il yolu ağında, gerekse otoyol ağında sonuçları tatmin edici olan arazi veri ölçümleri yeterince yapılmamış olup, 1993 yolu içinde pilot olarak seçilen 360 km.lik devlet yolu birçok ölçüm yapılmasına karşın da, Türkiye karayolu ağında uygulanılabilecek bir ÜYS' nin kurulması mümkün olamamıştır [18].

2005 yılı sonunda KGM, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığınca Türkiye otoyol ağı bünyesinde tatmin edici arazi veri ölçümlerine başlanılmış olup bu çalışma kapsamında KGM ve İTÜ arasında ortak bilgi paylaşımı ile Türkiye otoyol ağı için Üstyapı Yönetim Sistemi kurulması planlanmıştır.

İTÜ çalışma grubunca Türkiye Karayolu Ağının Üstyapısının Yönetimi için bir sistem önerilmiştir [20]. Bu sistemin akış diyagramı Şekil 6.3’de verilmiştir.



Şekil 6.3: Önerilen üstyapı yönetim sistemi [20].

6.2 Üstyapı Bozulmaları Belirleme Yöntemleri

Yol üstyapısının durumu, uzman ölçüm ekipmanı kullanımı ile ve/veya fotoğrafik ya da optik gözlem vasıtasıyla değerlendirilir.

Deneyimler, iki yöntemin birbirini tamamladığını göstermiştir. Gerçekte, yüksek verimlilikteki ölçüm ekipmanı kullanımının artması, belirli alanlarda genellikle daha

öznel ve daha az doğrulukta bazı optik gözlem tiplerinin yerine geçebilmekle birlikte, optik gözlem, aşağıdaki nedenlerle esastır.

- ✓ Yalnızca ölçüm ile değerlendirilecek tüm üstyapı özellikleri veya bozulmaları için olası değildir.
- ✓ Yalnızca ölçüm kullanımı, çoğu durumlarda esaslı bir bilgi kaybına yol açar.
- ✓ Ölçüm ve fotoğrafik veya optik gözlemler, mutlaka aynı sonuçları verir.

Bu yüzden, dikkatli gözlem sonuçları ile ölçümden elde edilen veriyi birleştirmek ve bir sonraki analizi ikisi üzerine kurmak zorunludur. Bu nedenle, olası üstyapı durumlarının değerlendirilmesi sistematik gözlem gerektirir. Bununla birlikte, farklı gözlem hizmetlerinin üstyapı durumlarını tanımlama için aynı yöntemi kullanmaları gereklidir. Teknik personelin, teorik ve pratik bakımdan iyi eğitilmesi esastır. Örnek olarak, bozulma nedenlerinin araştırılması çok karmaşık bir işlemdir ve gerekli analitik çalışma yalnızca her durumda çok miktarda yüksek kaliteli bilgi mevcut olması ve bozulma nedenleri, analizinin uzmanlar tarafından gerçekleştirilmesi halinde başarılı olacaktır [10].

6.2.1.Fotoğrafik gözlem

Üstyapı bozulmalarının fotoğrafik olarak kaydedilmesi ile ilgili üç yöntem kullanılmaktadır. İlk yöntem, bir dizi fotoğraf almaktan ibarettir. Diğer iki yöntemlerde ise, bir araca bağlanmış olup, üstyapıyı yola paralel veya dik olarak fotoğraflayan bir kamera kullanılır [10].

6.2.2. Optik gözlem

Kontrolün ana amacı, gözle olabildiğince tam bir bozulma etüdü yapmaktır. Sistematik bir optik etüdü gerçekleştirmeden önce, gözlenecek yolu belirli uzunluktaki kesimlere bölmek gereklidir. Değişik gözlem ekipleri, aynı terminolojiyle, aynı kayıt ve ölçme yöntemlerini kullanmalıdırlar.

Gözlemler, gözetim tipine göre hareketli araçlar içindeki, bisikletler üzerindeki veya yaya gözlemciler tarafından yapılmalıdır. Gözlemin yapılması gereken zaman

periyodu ve gözlemin frekansı ile ilgili standartlar, yolun önemi, araştırılacak yol elemanları, iklim koşulları ve üstyapının genel durumuna bağlı olarak değişir. Böylece, acilen onarılması gereken bozulmaların ortaya çıkarılmasını sağlayan gözlem, günlük, haftalık veya aylık yapılır. Halbuki genel veya sistematik gözlem yılda iki kez veya genellikle yılda bir kez olmak üzere, daha uzun zaman aralıklarında yapılır.

Gözlem sonuçlarının kaydedildiği mevcut gözlem formları, bilgisayara doğrudan doğruya girdi olarak verilecek şekilde tasarlanmıştır. Formlar, yerinde doğru kayda yardımcı olmak, hatalardan kaçınmak ve aynı zamanda veri işleme çalışmalarını da kolaylaştırmak üzere, olabildiğince basit olmalıdır. Verinin bilgisayar işleminden geçirilmesi sırasında, bakım personeli ve veri işleme bölümü arasındaki ortak çalışma, etkili ve doğru bir veri analizi için esastır [10].

6.3.Üstyapı Bozulmalarının Ölçülmesi

Bozulmaların kayıt edilmesi, onların tanımlanması, yerlerinin belirlenmesi ve miktarlarının yani; şiddet ve yoğunluklarının saptanmasını içerir. Bozulmaların önemini belirlemek için, mevcut üstyapı durumlarını, kabul edilebilir durumda olduğu varsayılan bir referans üstyapı ile karşılaştırmak gereklidir. Bu nedenle aynı uzunluktaki yol kesimleri üzerinde değerlendirmeler yapmak ve eğer bu olası değilse standart hale getirilmiş uzunluklar üzerindeki veriye analiz etmek zorunludur.

Yol kesimleri;

- ✓ Trafik hacmi ve tipi, yol geometrisi, üstyapı bileşimi, yüzey tipi, yapım yılı veya son aşınma tabakası teşkili ya da sağlamlaştırma yılı gibi etkenler bakımından uzunlukları boyunca düzenli olmalıdır.
- ✓ Kavşaklar, kilometre işaretleri, özel işaretler vs. ile sınırlanmalıdır.
- ✓ Evvelce, trafik ölçümleri, kaza yeri, yol envanteri gibi diğer amaçlar için kullanılan kesimler ile uyumlu olmalıdır.

Çoğu bozulmalar birçok şiddet düzeyinde sınıflandırılabilir. Tekerlek izi derinliği, çatlak genişliği vb. bozulmalar ölçülebilir niteliktedir. Ancak şiddet değerlendirmesi, fotoğrafların tanımlanması gibi öznel ölçütlere dayanır.

Dünya da çoğunlukla bakım programlarını planlama amaçları için üç şiddet düzeyi belirlenir. Çizelge 6.2 de görüldüğü üzere Kanada, Ontario gibi bazı ülkelerde ise bozulmaların zamanla ilerlemesini daha iyi izlemek üzere beş şiddet düzeyi belirlenmiştir. Farklı kuruluşlar, çeşitli bozulma tiplerinin şiddetlerini değerlendirmede farklı ölçütleri esas alırlar [21].

Çizelge 6.2: Ontario’ da sökölme miktarını belirlemek için kullanılan şiddet düzeyleri [21].

Sınıf	Üniform Tanımlama	Yol Gösterciler (Görünüş gözlemlerine dayalı)
1	Çok Az	Ancak görülebilir
2	Az	Görülebilir
3	Orta	Çiçek bozuğu görünüşüne sahip, Bozukluklar arasında oldukça fazla mesafe var
4	Şiddetli	Çiçek bozuğu görünüşüne sahip, Bozukluklar oldukça yakın aralıklı
5	Çok Şiddetli	Yüzey sökölümüş bit görünüşüne sahip ve küçük oyuklara ayrılmış

Kullanılan ölçütlerin bir kuruluştan diğerine çok farklı olması önemli değildir. Bununla birlikte, şiddet düzeylerini belirlemede kullanılan ölçütlerin, tüm ağıın homojen biçimde değerlendirilebilmesi için, olabildiğince nesnel ve kesin olması istenmektedir [21].

Bozulmaların yoğunlukları genellikle;

- ✓ Boyuna çatlaklar, üstyapı kenar çökmesi, tekerlek izi oluşumunun etkilediği üstyapı uzunluğu oranı,
- ✓ Parabolik çatlaklar, bağlantılı çatlama, yolunma, soyulma ile hasar görmüş üstyapı alanı oranı,
- ✓ Enine çatlaklar ve oyukların sayısı olarak kolayca tanımlanır.

Örnek olarak, Ontario’ da sökölme miktarını belirlemek için Çizelge 6.3’ de verilen beş yoğunluk sınıfı kullanılmaktadır.

Çizelge 6.3: Ontario’ da sökölme miktarını belirlemek için kullanılan yoğunluk sınıfları [21].

Sınıf	Üniform Tanımlama	Sökölme Yoğunluğu
1	Az	<10%
2	Aralıklı	10 – 20 %
3	Sık	20 – 50 %
4	Yoğun	50 – 80 %
5	Baştan Başa	80 – 100 %

Belirli bir bozulmanın önemi, şiddet ve yoğunluğuna bağılı olarak açıklanır. Çizelge 6.4 belirli bozulmaların şiddet ve yoğunlukları ile ilgili olarak Fransa’da öne sürülen değerlerin bir örneğini göstermektedir [21].

Çizelge 6.4: Belirli bozulmaların genel önemlerini saptamak [21].

Gösterge	Belirleme Ölçümü	Önem		Ek Parametreler	Gereken Bakım
Kayma Direnci	S.C.R.I.M tarafından ölçülen değer	3	Yaklaşık 0,5 – 0,6	Islak Yüzeyde ortalama kaza oranından daha fazla	Sürekli gözetim
		2	Yaklaşık 0,35-0,5	Kötü yol koşulları Kazalar	Sürekli gözetim veya yaşa göre aşınma tabakasını yenileme
		1	0,35-0,3 (1)’dan az		Aşınma tabakasını yenileme
Yüzey bozulmaları aşınma tabakasının plastik deformasyonu nedeniyle tekerlek izleri	Uzunluk Oranı (%’si)	2	40-100 % ve 5-15 mm	Kayma Direnci Derecesi 2	Sürekli gözetim veya yaşa göre aşınma tabakasını yenileme
	Ortalama Derinlik	1	40-100 % ve > 15 mm	veya Düzgünlük Derecesi 1	Aşınma tabakasını yenileme
Bağılantılı çatılama, agregaların kaybı,terleme	Hasarlı Üstyapı Yüzey Oranı	2	10-25%	Kayma Direnci Derecesi 2	Aşınma tabakasını yenileme, ince yüzey teşkili
		1	25%	veya Düzgünlük Derecesi 1	

(1) Ölçümlerin % 40’ ı 0,30’ a eşit veya altında ya da ölçümlerin % 60’ı 0,35’e eşit veya altındadır.

Not: Her bir bozulma için 2 ve 3 önem düzeyi tanımlanır. Gerekli bakım çalışması, diğer bozulmalar ve son takviye işleminden sonra yol kesimini kullanmakta olan toplam kümülatif trafik gibi diğer parametreler göz önüne alındıktan sonra saptanır.

Kent içi yollara ait üstyapılar gibi belirli durumlarda, uygun bir değerlendirme ölçeği kullanılmak suretiyle, üstyapı durumlarını bütün yönleriyle değerlendirmek daha pratik olabilir. Çizelge 6.5’ de tipik bir örneği görülen böyle bir ölçek, yüzey bozulmalarının yoğunluk ve şiddetiyle sürüş konforuna dayanır [21].

Çizelge 6.5: Üstyapı durumuna göre değerlendirme sayısı [21].

SAYI	SÜRÜŞ	TANIMLAMA
1	Çok İyi	Anormal görünen kusur yok
2	İyi	Birkaç çatlak ve az çökme ile birlikte, genellikle ciddi bozukluk yok
3	Yeterince İyi	Yeterli aşınma yüzeyli fakat enine ve boyuna çatlaklı, birkaç poligon çatlaklı ve birkaç çökmeli üstyapılar
4	Yeterince Kötü	Birkaç dalgalı, enine boyuna ve poligon çatlaklı ve ayrışma ve merdivenleşme başlangıcı gösteren üstyapılar
f5	Kötü	Tüm çeşitleri haiz çok sayıda çatlaklı düzensiz profil ve pürüzlü yüzeyli üstyapılar. Bütününde ileri hasar gösteren kanıtlar.

Toplanan veriler ile;

- ✓ Üstyapının istenilen fonksiyonları yerine getirip getirmediği,
- ✓ Gelecekteki iyileştirme gereksinimlerini programlama ve planlama,
- ✓ Tasarım, bakım ve yapım teknolojilerini geliştirme için kullanılabilir.

6.4 Üstyapı Bozulmalarını Belirlemede Kullanılan Aletler

Üstyapı bakımı için hangi strateji kullanılırsa kullanılsın, en uygun bakımı tayin etmek amacıyla üstyapının yapısal ve fonksiyonel kalitelerini değerlendirmek gerekli olacaktır bu değerlendirmede yapısal durum, üstyapının, tasarımında göz önüne alınan beklenen trafik yükleri ve iklim koşullarına dayanma kapasitesiyle ilgilidir. Fonksiyonel durum ise güvenlik ve kullanıcı konforunu etkileyen kayma direnci düzgünsüzlük ve geçirgenlik gibi yüzey özellikleri ile ilgilidir. Yapısal ve fonksiyonel durumlar arasında bazı önemli etkileşimler söz konusudur. Örneğin

geçirgenlik su girişı nedeniyle yapısal hasara ve yüzey çatlaması da kabul edilemez düzeyde geometrik düzgünlük azalmasına neden olur.

Kullanıcı konforu, işletme maliyeti ve taşıt güvenliği ile ilgili düzgünsüzlük boyuna düzgünsüzlük ve enine düzgünsüzlük olarak değerlendirilir. Boyuna düzgünsüzlük veya düzgünsüzlük bir profil analizi veya tepkili tipte bir düzgünsüzlük sayacı ile ölçülür. Gösterge mm/km cinsinden ifade edilir.

Tekerlek geçiş yerlerindeki tekerlek izi oluşumu derecesine bağlı enine düzgünsüzlük veya tekerlek izi oluşumu bir tekerlek izi sayacı veya bir enine profilograf ile ölçülür. Gösterge bir uzunluk boyunca mm cinsinden ortalama tekerlek izi derinliğidir.

Kullanıcı güvenliğini etkileyen kayma direnci, boyuna veya enine (yanal) olabilen sürtünme katsayısı vasıtasıyla ifade edilir.

Islak bir yoldaki frenleme direncine (kilitlenmiş tekerlek) karşılık gelen boyuna sürtünme, kayma treyleri veya stradograf vasıtasıyla ölçülür veya boyuna fren katsayısı cinsinden ya da bir kayma sayısı (SN) olarak ifade edilir.

Kontrol (izleme) sırasındaki bozulma veya üstyapı hasarı' nı tayin etmek ve miktarını ölçmek en zordur. Bitümlü üstyapılar için normal değerlendirme, en azından aşağıdaki elemanları kapsar.

- ✓ Delikler ve yüzeydeki çökmeler (oyuklar);
- ✓ Tekerlek geçiş yerlerindeki tekerlek izi oluşumu;
- ✓ Tekerlek geçiş yerlerindeki çatlama;
- ✓ Tüm şerit veya üstyapı genişliğince enine çatlama;
- ✓ Soyulma (bağlayıcının agregadan ayrılması).

Her bir bozulma elemanı için, niceliğe bağlı bir gösterge tipi tayin edilmelidir. Bu hususta çok çeşitli projeler geliştirilmekle birlikte, çoğunlukla, her kesimdeki her bir elemene ait etkilenen alan oranı gibi ölçümler kullanılır. Daha gelişmiş sistemlerde, her bir bozulma tipinin şiddet ve derecesi de kaydedilir.

Bozulma değerlendirmesi, fotoğraf teknikleri ve GERPHO (Groupe d' Examen Routier par Photographie) gibi donanım ile desteklenmekle beraber en sık şekilde optik gözlem ile yapılır.

Üstyapının yapısal kapasitesini sınıflandıran defleksiyon, bir Benkelman kirişı veya Lacroix deflektografı ile statik yüklere tepki veya bir düşen ağırlıklı deflektometre, Daynaflekt veya yol sınıflayıcısı ile dinamik yüklemeye tepki yollarıyla saptanabilir. [7].

Üstyapı değerlendirme amaçları için, yüzey durumları, kayma direnci, yapısal davranış ve yol geometrisini saptamak üzere, uzmanlaştırılmış ölçüm ekipmanları geliştirilmiştir. Bu amaç için kullanılan aletler aşağıdaki gibidir [5].

6.4.1 Defleksiyon ölçme araçları

Üstyapı yapısal kapasite değerlendirmeleri, defleksiyon ölçme aletleri ile yapılır. Bunlar dört ana sınıfta toplanabilirler [7]:

1. Üstyapının, statik bir yük veya yavaş hareketli bir yük uygulamasına tepkisini ölçen statik aletler;
2. Üstyapının, titreşimli veya devirli bir yüke tepkisini ölçen titreşimli aletler;
3. Belirli bir uzunluk boyunca, belirli bir kütle düşürerek üstyapıyı yükleyen ve üstyapının tepkisini ölçen itici kuvvetli araçlar;
4. Çok modlu (şekilli) aletler.

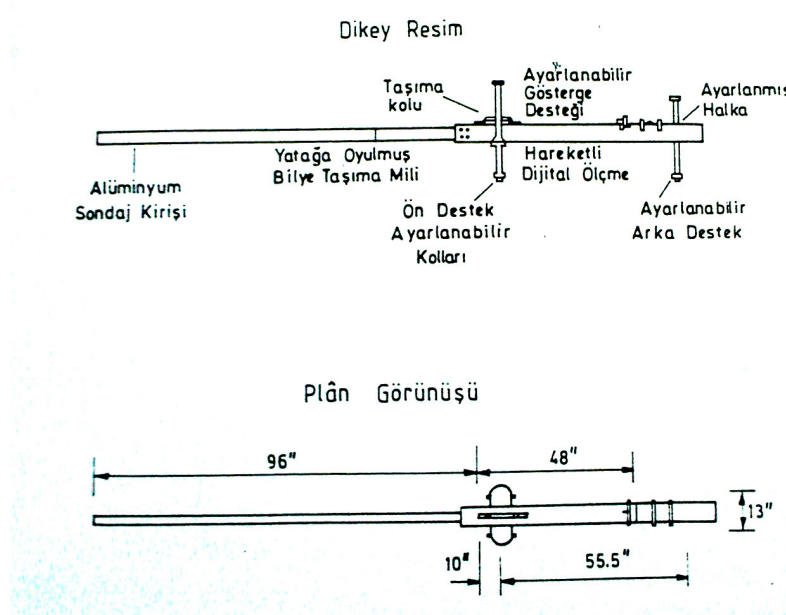
6.4.1.1 Statik aletler

Tabaka (levha) taşıma deneyleri (Plate bearing tests)

- ✓ Eğrilik sayısı (Curvature meter)
- ✓ Benkelman krişı (Benkelman beam)
- ✓ Otomatik defleksiyon kirişleri (Automated deflection beams)
- ✓ Eğrilik ölçer (Curviameter)

Tabaka taşıma deneyi istisna olmak üzere, bu deneyler, kamyon tekerlek yğkleri altındaki defleksiyonu ölçerler. Eğrilik sayacı verisi, statik yükleme koşulları verisi kullanılarak toplanır. Her iki teknik de yoğun çalışmalı ve zaman tüketimli olup yaygın biçimde kullanılmazlar. Benkelman kirişi, eğrilik ölçer ve otomatik defleksiyon kirişleri yavaş hareket eden tekerlek altındaki defleksiyonları ölçerler.

Benkelman Kirişi: Defleksiyon ölçümlerine ait, basit ve pahalı olmayan bir alettir. Benkelman kirişi hafif ağırlıkta bir alüminyum veya ahşap çerçeveye iştirilmiş basit bir düzey kolundan meydana gelir (Şekil 6.4). Ölçümler, defleksiyonun saptanacağı noktada yüklü (genellikle 18-kip (80kN) bir kamyonun çift lastikleri arasına kiriş sondaj ucu yerleştirmek suretiyle yapılır. Yüklü taşıt deney noktasından uzaklaştıkça, üstyapının geri tepme veya yukarı doğru hareketleri kadranlı ölçme aleti ile ölçülür. Donanım çok yönlü olup, yoğun çalışma gerektirir. Bazı durumlarda, özellikle sert üstyapılarda, taşıma kolları defleksiyon ölçümü yapılan alan içinde olabilir ve bu durum hatalı ölçümlerle sonuçlanır



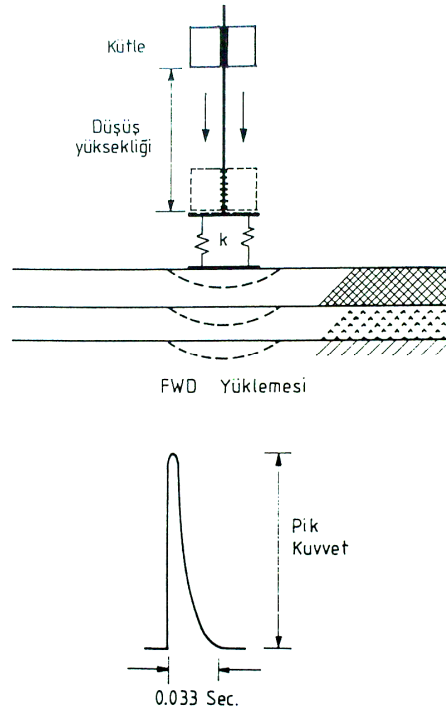
Şekil 6.4: Kritik boyutlu benkelman kirişi şematik diyagramı (1 inç=25.4mm.) [7].

6.4.1.2 Titreşimli aletler

- ✓ Daynaflekt (Dynaflect)
- ✓ Yol sınıflayıcısı (Road rater)

6.4.1.3 İtici aletler

İtici yük defleksiyon ölçüm aletleri genellikle, tampon vazifesi gören bir yükleme levhası üzerine düşen bir kütle kullanırlar. Bu aletlerden çoğunlukla düşen ağırlıklı deflektometre (FWD) olarak bahsedilir. Şekil 6.5 bir FWD' nin temel prensibini göstermektedir. Uygulanan pik kuvvet düzeylerindeki değişimlere, düşürülen kuvvetin büyüklüğünü ve düşme ağırlığını değiştirerek ulaşılır.



Şekil 6.5: Düşen ağırlıklı deflektometrenin temel prensibi [7].

6.4.2 Kayma direnci ölçme araçları

CEBTP stratografi, LPC treyleri (Fransa), Stuttgart treyleri, SRT sarkacı (Almanya), SCRIM odoliografi v.b.

6.4.3 Enine geometrik düzgünlük ölçme araçları

RWL tekerlek izi sayacı (Hollanda), enine profil ve tekerlek izi sayacı (İsveç), fotoğraflık tekerlek izi sayacı (Japonya), düz cetvel.

6.4.4 Boyuna geometrik düzgünlük ölçme araçları

Rainhart profilografı (ABD), Viagraf, boyuna profil analizörü APL (Fransa), çok tekerlekli TRRL profilometresi, Chole profilometresi.

6.4.5 Üstyapı yüzeylerinin dinamik tepkilerini ölçen araçlar

BPR konfor analizörü, PCA yol sayacı, Mays sürüş sayacı v.b

Çok sayıda ekipman cinsi mevcut olduğundan, görünüş ve özellikle de çalışma olanakları yönünden amaçlara uygun aleti seçmek önemlidir. Ayrıca, ölçümler, tanımlanmaları ve kontrol edilmeleri gereken çok sayıda etkene bağlı olarak alınırlar. Bu etkenler, tip, uygulama sınırları, hız, yinelenebilirlik ve çoğaltılabilirlik yönünden ekipmana, üstyapı cinsi ve bileşimi, sıcaklık, nem v.b. gibi nedenler bakımından da deney koşullarına bağlıdırlar.

7. SONUÇLAR

Esnek üstyapıda meydana gelen bozulmaların değerlendirildiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Bozulma, üstyapının özgün fiziksel koşullarından herhangi bir sebepten dolayı sapması anlamına gelmektedir. Bozulmalar üç ana grupta toplanmaktadır. Bunlar; kalıcı deformasyon, termal çatlaklar ve yorulma çatlaklarıdır.

Türlerine göre ayrılan her bozulma, üç farklı şiddette sınıflandırılabilir. Derinliği; 6mm den küçük olan bozulmalar hafif şiddette diye adlandırılır ve bunların gelişimi kontrol altında tutulur. 6 mm ile 19 mm arasındaki bozulma türleri orta şiddette bozulmalardır ve oluşan bozulma uygun bir dolgu malzemesi ile doldurularak onarımı yapılır. 19 mm den büyük bozulmalar ise; yüksek şiddette bozulmalar olarak adlandırılır ve bakım onarımı için özel bir etüt yapıldıktan sonra asfalt kaplamanın yeniden yapılması metodu uygulanır.

Projelendirme hatası, trafik etkisi, iklim ve çevresel koşullar, kötü malzeme kullanımı, kötü işçilik ve yetersiz bakım teknikleri gibi genel etkenler birçok bozulma türünün oluşmasına neden olmaktadır. Esnek üstyapı bozulmalarına neden olan özel etkenler ise şöyle sıralanabilir.

1. Bitümün yaşlanması; blok çatlaklar ile ayrışma, sökülme ve soyulmalara,
2. Üstyapıda yetersiz sıkıştırma; boyuna çatlaklara, tekerlek izinde oturmalar, kabarmalara, ondülasyon, ötelenme ve yoğrulmalara,
3. Altyapıda yetersiz drenaj ve üstyapının yetersiz taşıma gücü; timsah sırtı çatlaklara; kenar çatlaklarına, boyuna çatlaklara, tekerlek izinde oturmalar ve kabarmalara,
4. Yetersiz üstyapı kalınlığı; kenar çatlaklarına ve çukurlara,

5. Şişme ve büzölmeler; enine çatlaklara ve blok çatlaklarına,
6. Önceki bozulmaların etkisi; oluşan bir bozulmada bakım onarımın geç yapılması; enine çatlaklar, blok çatlakları, çukurlar, kaplama agregası kaybı ve kismaya, neden olmaktadır.

Esnek yol üstyapısında oluşan şekil değıştirmeler, çatlaklar, yama ve çukurlar; düzgünsüzlüğün artması, yapısal mukavemet ve sürüş konforunun azalması üzerinde etkili olmaktadır. Çok yönlü bozulmalar (kusma ve cilalanma) ise; kayma direnci kaybına sebebiyet vermektedir.

Üstyapı yönetim sistemi; düzgünsüzlük, kayma direnci, yapısal mukavemet ve sürüş konforu parametrelerini göz önüne alarak yollarda defleksiyon etütleri, düzgünsüzlük etütleri, yüzey bozulma etütleri ve nitelik etütleri yaparak yolları sınıflandırmaktadır. Bu sınıflandırma, iyi, orta ve kötü şeklinde olmaktadır. Yolların mevcut durumu hakkında bilgiler, sadece kötü durumda olan yolları belirlemek için değil, aynı zamanda orta ve iyi durumda olanları da belirlemek için uygun olacaktır. Bu belirleme ile iyi ve orta durumda olan yolların zaman içinde nasıl değışeceği de tahmin edilebileceğinden, sadece şu an iyileştirme gereken yollar değil gelecekte hangi yollarda iyileştirme yapılması gerektiği de ortaya konulacaktır.

Sonuç olarak; hangi yollara, ne zaman müdahale edileceği programlanabilecektir. Üstyapı yönetim sistemi kullanılarak, zamanında iyileştirmeler yapılabilecek, bozulmaların artması engellenecektir. Böylece, pahalı iyileştirme çalışmalarına son verilip, sınırlı kamu fonlarının en iyi şekilde kullanılması sağlanmış olunacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Karayolları**, 2000. *Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi*, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- [2] **Ulaştırma Ana Planı Stratejisi**, 2003-2005. İ.T.Ü. Ulaştırma UYG-AR Merkezi,
- [3] **Yayla. N.**, 2006. *Karayolu Mühendisliği*, Birsan Yayınevi, İstanbul, ISBN 9755112871
- [4] **İlçah, M. ,Tayfur, S. , Özen, H. ,Sönmez, İ. ,Eren, K. ,** 2001. *Asfalt ve Uygulamaları*, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayın Merkezi Başkanlığı, İsfalt, Seçil Ofset, 280s.
- [5] **Arık, A.**, 1998. Balıkesir İli Çevresindeki Karayollarında Esnek Üstyapı Bozulmalarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 86s.
- [6] **Ağar, E., Umar, F.**, 1991. *Yol Üstyapısı*, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
- [7] **İyınam, Ş.**, 1997. Karayollarında Üstyapı Bakım Çalışmalarını Planlama Metodolojisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [8] **Güzel, G.**, 2001. Seminer Çalışması, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [9] **AASHTO**, 2003. *A. Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, Washington D.C.
- [10] **Doğan, O.**, 2006. Esnek Üstyapılı Devlet Yollarındaki Bozulmaların Bulanık Mantık İle Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 98s.
- [11] **California Department of Transportation.**, 2001. *Felexible Pavement Rehabilitation Manual*, State of California, 154s.
- [12] **Central Massachusetts Metropolitan Planning Organization (CMMPO) Transportation Management Systems Programs**, 2006. *Pavement Management Field Guide to Road Surface Distresses*, Central Massachusetts Regional Planning Commission, US.
- [13] **US Department of Transportation**, 2005. *Aspalth Concrete Pavement, Distress Idendification Guide*, State of North Dakota Product.

- [14] **Terzi, S.**, 2004. Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla Karayolu Üstyapı Bakım Yönetim Modeli Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- [15] **Geoplan Consultants**, 2002. *Pavement Surface Condition Rating Manual*, British Columbia Ministry of Transportation, Columbia.
- [16] **Karayolları**, 1994. *Karayolları Bakım El Kitabı*, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- [17] **Tunç, A.**, 2001. *Yol Malzemeleri ve Uygulamaları*, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- [18] **Türkyılmaz, A.**, 2007. Esnek Üstyapılı Karayollarında Koruyucu Bakım Yöntemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi
- [19] **Uluçaylı, M.**, 2002. *Asfalt El Kitabı*, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İSFALT Sanayi ve Ticaret A.ş., Sistem Ofset, İstanbul, 573s.
- [20] **T.C. Ulaştırma Bakanlığı, İTÜ**, 2004, Ulaştırma Ana Planı Stratejisi Projesi Öneriler Taslağı, İTÜ. Ulaştırma ve Ulaşım Araçları UYG-AR Merkezi, İstanbul.
- [21] **Haas, R., Hudson, W.R., and Zaniewski**, 1994. *Modern Pavement Management*, Krieger, Malabar.

EKLER

EK A1: Çizelgeler

Çizelge A.1: Esnek üstyapılardaki bozulma tipleri, muhtemel oluşum nedenleri ve onarım yöntemleri.

Bozulma Tipleri	Muhtemel Oluşum Nedenleri	Onarım Yöntemleri
Tekerlek İzinde Oturmalar	✓ Yüksek ısı, düşük viskoziteli bağlayıcı ve yüksek bitüm içeriği nedenleri ile bitümün sıcak karışım tabakalarının stabilitesini kaybetmeleri. ✓ Bitümün sıcak karışım tabakalarının yetersiz sıkıştırılması ✓ Üstyapı tabakalarının aşırı gerilmeler altında kalıcı deformasyonlara maruz kalması. ✓ Trafik yükleri altında boşluk suyu basıncı nedeniyle doygunluğa ulaşan temel ve alttemel tabakalarının stabilitesini kaybetmeleri. ✓ Drenaj yetersizliği veya yetersiz sıkışma nedeni ile üstyapı tabakasının stabilitesini kaybetmesi, taşıma gücünün zayıflaması. ✓ Banket malzemesinin stabil olmaması, yeterli yanıl desteği sağlayamaması.	✓ Meydana gelen oluklar tercihen plentmiks bitümlü sıcak karışım ile doldurulup takviye edilir. ✓ Sonra aşınma tabakası karışımı kullanılarak ince bir takviye tabakası inşa edilir.
Ondülasyon, Öteleme ve Yoğrulmalar	✓ Asfalt karışım stabilitesinin yetersizliği. ✓ Karışımın serilmesi sırasındaki serilme ve sıkıştırma hataları. ✓ Kavşak, trafik ışıkları ve duraklarda duruş ve kalkış şeklindeki trafik etkisi. ✓ Üstyapı tabakaları arasındaki bağlantıların yetersizliği ✓ Temel tabakasındaki stabilite boşluğunun yüzeye yansması. ✓ Köprü tabliyesinde su geçirimsizliği için kalın membran kullanılması. ✓ Ağır trafik altında suya doygun granüler tabakaların varlığı.	✓ Sathı sert olan tabakaya kadar kazılır. ✓ 15 cm. tabaka kalınlığında veya en az 10cm. kalınlığında yama yapılır.
Timsah Sırtı Çatlaklar	✓ Taban zemini, alttemel veya temel tabakalarının yetersiz sıkışması veya yetersiz drenaj nedeni ile taşıma yetersizliği. ✓ Kaplamanın aşırı trafik yükleri altında yorulması. ✓ Uygun olmayan malzeme kullanımı ve kötü yapım teknikleri. ✓ Çevre ve iklim Şartları (donma etkisi, nem değışiklikleri).	✓ Sathı yaması veya agregalı koruyucu tabaka silkot tatbik etmek suretiyle geçici olarak tamir edilebilir. ✓ Derin yama esaslı onarım uygulanabilir.

Çizelge A.1 (Devam): Esnek üstyapılardaki bozulma tipleri, muhtemel oluşum nedenleri ve onarım yöntemleri.

Enine Çatlaklar	✓ Asfalt kaplamada çok düşük sıcaklıklarda meydana gelen büzülme. ✓ Tabanda don etkisi ve su içeriği değişikliği. ✓ Alt tabakalarda daha önce oluşan çatlakların yüzeye yansması. ✓ Karışım içindeki bitümün sıcaklığa olan yüksek hassasiyeti.	✓ (3 mm' den daha dar) önce özel bir alet ile çatlağın genişletilmesi gerekir. ✓ 3 mm. ve daha geniş ise asfaltın emülsiyonlu akıcı harç ile veya ince kum-sıvı asfalt karışımı ile doldurulur.
Kenar Çatlakları	✓ Donma etkisi. ✓ Kaplama kenarında yetersiz taşıma gücü veya üstyapının kenarında aşırı trafik yüklemesi. ✓ Üstyapı kenarında ve bankette yetersiz drenaj. ✓ Üstyapı genişliğinin yetersiz olması nedeniyle trafiğin banket kenarına yakın seyretmesi.	✓ 3mm' den daha dar da onarıma gerek yoktur. ✓ 3mm ve daha geniş ise bitüm emülsiyonlu akıcı harç ile veya ince kum-sıvı bitüm karışımı ile doldurulur.
Boyuna Çatlaklar	✓ Dolgularda yetersiz sıkıştırma ve yetersiz drenaj nedeniyle oturma. ✓ Dolgunun yanal hareketi. ✓ Çevre ve İklim şartları. ✓ Üstyapının taşıma gücünün yetersiz oluşu ve bunun trafik yükü ile birleşmesi sonucu oluşan oturmalar. ✓ Boyuna ek yerlerinin uygun inşa edilmeyişi.	✓ (3 mm' den daha dar) önce özel bir alet ile çatlağın genişletilmesi gerekir. ✓ 3 mm. ve daha geniş ise asfaltın emülsiyonlu akıcı harç ile veya ince kum-sıvı asfalt karışımı ile doldurulur
Blok (Harita) Çatlakları	✓ Şişme ve büzülme etkisi. ✓ Donma etkisi. ✓ Asfalt kaplamanın yaşlanması dolaylı sertleşmesi ve kırılması.	✓ Çatlaklar asfalt emülsiyonlu akıcı harç veya ince kum-sıvı asfalt karışımı ile doldurulduktan sonra yol yüzeyinin tamamı sathi kaplama veya asfalt emülsiyonlu akıcı harç tipi koruyucu tabaka ile kaplanır.

Çizelge A.1 (Devam): Esnek üstyapılardaki bozulma tipleri, muhtemel oluşum nedenleri ve onarım yöntemleri.

Yansıma Çatlakları	✓ Asfalt takviye tabakası üzerindeki çatlaklar olup, altta kalmış olan esas kaplamada daha önce bulunan çatlakların takviye tabakasına yansmasıyla meydana gelirler.	✓ (3 mm' den daha dar) önce özel bir alet ile çatlağın genişletilmesi gerekir. ✓ 3 mm. ve daha geniş ise asfaltın emülsiyonlu akıcı harç ile veya ince kum-sıvı asfalt karışımı ile doldurulur
Çukurlar	✓ Diğer bozuklukların etkileri (soyulma, çatlak vb.) ✓ Yanlış yapım teknikleri ve düşük kalite kontrolü. ✓ Kaplamada düşük kaliteli agregası kullanımı. ✓ Üstyapı kalınlıklarının yetersizliği.	✓ Çukurun etrafı ve tabanı, gevşememiş sağlam kısımlara kadar kesilir, temizlendikten sonra çukurun hem temeli hem de kaplama kısmı yeni malzeme ile doldurulur.
Ayrışma, Sökülme ve Soyulmalar	✓ Su ve trafik etkisi altında soyulma. ✓ Bitümlü sıcak karışım içindeki kil topraklarının veya kille kaplı agregası taneciklerinin bulunması. ✓ Zayıf sıkışma ve yüksek boşluk yüzdesi. ✓ Yetersiz asfalt yüzdesi. ✓ Yaşlanma nedeniyle oluşan asfalt sertleşmesi. ✓ Uygun olmayan yapım teknikleri ve ekipman kullanımı . ✓ Donma çözünme olaylarının tekrarlanması ile absorpsiyonu ve kırılabilirliği yüksek agregaların kullanıldığı karışımlarda, ayrışma meydana gelmesi.	✓ Yabancı maddeler ve yerinden çıkmış agregalar süpürülür. ✓ Kaplamanın bünyesine ve porozitesine göre su ile eşit oranda karıştırılmış asfalt emülsiyonu 0,45- 0,90 lt/m² olacak şekilde püskürtülür.
Yerel Oturmalar ve Kabarmalar	✓ Taban, alttemel veya temel tabakalarında yetersiz sıkışma nedeni ile oluşan oturmalar. ✓ Üstyapı tabakasının taşıma gücünün zayıf olması. ✓ Sanat yapılarının yaklaşım imlalarındaki yetersiz sıkıştırma ve drenaj nedeniyle oluşan oturmalar. ✓ Dolgu seviindeki hatalar	✓ Sathı sert olan tabakaya kadar kazılır. ✓ 15 cm. tabaka kalınlığında veya en az 10cm. kalınlığında yama yapılır.

Çizelge A.1 (Devam): Esnek üstyapılardaki bozulma tipleri, muhtemel oluşum nedenleri ve onarım yöntemleri.

Bitümün Terlemesi	✓ Yapım sırasında çok fazla asfalt kullanılması ve özellikle sıcak havalarda trafik etkisiyle asfaltın agregaya üzerine çıkması. ✓ Kusmuş yüzey üzerine herhangi bir tedbir almadan yeniden kaplama yapılması. ✓ Çok fazla astar malzemesi kullanılması. ✓ Çok fazla agregaya soyulması.	✓ Sıcak kum, sıcak cüruf veya sıcak elek altı malzemesi tatbik edilir. ✓ Emici agregaya kullanılarak plentmiks karışım satıh kaplaması yapmak veya agregalı koruyucu uygulanabilir.
Kayma Direnci Kaybı	✓ Kaplama agregasının aşırı sürtünmeden dolayı pürüzsüz hale gelmesidir.	✓ Sathi kaplamaya kumlu koruyucu tabaka veya agregalı koruyucu tabaka tatbik edilmesidir
Bombelikler	✓ Asfalt karışımının stabilizesinin yetersizliği. ✓ Karışımın serilmesi sırasında serim ve sıkıştırma hataları. ✓ Kavşak, trafik ışıkları ve duraklardaki trafik etkisi. ✓ Üstyapı tabakaları arasındaki yapıştırma tabakasının hatalı uygulanması. ✓ Temel tabakasındaki stabilite bozukluğunun yüzeye yansması. ✓ Köprü tahliyesinde su geçirimsizliği için kalın membran kullanılması. ✓ Ağır trafik altında suya doygun granüler tabakaların varlığı.	✓ Oluşan bombelik traşlanarak çukur açılır. ✓ Açılan çukur bitüm karışımı ile doldurulur.
Kaplama Agregası Kaybı	✓ Agreganın asfalt ısısı düştükten sonra serilmesi. ✓ Yola serilen agreganın ıslak veya tozlu olması. ✓ Agreganın geç sıkıştırılması. ✓ Sıkıştırmada kullanılan ekipmanın uygun olmaması. ✓ Kaplamanın yapımından hemen sonra hızlı trafik geçmesi. ✓ Uygulanan asfaltın yetersiz kalması. ✓ Hatalı silindir seçimi ve yüzeyin düzgün olmaması nedeni ile yüzeyde sıkışmamış kesimlerin kalması.	✓ Bozuk kesimler yüzeysel kaplama ile yenilenir.

Çizelge A.1 (Devam): Esnek üstyapılardaki bozulma tipleri, muhtemel oluşum nedenleri ve onarım yöntemleri.

Çizgisel Agrega Kaybı	✓ Püskürtme çubuğunun uygun olmayan yükseklikte bulunması durumunda püskürtmenin istenen şekilde olmaması. ✓ Püskürtme çubuğunun yanlış açıda tutulması, püskürtme çubuğu üzerindeki memelerin tıkalı olması, püskürtme çubuğunun bakım eksikliği. ✓ Asfaltın uygun olmayan hızla ve düşük basınçla yola dökülmesi. ✓ Asfaltın sıcaklığının düşük olması. ✓ Genellikle distribütör yükünün azalması nedeniyle asfaltın dökülme yüksekliğinin değişmesi. ✓ Kötü işçilik .	✓ Bozuk kesimler yüzeysel kaplama ile yenilenir.
----------------------------------	--	--

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Erkan HANLI

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul-1982

Adres: Karadolap Mahallesi Gül Sokak Işık Apt. B Blok D:13 Eyüp/İstanbul

Lisans Üniversite: Yıldız Teknik Üniversitesi

Erkan HANLI, 15 Nisan tarihinde İstanbul da doğdu. Lise öğrenimini Eyüp Yabancı Dil Ağırlıklı Otakçılar lisesinde tamamladı. 2000 yılında Trakya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazanarak, 2002 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat mühendisliği bölümüne yatay geçiş yaparak buradaki lisans eğitimini 2004 yılında tamamladı. 2005 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı Ulaştırma Programında yüksek lisans eğitimine başladı. Ayrıca 2001 yılında ikinci üniversite programı dahilinde başladığı Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme Bölümü lisans eğitimini 2008 yılında tamamladı. Lisans eğitimini tamamladıktan sonra, özel bir inşaat firmasında saha mühendisi olarak 7 ay çalıştı. 2007 yılında Okmeydanı Darülaceze Müessesesi Müdürlüğüne inşaat mühendisi olarak işe başladı ve teknik işler müdür yardımcısı olarak bu kurumda görevine devam etmektedir.