

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ

**MEKANİSTİK AMPİRİK ÜSTYAPI TASARIMIN
MEVCUT BİR YOLDA KULLANILMASI VE
BAKIM/ONARIMIN PERFORMANSA ETKİSİ**

Yüksek Lisans Tezi

BURAK İNANLI

İSTANBUL, 2016

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ**

**MEKANİSTİK AMPİRİK ÜSTYAPI TASARIMIN
MEVCUT BİR YOLDA KULLANILMASI VE
BAKIM/ONARIMIN PERFORMANSA ETKİSİ**

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Adnan ÇORUM

BURAK İNANLI

İSTANBUL, 2016

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ

Tezin Adı: Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarımın Mevcut bir Yolda Kullanılması ve Bakım/Onarımın Performansa Etkisi

Öğrencinin Adı Soyadı: Burak İNANLI

Tez Savunma Tarihi: 23/05/2016

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Doç. Dr. Nafiz ARICA
Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Aybike Öngel
Program Koordinatörü

Bu Tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri _____

İmzalar

Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Adnan ÇORUM

Üye
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ÖZDEMİR

Üye
Yrd. Doç. Dr. Zeynep ŞENER

TEŐEKKÜR

Bu çalıőmamda tez yürütücülüğünü üstlenen ve çalıőmamın her aşamasında bana yol gösteren, en zorlandığım zamanda bize destek veren çok değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Adnan ÇORUM' a, tez süresi boyunca sürekli desteğini esirgemeyen sevgili dostum İnşaat Mühendisi İ. Altan KARAHACIOęLU' na, hayatımdaki önemli kararlarda emeği geçen Yük. Harita Müh. Levent GÜR' e, lisans – yüksek lisans öğrenimim boyunca bilgilerini aktaran ve üzerimde emeği olan tüm saygıdeğer hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak desteğini her zaman yanımda hissettiğim ve beni bugünlere getiren çok sevgili aileme őükranlarımı sunar, hayatıma güzellikler katan sevgili eőim Gülmelek İNANLI' ya ve canım kızım Asya' ya sevgilerimi iletirim.

İstanbul, 2016

Burak İNANLI

ÖZET

MEKANİSTİK AMPİRİK ÜSTYAPI TASARIMIN MEVCUT BİR YOLDA KULLANILMASI VE BAKIM/ONARIMIN PERFORMANSA ETKİSİ

Burak İNANLI

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Adnan ÇORUM

Mayıs 2016, 78 Sayfa

Yeni yol üstyapısının projelendirilmesinde amaç, proje süresi boyunca, üzerinden geçen trafiği, büyük deformasyonlara, çatlamalara maruz kalmadan, güvenli bir şekilde taşıyabilecek üstyapının toplam kalınlığının ve tabakaların tek tek kalınlıklarının belirtilmesi, kullanılacak malzemelerin özelliklerinin saptanmasıdır.

Bu çalışmada O-3 Bağlantı yolu için İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Müdürlüğünden 2010- 2015 yıllık ve 2016 günlük ortalama trafik değerleri esas olmak üzere, alınan verilere dayanarak esnek üstyapıların projelendirilmesi amaçlanmıştır. Bu projelendirme ASSHTO metodu kullanılarak gerekli tabaka kalınlıkları hesaplanmıştır. Aşınma, binder, temel ve alttemel tabakalarının her birinin eldeki verilerle kalınlıkları belirlenmiştir. O-3 Bağlantı yolunun mevcut durumu incelenerek bakım/onarım yöntemleri belirtilmiş ve bakım onarımın servis kabiliyetine etkisi incelenmiştir. Böylece yol üzerine gelen yükler ve maruz kaldığı etki esas alınarak yol üstyapı tasarımı gerçekleştirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Üstyapı Tasarım, AASHTO, Bakım/Onarım, Servis Kabiliyeti,
Mekanistik-Ampirik

ABSTRACT

MECHANISTIC EMPIRICAL PAVEMENT DESIGN IN AN EXISTING ROAD USE AND MAINTENANCE / REPAIR THE EFFECT OF PERFORMANCE

Urban Systems and Transport Management

Thesis advisor: Yrd. Doç. Dr. Adnan ÇORUM

May 2016, page 78

The aim in the design of new pavements, throughout the project duration, passing through traffic, large deformation, from exposure to cracking, safely of the total thickness of the body to hold and specifying the individual thickness of the layers is to determine the properties of the materials to be used.

In this study, O-3 connection path to the Istanbul Metropolitan Municipality Directorate of Traffic as a basis for 2010- 2015 and the 2016 annual average daily traffic value, aimed to design the flexible pavement based on the data received. This design required layer thickness was calculated using AASHTO method. Wear, binder, base and subbase layer thickness is determined by each of the available data. O-3 connection path examined the current status of the maintenance / repair methods given effect to repair and maintenance service capabilities were examined. So that loads on roads and pavements exposed to effects based on the design will be realized.

Keywords: Pavement Design, AASHTO, Maintenance / Repair, Service Capability, Mechanistic-Empirical

İÇİNDEKİLER

TABLOLAR.....	i
ŞEKİLLER.....	ii
KISALTMALAR.....	iv
SEMBOLLER.....	v
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	2
2.1 KARAYOLU.....	2
2.1.1 Yolların Sınıflandırılması.....	3
2.2 YOL ALTYAPISI.....	3
2.3 YOL ÜSTYAPISI VE ÇEŞİTLERİ.....	4
2.3.1 Rijit Yapılar.....	4
2.3.2 Esnek Yapılar.....	5
2.4 ÜSTYAPI TASARIMI – AASHTO METODU.....	6
2.4.1 AASHTO Tasarım Prosedürlerinin Gelişimi.....	6
2.4.2 Ampirik Metot.....	7
2.4.3 Mekanistik Metot.....	7
2.4.4 Mekanistik-Ampirik Metot.....	7
2.5 ÜSTYAPI YÜZEY BOZULMALARI.....	8
2.5.1 Yorgunluk (Timsah) Çatlakları.....	8
2.5.2 Blok, Yansıma ve Enine (Termal) Çatlaklar.....	10
2.5.3 Boyuna Çatlaklar.....	12
2.5.4 Kenar Kırılması.....	13
2.5.5 Tekerlek İzi.....	14
2.5.6 Çukurlar.....	15
2.5.7 Sökülme ve Aşınma.....	16
2.5.8 Ondülasyon, Ötelenme ve Yoğrulma.....	17
2.6 ÜSTYAPILARIN BAKIMI.....	17
2.6.1 Çatlak Dolgu.....	17
2.6.2 Karartma Tabakası.....	18
2.6.3 Harç Tipi Örtme Tabakası (Slurry Seal).....	19

2.6.4 Sathi Kaplama Tabakası.....	21
2.6.5 İnce Koruyucu Kaplama Tabakası.....	22
2.7 ÜSTYAPILARIN ONARIMI.....	22
2.7.1 Yamalar.....	23
2.7.2 Yapısal PCC Kaplamaları.....	23
3. VERİ VE YÖNTEM.....	25
3.1 KARAYOLLARI ESNEK ÜSTYAPILAR PROJELENDİRME REHBERİ.....	25
3.2 ÇALIŞMA VE UYGULAMA ALANI.....	26
3.3 O-3 BAĞLANTI YOLU ÜSTYAPISININ TASARIMI.....	28
3.3.1 Proje Süresinin Seçimi.....	28
3.3.2 Trafik Analizleri ve Trafiğin Hesaplanması.....	29
3.3.3 Taşıt Eşdeğerlilik Faktörünün Belirlenmesi.....	33
3.3.4 Şerit Dağıtma Faktörünün Belirlenmesi.....	33
3.3.5 Toplam Standart Dingil Sayısının Bulunması.....	34
3.3.6 Güvenirlilik.....	35
3.3.7 Servis Kabiliyeti.....	36
3.3.8 Taban Malzemesinin Özellikleri.....	37
3.3.9 Üstyapı Sayısı Yardımı ile Tabaka Kalınlıklarının Tespiti.....	40
3.3.10 İzafi Mukavemet Sayıları.....	43
3.3.11 Drenaj.....	44
3.4 TRAFİK KATEGORİLERİNE GÖRE ÜSTYAPI KOMPOZİSYONLARI.....	44
3.5 ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN ÜSTYAPI TASARIMINA ETKİSİ.....	48
3.5.1 Donma Etkisi.....	48
3.5.1.1 Proje donma indeksi (D_i).....	51
3.5.1.2 Don penetrasyon derinliği (X_D).....	51
3.5.2 Hidrolik Şartlar.....	52
3.5.3 Zemin Şişmesi.....	54
3.5.3.1 Şişme oranı sabit.....	55
3.5.3.2 Potansiyel düşey yükselme(V_R).....	55

3.6 PERFORMANS İLE BAKIM / ONARIM ARASINDAKİ İLİŞKİ	56
3.6.1 Performans Gözlemleri.....	58
3.6.2 Bakım / Onarım Metodunun Seçilmesi.....	62
3.6.3 Bakım / Onarım Yapılması Durumuna Göre Performans Analizi.....	64
3.6.4 Üstyapı Takviye Tabakalarının Hazırlanması.....	67
4. BULGULAR.....	70
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	72
KAYNAKÇA.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	79



TABLolar

Tablo 3.1: Proje – Analiz seçim tablosu.....	28
Tablo 3.2: Trafik sayımları.....	29
Tablo 3.3: Yıllık trafik artış katsayısı.....	30
Tablo 3.4: Toplam araç sayısı.....	33
Tablo 3.5: Taşıt eşdeğerlik faktörü.....	34
Tablo 3.6: Hesap şeridi faktörü.....	34
Tablo 3.7: Tavsiye edilen güvenilirlik değeri.....	36
Tablo 3.8: CBR değerine göre elastisite modülü değeri.....	38
Tablo 3.9: Zemin tipine göre elastisite modülü değeri.....	39
Tablo 3.10: İzaflı mukavemet katsayısı.....	43
Tablo 3.11: R=%85 Güvenlik için uygulanacak üstyapı kalınlıkları.....	45
Tablo 3.12: Mevcut tabaka kalınlıklarına göre SN değeri.....	46
Tablo 3.13: Projelendirilen tabaka kalınlıklarına göre SN değeri.....	47
Tablo 3.14: 7 yıl sonundaki $T_{8,2}$ değeri.....	47
Tablo 3.15: Dona hassas olmayan malzeme özellikleri.....	49
Tablo 3.16: Dona hassas zeminlerin sınıflandırılması.....	50
Tablo 3.17: Esnek üstyapılar puanlama tablosu.....	59
Tablo 3.18: Esnek üstyapılar için üstyapı durumu puanlama tablosu.....	60
Tablo 3.19: Çatlak bakım metodunun seçimi.....	62
Tablo 3.20: Yüzey bozulmaları bakım metodunun seçimi.....	63
Tablo 3.21: SN değerine göre servis kabiliyet değişim tablosu.....	64
Tablo 3.22: $y=0,999\ln(x)+0,068$ denklem tablosu.....	66

ŞEKİLLER

Şekil 2.1: Tipik bir yol en kesit elemanları.....	3
Şekil 2.2: Rijit üstyapıların tabakaları ve gerilme dağılımı.....	5
Şekil 2.3: Esnek üstyapıların tabakaları ve gerilme dağılımı.....	5
Şekil 2.4: Timsah sırtı çatlakları.....	8
Şekil 2.5: Timsah sırtı çatlaklarına örnek.....	9
Şekil 2.6: Blok çatlakları.....	10
Şekil 2.7: Blok çatlaklarına örnek.....	11
Şekil 2.8: Yansıma çatlaklarına örnek.....	11
Şekil 2.9: Enine (termal) çatlaklara örnek.....	12
Şekil 2.10: Boyuna çatlak.....	12
Şekil 2.11: Boyuna çatlaklara örnek.....	13
Şekil 2.12: Kenar kırılması.....	13
Şekil 2.13: Kenar kırılmasına örnek.....	14
Şekil 2.14: Tekerlek izine örnek.....	15
Şekil 2.15: Çukura örnek.....	16
Şekil 2.16: Sökülme ve aşınma örneği.....	16
Şekil 2.17: Çatlak dolgu türleri.....	18
Şekil 2.18: Çatlak dolgusuna örnek.....	18
Şekil 2.19: Karartma tabakası uygulama şekli.....	19
Şekil 2.20: Karartma tabakasına örnek.....	19
Şekil 2.21: Mikro asfalt betonu karışım makinesi.....	20
Şekil 2.22: Mevcut kaplama üzerine yapılan sathi kaplama tipleri.....	21
Şekil 2.23: İnce koruyucu kaplama çeşitleri.....	22
Şekil 2.24: Derin yamaya örnek.....	23
Şekil 2.25: Whitetopping-ince tesviye betonu uygulama şekli.....	24
Şekil 3.1: O-3 Bağlantı yolu harita görüntüsü.....	26
Şekil 3.2: O-3 Bağlantı yolunun en kesiti.....	27
Şekil 3.3: O-3 Bağlantı yolunun boy kesiti.....	27
Şekil 3.4: O-3 Bağlantı yolunun güncel görüntüsü.....	27
Şekil 3.5: Proje ve analiz süreleri grafiği.....	28

Şekil 3.6: Güvenirlilik dağılım grafiği.....	36
Şekil 3.7: Servis kabiliyeti grafiği.....	37
Şekil 3.8: Esnek üstyapılar projelendirme abağı-1.....	41
Şekil 3.9: Esnek üstyapılar projelendirme abağı-2.....	42
Şekil 3.10: Türkiye don indeksi ve don penetrasyon derinliği haritası.....	53
Şekil 3.11: Üstyapıda dona karşı önlem gerekliliğinin belirlenmesi.....	54
Şekil 3.12: Şişme oranı sabiti.....	55
Şekil 3.13: Potansiyel düşey yükselmenin (V_R) bulunamsı.....	56
Şekil 3.14: Performans eğrisi.....	57
Şekil 3.15: İyileştirme ve yenileme yapılan üstyapının performans eğrisi.....	58
Şekil 3.16: Üstyapı puanına göre bakım/onarım yöntemleri.....	61
Şekil 3.17: SN=4,49 değerine göre servis kabiliyeti değişim grafiği.....	65
Şekil 3.18: SN=5,58 değerine göre servis kabiliyeti değişim grafiği.....	65
Şekil 3.19: Bakım yapılarak değiştirilmek istenen servis kabiliyeti grafiği.....	66
Şekil 3.20: Mevcut üstyapının bakım sonucunda değişen servis kabiliyet grafiği.....	67
Şekil 3.21: Takviye tabakalı performans grafiği.....	68
Şekil 3.22: Takviye tabakası sorunları ve geosentetik uygulama.....	69

KISALTMALAR

AASHTO	: Amerikan Devlet Karayolları ve Taşımacılık Görevlileri Derneği
CBR	: Kaliforniya Taşıma Oranı
CL	: Siltli Kil
HMA	: Sıcak Karışım Asfalt
IRI	: Uluslar arası Pürüzlülük İndeksi
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
PCC	: Portland imentolu Beton
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
P	: Üstyapı Puanı

SEMBOLLER

İzafi mukavemet katsayısı	:	a
Kohezyon katsayısı	:	c
Tabaka kalınlığı	:	D
Donma indeksi	:	D_i
Trafik artış katsayısı	:	f
Kuru birim ağırlık	:	g_d
Doğal birim ağırlık	:	g_n
Trafik yönü	:	i
Likit limit	:	LL
Granüler tabakaların drenaj katsayısı	:	m
Elastisite modülü	:	M_R
Yer altı suyu derinliği	:	N
Şerit dağıtma faktörü	:	η
İlk servis kabiliyeti	:	P_0
Plastisite indeksi	:	PI
Plastik limit	:	PL
Son servis kabiliyeti	:	P_t
Trafik artış oranı	:	r
Emniyet gerilmesi	:	σ
Toplam standart sapma	:	S_0
Üstyapı sayısı	:	SN
Toplam standart dingil sayısı	:	$T_{8.2}$
Taşıt eşdeğerlilik faktörü	:	TEF
İlk günlük trafik	:	t_i
Proje trafiği	:	t_p
Yıllık proje trafiği	:	T_p
Son günlük trafik	:	t_s
Potansiyel düşey yükselme	:	V_R
Don penetrasyon derinliği	:	X_D
Standart normal sapma	:	Z_R

1. GİRİŞ

Ülkemizde ulaşım genelde karayolu taşımacılığı ile yapılmaktadır. Yük ve yolcu taşımacılığında öncelik verilen ulaşım türlerinden olan karayolu aynı zamanda yatırım, işletme ve bakım maliyetleri açısından da en önde gelendir. Karayolu maliyetlerinin büyük bir kısmını yol üstyapısı oluşturur. Yol üstyapısını etkileyen faktörler incelediğinde trafik ve iklim şartlarına bağlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Ekonomik ve yüksek performanslı yol için, trafik ve iklim şartlarının en iyi şekilde tahmin edilmesi ve oluşan koşullar altında üstyapı tabakalarının davranışlarını belirleyebilen modeller geliştirmek ve uygulamak ile mümkün olabilir.

Ülkemizin gelişen ekonomisini ele aldığımızda, ekonomik yatırımların haricinde bakım maliyetlerinin de en uygun koşullarda olması gerekmektedir. Mevcut otoyol, bağlantı yolları ve şehir içi yolların trafik sayımları, iklim şartları, tabaka kalınlıkları ve malzeme özellikleri dikkate alınarak düzenleme yapılmalı, bakım periyotları ve bakım metotları belirlenerek uygulamaya geçilmelidir.

Üstyapının modellenmesinde Karayolları Genel Müdürlüğü, karayolu projelendirme rehberi olarak AASHTO-93 (*American Association of State Highway and Transportation Officials – Amerikan Devlet Karayolu ve Taşımacılık Görevlileri Derneği*) rehberinde açıklanan esnek üstyapılar projelendirme rehberi esas almıştır.

Bu çalışmada esnek üstyapıları projelendirme rehberi kullanılarak mevcut bir yolun günümüzdeki trafik ve iklim şartlarına göre projelendirilmesi, bakımı ve onarımı ele alınacaktır. Çalışmada ayrıca mevcut yol ile projelendirilen yolun farkı irdelenecek ve çözüm önerileri sunulacaktır. Bakım ve onarım çalışmalarında projelendirilen yolun bakımı ile mevcut yolun günümüzdeki bakımı ve aralarındaki farklara değinilecektir. Böylece mevcut yolun daha da iyi performans verebilmesi için öneriler getirilmeye çalışılacaktır.

Çalışma alanı olarak; İstanbul'un merkezinden geçen Fatih, Bayrampaşa, Esenler ve Bağcılar ilçelerini kapsayan Vatan caddesinde başlayarak İstoç mevkiinde son bulan O-3 Bağlantı yolunu seçilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 KARAYOLU

Her türlü taşıt ve yaya ulaşımı için kamunun yararlanmasına açık olan arazi şerididir. Karayolunu ulaşım amacı ile tek başlarına veya birlikte kullanan motorlu veya motorsuz taşıtlar ile yayaların yol üzerindeki hareketleri ise karayolu trafiğini oluşturur.

Yolcu ulaşımında başlangıç ve varış noktaları, yük taşımacılığında ise üretim ve tüketim noktaları arasında direk ulaşımı sağlayan, taşıma kapasitesi ve güzergah bakımından esnek olan ve belli mesafelere kadar daha hızlı taşınabilmesi karayolu taşımacılığının başlıca özellikleridir. Bu özelliklerinin yanı sıra, aktarmalı taşımanın söz konusu olduğu demiryolu, denizyolu ve hava taşımacılığı ile entegreli olarak çalışması da karayolunun en büyük avantajlarından. Bu özelliklerinden dolayı dünyada büyük ilgi görmüş ve hızla artmıştır.

Karayolu taşımacılığının avantajlarına karşılık; petrole dayalı enerjiyi tüketimi, hava kirliliğine sebep olması, yaşanan trafik kazalarının getirdiği büyük maddi ve manevi kayıplar, trafik tıkanıklıkları gibi sonuçlar ise karayolunun olumsuzluklarıdır.

Türkiye’ de ise Cumhuriyet dönemi öncesi ve sonrasındaki demiryolu taşımacılığından sonra II. Dünya savaşından sonra karayoluna yönelim başlayarak yatırım ve taşımacılık bu yönde büyüme göstermiştir. 1950 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü’nün kurulması ile ülke çapında teşkilatlanmış, yola yapım ve bakım çalışmalarına başlanmıştır (www.ubak.gov.tr).

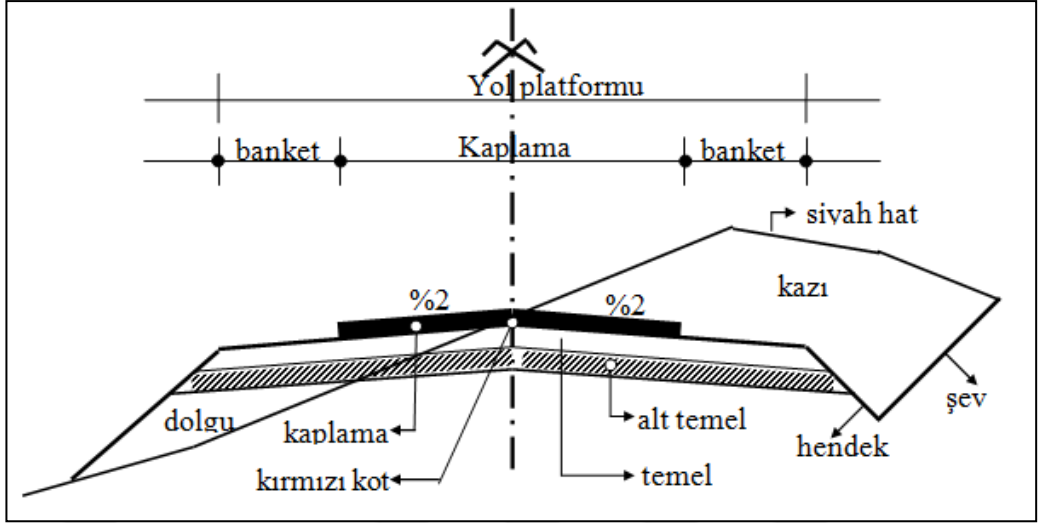
Karayolunu ise tipik olarak Şekil 2.1 de verilen kısımlardan oluşmaktadır.

Platform: Yolun enine yönde bölüntüsüz tamamıdır.

Kaplama: Trafiğin emniyetli seyri için temel tabakası üzerine beton, asfalt, taş parke gibi malzemelerle yapılmış kısımdır. Taşıtların seyrettiği asıl kısımdır.

Banket: Yol yüzeyinin motorlu araçların gidiş gelişine ayrılan kısmı dışında kalan yerine göre malzeme koymaya, yaya, hayvan vb. geçişine ve araçların durmasına ayrılan kısımdır.

Şekil 2.1: Tipik bir yol en kesit elemanları



Kaynak: <http://www2.aku.edu.tr/~icaga/dersler/img/karayolu.pdf> [Erişim Tarihi: 20.04.2015]

2.1.1 Yolların Sınıflandırılması

İdari olarak karayolları 3 sınıfa ayrılmaktadır;

Otoyollar, Üzerinde yaya, hayvan, at arabası hareketi kesinlikle yasaklanmış, motorlu taşıtların giriş ve çıkışlarının akan trafiği hiçbir şekilde kesmeyecek biçimde, sadece ayrılma ve katılma olarak düzenlenmiş, diğer yollarla bağlantısı alt ve üst geçitler şeklinde farklı düzeyde kavşaklarla sağlanmış yollardır.

Devlet Yolları, Türkiye'deki nüfus yoğunluğu fazla olan ana yerleşim birimlerini birbirine bağlayan yollara denir.

İl Yolları, Devlet yolları kapsamına giren ana yollar dışında, aralarında bağlantı bulunmayan illeri birbirine bağlamak için kullanılan yollara denir.

2.2 YOL ALTYAPISI

Yolun toprak işi sonunda, daha önceden saptanan kot ve enkesit şekline getirilmiş kısmına altyapı denir. Yoldaki toprak işlerini (kazı, dolgu, ariyet, depo) ve sanat yapılarını kapsayan kısımdır. Menfez, drenaj tesisleri ve istinat duvarı gibi sanat yapıları da alt yapı içine girer.

2.3 YOL ÜSTYAPISI VE ÇEŞİTLERİ

Yolun trafik yüklerini taşımak ve bu yükü taban zemininin taşıma gücünü aşmayacak şekilde taban yüzeyine dağıtmak üzere alt yapı üzerine inşa olunan ve alt temel, temel ve kaplama tabakalarından oluşan kısma denir.

Alt Temel Tabakası, Tesviye yüzeyi üzerine serilen ve genellikle kum, çakıl, taş kırığı, yüksek fırın cürufu vb. daneli (granüler) malzemeden inşa olunan tabakadır.

Bu tabaka ile;

- a. Kaplamadan gelen trafik yükleri yayılmış olur.
- b. Su ve tesirine karşı tampon tabaka görevi görür ve kaplamanın bozulmasını önler.
- c. Birim fiyatı daha fazla olan temel tabakasının kalınlığı azaltılmış olur ve bu suretle ekonomi sağlanmış olur.

Bazı durumlarda bu tabaka kullanılmayabilir.

Temel Tabakası, Kaplama tabakasının hemen altına yerleştirilen daneli veya uygun bir malzeme ile işlem görmüş malzeme tabakasıdır. Alt temel ve taban zeminine gelen basınç gerilmelerini kabul edilebilir bir seviyeye düşürmek ve belirli bir esneklik sağlayarak kaplamanın kırılmasını önlemek gibi işlevleri vardır. Bu yüzden temel tabakası fiziksel ve mekanik özellikleri iyi olan (seçme) malzemelerden teşkil edilir.

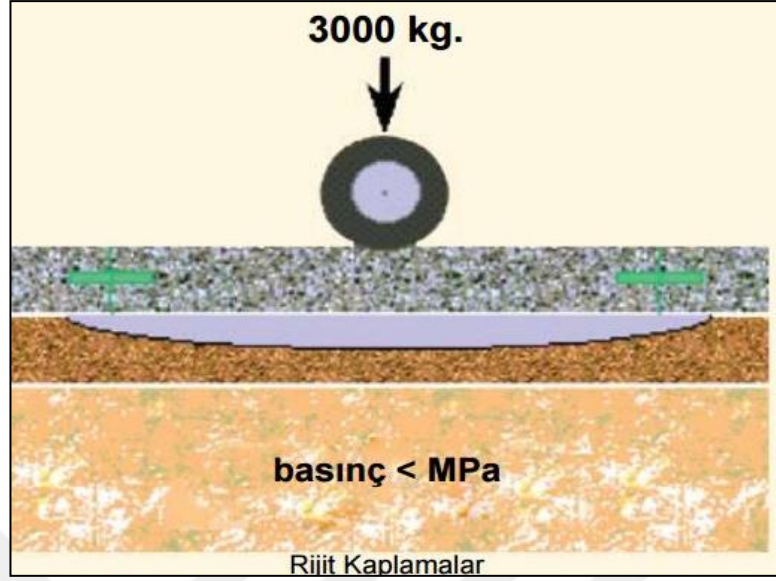
Kaplama, Temel tabakası üzerine inşa olunan ve trafiğin doğrudan doğruya temas ettiği, bitümlü karışımlar, beton, parke vb. malzeme ile yapılan tabakaya kaplama adı verilir.

Üzerinde seyreden trafiğin güvenliği, konforu, hacmi ve kompozisyonu gibi faktörlerin yanı sıra ekonomiklik, iklim, bölge koşullarına uygunluk gibi faktörlerin de dikkate alınması suretiyle projelendirilir ve inşa edilir. Yol üstyapıları, oluşturdukları malzemeye bağlı olarak iki ana gruba ayrılır (Giriş 2007, ss. 1-7).

2.3.1 Rijit Üstyapılar

En üstteki tabakası portland çimento bağlayıcılı betondan olan ve altta da çok kere granüler bir temel veya alt temeli bulunan üstyapı şeklindedir. Beton yolun taşıma kapasitesi, elastisite modülü ve dolayısıyla rijitliği çok yüksek olan beton plağın eğilme direncine dayanır. Yük altındaki beton plak eğilir ve yük, esnek kaplamaya oranla daha büyük bir alana yayılır (Şekil 2.2) (Giriş 2007, ss. 1-7).

Şekil 2.2: Rijit üstyapıların tabakaları ve gerilme dağılımı

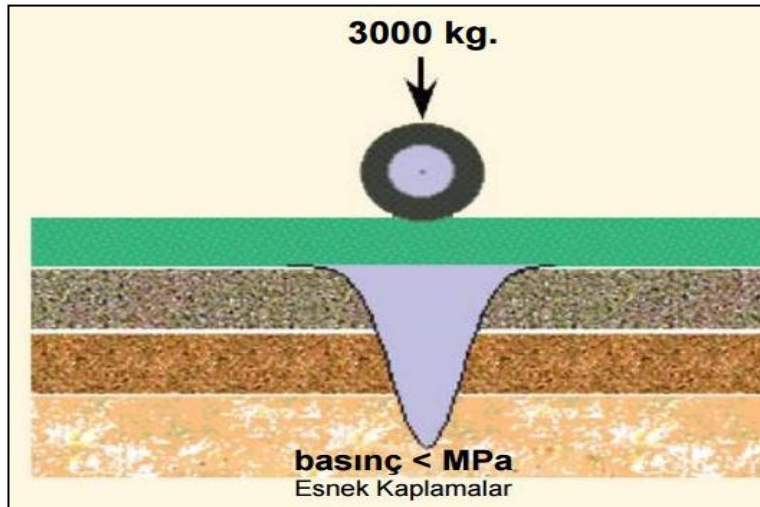


Kaynak: <http://www.murattoztasarim.com.tr/component/k2/item/13.html>

2.3.2 Esnek Üstyapılar

Kaplama tabakası bitümlü karışımdan, temeli bitümlü veya granüler malzemeden, alttemeli de granüler veya kırma malzemeden oluşan yapılardır. Çok tabakalı bir sisteme sahip olan bu yapılar, üzerlerine gelen tekerlek yükü altında deforme olur ve her tabaka, üzerine gelen yükü, bir alttaki tabakaya biraz daha yayarak iletir. Böylece doğal zemine (altyapıya) ulaşan yük, büyük bir alana yayılmış olur ve esas taşıyıcı olan altyapı, yüksek gerilmelere maruz kalmaz (Şekil 2.3) (Giriş 2007, ss. 1-7).

Şekil 2.3: Esnek üstyapıların tabakaları ve gerilme dağılımı



Kaynak: <http://www.murattoztasarim.com.tr/component/k2/item/13.html>

2.4 ÜSTYAPI TASARIMI - AASHTO METODU

AASHTO Tasarım metodunda yapısal tasarım (tabaka kalınlıkları ve cinsi) ve yükleme şartlarının (dingil yükü ve tekerrür sayısı) kaplamaya olan etkileri ve kaplama performansının yük tekerrürleri altındaki değişimi esas alınmaktadır. Bu nedenle Amerika’ da AASHTO tarafından 1958 ile 1960 yılları arasında yapılan yol deneyleri sonucunda AASHTO proje komitesi tarafından 1961 yılında “AASHTO Rijit ve Esnek Üstyapıların Projelendirilmesi Geçici Rehberi” yayınlanmıştır. AASHTO’ nun ve hazırlanan geçici rehberin temel amaçlar şunlardır;

- a. Farklı büyüklükte ve yapılandırmadaki üstyapının aks yükü ve tekrar sayılı arasındaki ilişkiyi bulmak,
- b. Üstyapı davranışını belirlemek için gerekli birimlerde veri toplamak ve rapor önermek,
- c. Gelecekteki yolların tasarımı için denemeler, test prosedürleri, veriler, tablolar, grafikler ve formüllerin geliştirilmesine takiben daha konforlu yolların üretilmesidir.

2.4.1 AASHTO Tasarım Prosedürlerinin Gelişimi

- a. 1958 – 1960 yılları arasında yollarda AASHTO tarafından deneyler yapıldı.
- b. 1961 yılında ilk kez AASHTO Rijit ve Esnek Üstyapıların Projelendirilmesi Geçici Rehberi yayınlandı.
- c. 1972 yılında AASHTO geçici rehberi revize edildi.
- d. 1981 yılında rijit üstyapı tasarımını içeren kısım gözden geçirildi.
- e. 1993 yılında tasarım süreci kavramıyla AASHTO Üstyapı tasarım kılavuzu yayınlandı. Bu rehberde özellikle üstyapının bakım ve onarımı konularında ilaveler yaparak üstyapı projelerinde malzeme parametresi olarak esneklik modülünü kullanmıştır.
- f. 1998 yılında rijit üstyapıların tasarımı üzerinde duruldu ve AASHTO 93 tasarım kılavuzuna ek yapıldı. Bu aşamada AASHTO tasarım kılavuzu mekanik metot ilkesi ile tanıştı.
- g. 2002 de AASHTO Mekanistik-Ampirik metot ile üstyapı tasarımına yeni bir başlangıç yapmış oldu.

Türkiye’ de Karayolları Genel Müdürlüğü ilk kez 1969 yılında o zaman ki ismi ile Araştırma Fen Heyeti Müdürlüğü tarafından hazırlanarak “ Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirmesine Ait Fenni Şartname” adı altında yayınlamıştır. Daha sonra 1984 yılında “ Karayolları Esnek Üstyapıları Projelendirme Rehberi” AASHTO 72 projelendirme kriterleri esas alınarak düzenlenmiştir. Son olarak TUBİTAK’ ın da destekleriyle esneklik modülünü ülkemize uyarlamış ve mekanistik-ampirik metoda geçiş sağlanarak 2008 de aynı isimle projelendirme rehberi yayınlamıştır.

2.4.2 Ampirik Metot

Gözlem ve tecrübeye dayalı olan bir metottur. Yolun iklim ve trafik yükleri karşısında deformasyonunu gözlemleyen ve gözlem sonucundaki verilere göre tecrübe edilen, önlemler alan ve iyileştirmeler yapan tasarım metodudur.

2.4.3 Mekanistik Metot

Tamamen bilimsel bir yaklaşım olup malzemenin temel özelliklerinin bilinmesi gerekir. Yolda kullanılan malzemelerin elastisite modülü, CBR değeri gibi özelliklerin bilinmesi ve iklim şartları, trafik yükleri, dingil tekerrür sayıları, gerilme teorileri gibi sayısal değerlerin bir denklem ve abaklar yardımı ile sonuca gidilmesi metodudur.

2.4.4 Mekanistik – Ampirik Metot

Mekanik ve ampirik metotların karışımıdır. Üstyapının tepkilerini ilişkilendirmek için ampirik yöntemler kullanılır. Yüklere maruz kalan üstyapının matematiksel modeller kullanarak mekanik faktörler içeren yanıtını belirlemek için kullanılır.

2.4.4.1 Mekanistik - Ampirik metodun faydaları

- a. Bu tasarım yalnızca tabaka kalınlığı tasarımı için değil yapısal ve malzeme konuları hakkında da bilgi vermektedir.
- b. Bu yöntem güvenlik ve iklimsel etkiler konusunda detaylı bir tasarım yapmaktadır.
- c. Trafik özelliklerindeki değişkenleri işlemek için daha iyi bir sistemi vardır.
- d. Saha çalışmaları ve laboratuvar bilgileri tahmin yeteneği yüksektir.

- e. İşlevselliği, kalitesi ve yol durumunun yanı sıra hasara da dayanır.
- f. Mevcut kaplama malzemeleri dahil edebilmektedir.

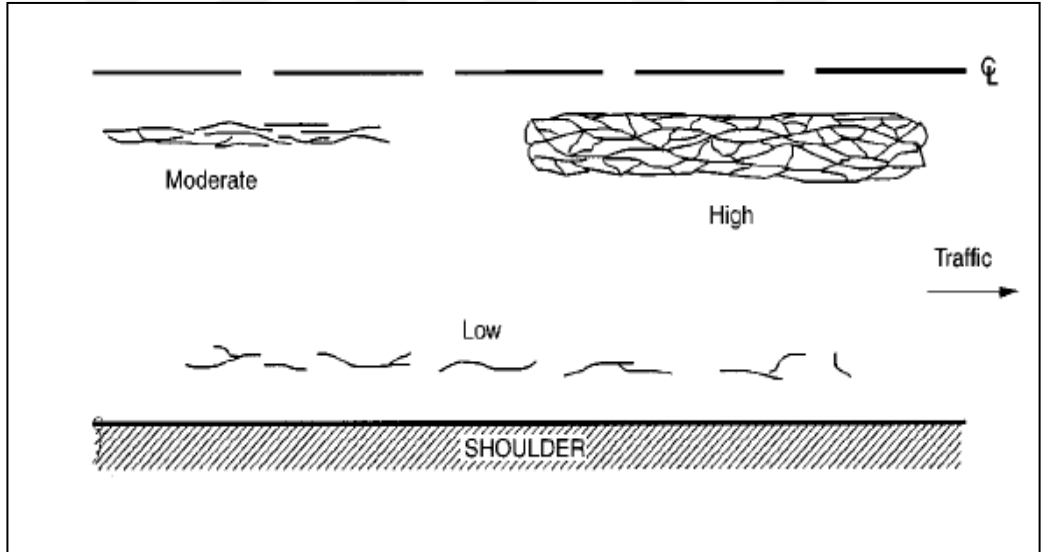
2.5 ÜSTYAPI YÜZEY BOZULMALARI

Bu bölümde asfalt üstyapı bozulma sınıfları kısaca tartışılmış ve alt başlıklar halinde tanımlanmıştır. Bu tanımlar Karayolları Genel Müdürlüğü'nün yayınladığı esnek üstyapılar projelendirme rehberine verilere uygundur.

2.5.1 Yorgunluk (Timsah) Çatlakları

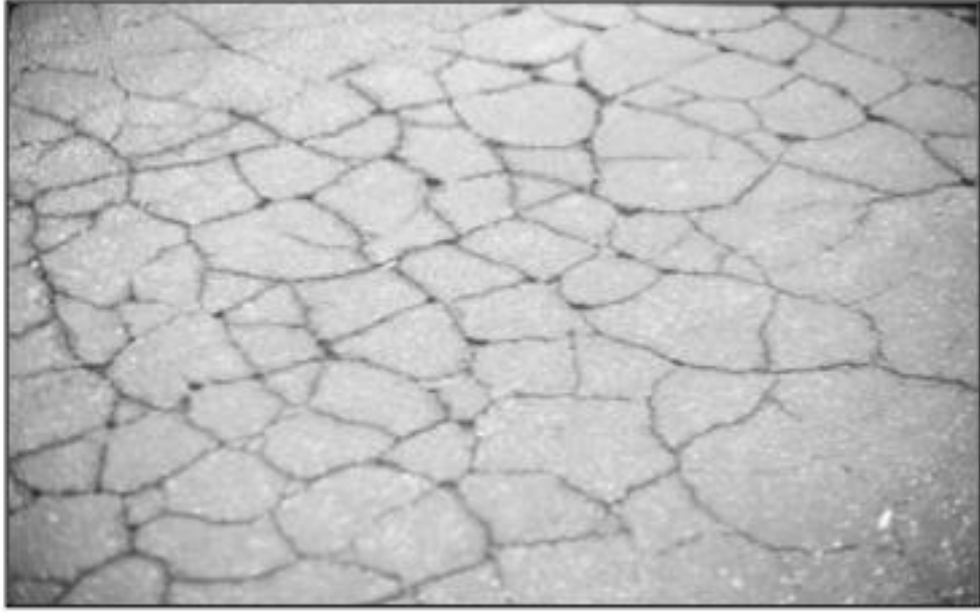
Yorgunluk diğer adı ile timsah sırtı çatlakları, asfalt yüzeyinin yorulması sonucu meydana gelir. Oluşma şekli önce yollara paralel olarak çatlama gibi görünse de timsah derisini andıran şekilde çatlaklar birbiri içine ağ oluşturarak ilerler. Özellikle bölgesel aksaklık ve çukurların olduğu, en zayıf yerlerde daha fazla görülmektedir.

Şekil 2.4: Timsah sırtı çatlakları



Kaynak: Mustafa KARAŞAHİN (2015) BSK Kaplamalı Yollarda Bozulmalar

Şekil 2.5: Timsah sırtı çatlaklarına örnek



Kaynak: www.asphaltinstitute.org/asphalt-pavement-distress-summary

Timsah sırtı çatlaklarını etkileyen faktörler şunlardır:

- a. Üstyapının aşırı trafik yükleri ve tekerrür sayısı altında kalması
- b. Üstyapının tasarımı (tabaka malzemeleri ve kalınlıkları)
- c. Kalite ve taşıyıcı temel homojenliği
- d. Asfalt betonunun kıvamı
- e. Bitüm içeriği
- f. Hava boşlukları ve asfalt karışımındaki agreganın karakteristik özelliği
- g. Bölgenin iklimi (sıcaklık, sıcaklık farkı, yağış vb.)

Asfalt betonunun yorulma ömrü için hatırı sayılır sayıda laboratuvar çalışması yapılmıştır. Ancak kullanılan başarısız kriterler ve laboratuvar testlerinde yorulma ömrü için göz önüne alınması gereken etkiler (sabit stres veya sabit gerilme) asfalt betonunun davranışını açıklayamaya yetmemiştir. Sabit stres testi, yorulma ömrünün artması için asfalt çimentosundaki ya da karışımın özelliklerindeki sertliğin (kıvamının) artması gerektiğini önermektedir (örneğin daha düşük penetrasyon, yüksek akışkanlık). Sabit gerilme testi ise tersini önermektedir: daha az kırılmalı karışımların daha uzun yorulma ömrü sergilediklerini (örneğin daha yüksek penetrasyon, düşük viskozite).

Şekil 2.7: Blok çatlaklarına örnek



Kaynak: www.asphaltinstitute.org/asphalt-pavement-distress-summary

Blok, Enine ve Yansıma çatlakları asfalt betonunun seçimi veya iklimin sert geçmesindeki sıcaklık farkları ile oluşur. Çatlaklar üst yapı yüzeyinin düşük sıcaklıklarda asfalt betonunun büzüşmesinden kaynaklanır. Bu çatlaklarını en aza indirmek için yüksek sıcaklıklara duyarlı düşük sertlikte bir asfalt betonu kullanılması (yüksek penetrasyon) gerekmektedir.

Şekil 2.8: Yansıma çatlaklarına örnek



Kaynak: www.asphaltinstitute.org/asphalt-pavement-distress-summary

Şekil 2.9: Enine (Termal) çatlaklara örnek

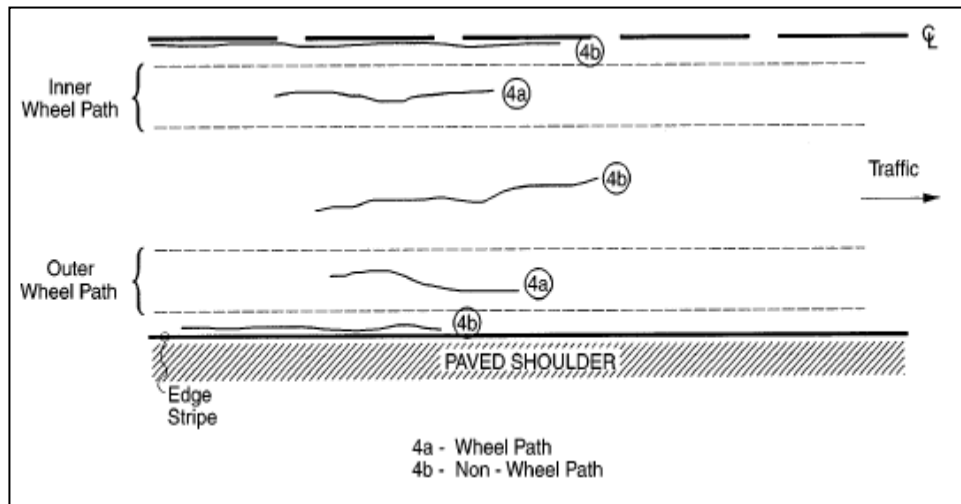


Kaynak: www.asphaltinstitute.org/asphalt-pavement-distress-summary

2.5.3 Boyuna Çatlaklar

Şerit çizgisine paralel olarak oluşan çatlaklardır. Boyuna derz bırakma hatalarından ve dolgunun hareket etmesinden meydana gelebilir. Boyuna çatlaklar ağır yük veya yüksek lastik basıncı nedeni ile de oluşabilir. Bu durumlarda saha çalışmalarında boyuna çatlakların tekerlek izi ve tekerlek izi olmayanları ayırt etmek önemlidir. Sadece tekerlek izi boyunca çatlama üstyapıya etki eden yük ile ilgili olup hasarın boyutunu değerlendirmede timsah çatlakları ile birlikte düşünülmelidir.

Şekil 2.10: Boyuna çatlaklar



Kaynak: Mustafa KARAŞAHİN (2015) BSK Kaplamalı Yollarda Bozulmalar

Şekil 2.11: Boyuna çatlaklara örnek

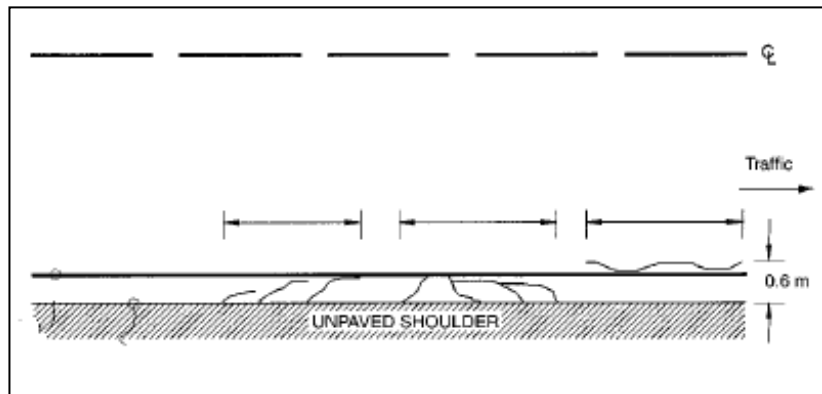


Kaynak: www.movea.com.tr/asfalt-bozulmalari-neden-olusur

2.5.4 Kenar Kırılması

Kaplamasız banket olması durumunda destek yetersizliğinden, ağır trafik yüklerinden ve drenaj eksikliğinden meydana gelebilir. Ay şeklinde çatlaklar veya oldukça sürekli çatlaklar şeklinde oluşarak 0,6 m ye kadar kaplamaya doğru ilerler. Kenar kırılmalarına donma etkisi, kaplama kenarındaki yetersiz taşıma gücü, üst yapıdaki ve banketteki yetersiz drenaj ve trafiğin banket kenarına yakın seyretmesi etki etmektedir.

Şekil 2.12: Kenar kırılması



Kaynak: Mustafa KARAŞAHİN (2015) BSK Kaplamalı Yollarda Bozulmalar

Şekil 2.13: Kenar kırılmasına örnek



Kaynak: www.asphaltinstitute.org/asphalt-pavement-distress-summary

2.5.5. Tekerlek İzi

Tekerlek izi sıkı olarak taban ve zeminin veya üstyapı tabakasının ya konsolidasyon yada malzeme hareketinin uzunlamasına deformasyonu nedeniyle meydana gelir. Bu deformasyondan ilgisiz olarak tekerlek izlerinin nedeni çivili lastik ve lastik zincirleri nedeniyle aşınma olmasıdır. Deformasyon katmanların altındaki tabanda meydana gelir ve asfalt betonunun kalınlığı, alt tabakaların kalınlığı ve stabilitesi, taban zeminin kalitesi ve muntazam olması hatta sayısı ile trafiğin uyguladığı yüklerin büyüklüğü ile ilgilidir.

Sadece asfalt beton tabakasında deformasyon oluşabilir. Bunun nedeni konsolidasyon veya plastik akıştır. Konsolidasyon, asfalt betonunun uygulanan trafik yükleri altında sıkışmasıdır. Çok kalın olarak tasarlanmış asfalt beton tabakalarında yüksek miktarda hava boşlukları içerdiği ve bu durumun uzun vade de iyi sıkıştırılmayan asfalt tabakalarında önemli ölçüde tekerlek izi üretebildiği tespit edilmiştir.

Şekil 2.14: Tekerlek izine örnek



Kaynak: Mike Johans, John Craig (2002) Pavement maintenance manual

Plastik akış çoğunlukla karışımdaki asfalt oranının yüksek olması, yuvarlak agrega kullanımı ve/veya yapım sürecinde yetersiz sıkıştırma neticesinde oluşur. Asfalt betonunun sertliği, kademeli oluşu ile agreganın köşeli olması, kaba dokulu olması asfalt karışımlarının çatlama direncinde nispeten küçük bir rol oynadığına inanılmaktadır. Daha sert asfalt betonları çatlama direncini arttırabilir. Ancak sert karışımlar soğuk havalarda çatlama daha yatkındır.

2.5.6 Çukurlar

Bir çukur yaklaşık 15 ila 90 santimetre arasında, asfalt kaplama yapısının bir veya birden fazla tabakasında çanak şeklindeki deliktir. Çukurlar asfalt betonunun timsah çatlaklarının kırık bölgelerinde zamanla tekerlerin yerinden oynatması ile oluşmaya başlar. Bu çukurların içinde su birikir ve çevresindeki desteği zayıflatarak taban ve zeminin içine nüfuz eder. Böylece etkilerle beraber çukurun boyu ve derinliği artar.

Şekil 2.15: Çukura örnek



Kaynak: www.asphaltinstitute.org/asphalt-pavement-distress-summary

2.5.7 Sökülme ve Aşınma

Sökülme ve aşınma yüzeyden aşağıya doğru agrega parçalarının kaybı ve ayrışması sonucunda asfalt beton yüzeyinin ilerici bozulmasıdır. Sökülme ve aşınma agreganın bitüm ile bağ kaybı sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu bağ kaybına neden olan etmenler bitümlü sıcak karışım içerisindeki kil topaklanmaları veya killi agregalar, yüksek boşluk yüzdesi, yetersiz bitüm yüzdesi, yaşlanma nedeni ile asfaltın sertleşmesidir. Sökülme ve aşınma yüzeyinde bozulan alanlarda bir güvenlik tehlikesi olabilir. Bu yerlerde suyun toplanması tekerlek ile yüzeyin temasının azalmasına (hydroplaning) veya tekerleğin boş dönmesine neden olabilir.

Şekil 2.16: Sökülme ve aşınma örneği



Kaynak: www.asphaltinstitute.org/asphalt-pavement-distress-summary

2.5.8 Ondülasyon, Ötelenme ve Yoğrulma

Boyuna yönde genellikle taşıtların durma noktalarında veya ivmelenmeye başladıkları hareket noktalarında oluşur. Tabakaların birbiri üzerinde kaymasından, iki tabaka arasında yeteri kadar bağ oluşmamasından kaynaklanabilmektedir. Asfalt karışımının stabilitesinin yetersizliği, karışımın serilmesi sırasında serim ve sıkıştırma hataları, ağır trafik altında suya doygun granüler tabakaların varlığı (drenaj), ince agrega oranının yüksek olması gibi etkenler bozulmanın oluşmasına ve ilerlemesine neden olabilir.

2.6 ÜSTYAPILARIN BAKIMI

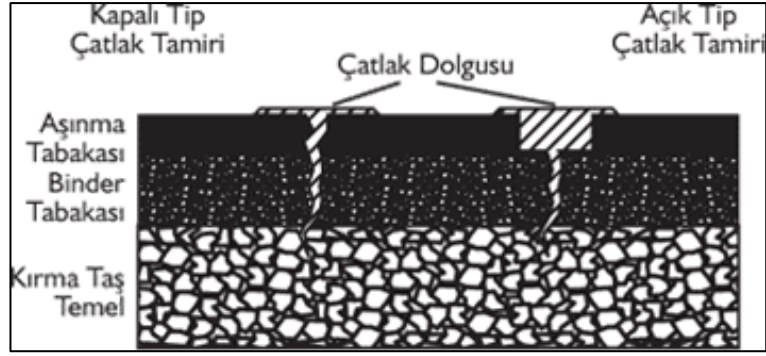
Asfalt kaplama esnek ve dayanıklı olmalıdır. Günlük düzenli trafik yükleri altında ve çevre koşulları arasında kaplama esnek davranmalıdır. Ancak zaman içinde en sağlam asfalt bile bozulmaya başlayacaktır. Bakım ve onarım bozulma sürecini yavaşlatmak ve sıfırlama için çözümler sunmaktadır. Bakım eylemleri çatlak dolgu, drenaj ve yama gibi önemli hizmetlerle kaplamanın ömrünü uzatır. Onarım var olan hizmet ömrünü uzatmak ve/veya yük taşıma kapasitesini arttırmak için yapısal gelişmeler içerir. Örneğin aşınma tabakası değiştirilmesi, ayrışma ve bozulma sürecini yeni baştan başlatır. Kullanılan yöntemler ise yeni kaplama yapımı için geliştirilmiş olanlarla aynıdır.

Bu bölümde üstyapı bakım durumu, güvenlik ve sürüş kalitesini korumak ve tasarım ömrüne ulaşmada yardım için kullanılan tüm yöntem ve teknikler anlatılacaktır. Bir üstyapı performansı doğrudan aldığı bakım zamanlaması, türü ve kalitesine bağlıdır.

2.6.1 Çatlak Dolgu

Çatlak dolgu ürünleri su, kum, kir, kaya veya yabancı otlar gibi non-sıkışabilir maddelerin girişini önlemek için çatlakları doldurmada kullanılır. Çatlak dolgusu tipik olarak erken evre boyuna çatlaklar, enine çatlaklar, yansıma çatlakları ve blok çatlaklarında kullanılır. Timsah sırtı çatlakları genellikle yama veya yeniden yapılanma gibi yöntemler gerektirir. Çatlak dolgu materyalleri tipik olarak kauçuklaşmış asfalt veya kum bulamacın bir versiyonudur. Çatlak tamiratı yapılmadan önce çatlaklar dışarı yönlendirilmeli ve temizlenmelidir. Ortalama performans ömrü 3 ila 8 yıl arasında değişmektedir.

Şekil 2.17: Çatlak dolgu türleri



Kaynak: www.asfaltkaplama.com/catlaktamiriderzdolgusu

Şekil 2.18: Çatlak dolguya örnek

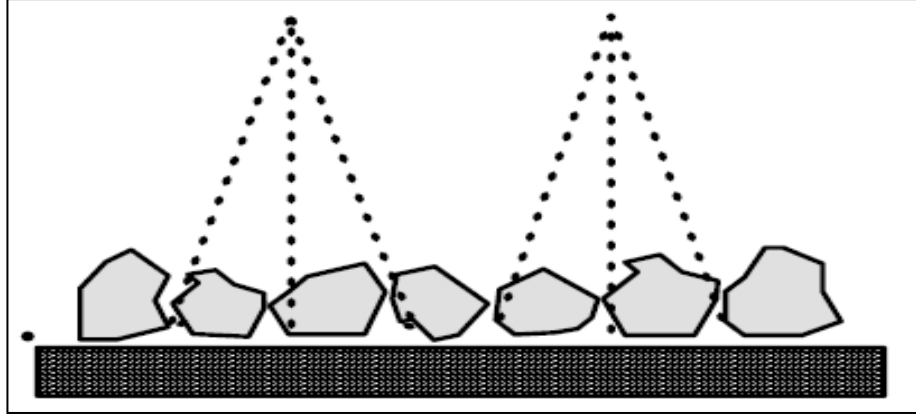


Kaynak: www.asfaltkaplama.com/catlaktamiriderzdolgusu

2.6.2 Karartma Tabakası (Fog Seal)

Yaşlı oksitlenmiş kaplama yüzeyine yavaş sertleşen seyreltilmiş asfalt emülsiyonu serpilmesidir. Asfalt emülsiyonu HMA kaplama yüzeylerinde kullanılan düşük maliyetli ve kaplama esnekliğini gere kazandıran bir yöntemdir. Geçici bir yüzey bakımı olup yapısal bakıma ihtiyacı erteler. Aşırı uygulanması durumunda orijinal HMA kaplama üstünde ince bir asfalt tabakasına neden olabilir. Bu tabaka çok düzgün teşekkül eder ve patinaj direnci kaybına neden olur. Aşırı uygulama alanları için kum serpilmesi kurtarıcı bir yöntem olarak hazır tutulmalıdır.

Şekil 2.19: Karartma tabakası uygulama şekli



Kaynak: Ahmet Türkyılmaz (2007) Esnek üstyapılı karayollarında koruyucu bakım yöntemlerinin incelenmesi

Şekil 2.20: Karartma tabakasına örnek

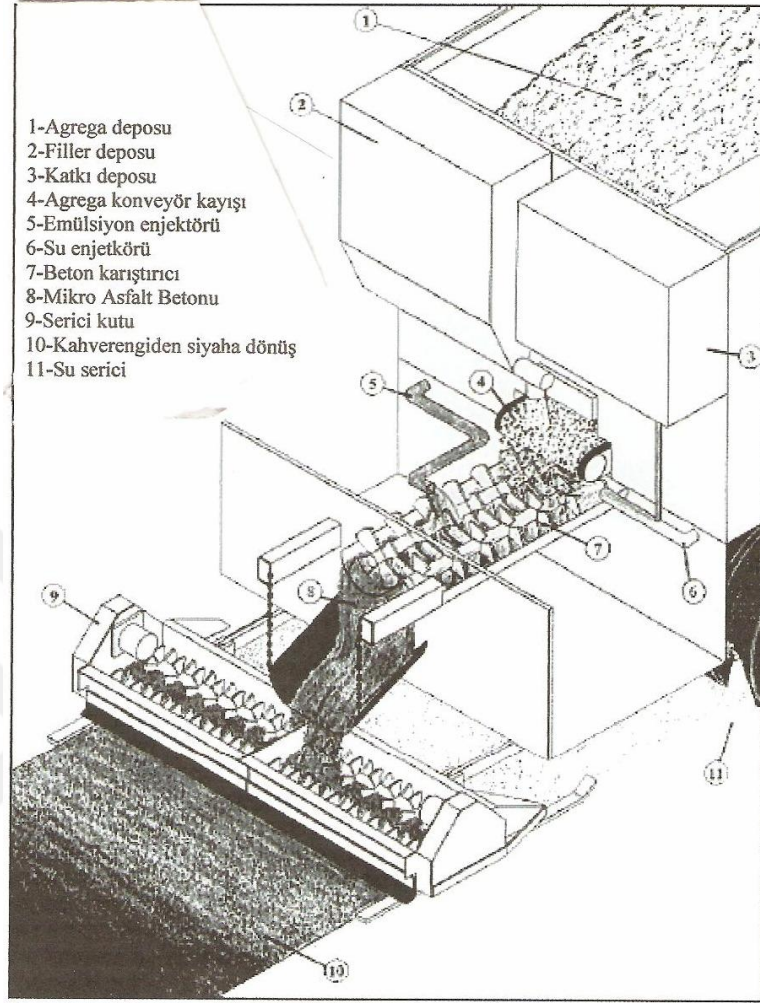


Kaynak dpw.lacounty.gov/gmed/lacroads/TreatmentFogSeal.aspx

2.6.3 Harç Tipi Örtme Tabakası (Slurry Seal)

Bu bulamaç, asfalt emülsiyonu, su, iyi derecelenmiş agrega ve mineral dolgu maddesinin krem-sıvı benzeri görünümüne sahip homojen bir karışımdır (Şekil 2.21). Bu yöntem maliyetli bir önleyici bakım olarak kullanılabilir. Mevcut yüzey kusurlarını doldurmak, oksitlenmeyi önlemek ve patinaj direncini yüksek derecede değiştirmek için kullanılır.

Şekil 2.21: Mikro asfalt betonu karışım makinesi



Kaynak: Ahmet Türkyılmaz (2007) Esnek üstyapılı karayollarında koruyucu bakım yöntemlerinin incelenmesi

Bulamaçta üç temel agrega kullanılır:

- Tip I (ince), Bu tip iyi derecelenmiş (çoğu 23,6 mm den küçük olan (No:8) elek) küçük yüzey çatlaklarını doldurmak ve mevcut kaplama yüzeyinde ince bir örtü sağlamak için kullanılır. Bazen asfalt kaplamalarında yüzey işlemlerinde hazırlık bakımı olarak kullanılır. Tip I agregası genellikle düşük trafik alanlarında kullanılır.
- Tip II (genel), Bu tip bulamaç (6,4 mm en büyük tane boyulu) en sık kullanılanıdır. Yüksek hacimli yollarda iyi performans vermektedir.
- Tip III (kaba), Bu tip en kaba derecelenmeye sahiptir ve ciddi yüzey hatalarının bakımı için kullanılır.

2.6.4 Sathi Kaplama Tabakası





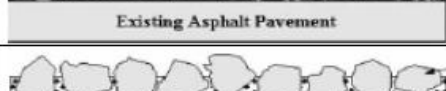

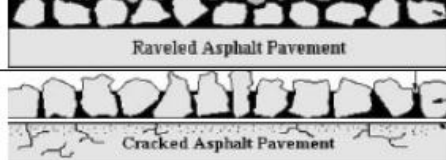
Bir sızdırmaz tabaka olarak kaplama ya da temel tabakasına tatbik edilen ince bir koruyucu aşınma yüzeyidir. Sathi kaplama altta yatan kaplamanın artan kayma direncini, mevcut çatlakları, yüzey sökümlerini, gece sürüşü için yansıyan yüzeyi ve su geçirmez tabakayı sağlayabilmektedir.

Tek katmanlı sathi kaplama aşağıdaki adımlarla inşa edilmelidir:

- Yüzey hazırlığı; Öncelikle yüzey kusurlarının (çukur) tamir edilmesi ve uygulanacak yüzeyin temizlenmesi,
- Asfalt malzeme uygulaması; Tipik haliyle bir asfalt emülsiyonu püskürtme uygulanır,
- Agrega uygulaması; Önceden belirlenen agreg malzemesinin tek düze dereceli olarak yayılması,
- Agrega gömme; Bir silindir yardımı ile asfalt malzemesinin içine agreg ve alttaki kaplamayı sıkıştırarak işlem tamamlanmış olur.

Sathi kaplama ayrıca çift kat, yayılmış tek kat, cape türü, tersine çevrilmiş, sandviç ve geotekstil ile güçlendirilmiş olmak üzere çeşitleri vardır.

Şekil 2.22: Mevcut kaplama üzerine yapılan sathi kaplama tipleri

Tek kat sathi kaplama	
Çift kat sathi kaplama	
Yayılmış tek kat sathi kaplama uygulaması	
Cape türü sathi kaplama	
Tersine çevrilmiş sathi kaplama	
Sandviç tipi sathi kaplama	
Geotekstil ile güçlendirilmiş sathi kaplama	

Kaynak: Ahmet Türkyılmaz (2007) Esnek üstü yapılı karayollarında koruyucu bakım yöntemlerinin incelenmesi

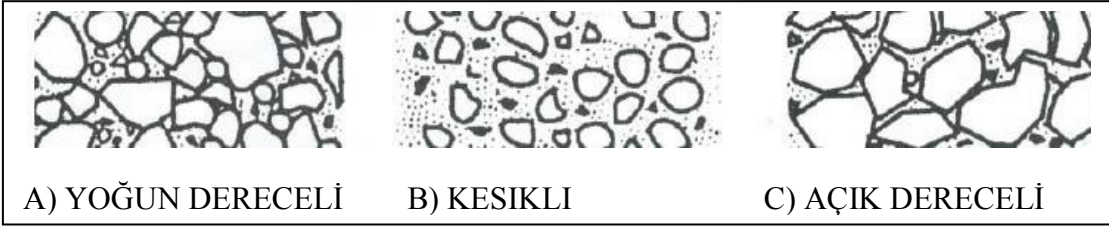
2.6.5 İnce Koruyucu Kaplama Tabakası

Koruyucu kaplama sıcak karışım kullanılarak, düzeltici ve önleyici yapısal olmayan ince bakım tabakası olarak tanımlanır. Amerika ve Türkiye’ de ince koruyucu kaplama tabakaları 37,5 mm den daha az kalınlığa sahiptir. Tarihsel olarak üç koruyucu kaplama çeşidi hem tek başına hem de diğer bakım çeşitleri ile birlikte yoğun olarak kullanılmaktadır.

- Yoğun dereceli ince kaplamalar (A ve B Tipi)
- Açık dereceli (konvansiyonel Tip O ve Tip O yüksek maddeli)
- Kesikli dereceli karışım (Tip G)

Değişik karışımlar, agrega dereceleri, bağlayıcı içeriği ve boşluklar baz alınarak tanımlanır. Şekil 2.23 de genel olarak bu karışım tipleri için agrega yapısındaki farklılıkları örneklemektedir.

Şekil 2.23: İnce koruyucu kaplama çeşitleri



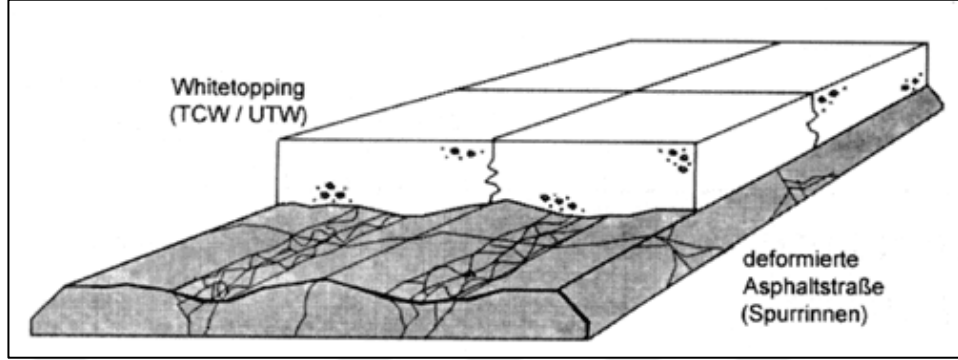
Kaynak: Ahmet Türkyılmaz (2007)Esnek üstyapılı karayollarında koruyucu bakım yöntemlerinin incelenmesi

2.7 ÜSTYAPILARIN ONARIMI

Trafik yükleri ve çevre şartlarından dolayı kaplamalar zamanla bozulmaya başlar. Bakım, bozulma hızını yavaşlatsa da bunu durdurmak mümkün değildir. Bu nedenle en sonunda bozulma etkisini sıfırlamak veya var olan kaplama malzemesini değiştirmek gerekir. Buna onarım denir. Resmi olarak onarım “önemli ölçüde kaplama durumunun, sürüş kalitesinin ve hizmet ömrünün uzamasında yararlı yapısal ya da işlevsel bir donanım” olarak tanımlanabilir.

- a. Yapışmayan PCC kaplamaları, “klasik tesviye betonu” olarak adlandırılır
- b. Yapışmış PCC kaplamaları, “ince kompozit tesviye betonu” olarak adlandırılır.

Şekil 2.25: Whitetopping – ince tesviye betonu uygulama şekli



Kaynak: www.builtconstructions.in

3. VERİ VE YÖNTEM

3.1. KARAYOLLARI ESNEK ÜSTYAPILAR PROJELENDİRME REHBERİ

Karayolları Genel Müdürlüğü' nün ilk üstyapı projelendirme rehberi, 1969 yılında, o zaman ki adıyla Araştırma Fen Heyeti Müdürlüğü tarafından hazırlanarak “Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirilmesine Ait Fenni Şartname” adı ile yayınlanmıştır. Ardından 1984 yılında “Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi” AASHTO-72 projelendirme kriterlerine göre düzenlenmiştir. Bu rehberdeki esas dikkat edilmesi gereken husus sathi kaplamalar ile asfalt betonu kaplamaların projelendirilmesi birbirinden ayrılmıştır. Ayrıca standart dingil yükü tekerrür sayısı kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra 1995 yılında takviye projelendirmesindeki eksiklikler tamamlanarak, 2001 ve 2002 yılında uygulamadaki aksaklıklar ile taşıt eşdeğerlilik faktörleri revize edilmiştir.

AASHTO tarafından 1993' te çıkarılan Mekanistik-Ampirik dizayn yöntemi kriterlerine göre Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi yenilenerek 2008 yılında yürürlüğe girmiştir.

AASHTO' nun tasarımını ülkemizdeki yönetmeliklere uyarlamak için TUBİTAK “Mekanistik-Ampirik Yol Üstyapı Tasarımında Esneklik Modülünün Şartnamelere Uyarlanması” konulu çalışma ile 2006 yılında tekrarlı yükler altında gerilme deformasyon ilişkisine bağlı olarak Esneklik Modülünü güncellemiştir.

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 mertebesi, dingil yüklerinin tekerrürü ile doğrudan orantılıdır.

AASHTO-93 rehberindeki servis kabiliyeti - davranış ilişkisine dayanan metot ile zemin taşıma gücüne, trafik yüküne, bölge-iklim koşullarına ve üstyapı tabakalarının özelliklerine bağlı olarak üstyapı tabaka kalınlıklarının bulunmasına olanak verir.

3.2 ÇALIŞMA VE UYGULAMA ALANI

İstanbul ili, Fatih, Bayrampaşa, Esenler ve Bağcılar ilçelerinin içinden geçen Vatan caddesinde başlayarak İstoç mevkiinde son bulan, mevcut O-3 Bağlantı yolunun üstyapı malzemelerinin incelenmesi ile yolun maruz kaldığı trafik ve iklim koşulları altında belirlenen performans göstergelerine göre bakım metotları, bakım periyotları gibi süreçlerin ne zaman ve ne sıklıkla yapılması gerektiği ortaya çıkarılacaktır.

O-3 Bağlantı yolunun toplam uzunluğu 8,7 km olup, 35 m genişliğindedir. Yol 1984 yılında yapımına başlanmıştır. İnşaat sürecinde 3' er şeritli geliş-gidişli bölünmüş yol olarak tasarlanmış olsa da 2015 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Müdürlüğü'nün aldığı karar ile kısmen genişletme ve orta refüj alanının daraltılması çalışmaları yapılarak 4' er şeritli yol haline getirilmiştir.

O-3 Bağlantı yolu Karayolları 1. Bölge Müdürlüğü tarafından projelendirilmiş ve ihale yöntemi ile yapım işi yapılmıştır. Bu yol otoban statüsünde olup 2006 da alınan karar ile şehiriçi yollar statüsüne geçirilmiş ve Büyükşehir Belediyesine devredilmiştir. 2006 yılına kadar tüm bakım ve onarımları Karayolları 1. Bölge Müdürlüğü tarafından yapılmış ve 2006 yılından sonra Büyükşehir Belediyesi tarafından yapılmaktadır.

O-3 Bağlantı yolunun üstyapı tasarımını incelediğimizde üstten alta doğru;

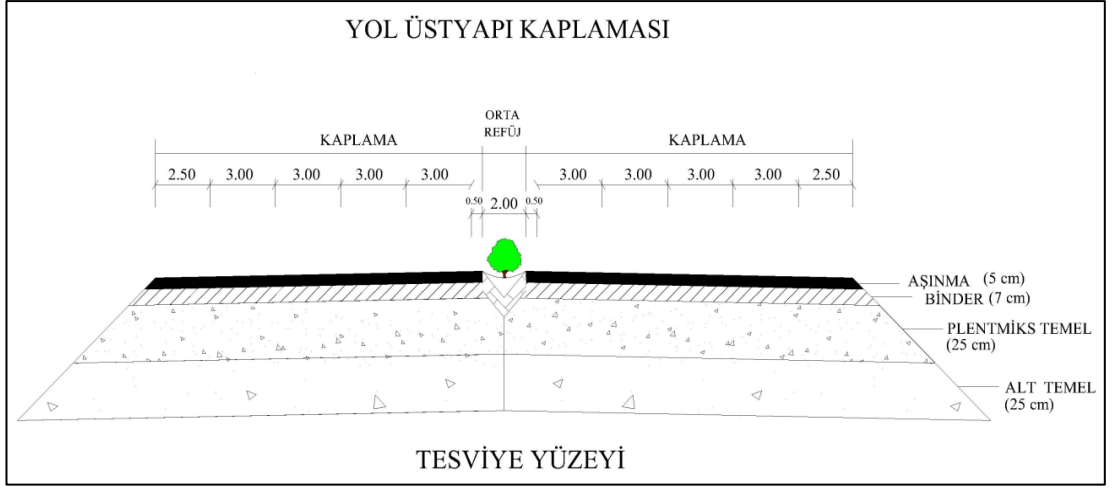
- 5 cm aşınma
- 7 cm binder
- 25 cm plentmix temel
- 25 cm alttemel vardır.

Şekil 3.1: O-3 Bağlantı yolu harita görüntüsü



Kaynak: [google earth](https://www.google.com/maps)

Şekil 3.2: O-3 Bağlantı yolunun en kesiti



Şekil 3.3: O-3 Bağlantı yolunun boy kesiti



Kaynak: [google earth](#)

Şekil 3.4: O-3 Bağlantı yolunun güncel bir görüntüsü



3.3 O-3 BAĞLANTI YOLU ÜSTYAPISININ TASARIMI

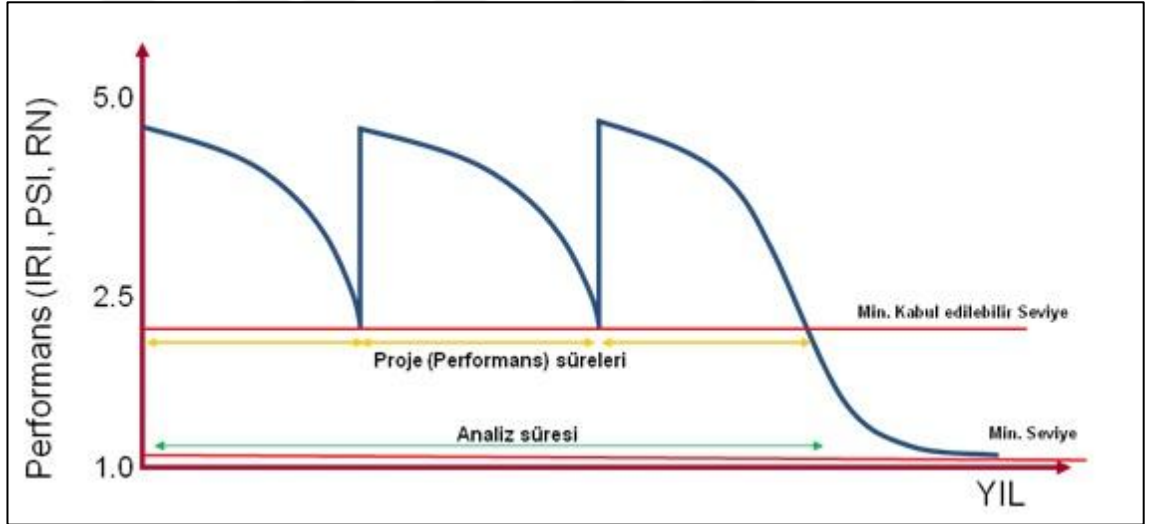
3.3.1 Proje Süresinin Seçimi

Proje Süresi (Performans): Yolun Trafığe açılacağı zaman ile ilk takviye tabakası uygulamasının planlanan zaman arasındaki yıl sayısı veya servis kabiliyetinin önceden belirlenen değere ineceği süredir.

Esnek üstyapıların proje süresi, proje mühendisi tarafından yolun kullanım biçimi ve ekonomik olanaklar göz önünde tutularak seçilir.

Analiz Süresi: İlk inşaat ve ileride yapılacak takviye dahil olmak üzere, değişik projelendirmelerin ekonomik karşılaştırmalarının yapıldığı zaman süresidir. Diğer bir deyişle, performans periyotlarının toplamıdır.

Şekil 3.5: Proje ve analiz süreleri grafiği



Kaynak: www.academia.edu/6551437/karayollarında_üst_yapı_projelendirme_rehberi

Tablo3.1: Proje – Analiz seçim tablosu

Yolun Sınıfı	Proje Süresi (yıl)	Analiz Süresi (yıl)
Otoyollar ve Devlet Yollarında	20	20-50
Sathi Kaplamalı Yollar	10	10-20

Kaynak: Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi (2008)

Buradan tasarlayacağımız O-3 bağlantı yolunun proje süresi 20 yıl olarak alınmıştır. Mevcut yolumuz 1984 yılında yapıldığından dolayı analiz süresi ise 50 yıl seçilmiştir. Söz konusu yolumuz şehrin merkezinde olduğundan yeniden yapım işi şartları ve

ekonomik durumu zorlayacağından analiz süresi proje süresinden uzun seçilmiştir. Bundan dolayı da kademeli inşaat yapı yapımı söz konusudur.

3.3.2 Trafik Analizleri ve Trafiğin Hesaplanması

Üstyapı projelendirmesinde, üstyapı kalınlıklarını etkileyen en büyük etken trafik yükleridir. Projelendirme sürecinde karayolundan geçen farklı dingil yüklerinin 8.2 ton eşdeğer standart dingil tekerrür sayısına çevrilerek trafik yükleri bulunur. Üstyapı projelendirmesinde, proje süresi boyunca hesap şeridinden geçen toplam eşdeğer standart dingil sayısı bilinmelidir. Bu nedenle, proje süresince hesap şeridinden geçecek taşıtların sayıları trafik analizleri ile bulunmalıdır. Projenin ilk senesi için tahmin edilen trafik sayıları ve yıllık trafik artış yüzdesi kullanılarak, aşağıdaki formüllerle, proje süresi için ortalama günlük proje trafiği ve toplam proje trafiği hesaplanır.

O-3 Bağlantı yolunda İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Müdürlüğü tarafından yapılan araç sayımları Tablo 3.2’ de verilmiştir. Bu sayımlar ışığında mevcut yolumuzdan dört çeşit taşıt türü geçmektedir. Bunlar kamyon, otobüs, orta yüklü ticari taşıt ve otomobillerdir. Fakat yolumuzdan ihmal edilebilecek düzeyde treyler geçmektedir. Treyler tipi araçlar hesaplarımızda ihmal edilecektir.

Tablo 3.2: Trafik sayımları

Yıllar	Trafik Sayımları
2015	24.275.766
2014	23.900.800
2013	21.321.390
2012	22.833.633
2011	19.814.626
2010	22.336.524

Araç Tipleri	Günlük Trafik
Otomobil	50.025
Orta Yüklü Tic.	11.312
Otobüs	5.790
Kamyon	3.287

Kaynak: İBB Trafik Müdürlüğü verileri

Tablo 3.3: Yıllık trafik artış katsayısı

Proje Süresi (Yıl)	Yıllık trafik artış yüzdesi (%)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2,01	2,02	2,03	2,04	2,05	2,06	2,07	2,08	2,09	2,10
3	3	3,03	3,06	3,09	3,12	3,15	3,18	3,21	3,25	3,28	3,31
4	4	4,06	4,12	4,18	4,25	4,31	4,37	4,44	4,51	4,57	4,64
5	5	5,10	5,20	5,31	5,42	5,53	5,64	5,75	5,87	5,98	6,11
6	6	6,15	6,31	6,47	6,63	6,8	6,98	7,15	7,34	7,52	7,72
7	7	7,21	7,43	7,66	7,90	8,14	8,39	8,65	8,92	9,20	9,49
8	8	8,29	8,58	8,89	9,21	9,55	9,90	10,26	10,64	11,03	11,44
9	9	9,37	9,75	10,16	10,58	11,03	11,49	11,98	12,49	13,02	13,58
10	10	10,46	10,95	11,46	12,01	12,58	13,18	13,82	14,49	15,19	15,94
11	11	11,57	12,17	12,81	13,49	14,21	14,97	15,78	16,65	17,56	18,53
12	12	12,68	13,41	14,19	15,03	15,92	16,87	17,89	18,98	20,14	21,38
13	13	13,81	14,68	15,62	16,63	17,71	18,88	20,14	21,5	22,95	24,52
14	14	14,95	15,97	17,09	18,29	19,6	21,02	22,55	24,21	26,02	27,97
15	15	16,10	17,29	18,60	20,02	21,58	23,28	25,13	27,15	29,36	31,77
16	16	17,26	18,64	20,16	21,82	23,66	25,67	27,89	30,32	33,00	35,95
17	17	18,43	20,01	21,76	23,7	25,84	28,21	30,84	33,75	36,97	40,54
18	18	19,61	21,41	23,41	25,65	28,13	30,91	34,00	37,45	41,30	45,60
19	19	20,81	22,84	25,12	27,67	30,54	33,76	37,38	41,45	46,02	51,16
20	20	22,02	24,30	26,87	29,78	33,07	36,79	41,00	45,76	51,16	57,27

Kaynak: Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi (2008)

2010-2015 yılları arasında yapılan yıllık trafik sayımlarına göre trafik artışı %2 dir. Tablo 3.3' ün yardımı ile trafik artış katsayısı bulunmuştur.

İlk yıl için trafik ve trafik artış katsayısının belirlenmesinden sonra 20 sene sonundaki günlük trafik bulunmuştur.

$$\text{İlk günlük trafik} \implies t_i = t_0(1+r)^t \quad (3.1)$$

$$\text{Son günlük trafik} \implies t_s = t_i(1+r)^t \quad (3.2)$$

$$\text{Proje trafiği} \implies t_p = 0,4343 \frac{t_s - t_i}{\log \frac{t_s}{t_i}} \quad (3.3)$$

$$\text{Yıllık proje trafiği} \implies T_p = t_p 360 t \text{ veya } T_p = T_0 * f \quad (3.4)$$

$$T_0 = t_i * 365$$

t_0 : günlük trafik sayımı r: Trafik artış oranı

Otomobil için;

$$t=1 \text{ için } t_i = 50.025(1+0,02)^1 \implies t_i = 51.026$$

$$t=20 \text{ için } t_s = 51.026(1+0,02)^{20} \implies t_s = 75.821$$

$$t_p = 0,4343 \frac{t_s - t_i}{\log \frac{t_s}{t_i}} = 0,4343 \frac{75821 - 51026}{\log \frac{75821}{51026}} = 62608$$

$$T_p = t_p 360 t = 62608 * 365 * 20 = 457.037.775 \text{ Toplam otomobil sayısı}$$

Orta Yüklü Ticari Taşıt için;

$$t=1 \text{ için} \quad t_i=11.312(1+0,02)^1 \quad \Longrightarrow \quad t_i= 11.538$$

$$t=20 \text{ için} \quad t_s=11.538(1+0,02)^{20} \quad \Longrightarrow \quad t_s= 17.145$$

$$t_p = 0,4343 \frac{t_s - t_i}{\log \frac{t_s}{t_i}} = 0,4343 \frac{5607}{0,172} = 14.158$$

$$T_p = t_p 360 t = 14.158 * 365 * 20 = 103.353.400 \quad \text{Toplam ort. Yükl. araç sayısı}$$

Otobüs için;

$$t=1 \text{ için} \quad t_i=5.790(1+0,02)^1 \quad \Longrightarrow \quad t_i= 5.906$$

$$t=20 \text{ için} \quad t_s=5.906(1+0,02)^{20} \quad \Longrightarrow \quad t_s= 8.776$$

$$t_p = 0,4343 \frac{t_s - t_i}{\log \frac{t_s}{t_i}} = 0,4343 \frac{2870}{0,172} = 7.247$$

$$T_p = t_p 360 t = 7.247 * 365 * 20 = 52.903.100 \quad \text{Toplam otobüs sayısı}$$

Kamyon için;

$$t=1 \text{ için} \quad t_i=3.287(1+0,02)^1 \quad \Longrightarrow \quad t_i= 3.353$$

$$t=20 \text{ için} \quad t_s=3.353(1+0,02)^{20} \quad \Longrightarrow \quad t_s= 4982$$

$$t_p = 0,4343 \frac{t_s - t_i}{\log \frac{t_s}{t_i}} = 0,4343 \frac{1629}{0,172} = 4.114$$

$$T_p = t_p 360 t = 4.114 * 365 * 20 = 30.032.200 \quad \text{Toplam kamyon sayısı}$$

Tablo 3.4: Toplam araç sayısı

Araç Türü	20 yılsonundaki araç sayısı
Otomobil	457.037.775
Orta Yüklü Ticari Taşıt	103.348.552
Otobüs	52.898.525
Kamyon	30.030.648
Toplam	643.315.501

3.3.3 Taşıt Eşdeğerlik Faktörünün Belirlenmesi

Ülkemizde taşıt gruplarının ve bu taşıtların taşıdıkları yükler, dingil tipleri, lastik basınçları, lastik tipleri ve hızları gibi etkenlerin birleştirilerek, projesi yapılacak yol için standart hale getirilmesidir. Böylece her tip aracın etkisinin tek tür araç gibi sonucu alınabilmektedir.

Ülkemizde karayolu ağındaki hareketli ağırlık ölçüm istasyonlarına ait trafik kategorilerinde yer alan 2000-2005 yılları arasındaki dingil yükleri analiz edilerek beş çeşit taşıt grubu için taşıt eşdeğerlik faktörleri Tablo 3.5' de verilmiştir.

3.3.4 Şerit Dağıtma Faktörünün Belirlenmesi

Projelendirmede ağır taşıtların kullandığı şerit trafiği esas alınmalıdır. Bir yöndeki ağır trafiğin diğer yöne göre daha ağır yüklü olduğu durumlarda daha ağır trafiğin oluşturduğu şerit hesap şeridi olarak alınır (Tablo 3.6).

O-3 bağlantı yolu 4x4 şeritli olduğundan şerit dağıtma faktörü 0,8 alınmıştır.

Tablo 3.5: Taşıt eşdeğerlik faktörleri

Taşıt Grubu	Taşıt Eşdeğerlik Faktörü
Treyler	4,10
Kamyon	2,90
Otobüs	3,20
Orta Yüklü Ticari Taşıt	0,60
Otomobil	0,0006

Kaynak: Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi (2008)

Tablo 3.6: Hesap şeridi faktörü

İki Yöndeki Şerit Sayısı	Şerit Dağıtma Faktörü(η)
2	1
4	0,9
6 ve daha fazlası	0,8

Kaynak: Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi (2008)

3.3.5 Toplam Standart Dingil Sayısının Bulunması

Tezin önceki bölümlerinde de belirttiğimiz gibi trafikte farklı sınıf araçlar ve bu araçların farklı dingil yükleri ve özellikleri vardır. Bu farklı sınıftaki araçların tek bir sınıfmış gibi düzenlenebilmesi için taşıt eşdeğerlik faktöründen bahsetmiştik. Taşıt eşdeğerlik faktörünün ve trafik yoğunluğunun bilinmesi ile toplam standart dingil sayısı bulunabilmektedir.

Projelendirilen yolun proje ömrü boyunca ne kadar dingil yükü altında kaldığı ve ne kadar dingil tekerrürü sonucunda bozulmaya başladığı bu yöntemle tespit edilmektedir.

$$T_{8.2} = \frac{T_p}{i} \times \eta \times TEF \quad (3.5)$$

$T_{8.2}$: Toplam standart dingil sayısı

T_p : Toplam proje trafiği

η : Şerit dağıtma faktörü

i: Trafik yönü

Otomobil için:

$$T_{8,2} = 457.037.775 * 0,0006 * 0,8/1 = 219.378$$

Orta yüklü ticari araç için:

$$T_{8,2} = 103.348.552 * 0,6 * 0,8/1 = 49.607.305$$

Otobüs için:

$$T_{8,2} = 52.898.525 * 3,2 * 0,8/1 = 135.420.224$$

Kamyon için:

$$T_{8,2} = 30.030.648 * 2,9 * 0,8/1 = 69.671.103$$

Toplam $T_{8,2} = 254.918.011 \cong$ **255 milyon dingil**

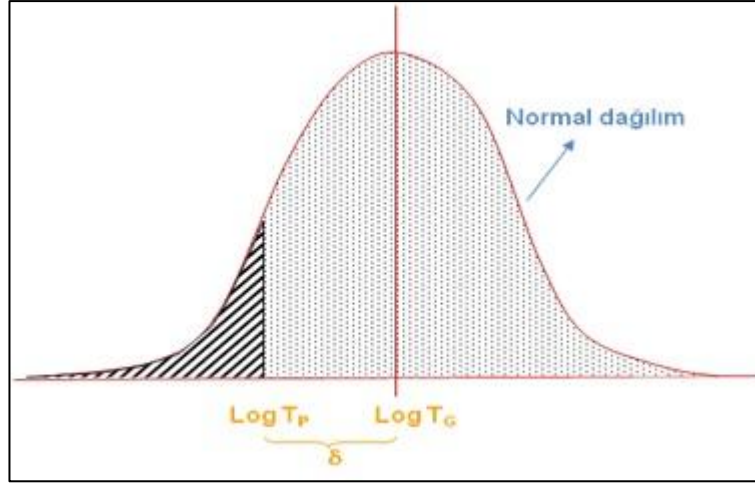
3.3.6 Güvenirlilik

Projelendirmesi yapılan üstyapıya ait proje kriterlerinin, belirlenen proje süresi boyunca trafik ve çevre koşulları altında yoldan beklenen projelendirme şartlarını karşılama olasılığıdır.

Geleceğe yönelik kabul edilen trafik tahminleri ve servis kabiliyetindeki sapmaların belirli bir sınır içerisinde tutulabilmesi için güvenilirliğin belirlenmesi gerekmektedir.

Burada yolumuzu devlet yolu olarak kabul etmekte olup güvenilirlik %85 alınmıştır.

Şekil 3.6: Güvenirlilik dağılım grafiği



Kaynak: www.academia.edu/6551437/karayollarında_üst_yapı_projelendirme_rehberi

$$\delta = \log T_G - \log T_p = Z_R \times S_o \quad (3.6)$$

Z_R : Standart normal sapma

S_o : Toplam standart sapma

Tablo 3.7: Tavsiye edilen güvenirlilik değerleri

Yolun Sınıfı	Şartname Güvenlik Değeri (R%)	Standart Normal Sapma (Z_R)
Otoyollar	95	-1,645
Devlet Yolları	85	-1,037
İl Yolu	70	-0,524

Kaynak: *Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi (2008)*

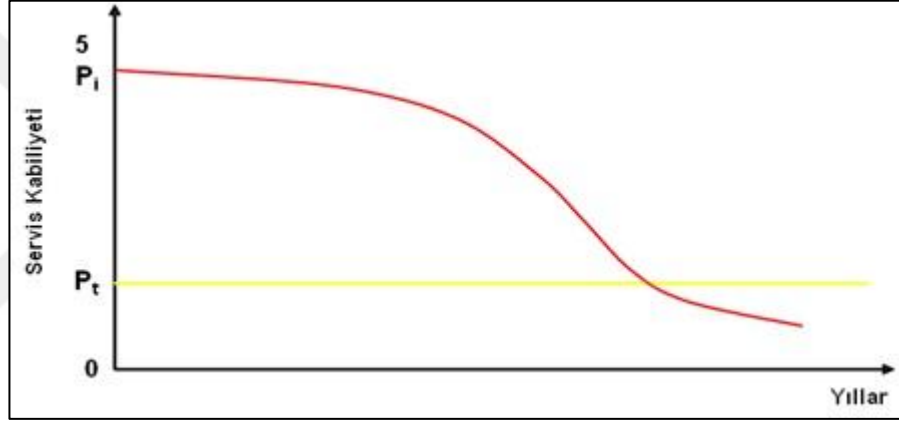
Trafik ve performans tahmininin bileşik Toplam Standart Sapma (S_o) değeri, öngörülen trafik projeksiyonunun güvenirliliğine bağlı olarak esnek üstyapılar için 0.40-0.50 arasında değişmekte olup, ortalama olarak **$S_o=0.45$** alınır.

3.3.7 Servis Kabiliyeti

Yolun yüksek hız ve hacimdeki trafiğe hizmet etme kabiliyeti olan servis kabiliyeti 0-5 arasında değişen bir değer olarak tanımlanır. En iyi servis kabiliyeti 5, en kötü servis kabiliyeti 0 dir.

Üstyapı yeni yapıldığında yolun ilk servis kabiliyeti (P_0) değeri 4,2 ila 4,5 arasında değişmektedir. Ülkemizde esnek üstyapı projelendirilmesinde genellikle 4,2 olarak seçilmektedir. Son servis kabiliyeti (P_t) ise takviye yapılmadan önceki idare edilebilecek kabiliyete kadar seçilebilir. Son servis kabiliyeti trafik hacmi ve yolun önemine göre seçilmelidir. Karayolları üstyapı tasarım kılavuzunda otoyollar (devlet yolları) ve il yolları için son servis kabiliyeti sırasıyla 2,5 ve 2,0 olarak verilmiştir. O-3 bağlantı yolunda projelendirmemiz aşamasında ilk servis kabiliyeti 4,2 son servis kabiliyeti ise 2,5 olarak seçilmiştir. Çünkü O-3 bağlantı yolu trafik hacmi açısından çok yoğun ve İstanbul' un merkezinde olduğu için önemli bir güzergahtır.

Şekil 3.7: Servis kabiliyeti grafiği



Kaynak: www.academia.edu/6551437/karayollarında_üst_yapı_projelendirme_rehberi

3.3.8 Taban Malzemesinin Özellikleri

Esnek üstyapının davranışı taban malzemesinin özellikleri ile doğrudan ilgilidir.

O-3 Bağlantı yolunun belirlediğimiz bölgedeki zemin özelliklerini incelediğimizde ise;

- Su muhtevası (W_n) : 21,16 (%)
- Doğal birim ağırlık (g_n) : 1,841 (gr/cm^3)
- Kuru birim ağırlık (g_d) : 1,519 (gr/cm^3)
- Likit limit (LL) : 43,90 (%)
- Plastik limit (PL) : 20,90 (%)
- Plastisite indeksi (PI) : 23,00 (%)
- Kohezyon katsayısı (c) : 0,533
- Emniyet gerilmesi (σ) : 1,23 (kg/cm^2)

- i. Yataklanma Katsayısı : 1350 (t/m³)
- j. Zemin tanımlaması yapılırken karbonat katkılı kum arabantlı yüksek plastisiteli “**siltli kil**” olarak adlandırılmaktadır.
- k. Zemin grubu “CL” dir.
- l. Orta sıkışabilir – Yüksek şişme özelliğindedir.
- m. 200 nolu elekten geçen 60-95 dir.
- n. Yer altı suyuna rastlanılmamıştır.

Arazide yapılan testler neticesinde California Taşıma Gücü (CBR): %20 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3.8 ve 3.9 da verilen tablolara göre taban zemini elastisite modülü (M_R) 16.000 psi seçilmiştir.

Tablo 3.8: CBR değerine göre elastisite modülü değerleri

CBR %	M_R (psi)
5	5.800
10	9.500
15	12.600
20	16.000
25	17.850
30	20.000

Kaynak: www.academia.edu/6551437/karayollarında_üst_yapı_projelendirme_rehberi

Tablo 3.9: Zemin tipine göre elastisite modülü değerleri

Malzeme Sınıflandırması	M_R Aralığı	Tipik M_R
A-1-a	38.500 – 42.000	40.000
A-1-b	35.500 – 40.000	38.000
A-2-4	28.000 – 37.500	32.000
A-2-5	24.000 – 33.000	28.000
A-2-6	21.500 – 31.000	26.000
A-2-7	21.500 – 28.000	24.000
A-3	24.500 – 35.500	29.000
A-4	21.500 – 29.000	24.000
A-5	17.000 – 25.500	20.000
A-6	13.500 – 24.000	17.000
A-7-5	8.000 – 17.500	12.000
A-7-6	5.000 – 13.500	8.000
CH	5.000 – 13.500	8.000
MH	8.000 – 17.500	11.500
CL	13.500 – 24.000	17.000
ML	17.000 – 25.500	20.000
SW	28.000 – 37.500	32.000
SP	24.000 – 33.000	28.000
SW-SC	21.500 – 31.000	25.500
SW-SM	24.000 – 33.000	28.000
SP-SC	21.500 – 31.000	25.500
SP-SM	24.000 – 33.000	28.000
SC	21.500 – 28.000	24.000
SM	28.000 – 37.500	32.000
GW	39.500 – 42.000	41.000
GP	35.500 – 40.000	38.000
GW-GC	28.000 – 40.000	34.500
GW-GM	35.500 – 40.500	38.500
GP-GC	28.000 – 39.000	34.000
GP-GM	31.000 – 40.000	36.000
GC	24.000 – 37.500	31.000
GM	33.000 – 42.000	38.500

Kaynak: S. AVCI (2006) Esnek Üstyapı tasarım yöntemlerinden AASHTO 2002 ile AASHTO 1993 yönteminin karşılaştırılması

3.3.9 Üstyapı Sayısı Yardımı ile Tabaka Kalınlıklarının Tespiti

AASHTO yol deneyleri neticesinde esnek üstyapıları projelendirilirken üstyapı tabaka kalınlıkları, servis kabiliyeti ve taban zemini özellikleri dikkate alınarak ve aşağıdaki denklem oluşturulmuştur.

$$\log(T_{8,2}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log(SN+1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log M_R - 8.07 \quad (3.7)$$

$T_{8,2} = P_t$ ' ye erişinceye kadar tekerrür edecek standart dingil (8.2 ton) sayısı

$\Delta PSI =$ Servis kabiliyetindeki azalma miktarı ($P_o - P_t$)

$Z_R =$ Standart normal sapma

$S_o =$ Toplam standart sapma

$SN =$ Üstyapı sayısı (inç)

$M_R =$ Esneklik modülü (psi)

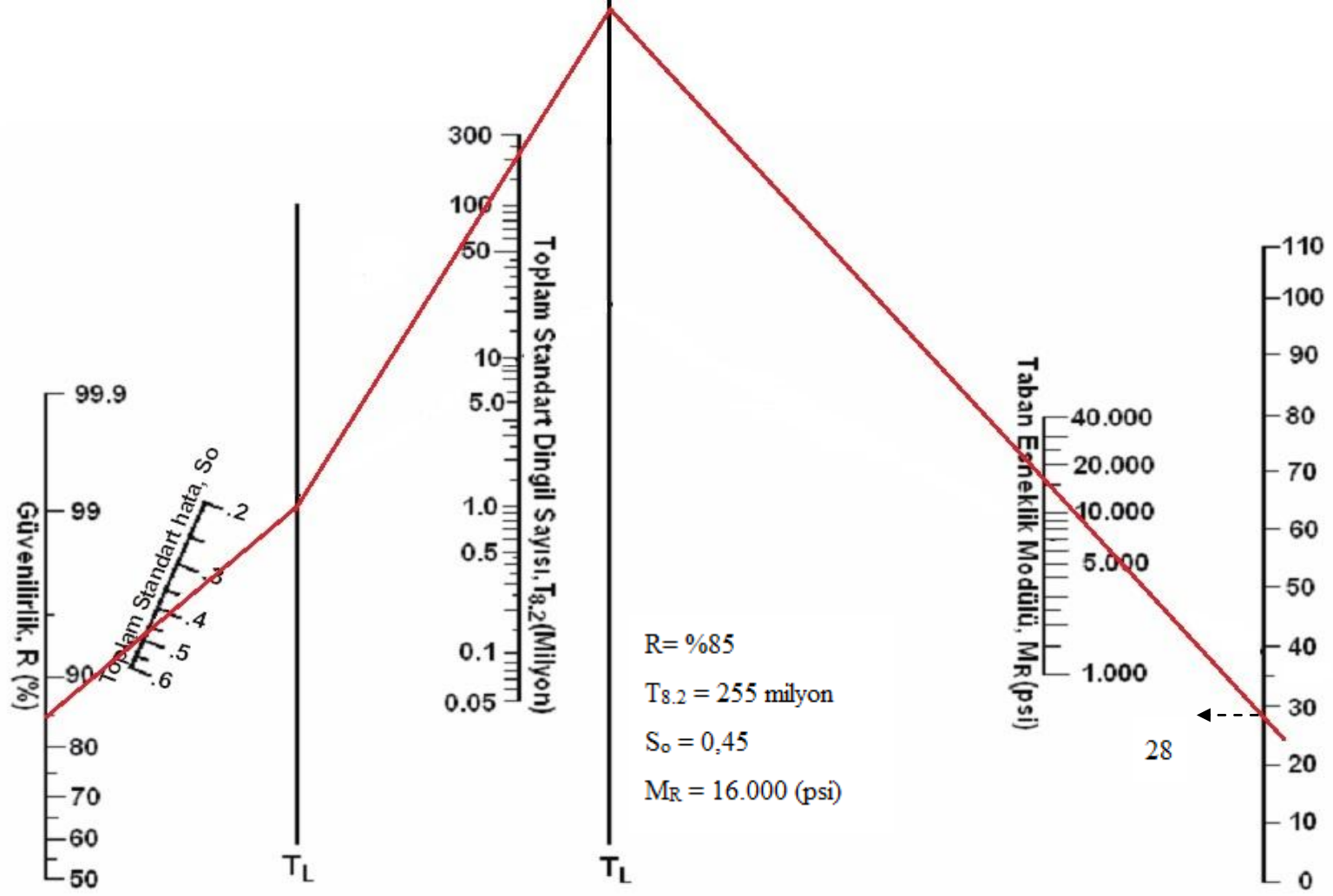
Üstyapı sayısı hesaplanması için bilinen $T_{8,2}$, Z_R , S_o , P_o ve P_t değerlerinin yardımıyla denklem çözülerek SN değeri bulunabilir veya aşağıdaki abaklar yardımı ile SN değeri tespit edilebilir.

O-3 Bağlantı yolunun mevcut trafik yükleri ve esneklik modülüne göre üstyapı sayısı Şekil 3.9 ve Şekil 3.10 daki abaklar yardımı ile 5,7 inç yani 14,48 cm bulunmuştur.

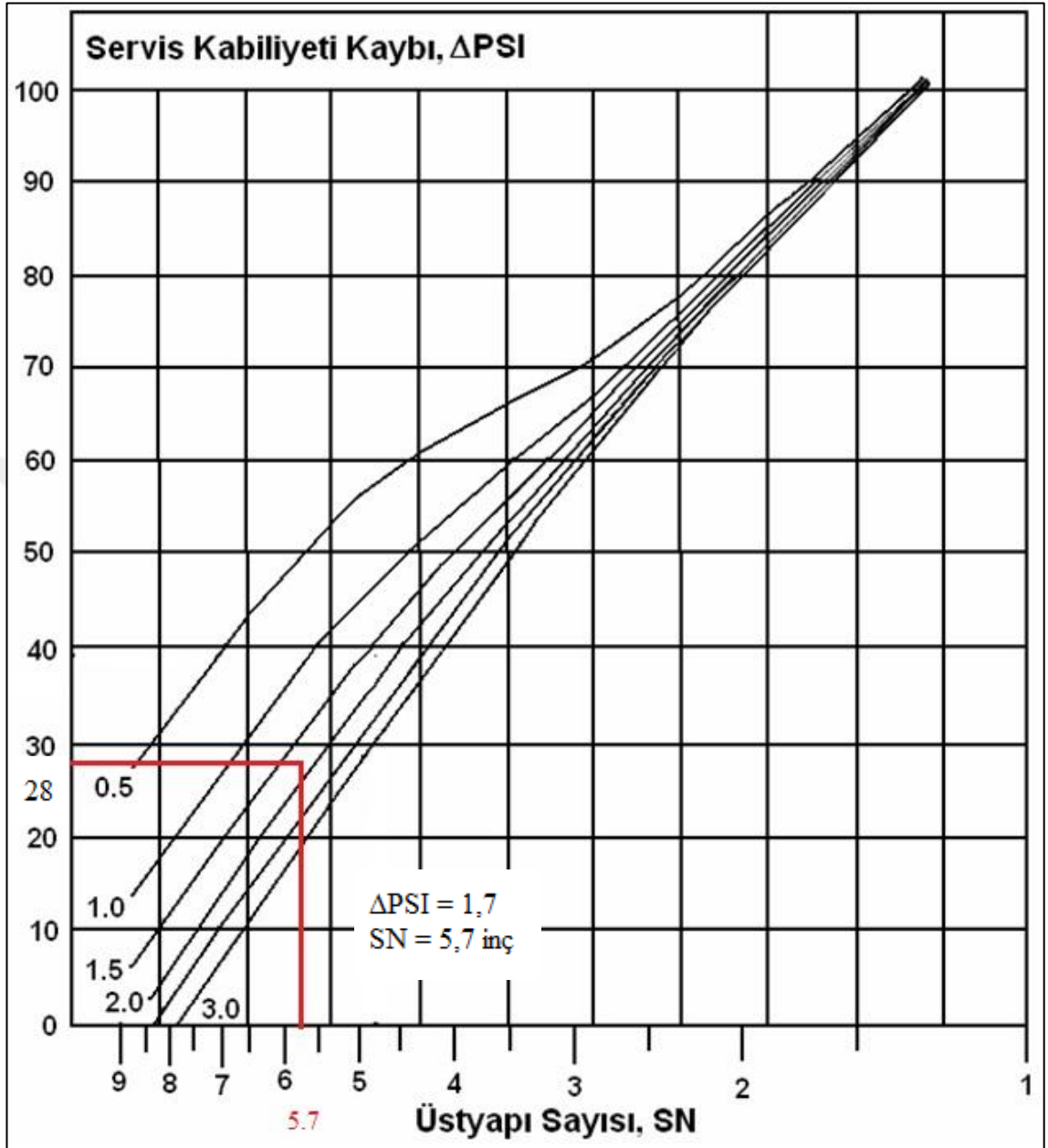
Abaklar veya denklem yardımı ile bulunan SN değeri reel tabaka kalınlıklarımız değildir.

Hesaplanan SN , üstyapı tabakalarının izafi mukavemet sayıları ile bağlantılı olarak üstyapı kalınlıklarına dönüştürülecektir. Tabaka kalınlıklarının bulunması için kullanılacak formül aşağıdaki gibidir;

Şekil 3.8: Esnek üstyapılar projelendirme abağı-1



Şekil 3.9: Esnek üstyapılar projelendirme abağı-2



$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (3.8)$$

Burada;

m : Granüler tabakaların drenaj katsayısı

a_1, a_2, a_3 : Sırasıyla kaplama, temel, alttemel tabakalarının izafi mukavemet katsayıları

D_1, D_2, D_3 : cm. cinsinden sırasıyla; kaplama, temel ve alttemel tabaka kalınlıkları

3.3.10 İzafi Mukavemet Katsayıları

Üstyapı sayısını gerçek kalınlığa dönüştürmek için üstyapıda kullanılan her bir malzemeye bir katsayı verilmektedir. Bu tabaka katsayısı, SN ile kalınlık arasındaki ampirik bağıntıyı ifade eder.

İzafi mukavemet katsayılarını ampirik bir denklem yardımı ile veya abaklar yardımı ile bulunabilir.

Karayolları genel müdürlüğü tarafından yapılan incelemeler ve çalışmalar neticesinde izafi mukavemet katsayılarını tablo olarak aşağıdaki şekilde vermiştir.

Tablo 3.10: İzafi mukavemet katsayıları

Tabaka Tipi	M.S.	CBR	SBD	a
	(kg)	%	kg/cm ²	Katsayısı
a) BSK TABAKALARI				
Taş Mastik Asfalt (TMA)				0.44
Asfalt Betonu Aşınma	900			0.42
Asfalt Betonu Binder	750			0.40
Bitümlü temel	600			0.36
b) TEMEL TABAKASI				
Çimento bağlayıcılı granüler temel			35-55	0.23
Granüler temel		100		0.14
Plent-miks temel		120		0.15
c) ALTTEMEL TABAKASI				
Kırmataş alttemel		50		0.13
Kum-çakıl alttemel		30		0.11

Kaynak: Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi (2008)

3.3.11 Drenaj

Yol üstyapısının drenaj kabiliyeti de yolun performansını etkileyen faktörlerden birisidir. Bu nedenle taban zeminlerinde yer altı su seviyesi tesviye yüzeyinin en az 150 cm altında tutulmalıdır. Bunu sağlamak için gerekli yer altı drenajı uygulanmalıdır.

Yağışların ve yüzey sularının yol gövdesine zarar vermemesi için yüzey drenajı ve gövdenin zarar görmemesi için yapım aşamasında yolun ömrü boyunca koruyacak drenaj sistemleri yapılmalıdır.

Esnek üstyapıların projelendirilmesinde drenaj etkisi, üstyapı sayısı hesaplanırken alttemel ve temel tabakaları ait oldukları parametrelerin katsayıları ile çarpılması sonucu bulunmuştur.

Ülkemizin hakim iklim şartları ve alttemel ve temel tabakalarının genellikle çakıl ve türevi kullanıldığı göz önüne alındığında drenaj katsayıları $m_i=1,0$ alınması uygun görülmüştür.

3.4 TRAFİK KATEGORİLERİNE GÖRE ÜSTYAPI KOMPOZİSYONLARI

Önceki bölümlerde de bahsettiğimiz gibi, proje süresi için hesaplanan standart dingil tekerrür sayısına ve diğer parametrelere göre bulunan üstyapı sayısını gerçek kalınlığa dönüştürmek için bulunan tabaka kalınlıklarının, alttemel üzerine gereken SN' e göre hesaplanmalı ve alttemel tabakası eklenmelidir.

Hesaplanan değişik trafik aralıklarına göre belirlenen üstyapı kalınlıkları, alttemel tabakası üzerine gereken SN itibarıyla R:%85' e göre Tablo 3.11' de verilmiştir. Tabloda görüleceği üzere üstyapı tabakaları bitümlü sıcak karışım ve plent-miks temel tabakalarını içermektedir. Alttemel tabakası kalınlığı ayrıca hesaplanarak esneklik modülüne göre kum-çakıl veya kırmataş olarak ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo 3.11: R=%85 Güvenlik için uygulanacak üstyapı kalınlıkları

ÜSTYAPI TABAKALARI		TRAFİK KATEGORİLERİ (MİLYON)												
		3-15	15-20	20-25	25-35	35-45	45-60	60-75	75-100	100-125	125-150	150-200	200-250	> 250
AŞINMA**		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
BİNDER		6	7	7	7	8	8	8	10	10	10	10	11	12
BİTÜMLÜ TEMEL		8	8	9	10	10	11	12	11	12	13	14	14	14
PMT VEYA KIRMATAŞ TEMEL		15	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
TOPLAM MEVCUT SN		9.63	10.78	11.14	11.50	11.90	12.26	12.62	13.06	13.42	13.78	14.14	14.54	14.94
CBR %	MR (psi)	ALTTEMEL KALINLIKLARI (KIRMATAŞ / KUM-ÇAKIL ALTTEMEL)												
5	5800	30/35	35/40	30/35	30/35	30/35	35/40	35/40	35/40	35/45	40/45	40/45	40/50	40/50
6	6750	25/30	30/35	25/30	25/30	25/30	30/35	30/35	30/35	30/35	30/40	35/40	35/40	35/40
7	7500	20/25	25/30	20/25	20/25	20/25	25/30	25/30	25/30	25/30	30/35	30/35	30/35	30/35
8	8300	20/25	20/25	15/20	20/20	20/25	20/25	20/25	20/25	25/30	25/30	25/30	25/30	25/30
9	8900	15/20	20/25	15/20	15/20	15/20	20/20	20/20	20/25	20/25	20/25	20/25	25/30	25/30
10	9500	15/20	20/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	20/20	20/20	20/20	20/25	20/25	20/25
11	10000	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	20/20	20/20	20/20	20/20
12-17	10650-14000	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20
18	14630	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	15/20	15/20	15/20	15/20	15/20
19	15300	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	15/20	15/20	15/20	15/20
20	16000	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	15/20	15/20	15/20
20-27	16350-18650	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20
28	19000		*/20						*/20	*/20	*/20	*/20	*/20	*/20
29	19400										*/20	*/20	*/20	*/20
≥30	≥20000	GEREKMEZ												

Kaynak: Karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberi (2008)

Tabloyu incelediğimizde O-3 bağlantı yolunda 255 milyon trafik kategorisine göre mevcut **SN: 14,94 cm** olmalıdır. Abaklardan tespit ettiğimiz SN:14,48 cm dir. İşlemlerimiz esnasında tablodan bulunan SN değeri kullanılacaktır. O-3 Bağlantı yolunda tabaka kalınlıklarına göre mevcut SN değeri;

Tablo 3.12: Mevcut tabaka kalınlıklarına göre SN değeri

Tabaka	Kalınlıklar (cm)	İzafi mukavemet katsayısı (a)	Drenaj katsayısı	SN
Aşınma	5	0,42	-	2,1
Binder	7	0,40	-	2,8
Plent-miks temel	25	0,15	1	3,75
Alttemel	25	0,11	1	2,75
Toplam				11,40
Gerekli				14,94
Fark				3,54

Tablo 3.11' a göre tabaka kalınlıkları sırasıyla 5-12-14-20 olmalıdır. Fakat bu durumda alttemel tabakasına gerek olmayıp plent-miks temelin 5 cm arttırılması gerekmektedir. Ancak mevcutta 25 cm plent-miks temel ve 25 cm alttemel tabakası olduğu için SN değeri 18,44 cm e çıkmaktadır. Bundan dolayı plent-miks temel ve alttemel 25 cm de sabit tutularak bitümlü temel kalınlığı değiştirilmiştir.

Tablo 3.13: Projelendirilen tabaka kalınlıklarına göre SN değeri

Tabaka	Kalınlıklar (cm)	İzafi mukavemet katsayısı (a)	Drenaj katsayısı	SN
Aşınma	5	0,42	-	2,1
Binder	7	0,40	-	2,8
Bitümlü temel	10	0,36	-	3,6
Plent-miks temel	25	0,15	1	3,75
Alttemel	25	0,11	1	2,75
Toplam				15,00
Gerekli				14,94

Yukarıdaki tabloda da görüldüğü üzere O-3 bağlantı yolunda bitümlü temel bulunmamaktadır. 20 yıllık proje süresi belirlendiği takdirde O-3 bağlantı yoluna 10 cm bitümlü temel ilave edilmelidir. Mevcuttaki gerçek üstyapı kalınlığımız böylece 62 cm den 72 cm e çıkacaktır.

Bu veriler ışığında yolumuzun 20 yıllık proje süresinin uygun olmadığı anlaşılmakta olup proje süresinin daha kısa tutulması uygun olacaktır.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Yol Bakım Müdürlüğü O-3 Bağlantı yolunda proje süresini 7 yıl olarak belirlemiş ve 7 yılda bir aşınma tabakası yenileme ile servis kabiliyetini arttırmıştır.

Proje süremizi 7 yıl olarak belirlersek;

Tablo 3.14: 7 yılsonundaki T_{8.2} değerleri

Araç sınıfı	İlk trafik	Son trafik	Proje trafiği	T _{8.2} (gunluk)	T _{8.2} (7 yılsonunda)
Otomobil	51.026	58612	54.732	26	67.123
Orta sını. haf. tic.	11.538	13.254	12.376	5.941	15.178.066
Otobüs	5.906	6.784	6.335	16.218	41.436.025
Kamyon	3.353	3.852	3.597	8.344	21.318.970
Toplam					77.997.444

Tablo 3.11' e göre 75-100 milyon aralığına denk gelmekte olup SN:13,06 dır. Mevcut SN değerimiz 11,40 olduğundan fark 1,66 cm dir.

İlave edilen malzeme	Fark SN
Aşınma	3,95 cm
Binder	4,15 cm
Bitümlü Temel	4,61 cm
Plent-miks temel	11,07 cm

Aşınma tabakasının 5 cm de bırakarak binder tabakasının 12 cm e çıkarılması durumunda SN değeri sağlanmış olacaktır. Yol gövdesinin gerçek kalınlığı $5+12+25+25=67$ cm e çıkacaktır.

Böylece SN değeri;

Tabaka	Kalınlık (cm)	SN
Aşınma	5	2,1
Binder	12	4,8
Plent-miks temel	25	3,75
Alttemel	25	2,75
Toplam		13,40 > 13,06

3.5 ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN ÜSTYAPI TASARIMINA ETKİSİ

Yol üstyapısı tabanında dona hassas ve/veya şişme potansiyeli yüksek zeminlerden oluşması durumunda, üstyapı projelendirmesinde bu etkenlerin göz önünde bulundurulması gerekir.

3.5.1 Donma Etkisi

Hava sıcaklığının don olayına neden olacak kadar düşük olması, taban veya yüzey suyunun varlığı ile dona hassas zeminin olması, don etkisini oluşturan üç temel faktördür. Bu üç olumsuz faktörün aynı anda var olması durumunda alınacak önlemler ve bu faktörler neticesinde toplam üstyapı kalınlığı, don derinliği ve yarma-dolgu miktarı değişecektir.

Genel olarak, donma olayı için uygun şartlar içinde buz parçacıkları oluşmayan, don kabarması olmayan ve çözülme mevsimlerinde, taşıma gücünde önemli oranda azalma olmayan malzemelere dona hassas değildir denir. Bu şartlar dışındaki tüm malzemeler dona karşı hassastır. Dona hassas malzemelerin içerisinde, uygun don şartlarında buz parçacıkları oluşur ve büyür. Bunun sonucunda donma-çözülme oluşur ve donma kabarması meydana gelir. Sonuç olarak taşıma gücünde azalma gözlenir.

Üstyapı projesi hazırlanırken taban zemininin dona karşı hassas olup olmadığı, hassasiyet derecesi incelenir. Genel olarak dona hassas olmayan malzeme kriterleri Tablo 3.15’ te verilmiştir. Zeminimiz deneylerdeki şartname limitlerine uymadığından dona hassas zemindir.

Şekil 3.15: Dona hassas olmayan malzeme özellikleri

Deney	Şartname Limiti	Deney Standardı
0,0075 mm (200 nolu) elekten geçen miktar, %	≤ 12	TS 1900, AASHTO T-11
Likit Limit (LL), %	≤ 25	TS 1900, AASHTO T-89
Plastisite İndeksi (PI), %	≤ 6	TS 1900, AASHTO T-90
Kaba agregada su absorpsiyonu %	≤ 3	TS 3526, ASTM C-127

Kaynak: Karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberi (2008)

Dona hassas zeminleri de Tablo 3.16’ da sınıflandırmak mümkündür. Tabloya göre zeminimizin PI: 23 ve CL sınıfında olduğundan “**F3 dona karşı hassas**” zemin sınıfındadır.

Şekil 3.16: Dona hassas zeminlerin sınıflandırılması

Don Hassasiyet Sınıfı	Ana Zemin Tipi	0.02 mm 'den küçük malz. %si	Zemin Grubunun Sembolü	taşınma gücü kaybı
F1 – Dona karşı çok az hassas	Çakıllar, kum-çakıl karışımlar	3-12	GW, GP	
			GW-GM, GW-GC	
			GP-GM, GP-GC	
F2 – Dona karşı az hassas	a) Çakıllar, kum-çakıl karışımlar	12-20	GW, GP	
			GM, GC	
			GC-GM	
	b) Kumlar	3-15	SW,SP,SM,SC	
			SW-SM	
			SW-SC	
			SP-SM	
F3 – Dona karşı hassas	a) Çakıllar, kum-çakıl karışımlar	>20	GM, GC	
			GM-GC	
	b) Kumlar (çok ince ve siltli kumlar hariç)	>15	SM, SC	
c) Killer PI>12	-	SM-SC		
F4 – Dona karşı çok hassas	a) Siltler	-	CL, CH	
	b) Çok ince siltli kumlar	>15	ML, MH	
	c) Killi siltler PI<12	-	SM	
	d) Tabakalı killer ve tabakalaşmış ince taneli zeminler	-	ML,CL,CL-ML	
			ML,MH,CL,CH	

Kaynak: Karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberi (2008)

3.5.1.1 Proje donma indeksi (D_i)

Projelendirmede kullanılacak olan donma indeksi derece-gün olarak ifade edilmektedir. Don olayı sıcaklıkla yakından ilgili olup kolaylıkla ölçülebildiği için de hava sıcaklığıyla olan ilişkisi tespit edilebilir.

Toprağın donması düşük hava sıcaklığının (0°C ' nin altı) süresiyle doğrudan ilgilidir. Süre ve sıcaklık derece- gün olarak tespit edilir. 1 derece-gün ortalama hava sıcaklığı don derecesinin 1 derece altında olan, 1 günü ifade eder. Donma indeksi aşağıdaki formül ile bulunabilir.

$$D_i = \sum_{i=1}^{i=n} k_i t_i \quad (3.9)$$

t_i = i günündeki ortalama günlük hava sıcaklığı

k_i = t_i ortalama günlük hava sıcaklığının bir yıldaki toplam sayısı

$n = 0^{\circ}\text{C}$ nin altındaki ortalama hava sıcaklıklarının sayısı

Proje donma indeksi bulunurken son 20 yılın en soğuk kış mevsiminin donma indeksi değeri hesaplanır.

Donma indeksinin tespit edilebilmesi için, ülkemizde yer alan toplam 320 adet meteorolojik istasyona ait son 30 yıllık sıcaklık verileri analiz edilerek Şekil 3.10' da verilen harita hazırlanmıştır.

Bu haritaya göre O-3 bağlantı yolunun İstanbul da olması münasebetiyle donma indeksi < 100 (D_i , $^{\circ}\text{C}$ -gün) olarak seçilmiştir.

3.5.1.2 Don penetrasyon derinliği (X_D)

Don etkisi olan bölgelerde yol üst yapısının davranışı, don penetrasyon derinliği ile yakından ilgilidir.

Birçok analizde don olayının incelenmesi, kolay elde edilmesinden dolayı hava sıcaklığı ile yapılmaktadır. Türkiye don penetrasyon derinliği haritası, ülkemizde yer alan 320 adet meteorolojik istasyon için bulunan donma indeksine bağlı olarak hesaplanmış ve Şekil 3.10' da verilmiştir.

Bu haritaya göre O-3 bağlantı yolunun İstanbul da olması münasebetiyle don penetrasyon derinliği < 40 cm olarak seçilmiştir.

3.5.2 Hidrolik Şartlar

Üstyapının altındaki yeraltı su seviyesinin kaplama yüzeyinden itibaren olan derinliği ile yarma veya dolgunun yüksekliği karakterize eder.

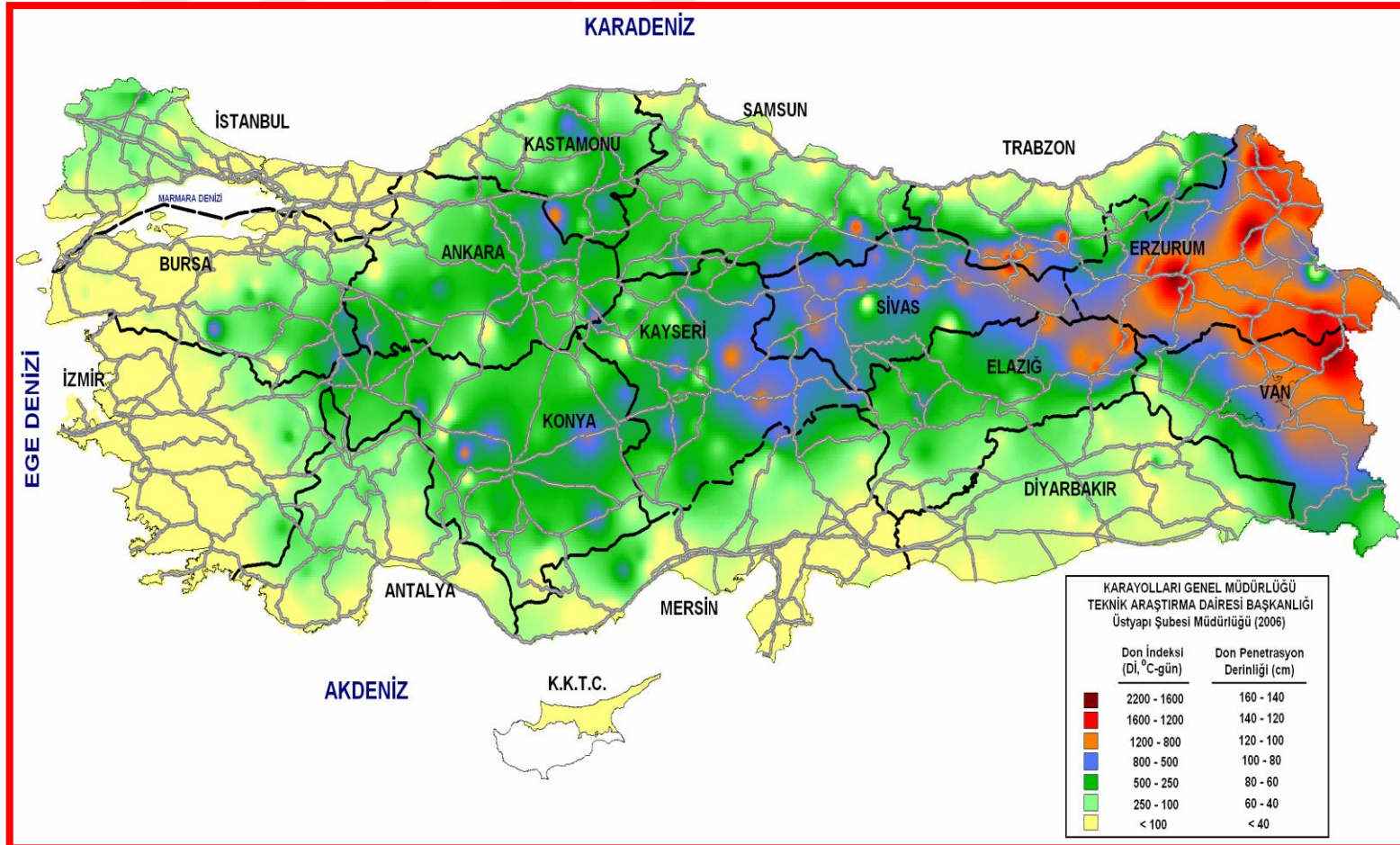
Şartlar aşağıdaki gibi ise dona mukavemet yönünden iyi durumda denilir:

- a. Üstyapı 1,5 m' den daha yüksek bir dolguda inşa edilmişse,
- b. Yer altı su seviyesinin derinliği 1,40 m' den daha aşağıda ($N > 1,40$ m), fakat daima don penetrasyon derinliğinden daha büyük ise,
- c. Serbest su akımı yok ise,

Şartlar aşağıdaki gibi ise dona mukavemet yönünden kötü durumda denir:

- a. Yol yarmada ise,
- b. Yer altı su seviyesinin derinliği 1,40 m'den daha az ise veya don penetrasyon derinliğinden daha küçük ise,
- c. Boşluk suyu basıncı var ise,

Şekil 3.10: Türkiye don indeksi ve don penetrasyon derinliği haritası



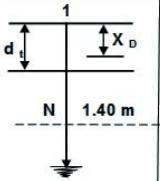
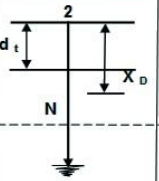
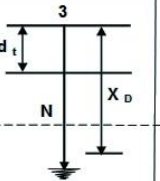
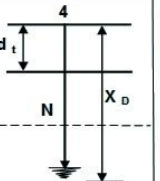
Kaynak: Karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberi (2008)

Meteoroloji Genel Müdürlüğü internet sayfasından alınan verilere göre İstanbul için; Yıllık ortalama yağış miktarı 750 mm

Yıllık ortalama sıcaklık 14 °C dir.

Şekil 3.10' daki abak' a göre; F3 grubu, $D_D > X_D$ olduğu ve $N > 1,40$ m olduğundan “**Dona Karşı Önlem Gerekli Değildir**” alanına denk gelmektedir.

Şekil 3.11: Üstyapıda dona karşı önlem gerekliliğinin belirlenmesi

DRENAJ DURUMU		iyi $X_D < N, N > 1.40$ m			KÖTÜ	
DURUM						5 Yarma derinliği 1m 'den fazla (N ve X'in her değeri için)
TABAN ZEMİNİNİN DON HASSASİYET SINIFI (F)	F ₁	DONA KARŞI ÖNLEM				
	F ₂	GEREKLİ DEĞİL				
	F ₃				DONA KARŞI ÖNLEM GEREKLİ	
	F ₄				DONA KARŞI ÖNLEM GEREKLİ	

Kaynak: Karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberi (2008)

3.5.3 Zeminin Şişmesi

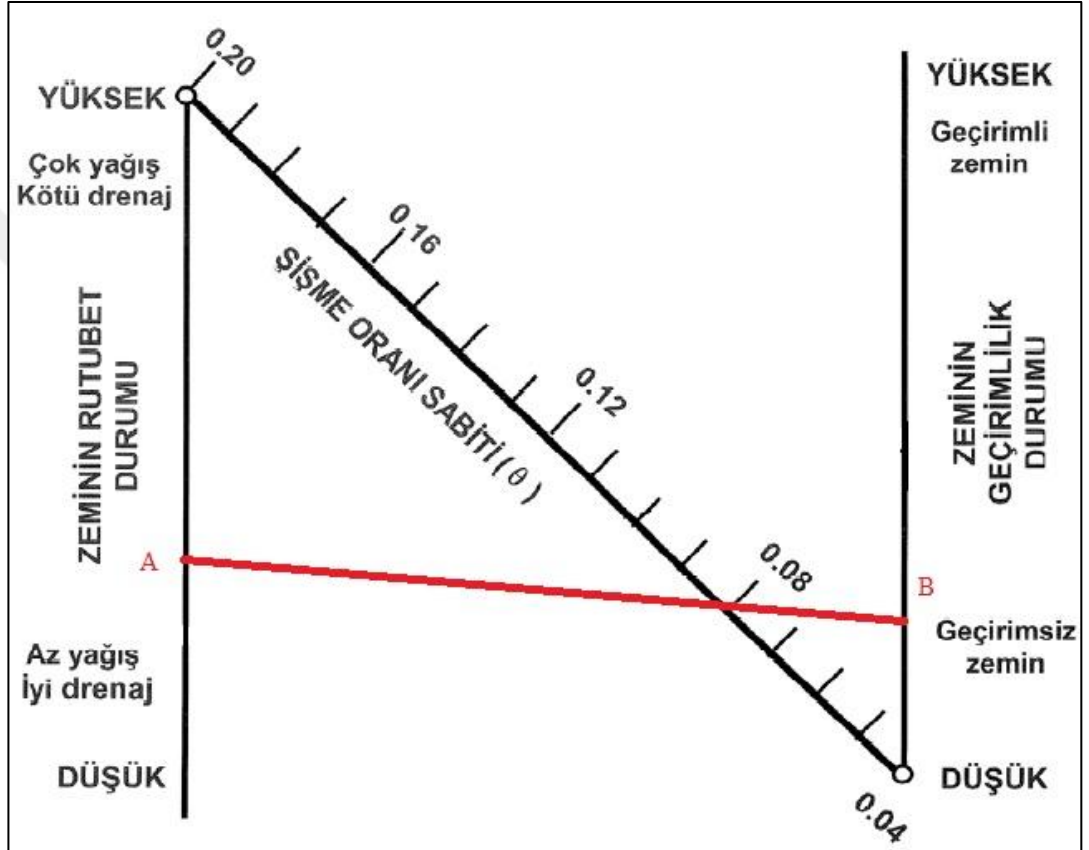
Şişmeye duyarlı zeminler artan su içeriği ile şişme (kabarma) göstererek üstyapıda ilave gerilmeler oluşturmaktadır. Bu ilave gerilmelerden kaynaklanan üstyapının servis kabiliyetindeki azalma miktarı; aşağıda tanımlanan şişme oranı sabiti, potansiyel düşey yükselme, şişme olasılığı değişkenlerine ve proje süresine bağlı olarak bulunur.

3.5.3.1 Şişme oranı sabiti

Şişme oranı sabiti Şekil 3.12’ deki nomogram yardımıyla tahmin edilir.

O-3 Bağlantı yolunun bulunduğu bölge az yağışlı ve yolda normal drenajlı olduğundan şişme oranı sabiti 0,08 alınmıştır.

Şekil 3.12: Şişme oranı sabiti

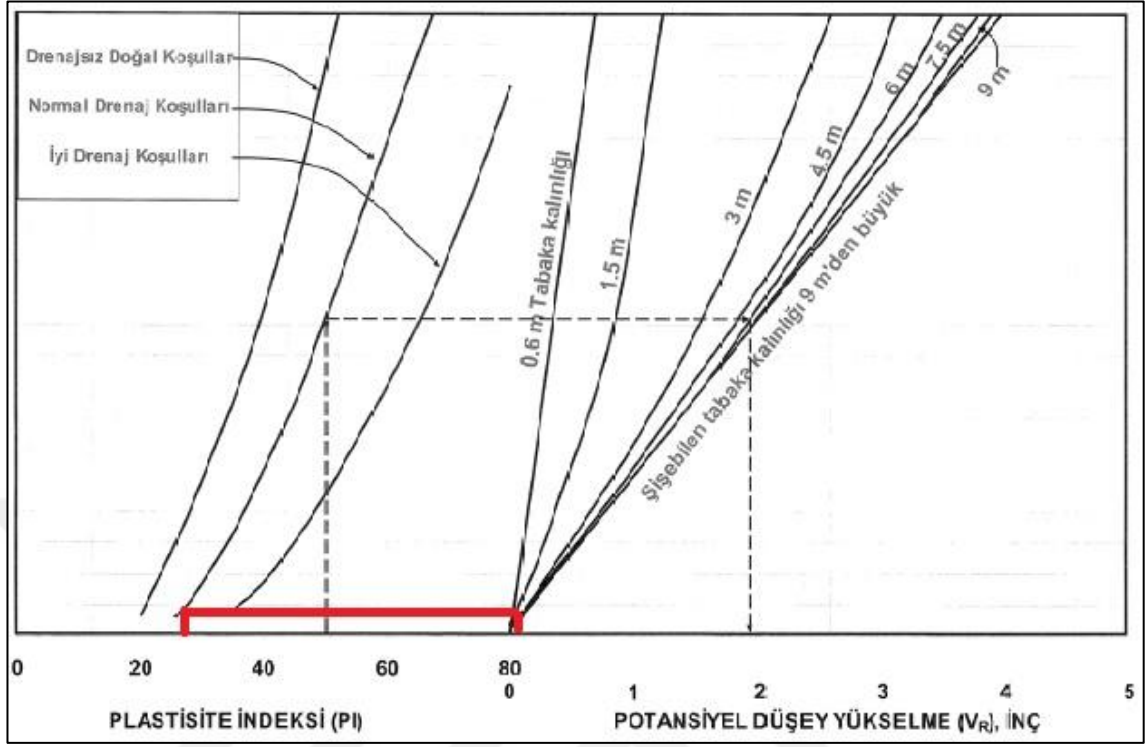


Kaynak: Karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberi (2008)

3.5.3.2 Potansiyel düşey yükselme (V_R)

Potansiyel düşey yükselme zeminin en kötü şişme şartlarında meydana gelebilecek düşey yükselme miktarını temsil eder. Potansiyel düşey yükselme zeminin plastik indeks değeri ile drenaj koşullarına bağlı olarak Şekil 3.13’ den tespit edilebilir.

Şekil 3.13: Potansiyel düşey yükselmenin (V_R) bulunması



Kaynak: Karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberi (2008)

O-3 Bağlantı yolunun zemin özelliklerinden olan PI: 23 ve normal drenaj koşulları altında potansiyel düşey yükselme sıfırdır. Bu nedenden dolayı zemin şişmesinden kaynaklanan servis kabiliyeti yoktur.

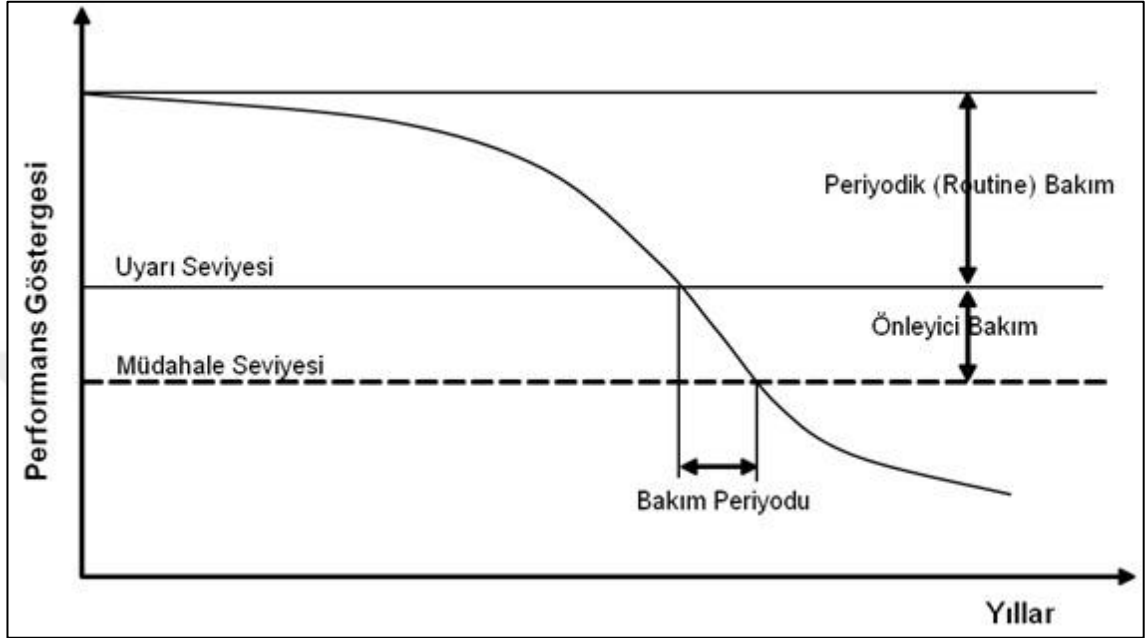
3.6 PERFORMANS İLE BAKIM / ONARIM ARASINDAKİ İLİŞKİ

Esnek üstyapılar inşa edildiklerinde servis kabiliyeti en üst seviyeden başlamaktadır, fakat trafik yükleri ve iklim koşulları nedeniyle zamanla bozulur. Bu bozulmalar başlangıçta çok yavaş olup sadece periyodik bakıma ihtiyaç duyarlar. İyileştirmeler yapılmadığı takdirde zamanla bozulmalar artar ve çok pahalı iyileştirme alternatiflerine ihtiyaç duyulur. Bu nedenle bozulmaya başlamış yollarda, zamanında yapılmış iyileştirme uygulamaları ekonomik açıdan kazanç sağlar.

Yapılacak iyileştirme uygulamaları karayolu üstyapısının sağlıklı değerlendirilmesi ile başlar. Bu amaçla bozulmaya başlayan yolların yapısal mukavemetinin, yüzey bozukluklarının ve üstyapı tabakalarının fiziksel özelliklerinin bilinmesi gerekir.

Gerekli etütler yardımı ile toplanan verilerle kısım kısım analizler yapılır. Böylece üstyapı için yapılacak bakım, onarım ve takviyeler belirlenir.

Şekil 3.14: Performans eğrisi

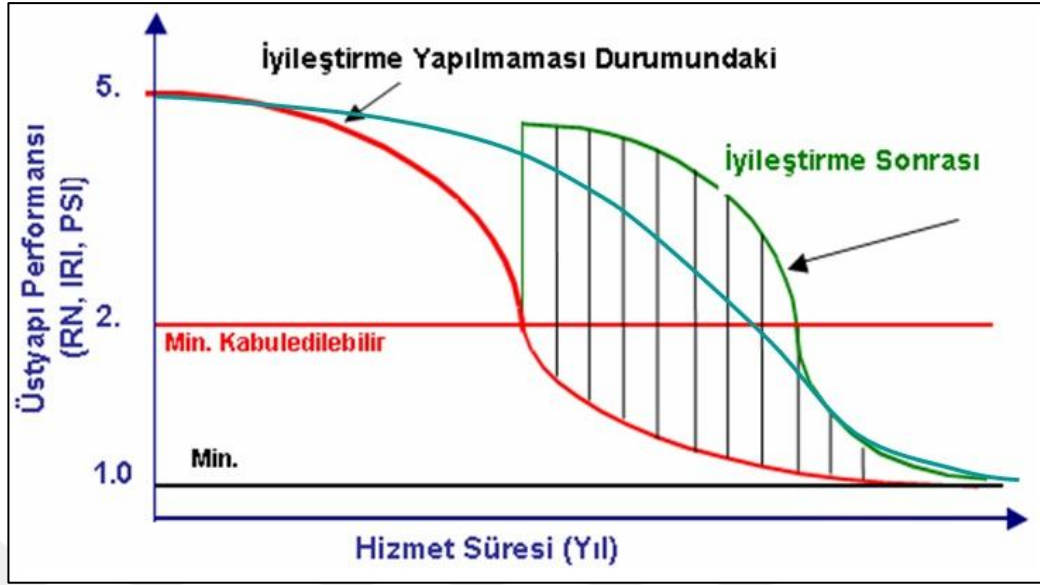


Kaynak: Karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberi (2008)

Asfalt takviye tabakaları hem yüzeysel, hem de yapısal kusurların giderilmesi amacı ile kullanılmaktadır. Asfalt kaplamalardaki yüzeysel bozulmalar genellikle ince tabakalar ile düzeltilebilmektedir. Fakat yapısal bozulmalar, üstyapı özellikleri ve trafik yükleri etmenlere göre ilave mukavemet sağlayacak şekilde tasarlanmış takviye tabakaları gerektirmektedir.

Esnek üstyapıların takviye edilmesi sırasında takviye edilecek üstyapının mukavemeti, bozuklukları ve mevcut üstyapı tabakalarının nitelikleri tabaka kalınlıklarının hesaplanmasında esas alınmaktadır. Bu nedenle takviye tabaka kalınlıklarının hesaplanmasından önce mevcut üstyapının mukavemeti, bozulma nedenleri ve yoldaki tabakaların özellikleri bilinmelidir.

Şekil 3.15: İyileştirme ve yenileme yapılan üstyapının performans eğrisi



Kaynak: www.academia.edu/6551437/karayollarında_üst_yapı_projelendirme_rehberi

Esnek üstyapıdaki bozulmaların değerlendirilmesi, bozulmaların nedenleri ve nasıl giderileceği hakkında fikir vermesi açısından çok önemlidir. Bozulmaların değerlendirilmesi uygulanacak yöntem açısından belirleyici olacaktır.

3.6.1 Performans Gözlemleri

Yol üstyapısının fiziksel durumunu incelemek ve takviye projesinin hazırlanmasına altlık sağlayacak ve yoldaki uygulamaların yerini ve sayısını tespit etmek amacıyla yapılacak bir ön etüt çalışmasıdır.

Performans gözlemlerinde temel amaç, gözlem sırasında her tür yüzey bozulmasının tipini tanımlamak ve uygun onarım metodunu tayin etmektir. Bu yapılırken, belirlenen yüzey bozukluğunun ne kadar kötü olduğu ve ne kadar yoğun olduğu belirlenmelidir.

Bozulmaların yoğunluk derecesi ve bozulmanın şiddeti 0-1 arasında derecelendirilerek bozulma tipine göre ağırlıklı puanı ile çarpılır ve hasar miktarı belirlenir (Tablo 3.17). Bulunan hasar miktarlarının toplamı üstyapının puanını yani üstyapının durumunu göstermektedir (Tablo 3.18).

Tablo 3.17: Esnek üstyapılar puanlama tablosu

Üstyapı Puanı	Üstyapı Durum Sınıfı	Üstyapı Bakım/Onarım Stratejisi
100 – 90	Çok iyi	Bakıma gerek yok
90 – 75	İyi	Periyodik bakım
75 – 65	Orta	Koruyucu bakım veya takviye
65 – 40	Kötü	Takviye tabakası
< 40	Çok kötü	Yeniden yapım

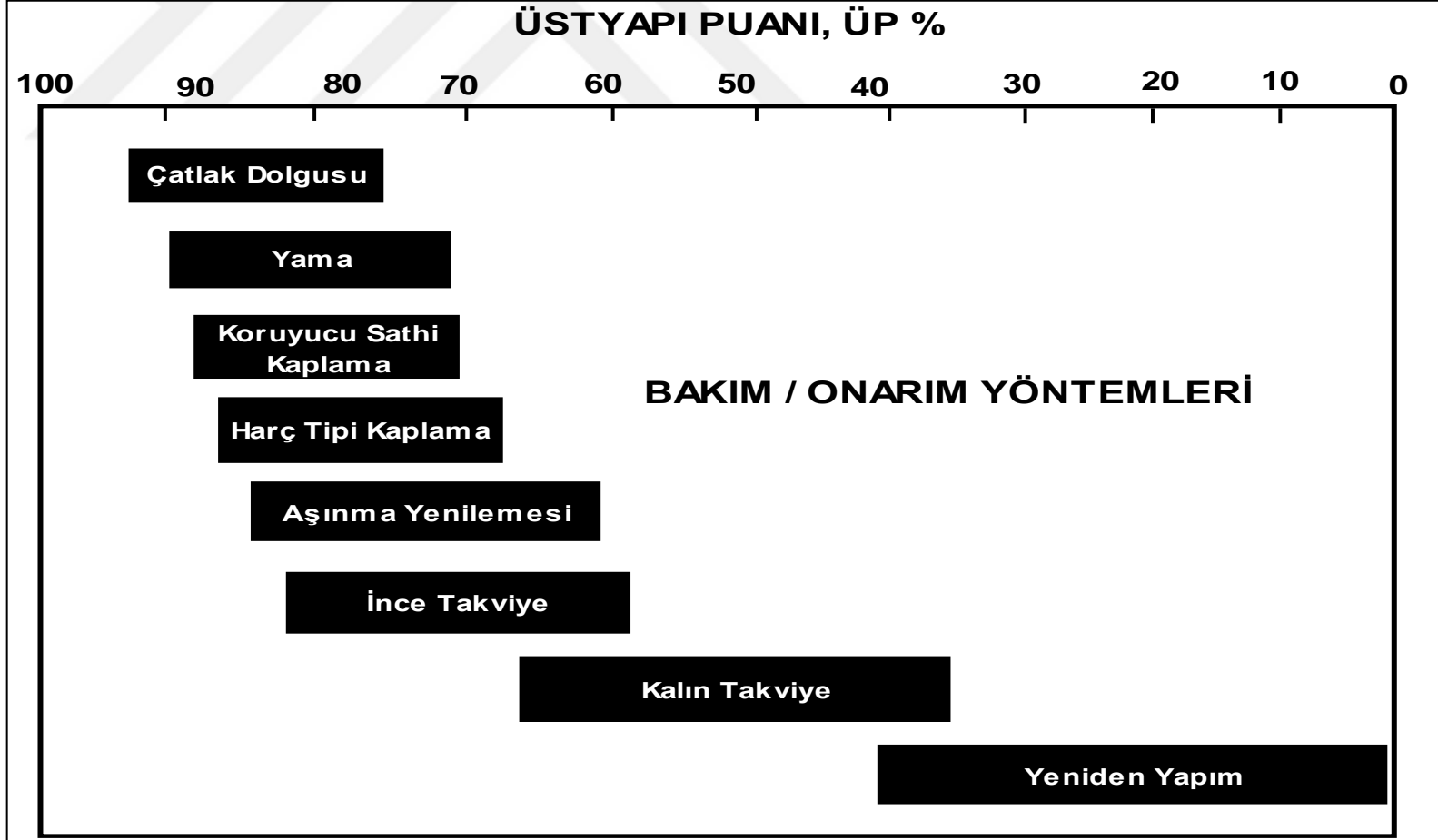
Kaynak: Karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberi (2008)

Tablo 3.18: Esnek üstyapılar için üstyapı durumu puanlama tablosu

Yolun Adı		Tarih :								
Kilometre										
ÜSTYAPI BOZULMA TİPİ	Ağırlıklı Puan (A)	Bozulma Şiddeti (B)			Bozulma Yoğunluğu (C)					Hasar Miktarı D=AxBxC
		Hafif	Orta	Yüksek	Nadir	Az	Orta	Sık	Yaygın	
		0,4	0,7	1	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
Timsah Sırtı Çatlak	10									
Kenar Çatlakları	5									
Enine Çatlaklar	10									
Boyuna Çatlaklar	15									
Tekerlek İzinde Oturma	10									
Blok (Harita) Çatlakları	10									
Ondülasyon, Ötelenme ve Yoğrulma	5									
Lokal Oturmalar	5									
Yamalar	5									
Çukurlar	10									
Terleme (Kusma)	5									
Segregasyon, Sökülme ve Soyulma	10									
TOPLAM HASAR =										
TOPLAM YAPISAL HASAR () =										
ÜSTYAPI PUANI (ÜP) =100-TOPLAM HASAR =										
ÜSTYAPI YAPISAL PUANI (ÜYP) =100-TOPLAM YAPISAL HASAR =										
Çalışmayı yapan:.....										
Pozisyonu:.....										
İmzası:										

Kaynak: Karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberi (2008)

Şekil 3.16: Üstyapı puanına göre bakım/onarım yöntemleri



Kaynak: Karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberi (2008)

3.6.2 Bakım Onarım Metodunun Seçilmesi

Esnek üstyapılarda hangi bakım onarım metodu kullanılacağına aşağıdaki tablolar ve şekiller yardımı ile karar verilmektedir (Şekil 3.15).

Tablo 3.19: 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	X
	Orta		X	X	
	Yüksek	X	X	X	
Boyuna Çatlak	Düşük		X		X
	Orta	X	X		
	Yüksek	X	X		
Blok Çatlak	Düşük		X	X	X
	Orta		X	X	
	Yüksek	X	X		
Yansıma Çatlağı	Düşük		X		
	Orta		X		
	Yüksek	X	X		

Kaynak: Karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberi (2008)

Tablo 3.20: Yüzey bozulmaları bakım metodunun seçimi

Bozulma Türü	Bozulma Şiddeti	Bakım Metodu			
		Yama	Koruyucu Sathi Kaplama	Harç Tipi Kaplama	İnce Yüzey Kaplaması
Teker 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			
Cilalanmış Agrega	Düşük		X	X	X
	Orta		X	X	X
	Yüksek		X	X	X
Sökülme	Düşük				
	Orta		X		
	Yüksek	X	X	X	X

Kaynak: Karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberi (2008)

3.6.3 Bakım/Onarım Yapılması Duruma Göre Performans Analizi

O-3 Bağlantı yolunun trafik yükü altında, iklim şartlarında ve malzeme özelliklerine göre mevcut üstyapı durumunu ve olması gereken üstyapı durumunu önceki bölümlerde irdemiştik. Bu bölümde mevcut durum altında sadece trafik yükü altında servis kabiliyetinin azalmasını ve mevcut durumda yapılan bakım onarım uygulamalarının servis kabiliyetine etkisini incelenecektir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Yol Bakım Müdürlüğünden alınan verilere göre O-3 Bağlantı yolunda yıllık ortalama 400 ton yama ve çatlak bakım onarımı yapılmaktadır. Ayrıca yedi yılda bir aşınma tabakası yenilenmektedir.

Bu verilere göre servis kabiliyeti kaybı formül 3.7' de yerlerine konularak tablodaki veriler elde edilmiştir.

Tablo 3.21: SN değerlerine göre servis kabiliyet değişim tablosu

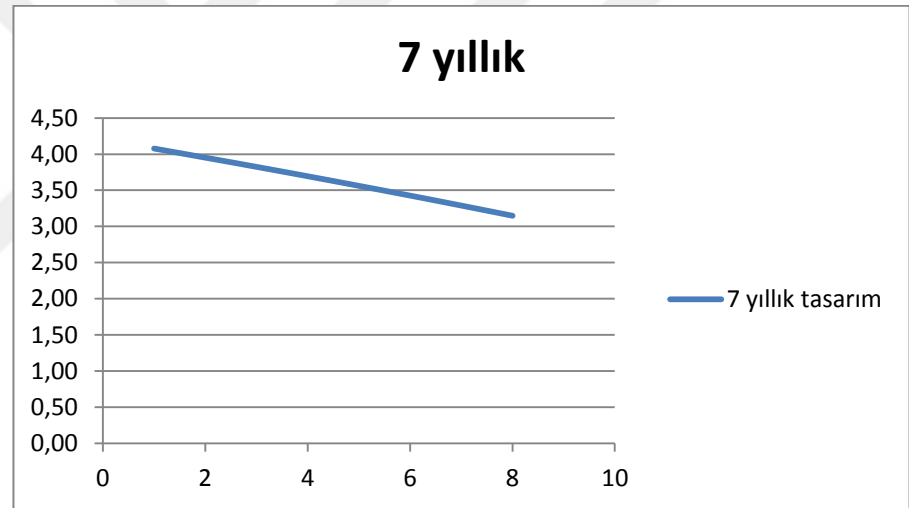
Yıllar	T8.2	P_t (SN: 4,49 inç)	P_t (SN: 5,28 inç)	Fark P_t
0	0	4,2	4,2	-
1	10.387.919	3,77	4,08	0,31
2	21.193.009	3,33	3,95	0,62
3	32.108.458	2,88	3,83	0,95
4	43.242.216	2,42	3,7	1,28
5	54.598.649	1,96	3,56	1,60
6	66.182.211	1,48	3,43	1,95
7	77.997.444	1,00	3,29	2,29

Mevcut duruma göre servis kabiliyeti kaybının farkı uygulamamız gereken bakım onarım kabiliyetini verecektir. Buradan;

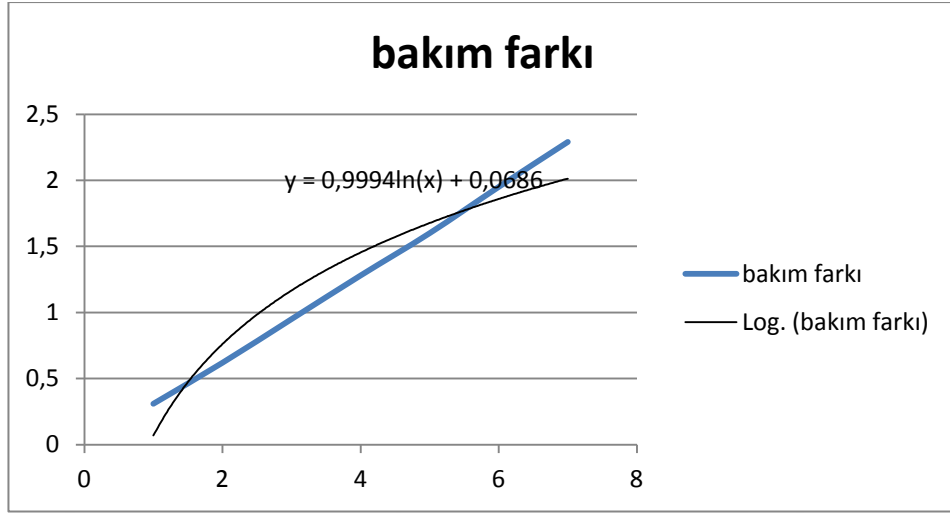
Şekil 3.17: SN:4,49 değerine göre servis kabiliyet değişim grafiği



Şekil 3.18: SN:5,28 değerine göre servis kabiliyet değişim grafiği



Şekil 3.19: Bakım yapılarak değiştirilmek istenen servis kabiliyeti grafiği

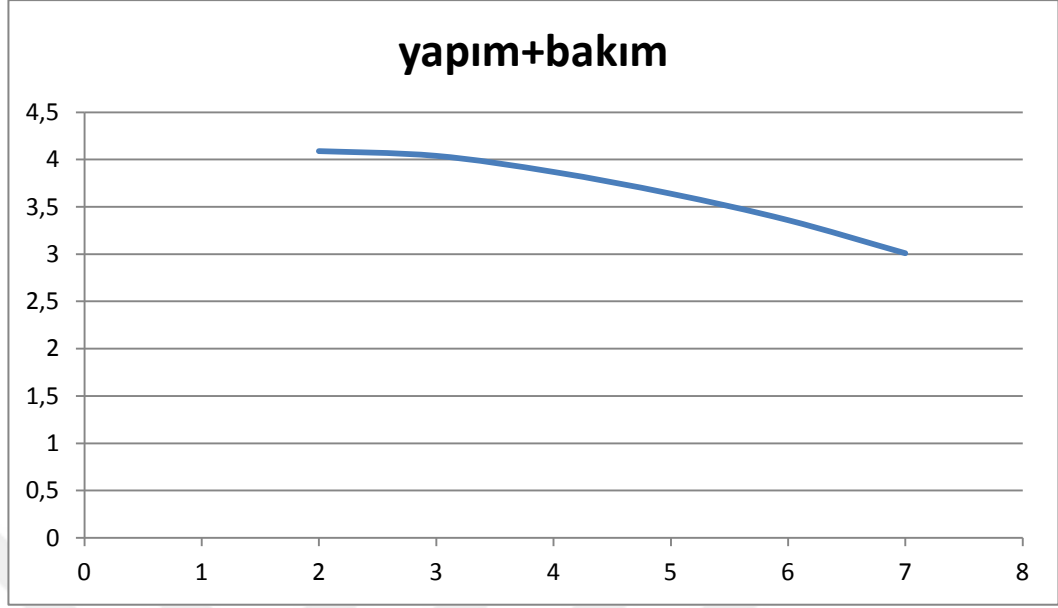


Bakım farkı grafiğinin logaritmik eğiminden elde edilen denklemde X yerine yıllar yazıldığında;

Tablo 3.22 : $y = 0,999\ln(x) + 0,068$ denklem tablosu

Yıllar (x)	y	Pt(SN: 4,49 a göre)	Pt (SN + bakım)
1*	0,068	3,77	3,84
2	0,76	3,33	4,09
3	1,165	2,88	4,04
4	1,453	2,42	3,87
5	1,676	1,96	3,64
6	1,878	1,48	3,36
7	2,012	1,00	3,01

Şekil 3.20: Mevcut üstyapının bakım sonucunda değişen servis kabiliyeti grafiği



Bakım onarım yapılmış bir yol ile yapılmayan yol kıyaslandığında arasındaki farkın logaritmik olduğu gözükmemektedir.

Esnek üstyapının bakım ve onarımı daha önceden yapılmış bakımların servis performansına nasıl etkideğinin tespit edilmesi sonucunda üstyapının ne zaman takviye veya yenileme tabakası yapılması gerektiği ortaya çıkacaktır.

3.6.4 Üstyapı Takviye Tabakalarının Hazırlanması

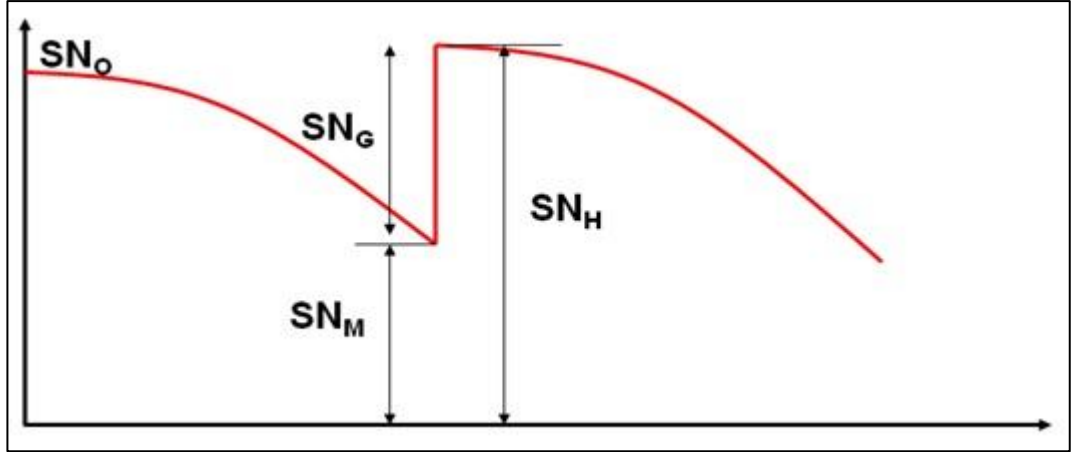
Üstyapı takviye tabakası, esnek üstyapının üzerinden geçen trafik yükünün tahmin edilenin dışına çıktığında ve artık üstyapının istenilen performansı verememesi durumunda yolun yeniden yapılmasına engel olmak amacı ile mevcut üstyapının üzerine uygulanan kısmen ince tabakadır.

Takviye tabakasının kalınlığı üstyapı sayısı ile orantılıdır.

Bu bölümde O-3 Bağlantı yolunda mevcut şartlara göre projelendirdiğimiz üstyapıyı takviye tabakası uygulayarak çözümlendirilmeye çalışılacaktır.

Proje süresinin 20 yıllık olduğu durumda aşağıdaki bağıntıya göre;

Şekil 3.21: Takviye tabakalı performans grafiği



Kaynak: www.academia.edu/6551437/karayollarında_üst_yapı_projelendirme_rehberi

$$SN_G = SN_H - SN_M \quad (3.10)$$

$$D = \frac{SN_G}{a} \quad (3.11)$$

SN_G : Uygulanması gereken üstyapı takviye tabakası kalınlığı

SN_H : Hesaplanan trafik yükünü taşıyacak üstyapı kalınlığı

SN_M : Mevcut üstyapının efektif kalınlığı

D: Gerekli takviye tabakası kalınlığı

a: Asfalt betonu izafi mukavemet katsayısı

$$SN_G = 14,94 - 11,40 = 3,54$$

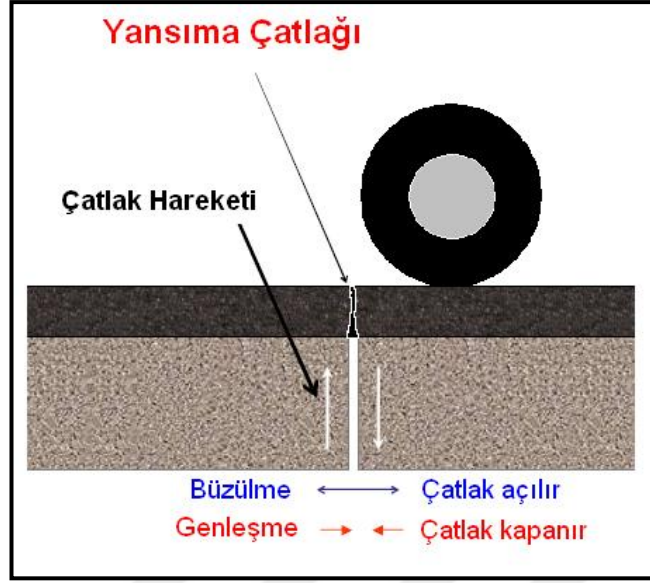
$$D = \frac{1,54}{0,42} + \frac{2,00}{0,40} = 3,67 + 5$$

Buradan;

4 cm aşınma ve 5 cm binder tabakalı yapılırsa gerekli SN sağlanmış olur.

Fakat takviye tabakalarının dezavantajları bulunmaktadır. En önemli dezavantajlarından biri yansıma çatlakları oluşmasına neden olmasıdır. Yansıma çatlaklarının önlenmesi için takviye öncesinde geosentetik malzeme veya türevlerinin kullanılması gerekmektedir. Aşağıdaki şekilde görüleceği üzere kullanılmaması durumunda yola büyük zararları vardır.

Şekil 3.22: Takviye tabakası sorunları ve geosentetik uygulama



Kaynak: www.academia.edu/6551437/karayollarında_üst_yapı_projelendirme_rehberi

4. BULGULAR

Çalışmamızın bu bölümünde edinilen veriler ışında hesapladığımız ve tespit ettiğimiz bulgular yorum yapılmadan ortaya konulacaktır.

O-3 Bağlantı yolu topografya şartlarından dolayı birçok yarma, dolgu viyadük ve köprü yapılarının bulunduğu bir güzergahtan geçmektedir. Aynı zamanda şehir içinden geçen bir yol olduğu için yol altından geçişler sağlanmıştır. Bilindiği gibi sanat yapıları esnek üstyapı tasarımında hesaba katılmamaktadır. Bu nedenden dolayı projemiz yarma-dolgu ve sanat yapılarının olmadığı taban zemine oturan bir lokasyonda tasarlanmıştır.

Yapılan trafik sayımlarında tek yönde yıllık ortalama 25.000.000 araç geçişi olmaktadır. Bu araçların yüzde 70' i otomobil, yüzde 16' sı orta yüklü ticari taşıt, yüzde 8,3' ü otobüs ve yüzde 4,7' si kamyonudur.

20 Yıllık proje süresince yaklaşık 645.000.000 aracın bu yolu kullanması tahmin edilmektedir. Bu veriye göre standart dingil tekerrür sayısı 255.000.000 olmaktadır.

Lokasyonumuzdaki zemin özelliklerimize baktığımızda ise CBR: 20 ve Elastisite modülü 16.000 psi bulunmuştur. Zemin "CL" gurubunda karbonat katkılı kum ara bantlı siltli kil dir.

20 Yıllık proje süresi belirlendiği taktirde tabaka kalınlıkları Tablo 3.11' e göre 5 cm aşınma, 12 cm binder, 14 cm bitümlü temel ve 20 cm plent-miks temel çıkmaktadır. Buna göre SN değeri 14,94 cm dir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Bakım Onarım Müdürlüğü 7 yılda bir aşınma tabakasını yenilemektedir. Tasarımımızı bu veriye göre proje ömrü 7 yıl seçtiğimizde, yaklaşık $T_{8,2}$: 78.000.000 değere inmekte ve SN değeri 13,06 ya düşmektedir. Bu şartlarda tabaka kalınlıklarımız aşınma 5, binder 10, bitümlü temel 11 cm, plent-miks temel 20 cm olmaktadır.

Zeminden dolayı oluşan gerilme ve bozulmalara baktığımızda iklim şartlarının yumuşak olması, yer altı suyuna rastlanılmamış olması, PI' nin düşük olması gibi nedenlerden dolayı donma ve şişme olayları yolumuzu etkilememektedir.

Bakım / onarım arazi gözlemler ile belirlenerek üstyapı puanlandırılır. Bu puantaja göre bakım / onarım yöntemi belirlenir.

Bakım / onarımı yapılmayan bir yol ile yapılan yol arasındaki fark grafiklerle ortaya konmuştur.

Mevcut yolumuza takviye tabakası yapılması durumunda 20 yıllık proje süresinde 4 cm aşınma ve 5 cm binder tabakasına gerek vardır. Takviye tabakası SN değeri 3,54 cm dir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

O-3 Bağlantı yolunu Mekanistik-Ampirik tasarım metodundan yararlanılarak “Karayolları Esnek Üstyapılar Tasarım Rehberine” göre tasarımı yapılmış ve bakım/onarımın performansa etkisi incelenmiştir. Alınan veriler ışığında tespit edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Mevcut yol köprü, viyadük, yarma ve dolgu barındırdığı için yarma ve dolgu olan kısımlarda ayrı ayrı zemin etütler yapılarak donma ve şişme olayları irdelenmelidir.

Yarma bölümlerinde genel olarak gözle yapılan tetkiklerde zeminin grovak ve türevleri olduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle CBR değerinin yüksek olduğu düşünülmektedir. Fakat yer altı suyunun ve yüzey sularının bu kesimlerde daha etkili olduğundan drenaj ve şişme – donma olayları daha detaylı irdelenmelidir.

Dolgu bölümlerinde seçilen malzemenin yolun ortalama elastisite modülüne ve CBR değerine denk seçim yapılmasının hem tabaka kalınlıklarının çok değişmemesi hem de ekonomik açıdan uygun olacaktır.

Hesaplarımızda proje süresinin 20 yıllık seçilmesine göre tabaka kalınlıkları belirlenmiştir. Fakat bulunan bu tabaka kalınlıklarının günümüz şartlarında mevcut yola uygulanması söz konusu değildir. Bu nedenle İ.B.B.’nin yaptığı gibi proje süresini 7 yıla indirerek tasarım tekrar yapılmıştır. Bu durumda ise son servis kabiliyeti 4 yılda kabul edilebilir seviyeye ($P_t: 2,5$) inmektedir. Bu nedenle ya mevcut tabakaların kalınlaştırılması ya da bakım / onarım ile aradaki bu 3 yıllık fark giderilmeye çalışılmalıdır. Tabaka kalınlaştırma yoluna gidildiği takdirde 5 cm’lik binder tabakamızın 12 cm çıkarılması uygun olacaktır. Uygulamada aşınma tabakası yenilenirken önce binder tabakasına ilave yapılmalı ardından aşınma tabakası eklenmelidir. Fakat uygulama yapılırken binder tabakasında herhangi bir yapı kusuru ve bozulma olmaması gerekmektedir. Şayet ikinci yöntem yani bakım / onarım ile bu fark

giderilmeye çalışılırsa Şekil 3.18 deki grafiğe göre bakım / onarım yapılmalıdır. Yapılan her bir bakım / onarım için servis kabiliyeti ölçülmelidir.

Bakım / onarım metotlarından sadece çatlak dolgu ve yama değil diğer alternatif yöntemlerde düşünölmelidir.

20 Yıllık proje süresinin tasarımı ve uygulanması söz konusu olur ise mevcut yolumuza takviye tabakalı yapılmalıdır. Takviye tabakası 4 cm' lik aşınma ve 5 cm'lik binder tabakasının mevcut yolun üstüne eklenmesidir. Uygulama aşamasında aşınma tabakasındaki bozulma ve kusurlar zamanla takviye tabakasına yansıma çatlağı olarak yansıyacaktır. Bu nedenle takviye tabakası yapılmadan önce bu kusurların yansımını engelleyecek geosentetik uygulamalar yapılmalıdır.

1984 Yılında yapılan bu yolun hizmete açıldığı ilk günden beri 7 yılda bir aşınma tabakasının yenilediğini ve freze ile yapılan kazılarda yeterli kazıların yapılamadığı farz edilirse yolda yükselme olması beklenmektedir. Bu nedenle kaplama tabakası projelendirilen 5 cm aşınma, 7 cm binder tabakası olmayacaktır. 30 yılda 4 kez aşınma tabakası yenilenirse ve her defasında 1 cm kazı kaybı olduğunu düşünürsek kaplama tabakamız 12 cm den 16 cm' e çıkacaktır. Böylece hesabımızdaki bozulma derecesinden daha az bir bozulma ile karşılaşılacaktır.

Resmi kurumların 2006-2008 yıllarından sonra bilgisayar ortamına geçmiş olması ve kurumların arşivleme sisteminin sağlıklı çalışmamasından dolayı birçok veriye ulaşamamıştır. Bazı kurumların ise bilgi vermektan çekinmesi ve veri paylaşım ağı serbestliğinin ölkemizde yaygınlaştırılmaması tezimizi kısıtlamıştır. Veri paylaşım sisteminin yaygınlaştırılması ile daha doğru ve uygun projeler çıkacağı aşıkardır.

Bu konu üzerinde farklı çalışma yapacak kişilerin AASHTO' nun 2002 yılında çıkardığı "Mekanistik-Ampirik Üstyapı Tasarım Rehberi" kullanılarak (MEPDG programı) daha detaylı ve daha fazla değışkenli tasarım yapması projeyi ileriye götürecektir.

KAYNAKÇA

Kitaplar

Johanns, M & Craig J., 2002. Pavement maintenance manual. Nebraska: Nebraska department of roads.

Karayolları Genel Müdürlüğü Güncelleme Komisyonu, 2013. *Karayolları Teknik Şartnamesi*. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları.

Sağlık, A. (Hzl.) & Güngör, A.G. (Hzl.), 2008. *Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi*. Ankara: Teknik Araştırma Daire Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü Yayınları.

Sürekli Yayınlar

Kök, B.V. & Kuloğlu, N., 2007. AASHTO-86 yöntemine göre üstyapı tabakalarının ekonomik analizi. *İMO Teknik Dergi*. **281**, ss:4257-4270.

Özcanan, S. & Akpınar, M.V.,2014. Esnek üstyapılarda kritik tekerlek ve aks konfigürasyonların mekanistik analizlere göre tespit edilmesi. *İMO Teknik Dergi*. **413**, ss: 6625-6654.



Diğer Yayınlar

Ahmedzade, P. & Yılmaz, M., Uzun ömürlü esnek üstyapıların tasarımı [İnternet]. Elazığ, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, web adresi: <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/3116.pdf> [Erişim Tarihi: 13.03.2015].

Avcı, S., (2006). Esnek üstyapı tasarım yöntemlerinden AASHTO 2002 ile AASHTO 1993 yönteminin karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Çetin, A., Tuncan, A. & Tuncan, M. (2001). Şehiriçi yollarda uygulanan asfalt kaplamalara genel bakış. *3.Kentsel Altyapı Ulusal Semp., İnşaat Müh. Odası*, 11-12 Ekim, Eskişehir. s.193-213.

Demir, M.C. (2001). Esnek yol üstyapılarında takviye tabakası tasarımı. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi. 2006. Web adresi: http://www.academia.edu/6551437/karayollar%C4%B1nda_%C3%BCst_yap%C4%B1_projelendirme_rehberi [Erişim Tarihi: 11.03.2015].

Giriş, Ü., (2007). Esnek üstyapılar ile rijit üstyapıların teknik ve ekonomik yönden karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Grosso, D.K.Q. & Monroy, L.F.Q., (2012). Generacion De Ayudas Para El Uso Del Software MEPDG En El Dimensionamiento De Pavimentos. *Tesis de Maestría*. Bucaramanga: Universidad Industrial De Santander Facultad De Ingenierias Fisico-Mecanicas.

Gürer, C., (2012). Ulaştırma Mühendisliği [internet]. Web: <http://www2.aku.edu.tr/~icaga/dersler/img/karayolu.pdf> [Erişim Tarihi: 20.04.2015]

Güngör, A.G. & Sağlık, A. (2009). Mekanistik ampirik üstyapı tasarımında esneklik modülünün şartnamelere uyarlanması. *5. Ulusal Asfalt Sempozyumu. Karayolları Genel Müdürlüğü*. 18-19 Kasım, Ankara. Web: <http://mailspm.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Baskanliklar/BaskanliklarTeknikArastirma/Yeni%20Klas%C3%B6r/Yay%C4%B1mlar/KGM-Esneklik%20Mod%C3%BCI%C3%BC-asfalt semp 09.pdf> [Erişim Tarihi: 11.03.2015]

Güngör, A.G., Sağlık, A. & Çalışkol, A., (2009). Yansıma çatlaklarının önlenmesinde ara tabakaların kullanımı. 5. *Ulusal Asfalt Sempozyumu. Karayolları Genel Müdürlüğü*. 18-19 Kasım, Ankara. Web: http://www.myo-os.duzce.edu.tr/dosya/cd/pdf/MYO_OS_9031.pdf [Erişim Tarihi: 11.03.2015].

İnşaat Mühendisleri Odası, Endüstriyel Betonların Oturduğu Zemin Özellikleri, 2006, web: http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/74706ebfa237147_ek.pdf [Erişim Tarihi:15.04.2016]. s:65-83.

Karavaşahin, M., (2015). Üstyapı Tasarımını Etkileyen Faktörler [internet]. Web: <http://muhendislik.istanbul.edu.tr/insaat/wp-content/uploads/2015/10/Hafta-2-%C3%9Cstyap%C3%AC-tasar%C3%ACm%C3%ACn%C3%AC-etkileyen-fakt%C3%B6rler.pdf> [Erişim Tarihi:10.01.2016].

Karavaşahin, M., (2015). BSK kaplamalı yollarda bozulmalar [internet]. Web: <http://muhendislik.istanbul.edu.tr/insaat/wp-content/uploads/2015/11/Hafta-7-BSK-Kaplamal-Yollarda-Bozulmalar.pdf> [Erişim Tarihi:10.01.2016].

Karavaşahin, M., (2014). Esnek üstyapıların projelendirilmesi. [internet]. Web: http://muhendislik.istanbul.edu.tr/insaat/wp-content/uploads/2014/12/ustyapi_7.pdf [Erişim Tarihi:19.10.2015].

Kök, E. (2008). Karayolu ve havaalanı üstyapı tasarım yöntemleri, karşılaştırması ve Türkiye uygulamaları. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kuloğlu, N., Özdemir, M.A. & Kök, B.V. Havaalanı esnek üstyapı tasarım metodlarının değerlendirilmesi [internet], Elazığ ,Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, web adresi: <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/3104.pdf> [Erişim Tarihi:11.03.2015].

Montuschi, A. (2012). Flexible pavement design using mechanistic-empirical methods: the californian approach. *Master of Science Thesis*. Bologna: Alma Mater Studiorum University of Bologna. Department of Civil, Chemical, Environmental and Material Engineering.

Okur, F. (2008). Havaalanı üstyapı tasarım yöntemleri. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Olkan, H., (2008). Asfalt kaplamalarda bakım metodları. *İş Makinaları Mühendisleri Birliği* [internet]. 24.12.2010, web adresi:

http://www.trakyainova.com/fileadmin/user_upload/teknik-bilimler/asfalt-kaplamalarda-bakim-metodlari.pdf [Erişim Tarihi: 13.03.2015].

Özgan, E., Serin,S., Ertürk, S., Hastürk, C. & Metin, E. (2010). Karayolu esnek üstyapısının projelendirilmesi; D100–11 karayolu örneği. *MYO-OS 2010- ulusal meslek yüksekokulları öğrenci sempozyumu*, 21-22 Ekim, Düzce. s:1-8.

Türkyılmaz, A., (2007). Esnek üstyapılı karayollarında koruyucu bakım yöntemlerinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ulaştırma ve Ulaşım Araçları Uygur Merkezi. 2015. *Ulaştırma Bakanlığının Ulaştırma Ana Plan Stratejisi Sonuç Raporu*. Şubat. Ankara.

www.asfaltkaplama.com/catlaktamiriderzdogusu

www.asphaltinstitute.org/asphalt-pavement-distress-summary

www.builtconstructions.in

www.dpw.lacounty.gov/gmed/lacroads/TreatmentFogSeal.aspx

www.murattoztasarim.com.tr/component/k2/item/13.html

www.ubak.gov.tr

Google earth

ÖZGEÇMİŞ

Burak İNANLI 1985 yılında İstanbul-Üsküdar’ da doğdu. Darıca Lisesini bitirdikten sonra, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat ve Jeoloji Mühendislikleri Bölümlerini tamamladı. Bir süre özel sektörde çalıştıktan sonra 2011 yılında Bayrampaşa Belediyesi, İmar ve Şehircilik Müdürlüğünde çalışmaya başladı. 2014 Yılında Bahçeşehir Üniversitesi, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi programında Yüksek Lisans eğitimine başladı. Halen Bayrampaşa Belediyesinde Mühendis olarak çalışmaktadır.

