

RİJİT ÜSTYAPILARIN KÖY YOLLARINDA UYGULANABİLİRLİĞİ: ESKİPAZAR ÖRNEĞİ

**2019
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

İsmail YAĞTU

**RIJİT ÜSTYAPILARIN KÖY YOLLARINDA UYGULANABİLİRLİĞİ:
ESKİPAZAR ÖRNEĞİ**

İsmail YAĞTU

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Haziran 2019

İsmail YAĞTU tarafından hazırlanan “RIJIT ÜSTYAPILARIN KÖY YOLLARINDA UYGULANABİLİRLİĞİ: ESKİPAZAR ÖRNEĞİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğretim Üyesi Halil İbrahim YUMRUTAŞ
Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 26/06/2019

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Doç. Dr. Altan ÇETİN (BÜ)

Üye : Doç. Dr. İnan KESKİN (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim YUMRUTAŞ (KBÜ)

İmzası



...../...../2019

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.



“Bu tezde tüm bilgilerin akademik kurallara, etik ilkelere uygun şekilde hazırlandığını ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan etmekteyim.”

İsmail YAĞLI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

RİJİT ÜSTYAPILARIN KÖY YOLLARINDA UYGULANABİLİRLİĞİ: ESKİPAZAR ÖRNEĞİ

İsmail YAĞTU

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğretim Üyesi Halil İbrahim YUMRUTAŞ

Haziran 2019, 132 sayfa

Karayolları üstyapısında kullanılan kaplamalar rijit ve esnek olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Dünya’da her iki kaplama türü de ülkeler bazında değişik oranlarda kullanılmakta olup ülkemizde ise beton yollar olarak adlandırılan rijit üstyapılar birkaç deneme kesimi hariç Karayolları Genel Müdürlüğü sorumluluk ağındaki yollarda henüz kullanılmamaktadır. Son yıllarda bazı belediye ve özel alanlarda (üniversite kampüsleri, konut siteleri, sanayi bölgeleri vb.) kısıtlı olarak kullanılsa da henüz kullanım alanları yeterince yaygın değildir. Her iki kaplama türünün de birbirlerine karşı birtakım avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Ülkemiz petrol açısından dışa bağımlılığı bulunan buna mukabil çimento sektöründe dünyada ilk sıralarda yer alan bir ülkedir. Bu çalışma ile petrol türevli bir kaplama türü olan esnek üstyapılar yerine, çimento esaslı rijit (beton) kaplamaların kullanım alanlarının arttırılması ve rijit

kaplamaların deformasyonlara karşı direnci, uzun süre bakım/onarım gerektirmemesi, hizmet ömrünün uzun olması, yüksek ısı farklarına karşı dayanımlı olması gibi üstünlüklerinden faydalanılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda çalışmada; esnek ve rijit üstyapılar ile bu üstyapılarda meydana gelen deformasyonlar mukayeseli olarak incelenmiş, ülkemizde ve dünyada uygulanmakta olan rijit üstyapı örnekleri sunulmuştur. Rijit bir üstyapı türü olan silindirle sıkıştırılabilir beton (SSB) kaplamaların köy yollarında uygulanabilirliği Karabük İli, Eskipazar İlçesi köy yolları özelinde irdelenmiş, ASSHTO 1993 tasarım esasları ve ampirik formüller kullanılarak SSB plak kalınlığı tayin edilmiş ve Streetpave yazılımı ile de hesaplanan değerler teyit edilmiştir. Ayrıca Karabük İl Özel İdaresi'nden temin edilen veriler ışığında köy yollarında hali hazırda kullanılan sathi kaplamalar ile yerine ikame edilmesi öngörülen SSB kaplamalar arasında mukayeseli ekonomik analizler gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak, Eskipazar köy yollarında halihazırda kullanılmakta olan sathi kaplama yerine SSB kaplama tercih edilmesi durumunda birbirine çok yakın maliyetler ortaya çıkmakta, bitümlü sıcak karışım kaplama tercih edilmesi durumunda ise %38,95 oranında ekonomik kazanç elde edileceği ayrıca özellikle kış mevsiminde görülen donma-çözünme süreçleri ve orman emvali taşınmasında ağır yüklü araçların kaplamaya verdiği zararlar nedeniyle ortaya çıkan sürekli bakım onarım masraflarının ortadan kaldırılabilceği öngörülmektedir.

Anahtar Sözcükler : Esnek üstyapılar, rijit üstyapılar, silindirle sıkıştırılmış beton (SSB), köy yolları, streetpave yazılımı.

Bilim Kodu : 911.1.134

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

**FEASIBILITY OF RIGID PAVEMENTS IN VILLAGE ROADS:
ESKİPAZAR EXAMPLE
YAĞTU, İsmail**

**Karabük University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

**Thesis Advisor:
Assist.Prof. Dr. Halil İbrahim YUMRUTAŞ
June 2019, 132 pages**

The pavements used in highways are divided into two classes as rigid and flexible. Both types of pavements are used in different ratios in countries around the world and in our country. Rigid pavements called concrete roads have not been yet applied on the roads in the responsibility network of General Directorate of Highways except for a few test sections. In recent years, although in some municipalities and private areas (such as university campuses, housing estates, industrial areas, etc.) have been used in a limited way, it has not widespread usage. Both types of pavements have advantages and disadvantages over each other.

Our country import tons of petroleum every year, but it is one of the top cement manufacturing countries in the world. In this study, it is aimed to increase areas of utilization of cement based rigid (concrete) pavements, instead of flexible pavements which is a petroleum derived pavement type and benefit from the advantages of rigid pavements such as resistance to deformations, long maintenance duration, long service life, high temperature changes resistance. In this regard; flexible and rigid pavements and deformations occurring in these pavements have been examined comparatively and applications of rigid pavements in our country and in the world have been presented. Applicability of roller compressible concrete (RCC) pavements, a rigid type

of superstructure, on village roads is evaluated. The RCC plate thickness was determined using the design principles of ASSHTO 1993 and empirical formulas and the values calculated by the Streetpave software were confirmed. In addition, in the light of the data obtained from the Special Provincial Administration of Karabük, comparative economic analyzes were conducted between the surface pavements currently used on village roads (surface treatment) and the RCC pavements which are planned to be substituted.

As a result, if RCC pavement is preferred instead of surface coating used in Eskipazar village roads, costs are very close to each other. If bituminous hot mixture pavement is preferred, economic gains of 38.95% will be obtained and also continuous maintenance and repair costs due to freeze-thaw cycles especially observed in winter season and deformations caused by heavy-duty vehicles in forestry transport will be diminished.

Key Word: Flexible pavements, rigid pavements, roller compacted concrete (RCC), village roads, streetpave software.

Science Code : 911.1.134

TEŞEKKÜR

Bu tezin her safhasında sabır göstererek alaka ve desteğini esirgemeyen,engin bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım değerli hocam Dr. Öğretim Üyesi Halil İbrahim YUMRUTAŞ’a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca 2017 yılından bu yana tez çalışmalarım dolayısı ile aileme yeterince zaman ayıramadığım bu zaman diliminde anlayış gösteren ve beni destekleyen eşim Betül YAĞTU’ya, insanın ailesinden uzakta olsa da her zaman uzakları yakına getiren anne ve babalarımıza, abilerime, desteğini esirgemeyen tüm dostlarıma teşekkürü bir borç bilmekteyim.

Yapmış olduğum bu tezi aileme ve 2018 yılı Eylül ayında dünyaya gelerek ailemize katılan canım oğlum Alp YAĞTU’ya ithaf ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	5
ÜST YAPI ÇEŞİTLERİ.....	5
2.1. ESNEK ÜST YAPILAR	5
2.1.1. Esnek Yol Üst Yapı Türleri	7
2.1.1.1. Düşük Standartlı Kaplamalar (yüzeysel veya koruyucu tabakalar)..	8
2.1.1.2. Yüksek Standartlı Kaplamalar (Bitümlü Sıcak Karışımlar)	12
2.1.2 Esnek Yol Üst Yapılarında Oluşan Bozulmalar	15
2.1.2.1. Çatlaklar	16
2.1.2.2. Kalıcı Şekil Değişimler	19
2.2. RİJİT ÜSTYAPILAR.....	25
2.2.1. Rijit Üstyapı Türleri.....	27
2.2.1.1. Derzli ve Donatısız Beton Kaplamalar	27
2.2.1.2. Derzli ve Donatılı Beton Kaplamalar	29
2.2.1.3. Sürekli Donatılı Beton Kaplamalar.....	30
2.2.1.4. Silindirle Sıkıştırılmış Beton (RCC).....	32
2.2.1.5. Geçirimli Poroz Beton Yollar	35

Sayfa

2.2.1.6. Lifli Beton Yollar.....	36
2.2.2. Rijit Yol Üst Yapılarında Oluşan Bozulmalar.....	38
2.3. ESNEK VE RİJİT YOL ÜSTYAPILARININ KARŞILAŞTIRILMASI	44
 BÖLÜM 3	49
DÜNYADA RİJİT ÜSTYAPININ KULLANIMI	49
3.1. FRANSA	50
3.2. AVUSTURYA	53
3.3. ALMANYA.....	53
3.4. HOLLANDA.....	54
3.5. BELÇİKA.....	55
3.6. AMERİKA BİRLEŞİK DEVLETLERİ.....	55
3.7. TÜRKİYE	56
 BÖLÜM 4	60
ÜSTYAPI TİPİ SEÇİM KRİTERLERİ.....	60
4.1.ÜSTYAPI TİPİ SEÇİMİNDE TEKNİK KRİTERLER	61
4.1.1. Trafik Etkileri	61
4.1.2. İklim ve Çevre Etkileri	62
4.1.3. Malzeme	63
4.1.4. Yapım Bakım Kolaylığı.....	64
4.2. ÜSTYAPI TİPİ SEÇİMİNDE EKONOMİK KRİTERLER	65
4.2.1. İlk Yapım Maliyeti	65
4.2.2. Proje Ömrü Süresindeki Bakım-Onarım-İşletme Maliyeti.....	66
 BÖLÜM 5	67
ESKİPAZAR KÖY YOLLARINDA BETON YOL UYGULANABİLİRLİĞİ	67
5.1.ESKİPAZAR İLÇESİNİN TANITIMI	67
5.1.1. Coğrafi ve Ulaşım Özellikleri.....	67
5.1.2. Demografik Yapısı	68
5.1.3. İklim.....	69

5.2. ESKİPAZAR KÖY YOLLARINDA GÖRÜLEN DEFORMASYONLAR..	69
5.3. ESKİPAZAR KÖY YOLLARI İLK YAPIM-BAKIM-ONARIM MALİYETLERİNİN İNCELENMESİ	75
5.4. ESKİPAZAR KÖY YOLLARINDA SSB UYGULANABİLİRLİĞİ.....	79
5.4.1. Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar	79
5.4.1.1. SSB Özellikleri ve Malzemeler	82
5.4.1.2. Agregas.....	82
5.4.1.3. Çimento.....	83
5.4.1.4. Su	84
5.4.1.5. Katkı Malzemeleri	84
5.4.1.6. Kür Malzemeleri	85
5.4.1.7. SSB Karışım Tasarımı	85
5.4.1.8. SSB Kaplamaların Yapısal Tasarımı	86
5.5. ESKİPAZAR KÖY YOLLARINDA SSB YOL TASARIMI İÇİN KULLANILAN PARAMETRELER	87
5.5.1. Proje Ömrü	87
5.5.2. Trafik	88
5.5.3. Güvenilirlik.....	88
5.5.3.1 I. Sınıf Yollar	89
5.5.3.2 II. Sınıf Yollar	89
5.5.3.3 III. Sınıf Yollar.....	90
5.5.4. SSB Plak Bozulma Oranı	90
5.5.5. Son Servis Kabiliyeti	90
5.5.6. SSB Üstyapı Taban Zemini	91
5.5.6.1. Kaliforniya Taşıma Oranı	91
5.5.6.2. Esneklik Modülü	92
5.5.7. Beton Basınç Dayanımı	93
5.5.8. Beton Eğilme Dayanımı	93
5.5.9. Kenar Desteği	93
5.5.10. Altemel	94
5.5.11. SSB Kaplama Tabakası	94
5.5.12. SSB Üstyapının Projelerendirilmesi.....	94
5.5.13. SSB Üstyapı Kalınlık Tabloları	95

Sayfa

5.5.14. Alttemel Yapılmama Durumu	96
5.5.15. SSB Üstyapı Taban Zemini İyileştirmesi	96
5.5.16. Çevresel Etkiler	97
5.5.17. Donma Etkisi	97
5.5.17.1. Don Penetrasyon Derinliği.....	97
5.5.17.2. Donmaya Hassas Zeminler	98
5.5.18. Isı Değişimleri	98
5.6. ESKİPAZAR KÖY YOLLARINDA SSB KALINLIK TAYİNİ	99
5.6.1. AASHTO-93 Tasarım Metoduna Göre SSB Kalınlık Tayini.....	100
5.6.1.1. Toplam Standart Dingil $T_{8,2}$ Tekerrür Sayısı	102
5.6.1.2. Kabul Edilen Hizmet Süresi.....	104
5.6.1.3. Güvenilirlik	104
5.6.1.4. Normal Standart Sapma	104
5.6.1.5. Toplam Standart Sapma.....	104
5.6.1.6. İlk Servis Yeteneği.....	105
5.6.1.7. Son Servis Yeteneği.....	105
5.6.1.8. Servis Yeteneği Kaybı	105
5.6.1.9. Drenaj Katsayısı.....	105
5.6.1.10. Yük Transfer Katsayısı	106
5.6.1.11. 28 Günlük Beton Eğilme Dayanımı	106
5.6.1.12. Efektif Zemin Reaksiyon Modülü	107
5.6.2. Street Pave Yazılım Programı ile SSB Kalınlık Tayini.....	109
5.6.2.1. Street Pave Yazılım Programında Kullanılan Parametreler	110
5.7.SSB MALİYET ANALİZİ	113
5.7.1. SSB Karışımının Hazırlanması.....	113
5.7.1.1. Birim Fiyata Dahil Olan Masraflar	113
5.7.1.2. Birim Fiyata Dahil Olmayan Masraflar	114
5.7.1.3. Ölçü	114
5.7.2. Büyük Plent Ünitesi ile Hazırlanmış Olan Çimento Karışımının Finişerle Serilmesi ve Silindirle Sıkıştırılması	114
5.7.2.1. Birim Fiyata Dahil Olan Masraflar	114
5.7.2.2. Birim Fiyata Dahil Olmayan Masraflar	115

	<u>Sayfa</u>
5.7.2.3. Ölçü	115
5.7.3. SSB Beton Yol Yüzeyine Su ile Kür Yapılması	115
5.7.3.1. Birim Fiyata Dahil Olan Masraflar	115
5.7.3.2. Birim Fiyata Dahil Olmayan Masraflar	115
5.7.3.3. Ölçü	116
5.7.4. Temel Yapılması.....	116
5.7.4.1. Birim Fiyata Dahil Olan Masraflar	116
5.7.4.2. Birim Fiyata Dahil Olmayan Masraflar	116
5.7.4.3. Ölçü.....	116
 BÖLÜM 6	 120
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	120
KAYNAKLAR	126
ÖZGEÇMİŞ	132

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Ülkemizde 2019 yılı itibari ile satih cinsine göre yol ağı.	4
Şekil 2.1. Tipik Esnek Üst Yapı Kesiti	6
Şekil 2.2. Esnek üstyapı tabakaları	7
Şekil 2.3. İlk Makadam tipi üstyapı kapalama uygulamaları.	8
Şekil 2.4. Satih Kapalama tipi üstyapı uygulaması.....	9
Şekil 2.5. Tek katlı satih kaplama üstyapı uygulaması.....	10
Şekil 2.6. Çift katlı satih kaplama üstyapı uygulaması.....	10
Şekil 2.7. Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) üstyapı uygulaması	14
Şekil 2.8. Farklı yoğunluktaki Timsah sırtı çatlakları	16
Şekil 2.9. Yüksek yoğunluklu timsah sırtı çatlağı şeklindeki deformasyonlar	17
Şekil 2.10. Esnek üstyapılarda büzülme çatlağı şeklindeki deformasyonlar	17
Şekil 2.11. Esnek üstyapılarda kayma çatlağı şeklinde oluşan deformasyonlar...	18
Şekil 2.12. Esnek üstyapılarda derz çatlağı şeklinde oluşan deformasyonlar.....	19
Şekil 2.13. Yapısal tekerlek izi oluşumu.....	20
Şekil 2.14. Esnek üstyapılarda tekerlek izi şeklinde oluşan deformasyonlar.	20
Şekil 2.15. Esnek üstyapılarda ondülasyon şeklinde oluşan deformasyonlar.....	21
Şekil 2.16. Esnek üstyapılarda oturma kaynaklı oluşan deformasyonlar.....	22
Şekil 2.17. Esnek üstyapılarda sökölme kaynaklı oluşan deformasyonlar	23
Şekil 2.18. Esnek üstyapılarda kabarmadan kaynaklı oluşan deformasyonlar	24
Şekil 2.19. ABD'de inşa edilen ilk beton kaplama.....	25
Şekil 2.20. Rijit ve Esnek Üstyapılarda meydana gelen yük dağılımları.....	26
Şekil 2.21. Tipik Rijit Üstyapı Kesiti.....	27
Şekil 2.22. Derzli Donatısız Beton Kaplama (JPCP).....	28
Şekil 2.23. Derzli Donatısız Beton Kaplama imalatı (JPCP).....	29
Şekil 2.24. Derzli Donatılı Beton Kaplama (JRCP).....	30
Şekil 2.25. Derzli Donatılı Beton Kaplama Uygulaması	30
Şekil 2.26. Sürekli donatılı tipteki rijit üstyapılar (CRCP)	31
Şekil 2.27. Sürekli Donatılı Beton Kaplama uygulaması.	31

Sayfa

Şekil 2.28. Sıfır çökme değerine sahip SSB numunesi.....	35
Şekil 2.29. Dökülerek finişerle sıkıştırılması yapılan SSB yol uygulaması	35
Şekil 2.30. Geçirimli (poroz) beton yol	36
Şekil 2.31. Taşıtların rijit kaplamalar üzerindeki etkileri	39
Şekil 2.32. Beton yolda meydana gelen enine çatlak	40
Şekil 2.33. 18 yıl sonunda hizmet ömrünü tamamlayan beton yol kaplaması.....	42
Şekil 2.34. Betonun hasarı için uygulanan alt modellerin girişimleri	42
Şekil 2.35. 2012 yılı itibari ile başlıca çimento üretici Ülkeler	46
Şekil 2.36. 2012 yılı itibari ile Dünyada çimento ihracatı	46
Şekil 3.1. Fransa'da trapezoid kaplama kamyon şeridi ve banket uygulaması	51
Şekil 3.2. Adana-Mavi Bulvar.....	57
Şekil 3.3. Adana-Turgut Özal Bulvarı	57
Şekil 3.4. Adana-Adnan Menderes Bulvarı	58
Şekil 3.5. Trabzon Tonya Yeşil Yol.	58
Şekil 3.6. Kocaeli Karamürsel E-130 Karayolu.....	59
Şekil 4.1. Çevresel faktörler sebebiyle ortaya çıkan deformasyon	63
Şekil 5.1. Karabük İli, Eskipazar İlçesi.....	67
Şekil 5.2. Karabük İli ve İlçeleri	68
Şekil 5.3. 2018 yılı yatırım programına alınıp BSK uygulanan muhtelif köy yolları	70
Şekil 5.4. Eskipazar İlçesinde yer alan köy yol türleri.....	71
Şekil 5.5. Donma-çözülme olayı sonrası yolda oluşan oyulmalar	73
Şekil 5.6. Sathi kaplamalı yolda meydana gelen sökülmeler.....	74
Şekil 5.7. Toprak işleme aletinin yola teması sonrası meydana gelen deformasyon .	74
Şekil 5.8. Eskipazar köy yolları muhtelif yerlerinde oluşan timsah sırtı çatlakları ...	74
Şekil 5.9. Eskipazar köy yollarının muhtelif yerlerinde oluşan kabarmalar	75
Şekil 5.10. Geleneksel Beton ve SSB Yol İçin Beton Karışım Oranlarının Karşılaştırılması	86
Şekil 5.11. Türkiye don penetrasyon derinliği haritası	98
Şekil 5.12. Silindirle sıkıştırılmış beton yol tabaka kalınlıkları.....	109
Şekil 5.13. Street Pave 12 paket programı	109
Şekil 5.14 Street Pave yazılım programına trafik bilgi girdileri	111
Şekil 5.15. Street Pave yazılım programına diyazn detay bilgi girdileri	112

Şekil 5.16. Street Pave yazılım aracılığı ile belirlenen SSB kalınlığı.....	112
---	-----



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Karayollarının Gelişim Süreci	2
Çizelge 1.2. Satış Cinsine Göre Yol Ağı	4
Çizelge 2.1. Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde yapılan SSB yol uygulamaları.....	34
Çizelge 2.2. Esnek ve rijit üstyapı kıyaslaması özet tablo	48
Çizelge 3.1. Ülkemizde Yapılan Rijit Üstyapı Uygulamaları	56
Çizelge 5.1. Eskipazar İlçesi merkez ve köy nüfuslarının yıllara göre değişimi	68
Çizelge 5.2. Karabük İli Eskipazar İlçesi'nde yer alan köy yolları uzunluğu	70
Çizelge 5.3. Köy Geometrik Standartları	72
Çizelge 5.4. Eskipazar İlçesinde yer alan köy yollarına son 6 yıl içerisinde yapılan harcamalar	76
Çizelge 5.5. Eskipazar İlçesi köy yolları bakım onarım tutarlarının 2018 yılına güncelleştirilmesi	77
Çizelge 5.6. 2018 yılı itibarı ile BSK üstyapı uygulaması maliyeti	78
Çizelge 5.7. Geleneksel Beton ve SSB Yolların mukayesesi	81
Çizelge 5.8. Güvenilirlik [r] seviyesi	88
Çizelge 5.9. Son Servis Kabiliyeti	91
Çizelge 5.10. Zeminlerin Esneklik Modülleri.....	92
Çizelge 5.11. SSB Üstyapı Kalınlık Tabloları	95
Çizelge 5.12. Seçme Malzeme (Cbr [%] ≥ 8) Tabaka Kalınlıkları	96
Çizelge 5.13. Donmaya Hassas Zemin Sınıfları	99
Çizelge 5.14. Donmaya Hassas Olmayan Malzeme Özellikleri	99
Çizelge 5.15. SSB Plak Kalınlığı Artış Miktarları	99
Çizelge 5.16. Taşıt eşdeğerlik faktörleri	102
Çizelge 5.17. Eskipazar Köy Yolları için T _{8,2} Tekerrür Sayısı	103
Çizelge 5.18. Değişken dingil T _{8,2} tekerrür sayılarına göre kaplama kalınlıkları ...	103
Çizelge 5.19. Güvenilirliğin standar normal sapma değerleri	104
Çizelge 5.20. Rijit yapılar için önerilen drenaj katsayı değerleri	105
Çizelge 5.21. 1984-2005 yılları arası Eskipazar İlçesi yağış miktarları	105
Çizelge 5.22. Çeşitli kaplama tipleri için önerilen yük transfer katsayıları	106
Çizelge 5.23. Efektif Zemin Reaksiyon Modülü (k, lb/İnc ³ , psi) tespiti	108

Sayfa

Çizelge 5.24. Tasarımda kullanılan veriler 108

Çizelge 5.25. SSB karışımının hazırlanması ve derz yapım işi birim fiyatları 117



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

CaCl ₂	: Kalsiyum Klorür
MgCl ₂	: Magnezyum Klorür
CMA	: Kalsiyum Magnezyum Asetat
NaCl	: Sodyum Klorür
CaCO ₃	: Kalsiyum Karbonat
CO ₂	: Karbondioksit
GW	: İyi derecelenmiş çakıl
GP	: Kötü derecelenmiş çakıl
SW	: İyi derecelenmiş kum
SP	: Kötü derecelenmiş kum
GM	: Kötü derecelenmiş çakıl-kum-silt karışımı
SM	: Kötü derecelenmiş kum-silt karışımı
GC	: Kötü derecelenmiş kum
SC	: Kötü derecelenmiş kum-kil karışımı
ML	: İnorganik silt ve çok ince kumlar
OL	: Organik siltler ve düşük plastisiteli organik silt-kil karışımı
MH	: İnorganik siltler
CL	: İnorganik killer
W ₁₈	: Eşdeğer Dingil Yüğü Tekerrür Sayısı
d	: Kaplama Kalınlığı (inc)
S _c	: Beton Eğilme Dayanımı (psi)
E _c	: Betonun Elastisite Modülü (psi)
k	: Zemin Reaksiyon Modülü (lb/inc ³) R: Güvenilirlik (%)
Z _R	: Normal Standart Sapma
S _O	: Toplam Standart Sapma
O PSI	: Servis Yeteneği Kaybı

P_I : İlk Servis Yeteneği
 P_T : Son Servis Yeteneği
 C_d : Drenaj Katsayısı
 J : Y¼k Transfer Katsayısı

KISALTMALAR

AB : Avrupa Birliği
TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu
KGM : Karayolları Genel Müdürlüğü
TÜPRAŞ : Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş.
BSK : Bitümlü Sıcak Karışım
ABD : Amerika Birleşik Devletleri
AASHTO : American Association of State Highway and Transportation Officials
(Amerikan Karayolları Birliği)
JPCP : Derzli Donatısız Beton Kaplamalar
JRCP : Derzli Donatılı Beton Kaplamalar
CRCP : Sürekli Donatılı Beton Kaplamalar
RCC : Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar
SSB : Silindirle Sıkıştırılmış Beton
FMA : Fayda Maliyet Analizleri
USACE : United States Army Corps Of Engineers (Amerika Birleşik Devletleri Ordusu Mühendisleri Birliği)
CE : Conformance European (Avrupa Uygunluk Belgesi)
TS : Türk Standartları
TÇMB : Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
AR-GE : Araştırma- Geliştirme
CBR : California Bearing Ratio (California Taşıma Gücü Deneyi)
KTŞ : Karayolları Teknik Şartnamesi
YOGT : Yıllık Ortalama Günlük Trafik
ASMÜD : Asfalt Müteahhitleri Derneği

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Ülkemizde 1 Mart 1950 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü'nün kurulması ile gerek yük taşımacılığı gerekse de yolcu taşımacılığına en çok hizmet sağlayan ulaşım türü karayolu olmuştur. 20. Yüzyıl sonrasında ön plana çıkan karayolu taşımacılığı, 2. Dünya Savaşı sonrası hızlı bir artış eğilimine girmiştir. 70'li yıllarda ise yaşanan enerji krizinden sonrası 80'li yıllarda karayolu taşımacılığı, artan eğilimini devam ettirmiş ve 2000'li yıllara gelindiğinde pek çok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde hakim ulaşım sistemi haline gelmiştir. Ülkemizde şuanda yük taşımacılığının % 89'u yolcu taşımacılığının ise % 97'si halen karayolu ile gerçekleştirilmektedir [1]. Bu da günümüzde gelişmekte olan tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de yük ve yolcu taşımacılığı alanlarında pastanın en büyük diliminin karayoluna ait olduğu gerçeğini gösterir niteliktedir.

Türkiye, Osmanlı'dan 14.000 km'si bozulmuş ve bakıma muhtaç halde olan 18.365 km'lik karayolu devralmış, cumhuriyet döneminin ilk senelerinde demiryolu yapımına ara verilmiş ve 1950'li yıllara kadar karayolunda yeterli düzeyde bir iyileştirme olmamıştır. Cumhuriyetin ilk dönemleri ağırlıkla savunma ve ekonomik gelişim politikalarının özünü oluşturan ve o dönemin en gelişmiş ulaşım modeli olan demiryolları ulaşımına duyarlı yatırımların uygulandığı birer dönem olmuştur. Bu dönem incelendiğinde eldeki imkânlar kısıtlı olmasına karşın ciddi demiryolu yatırımları yapılmış ancak tek başına yeterli olmadığı anlaşılmış bu nedenle karayolu yapımının gerekliliği görülerek 1929 yılında çıkarılmış olan Yol Kanunu ile Nafia Vekaleti kapsamındaki şose ve köprüler Reisliği'nin çalışmaları olmuş ancak dünya ekonomisinde yaşanan durgunluk ve 2. Dünya Savaşı'nın tüm dünya ülkelerine getirmiş olduğu sıkıntılar gelişmeyi önlemiştir [2]. Cumhuriyet ilan edildiğinde ulusal sınırlarımız içerisinde; 13.900 km 'si stabilize şose ve 4.450 km'si toprak olmak üzere toprak olmak üzere toplam 18.350 km yol ve 94

köprü bulunmaktaydı [3]. “Yol, ülke kalkınmasına ve toplumun ekonomik-sosyal gelişiminin temelini oluşturan en önemli alt yapı ağından birisidir.” İlkesiyle 1950 yılında kurulan KGM ile birlikte karayollarımızdaki gelişim seyri Çizelge 1.1’deki gibi olmuştur.

Çizelge 1.1. Karayollarının Gelişim Süreci [3].

1923	Erişilebilirliği Sağlayan Yollar
1950	Yaz-Kış Geçit Veren Yollar
1960	Asfalt Sathi Kaplamalı Yollar
1970	Bitümlü Sıcak Kaplamalı Yollar
1985	Otoyollar
2003	Bölünmüş Yollar
2013	Akıllı Yollar

Kuruluşunun ilk yıllarında “Tekerler Dönsün” sloganı ile işe başlayan Karayolları Genel Müdürlüğü daha sonraları yeni yollarda standart yükseltme ve ıslah çalışmalarına gitmiştir. Ayrıca “Köy yollarında grup köy yolu yapımına devam edilecektir. Birinci derece öncelikli köy yol ağlarının tespiti ve öncelik sırasına göre standartlarının iyileştirilmesi sağlanacaktır. Her yerleşim biriminin (köy ve köye bağlı mahalle, mezra, kom, kışlak vb. resmi hüviyet kazanmış yerleşim birimleri) birinci derece öncelikle köy yolu olacak şekilde projeli yol yapımına başlanacaktır.” Şeklinde kalkınma planı tarifi edilerek hedefler belirtilmiştir. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından 2001 yılında oluşturulan “Birinci Derece Öncelikli Köyyolları Master Planı” doğrultusunda, 1924 ve 1997 yılları arasında köy yolları yapım çalışmaları neticesinde, ulaşılamayan köy kalmamış olduğu gibi ayrıca bir köyün veya bağlantısının birkaç alternatif yol bağlantısı da bulunmaktaydı.

KGM’nün sorumluluğu altında olan karayolları uzunluğu 2019 yılı itibariyle toplam 67.333 km olup İl yolu, otoyol ve devlet yolu olmak üzere 3 sınıf yol ağından meydana gelmektedir. Karayolları Genel Müdürlüğü günümüzde Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı’na bağlı tüzel kişilikli bir organizasyon olup, 6001 sayılı Kanunla il yollarının otoyolların, devlet ve plan, proje, yapım, bakım, onarım ve işletilmesi Karayolları Genel Müdürlüğü’ne verilmiş bulunmaktadır. KGM’nün yol ağına dahil

olmayıp diğerkurumların sorumluluğualtında yer alan yollar ise; köy yolları, orman yolları, şehiriçi yollar, turistik yollar olup turistik yolların yapım-bakım ve onarımı, Kültür ve Turizm Bakanlığı’nca sağlanan bütçelerle Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından tatbik edilmektedir.

2001 yılında hazırlanan “Birinci Derece Öncelikli Köyyolları Master Planı” ile yapılacak çalışmalar daha önceki yıllarda Köy Hizmetleri tarafından koordine edilmekte iken, hazırlanan Mahalli İdareler Kanun Tasarısının yürürlüğe girmesi ile birlikte köy yollarının yapım, bakım ve onarımı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü kaldırılmak sureti ile İl Özel İdarelerine devredilerek köy yolları Özel İdarelere, orman yolları Orman Bakanlığı’nın, şehiriçinde yer alan yollar ise Belediye sorumluluğuna devredilmiştir.

3 Ekim 2005 tarihli Avrupa Birliği (AB) Müzakerelerinin ana başlıklardan bir tanesi de Ulaştırma Politikası faslı olduğu görülmektedir. Avrupa Birliğine girişe dair yol haritasında uyum ile ilgili en ciddi sorunların başında ulaşırma, tarım, eğitim ve sağlık ile ilgili alanlarda olduğu inancı yaygındır. Kış aylarında ulaşımın sağlanamadığı ve sağlık hizmetlerinin götürülememesi ülkemiz engellerinin başında gelmektedir. Karayolu ve köy yollarının yapım- bakım ve ıslah işlemleri bu açıdan önem arz etmektedir. Artık ülkenin heryerine kadar ulaşımın sağlanması sadece ülkesel olmamakta küresel anlamda da bir gereklilik haline gelmektedir. [4].

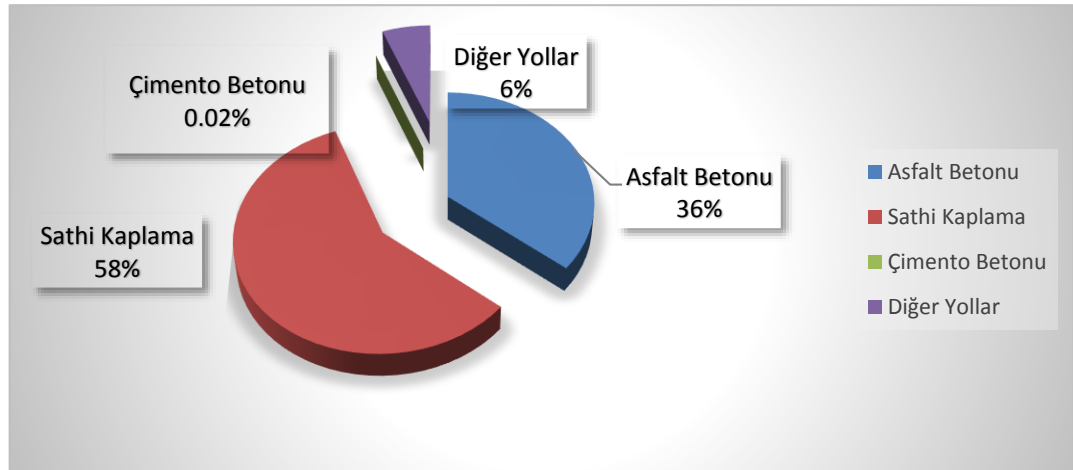
Ülkemizde motorlu kara taşıt sayısı 2019 ocak ayı Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) rakamlarına göre 22.940,636 olarak bilinmekte ve her geçen gün karayoluna çıkan taşıt sayısı artmakta olup bu da yolların daha hızlı deforme olmasına ve yıpranmasına sebep olmaktadır. Her geçen yıl artan taşıt trafiğine karşılık verebilecek donanım, kaliteye ve konfora sahip yolların yapılabilmesi için oldukça yüksek miktarlarda gerek yapım gerekse bakım onarım maliyetleri ortaya çıkmaktadır. Bu maliyetleri asgari seviyeye çekebilmek adına yıllarca sorunsuz olarak kullanılabilen ve daha ucuza mal edilebilen % 100 milli sermaye olan çimento betonu ile üretilen rijit üstyapılar (beton yollar) gündeme gelmektedir. 2004 yılından bu yana KGM’ye bağlı yol ağında toplamda sadece 8.1 km beton yol uygulaması denemesi yapılmıştır. Yani yol ağımızın sadece onbinde ikisi beton yollardan oluşmakta iken dünyada beton yol oranları Almanya’da

% 38, Avusturya ‘da % 46, Belçika’da % 40 ve köy yollarında % 60, Fransa’da %15 ve yeni yapılan yollarda % 30, Amerika’da bazı eyaletlerde %90 lara ulaşırken Hollanda’da bisiklet yolları dâhil tüm yollar rijit kaplama olup Ülkemizde 2019 yılı itibari ile satıh cinsine göre yol ağı Çizelge 1.2 de görülmekte olup Şekil 1.1’de satıh cinslerine göre kullanılan üstyapı yüzdeleri verilmiştir [5].

Çizelge 1.2. Yol Çeşidine Göre Yol Ağı Uzunlukları (Km) [3].

01.01.2019 tarihi itibariyle							
	Asfalt Betonu	Sathi Kaplama	Parke	Stabilize	Toprak	Diğer Yollar	TOPLAM
Otoyol	2 159	-	-	-	-	-	2 159
Devlet Yolları	17 520	13 115	58	27	-	301	31 021
İl Yolları	4 403	26 218	232	537	443	2 320	34 153
TOPLAM	24 082	39 333	290	564	443	2 621	67 333
01.01.2019 Tarihi İtibari ile Bölünmüş Yol Uzunlukları (km)							
Otoyollar	Devlet Yolu		İl Yolu		Toplam		
2159	20.475		1796		24.430		

Ülkemizde 01.01.2019 tarihi itibari ile esnek ve rijit üstyapıların tüm yol ağına oranları Şekil 1.1’de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Ülkemizde 2019 yılı itibariyle satıh cinsine göre yol ağı.

BÖLÜM 2

ÜST YAPI ÇEŞİTLERİ

Yol üstyapılarını oluşturuldukları malzemeye göre:

- ❖ Esnek Üstyapılar
- ❖ Rijit Üstyapılar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

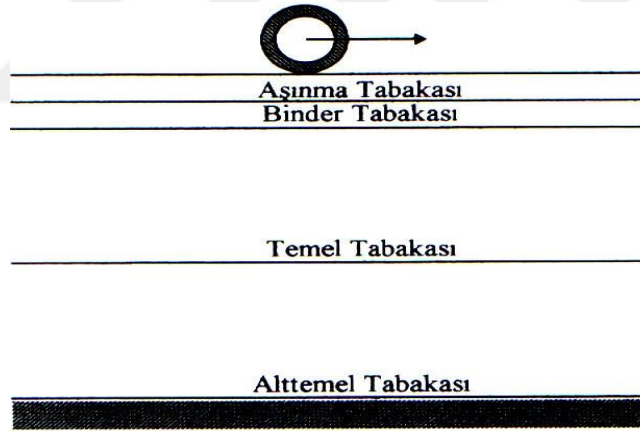
2.1. ESNEK ÜSTYAPILAR

5000 yıldan daha uzun süredir bilinen ve ilk dönemlerde doğal depozitlerden üretilen asfalt, geçirimsiz olan petrol atığı bir kaplama malzemesi ve harç olarak kullanılmaktaydı. Günümüzde asfalt malzemesi halen geçirimsizliği sağlayan, bir kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ancak asfalt yolların geçmişine baktığımızda ise en fazla 100 yıl öncesine dayandığı görülmektedir. Geçmiş yıllarda asfalt malzemesi, bağlayıcısız yapılan yüzey tabakasında hareket halinde olan araçların kaldırdığı tozu önlemek vasıtasıyla kullanılmış ayrıca ilk asfalt karışım plenti ise 20'li ve 30'lu yıllar arasında kullanılmaya başlanmıştır.

Türkiye tarihinde ilk asfalt uygulaması, Osmanlı dönemlerinde başlamış olup ayrıca makadam kaplamaların yapımında Fransızlardan destek alınmıştır. Cumhuriyet yıllarında ise 1929'da başlayan asfalt kaplama yapımı, 1948'de Amerika Birleşik Devletleri'nden sağlanan Marshall teknik yardımı aracılığı ile kullanımı artmış ve 1 Mart 1950'de KGM'nün kurulması ile gelişim başlamış, 1950 yılında yaklaşık 9.500 km olan yol ağı, 2019 yılı itibarıyla 67.333 km'lere kadar ulaşmıştır. 70'li yılların sonunda bölünmüş ve çok şeritli yolların yapımına başlanılmıştır. Bu yıllarda, KGM'nün de yardımları ile birçok yüklenici bitümlü sıcak karışım (BSK) üretim ve uygulamasına uygun olacak şekilde makine parkları oluşturmuş olup yapım çalışma alanlarına asfaltı da katmışlardır. 1980'li yıllarda hali hazırda bulunan karayolları

ağı standartlarının rehabilite edilerek yükseltilebilmesi için rehabilitasyon projeleri uygulanmaya başlanmış bu şekilde Türkiye’de otoyol ağlarının geliştirilmesi çalışmalarına başlanılmıştır. Yeni projeler ve otoyol uygulamaları, Türkiye asfalt endüstrisinde kayda değer gelişme ve büyümeye neden olmuş olup yeni teknoloji gelişmeleri, bilgiye sahip kalifeyeli insan gücü ile artış gösteren üretim ve makine ekipmanları ile bugüne ulaşılmıştır. [6].

Düşük standartlı kaplamalar (yüzeysel veya koruyucu tabakalar) ve yüksek standartlı kaplamalardan oluşan esnek üstyapı; üzerine gelen trafik yüklerini bünyesindeki çeşitli tabakalardan aktarıp altyapının taşıyabileceği değere indirip, altyapıyı trafiğin ve çevresel koşulların olumsuz etkilerinden koruyup, en alttan en üste doğru nitelik ve taşıyıcılık bakımından daha iyi malzemelerden inşa edilen (alttemel, temel ve kaplama), düzgün bir yuvarlanma yüzeyine sahip, bağlayıcısı bitümden oluşan tabakalı yol yapısı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.1’de esnek üstyapı tabakaları görülmektedir.



Şekil 2.1. Esnek üstyapı tabakaları [7].

Ülkemizde üretim sağlanan ham petrol yetersizliği sebebi ile her sene yalnız Tüpraş kanalı ile ithal edilen ham petrol miktarı 20 milyon ton üzerindedir. Bu fazlalıkta petrol ithalatının diğer bir açıklaması, senede milyon tonlara sahip bitüm ithalatının yapılmakta olduğudur. Tüpraş kayıtlarında son iki yılda ithal edilen bitüm miktarı iki milyon ton üzerindedir.

Asfalt, ana maddesi petrol katranı olan bağlayıcı özelliği yüksek, yapıştırıcı özelliği olan ve aderans sağlayan, suyun geçmesine olanak vermeyen dayanımı yüksek bir

1. Dolgu Şevi

2. Doğal Zemin

3. Ust Yapı tabanı

4. Banket Kaplaması

5. Alttemel Tabakası

6. Temel Tabakası

7. Kaplama Tabakası

7.1 Aşınma

7.2 Binder

7.3 Bitümlü Temel

8. Hendek Şevi

9. Yarma Şevi

10. Yol Enine Eğimi

11. Tesviye Yüzeyi

12. Üstyapı Proje Kalınlığı

13. Banket Eğimi

14. Trafik Şeritleri Genişliği

15. Banket Genişliği

16. Yol (Platform) Genişliği

17. Üstyapı Tabanı Genişliği

18. Mevcut Yüzeyin Enine Eğimi

19. Standart Yeraltısuyu Drenajı

Şekil 2.2. Tipik Esnek Üst Yapı Kesiti [9].

2.1.1. Esnek Yol Üst Yapı Türleri

Esnek yol üstyapıları, taşıtlar için gerekli sürüş ve emniyet performansını sağlayan ve taşıtların sebep olduğu gerilmelere karşı yeterince duraylılığa (deformasyona karşı gösterdiği dirence) sahip olan farklı özelliklerdeki tabakalardan oluşan bir yapıdır. Esnek üstyapıları;

- ❖ Düşük standartlı kaplamalar (yüzeysel veya koruyucu tabakalar)
- ❖ Yüksek standartlı kaplamalar (bitümlü sıcak karışımlar)

olmak üzere iki ana başlıkta toplamak mümkün olup ayrıca;

Tek yönde ve 20 yıl için toplam eşdeğer standart dingil yükü (8.2 ton) sayısı;

- ❖ 40.000 ‘den az ise kaplamasız (stabilize)
- ❖ 40.000-100.000 ise tek kat sathi kaplama veya kaplamasız
- ❖ 100.000-500.000 değerleri arasında tek kat sathi kaplama
- ❖ 500.000-2.000.000 değerleri arasında ise çift kat sathi kaplama

- ❖ 2.000.000'dan fazla ise beton asfalt (BSK) kaplama yapmak ekonomik olmaktadır [10].

2.1.1.1 Düşük Standartlı Kaplamalar (yüzeysel veya koruyucu tabakalar)

Düşük standartlı kaplamalar, trafik hacminin düşük olduğu; genel olarak günlük ağır taşıt trafiğinin 500'den az ya da 8.2 ton standart dingil yükünün 20 yıldaki tekrar sayısının 2 milyondan az olduğu durumlarda ekonomik olan kaplamalardır. Bu kaplamalara; stabilize yolları, Makadam tipi kaplamaları, sathi tipi yol kaplamaları dahil edilmektedir.

Makadam Sathi Kaplamalar

Yeterli Taşıma gücüne sahip temel tabakası üzerine sırasıyla kaba agregası, birinci Bitüm tabakası, orta agregası, ikinci Bitüm tabakası ve ince agreganın sırası ile oturtularak her bir agregası seriminden sonra sıkıştırılması ve stabilize kaplamaların çeşitli işlemlerle iyileştirilmesi (bitüm emdirme) sonucu ile oluşturulan düşük standartlı esnek bir kaplamadır [8]. Makadam kaplamaya ismini veren Mc-Adam yol yapım aracı olarak kırma taşı kullanmış ve böylece 50' li yıllara kadar yoğunlukla kullanılan makadam tipi yol ortaya çıkmıştır. Bu yolda en üst tabaka, kırmataşın bir silindiri ile sıkıştırılması ve boşlukların taş tozu hamuru (filler) ile doldurulması ile inşa edilmiştir [10]. İlk Makadam tipi üstyapı uygulamaları Şekil 2.3'de gösterilmektedir.



Şekil 2.3. İlk Makadam tipi üstyapı kaplama uygulamaları [11].

Bitümlü Sathi Kaplamalar

Sathi kaplamalar ülkemizde en çok kullanılan kaplama türü olmasıyla birlikte 2019 yılı verilerine göre ülkemizdeki karayolu ağının % 58'ini oluşturmaktadır. Bu türlü esnek üstyapılar, elekten geçirilmiş malzemeden meydana gelen temel ile alttemel tabakası üzerine oturan, herhangi bir hareketli yük taşıma hacmine sahip olmayan yol yüzeyinde düzgün bir yuvarlanma, yeterli kayma (sürtünme) katsayısı sağlayan, bununla birlikte yüzey sularının alt katmanlara ulaşımını engelleyen bir kaplama türüdür. Yol standartlarının ve araç konforlarının her geçen gün daha da ileri gittiği günümüzde hala ekonomik sebeplerden ötürü sathi (yüzeysel) kaplamalar şehir içi ve şehirler arası yollarda çok yaygın bir şekilde inşa edilebilmektedir. Genellikle bu kaplamalar ortalama günlük ağır ticari araç sayısı çift yönde 500 den küçük ve proje süresi boyunca tek yönde toplam dingil yükü sayısı 2.000.000 dan daha az olan yollarda ekonomik bulunmaktadır. Çok az yük taşıma yeteneği olmasından ötürü üst yapının yük taşıma kapasitesi hesaplanırken dikkate alınmamaktadır. Ayrıca bir yol güzergahında üst yapı seçimi yapılmadan önce agrega, bitüm, zemin durumu gibi faktörler dikkatli şekilde incelenip analiz edilmeli ve bu şekilde değerlendirilmelidir [12]. Yapılış yöntemine göre sathi kaplamalar tek ve çift katlı sathi kaplamalar olarak ikiye ayrılmakta olup şekil 2.4'de örnek bir satih kaplama uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.4. Satih Kaplama uygulaması (Yirmibeşoğlu Köyü, Yenice)

Tek Katlı Sathi Kaplamalar

Üstyapılarda kabul gören hizmet ömrü süresince geçecek, tek yönde standart dingil sayısı ($T_{8,2}$) 2.000.000' dan az ve toplam dingil sayısı ($T_{8,2}$) 500.000' den az ise tek katlı sathi kaplama yapılması uygun olmaktadır. Bu tip kaplamalar herhangi bir yol ağına bir tabaka bitümlü malzeme ve akabinde mümkün olduğunca üniform ebatta bir katman agreganın tatbikatı ile meydana gelir. Kaplama kalınlığı agrega kalınlığının yaklaşık maksimum ebadı kadardır. Bu tip bir sathi kaplamada agrega çapları nerdeyse birbirinin aynısıdır. Şekil 2.5'de tek katlı satih kaplama üstyapı uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.5. Tek katlı satih kaplama üstyapı uygulaması [10].

Çift Katlı Sathi Kaplamalar

Toplam dingil sayısı ($T_{8,2}$) 500.000 -2.000.000 arasında olan üstyapılarda, çift katlı sathi kaplama tabaskası yapılmaktadır. Bu tip kaplamalar iki veya daha fazla bitümlü sathi kaplamanın birbiri ardına dökümü ile meydana gelmektedir. Çift katlı sathi kaplamalar, tek katlı sathi kaplamalardan daha uzun ömürlü olup su geçirimsizliği de tek katlı sathi kaplamalara göre daha iyi durumdadır. Şekil 2.6'da çift katlı satih kaplama üstyapı uygulaması görülmektedir. [12].



Şekil 2.6. Çift katlı satih kaplama üstyapı uygulaması [10].

Bitümlü Koruyucu Sathi Kaplama (Seal Coat)

Gerek mevcutta bulunan kaplamanın hizmet ömrünü arttırmak ve yüzey özelliklerini iyileştirme amacı ile, asfalt beton tabakası üzerine ince bir bitüm içeren bağlayıcı

tabaka ve hemen ardından agrega tabakası sonrasında serilip, sıkıştırılması ile yapılan bitümlü koruyucu sathi kaplamanın yapımını kapsamaktadır. 12,5 mm kalınlığından fazla olmayacak şekilde tatbiki yapılan koruyucu sathi kaplama (seal- coat) tabakası ayrıca;

- ❖ Yol kaplamasını hava ve nemin olumsuzluklarından korumak,
- ❖ Eski ve sıyrılmış yüzey kısımları yenilemek,
- ❖ Kaygan kısımlarda sürtünme direncini artırmak ve
- ❖ Yüzey rengi değişikliği sayesinde daha iyi bir görüş elde etme amaçlarıyla kullanılabilmektedir. [9].

Bitümlü Emülsiyonlu Harç Tipi Kaplama (Slurry Seal)

1930' lu yılların başında ince dane çapına sahip agrega ile bitüm içerikli bağlayıcı ve sudan oluşmakta olan karışım uygulaması Almanya'da tatbik edilmiştir. Yapılan bu uygulama ile yol yüzey bakımında alışlagelmiş durum dışında bir yaklaşım, yeni bir teknik olarak ortaya çıkmış ve bitümlü harç tipi kaplamanın gelişiminin miadı kabul edilmiştir.

1930-1940 yılları arasında bütün dünyada bu uygulama ile ilgili ciddi denemeler başlamış ancak bitümlü harç tipi kaplamanın yaygın olarak uygulanması 60'lı yıllarda gelişme göstermiştir. Bitümlü harç tipi kaplamaların gerçek anlamda ilgi görmesi ise emülgatör ve sürekli serim yapabilen finişerlerin kullanılmaya başlamasıyla ortaya çıkmıştır. Bu tip kaplamalarda kullanılan ana malzemeler: Su, bitüm emülsiyonu, çimento, agrega ve katkı maddeleri olup bu tip kaplamaların performansı seçilen malzemelerin kalitesine ve malzemelerin kür esnasında ve kür işleminden sonra etkileşiminin nasıl olduğuna bağlı olmaktadır.

Bitümlü harç tipi kaplamalar belli bir uygulama aralığında kullanılmakta olup çoğu kez çukurlukların tamiri, çatlakların onarımı, yama yapımı gibi ön işlemlerde ihtiyaç duyulmaktadır. Bitümlü harç tipi kaplamanın kullanım süresinin 5-7 yıl civarında olduğu bilinmektedir. Uygulamanın uygun yollarda koruyucu bakım yöntemi olarak doğru şekillerde yapılması ile daha uzun (en fazla 15 yıl) servis süresinin olduğu gözlenmiştir [13].

Mikro-Kaplama (Micro- Surfacing)

Mikro-kaplama, polimerle modifiye edilmiş bir bitüm emülsiyonu, mineral agrega, mineral dolgu malzemesi, su ve katkı maddelerinin uygun oranlarda bir araya getirilerek hazırlanan bir karışım olup, belli bir şartnameye göre hazırlanarak tüm yüzeyi kaplayacak şekilde serilmektedir.

Karışım bir “çabuk trafik sistemi” olmakta, yani kısa bir süre sonra trafik kabul edebilmektedir. Normal olarak, bu sistemlerin, 24°C sıcaklıkta ve yüzde 50 veya daha düşük nem oranında yayıldıktan sonra 12,7 mm kalınlıkta yüzeyde bir saat içinde akan trafiği alabilmesi beklenmektedir. Mikro-kaplama uygulamasında kullanılan ana malzemeler: Bitüm emülsiyonu, Agrega, Mineral filler, Su ve Katkı maddeleridir [14].

2.1.1.2. Yüksek Standartlı Kaplamalar (Bitümlü Sıcak Karışımlar)

Bitüm, ilk kez milattan önce 3000 yıllarında Sümerler tarafından değerli taş kabuklardan yapılan heykellerde bağlayıcı malzeme olarak ve bu dönemlerde genellikle bağlayıcı ve mumyalarda koruyucu malzeme olarak kullanılmıştır. Ancak milattan önce ise 625 yıllarında yol malzemesi olarak kullanıldığı görülmektedir. Babil’de Nabopolassar sarayından şehrin kuzey duvarına giden yol, Nabopolassar’ın kendi emriyle bitüm ve yanmış tuğla karışımıyla kaplanmıştır. Bitüm Antik Yunan’da da bilinen bir malzemedir. Kelime kökeni olarak asfalt, “asphaltos” kelimesinden gelmektedir. Bu da Yunancada “güvenli” anlamına gelmektedir. Banyo, rezervuar ve su kanallarını kaplamakta asfaltı kullanan Romalılar bu kelimeyi zamanla “asphaltus” a çevirmiştir.

Asırlar sonra Avrupalılar, yeni dünyayı araştırırken doğada asfalt kaynakları bulmuşlardır. 1595 yılında, Venezüella açıklarındaki Trinidad adasında bir asfalt gölü bulan Walter Raleigh, bu malzemeyi gemilerinin tamiratında kullanmıştır. Peru’daki İnkalar’ın yol sistemlerinde de M.S. 1500 yıllarında, modern bitümlü makadam kaplama benzeri bir karışım kullandıkları da görülmektedir.

Amerika ve Avrupa’da ise 19. Yüzyıla kadar asfaltın kaplama malzemesi olarak kullanıldığına rastlanmamaktadır. İlk olarak Paris’in Champs-Élysées bulvarında,

1824 senesinde yollarda yol malzemesi olarak asfalttan yapılmış bloklar kullanılmıştır. New York'ta Columbia Üniversitesi'nde Edward Smedt tarafından geliştirilen modern yol asfaltı, 1872 yılında yeniden Smedt tarafından modern iyi derecelendirilmiş, maksimum yoğunluklu bitüm halini almıştır. New York 5. Cadde'de yine 1872 yılında ilk defa bitümlü karışım kullanıldığı görülmektedir. Yol yapımlarında kullanılan bitüm malzemeleri yirminci yüzyıla kadar doğal malzemelerden elde edilmekte ve doğal asfaltın içine sadece bitümü yumuşatmak için rafine edilmiş petrol asfaltı ilave edilmekteydi. Bitüm malzemesi, doğal asfaltın yerini 1907 senesinden sonra almış olup otomobillerin bu dönem içerisinde daha yaygın şekilde kullanılmasından dolayı yolların daha iyi ve olması ihtiyacı artmış ve bu şekilde günümüzde kullanılan modern yol yapım ve kaplama yöntemlerine kadar ulaşılmıştır [15].

Günümüzde ise bitümlü sıcak karışımlar (BSK), asfalt ve bağlayıcısıyla üniform şeklinde karıştırılmış ve sarılmış agrega birleşiminden oluşmaktadır. Uygun bir karışım ve işlenebilirlik elde etmek için agregaları kurutmak ve asfalt çimentosunun yeterli akışkanlığını sağlamak amacıyla karıştırma işleminden önce hem agrega hem de asfalt ısıtılmakta ve bundan dolayı karışıma sıcak ifadesi eklenmektedir. Asfalt ile agregalar, istenilen şekilde bir kaplama karışımı üretmek amacıyla bünyesinde ilgili tüm bileşen malzemelerin ısıya maruz bırakıldığı ve karıştırıldığı bir plant tesisinde bir araya getirilmektedir. Plantte karışım süresi tamamlanan sıcak karışım, kaplama alanına taşınmakta ve üniform, düzgün bir yüzeye, hafifçe sıkıştırılmış halde bir kaplama makinası (finişer) aracılığı ile serilmektedir. Karışım hala sıcak durumda iken, malzeme, pürüzsüz ve iyi konsolide olmuş bir kaplama tabakası elde etmek amacıyla ağır motorlu silindirler ile sıkıştırılmakta [16] olup şekil 2.7 de tipik bir BSK uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.7. Bitümlü sıcak karışım (BSK) üstyapı uygulaması.
(Karabük- Gere de yol ayrımı)

Taş mastik asfalt (SMA-Stone Mastic Asphalt) Kaplama

Kesik gradasyona sahip olan bu karışım, kaba agreg a iskeleti içindeki boşlukların bitüm-filler harcı ile doldurulmasıyla elde edilmektedir. Bu tip karışımlarda, oluşturulan agreg a iskelet yapısı ile yüksek mukavemet sağlanmaktadır. Karışım tekerlek izlerinin oluşumuna karşı dirençli olup, uygun sıkıştırılması durumunda, yüksek bitüm oranı nedeniyle durabilitesi de çok yüksektir. Taş mastik asfaltın üretimi ve uygulanması sırasında bitümün akmasını önlemek için genellikle elyaf, polimer veya her ikisi de kullanılmaktadır [17].

Geçirimli (Poroz) Asfalt Kaplama

Kaba agreg a oranı yüksek, ince agreg a ve filler kısmı az olan uniform açık gradasyonlu malzemelerle oluşturulan bu karışımın boşluk oranı yüksek olup, yüzeyden üstyapıya giren suların drenajını sağlamaktadır. Açık gradasyonlu karışımların üretimi sırasında bitümün akmasını önlemek için, polimerler ve elyaflar kullanılmaktadır. Yüksek drenaj özelliğine sahip poroz asfaltın uzun ömürlü olabilmesi için, bitümlü bağlayıcı filminin süreklilik göstermesi ve nispeten kalın olması gerekmektedir [17].

Ilık Asfalt Kaplama

Ilık karışım asfalt kaplama, bitümlü sıcak karışım sıcaklığını yaklaşık 20-30 °C düşürecek şekilde uygun metotla hazırlanan ayrıca enerji tasarrufu sağlamak ve emülsiyonları azaltmak amacıyla kullanılan bitümlü bir karışımdır. Karışımın hazırlanması esnasında sıcaklığın yaklaşık 10 °C aşağı çekilmesi için emülsiyonun % 50 oranında azalış göstermesine sebep olduğundan, günümüzde fazla yaygın olmayan bu teknolojinin gelecekte önem kazanacağı aşikardır. Düşük sıcaklıkta asfalt üretmek için değişik karışım işlemleri uygulandığı gibi, suyu uzaklaştıran zeolit gibi katkı malzemeleri veya bitüm viskozitesini azaltmak için parafinin kullanıldığı değişik metotlar uygulanmaktadır [17].

2.1.2. Esnek Yol Üst Yapılarında Oluşan Bozulmalar

Taban zemininden başlamak üzere genel olarak alttemel tabakası, temel tabakası, binder tabakası aşınma tabakası olarak karşımıza çıkan yol üst yapıları, trafik yüklerini altyapıya yayarak dağıtan ve yolun daha uzun ömürlü olmasını sağlayan tabakalı yapı sisteminden oluşmaktadır. Üstyapı inşasında temel amaçlardan biri, altyapıyı korumak ve düzgün bir yuvarlanma yüzeyi elde etmektir [18].

Esnek yol üstyapıları, kaplama tabakası bitümlü karışımdan, temeli bitümlü veya granüler malzemeden, alttemeli de granüler veya kırma malzemeden oluşan üst yapılarıdır [19]. Ülkemiz sınırlarında “2017 yılı itibariyle satıl cinsine göre yol ağı.” verilerinden de anlaşılabileceği üzere en çok kullanım alanına sahip üstyapı türü, esnek üstyapı kaplamalarıdır. Genel olarak yol üstyapıları, yol trafiğe açıldıktan sonra, trafik yükleri, çevre ve iklim koşulları ve yol altyapısından kaynaklanan bozulmalara maruz kalırlar. Tabii zeminde meydana gelen oturma yada hareketlenme şeklindeki zayıflıklar kalıcı deformasyon veya çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Türkiye koşullarında, yol üstyapı çeşidinin, tasarım yönteminin ve malzemenin yanlış seçimi, trafiğin hızlı ve kontrolsüz biçimde artması, iklimsel koşulların ağırlığı yol yapımı sırasındaki projeye ve tekniğe uygunluk oluşturmeyen alt yapı inşası, bakım ünitesinin daha az etkin çalışması ve öteki ünitelerle koordinasyon eksiklikleri başlıca bozulma nedenleri olup esnek yol üstyapılarında meydana gelen bozulmalar aşağıda verilmektedir [20].

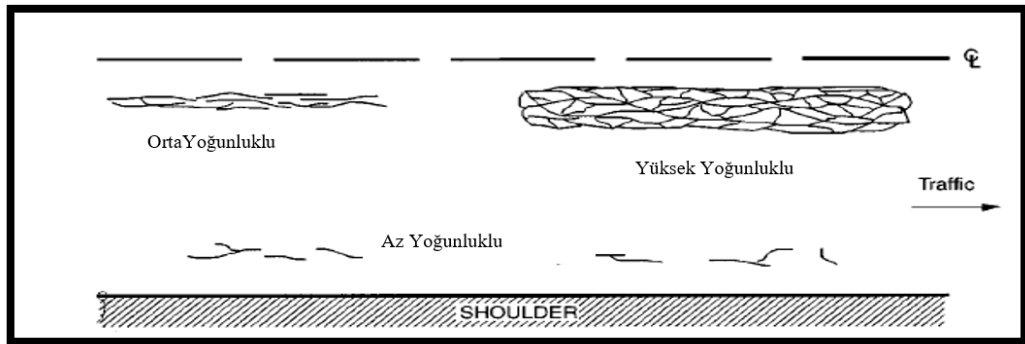
2.1.2.1. Çatlaklar

Esnek kaplamada oluşan çatlamları; üzerinde maruz kaldığı trafiğin etkisine bağlı çatlamlar ve üzerinde maruz kaldığı trafiğin etkisine bağlı olmayan çatlamlar olmak üzere iki şekilde incelemek mümkündür. Trafik etkisine bağlı olan çatlamlar;

- ❖ Ağır dingil yüklerinin bir seferde veya birkaç defa tekerrür etmesi sonucunda,
- ❖ Ağır dingil yüklerinin yüksek sayıda (mükerrer) geçmesi sonucunda (yorulma çatlakları) oluşmaktadır.
- ❖ Ayrıca çatlamlar, sadece trafik yüklerine bağlı kalarak değil çevrenin etkisi, sıcaklığın değişimi ve nem oranının değişimi ile de oluşabilmektedir. Esnek üstyapılarda meydana gelen birtakım çatlak çeşitleri aşağıda ele alınmıştır.

Timsah Sırtı Çatlakları

Yorulma kırılması olarakta atfedilen ve görünüş itibari ile timsah sırtını andıran bu tip bozulmalar tekrarlı trafik yüklerine maruz kalmış tekerlek izinde oluşur. Başlangıçta birbirleri ile bağlantılı olarak oluşan bu tip çatlaklar çok kenarlı keskin açılı ve en uzun kenarı 0,3 m uzunluğundaki çatlaklardan oluşmaktadır [21]. Farklı yoğunluklu timsah sırtı (yorulma kırılması) çatlakları Şekil 2.8’de görülmekte olup Şekil 2.9’da uygulamadan bir örnek sunulmuştur.



Şekil 2.8. Farklı yoğunluktaki Timsah sırtı çatlakları [21].



Şekil 2.9. Yüksek yoğunluklu timsah sırtı çatlağı şeklindeki deformasyonlar.
(Emek Mahallesi/ Safranbolu)

Büzölme Çatlakları

Blok çatlaklar olarak da bilinen büzölme çatlakları, Timsah sırtı çatlamlar suretinde meydana gelen çatlaklardır. Diğer türlü çatlaklardan farkı, çatlama maruz kalan blokların büyük olması ve çatlakların çıkış noktalarında daha önce oluşmuş çatlaklarla birbirini dik olarak kesmeleridir. Çatlaklarda meydana gelen genişlikler çatlakların oluşmaları hakkında fikir verir iken; en genişleri ilk oluşan çatlaklardır. Blok çatlakların sınıflandırılması hafif, orta ve yüksek şiddetli blok çatlaklar olmak üzere üç gruba ayrılır [22]. Şekil 2.10’da bir büzölme çatlağı örneği görülmektedir.



Şekil 2.10. Esnek üstyapılarda büzölme çatlağı şeklindeki deformasyonlar [22].

Kayma Çatlakları

Kayma çatlakları, üstyapı üzerinde motorlu araç tekerleklerinin itme etkisi yönünü gösteren yarım ay şeklinde meydana gelen çatlaklardır. Yol tabakası ile bunun altındaki tabaka arasında yağ, su, toz ve buna benzeyen yapışmanın önüne geçen malzemenin var olması bu iki tabaka arasında iyi bir aderans oluşmasına mani olur ve bu da çatlakların meydana gelmesine sebebiyet vermektedir [22]. Şekil 2.11’de bir kayma çatlağı örneği görülmektedir.



Şekil 2.11. Esnek üstyapılarda kayma çatlağı şeklinde oluşan deformasyonlar [23].

Derz Çatlakları

Esnek kaplamalar üzerinde yolun iki şeridi arasında meydana gelen çatlak türüdür. imalat aşamasında meydana gelen hatalarından dolayı ortaya çıkabilirler. ikinci şerit dökülürken ya da bir gün önce dökülen şeride ertesi gün devam edilmesi durumunda yeterli bindirmenin hesaplanmayıp yapılmaması sonucu zamanla iki şeridin ya da bir şeridin birbirinden ayrılması bu imalat hatalarına örnek olarak verilebilir [7]. Şekil 2.12’de bir derz çatlağı örneği görülmektedir.



Şekil 2.12. Esnek üstyapılarda derz çatlağı şeklinde oluşan deformasyonlar [23].

2.1.2.2. Kalıcı Şekil Değişiklikler

Tekerlek İzi

Bu deformasyon; asfalt üzerinde, tekerlek izi boyunca oluşan boylamsal çöküntülerdir. Bu çöküntüler doğal zeminden başlayarak kaplama tabakasına kadar, tüm yol katmanlarında görülebilmektedir. Genel olarak bu durum dinamik kümülatif trafik yüklerinden meydana gelmektedir. Trafik yükü altında kaplama tabakasında meydana gelen defleksiyon, kesme gerilmesi, deformasyonlar, düşey basınç gerilmesi ile asfalt malzemenin visko-plastik davranış sergilemesi sonucu oluşan kalıcı hasarlardır. Tekerlek izi sebebiyle asfalt yüzeyinde meydana gelen su birikintileri, araçlarda sarsıntı, hâkimiyet kaybı, kayma ve fren mesafelerinde azalma gibi sorunlara sebebiyet verebilmektedir. [24]. Şekil 2.13’de tekerlek izi oluşumunun kaplama yüzeyindeki etkisi görülmekte olup Şekil 2.14’de uygulamadan bir örnek sunulmuştur.



Şekil 2.13. Yapısal tekerlek izi oluşumu [25].



Şekil 2.14. Esnek üstyapılarda tekerlek izi şeklinde oluşan deformasyonlar.
(Karabük- Kastamonu yolu)

Ondülasyonlar

Bu tür bozulmalar yolun gidiş yönüne göre dik yönde birbirine paralel dalgalanmalardan oluşur. Özellikle sıcak havalarda tekerleklerin de mekanik etkisi ile

ötelenerek yol eksenine dik ya da paralel olarak oluşan yüzey bozulmalarıdır. Bu sapmalar sürüş konforu ve sürüş güvenliğinde azalmalara neden olurlar. Bunlara sebep olarak;

- ❖ Asfalt karışım stabilizsinin yetersizliği,
- ❖ Karışımın serilmesi sırasındaki serme ve sıkıştırma hataları,
- ❖ Kavşak, trafik ışıkları ve duraklarda duruş ve kalkış şeklindeki trafik etkisi,
- ❖ Üstyapı tabakaları arasındaki bağlantının yetersizliği,
- ❖ Yoğuşurma tabakasının gereğinden fazla veya az uygulanması,
- ❖ Temel tabakasındaki stabilite bozukluğunun yüzeye yansımaları,
- ❖ Ağır trafik altında suya doygun granüler tabakaların varlığı gibi etkenler sayılabilir [26]. Şekil 2.15’de ondülasyon şeklinde oluşan deformasyonlar, a ve b örneklerinde sunulmuştur.



Şekil 2.15. Esnek üstyapılarda ondülasyon şeklinde oluşan deformasyonlar.
a) Yenice–Saray köy yolu b) Karabük-Merkez)

Oturmalar

Oturmalar, esnek kaplama tasarımındaki bitümlü tabakalara bağlı olmayan bozulma türüdür. Oturmalar üstyapının dizayn edildiği trafikten daha ağır trafiğe maruz kalmasından, tabii zemin içindeki hareketler ya da konsolidasyon sonucunda meydana gelmektedir [27]. Oturmalar genel olarak;

- ❖ Doğal (tabii) zeminde oluşan oturmaların yansımalarına,

- ❖ Yol kenarlarında ki banketlerden gelmesi beklenen yanal desteğin az olmasına,
- ❖ Drenaj sistemlerinin yetersizliğine,
- ❖ Yer altı su seviyesinin yüksek olması gibi çeşitli nedenlere bağlı olmaktadır [28]. Şekil 2.16’da oturma kaynaklı oluşan deformasyon örneği görülmektedir.



Şekil 2.16. Esnek üstyapılarda oturmada kaynaklı oluşan deformasyonlar [29].

Sökülmeler

Sökülmeler, aşınma tabakası yüzeyinden alt tabakalara doğru veya kaplama kenarlarından iç kısma doğru agregaların zamana bağlı olarak yüzey üzerinden koparak ayrılmasıdır. Sökülmelerin oluşmasına neden olan ana etkenler ise;

- ❖ Uygulama esnasında sıkıştırmanın yanlış yada yetersiz yapılması,
- ❖ Soğuk hava şartlarında uygulamanın sürdürülmesi,
- ❖ Karışım içerisinde kullanılan agreganın dayanıksız ya da temizlenmemiş olması, bitümlü bağlayıcının gereğinden fazla ısıtılması,
- ❖ Uygulama sırasında işçilik hatalarına bağlı olarak segregasyon (ayırışma) oluşması,

- ❖ Ortamda kimyasal maddelerin (özellikle tuz ve yağların) bulunması ve yine ortam koşullarına bağlı olarak kuma oluşması şeklinde sıralanabilir [28]. Esnek üstyapılarda sökölme kaynaklı oluşan deformasyonlar Şekil 2.17’de sunulmuştur.



Şekil 2.17. Esnek üstyapılarda sökölme kaynaklı oluşan deformasyonlar.
(Karabük-Ovacık bağlantı yolu.)

Kabarmalar

Yol tabanında veya üstyapının herhangi bir kısmında genişlemeler sebebiyle kaplamalarda yukarı doğru meydana gelen ve genelde drenaj eksikliklerinden kaynaklanan kalıcı deformasyonlardır. Kabarmaların oluşmaması için en önemli önlem olarak; üst yapı projelendirilmesinde don etkisi dikkate alınmalı ve şişme potansiyeli olan zeminlerde üst yapı inşa edilmeden önce yeterli drenaj sistemleri kurulması ve stabilizasyonun yeterli şekilde sağlanması gibi önlemlere yer verilmesi gerekmektedir [28]. Şekil 2.18’de kabarma kaynaklı oluşan deformasyon örneği görülmektedir.



Şekil 2.18. Esnek üstyapılarda kabarmadan kaynaklı oluşan deformasyonlar (Safranbolu-Düzce Köyü)

Ayrıca esnek üstyapılarda yukarıda belirtilen deformasyonlar dışında sayılabilecek bir çok deformasyon türü bulunmakta olup bunlardan birisi de kış aylarında kar ve buzla mücadelede kullanılan kimyasallardır. Bu kimyasalları genel olarak CaCl_2 , MgCl_2 , CMA ve NaCl olarak sıralayabiliriz. Kullanılan bu kimyasallar gerek asfalt betonu kaplamalarına gerekse de çimento bağlayıcılı beton kaplamalarına zararlar vermektedir.

BSK'larda soyulma ve sertleşmenin önüne geçmek amacıyla kalın film tabakası, yüksek asfalt malzeme yüzdesi, ve yoğun gradasyon tercih edilmektedir. Ancak asfalt miktarının çok fazla olması sıcak havalarda kuma-terleme ile kaplama tabakasının kayma direncini azaltmaktadır. Yoğun gradasyona sahip karışımlarda ise kaplama soğuk havalarda esnekliğini yitirmekte ve büzülme çatlakları oluşmaktadır. Beton asfalt kaplamanın geçirgenliğine göre içine sirayet eden tuzlu çözelti, tabakanın özelliğini etkileyebilmekte olup beton kaplamalar tuzlu çözeltiye karşı asfalt kaplamalara kıyasla bu kadar hassas olmamaktadır.

Yapılan çalışmalarda %2,5 tuzlu çözeltiye maruz bırakılan beton asfalt kaplamaların rijitlik modülünün %35 oranında ve yorulma dayanımlarının % 41 oranında düştüğü

tespiti yapılmıştır. Numunelerin % 1 -1,5 tuzlu çözelti içerisinde rijitlikleri, temiz suda bekleyen numunelere göre artmıştır. Bitümlü sıcak karışımlarda düşük rijitlik ne kadar istenmezse yüksek rijitlik de o denli zararlıdır. Esnek kaplamanın tuz etkisi ile sertleşmesi, kış mevsiminde kaplamanın esnekliğini kaybetmesi sonucunda oluşan düşük ısı çatlaklarının meydana gelmesini sağlayacaktır [30].

2.2. RİJİT ÜSTYAPILAR

İlk olarak Romalılar M.Ö. I. yüzyılda yollarda taşları birbirine bağlamak için puzolanik bağlayıcılar kullanmışlardır. Çok eskiye dayanan bu örnekten sonra beton yollar konusunda gelişmeler 19. yüzyılın sonlarına dayanmaktadır. İlk beton yol ABD’de 1891 yılında Ohio, Bellefontaine’de Logan County Adliye Sarayı yanında yapılan bir yol olarak bilinmekte olup yapılan bu yol Şekil 2.19’da görülmektedir.



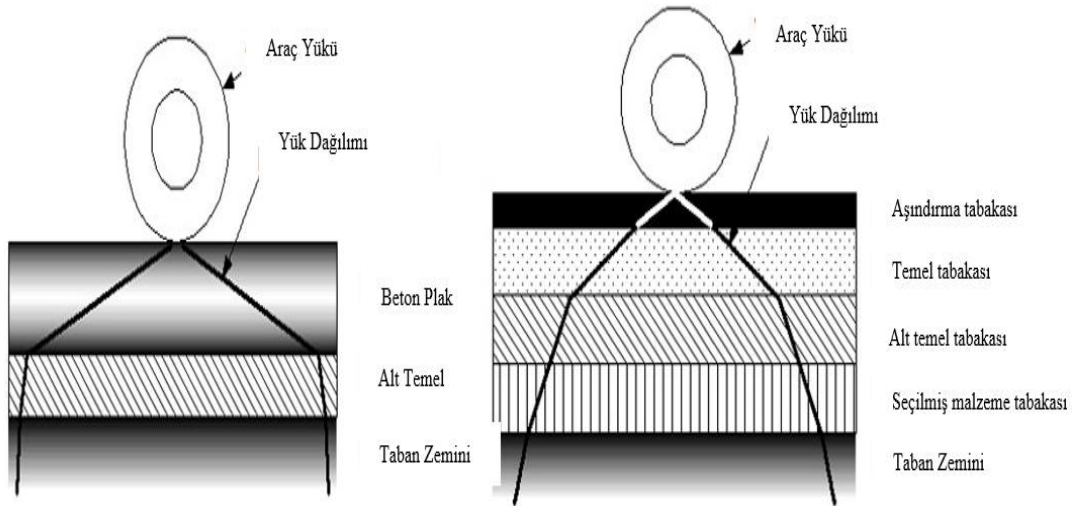
Şekil 2.19. ABD’de yapılmış ilk beton yol kaplaması [31].

Çok fazla hesaba dayanmayan bu yollardan sonra 1920’li yıllarda tasarım ilkelerine sahip yollar yapılmış fakat daha sonra alt zemin problemleri yaşanmasıyla alt zeminleri olan beton yollar inşa edilmeye başlanılmıştır. Gerçek anlamda endüstriyel döneme 1933 yılından itibaren girilmiştir. Almanya’da işsizlikle mücadele etmek için ve askeri birimlerin hızlı ve güvenli bir şekilde yer değiştirmelerini sağlamak amacıyla

ilk beton otoyol şantiyeleri kurulmuş ve daha sonra Belçika ve Fransa, beton otoyol yapmaya başlamışlardır.

Deforme olmayan kalıplar ve beton santralleri sayesinde kalite garanti altına alınmaya başlanılmış ve bu sayede beton yol yapımı hız kazanmıştır. 1960'lar ve 1970'lerde Amerika Birleşik Devletleri'nde 70.000 km'lik bir beton yol ağı tamamlanmıştır. Önce ABD'de başlayan bu gelişmeler, Almanya, Belçika ve Japonya'da da devam etmiş ve günümüzde Hollanda'da bisiklet yolları da dahil olmak üzere tüm yollar rijit yol haline gelmiştir. Beton yol teknolojisinde yaşanan hazır beton, kayar kalıp, geçirimli beton, lifli beton, ön gerilmeli beton, sürekli betonarme gibi yenilikler ve hızlı gelişmelerle beton kaplama, günümüzün modern yolları için asfalt kaplamalara karşı vazgeçilmez bir seçenek haline gelmiştir [2]. Çimento betonu ile yapılan kaplamalar olarak adlandırılan beton yolda, yol kaplaması olarak betonun görevi, trafikten gelen şiddetli tekil yükleri tabana iletmek ve bu sırada tabanın deformasyona uğramamasını sağlamakta ve bu durum, betonun rijitliğinden yararlanmak sonucunu doğurmaktadır.

Sırasıyla rijit ve esnek bir üstyapıda araç yükü neticesinde meydana gelen yük dağılımları Şekil 2.20'de görülmektedir.

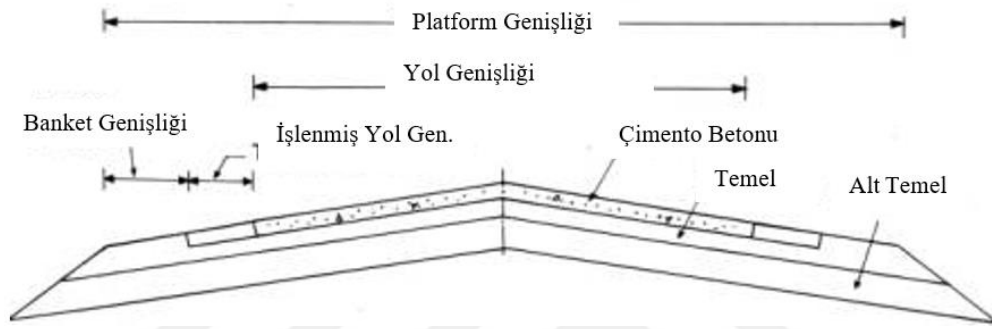


a) Rijit Üstyapı

b) Esnek Üstyapı

Şekil 2.20. Üstyapılarda meydana gelen yük dağılımları [32].

AASHTO tarafından yapılan bir araştırmaya göre Kanada’da asfalt yolların %61’i bahar koşullarında bozulmaktadır. Oysa bu oran beton yollarda sadece % 5,5 mertebelerindedir [33]. Beton kaplamalar Portland çimento betonu ile yapılan kaplamalar olup üstyapı tabanı üzerine yerleştirilen alttemel tabakası, zayıf beton tabakası veya bitümlü tabaka üzerine serilmiş beton plak kaplamalarından oluşmaktadır. Bu kaplamalar çatlak kontrollerinin farklılığı, zeminin kalitesi ve harcanabilecek finans durumuna bağlı olarak aşağıdaki gibi şekillenmişlerdir [33]. Tipik bir beton kaplamada üstyapı elemanları Şekil 2.21’de görülmektedir.



Şekil 2.21. Tipik rijit üstyapı kesiti [34].

Rijit Üstyapıda Kaplama Türleri;

- ❖ Derzli donatısız beton kaplamalar (JPCP)
- ❖ Derzli donatılı beton kaplamalar (JRCP)
- ❖ Sürekli donatılı beton kaplamalar (CRCP) olarak sınıflandırılabilir.

Ayrıca günümüzde teknolojinin gelişimine paralel olarak yeni beton yol yapım teknolojileri de kullanılmakta olup bunlar;

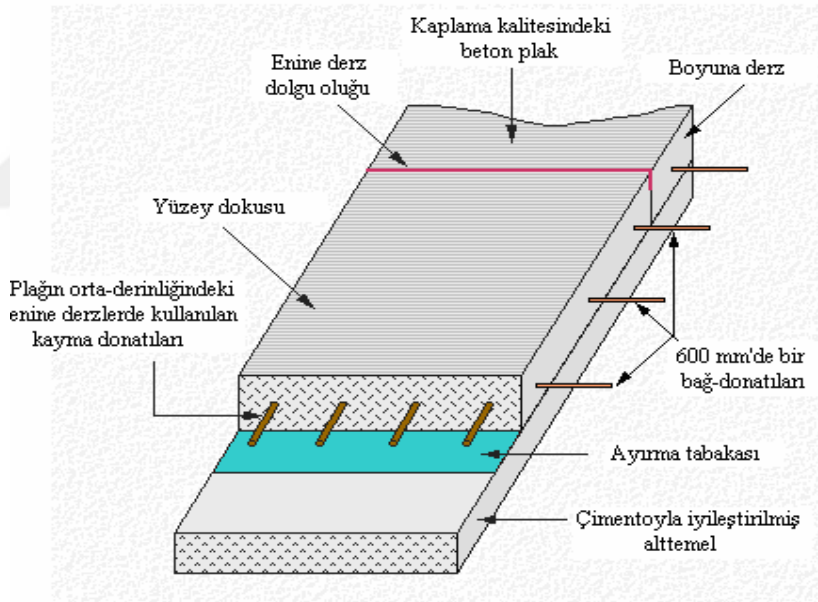
- ❖ Kuru yoğun beton-silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) yollar
- ❖ Geçirimli (poroz) beton yollar
- ❖ Lifli beton yollardır.

2.2.1. Rijit Üstyapı Türleri

2.2.1.1. Derzli ve Donatısız Beton Kaplamalar

Derzli donatısız şeklinde bulunan rijit üstyapılar, 3 ila 6 m uzunluklara sahip olup kısa

anolardan meydana gelmektedir. Bloklar 12,5-35,0 cm kalınlıklarına sahip olup içersinde donatı bulunmamaktadır. Anolar genelde granüler malzeme, çimento veya bitümlü tabakaları üzerine uygulanırlar [35]. Derzli donatısız tipteki rijit üstyapılarda bırakılan kısa derz aralığı, anoların ortasında meydana gelebilecek çatlamayı minimize etmek ve derz açıklıklarını nispeten küçük tutmak amacıyla kullanılır. Bu nedenden ötürü bağlanmış boyuna derzler de buna dahil olmaktadır. Trafik yükü ağır olan yollarda, özellikle nemli iklimlerde, yük transferini geliştirmek için beton demirleri veya daha çok stabilize temel tabakası kullanılmaktadır. Bu şekildeki rijit üstyapılar genel olarak, Amerika Birleşik Devletleri'nin tüm iklim bölgelerinde, hava alanlarında, otoyollarda ve şehir içi caddelerde tercih edilmektedir [2]. Şekil 2.22'de tipik bir derzli donatısız rijit üstyapı kaplaması, Şekil 2.23'de uygulamadan bir örnek sunulmuştur.



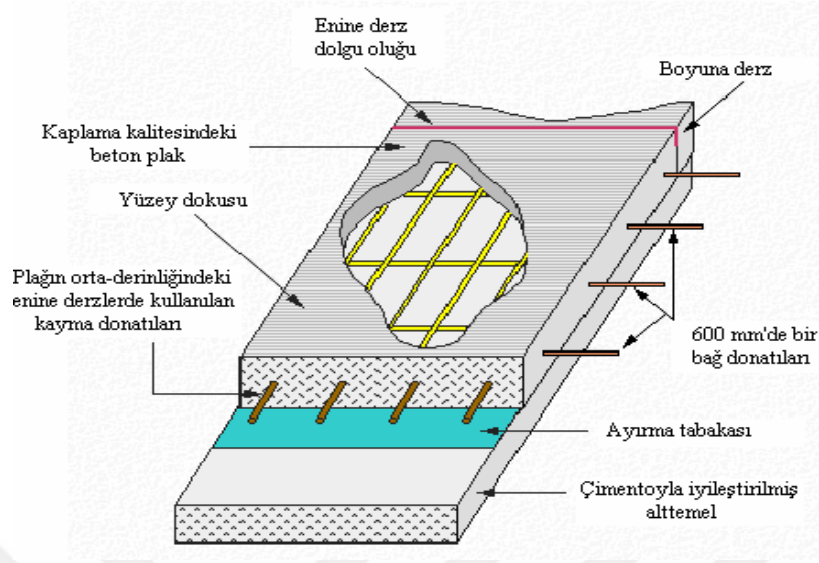
Şekil 2.22. Derzli Donatısız Beton Kaplama (JPCP) [2].



Şekil 2.23. Derzli Donatısız Beton Kaplama imalatı (JPCP) [36].

2.2.1.2. Derzli Donatılı Beton Kaplamalar

Bu üstyapı kaplamaları, uzunlukları 8 ila 30 m arasında değişken uzunluğa sahip anolardan meydana gelmektedir. Blok kalınlıkları 15,0 ila 35,0 cm. aralığında değişmekte olup ortalarından donatı ağı geçer. Temel tabaka kalınlığı 10,0-20,0 cm arasında değişkenlik gösteren bu kaplamalarda derz aralıkları uzun tutulacak olursa kuruma sebebiyle büzölmeye ve ısı sebebiyle de kıvrılmaya bağılı çatlaklar meydana gelir. Bu üstyapıda donatı çeliğı, ano ortası çatlaklarının oluşmasını engelleme amacıyla kullanılmaktadır. Çatlakları sıkı tutan ve tabakada yük transferi sağlanması donatı aracılığı ile yapılır. Esneklik kapasitesini arttırmak için çelik kullanılmaz. Derz aralıklarının uzun olması daha büyük derz açıklıklarına neden olacağından derzler arası yük transferi donatı çubukları sayesinde sağlanır. Bu tipteki rijit üstyapılar, don olayının olduğu ve nemli bölgelerdeki şehirlerarası yollarda yoğun olarak tercih edilmektedir. Derzli donatılı tipteki rijit üst yapılar enine derz aralıklarının arttırılmasına olanak tanıyan donatılar dışında derzli donatısız rijit üst yapılar ile benzerlik göstermektedir [35]. Şekil 2.24’de tipik bir derzli donatılı rijit üstyapı kaplaması, Şekil 2.25’de uygulamadan bir örnek sunulmuştur.



Şekil 2.24. Derzli Donatılı Beton Kaplama (JRCP) [2].

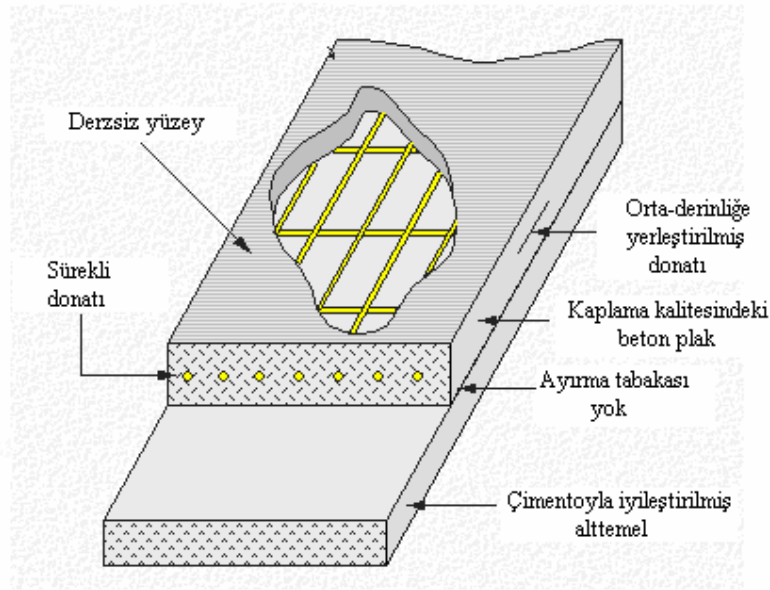


Şekil 2.25. Derzli Donatılı Beton Kaplama Uygulaması [37].

2.2.1.3. Sürekli Donatılı Beton Kaplamalar

Bu tipteki rijit üstyapılar, enine derzler olmadan döşenen beton plaktan meydana gelir. Donatı içeriğinin yüksek olması buna izin verir fakat diğer tüm betonarme yapılardaki gibi, donatılar bu rijit üstyapıda da çatlakları önlemez sadece kontrol altında tutmayı sağlar. Donatı çubukları plak uzunluğunca devam eder ve derzler sadece her iş gününün bitiminde konulmaktadır. Plak kalınlıkları 15,0 ila 25,0 cm arasında değişkenlik gösterir. Sürekli, donatılı beton kaplamalarda, derzli donatılı tipteki rijit üstyapılardan

çok daha fazla çelik bulunur. Genelde bu, kesit alanının % 5-ila 7'si kadardır [35]. Sürekli donatılı betonarme döşemeler için herhangi bir derz gerekmemektedir. Sürekli donatılı betonarme döşemelerde genellikle enlemesine çatlaklar oluşur ancak takviye çeliği ile bu çatlaklar minimize edilebilmektedir. Araştırmalar, izin verilen maksimum tasarım çatlak genişliğinin, dökülme ve suya nüfuz etmeye karşı koruma sağlamak için yaklaşık 0,5 mm olduğunu göstermiştir [38]. Meydana gelen çatlaklar genellikle 1,1 - 2,4 m aralıklarla oluşur. Takviye çelik genellikle kesitli tabaka alanının yaklaşık yüzde 0,6 - 0,7' sini oluşturmaktadır [35]. Şekil 2.26'da tipik bir sürekli donatılı rijit üstyapı kaplaması ile Şekil 2.27'de uygulamadan bir örnek sunulmuştur.



Şekil 2.26. Sürekli donatılı tipteki rijit üstyapılar (CRCP) [2].



Şekil 2.27. Sürekli Donatılı Beton Kaplama uygulaması. (Illinois 2005) [39].

2.2.1.4. Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB)

SSB, yapım sırasında betonu sıkıştırma ve betona son şeklini verme aşamasında kullanılan ağır vibrasyon sağlayan veya lastik tekerli silindirlerden ismini almıştır. SSB’de kullanılan beton malzemesi rijit üstyapılarda kullanımı sağlanan geleneksel beton malzemesi ile benzer dayanımlar göstermekte ve aynı bileşenlerin (düzgün gradasyonlu agrega, su ve bağlayıcıların) farklı oranlarda birleştirilmesi ile üretimi sağlanmaktadır [40].

Rijit yol üstyapı yapım yöntemlerinden biri olan silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) kaplamalar geleneksel beton kaplamalara nazaran yeni bir beton kaplama türü olup serilmesi ve sıkıştırılması sırasında esnek üstyapılarda olduğu gibi benzer teknikler kullanılarak uygulanması yapılmaktadır. Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB); geleneksel betona kıyasla daha düşük dozda çimento içeren, taze halde iken nerdeyse sıfır çökme (slump) değerine sahip olan kuru kıvamdaki karışımın damperli kamyonlarla taşınıp buldozer, greyder veya finisher ile tabakalar halinde serilip vibrasyonlu silindirlerle sıkıştırılması ile üretimi gerçekleştirilen bir beton türü olarak karşımıza çıkmaktadır.

Beton yollarda ilk olarak Romalılar M.Ö. 1. Yüzyılda yollarda taşları birbirine bağlamak için puzolanik (uçucu kül, silis dumanı, tras, diatomit, yüksek fırın cürufu vs.) bağlayıcılar kullanmışlardır. Silindirle sıkıştırılmış beton imalatı ilk olarak 1942 yılında Amerikan ordusuna bağlı istihkâm mühendisleri birliğince Washington’da bir uçak pistinin yapımında gerçekleştirilmiştir [41]. Bununla birlikte silindirle sıkıştırılmış beton (Roller Compacted Concrete) uygulamalarının 1960’ lı yıllarda İtalya’da “Alpe Gere” barajında kullanılmış olduğunu tespit edilmiştir. 1970-72 yılları arasında ABD’nin Kaliforniya Eyalatında yapılan “Temel ve Mühendislik” konferansında bu konu teorik temellerinin gündeme geldiği görülmektedir. Aynı şekilde “Beton Barajların Hızlı İnşası” konferansında da, çimento ile zengin hale getirilen granüler dolgu malzemelerinin toprak dolgu ekipmanları ile nakledilmesi, serilerek sıkıştırılması yoluyla sedde yapımı fikri ortaya çıkmıştır. Bu şekilde inşaaadilecek barajların en kesitleri, kesme dayanımında elde edilecek artış ile aşağıya çekilebilecek dolayısıyla işçilik ve zamandan tasarruf sağlanabilecekti. “Ekonomik Beton Baraj” konulu ikinci konferansta sunulan “Vibratörlü Silindirle Kütle

Betonunun Sıkıştırılması” adlı bildiride kütle beton karışımı revize ettirilerek iri agrega oranı biraz artırılmakta ve buna karşılık ince agrega oranı da biraz azaltılmaktaydı. 1973-74 senelerinde Amerika Birleşik Devletlerinde “Jackson ve Lost Creak” Barajlarında ilk defa SSB denemeleri gerçekleştirilmiştir. 1975 yılında ilk kütleli SSB dökümü Pakistan'daki “Tarbela” Barajında yapılmış olup, 44 gün gibi çok kısa bir sürede 344.000 m³ silindirle sıkıştırılmış beton dökümü gerçekleştirilmiştir. 1980’li yıllardan sonra SSB baraj uygulamalarında bir artış gözlenmiş; Fransa, Almanya, Norveç, İsveç, Finlandiya, Danimarka, gibi ülkelerin herbirinde 100.000 m² den fazla SSB yol inşa edilirken 1995 yılına kadar 145 SSB tipi baraj inşaatı bitirilmiştir [41]. 2011 yılına gelinceye kadar ise Amerika Birleşik Devletlerinde inşa edilen SSB yol miktarı 12.000.000 m²’yi geçmiştir [40]. Çok çeşitli kullanım alanlarına sahip olan SSB’nin kullanım alanlarından bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- ❖ Endüstri üretim yerlerine ulaşım yolları ve park alanları,
- ❖ İntermodal gemi sahaları, limanlar ve yükleme yerleri,
- ❖ Düşük kapasiteli kentsel ve kırsal yollar,
- ❖ Havaalanları park alanları,
- ❖ Uzun ve kısa süreli askeri yükleme sahaları, askeri havaalanları,
- ❖ Eğlence merkezleri park alanları,
- ❖ Araç tamiri yerleri,
- ❖ Tomruk ağaç işleme sahaları ve yolları,
- ❖ Karayolu kaldırımları,
- ❖ Hızlı inşa edilmesi gereken servis yolları, gibi birçok alanda hizmet veren SSB’ nin kullanım örneklerini arttırmak mümkündür [42].

Silindirle Sıkıştırılmış Betonlar gerek dayanıklılığı gerekse de uzun ömürlü olması bakımından esnek üstyapılardan çok daha iyi bir performans sergilemektedirler. Ayrıca yola serilmesi, sıkıştırılması gibi yapım aşamalarında da esnek üstyapı yapımına benzer teknikler kullanılması bakımından kolaylık gösteren silindirle sıkıştırılmış betonların uygulama örnekleri önceleri baraj yapımları esnasında karşımıza çıkarken şimdilerde yol uygulaması olarak, Samsun, Kocaeli, Denizli, Tekirdağ gibi illerde yerel yönetimler tarafından tercih edilmeye ve şehir içi yol

üstyapısında dahi kullanılmaya başlanmış olup Çizelge 2.1’de ülkemizin çeşitli şehirlerinde yapılan SSB uygulamalarından örnekler sunulmuştur [43].

Çizelge 2.1. Türkiye’nin çeşitli bölgelerinde yapılan SSB yol uygulamaları [42].

Uygulama Yılı	Uygulama Tipi	Şehir	Beton Yol Uygulaması
2009	Çelik Lifli SSB	Antalya	150 m
2011	Çelik Lifli SSB	Denizli	500.000 m ²
2014	SSB	Samsun	190 km
2014	SSB	Kocaeli	2.5 km
2016	SSB	Tekirdağ	34 km

Silindirle sıkıştırılmış beton uygulamalarında çimento olarak Portland çimentoları ile yapay veya doğal puzolan katkılı çimentolar kullanılabilir. Ancak yapılacak SSB uygulamalarında çimento dozajı çok iyi ayarlanmalıdır. Çimento dozajı genelde 100-200 kg/m³ civarında iken bu değer yol ve zemin kaplamalarında 350 kg/m³ civarında olabilmektedir. SSB bağlayıcılarında çimento yerine seçilen puzolan (uçucu kül, silis dumanı, tras, diatomit, yüksek fırın cürufu vs.) miktarı ihtiyaca göre seçilebilmekte olup genel olarak daha az oranda çimento ve daha fazla oranda puzolan kullanımı ile SSB’ de hidrasyon ısısı problemi giderilmekte, işlenebilirlik artırılmakta, geçirgenlik düşürülüp dayanıklılık yükseltilmektedir. Silindirle sıkıştırılmış beton yol kaplamalarında su/bağlayıcı oranı genel olarak 0.3-0.45 değerleri arasında olup bu değer 28 günde 41MPa ‘yı aşan basınç dayanımlarına tekabül etmektedir. Sertleşmemiş halde iken bile çökme (slump) değeri sıfır kıvama sahip SSB karışımlarında toplam hacmin yaklaşık olarak % 70-80 ‘ini agregalar oluşturmaktadır. Ayrıca SSB uygulamalarında agrega maksimum dane çapı 63-125 mm arasında değişmekte olup en büyük dane çapı tabaka kalınlığının 1/3’den küçük seçilmelidir [41]. SSB konusu ilerleyen bölümlerde daha detaylı bir şekilde irdelenecek olup sıfır çökme değerine sahip SSB numunesi Şekil 2.28’de, SSB yol uygulamasından bir örnek ise Şekil 2.29’da gösterilmiştir.



Şekil 2.28. Sıfır çökme değerine sahip SSB numunesi.



Şekil 2.29. Finişerle sıkıştırılması yapılan SSB yol uygulaması [44].

2.2.1.5. Geçirimli Poroz Beton Yollar

Günümüzde beton yol yüzeyleri dayanıklılık, güvenlik, kullanım rahatlığı, maliyet ve çevresel etki gibi birçok konuda istenilen şartları karşılamak zorundadır. Beton; yerel yollar, otoyollar, bisiklet yolları, yaya yolları, kaldırımlar ve otoparkların yapımında

alternatif bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Geçirimli beton, sürdürülebilir tasarım ve uygulamaya yönelik özellikleri ile çevremizin daha nitelikli şekillenmesini sağlamaktadır [45].

Geçirimli beton çevresel ihtiyaçların arttığı günümüzde etkin bir araç olarak kullanılmaktadır. Yer altı suyunun yenilenebilmesi için yağın yağmur sularının yer altına sızması gerekmekte fakat şehirlerde uygulanan geçirimsiz beton veya asfalt kaplamalar yağmur suyunun bir noktada toplanarak özel sistemler yardımıyla akarsulara, göllere veya denizlere aktarılmasını sağlamaktadır. Geçirimli betonların kullanılması ile yağmur suyunun uzaklaştırılması için daha az toplama sistemi uygulamak ekonomik açıdan yarar sağlarken, yağmur suyunun yer altına sızması ise kaynak sularının sürekliliği açısından çevresel avantaj sağlamaktadır [46]. Şekil 2.30'da geçirimli (poroz) beton yol örneği gösterilmektedir.



Şekil 2.30. Geçirimli (poroz) Beton Yol [47].

2.2.1.6. Lifli Beton Yollar

Lif takviyeli betonların yol kaplama betonu olarak kullanımı 1970'li yıllarda başlamıştır. Lif takviyeli beton yolların ve takviye tabakaların sahadaki uygulamaları konusunda birçok araştırma yapılmış ve bu kaplama uygulamaları; köprü plak kaplamaları, karayolu kaplama ve kaplama takviye tabakaları, havaalanları, taksi yolları, havayolu apronları ve endüstriyel zemin kaplamalarını da içermektedir.

1984'ten beri, Avrupa'da endüstriyel alanlarda 1 milyon m³ lif içerikli beton kaplama uygulaması yapılmıştır [48].

Beton yolların üretimde farklı bir teknik olarak kullanılan liflerin beton yol yapımında kullanılması yeni olanakları gündeme getirmektedir. Makrosentetik lif içeren yol betonlarının yorulma ve darbe dayanımları yüksek olduğundan, araç tekerleklerinden kaynaklanan tekrarlı yükler ve darbeler karşılanabilmekte, asfalt yollarda rastlanan bu tür hasarların doğuracağı bakım ve onarım giderleri azaltılarak, beton yolların servis ömrünün uzatılması mümkün olabilmektedir. Makro sentetik liflerin beton yollarda kullanımının genel olarak getireceği avantajlar;

- ❖ tokluğun artırılması,
- ❖ hatalı donatı yerleştirilmesinin önlenmesi,
- ❖ yapım süresinin kısaltılması,
- ❖ özellikle derz kenarlarında meydana gelen hasarların azaltılması,
- ❖ çatlak kontrolü ve çatlama sonrası performansın iyileştirilmesidir.

Beton veya asfalt kaplamanın üzerine dökülen, olabilecek en az bakım ve uzun servis ömrü gerektiren ince üst kaplamalar (whitetopping) da makro sentetik liflerin bir diğer kullanım alanıdır. Makro sentetik liflerin ince üst kaplamalarda kullanılması, kaplamanın sünekliğini, şekil değiştirme kapasitesini artırır, enerji absorsiyon yeteneği ve betonun darbe dayanımını da artırmaktadır [40].

Yeni kuşak makro sentetik lifler, Silindirle Sıkışan Beton (SSB) ile yapılan yol betonlarında da kullanılabilirler. SSB'un beton yol inşaatında kullanımının avantajları derz olmadan kaplamanın imal edilebilmesi ve asfalt kaplama makinelerinin bu iş için kullanılabilmesidir [40].

Türkiye yollarında bulunan ağır taşıt oranı Avrupa'dan yaklaşık 4 kat daha fazladır ve genel olarak taşıma kapasitelerinin üzerinde yük taşıma eğilimi bulunmaktadır. SSB ile yapılan beton yollar ağır taşıt trafiği için daha uygun olduğu değerlendirilmektedir. Makro sentetik liflerin betona eklenmesi aynı zamanda SSB'un mekanik özelliklerini

iyileştirir ve bu tip yükleme koşullarının gerektirdiği performans gerekliliklerinin karşılanmasına yardımcı olmaktadır [49].

2.2.2. Rijit Yol Üst Yapılarında Oluşan Bozulmalar

Beton, çekme direnci düşük olan bir yapı malzemesi olup betonda deformasyonlar ile gerilmeler arasındaki lineer bir bağlantı bulunmamaktadır. Bir tekerlek yükü bir beton üzerinden geçerken çekme, basınç ve eğilme gerilmeleri oluşur. Tekerele geçtikten sonra gerilmeler yön değiştirerek kaybolur. Özellikle yoğun ağır taşıt trafiği taşıyan bir beton yolda bu gerilme değişimleri kısa zaman aralıkları ile sürekli olarak kendini göstermektedir. Bu durumda, beton plakta çekme ile basınç arasında değişen sürekli gerilmeler oluşur, bu malzemenin zamanla yorulmasına sebebiyet verir [33].

Beton yolların servis ömrünü olumsuz etkileyen faktörlerin birçoğu birbiriyle ilişkili olup olumsuz bir faktörün ortaya çıkışı diğer olumsuz faktörleri de beraberinde getirebilmektedir. Örneğin ağır taşıt yüklerinden dolayı yol kaplamasında kırılmalar olabilmekte, buna bağlı olarak geçirimsizlik artmakta, yol temeli ve zemini deformasyona uğrayarak kaplamadaki kırılmaların artmasına neden olabilmektedir. Beton yolun deformasyona uğramasında etkili olan ve betondaki bozulmaları arttıran etmenlerden bazıları aşağıdaki gibidir.

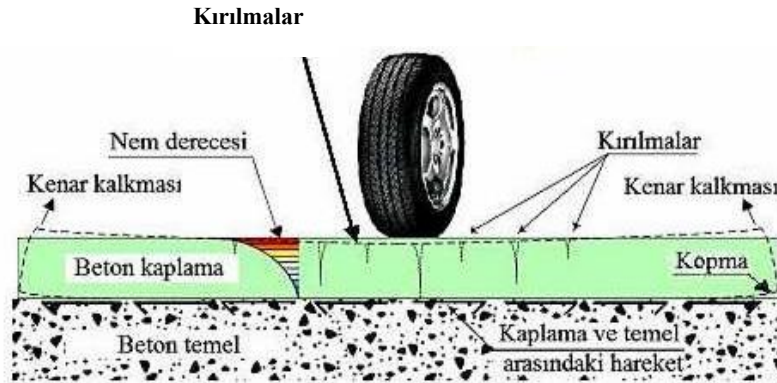
- ❖ Taşıt yükleri ve trafik
- ❖ Beton tasarım ve uygulamalarındaki hatalar
- ❖ Donma-çözülme ve tuzlama çalışmaları
- ❖ Kimyasal bozulmalar
- ❖ Diğer etkenler olarak özetlenebilir.

Çeşitli nedenlerle meydana gelen bozulmaları ise aşağıdaki uygulamalar ile önlemek mümkündür.

- Uygun kaplama kalınlığının tayini
- Erezyona uğramayacak şekilde, drenajlı ve yeterli temel desteğinin sağlanması,

- Uygun birleşim planının oluşturulması,
- Birleşimlerde yeterli yük aktarımının tasarlanması,
- Uygun beton içeriğinin belirlenmesi,
- Betonun yeterli yerleşmesinin sağlanması,
- Beton yüzeylerin uygun bir şekilde perdahlanması,
- Birleşim dolgularının bakımlarının aksatılmaması ve
- Betonun iyi kür edilmesi [50].

Beton yol kaplamaları, taşıt yüklerine karşı bir kirişten çok plak davranışı göstermektedir. Beton kaplamalar, rijit bir malzeme özelliği göstermekte olup elastik bir zemine oturan plak gibi çalışır ve üzerine gelen yükleri Şekil 2.31’de gösterildiği gibi çok daha geniş bir alana yayarak esnek üstyapılara göre oldukça sağlıklı bir şekilde taban zeminine iletmektedir. Beton yol kaplamalarda meydana gelen çeşitli deformasyonların taşıt yükleri kapsamında asıl nedenlerini; dingil yükleri, dingiller arası mesafe, dingildeki lastik sayısı, lastiğin yola temas eden yüzeyinin büyüklüğüne kadar bir çok etmen oluşturmakta ve özetle dingil yükü ile yolun deformasyonu arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır.



Şekil 2.31. Taşıtların rijit kaplamalar üzerindeki etkileri [51].

Üstyapı (kaplama, temel, alt temel) tabaka kalınlıkları yoldan geçecek dingil yükleri dikkate alınarak belirlenmesi gerekmektedir. Projesine uygun yapılan bir yolun, tasarım ömrü boyunca esas alınan dingil yüküne uygun olması gerekmekte aksi halde bir yoldan geçecek dingil yükünün projede ön görülen dingil yüklerinden bir ton fazla olması ve bu durumun mükerrer hale gelmesiyle zarar faktörü yaklaşık % 50 artmakta

ve yol ömrü de buna bağılı olarak kısalarak daha az sürede yapım ve bakıma gereksinim duymaktadır [51].

Ağır dingil yüklerinin bu koşullar altındaki tekrarlı yüklemeleri er geç üstyapı yüzeyine doğru bir enine çatlak yayılması ile sonuçlanan, rijit plağın alt sınırı boyunca meydana gelen yorulma hasarını doğurmaktadır [5].

2010 yılında yapımı tamamlanarak hizmete açılan ve yaklaşık 2 km'lik Kocaeli Karamürsel beton yolunda çeşitli nedenlerle meydana gelen enine çatlak şekil 2.32' de görölmektedir.



Şekil 2.32. Beton yolda meydana gelen enine çatlak.(Kocaeli-Karamürsel)

Çimento betonu ile yapılan rijit uygulamalarda deformasyonların bir sebebi de beton tasarımı ve uygulama aşamasında yapılan kusurlardan süregelmektedir. Bu bahsi geçen kusurların sonucunda deformasyonlara mahal verilmemesi ise uygulamadaki titiz çalışmayla önlenabilmektedir. Aşağıda beton kaplamalarda meydana gelen bu deformasyonları oluşturan çeşitli kusurlara yer verilmiştir;

- ❖ Beton dayanımlarının C20' (silindir dayanımı 200 kg/ cm², küp dayanımı 250 kg/ cm²) nin altında kullanımı,

- ❖ Beton karışım elemanlarının standartlara uygun niteliğe sahip olmayışı,
- ❖ Betonda oluşabilecek aşınmalara, kılcal boşluklara karşı iri ve ince agrega oranının karışımında yeterince bulunmaması,
- ❖ Geçirimsizliği arttıran katkılara yer verilmemesi,
- ❖ Donma-çözülme dayanıklılığını arttıran hava sürükleyici katkı maddesinin kullanılmaması,
- ❖ Beton yol kaplamalarında segregasyon oluşturabilecek kadar akıcı kıvamlı beton kullanımı,
- ❖ Özellikle fazla yağış alan bölgelerde, gerekli menfezlerin yapılmayıp suyun drene edilememesi (uzaklaştırılamaması)
- ❖ Beton döküm ve bakım işlerinde yapılan eksiklikler ve yetersiz kontrol hizmetleri,
- ❖ Kazı şevi ve yol platformundan gelen ve kenar hendekte biriken suların drene edilmesinde yapılan hatalar,
- ❖ Yol kaplama tabakalarındaki yetersiz kompaksiyon ve yol güzergahının hatalı stabilizasyonu,
- ❖ Kaplama kalınlığının 15 cm'den az tutulması,
- ❖ Donatılı betonlarda korozyon önleyici tedbirlerin alınmaması,
- ❖ 5-6 m'den daha uzun enine ve boyuna derzlerin oluşturulması ayrıca bu ve buna benzer hataların çoğunluğunun, özetle ya beton reçetesinin iyi hazırlanmayışı yada kalitesiz işçilik ve yetersiz uzman kontrollerinden kaynaklandığı görülmektedir [51].
- ❖ Bunlar dışında rijit üstyapıda bir başka bozulma sebebi ise 'boşluk gelişmesi' veya 'erozyon' denilen, destek kaybıdır. Destek kaybının başlaması için iki koşul gerekmekte olup bunların birincisi plak altında, derz ve çatlakları boşaltmaya yarayan su drenajının yetersizliği ve ikincisi derz ve çatlak açılmasına bağlı olarak, derzler ve çatlaklar boyunca harç aderansı ile sağlanan yük transferinin kaybıdır.

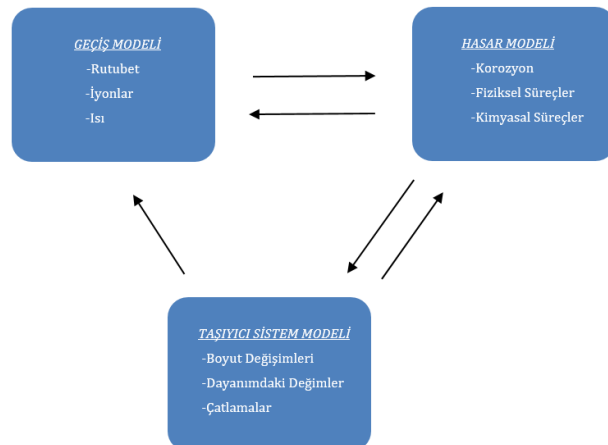
Bir tekerlek yüksek hızda bir derz veya çatlağa yaklaştığında, yük transferinin kaybı plağın aşağıya eğilerek plak altındaki biriken suyun ileri itilmesine neden olur. Tekerlek derzin veya çatlağın diğer yanına geçtiğinde, plağın diğer ucunu aşağıya eğerek suyun geriye, derz veya çatlaktan yukarıya gitmesine neden olur. Bu dinamik

‘pompalama’, derzler ve çatlaklar civarında plağın alt düzeyini ve temelini aşındırır. Zamanla bu aşınma nedeni ile plak altında boşluklar oluşur ve bu boşluklar tekerlek yükleri altında gerilmenin ve bükülmenin artmasına ve sonuçta köşelerin kırılmasına yol açmaktadır. Şekil 2.33’de ileri düzeyde deforme olmuş bir beton yol örneği görülmektedir.



Şekil 2.33. 18 yıl sonunda hizmet ömrünü tamamlayan beton yol.
(Ankara-Eskişehir yolu)

Beton yollarda aranan bir başka özellik ise beton yolun durabil (dayanıklı-kalıcı) özelliği olduğundan beton yolların durabilitesini etkileyen faktörlere bilhassa dikkat edilmesi gerekmektedir. Betonun durabilitesini etkileyen faktörler Şekil 2.34’de modellenerek verilmiştir.



Şekil 2.34. Betonun Hasarı İçin Uygulanan Alt Modellerin Girişimleri [52].

Betonun durabilitesini etkileyen alt modeller (geçiş, hasar ve taşıyıcı sistem modelleri) incelendiğinde görüleceği üzere geçiş modelleri; rutubet, iyon ve ısı, hasar modelleri ise korozyon, fiziksel ve kimyasal süreçlerden, taşıyıcı sistem modelleri ise boyut ve dayanımda oluşan değişimler ve çatlama dan oluşmakta olduğu görülmektedir. Geçirimlilik ile betonun durabilitesi arasında sıkı bir ilişki vardır. Geçirimsiz ve boşluksuz bir beton üretimi ile donatı korozyonuna, asit, sülfat, don ve alkali reaktivitesine karşı gereken önlem alınabilmektedir.

Betonun fiziksel bozulmasını, kütle kaybına yol açanlar ve çatlama ya neden olan etkenler olarak ikiye ayırmak mümkündür. Aşınma, erozyon ve kavitasyon (oyulma) kütle kaybına neden olmaktadır. Islanma-kuruma, donma-çözülme, boy ve hacim değişimleri, aşırı sıcaklıklar ve yangın, aşırı yükleme ve tekrarlı yüklemeler sonucu yorulma betonun çatlama sına neden olan sebeplerdir. Betonda zamanla karbonatlaşma reaksiyonu da oluşmaktadır. Bu reaksiyon özellikle açık hava şartlarında, ortamda karbondioksit oranının fazla olduğu yerlerde (beton yollar gibi) daha çok etki göstermektedir. Ortamdaki CO₂ betonun boşluklarına girmesiyle kalsiyum karbonat'a (CaCO₃) dönüşmektedir. Bu dönüşüm betonun PH derecesini düşürdüğünden beton içindeki donatı ya da çelik tellerin paslanmasında önemli rol oynamakta ve yapının servis ömrünü etkilemektedir. Bununla birlikte betonda korozyona sebep olan nitrat ve sülfat etkisi, klorürlerin etkisi, sülfür etkisi ve tuz etkisi başlıca diğer faktörlerdir [53].

Kışın bilhassa karayollarında karşılaşılan buzlanma, karayolunda aksamalar yanında ölümlü kazalarıda beraberinde getirebilmektedir. Karayollarında buzlanmanın önüne geçmek amacıyla yollara çeşitli malzemelerin tatbik edilmesi, alınan önlemlerin başında gelmektedir. Buzlanma ile mücadelede kullanılan tuz (NaCl) en yaygın kolay ve ucuz yöntemin başında gelir. Yollara kolaylıkla dökülebilen tuz, havanın çok soğuk olmaması durumunda buzı eriterek yolun donmasını geciktirmektedir. Tuz, paslanma nedeniyle yollara, köprülere ve araçlara zarar verebilmekte bu yapıların hizmet ömürlerinden çalmaktadır. Tuz gibi buzı eriterek yoldan uzaklaştıran başka kimyasal maddelerde bulunmaktadır. Fakat bunların hepsi tuzdan hem pahalı hem de kendilerine özgü problemleri bulunmaktadır. Son zamanlarda bir çok ülkede tuz yerine

Kalsiyum Magnezyum Asetat (CMA) ve üre kullanımı başlamıştır. CMA tuzdan çok daha pahalı olduğu için bazı ülkelerde yalnız köprü ve hassas noktalarda kullanılmaktadır. Ülkemizde kışın buzlanma mücadelesinde kullanılan tuz miktarının yaklaşık 100 bin ton civarında olduğu tahmin edilmektedir. Beton kaplamalı yollara zarar veren tuzlar beton yüzeyinin soyulmasına sebebiyet vermekte ayrıca hava katkısız betonlarda suda eriyen tuzlar kurduğunda ise kristalleşerek boşluk çeperlerinde basınç meydana getirmektedirler. Bu basınç beton yüzeyinin kabarması yanında oyukların ve çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Kullanılan tuzun miktarı ve uygulanma sıklığı beton yüzeyinin bozulmasını arttırmaktadır [53].

Karasal iklime sahip bölgelerde bahar mevsimlerinde yağış oranının ve gece gündüz sıcaklık farkının fazla olması, donma çözülme olayını arttırmaktadır. Bu nedenle yol kaplamalarının dayanımının en çok önem kazandığı mevsim ilkbahardır. Beton kaplamaların alt tabakaları bahar aylarında donma ve çözümlerden etkilenmemektedir. AASHTO tarafından yapılan bir araştırmaya göre Kanada da asfalt yolların %61'i bahar koşullarında bozulmaktadır. Oysa bu oran betonda sadece %5.5 mertebesinde [51].

2.3. ESNEK VE RİJİT ÜST YAPILARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Tüm dünyada her yıl serilip sıkıştırılması yapılarak üretilen binlerce km asfalt beton veya çimento beton kaplamalı yol uygulamaları yapılmaktadır. Aşağıda iki türlü kaplamanın mukayasesi değişik açılardan ele alınmıştır.

-Esnek üstyapılar, serilip sıkıştırıldıktan çok kısa bir zaman zarfı sonrasında trafiğe açılabilir. Buna karşılık Rijit üstyapıların trafiğe açılabilmesi için en az 7 gün beklemesi ve betonun belirli bir dirence ulaşım süresinin geçmesi gerekmektedir. Ancak rijit üstyapının prizini alması için geçen bu süre, beton içine yapım sırasında katılan, prizi ve sertleşmeyi hızlandırıcı katkı maddeleri ile giderilmekte ve beton yolun trafiğe açılabilme süresi azaltılabilmektedir.

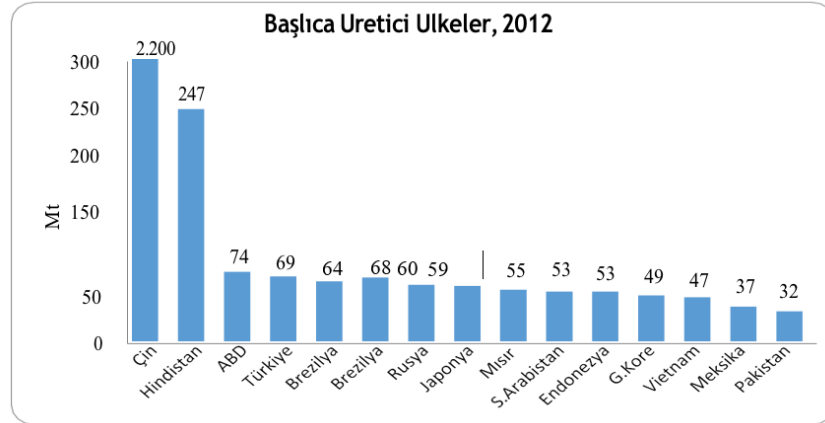
-Rijit üstyapılar demir donatı kabul edebilen tek kaplama tipi olmasıyla birlikte gerektiği zamanlarda, derzlerde çatlaklara karşı plak üst yüzeyine yakın yerlerde demir donatı kullanılmaktadır. Bu durum şüphesiz maliyeti artıran bir husus olmasıyla

birlikte demir donatının kullanılabilir olması beton yol ömrünü daha da artıran bir avantaj sayılmalıdır [51].

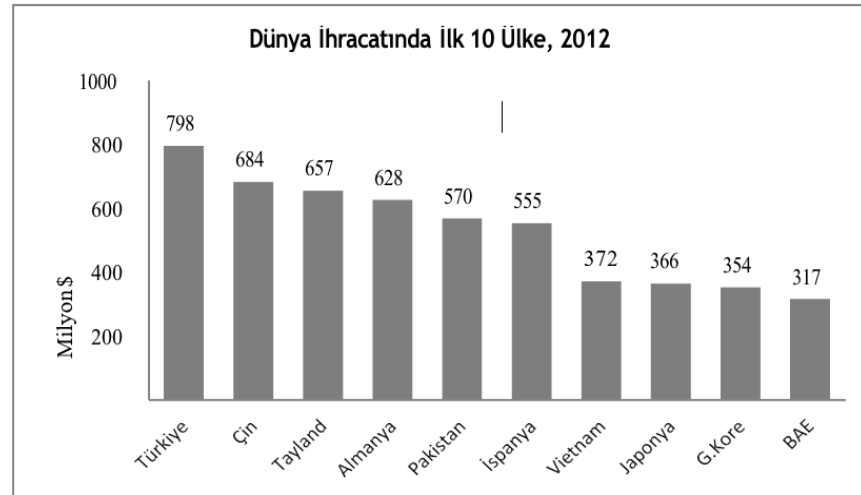
-Rijit üstyapıların kayma sürtünme katsayıları esnek üstyapılara kıyasla yüksek olup kaymaya karşı dirençleri de fazladır. Rijit üstyapılarda boyuna sürtünme katsayısı 0,70 iken; enine sürtünme katsayısı 0,65 civarındadır. Ayrıca, çimento betonu ile kaplı bir üstyapı ıslak olması halinde, sürtünme katsayısının küçülmesi diğer plastik bağlayıcılarla yapılan kaplamalara göre daha azdır. Yol yüzeyi düz olduğundan yağış suları esnek üst yapılara göre çok daha kolay akmakta ve yüzeyin kuru kalması sağlanmaktadır [33].

-Esnek Üstyapı ile yapılmış yollarda her türlü bakım-onarım-yenileme çalışması, kolay bir şekilde, hatta trafik akışının devamı sırasında dahi yapılabilir. Nitekim esnek üstyapı çok kolay bir şekilde yama tutan bir malzemedir. Rijit üstyapı ile yapılmış yollarda ise bu onarım esnek üstyapıya nazaran plağın kırılması ve yerine yeni plağın dökülmesi, betonun içinde demir donatının bulunması ve bunun da kesilip yapım zorunluluğu doğurması, ayrıca yeni dökülen betonun da belirli bir süre bekletilmesi gibi işlemler gerektirdiğinden bunun oluşturduğu bir gecikme olacak, buda beton yolun beton asfalt kaplamalara karşı zayıf olan bir yönünü ortaya koymaktadır. Ancak beton yollar, asfalt yollara göre çok daha dayanıklı bir kaplama türü olup çok az bakım ve onarım gerektirir. Bu nedenle uzun hizmet ömrü dikkate alındığında, beton kaplamaların asfalt kaplamalara kıyasla daha avantajlı olduğu gerçeğini ortaya çıkarmaktadır [33].

-Petrol üreten veya petrolün tedarik edilmesinde herhangi bir problem yaşamayan ülkelerde asfalt beton kaplamaları oldukça ekonomik ve isabetli bir yöntem olmasına karşın Ülkemizin her yıl milyonlarca ton bitüm ithal eden bir ülke olduğu düşünüldüğünde ve çimento üretimi yönünden 2011 ve 2012 yılında 798 milyon \$ ihracat ile dünya çimento sektörü ihracatında ilksırada yer alması, aynı zamanda senede yaklaşık 69 milyon ton çimento üretimine sahip olması, çimento beton kaplama kullanması için çok gerekli ve yeterli bir sebeptir. Ülkemizin çimento üretiminde Dünyadaki yeri ve çimento ihracat oranları Şekil 2.35 ve 2.36'da ortaya konulmuştur.



Şekil 2.35. 2012 yılı itibari ile başlıca çimento üreten ülkeler [54].



Şekil 2.36. 2012 yılı itibari ile Dünyada çimento ihracatı [54].

-Beton asfalt kaplamaların hazırlanması, dökülmesi, sıkıştırılması işlemleri belli bir sıcaklıkta yapılması gerekmektedir. Bu ısı değerindeki düşmelerde, asfalt betonu, yumuşaklığını kaybetmekte sonuç olarak nitelikte, istenen düzeyin altında bir kaplama oluşmasına yola açmaktadır [33].

-Esnek üstyapı karışımında kullanılan asfaltın yapısı, kaplama yapımının tamamlanmasından belli bir süre sonra, asfaltın yapısı içindeki uçucu maddelerin uçması ve hava muhalefeti sebebiyle okside olması ile bozulmaktadır. Bu olaya asfaltın yaşlanması denir. Yaşlanma, bitümün gevrekleşmesi, daha az elastik davranış göstermesi, agregaya karşı bağlayıcı özelliğinin azalması şeklinde görülebilen rijit

üstyapıların bağlayıcısı çimento olup herhangi bir uçucu madde içermemesiyle birlikte rijit üstyapılarda yaşlanmadan bahsetmek olanaksızdır [55].

-Rijit kaplamalar henüz tasarım aşamasında bile esnek kaplamaların 2 katı servis ömrü hedeflenerek tasarlanır. Rijit kaplamaların ortalama ömrü 34 yıl iken esnek kaplamaların 17 yıldır [56].

- Rijit kaplamalar eğilme yüklerini daha rahat karşılarlar. AASHTO tarafından yapılan testlerde eğilme durumunda esnek kaplamaların %61'i bozulurken rijit kaplamaların sadece %5'inin bozulduğu gözlenmiştir

-Kaplama gelen yükler ağırlaştığında, esnek kaplamalarda kaplama dayanımı çok etkili iken, rijit kaplamalarda yüklerin ağırlaşması esnek kaplamalardaki kadar etkili olmaz [57]. Bu durum beklenmeyen trafik yüklerine karşı rijit kaplamaların daha dayanıklı olması ve daha az deformasyona uğraması anlamına gelmektedir.

-Ayrıca Esnek kaplamaların gerek yapım gerekse de uygulama aşamalarında, ısıtma ve kurutma işlemlerinin bulunması sebebiyle çevre kirliliğinin ortaya çıktığı görülmüştür. Rijit üstyapı yapımının ve uygulamasının hiçbir aşamasında ise çevre kirliliği ile ilgili bir sorun söz konusu olmamaktadır [2].

-Bu ve buna benzer mukayeseleri arttırmamız mümkün olup aşağıda esnek ve rijit üstyapının birbirine olan avantaj/dezavantajları Çizelge 2.2'de özet halinde sunulmuştur.

Çizelge 2.2. Esnek ve rijit üstyapı kıyaslaması özet tablo [2].

Parametreler	Esnek Üstyapı	Rijit Üstyapı
- Trafığe çabuk açılabilme	++	-
- Demir donatı kullanabilme	-	+
- Onarım sıklığı	-	++
- Dayanıklılık	+	++
- Islak halde kayma sürtünme katsayısı	-	+
- Zayıf taban zemininin bulunması	--	+
- Yapım sırasında ısı kaybının yol açacağı sorunlar	--	+
- Kaliteli agrega gereksinimi	-	+
- Derz yapma zorunluluğu	+	-
- Seyir konforu	++	+
- Gece seyirde görüş olanakları	-	++
- Enerji azlığından etkilenme	-	+
- Taban zeminindeki ıslaklık	-	+
- İklim koşullarına bağımlılık	--	++
- Trafikte yüksek yıllık artış oranı	-	++
- Trafikte düşük yıllık artış oranı	+	-
- Yaşlanma ve kimyasal maddelerden etkilenme	--	+
- Yapım sırasında çevre kirliliğini artırıcı etki	-	+
- Trafikte yüksek ağır taşıt oranı	-	++
- Üstyapı kaplama takviyesi	+	-
- Üstyapı temel+kaplama değişimi	+	+
- Yüksek iskonto oranı ve sınırlı yatırım kaynakları	+	-
++: çok avantajlı, çok uygun; +: avantajlı, uygun; - : sakınca yaratır, uygun değil; -- : çok sakıncalı, hiç uygun değil		

BÖLÜM 3

DÜNYADA RİJİT ÜSTYAPININ KULLANIMI

Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan ilk beton yol, 1891 yılında Ohio Eyaleti'nin Bellefontaine Şehrinde yapılmış olup günümüzde kullanıma açık olarak hizmet veren cadde tarihi bir yapıt olarak dikkat çekmektedir. Beton yolların yaygın hale gelmesi 20. Yüzyılın ortalarında hız kazanmış olup 20. Yüzyılın ilk yarısında ABD ile Fransa ve Belçika'da daha sonralarda ise Almanya'da yapılmaya başlanılmıştır.

1930'lu yıllarda Almanya'da beton yolların uzunluğu o yıllarda 4000 km' yi bulmuştur. ABD'de 1950'li yılların başında başlayan "Eyaletlerarası Otoyol Sistemi" bittiğinde, büyük bölümü beton kaplamaya sahip 60.000 km'den fazla yol üstyapısı tamamlanmıştır. Günümüzde ABD'de bazı büyük eyaletlerin çevre yolları dahil beton kaplamaya sahiptir. Son 50 yılda Fransa, Belçika, Avustralya' yla birlikte Avusturya, İngiltere, İspanya, Kanada ve Güney Afrika gibi ülkelerde beton yol üstyapısı yapılmış durumdadır. [58].

Yolcu ve yük taşıma istatistikleri incelenmesi durumunda gelişmiş ülkeler dâhil nerdeyse her ülkede karayolu taşımacılığının önde seyrettiği görülmektedir. Öyle ki Avrupa Birliği ülkelerinde 2000 yılı neticesinde karayolunun yolcu taşımadaki payı %79,0 ve bu oran ABD'de %89,1, ülkemizde ise %95,2'dir. Yük taşımacılığı ise kısa mesafeli kıyı deniz taşıması da nazara alınırsa karayolunun payı AB ülkelerinde %45,0 iken ABD'de %69,4, Türkiye'de ise %76,1 olarak görülecektir. Ayrıca ülkemizde boru hattı taşımacılığı dikkate alınmayacak olursa bu oran %92,2'ye varmaktadır [5]. Bu sebeple Ülkemiz yollarının yapımında daha uzun ömürlü, daha az bakım onarım gerektirecek ve artan taşıt yüküne bağlı olarak daha az deformasyon gösterecek olan uygulamaların benimsenmesi, bu amaçla beton yolların uygulamasının bir alternatif olarak değerlendirilmesi gerektiği aşikardır. Aşağıda farklı ülkelerin beton yol kullanımına ilişkin bilgiler verilmektedir.

3.1. FRANSA

1939- 60'a kadar olan yıllar arasında birkaç bölgede başlamak üzere; rijit üstyapılar, Fransız otoyollarında uzun yıllardan bu yana kullanılmaktadır. Rijit üstyapılarda asıl gelişme, 1960'lı yıllarda, drenaj olmadan çimento ile stabilize edilen bir temel üzerine yerleştirilen kayma donatısı içermeyen derzli-donatısız tipteki rijit üstyapıların, "California" tasarım yöntemi ile benimsenmesi üzerine başlamıştır. 1970'li yıllarda ağır trafiğin hızlı gelişimi; pompaja, derz detorasyonlarına ve plakta oluşan çatlakların ortaya çıkmasına ilişkin problemlere neden olmuştur (Fransa'da, California'nın güney ve merkez kesimlerine göre yağış miktarının kayda değer derecede fazla olduğu göz önünde bulundurulmalıdır). Bu tür problemler, Fransa'daki rijit üstyapıların itibarına zarar vermiş ve kullanımlarını sınırlandırmıştır. Fakat yasal tekil dingil yükü 13 ton olan kayma donatısız, drenajsız, derzli donatısız tipte üretilen üstyapı, kesim ve rehabilite edilmeden 12 yıldan daha fazla bir süre zarfında 17 milyon ticari araç için hizmet vermiştir.

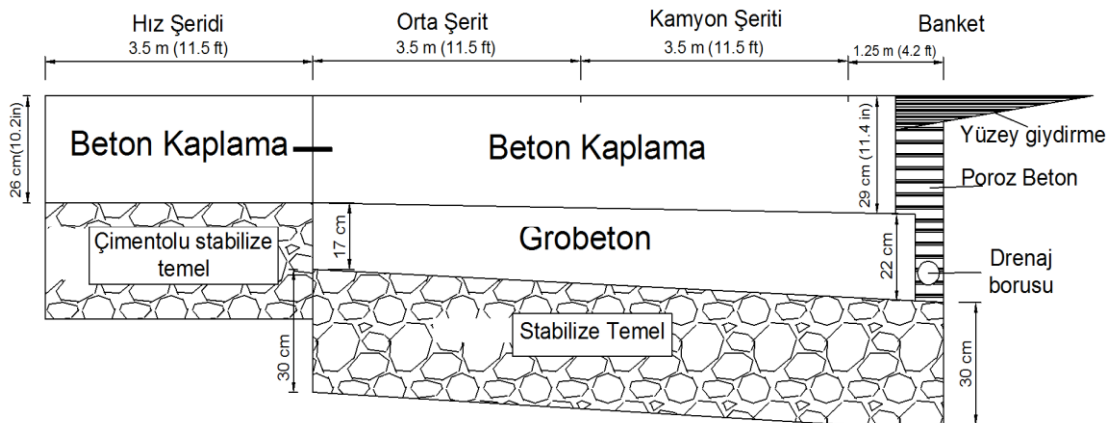
Ayrıca; Avrupa ülkelerinde olduğu gibi Fransa'da da kalite seviyesi hiçbir zaman kabul edilebilir düzeyde olmadığı varsayılmakta ve bu tasarımın geliştirilmesi için sürekli çaba harcanmakta olup yıllardır Fransız mühendisler, araştırmacılar, yükleniciler ve sanayi; rijit üstyapıların tasarım, malzeme ve inşaatının geliştirilmesi için yoğun bir şekilde çalışmaktadırlar. Bu yoğun ve ortak çalışmaların sonucunda birçok yeni tasarım benimsenmiştir. Fransa'da daha önceleri rijit üstyapıların neredeyse tamamı derzli- donatısız tipte inşa edilmekteyken bazı bölgelerinde sürekli-donatılı tipteki rijit üstyapılar gittikçe yaygınlaşır hale gelmektedir [5]. Fransa'da ilk sürekli donatılı tipteki rijit üstyapısı 83 yılında yapılmış olup 2007 yılına kadar inşaa edilmiş yol uzunluğu 550 km' lere ulaşmıştır.

Fransa'da uygulanan sürekli donatılı rijit kaplamaların özellikleri ise şöyledir; Yeni yapılan yollarda çimentolu stabilize veya asfalt betonundan temel kullanılır. Kenarlarında 50 cm'lik banket uygulaması vardır. Bazı banketler daha zayıf betonlardan inşa edilirken genelde banketler bitümlü malzeme veya geotekstil malzemeli temele sahiptir ve içinde bulunan drenaj borusu ile suyu tahliye eder. Trafik yükünü taşıyan şeritler trapezoid şekilde inşa edilir. Bu trapezoidin kısa kenarı 19

cm'den başlar. Uzun kenarı ise genelde 25 cm, kamyon şeridi yapılacak yerlerde ise 31.5 cm'ye çıkartılır. Eğer eski kaplamaların üzerine inşa ediliyorsa, bu kalınlıklar değiştirilir. Eski rijit kaplamalar üzerine minimum 18 cm, eski esnek kaplamalarda minimum 16 cm yeni kaplama yapılır. Sürekli donatılı rijit kaplamalarda kullanılan donatı iki türdür. Birincisi 590 MPa'lık akma dayanımına sahip çubuk donatı, ikincisi ise Fransızlar tarafından geliştirilmiş olan 790 MPa akma dayanımına sahip, 4 cm genişliğinde 2 mm kalınlığında şerit donatıdır [59]. Özet olarak Fransa'da rijit üstyapı inşaatı, ağır trafiğe sahip bazı havaalanı ve otoyollarda, 40 yıl öncesine dayanmakta olup günümüzde halen hizmet vermektedir. Ayrıca Fransızlar, rijit üstyapıların tasarımını, inşaatını ve iyileştirmesini geliştirmek için uzun yıllardır çok yoğun bir şekilde çalışmaktadırlar.

- ❖ Yük transfer yöntemleri,
- ❖ Sürekli donatılı rijit üstyapılar için dikdörtgen donatı,
- ❖ Alt drenaj sistemleri,
- ❖ Düşük gürültülü-yüksek sürtünme dirençli yüzey,
- ❖ Şerit genişletme,
- ❖ Trapezoidal enkesit tasarımları

gibi birçok yenilikçi fikirler bu yıllar boyunca geliştirilmiş olup aşağıda Fransa'da uygulaması yapılan ve trapezoid kaplama şeridi ile banket uygulaması Şekil 3.1'deki gibi görülmektedir.



Şekil 3.1 Fransa'da trapezoid kaplama kamyon şeridi ve banket uygulaması [59].

Tasarım ve inşaat pratiğine gerçek etkisi olan araştırma programlarıyla elde ettikleri başarının üzerinde; kamu ve özel kuruluşların bir araya getirilerek yapılan, rijit üstyapılardaki olası problemlerin çözümüne yönelik çalışmaların büyük etkisi vardır. Fransızlar, rijit üstyapı tekniklerine ilişkin bakım ve rekabet edebilirlik konularının başarısının, endüstri ile işletme otoriteleri arasındaki ortak çalışmaların sonucunda ortaya çıkan sürekli yeniliklere göre değişim göstereceğini belirtmişlerdir. Fransa'nın rijit üstyapı teknolojilerini geliştirmek adına yoğun çaba gösterdiği gözlemlenmiş ayrıca rijit üstyapı seçimi, 25-30 yıllık bir periyot için yapılan hizmet ömrü boyunca toplam maliyet analizinin bir sonucu olmuştur. Rijit üstyapı, yerel agregaların kullanılabildiği beton ile inşaa edilebildiği zaman; çoğunlukla asfalt betonundan daha ucuzdur. Standart tasarım kataloglarında verilen üstyapılar eşdeğer ve aynı hizmet ömrünü sunarlar. Bununla birlikte, yapıda beklenenden önce oluşan çatlakları önlemek için gerekli bakım miktarı ve memnun edici yüzey özelliklerinin sağlanabilmesi farklılık göstermektedir. Rijit üstyapıların bir avantajı da şüphesiz daha az bakıma ihtiyaç duymalarıdır. Bu nedenle üstyapıların karşılaştırmasına ait genel analizlerde, bakım maliyetlerinin de göz önüne alınması gerekir.

Fransa'da, 2007 yılı itibari ile yeni rijit üstyapıların tasarımı yapılırken, yüzeyin sürtünme ve pürüzlülük karakteristiklerini geliştirmek için ortaya çıkarılmış agrega yüzey yöntemi başta olmak üzere, yüzey üzerine stone-mastic asfalt veya yüzey iyileştirilmesi yapılmaktadır. Paris'te çok az bir alanda kar görülür; bundan dolayı stone-mastic asfaltta veya poroz asfaltta bozulma görülmez. Aynı zamanda, ortaya çıkarılmış agrega yüzeyli, iki tabakalı üstyapılar da iyi performans göstermektedir. Fransız ücretli otoyollarının mühendislik felsefesi, kullanıcıya sağlamaya çalıştıkları yüksek kalitedeki hizmet nedeniyle çok etkileyicidir. Mükemmel kalitedeki üstyapılar göze çarpmaktadır. Nantes LCPC araştırma laboratuvarı, iki sebepten dolayı rijit üstyapıdan uzun bir ömür beklenebileceği ifade etmiştir: trafiğe karşı mekanik direnç (tekerlek izi oluşumu yoktur ve yorulma çatlakları kontrol altındadır) ve çevresel etkenlere direnç gösterebilme yeteneği oldukça yüksektir. [5].

3.2. AVUSTURYA

1940 yılından beri rijit üstyapı imalatı yapan Avusturya’da yapılan rijit üstyapı tipleri derzli-donatılı ve derzli-donatsız tipteki rijit üstyapılardır. Avusturya’da günümüzde 30 yaşını ve kimi 50 yaşını doldurmuş birçok üstyapı uygulaması olduğu bununla birlikte; daha da eskiye dayanan üstyapılarda, çivili tekerleğe sahip lastiklerin 2-3 mm’lik tekerlek izlerine sebep olmaları sebebiyle Avusturya çeşitli iyileştirme gerektiren birçok kesime sahiptir. Çivili tekerleğe sahip lastiklerinin rijit üstyapılara verdiği zararın iyileştirilmesi amacıyla, birçok eski üstyapının ağır vasıta şeritlerinin üzerine ince bir asfalt tabaka konmuş vaziyettedir. Ancak bu tabakanın ömrü sadece 4-6 yıl gibi kısa bir süreye sahip olup eski üstyapılar oldukça iyi bir beton durabilitesine sahipliğini devam ettirmektedir. Yeniden inşa edilmiş olan üstyapılar için mevcut tasarım; rijit banketlerle bağlı, kısa aralıklarla derzlendirilmiş kayma donatılı derzli-donatsız tipteki rijit üstyapılar ve plak ile granüler veya çimento ile işlenmiş temel arasındaki asfalt betonu tabakadan ibarettir. Rehabilitasyon, faylanmış (kırılanmış) plakların üzerine bağlanmamış derzli-donatsız tipteki rijit kaplamaları ve asfalt betonu kaplamaları içermektedir. Günümüzde yaygın olarak en çok kullanılan teknik eski bir üstyapının geri kazanılarak 11,5 m genişliğinde yeni bir üstyapı elde edilmesidir. Avusturya’da yer alan karayollarında meydana gelen gürültünün azaltılması oldukça büyük önem arz etmektedir. Ortaya çıkarılmış agrega yüzey ile birlikte iki tabakalı (üst tabaka küçük ve sağlam agrega içermektedir) tabakaların kullanımı ile gürültü değerinde görülecek düzeyde bir azalma ve yüksek sürtünme elde edilebilmektedir. Ayrıca Avusturya’lı Dr. Sammer bir şeyin yürürlüğe konulması için gereken özverinin, önceki araştırma çabalarından daha büyük olması gerektiğini belirtmiştir.

3.3. ALMANYA

Almanya’da 1970 yılından sonra inşa edilen derzli-donatsız tipteki rijit üstyapıların performansları sadece olağanüstü derecede iyi olarak tanımlanabilir. Mevcut tasarımla ilgili oldukça az problem vardır ve bu tasarım asfalt üstyapılarla ekonomik bakımdan rekabet edebilecek düzeydedir. Almanya’da ilk beton yol yapımı neredeyse ABD’deki ilk uygulama ile aynı tarihlerdedir. 1934’ten itibaren ise rijit kaplama, otoyollarda

kullanılmaya başlanmıştır. Almanya'da ilk dönemde plak boyları 7.5-10 m arası değişen granüler alttemelli, donatılı ve derzli beton yollar yapılmıştır. 1972 yılından itibaren iklim koşullarında değişiklikler nedeniyle, enine derzler ile 5 metrelik plaklar şeklinde yapılmaya başlanmış ancak boyuna derz konulmamıştır. Daha sonra kendi tecrübeleri ve ABD standartları ile geliştirilmiş beton yollar yapılmaya başlanmıştır. 1982 yılında kayar kalıp sistemini kullanmaya başlamıştır. Almanya eski beton yollarını kırarak agrega haline getirip tekrar kullanmaktadır. Almanya'da dingil ağırlığı 11.5 ton alınmakta ve otoyollarından günde ortalama 8000 Kamyon geçmektedir [60].

Bu olağanüstü iyi performansı ortaya çıkaran etkenler;

- ❖ Değişken aralığa sahip kayma donatılı derzler,
- ❖ Erozyonun, ara yüzdeki pompajın ve bükülmelerin azaltılması için; çimento ile işlenmiş veya zayıf beton temel ile beton plak arasında sağlanan aderans,
- ❖ Erozyona karşı dirençli yüksek kalitedeki bir temel,
- ❖ Özellikle yüzey başta olmak üzere; rijit kaplama içinde bulunan ve iyi kaliteye sahip agregalar,
- ❖ Yapım esnasında özveri gösterilen hava boşluk kontrolünden dolayı, betonun donma çözünme etkilerine karşı koyan direnç,
- ❖ Çift-kanallı yüzey altı şeklinde çalışan drenaj sistemi şeklinde sıralanabilmektedir [5].

3.4. HOLLANDA

Günümüzde Hollanda'da geçmiş yıllara nazaran rijit üstyapılar daha fazla tercih edilmektedir. 1950'li senelerde ortaya çıkan başlıca sorun, kayma donatısı kullanılmaması nedeniyle derz kırıklanmasıdır. Ancak Alman kayma donatılı, derzli-donatısız tipteki rijit üstyapı tasarımının benimsenerek uygulanması ile bu problem çözülmüş ve düşük bakımla uzun süreli performans sağlanabilmektedir. Hollanda'da yeni fikirlerin tecrübe edilebilmesi için büyük bir istek bulunmakta olup rijit üstyapılarla alakalı olarak üzerinde durulan başlıca konu; tekerlek/üstyapı gürültüsünün azaltılabilmesi meselesidir. Bu konu ile ilgili olarak kayda değer araştırmalar

sürdürülmekte olup değerlendirme aşamasındadır. Ayrıca poroz asfalt veya poroz beton yüzeyle gürültü seviyesinin azaltılabileceği belirtilmiştir. Deneyimler göstermiştir ki poroz beton yüzey ile gerekli gürültü absorpsiyonunun, durabilitenin ve dayanımın elde edilebilmesi mümkündür [5].

3.5. BELÇİKA

Belçika'da üretimi sağlanan rijit üstyapılar, bilhassa sürekli-donatılı tipteki rijit üstyapılar, performans bakımından sadece olağanüstü iyi olarak ifade edilebilir. Yapılan bu tasarımlarda sağlanan mükemmel performans etki eden başlıca etmenler: Sürekli-donatılı tipteki rijit tabakanın üstünden 6 cm derinliğe yerleştirilen % 0.85 oranındaki donatı, aşınmaya karşı direnç amacıyla kullanılan yüksek çimento içeriği, erozyonun azaltılması için, sürekli-donatılı tipteki rijit plakla zayıf beton tabaka arasında aderans sağlayan 6 cm'lik asfalt betonu ara tabaka, taban zemininin üzerindeki kalın granüler tabaka, yüksek dayanımlı beton ve bunun donma-çözünmeye karşı yüksek direnci dar çatlak aralıkları ve erozyonun olmaması sebebiyle bakıma düşük ihtiyaç duyan, 30 yıl veya daha uzun süreli bir ekonomik ömrü beklenmektedir. Son zamanlarda, donatı içeriğinin % 0.67'ye idüşürülmesi, donatının 9 cm derinliğe konulmasını ve asfalt betonu ara tabakanın saf dışı edilmesini içeren tasarımlar ortaya konmuş ancak bu üstyapı daha önce yapılan üstyapılara nazaran iyi bir performans göstermemiştir; çatlaklar daha geniş alana yayılmış ve plak ile beton tabaka arasında erozyon oluşumu tespit edilmiştir [5].

3.6. AMERİKA BİRLEŞİK DEVLETLERİ

ABD'deki yüksek hacimli yol ve caddelerde iki tip üstyapıdan bahsetmek mümkündür. Bunlardan ilki asfalt betonu ile kaplanan esnek üstyapılar bir diğeri ise çimento betonu ile kaplanan rijit üstyapılardır. ABD'de genellikle üç tip rijit üstyapı kullanılmakta olup bunlar;

- ❖ Derzli ve donatısız tipte rijit üstyapılar,
- ❖ Derzli ve donatılı tipte rijit üstyapılar ve
- ❖ Sürekli donatılı tipte rijit üstyapılar olarak bilinmektedir.

3.7. TÜRKİYE

Ülkemizde 1 Mart 1950 yılında kurulan Karayolları Genel Müdürlüğü'nün sorumluluğu altında bulunan karayolu uzunluğu 01.01.2019 tarihi itibarıyla toplam 67.333 km olup bu yol uzunluğunun çok az bir kısmı rijit üstyapı olarak dizayn edilmiştir. Ülkemizde farklı yıllarda KGM sorumluluğunda yapılmış olan rijit üstyapı uygulamaları Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Ülkemizde Yapılan Rijit Üstyapı Uygulamaları [61].

Yeri	Afyonkarahisar Emirdağ	Hasdal Kemerburgaz	Ordu Ulubey	Karamürsel
Uzunluğu	2 km	3.5 km	1km	1.6 km
Şerit Sayısı	3	2	2x2	2x2
Yapım Yılı	2004	2006	2007	2010

Trafik yoğunluğu ve doğa koşullarının da etkisiyle kısa sürede yıpranan yollarımız nedeniyle Karayolları Genel Müdürlüğü asfalt yollara, her yıl yaklaşık 2 milyar TL bakım onarım masrafı yapmaktadır [62]. Bu sebepten ötürü Ülkemizde KGM'den ziyade özellikle yerel idareler beton yolları; uzun yıllar bakım onarım gerektirmemesi ve mevsim koşullarından azgari düzeyde etkilenmesi gibi sebeplerden tercih edebilmektedir. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Denizli Büyükşehir Belediyesi, Antalya ve Samsun Büyükşehir Belediyeleri gibi yerel idareler, son yıllarda rijit üstyapı modellerini yatırım programlarına dâhil etmiş ayrıca köy içi ve köyler arası bağlantı yolları, köy grup bağlantı yolları gibi kesimlerde beton yol imalatları gerçekleştirmişlerdir.

Kocaeli ilinde 2003 yılında İl Özel İdaresi tarafından yapılan ve şu zamana dek herhangi bir bakım veya onarım görmeyen bu ilk beton yol uygulamaları; Gölcük İlçesi, İhsaniye-Hamidiye – Ümmiye köyleri arası bağlantı yolu (5 km), Kandıra İlçesi, Kefken – Akçabeyli - Karaağaç köyleri arası bağlantı yolu (8 km) ve Akçabeyli – Çamkonak - Ketenönü köyleri arası bağlantı yolu (4 km) olarak halen servis sağlamakta olup toplam uzunluğu şimdilik 17 km'lere ulaşmıştır [63]. Ayrıca Trabzon Boztepe Nato yolu (1959), Trabzon Tonya bazı Köy yolları, Sinop Nato radar üssü yolu (1953), Gaziantep, Şanlıurfa, Kahramanmaraş, Bursa'da da pilot uygulamalar yapılmıştır. Ayrıca 1985-1990 'lı yıllarda Adana Büyükşehir Belediyesi tarafından

başlatılan yeni Adana Projesi kapsamındaki planlı şehirleşme uygulamaları kapsamında Mavi Bulvarı, Turgut Özal Bulvarı, Adnan Menderes Bulvarı, Özdemir Sabancı Bulvarı, İncirlik hava üssü güvenlik yollarında çeşitli uzunluklarda ve yıllarda yapılmış olan beton yol uygulamalarını görmek mümkündür. Adana Mavi Bulvar'ında 1986 yılında yapılan ve 2 m genişliğe sahip 2 şeritli beton yol uygulaması Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2. Adana-Mavi Bulvarı.

Adana Turgut Özal Bulvar'ında 1986-1987 yıllarında yapılan ve 3 m genişliğe sahip 2 şeritli beton yol uygulaması Şekil 3.3'de görülmektedir.



Şekil 3.3. Adana-Turgut Özal Bulvarı.

Adana Adnan Menderes Bulvarı'nda 1987 yılında yapılan ve 2 m genişliğe sahip 2 şeritli beton yol uygulaması Şekil 3.4'de görülmektedir.



Şekil 3.4. Adana-Adnan Menderes Bulvarı [5].

Ayrıca Trabzon Tonya' da 2015 yılı itibari ile yeşil yol kapsamında 22 mahallede beton yol çalışmalarına başlanılmış olup Şekil 3.5'de Tonya'da yapımı devam eden beton yol çalışması görülmektedir.



Şekil 3.5. Trabzon Tonya Yeşil Yol (24 km) [64].

Kocaeli'nin Karamürsel İlçesi'nde, E-130 Karayolu'nun ilçe merkezinden geçen ve 2010 yılında yapılan yaklaşık 2 kilometrelik beton yol uygulaması Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Kocaeli Karamürsel E-130 Karayolu.

Görüleceği üzeri Ülkemizde rijit kaplamaların kullanımı henüz arzu edilen seviyelerde olmamakla birlikte bu ve buna benzer çalışmaların artmasının rijit üstyapıların kullanımının artmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

BÖLÜM 4

ÜSTYAPI TİPİ SEÇİM KRİTERLERİ

Ülkemizde 2019 TÜİK verilerine göre 22.922,164 adet motorlu taşıt bulunmakta ve her geçen gün parabolik bir artış gösteren bu taşıt trafiğine, karşılık verebilecek donanımına sahip aynı zamanda konforlu ve uzun ömürlü bir üstyapının projelendirilmesi büyük bir önem arz etmektedir. Günümüzde artış gösteren motorlu taşıt trafik hacmi ve kaynak teminindeki zorluklar karşısında tercih edilen, yeni bir üstyapının yapılmasından ziyade var olan eski karayolu üstyapının, ilerde yoğun ve ağır trafiğe karşılık verebilecek bir şekilde onarımı üzerinde yoğunlaşmaktadır. Gerek yeni bir üstyapı yapımında, gerekse de üstyapı onarım/yenileme çalışmalarında üstyapı seçimi oldukça büyük önem arz etmekte olup üstyapı seçimi yapılır iken üstyapı tipleri hem teknik hem de ekonomik açıdan mukayese edilmeli ve ülkenin ekonomik koşulları da göz önüne alınarak karara varılmalıdır [65].

Üstyapı tipi seçim yöntemlerini; ampirik, analitik ve analitik/ampirik yöntemler olmak üzere üç şekilde göstermek mümkün olacaktır.

- ❖ Ampirik yöntem; yapılan deney sonuçlarını temel alan, deney şartlarına bağlı olarak değişkenlik gösteren birer tasarım yöntemleridir. Bu yöntemlerde, uygulama uzunca bir zaman almakta ayrıca maliyeti yüksek olmaktadır.
- ❖ Ampirik analitik yöntem; analitik yöntemler aracılığı ile analiz edilemeyen bazı faktörlerin, ampirik bağıntılarla çözümlenmesi amacı ile geliştirilmiştir.
- ❖ Analitik yöntem; üstyapı katman kalınlıklarının, bazı kıstaslar (üstyapı malzemelerinin mekanik özellikleri, çevre şartları, maruz kalınan trafik yükleri ve çevre koşulları vb.) dikkate alınarak geliştirilen matematiksel modeller sonucu bunlardan oluşturulan abaklar ve bilgisayar programları vasıtası ile hesaplanması mantığına dayanmaktadır. Ülkemizde, karayolu üstyapı tasarımları için Ulaştırma Bakanlığı'na bağlı Karayolları Genel Müdürlüğü

Genel Müdürlüğü (KGM), AASHTO analitik-ampirik tasarım yöntemi kullanılmaktadır [66].

Üstyapı tipinin seçim ve projelendirilmesi, gerek yeni bir yol yapımında (yeni yol yapılırken ki bu konuya daha titizlikle yaklaşılması gerekmekte) gerekse de üstyapı yenileme-bakım-onarım çalışmalarında önem arz etmektedir. Karayollarında üstyapı tipinin seçimi çok sayıda ölçütlerin dikkate alınmasını gerektiren kapsamlı bir konu özelliği taşımakla birlikte yapılacak olan seçim hem teknik hem de ekonomik olarak değerlendirilip fayda-maliyet analizleri (FMA) yapılmalı ve en önemlisi, ülke koşulları rezervleri dikkate alınarak karar verilmelidir [2]. Ayrıca gerek yeni bir yol yapılırken gerek bakım-onarım çalışmalarında; yol güzergahındaki trafik etkilerine, yolun bulunduğu coğrafyada iklim ve çevre etkilerine, üstyapıyı oluşturan malzeme cinsine ve yolun yapım, bakım şartları titizlikle gözden geçirilmelidir.

4.1. ÜSTYAPI TİPİ SEÇİMİNDE TEKNİK KRİTERLER

4.1.1 Trafik Etkileri

Hangi tür yol ağı olursa olsun (köy yolu, il yolu, devlet yolu, otoyol vb.) hizmet ömrü boyunca öncelikle yolun güvenli ve konforlu olması istenir. Bu özelliklere sahip bir yol; planlama, tasarım, yapım, bakım, onarım, iyileştirme, yenileme aşamalarında temel mühendislik ölçütlerinin uygulanması ile gerçekleştirilebilir. Karayolu tasarımından bahsedebilmek için ise tasarım amaçları, tasarımı kısıtlayan etkenler ve tasarım elemanları hakkında bilgi sahibi olmak gerekmektedir [67]. Üstyapı tipinin belirlenmesinde;

- O yol üzerindeki trafik hacmi ve yıllık ortalama günlük trafik (yogt) değerleri ışığında trafik kompozisyonu (taşıt ağırlığına göre dağılımı, artış eğilimi, gelecekte beklenen trafik hacmi vb.),
- Karayolu dingil yükü veya tekerlek yükü,
- Dingil sayısı veya tekerlek konfigürasyonu (geometrisi),
- Lastik basıncı miktarı ve temas alanları,

-Standart yük tekrür sayısı gibi bilgilerin bilinmesi üstyapı tipinin seçiminde daha sağlıklı bir karar verilmesine yardımcı olacaktır.

Karayollarında seyir halinde olan taşıtların, dingil yüklerinin yolun deformasyonuna olan etkileri, 1957-61 seneleri arasında yapılmış olan AASHTO (American Association of State Highway Officials) deney yolu verileri neticesinde ortaya çkonulmuş olan bağıntılarla belirlenmektedir. Üstyapı tasarımı yapılırken özellikle karayolu dingil yükü ve bu dingil yüklerinin tekrür sayılarının dikkate alınması bilhassa esnek üst yapılarda oluşacak deformasyonların önüne geçmek adına büyük önem taşır.

4.1.2. İklim ve Çevre Etkileri

Mevsimsel ve gece gündüz arası sıcaklık farklılıklarının fazla olduğu bölgelerde sıcaklığa duyarlı yapısı gereği viskoelastik malzeme olan asfalt betonu, yazın yüksek sıcaklıklarda tekerlek izi oluşmasına ve kismaya, kışın düşük sıcaklıklarda ise çatlamaya karşı formülize edilip bu şekilde üretimi gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Özellikle bu tez kapsamında detaylı olarak incelenecek olan Karabük İli ve Eskipazar İlçesi Köylerinin ortalama rakımının 750 m olduğu düşünüldüğünde meydana gelen hem mevsimsel hem gece gündüz sıcaklık farklarından rijit üstyapının daha az etkileneceği değerlendirilmekte ve kullanımı teşvik edilmektedir. Yağış mevsimlerinde yağmur ve kar sularının her iki türlü kaplama türünde de drenaj sistemlerinin yardımı ile üstyapıdan drene edilmesi gerekir. Tabanda şayet silt ve kil gibi zeminler mevcutsa bu gibi zeminler bünyelerine su aldıklarında, oldukça fazla hacim farklılığı gösterirler. Bu hacimde meydana gelen değişim sonucu oluşan kabarmalar, üstyapıda kırılma ve dağılmalara mahal verebilmektedir. Yağışlarla birlikte oluşan yüzeysel sular, üstyapının tüm elemanlarının (yol yüzeyi, banket, yarma ve dolgu şevleri) erozyonuna neden olabilmektedirler [66]. Şekil 4.1’de çevresel faktörler sebebiyle esnek bir üstyapıda ortaya çıkan deformasyonlar görülmektedir.



Şekil 4.1. Çevresel faktörler sebebiyle ortaya çıkan deformasyon [68].

4.1.3. Malzeme

Bağlayıcı malzeme bakımından farklılık gösteren üstyapılardan esnek üstyapı bağlayıcı malzemesi olan bitüm, sıcaklık değişimleri altında termoplastik-viskoelastik özellik göstermektedir. Esnek üstyapı karışımında kullanılan asfaltın yapısı içindeki uçucu maddelerin uçması sonucu okside olması ile bozulmakta ve asfalt yaşlanmaktadır. Yaşlanma, bitümün gevrekleşmesi, daha az elastik davranış göstermesi, agregaya karşı bağlayıcı özelliğinin azalması şeklinde görülebilmekte ve çeşitli deformasyonlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Rijit üstyapıların bağlayıcısı ise kalker, kil, marn gibi hammadelerin ocak bölgesinde taşıyıcılara yüklenip tek çeneli kırıcılarda kırılıp küçük parçalara ayrılıp farin (kireç ve silis) haline getirilmesi ve yüksek derecede ısıtılması sonucu oluşan çimento olup herhangi bir uçucu madde içermemekte ve bu sebeple çimento betonu kaplamalarının yaşlanmasından bahsetmek mümkün olmamaktadır [5].

4.1.4. Yapım ve Bakım Kolaylığı

Esnek ve Rijit üstyapılar yapım-bakım-yenileme özellikleri bakımından birbirinden farklı özellikler göstermektedir. Örneğin Esnek üstyapılarda servis yolu gerekmeksizin bitümlü kaplamanın kurumasına yetecek kadar bir zaman zarfının geçmesi sonucunda (birkaç saat kadar) yolun trafiğe açılması mümkün iken rijit bir üstyapının trafiğe açılabilmesi için betonun dayanımını alması gerekmektedir [33]. Ancak bir üstyapının tercih edilme sebebi sadece hızlı bir şekilde trafiğe açılabilirliğinden olmamalıdır. Aynı zamanda üstyapının bakım-onarım tekrür aralığı da araştırılması gerekmektedir. Esnek bir üstyapı türlerine göre değişkenlik göstermekle birlikte 20 yıllık bir süre için projelendirilmekte, (köy yolları 10-20 seneden ziyade hemen hemen her yıl ciddi bakım onarımlara ihtiyaç duymakta) ayrıca yolda görülen yerel bozuklukların her kış mevsimi sonunda onarımı dışında, İlk 5 yıldan sonra, küçük onarımlar ve yüzey kaplaması gerekmekte, 10. yılda, yol yüzeyinin büyük olasılıkla yenilenmesi, pürüzlendirilmesi gerekecektir. 20 yıl sonra, (ki ülkemizde yollar gerek tasarım ilkelerine uyulmaması gerek esnek üstyapının, tasarım ömrünün ne kadar titizlikle yapılırsa dahi kısa olması sebeplerinden) yapının yeni bir üstyapı ile takviyesi gerekmektedir [69].

Rijit üstyapılar ise 30 – 40 yıllık hizmet süreleri için projelendirilir. 20 ve 40 yıllık projelendirmeler arasındaki fark 25 mm kalınlıkta beton tabakasıdır. Projelendirme ve yapım işlerinin titizlikle yapılması halinde, beton yollar tüm hizmet ömürleri boyunca çok az miktarda bakım-onarım gerektirirler. Periyodik bakımları ise sadece 4 – 5 yılda bir derz dolgularının yenilenmesi işlemidir ki bu işlem trafiğe müdahale etmeksizin, trafik yoğunluğunun az olduğu zamanlarda yapılabilen düşük maliyetli bir işlemdir.

Bu gibi bakım-onarım kalemleri ile birlikte çok görülmemekle beraber, ince daneli taban zeminleri suya doymun bir hale geldikleri zaman, kaplama plağının kenarlarının devamlı çökmesi sebebiyle su toprak karışımının derz veya derzlere yakın yerlerden ve çatlaklardan dışarı çıkmasıyla oluşan pompaj olayı sonunda çöken plakların altına beton enjekte edilerek yükseltilmesi ve taze betonda meydana gelen arızanın ve küçük

çatlakların çimento veya sentetik reçine harcı ile kapatılması gibi bakım onarım kalemleri oluşabilir [38].

4.2. ÜSTYAPI TİPİ SEÇİMİNDE EKONOMİK KRİTERLER

Bir üstyapı seçilirken dikkat edilmesi gereken en önemli kıstas şüphesiz proje ömrü için hesaplanan toplam ekonomik maliyettir. Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından fizibilitesi gerçekleştirilen karayollarının ekonomik analizlerini üç ana başlık altında toplanmak mümkündür. Bunlardan birincisi projenin başlangıcından ekonomik ömrünün sonuna kadar geçen süre içindeki gerekli harcamalardan oluşan maliyetler, İkincisi, projenin ekonomik ömrü süresince beklenen toplumsal kazançlardan oluşan faydalar, Üçüncüsü ise bir parasal değer zaman çizgisindeki geçmiş veya gelecekteki değerlerinin saptanmasını sağlayan bir parametre olan iskonto oranıdır [5]. Genel anlamda ise herhangi bir üstyapının reel ekonomik maliyeti;

- ❖ Yapım maliyetinin,
- ❖ Hizmet ömrü boyunca maruz kaldığı bakım - işletme maliyetinin ve
- ❖ Maruz kaldığı bakımlar sebebiyle meydana gelecek kullanma yönünden gecikme maliyetlerinin toplamı olarak hesaplanmaktadır [2].

4.2.1. İlk Yapım Maliyeti

Bir üstyapının ilk yapım maliyeti hesaplanırken, aşağıda belirtilecek bazı tespitlerin yapılması gerekmektedir. Bunları;

- ❖ Kullanılacak malzemelerin cins, miktar ve kaynaktaki maliyetlerinin tespiti,
- ❖ Malzemelerin taşıma maliyeti,
- ❖ İşçilik giderleri,
- ❖ İnşaat makineleri ile ilgili masraflar ve
- ❖ Sabit masraflar gibi kalemlerden oluşmaktadır [2].

4.2.2. Proje Ömrü Süresindeki Bakım–Onarım- İşletme Maliyeti

Hangi yol ağında (köy yolu, il yolu, devlet yolu, otoyol vb.) olursa olsun üstyapı seçimi yapılırken öncelikle teknik ve ekonomik yönden karşılaştırmalar yapılmalı aynı zamanda ülke sınırları içerisinde bulunan rezervler de dikkate alınarak FMA (fayda maliyet analizi) yapılarak üstyapı cinsine karar verilmelidir. Rijit üstyapılar ilk yapım maliyetleri bakımından genel anlamda esnek üstyapı ve türevlerinden daha maliyetli gibi gözüktse de bu fayda maliyet analizi ışığında incelendiğinde çok daha uzun ömürlü olan rijit üstyapı, daha ekonomik olmaktadır. Bir üstyapı seçiminin, en düşük ilk yapım maliyetine göre yapılması en ekonomik çözümün o olduğu anlamına gelmemektedir. Zira bakım-onarım-işletme masraflarının da dikkate alınması gerekmekte olup çalışmamızda da bu durum göz önüne alınmıştır.

Standartlarına göre titizlikle uygulaması yapılan ve 30-40 yıllık hizmet süreleri için projelendirilen beton yollar, yüzey yenileme ve takviye işlemlerine gerek duymamakta ve periodik dikkat isteyen tek işlem 4 veya 5 yıllık tekerrür sürelerinde bir derz dolgu yerlerin yenilenmesi işlemidir. Özetle anlaşılması gereken beton kaplamaların zor ve pahalı tamirlere, esnek üstyapılardan daha duyarlı oldukları ve bu nedenle rijit üstyapı projesinin her aşamasında yapım standartlarına daha titizlikle yaklaşılması gerekliliğidir [40].

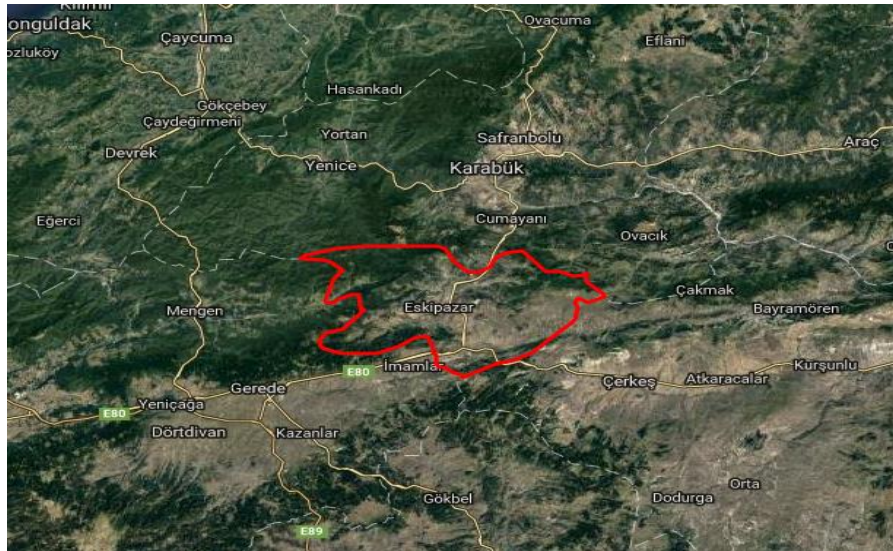
BÖLÜM 5

ESKİPAZAR KÖY YOLLARINDA RİJİT KAPLAMA UYGULANABİLİRLİĞİ

5.1. ESKİPAZAR İLÇESİNİN TANITIMI

5.1.1. Coğrafi ve Ulaşım Özellikleri

Eski adı Viranşehir olan Eskipazar 1913'te Çankırı Sancağı Çerkeş kazasına bağlı bir nahiye durumunda iken 1945 yılında İlçe yapılarak Çankırı İline, 1995 yılında ise il olan Karabük'e bağlanan bir ilçe halini almıştır. Karadeniz bölgesinin Batı Karadeniz bölümü içerisinde yer alan Eskipazar İlçesinin doğusunda; Çankırı ili Çerkeş İlçesi, Kuzeydoğusunda; Karabük İli Ovacık İlçesi, Batısında; Bolu ili Mengen İlçesi ve güneybatısında yine Bolu ili Gerede İlçesi, Kuzeyinde ise Karabük İli Safranbolu İlçesi bulunmaktadır. 755 km² yüzölçümüne sahip olan ve denizden 750 m yüksekliğe sahip olan Eskipazar, merkez ilçe ve 49 köyden oluşmakta ayrıca Karabük il merkezine uzaklığı 36 km'dir [69]. Eskipazar İlçesinin bulunduğu konum ve Karabük İli'nin diğer İlçeleri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Karabük İli, Eskipazar İlçesi



Şekil 5.2. Karabük İli ve İlçeleri

5.1.2. Demografik Yapısı

Eskipazar ilçesinde, 2018 yılı TÜİK verilerine göre, merkezde 6.694 ve köylerde 6.481 olmak üzere toplam 13.175 kişinin yaşadığı tespit edilmiş, nüfusun %51'i ilçe merkezinde, %49'u ise köylerde yaşamakta olup yıllara göre merkez ve köylerdeki nüfus değişimi Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Eskipazar İlçesi merkez ve köy nüfuslarının yıllara göre değişimi [70].

<i>YILLAR</i>	<i>İLÇE MERKEZİ</i>	<i>KÖYLER</i>	<i>TOPLAM</i>
1935	507	16.002	16.509
1950	911	19.009	19.920
1955	1.304	19.336	20.640
1960	1.539	20.044	21.583
1965	1.887	20.465	22.465
1970	2.326	19.514	21.840
1975	2.865	18.245	21.110
1980	5.007	18.056	23.063
1985	7.280	16.332	23.612
1990	8.560	14.126	22.686
2000	8.457	7.908	16.365

2008	7.357	5.860	13.217
2017	6.743	5.401	12.144
2018	6.694	6.481	13.175

5.1.3. İklim

Eskipazar ve çevresi iklim özellikleri bakımından daha çok bir geçiş sahası niteliğinde olup bölgenin iklim özellikleri Karadeniz iklim kuşağından oldukça farklı bir yapıya sahiptir. Kıyı kuşağından farklı olarak yıllık yağış miktarının üçte biri ilkbahar mevsiminde düşmektedir. Kış mevsiminde görülen kar yağışlı ve donlu gün sayısı ile yaz mevsimlerinde yaşanan kuraklıklar daha çok Karadeniz iklim kuşağı ile İç Anadolu karasal iklim kuşağı arasında bir geçiş özelliğine sahip olduğunu göstermektedir [71].

Yeryüzü şekillerinde görülen kısa mesafeli yükselti değişiklikleri iklimi etkilemekle birlikte bölgenin batı ve kuzeybatısı belirgin şekilde yükseltilerle çevrili olması kışların sert geçebilmesine olanak sağlamakta bu durumda Eskipazar İlçesinde yer alan yaklaşık 375 km’lik sathi kaplamalı köy yollarının daha hızlı bozulmasına neden olmaktadır. Çalışma kapsamında özellikle kış dönemlerindeki donma-çözülme süreçlerinin sıklığı, yoğun kar ve yağmur yağışına bağlı deformasyonlara karşı direnci sebebiyle Eskipazar köy yollarında beton yolların kullanımı önerilmekte ve teşvik edilmektedir.

5.2. ESKİPAZAR KÖY YOLLARINDA GÖRÜLEN DEFORMASYONLAR

Karabük İli ve Eskipazar ilçesinde, 2018 yılı verilerine göre, merkezde 6.694 ve köylerde 6.481 olmak üzere toplam 13.175 kişinin yaşadığı tespit edilmiş ve nüfusun %51’i ilçe merkezinde, %49 ise köylerde yaşamakta olup ilçe sınırlarında 49 adet köy bulunmaktadır. İlçe sınırları dâhilinde bulunan 49 adet köy yolunun Karabük İl Özel İdaresi verilerine göre yaklaşık yol uzunlukları aşağıda Çizelge 5.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.2. Karabük İli Eskipazar İlçesi'nde yer alan toplam köy yolları uzunluğu.

Sıra No	Yol Cinsi	Toplam Yol Uzunluğu (km)	Yk. Toplam Yol Uzunluğu (km)
1	Grup Köy Yolları	118 km	375 km
2	Münferit Köy Yolları	176 km	
3	2.Derece Köy Yolları	81 km	

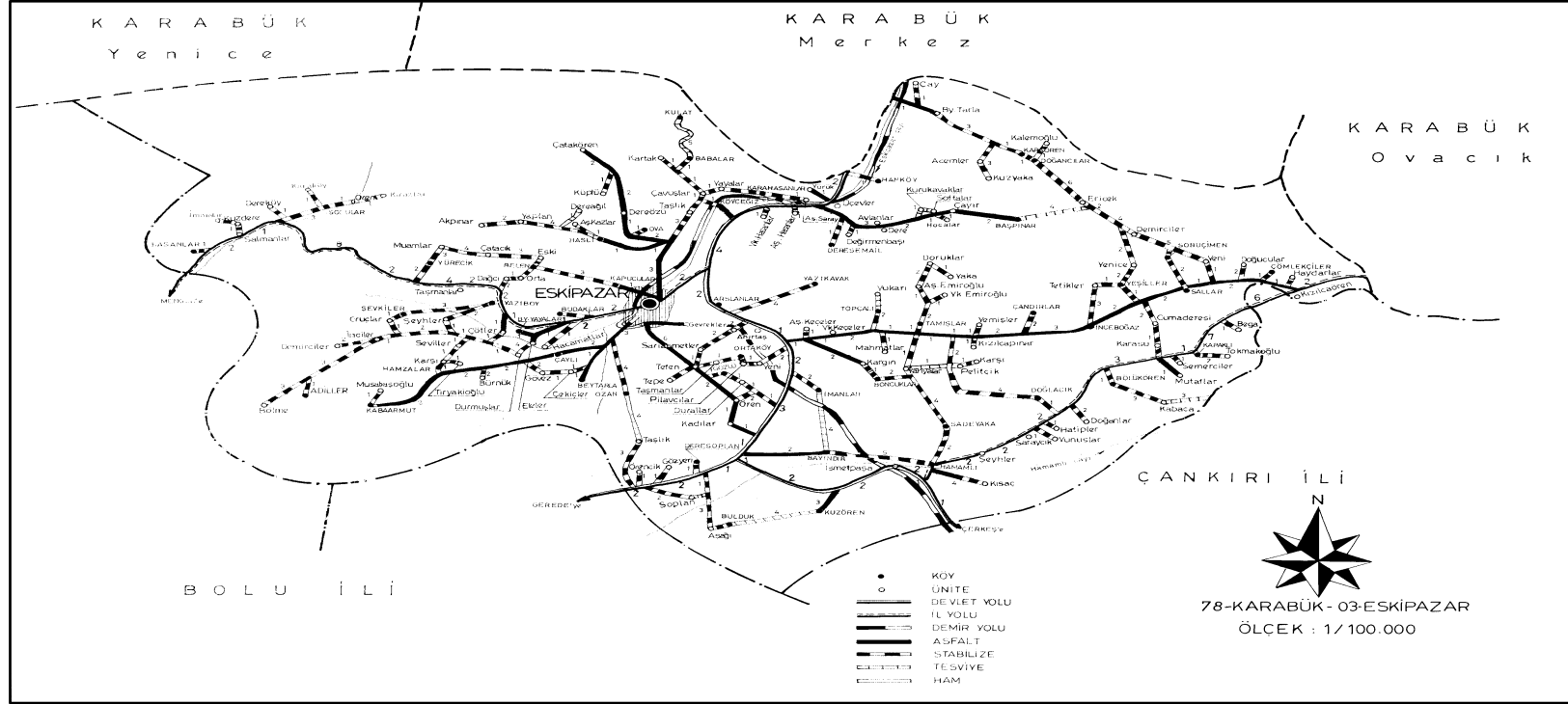
Şekil 5.4'de ise toplam uzunluğu yaklaşık 375 km olan Eskipazar köy yollarının kaplama türleri verilmiş olup asfalt (sathi), stabilize, tesviye ve ham yol yüzeylerine sahip olduğu, hiç beton (rijit) yol kullanılmadığı görülmektedir.

Karabük İli Eskipazar İlçesinde yer alan yaklaşık 375 km'lik yol ağına sahip köy yolları, genel olarak 7 m'lik platform genişliğine sahip olmasıyla birlikte kaplama türlerine göre incelendiğinde; stabilize, tesviye ve sathi kaplama türlü yolların bulunduğu görülmekte olup Karabük İl Özel İdaresi 2018 yaz dönemi yatırım planında sathi kaplamadan BSK yapımına başlama kararı alınmış olup bunun rijit üstyapıya geçiş açısından uygun bir zamanlama ve fırsat olduğu aşikardır. Şekil 5.3'de yaz döneminde yapılan BSK uygulama örnekleri görülmektedir.



Şekil 5.3. 2018 yılı yatırım programına alınıp BSK uygulanan muhtelif köy yolları.

Karabük İli Eskipazar İlçesinde yer alan yaklaşık 375 km’lik yol ağında yer alan köy yol türleri Şekil 5.4’de gösterilmektedir.



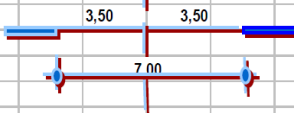
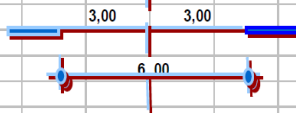
Şekil 5.4. Eskipazar İlçesinde yer alan köy yol türleri.

İllerde gerek şehirlerarası gerekse de köylere tatbik edilen yollarda uygulanan tasarımlar sadece yol ağının tayin edilmesi ve geometrik tasarımı ile bitmemekle birlikte; jeoloji, inşaat, geoteknik, harita, trafik gibi birçok meslek dalının ortak çalışmaları sonucunda şekillenen bir süreçtir. Dolayısı ile yolu tasarlayan kişinin bu ortak ekip çalışmasında yönlendirici bir kişi olması gereği bu konular ile ilgili bilgi sahibi olmasını gerektirmektedir. Ülkemizde genel olarak köy yoluna ait en uygun yol tanımında yer alan ölçütler;

- ❖ Geometrik standardın yüksek olması,
- ❖ Maliyetin düşük olması,
- ❖ Servis sağlayacağı nüfusun fazla olması,
- ❖ Ekonomik olması (sosyal ve kültürel açıdan),
- ❖ En az sanat yapısına ihtiyaç duyulması,
- ❖ Trafik yoğunluğunun en fazla olması,
- ❖ Güzergâh olarak diğer alternatiflerden daha kısa olması,
- ❖ Maruz kalacağı dış etkilerin az olması (sel, heyelan vs.),
- ❖ Hukuki sorunlar içermemesi istenmektedir.

Çizelge 5.3’de Ülkemiz köy yollarına ait geometrik standartlar yer almaktadır.

Çizelge 5.3. Köy Geometrik Standartları

KÖYYOLU GEOMETRİK STANDARTLARI (1989'da Kabul Edilen Standartlara Göre)												
PROJE ELAMANLARI		BİRİNCİ SINIF						İKİNCİ SINIF				
HİZMET SEVİYESİ HS (A, B, C)		A		B		C		A		B		C
YILLIK ORTALAMA TRAFİK (Taşıt/Gün)		200		200		200		-		-		-
TOPOĞRAFİK YAPI (Dz, Dİ, Dğ)		Düz		Dalgalı		Dağlık		Düz		Dalgalı		Dağlık
PROJE HIZI Vp (km./Saat)		80	70	70	60	50	40	70	60	60	50	30
MİNİMUM KURP YARI ÇAPI R (min)		250	200	200	120	80	50	200	120	120	80	30
MAKSİMUM BOYUNA EĞİM m (%)		6	6	8	8	9	9	7	7	10	10	12
MAKSİMUM DEVER d (%)		8	8	8	8	9	9	8	8	8	9	10
ŞERİT GENİŞLİĞİ L (m)		3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
BANKET GENİŞLİĞİ b (m)		1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50
PLATFORM GENİŞLİĞİ PG (m)		9,00	9,00	9,00	9,00	8,00	8,00	8,00	8,00	7,00	7,00	7,00
KÖPRÜ GENİŞLİĞİ Wk (m)												
H : 20 - S : 16						H : 20 - S : 16						
NOT : Yukarıdaki standartlardan daha yüksek ebatlarda inşa edilmesi gereken yol ve köprüler için proje yapımından önce Genel Müdürlükten izin alınacaktır.												
Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Etüd Proje Daire Başkanlığının 04.04.1989 tarih ve 30/045-0322 sayılı yazıları (1989/188 No'lu Genelge ile uygulamaya konulmuştur.												

Sathi kaplamalar ülkemizde en çok kullanılan kaplama türü olmasıyla birlikte 2017 yılı verilerine göre ülkemizdeki karayolu ağının % 63'ünü oluşturmakta ve ortalama günlük ağır ticari araç sayısı çift yönde 500 den küçük ve proje süresi boyunca tek yönde toplam dingil yükü sayısı 2.000.000 dan daha az olan yollarda ekonomik bulunmaktadır. Ancak çok az yük taşıma yeteneği olması sebebi ile yük taşıma kapasitesi dahi hesaplanırken dikkate alınmayan bu türlü kaplamalar takdir edilmelidir ki gerek iklim koşullarının yol kaplaması üzerindeki etkisi gerek kar temizleme çalışmalarına bağlı olarak yola verilen mekanik/kimyasal zararlar, gerekse orman emvali ürün taşıyan ağır vasıtalar gibi sebeplerden ötürü her yıl çeşitli deformasyonlar meydana getirmektedir. Bu durum; ilk yapım maliyeti nispeten düşük olan sathi kaplamaların kullanım ömrü boyunca ortaya çıkan bakım/onarım masrafları ve hizmet ömrünün kısa olması sebebiyle ekonomik olmaktan uzak olduğu sonucunu doğurmakta ve bu durum özellikle yerel idareler tarafından gözardı edilmektedir. Eskipazar Köy yollarında çeşitli sebeplerle meydana gelen muhtelif deformasyon örnekleri yerinde yapılan gözlemler neticesinde Şekil 5.5-5.8'de sunulmuştur.



Şekil 5.5. Donma-çözülme olayı sonrası yolda oluşan oyulmalar.



Şekil 5.6. Sathi kaplamalı yolda meydana gelen sökülmeler.



Şekil 5.7. Toprak işleme aletinin yola teması sonrası meydana gelen deformasyon.



Şekil 5.8. Eskipazar köy yollarının muhtelif yerlerinde oluşan timsah sırtı çatlakları.



Şekil| 5.9. Eskipazar köy yollarının muhtelif yerlerinde oluşan kabarmalar.

5.3. ESKİPAZAR KÖY YOLLARI SATHİ KAPLAMA İLK YAPIM VE BAKIM/ONARIM MALİYETLERİNİN İNCELENMESİ

Eskipazar İlçesinde yer alan 49 adet köy için Karabük İl Özel İdaresi, her yıl yatırım programına alınan muhtelif köy yollarına gerek bakım onarım gerekse köy yollarını yeniden yapmak suretiyle hizmet vermektedir. Karabük İl Özel İdaresi'nin 2013-2018 yılları arasında hem köy yolları bakım onarımına hemde yeniden yapımına harcadığı tutarlar Çizelge 5.4'de özetlenmiş olup elde edilen veriler Karabük İl Özel İdaresi Yol ve Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Çizelge 5.4. Eskipazar İlçesinde yer alan köy yollarına 2013-2018 yılları arasında yapılan harcamalar.

YAPIM YILI	YAPILAN YOL MİKTARI	YOLDA UYGULANAN BAKIM -ROADMİX (3 YIL)			1 TON ROADMİX MALİYETİ	İLK YAPIM MALİYETİ	BAKIM MALİYETİ	TOPLAM MALİYETİ
		1.YIL	2.YIL	3. YIL				
2013	2,6 km tek kat sathi kaplama	5 ton	10 ton	16 ton	144,90 ₺	144.405,14 ₺	31 ton x144,90 ₺/ton=4.491,90 ₺	148.897,04 ₺
2014	3,1 km çift kat emisyon kaplama	6 ton	12 ton	19 ton	160,44 ₺	178.547,00 ₺	37 ton x 160,44 ₺/ton =5936,60 ₺	184.483,60 ₺
2015	13 km satih kaplama	25 ton	50 ton	80 ton	165,70 ₺	602.649,45 ₺	155 ton x 165,70 ₺/ton =25.683,50 ₺	628.332,95 ₺
2016	24,2 km 1. kat satih kaplama	46,5 ton	93 ton	149,9 ton	175,55 ₺	1.210.000,00 ₺	289,4 ton x 175,55 ₺/ton=50.804,17 ₺	1.511.742,20 ₺
	11,9 km 2. kat satih kaplama	0 ton	27,2 ton	46,5 ton		238.000,00 ₺	73,7 ton x 175,55 ₺/ton =12.938,03 ₺	
2017	18,6 km satih kaplama	35,7 ton	71,53 ton	114,46 ton	199,59 ₺	1.023.000,00 ₺	221.69 ton x 199,59 ₺/ton=44.247,10 ₺	1.067.247,10 ₺
2018	4,5 km 1. kat satih kaplama	8,65 ton	17,3 ton	27,69 ton	223,83 ₺	360.000,00 ₺	27,69 ton x 223,83 ₺/ton = 6.197,85 ₺	579.970,11 ₺
	10 km 2. kat satih kaplama	19,23 ton	38,46 ton	61,53 ton		200.000,00 ₺	61,53 ton x 223,83 ₺/ ton = 13.772,26 ₺	
6 yıllık toplam maliyet								4.120.673,00 ₺
1 yıllık toplam maliyet								686.778,83 ₺

Yapılan çalışmalar sonucunda ulaşılan bu tutar içerisinde; amortisman maliyetleri, işçi ücreti, mazot vb. giderler de eklendiğinde bu meblağ artacak olup bu giderler dahil edilmeden yapılan hesaplamalara göre Karabük İl Özel İdaresi tarafından 2013-2018 yılları arasında yapılan harcamalar (ilk yapım +bakım/onarım) 4.120.673,00 ₺ ve yıllık ortalama 686.778,83 ₺ olarak belirlenmiştir. Ancak elde edilen veriler 2013-2018 yıllarındaki güncel rakamları yansıtmamakta olup sağlıklı bir mukayese yapılabilmesi için tam maliyetlerin belirli bir yıla çevrilmesi (aktüalizasyon) gereklidir. Bu kapsamda Eskipazar köy yollarında sathi kaplama ilk yapım ve bakım/onarımına ilişkin harcamalar TÜİK ten elde edilen “Yurt İçi Üretici Fiyat Endeksi” verileri ışığında (2018 yılına) dönüştürülmüş olup dönüşüm sonucunda elde edilen değerler Çizelge 5.5 ‘de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Eskipazar İlçesi köy yollarına harcanan 6 yıllık bakım- onarım tutarının TÜİK verileri yardımıyla 2018 yılına güncelleştirilmesi.

YAPIM YILI	YAPILAN YOL MIKTARI	YOL İLK YAPIM VE BAKIM/ ONARIM MALİYETİ	1 KM’LİK YOL YAPIM-BAKIM- ONARIM MALİYETİ	2018 YILI AKTÜALİZASYON KATSAYISI	2018 YILI MALİYETİ (km)
2013	2,6 km tek kat sathi kaplama	148.897,04 ₺	57.268,00 ₺	1,5260	87.390,97 ₺
2014	3,1 km çift kat emisyon kaplama	184.483,60 ₺	59.510,83 ₺	1,4162	84.279,23 ₺
2015	13 km satih kaplama	628.332,95 ₺	48.333,30 ₺	1,3206	63.828,95 ₺
2016	24,2 km 1. Kat sathi kapalama	1.511.742,20 ₺	52.099,34 ₺	1,2051	88.197,13 ₺
	11,9 km 2. Kat sathi kaplama		21.087,23 ₺ =73.186,57 ₺		
2017	18,6 km satih kaplama	1.067.247,10 ₺	57.378,87 ₺	1,1034	63.311,84 ₺
2018	4,5 km 1. Kat sathi kapalama	579.970,11 ₺	81.377,30 ₺	1,0000	102.754,52 ₺
	10 km 2. Kat sathi kaplama		21.377,22 ₺ =102.754,52 ₺		
6 YIL İÇİN HARCANAN TOPLAM TUTAR					489.762,64 ₺
2018 yılı için Eskipazar köy yollarının 1 km’ si için yıllık ortalama yapım ve bakım/onarım bedeli					81.627,10 ₺/km

Km bazında elde edilen bu tutar 49 adet köy yollarının toplam uzunluğu olan yaklaşık 375,00 km ile çarpıldığında $375,00 \text{ km} \times 81.627,10 \text{ ₺/km} = 30.610.165,00 \text{ ₺}$ olarak hesaplanmaktadır. Bu maliyet, sathi kaplama hizmet ömrü olan 5 yıla bölünecek olursa sathi kaplama ilk yapım ile bakım+onarım bedelinin **6.122.033,00 ₺** olacağı görülmektedir. Şayet Eskipazar İlçesinde 49 adet köyü içeren toplam yaklaşık 375,00 km yol ağı için sathi esnek üstyapı kaplaması yerine BSK uygulaması yapılacak olursa oluşacak maliyetlendirme Çizelge 5.6'da yer almaktadır.

Çizelge 5.6. 2018 yılı itibari ile BSK üstyapı uygulaması maliyeti.

Bitümlü Sıcak Karışım Üstyapı İmalatı (8 cm binder) Paçal Birim Fiyat Tutar hesapları (Kgm 2018 Yılı Birim Fiyatları İle) (PG=7,00 m., L=1000 m.)						
Sıra No	Poz No	İMALATIN CİNSİ	Ölçü Birimi	İmalat Miktarı	Birim Fiyatı	TUTAR (TL)
1	KGM/6040	Temel yapılması [Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile (1")]	m ³	700,00	36,15 ₺	25.305,00 ₺
2	07.005 / K-1	Temel malzemesinin konkasörden serim yerine nakli.	m ³	700,00	11,40 ₺	7.980,00 ₺
		$F=1.25 \times K \times (0.0007M \times 0.01) \times Y \times A$ $K=225, M=15 \text{ Km}, Y=1,60 \text{ ton/m}^3$				
3	07.005 / K-1	Su nakli.	ton	70,00	5,91 ₺	413,70 ₺
		$F=1.25 \times 0.00017 \times K \times ÖM \times A$ $K=225, M=10 \text{ Km},$				
4	KGM/6208	8 cm. sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu BSK temel tabakası yapılması.	m ²	7.000,00	12,50 ₺	87.500,00 ₺
5	KGM 4300/A	Bitüm zati bedeli. B 50/70 (İzmit)	ton	50,78	1.852,50 ₺	94.069,95 ₺
6	KGM 4300/C	Yapıştırıcı zati bedeli. C60 B2-3, C60 B2-4 (İzmit)	ton	9,00	3.425,00 ₺	30.825,00 ₺
7	4358	Katı Bitümün emiş derecesine kadar ısıtılması	ton	59,78	42,54 ₺	2.543,04 ₺
13	07.006/K	Bitümnakli; $F=1.25 \times K \times (0.0007M \times 0.01) \times A$ $K=225, M=300 \text{ Km}, (\text{İzmit})$	ton	59,78	76,45 ₺	4.570,18 ₺
14	07.006/K	Bitümlü sıcak karışımın asfalt plentinden serim yerine nakli . $F=1.25 \times K \times (0.0007M \times 0.01) \times A$ $K=225, M=50 \text{ Km},$	ton	1.104,00	15,64 ₺	17.266,56 ₺
İlk Yapım Bedeli						270.473,43 "
*Bakım/ Onarım Maliyeti						67.618,35 "

İlk yapım ve hizmet ömrü boyunca bakım onarım bedeli	338.091,78 "
---	---------------------

* % 75 Güvenilirlik seviyesine göre hizmet ömrü boyunca yıpranma payı %25

Km bazında elde edilen bu tutar 49 adet köy yollarının toplam uzunluğu olan yaklaşık 375,00 km ile çarpıldığında $375,00 \text{ km} \times 338.091,78 \text{ ₺/km} = 126.784.420,3 \text{ ₺}$ olarak hesaplanmakta ve bu maliyetin köy yollarına uygulanacak olan BSK üstyapı imalatının literatür ve uygulamadan elde edilen hizmet ömrüne (10 yıl) bölünmesi ile; $126.784.420,3 \text{ ₺} / 10 = 12.678.442,03 \text{ ₺}$ olarak hesaplanabilmektedir.

5.4. ESKİPAZAR KÖY YOLLARINDA SSB UYGULANABİLİRLİĞİ.

5.4.1. Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar

Silindirle sıkıştırılmış betonlar ilk defa ABD ordusuna bağlı istihkâm mühendisleri (U'S, Army Corps of Engineers (USACE)) tarafından 1942 yılında Washington'da (Yakima 'da) uçak pistinin yapımında uygulaması yapılmıştır. İlk ciddi olarak SSB kullanımı ise 1960-61 yıllarında Taiwanda bir barajda gerçekleştirilmiştir. Bu barajda kullanımı gerçekleştirilen SSB, geleneksel bir betonun üretildiği şekilde; maksimum dane boyutu 76 mm olan agregaların kullanımı ile 107 kg/m^3 bağlayıcı ile üretilmiş ve üretimi gerçekleştirilen beton, damperli kamyonlarla döküm yerine nakil edilerek 30 cm kalınlıkta katmanlar halinde önce serilmiş ve kamyonlar vasıtası ile sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Dökümü sağlanan SSB karışımın optimum su muhtevası ise modifiye proktor yöntemi sayesinde belirlenmiştir. Bu barajdaki SSB kullanımını İtalya'da 1961-65 yıllarında inşa edilen 172 metre yüksekliğe sahip Alpe Gera Barajı seyretmiştir. Bu deneyimlerden ve 70 'li yıllarda bilhassa Japonya, ABD, Brezilya, Kanada, İspanya, İngiltere, Avustralya ve Pakistan gibi ülkelerde yapılan araştırmalar neticesinde, özellikle beton ağırlık barajların inşaa edilişinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. SSB kullanılarak inşa edilen barajlara örnek olarak; Willow Creek barajı (1982) ABD, Myagase barajları (1991) Japonya, Tarbela Barajı (1975) Pakistan, Winbleball barajı (1979) İngiltere, Tamagava barajı (1987) Sakaigawa (1988) gösterilebilmektedir..

SSB uygulamasını Türkiye'de ise ilk olarak Karakaya Barajı Memba batardosunun yapımında gerçekleştirilmiş, bu uygulamayı daha sonra yapılan Sır, Berke, Atatürk,

Suçatı ve Kürtün Barajlarının kısmi yapılarındaki imalatlar izlemiştir. Günümüzde ise Çine ve Cindere Barajlarında ana gövdenin tamamı SSB kullanılarak yapılmaktadır [72].

İsmi yapıımı esnasında betonun sıkıştırılması ve son şeklinin verilmesinde kullanılan ağır vibrasyonlu çelik tambur ve lastik tekerlekli silindirlerden alan SSB yollar, rijit üstyapı yapımında kullanılan geleneksel beton malzemesi ile benzer dayanım özellikleri göstermekte ve aynı bileşenlerin düzgün bir gradasyona sahip agrega, bağlayıcı malzemeler ve suyun farklı oranlarda birleştirilmesiyle üretilmektedir. SSB karışımı ile geleneksel beton karışım arasındaki temel farklılıklar; Çizelge 5.7’da verilmiş olup özetle SSB üretiminde daha yüksek oranda ince agrega kullanılarak betonun daha iyi sıkıştırılması ve sıkı bir içyapı elde edilmesi sağlanmaktadır [40].

Özellikle köy yollarında orman emvali ürünlerin taşınması sırasındaki ağır yüklü araçların yola bıraktığı etki sebebiyle beklenenden daha hızlı deformasyona uğramasının önüne geçmek için hem yapım bakımından asfalt betonun yapımında kullanılan finişer, silindirler vb. aletlerin kullanılmasına olanak sağlaması hem de uzun yıllar hizmet verebilmesi gibi birtakım avantajları sebebiyle silindirlerle sıkıştırılmış beton kaplamaların kullanılması önerilmekte ve ekonomik analizler ile desteklenmektedir.

Ayrıca geleneksel betona göre aynı bileşenlerin farklı oranlarda karşılaştırılması ile elde edilmekte olan silindirle sıkıştırılmış beton farklı işlenebilirlik özelliği göstermekte birlikte BSK yapımında kullanılan araçlarla taşınabilmekte, serilebilmekte ve sıkıştırılabilmektedir. SSB yolların en önemli üstünlüğü gerek beton kaplamalara gerekse çok tabakalı asfalt kaplamalara kıyasla çok daha hızlı ve ekonomik olarak inşaa edilebilmesidir. SSB’nin birim maliyeti genellikle benzer bir kesitteki beton veya asfalt kaplamadan daha ucuzdur. Maliyetteki net tasarruf yüzdesi ise genellikle yerleştirme işlemlerindeki karmaşıklığa ve betonun toplam miktarına bağlı olarak değişmekle birlikte silindirle sıkıştırılmış beton yollar, geleneksel beton malzemeleri kullanılarak asfalt yol ekipmanları ile inşa edilebilmektedir. SSB’nin geleneksel betona göre daha ekonomik olmasının sebebi çimento miktarındaki, yerleştirme maliyetindeki ve inşaat süresindeki azalmalarla açıklanmaktadır. Buna

ilave olarak SSB yollarda hiçbir zaman kalıp kullanılmamakta, genellikle yüzey düzeltme işlemi yapılmamakta ve kayma donatısı, bağ donatısı gibi herhangi bir çelik donatı maliyeti olmamaktadır [40].

Çizelge 5.7. Geleneksel Beton ve SSB Yolların mukayesesi [43].

KAPLAMA TİPİ		
Malzemeler ve Uygulamalar	Geleneksel Beton Yollar	Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar
Malzeme Karışım Oranları	İyi gradasyona sahip olan ince ve iri agregalar genel olarak karışım hacminin % 60-%75 'ini meydana getirmektedirler. Geleneksel bir beton karışımında su/ çimento oranı 0,40 ile 0,45 aralığındadır.	İyi gradasyona sahip olan ince ve iri agregalar genel olarak karışım hacminin % 75-%85 'ini meydana getirmektedirler. SSB karışımları yüksek dozda ince agrega, düşük dozda çimento ve su içerikleri gibi sebeplerle geleneksel betona kıyasla daha kurudur.
İşlenebilme Özelliği	Karışım plastik ve akışkan olup bu nedenle özel beton yol sericileri ile işlenebilir. Beton seici tarafından sıkıştırılıp çıktıktan sonra şeklini koruyabilecek kıvamda (çökme değeri 5 cm) olmalıdır.	Karışım nemli ve yoğun bir agrega gradasyonundan oluşmaktadır. Dolayısıyla, SSB karışımı nispeten kuru ve rijittir. (sıfır çökme değerindeki bir betondan daha rijit) dolayısıyla karışım gelenekselbeton yol sericileri ile şekil verilebilecek kadar akışkan değildir.
Kaplama Yapılması	Karışım, betonu titreşim aracılığıyla yayan, seviyelendiren, sıliştıran ve çıkaran bir kayar kalıp sericinin önüne dökülmesidir.	SSB karışımı ağır bir iş makinesi olan kendinden tahrikli asphalt kaplama serici ile serme işleminde tabaka kalınlığının kontrolü için yüksek ağırlıktaki tek veya çift master yardımıyla yerleştirilir. Bu tip sericiler, özellikle kalın kaplama uygulamalarında yüksek kaliteli yerleştirme için gereklidir. Herhangi bir kalıp gerekli değildir. SSB genellikle min. 15,20 cm'lik maks. İse 25 cm'lik tabakalar halinde yerleştirilir.
Sıkıştırma	Sıkıştırma işlemi içsel olarak meydana gelir. Başlangıçta sericilerdeki daldırma ve yüzey tipi vibratörleri taze betonu akışkanlaştırır ve sıkışmış havanın çıkmasını sağlar. Beton sericiden sıkıştırılıp çıkmasının ardından, priz başlamadan önce katıların çökmesi ve suyun yüzeye yukarı doğru hareketi (terleme) aracılığıyla ilave bir sıkışma meydana gelir.	SSB esas sıkıştırma işlemi betonun silindirlerle dışardan sıkıştırılmasıyla, genellikle beton karıştırma işleminden sonraki ilk 60 dakika içerisinde beton sertleşmeye başlamadan önce gerçekleştirilir.
Yüzey Düzeltme	Beton yüzeyinin düzeltilmesi, beton priz almaya başlamadan önce gerçekleştirilir. Geleneksel beton yolda araç ile yol arasındaki sürtünmeyi artırmak için genellikle mekanik olarak yüzey pürüzlendirme işlemi yapılır.	SSB yol yüzeyi tipik bir asphalt yol gibi açık yüzeyli olmasına rağmen, daha küçük agregaların kullanılması ve/veya çimento ilavesi ile daha yoğun bir yüzey (geleneksel

		betona yakın) elde edilebilir. SSB yol yüzeyi elmas taşlama yöntemi ile de şekillendirilebilir.
Hidratasyon	Beton karışımının uygun hidratasyonu yol betonunun uzun süreli dayanıklılığı için oldukça önemlidir. Hidratasyona yardımcı olması için betonun bakımı önemli bir gereksinidir.	
Kür İşlemi	Yüzey düzeltme işleminden sonra kusursuz bir kür işlemi gereklidir. Betonun sertleşmesini ve dayanım kazanmasını sağlayan çimentonun hidratasyonunu mümkün kılabilmek için beton yüzeyinden suyun buharlaşmasının kontrol edilmesi önemlidir.	Silindirle sıkıştırma işleminden sonra kusursuz bir kür işlemi gereklidir. Betonun sertleşmesini ve dayanım kazanmasını sağlayan çimentonun hidratasyonunu mümkün kılabilmek için beton yüzeyinden suyun buharlaşmasının kontrol edilmesi önemlidir.
Çatlama, yük transferi ve güçlendirme	Geleneksel derzli beton kaplamalarda çatlakların yeri sonradan kesilen derzlerle kontrol edilir. En az 20 cm veya daha kalın kaplamalarda yük transferi içinse bu derzlerdeki kayma donatıları ile agregaların birbirine kenetlenmesine yardımcı olan boyuna çubuk donatılar kullanılır. Sürekli donatılı beton yol kaplamalarda ise daha kısa aralıklarla doğal olarak oluşan çatlakların oluşmasına izin verilerek yük aktarımında agregaların birbirine kenetlenmesine çelik donatı yardımcı olur.	Endüstriyel uygulamalarda SSB yol derzleri genellikle kesilmez. Bu gibi kesme işleminin istenmediği durumlarda 4,5 ile 9 m aralığında rastgele oluşan dar çatlaklar ve agregaların birbirine kenetlenmesi aracılığıyla yük transferi sağlanır. Araba ve kamyon trafiği uygulamalarında ise rastgele beton çatlakların kontrolü için kesme işlemi istenir. SSB yollarda geleneksel yollara göre daha az derz kesilir. Enine derzler 4,5 ile 9 m aralıklarında yerleştirilir. SSB yollardaki sıkıştırma yönteminden dolayı derzlerde kayma donatısı yerleştirmek mümkün değildir.

5.4.1.1. SSB Özellikleri ve Malzemeler

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) yolları, iri ve ince agreganın sürekli gradasyon verecek şekilde uygun oranda su ve çimento ile beton santralinde karıştırılmasıyla üretilen betonun, hazırlanmış yüzey üzerine projesine uygun olarak finişerle serilip, silindirlerle sıkıştırılmasıyla oluşan tabakadır.

SSB yol tabakası yapımında kullanılacak olan malzemeleri; Agregâ, çimento, su, katkı malzemeleri, kür malzemeleri, derz dolgu malzemeleri ve lifler olarak sıralanabilir.

5.4.1.2. Agregâ

SSB üretiminde kullanılacak agregâ; çakıl, kırılmış çakıl, kırma taş, kum vb. malzemelerden hazırlanmaktadır. SSB yol tabakası için kullanılacak agregâ temiz, sağlam, dayanıklı olmalı ve bünyesinde zararlı miktarlarda toz, çamur, kil veya

organik kökenli yabancı maddeler bulundurmamalıdır. Agregalar, beton agregaları standartları olan TS 706 EN 12620 standardına uygun olmalıdır.

Agregalar; taş ve kum-çakıl ocakları veya dere yataklarından sağlanmalı taş ocaklarından elde edilecek agrega; ocak taşının kırılmasıyla hazırlanacak ve en az iri, orta ve ince agrega olmak üzere üç gruba ayrılarak, ayrı ayrı stoklanıp temiz olarak korunmalıdır [73].

SSB üretiminde, normal beton agregalarından aranan özelliklere nazaran daha toleranslı agrega kullanılmaktadır. İri agrega olarak kırılmış veya kırılmamış çakıl, kırma taşı, ince agrega olarak da doğal kum, yapay kum veya ikisinin karışımı kullanılmaktadır. SSB karışımlarında toplam hacmin yaklaşık olarak %70-80 'ini agregalar oluşturmaktadır. SSB 'de agrega maksimum tane çapı, üretilen betonun özelliğini etkileyen ön önemli parametrelerdendir. Betonda agrega maksimum tane çapı büyüdükçe boşluk oranı azalır ve bunun sonucunda boşlukları doldurmak için daha az harca ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle SSB de agrega maksimum boyutunun doğru seçilmesiyle bağlayıcı madde ihtiyacı azaltılabilir ve bu şekilde beton maliyeti düşürülebilmektedir. Ancak maksimum tane çapının büyük seçilmesi de ayrışma ve işlenme problemi yaratabilir. Genelde SSB uygulamalarında agrega maksimum dane çapı 63 ile 125 mm arasında değişmektedir. En büyük tane çapı tabaka kalınlığının 1/3 'den küçük seçilmelidir. SSB karışımlarında iri agrega oranı silindir ile sıkıştırma esnasında yeterli stabilitenin sağlanabilmesi için geleneksel betona göre ince agrega iri agrega oranının daha yüksek seçilmesi önerilmektedir. Ayrıca agregada 200 no.lu elekten geçen (0.075 mm' den küçük) ince malzemenin varlığına ağırlıkça %10 'a kadar izin verilmektedir. Bu boyuttaki malzemenin SSB 'nun boşlukları doldurarak dayanımı ve geçirimsizliğini artırdığı bilinmektedir [72].

5.4.1.3. Çimento

Beton yol kaplamalarında kullanılacak çimentolar, TS EN 197-1 standardına uygun olmalı ayrıca CE işareti olmayan çimento malzemeleri kullanılmaması gerekmektedir. Beton üretiminde kullanılacak çimento; üretim yerinden şantiye sahasına getirildikten sonra, şantiye sahasında uygun olarak istiflenip saklanmalı ayrıca çimento malzemesi

çimentonun teknik kontrolleri, TS EN 196-1 standartlarında belirtilen kıstaslara uygun yapılmalıdır. Geleneksel betona kıyasla silindirle sıkıştırılmış betonda kullanılacak çimento malzemeleri; donma/çözülme etkisi, zararlı kimyasal ortam ve aşınma etki sınıfları göz önünde bulundurularak seçilmelidir.

SSB’de kullanılacak çimento olarak; Portland çimentosu ile yapay /doğal puzolanik katkı içeren çimentolar tercih edilebilmektedirler. Kütle betonlarında bilhassa düşük ısıli çimentolar (ASTM tip IV ve katkılı çimentolar) seçilmelidir. Çimento dozajı genel olarak 100-200 kg/m³ civarında olmasında herhangi bir sorun yokken, yol ve zemin kaplamalarında ise kullanılacak SSB 'larda dozaj ihtiyaca göre 350 kg/ m³ 'e kadar çıkabilmektedir. Bağlayıcıda çimento yerine katılan puzolan miktarı ihtiyaca göre seçilebilmektedir. Genel olarak daha az oranda çimento ve daha yüksek oranda puzolan tercih edilerek üretimi gerçekleştirilen SSB betonlarında hidrasyon ısısı problemi çözümlenmekte, işlenebilme olanağı artmakta, geçirgenlik durumu düşmekte ve dayanıklılık oranı ise artmaktadır. SSB’lar için en uygun olan puzolan dayanım aktivite indeksi göz önüne alınarak en düşük maliyet ile süreklilikte sağlanabilme durumları dikkate alınarak tercih edilmelidir. SSB yollarda su/bağlayıcı; malzeme oranı genellikle 0.30 -0.45 değerleri arasında yer almakta olup, bu değerler ile 28 günde 41 MPa 'yı aşan basınç dayanımları elde edilmesi olasıdır [72].

5.4.1.4. Su

Karışımında kullanılacak su, TS EN 1008 standardına uygun olmalı, asit, tuz, yağ, alkali gibi endüstri atıkları ve beton kalitesi için zararlı olan organik materyaller içermemelidir. Beton içerisinde yer alacak karma ve temas suyunun içme suyu vasfında olması durumunda ayrıca teste tabi tutulmasına gerek bulunmamaktadır. [73].

5.4.1.5. Katkı Malzemeleri

SSB ‘de yer alan kimyasal katkıların tercihi aslen SSB karışımındaki etki ve orana bağlı olarak tayin edilir. SSB tasarımında priz hızlandırıcı, akışkanlaştırıcı ve geciktirici kimyasal katkıları yaygın olarak tercih edilmektedir. Süper akışkanlaştırıcılar ise bazı durumlarda kuru beton karışım tesislerinde karışım ve

boşaltma sürelerini azaltmak için kullanılabilirler. Esaslı süper akışkanlaştırıcılardan olan Polikarboksilat, kuru beton karışımı tesislerinde kullanımı ile betonda işlenebilirlik artışı gözlenmiş ve bunun yanısıra önemli derecede üretim artışını sağladığı rapor edilmiştir. Yolu trafiğe erken açmak veya soğuk havalarda beton dökümü gerçekleştirilecek ise bu durumlarda priz hızlandırıcı gibi kimyasallar, betonun uzun süre taşınması gerekiyorsa veya havanın sıcak olması gibi durumlarda ise priz geciktirici gibi kimyasallar kullanılabilir. [40].

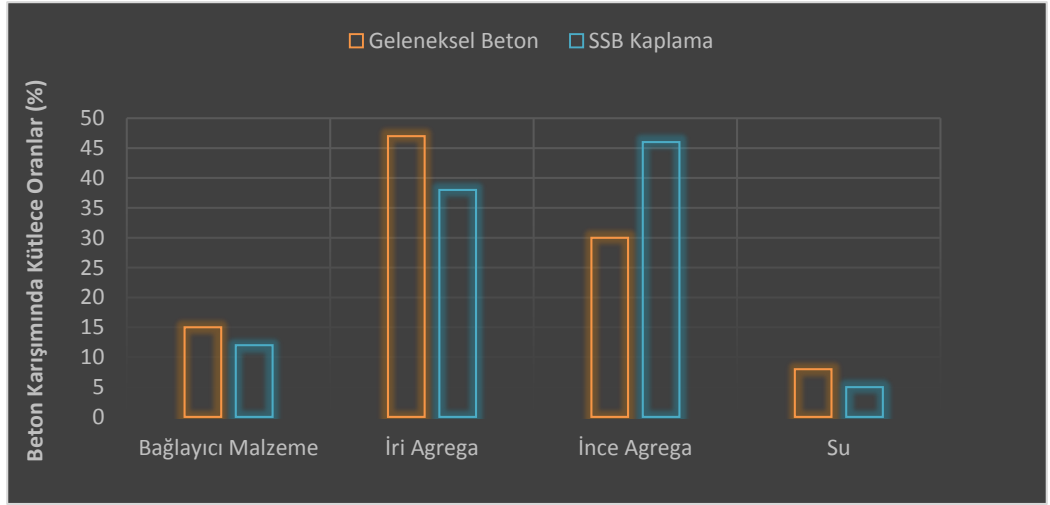
5.4.1.6. Kür Malzemeleri

Kimyasal kür uygulanması halinde, kür malzemesi TS 10966:2017 “Sıvı Kür Malzemeleri – Membran Oluşturan – Beton Yüzeyine Uygulanan – Özellikler” ve TS 10967 “Beton Deneyleri – Beton yüzeyine uygulanan kür maddeleri – Su Tutuculuk Özelliğinin Tayini” standartlarına uygun olmalıdır.

Bitümlü bağlayıcı kullanılarak kür yapılması halinde; TS EN 15322 “Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar – Katbek ve İnceltilmiş Bitümlü Bağlayıcıların Tanımlanması İçin – Genel Esaslar” ve TS EN 13808 “Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar – Katyonik Bitüm Emülsiyonların Tanımlanması İçin – Genel Esaslar” standartlarına uygun olmalıdır.

5.4.1.7. SSB Karışım Tasarımı

Silindirle sıkıştırılmış beton yollar; ince ve iri agrega, bağlayıcı malzemeler, su ve gerekli görülmesi durumunda kimyasal katkılarla, yani geleneksel beton kaplamada kullanılan malzemelerin bu sefer farklı oranlarda bir araya getirilmesi ile üretilmektedir. Ayrıca geleneksel beton üretiminde olduğu gibi SSB bileşenlerinin doğru seçimi kaliteli bir SSB karışımı için oldukça önem arz etmektedir. Kaliteli bir SSB karışımı oluşturabilmek için bileşende kullanılan malzemelerin kalitesi kadar bu malzemelerin doğru oranlarda bir araya gelmesi de önemlidir [40]. Geleneksel beton ile SSB yol için beton karışım oranlarının karşılaştırılması Şekil 5.10’da gösterilmektedir.



Şekil 5.10. Geleneksel Beton ve SSB Yol İçin Beton Karışım Oranlarının Karşılaştırılması [40].

5.4.1.8. SSB Kaplamaların Yapısal Tasarımı

Beton yollara ait olan projelerde asıl amaç, beton yolun analiz süresi boyunca, kaplamadan geçen trafiği büyük hasarlara, çatlamalara mahal vermeden, güvenli olarak taşıyabilecek beton kaplamanın ve diğer tabaka kalınlıklarının belirtilmesi ve üstyapıda kullanılacak malzeme özelliklerinin tespit edilmesidir. Betonun yol tabakası olarak görevi, trafikten maruz bırakılan yükleri tabanın deformasyon olmayacağı bir düzeye indirgeyerek zemine iletmektir. Bu durum beton malzemenin rijitliğinden faydalanma sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Rijit yol üst yapılarının tasarımında, iklim koşulları, trafik, zeminin taşıma gücü, beton plağın mekanik özellikleri, yolun hizmet ömrü ve yoldan beklenen hizmet performansı gibi proje faktörleri dikkate alınmaktadır [74].

Rijit üstyapı türlerinden olan silindirle sıkıştırılmış beton (SSB), iri ve ince agregaların sürekli gradasyon verecek şekilde uygun oranlarda su ve çimento ile beton santralinde karıştırılmasıyla üretilen betonun, esnek üstyapılarda kullanım sağlayan finişerle serilip, silindirlerle sıkıştırılmasıyla oluşan tabakadır.

Silindirle sıkıştırılmış beton yol teknolojisi ile dizayn edilen üstyapılar düşük taşıma gücüne sahip taban zeminlerinde dahi güvenle kullanılabilirliği ve ekonomik olması

SSB'yi diğer rijit üstyapılardan ayıran önemli özelliklerdendir. Gerek klasik (esnek) yol yapım elemanlarıyla hızlı bir şekilde yapılması, gerek hafif araç trafiğine kısa süre içerisinde açılması gerekse de uzun ömürlü olması birçok uluslararası yol otoritesi tarafından tercih edilme sebebi olmuştur.

Ülkemizde de son yıllarda özellikle Belediyeler (Kocaeli B.B, Samsun B.B, Denizli B.B, vs.) ve İl Özel İdareleri tarafından tercih edilmekte ve birçok başarılı uygulama yapılmaktadır. Ayrıca, SSB Yol teknolojisi ile ilgili birçok eğitim faaliyeti düzenlenmiş ve sektörün ihtiyaç duyduğu konularda yayınlar yapılmıştır. Üniversitelerin AR-GE projeleri kapsamında da yer bulmaya başlayan SSB Yol teknolojisi Ülkemiz yol kullanıcılarına uzun ömürlü, konforlu, güvenli ve aynı zamanda ekonomik yol üstyapıları sunmaktadır.

2017 yılı sonunda TÇMB tarafından “Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar Teknik Şartnamesi” hazırlanmış ve 2018 yılı itibari ile yol mühendislerinin ve İdarelerin kullanımına sunulmuştur. Ayrıca İhale birimlerine destek olması amacıyla, yine TÇMB tarafından “SSB Yollar Birim Fiyat Analizleri ve Tarifleri” de hazırlanmıştır.

Silindirle sıkıştırılmış beton yol üstyapıları, taban zemini üzerine gerekli ise alttemel ve üzerine SSB plak yapılmak kaydıyla oluşturulmaktadır. 2017 yılı sonunda “Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar Teknik Şartnamesi”nin genel tasarım yaklaşımı; Amerikan Beton Üstyapılar Birliği tarafından 2014 yılında hazırlanarak uluslararası kullanıma sunulan “StreetPave” yazılımına uygun olup diğer yandan Ülkemiz yol yapım sektörü, trafik kompozisyonu ve yol yapım malzemeleri mühendislik özellikleri dikkate alınarak hesaplama ve değerlendirmeler yapılmıştır. StreetPave, şehir içi ve yerel yol kaplamaları ile ilgili en güncel kalınlık tasarım yaklaşımlarını içeren bir programdır. Bu program il, ilçe, belediye ve köy yolları için beton kaplama kalınlıklarını optimize etmek amacıyla en yeni mühendislik yaklaşımlarını kullanmaktadır.

5.5. SSB YOL TASARIMI İÇİN KULLANILAN PARAMETRELER

5.5.1. Proje Ömrü

Proje ömrü yolun trafiğe açılmasından, son servis kabiliyeti değerine ulaşmaya kadar geçen zaman (yıl) dır. SSB üstyapıların proje ömrü, tasarımcı tarafından proje ömrü sonunda yolun durumunun öngörülmesi ile birlikte teknik ve ekonomik hususlar gözetilerek belirlenir. Bu tez kapsamında, SSB yollar için proje ömrü literatürdeki çalışmalar da baz alınarak 20 yıl olarak öngörülmüştür.

5.5.2. Trafik

SSB Yolların tasarımında, beton plak kalınlığını belirleyen en önemli faktörlerden biri trafiktir. Kalınlık tasarımı yapılacak yoldan geçen tek, tandem ve tridem dingil yükleri eşdeğer standart dingil yükü tekerrür sayısına çevrilerek, proje ömrü boyunca ağır trafik şeridinden geçen toplam eşdeğer trafik değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Projenin ilk senesi için tahmin edilen trafik sayıları ve yıllık trafik artış yüzdesi kullanılarak, proje ömrü için ortalama günlük proje trafiği hesaplanmaktadır. Veriler incelendiğinde son yıllarda Eskipazar köy nüfusunun azaldığı gözlemlenmekte buna mukabil araç sahipliği ve artan ulaşım imkânlarına bağlı olarak yıllık trafik artışı seçimi yapılmıştır.

5.5.3. Güvenilirlik [R]

Güvenilirlik; genel olarak üstyapı kalınlık tasarımının güvenlik katsayısıdır. Projelendirme aşamasında kabul edilen tasarım kriterlerinin proje ömrü süresince geçerliliğini koruması amacıyla, yolun önemi, tasarım aşamasında kullanılan verilerin güvenilirliği vb. hususlar değerlendirilerek belirlenmelidir. Güvenlik seviyeleri için yol sınıflarına bağlı değerler Çizelge 5.8’de sunulmuştur.

Çizelge 5.8. Güvenilirlik [r] seviyesi [75].

Yol Sınıfı	Güvenilirlik Seviyesi [%]
I. Sınıf Yollar	90
II. Sınıf Yollar	75
III. Sınıf Yollar	60

Bu çalışma kapsamında Eskipazar köy yolları için güvenilirlik seviyesi II. Sınıf yollar olarak değerlendirilerek % 75 seçilmiş olup güvenilirlik seviyeleri için yol sınıfları aşağıda tanımlanmıştır.

5.5.3.1. I. Sınıf Yollar

Bulvar

Yerleşim yeri içindeki geniş, trafikte gidiş geliş yönleri ayrılmış caddedir.

Cadde

Yerleşim yeri içindeki geniş ve uzunca sokaktır.

Köyün veya bağlısının; il, ilçe ve belde belediyeleri ile devlet, il ve grup köy yoluna en uygun güzergâhla ulaşımını sağlayan yollar

Grup köy yolu,

Münferit köy yolu;

- Köy veya bağlısını; il, ilçe ve belde belediyelerine bağlayan yol,
- Köy veya bağlısını grup köy yoluna, il ve devlet yoluna bağlayan yol,
- Bağlısını, köy merkezine bağlayan yollardır.

Köy içi yol

5.5.3.2. II. Sınıf Yollar

Sokak

Bir veya iki tarafına binaların sıralandığı, yayaların ve/veya araçların geçmesi için ayrılan, başı ve sonu belirli bir yoldur.

Köy veya bağlılarını; birinci derece öncelikli ana ulaşım yolu dışında, birden fazla bağlantı yolu ile bağısına, köye, grup köy yoluna, devlet ve il yoluna bağlayan yollar

Grup köy yolu dışında kalan, köyü köye alternatif yol ile bağlayan yol,
Farklı köylerin bağlılarını birbirine bağlayan yol,
Bağısını, köye (Birinci Derece Öncelikli Yol dışında) birden fazla yol ile bağlayan yol,
Köyün, farklı güzergâhtaki bağlılarını birbirine bağlayan yol,

5.5.3.3. III. Sınıf Yollar

I. ve II. Sınıf yollar dışında kalan, köy içi yollardır.

5.5.4. SSB Plak Bozulma Oranı [DR]

Bozulma oranı silindirle sıkıştırılmış beton plakta servis ömrü sonunda öngörülen bozulma derecesini gösteren orandır. Güvenilirlik ile SSB Plak Bozulma Oranı birbiriyle ilişkili kavramlardır. Güvenilirlik %100 olduğunda, bozulma oranı % 0' dır. Güvenilirlik azaldıkça bozulma oranı artmaktadır. Yapılan tasarımda güvenilirlik seviyesi için SSB Plak Bozulma Oranı [DR], %15 olarak belirlenmiştir.

5.5.5. Son Servis Kabiliyeti

Servis kabiliyeti, yol üstyapısının yol kullanıcılarına verdiği hizmetin bir göstergesidir. 1958-1960 yılları arasında yapılan AASHTO Yol Testi sonucu tanımlanmıştır. Servis kabiliyetinin “0” olması, geçit vermez bir yol üstyapısını, “5” ise mükemmel bir üstyapıyı temsil etmektedir.

Yol üstyapılarının inşası tamamlanıp trafiğe açıldıkları zaman en iyi servis kabiliyetindedirler. Trafik, çevre ve iklim koşulları altında başlayan bozulmalar sonucunda, zamanla ilk servis kabiliyetlerini yitirirler. Son servis kabiliyeti, proje ömrü sonunda yol üstyapısının ne durumda olacağını belirleyen bir göstergedir. Son servis kabiliyeti değerleri, proje ömrü sonunda öngörülen SSB Plak bozulma oranı,

yol sınıflarına göre Çizelge 5.9’de verilmekte olup Eskipazar köy yollarının tasarımında son servis kabiliyeti değeri “2” alınmıştır.

Çizelge 5.9. Son Servis Kabiliyeti [75].

Yol Sınıfı	Öngörülen SSB Plak Bozulma Oranı [%]	Son Servis Kabiliyeti
Ana Arterler Devlet ve İl Yolları	5	2,5
I.Sınıf Ulaşım Yolları	15	2,25
II. ve III. Sınıf Ulaşım Yolları	15-25	2

5.5.6. SSB Üstyapı Taban Zemini

Yol üstyapısının temelini teşkil eden, üstyapı tabakalarının oturacağı zemindir. Üstyapıdan gelen yüklerin aktarıldığı üstyapı taban zemini yeterli taşıma gücüne sahip olmalı, oturma, şişme/kabarma şeklinde istenmeyen deformasyonlara karşı dirençli olmalıdır. Bu nedenlerle üstyapı taban zemini, şartnamesine uygun şekilde hazırlanmalı ve kalite kontrol testleri tamamlanmalıdır. SSB Yol üstyapıları dizayn edilirken üstyapı taban zemini aşağıdaki mühendislik özellikleri ile tanımlanmaktadır.

5.5.6.1. Kaliforniya Taşıma Oranı [CBR]

Zemin taşıma gücünü karakterize etmek için kullanılan bir orandır. TS EN 13286-47 “Kaliforniya taşıma oranı, anlık taşıma indisi ve doğrusal şişmenin tayini için deney yöntemi” standardında belirtilen esaslar dâhilinde belirlenmekte ayrıca bu kapsamda verilen CBR oranları ilgili standarda göre yapılan deney sonucu elde edilen yaş CBR oranlarıdır.

5.5.6.2. Esneklik Modülü [MR]

Esneklik modülü tabakanın tekrarlı yük altında (trafik yükü) gösterdiği davranışın bir ölçüsüdür. Esneklik modülü tek eksenli dinamik yükleme altında tabakada oluşan maksimum gerilmenin, maksimum birim şekil değiştirmeye oranıdır.

AASHTO' nun 'Yol Üstyapı Tasarım Rehberi' nde bulunan zemin sınıflarına karşılık CBR ve esneklik modülü değerleri Çizelge 5.10'da verilmektedir.

Çizelge 5.10. Zeminlerin Esneklik Modülleri [75].

Tanım	AASHTO	ASTM	CBR (%)	Esneklik Modülü (MPa)
Kaba Daneli Zeminler				
Çakıl	A-1-a, iyi derecelenmiş	GW, GP	60-80	221-269
	A-1-a, kötü derecelenmiş		35-60	152-221
Kaba Kum	A-1-b	SW	20-40	103-172
İnce Kum	A-3	SP	15-25	83-124
Yüksek Oranda İnceli Granüler Malzemeler				
Siltli Çakıl	A-2-4, çakıllı	GM	40-80	172-269
Siltli Kumlu Çakıl	A-2-5, çakıllı			
Siltli Kum	A-2-4, kumlu	SM	20-40	103-172
Siltli Çakıllı Kum	A-2-5, kumlu			
Killi Çakıl	A-2-6, çakıllı	GC	20-40	103-172
Killi Kumlu Çakıl	A-2-7, çakıllı			
Killi Kum	A-2-6, kumlu	SC	10-20	62-103
Killi Çakıllı Kum	A-2-7, kumlu			
İnce Daneli Zeminler				
Silt	A-4	ML, OL	4-8	34-55
Silt/Kum/Çakıl Karışımı			5-15	41-83
Kötü Derecelenmiş Silt	A-5	MH	4-8	34-55
Düşük Plastisiteli Kil	A-6	CL	5-15	41-83

Orta Plastisiteli Kil	A-7-5	CL, OL	4-15	34-83
Yüksek Plastisiteli Kil	A-7-6	CH, OH	3-5	28-41

5.5.7. Beton Basınç Dayanımı

Betonun mühendislik özelliklerinin en başında basınç dayanımı gelmektedir. Betonun basınç dayanımı, taze betondan alınan numunelerin, TS EN 12390-3 “Beton-Sertleşmiş beton deneyleri” standardında belirlenen esaslar dâhilinde test edilmesi sonucunda tespit edilmektedir. “Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) Yollar Teknik Şartnamesi” Kısım 03’ de belirtildiği şekilde hazırlanan taze beton numuneleri ile belirlenecek olan minimum Karakteristik Basınç Dayanım Sınıfı C30/37 olması gerektiği belirtilmektedir.

5.5.8. Beton Eğilme Dayanımı

Beton Eğilme Dayanımı, 28 günlük basit kiriş numunesi üzerinde iki noktadan yükleme metodu ile ölçülür (TS EN 12390-5). Tipik değer aralıkları 3.45-4.83 MPa arasında olup, C30/37 sınıfı beton için, 4.2 MPa alınmıştır.

5.5.9. Kenar Desteği

Beton kaplamalarda kritik yük bölgesi, beton plak kenarlarında oluşacağından, beton plak kenar bölgelerinin desteklenmesi oldukça önemlidir. Kenar destekleri, beton bordür ve hendekler, beton banketler vb. ile sağlanır. Bunların yanında, beton plak genişliği kaplama kenarlarından 0.3 m kadar artırılsa kenar desteği sağlanmış olur. Oluşturulan kalınlık tablolarında, güvenli tarafta kalınarak kenar desteğinin olmadığı durum göz önünde bulundurulmuştur.

5.5.10. Alttemel

SSB üstyapılar üzerine gelen yükleri tabanda geniş bir alana dağıttıklarından çok kalın bir temel/alttemel gerektirmezler. Bu durum rehber hazırlanırken yapılan kapsamlı

hesaplamalarda da görülmektedir. SSB Plak altında 15 cm kırmataş alttemelin kullanılması yeterli görülmekte, SSB üstyapılarda temel tabakası yapılmasına gerek duyulmamaktadır.

Alttemel malzemesinin Karayolu Teknik Şartnamesi Kısım 401 de belirtilen kriterlere uygun olarak üretilip, projesine uygun serme ve sıkıştırmasının yapılması gerekmektedir.

Alttemel tabakası kırmataş olması halinde 15 cm, KTŞ Kısım 401' e uygun doğal kum-çakıl malzemeden yapılması halinde ise 20 cm alınmalıdır. Beton kaplamaların tasarım kalınlıkları, altlarındaki tabakaların sağlamlıkları ile doğrudan ilişkili değildir. Bu nedenle SSB plak kalınlığını azaltmak için alttemeli daha kalın tasarlamak doğru bir mühendislik yaklaşımı değildir [75].

5.5.11. Kaplama Tabakası (SSB Plak)

SSB Yol üstyapıların kaplama tabakası SSB plaktır. Bu tabaka trafik yüklerine proje ömrü boyunca maruz kalacağından malzeme seçimi, üretilmesi, serme ve sıkıştırma işlemleri büyük bir özen içerisinde yapılmalıdır.

SSB Plak üretimi, yapımı, kürü ve kalite kontrol faaliyetleri, “Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) Yollar Teknik Şartnamesi” ne göre yapılmalıdır [75].

5.5.12. SSB Üstyapıların Projelendirilmesi

SSB üstyapıların projelendirilmesinde AASHTO 93 metodu ve Amerikan Beton Üstyapılar Birliği tarafından hazırlanan ve uluslararası düzeyde kabul görmüş “StreetPave” yazılımı kullanılmıştır.

Projelendirmede Ülkemiz şartları da göz önünde bulundurulmuş ve bu rehberde açıklanan trafik, malzeme ve iklim verileri dikkate alınmıştır.

5.5.13. SSB Üstyapı Kalınlık Tabloları

Proje ömrü boyunca ilgili yol kesiminden geçecek olan trafik değerleri, taban zemini mühendislik özellikleri ve rehberde bahsedilen kriterler göz önünde bulundurularak

%60, %75 ve %90 güvenilirlik seviyeleri için ayrı ayrı hesaplanan SSB üstyapı tabaka kalınlıkları Çizelge 5.11’de verilmektedir.

Tablolardan görüleceği üzere rehberde tariflenen yol sınıfları bazında, değişen trafik yükleri ve taban zemini taşıma gücü altında alttemel kalınlıkları 15 cm sabit olup, SSB Plak kalınlıkları değişmektedir.

Çizelge 5.11. SSB Üstyapı Kalınlık Tabloları [75].

I. SINIF YOLLAR [R = %90]			
Trafik Kategorisi			
YOGT	≤ 1000	1000-3000	3000-5000
Alttemel [cm]	15	15	15
CBR [%]	SSB Plak Kalınlığı (cm)		
CBR ≤ 3	Bk. SSB Yollar Kalınlık Tasarım Rehberi Kısım 18.1.2		
3 < CBR < 8	17	18	19
8 ≤ CBR < 50	16	17	18
CBR ≥ 50	14	15	16
II. SINIF YOLLAR [R = %75]			
Trafik Kategorisi			
YOGT	≤ 500	500-1000	1000-2500
Alttemel [cm]	15	15	15
CBR [%]	SSB Plak Kalınlığı (cm)		
CBR ≤ 3	Bk. SSB Yollar Kalınlık Tasarım Rehberi Kısım 18.1.2		
3 < CBR < 8	15	16	17
8 ≤ CBR < 50	14	16	17
CBR ≥ 50	12	13	15
III. SINIF YOLLAR [R = %60]			
Trafik Kategorisi			
YOGT	≤ 20	20-100	100-750
Alttemel [cm]	15	15	15
CBR [%]	SSB Plak Kalınlığı (cm)		
CBR ≤ 3	Bk. SSB Yollar Kalınlık Tasarım Rehberi Kısım 18.1.2		
3 < CBR < 8	13	15	16
8 ≤ CBR < 50	12	14	15
CBR ≥ 50	11	12	13

5.5.14. Alttemel Yapılmama Durumu

Alttemel kullanılmasına gerek olmayan durumlar aşağıda maddeler halinde verilmektedir.

- ❖ Üstyapı taban zemininde en az 50 cm derinliğinde alttemel dayanım özelliklerini sağlayan (CBR[%] > 80), taban zemini olması,
- ❖ Üstyapı tabanı yüzeyinde 75 mm den büyük çapta malzeme bulunmaması, SSB Plak yapılacak olan yüzeyin istenilen düzgünlükte olması,
- ❖ Üstyapı tabanında iyi durumda sathi kaplama bulunması ve yol yüzeyinin yatay ve düşey geometrisinin projesine uygun olması,
- ❖ Üstyapı tabanının kilitli parke taşı kaplama olması durumunda ise alttemel yapılması önerilmektedir.

5.5.15. SSB Üstyapı Taban Zemini İyileştirmesi

SSB Üstyapı taban zemininde $CBR [\%] \leq 3$ olan zeminler bulunmamalıdır. Bu tür taşıma gücü düşük zeminlerin bulunması halinde Çizelge 5.12’de verilen kalınlıkta kazılmalı ve yerine $CBR[\%] \geq 8$ olan seçme malzeme getirilmelidir. Bu durumda SSB Plak ve alttemel kalınlıkları, seçme malzeme CBR [%] değerine göre, Çizelge 5.10’dan belirlenmelidir. Seçme malzeme ile taşıma gücü artırılmış, ayrıca alttemel tabakasının serilme ve sıkıştırılmasına uygun bir taban zemini yüzeyi sağlanmış olacaktır. Projelendirme aşamasında belirlenen taban zemini mühendislik özellikleri, yapım aşamasında farklılık gösterebileceğinden, yapım çalışmaları öncesi taban zemininin mühendislik özelliklerinin proje ile uyumu kontrol edilmelidir.

Çizelge 5.12. Seçme Malzeme ($CBR [\%] \geq 8$) Tabaka Kalınlıkları [75].

CBR [%] DEĞERİ	SEÇME MALZEME KALINLIĞI [cm]
1-2	35
3	30

5.5.16. Çevresel Etkiler

Yol üstyapıları proje ömrü süresince, trafik yükleri yanında çevre ve iklim koşullarına da maruz kalırlar. SSB yol üstyapıların yapıldıkları bölgede hâkim iklim koşullarının projelendirme aşamasında değerlendirilmesi gereklidir.

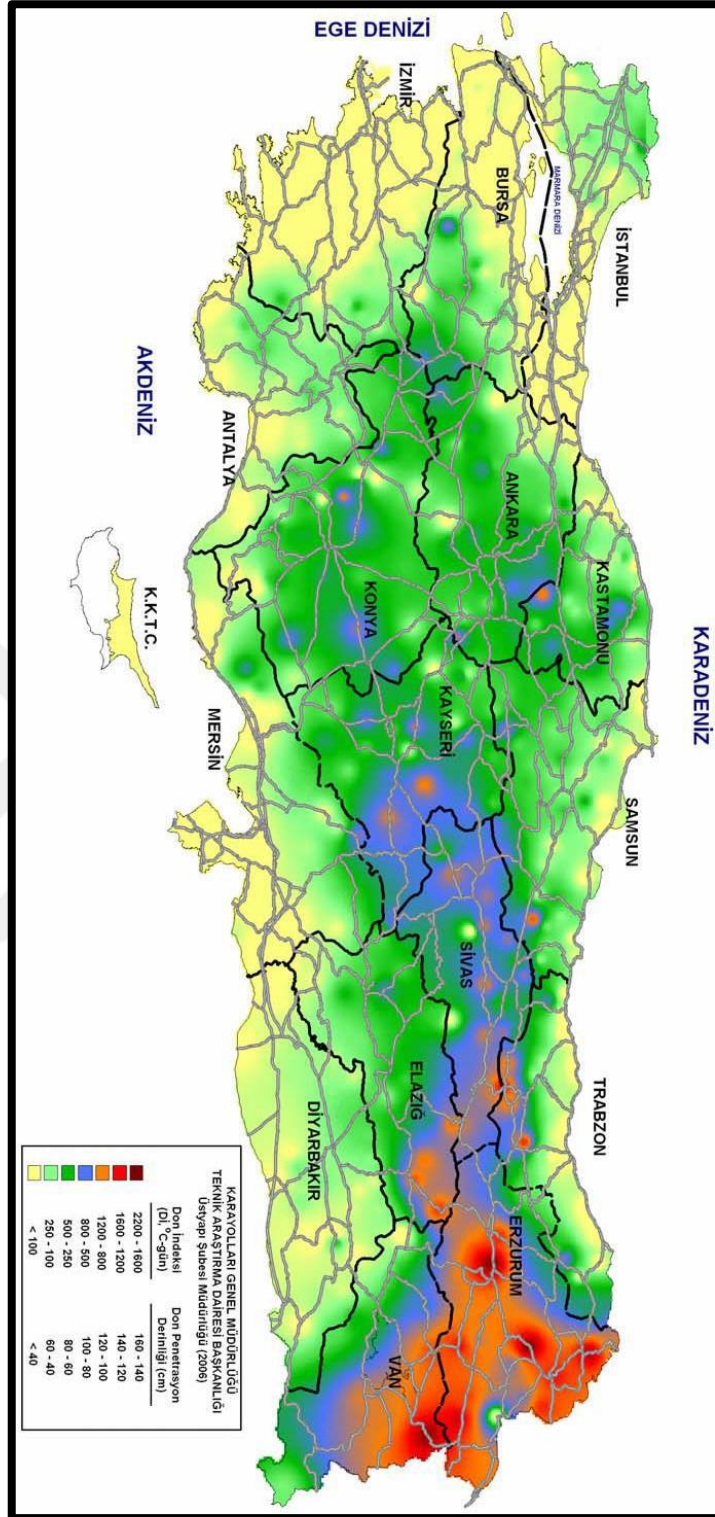
Yol üstyapısının suyun zararlı etkilerinden korunması için, her şeyden önce ilgili yol kesiminde gerekli yatay ve düşey drenaj sistemlerinin oluşturulması gereklidir. SSB plak altında yeralan alttemel tabakasının malzeme ve gradasyon özellikleri dikkate alındığında drenaj kabiliyeti oldukça iyidir. Taban zeminini suyun zararlı etkilerinden korumak için drenaj tedbirleri ayrıca alınmalıdır.

5.5.17. Donma Etkisi

SSB Yol taban zemininin donma çözülme şeklinde iklimsel olaylara maruz kalması halinde taşıma gücünde azalma meydana gelebilir. Bu durumda ilk ve en önemli tedbir yeraltı ve yüzey sularının yol gövdesinden uzaklaştırılması amacıyla drenaj tedbirlerinin alınmasıdır. Suyun bulunmadığı ortamda donma etkisi ile taban zemininde taşıma gücü kaybının olmayacağı göz önünde bulundurulmalıdır. SSB Yol üstyapısının taban zemininde donmaya hassas malzeme bulunması halinde, donma-çözülme etkisinden korumak için gerekli ise aşağıda belirtilen tedbirlerin alınması uygun olacaktır.

5.5.17.1. Don Penetrasyon Derinliği [PD]

İlk olarak, yolun yapılacağı bölgedeki don penetrasyon derinliği belirlenmelidir. Don penetrasyon derinliği Şekil 5.11'den belirlendikten sonra, taban zemininin donma olayına karşı hassasiyeti tespit edilir. Taban zemininde Çizelge 5.13'de belirtilen donmaya hassas malzeme mevcut ise; taban zemini don penetrasyon derinliğine kadar kazılmalı ve yerine Çizelge 5.14'de belirlenen minimum kriterleri sağlayan “Donmaya Hassas Olmayan Malzeme” getirilmelidir.



Şekil 5.11. Türkiye Don Penetrasyon Derinliği Haritası

5.5.17.2. Donmaya Hassas Zeminler

Üstyapı tabanını oluşturan zeminin don penetrasyon derinliğinde aşağıdaki malzemeleri bulundurması halinde önlem alınması önerilmektedir.

Çizelge 5.13. Donmaya Hassas Zemin Sınıfları [75].

ZEMİN SINIFI		
A-4, A-5	ML - MH	Siltli Zeminler
A-2-4, A-2-5	SM, GM, SC, GC	Siltli-Killi Kumlar, Çakıllar
A6, A-7-5, A-7-6	CL, CH	Killi Zeminler

Çizelge 5.14. Donmaya Hassas Olmayan Malzeme Özellikleri [75].

DENEY	ŞARTNAME LİMİTİ	DENEY STANDARDI
0.075 mm elekten geçen, %	≤ 12	TS 1900, AASHTO T 11
Likit Limit (LL), %	≤ 25	TS 1900, AASHTO T 89
Plastisite İndeksi (PI), %	≤ 6	TS 1900, AASHTO T 90

5.5.18. Isı Değişimleri

SSB Yol tasarımında kalınlıkları etkileyen önemli parametrelerden biri de yolun yapılacağı bölgenin iklim koşullarıdır. Mevsimsel ve gece-gündüz ısı değişimleri SSB Plak kalınlıklarını etkileyebilmektedir. Don İndeksi değerlerine göre, SSB Plak kalınlıklarındaki artış miktarları Çizelge 5.14’ de verilmektedir. Buna göre Çizelge 5.10 SSB Üstyapı Kalınlık Tabloları’ nda verilen SSB Plak Kalınlıkları, tasarımı yapılacak yol kesiminin Şekil 5.11’deki yerine göre, Çizelge 5.14’deki miktarlar kadar artırılmalıdır [75].

Çizelge 5.15. SSB Plak Kalınlığı Artış Miktarları [75].

Don İndeksi [Dİ] (°C-gün)	SSB Plak Kalınlığı Artışı [cm]
2200-1600	2
1600-1200	2
1200-800	1
800-500	1

5.6. ESKİPAZAR KÖY YOLLARINDA SSB KALINLIK TAYİNİ

Karabük İli ve Eskipazar İlçesine bağlı bulunan 49 adet köyde 2018 TÜİK verilerine göre Merkezde 6.694, köylerde ise 6481 olmak üzere toplam 13.175 kişi yaşamaktadır. Bu nüfus hem şehir merkezinde hemde köylerde yaz aylarında artmakta bu da köy yollarının yoğun bir şekilde kullanılması anlamına gelmektedir. Ayrıca orman envali

ürünleri taşıyan ağır vasıtaların bu yolları sıklıkla kullanıyor olması esnek üstyapılarda deformasyona sebebiyet verdiği gibi kış aylarında ısı farkları ve kar kürüme ve tuzlama çalışmaları da esnek üstyapıda kalıcı deformasyonlara sebebiyet verebilmektedir.

Yakın tarihlere kadar köy yollarına hizmeti Köy Hizmetleri Kurumu sağlamaktayken günümüzde ise bu hizmeti Büyük Şehir olmayan İllerde İl Özel İdareleri sağlamakta ve bu hizmet kapsamında köy yollarında geçmişte stabilize veya sathi kaplama üstyapı uygulamaları yapılmaktayken Karabük İl Özel İdaresi'nin 2018 yılı yaz sezonu itibari ile köy yollarına BSK uygulaması yapma kararı almıştır. Bu geçiş kararının köy yollarında SSB kullanımı için bir fırsat olduğu düşünülmekte ve bu çalışmada SSB uygulamasının mevcut sathi kaplama uygulamasına nazaran avantajları (ekonomik, hizmet ömrü, bakım/onarım vb.) ortaya konulmaya çalışılmıştır.

5.6.1. AASHTO 1993 Tasarım Metoduna Göre SSB Kalınlık Tayini

Bu tez çalışması kapsamında Karabük İli Eskipazar İlçesine silindirle sıkıştırılmış beton yol tasarımı, uygulanması, maliyetlendirilmesi detaylandırılmış olup sathi kaplama ile maliyet bakımından mukayesesi yapılmıştır. Bu mukayese yapılırken tayin edilen SSB yol tabaka kalınlığı aşağıda yer alan eşitlik 5.1 aracılığıyla belirlenmektedir.

$$\log(W_{18}) = (Z_R \cdot S_0) + 7.35 \cdot \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \cdot 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \cdot p_t) \cdot \log\left[\frac{S_c \cdot C_d \cdot (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \cdot J \cdot \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k}\right)^{0.25}}\right]}\right]$$

(5.1)

Eskipazar İlçesine ait tüm köy yollarında aynı kaplama kalınlığı yerine farklı parametrelerin (zemin vb.) farklı kalınlık değerleri çıkarması muhtemeldir. Ancak bu durumun teorikte geçerliliği bulunurken pratikte hayata geçirilmesi özellikle standardı düşük olan bu gibi köy yollarında güç olacağından çalışmamızda yapılan mukayeselerde güvenli tarafta kalmak için en kötü duruma göre değerlendirilme yapılmıştır.

Rijit yapıların hesap yönteminde elastik zemine oturan rijit plak davranışı göz önüne alınarak AASHTO (1993) Tasarım Metodu kullanılmaktadır. AASHTO (1993) tasarım metodunda SSB yolların tasarımı yer almadığından “AASHTO Deney Yolu Denklemi” ampirik metodunda, SSB yollara tasarım bakımından en yakın olan rijit üst yapı çeşidinin derzli donatısız beton kaplama olduğu kabulü ile SSB, derzli donatısız beton kaplama (JPCP, Jointed plain concrete pavements) olarak düşünülmüş ve bu yaklaşımla SSB kalınlık tayini yapılmıştır.

Formül içerisinde yer alan parametreler;

W_{18} : Eşdeğer Dingil Yüğü Tekerrür Sayısı (EDYTS)

d : Kaplama Kalınlığı (inc)

S_c : Beton Eğilme Dayanımı (psi)

E_c : Betonun Elastisite Modülü (psi)

k : Zemin Reaksiyon Modülü (lb/inc^3) R : Güvenilirlik (%)

Z_R : Normal Standart Sapma

S_o : Toplam Standart Sapma

O_{PSI} : Servis Yeteneği Kaybı

P_r : İlk Servis Yeteneği

P_T : Son Servis Yeteneği

C_d : Drenaj Katsayısı

J : Yük Transfer Katsayısı

Tasarım için aşağıdaki işlem algoritması takip edildiğinde;

- Son servis yeteneği indeksi (P_T) seçilir,
- Trafik analiz süresi (T) seçilir,
- Proje trafiği hesaplanır,
- Betonun eğilmede çekme emniyet gerilmesi (S_c) seçilir,
- Taban zeminin reaksiyon modülü (k) belirlenir,
- P_r , T , S_c , k , ve proje trafiği değerlerine göre beton plak kalınlığı tayin edilir.

Karabük İli Eskipazar İlçesinde yer alan ve yaklaşık 375 km uzunluğuna sahip köy yollarının tamamı ele alındığında 2018 yılında TÇMB tarafından hazırlanan “Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar Tasarım Rehberi” ne uygun olarak gerektirmesi durumunda 15 cm kırmataş alttemele göre zemin reaksiyon modülü (k), ilgili abaklardan tayin edilmiş olup SSB üstyapılarında ayrıca temel tabakası yapılmasına ihtiyaç duyulmamaktadır.

Eskipazar köy yollarında yapılması tasarlanan SSB yol için yoldan geçecek tek, tandem ve tridem dingil yüklerinin eşdeğer standart dingil yükü tekerrür sayısına çevrilmesi gerekmekte olup üstyapının proje ömrü boyunca maruz kaldığı ağır trafik şeridinden geçen toplam eşdeğer trafik değeri ($t_{8,2}$ tekerrür sayısı) Çizelge 5.15’den yararlanılarak Çizelge 5.16’daki gibi belirlenmiştir.

5.6.1.1. Toplam Standart Dingil $T_{8,2}$ Tekerrür Sayısı

Toplam Standart Dingil $T_{8,2}$ Tekerrür Sayısı, üstyapı platformundan tahmini geçecek taşıt sayıları ve yıllık bazda yüzde cinsinden artış miktarı belirlenerek Çizelge 5.16’daki taşıt eşdeğerlik faktörü (TEF) yardımıyla hesaplanmaktadır. Ayrıca toplam standart dingil $t_{8,2}$ tekerrür sayısına ulaşmak için “hesap şeridine düşen günlük ortalama standart dingil yükü tekerrür sayısı”na ihtiyaç duyulmakta olup bu formül içerisinde yer alan ve tasarımı yapılacak yolun her şeridinde ne yoğunlukta taşıt trafiği bulunduğunu ifade eden hesap şerit faktörü (η): “SSB Yollar Tasarım Rehberi” nden alınmış ve 2 şerit için her iki yöndeki taşıt trafiğinin birbirine eşit olacağı düşünülerek 1,0 belirlenmiş ve bulunan değerler aşağıda yer alan çizelgede gösterilmektedir.

Çizelge 5.16. Taşıt eşdeğerlik faktörleri

Taşıt Grubu	Taşıt Eşdeğerlik Faktörü [TEF]
Treyler	4.10
Kamyon	2.90
Otobüs	3.20
Orta Yüklü Ticari Taşıt	0.60
Otomobil	0.0006

Köy yollarında taşıt sayılarının net olarak ortaya konulabilmesi için trafik sayımlarının yapılabilmesi gerekmekte olup özellikle köy yolları gibi düşük standartlı yollar için daha önce literatürde kullanılmış olan trafik değerleri baz alınmıştır. Bu anlamda ayrıca TÇMB'nin beton yollar için hazırlamış oldukları muhtelif kaynaklardaki ortalama trafik değerleri de dikkate alınmıştır. Köy yollarında bu şekilde tahmini geçebilecek treyler, kamyon, otobüs, orta yüklü ticari taşıt ve otomobil değerleri belirlenmiş olup treyler, kamyon, otobüs ve orta yüklü ticari taşıtların yıllık artış miktarları % 4 iken otomobillerin yıllık artış miktarı % 5 olarak değerlendirilmiş ve bunun sonucunda Çizelge 5.17'deki gibi "toplam standart dingil $T_{8,2}$ tekerrür sayısı" tayin edilmiştir.

Çizelge 5.17. Eskipazar Köy Yolları için Toplam Standart Dingil $T_{8,2}$ Tekerrür Sayısı.

Yol Sınıfı	2	Şerit Sayısı ($i*j$)=	2	Güvenilirlik (%)	75	Kabul Edilen Hizmet Süresi (t)	20
Son Servis Kabiliyeti (Pt)=	2,0	Yön Sayısı (i)	2	Standart Normal Sapma (ZR)	-0,674		
Hesap Şerit Faktörü (n)	1	Aynı Yön. Şerit Say. (j)	1	Toplam Standart Sapma (So)	0,35		
		Treyler	Kamyon	O.Y.T.Taşıt	Otobüs	Otomobil	
YOGT		20	100	100	100	500	820
Trafik Artış Katsayısı r (%)		0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	
İlk Trafik $t(0)$		21	104	104	104	525	
Son Trafik (T_s) = $t_0*(1+r)^t$		46	228	228	228	1393	
ProjeTrafığı $T_p=0,4343*(T_s-T_0)/\log(T_s/T_0)$		32	158	158	158	890	1.395
Taşıt Eşdeğerlik Faktörü (TEF):		4,1	2,9	0,6	3,2	0,0006	Yıl
Hesap Şeridine Düşen Günlük Ortalama Standart Dingil Yüğü Tekerrür Sayısı $(W_g)=(T_p / i)*(TEF)*(n)$		64,7	229,0	47,4	252,7	0,3	594
Toplam Standart Dingil $T_{8,2}$ Tekerrür sayısı $T_{8,2}=W_g*365*(yıl)$		4.336.665					

Ayrıca Çizelge 5.17'da verilen tahmini YOGT sayıları; 0,5 kat-1,5 kat ve 2 kat alınarak elde edilen platform kalınları Çizelge 5.18'de verilmiş olup bu tez kapsamında platform kalınlığı Çizelge 5.17'da gösterilen YOGT sayıları baz alınarak elde edilmiştir.

Çizelge 5.18. Değişken dingil $T_{8,2}$ tekerrür sayılarına göre kaplama kalınlıkları.

DEĞİŞKEN YILLIK ORTALAMA GÜNLÜK TRAFİK DEĞERLERİNE GÖRE KAPLAMA KALINLIKLARI							
	Treyler	Kamyon	O.Y.T.Taşıt	Otobüs	Otomobil	$T_{8,2}$ Tekerrür sayıları	Üstyapı Kalınlıkları (D)
YOGT sayıları 0,5 kat azaltılmıştır.	10	50	50	50	250	2.168.332,00	13,3 cm
YOGT sayıları 1,5 kat arttırılmıştır.	30	150	150	150	750	6.605.997,00	18,2 cm
YOGT sayıları 2 kat arttırılmıştır.	40	200	200	200	1000	8.673.330,00	19,4 cm

5.6.1.2. Kabul Edilen Hizmet Süresi (Proje Ömrü)

Eskipazar köy yollarına uygulanması düşünülen silindirle sıkıştırılmış beton yolun hizmet süresi TÇMB tarafından 2018 yılında hazırlanan “Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar Tasarım Rehberi”’nden alınmış ve literatürdeki çalışmalar da baz alınarak 20 yıl olarak belirlenmiştir.

5.6.1.3. Güvenilirlik (R %)

TÇMB tarafından 2018 yılında hazırlanan “Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar Tasarım Rehberi” kapsamında II. Sınıf yollar için güvenilirlik seviyesi Çizelge 5.8 dikkate alınarak % 75 kabul edilmiştir.

5.6.1.4. Normal Standart Sapma (Z_R)

Tasarımı yapılacak üstyapı için belirlenen Güvenilirlik seviyesine göre: “Güvenilirliğin Standart Normal Sapma Değerleri” Çizelge 5.19’den -0,674 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.19. Güvenilirliğin Standart Normal Sapma Değerleri [76].

Güvenilirlik, R%	Standart Normal Sapma, Z_R
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

5.6.1.5. Toplam Standart Sapma (S_0)

“AASHTO 93 Rijit Üstyapılar Yapısal Tasarım Metodu” na göre 0,3-0,4 aralığına uygun olarak 0,35 değeri alınmıştır.

5.6.1.6. İlk Servis Yeteneği (p_I)

“AASHTO 93 Rijit Üstyapılar Yapısal Tasarım Metodu” na göre rijit üst yapılar için 5,0 üzerinden 4,2 değeri uygun görülmüştür.

5.6.1.7. Son Servis Yeteneği (P_T)

“SSB Yollar Tasarım Rehberi” nden alınmış olup II. Sınıf yollar için Çizelge 5.8’den “2” olarak tayin edilmiştir.

5.6.1.8. Servis Yeteneği Kaybı ($P_T - p_I$)

Servis yetenek kaybı ilk servis yeteneği ile son servis yeteneği arasındaki fark olarak ifade edilmekte olup $4,2 - 2 = 2,2$ olarak dikkate alınmıştır.

5.6.1.9. Drenaj Katsayısı (C_d)

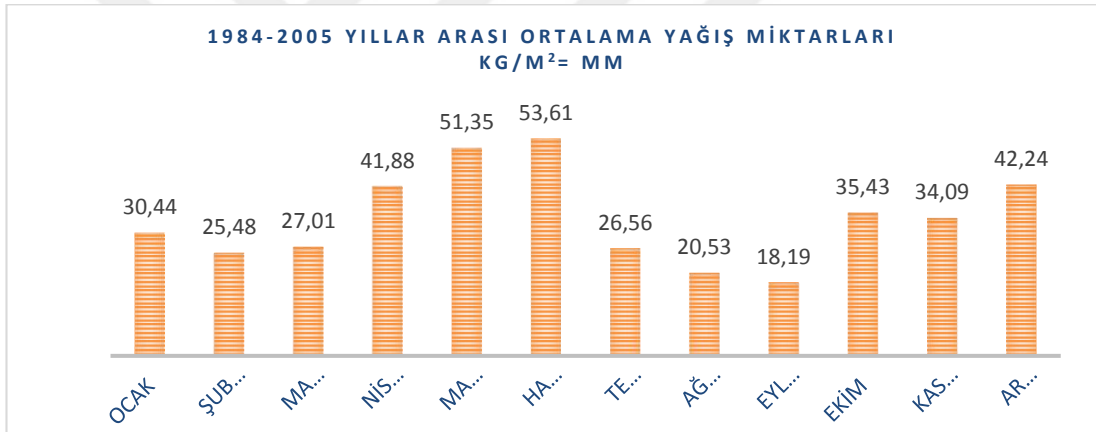
Drenaj katsayısı: AASHTO 93’den alınan ve Çizelge 5.20’den tayin edilebilmekte olup drenaj katsayısının tayin edilebilmesi için öncelikle SSB yol üstyapısının maruz kalacağı yağışın dikkate alınması gerekmektedir. Geçmiş yıllara (1984-2005) yönelik

Karabük İli Eskipazar İlçesinin aylık bazda ortalama yağış miktarları Çizelge 5.19’da gösterilmekte olup 1984-2005 yılları arasında en az yağış ortalaması eylül ayında 18,19 mm, en fazla yağış ortalaması ise 53,61 mm olarak görülmektedir. Bu veriler ışığında drenaj katsayısı 0,9 alınmıştır.

Çizelge 5.20. Rijit yapılar için önerilen drenaj katsayı değerleri [77].

DRENAJ KALİTESİ	Kaplamanın doygunluk seviyesine yakın su içeriğine maruz kaldığı sürenin yıl içindeki yüzdesi			
	<%1	%1-5	%5-25	> %25
Çok iyi	1,40-1,35	1,35-1,30	1,30-1,20	1,20
iyi	1,35-1,25	1,25-1,15	1,15-1,00	1,00
Vasat	1,25-1,15	1,15-1,05	1,00-0,80	0,80
Kötü	1,15-1,05	1,05-0,80	0,80-0,60	0,60
Çok kötü	1,05-0,95	0,95-0,75	0,75-0,40	0,40

Çizelge 5.21. Eskipazar İlçesinde m² ye düşen yağış miktarları [78].



5.6.1.10. Yük Transfer Katsayısı (J)

Yük transfer katsayısı: AASHTO 93’den alınan ve Çizelge 5.22’den tayin edilebilmekte olup AASHTO 93’de SSB ile ilgili herhangi bir yük transfer katsayısı bulunmayıp tasarım bakımından kendisine en yakın rijit üstyapı olan dersiz donatılı rijit kaplama olarak düşünülerek 3,2 değeri alınmıştır.

Çizelge 5.22. Çeşitli kaplama tipleri için önerilen yük transfer katsayıları [77].

Yük Transfer Katsayısı (J)		
Donatılı beton yol ya da bağlantı demirleri mevcut mu?	Donatı ile bağlanmış beton kaldırım, bariyer, oluk ya da tek yönde birden fazla şerit var mı?	
	Evet	Hayır
Evet	2,90	3,20
Hayır	3,70	4,20

5.6.1.11. 28 Günlük Beton Eğilme Dayanımı (Mpa-psi)

Beton Eğilme Dayanımı, 28 günlük basit kiriş numunesi üzerinde iki noktadan yükleme metodu ile ölçülür (TS EN 12390-5). Tipik değer aralıkları 3.45-4.83 MPa arasında olup, C30/37 sınıfı beton için, 4.2 MPa alınmıştır.

5.6.12. Efektif Zemin Reaksiyon Modülü (k, lb/İnc³, psi)

Efektif zemin reaksiyon modülü; Alt temel kalınlığı 15 cm (d= 5,9 inc) düşünülerek, Çizelge 5.9'dan yararlanılarak alt temelin “killi-çakıllı kum” olduğu varsayımıyla CBR % 10 ve Esneklik modülü (Mr) 62 Mpa=8.990 psi saptanması ve zeminin elastisite modülünün bilinmesi sonucunda k değerine ulaşılır. Sonuç olarak seçilen değerler;

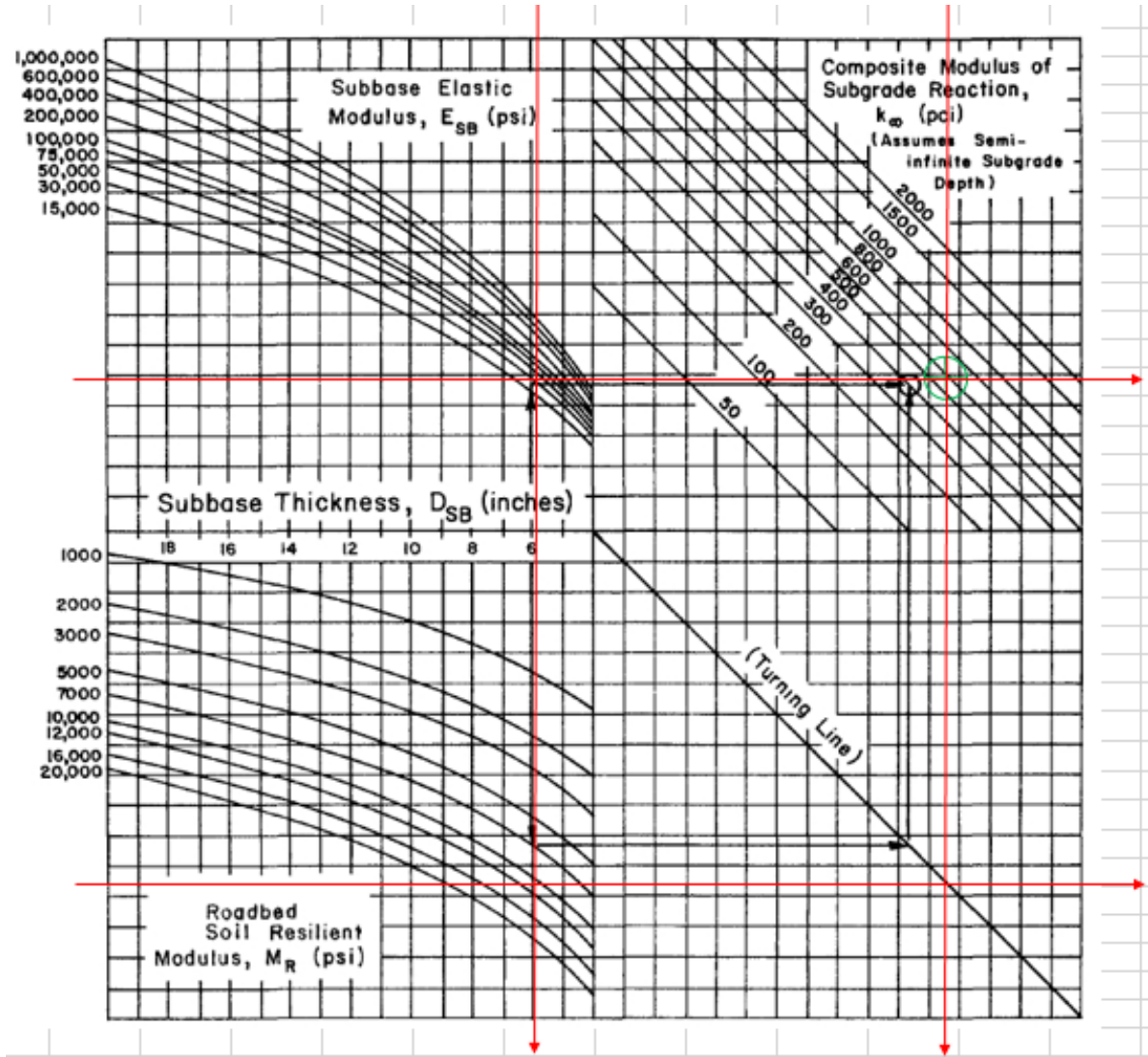
*Alttemel kalınlığı: 5,9 inc,

*Altemel zeminin “killi-çakıllı kum” olduğu kabul edilerek elastisite modülü: 3000 kg/cm² (300 mpa x 145)= 43.500 psi ve

*Seçilen zeminin esneklik modülü (Mr) :8.990 psi alınması ile Çizelge 5.23'de yer alan abaklar karşılaştırılarak k değeri **560** olarak belirlenmektedir.

Tasarımda kullanılan veriler; 2018 yılında TÇMB tarafından hazırlanan “Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar Rehberi, Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar Teknik Şartnamesi” dokümanları ışığında eşitlik 5.1 aracılığı ile tayin edilmiş olup belirlenen veriler Çizelge 5.24’de verilmektedir. Tasarımı yapılan silindirle sıkıştırılmış beton yol plak kalınlığı 16,5 cm (6,48 inç) olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5.23. Efektif Zemin Reaksiyon Modülü (k , lb/in³, psi) tespiti [77].



Çizelge 5.24. Tasarımda kullanılan veriler.

Parametre	Alınan Değer
Üstyapı Proje Süresi (yıl)	20

EDYTS	4.336.665
Güvenilirlik (R %)	75
Normal Standart Sapma (Z_R)	-0,674
Toplam Standart Sapma (S_0)	0,35
İlk Servis Yeteneği (p_I)	4,2
Son Servis Yeteneği (P_T)	2,0
Servis Yeteneği Kaybı ($P_T - p_I$)	2,2
Drenaj Katsayısı (C_d)	0,9
Yük Transfer Katsayısı (J)	3,2
28 Günlük Beton Eğilme Dayanımı (Mpa-psi)	4,20 mpa 609 psi
Beton Elastisite Modülü (E_C , Mpa-psi)	32000 mpa 4.640.000 psi



SSB KALINLIĞI	16,5 cm
---------------	---------

Şekil 5.12.

Silindirle sıkıştırılmış

beton yol tabaka kalınlıkları.

5.6.2. Street Pave Yazılımı İle SSB Kalınlık Tayini

Street Pave 12 yazılımı, derzli/derzsiz beton kaplama kalınlığı tasarımlarında kullanılan bir yazılım programıdır. Street Pave yazılım programı; şehir, belediye, ilçe ve eyalet yollarına yönelik optimize edilmiş tasarımlar üretmek için yeni mühendislik analizlerinden faydalanmakta olan bir program olup mevcut beton kaplamalar için, kullanım ömrü ve/veya deformasyon kriterlerini tahmin etmek için kullanılabilir.



Şekil 5.13. Street Pave 12 paket programı.

Ayrıca Street Pave 12 yazılımında bulunan “Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi” modülü aracılığı ile ayrıntılı bir maliyet ve fayda analizi yapılmasına ve kaplama tasarım projeleri hakkında daha isabetli kararlar verilmesine olanak sağlamakta ve istenilmesi durumunda beton kaldırım tasarımları da yapılabilir. Street Pave 12 yazılım programı ücretsiz olarak indirilebilmekte ve 30 güne kadar demo versiyonu olarak kullanılabilir [79].

5.6.2.1. Street Pave Tasarımında Kullanılan Parametreler

TÇMB tarafından hazırlanan “Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar Tasarım Rehberi” nin genel tasarım yaklaşımı, “Amerikan Beton Üstyapılar Birliği” tarafından 2014 yılında hazırlanarak uluslararası kullanıma sunulan Street Pave yazılımı ile uyumlu olup yukarıda ampirik yöntemlerle tabaka kalınlığı tayin edilen SSB yol, bir kez de Street Pave yazılımı ile tasarlanmıştır.

Project (Proje)

Street Pave 12 yazılım programının bu sekmesinde projenin adı, projenin yapılacağı lokasyon gibi ön bilgiler istenmektedir.

Traffic (Trafik Girdileri)

Street Pave 12 yazılım programının bu sekmesinde; öncelikle rijit üstyapı uygulamasının yapılacağı trafik katagorisi belirlenmeli ve 1 günde yapılması düşünülen bu üstyapıdan geçecek günlük kamyon sayısını istemektedir. Asshto 93 tasarım metodunda olduğu gibi taşıt eşdeğerlik faktörleri tablosu aracılığı ile bu sayı belirlenmekte ayrıca üstyapı üzerinden geçecek taşıt trafiğinin yıllık bazda gelişim yüzdesi, yapılacak üstyapının hizmet ömrü, hesap şerit faktörü ve yön dağıtma faktörü gibi parametrelerin girdileri istenilmektedir.

Design Details (Dizayn Detayları)

Street Pave 12 yazılım programının bu sekmesinde; son servis yeteneği, güvenilirlik, alttemelin resilient modülü gibi parametreler girilmesi istenilmekte ayrıca rijit üstyapının hizmet ömrü sonunca plakta en fazla ne kadar yüzde cinsinden çatlak olmalı sorusuna yanıt aranmakta ve seçilen zeminin esneklik modülü, elastisite modülü, betonun 28 günlük eğilme dayanımı ile betonun elastisite modül bilgileri istenilmektedir.

New Pavement Design (Yeni Üstyapı Dizaynı)

İstenen veriler ışığında kayma donatılı veya kayma donatısız şekillerde rijit üstyapı tabaka kalınlıkları verilmekte olup yukarıda kabul edilen parametre değerleri programa girilerek alınan sonuç ekran görüntüleri Şekil 5.14-5.15-5.16'da sunulmuştur.

StreetPave 12

File Units About Check for Updates

Project Traffic Design Details New Pavement Design

Traffic Category / Load Spectrum

Typical Traffic Spectrums ACI 330 Traffic Spectrums

Residential Category A

Collector Category B

Minor Arterial Category C

Major Arterial Category D

Custom Traffic Spectr...

Help

Truck Traffic over the Pavement Design Life

Trucks per Day (two-way, at time of construction) 260 Calculate

Traffic Growth Rate 2 % per year Help

Design Life 20 years Help

Directional Distribution 50 % Help

Design Lane Distribution 100 % Help

Average Trucks per Day in Design Lane over the Design Life 158

Total Trucks in Design Lane over the Design Life 1,153,700

Traffic Category: Residential

kN	Axes / 1000 trucks
97.9	0.96
89	4.23
80.1	15.81
71.2	38.02
62.3	56.11
53.4	124
44.5	204.56
35.6	483.1
26.7	732.28
17.8	1693.31

Single Axes

kN	Axes / 1000 trucks
160.1	4.19
142.3	69.59
124.5	68.48
106.8	39.18
89	57.1
71.2	75.02
53.4	139.3
35.6	85.59
17.8	31.9
0	0

Tandem Axes

kN	Axes / 1000 trucks
231.3	0
204.6	0
177.9	0
151.2	0
124.5	0
97.9	0
71.2	0
44.5	0
17.8	0
0	0

Tridem Axes (User Defined Only)

kN	Axes / 1000 trucks
231.3	0
204.6	0
177.9	0
151.2	0
124.5	0
97.9	0
71.2	0
44.5	0
17.8	0
0	0

Next

Şekil 5.14. Street Pave yazılım programı trafik bilgi girdileri.

StreetPave 12

File Units About Check for Updates

Project Traffic Design Details New Pavement Design

Global

Global Concrete Asphalt

Next

General Design Inputs

Terminal Serviceability 2 Help

Reliability 75 % Help

Resilient Modulus of the Subgrade

Convert CBR or R-value to MRSG

Input a known MRSG

Calculate 64.74 MPa 28.4 MPa

Percent of Slabs Cracked at End of Design Life

Slabs Cracked 15 % Help

Composite Modulus of Subgrade Reaction (Static k-Value)

Use calculated composite static k-value

Calculate 130.3 MPa/m 27.13 MPa/m

Concrete Material Properties

28-Day Flexural Strength (MR) 4.2 MPa Calculate Help

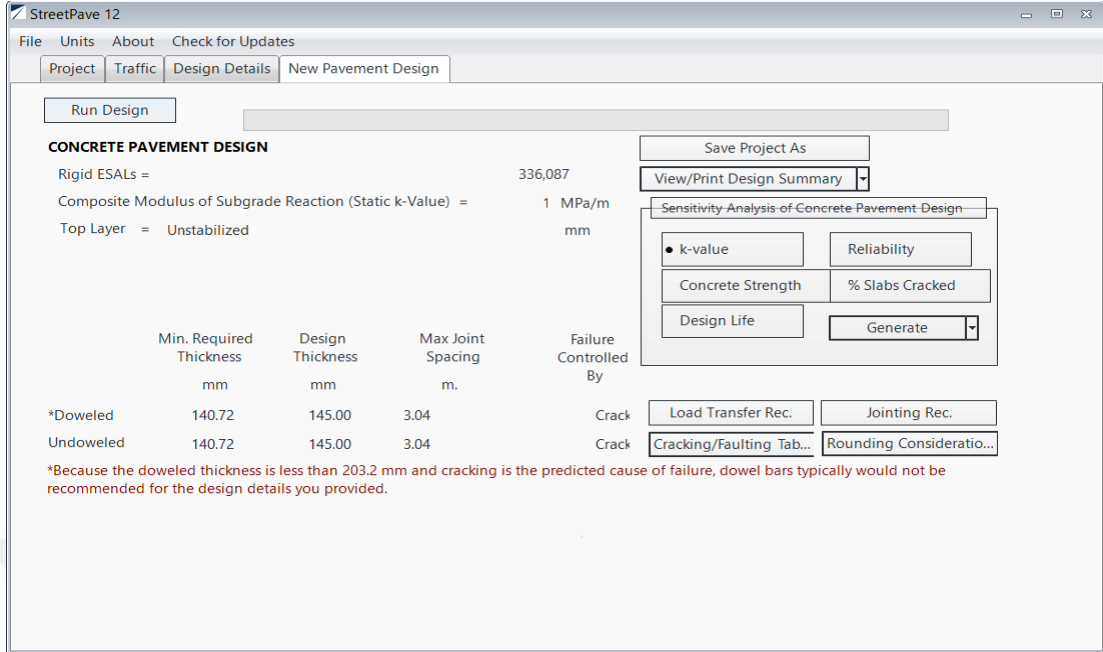
Modulus of Elasticity (E) 32,000.00 MPa Help

Macrofibers in Concrete? No Help

Edge Support

Edge support (e.g., tied concrete shoulder, curb and gutter, or widened lane) provided? yes no Help

Şekil 5.15. Street Pave yazılım programı diyazn detay bilgi girdileri.



Şekil 5.16. Street Pave yazılım aracılığı ile belirlenen SSB kalınlığı bilgileri.

Ampirik yöntemler aracılığı ile 15 cm alttemel üzerine yapılacak olan 16,5 cm kalınlığındaki SSB tabaka, Street Pave yazılım programı ile tekrar hesaplanmış ve bu kalınlığın 14,5 cm olduğu görülmekte olup güvenli tarafta kalınması adına uygulamada 15 cm alttemel üzerine 16,5 cm kalınlığında SSB plak yapılmasının daha sağlıklı olacağı değerlendirilmiştir.

5.7. SSB MALİYET ANALİZİ

Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) Yol, iri ve ince agreganın, uygun oranda su ve çimento ile beton santralinde karıştırılmasıyla üretilen betonun, hazırlanmış yüzey üzerine, projesine uygun olarak finişerle serilip, silindirlerle sıkıştırılmasıyla oluşan yol üstyapı tabakasıdır. Gerek teknik gerek ekonomik açıdan avantajlı çözümler sunan ve Ülkemizde hızla yaygınlaşan silindirle sıkıştırılmış beton yollar için TÇMB tarafından hazırlanarak kullanıma sunulan “Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar Birim Fiyat Analiz ve Tarifleri”nde yer alan poz kalemleri aşağıda yer almakta olup bu tez kapsamında oluşturulan SSB yollar maliyet analizi bu pozlar aracılığı ile oluşturulmuştur.

5.7.1. Y.SSB/01: Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) Karışımının Hazırlanması, Finişerle Serilmesi ve Silindirlerle Sıkıştırılması

Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yol Teknik Şartnamesinde belirtilen esaslar ve şartlar dâhilinde, silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) üretilmesi, üretilen karışımın büyük finişerle serilmesi ve silindirle sıkıştırılması.

5.7.1.1. Birim Fiyata Dâhil Olan Masraflar:

Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yol Teknik Şartnamesinde belirtilen esaslar ve şartlar dâhilinde; C 30/37 beton harcının hazırlanması, beton harcının işbaşında temini, serme ve sıkıştırma için gerekli makine ve teçhizatın iş başında temini, montajı ve demontajı, reglaj, enine ve boyuna ek yerlerinin yapılması ve sıkıştırma için gerekli suyun iş başında temini ve kullanılması, İdarece verilen röper, eksen, enkesit ve kotlara uygun olarak ofset hattının teşkili, beton harcının taşıma araçlarından, finişere boşaltılması, serilmesi, meydana gelen hataların el ile düzeltilmesi, temizlenmesi, serilen karışımın demir merdaneli ve lastik tekerlekli silindirle sıkıştırılması, taşıma kamyonlarının; beklemeleri ve finişerle beraber çalışmaları, tüm araştırma ve teknik nezaret işlerinin yapılması ile aşağıda “Birim Fiyata Dâhil Olmayan Masraflar” başlığı altında sayılanlar dışında kalan diğer bütün işlerin yapılması için gerekli olan her türlü işçilik, malzeme, makine, alet ve araç giderleri ile yüklenici karı ve genel masraflar.

5.7.1.2. Birim Fiyata Dâhil Olmayan Masraflar:

SSB nin yapılacağı yol yüzeyinin hazırlanması, serilmiş ve sıkıştırılmış SSB nin kürü, derzlerin yapılması.

5.7.1.3. Ölçü:

SSB Yolun projesinde belirtilen ebatları üzerinden hesaplanan “m³” cinsinden miktarıdır [80].

5.7.2. KGM/4466: Büyük Plent Ünitesi İle Hazırlanmış Olan Çimento Karışımının (Çimento Stabilizasyonu) Finişerle Serilmesi ve Silindirlerle Sıkıştırılması

KTŞ'nin ilgili kısımlarında belirtilen esaslar ve şartlar dâhilinde, büyük plent ünitesi ile hazırlanmış olan çimento bağlayıcılı karışımın büyük finişerle serilmesi ve silindirle sıkıştırılması.

5.7.2.1. Birim Fiyata Dâhil Olan Masraflar:

Gerekli makine ve teçhizatın; iş başında temini, montajı ve demontajı, reglaj, ek yerlerinin yapılması ve sıkıştırma için gerekli suyun iş başında temini ve kullanılması, İdarece verilen röper, eksen, enkesit ve kotlara uygun olarak ofset hattının teşkili, karışımın; taşıma kamyonlarından finişere boşaltılması, serilmesi, meydana gelen hataların el ile düzeltilmesi, temizlenmesi, serilen karışımın demir merdaneli ve lastik tekerlekli silindirle sıkıştırılması, taşıma kamyonlarının; beklemleri ve finişerle beraber çalışmaları, araştırma ve teknik nezaret işlerinin yapılması ile aşağıda “Birim Fiyata Dâhil Olmayan Masraflar” başlığı altında sayılanlar dışında kalan diğer bütün işlerin yapılması için gerekli olan her türlü işçilik, malzeme, makine, alet ve araç giderleri ile yüklenici karı ve genel masraflar.

5.7.2.2. Birim Fiyata Dâhil Olmayan Masraflar:

Yol yüzeyinin hazırlanması, karışımın; hazırlanması, vasıtalarla yüklenmesi, kantarla tartılması, serim yerine taşınması, serilmiş ve sıkıştırılmış çimento bağlayıcılı tabakanın kürü.

5.7.2.3. Ölçü:

Taşıma kamyonlarının dolu ile boş ağırlığı farkının ton cinsinden miktarıdır [80].

5.7.3. Y.SSB/03 Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) Yol Yüzeyine Su İle Kür Yapılması

Serme ve sıkıştırma işlemleri tamamlanmış Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) Yol üzerine su ile kür yapılması.

5.7.3.1. Birim Fiyata Dâhil Olan Masraflar:

Serme ve sıkıştırma işlemleri tamamlanmış Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) Yol üzerine akrilik esaslı sıvı kür malzemesinin 0,350 kg/m² miktarda fırça rulo ya da püskürtme yöntemi ile uygulanması için gerekli her türlü makine, ekipman, malzeme ve zayıatı, işçilik, iş yerinde yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma yapılması ile aşağıda “Birim Fiyata Dahil Olmayan Masraflar” başlığı altında sayılanlar dışında kalan diğer bütün işlerin yapılması için gerekli olan her türlü işçilik, malzeme, makine, alet ve araç giderleri ile yüklenici karı ve genel masraflar.

5.7.3.2. Birim Fiyata Dâhil Olmayan Masraflar:

Birim fiyata dâhil olmayan masraf yoktur.

5.7.3.3. Ölçü:

SSB Yol yüzeyinin projesinde belirtilen ebatları üzerinden hesaplanan “dekar” cinsinden miktarıdır [80].

5.7.4. KGM/6040 Temel yapılması [Kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile (1'')]:

KTŞ'nin ilgili kısmındaki esaslar ve şartlar dahilinde, ocak taşından, konkasörle kırılmış ve elenmiş 25 mm (1'')' lik malzeme ile temel yapılması.

5.7.4.1. Birim Fiyata Dahil Olan Masraflar:

Taşın; ocaktan çıkarılması, konkasöre verilecek boyutta kırılması, vasıtalarla yüklenmesi, ocak - konkasör arasında nihai ortalama 150 m mesafeye kadar taşınması, boşaltılması, konkasöre verilmesi, granülometri ve evsaf araştırması yapılması, KTŞ' de belirtilen granülometriyi elde edecek şekilde konkasörle kırılması, elenmesi, vasıtalarla yüklenmesi, boşaltılması ve figüre edilmesi, motorlu tulumba ile suyun hazırlanması, temel malzemesinin optimum su içeriği sağlanarak serilmesi ve sıkıştırılması ile aşağıda "Birim Fiyata Dahil Olmayan Masraflar dışında kalan diğer

bütün işlerin yapılması için gerekli olan her türlü işçilik, malzeme, makine, alet ve araç giderleri ile yüklenici karı ve genel masraflar.

5.7.4.2. Birim Fiyata Dahil Olmayan Masraflar:

Ocak-konkasör arası ortalama 150 m'den fazla mesafeye taşıma ile malzemenin konkasörden iş başına taşınması, suyun taşınması.

5.7.4.3. Ölçü

Serilmiş ve sıkıştırılmış temel malzemesinin serilmeden önce kabarma ve çökme dikkate alınmadan figüre ebadı üzerinden hesap edilen metreküp cinsinden hacmidir [808]. Yukarıda detayları verilen pozlar dikkate alınarak elde edilen birim fiyatlara ilişkin maliyetler Çizelge 5.25’de verilmiştir.

Çizelge 5.25. SSB karışımının hazırlanması, finişerle serilmesi ve silindirle sıkıştırılması, kür ve derz yapım işi birim fiyatları.

BİRİM FİYAT NO	BİRİM FİYAT ADI				BİRİMİ
POZ NO	POZ TANIMI	BİRİM	MİKTAR	BİRİM FİYAT	TUTAR
Y.SSB/01	SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON KARIŞIMININ HAZIRLANMASI				M ³
	MALZEME				
04.042/06	C 30/37 beton harcı gri renkte, normal hazır beton harçları	m ³	1	141,00 ₺	141,00 ₺
	SERME VE SIKIŞTIRMA				
KGM/4466	Büyük plent ünitesi ile hazırlanmış olan çimento karışımının büyük finişerle serilmesi ve silindirle sıkıştırılması	ton	2,4	16,94 ₺	40,66 ₺
TOPLAM					181,66 ₺
GENEL GİDERLER+ KAR(% 25)					45,42 ₺
1 M ³ SSB KARIŞIMI HAZIRLAMA, FİNİŞERLE SERME VE SIKIŞTIRMA BEDELİ					227,07 ₺
Y.SSB/03	SSB YOL YÜZEYİNE SU İLE KÜR YAPILMASI				M ²
Poz No	Malzeme	Ölçü	Miktar	Birim Fiyat	Tutar
04.0431	Su (iş başında)	m ³	3	6,62 ₺	19,86 ₺
	İşçilik				
03.538		Sa.	0,39	53,93 ₺	21,032 ₺
TOPLAM					40,892 ₺
GENEL MASRAFLAR % 25 KAR					10,223 ₺

1 DEKAR SSB YOL YÜZEYİNE SU İLE KÜR YAPILMASI BEDELİ					51,115 ₺
KGM/6040	ALT TEMEL YAPILMASI [KIRILMIŞ VE ELENMİŞ OCAK TAŞI İLE (1")]	M³			
KGM/15.113/K	Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 25 mm (1 ")lik temel malzemesi temini.	m³	1	30,85 ₺	30,85 ₺
KGM/15.140	Makina ile serme (kırmataş, kum,çakıl vb. malzeme)	m³	1	1,33 ₺	1,33 ₺
KGM/15.047	Arazöz ile sulama	ton	0.1	9,94 ₺	0,994 ₺
KGM/15.052/3	Titreşimli silindirle sıkıştırma yapılması (56-76 hp)	Sa.	0.01	169,69 ₺	1,69 ₺
KGM/15.058/1	Lastik tekerlekli silindir ile sıkıştırma yapılması	Sa.	0.01	127,80 ₺	1,27 ₺
TOPLAM					36,15 ₺
GENEL MASRAFLAR % 25 KAR					9,03 ₺
TEMEL YAPIM BEDELİ					45,18 ₺
1 M³ SSB KARIŞIMIN HAZIRLANMASI, FİNİŞERLE SERİLMESİ VE SIKIŞTIRILMA BEDELİ					227,07 ₺
1 DEKAR SSB YOL YÜZEYİNE SU İLE KÜR YAPILMASI BEDELİ					51,115 ₺
TEMEL YAPILMASI [KIRILMIŞ VE ELENMİŞ OCAK TAŞI İLE (1")] BEDELİ					45,18 ₺

Karabük İli Eskipazar İlçesi’nde, 49 adet köy için 7,00 m platform genişliğe, 375,00 km uzunluğa ve 16,5 cm beton plak kalınlığına sahip köy yolu ağı için SSB karışımının hazırlanması, finişerle serilmesi ve silindirle sıkıştırılması, kür ve derz yapım maliyeti Çizelge 5.25’de verilmiştir.

Eşitlik 5.1’de yer alan “AASHTO Deney Yolu Denklemi” yardımıyla Eskipazar Köy yollarına uygulanması öngörülen SSB yol tasarımı yapılmış bulunmakta ve bu tasarım dahilinde bulunan tabaka kalınlıkları doğrultusunda 2018 yılında TÇMB tarafından hazırlanan “Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar Birim Fiyat Analiz ve Tarifleri” ne göre; 49 adet köy sınırları dahilinde ve yaklaşık 375 km uzunluğa sahip yol ağına SSB uygulanması durumundaki maliyetlendirme Çizelge 5.26’ deki gibi yapılmıştır.

Çizelge 5.26. SSB karışımının hazırlanması, finişerle serilmesi ve silindirle sıkıştırılması, kür ve derz yapım maliyeti.

SSB karışımının hazırlanması, finişerle serilmesi ve silindirle sıkıştırılması, kür ve derz yapım maliyeti.					
(375,00 km uzunluk, 7,00 m genişlik ve 16,5 cm plak kalınlığı ile 15 cm alt temel kalınlığı için)					
Poz Tanımı	Poz No	Birim	Birim Fiyat (₺)	Miktar	Tutar (₺)
SSB KARIŞIMIN HAZIRLANMASI, FİNİŞERLE SERİLMESİ VE SIKIŞTIRILMA BEDELİ	Y.SSB/01	M³	227,07 ₺	375x1000x7x0,165 =433.125	98.349.693,80 ₺

1 DEKAR SSB YOL YÜZEYİNE SU İLE KÜR YAPILMASI BEDELİ	Y.SSB/03	DA.	51,11 □	(375x1000x7)/1000 =1.875.000	134.163,75 □
TEMEL YAPILMASI [KIRILMIŞ VE ELENMİŞ OCAK TAŞI İLE (1'') BEDELİ	KGM/6040	M³	45,18 □	375x1000x7x0,15 =393.750	17.789.625,00 □
İlk Yapım Bedeli					116.273.482,60 □
*Bakım/ Onarım Maliyeti					29.068.370,65 □
İlk yapım ve hizmet ömrü boyunca bakım onarım bedeli					145.341.853,30 □

* % 75 Güvenilirlik seviyesine göre hizmet ömrü boyunca yıpranma payı %25

Görüldüğü üzere Eskipazar İlçesi sınırlarında yer alan 375 km uzunluğa sahip köy yollarına silindirle sıkıştırılmış beton yol üstyapı imalatı yapılması ve 20 yıl üzerinden tasarımı yapılarak hizmet ömrü 20 yıl seçilen üstyapıya yapılan bakım onarım bedeli toplandığında **145.341.853,30 □** gibi bir maliyeti söz konusu olmaktadır. Yıllık bazda düşünüldüğünde bu rakam $145.341.853,30 \square / 20 = 7.267.092,66 \square / \text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır.

Ancak hizmet ömrü en fazla 3 ile 5 yıl arasında değişkenlik gösteren ve şu anda köy yollarının üst yapısını oluşturan sathi kaplamaların ise hizmet ömrü boyunca yapım, bakım ve onarım maliyeti, Eskipazar Köy Yolları Bakım onarım Maliyet İncelemesi” başlığında irdelenmiş olup üstyapı ilk yapım ile hizmet ömrü süre zarfında bakım ve onarım bedelleri toplamı olarak **30.610.165,00 □** olarak belirlenmiştir. Literatür çalışmaları ve uygulamadan elde edilen veriler ışığında sathi kaplama hizmet ömrünün 5 yıl olarak alınması öngörülmüştür. Buna göre hesapla bulunan toplam bedelin hizmet ömrüne bölünmesi ile $30.610.165,38 \square / 5 = 6.122.033,00 \square / \text{yıl}$ sonucuna ulaşılmaktadır.

Eskipazar köy yollarına BSK üstyapı uygulaması halinde ise, üstyapı ilk yapım ile hizmet ömrü boyunca üstyapıya uygulanacak bakım+onarım toplam bedeli: **126.784.420,3 □** olup bu maliyetin hizmet ömrüne bölünmesi ile $126.784.420,3 \square / 10 = 12.678.442,03 \square$ sonucuna ulaşılmaktadır.

Buradan hareketle 375 km uzunluğundaki Eskipazar köy yollarında sathi kaplama-BSK kaplama ve SSB kaplama uygulamaları birbirleri ile karşılaştırılmış olup SSB uygulaması yıllık bazda sathi üstyapı kaplamalarından % 15,75 daha pahalı olsada

BSK üstyapı uygulamasından, % **38,95** oranında daha ekonomik olacağı öngörülmektedir.

Burada dikkat edilmesi gereken husus hesaplanan tutarların doğrudan birbiri ile mukayese edilmesinden ziyade hizmet ömürlerinin de göz önüne alınması olup her iki üstyapının ilkyapım ve hizmet ömrü boyunca maruz kalacağı bakım ve onarım bedelleri tespit edilen bu tutarların yıllık baza dönüştürülmesidir.



BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünya üzerinde karayolları üstyapısında kullanılan iki çeşit kaplama olup bunlar esnek ve rijit üstyapılardır. Esnek üstyapılar; makadam kaplama, sathi kaplama, bitümlü emülsiyonlu harç tipi kaplama, mikro kaplama, bitümlü sıcak karışım kaplama, Taş Mastik Asfalt, Poroz asfalt, Ilık asfalt vb. türlere sahip olup Rijit üstyapılar ise; Derzli-donatısız, Derzli-donatılı, Sürekli-donatılı, Silindirle sıkıştırılmış beton, Poroz beton, Lifli beton vb. türlere sahiptir.

Çalışma kapsamında Dünyanın çeşitli yerlerinde yer alan ülkelerin bu kaplamalardan hangilerini ne oranda tercih ettikleri ve tercih etme sebepleri irdelenmiştir. Buna göre Avrupa’da Fransa, Avusturya, Almanya, Hollanda, Belçika gibi Avrupa ülkeleri ile Amerika Birleşik Devletlerinde esnek üstyapıların kullanımının yanında rijit üstyapıların da yoğun bir şekilde kullanıldığı görülmüştür. Her ülkenin içinde bulunduğu durum ve birtakım parametreler (petrole olan dış bağımlılığı, malzeme teminindeki zorluklar, geçmiş uygulama tecrübeleri, iklimsel koşullar, karayolu ile yolcu/yük taşıma oranları, bakım/onarım için harcanan kaynaklar vb.) bu tercihin yapılmasında dikkate alınmaktadır.

Ülkemizdeki mevcut durum incelendiğinde ise 2019 yılı itibariyle Karayolları genel Müdürlüğü sorumluluğunda 2.159 km otoyol, 31.021 devlet yolu, 34.153 km il yolu olmak üzere toplamda 67.333 km yol ağı bulunmaktadır. Bu yol ağının % 58’i sathi kaplama, % 36’sı asfalt betonu kaplama (BSK), yaklaşık % 6’lık bir kısmı da parke, stabilize ve toprak yollardan müteşekkil olup sadece deneme amaçlı olarak uygulama yapılmış olan Afyonkarahisar-Emirdağ (2 km), Hasdal-Kemerburgaz (3,5 km) ve Ordu-Ulubey (1,6 km) yollarında beton yol (rijit kaplama) kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında daha ekonomik, daha uzun ömürlü, daha az bakım/onarım gerektiren, daha az dışa bağımlı, ilkinsel koşullardan daha az etkilenen, daha efektif kaplama türünün seçilmesi ve uygulanması adına Ülkemizin sahip olduğu çeşitli parametreler ortaya konulmuş ve bu parametreler ışığında değerlendirmeler yapılmıştır. Buna göre;

- ❖ Yolcu/yük taşıma oranları incelendiğinde 2017 yılı Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı verilerine göre yolcu taşımacılığının % 89,2'si ve yük taşımacılığının ise % 89,8'i karayolu ile gerçekleştirilmektedir. Hâlbuki bu oran AB ülkeleri ortalaması % 45 ABD'de ise %69 olarak gerçekleşmektedir. Ayrıca araç sahipliği rakamları incelendiğinde 2019 yılı TÜİK verilerine göre Ülkemizdeki motorlu kara taşıtı sayısı 22.940.636 olup bu rakam son yıllarda çok daha hızlı artış göstermektedir. Bu sebeple yükü zemine daha geniş bir şekilde ileterek hızla artan taşıt trafiğine ve karayolu taşıma miktarlarına karşı daha az deformasyona sebep olması bakımından rijit kaplamaların tercih edilebileceği düşünülmektedir.
- ❖ 2018 Yılı sonu TÜİK verilerine göre ham petrol ithalatı 20.970.669 ton civarında olup bu rakam yıllara göre farklılık göstermekte ancak özellikle son yıllarda hızlı bir artış göstermekte olup bu durum Ülkemizin petrole olan bağımlılığının da bir göstergesi olmaktadır. Buna mukabil çimento üretiminde ve ihracatında ise Ülkemizin çok önemli oyuncular arasında yer aldığı ve 2012 yılı Dünya çimento ihracatında ilk sırada yer aldığı bilinmektedir. Beton (rijit) kaplamaların tercih edilmesi ile yerli üretim çimento sektörüne katkı sağlanacağı düşünülmektedir.
- ❖ Karayolları Genel Müdürlüğü istatistikleri incelendiğinde otoyollar için 2017 yılında otoyolların bakım/onarımı için 525.205.594 ₺, devlet ve il yollarının bakım/onarımı için ise 2.120.811.983 ₺ gibi oldukça yüksek meblağlar harcanmış olup bu harcamaların esnek üstyapılara sahip yollarda gerçekleştirildiği dikkate alınmalıdır. Esnek kaplamalar 5-15 yıl hizmet ömrü için, beton yollar ise 20-30 yıl hizmet ömrü için projelendirilmektedir. Buradan hareketle kaplama türünün seçiminde sadece ilk yapım maliyeti göz önünde

bulundurulmamalı, hizmet ömrü boyunca daha az bakım onarım gerektirecek olan beton kaplamalar değerlendirilmelidir.

- ❖ Bir diğer bakış açısıyla Ülkemizin iklimsel koşulları irdelendiğinde bölgeler arasında oldukça farklı iklimlerin oluştuğu, aynı bölgede dahi bir yıl içerisinde çok değişik sıcaklık farklarının ve yağış durumlarının ortaya çıktığı hatta bir günde dört mevsimin yaşanabildiği ancak Ülkemizin birçok açıdan avantajlı olan bu iklimsel yapısının karayolu kaplamaları açısından deformasyona sebep olabilecek parametreler arasında yer aldığı bilinen bir gerçektir. Bu sebeple özellikle donma-çözünme süreçlerinin sık olduğu, yağış koşullarının (kar+yağmur) yoğun olduğu, sıcaklık değerlerinin asfalt kaplamada kismaya sebebiyet verecek oranda yüksek olduğu bölgelerde beton (rijit) kaplama kullanımının iyi bir alternatif olabileceği değerlendirilmelidir.
- ❖ Ayrıca özellikle kış aylarında don ve kar mücadelesinde kullanılan tuz veya kimyasal malzemelerin her iki kaplama türüne de zarar verdiği literatürde ifade edilmekte aynı zamanda esnek kaplamaların daha hassas olduğu belirtilmekte ve uygulamadan elde edilen bilgilerden de (özellikle kış ayları sonrasında artan bakım/onarım çalışmaları) bu durum teyit edilmektedir. Bu bağlamda rijit (beton) kaplamaların özellikle buzlanma ve kar yağışının yoğun olduğu bu sebeple tuzlama veya kimyasal katkıları ile kış mücadelesinin gerçekleştirildiği yollarda tercih edilebileceği düşünülmektedir.

Özetle dünyanın çeşitli ülkelerindeki gibi ülkemizde de kaplama türünün seçiminde bölgesel iklim şartları, ekonomik kriterler, trafik miktarı, hizmet ömrü, bakım/onarım ihtiyaçları vb. gibi birtakım parametreler ile her bir kaplama türünün üstünlükleri dikkate alınmalı ve gerçekleştirilecek optimizasyon çalışmaları ile ihtiyaca uygun kaplama türü seçilmelidir.

Bu çalışmada konunun Karabük İli, Eskipazar İlçesi özelinde değerlendirilerek pilot bir uygulama yapılması hedeflenmiştir. Toplam uzunluğu 375 km olan Eskipazar köy yollarının kaplama türleri incelenmiş olup asfalt (sathi), stabilize, tesviye ve ham olarak adlandırılan yol yüzeylerine sahip olduğu ancak hiç beton (rijit) yol kullanılmadığı görülmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü 1984-2005 yılları arası yağış verileri incelendiğinde Eskipazar bölgesinin özellikle Nisan-Mayıs-Haziran aylarında

ortalama yaklaşık 49 kg/mm yağış aldığı görülmektedir. Ancak, ilk yapım maliyeti nispeten düşük olan sathi kaplamaların kullanım ömrü boyunca ortaya çıkan bakım/onarım masrafları ve hizmet ömrünün kısa olması sebebiyle ekonomik olmaktan uzak olduğu özellikle yerel idareler tarafından göz ardı edilmektedir. Eskipazar Köy yollarında çeşitli sebeplerle meydana gelen muhtelif deformasyon örnekleri çalışmada sunulmuş olup yukarıda anılan sebeplerle rijit (beton) üstyapı tercih edilmesi durumunda sağlayacağı avantajlar ortaya konulmuştur.

Rijit (beton) üstyapı türlerinden de silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) kullanımı önerilmiştir. Geleneksel betona göre aynı bileşenlerin farklı oranlarda karıştırılması ile elde edilmekte olan SSB farklı işlenebilirlik özelliği göstermekle birlikte BSK yapımında kullanılabilen araçlarla taşınabilmekte, serilebilmekte ve sıkıştırılabilmektedir. Bu da Ülkemizde bugüne kadar esnek kaplama imalatında elde edilen tecrübelerin, mevcut makine/ekipmanların ve iş gücünün efektif kullanılabilmesi demek olup Karabük İl Özel İdaresi tarafından 2018 yılından itibaren yaz dönemi yatırım planında sathi kaplamadan BSK yapımına başlama kararı alınmış olmasının rijit (beton) üstyapıya geçiş açısından uygun bir zamanlama ve fırsat olduğu düşünülmektedir. İlave olarak SSB uygulamasında derz olmaması buna bağlı olarak gürültü düzeyinin düşük olması, hızlı bir şekilde uygulama yapılabilmesi, Dünya genelinde özellikle düşük trafik hacmine sahip yollarda kullanılması ve önerilmesi, çelik donatı içermemesi sebebiyle özellikle kış aylarında tuzlama çalışmaları neticesinde ortaya çıkan deformasyonlara karşı normal beton kaplamadan daha dayanımlı olması ve en önemlisi de ekonomik olması gibi üstünlükleri sebebiyle Eskipazar köy yollarında SSB kaplama kullanımı önerilmiştir.

Bu doğrultuda çalışmada ASSHTO 1993 projelendirme kriterleri (proje süresi, dingil yükü, güvenilirlik, standart sapma, servis yeteneği, drenaj katsayısı, beton eğilme/basınç dayanımları, zemin reaksiyon modülü vb.) dikkate alınmış ve ampirik bağıntılar vasıtasıyla SSB üstyapı kalınlığı tayin edilmiştir. Buna göre 15 cm alttemel ve 16,5 cm SSB plak kalınlığı hesaplanmış olup elde edilen sonuçların teyidi amacıyla Streetpave yazılımı kullanılarak SSB üstyapı kalınlığı bulunmuş ve 15 cm alttemel ile 14,5 cm SSB plak kalınlığı elde edilmiştir. Her iki yöntemde de değerler birbirine

oldukça yakın bulunmuş olup güvenli tarafta kalmak adına hesaplamalarda 15 cm alttemel ve 16,5 cm SSB plak kalınlığı dikkate alınmıştır.

Hali hazırda Eskipazar köy yollarında kullanılmakta olan mevcut esnek kaplama (sathi kaplama) için Karabük İl Özel İdaresi'nden temin edilen 2013-2018 yılları arasındaki ilk yapım ve bakım/onarım maliyetleri irdelenmiştir. Ancak sağlıklı bir ekonomik mukayese yapılabilmesi için fayda ve maliyetlerin belirli bir yıla ve belirli bir birime çevrilmesi esas olup yıllara sari bu rakamlar TÜİK verileri yardımıyla aktüalize edilerek her biri 2018 yılına dönüştürülmüş ve km bazında dikkate alınmıştır. 2018 yılı için değerlendirildiğine Eskipazar Köy yollarının 1 km'si için harcanan yıllık ortalama ilk yapım ve bakım/onarım maliyeti 81.627.10 ₺/km olup toplam yol uzunluğu olan 375 km için düşünüldüğünde bu rakam 30.610.165,00 ₺ olarak hesaplanmıştır. Ancak yine sağlıklı bir mukayese yapılabilmesi için kaplamaların hizmet ömürlerinin de dikkate alınması gerekmekte olup literatür çalışmaları, uygulamadan elde edilen gözlemler ve Karabük İl özel İdaresi verileri ışığında mevcut sathi kaplamaların hizmet ömürleri 5 yıl olarak dikkate alınmıştır. Elde edilen rakamın 5 yıl hizmet ömrüne bölünmesiyle **6.122.033,00 ₺** yıllık ortalama ilk yapım ve bakım/onarım maliyeti elde edilmiştir.

Eskipazar köy yollarına sathi kaplama değilde şayet BSK esnek üstyapı uygulaması yapılırsa idi buna göre; 375 km uzunluğa ve 7 m genişliğe sahip BSK kaplamanın ilk yapım ve bakım/onarım maliyeti 126.784.420,3 ₺ olarak hesaplanmakta ve bu maliyetin köy yollarına uygulanacak olan BSK üstyapı imalatının hizmet ömrüne bölünmesi ile; $126.784.420,3 \text{ ₺} / 10 = \mathbf{12.678.442,03 \text{ ₺}}$ maliyet sonucuna ulaşılabacaktır.

Daha sonra ASSHTO 1993 ampirik bağıntılar ve Streetpave yazılımı kullanılarak öngörülen SSB plak kalınlığının uygulanmasında 2018 yılı poz numaraları ve birim maliyetleri dikkate alınarak maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Buna göre; 375 km uzunluğa ve 7 m genişliğe sahip SSB kaplamanın ilk yapım ve bakım/onarım maliyeti 145.341.853,30 ₺ olup literatür çalışmaları kapsamında hizmet ömrü 20 yıl alındığında **7.267.092,66 ₺** yıllık ortalama ilk yapım ve bakım/onarım maliyeti hesaplanmıştır.

Buradan hareketle 375 km uzunluğa ve 7 m yol platform genişliğine sahip Eskipazar köy yollarında SSB yol uygulanması sathi kaplamalara göre yıllık **%15,75** daha maliyetli olmasına karşın SSB yol uygulanması BSK göre ise **%38,95** daha ekonomik olduğu değerlendirilmiştir. Görüleceği üzere Ülkemizde rijit üstyapıların kullanımı henüz diğer ülkelerle mukayese edildiğinde çok düşük seviyelerde olmakla birlikte bu ve buna benzer çalışmaların artmasının rijit üstyapıların kullanımının artışına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Özellikle kış dönemlerindeki donma-çözünme süreçlerinin sıklığı, yoğun kar ve yağmur yağışına bağlı deformasyonlar ile orman emvali taşınması esnasında ağır yüklü araçların yola bıraktığı etki ve neticesinde ortaya çıkan deformasyonlar sebebiyle köy yollarında beton bir kaplama türü olan SSB'nin kullanımı önerilmeli ve teşvik edilmelidir. Literatürde SSB'nin kullanım alanları olarak özellikle düşük kapasiteli kentsel ve kırsal yollar önerilmekte olup buradan hareketle ülkemizde de köy yollarında tercih edilmelidir. Özellikle dışa bağımlı olduğumuz petrol türevli esnek üstyapılar yerine üretiminde dünyada söz sahibi olduğumuz çimento esaslı rijit üstyapıların kullanılması teşvik edilmelidir.

Yukarıda sıralanan veriler ve bilgiler ışığında Ülkemizin içinde bulunduğu durum itibariyle sadece tek bir kaplama türüne yönelmenin yanlış olacağı, diğer kaplama türü olan rijit kaplamaların da farklı parametreler ile birlikte değerlendirilerek avantajlı olduğu yer ve şartlarda kullanımının artırılmasının gerekmekte olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Çetin, B., Barış, S. ve Saroğlu, S., “Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi” Cilt-1 Sayı-1, 123-150 (2011).
2. Çetin, O., “Beton Yollarda Yeni Teknolojiler Silindirle Sıkıştırılan Beton Yol”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 26-28 (2009).
3. Karayolları Genel Müdürlüğü, “Dünden Bugüne Karayolları Tarihçesi”, 15-16, Ankara (2014).
4. Yurdakul, Y., “Köy Yollarının Geometrik Tasarımı Yapılandırılması ve Trafik Güvenliği Yönünden İrdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara 7-8 (2006).
5. ECEVİT, O., "Karayollarında Rijit Üstyapı Uygulamaları ve Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul 25-63 (2007).
6. İnternet: Asfalt Müteahhitleri derneği, “Türkiye’de İlk Asfalt Uygulamaları”, <http://www.asmud.org.tr/asfalt.php> (2018).
7. Ağar, E. ve Umar, F., “Yol Üst Yapısı” **İstanbul Teknik Üniversitesi Matbası**, İstanbul (1991).
8. ALP, B., "Aşınma Asfalt Betonu ve Taş Mastik Asfalt Tekniğinin Köprü Uygulamalarında Kullanılması ve Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, **Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul 20-21 (2018).
9. Karayolu Genel Müdürlüğü, “Karayolu Teknik Şartnamesi”, kısım:101/12 (2013).
10. Ağar, E. ve Umar, F., “Yol Üst Yapısı” **İstanbul Teknik Üniversitesi Matbası**, İstanbul (1991).
11. TUNÇ, A., “Yol Malzemeleri ve Uygulamaları” Ankara, 839-841 (2007).
12. İnternet:Curbstone Presents, “1823 Yılında Amerika’da Yapılan İlk Makadam üstyapı uygulama örneği” <http://www.bruzzzone.org/macadam/road1.jpg> (2012).
13. İnternet: “Asfalt Kaplama Derneği” <https://www.asphaltpavement.org/> (2004).

14. Uluçaylı, M., “Harç Tipi Kaplamalar ve Mikro Asfalt Betonu”. **1. Ulusal Asfalt Sempozyumu**, Ankara, 56-58 (1996).
15. International Slurry Surfacing Association, “Recommend Performance Guidelines for Micro-Surfacing” Annapolis, 1-16 (2010).
16. “Eski Asfalt Kaplamaların ve Lastik Atıkların Geri Dönüştürülerek Bitümlü Sıcak Karışımlarda Yeniden Kullanılması Projesi” Tübitak Sonuç Raporu, Kocaeli (2010).
17. Gürer C. ve KARAŞAHİN M., “Sathi Kaplama Agregalarının Adezyon Özelliklerinin Araştırılması”, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt: 10, No: 2, 1-11 (2014).
18. ÇABUK, A., “Dünyada ve Ülkemizde Mikro Yüzey Uygulamalarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 28-30 (2010).
19. Deniz, M. T., “Esnek Üst Yapı Kaplamalarında Bitümle Birlikte Bağlayıcı Olarak Granüler Sülfür Kullanımının Kalıcı Deformasyona Etkisi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4-6 (2009).
20. YÜCEL, C., "Kocaelinde Uygulanan Satih Kaplama Uygulamaları, Satih Kaplamalarda Meydana Gelen Bozulmalar", Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 16-18 (2011).
21. Umar, F. ve Ağar, E., “Yol Üst Yapısı”, *İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası*, İstanbul (1985).
22. İnternet: Karaşahin, M., “BSK Kaplamalı Yollarda Bozulmalar” <http://muhendislik.istanbul.edu.tr>. (2006).
23. İnternet: Pavement interactive, “Esnek Üstyapıda Kayma Çatlağı Şeklinde Meydana Gelen Deformasyon Örneği”, http://www.pavementinteractive.org/wpcontent/uploads/2006/10/Slippage_Cracking.jpg (2006).
24. İnternet: Maxwell Products, “Esnek Üstyapıda Derz Çatlağı Şeklinde Meydana Gelen Deformasyon Örneği”, <https://maxwellproducts.com/problems/Reflection-Cracking> (2006).
25. ÖZCANAN, S. ve AKPINAR, M., V., “Esnek Üst Yapılarda Kritik Tekerlek ve Aks Konfigürasyonlarının Mekanistik Analizlere Göre Test Edilmesi” *İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi*, Yazı 413: 6625-6654 (2014).
26. GEVREK, L., “Yol Katmanlarında Meydana Gelen Gerilme Dağılımının Ansy Bilgisayar Programı ile Nonlinear Sonlu Eleman Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 26-29 (2008).

27. Ayçiçek S., “Esnek Üst Yapılarda İmalat ve Uygulama Kusurları.”, Yüksek Lisans Tezi, **Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 66-68 (2011).
28. Deniz, M. T., Esnek Üst Yapı Kaplamalarında Bitümle Birlikte Bağlayıcı Olarak Granüler Sülfür Kullanımının Kalıcı Deformasyona Etkisi”, Doktora Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 7-9 (2009).
29. Yamanlar, A., Ç., “Farklı Kaplama Türlerinin Yüzey Doku Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **9 Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** İzmir, 37-39 (2012).
30. MAZLUM, M., S., "Ekonomik ömrünü tamamlamış asfalt kaplamaların kazınarak bitümlü sıcak karışımlarda yeniden Kullanılabilirliğinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, **Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon, 16-18 (2014).
31. KULOĞLU, N. ve KÖK, B.,V., "Karayollarında Kar ve Buz Mücadelesinde Kullanılan tuzun Beton Asfalt Kaplamaya Etkisi", **F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 17 (1): 87-96 (2005).
32. İnternet: Historical Concrete Pavement Explorer, “ABD’de yapılmış ilk beton yol kaplaması Örneği”,
<http://explorer.acpa.org/explorer/places/unitedstates/ohio/bellefontaine/street/old-us-30-lincoln-highway/> (2016).
33. İnternet: South African National Roads Agency Soc. Ltd., “Rijit ve Esnek Üstyapılarda Meydana Gelen Yük Dağılımları”,
https://www.nra.co.za/live/content.php?Item_ID=65 (2017).
34. Giriş, Ü., “Esnek Üstyapılar ile Rijit Üstyapıların Teknik ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 130-132 (2007).
35. İnternet: Basic concept of Pavement Analyis and Design, “Tipik Rijit Üstyapı Kesiti”,<https://nptel.ac.in/courses/105104098/TransportationII/lecture6/2slide.htm> (2003).
36. KOZAK. M., “Beton Yollar ve Beton Yol Yapımının Araştırılması”, **Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 7 (1): 89-99 (2011).
37. İnternet: Pavement Types and Usage, “Derzli donatısız Beton Kaplama İmalatı”,
<file:///C:/Users/hp/Downloads/Pavements%20Types.pdf> (2005).
38. İnternet: Pavement Types and Usage, “Derzli donatılı Beton Kaplama İmalatı”,
<file:///C:/Users/hp/Downloads/Pavements%20Types.pdf> (2005).
39. Ağar, E., Umar, F. ve ÖZTAŞ, G., “Beton Yollar (Rijit Yol Üstyapıları)”, **İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası**, İstanbul (1998).

40. İnternet: Amerikan Concrete Pavement Association, “Sürekli Donatılı Tipteki Rijit Üstyapı Kaplama İmalatı”,
http://wikipave.org/index.php?title=File:CRCP_Steel_CO-CRSI.JPG (2015).
41. YAMAN, İ., Ö. ve CEYLAN, H., "Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar ", *Türkiye Hazır Beton Birliği*, 69-82 (2013).
42. Andriolo, R., F., “The Use of Roller Compacted Concrete” Past-Press, ISSMFE, Brazil, 554-555 (1998).
43. IOWE Eyalet Üniversitesi, “Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yol Kaplamaları İçin Rehber”, Çeviri Editörü/Editörleri, AKPINAR, M., V., Trabzon, 7-9 (2010).
44. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, “Cari Açığın İlacı Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar”, TÇMB, 2-3 (2017).
45. İnternet: Construction, Trucking and Asphalt, “Roller Compacted Concrete”
<https://kemper.construction/slide/roller-compacted-concrete-1/> (2015).
46. ENGİN, Y., “Geçirimli Beton Yollar: Gereklikler, Kullanım ve Uygulama Yöntemleri”, *Türkiye Hazır Beton Birliği*, 77-83 (2015).
47. KILINÇ, C. ve AKAKIN, T., “Farklı Agrega Tane Dağılımına Sahip Geçirimli Betonların İncelenmesi”, *Türkiye Hazır Beton Birliği*, 79-84 (2012).
48. İnternet: New Dawn Permeable Paving, “Geçirimli Poroz Beton Yol”,
<https://newdawnpermeablepaving.com.au/wpcontent/uploads/2015/11/cross-section.jpg> (2015).
49. ÜNAL, B., KÖKSAL, F. ve EYYUBOV, C., “Polipropilen ve Çelik Liflerin Yol Kaplama Betonlarının Mekanik ve Dürabilite Özelliklerine Etkisi”, *Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Teknik Kongre ve Sergisi*, Ankara, 455-456 (2004).
50. THBB Beton Yollar Teknik Çalışma Grubu, “Beton Yollar”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Türkiye Mühendislik Haberleri, No. 427, 38-44 (2003).
51. ÖZBİLGİN, S., “Rijit ve Esnek Üstyapı Havaalanının Teknik ve Ekonomik Bakımdan Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 91-93 (2010).
52. BOLAT,H., SUBAŞI, S., ÇULLU, M. ve AKKAYA, U., "Beton Yolları Bekleyen Tehlikeler" *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt: 6, No: 1, 30-37 (2010).
53. BOLAT,H." Polyester ve Polipropilen Telli Betonların Yol Kaplaması Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 4-6 (2010).
54. Yalçın, H. ve Koç, T., “Betonarme Demirlerinin Korozyonu ve Önlenmesi”, CMS Ltd. yayını, Ankara, 85-101 (2004).

55. Yörükoğulları, E., “Doğal Zeolitlerin Karayollarında Buz/Kar Çözücü Olarak Kullanımı” *Madencilik bülteni inceleme*, Eskişehir, 40-42 (2005).
56. Çimento, Cam, Seramik ve Toprak Ürünleri İhracatçıları Birliği, "Dünya Çimento Üretimi ve Tüketimine İlişkin Genel Değerlendirme Araştırma Notları", Ankara, Mayıs, 2-6 (2014).
57. THBB Beton Yollar Teknik Çalışma Grubu, “Beton Yollar”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı:27 38-44 (2003).
58. ERES Consultant for the Ministry of Transportation of Ontario, “Review of Life-Cycle Costing Analysis Procedures”, (1998)
59. Zaniewski, J., P., “Effect of Pavement Surface Type on Fuel Consumption”, Portland Cement Association , Illinois (1989).
60. YEĞİNOBALI, A., “Türkiye'nin İlk Beton Karayolları”, TÇMB/AR-GE, Ankara, 1-66 (2010).
61. Darter, M.I., “Report on The 1992 U.S. Tour of European Concrete Highways, Federal Highway Administration” FHWA, Washington, DC (1993).
62. The Indian Concrete Journal, “Recent Developments in the Construction and Design of Concrete Highway in Germany”, Çeviri Editörü, *AKAKIN T.* (2002).
63. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, “Ülkemizin Yeni Yolu Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar”, Ankara, 1-2 (2018).
64. ABUT, Y. ve ÇANKAYA, T., "Beton Yollar-Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Örneği" Kocaeli, 77-83 (2016).
65. İnternet: Tonya Belediyesi, “Trabzon Tonya’da Beton Yol Uygulama Örneği”, [http://www.dogruhaber61.com/genel/tonyada-22-mahallede-beton-yol calismalari-devam-ediyor.htm](http://www.dogruhaber61.com/genel/tonyada-22-mahallede-beton-yol-calismalari-devam-ediyor.htm) (2016).
66. BOZTEPE, M., “Beton Yollardaki Farklı Yüzey Tiplerinin Gürültü Düzeyi Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 5-7 (2011).
67. KÖK, E., " Karayolu ve Havaalanı Üstyapı Tasarım Yöntemleri, Karşılaştırılması ve Türkiye Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-3 (2008).
68. Yurdakul, Y., “Köy Yollarının Geometrik Tasarımı Yapılandırılması ve Trafik Güvenliği Yönünden İrdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 9-11 (2006).

69. İnternet: İnternational Business Times, “Çevresel Faktörler Sebebiyle Ortaya Çıkan deformasyon”, <http://s1.ibtimes.com/sites/www.ibtimes.com/files/styles/lg/public/2011/08/30/152376-hurricane-irene-vermont.jpg> (2011).
70. İnternet: Eskipazar Kaymakamlığı, “Karabük İli, Eskipazar İlçesi Tarihçesi”, <http://www.eskipazar.gov.tr/tarihcesi> (2018).
71. BİÇER, S., "Karabük İli, Eskipazar İlçesi, Hadrianoupolis Antik Kentinde Bulunan Geç Antik Dönem Yapılarından A Hamamının Koruma Önerisi" Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 6-8 (2010).
72. DAĞDELEN, G., "Eskipazar Ağzı", Yüksek Lisans Tezi, *Erzincan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Erzincan, 1-2 (2011).
73. YAZICI, Ş., “Silindirle Sıkıştırılmış Beton” TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni, cilt.138, İzmir, 24-28 (2008).
74. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, “Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar Teknik Şartnamesi", Ankara, 1-14 (2017).
75. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, “SSB Yollar Tasarım Rehberi”, Ankara, 8-20 (2018).
76. Karayolları Genel Müdürlüğü, “Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi”, Ankara, 15-16 (2008).
77. American Association of State Highway and Transportation Officials, “Guide for Design of Pavement Structures”, *AASHTO*, Washington, II-12 (1993).
78. Karabük Meteoroloji İl Müdürlüğü, “1984-2005 yılları arasında Eskipazar ilçesinde m² ye düşen yağış Miktarları Tablosu”, Karabük (2018)
79. İnternet: Amerikan Concrete Pavement Association, “Structural Design Software for Street and Road Concrete Pavements”, <http://www.acpa.org/streetpave/> (2014).
80. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, “Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar Birim Fiyat Analiz ve Tarifleri”, Ankara, 4-9 (2018).

ÖZGEÇMİŞ

İsmail YAĞTU 07.09.1988 yılında Adana'nın Seyhan İlçesinde doğdu. İlk ve Ortaokul öğrenimini Adana Kasım Sacide Ener İlköğretim Okulu'nda, Lise öğrenimini Adana Emine Nabi Menemenciğlu Lisesi'nde, Üniversite Eğitimini ise 2007-2011 yılları arasında, Karadeniz Teknik Üniversitesi; Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde tamamladı. 2012 yılında askerlik görevini Kuleli Askeri Lisesinde yaptıktan sonra 2013 yılının eylül ayında Karabük İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü'nde İnşaat Mühendisi olarak göreve başladı. Yaklaşık 1,5 yıl Karabük İl Özel İdaresi İnşaat ve Yatırım Hizmetleri Müdürlüğü'nde çalıştı. Evli ve bir çocuk babası olan İsmail YAĞTU, 2015 yılından bu yana Karabük İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü'nde görevine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü

Merkez/KARABÜK

Tel : (538) 962 2978

E-posta : ismailyagtu@gmail.com