

752982

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ESNEK VE RİJİT ÜSTYAPILARIN PERFORMANS
MALİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Bülent TATLI

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ

NİSAN 2004

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ESNEK ve RİJİT ÜSTYAPILARIN PERFORMANS MALİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Müh. Bülent TATLI

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ

Bu tez 12 / 04 / 2004 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ
Jüri Başkanı

Prof. Dr. Recep İLERİ
Jüri Üyesi

Y. Doç. Dr. Mansur SÜMER
Jüri Üyesi

ÖNSÖZ

Bu çalışma süresince her türlü yardım ve fedakarlığı sağlayan, bilgi ve tecrübeleri ile ışık tutan, çalışmanın yöneticisi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi kıymetli hocam sayın Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ'a,

Ayrıca, verdikleri moral ve gösterdikleri hoşgörüden ötürü Pro Yapı Proje İnşaat San. Tic. Ltd. Şti. çalışanlarına,

Tezimin hazırlanması sırasında sürekli yardımlarını gördüğüm, İnşaat Yüksek Mühendisi Erkan ULUĞTEKİN ve Endüstri Mühendisi sevgili eşim Ayça TATLI'ya,

Konuyla ilgili dökümanların temininde her türlü yardımı gösteren Türkiye Çimento Müstahsilleri, Türkiye Hazır Beton Birliği ve Karayolları Genel Müdürlüğü'ne,

Çalışmamda yardım ve katkılarından dolayı Karayolları Genel Müdürlüğünde görevli Hüseyin SANDALCI'ya,

Son olarak bu çalışmayı, yetiştirmemde emeği geçen ve benden maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen aileme ithaf ederim.

Bülent TATLI

Nisan 2004

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER LİSTESİ	v
KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
ESNEK ÜSTYAPILAR	3
2.1. Esnek Üstyapıların Genel Özellikleri	3
2.2. Esnek Üstyapı Tipleri	4
2.2.1. Kaplamasız esnek üstyapılar	5
2.2.2. Sathi kaplamalı esnek üstyapılar	5
2.2.3. Bitümlü karışım kaplamalı esnek üstyapılar	6
2.3. Esnek Üstyapı Dizayn Metodları	7
2.3.1. Genel bilgiler	7
2.3.2. Sathi kaplamalı üstyapıların projelendirilmesi	15
2.3.3. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı üstyapıların projelendirilmesi	16
BÖLÜM 3.	
RİJİT ÜSTYAPILAR	20
3.1. Rijit Üstyapıların Genel Özellikleri	20

3.2. Rijit Üstyapılarda Kullanılan Malzemeler	21
3.2.1. Beton Agregaları	22
3.3. Rijit Üstyapı Tipleri	23
3.3.1. Kalın plak kaplamalar	23
3.3.2. Lifli beton plak kaplamalar	24
3.3.3. Ön gerilmeli beton kaplamalar	25
3.3.4. Silindire sıkıştırılan beton (RCC) kaplamalar	26
3.3.5. Sürekli betonarme yol kaplamaları	39
3.4. Beton Kaplama Dizaynı	43
3.4.1. Genel özellikler	43
3.4.2. Beton kaplamalarda oluşan gerilmeler	44
3.4.2.1. Teker yüklerinden ötürü oluşan gerilmeler	47
3.4.2.2. Burulmadan ötürü oluşan gerilmeler	54

BÖLÜM 4.

ESNEK ve RİJİT ÜSTYAPILARIN KARŞILAŞTIRILMASI	61
4.1. Ülkemizde ve Dünyada Esnek ve Rijit Üstyapılar	61
4.2. Fiziksel Karşılaştırma	61
4.3. Ekonomik Karşılaştırma	64
4.4. Maliyet Analizi	69
4.4.1. Bu çalışmada izlenen yöntem	69
4.4.2. Üstyapı kalınlığı hesabı	70
4.4.3. Üstyapı maliyet hesapları	72
4.4.4. Donma indeksinin değerlendirilmesi	73
4.4.5. Çalışmada elde edilen sonuçların değerlendirilmesi	75

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR	117
KAYNAKLAR	121
ÖZGEÇMİŞ	122

SİMGELER LİSTESİ

$^{\circ} \text{C}$: Santigrad Derece
cm	: Santimetre
cm^2	: Santimetrekare
E	: Elastisite Modülü
EI	: Rijitlik
h	: Beton Kaplama Kalınlığı
k	: Zemin Yatak Katsayısı
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
km^2	: Kilometrekare
kPa	: Kilopaskal
l	: Relatif rijitlik Yarıçapı
lt	: Litre
m	: Metre
M	: Eğilme Momenti
m^2	: Metrekare
m^3	: Metreküp
mm	: Milimetre
mm^2	: Milimetrekare
MPa	: Megapaskal
p	: Zemin Reaksiyon Sayısı
Pa	: Paskal
P_t	: Son Servis Kabiliyeti
R	: Bölge Faktörü
r	: Trafik Artış Katsayısı
S_i	: Zemin Taşıma Değeri
SN	: Üstyapı Sayısı
$T_{8.2}$: 8.2 Ton Standart Dingil Yüğü Tekerrür Sayısı
t	: Proje Süresi
t_0	: İlk Yıl İçin Günlük Trafik Sayısı
t_p	: t Süresi İçin Ortalama Günlük Proje Trafik Sayısı
T_p	: Yoldan Proje Süresince geçecek Toplam Trafik Sayısı
t_t	: t Sene Sonraki Günlük Trafik Sayısı

- W_g : Ortalama Günlük (Tek yönde – tek Şeritte) Standart Dingil Sayısı
 Δ : Beton Plakanın Defleksiyonu
 μ : Poisson Oranı
 σ : Çekme Gerilmesi
 τ : Kayma Gerilmesi
 ε : Isıl Genleşme Katsayısı



KISALTMALAR LİSTESİ

- AASHTO : American Association of State Highway and Transportation Officials
ABD : Amerika Birleşik Devletleri
CBR : California Taşıma Oranı
FAA : Federal Aviation Administration
KGM : Karayolları Genel Müdürlüğü
PCA : Portland Cement Association
RCC : Roller Compacted Concrete (Silindirle Sıkıştırılabilen Beton)
TÇMB : Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
YOGATT : Yıllık Ortalama Günlük Ağır Taşıt Trafığı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Bitümlü sıcak karışım üstyapı tipi	7
Şekil 2.2.	Sathi kaplamalı esnek üstyapılar için projelendirme abağı	15
Şekil 2.3.	Esnek üstyapılar için projelendirme abağı (Pt=2.0)	17
Şekil 2.4.	Esnek üstyapılar için projelendirme abağı (Pt=2.5)	18
Şekil 3.1.	Beton elemanlarının hacimce ve ağırlıkça dağılımı	22
Şekil 3.2.	Kaplama maliyetlerinin karşılaştırılması	36
Şekil 3.3.	Beton asfalt ve beton yollarda durma mesafeleri	37
Şekil 3.4.	Beton asfalt ve beton kaplamalarda sıcaklığa bağlı olarak yakıt tüketimi	38
Şekil 3.5.	Beton asfalt ve beton kaplamalarda gece görüşü	38
Şekil 3.6.	CBR – K ilişkisi (PCA)	45
Şekil 3.7.	Beton plakda defleksiyon oluşumu	46
Şekil 3.8.	Isı farkının ötürü beton plakda oluşan şekil değiştirme	46
Şekil 3.9.	Beton plakda farklı gerilme yaratan teker yükleri	48
Şekil 3.10.	Beton plakda köşe yüklemesi	49
Şekil 3.11.	Z _i faktörleri (Hetenyi)	53
Şekil 3.12.	Isıdan dolayı beton plakda oluşan burulma	54
Şekil 3.13.	Burulma gerilmeleri katsayıları (Bradbury)	56
Şekil 3.14.	Granüler temel tabakasının zemin yatak katsayısı üzerindeki etkisi	60
Şekil 3.15.	Çimento stabilize temel tabakasının yatak katsayısı üzerindeki etkisi	60
Şekil 4.1.	Yol yapım maliyetleri karşılaştırması zayıf zemin CBR=%3	65
Şekil 4.2.	Yol yapım maliyetleri karşılaştırması güçlü zemin CBR=%10	67

Şekil 4.3.a	2 şerit gidiş – geliş yol tip enkesiti	75
.....b	Sathi kaplamalı yol üstyapı tipi	75
.....c	Bitümlü sıcak karışım kaplamalı yol üstyapı tipi	76
.....d	Beton kaplamalı yol üstyapı tipi	76
Şekil 4.4.	Esnek ve beton kaplamalı yolların trafik maliyet ilişkisi ...	77
Şekil 4.5.	Esnek ve beton kaplamalı yolların CBR maliyet ilişkisi	79
Şekil 4.6.	Esnek ve rijit üstyapının donma indeksi (DI) – maliyet ilişkisi (zemin grubu: F ₂ , F ₃ ; CBR %3)	81
Şekil 4.7.	Esnek ve rijit üstyapının donma indeksi (DI) – maliyet ilişkisi (zemin grubu: F ₂ , F ₃ ; CBR %10)	83
Şekil 4.8.	Esnek ve rijit üstyapının donma indeksi (DI) – maliyet ilişkisi (zemin grubu: F ₂ , F ₃ ; CBR %20)	85
Şekil 4.9.	Esnek ve rijit üstyapının donma indeksi (DI) – maliyet ilişkisi (zemin grubu: F ₄ ; CBR %3)	87
Şekil 4.10.	Esnek ve rijit üstyapının donma indeksi (DI) – maliyet ilişkisi (zemin grubu: F ₄ ; CBR %10)	89
Şekil 4.11.	Esnek ve rijit üstyapının donma indeksi (DI) – maliyet ilişkisi (zemin grubu: F ₄ ; CBR %20)	91

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Satıl cinsine göre yol ağı (Km) 01.01.2003 tarihi itibariyle	4
Tablo 2.2.	Servis kabiliyeti (Pt)'nin tayini	8
Tablo 2.3.	Taşıt eşdeğerlik faktörleri	12
Tablo 2.4.	Dingil eşdeğerlik faktörleri	14
Tablo 2.5.	Asfalt betonu yollarda uygulanacak üstyapı kompozisyonu	18
Tablo 3.1.	ABD'nin çeşitli eyaletlerindeki yol kaplamalarının servis ömrü açısından karşılaştırılması- (Servis Ömrü -Yıl)	20
Tablo 3.2.	Beton liflerin özellikleri	24
Tablo 3.3.	Agrega ve bağlayıcı karışımının gradasyon sınırları	28
Tablo 3.4.	İşin cinsine göre minimum işlenebilirlik süreleri	29
Tablo 3.5.	Geleneksel beton ve rcc kaplamalar için hazırlanmış karışım tasarımı örneği	31
Tablo 3.6.	İspanya'da trafik yüküne göre standartlaşmış kaplama kalınlıkları	32
Tablo 3.7.	Örnek bir beton bileşimi ve özellikleri	43
Tablo 4.1.	Yol ilk yapım maliyetleri karşılaştırması zayıf zemin (CBR: %3)	67
Tablo 4.2.	Yol ilk yapım maliyetleri karşılaştırması güçlü zemin (CBR: %10)	68
Tablo 4.3.	Esnek ve beton kaplamalı yolların farklı parametrelere göre tabaka kalınlıkları ve bazı kabullere göre maliyetleri	71
Tablo 4.4.	Farklı parametrelere göre don tesiri altında F_2 ve F_3 zemin grubunda rijit ve esnek üstyapının ilave alttemel kalınlıkları ve ilave alttemel işlenmiş haldeki maliyetleri (Milyar TL)	73

Tablo 4.5.	Farklı parametrelere göre don tesiri altında F ₄ zemin grubunda rijit ve esnek üstyapının ilave alttemel kalınlıkları ve ilave alttemel işlenmiş haldeki maliyetleri (Milyar TL)	74
Tablo 4.6.	Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 15cm plentmiks temel 20cm dozaj 400 BS30) ..	92
Tablo 4.7.	Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 18cm plentmiks temel 20cm dozaj 450 BS35) ..	93
Tablo 4.8.	Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 19cm plentmiks temel 20cm dozaj 450 BS35) ..	94
Tablo 4.9.	Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 21cm plentmiks temel 20cm dozaj 450 BS35) ..	95
Tablo 4.10.	Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 22cm plentmiks temel 20cm dozaj 450 BS35) ..	96
Tablo 4.11.	Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 23cm plentmiks temel 20cm dozaj 450 BS35) ..	97
Tablo 4.12.	Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 24cm plentmiks temel 20cm dozaj 450 BS35) ..	98
Tablo 4.13.	Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 25cm plentmiks temel 20cm dozaj 500 BS40) ..	99
Tablo 4.14.	Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 26cm plentmiks temel 20cm dozaj 500 BS40) ..	100
Tablo 4.15.	Tek kat sathi kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (T _{8,2} =0.5x10 ⁶ CBR= %3 Pt=2)	101
Tablo 4.16.	Tek kat sathi kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (T _{8,2} =0.5x10 ⁶ CBR= %10 Pt=2)	101
Tablo 4.17.	Tek kat sathi kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (T _{8,2} =0.5x10 ⁶ CBR= %20 Pt=2)	102
Tablo 4.18.	Çift kat sathi kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (T _{8,2} =1.0x10 ⁶ CBR= %3 Pt=2)	102

Tablo 4.19.	Çift kat sathi kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=1.0 \times 10^6$ CBR= %10 Pt=2)	103
Tablo 4.20.	Çift kat sathi kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=1.0 \times 10^6$ CBR= %20 Pt=2)	103
Tablo 4.21.	Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=5.0 \times 10^6$ CBR= %3 Pt=2.5)	104
Tablo 4.22.	Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=5.0 \times 10^6$ CBR= %10 Pt=2.5)	105
Tablo 4.23.	Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=5.0 \times 10^6$ CBR= %20 Pt=2.5)	106
Tablo 4.24.	Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=10.0 \times 10^6$ CBR= %3 Pt=2.5)	107
Tablo 4.25.	Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=10.0 \times 10^6$ CBR= %10 Pt=2.5)	108
Tablo 4.26.	Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=10.0 \times 10^6$ CBR= %20 Pt=2.5)	109
Tablo 4.27.	Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=20.0 \times 10^6$ CBR= %3 Pt=2.5)	110
Tablo 4.28.	Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=20.0 \times 10^6$ CBR= %10 Pt=2.5)	111
Tablo 4.29.	Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=20.0 \times 10^6$ CBR= %20 Pt=2.5)	112
Tablo 4.30.	Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=50.0 \times 10^6$ CBR= %3 Pt=2.5)	113
Tablo 4.31.	Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=50.0 \times 10^6$ CBR= %10 Pt=2.5)	114
Tablo 4.32.	Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=50.0 \times 10^6$ CBR= %20 Pt=2.5)	115
Tablo 4.33.	Farklı trafik ve taban zeminin taşıma gücü (CBR) değerlerine göre üstyapı maliyet oranları	116

ÖZET

Anahtar Kelimeler : Beton yol, esnek üstyapı, rijit üstyapı

Teknolojik ve bilimsel gelişmelerin hızlı yaşandığı dünyada, malesef ülkemiz bu gelişmelerin gerisinde kalmıştır. Yapılması gereken gelişmiş ülkelerin seviyesine ulaşmaktır. Bunun içinde ekonominin güçlü olması gerekmektedir. Ülke ekonomisinin güçlü olması ve dünya piyasalarıyla rekabet edebilir düzeye gelmesi için, sanayide gerekli olan hammadde ve mamullerin zamanında üretici ve tüketiciye ulaşması gerekir.

Ulaşım ağında yapılacak her türlü proje ve yatırım ülke sanayisinin güçlenmesinde önemli bir rol oynayacaktır. Ekonomik olarak zayıf olan ülkemizde, yapılacak yolların standartlar açısından iyi olmalı ve optimum maliyetle yapılması gerekmektedir. Unutulmaması gereken bir konuda beton yol seçeneğidir.

Bu tezde karayolu üstyapı tipleri hakkında bilgi verilerek, üstyapı alternatiflerinden biri olan rijit üstyapı ve esnek üstyapı arasında performans maliyetleri karşılaştırması yapılmıştır.

THE COMPARISON OF THE PERFORMANCE COSTS OF FLEXIBLE PAVEMENTS AND RIGID PAVEMENTS

SUMMARY

Keywords: concrete road, flexible pavements, rigid pavements

In the world the technological and scientific developments are too fast, unfortunately our country remains behind from these developments. To catch the level of the developed countries, our country must have a strong economy. To have a strong economy and to reach a competitive level in the world market, the required raw material and products for industry, must reach to the producer and consumer on time.

All kinds of projects and investments on transportation network will play an important role in reinforcement of country's industry. In our country which has a weak economy, the roads must be constructed in high standards with optimum cost. Another issue not to be forgotten is concrete roads.

In this thesis, information about types of road pavements has been given. On the other hand; performance - cost comparison has been done between rigid pavements and flexible pavements which are alternatives of road pavement.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bir ülkenin bağımsızlığının ve demokratik yapısının güvencesinin, ekonomisinin iyi olmasıyla doğru orantılı olduğu, ekonomik olarak bağımsız olmayan bir ülkenin bağımsızlığından söz etmenin zorluğu herkes tarafından bilinen bir gerçektir. Ekonomik olarak bağımsız olmanın yolu ise güçlü bir üretim gücü ve buna bağlı olarak sanayinin güçlü olmasından geçmektedir. Dünya piyasasındaki büyük rekabet ortamında, ülke sanayinin gelişmesi ve rekabet edebilir düzeyde üretim yapabilmesi için hammaddelerin ve ürünlerin zamanında ve düzgün olarak gereken yerlere ulaşması, hem üretim kalitesini yükselteceğinden hem de masrafları azaltacağından, ülkenin ulaşım ağının yeterli düzeyde ve standartta olması ekonomik bağımsızlık hedefinin önemli etmenlerinden biridir.

Zengin yeraltı ve yerüstü kaynaklarına sahip olmasına rağmen ekonomik olarak zayıf durumda ve dışa bağımlı olan ülkemizde, atılacak en önemli adımlardan biri de ulaşım ağına gereken önemi vermek olacaktır. Ulaşım ağının bir parçası olan karayolları, artan ağır taşıt trafiği ve nüfusuna oranla yetersiz düzeydedir. Ekonominin zayıf olması ve kaynak sıkıntısından dolayı yapılacak yollarda, üstyapı standartları ve maliyetler açısından optimum şartlar sağlanmalıdır.

İki tip karayolu üstyapısı bulunmaktadır. Bunlar; esnek üstyapı ve rijit üstyapıdır.

Ülkemizde 1950'li yıllarda başlatılmış olan karayolu ağlarının yaygınlaştırılmasında kullanılan projelendirme ve yapım teknikleri çoğunlukla esnek üstyapıları esas alarak yapılmıştır. Oysa esnek üstyapılarda kullanılan petrol ürünü olan bitüm konusunda ülkemiz dışa bağımlıdır.

19.yüzyılın sonlarından beri dünyada yaygın olarak kullanılmaya başlanan beton yollar alternatifi ülkemizde her türlü kaynağın bulunmasına rağmen yeterince değerlendirilmemiştir.

1973 yılında petrol fiyatlarındaki ani artış nedeniyle asfalt betonu birim fiyatında bitümün payı %30'a yükselmiş, 1976'da bu oran %45'e çıkmış, böylece asfalt hammadde maliyeti açısından sahip olduğu üstünlüğü yitirmeye başlamıştır. Ülkemizde 5 tane rafineri bulunmaktadır. Bu rafinerilerden kaliteli bitüm temini giderek güçleştiği gibi bunun nakliyesi de sorun olmaya başlamıştır.

Günümüzde kaliteli bina imalatı için yaygınlaşmakta olan hazır beton tesisleri, yol yapımında beton üstyapı tercih edildiğinde malzeme temini açısından büyük avantaj ve ekonomiklik sağlayacaktır.



BÖLÜM 2. ESNEK ÜSTYAPILAR

2.1. Esnek Üstyapıların Genel Özellikleri

Esnek yol üstyapıları; üzerinden geçmesi planlanan taşıt trafiği için gerekli performansa ve taşıtların yarattığı gerilmelere karşı uzun vadede yeterince stabiliteye sahip olacak şekilde dizayn edilmiş, farklı özellikleri olan farklı tabakalardan yapılan çok tabakalı yapılardır.

Esnek üstyapıların performansı ve stabilitesi;

- Sürüş emniyeti için yeterince kayma direncine sahip,
- Trafik yüklerinin yarattığı gerilmelerden ötürü kalıcı deformasyonlara karşı dirençli,
- Kaplama üzerindeki yüzeysel suların temele ve zemine sızmayacak şekilde geçirimsiz,
- Trafik yüklerini zeminin taşıma gücünü aşmayacak şekilde yapılabilecek kalınlık ve mukavemete sahip,
- Trafik, çevre ve iklimsel şartların aşındırmasına karşı yeterince dirençli (durabil),
- Sürüş konforu için pürüzsüz ve düzgün yüzeylere sahip,

olması gibi kriterlere bağlıdır.

Her şeye rağmen akışkan bir malzeme olan asfaltın, özellikle sıcaklığa ve yükleme hızına bağlı olan davranış şekli, yüksek dingil yükleri ve düşük hızlarda istenmeyen sonuçlara yol açmaktadır. Termoplastik ve sünek bir malzeme olan asfaltın davranışı, bileşeni olduğu asfalt betonu davranışına da aynı şekilde yansımaktadır. Bunun sonucu olarak asfalt

betonu yada sathi kaplamalı esnek üstyapılarda, yüksek dingil yükleri ile düşük hızlar, yani yüksek yükleme zamanlarının bir araya geldiği tırmanma şeridi gibi yol kesimlerinde teker izi, ondülasyon ve benzeri deformasyonlar oluşmaktadır. Esnek üstyapılardaki sıcaklık artışına ve yükleme zamanına bağlı sünme davranışı nedeniyle bu istenmeyen sonuç kaçınılmaz ve çok yaygın şekilde gözlenmektedir. [1]

2.2. Esnek Üstyapı Tipleri

Esnek üstyapılar; düşük standartlı kaplamalar (yüzeysel veya koruyucu tabakalar) ve yüksek standartlı kaplamalar (bitümlü sıcak karışımlar) olmak üzere iki ayrı kalitede yapılırlar. Düşük standartlı kaplamalar, trafik hacminin düşük olduğu (genel olarak günlük ağır taşıt trafiğinin 500 den az olan veya 8.2 ton standart dingil yükünün 20 yıldaki tekerrür sayısı 2 milyondan az olan) yollarda ekonomik olup yeterli performansı sağlayabilmektedir. Ancak yüksek standartlı karayolu ve otoyollarında ise bitümlü sıcak karışımlara sahip tabakalar ile yapılması gerekir.

Ülkemiz karayolları ağının tamamı, Tablo 2.1.'de de görüldüğü gibi, esnek kaplama ve üstyapı tipinde imal edilmiştir. Bu esnek üstyapılar ve genel özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

Tablo 2.1. Sath cinsine göre yol ağı (km) 01.01.2003 tarihi itibarıyla

	Asfalt Betonu	Sathi Kaplama	Stabilize	Parke	Toprak	Geçit Vermez	Toplam
Otoyol	1 851	-	-	-	-	-	1 851
Devlet Yolları	6 082	24 669	302	42	61	162	31 318
İl Yolları	795	25 274	2 303	84	964	630	30 050
Toplam	8 728	49 943	2 605	126	1 025	792	63 219

2.2.1. Kaplamasız esnek üstyapılar

Ülkemizde halen, özellikle önem derecesi ve trafik yükü düşük olan yollarda temel - alttemel tabakalarının teşkil edilmesinden ve sıkıştırılmasından sonra herhangi bir aşınma tabakası serilemeden trafiğe açılan yollar bulunmaktadır. Son yıllarda başlatılmış olan, yolların iyileştirilmesine yönelik hamlede bu yolların büyük kısmı iyileştirilmiş ve kaplanmış ise de Karayolları Genel Müdürlüğü 2003 verilerine göre halen 5000 kilometre civarında bir yol kesimi kaplamasız esnek üstyapı ile oluşturulmuş ve kullanılmaktadır. Bu, ülkemiz toplam karayolu ağının yaklaşık 12'de birinin stabilize yol olduğu anlamına gelmektedir.

Doğal olarak bu yolların granüler tabakalarının sudan korunmaları mümkün olmamakta, suyun granüler tabakalardan doğal zemine sızması durumu ortaya çıkabilmekte, sağlam olmayan doğal zemin, üstyapıdan kendisine iletilen yükleri taşıyamamakta, bu sebeple yüzey bozulmaları oldukça çabuk oluşmakta ve ömürleri kaplamalı yollara göre çok kısa olmaktadır.

2.2.2. Sathi kaplamalı esnek üstyapılar

Sathi kaplamalar; düşük standartlı yollarda kullanılan bir kaplama türü olduğu için, gözönüne alınan proje süresi içinde, üzerinden geçeceği hesaplanan toplam 8.2 ton standart dingil yükü 100.000'den fazla ve 2 milyondan az olmalıdır. Karayolları Genel Müdürlüğü yol yapım ve projelendirme uygulamalarında toplam standart dingil yükü sayısı 100.000 – 500.000 aralığında ise, tek kat ve 500.000 – 2.000.000 arasında ise, çift kat sathi kaplama yapılmaktadır.

Yapılan hesaplamalarda, standart dingil yükünün 2.000.000'u geçtiği bazı kısımlarda yolun ömrünün kısılalacağı bilinmesine rağmen, çift kat sathi kaplama kullanıldığı durumlar bulunmaktadır. Bu durumda genel uygulama, esnek üstyapıların alt tabakaları olan temel ve alttemel tabakalarının kalınlıklarının bir miktar artırılmasıdır.

Karayolları Genel Müdürlüğü 2003 verilerine göre, ülkemizde halen kullanılmakta olan yaklaşık 50.000 kilometrelik bir yol kesimi sathi kaplama ile oluşturulmuş durumdadır.

Bu, ülkemiz toplam karayolu ağının yaklaşık %80'inin sathi kaplama yol olduğu anlamına gelmektedir.

Sathi kaplama, yüksek sürtünme katsayısıyla özellikle frenleme mesafelerinde iyileşme sağladığından, yüksek eğimli yollarda tercih edilmektedir. Ancak; bu tip aşınma tabakasının drenaj özelliği oldukça düşük olduğundan üzerinde su birikmesi, gerek trafik güvenliği gerekse yapının uzun vadedeki durabilitesi açısından sakıncalar yaratmaktadır.

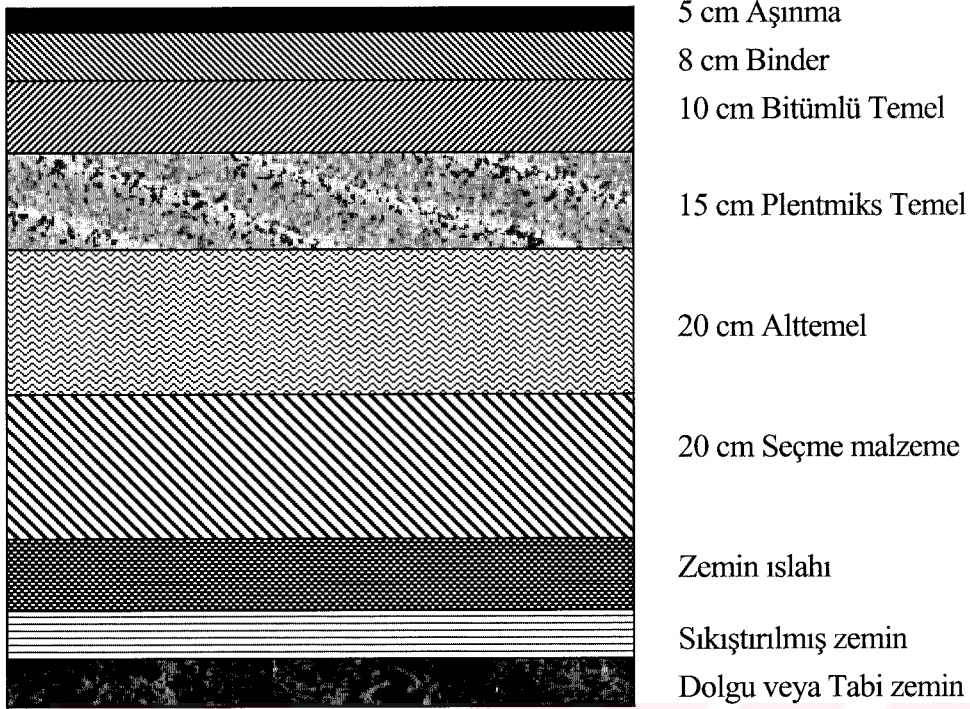
2.2.3. Bitümlü karışım kaplamalı esnek üstyapılar

Bitümlü sıcak karışımlar, bir asfalt plentinde agrega ile asfalt bağlayıcının sıcak olarak karıştırılıp yola nakledildikten sonra sıcak olarak sıkıştırılmalarına veya sıvı asfaltlar (katbek veya emülsiyon) ile soğuk olarak, harekeli bir plentde veya sabit bir plentde karıştırılıp yolda sıkıştırılmış olmalarına göre iki farklı şekilde imal edilir.

Ülkemizde bitümlü sıcak karışımlar yaygın olarak kullanılmakta olup, kullanımları her geçen gün artmaktadır. Bitümlü sıcak karışımlar hem asfalt bağlayıcının hem de agreganın uygun ısıya kadar ısıtılıp uygun oranlarda plentde karışımı ile elde edilmektedir. Bu tip kaplamalar, yüksek standartlı yolların esnek kaplamalarının üst tabakalarında kullanılmaktadır.

Ülkemizde çok yaygın olarak kullanılmayan soğuk bitümlü karışımlar ise, genel olarak havanın soğuk olduğu mevsimlerde acil onarım işlerinde, asfalt plentinin olmadığı veya plent kurmanın ekonomik olmadığı durumlarda, çok küçük miktarlarda bitümlü karışım gereken yerlerde kullanılmaktadır. Bitümlü soğuk karışımlar hem pahalı, hem de düşük stabiliteli karışımlar olduklarından, yaygın olarak kullanılmamaktadırlar.

Şekil 2.1.'de tipik bir esnek üstyapı kesiti verilmiştir. Tabakalar, 5 cm olarak verilmiş olan aşınma tabakasının sathi kaplama ya da beton asfalt olmasından bağımsız olarak, hemen hemen tüm esnek üstyapılı yol tip kesitlerinde kullanılan standart tabakalardır.



Şekil 2.1. Bitümlü sıcak karışım üstyapı tipi

Bu tabakalar, ilerleyen bölümlerde anlatılacağı gibi teker yüklerinin tabii zemine ulaşana dek yayılması ve tabanda oluşacak gerilmelerin zemin dayanım değerlerini aşmayacak seviyelere inmesi için gereklidir.

2.3. Esnek Üstyapı Dizayn Metodları

2.3.1 Genel bilgiler

Yol gövdesi altyapı ve üstyapı olmak üzere iki kısımdan oluşur. Altyapı yarma ve dolgulardan oluşur. Üstyapı ise trafik yüklerini altyapıya (taban zeminine) dağıtan tabakalı (kaplama, temel ve alttemel tabakaları) bir yapıdır.

Bir üstyapı yapılmadan önce altyapı, üstyapıya istenen bir destek sağlayacak şekilde şartnamelere uygun olarak hazırlanır. Üstyapının performansı taban zeminin fiziksel özellikleri ve durumu ile doğrudan ilintilidir.

Yol üstyapısı, trafik yüklerinin ve doğal şartların etkisi altındadır. Trafik yükleri, taşıtların hareketleri sırasında radyal çekme ve basınç gerilmeleri ile düşey basınç gerilmeleri oluşturur. Gerilmelerin şiddeti ve mertebesi, dingil yüklerinin tekerrürü ile doğrudan orantılıdır.

Servis kabiliyeti:

Üstyapının belirli bir gözlem anında yeterli bir taşıma ve sürüş kalitesi sağlama kabiliyetidir. Üstyapının servis kabiliyeti ile dingil yükleri tekerrür sayıları ve üstyapıyı temsil eden üstyapı sayısı (SN) arasında kurulan bir bağıntı üstyapının boyutlandırılmasını mümkün kılar.

Üstyapının servis kabiliyetinde azalmaya neden olan trafik yüklerinin etkisi ve bunların tekerrürü, 8.2 ton ($T_{8.2}$) standart dingil yükü cinsinden belirtilir. Bu nedenle karayolu üzerinde seyreden çeşitli ağırlıktaki trafik yükleri her dingil grubu için belirlenen dingil eşdeğerlik faktörleri yardımı ile $T_{8.2}$ standart dingil yükü sayısına çevrilir.

Taban zeminin taşıma gücü üstyapı kalınlıklarını etkileyen önemli bir faktördür. AASHTO metodunda zemin taşıma gücü, zemin taşıma değeri (S_i) ile belirlenmektedir. Bu değer 3 ile 10 arasında değişmektedir.

İklim ve çevre koşulları, üstyapı kalınlıklarının hesaplanmasında dikkate alınan başka bir husustur. İklim ve çevre koşullarının etkisi, Bölge faktörü (R) ile belirlenmiştir,

Üstyapının proje süresi sonunda ulaşması gereken hizmet kabiliyeti, son servis kabiliyeti (P_t) ile tanımlanır. Bu değer yolun önemine göre 2.0, 2.5 veya 3.0 alınır.

Tablo 2.2. Servis kabiliyeti (P_t)'nin tayini

Yol Sınıfı	P_t
Otoyollar, Devlet Yolları	2.5
İl Yolları	2.0

Analiz süresi:

İlk inşaat ve ileride yapılacak takviye dahil olmak üzere, değişik projelendirmelerin ekonomik karşılaştırmalarının yapıldığı zaman süresi (analiz süresi, proje süresi ile karıştırılmamalıdır.)

Asfalt betonu:

Kaba agregası, ince agregası, filler ve asfalt çimentosunun belirli bir gradasyonu sağlayacak şekilde uygun bir oranda karışımından ve iyice sıkıştırılmasından elde edilen kaplama türü.

Asfalt yüzey tabakası (Aşınma tabakası):

Asfalt betonu kaplamanın en üst tabakası.

Bölge faktörü (R):

Üstyapı sayısını (SN) iklim ve çevre koşullarına uydurmak için kullanılan sayısal bir faktördür.

Çevre ve iklim koşulları, üstyapı projelendirmesinde dikkate alınan önemli bir konudur. Bu koşulların, üstyapının davranışını ve performansını oldukça etkilediği, yapılan araştırmaların sonucu olarak açık bir şekilde belirlenmiştir.

AASHTO yol deneyinin yapıldığı bölge yıllık ortalama yağışı 860 mm, ortalama yaz sıcaklığı 24° C, ortalama kış sıcaklığı -3° C olan ılıman bir iklime sahiptir. Zemin, kışın genellikle, yüzeyde donma – çözülme olaylarına uğrayan, donmuş bir tabaka halinde bulunur. Normal olarak don derinliği 70 cm civarındadır.

Çevre ve iklim şartlarını temsil etmek üzere AASHTO projelendirme denklemine, yol deneyinin yapıldığı bölgeden farklı olan yerlerdeki üstyapının projelendirilmesi sağlamak için, bölge faktörü parametresi dahil edilmiştir. Bölge faktörünü doğrudan doğruya tayin etmek için bir metot yoktur. AASHTO yol deneyinin yapıldığı çevre ve iklim şartlarında

bölge faktörü, ortalama olarak 1.0 kabul edildiğinden $R=1.0$ değerinin alınması uygun olacaktır. [2]

CBR (California taşıma oranı):

Temel, alttemel ve taban zeminin taşıma gücünü belirleyen deney ve deney sonucu hesaplanan % cinsinden değer.

Eşdeğer dingil yükü, standart dingil sayısı, (EDY):

Değişik ağırlıktaki ve sayıdaki dingil yüklerinin bir üstyapıda yarattığı toplam etkiye eşdeğer bir etki yaratan 8.2 ton dingil yükünün tekerrür sayısı.

Hizmet kabiliyeti (Servis kabiliyeti):

Bir üstyapının belirli bir gözleme anında yüksek hız ve hacimdeki otomobil ve ağır taşıt trafiğine hizmet edebilme kabiliyeti (Hizmet Kabiliyeti derecesi AASHTO'ya göre 5 ile 0 arasındaki bir sayı ile tanımlanır).

Proje EDY değeri:

Yolun proje süresi içinde tek yönde geçmesi beklenen toplam eşdeğer $T_{8.2}$ standart dingil yükü tekerrür sayısı

Temel:

Alttemel üzerine hesaplanan bir kalınlıkta inşa edilen, belirli fiziksel özelliklere sahip tabaka veya tabakalar, temel tabakasının kaplamayı taşımak, gerilmeleri yaymak, iyi bir drenaj temin etmek ve don etkisini azaltmak gibi fonksiyonları vardır.

Alttemel:

Üstyapı temel tabakasını taşımak üzere taban zemini üzerine yerleştirilen, belirli fiziksel özelliklere sahip granüler malzemeden oluşmuş üstyapı tabakasıdır.

Üstyapı sayısı (SN):

Trafik, taban zemini koşulları, bölge faktörü ve son servis kabiliyetini analizinden elde edilen ve üstyapının her bir tabakasında kullanılmakta olan malzeme tipine uygun tabaka katsayılarının kullanılması suretiyle, esnek üstyapı tabakalarının kalınlığına dönüştürülen sayı.

Üstyapı davranışı:

Trafik yüklerinin tekerrürü sonucu üstyapının hizmet kabiliyetindeki değişim.

Zemin taşıma değeri (S_i):

Esnek üstyapı aracılığı ile aktarılan trafik yüklerini taşıyacak olan üstyapı tabanının izafi taşıma kabiliyetini belirten ve deney sonucu bulunan (CBR gibi) taşıma değerleri ile korelasyonu sonucu kullanılan 3 ile 10 arasında değişen sayısal değer.

Ağır taşıt trafiği:

Karayolları üzerinde seyreden otobüs, kamyon ve treyler taşıtlarının toplamı (Toplam yüklü ağırlığı 3.5 tondan fazla olan taşıtlar bu sınıfa girmektedir).

Dingil eşdeğerlik faktörü ($T_{8.2}$):

Belirli bir dingil yükünün bir üstyapıya yaptığı etkiye (zarar faktörü) eşit bir etki yaratan standart dingil yükü (8.2 ton) tekerrür sayısı.

Tablo 2.3. Taşıt eşdeğerlik faktörleri

Taşıt Grubu	Taşıt Eşdeğerlik Faktörleri
Treyler	4.40
Kamyon	2.80
Otobüs	3.90
Otomobil	0.0006

Taşıt eşdeğerlik faktörü:

Otomobil, otobüs, kamyon ve treyler cinsinden bir taşıtın her bir geçişinin üstyapıya verdiği zarara eşit bir etki yaratan standart dingil yükü tekrür sayısı.

Trafik analizi:

İlk yıl için günlük trafik (t_0) ve trafik artış katsayısı (r) belli ise t sene sonraki günlük trafik

$$t_t = t_0(1+r)^t \quad (2.1)$$

İlk yıl için günlük trafik (t_0) ve son yıl için günlük trafik (t_t) belirlendikten sonra t süresi için ortalama günlük proje trafiği (t_p):

$$t_p = 0.4343 \frac{t_t - t_0}{\log \frac{t_t}{t_0}} \quad (2.2)$$

Yoldan proje süresince geçecek toplam trafik (T_p)

$$T_p = t_p \times 365 \times t \quad (2.3)$$

Dingil eşdeğerlilik faktörleri:

Tek, tandem ve tridem dingil yüklerini, $T_{8.2}$ sayısına dönüştürmek için aşağıdaki hasar formülleri kullanılmaktadır.

$$T_{8.2} = \left(\frac{P_{ton}}{8.2_{ton}} \right)^4 \quad \text{Tek dingil için} \quad (2.4)$$

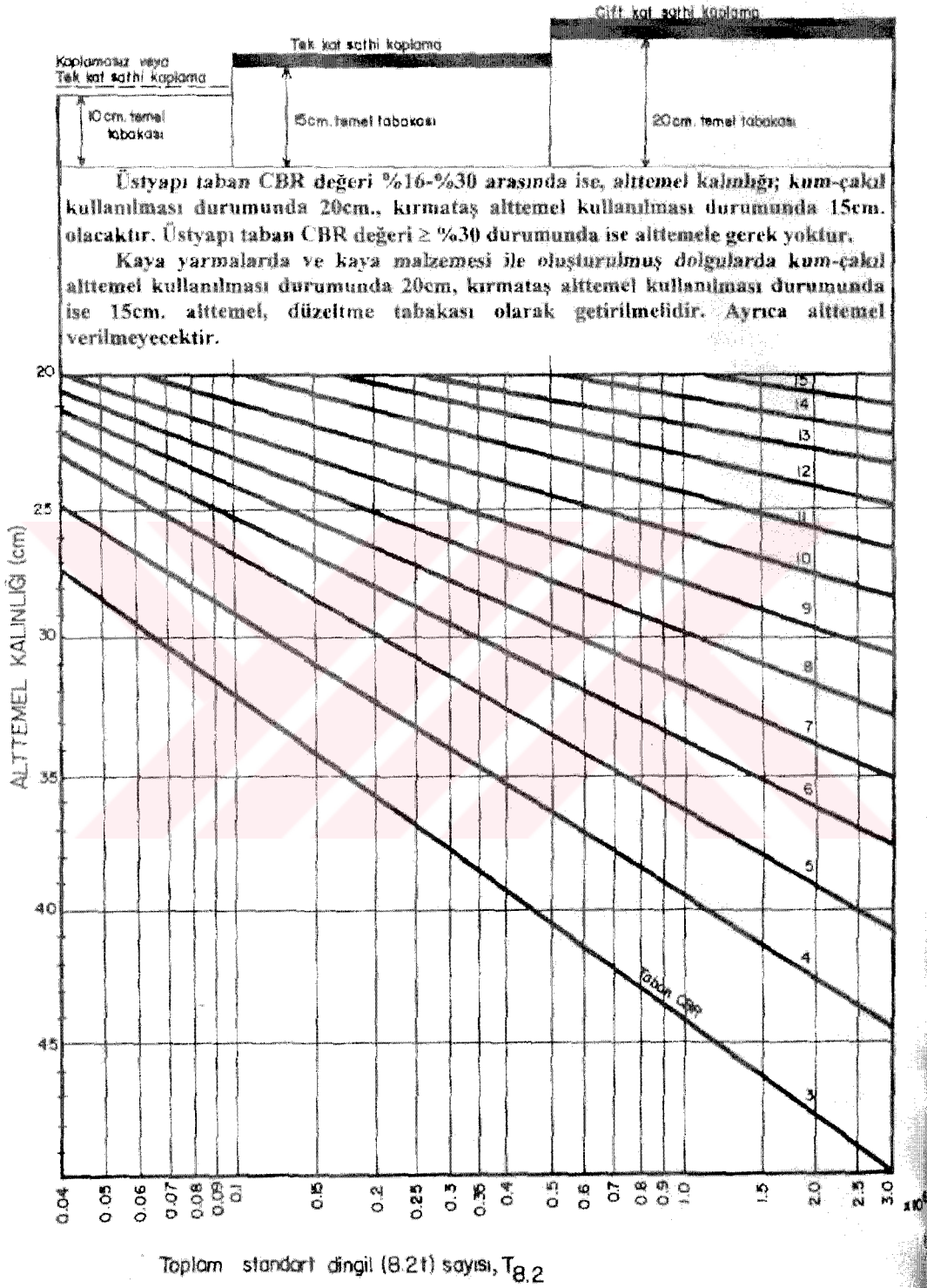
$$T_{8.2} = \left(\frac{P_{ton}}{15.322_{ton}} \right)^{4.1} \quad \text{Tandem dingil için} \quad (2.5)$$

$$T_{8.2} = \left(\frac{P_{ton}}{21.805_{ton}} \right)^{3.9} \quad \text{Tridem dingil için} \quad (2.6)$$

Tablo 2.4. Dingil eşdeğerlik faktörleri

Dingil Yüğü (ton)	Tek Dingil Eşdeğerlik Faktörü	Tandem Dingil Eşdeğerlik Faktörü	Tridem Dingil Eşdeğerlik Faktörü
1	0.0002	0.000014	0.000006
2	0.004	0.0002	0.00009
3	0.02	0.0012	0.0004
4	0.06	0.004	0.0013
5	0.14	0.01	0.003
6	0.29	0.02	0.007
7	0.53	0.04	0.01
8	0.91	0.07	0.02
9	1.45	0.11	0.03
10	2.21	0.17	0.05
11	3.24	0.26	0.07
12	4.59	0.37	0.10
13	6.32	0.51	0.13
14		0.69	0.18
15		0.92	0.23
16		1.19	0.30
17		1.53	0.38
18		1.94	0.47
19		2.42	0.58
20		2.98	0.71
21			0.86
22			1.04
23			1.23
24			1.45
25			1.70

2.3.2. Sathi kaplamalı üstyapıların projelendirilmesi



Şekil 2.2. Sathi kaplamalı esnek üstyapılar için projelendirme abağı

Sathi kaplamalı üstyapılar, taban CBR değeri ve yolun proje çmrü boyunca geçecek toplam standart dingil sayısına göre projelendirilmelidir. Sathi kaplamalı üstyapıların tabaka kalınlıkları şekil 2.2.'deki abak yardımı ile bulunur.

Toplam standart dingil sayısı

$$T_{8.2} = W_g \times 365 \times t \quad (2.7)$$

formülü ile bulunur. Burada;

W_g Ortalama günlük (tek yönde - tek şeritte) standart dingil sayısı

t Proje süresi

olarak alınacaktır.

2.3.3. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı üstyapıların projelendirilmesi

Burada verilen projelendirme metodunda üstyapı tabaka kalınlıkları, servis kabiliyeti – üstyapı davranışı ilişkisine dayanan AASHTO yol deneyi sonucunda geliştirilen formülün çözümü ile bulunur. AASHTO yol deneyi sonucunda 2.8. nolu formül geliştirilmiştir.

$$\text{Log}T_{8.2} = 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{G_t}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + \log \frac{1}{R} + 0.372(S_i - 3.0) \quad (2.8)$$

$$G_t = \log \left(\frac{4.2 - P_t}{4.2 - 1.5} \right) \quad (2.9)$$

Bu formülde

P_t Son servis kabiliyeti

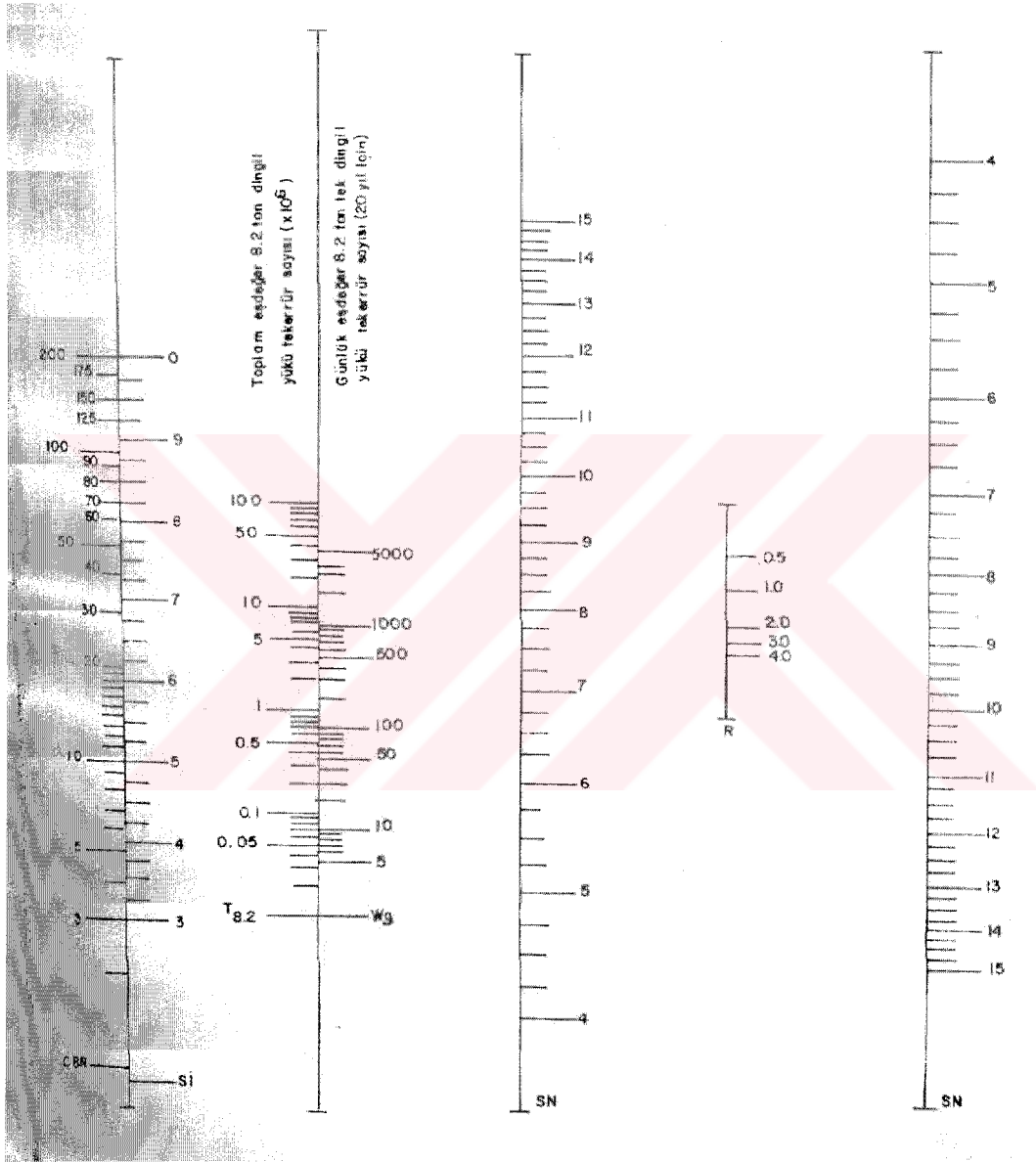
$T_{8.2}$ P_t 'ye erişinceye kadar tekerrür edecek (8.2 ton) standart dingil sayısı

SN Üstyapı sayısı (inç)

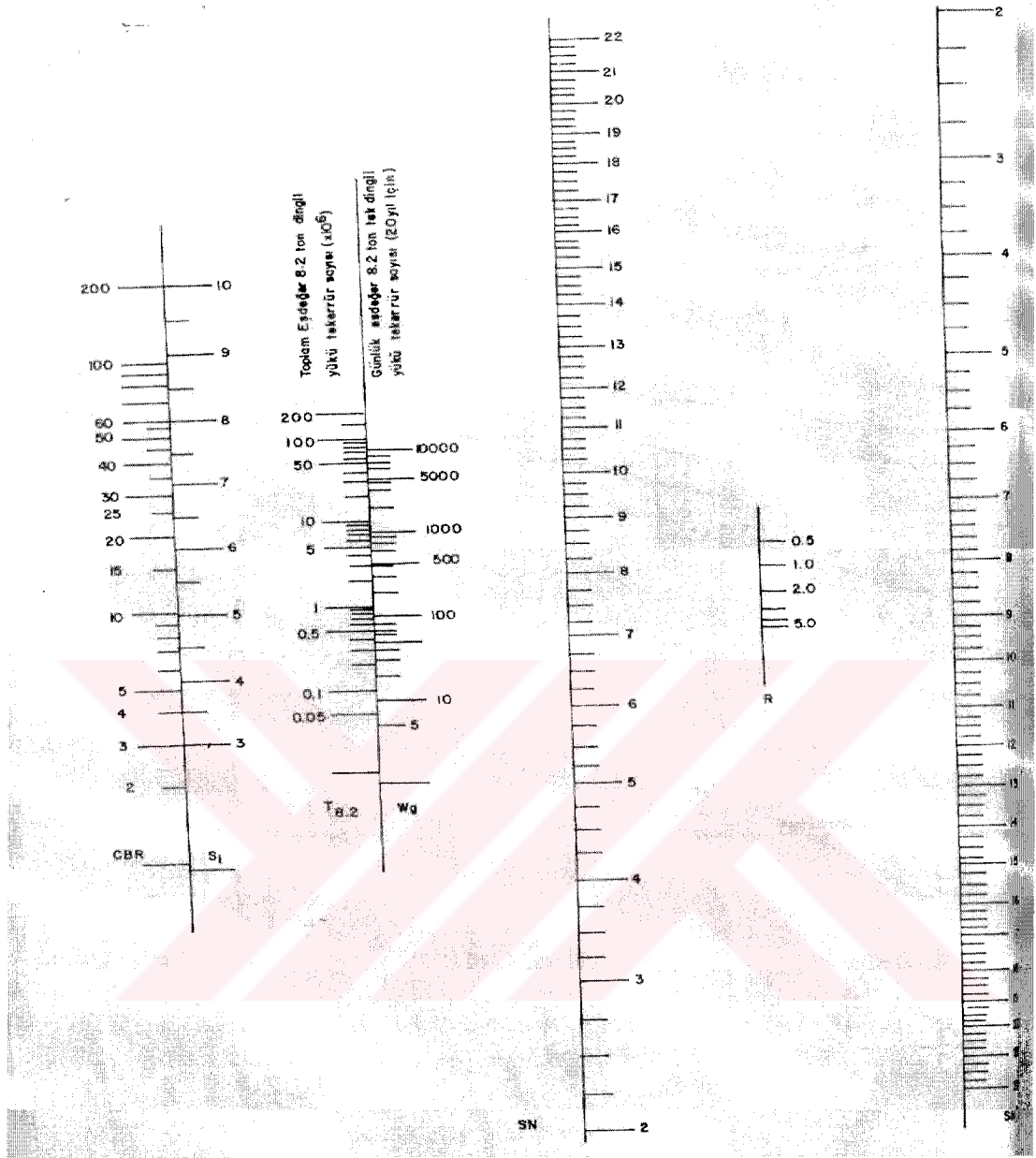
R Bölge faktörü

S_i Zemin taşıma değeridir.

Bizim çalışmamızda K.G.M.'nin kullanmış olduğu Tablo 2.5. asfalt betonu yollarda uygulanacak üstyapı kompozisyonu kullanılmıştır.



Şekil 2.3. Esnek üstyapılar için projelendirme abağı ($P_i=2.0$)



Şekil 2.4. Esnek üstyapılar için projelendirme abağı ($P_t=2.5$)

Tablo 2.5. Asfalt betonu yollarda uygulanacak üstyapı kompozisyonu

ÜSTYAPI TABAKALARI (cm.)	TRAFİK KATEGORİLERİ										
	(3-10) 10 ⁶	(10-20) 10 ⁶	(20-30) 10 ⁶	(30-40) 10 ⁶	(40-50) 10 ⁶	(50-65) 10 ⁶	(65-80) 10 ⁶	(80-100) 10 ⁶	(100-160) 10 ⁶	(160-250) 10 ⁶	>250 10 ⁶
AŞINMA	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
BİNDER	8	6	6	6	7	7	7	8	8	8	8
BİTÜMLÜ TEMEL	-	8	9	10	10	11	12	12	14	16	18
KIRIMATAŞ TEMEL VEYA PLENTMİKS TEMEL	15	15	20	20	20	20	20	20	20	20	20
TOPLAM MEVCUT SN	7.55	9.31	10.38	10.70	11.10	11.42	11.74	12.14	12.78	13.42	14.06
KIRIMATAŞ ALTTİMEL KALINLIKLARI (cm)											
TABAN CBR %6si	35	30	30	30	30	35	35	35	35	35	40
6-7	30	25	25	25	25	25	25	30	30	30	30
8-9	25	20	20	20	20	20	20	25	25	25	25
10-12	20	15	15	15	15	15	15	15	20	20	20
13-16	15	*	*	*	*	*	*	*	*	15	15
17-22	15	*	*	*	*	*	*	*	*	15	15
23-30	*	**	**	**	**	**	**	**	**	*	*
>30											
Alttimel tabakası gerektirmemektedir. Ancak, kaya yarma ve kaya malzemesi ile oluşturulmuş dolgu kesimlerde düzeltme amaçlı 15 cm kırmataş alttimel serilecektir.											
KUM - ÇAKIL ALTTİMEL KALINLIKLARI (cm)											
TABAN CBR %6si	40	35	35	35	35	40	40	40	45	45	45
6-7	35	30	25	30	30	30	30	30	35	35	35
8-9	30	25	20	25	25	25	25	25	30	30	30
10-12	25	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
13-16	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
17-22	20	20	*	*	*	*	*	20	20	20	20
23-30	20	*	**	**	**	**	**	**	*	*	*
>30											
Alttimel tabakası gerektirmemektedir. Ancak, kaya yarma ve kaya malzemesi ile oluşturulmuş dolgu kesimlerde düzeltme amaçlı 20 cm kum - çakıl alttimel serilecektir.											

Alttimel Kalınlıkları (cm)

BÖLÜM 3. RİJİT ÜSTYAPILAR

3.1. Rijit Üstyapıların Genel Özellikleri

Beton kaplamalar; çok yüksek trafik hacmine ve ağır taşıt trafiğine sahip karayollarında taşıtlar için gerekli sürüş konforu ve sürüş emniyetini temin etmek amacıyla yapılan yüksek standartlı rijit üstyapılardır. Beton kaplamalar, yeterli mukavemete sahip zeminler üzerine belirli bir kalınlıkta serilen granüler alttemel tabakası ile kısmen donatılı, sürekli donatılı veya donatısız beton plaklardan meydana gelirler.

Beton kaplamanın denenmiş en önemli üstünlüğü, hizmet ömrünün uzun olması ve üstün dayanıklılığıdır. Şimdiye kadar uygulanan projelerde, aynı iklim koşullarında asfalt ve beton yolların performansı karşılaştırılmıştır. Örneğin ABD'de eyalet karayolu performansları yıllar içerisinde izlenerek kaydedilmiştir. Ağır kış koşullarına ve yaz sıcaklıklarına maruz kalan ve ağır araçları taşıyan bu yolların performansları incelendiğinde, Tablo 3.1.'de görülen sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3.1. ABD'nin çeşitli eyaletlerindeki yol kaplamalarının servis ömrü açısından karşılaştırılması (Servis Ömrü -Yıl)

Kuruluş Eyalet	Beton	Asfalt	Oran
Wisconsin	20 - 25	12 - 14	1.7 - 1.8
Minnesota	35	20	1.8
Kentucky	20	12	1.7
New York	20 - 25	10 - 13	2.0 - 1.9
Colorado	27	6 - 12	4.5 - 2.3
FHWA(1985)	13 - 30	6 - 20	2.2 - 1.5
FHWA(1971)	25	15	1.7

Görüldüğü gibi, beton yolların servis ömürleri (tamire ihtiyaç gösterme süresi) eyaletler bazında 20 - 25 yıl civarında olurken, asfalt yollarda 6 - 14 yıl olmaktadır. Servis ömürleri oranı hesaplanarak, beton kaplama ömrünün asfalt kaplama ömrüne oranının 1.7 ila 4.5 arasında değiştiği, ağırlıklı olarak da bu oranın 1.7 - 2.0 civarında olduğu görülmektedir.

Başka bir araştırmaya göre de beton yolun beklenen ömrü 34 yıldır, asfalt yolun ise tamamı, 17 yıldır. [3]

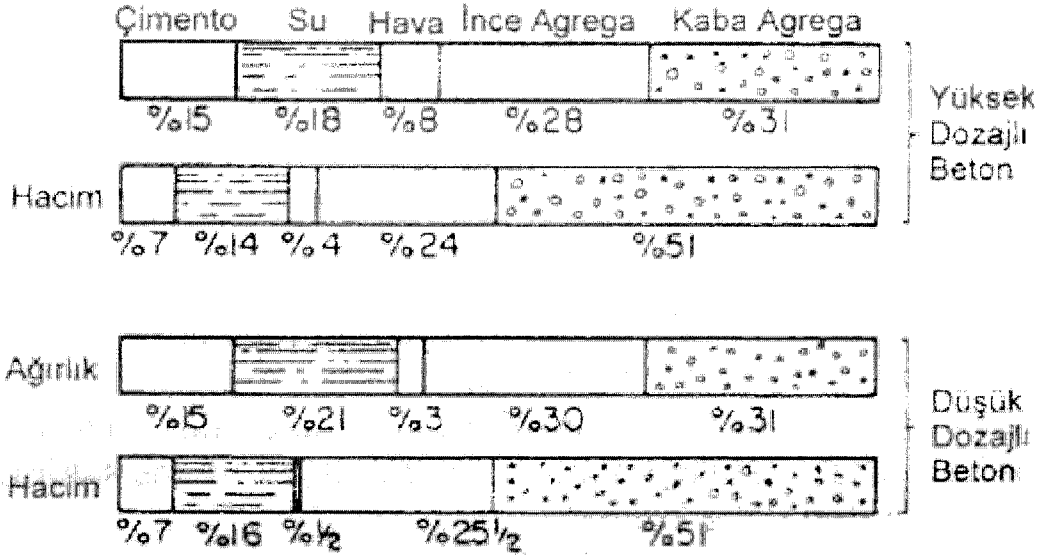
Bu araştırma aynı zamanda asfaltın küçük bakımlarının her 3 - 5 yılda bir, rehabilitasyonunun da 17'nci yılda olduğunu, öte yandan betonun ilk küçük bakımının 12'nci yıldan, yüzeyinin yeniden düzeltilmesinin ise 18'inci yıldan sonra yapıldığını ortaya koymaktadır.

Beton kaplamalarda aşınma miktarı normal dayanımlı betonlarda (20 MPa) kuru halde asfaltın % 60'ı, ıslak halde ise %33'ü kadar olmaktadır. Beton sınıfı yükseldikçe aşınma dayanımı artmakta, yüksek dayanımlı beton kullanılması durumunda aşınma miktarı doğal granit'e eşit olmaktadır. [4]

ABD'deki Washington Otoyolu üzerinde yapılan performans değerlendirmelerinde, kaplamanın ömrü süresince verdiği hizmetin kalitesi karşılaştırılarak puanlanmıştır. Buna göre, asfalt yol performansının %20 sini yaklaşık 7 yılda kaybederken, beton yolda bu süre 13 yıldır. Diğer bir ilgi çekici sonuç ise, asfalt tamir kaplamasının bozulma hızının yeni yapılan asfaltın da çok üzerinde olduğu, tamir kaplamasının ömrünün 7 yılda % 70'e indiği ve 20 yılda tamamen ortadan kalktığıdır. [5]

3.2. Rijit Üstyapılarda Kullanılan Malzemeler

Beton, genel olarak hava, agrega ve çimento hamurundan ibarettir. Çimento hamuru, su ve çimentonun belli bir oranda karıştırılması ile elde edilir. Su ve çimento kimyasal reaksiyon yaparak sertleşmekte ve agrega tanelerini birbirine bağlayarak karışımı yapay bir taş haline getirmektedir. Taze betonu oluşturan elemanların miktarları, Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Beton elemanlarının hacimce ve ağırlıkça dağılımı

Betonun kalitesi, daha çok çimento hamurunun kalitesine bağlıdır. Kaliteli bir betonda agrega taneleri tamamen çimento hamuru ile sarılmış ve agrega taneleri arasındaki boşlukların büyük bir bölümü çimento hamuru ile doldurulmuştur. Şekil 3.1.'den görüldüğü gibi beton karışımının hacmen %21 ila %23'ü ve ağırlıkça %33 ila %36'sı çimento hamurundan oluşmaktadır. Çimento hamurunu oluşturan suyun bir kısmı kür şartlarına bağlı olarak buharlaşırken, belli bir kısmı da çimento ile kimyasal reaksiyona girmekte ve reaksiyon sonunda da ne çimentonun ne de suyun özelliğini taşıyan yepyeni bir madde olarak ortaya çıkmaktadır. [6]

3.2.1. Beton agregaları

Betonun hacimce yaklaşık %75'i ve ağırlıkça yaklaşık %60'ı agregalardan oluşmaktadır. Ayrıca betonun işlenebilirlik, durabilite ve mukavemet özelliklerine önemli ölçüde etki etmesinden dolayı agrega, beton karışımlarında önemli bir malzemedir.

Beton agregaları doğal, kırmataş veya kırma çakıl olmak üzere çok farklı şekillerde elde edilebilirler. Doğal agregalar dere yataklarından elde edilir. Kırmataş taş ocaklarından çıkarılan taş parçalarının veya kırma çakıl dere yataklarından çıkarılan 25mm'den büyük çakılların konkasörlerde kırılmasıyla elde edilir.

3.3. Rijit Üstyapı Tipleri

Dünyada uygulanmış ve uygulanması için araştırılmış bir çok rijit üstyapı tipi bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılan ve ülkemizin fiziksel, teknolojik ve ekonomik koşullarına en uygun olacağı düşünülen ve yurdumuzdaki çeşitli yayınlarda üzerinde tartışılmakta olan rijit üstyapı tiplerinin bazıları avantaj ve dezavantajlarıyla aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

3.3.1. Kalın plak kaplamalar

Kaplama ve temel tabakalarını, mevcut makine donanımı ile bir tek geçişte dökerek işlem sayısı azaltılmaktadır.

Kalın plak uygulamalarında kaplamanın harekete karşı olan eylemsizliği artar. Derzlerde dingil yüklerinin aktarımı iyileşir. Betonun rötresi azalır. Isı değişikliklerine karşı duyarlılık düşer. Bileşimde tane boyutu daha büyük olan agregaya kullanılarak, ince agregaya ve çimento oranları azaltılabilir. Bu olanak; eğimi yüksek yol kesimlerinde ve dever uygulamalarında kolaylık sağlar.

Beton üretimi, ulaştırılması, dökümü, serilmesi, sıkıştırılması tek işlemle yapılabildiği için yatırım maliyetlerinde önemli ölçüde düşüşe neden olur.

Kaplama plağının eylemsizliği yüksek olduğundan, iyice azaltılmış olan plak köşe ve kenarlarındaki çökmeler, ince tanelerin ayrılmasıyla derzlerin açılmasına ve pompaj olayının başlamasına ortam oluştururlar. Kalın plak uygulamaları elverişli görünmesinin yanında, dingil yüklerinin tekrarından ve iklim değişikliklerinden kaynaklanan zorlamalar altında davranışlarının iyice tanımlanması için plakların deneylere tabi tutulması gerekir.

Zeminin geoteknik özellikleri ve günlük ortalama trafik değerleri, yapının belirlenmesinde önemli faktörleri oluştururlar. Zemindeki suyun neden olduğu erozyon, kaplamanın kalınlığının belirlenmesinde ve drenaj sisteminin projelendirilmesinde önemli rol oynar. Özellikle kaplama bünyesine girme potansiyeli yüksek olan yağış sularının, bu ortamı çabuk terk edebilmeleri için sisteme özgü drenaj önlemleri tasarlanmalıdır. Alttemel –

kaplama arayüzünde su akımının hızlandırılması için, arayüzdeki enine eğim değerleri yükseltilmeli, plak kenarına serilecek banket betonu, geçirimli beton türünden seçilmelidir.

3.3.2. Lifli beton plak kaplamalar

Çimento, agrega ve liflerden oluşan betona lifli beton denir. Lifler genellikle süreksiz ve beton içine homojen dağılmış olarak yer alır. Betonu takviye etmek için uygun olan lifler, çelik, cam, seramik ve polimer kökenli olur. Liflerin çeşitli boyutları ve biçimleri bulunmaktadır. Lifi tanımlayan en uygun parametrenin “boy/çap oranı” olduğu kabul edilmektedir. Bu parametre lif uzunluğunun eşdeğer lif çapına bölünmesiyle bulunur. Eşdeğer lif çapı, alanı lifin enkesit alanına eşit olan dairenin çapı olarak alınır.

Beton takviyesinde kullanılmakta olan bazı liflerin önemli özellikleri Tablo 3.2.’de verilmiştir.

Yol betonlarında en çok kullanılan lifler arasında yer alan çelik lifler, betonun eğilme direncini, çarpmaya dayanıklılığını, tokluğunu, yorulma direncini ve çatlama karşı direncini hissedilir düzeyde iyileştirmektedir. Teorik olarak betonda kullanılacak lif miktarı %4 –5’i kadar olsa da bu oran inşaat alanlarında liflerin topaklaşma risklerinden dolayı en fazla %2 olarak uygulanır.

Tablo.3.2. Beton liflerin özellikleri

Lif Türü	Yoğunluk (kg/cm ³ .10 ³)	Elastiklik Modülü (kN/mm ²)	Çekme Direnci (kN/mm ²)	Kaplama – Uzama (oranı %)
Çelik	7.8	200	1 - 3	3 –4
Cam	2.6	80	2 - 4	2 – 3.5
Kenevir	1.5	-	0.8	3
Polipropilen	0.9	5	0.5	20

Betonun içine 4 cm uzunluğunda ve 0.4 mm çapında çelik tel parçaları konması durumunda, malzemenin çekme gerilmelerine karşı direnci artmakta, ayrıca betonun gevrekliği azalmaktadır.

3.3.3. Ön gerilmeli beton kaplamalar

Yeterli bir ön gerilme işlemi uygulamak suretiyle, gerilmeler yönüyle homojen duruma getirilen beton plakda, ısı değişikliklerinden ve mekanik zorlamalardan kaynaklanabilecek çekme gerilmeleri oluşmamakta, bu sayede plak kalınlıklarının, taşıma gücü yüksek tabakalar üzerinde 12 – 15 cm'ye kadar düşürülebilmesi mümkün olmaktadır.

Ön gerilmeli plak, dingil yüklerinin uygulanmasından önce plakda yatay yönde basınç gerilmelerinin oluşmasını sağlayan tek döşeme türüdür. Yapılan araştırmalar ve deneyimler, ön gerilmeli plağın, en az iki konuda olumlu etkisinin bulunduğunu göstermiştir. Yol malzemeleri daha etkin ve ekonomik bir biçimde kullanılabilir. Daha az bakım ve onarım talebi, ayrıca daha uzun hizmet ömrü gibi olumlu sonuçları doğuracak olan ,daha az sayıdaki derze gereksinim duyulmakta, ayrıca çatlak oluşum ve gelişme olasılıkları azalmaktadır.

Klasik beton plakda, tekerlek yüklerinden kaynaklanan gerilmelerin malzemenin elastik bölgesinde kalması gerektiğinden, kaplama kalınlığı, eğilme gerilmelerine veya betonun kopma – kırılma modülüne göre hesaplanmaktadır. Bu tasarım yaklaşımında plağın en üst ve en dibindeki liflerde çok farklı gerilme tür ve değerleri ortaya çıktığından malzeme, uygulanan yüklere göre tam ölçü ve biçimde kullanılamamaktadır. Bu olgu, malzemenin optimum düzeyde faydalanılamadığını göstermektedir. Ön gerilmeli plak ile betonun efektif eğilme gerilmesi, basınç gerilmelerinin dahil edilmesiyle yoluyla arttırılır. Bu özellik sonuç olarak plağın kalınlığının azaltılmasını sağlamaktadır.

Ön gerilmeli plağın tasarım aşamasında taban zemininin taşıma durumu, plak uzunluğu, ön veya ard germe işleminde uygulanacak kuvvet değerleri, ön gerilmeli donatı ve ankraj aralıkları gibi özellikler dikkate alınmalıdır.

3.3.4. Silindirle sıkıştırılan beton (RCC) kaplamalar

Silindirle sıkıştırılabilen beton (Roller Compacted Concrete – RCC) kaplamalar, geleneksel beton kaplamalara göre yeni bir beton kaplama türü olup, karıştırılması, serilmesi ve sıkıştırılması, beton asfalt kaplamalarda kullanılan benzer teknikler kullanılarak yapılmaktadır. Geleneksel beton kaplamalara göre daha düşük su/çimento oranına sahip olan RCC kaplamalar, bitümlü kaplama yapımında kullanılan araçlarla taşınabilmekte, serilebilmekte ve sıkıştırılabilmektedir. RCC kaplamalar genellikle çift tamburlu titreşimli silindir ile sıkıştırılmaktadır. RCC ismini, kaplamanın yapım yönteminden almaktadır. Bu yapım tekniği kullanılarak, büyük miktarda beton, donatısız olarak yerleştirilmektedir. RCC kaplamaların maliyeti, geleneksel beton kaplamalardan %10 ile %30 arasında daha düşüktür. RCC kaplamalar; genellikle düşük hızlı ağır taşıt trafiğine sahip olan yol kesimleri ile havaalanı pisti ve taksi yolları gibi mukavemet, dayanıklılık ve ekonominin çok önemli olduğu yerlerde kullanılmaktadır.

İlk geleneksel beton kaplama, 1865 yılında İskoçya’da inşa edilmiştir. Aradan yaklaşık 50 yıl geçtikten sonra, 1910’lu yıllarda bir çok ülkede silindirle sıkıştırılan beton kaplamalar yapılmıştır. 1930’lu yıllarda inşaat mühendisliğinin bir çok alanında, sıkıştırmalar titreşim uygulanarak yapılmasına karşın, titreşimli sıkıştırma kadar iyi kalite sağlayabilecek silindir bulunmadığı için, sıkıştırmada silindir kullanılmamıştır. Silindir, yalnızca çimento içeren temel tabakalarının yapımında kullanılmıştır. 1970’li yıllardaki petrol krizi nedeniyle bitümlü bağlayıcı fiyatlarının yükselmesi, RCC kaplamalarının gündeme gelmesini sağlamıştır.

RCC kaplamaların bilinen ilk modern örneği 1970 yılında, İspanya’da, düşük hacimli trafiğe sahip olan bir yolda uygulanmıştır. Ağır taşıt trafiğini taşıyan diğer bir RCC kaplama uygulaması da 1976 yılında Kanada’da yapılmıştır. 1980 yılından sonra, Fransa, Almanya, Norveç, İsveç, Finlandiya, Danimarka, Avusturya, Arjantin ve Japonya gibi ülkelerin her birinde 100.000 m² den fazla RCC inşa edilirken, Şili, Uruguay, Meksika, Kolombiya, Ekvator ve Güney Afrika gibi ülkelerde çok az veya deneme yolu olarak kullanılmıştır. Uygulanan RCC miktarı 1990 yılının sonunda toplam 12.000.000 m² yi aşmış olup RCC uygulamasının yarısı İspanya’da yapılmıştır. Otoyollarda kullanılan 1.500.000 m² RCC üzerine, yüzey düzgünlüğünü sağlamak için beton asfalt aşınma

tabakası yerleştirilmiştir. Geriye kalan 10.500.000 m² RCC kaplama, ikinci sınıf yol, sanayi ve askeri alanlar gibi düşük hızlı trafiğin olduğu yerlerde kullanılmıştır. [7]

Bu kadar geniş alanda kullanılması, özel bir ekipmana ihtiyaç duyulmamasından ve beton asfalt kaplamaların yapıldığı makinalarla inşa edilebilmesinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte; yapım kolaylığı, çalışan eleman sayısını azaltması ve yüksek üretim hızı ve bunlara bağlı olarak maliyetinin düşmesi de büyük oranda kullanılmasının nedenleri olarak sıralanabilir. Ayrıca, RCC kaplamalar, geleneksel beton kaplamalara göre daha kısa bir sürede trafiğe açılabilmektedir.

RCC'de geleneksel betonlarda kullanılan kaba ve ince agregalar, çimento, uçucu kül, katkı maddeleri ve su kullanılmaktadır. Karışımlarda su/çimento oranı, 0.20 ile 0.40 arasında olmaktadır.

Diğer beton türlerinde olduğu gibi, RCC'nin ekonomikliğini ve kalitesini belirlemedeki en önemli faktörlerden biri, uygun agrega kaynağının seçilmesidir. RCC kaplama karışımlarının hacminin %70 - 80'ini agregalar oluşturmaktadır. Kaba agrega; kırılmış veya kırılmamış çakıl, yeniden kullanılan beton, kırmataş veya karışımından oluşmaktadır. Kırmataş veya kırılmış çakıldan yapılmış RCC'lerin sıkıştırılması, yuvarlak çakıldan yapılmış RCC'lerden daha zor olmasına karşılık, taşıma ve yerleştirme sırasında daha az ayrışma ortaya çıkmaktadır. İnce agregalar, doğal kum, kırılarak üretilen kum veya her ikisinin karışımından meydana gelmektedir. Yüksek oranda plastik olmayan silt parçacıkları içeren kumlar, mineral filler olarak görev yaptığı gibi ihtiyaç duyulan çimento gereksinimini de azaltmaktadır. Bunun aksine, yüksek oranda kil içeren ince agregalarla yapılmış olan karışımlarda kullanılan su miktarı artmakta, büzülme ve çatlama oluşmakta, dolayısıyla mukavemet azalmaktadır. Bu yüzden karışımda kullanılacak kumların su emme kabiliyeti ve özgül ağırlıklarının belirlenmesi gerekmektedir.

RCC ve geleneksel betonda kullanılan agregalar arasındaki en önemli farklılıklardan biri agrega gradasyonudur. RCC'de maksimum tane boyutunun 25 mm veya daha az olduğu görülmektedir. Ayrışmalardan sakınmak, karıştırma işlemini kolaylaştırmak ve yüzey düzgünlüğünü sağlamak amacıyla, tane boyutu yüksek seçilmemektedir.

Tablo 3.3. Agregave bağlayıcı karışımının gradasyon sınırları

Elek Boyutu, mm	Elekten Geçen,%	
25 mm	100	100
20 mm	100	85 - 100
16 mm	88 - 100	75 - 100
10 mm	70 - 87	60 - 83
5 mm	50 - 70	42 - 63
2 mm	35 - 50	30 - 47
400 µm	18 - 30	16 - 27
80 µm	10 - 20	9 - 19

Bazı ülkelerde, ince ve kaba agregave bileşimlerinin gradasyon sınırları belirlenmiştir. Fransa ve İspanya'da kabul edilen gradasyon eğrileri, bağlayıcıları da (çimento + uçucu kül) kapsamaktadır. İspanya'da kullanılan iki farklı maksimum tane boyutu için agregave gradasyon sınırları Tablo 3.3.'de görülmektedir. [8]

Yeni sıkıştırılan malzemede yeterli stabiliteyi sağlamak için büyük miktarda kırılmış malzeme kullanılmaktadır. Agregave en azından iki grubun karışımından oluşmalıdır, örneğin 0/5 mm ve 5/20 mm. Eğer kaplamanın düzgünlüğü fazla önemli değilse, kaba ve ince agregave önceden harmanlanıp tek bir grup olarak depolanabilmektedir.

Takviye tabakası çalışmalarında, agregave seçimindeki en önemli faktör, karışımın sıkıştırıldığı anda yüksek iç dayanıma ulaşabilme yeteneğidir. RCC, fazla gecikme oluşmadan trafiğe açılabilir. Stabilite, anlık taşıma gücü testi ile ölçülmektedir. Test, CBR testinde kullanılan aynı ekipmanlarla, yeni sıkıştırılmış numuneler üzerinde uygulanmaktadır. Anlık taşıma gücü indeksi 65'in üzerinde çıktığında, RCC'nin yeterli kapasiteye sahip olacağı ileri sürülmüştür. Kırılmış kaba agregave kullanıldığında, bu sınır belirgin bir şekilde aşılmaktadır.

RCC'de Tip I (normal) ve Tip II (sülfata direnci arttıran) portland çimentosu kullanılmaktadır. Çalışma süresinin kısa olması gereken yerlerde erken priz yapan Tip III çimentolarının kullanılması önerilmektedir.

Çimento oranı, kuru karışım toplam ağırlığının %10 ile %17'si arasında olup m^3 de 300 ± 30 kg kullanılmaktadır. Bağlayıcı (çimento + uçucu kül) malzemelerin %25 ile %40'ını C veya F sınıfı uçucu küller meydana getirmektedir.

Fransa ve İspanya'da birbirine karıştırılmış çimentolar kullanıldığı gibi, çimento ve uçucu kül karışımı kullanılmaktadır. Uçucu kül içeren çimentolar, geleneksel portland çimentosundan ucuzdur ve priz işlemini belirgin şekilde geciktirmektedir. Ayrıca uçucu kül RCC'nin işlenebilirliğini arttırmakta ve karışımının çatlama davranışını önemli derece etkilemektedir. Uçucu kül kullanımı, özellikle sıcak havalarda yol yapımı sırasında avantaj sağlamaktadır. İklimin soğuk olduğu bölgelerde ise uçucu kül ilave edilmesi donma-çözülme dayanıklılığını azaltmaktadır. Bu yüzden, kış aylarının sert geçtiği bölgelerde uçucu kül kullanılmamalıdır. Bu gibi bölgelerde, bağlayıcı ağırlığının %10'u üzerinde silis dumanı kullanılması, mukavemet ve dayanıklılığı arttırmaktadır.

Prizi geciktiriciler ve plastikleştiriciler bazı ülkelerde, şartnamelerde belirtilen işlenebilirlik süresini elde etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Fransız şartnamesinde yer alan işlenebilirlik süreleri Tablo 3.4.'de gösterilmiştir. Katkı maddesi ile sağlanan gecikme süresinde bağlayıcı prizi başlamadığı için, karışım iç yapısı bozulmadan sıkıştırılabilmektedir.

Tablo 3.4. İşin cinsine göre minimum işlenebilirlik süreleri

İşin Cinsi	İşlenebilirlik Süresi
Yeni yapılan yolların ve trafik olmayan takviye tabakaların	
• Kaplama kalınlığı seviyesine getirilmeden toplam genişlik	6 saat
• Kaplama kalınlığı seviyesine getirilmeden yarı genişlik	10 saat
• Kaplama kalınlığı seviyesine getirilmiş toplam genişlik	10 saat
Trafiğe maruz takviye tabakaları	12 saat

Hava sürükleyici katkı maddeleri, RCC kaplama karışımlarında sınırlı olarak kullanılmaktadır. Laboratuvar araştırmaları homojen bir şekilde hava dağılımlı sağlandığında, don nedeniyle meydana gelecek zararların azaltılabileceğini göstermiştir.

Kıvamlılık testlerini içeren karışım oranlarını belirleme yöntemleriyle; su oranı, bağlayıcı malzeme oranı veya agrega oranı gibi karışım parametreleri belirlenmektedir. Daha sonra da serme ve sıkıştırma için gerekli olan kıvamı elde edebilmek için parametrelerden biri değiştirilmektedir. Geleneksel beton ve RCC'nin karışım bileşim oranlarını saptama işlemleri aynıdır. Karışım bileşim oranlarını saptama işlemlerindeki küçük farklar, taze RCC'nin kıvamının yüksek olmasından, geleneksel gradasyon dışında gradasyon kullanılmasından ve sıkıştırma işlemlerinden kaynaklanmaktadır. RCC'nin, geleneksel betondan farklı özellikleri şunlardır:

- RCC, hava kabarcıklı beton değildir,
- RCC, düşük su oranına sahiptir,
- RCC, düşük imento, uçucu kül ve su oranına sahiptir,
- RCC'de ince agrega oranı yüksektir.

Çimento ile karıştırılmış granüler malzeme için kullanılan su oranı, kuru karışımın ağırlıkça % 4.5 ile %6'sı arasındadır. Su oranını belirlemek için iki yaklaşım kullanılabilir. Geliştirilmiş Proktor testi veya Kango titreşimli eki ile değişik su oranlarına sahip numuneler sıkıştırılarak hazırlanmaktadır. RCC'nin yoğunluğu ve su oranı arasındaki ilişki saptanır. Optimum su oranı, su - yoğunluk eğrisinde, maksimum yoğunluğu veren su oranıdır. Kıvam testlerinden biri olan geliştirilmiş vibrasyon testiyle optimum işlenebilirlik bulunur. Geliştirilmiş vibrasyon testinde taze malzeme üzerine yk konularak titreşim uygulanmaktadır. Bilindiği gibi vibrasyon metodunda kıvam ölçüsü, betonun tam olarak oturması için saniye olarak geçen titreşim sresidir. Laboratuvar alışmaları, 22.7 kg yük altında, geliştirilmiş vibrasyon sürelerinin 30 - 40 saniye olduğunu, bununda RCC kaplama karışımlarına uygun olduğunu göstermiştir. Geleneksel vibrasyon testinde malzeme üstüne yk konulmamaktadır, RCC karışımlarında

su oranı düşük olduğu için üzerine yük yerleştirilmektedir. Kıvam testlerinde kullanılan cihazlardan bazıları, numune yapımında veya su oranı-yoğunluk eğrisini elde etmek için de kullanılmaktadır. Proktor testi gibi sıkıştırma testlerinde, sıkıştırma darbe ile yapıldığından malzemeler zarar görebildiği halde, kıvam testleri kullanıldığında malzemeler zarar görmemektedir. Geleneksel beton ve RCC kaplamalar için hazırlanmış karışım tasarımı örneği Tablo 3.5.'de verilmiştir.

RCC karışımlarının işlenebilirlik süresini belirlemek için bazı test yöntemleri ileri sürülmüştür. Bu yöntemlerde genellikle ultrasonik cihazlar kullanılmaktadır. Priz işlemi süresince bir numune içinden geçen ultrasonik atış yayılım süresindeki değişim, sürekli olarak gözlenmektedir. Yayılım süresi, %60 azaldığında, işlenebilirliğin bittiği anlaşılmaktadır. Bu işlemler genellikle Fransa'da uygulanmaktadır. İspanya'da geliştirilen diğer bir yöntem, atışların ultrasonik enerjisini ölçmekte olup daha kesin sonuçlar vermektedir. İşlenebilirlik sıcaklık koşullarına bağlı olduğu için, testler sıcaklık kabini içinde yapılmalıdır.

Sertleşmiş beton üzerinde, mekaniksel dayanımların belirlenmesinin yanısıra, kışları sert geçen ülkelerde, dona ve aşınmaya karşı direnç testleri de uygulanmaktadır.

Tablo 3.5. Geleneksel beton ve RCC kaplamalar için hazırlanmış karışım tasarımı örneği

Beton Cinsi	Maks. Tane Boyutu mm	Su/çim. oranı	Kullanılan Malzeme kg/m ³				Ağırlıkça çim. oranı %	Ağırlıkça çim. oranı %
			su	çimento	kaba agr.	ince agr.		
RCC	20	0.406	104	256	1.241	936	10.6	5.4
geleneksel beton	40	0.425	138	325	1.341	599	14.5	7.8

Mekaniksel dayanımlarla ilgili; basınç, eğilme ve yarmada çekme testlerinin kullanılabilmesi belirtilmiştir. Fransa ve İspanya’da yarmada çekme dayanımının 3.3 MPa olması gerektiği, düşük hacimli yollar için ise 2.8 MPa’ın yeterli olacağı açıklanmıştır. Almanya’da RCC kaplamalar için önerilen yarmada çekme dayanımı 3.0 MPa, basınç dayanımı 40 MPa olup, RCC ile yapılmış temeller için yarmada çekme dayanımı 2.7 MPa ve basınç dayanımı 30 MPa’dır. Testlerin uygulanma zamanı genellikle 28. gündür. İspanya’da çimentolara büyük oranda uçucu kül gibi aktif madde katıldığı için 90. gün sonunda testler yapılmaktadır. İsveç’te RCC içine uçucu kül gibi aktif maddeler katılmadığı için, geleneksel betonlarda olduğu gibi sağlanması gerekli olan 28. gün basınç dayanımı 40 MPa’dır. Geleneksel testlerin donma direncini laboratuvarında doğru olarak belirleyemediğini düşünen araştırmacılar yeni test yöntemlerinin geliştirilmesi gerektiğini belirtmişlerse de ABD’nin kuzeyi, Kanada, İsveç ve Norveç gibi soğuk bölgelerdeki kaplamaların iyi performans gösterdiği görülmüştür. [7]

Kış mevsimlerinde çivili lastik kullanılan ülkeler için aşınma direnci çok önemlidir. Norveç’te yapılan bir çalışma RCC kaplamaların aşınmaya karşı, beton asfalt kaplamalardan daha dirençli olduğunu göstermiştir.

Tablo 3.6. İspanya’da trafik yüküne göre standartlaşmış kaplama kalınlıkları

Trafik Kategorisi	T ₀	T ₁	T ₂			T ₃		T ₄	
Ticari taşıt/gün*	>2000	2000-80	800-200			200-50		<50	
Beton asfalt,mm	80**	80**	80**	80**	80**	***	***	***	***
RCC, mm	250	220	200	200	200	200	200	200	200
Çimento ile stabilize edilmiş temel, mm	200	200	200	200	150	150			
Stabilize edilmemiş temel, mm			200					200	
Taban zemini sınıfı	E ₂ -E ₃	E ₂ -E ₃	E ₁	E ₂	E ₃	E ₁ -E ₂	E ₃	E ₁ -E ₂	E ₃
Taban zemini sınıfları:	E ₁ : 5<CBR<10 E ₂ : 10<CBR<20 E ₃ : CBR>20				* Açılış tarihinden itibaren en fazla trafiğe sahip şerit ** Beton kaplama aşınma tabakası yapılmamışsa 100 mm *** Aşınma tabakası, 40 mm asfalt				

RCC'nin kullanıldığı birçok ülkede, RCC ile yapılan kaplamaların tasarımı, geleneksel betonlar için kullanılan yöntemlerle yapılmaktadır. ABD'de, Portland Çimento Birliği ve Mühendisler Kurulunun her ikisi de RCC kaplamaların tasarımı için, geleneksel beton kaplamaların tasarımında kullanılan yöntemleri yeniden düzenleyerek geliştirmişlerdir. Mühendisler Kurulu yönteminde tasarım eğilme gerilmesi, boyuna yapım derzlerini ve çatlaklardaki yük transferini azaltmak için, geleneksel beton kaplamalarının tasarım eğilme gerilmesinden %25 büyük alınmıştır. Enine derzlerin daha uzun aralıklarda (15 ile 23 metre) 24 saati aşmadan yapılması gerektiğini de vurgulamıştır. Buna uyulmazsa RCC kaplamalarda düzensiz çatlaklar oluşacaktır. Fransa ve İspanya gibi ülkelerde kaplama tasarımı kataloğunda RCC de yer almaktadır. Tablo 3.6.'da İspanya'da standartlaşmış tasarım değerleri görülmektedir. İspanya'da maksimum tek tekerlek yükünün 13 kN olarak kabul edildiği unutulmamalıdır.

Yapım; karıştırma ve taşıma, serme, sıkıştırma, derzler ve kür işlemi olmak üzere 5 başlıkta incelenmiştir.

RCC karışımlar, hem kesikli hem de sürekli karıştırma tesislerinde üretilebilmektedir. Kesikli karışım tesislerinde daha iyi kontrol yapılabilmesine karşın, büyük projeler için yeteli üretimi sağlayamamaktadır. Karışıma bağlayıcı ilave edilmesini doğru şekilde kontrol edebilecek, yüksek üretim kapasitesine sahip olan sürekli karıştırma tesislerinin kullanımı tercih edilmektedir. Sürekli karışım tesisleri, kolayca taşınabilmekte ve kurulabilmekte olup kesikli karışım tesislerine göre birim zamanda daha fazla üretim sağlayabilmektedir. En çok kullanılan ve önerilen tesis, malzemeler için ağırlık kontrolüne sahip olan sürekli karışım tesisleridir. Tesisin üretimi hızlı ve kesintisiz olduğunda, serme işleminin sürekliliği de sağlanmış olacaktır. Özellikle İsveç gibi gelişmiş ülkelerde, serme işlemindeki sürekliliği sağlamak için, karışım hazır beton üreticileri tarafından üretilmektedir.

Karıştırma tesisindeki işlemler sırasında, karışımın nem oranı kontrol edilmelidir. Karışımın düzenli olarak serilmesi ve sıkıştırılması bakımından nem oranının kontrolü çok önemlidir. Nem oranının kontrol altında tutulmasıyla istenilen yoğunluk sağlanabilecektir. Düzenlemelerin derhal yapılabilmesi için, uygulama alanı ile tesis arasında telsizle bağlantı kurulması gerekmektedir. Karışımın görünümüne bakılarak, düzeltmeler operatör

tarafından yapılmaktadır. Değişen koşullar nedeniyle su katılmasında düzenlemeler gerekebilmektedir, (örneğin, gün boyunca hava koşulları değişmişse ve depolardaki agregaların nem oranı değişirse). Nem oranında oluşabilecek %0.1 veya %0.2'lik değişim, karışım üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Tesisin üretimi, sericinin yerleştirme ve sıkıştırıcının sıkıştırma hızıyla uygunluk göstermelidir. Tesis mümkün olduğunca uygulama alanına yakın yerleştirilmeli, hiçbir durumda tesisle ile serici arasındaki taşıma süresi 15 dakikayı aşmamalıdır. RCC, tesisten uygulama alanına damperli kamyon ile taşınmaktadır. Kamyon, RCC'nin yağmur, aşırı soğuk veya sıcak gibi çevresel koşullardan etkilenmemesi için su geçirmez branda ile kaplanmalıdır. Beton, kamyonun sericiye doğrudan dökülmektedir.

Tesisin durmamasını sağlamak için, tesislerde karışımın kamyonun altına aktarıldığı kısım ile kamyonun altına silo yerleştirilmelidir. Silo yerleştirilmediğinde, kamyon gelmeyecek olursa tesis durdurulacaktır. Tesisin her bir duruşunda, üretime tekrar başlarken üretilen karışım özellikleri farklı olacaktır.

RCC karışımları, kaplama makinaları ile serilmelidir. Serici, istenilen kotta serim yapabilecek şekilde hassas cihazlarla donatılmış olmalıdır. Titreşimli mastar ve en az bir tokmağa sahip olan geliştirilmiş beton asfalt sericisi ile kabul edilir performans elde edilmiştir. Bu serici ön sıkıştırma yaptığı için, yolun yüzey düzgünlüğünü artırmaktadır.

Betonun serilme işlemi başlamadan önce, RCC tabakasının altında oluşabilecek nem oranının azalmasını önlemek için temel veya alttemel tabakası su ile ıslatılmalıdır. Serme işleminde tabaka kalınlığının kontrolü doğru şekilde yapılabilmesi için, otomatik mastar kullanılmaktadır. Su agrega içine katıldıktan sonra 45 dakika içinde beton yerleştirilmeli ve sıkıştırılmalıdır. Yan yana yapılan şeritlerde birleşimi sağlayabilmek için kaplanmış şeritten en fazla 60 dakika sonra yandaki şerite beton yerleştirilmiş olmalıdır. Bu süreler hava koşullarına göre azalabilmektedir. Eğer bu süre sınırlamalarına uyulmazsa yapım derzleri ortaya çıkmaktadır. RCC, genellikle kaplama kalınlığı 250 mm olacak şekilde serilmektedir. Kaplama kalınlığı 250 mm'den fazla tasarlanmışsa iki tabaka halinde serilmektedir.

İlk sıkıştırma, titreşimli çelik bandajlı silindir ile yapılmaktadır. 10 ton ağırlığa sahip çift tamburlu titreşimli silindir ile en az dört geçiş yapılmaktadır. Titreşimli silindirlerde manevra sırasında kesinlikle titreşim yapılmamalıdır. İlk sıkıştırma ardından, 20-30 tonluk lastik tekerlekli silindir ile iki veya daha fazla geçiş yapılmaktadır. Lastik tekerlekli silindir ile yapılan sıkıştırma sayesinde titreşimli sıkıştırma sonrasında ortaya çıkan kusurlar ve küçük boşluklar kapatılmaktadır. Titreşimli ve lastik tekerlekli silindirler sonrasında yolda silindir izleri varsa statik çift tamburlu silindirle bir geçiş yapılmaktadır. Kaplama yüzeyine zarar vermemek amacıyla daha fazla sıkıştırma yapılmamalıdır. Sıkıştırma, serme işleminden sonra 10 dakika içinde başlamalı ve tesiste karıştırma yapıldığı andan itibaren 45 dakika geçmeden tamamlanmalıdır. Sıcak havalarda ise, karıştırmanın bitişi ile sıkıştırmanın bitişi arasında geçen süre 35 dakikayı aşmamalıdır. Fakat yüksek oranda aktif madde veya priz geciktirici kullanıldığında, bu süreler Tablo 3.4.'de görüldüğü gibi artırılabilir.

RCC'de belirlenen yoğunluğu elde edecek kadar yeterli sıkıştırma yapılmadığında, kaplamanın dayanımı düşük olacaktır.

Enine derzler, iklim koşullarına ve RCC'nin dayanımına bağlı olarak birkaç saat ile birkaç gün arasında kesilmektedir. Fransa, Almanya ve İspanya'da, kaplama tam olarak kurumadan kesilerek derzler yapılmaktadır.

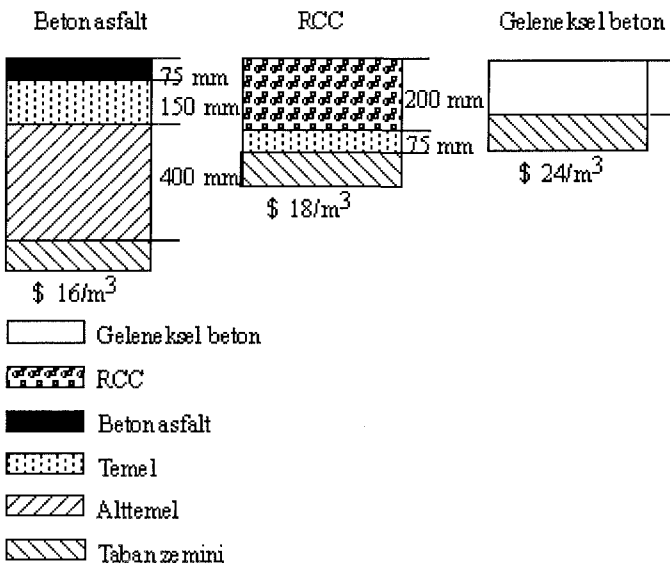
Kür işleminde, hidrasyon işlemi için gerekli nem sağlanmaktadır ve her beton türü gibi RCC kaplamanın performansı için de çok önemlidir. Hidrasyon, betonun serleşmesini ve dayanım kazanmasını sağlayan kimyasal bir reaksiyondur. Bu yüzden kür işlemi oldukça önemli bir basamaktır. Yüzeyi her zaman nemli tutmak gerekmektedir. Çok sıcak ve rüzgarlı havalarda, sıkıştırma tamamlamadan toz halinde su püskürtülmelidir. Normal kür işlemine sıkıştırma sonrasında hemen başlamalı ve 7 gün boyunca devam etmelidir. Kür işlemi su püskürtülerek veya ıslak bezle yapılabilen olup genellikle sulama boruları ve su püskürtme başlıkları ile yapılmaktadır. Kür işlemi, RCC'ler için geleneksel betonlara göre daha önemlidir. Yetersiz kür işlemi sonunda, zayıf aşınma tabakaları elde edilmektedir.

RCC kaplamalar, geleneksel beton kaplamaların beton asfalta kaplamalar üzerinde sahip olduğu üstünlüklere sahip olduğu gibi, geleneksel beton kaplamaların bazı sakıncalarını da yok etmektedir.

Beton kaplamaların, beton asfalt kaplamalara göre üstünlükleri aşağıda verilmiştir.

Beton kaplamaların bilinen en önemli üstünlüklerinden biri, yüksek mukavemet ve uzun ömre sahip olmasıdır. Bu yüksek mukavemeti ve uzun ömrü sayesinde, bakım masrafları ve bakım çalışmaları nedeniyle meydana gelebilecek gecikmeler azalmaktadır.

ERES Danışmanlık Şirketinin hazırladığı raporda, beton asfalt kaplamadan beklenen servis ömrünün 17 yıl, bir beton kaplamadan beklenen servis ömrünün ise 34 yıl olduğu açıklanmıştır. Bu raporda, beton asfalt kaplamaların her üç yıldan beş yıla bakım gerektirdiği ve başlangıçtan 17 yıl sonra sık sık büyük onarımlara ihtiyaç duyduğu, beton kaplamalarda ise servise açıldıktan 12 yıl sonra küçük bakımların gerektiği ve 18 yıl sonra da beton yüzeyinin yenilendiği belirtilmektedir. Bu yüzden, bakım ve onarım nedeniyle oluşan masraflar ve gecikmeler azalacak ekonomiye katkı sağlanacaktır. Beton asfalt kaplama, geleneksel beton kaplama ve RCC kaplamalarının ilk yapım maliyetleri Şekil 3.2.'de karşılaştırılmıştır. Beton asfalt kaplamanın ilk maliyeti düşük görünmesine rağmen beton kaplamaya göre daha sık bakım gerektirmesi toplam maliyetini artıracaktır.

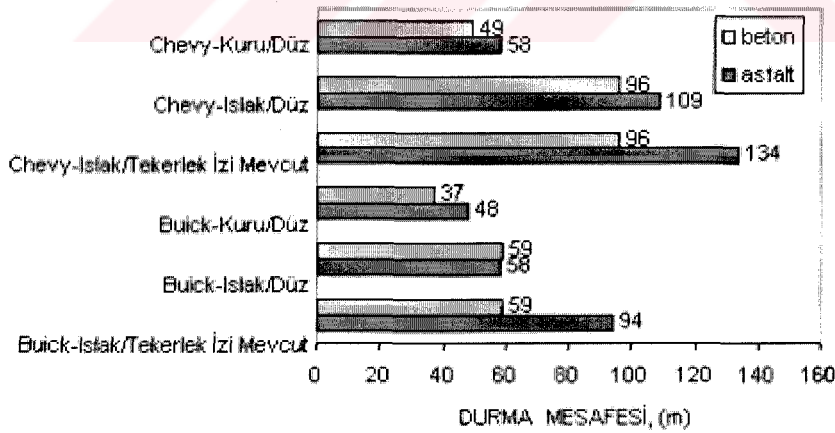


Şekil 3.2. Kaplama maliyetlerinin karşılaştırılması

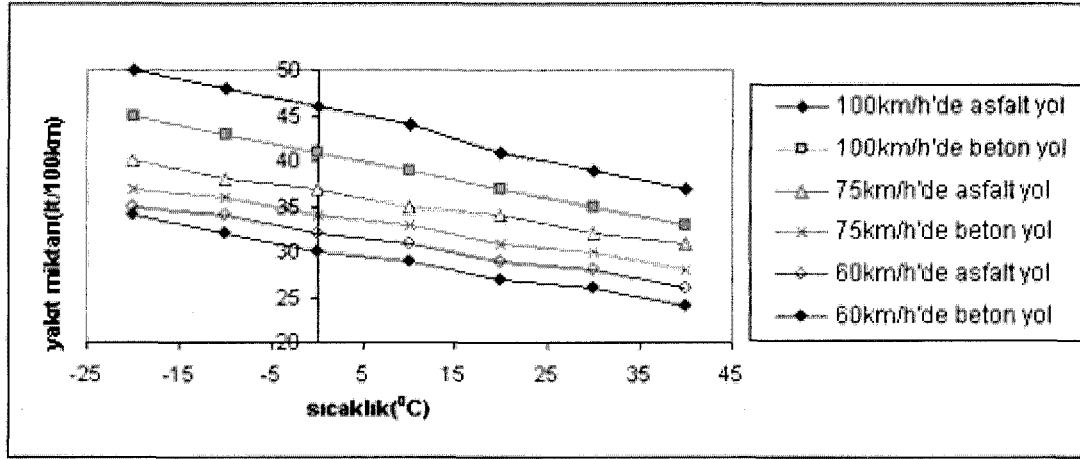
Beton kaplamanın yüzey pürüzlülüğü, kullanıcılar için sürüş güvenliği göz önüne alındığında önemlidir. Tekerlek izi oluşan kaplamalarda, yağışlar sırasında tekerlek izi içinde su birikir ve taban zemine geçebilir. Ayrıca soğuk havalarda tekerlek izi içine yerleşen su donabilir ve yol güvenliğini azaltabilir.

Illinois Üniversitesi tarafından sunulan “ Beton asfalt yol yüzeylerindeki oyulmalar ve tekerlek izinin sürüş güvenliğine etkisi” isimli çalışmada, beton yüzeyindeki durma mesafesinin, beton asfalt yüzeyindeki durma mesafesinden daha kısa olduğunu (özellikle beton asfaltta ıslak ve tekerlek izi oluşmuş durumda), gösterilmiştir. Şekil 3.3.’de verilen değerlerde taban zeminine su geçmesi hesaba alınmamıştır. Taban zeminine su geçirme etkisi göz önüne alındığında beton asfalt yüzeyde durma mesafesi daha da azalacaktır.

Ağır yükler nedeniyle, beton asfalt yollarda tekerlek izi oluşabilmektedir. Ağır taşıtlar, harekete başlarken veya frenlerken beton asfalt yüzeyinde oyulmalar oluşur. Özellikle kavşak ve otobüs duraklarında beton asfalt kaplamalarda tekerlek izi oluşumu artmaktadır. Beton kaplamalar, bu tip bozulmanın oluşmasını önlemektedir.



Şekil 3.3. Beton asfalt ve beton yollarda durma mesafeleri



Şekil 3.4. Beton asfalt ve beton kaplamalarda sıcaklığa bağlı olarak yakıt tüketimi



Şekil 3.5. Beton asfalt ve beton kaplamalarda gece görüşü

Ağır taşıtlar, beton asfalt kaplamalarda beton kaplamalara göre daha büyük çökmeye sebep olurlar. Kaplamada oluşan deformasyon nedeniyle taşıt hareket ederken enerjisinin bir kısmını kaybeder. Bu yüzden, beton asfalt kaplamalarda taşıtın hareketinin sağlanması için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Beton kaplamalarda, yolda deformasyon oluşmadığı için enerji kullanımı azalmaktadır.

Beton kaplamalar, sürücülerin gece görüşünü artırmaktadır. Şekil 3.5.' de görüldüğü üzere, beton kaplama daha açıktır ve daha koyu olan beton asfalt kaplamaya göre aracın ışığını daha fazla yansıtmaktadır.

Mevcut ekipmanlarla uygun yüzey düzgünlüğüne erişmek güç olduğundan, RCC kaplamaların yüksek hızlı trafik altında kullanılabilmesi için, birkaç santimetre beton asfalt

ile kaplanması gerekmektedir. Ayrıca, RCC kaplamalar, hazırlanırken sahip olduğu nem değişimine ve yetersiz sıkıştırmaya, beton asfalt kaplamalardan daha hassastır.

RCC kaplamalar, beton asfalt kaplamalara göre daha çabuk trafiğe açılırlar. Ancak geleneksel betonla karşılaştırdığımızda daha kısa süre gerektirdiğini vurgulamak gerekir.

RCC, özel bir yapım ekipmanı gerektirmediği ve geleneksel beton kaplamaya göre maliyeti az olduğu için düşük hızlı trafiğe hizmet verecek kaplamalar için uygun bir teknik olmaktadır. Geleneksel betonda kullanılan malzemelerle daha iyi mühendislik özelliklerine sahip kaplama yapılabilmektedir.

Beton asfalt ile karşılaştırıldığında bir çok üstünlüğe sahiptir. Düzgünlük standardının sağlanması için üzerine çok ince beton asfalt yapılması gerekmesine rağmen, otoyollar ve birinci sınıf yolların yapımı için ekonomik bir seçenektir. Ön sıkıştırma işlemini daha iyi yapabilecek sericilerin geliştirilmesiyle, silindir geçiş sayısı azaltılacak, sürüş konforu artırılabilecektir.

Türkiye petrolde dışa bağımlı bir ülke olmasına karşılık çimento sanayii çok gelişmiştir. Bir petrol ürünü olan asfalt çimentosu kullanılarak yapılan kaplamalar yerine RCC kaplama kullanımına başlanması ile daha ekonomik ve uzun ömürlü yollar inşa edilmeye başlanabilecektir. RCC karışımının gelişmiş ülkelerde olduğu gibi hazır beton üreticilerinden alınmasıyla, kaliteli bir kaplama elde edilebilecektir.

3.3.5. Sürekli betonarme yol kaplamaları

Çimento betonunun sakıncalı özelliklerinden biri, büzülme, nem ve sıcaklık değişimleri ile çatlama eğilimidir. Geniş yüzeyli beton kütlelerinde kaçınılmaz olarak gelişen bu karakteristik, yol üstü yapısında çatlakların belirmesine ve hızla genişleyip derinleşmesine yol açar. Klasik beton yol teknolojisinde, beton plaklar, tasarım aşamasında planlanan aralıklarla yapılacak enine ve boyuna derzlerle parçalara bölünmektedir. Bu çözüm geniş çatlakların ortaya çıkmasının bir dereceye kadar önlenmesini ve en önemlisi, plak süreksizliklerinin belirli yerlerde oluşmasını sağlar. Dingil yüklerinden kaynaklanan tekrarlı zorlamalar ayrıca iklim koşullarının sürekli değişimi derzlerin açılmasına, diğer taraftan geçirimsiz malzemelerle doldurulmuş olmasına rağmen, derz aralıklarından giren suların taban zeminine doğru sızmasına neden olur. İnce kum, şilt, kil gibi ufak taneli taban

zeminleri sızan su ile doygun duruma erişince, sık tekrarlanan ağır tekerlek yükleri etkisi ile su - zemin karışımı çatlak ve derzlerden hızla yukarı çıkar. Pompaj olayı adı verilen bu etki plak altındaki taban malzemesinin kaybı, kaplamanın kenar ve köşelerde desteksiz kalması ve direncinin kaybolması sonucunu doğurur. Derzlerle ayrılmış plaklarda kot farkları meydana gelir. Bakımsız kalmış ve dolayısıyla geçirimsizliğini kaybetmiş derzlerde belirlenen diğer bir sakıncalı durum da, donatıların paslanarak belli bir dönem sonunda dirençlerini kaybetmeleridir. Diğer taraftan plak yüzeyinde kaçınılmaz bir süreksizlik yaratan derzlerin seyir konforunu azalttığı, yapılan gözlem ve deneylerden, taşıt lastiklerinde hızlı aşınmaya yol açtığı belirginlik kazanmıştır. [8]

Anılan bu sakıncaların giderilmesi amacıyla geliştirilen sürekli (derzsiz) betonarme yol tekniğinde çatlakların meydana gelmesini önlemek veya bunların belirli ve arzu edilen yerlerde oluşmasını sağlamak yerine, çatlakların rastgele oluşmasına olanak tanınır. Ancak karşılığında meydana çıkan çatlakların açılmaması ve yüklerin iletilmesi sürekli donatılarla temin edilir. Bu amacın yerine getirilmesi için donatı kesitinin çeliğin elastik limitini ile çarpılması sonucu elde edilen değer, kopma gerilmesinde çalışan beton keskindeki çekme değerinden yüksek olması gerekecektir. Tasarım hesapları, bu sonuncu durumun temini için beton kesitinde yaklaşık %0.67 oranında donatı kullanılması gerektiğini göstermektedir.

Yol yapılarında olduğu kadar, hava alanları pistlerinde de sürekli betonarme üstyapıların başarıyla kullanılması mümkün olmaktadır.

2. Dünya Savaşından sonra Amerika Birleşik Devletleri'ndeki otoyol ağında, sürekli betonarme üstyapı tekniği kullanılır olmuştur. Günümüzde bu ülkede eyaletler arasında mevcut 75.000 km'lik otoyol ağının 16.000 km'lik kısmı, ayrıca bazı eyalet otoyollarının hemen hemen tamamı sürekli betonarme yol tipindedir. Bazı eyaletlerde ise, yol yapımında hızla sürekli betonarme üstyapı tipine dönüş söz konusudur.

Sürekli betonarme yol tekniği Avrupa kıtasına Belçika tarafından getirilmiştir. Bu ülkede kıtanın en eski ve en gelişmiş beton yol ağı yer almaktadır. İlk beton yolların yapımı 1910 - 1920 yılları arasında gerçekleştirilmiştir. Sürekli betonarme yol tekniği ilk Brüksel - Liege arasında 1970'de uygulanmaya başlamıştır. Daha sonra bu teknik gerek yeni yol

yapımında ve gerekse mevcut yolların takviyesinde kullanılmıştır. Eldeki bilgilere göre Belçika'da 550 km (8.500.000 m²) otoyol; 416 km (2.800.000 m²) devlet yolu ağı, derzsiz betonarme yol olarak hizmettedir.

Fransa'da ilk uygulama 1983'de A6 sayılı otoyolun takviyesi aşamasında yapılmıştır. Daha ileri tarihlerde eski otoyolların iyileştirilmesinde ve yeni otoyolların yapımında, sürekli betonarme yol kullanılmıştır.

İspanya'da 1521 km'lik otoyol ağında 302 km'lik rijit üst yapının 40 km'lik kısmı, sürekli betonarme yol tekniği ile üretilmiştir.

İşletmeye açılmış otoyol uzunluğu bin kilometreyi aşan ve yapım aşamasında otoyollar bulunan ülkemizde ise sürekli betonarme yol üst yapısı henüz kullanılmamaktadır.

Sürekli betonarme yolların üstünlük ve faydaları aşağıda beş kalemde toplanmıştır:

- Plağa yerleştirilecek donatı yardımıyla büzülme çatlaklarını denetim altında tutmak mümkün olmaktadır. Oluşan çatlak aralıkları 1 - 3, açıklıkları ise 0.5 mm dolayında olur. Bu özellik, yüklerin ve zorlamaların iyi nakledilmesinde ve donatıların paslanmasının önlenmesinde önemli rol oynar.
- Kullanılan malzemeler yorulmaya karşı yüksek dirence sahiptir. Bu bakımdan mekanik dayanıklılığı yüksek bir üstyapı elde edilir.
- Sürekli betonarme plağın sahip olduğu yüksek rijitlik sayesinde taban zemininin bir kesiminden diğerine değişebilen taşıma gücü özelliklerine az duyarlıdır.
- Derzlerin bulunmaması, bakım ve onarım maliyetlerini büyük oranda düşürür, seyir konforunu ise artırır.
- Deneyimler, sürekli betonarme yol üstyapılarının yüksek kalitesi dolayısıyla otoyollar için ideal bir kaplama tipi olduğunu göstermiştir.

Sürekli betonarme yollara ilişkin teknik sınırlamalar ise aşağıda yer alan iki madde ile özetlenebilir:

- Kaplama yüzeyi için gerekli görülen aşınmaya ve kaymaya karşı direnç özellikleri, plağın bünyesinde aranan çekmeye karşı direnç özelliğinden daha sınırlayıcıdır. Buna göre çimento dozajının düşürülmesi, ayrıca kaliteli agrega kullanılması zorunluluğu ortaya çıkar.
- Temelin rijit olması veya mevcut üstyapının takviyesi durumunda, tasarım aşamasında bulunan plak kalınlıkları, standartlarda belirtilen minimum değerlerin altında kalabilir. Ancak kalınlıkları tasarımda hesaplanan değerlere düşürmek mümkün değildir. Aksi durumda plağın sehim yapması riski ortaya çıkar.

Günümüze kadar edinilen bilgilerden, sürekli betonarme yol plaklarının hiç bir zaman çok genişleyen temel tabakalarının üzerine oturtulmaması gerektiği, ağır trafikli yollarda grobeton veya kırmataş temellerin, düşük trafikli yollarda ise çimento ile stabilize edilmiş temel tabakalarının seçilmesinin uygun olacağı ortaya çıkmıştır.

Sürekli betonarme yollarda kullanılacak betonun iki önemli özelliğe sahip olması gerekir:

- Mekanik direnç ve büzülme açısından maksimum homojenlik,
- Sabit ve optimum işlenebilirliktir.

Beton bünyesindeki çatlakların, ne kadar geç oluşursa o kadar homojen dağıldığı bilinmektedir. Bu olgu, beton bileşimleri saptanırken, özellikle su/çimento oranı ve çimento cinsi seçilirken dikkate alınmalıdır. Sürekli betonarme kaplamalarını, sıcak ve kuru havada üretmekten sakınmanın, diğer zamanlarda ise etkin kür yapmanın faydası vardır.

Tablo 3.7. Örnek bir beton bileşimi ve özellikleri.

Malzeme Bileşenleri	Miktarları
Yuvarlak kum 0/5	746 kg
Kırılmış çakıl 8/20	485 kg
Kırılmış çakıl 20/40	628 kg
Çimento NPÇ 45	330 kg
Akışkanlaştırıcı	0.16 kg
Yoğurma suyu	160 kg
Mekanik ve fiziksel özellikleri	Değerleri
Yarmada çekme direnci	2.95 kPa
Taze betonda çökme	4 cm
Hava boşluğu yüzdesi	%4.2
Minimum tabaka kalınlığı	18 cm
Boyuna donatı yüzdesi	%0.67

Klasik betonarmede donatı, yapı elemanının işletme sırasında çekme gerilmelerine maruz kalacağı kesit bölgesine yerleştirilir. Sürekli betonarme yol plağında, bu elemanın eğilmesi nedeniyle doğacak gerilmeler, büzülme dolayısıyla oluşacak gerilmelerden oldukça küçük kalır. Diğer taraftan büzülme gerilmeleri plak kesitinin tamamına üniform biçiminde dağılır. Bu nedenle donatıların plağın yan yükseldiğine yerleştirilmesi gerekir.

3.4. Beton Kaplama Dizaynı

3.4.1. Genel özellikler

Beton kaplamaların asfalt (esnek) kaplamalara göre en büyük üstünlüğü, yüksek rijitlikleri ve elastikiyet modüllerinden ötürü trafik yüklerini zemin üzerinde daha geniş alana yayabilmeleri ve daha fazla mukavemet gösterebilmeleridir. Ayrıca zemin mukavemet değişimlerinden ve çevre şartlarından (ısı, rutubet, vb.) daha az etkilenirler.

Beton kaplamalarının trafik ve çevre etkilerine karşı direncinden beton plaklar sorumludur. Bu nedenle, beton kaplamalarının dizaynı bir anlamda beton plakların kalınlığının

saptanmasından ibarettir. Ancak zemin taşıma gücü ve alttemelin varlığı beton plak kalınlığına etki etmektedir.

3.4.2. Beton kaplamalarda oluşan gerilmeler

Beton kaplamalar nispeten geniş ve ince beton plaklardan imal edilirler. Betonun mekanik karakteristiklerine (basınç, eğilmede çekme, yorulma, vb. mukavemetlerine) göre dizayn edilen beton kaplamalar, trafik ve çevre etkilerinden oluşan gerilmelere geniş ve ince plaklarla karşı koyarlar. Bu gerilmeler;

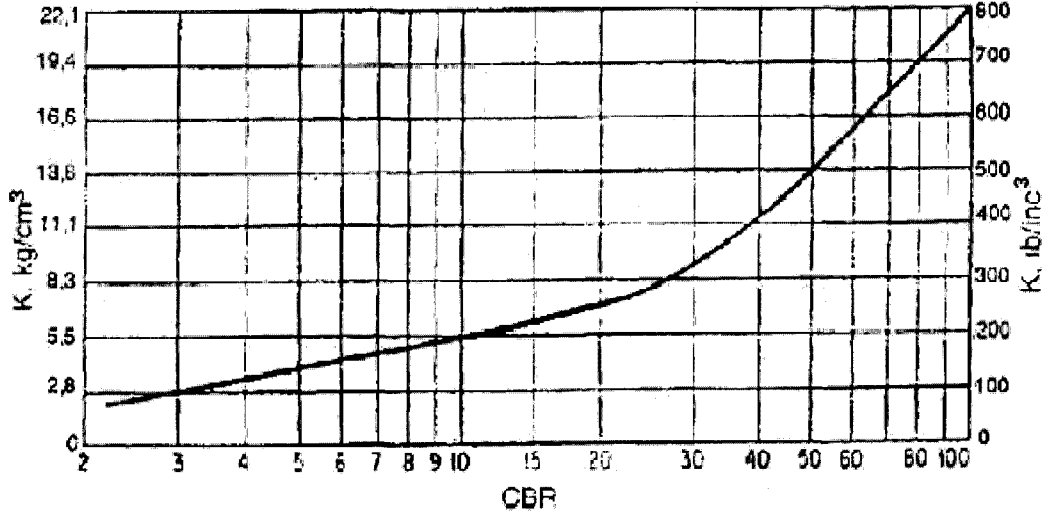
- Taşıt yükleri
- Peryodik ısı değişimleri (burulma - kıvrılma, büzülme, genleşme, vb.)
- Peryodik hacimsel değişimler (don kabarması, oturma, vb.)
- Plak ile temel arasındaki yatay sürtünme
- Plaklar arasındaki düşey sürtünme ve yük transferi

gibi sebeplerden ötürü farklı şiddetlerde oluşmaktadır. Bu nedenle, beton kaplama kalınlıklarının dizaynı için;

- Trafik (dingil yükü ve tekerrür sayısı)
- Zemin taşıma gücü
- İklim
- Betonun mekanik özellikleri

göz önüne alınmalıdır.

Teker yüklerinden ötürü beton plaklarda hem basınç hem de çekme gerilmeleri bir arada oluşmaktadır. Fakat betonun yüksek basınç mukavemetine sahip olması nedeniyle betonun eğilme - çekme gerilmesi esas alınarak geliştirilen dizayn metotları ile beton kaplama kalınlığı saptanmaktadır.



Şekil 3.6. CBR – k ilişkisi (PCA)

Beton kaplama dizaynında zemin mukavemeti, plaka yükleme testi ile elde edilen yatak katsayısı ile tanımlanır. Şekil 3.6.'da CBR ile k arasındaki ilişkisi görülmektedir.

Şekil 3.7.'de trafik yüküne maruz kalan bir beton plakta oluşan defleksiyon (çökme) ve zemin reaksiyon basıncı görülmektedir, zemin reaksiyonu, defleksiyon ve yatak katsayısı arasındaki ilişki For. 3.1 ile ifade edilir.

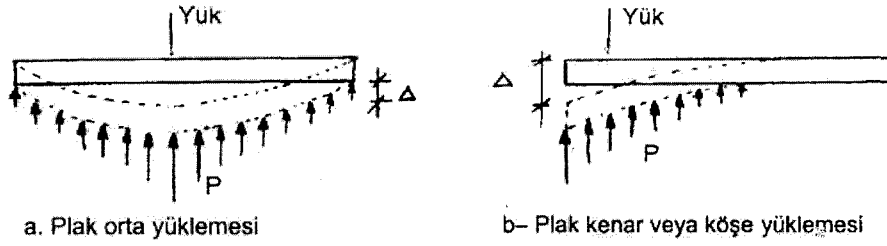
$$p = k\Delta \quad (3.1)$$

Burada:

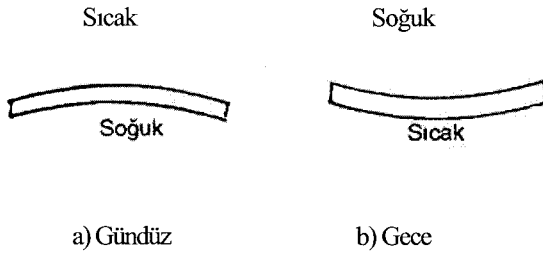
p: Zemin reaksiyon basıncı, kg/cm^2

k: Zemin yatak katsayısı veya zemin reaksiyon modülü, $\text{kg/cm}^2/\text{cm}$ (veya kg/cm^3)

Δ : Plakanın defleksiyonu, cm



Şekil 3.7. Beton plakda defleksiyon oluşumu



Şekil 3.8. Isı farkından ötürü beton plakda oluşan şekil değişirme

Beton plaklar ısının etkisi ile burulmaya uğrarlar. Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi, gece ve gündüz vakti kaplamanın alt ve üst yüzeyi farklı ıslardan dolayı plak kenarları yukarı veya aşağı doğru eğilmeye yani burulmaya (kıvrılmaya) çalışır. Bu da beton plakda ilave gerilmeleri doğurmaktadır. Beton plak içinde rutubet farklılığı olduğu durumlarda da burulma meydana gelir. Isı ve rutubet farkından ötürü plak kenarlarının yukarı veya aşağı doğru kıvrılmaya zorlanırken kaplamanın kalınlığı (yani ağırlığı) tarafından bu kıvrılmaya karşı konulur. Bu da beton plak içinde burulma gerilmelerini doğurur.

Beton plağın kenar ve köşelerinde oluşan bu kıvrımlardan dolayı beton plak her noktasında zeminle tam temas edemeyeceğinden zeminin beton plağa desteği üniform olamayacaktır. Böylece teker yükünün kaplamada yarattığı eğilme-çekme gerilmesi de artmaktadır. Şekil 3.8.b.'de ise plağın kenarına etki eden yük zeminin desteği olmadığından dolayı daha büyük çekme gerilmesi yaratacaktır.

Betondaki mevsimsel ısı değişimlerinden ötürü beton plakta genişleme veya büzülme meydana gelir. Bu da beton plakda basınç ve çekme gerilmeleri yaratır. Fakat beton plaklarda yapılacak genişleme derzleri ile bu gerilmeler ortadan

kaldırabilir veya en azından azaltılabilir. Bu defada derzlerin varlığı ile teker gürültüsü yaratılarak sürüş konforunu azaltılmaktadır.

3.4.2.1. Teker yüklerinden ötürü oluşan gerilmeler

Beton plak üzerine etki eden teker yükü plağın farklı bölgelerinde farklı eğilme gerilmelerini yaratmaktadır. Şekil 3.9.'da kaplamanın farklı bölgelerine etki eden trafik yükleri görülmektedir. En kritik gerilmeler plağın köşesine yük etkimesi halinde ve en düşük gerilmeler ise plağın ortasına etki etmesi halinde oluşmaktadır.

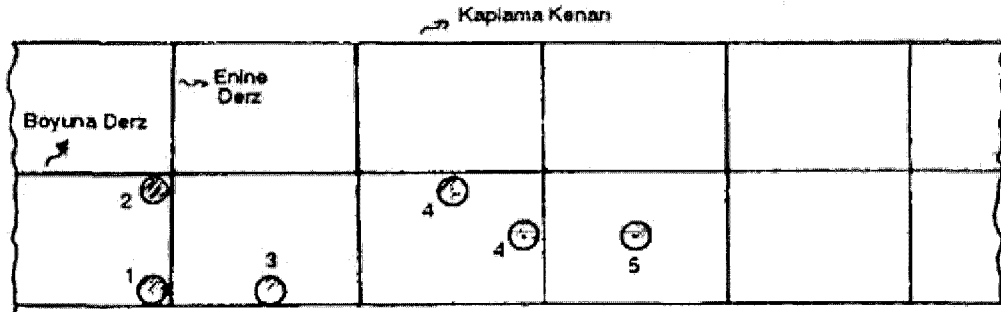
Şekil 3.9.'da 1 nolu noktadaki teker yükü beton plakda maksimum eğilme – çekme gerilmesi yaratırken aynı teker yüküne sahip 2,3,4 ve 5 nolu noktalarda giderek azalan bir etki göstermektedir. Bir beton kaplama plağı üzerine etki eden teker yükü;

- Teker yükünün pozisyonu
- Teker yükünün büyüklüğü
- Teker yükünün etki alanı (temas alanı)

gibi parametrelere bağlı olarak plağın konkav (dış bükey) şekilde deforme olmasına neden olur. Beton plağın deformasyona karşı direnci;

- Zeminin rijitliğine
- Beton eğilme rijitliğine

bağlı olarak değişir.



Şekil 3.9. Beton plakta farklı gerilme yaratan teker yükleri

Eğilme momenti, For. 3.2 ile bulunur.

$$M = \frac{EI}{R} = EI \frac{d^2y}{dx^2} \quad (3.2)$$

Burada;

- M : Beton plakta oluşan eğilme momenti
- EI : beton plak kirişin rijitliği (Elastikiyet modülü x Atalet momenti)
- R : Eğilmeden oluşan eğriliğin yarıçapı
- x, y : Koordinatlar

Beton plağın alacağı moment, For. 3.3 ile bulunur.

$$M_x = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \frac{d^2w}{dx^2} = D \frac{d^2w}{dx^2} \quad (3.3)$$

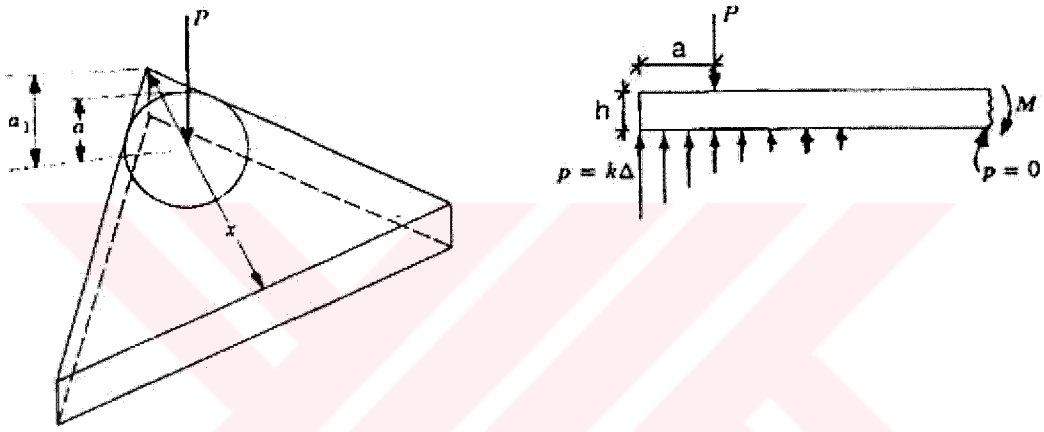
Burada D, beton plağın rijitliğidir. Westergard 'a göre plağın ve zeminin relatif rijitliği, For. 3.4 ile bulunur.

$$l = \sqrt{\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)k}} \quad (3.4)$$

Burada;

- l : Relatif rijitlik yarıçapı, cm
 E : Beton kaplamanın elastikiyet modülü, kg/cm^2
 h : Beton kaplamanın kalınlığı, cm
 μ : Beton kaplamanın poisson oranı (≈ 0.15)
 k : Yatak katsayısı (zemin reaksiyon modülü), kg/cm^3

Westergaard köşe yüklemesi, kenar yüklemesi ve orta yüklemesi olmak üzere üç farklı durumu göz önüne almaktadır.



Şekil 3.10. Beton plakda köşe yüklemesi

Köşe yüklemesi (P) halinde moment ve çekme gerilmesi, For. 3.5 ve 3.6 ile bulunur.

$$M_c = -\frac{P}{2} \left[1 - \left(\frac{a_1}{l} \right)^{0.6} \right] \quad (3.5)$$

$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{a_1}{l} \right)^{0.6} \right] \quad (3.6)$$

Bu formüldeki a_1 değeri, Şekil 3.10.'daki gibi bulunur.

"Bureau of Public Road" tarafından amprik olarak geliştirilen formüle göre köşe yüklemesinde oluşan çekme gerilmesi, For. 3.7 ile hesaplanır.

$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{a\sqrt{2}}{l} \right)^{0.6} \right] \quad (3.7)$$

Eğer plağın kenarları yukarı doğru kıvrık ise kenar yüklemesi ile oluşan çekme gerilmesi, For. 3.8'da verilen ampirik formülle hesaplanabilir.

$$\sigma_c = \frac{0.572P}{h^2} \left[4 \log \left(\frac{l}{b} \right) + \log b \right] \quad (3.8)$$

Eğer beton plak kıvrık değilse veya aşağı doğru kıvrıksa Westergaard'a göre $\mu = 0.15$ için kenar yüklemesinde oluşan çekme gerilmesi, For. 3.9'da verilen ampirik formülle hesaplanabilir.

$$\sigma_c = \frac{0.572P}{h^2} \left[4 \log \left(\frac{l}{b} \right) + 0.359 \right] \quad (3.9)$$

Yine $\mu = 0.15$ için Westergaard'a göre orta yüklemesinde oluşan çekme gerilmesi, For. 3.10 ile bulunabilir.

$$\sigma_i = \frac{0.316P}{h^2} \left[4 \log \left(\frac{l}{b} \right) + 1.069 \right] \quad (3.10)$$

Burada;

b: Basınç dağılımının eşdeğer yarıçapı, cm

Eğer $a < 1,724 h$ ise $b = \sqrt{6a^2 + h^2} - 0.675$

Eğer $a > 1,724 h$ ise $b = a$

a: Teker temas alanının yarıçapı $= \sqrt{\frac{P}{q\pi}}$

q: Lastik basıncı

Westergaard analizine göre teker yükünde ötürü beton plağın altında oluşan eğilme gerilmeleri, For. 3.11 ile bulunabilir.

$$\sigma_x \text{ veya } \sigma_y = \frac{3P}{8\pi h^2} \left[(1 + \mu) \ln \frac{Eh^3}{k \left(\frac{a+b}{2} \right)} \mp 2(1 - \mu) \frac{a-b}{a+b} \right] \quad (3.11)$$

Bu formüldeki a ve b, elipsoid teker temas alanının çapları olup For. 3.12 ve 3.13 ile hesaplanabilmektedir.

$$a = \sqrt{(P/q)/(0.6655\pi)} \quad (3.12)$$

$$b = 0.6655a \quad (3.13)$$

Westergaard tarafından 1948 yılında öne sürdüğü bu metot için aşağıdaki kabulleri yapmaktadır.

- Beton kaplama yükleme halinde sadece düşey yönde hareket etmekte ve zeminin gösterdiği reaksiyon basıncı defleksiyon (sehim) ile orantılıdır ($p = k\Delta$).
- Zemin k değerine göre defleksiyon yapabilen sürekli bir elastik ortam olmayıp birbirinden bağımsız yan yana gelmiş yayların farklı defleksiyonu (Winkler temeli) olarak davranış gösterir.
- Beton plak homojen ve elastik bir katıdır.
- Beton isotropik (eş moleküllü, her tarafda aynı özellikte) bir yapıya sahiptir. Yani beton plağın köşe, kenar ve orta kısmındaki gerilme dağılımı ile plak kalınlığındaki gerilme dağılımı üniformdur.
- Beton plağın elastikiyet modülü ve Poisson oranı üniformdur.

Esasen bu kabullerin birçoğu gerçeği yansıtmamaktadır. Fakat bu kabullerin yapılması halinde beton kaplamada oluşan gerilmeler hesaplanabilmektedir. ACI tarafından geliştirilen esnek yaklaşım metodunda ise momentler, defleksiyonlar ve kayma gerilmesi For. 3.14, 3.15, 3.16, 3.17 ve 3.18 ile bulunmaktadır.

$$M_r = -\frac{P}{4} \left[Z_4 - \frac{1-\mu}{x} Z_3' \right] \quad (3.14)$$

$$M_t = -\frac{P}{4} \left[\mu Z_4 + \frac{1+\mu}{x} Z_3' \right] \quad (3.15)$$

$$\Delta = \frac{Pl^2}{8D} \quad (\text{Düşey yönde}) \quad (3.16)$$

$$\Delta_r = \frac{Pl^2}{4D} Z_3 \quad (\text{P yükünden r mesafede}) \quad (3.17)$$

$$\tau = -\frac{P}{4l} Z_4' \quad (3.18)$$

Burada;

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \quad (\text{Beton plak rijitliği, moment birimi})$$

$$l = \sqrt[4]{D/k} \quad (\text{Beton plak ve zeminin relatif rijitliği, uzunluk birimi})$$

Z_i : Faktörler (Şekil 3.11.'den)

M_r ve M_t : Noktasal yükün etkidiği noktadaki radyal ve teğetsel momentler (herbirim genişlik için)

τ : Plağın her birim genişliği için kayma gerilmesi

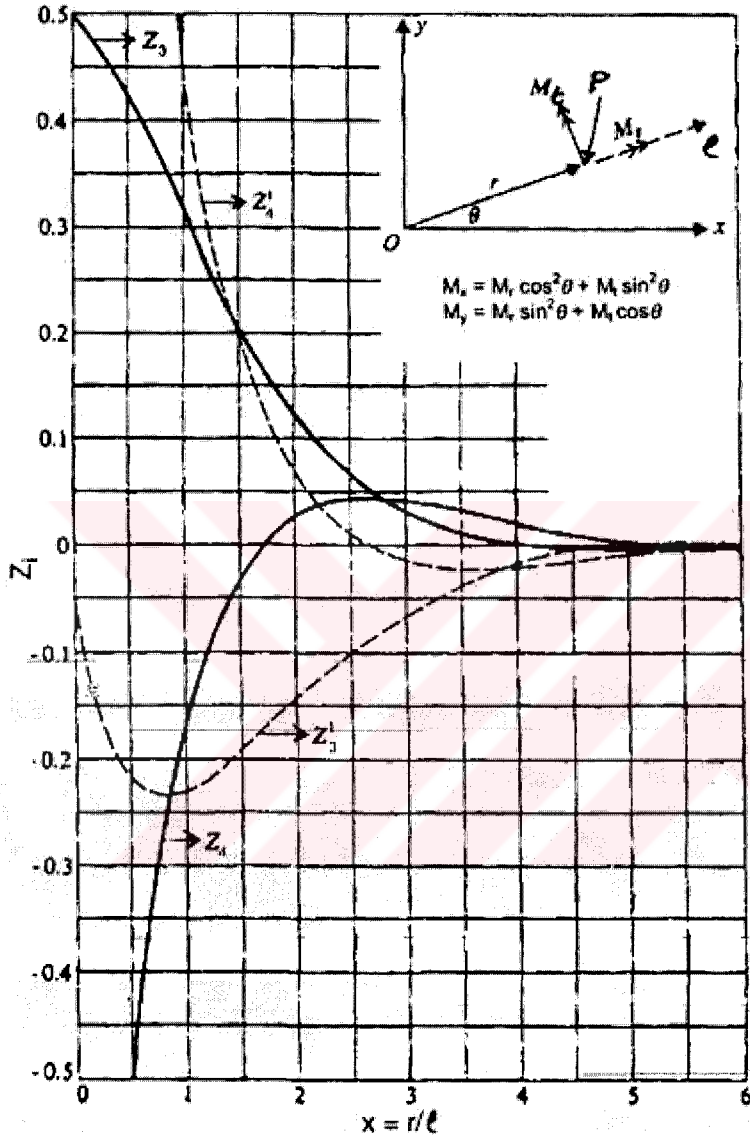
x : r/l

M_r ve M_t momentleri polar koordinatda hesaplanabilmektedir. Bunların dik koordinatlara (M_x ve M_y) dönüşümü, Şekil 3.11.'deki formüllerle yapılabilir.

l doğrultusu üzerinde etki eden birçok yük için bulunacak M_x ve M_y momentleri işaretlere dikkat ederek toplanmalıdır. Gerilme, For. 3.19 ile hesaplanabilir.

$$\sigma = \frac{6M_t}{h^2} \quad (3.19)$$

Burada M_i , plağın birim genişliği için hesaplanmış M_x veya M_y momentlerinden biri olacaktır.

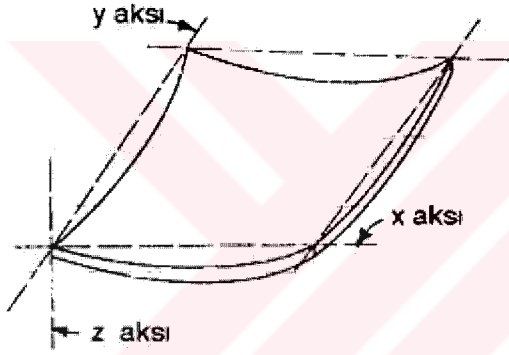


Şekil 3.11. Z_i faktörleri (Hetenyi)

Westergaard analizine göre teker yükünün üniform dairesel yayılı yük olarak kaplamaya etki etmediği ve plağın ortasına veya kenarına yük etkimesi halinde maksimum çekme gerilmesi plağın tabanında oluşurken yükün plağın köşesine etki etmesi halinde maksimum çekme gerilmesi plağın üst kısmında meydana gelmektedir.

Corps of Engineers ve FAA (Federal Aviation Administration) kenar yüklemesini ve PCA (Portland Cement Association) ise orta yüklemesini esas alan havaalanı beton kaplama dizaynlarını geliştirmiştir. Fakat karayolu kaplamaları için genel olarak köşe yüklemesi göz önüne alınmaktadır.

3.4.2.2. Burulmadan ötürü oluşan gerilmeler



Şekil 3.12. Isıdan dolayı beton plakda oluşan burulma

Eğer beton plak Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi, alt ve üst yüzeyi farklı ısıya maruz kalması halinde kıvrılmaya (yani burulmaya) zorlanacaktır. Beton plağın kendi ağırlığı ile bu kıvrılmaya karşı direnç göstermesi iç gerilmelerin doğmasına neden olmaktadır. Şekil 3.12.'da görüldüğü gibi, beton plağın üst kısmı alt kısmından daha soğuk ise kenarlarından yukarı doğru kıvrılmaya çalışacaktır. Bu durumda kenarları ve köşeleri zeminle temas etmediğinden dolayı bir nevi konsol gibi davranacağından beton plakda zayıf bölgeler yaratılmış olacaktır.

Westergaard'a göre ısıdan dolayı şekil değiştiren bir beton plağın üst kısmında oluşan çekme gerilmeleri, For. 3.20 ve 3.21 ile hesaplanabilmektedir.

$$\sigma_y = \sigma_o \left[1 - \sqrt{2} \sin \left(\frac{y}{l\sqrt{2}} + \frac{\pi}{4} \right) e^{-y/(l\sqrt{2})} \right] \quad (3.20)$$

$$\sigma_x = \sigma_o + \mu(\sigma_y - \sigma_o) \quad (3.21)$$

Burada σ_o , beton plakda Δ_t ısı farkı ile oluşan gerilme olup For. 3.22 ile bulunabilir.

$$\sigma_o = \frac{E\varepsilon_t\Delta_t}{2(1-\mu)} \quad (3.22)$$

Burada;

ε_t : Isıl genişleme katsayısı

E : Beton plağın elastikiyet modülü

Δ_t : Isı farkı

μ :Beton plağın Poisson oranı

Bradbury, Westergaard eşitliklerini For. 3.23, 3.24 ve 3.25'deki gibi düzenlenmiştir.

$$\text{Kenar Gerilmeleri için} \quad : \quad \sigma_x = \frac{C_x E \varepsilon_t \Delta_t}{2} \quad (3.23)$$

$$\text{Orta Gerilmeleri için} \quad : \quad \sigma_x = \frac{E \varepsilon_t \Delta_t}{2} \left(\frac{C_x + \mu C_y}{1 - \mu^2} \right) \quad (3.24)$$

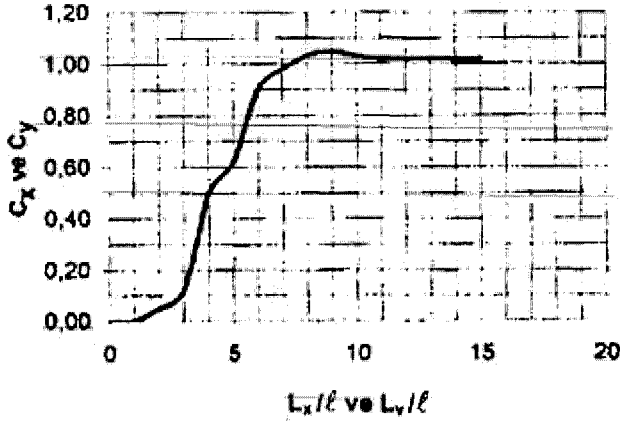
$$\sigma_y = \frac{E \varepsilon_t \Delta_t}{2} \left(\frac{C_x + \mu C_x}{1 - \mu^2} \right) \quad (3.25)$$

Burada;

C_x : Beton plağın uzunluğu yönündeki katsayı (Şekil 3.13.'den)

C_y : Beton plağın genişliği yönündeki katsayı (Şekil 3.13.'den)

L_x ve L_y : Beton plağın serbest uzunluğu ve genişliği



Şekil 3.13. Burulma gerilmeleri katsayıları (Bradbury)

Beton yol kaplamalarında en kritik gerilmeler Pickett'e göre, beton plağın serbest köşesinde ısı ile yukarı kıvrık olduğu durumda meydana gelmektedir. Eğer köşe yüklemesinde komşu plağa yük transferi %20'den fazla ise "Korunmuş Köşe" olarak adlandırılır. Eğer köşeler donatılı ise veya birbirine komşu köşeler arasında yalancı derz varsa köşeler korunmuş olacaktır. Bu durumda maksimum eğilme gerilmesi, For. 3.26 ve 3.27'da verilen yarı ampirik formülle hesaplanmaktadır.

$$\sigma = \frac{3.36P}{h^2} \left(1 - \frac{\sqrt{a/l}}{0.925 + 0.22a/l} \right) \quad \text{"korunmuş köşeler"} \quad (3.26)$$

$$\sigma = \frac{4.2P}{h^2} \left(1 - \frac{\sqrt{a/l}}{0.925 + 0.22a/l} \right) \quad \text{"korunmamış köşeler"} \quad (3.27)$$

For. 3.26 ve 3.27'deki Pickett formülleri sadece karayolları için geçerli olup plak köşelerinde dairesel teker basıncı esas alınmaktadır. Havaalanı beton kaplamaları için beton plağın serbest kenarına veya yük transfer kabiliyeti olmayan derzde eliptik teker basıncı esas alınmaktadır. Teker basıncının alanı, For. 3.28 ile hesaplanmaktadır.

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{(y-b)^2}{b^2} = 1 \quad (3.28)$$

Burada;

a ve b: Lastik temas alanının eliptik eksen uzunlukları

x ve y: Dik koordinatlar, (x kenara veya derze paralel olup a eksenini x- yönündedir.)

Beton plağın altında oluşan çekme gerilmesinin kenar veya derz boyunca ve eliptik teker temas alanına teğet olan değeri, For.3.29 ile hesaplanır.

$$\begin{aligned} \sigma_e = & \frac{2.21(1+\mu)P}{(3+\mu)h^2} \log \frac{Eh^3}{100[(a+b)/2]^4} \\ & + \frac{3(1+\mu)P}{\pi(3+\mu)h^2} \left[1.84 - \frac{4\mu}{3} + (1+\mu) \frac{(a-b)}{(a+b)} \right. \\ & \left. + 2(1-\mu) \frac{ab}{(a+b)^2} + 1.18(1+2\mu) \frac{b}{l} \right] \end{aligned} \quad (3.29)$$

Westergaard yaklaşımını Teller ve Sutnerland arazi deneyleri ışığı altında For.3.30, 3.31 ve 3.32'deki gibi modifiye etmişlerdir. Burada kenar ve köşe yüklemelerinde plağın burulduğu göz önüne alınmaktadır.

$$\sigma_i = \frac{0.275P}{h^2} (1+\mu) \left[\log \left(\frac{Eh^3}{kb^4} \right) - 0.346 \right] \quad (3.30)$$

$$\sigma_e = \frac{0.529P}{h^2} (1+\mu) \left[\log \left(\frac{Eh^3}{kb^4} \right) + \log \left(\frac{b}{1-\mu^2} \right) - 1.0792 \right] \quad (3.31)$$

$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{a\sqrt{2}}{l} \right)^{1.2} \right] \quad (3.32)$$

Burada;

σ_i ve σ_e = Beton plağın orta kısmında ve kenarında P teker yükü etkidiğinde plağın tabanında oluşan maksimum çekme gerilmesi

σ_c : Beton plağın köşesinde P teker yükü etki ettiğinde plağın üst kısmında oluşan maksimum çekme gerilmesi

a: Dairesel teker temas alanının yarıçapı

h: Beton plak kalınlığı

μ ve E: Betonun Poisson oranı ve elastikiyet modülü

b: For.5.35 veya 5.32'den

$$l = \sqrt[4]{D/k}$$

Sonuç olarak beton kaplamalarda oluşan gerilmeler;

- Teker yükü ve lastik basıncı
- Tekerlerin ara mesafesi
- Teker yükünün plaktaki yükleme yeri (köşe, kenar veya orta)
- Zeminin reaksiyonu (yatak katsayısı)
- Çevresel etkilerden (ısı, rutubet) ötürü beton plakda burulma
- Burulmanın yönüne (dış bükey, iç bükey) göre teker yükünün plaka üzerindeki yükleme yeri

gibi nedenlere bağlı olduğundan belirlenmesi de oldukça karmaşıktır. Beton kaplamalardaki gerilmelerin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerde zeminin, beton plağın her noktasına reaksiyon gösterdiği ancak reaksiyonun büyüklüğü defleksiyon ile arttığı kabul edilmektedir. Beton plak burulduğunda yani kenarlarının yukarı veya aşağı kıvrıldığında zeminin desteği beton plakda süreklilik göstermemektedir. Ayrıca tekerrür eden yükler altında zeminde yada temel tabakasında oluşan kalıcı deformasyonlar, beton plak ile zemin arasındaki teması azaltmaktadır. Isı nedeniyle oluşan burulmalar ve zemindeki kalıcı deformasyonlar sonucu oluşan hacim değiştirmeler beton kaplamada oluşan gerilmeleri artırmaktadır.

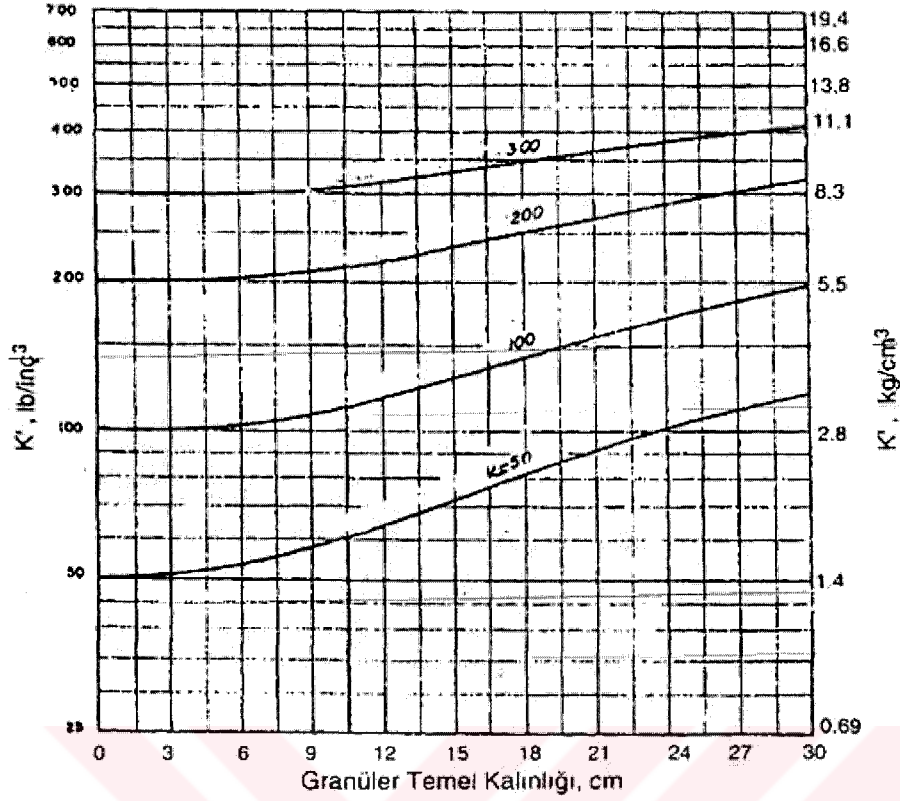
Beton kaplamalarda;

- Beton plakaya etki eden yükün büyüklüğüne
- Zeminin yatak katsayısına (veya zemin reaksiyon modülü)
- Beton plakanın burulma halinde yükleme şartlarına

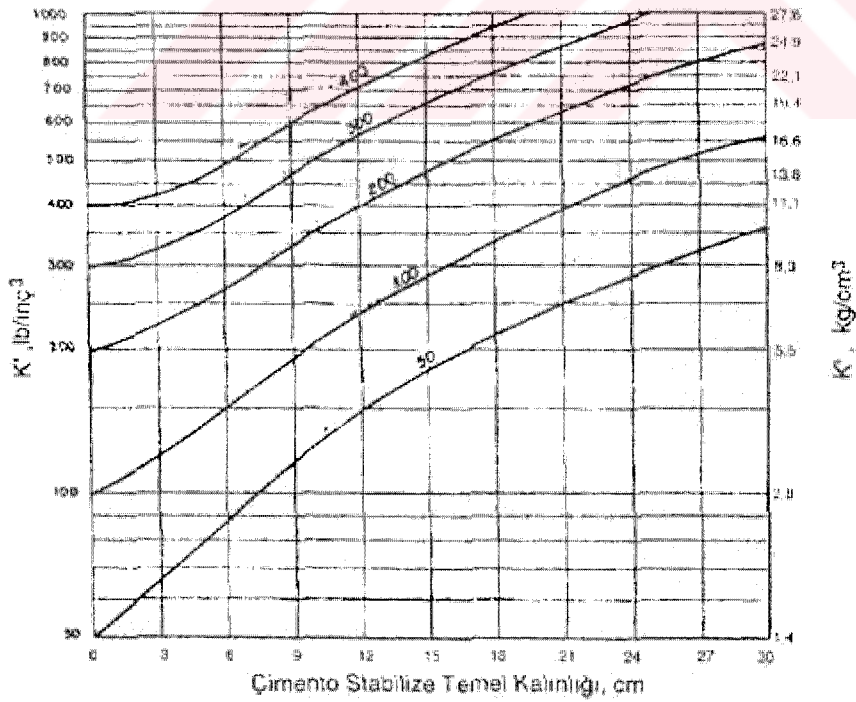
bağlı olarak oluşan gerilmelerin bileşkesi göz önüne alınmalıdır. Zira kritik gerilmeler;

- Beton plak yukarı doğru kıvrık iken köşe yüklemesinde
- Beton plak aşağı doğru kıvrık iken orta yüklemesinde

meydana gelmekte ve gerilme yükün miktarı ile artmaktadır. Dolayısıyla yükten ötürü oluşan gerilmeler ile ısıdan ötürü oluşan burulma gerilmelerinin bileşkesi göz önüne alınmalıdır. Ayrıca beton plaktaki çatlaklar, merkezde ve köşede meydana gelmektedir. Burulma gerilmeleri zeminin rijitliği (yani yatak katsayısı) ile artış göstermektedir. Zira zeminin rijitliği arttıkça yani fleksibilitesi azaldıkça beton plağın burulması sırasında zemin esneyemediğinden burulma gerilmesi de artmaktadır. Bu nedenle, kaya zeminler üzerine doğrudan veya beton üzerine beton plak yapılması halinde burulma gerilmelerinden dolayı çatlaklar artmaktadır. Killi zeminler kolayca esneyebildiğinden dolayı burulma gerilmeleri azalmakta ancak bu seferde zemin pompajı, don kabarması, hacim değiştirmesi, vb. hususlardan dolayı beton plakda ilave gerilmeler yaratmaktadır. Bu nedenle, beton plak ile zemin arasında granüler temel tabakası yapılmaktadır. Temel tabakasının kalınlığı arttıkça yatak katsayısı da artmaktadır. Bu durum, Şekil 3.14. ve 3.15.'de açıkça görülmektedir. Zeminin sahip olduğu yatak katsayısı (k) temel tabakasının kalınlığına bağlı olarak artmaktadır. Beton kaplama temel tabakası üzerine oturacağından dolayı temel tabakası üzerindeki yatak katsayısı (k') dizaynda göz önüne alınmalıdır.



Şekil 3.14 Granüler temel tabakasının zemin yatak katsayısı üzerindeki etkisi



Şekil 3.15 Çimento stabilize temel tabakasının yatak katsayısı üzerindeki etkisi

BÖLÜM 4. ESNEK ve RİJİT ÜSTYAPILARIN KARŞILAŞTIRMASI

4.1. Ülkemizde ve Dünyada Esnek ve Rijit Üst Yapılar

Ülkemizde şimdiye kadar karayolları ağında beton yol yapımı gündeme gelmemiştir. Son olarak, Karayolları Genel Müdürlüğü ile Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği arasında yapılan anlaşma ile birtakım deneme yollarının imalatı kararlaştırılmıştır. Kaplama yapım maliyetleri Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği tarafından karşılanmak üzere, İstanbul Hasdal – Kemerburgaz, Afyon – İncehisar geçişi yapılacaktır.

Bu yolların trafik yükleri altında göstereceği performans verilerine göre, ülkemizde de beton yol yapımı gündeme gelecektir. Genel olarak belirtildiği gibi beton yol uygulamaları dünyada uzun yıllardır yaygın olarak tartışılmakta ve performansları bölgesel niteliklere göre incelenip gerekli istatistiksel data toplanmaktadır.

Adolf Hitler'in 2. dünya savaşının öncesinde hazırlıklarından biri de ülkenin önemli yol ağlarını beton olarak yapmasıdır. Nitekim, savaş sırasında çok büyük faydalarını görmüştür. Beton yollar, mukavemetleri ve durabiliteeleri yüksek olduğundan, bombardıman sırasında kısmi hasarlara uğrayıp yolların tamamen kullanılmaz hale gelmesini önlemişlerdir. Bu da, ordunun lojistik desteğini, hızlı hareket etmesini, saldırı ve savunma kapasitesini arttırmıştır.

4.2. Fiziksel Karşılaştırma

Rijit üstyapıların üstünlükleri;

Boyuna sürtünme katsayıları 0.70; enine sürtünme katsayıları 0.65 civarındadır. Kayma sürtünme katsayıları yüksektir. Kaymaya karşı direnci fazladır ve güven vericidir. Islak oldukları zaman sürtünme katsayısının küçülmesi diğer plastik bağlayıcılarla yapılan

kaplamalara göre daha azdır. Yol yüzeyi düz olduğundan yağış suları kolay akar ve yüzey çabuk kurur.

Mekanik özellikleri (mukavemet, yorulma mukavemeti, v.b) daha yüksek olduğundan daha az kalınlıkta yapılır.

Dayanıklı bir kaplama tipidir. Dayanma bakımından her türlü etkiye karşı koyacak şekilde hazırlanabilirler.

Çatlak oluşmasını önlemek için çelik donatı kullanılabilir. Kaplama çatlasa bile çelik donatı sayesinde, çekme gerilmeleri taşınabilir. Çelik donatı uygulanabilen yegane kaplama tipidir.

Bakım ve onarım ihtiyaçları son derece azdır.

Gürültüsüz ve tozsuzdur. Işığı az emer. Yüzey pürüzlülüğü az olduğu için yüksek hızda az gürültü yapar.

Yüzeyin dayanıklılığı malzemenin ufalanıp toz haline dönüşmesini önler.

Açık rengi sayesinde gece kolay görünür. Islak olduğu zaman bile tehlikeli far ışığı yansımalarına sebep olmaz. Bu olay, trafik güvenliği açısından önem taşır.

Gereği gibi bakıma tabi tutulduklarında tam bir yüzey geçirimsizliği sağlarlar.

Gerekli önlemler alındığında zayıf zeminler üzerinde de iyi hizmet görürler.

Plastik bağlayıcılarla yapılan yollarda çok görülen deformasyon olan ondülasyonlar beton yollarda görülmez.

Sürtünme katsayısı yüksek olduğundan, plastik kaplamalara göre daha dik eğimlere uygulanabilirler.

Uzun süre kullanıldıktan sonra yüzey çok bozulacak olursa, basit bir tamirle diğer kaplamalara (parke veya asfalt) temel görevi yapabilir. Kendi kendisine de temel görevi yapar.

Diğer kaplama tiplerine göre en önemli özelliklerinden biri de, temel ve aşınma tabakasının aynı malzemedен ve genellikle tek tabaka halinde yapılabilmesidir. Ancak bu halde aşınma tabakasında görülecek herhangi bir bozukluk, beton yol döşemesinin temel ile birlikte değiştirilmesini gerektirir. Halbuki temel tabakasının hizmet ömrü çok uzun olabilir. Ekonomik düşünceler beton yolu iki tabaka halinde yapmak gereğini ortaya çıkarmıştır. Böylelikle üst kısmı oluşturan aşınma tabakasının gerek malzeme kalitesine gerekse yapım yöntemine çok özen gösterilerek hizmet süresinin uzaması sağlanır. [7]

Türkiye'nin bir çok bölgesinde beton dökümü için inşaat mevsimi daha uzun sürelidir. Asfalt betonunun aksine ıslak zeminde de imalat yapılabilir. 5°C'nin üstündeki sıcaklıklarda ve rutubetli havalarda imalat yapılabilir.

Betonun üretimi daha kolay ve kontrolü daha azdır.

Beton yollar suyu geçirmemesinin ve homojen olmasının sonucu olarak trafik yük ve sarsıntılarını, titreşim etkilerini her tarafa yayması beton kaplamaların en iyi koruyucu tabaka görevini yaptığını gösterir.

Rijit üstyapının sakıncaları;

Projelendirme ve imalatta oluşabilecek hata veya ihmal, üstünden geçireceği trafikle ilgisi olmadan, çabuk yıpranmasına sebep olan çatlakların oluşmasına neden olur. Priz sırasındaki rötre ve diğer ısı değişiklikleri çatlakların oluşma nedenlerindedir. Don olayların tekrarlanması durumunda, çatlamaş olan kaplama tamamen bozulur.

Kademeli imalata uygun değildirler.

Beton kaplamaların inşaatı, kalifiye eleman gerektirdiğinden daha zordur.

Yapım sırasında ve betonun prizini tamamlayıncaya kadar yol trafiğe kapalı kalacaktır.

Bakım ve onarım sırasında da yol trafiğe kapalı kalacaktır.

Servis yolu yapımına ihtiyaç duyar.

Altyapı tesisleri, beton yolun yapımından önce projelendirilip ona göre yapılmalıdır. Yolun inşaatından sonra kanalizasyon, doğalgaz gibi çalışmaların yapımı zorluklara neden olur.

Yer altı tesislerinde oluşabilecek arızaların tespiti güçtür. Arıza giderildikten sonra beton yolun tamir edilen kısmı zayıf kalacaktır.

Açık renkli olmaları nedeniyle güneşte göz kamaştırmalarına neden olurlar. Betona boya katılarak bu sorun ortadan kaldırılır.

Beton plaklar arasındaki derzler, sürüş konforunun azalmasına ve gürültüsünün artmasına neden olur.

Derzlerin yapılması ve korunması büyük özen ve deneyim gerektirmektedir.

4.3. Ekonomik Karşılaştırma

Asfalt kaplamalı esnek üstyapılar ile beton kaplamalı rijit üstyapıların ilk yapım maliyetleri, taban zeminin taşıma gücüne ve trafik hacmine göre değişmektedir. Taban zeminin zayıf olması durumunda beton kaplamalar, asfalt kaplamalara kıyasla düşük trafik hacimlerinde bile daha ekonomik olmaktadır.

Taban zemininin iyi olması durumunda, belli bir trafik değerine kadar, asfalt kaplamalar beton kaplamalara kıyasla daha ucuza malolmaktadır. Bunun en başlıca nedeni, düşük trafik düzeylerinde dahi beton plak kalınlığının en az 15 cm alınması ve bunun altında bir değere düşürülmesinin mümkün olmamasıdır. Ancak, trafik miktarı $T_{8,2} = 700$ ve daha yukarı ise durum, yine beton kaplamaların lehine

dönmekte ve beton kaplama, asfalt kaplamaya göre daha ekonomik olmaktadır. [5]

1999 'da İTÜ'de yapılan araştırmaya göre, değişik zemin seçeneklerinde CBR (California Bearing Ratio) %3 ve CBR %10 olan yol ilk yapım maliyetleri değişik proje trafiklerine ($T_{8.2}$) aşağıdaki tablolarda karşılaştırmıştır. [Şekil 4.1. – 4.2.] [Tablo 4.1. – 4.2.]

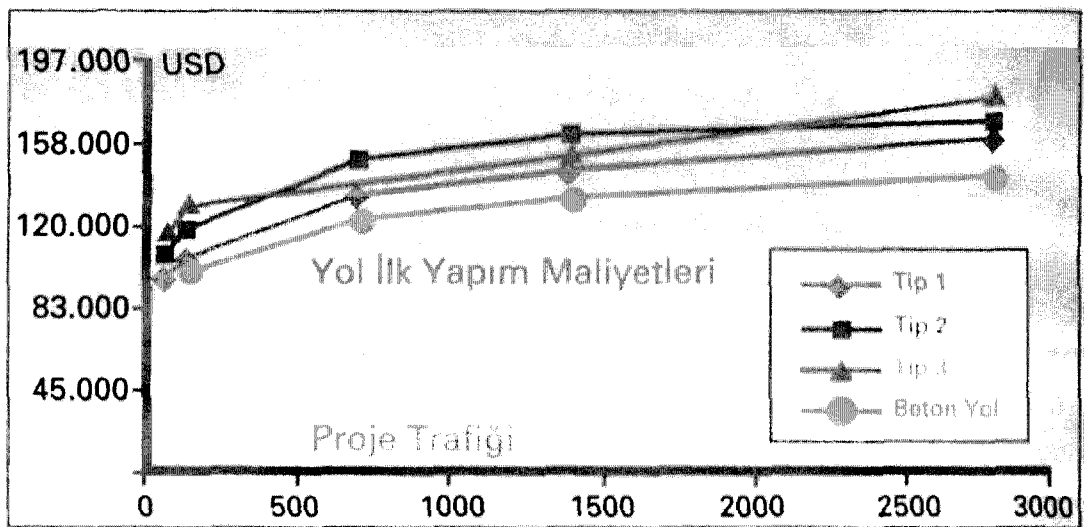
Esnek üst yapıda üç seçenek karşılaştırmıştır. Bunlar:

Tip 1: Kum - çakıl alttemel, kırmataş temel, asfalt betonu binder ve aşınma tabakası

Tip 2: Kum - çakıl alttemel, sıcak bitümlü temel, asfalt betonu binder ve aşınma tabakası

Tip 3: Kum - çakıl alttemel, zayıf (düşük çimento dozlu) beton temel, asfalt betonu aşınma ve binder tabakası

Rijit üst yapı ise; kum - çakıl alttemel, demir donatısız, derzli beton kaplama, (derzlerde bağlantı ve kayma demirleri kullanılacaktır.



Şekil 4.1. Yol yapım maliyetleri karşılaştırması zayıf zemin CBR=%3

Buna göre, yaygın kanının tersine beton yolun esnek üst yapıya göre ilk yapım maliyetinin, sadece çok sağlam bir zemin de ve çok düşük trafik hacimli bir yol yapıldığı takdirde yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır. Bakım ve onarım maliyetleri düşünülmeden ortaya çıkan bu sonuca göre şu söylenebilir: Sırf ekonominin düşünüldüğü durumlarda bile yapılacak yolun koşullarından bağımsız olarak beton yolun tercih edilmesi gerekir. Özellikle ülkemizdeki karayollarında %40 ağır taşıt trafiği olduğu da düşünülürse, beton yolun hem ekonomik olduğu hem de bir zorunluluk olduğu açıktır.

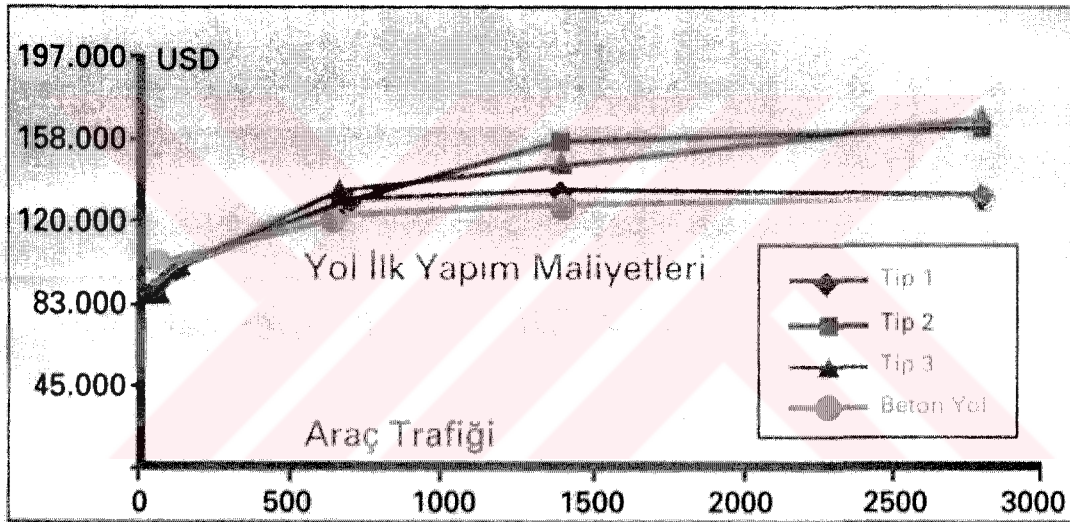
Örneğin son yapılan bir araştırmada, Derzli Beton Kaplamalı yolların, asfalt kaplamalı yollara göre, yapım ve bakım gözönüne alınarak, % 13'den % 28'e kadar daha düşük bir maliyete sahip olduğu ortaya konmuştur.

Tablo 4.1.'de verilen değerlerin elde edildiği araştırmanın yapıldığı 1998 yılı ortalama USD kuru 265.000 TL alınmıştır

Sürekli donatılı betonarme yollarda ise asfalta göre hiçbir maliyet farkı yoktur. Bu çalışmada gerçek yapım ve bakım verileri kullanılmıştır.

Tablo 4.1. Yol ilk yapım maliyetleri karşılaştırması zayıf zemin (CBR: %3)

X=Proje Trafığı	Y= ilk Yapım Maliyetleri (X1.000 USD / km)			
	Esnek Üst Yapı (Asfalt)			Rijit Üstyapı (Beton)
(T _{8.2})	Tip 1	Tip 2	Tip 3	
70	94.4	102.3	109.9	97.0
140	101.5	111.7	115.1	97.0
700	129.9	145.3	144.9	118.9
1400	144.6	156.3	149.9	127.6
2800	154.0	162.7	174.4	126.1



Şekil 4.2. Yol yapım maliyetleri karşılaştırması güçlü zemin CBR=%10

Tablo 4.2. Yol ilk yapım maliyetleri karşılaştırması güçlü zemin (CBR: %10)

X=Proje Trafığı (T _{8.2})	Y= ilk Yapım Maliyetleri (X1.000 USD / km)			
	Esnek Üst Yapı (Asfalt)			Rijit Üstyapı (Beton)
	Tip 1	Tip 2	Tip 3	
70	83.1	83.8	83.1	97.0
140	88.7	89.5	88.7	97.0
700	115.1	118.2	128.0	116.3
1400	128.3	138.9	137.0	124.9
2800	132.1	152.9	151.7	134.0

Tablo 4.2.'de verilen değerlerin elde edildiği araştırmanın yapıldığı 1998 yılı ortalama USD kuru 265.000 TL. alınmıştır.

Türkiye'de yapılan başka bir araştırmanın sonuçları daha da ilginçtir. Türkiye'deki maliyetlerle yapılan bu araştırmanın sonucunda, asfalt yolun sırf yapım maliyeti beton yola göre fazla çıkmaktadır. 13 Metre genişliğinde (7 m'si kaplama) olan yolun kilometre maliyeti beton için 2001 yılı fiyatlarıyla 85.000 USD/ km, asfalt için 120.000 – 143.000 – 136.000 USD/ km bulunmuştur. (Haziran 2001 USD kuru 1.144.000 TL alınmıştır) [9]

10 yıllık analiz periyodu sonunda rijit (beton) kaplama daha ekonomik olmaktadır. 15 yıllık analiz periyodu sonundan itibaren her türlü durumda maliyet kıyaslaması, sürekli olarak rijit (beton) kaplamanın lehinde sonuçlanmaktadır.

4.4. Maliyet Analizi

4.4.1. Bu çalışmada izlenen yöntem

Bu bölümde rijit ve esnek üstyapının maliyet yönünden karşılaştırması için 10 km'lik bir yol projelendirilmiştir. Bunun için önce esnek ve rijit üstyapı, aynı parametre ve kabullere göre AASHTO yöntemine göre projelendirilmiştir. Bu projelendirmeye esas alınan parametreler ve yapılan kabuller aşağıda açıklanmıştır.

Trafik: Bu çalışmada 6 ayrı trafik grubu değerlendirilmiştir. Trafikğin değerlendirilmesi, standart dingil yükünün tekerrür sayısı ($T_{8.2}$) olarak yapılmıştır. Tablo 4.3.'den de görüleceği gibi bu 6 grup, hafif ve ağır taşıt trafiğini temsil etmektedir. Hafif taşıt trafiği olarak yıllık ortalama günlük ağır taşıt trafiğinin (YOGATT) 500'den küçük olduğu veya başka bir ifade ile $T_{8.2}$ 'nin 3 100 000'den küçük olduğu 0.5×10^6 , 1×10^6 standart dingil yükü tekerrürleri alınmıştır. Ağır taşıt trafiğini temsilen ise; yani YOGATT'nin 500'den büyük olduğu 5×10^6 , 10×10^6 , 20×10^6 ve 50×10^6 standart dingil yükü tekerrürleri alınmıştır.

Taban zemininin taşıma gücü (CBR): 3 farklı taban zemini düşünülmüş, buna göre taban zemini taşıma gücü olarak kötü CBR%3, orta CBR%10 ve iyi CBR%20 değerleri alınmıştır. Burada da amaç yine iyi ve kötü zemin durumlarında avantajlı olan üstyapı tipini ortaya çıkarmaktır.

Bölge Faktörü (R): Farklı çevre ve iklim koşullarında değerlendirme yapılması için düşünülmüş, AASHTO yol deneyinden geliştirilmiş formüle konulan katsayıdır. Biz bu çalışmada $R=1.0$ aldık.

Son sevis kabiliyeti (P_t): Yolun önemini (otoyol, devlet yolu ve il yolu gibi) değerlendirmek, çalışmanın sonuçlarına bu parametrenin etkisini dahil edebilmek için 2 farklı P_t değeri alınmıştır.

Donma indeksi (DI): trafik yüklerine göre bulunan üstyapı kalınlığının, don etkisinde de geçerli olup olamayacağını tahkik için donma indeksi hesabı yapılmıştır. Bu durumda düşük

ısılarda ($\leq 0^{\circ} \text{C}$) avantajlı üstyapı tipinin tespit edilme olanağı vardır. Bu çalışmada DI olarak 300, 600 ve 900 değerleri alınmıştır.

Beton özellikleri: $T_{8,2}=0.5 \times 10^6$ için beton mukavemeti BS30 (400 dozlu), $T_{8,2}=5.0 \times 10^6$ - $T_{8,2}=20.0 \times 10^6$ için BS35 (450 dozlu) ve $T_{8,2}=50.0 \times 10^6$ için BS40 (500 dozlu); elastisite modülü $300\,000 \text{ kg/cm}^2$, 450 dozlu betonun eğilme gerilmesi 49 kg/cm^2 elastisite modülü $320\,000 \text{ kg/cm}^2$ 500 dozlu betonun eğilme gerilmesi 56 kg/cm^2 elastisite modülü $340\,000 \text{ kg/cm}^2$ alınmıştır.

Taban zeminin değeri CBR= %3 için taban yatak katsayısı $k= 2.77 \text{ kg/cm}^3$, CBR= %10 için $k= 5.54 \text{ kg/cm}^3$ ve CBR= %20 için $k=6.95 \text{ kg/cm}^3$ olarak alınmıştır.

Minimum tabaka kalınlığı olarak aşınma 4 cm, binder 5 cm, bitümlü temel 6 cm ve beton plak 15 cm alınmıştır.

4.4.2. Üstyapı kalınlığının hesabı

Yukarıda açıklanan parametreler Tablo 4.3.'de gösterildiği gibi birlikte değerlendirilmiş, oluşturulan 18 veri grubu için ve AASHTO yöntemine göre esnek ve rijit üstyapı kalınlıkları ayrı ayrı tespit edilmiştir. Üstyapı tabakalarının seçilmesinde KGM'nin esas aldığı tiplerden yararlanılmıştır.

Tablo 4.3. Esnek ve beton kaplamalı yolların farklı parametrelere göre tabaka kalınlıkları ve bazı kabullere göre maliyetleri

Üstyapı ipi	Trafik T ₈₂ (x10 ⁶)	Pt	R	CBR (%)	Tek Kat Sathı Kaplama	Çift Kat Sathı Kaplama	Aşınma (cm)	Binder (cm)	Bitümlü Temel (cm)	Plentmiks Temel (cm)	Alttemel (cm)	Beton Plak (cm)	Maliyet (10Km) (2003 yılı Birim Fiyatları) Milyar	Maliyet Oranları Esnek/Rijit
1	0.50	2.00	1.00	3	X					15	40		2 507	0.74
										20	15	3 381		
2	0.50	2.00	1.00	10	X					15	25		1 958	0.58
										20	15	3 381		
3	0.50	2.00	1.00	20	X					15	20		1 781	0.53
										20	15	3 381		
4	1.00	2.00	1.00	3		X				20	45		3 100	0.92
										20	15	3 381		
5	1.00	2.00	1.00	10		X				20	25		2 340	0.69
										20	15	3 381		
6	1.00	2.00	1.00	20		X				20	20		2 159	0.64
										20	15	3 381		
7	5.00	2.50	1.00	3			4	6	8	20	35		5 839	1.43
										20	19	4 097		
8	5.00	2.50	1.00	10			4	6	8	15	15		4 661	1.18
										20	18	3 939		
9	5.00	2.50	1.00	20			4	6	8	20	-		4 320	1.10
										20	18	3 939		
10	10.00	2.50	1.00	3			4	6	8	20	45		6 307	1.38
										20	22	4 573		
11	10.00	2.50	1.00	10			4	6	8	20	15		4 948	1.12
										20	21	4 414		
12	10.00	2.50	1.00	20			4	6	8	20	-		4 320	0.98
										20	21	4 414		
13	20.00	2.50	1.00	3			5	6	10	20	50		7 190	1.47
										20	24	4 894		
14	20.00	2.50	1.00	10			5	6	10	20	20		5 794	1.22
										20	23	4 733		
15	20.00	2.50	1.00	20			5	6	10	15	10		5 073	1.07
										20	23	4 733		
16	50.00	2.50	1.00	3			6	8	10	20	55		8 113	1.51
										20	26	5 376		
17	50.00	2.50	1.00	10			6	8	10	20	20		6 456	1.20
										20	26	5 376		
18	50.00	2.50	1.00	20			6	8	10	20	10		6 017	1.16
										20	25	5 208		

4.4.3. Üstyapı maliyet hesapları

Tablo 4.3.'ün incelenmesinden de görüleceği gibi, yukarıda oluşturulan 18 veri grubu için herbir esnek ve rijit üstyapı maliyeti için KGM'nin 2003 birim fiyat ve analizleri esas alınarak hesaplanmıştır. Maliyet hesaplarında yapılan kabuller aşağıda verilmiştir. Maliyetlendirmeye esas keşif özetleri ise Tablo 4.6. ile 4.32. arasında yer almaktadır.

Kaplama genişliği 12 m, araç trafiği 7 m, banket 5 m olarak hesaplanmıştır.

Üstyapı sevi 5/2

Esnek üstyapı tabaka yoğunlukları alttemel 2.174 t/m^3 , plentmiks temel ve banket 2.258 t/m^3 , bitümlü temel 2.442 t/m^3 , binder 2.480 t/m^3 , aşınma 2.500 t/m^3 ; optimum su yüzdesi alttemel 10, plentmiks temel 4.5, optimum bitüm yüzdesi bitümlü temel için 3.38 (103.5 kg da 3.5 kg bitüm), binder için 4.31 (104.5 kg da 4.5kg bitüm) ve aşınma için 5.21 (105.5 kg da 5.5 kg bitüm) olarak belirlenmiştir.

Beton yoğunluğu 2.4 t/m^3 , 1 m^3 beton için kum – çakıl 1.25 m^3 , su 132 kg, mukavemet artırıcı katkı maddesi çimentonun %2'si kadardır.

Esnek üstyapı için; ocak – konkasör arası taş nakliyesi 2 km, alttemel nakliye mesafesi 50 km, plentmiks temel, bitümlü temel, binder ve aşınmanın plent serimyeri arası nakliye mesafesi 35 km, mıcır nakliye mesafesi 250 km, plentmiks temel, bitümlü temel, binder ve aşınmanın konkasör – plent arası nakliyesi 15 km, alttemel için su nakli 50 km, temel için su nakli 15 km, rijit üstyapı için benzer taşımalar aynı alınmış, farklı olarak kum – çakıl mesafesi 15 km, betonun mikser ile nakliye mesafesi 35 km, çimentonun nakliye mesafesi 90 km demirin nakliye mesafesi 90 km alınmıştır.

Nakliyelerde A katsayısı 1 olarak, betonun mikser ile nakli için A katsayısı 3 olarak alınmıştır.

4.4.4. Donma indeksinin değerlendirilmesi

Üstyapı hesabında iklim koşullarının daha ayrıntılı bir şekilde çalışmaya eklenmesi için, trafik yüklerine göre hesaplanan, üstyapı kalınlıkları (18 veri grubu için) dona etkisine göre de kontrol edilmiştir. İlave alttemel kalınlığının gerekli olduğu hallerde yeni maliyetler hesaplanmıştır.

Tablo 4.4. Farklı parametrelere göre don tesiri altında F_2 ve F_3 zemin grubunda rijit ve esnek üstyapının ilave alttemel kalınlıkları ve ilave alttemel işlenmiş haldeki maliyetleri (Milyar TL)

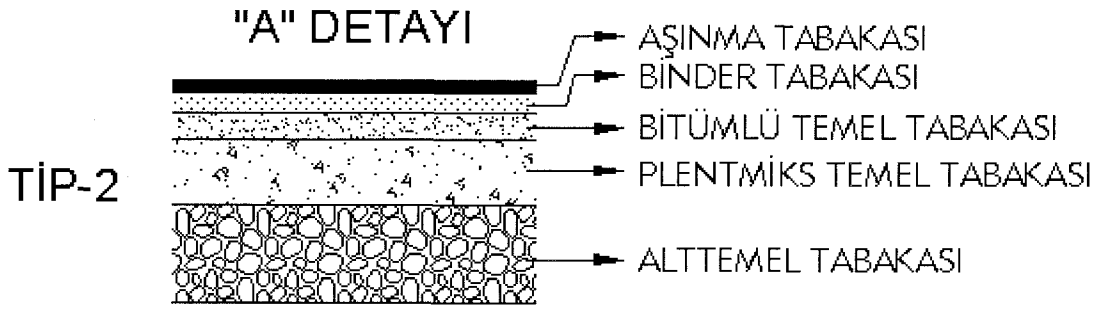
	esnek			rijit			esnek			rijit		
	300	600	900	300	600	900	300	600	900	300	600	900
1	-	30	45	10	50	70	2 507	3 558	4 083	3 714	5 050	5 717
2	5	45	60	10	50	70	2 128	3 489	4 000	3 714	5 050	5 717
3	10	50	65	10	50	70	2 118	3 466	3 972	3 714	5 050	5 717
4	-	15	35	10	50	70	3 100	3 644	4 371	3 714	5 050	5 717
5	-	35	55	10	50	70	2 340	3 566	4 266	3 714	5 050	5 717
6	5	40	60	10	50	70	2 332	3 546	4 240	3 714	5 050	5 717
7	-	15	30	10	45	65	5 839	6 489	7 140	4 436	5 623	6 301
8	-	35	50	10	45	65	4 661	6 100	6 716	4 277	5 459	6 135
9	10	50	65	10	45	65	4 761	6 527	7 190	4 277	5 459	6 135
10	-	5	20	10	45	65	6 307	6 527	7 190	4 916	6 116	6 802
11	-	35	50	10	45	65	4 948	6 413	7 041	4 755	5 951	6 634
12	10	50	65	10	45	65	4 761	6 527	7 190	4 755	5 951	6 634
13	-	-	10	10	40	60	7 190	7 190	7 639	5 239	6 276	6 967
14	-	25	40	10	40	60	5 794	6 862	7 503	5 077	6 110	6 798
15	-	40	55	10	40	60	5 073	6 721	7 339	5 077	6 110	6 798
16	-	-	5	-	40	55	8 113	8 113	8 342	5 376	6 769	7 292
17	-	20	40	-	40	55	6 456	7 319	8 182	5 376	6 769	7 292
18	-	30	50	-	40	55	6 017	7 289	8 137	5 208	6 595	7 116

Tablo 4.5. Farklı parametrelere göre don tesiri altında F₄ zemin grubunda rijit ve esnek üstyapının ilave alttemel kalınlıkları ve ilave alttemel işlenmiş haldeki maliyetleri (Milyar TL)

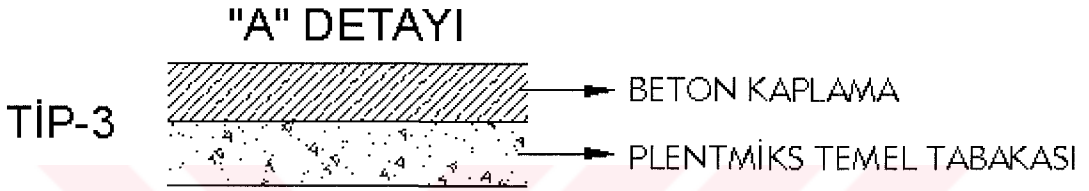
	esnek			rijit			esnek			rijit		
	300	600	900	300	600	900	300	600	900	300	600	900
1	10	45	60	30	65	85	2 857	4 083	4 608	4 382	5 550	6 218
2	25	60	75	30	65	85	2 809	4 000	4 511	4 382	5 550	6 218
3	30	65	80	30	65	85	2 792	3 972	4 477	4 382	5 550	6 218
4	-	35	50	30	65	85	3 100	4 371	4 916	4 382	5 550	6 218
5	20	55	70	30	65	85	3 041	4 266	4 791	4 382	5 550	6 218
6	25	60	70	30	65	85	3 026	4 240	4 587	4 382	5 550	6 218
7	-	25	45	30	60	80	5 839	6 923	7 791	5 114	6 131	6 809
8	15	45	65	30	60	80	5 277	6 511	7 333	4 953	5 966	6 642
9	30	60	80	30	60	80	5 644	6 969	7 852	4 953	5 966	6 642
10	-	15	35	25	60	75	6 307	6 969	7 852	5 430	6 631	7 145
11	15	45	65	25	60	75	5 576	6 832	7 669	5 268	6 464	6 976
12	30	60	80	25	60	75	5 644	6 969	7 852	5 268	6 464	6 976
13	-	10	30	20	55	75	7 190	7 639	8 539	5 585	6 795	7 486
14	5	40	60	20	55	75	6 008	7 503	8 357	5 421	6 626	7 315
15	20	55	75	20	55	75	5 897	7 339	8 163	5 421	6 626	7 315
16	-	-	20	20	55	75	8 113	8 113	9 030	6 073	7 292	7 988
17	-	35	55	20	55	75	6 456	7 967	8 830	6 073	7 292	7 988
18	10	45	65	20	55	75	6 441	7 925	8 773	5 901	7 116	7 810

Donma indeksinin artması iklim koşullarının ağırlaştığını ifade etmektedir. Bu nedenle farklı iklim koşullarında avantajlı üstyapı tipini tespit etmek için donma indeksi 300, 600 ve 900 olmak üzere 3 farklı şekilde seçilmiştir. Bu değerlerin seçilmesinde ülkemizdeki iklim koşulları göz önünde tutulmuştur. F₂ dona karşı az hassas, F₃ dona karşı hassas ve F₄ dona karşı çok hassas zemin grupları ifade etmektedir. Biz çalışmamızda 2 tip zemin grubu kullandık, F₂ ve F₃ birinci tip F₄ ise ikinci tip zemin grubudur.

Buna göre 18 veri grubu için ilave kalınlıklar hesaplanmış ve ek kalınlığı da dikkate alarak yeni maliyetler çıkarılmıştır. Bu maliyetler Tablo 4.4. ve Tablo 4.5.'de gösterilmiştir.



c)



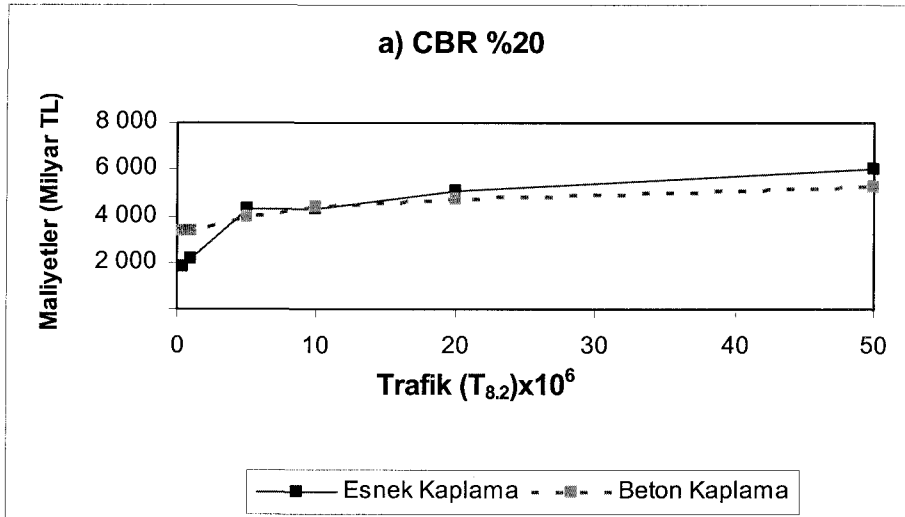
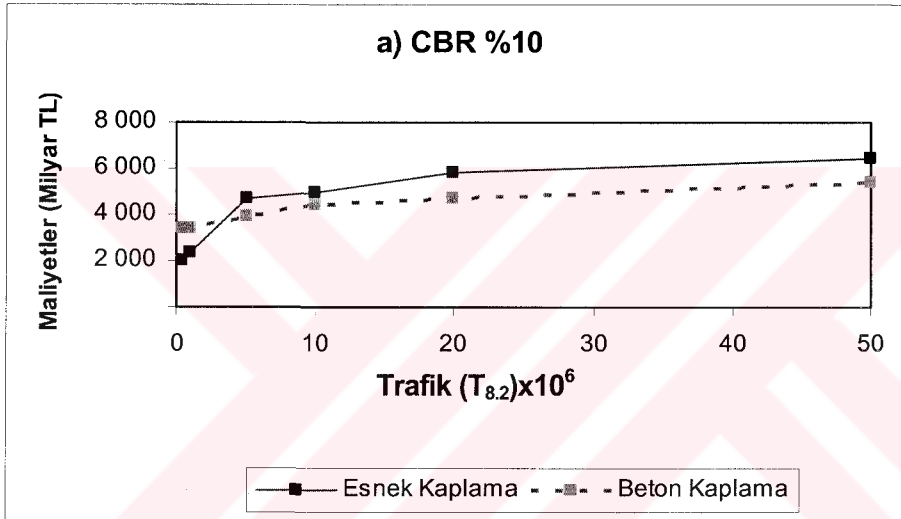
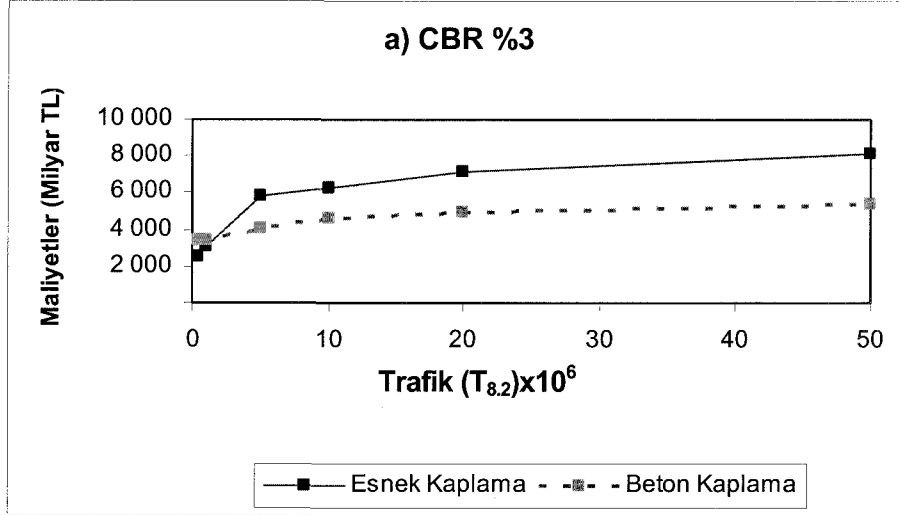
d)

Şekil 4.3.a 2 şerit gidiş – geliş yol tip enkesiti

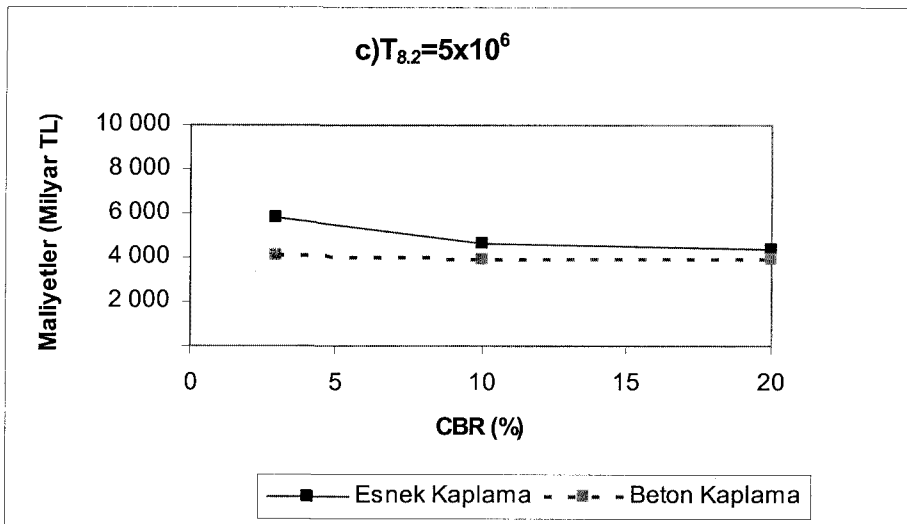
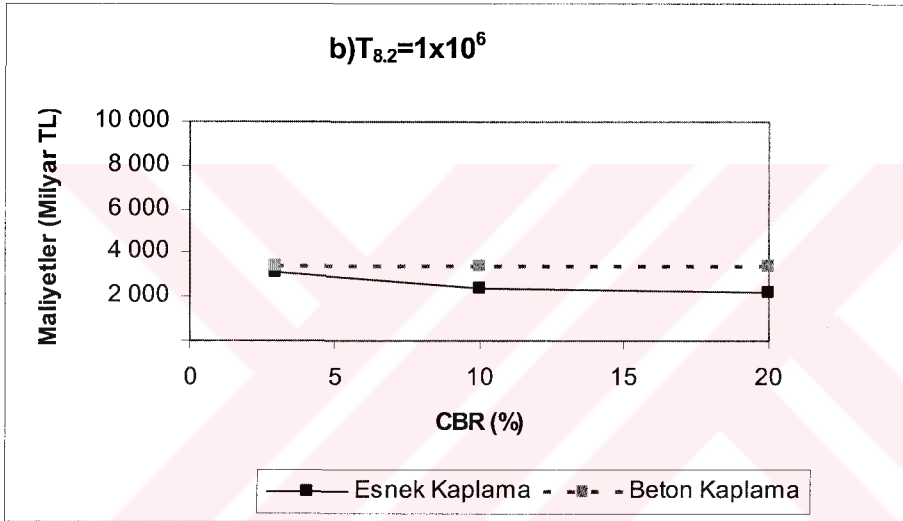
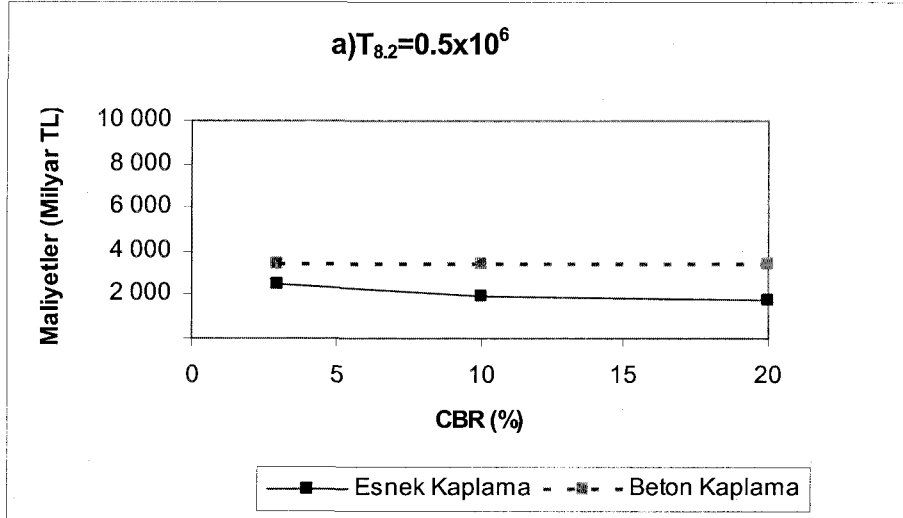
b Sathi kaplamalı yol üstyapı tipi

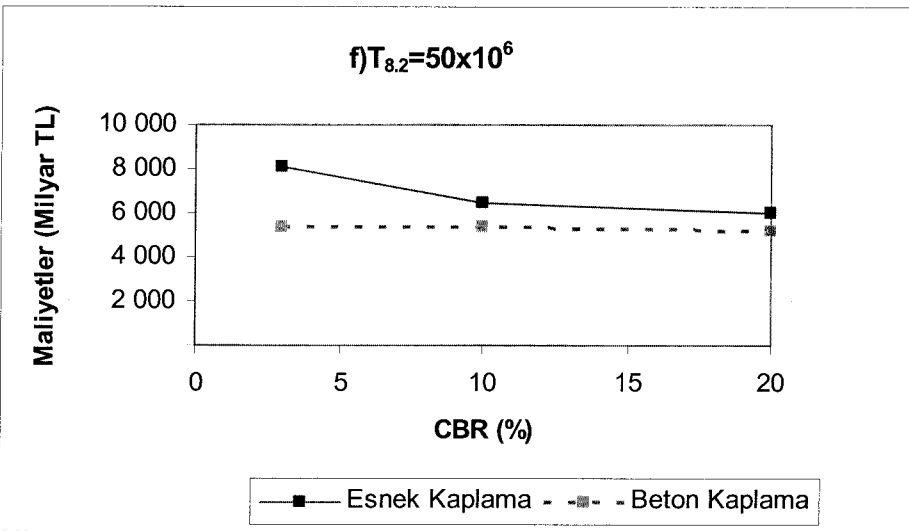
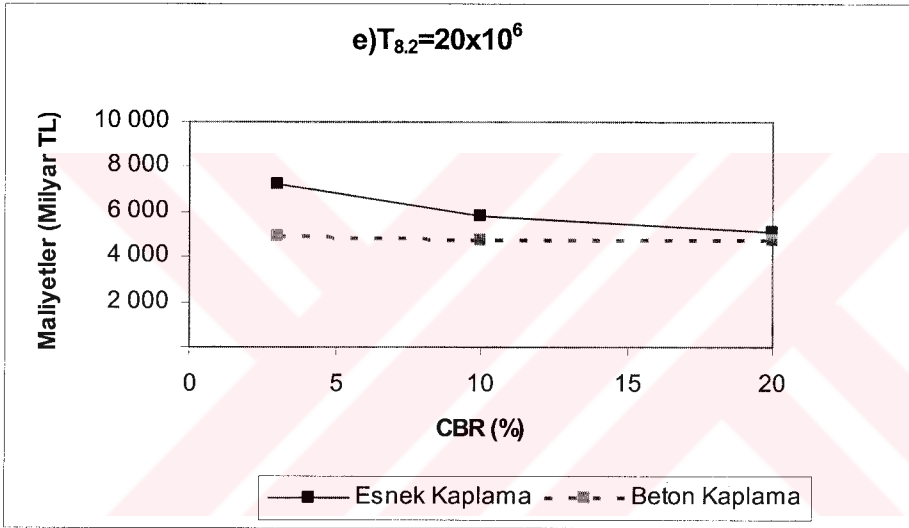
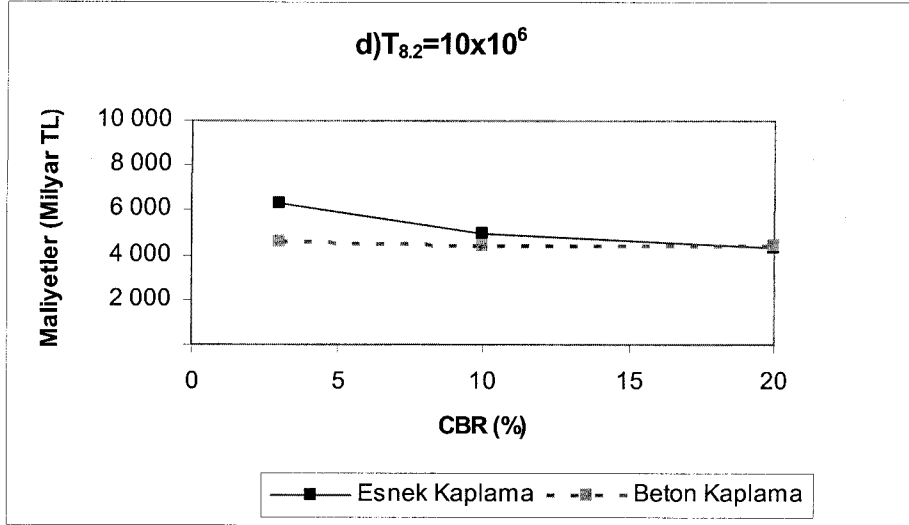
c Bitümlü sıcak karışım kaplamalı yol üstyapı tipi

d Beton kaplamalı yol üstyapı tipi

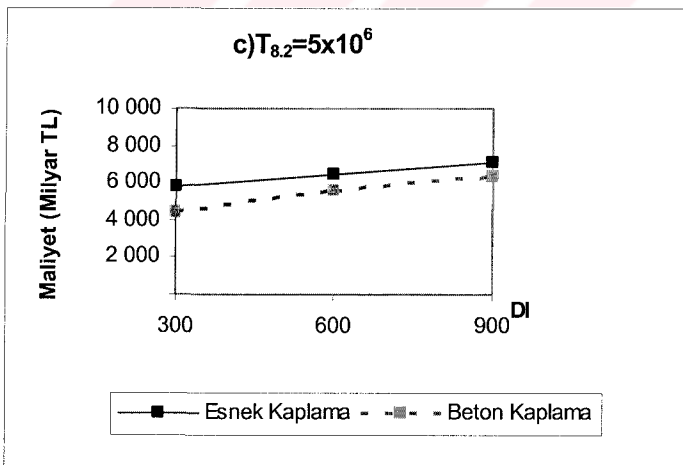
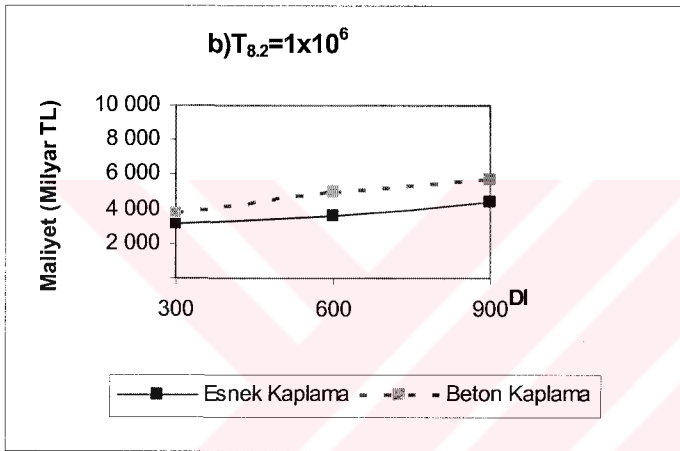
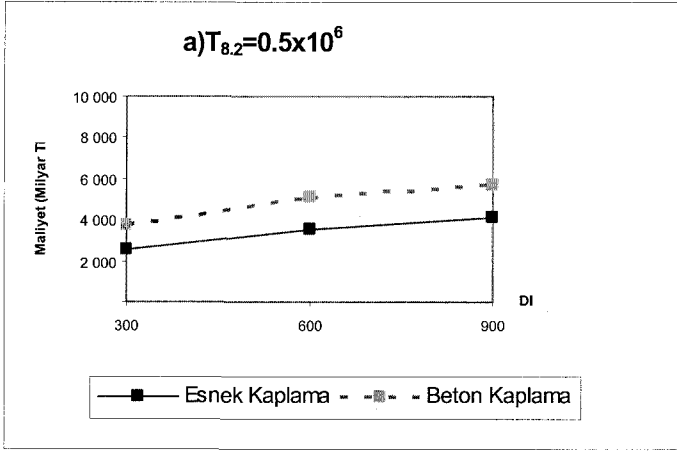


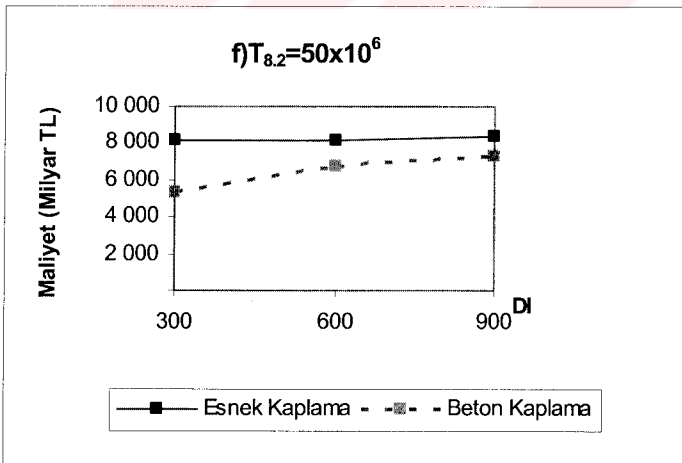
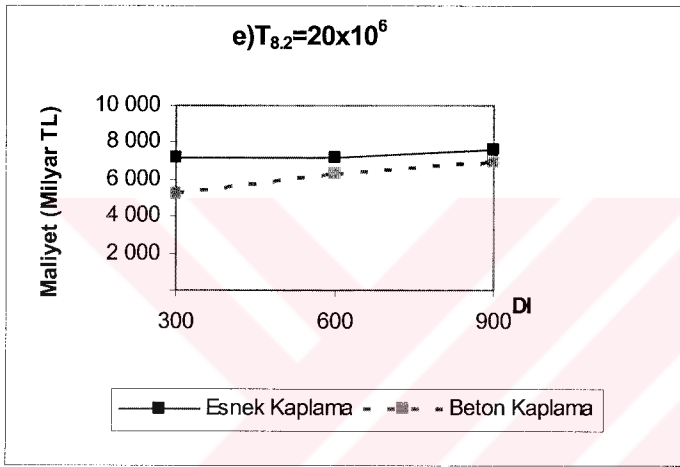
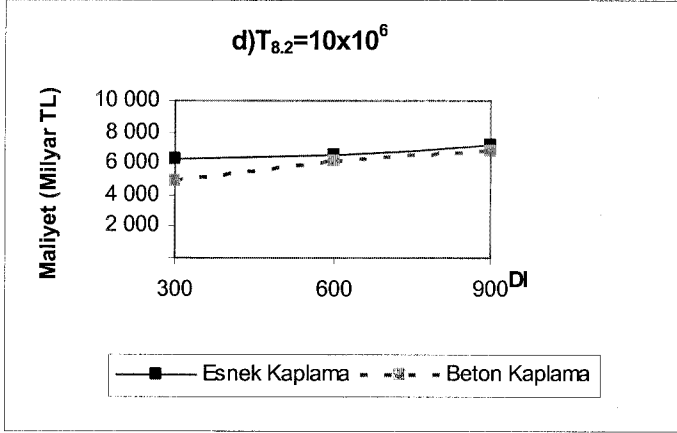
Şekil 4.4. Esnek ve beton kaplamalı yolların trafik maliyet ilişkisi



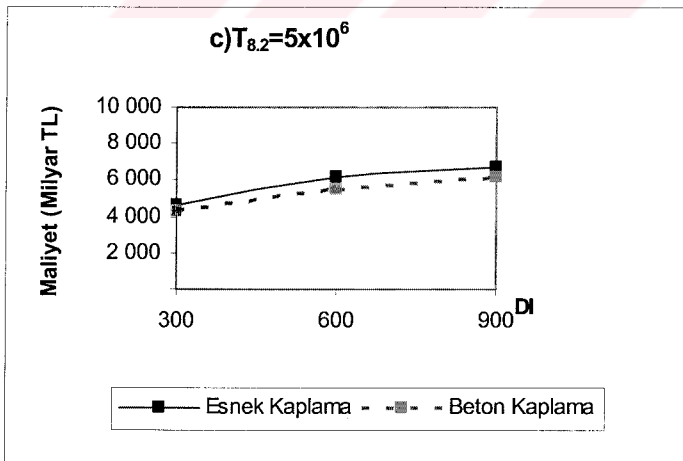
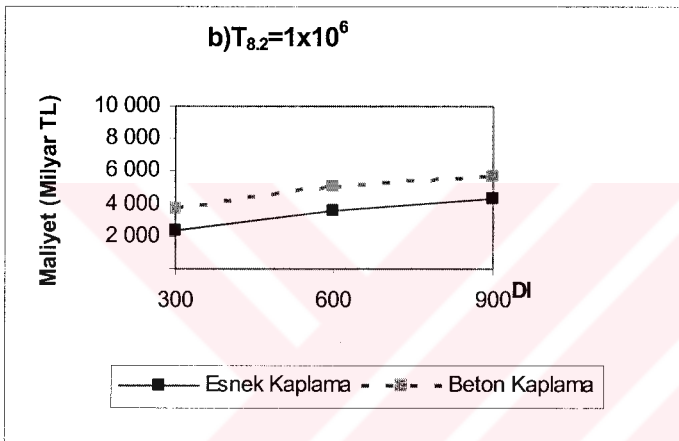
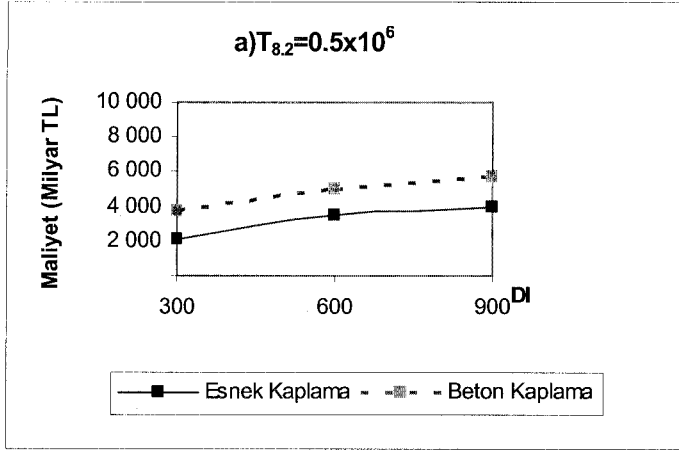


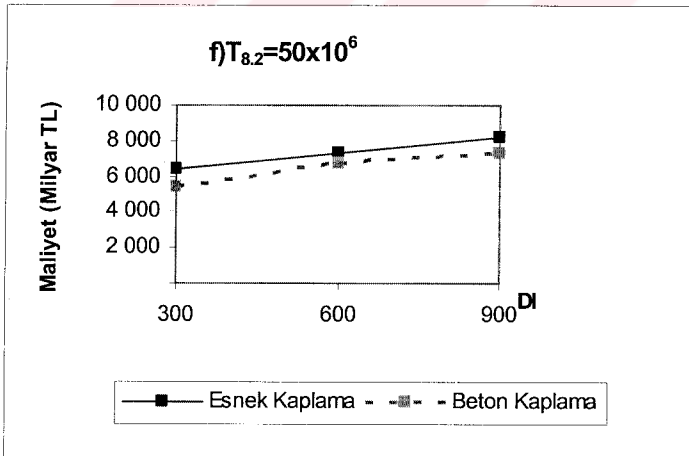
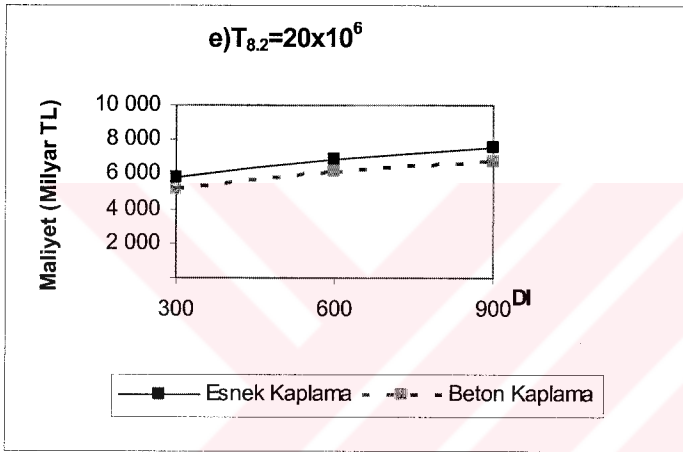
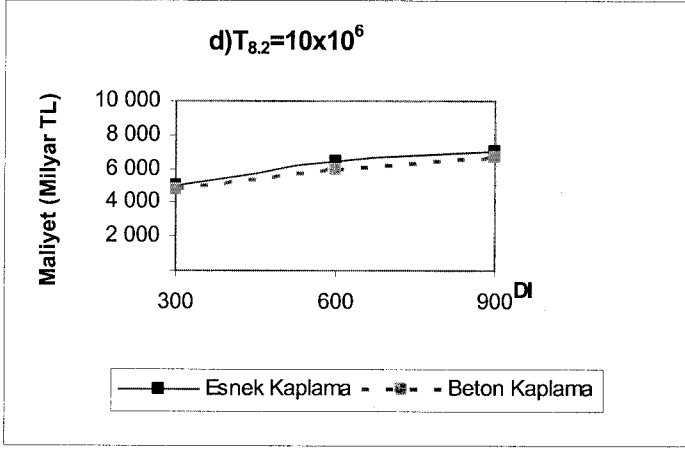
Şekil 4.5. Esnek ve beton kaplamalı yolların CBR maliyet ilişkisi



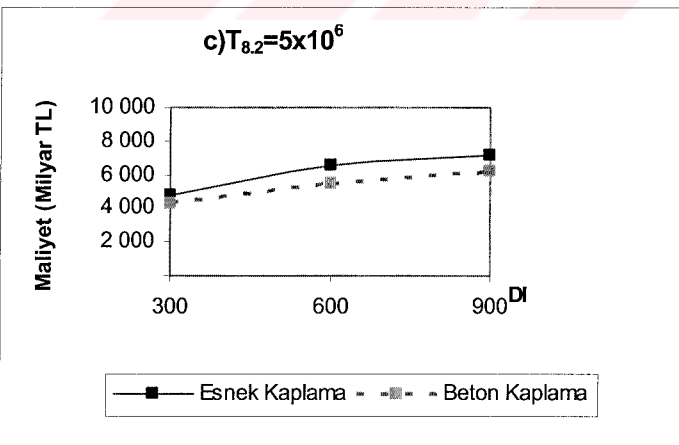
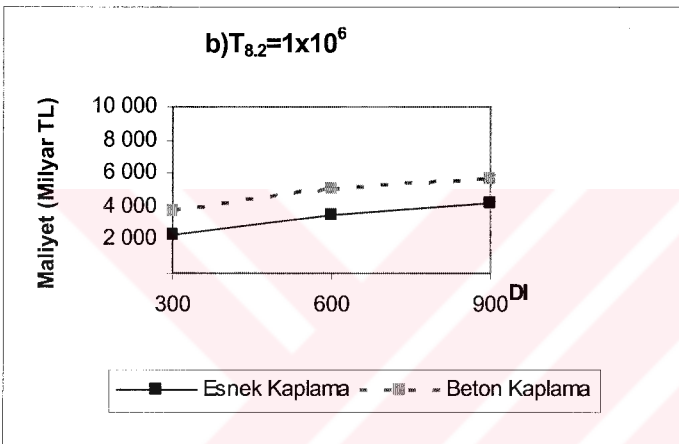
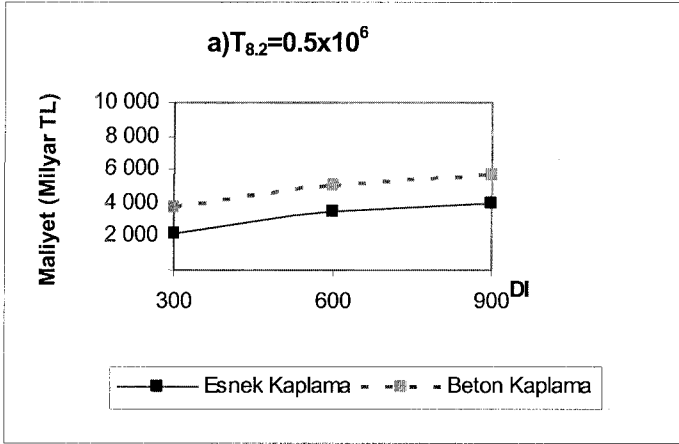


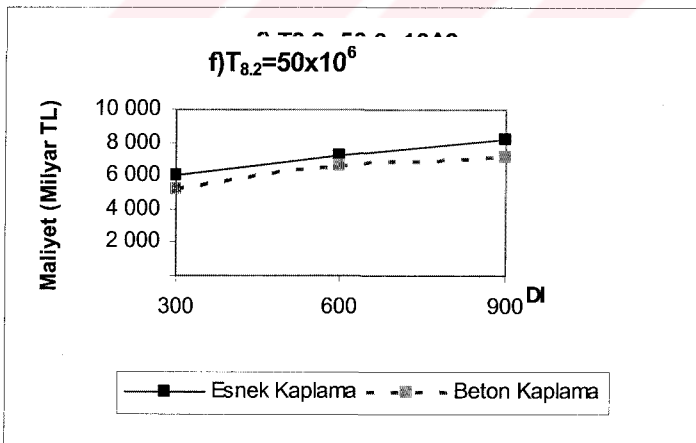
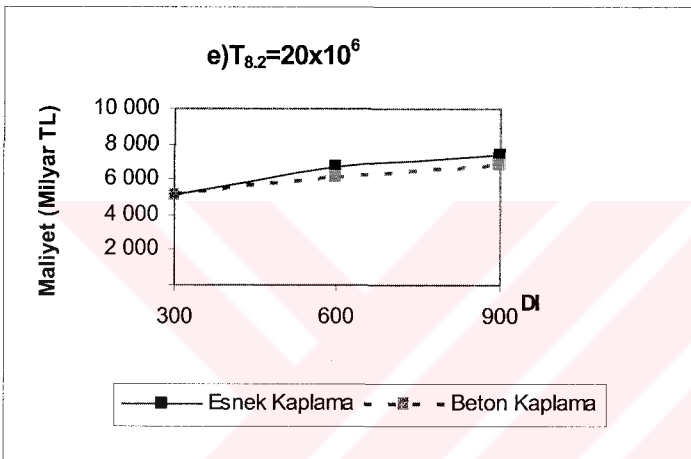
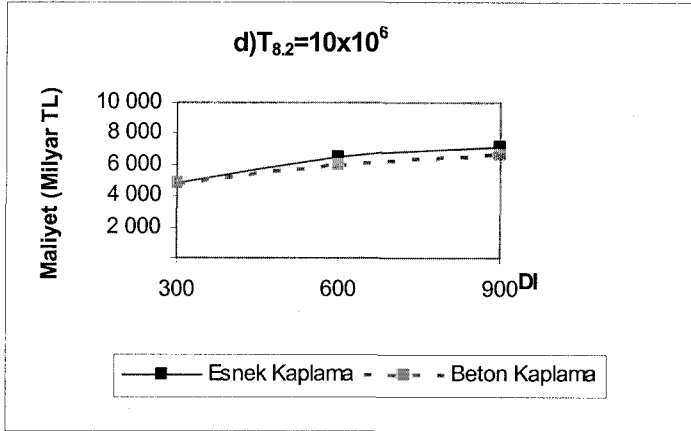
Şekil 4.6. Esnek ve rijit üstyapının donma indeksi (DI) – maliyet ilişkisi (zemin grubu: F₂, F₃; CBR %3)



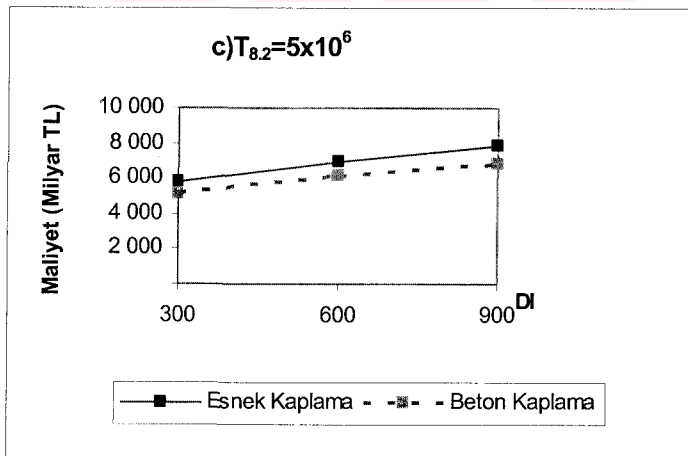
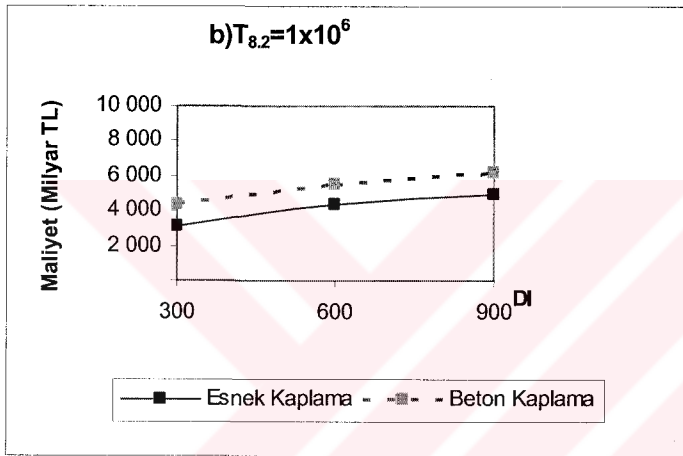
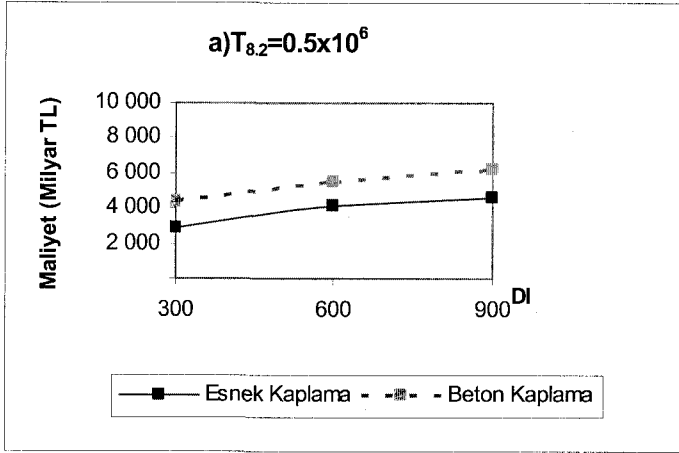


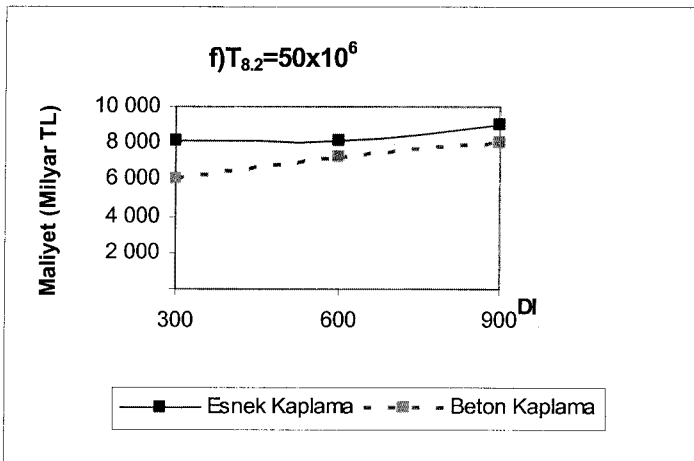
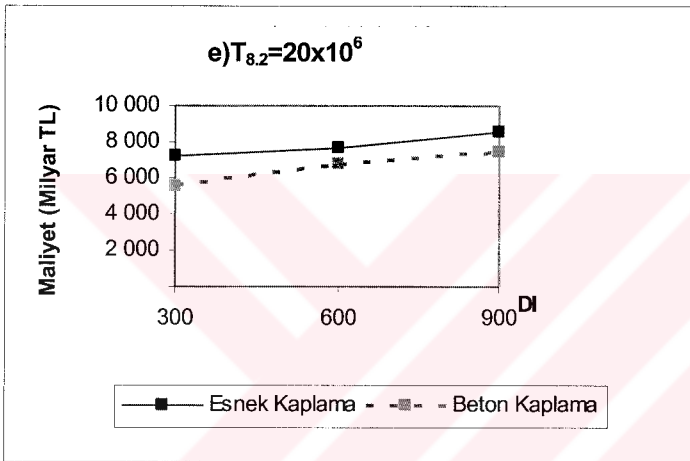
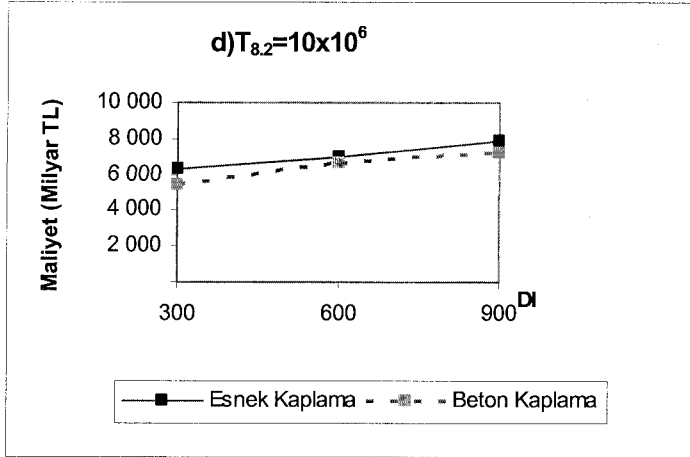
Şekil 4.7. Esnek ve rijit üstyapının donma indeksi (DI) – maliyet ilişkisi (zemin grubu: F₂, F₃; CBR %10)



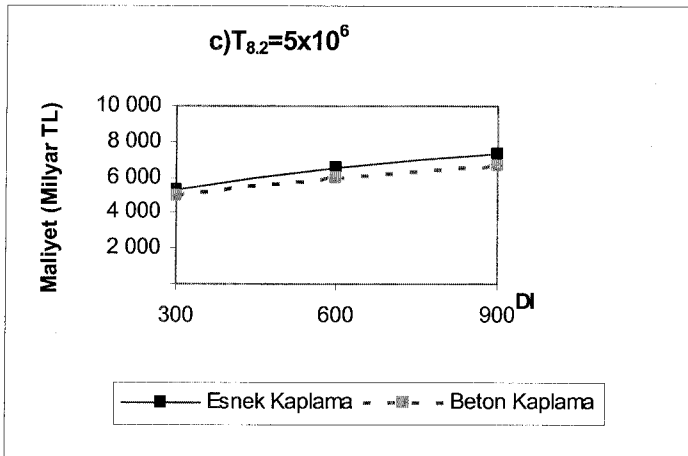
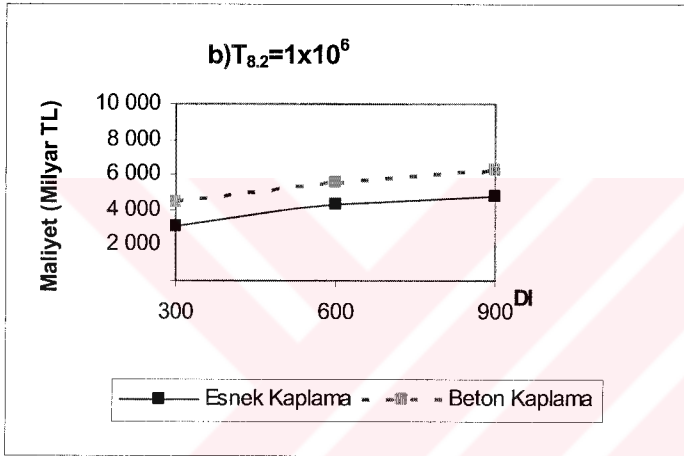
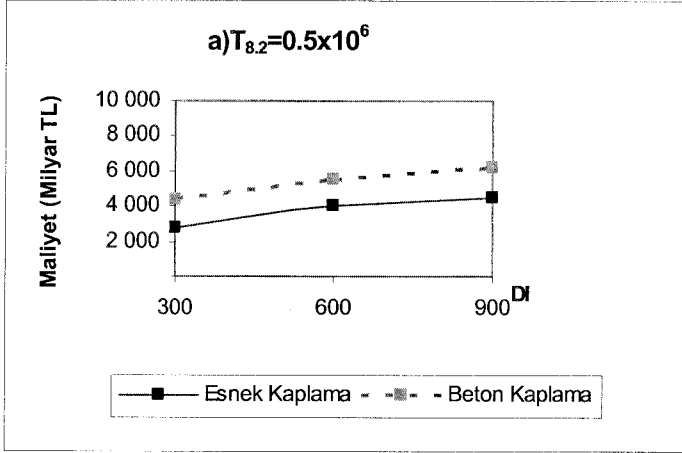


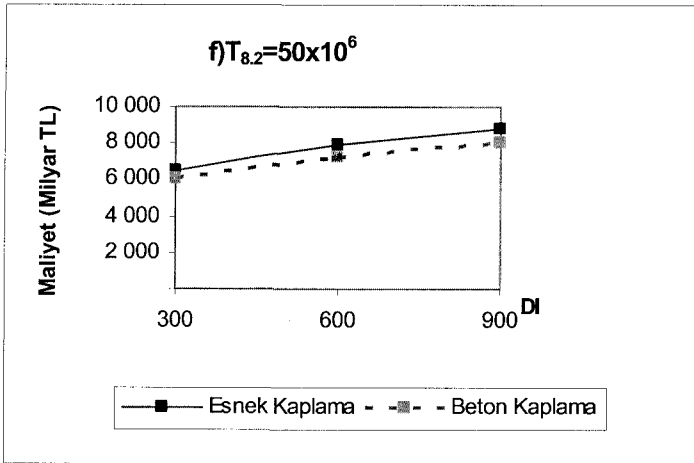
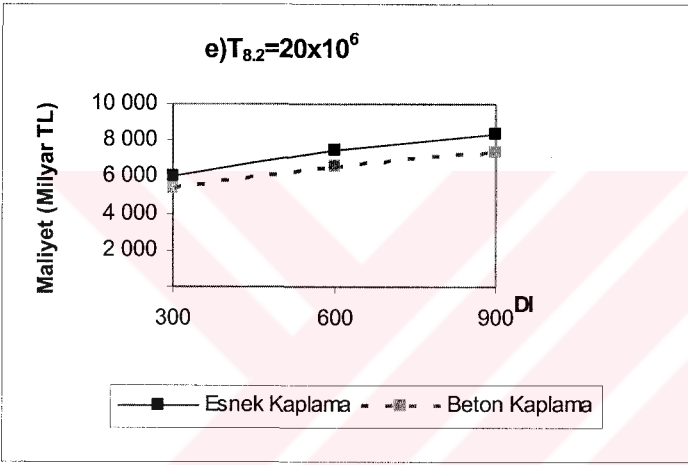
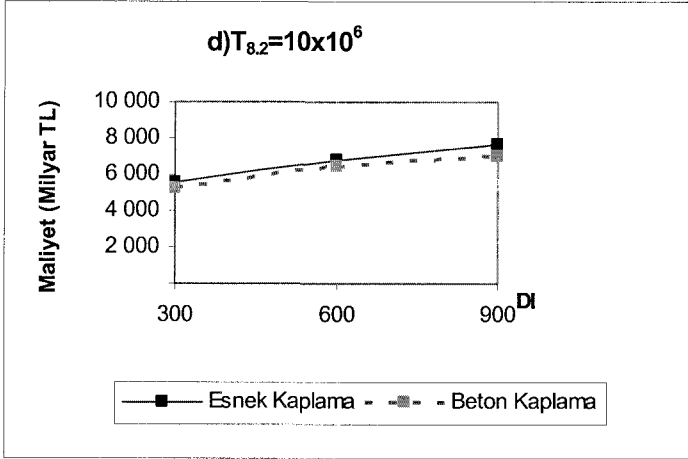
Şekil 4.8. Esnek ve rijit üstyapının donma indeksi (DI) – maliyet ilişkisi (zemin grubu: F₂, F₃; CBR %20)



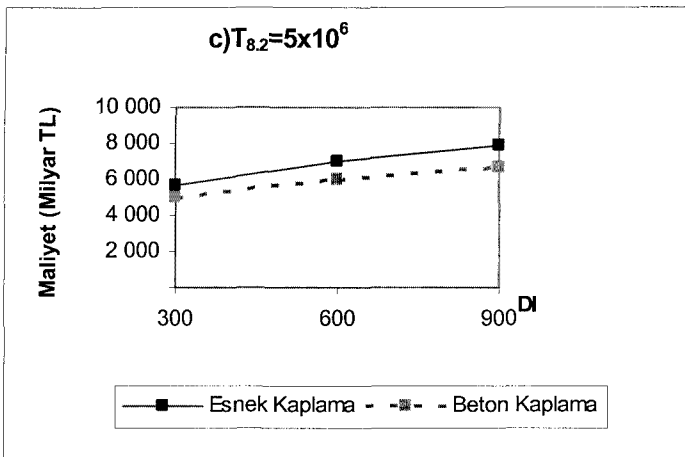
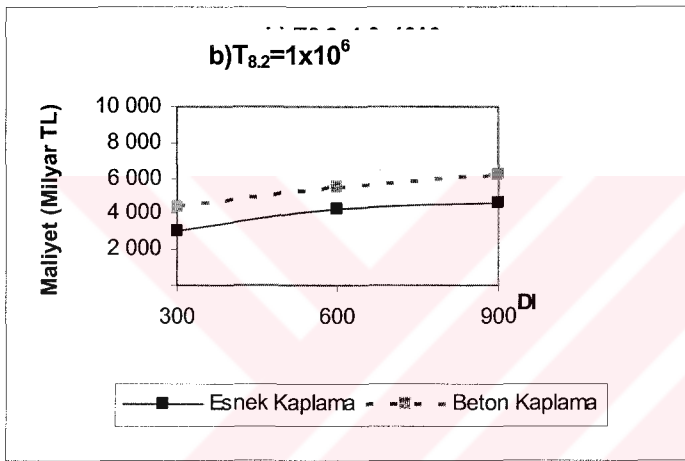
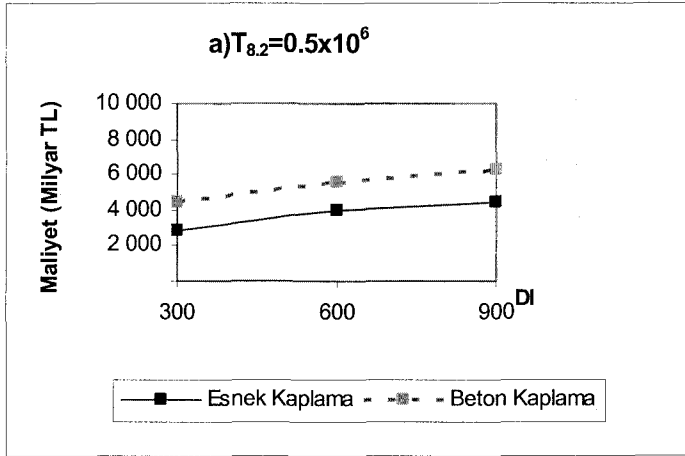


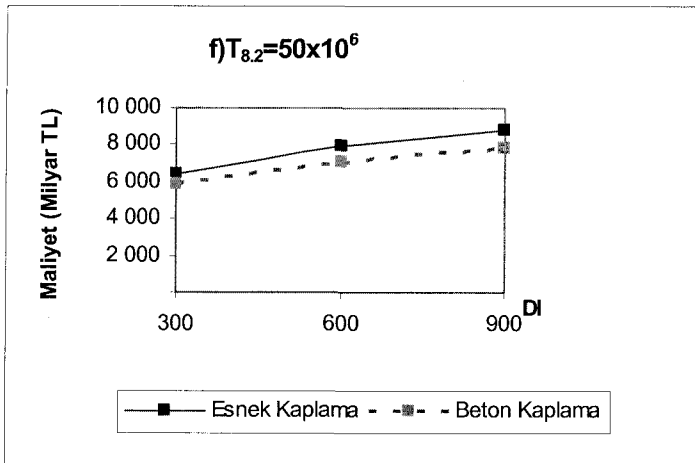
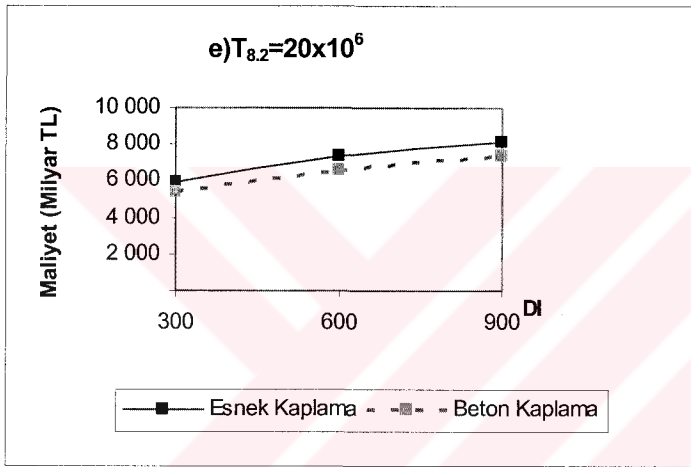
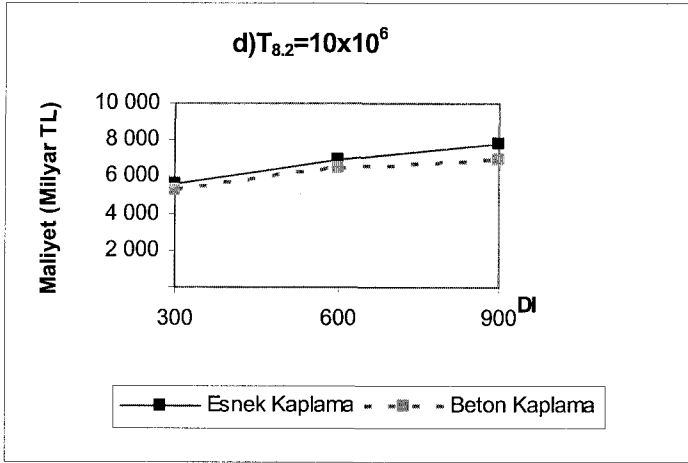
Şekil 4.9. Esnek ve rijit üstyapının donma indeksi (DI) – maliyet ilişkisi (zemin grubu: F₄; CBR %3)





Şekil 4.10. Esnek ve rijit üstyapının donma indeksi (DI) – maliyet ilişkisi (zemin grubu: F₄; CBR %10)





Şekil 4.11. Esnek ve rijit üstyapının donma indeksi (DI) – maliyet ilişkisi (zemin grubu: F₄; CBR %20)

Tablo 4.6. Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 15cm plentmiks temel 20 dozaj 400 (BS30))

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		Beton kalınlığı (d) = 15cm, Plentmiks Temel = 20cm Dozaj =400 (BS30)				
1	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	60076.82	ton	15 108 811	907 689 351 798
2	16.135/K	Beton yol yapılması	18586.56	m ³	43 573 693	809 885 059 366
3	3000	İnşaat bünyesine giren çimento	7434.62	ton	68 900 000	512 245 593 600
4	3790	Kalın demir zati bedeli	59.15	ton	440 800 800	26 073 367 320
5	23.002/K	Kalın demir işçiliği	53.77	ton	189 150 000	10 170 595 500
6	08.007/K	El ile kum ve çakılın yıkanması	23233.20	m ³	3 136 695	72 875 462 274
7	04.613/1	Beton yüksek mukavemet katkısı	148.69	ton	900 000 000	133 823 232 000
8	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	57489.78	ton	688 988	39 609 769 914
9	07.006/K	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M:15Km	57489.78	ton	1 857 813	106 805 264 349
10	07.006/K	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 km.)(A= 1.00)	60076.82	ton	3 126 563	187 833 969 386
11	07.006/K	Kum, çakıl nakli M:15Km	23233.20	m ³	2 972 500	69 060 687 000
12	07.006/K	Betonun mikser ile nakli M:35 Km A:3	18586.56	m ³	22 511 250	418 406 698 800
13	07.006/K	Temel için su nakli M:15Km	2587.04	ton	1 857 813	4 806 236 896
14	07.006/K	Beton için su nakli M:15Km	2453.43	ton	1 857 813	4 558 006 569
15	09.001/K	Çimentonun yükleme, boşaltma ve nakli M:90Km	7434.62	ton	10 199 531	75 829 677 961
16	09.012/K	Demirin yükleme, boşaltma ve nakli M:90Km	59.15	ton	14 335 625	847 952 219
TOPLAM						3 380 520 924 951

Tablo 4.7. Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 18cm plentmiks temel 20 dozaj 450 (BS35)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		Beton kalınlığı (d) = 18cm, Plentmiks Temel = 20cm Dozaj =450 (BS35)				
1	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	60792.99	ton	15 108 811	918 509 826 857
2	16.135/K	Beton yol yapılması	22442.70	m ³	43 573 693	977 911 319 891
3	3000	İnşaat bünyesine giren çimento	10099.22	ton	68 900 000	695 835 913 500
4	3790	Kalın demir zati bedeli	59.15	ton	440 800 800	26 073 367 320
5	23.002/K	Kalın demir işçiliği	53.77	ton	189 150 000	10 170 595 500
6	08.007/K	El ile kum ve çakılın yıkanması	28053.38	m ³	3 136 695	87 994 881 096
7	04.613/1	Beton yüksek mukavemet katkısı	201.98	ton	900 000 000	181 785 870 000
8	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	58175.11	ton	688 988	40 081 954 067
9	07.006/K	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M:15Km	58175.11	ton	1 857 813	108 078 479 350
10	07.006/K	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 km.)(A= 1.00)	60792.99	ton	3 126 563	190 073 119 572
11	07.006/K	Kum, çakıl nakli M:15Km	28053.38	m ³	2 972 500	83 388 657 188
12	07.006/K	Betonun mikser ile nakli M:35 Km A:3	22442.70	m ³	22 511 250	505 213 230 375
13	07.006/K	Temel için su nakli M:15Km	2617.88	ton	1 857 813	4 863 531 571
14	07.006/K	Beton için su nakli M:15Km	2962.44	ton	1 857 813	5 503 652 856
15	09.001/K	Çimentonun yükleme, boşaltma ve nakli M:90Km	10099.22	ton	10 199 531	103 007 256 468
16	09.012/K	Demirin yükleme, boşaltma ve nakli M:90Km	59.15	ton	14 335 625	847 952 219
TOPLAM						3 939 339 607 828

Tablo 4.8. Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 19cm plentmiks temel 20 dozaj 450 (BS35)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		Beton kalınlığı (d)= 19cm, Plentmiks Temel = 20cm Dozaj =450 (BS35)				
1	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	61019.22	ton	15 108 811	921 927 878 363
2	16.135/K	Beton yol yapılması	23741.27	m ³	43 573 693	1 034 494 810 410
3	3000	İnşaat bünyesine giren çimento	10683.57	ton	68 900 000	736 098 076 350
4	3790	Kalın demir zati bedeli	59.15	ton	440 800 800	26 073 367 320
5	23.002/K	Kalın demir işçiliği	53.77	ton	189 150 000	10 170 595 500
6	08.007/K	El ile kum ve çakılın yıkanması	29676.59	m ³	3 136 695	93 086 403 628
7	04.613/1	Beton yüksek mukavemet katkısı	213.67	ton	900 000 000	192 304 287 000
8	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	58391.60	ton	688 988	40 231 111 081
9	07.006/K	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M:15Km	58391.60	ton	1 857 813	108 480 671 900
10	07.006/K	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 km.)(A= 1.00)	61019.22	ton	3 126 563	190 780 438 855
11	07.006/K	Kum, çakıl nakli M:15Km	29676.59	m ³	2 972 500	88 213 656 344
12	07.006/K	Betonun mikser ile nakli M:35 Km A:3	23741.27	m ³	22 511 250	534 445 664 288
13	07.006/K	Temel için su nakli M:15Km	2627.62	ton	1 857 813	4 881 630 235
14	07.006/K	Beton için su nakli M:15Km	3133.85	ton	1 857 813	5 822 102 886
15	09.001/K	Çimentonun yükleme, boşaltma ve nakli M:90Km	10683.57	ton	10 199 531	108 967 418 705
16	09.012/K	Demirin yükleme, boşaltma ve nakli M:90Km	59.15	ton	14 335 625	847 952 219
TOPLAM						4 096 826 065 083

Tablo 4.9. Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 21cm plentmiks temel 20 dozaj 450 (BS35)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		Beton kalınlığı (d) = 21cm, Plentmiks Temel = 20cm Dozaj =450 (BS35)				
1	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	61490.44	ton	15 108 811	929 047 482 802
2	16.135/K	Beton yol yapılması	26350.27	m ³	43 573 693	1 148 178 575 447
3	3000	İnşaat bünyesine giren çimento	11857.62	ton	68 900 000	816 990 121 350
4	3790	Kalın demir zati bedeli	59.15	ton	440 800 800	26 073 367 320
5	23.002/K	Kalın demir işçiliği	53.77	ton	189 150 000	10 170 595 500
6	08.007/K	El ile kum ve çakılın yıkanması	32937.84	m ³	3 136 695	103 315 950 197
7	04.613/1	Beton yüksek mukavemet katkısı	237.15	ton	900 000 000	213 437 187 000
8	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	58842.53	ton	688 988	40 541 796 552
9	07.006/K	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M:15Km	58842.53	ton	1 857 813	109 318 415 818
10	07.006/K	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 km.)(A= 1.00)	61490.44	ton	3 126 563	192 253 744 188
11	07.006/K	Kum, çakıl nakli M:15Km	32937.84	m ³	2 972 500	97 907 721 969
12	07.006/K	Betonun mikser ile nakli M:35 Km A:3	26350.27	m ³	22 511 250	593 177 515 538
13	07.006/K	Temel için su nakli M:15Km	2647.91	ton	1 857 813	4 919 328 712
14	07.006/K	Beton için su nakli M:15Km	3478.24	ton	1 857 813	6 461 911 389
15	09.001/K	Çimentonun yükleme, boşaltma ve nakli M:90Km	11857.62	ton	10 199 531	120 942 178 076
16	09.012/K	Demirin yükleme, boşaltma ve nakli M:90Km	59.15	ton	14 335 625	847 952 219
TOPLAM						4 413 583 844 075

Tablo 4.10. Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 22cm plentmiks temel 20 dozaj 450 (BS35)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		Beton kalınlığı (d) = 22cm, Plentmiks Temel = 20cm Dozaj =450 (BS35)				
1	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	61729.70	ton	15 108 811	932 662 381 869
2	16.135/K	Beton yol yapılması	27660.17	m ³	43 573 693	1 205 255 755 908
3	3000	İnşaat bünyesine giren çimento	12447.08	ton	68 900 000	857 603 570 850
4	3790	Kalınlı demir zati bedeli	59.15	ton	440 800 800	26 073 367 320
5	23.002/K	Kalınlı demir işçiliği	53.77	ton	189 150 000	10 170 595 500
6	08.007/K	El ile kum ve çakılın yıkanması	34575.21	m ³	3 136 695	108 451 896 173
7	04.613/1	Beton yüksek mukavemet katkısı	248.94	ton	900 000 000	224 047 377 000
8	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	59071.48	ton	688 988	40 699 543 605
9	07.006/K	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M:15Km	59071.48	ton	1 857 813	109 743 770 869
10	07.006/K	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 km.)(A= 1.00)	61729.70	ton	3 126 563	193 001 798 397
11	07.006/K	Kum, çakıl nakli M:15Km	34575.21	m ³	2 972 500	102 774 819 156
12	07.006/K	Betonun mikser ile nakli M:35 Km A:3	27660.17	m ³	22 511 250	622 665 001 913
13	07.006/K	Temel için su nakli M:15Km	2658.22	ton	1 857 813	4 938 469 689
14	07.006/K	Beton için su nakli M:15Km	3651.14	ton	1 857 813	6 783 139 890
15	09.001/K	Çimentonun yükleme, boşaltma ve nakli M:90Km	12447.08	ton	10 199 531	126 954 342 621
16	09.012/K	Demirin yükleme, boşaltma ve nakli M:90Km	59.15	ton	14 335 625	847 952 219
TOPLAM						4 572 673 782 979

Tablo 4.11. Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 23cm plentmiks temel 20 dozaj 450 (BS35)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		Beton kalınlığı (d) = 23cm, Plentmiks Temel = 20cm Dozaj =450 (BS35)				
1	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	61961.78	ton	15 108 811	936 168 793 026
2	16.135/K	Beton yol yapılması	28978.96	m ³	43 573 693	1 262 720 306 499
3	3000	İnşaat bünyesine giren çimento	13040.53	ton	68 900 000	898 492 654 800
4	3790	Kalın demir zati bedeli	59.15	ton	440 800 800	26 073 367 320
5	23.002/K	Kalın demir işçiliği	53.77	ton	189 150 000	10 170 595 500
6	08.007/K	El ile kum ve çakılın yıkanması	36223.70	m ³	3 136 695	113 622 698 672
7	04.613/1	Beton yüksek mukavemet katkısı	260.81	ton	900 000 000	234 729 576 000
8	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	59293.57	ton	688 988	40 852 556 460
9	07.006/K	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M:15Km	59293.57	ton	1 857 813	110 156 360 451
10	07.006/K	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 km).(A= 1.00)	61961.78	ton	3 126 563	193 727 402 509
11	07.006/K	Kum, çakıl nakli M:15Km	36223.70	m ³	2 972 500	107 674 948 250
12	07.006/K	Betonun mikser ile nakli M:35 Km A:3	28978.96	m ³	22 511 250	652 352 613 300
13	07.006/K	Temel için su nakli M:15Km	2668.21	ton	1 857 813	4 957 036 220
14	07.006/K	Beton için su nakli M:15Km	3825.22	ton	1 857 813	7 106 548 497
15	09.001/K	Çimentonun yükleme, boşaltma ve nakli M:90Km	13040.53	ton	10 199 531	133 007 310 390
16	09.012/K	Demirin yükleme, boşaltma ve nakli M:90Km	59.15	ton	14 335 625	847 952 219
TOPLAM						4 732 660 720 114

Tablo 4.12. Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 24cm plentmiks temel 20 dozaj 450 (BS35))

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		Beton kalınlığı (d) = 24cm, Plentmiks Temel = 20cm Dozaj =450 (BS35)				
1	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	62201.58	ton	15 108 811	939 791 879 860
2	16.135/K	Beton yol yapılması	30304.58	m ³	43 573 693	1 320 482 465 414
3	3000	İnşaat bünyesine giren çimento	13637.06	ton	68 900 000	939 593 502 900
4	3790	Kalın demir zati bedeli	59.15	ton	440 800 800	26 073 367 320
5	23.002/K	Kalın demir işçiliği	53.77	ton	189 150 000	10 170 595 500
6	08.007/K	El ile kum ve çakılın yıkanması	37880.73	m ³	3 136 695	118 820 280 704
7	04.613/1	Beton yüksek mukavemet katkısı	272.74	ton	900 000 000	245 467 098 000
8	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	59523.04	ton	688 988	41 010 660 811
9	07.006/K	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M:15Km	59523.04	ton	1 857 813	110 582 678 934
10	07.006/K	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 km.)(A= 1.00)	62201.58	ton	3 126 563	194 477 151 066
11	07.006/K	Kum, çakıl nakli M:15Km	37880.73	m ³	2 972 500	112 600 455 063
12	07.006/K	Betonun mikser ile nakli M:35 Km A:3	30304.58	m ³	22 511 250	682 193 976 525
13	07.006/K	Temel için su nakli M:15Km	2678.54	ton	1 857 813	4 976 220 552
14	07.006/K	Beton için su nakli M:15Km	4000.20	ton	1 857 813	7 431 632 034
15	09.001/K	Çimentonun yükleme, boşaltma ve nakli M:90Km	13637.06	ton	10 199 531	139 091 626 418
16	09.012/K	Demirin yükleme, boşaltma ve nakli M:90Km	59.15	ton	14 335 625	847 952 219
TOPLAM						4 893 611 543 319

Tablo 4.13. Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 25cm plentmiks temel 20 dozaj 500 (BS40))

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		Beton kalınlığı (d) = 25cm, Plentmiks Temel = 20cm Dozaj = 500 (BS40)				
1	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	62433.45	ton	15 108 811	943 295 220 604
2	16.135/K	Beton yol yapılması	31627.77	m ³	43 573 693	1 378 138 740 255
3	3000	İnşaat bünyesine giren çimento	15813.89	ton	68 900 000	1 089 576 676 500
4	3790	Kalın demir zati bedeli	59.15	ton	440 800 800	26 073 367 320
5	23.002/K	Kalın demir işçiliği	53.77	ton	189 150 000	10 170 595 500
6	08.007/K	El ile kum ve çakılın yıkanması	39534.71	m ³	3 136 695	124 008 335 025
7	04.613/1	Beton yüksek mukavemet katkısı	316.28	ton	900 000 000	284 649 930 000
8	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	59744.93	ton	688 988	41 163 539 679
9	07.006/K	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M:15Km	59744.93	ton	1 857 813	110 994 907 229
10	07.006/K	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 km.)(A= 1.00)	62433.45	ton	3 126 563	195 202 119 797
11	07.006/K	Kum, çakıl nakli M:15Km	39534.71	m ³	2 972 500	117 516 932 906
12	07.006/K	Betonun mikser ile nakli M:35 Km A:3	31627.77	m ³	22 511 250	711 980 637 413
13	07.006/K	Temel için su nakli M:15Km	2688.52	ton	1 857 813	4 994 770 825
14	07.006/K	Beton için su nakli M:15Km	4174.87	ton	1 857 813	7 756 119 659
15	09.001/K	Çimentonun yükleme, boşaltma ve nakli M:90Km	15813.89	ton	10 199 531	161 294 210 288
16	09.012/K	Demirin yükleme, boşaltma ve nakli M:90Km	59.15	ton	14 335 625	847 952 219
TOPLAM						5 207 664 055 220

Tablo 4.14. Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 26cm plentmiks temel 20 dozaj 500 (BS40)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		Beton kalınlığı (d) = 26cm, Plentmiks Temel = 20cm Dozaj =500 (BS40)				
1	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	62672.84	ton	15 108 811	946 912 166 613
2	16.135/K	Beton yol yapılması	32963.46	m ³	43 573 693	1 436 339 686 258
3	3000	İnşaat bünyesine giren çimento	16481.73	ton	68 900 000	1 135 591 197 000
4	3790	Kalın demir zati bedeli	59.15	ton	440 800 800	26 073 367 320
5	23.002/K	Kalın demir işçiliği	53.77	ton	189 150 000	10 170 595 500
6	08.007/K	El ile kum ve çakılın yıkanması	41204.33	m ³	3 136 695	129 245 400 206
7	04.613/1	Beton yüksek mukavemet katkısı	329.63	ton	900 000 000	296 671 140 000
8	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	59974.01	ton	688 988	41 321 376 057
9	07.006/K	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M:15Km	59974.01	ton	1 857 813	111 420 503 138
10	07.006/K	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 km)(A= 1.00)	62672.84	ton	3 126 563	195 950 597 594
11	07.006/K	Kum, çakıl nakli M:15Km	41204.33	m ³	2 972 500	122 479 856 063
12	07.006/K	Betonun mikser ile nakli M:35 Km A:3	32963.46	m ³	22 511 250	742 048 688 925
13	07.006/K	Temel için su nakli M:15Km	2698.83	ton	1 857 813	5 013 922 641
14	07.006/K	Beton için su nakli M:15Km	4351.18	ton	1 857 813	8 083 672 676
15	09.001/K	Çimentonun yükleme, boşaltma ve nakli M:90Km	16481.73	ton	10 199 531	168 105 916 069
16	09.012/K	Demirin yükleme, boşaltma ve nakli M:90Km	59.15	ton	14 335 625	847 952 219
TOPLAM						5 376 276 038 277

Tablo 4.15. Tek kat sathi kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=0.5 \times 10^6$ CBR= %3 Pt=2)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		$T_{8,2}=0.5 \times 10^6$ R=1 CBR= %3 Pt=2 Plentmiks Temel=15 cm Alttemel=40 cm				
1	6000	Alttemel yapılması	55820.82	m ³	13 843 001	772 727 667 081
2	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	42410.59	ton	15 108 811	640 773 610 767
3	6540	Bir tabaka astarlı sathi kaplama yapılması	120.00	da	397 522 001	47 702 640 120
4	04.610/1	Astarın (MC30) zati bedeli rafineri	192.00	ton	537 801 949	103 257 974 208
5	04.610	Bitümün zati bedeli (AC 150/200 İşyeri)	168.00	ton	297 438 029	49 969 588 872
6	4358	Bitümün ısıtılması	360.00	ton	11 076 230	3 987 442 800
7	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	165178.76	ton	688 988	113 806 183 996
8	07.006/K	Alttemel Nakli M=50 km	121354.46	ton	4 078 125	494 898 668 117
9	07.006/K	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M:15 Km	40584.30	ton	1 857 813	75 398 036 509
10	07.006/K	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 Km.)(A= 1.00)	42410.59	ton	3 126 563	132 599 386 067
11	07.006/K	Mıçır nakli M:50Km	3240.00	ton	4 078 125	13 213 125 000
12	07.006/K	Bitüm nakli (M= 250 Km.)(A= 1.00)	360.00	ton	16 765 625	6 035 625 000
13	07.006/K	Alttemel için su nakli M:50 Km	12135.45	ton	4 078 125	49 489 866 812
14	07.006/K	Temel için su nakli M:15 Km	1826.29	ton	1 857 813	3 392 911 643
TOPLAM						2 507 252 726 992

Tablo 4.16. Tek kat sathi kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=0.5 \times 10^6$ CBR= %10 Pt=2)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		$T_{8,2}=0.5 \times 10^6$ R=1 CBR= %10 Pt=2 Plentmiks Temel=15 cm Alttemel=25 cm				
1	6000	Alttemel yapılması	33914.33	m ³	13 843 001	469 476 104 104
2	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	42410.59	ton	15 108 811	640 773 610 767
3	6540	Bir tabaka astarlı sathi kaplama yapılması	120.00	da	397 522 001	47 702 640 120
4	04.610/1	Astarın (MC30) zati bedeli rafineri	192.00	ton	537 801 949	103 257 974 208
5	04.610	Bitümün zati bedeli (AC 150/200 İşyeri)	168.00	ton	297 438 029	49 969 588 872
6	4358	Bitümün ısıtılması	360.00	ton	11 076 230	3 987 442 800
7	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	117554.05	ton	688 988	80 993 330 813
8	07.006/K	Alttemel Nakli M=50 km	73729.75	ton	4 078 125	300 679 150 666
9	07.006/K	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M:15 Km	40584.30	ton	1 857 813	75 398 036 509
10	07.006/K	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 Km.)(A= 1.00)	42410.59	ton	3 126 563	132 599 386 067
11	07.006/K	Mıçır nakli M:50Km	3240.00	ton	4 078 125	13 213 125 000
12	07.006/K	Bitüm nakli (M= 250 Km.)(A= 1.00)	360.00	ton	16 765 625	6 035 625 000
13	07.006/K	Alttemel için su nakli M:50 Km	7372.98	ton	4 078 125	30 067 915 067
14	07.006/K	Temel için su nakli M:15 Km	1826.29	ton	1 857 813	3 392 911 643
TOPLAM						1 957 546 841 636

Tablo 4.17. Tek kat sathi kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=0.5 \times 10^6$ CBR= %20 Pt=2)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktar	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		$T_{8,2}=0.5 \times 10^6$ R=1 CBR= %20 Pt=2 Plentmiks Temel=15 cm Alttemel=20 cm				
1	6000	Alttemel yapılması	26865.34	m ³	13 843 001	371 896 928 485
2	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	42410.59	ton	15 108 811	640 773 610 767
3	6540	Bir tabaka astarlı sathi kaplama yapılması	120.00	da	397 522 001	47 702 640 120
4	04.610/1	Astarın (MC30) zati bedeli rafineri	192.00	ton	537 801 949	103 257 974 208
5	04.610	Bitümün zati bedeli (AC 150/200 İşyeri)	168.00	ton	297 438 029	49 969 588 872
6	4358	Bitümün ısıtılması	360.00	ton	11 076 230	3 987 442 800
7	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	102229.55	ton	688 988	70 434 931 272
8	07.006/K	Alttemel Nakli M=50 km	58405.25	ton	4 078 125	238 183 906 731
9	07.006/K	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M:15 Km	40584.30	ton	1 857 813	75 398 036 509
10	07.006/K	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 Km.)(A= 1.00)	42410.59	ton	3 126 563	132 599 386 067
11	07.006/K	Mıdır nakli M:50Km	3240.00	ton	4 078 125	13 213 125 000
12	07.006/K	Bitüm nakli (M= 250 Km.)(A= 1.00)	360.00	ton	16 765 625	6 035 625 000
13	07.006/K	Alttemel için su nakli M:50 Km	5840.52	ton	4 078 125	23 818 390 673
14	07.006/K	Temel için su nakli M:15 Km	1826.29	ton	1 857 813	3 392 911 643
TOPLAM						1 780 664 498 147

Tablo 4.18. Çift kat sathi kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=1.0 \times 10^6$ CBR= %3 Pt=2)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktar	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		$T_{8,2}=1.0 \times 10^6$ R=1 CBR= %3 Pt=2 Plentmiks Temel=20 cm Alttemel=45 cm				
1	6000	Alttemel yapılması	65148.62	m ³	13 843 001	901 852 411 809
2	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	57724.10	ton	15 108 811	872 142 503 145
3	6560	İki tabaka astarlı sathi kaplama yapılması	120.00	da	397 522 001	88 128 112 800
4	04.610/1	Astarın (MC30) zati bedeli rafineri	192.00	ton	537 801 949	103 257 974 208
5	04.610	Bitümün zati bedeli (AC 150/200 İşyeri)	168.00	ton	297 438 029	49 969 588 872
6	4358	Bitümün ısıtılması	360.00	ton	11 076 230	3 987 442 800
7	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	200111.47	ton	688 988	137 874 403 012
8	07.006/K	Alttemel Nakli M=50 km	141633.10	ton	4 078 125	577 597 485 448
9	07.006/K	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M:15 Km	55238.37	ton	1 857 813	102 622 566 205
10	07.006/K	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 Km.)(A= 1.00)	57724.10	ton	3 126 563	180 478 032 392
11	07.006/K	Mıdır nakli M:50Km	3240.00	ton	4 078 125	13 213 125 000
12	07.006/K	Bitüm nakli (M= 250 Km.)(A= 1.00)	360.00	ton	16 765 625	6 035 625 000
13	07.006/K	Alttemel için su nakli M:50 Km	14163.31	ton	4 078 125	57 759 748 545
14	07.006/K	Temel için su nakli M:15 Km	2485.73	ton	1 857 813	4 618 015 479
TOPLAM						3 099 537 034 714

Tablo 4.19. Çift kat sathi kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=1.0 \times 10^6$ CBR= %10 Pt=2)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		$T_{8,2}=1.0 \times 10^6$ R=1 CBR= %10 Pt=2 Plentmiks Temel=20 cm Alttemel=25 cm				
1	6000	Alttemel yapılması	34886.84	m ³	13 843 001	482 938 561 007
2	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	57724.10	ton	15 108 811	872 142 503 145
3	6560	İki tabaka astarlı sathi kaplama yapılması	120.00	da	397 522 001	88 128 112 800
4	04.610/1	Astarın (MC30) zati bedeli rafineri	192.00	ton	537 801 949	103 257 974 208
5	04.610	Bitümün zati bedeli (AC 150/200 İşyeri)	168.00	ton	297 438 029	49 969 588 872
6	4358	Bitümün ısıtılması	360.00	ton	11 076 230	3 987 442 800
7	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	134322.36	ton	688 988	92 546 495 884
8	07.006/K	Alttemel Nakli M=50 km	75843.99	ton	4 078 125	309 301 272 371
9	07.006/K	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M:15 Km	55238.37	ton	1 857 813	102 622 566 205
10	07.006/K	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 Km)(A= 1.00)	57724.10	ton	3 126 563	180 478 032 392
11	07.006/K	Mıdır nakli M:50Km	3240.00	ton	4 078 125	13 213 125 000
12	07.006/K	Bitüm nakli (M= 250 Km)(A= 1.00)	360.00	ton	16 765 625	6 035 625 000
13	07.006/K	Alttemel için su nakli M:50 Km	7584.40	ton	4 078 125	30 930 127 237
14	07.006/K	Temel için su nakli M:15 Km	2485.73	ton	1 857 813	4 618 015 479
TOPLAM						2 340 169 442 400

Tablo 4.20. Çift kat sathi kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=1.0 \times 10^6$ CBR= %20 Pt=2)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		$T_{8,2}=1.0 \times 10^6$ R=1 CBR= %20 Pt=2 Plentmiks Temel=20 cm Alttemel=20 cm				
1	6000	Alttemel yapılması	27649.87	m ³	13 843 001	382 757 178 060
2	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	57724.10	ton	15 108 811	872 142 503 145
3	6560	İki tabaka astarlı sathi kaplama yapılması	120.00	da	397 522 001	88 128 112 800
4	04.610/1	Astarın (MC30) zati bedeli rafineri	192.00	ton	537 801 949	103 257 974 208
5	04.610	Bitümün zati bedeli (AC 150/200 İşyeri)	168.00	ton	297 438 029	49 969 588 872
6	4358	Bitümün ısıtılması	360.00	ton	11 076 230	3 987 442 800
7	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	118589.19	ton	688 988	81 706 528 637
8	07.006/K	Alttemel Nakli M=50 km	60110.82	ton	4 078 125	245 139 427 128
9	07.006/K	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M:15 Km	55238.37	ton	1 857 813	102 622 566 205
10	07.006/K	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 Km)(A= 1.00)	57724.10	ton	3 126 563	180 478 032 392
11	07.006/K	Mıdır nakli M:50Km	3240.00	ton	4 078 125	13 213 125 000
12	07.006/K	Bitüm nakli (M= 250 Km)(A= 1.00)	360.00	ton	16 765 625	6 035 625 000
13	07.006/K	Alttemel için su nakli M:50 Km	6011.08	ton	4 078 125	24 513 942 713
14	07.006/K	Temel için su nakli M:15 Km	2485.73	ton	1 857 813	4 618 015 479
TOPLAM						2 158 570 062 438

Tablo 4.21. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2} = 5.0 \times 10^6$ CBR= %3 Pt=2.5)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktar	Birimi	Birim Fiyatı	Tutar
		$T_{8,2} = 5.0 \times 10^6$ R=1 CBR= %3 Pt=2.5				Aşınma =4 cm Binder =6 cm Bitümlü Temel=8 cm Plentmiks Temel=20 cm Alttemel=35 cm
1	6000	Alttemel yapılması	52130.67	m ³	13 843 001	721 644 916 941
2	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	60792.99	ton	15 108 811	918 509 826 857
3	6200	Bitümlü Temel Yapılması	25256.20	ton	26 749 408	675 588 291 332
4	6300	Binder Yapılması	18546.58	ton	27 526 386	510 520 182 428
5	6400	Aşınma Yapılması	11819.28	ton	28 311 783	334 624 890 576
6	04.610	Bitümün zati bedeli (AC 60/70 İşyeri)	2268.90	ton	306 479 759	695 372 414 289
7	04.610/1	RC-250 Yuapıştırıcı zati bedeli	1279.51	ton	498 464 293	637 788 587 794
8	4358	Bitümün ısıtılması	2268.90	ton	11 076 230	25 130 875 923
9	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	224860.34	ton	688 988	154 926 074 547
10	07.006/K	Alttemel Nakli M=50 km	113332.08	ton	4 078 125	462 182 374 803
11	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 Km.)(A= 1.00)	55622.05	ton	3 126 563	173 905 846 641
12	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M:15 Km	224860.34	ton	1 857 813	417 748 459 091
13	07.006/K	Bitümün nakli (AC 60/70 İşyeri)	2268.90	ton	16 765 625	38 039 553 318
14	07.006/K	RC-250 Yuapıştırıcı nakli M=250 Km	1279.51	ton	16 765 625	21 451 735 746
15	07.006/K	Alttemel için su nakli M:50 Km	11333.21	ton	4 078 125	46 218 237 480
16	07.006/K	Temel için su nakli M:15 Km	2617.88	ton	1 857 813	4 863 531 571
TOPLAM						5 838 515 799 336

Tablo 4.22. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{82} = 5.0 \times 10^6$ CBR= %10 Pt=2.5)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktar	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		$T_{82} = 5.0 \times 10^6$ R=1 CBR= %10 Pt=2.5	Aşınma =4 cm Binder =6 cm Bitümlü Temel=8 cm Plentmiks Temel=15 cm Alttemel=15 cm			
1	6000	Alttemel yapılması	21169.29	m ³	13 843 001	293 046 502 639
2	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	45143.63	ton	15 108 811	682 066 565 970
3	6200	Bitümlü Temel Yapılması	25256.20	ton	26 749 408	675 588 291 332
4	6300	Binder Yapılması	18546.58	ton	27 526 386	510 520 182 428
5	6400	Aşınma Yapılması	11819.28	ton	28 311 783	334 624 890 576
6	04.610	Bitümün zati bedeli (AC 60/70 İşyeri)	2268.90	ton	306 479 759	695 372 414 289
7	04.610/1	RC-250 Yuapıştırıcı zati bedeli	1279.51	ton	498 464 293	637 788 587 794
8	4358	Bitümün ısıtılması	2268.90	ton	11 076 230	25 130 875 923
9	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	142574.83	ton	688 988	98 232 347 881
10	07.006/K	Alttemel Nakli M=50 km	46022.04	ton	4 078 125	187 683 617 438
11	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 Km.)(A= 1.00)	55622.05	ton	3 126 563	173 905 846 641
12	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M:15 Km	224860.34	ton	1 857 813	264 877 375 097
13	07.006/K	Bitümün nakli (AC 60/70 İşyeri)	142574.83	ton	16 765 625	38 039 553 318
14	07.006/K	RC-250 Yuapıştırıcı nakli M=250 Km	2268.90	ton	16 765 625	21 451 735 746
15	07.006/K	Alttemel için su nakli M:50 Km	1279.51	ton	4 078 125	18 768 361 744
16	07.006/K	Temel için su nakli M:15 Km	1943.98	ton	1 857 813	3 611 558 831
TOPLAM						4 660 708 707 646

Tablo 4.23. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=5.0 \times 10^6$ CBR= %20 Pt=2.5)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		$T_{8,2}=5.0 \times 10^6$ R=1 CBR= %20 Pt=2.5	Aşınma =4 cm Binder =6 cm Bitümlü Temel=8 cm Plentmiks Temel=20 cm Alttemel= - cm			
1	6000	Alttemel yapılması		m ³	13 843 001	
2	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	60792.99	ton	15 108 811	918 509 826 857
3	6200	Bitümlü Temel Yapılması	25256.20	ton	26 749 408	675 588 291 332
4	6300	Binder Yapılması	18546.58	ton	27 526 386	510 520 182 428
5	6400	Aşınma Yapılması	11819.28	ton	28 311 783	334 624 890 576
6	04.610	Bitümün zati bedeli (AC 60/70 İşyeri)	2268.90	ton	306 479 759	695 372 414 289
7	04.610/1	RC-250 Yuapıştırıcı zati bedeli	1279.51	ton	498 464 293	637 788 587 794
8	4358	Bitümün ısıtılması	2268.90	ton	11 076 230	25 130 875 923
9	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	111528.26	ton	688 988	76 841 633 768
10	07.006/K	Alttemel Nakli M=50 km		ton	4 078 125	
11	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 Km.)(A= 1.00)	55622.05	ton	3 126 563	173 905 846 641
12	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M:15 Km	111528.26	ton	1 857 813	
13	07.006/K	Bitümün nakli (AC 60/70 İşyeri)	2268.90	ton	16 765 625	207 198 653 904
14	07.006/K	RC-250 Yuapıştırıcı nakli M=250 Km	1279.51	ton	16 765 625	38 039 553 318
15	07.006/K	Alttemel için su nakli M:50 Km		ton	4 078 125	21 451 735 746
16	07.006/K	Temel için su nakli M:15 Km	2 618	ton	1 857 813	4 863 531 571
TOPLAM						4 319 836 024 146

Tablo 4.24. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=10.0 \times 10^6$ CBR= %3 Pt=2.5)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		$T_{8,2}=10.0 \times 10^6$ R=1 CBR= %3 Pt=2.5				Aşınma =4 cm Binder =6 cm Bitümlü Temel=8 cm Plentmiks Temel=20 cm Alttemel=45 cm
1	6000	Alttemel yapılması	68201.19	m ³	13 843 001	944 109 141 371
2	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	60792.99	ton	15 108 811	918 509 826 857
3	6200	Bitümlü Temel Yapılması	25256.20	ton	26 749 408	675 588 291 332
4	6300	Binder Yapılması	18546.58	ton	27 526 386	510 520 182 428
5	6400	Aşınma Yapılması	11819.28	ton	28 311 783	334 624 890 576
6	04.610	Bitümün zati bedeli (AC 60/70 İşyeri)	2268.90	ton	306 479 759	695 372 414 289
7	04.610/1	RC-250 Yuapıştırıcı zati bedeli	1279.51	ton	498 464 293	637 788 587 794
8	4358	Bitümün ısıtılması	2268.90	ton	11 076 230	25 130 875 923
9	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	259797.65	ton	688 988	178 997 462 220
10	07.006/K	Alttemel Nakli M=50 km	148269.39	ton	4 078 125	604 661 094 104
11	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 Km.)(A= 1.00)	55622.05	ton	3 126 563	
12	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M:15 Km	259797.65	ton	1 857 813	173 905 846 641
13	07.006/K	Bitümün nakli (AC 60/70 İşyeri)	2268.90	ton	16 765 625	482 655 448 686
14	07.006/K	RC-250 Yuapıştırıcı nakli M=250 Km	1279.51	ton	16 765 625	38 039 553 318
15	07.006/K	Alttemel için su nakli M:50 Km	14826.94	ton	4 078 125	21 451 735 746
16	07.006/K	Temel için su nakli M:15 Km	2617.88	ton	1 857 813	60 466 109 410
TOPLAM						6 306 684 992 265

Tablo 4.25. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=10.0 \times 10^6$ CBR= %10 Pt=2.5)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		$T_{8,2}=10.0 \times 10^6$ R=1 CBR= %10 Pt=2.5	Aşınma =4 cm Binder =6 cm Bitümlü Temel=8 cm Plentmiks Temel=20 cm Alttemel=15 cm			
1	6000	Alttemel yapılması	21557.76	m ³	13 843 001	298 424 093 238
2	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	60792.99	ton	15 108 811	918 509 826 857
3	6200	Bitümlü Temel Yapılması	25256.20	ton	26 749 408	675 588 291 332
4	6300	Binder Yapılması	18546.58	ton	27 526 386	510 520 182 428
5	6400	Aşınma Yapılması	11819.28	ton	28 311 783	334 624 890 576
6	04.610	Bitümün zati bedeli (AC 60/70 İşyeri)	2268.90	ton	306 479 759	695 372 414 289
7	04.610/1	RC-250 Yuapıştırıcı zati bedeli	1279.51	ton	498 464 293	637 788 587 794
8	4358	Bitümün ısıtılması	2268.90	ton	11 076 230	25 130 875 923
9	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	158394.83	ton	688 988	109 132 138 265
10	07.006/K	Alttemel Nakli M=50 km	46866.57	ton	4 078 125	191 127 731 760
11	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 Km.)(A= 1.00)	55622.05	ton	3 126 563	173 905 846 641
12	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M:15 Km	158394.83	ton	1 857 813	294 267 977 361
13	07.006/K	Bitümün nakli (AC 60/70 İşyeri)	2268.90	ton	16 765 625	38 039 553 318
14	07.006/K	RC-250 Yuapıştırıcı nakli M=250 Km	1279.51	ton	16 765 625	21 451 735 746
15	07.006/K	Alttemel için su nakli M:50 Km	4686.66	ton	4 078 125	19 112 773 176
16	07.006/K	Temel için su nakli M:15 Km	2617.88	ton	1 857 813	4 863 531 571
TOPLAM						4 947 860 450 274

Tablo 4.26. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{82}=10.0 \times 10^6$ CBR= %20 Pt=2.5)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		$T_{82}=10.0 \times 10^6$ R=1 CBR= %20 Pt=2.5			Aşınma =4 cm Binder =6 cm Bitümlü Temel=8 cm Plentmiks Temel=20 cm Alttemel= - cm	
1	6000	Alttemel yapılması		m ³	13 843 001	
2	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	60792.99	ton	15 108 811	918 509 826 857
3	6200	Bitümlü Temel Yapılması	25256.20	ton	26 749 408	675 588 291 332
4	6300	Binder Yapılması	18546.58	ton	27 526 386	510 520 182 428
5	6400	Aşınma Yapılması	11819.28	ton	28 311 783	334 624 890 576
6	04.610	Bitümün zati bedeli (AC 60/70 İşyeri)	2268.90	ton	306 479 759	695 372 414 289
7	04.610/1	RC-250 Yuapıştırıcı zati bedeli	1279.51	ton	498 464 293	637 788 587 794
8	4358	Bitümün ısıtılması	2268.90	ton	11 076 230	25 130 875 923
9	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	111528.26	ton	688 988	76 841 633 768
10	07.006/K	Alttemel Nakli M=50 km		ton	4 078 125	
11	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 Km.)(A= 1.00)	55622.05	ton	3 126 563	173 905 846 641
12	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M:15 Km	111528.26	ton	1 857 813	207 198 653 904
13	07.006/K	Bitümün nakli (AC 60/70 İşyeri)	2268.90	ton	16 765 625	38 039 553 318
14	07.006/K	RC-250 Yuapıştırıcı nakli M=250 Km	1279.51	ton	16 765 625	21 451 735 746
15	07.006/K	Alttemel için su nakli M:50 Km		ton	4 078 125	
16	07.006/K	Temel için su nakli M:15 Km	2617.88	ton	1 857 813	4 863 531 571
TOPLAM						4 319 836 024 146

Tablo 4.27. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=20.0 \times 10^6$ CBR= %3 Pt=2.5)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		$T_{8,2}=20.0 \times 10^6$ R=1 CBR= %3 Pt=2.5	Aşınma =5 cm Binder =6 cm Bitümlü Temel=10 cm Plentmiks Temel=20 cm Alttemel=50 cm			
1	6000	Alttemel yapılması	77214.36	m ³	13 843 001	1 068 878 462 694
2	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	61490.44	ton	15 108 811	929 047 482 802
3	6200	Bitümlü Temel Yapılması	31825.07	ton	26 749 408	851 301 814 158
4	6300	Binder Yapılması	18621.83	ton	27 526 386	512 591 542 974
5	6400	Aşınma Yapılması	14818.10	ton	28 311 783	419 526 968 701
6	04.610	Bitümün zati bedeli (AC 60/70 İşyeri)	2650.61	ton	306 479 759	812 359 767 573
7	04.610/1	RC-250 Yuapıştırıcı zati bedeli	1597.80	ton	498 464 293	796 448 685 480
8	4358	Bitümün ısıtılması	2650.61	ton	11 076 230	29 358 818 533
9	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	289320.93	ton	688 988	199 338 651 813
10	07.006/K	Alttemel Nakli M=50 km	167864.02	ton	4 078 125	684 570 451 016
11	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 Km.)(A= 1.00)	65265.00	ton	3 126 563	204 055 137 447
12	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M:15 Km	289320.93	ton	1 857 813	537 504 192 730
13	07.006/K	Bitümün nakli (AC 60/70 İşyeri)	2650.61	ton	16 765 625	44 439 212 797
14	07.006/K	RC-250 Yuapıştırıcı nakli M=250 Km	1597.80	ton	16 765 625	26 788 197 630
15	07.006/K	Alttemel için su nakli M:50 Km	16786.40	ton	4 078 125	68 457 045 102
16	07.006/K	Temel için su nakli M:15 Km	2647.91	ton	1 857 813	4 919 328 712
TOPLAM						7 189 585 760 162

Tablo 4.28. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=20.0 \times 10^6$ CBR= %10 Pt=2.5)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		$T_{8,2}=20.0 \times 10^6$ R=1 CBR= %10 Pt=2.5	Aşınma =5 cm Binder =6 cm Bitümlü Temel=10 cm Plentmiks Temel=20 cm Alttemel=20 cm			
1	6000	Alttemel yapılması	29320.66	m ³	13 843 001	405 885 925 701
2	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	61490.44	ton	15 108 811	929 047 482 802
3	6200	Bitümlü Temel Yapılması	31825.07	ton	26 749 408	851 301 814 158
4	6300	Binder Yapılması	18621.83	ton	27 526 386	512 591 542 974
5	6400	Aşınma Yapılması	14818.10	ton	28 311 783	419 526 968 701
6	04.610	Bitümün zati bedeli (AC 60/70 İşyeri)	2650.61	ton	306 479 759	812 359 767 573
7	04.610/1	RC-250 Yuapıştırıcı zati bedeli	1597.80	ton	498 464 293	796 448 685 480
8	4358	Bitümün ısıtılması	2650.61	ton	11 076 230	29 358 818 533
9	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	185200.03	ton	688 988	127 600 598 545
10	07.006/K	Alttemel Nakli M=50 km	63743.11	ton	4 078 125	259 952 390 207
11	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 Km)(A= 1.00)	65265.00	ton	3 126 563	204 055 137 447
12	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M:15 Km	185200.03	ton	1 857 813	344 067 024 078
13	07.006/K	Bitümün nakli (AC 60/70 İşyeri)	2650.61	ton	16 765 625	44 439 212 797
14	07.006/K	RC-250 Yuapıştırıcı nakli M=250 Km	1597.80	ton	16 765 625	26 788 197 630
15	07.006/K	Alttemel için su nakli M:50 Km	6374.31	ton	4 078 125	25 995 239 021
16	07.006/K	Temel için su nakli M:15 Km	2647.91	ton	1 857 813	4 919 328 712
TOPLAM						5 794 338 134 359

Tablo 4.29. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=20.0 \times 10^6$ CBR= %20 Pt=2.5)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		$T_{8,2}=20.0 \times 10^6$ R=1 CBR= %20 Pt=2.5	Aşınma =5 cm Binder =6 cm Bitümlü Temel=10 cm Plentmiks Temel=15 cm Alttemel=10 cm			
1	6000	Alttemel yapılması	14140.68	m ³	13 843 001	195 749 447 381
2	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	45681.21	ton	15 108 811	690 188 830 692
3	6200	Bitümlü Temel Yapılması	31825.07	ton	26 749 408	851 301 814 158
4	6300	Binder Yapılması	18621.83	ton	27 526 386	512 591 542 974
5	6400	Aşınma Yapılması	14818.10	ton	28 311 783	419 526 968 701
6	04.610	Bitümün zati bedeli (AC 60/70 İşyeri)	2650.61	ton	306 479 759	812 359 767 573
7	04.610/1	RC-250 Yuapıştırıcı zati bedeli	1597.80	ton	498 464 293	796 448 685 480
8	4358	Bitümün ısıtılması	2650.61	ton	11 076 230	29 358 818 533
9	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	137070.31	ton	688 988	94 439 795 394
10	07.006/K	Alttemel Nakli M=50 km	14140.68	ton	4 078 125	125 369 059 399
11	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 Km.)(A= 1.00)	65265.00	ton	3 126 563	204 055 137 447
12	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M:15 Km	137070.31	ton	1 857 813	254 650 994 792
13	07.006/K	Bitümün nakli (AC 60/70 İşyeri)	2650.61	ton	16 765 625	44 439 212 797
14	07.006/K	RC-250 Yuapıştırıcı nakli M=250 Km	1597.80	ton	16 765 625	26 788 197 630
15	07.006/K	Alttemel için su nakli M:50 Km	3074.18	ton	4 078 125	12 536 905 940
16	07.006/K	Temel için su nakli M:15 Km	1967.13	ton	1 857 813	3 654 566 418
TOPLAM						5 073 459 745 308

Tablo 4.30. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2} = 50.0 \times 10^6$ CBR= %3 Pt=2.5)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		$T_{8,2} = 50.0 \times 10^6$ R=1 CBR= %3 Pt=2.5				Aşınma =6 cm Binder =8 cm Bitümlü Temel=10 cm Plentmiks Temel=20 cm Alttemel=55 cm
1	6000	Alttemel yapılması	86512.73	m ³	13 843 001	1 197 595 807 903
2	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	62201.58	ton	15 108 811	939 791 879 860
3	6200	Bitümlü Temel Yapılması	32217.75	ton	26 749 408	861 805 857 289
4	6300	Binder Yapılması	25043.25	ton	27 526 386	689 350 166 195
5	6400	Aşınma Yapılması	17802.18	ton	28 311 783	504 011 457 087
6	04.610	Bitümün zati bedeli (AC 60/70 İşyeri)	3095.98	ton	306 479 759	948 855 963 707
7	04.610/1	RC-250 Yuapıştırıcı zati bedeli	1918.08	ton	498 464 293	956 092 971 655
8	4358	Bitümün ısıtılması	3095.98	ton	11 076 230	34 291 814 002
9	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	319568.92	ton	688 988	220 179 149 474
10	07.006/K	Alttemel Nakli M=50 km	188078.68	ton	4 078 125	767 008 346 566
11	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 Km.)(A= 1.00)	75063.18	ton	3 126 563	234 689 775 007
12	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M:15 Km	319568.92	ton	1 857 813	593 699 289 713
13	07.006/K	Bitümün nakli (AC 60/70 İşyeri)	3095.98	ton	16 765 625	51 906 081 232
14	07.006/K	RC-250 Yuapıştırıcı nakli M=250 Km	1918.08	ton	16 765 625	32 157 762 257
15	07.006/K	Alttemel için su nakli M:50 Km	18807.87	ton	4 078 125	76 700 834 657
16	07.006/K	Temel için su nakli M:15 Km	2678.54	ton	1 857 813	4 976 220 552
TOPLAM						8 113 113 377 154

Tablo 4.31. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=50.0 \times 10^6$ CBR= %10 Pt=2.5)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		$T_{8,2}=50.0 \times 10^6$ R=1 CBR= %10 Pt=2.5	Aşınma =6 cm Bİnder =8 cm Bitümlü Temel=10 cm Plentmiks Temel=20 cm Alttemel=20 cm			
1	6000	Alttemel yapılması	29629.47	m ³	13 843 001	410 160 782 839
2	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	62201.58	ton	15 108 811	939 791 879 860
3	6200	Bitümlü Temel Yapılması	32217.75	ton	26 749 408	861 805 857 289
4	6300	Bİnder Yapılması	25043.25	ton	27 526 386	689 350 166 195
5	6400	Aşınma Yapılması	17802.18	ton	28 311 783	504 011 457 087
6	04.610	Bitümün zati bedeli (AC 60/70 İşyeri)	3095.98	ton	306 479 759	948 855 963 707
7	04.610/1	RC-250 Yuapıştırıcı zati bedeli	1918.08	ton	498 464 293	956 092 971 655
8	4358	Bitümün ısıtılması	3095.98	ton	11 076 230	34 291 814 002
9	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	195904.71	ton	688 988	134 975 994 656
10	07.006/K	Alttemel Nakli M=50 km	64414.47	ton	4 078 125	262 690 251 415
11	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, bİnder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 Km.)(A= 1.00)	75063.18	ton	3 126 563	234 689 775 007
12	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, bİnder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M:15 Km	195904.71	ton	1 857 813	363 954 317 868
13	07.006/K	Bitümün nakli (AC 60/70 İşyeri)	3095.98	ton	16 765 625	51 906 081 232
14	07.006/K	RC-250 Yuapıştırıcı nakli M=250 Km	1918.08	ton	16 765 625	32 157 762 257
15	07.006/K	Alttemel için su nakli M:50 Km	6441.45	ton	4 078 125	26 269 025 142
16	07.006/K	Temel için su nakli M:15 Km	2678.54	ton	1 857 813	4 976 220 552
TOPLAM						6 455 980 320 762

Tablo 4.32. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=50.0 \times 10^6$ CBR= %20 Pt=2.5)

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Miktar	Birimi	Birim Fiyatı	Tutarı
		$T_{8,2}=50.0 \times 10^6$ R=1 CBR= %20 Pt=2.5	Aşınma =6 cm Binder =8 cm Bitümlü Temel=10 cm Plentmiks Temel=20 cm Alttemel=10 cm			
1	6000	Alttemel yapılması	14555.73	m ³	13 843 001	201 494 984 946
2	6100/3	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	62201.58	ton	15 108 811	939 791 879 860
3	6200	Bitümlü Temel Yapılması	32217.75	ton	26 749 408	861 805 857 289
4	6300	Binder Yapılması	25043.25	ton	27 526 386	689 350 166 195
5	6400	Aşınma Yapılması	17802.18	ton	28 311 783	504 011 457 087
6	04.610	Bitümün zati bedeli (AC 60/70 İşyeri)	3095.98	ton	306 479 759	948 855 963 707
7	04.610/1	RC-250 Yuapıştırıcı zati bedeli	1918.08	ton	498 464 293	956 092 971 655
8	4358	Bitümün ısıtılması	3095.98	ton	11 076 230	34 291 814 002
9	07.005/K	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi (M= 2 Km)(A= 1.00)	163134.40	ton	688 988	112 397 643 786
10	07.006/K	Alttemel Nakli M=50 km	31644.16	ton	4 078 125	129 048 827 847
11	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi (M= 35 Km)(A= 1.00)	75063.18	ton	3 126 563	234 689 775 007
12	07.006/K	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M:15 Km	163134.40	ton	1 857 813	303 073 208 524
13	07.006/K	Bitümün nakli (AC 60/70 İşyeri)	3095.98	ton	16 765 625	51 906 081 232
14	07.006/K	RC-250 Yuapıştırıcı nakli M=250 Km	1918.08	ton	16 765 625	32 157 762 257
15	07.006/K	Alttemel için su nakli M:50 Km	3164.42	ton	4 078 125	12 904 882 785
16	07.006/K	Temel için su nakli M:15 Km	2678.54	ton	1 857 813	4 976 220 552
TOPLAM						6 016 849 496 730

Tablo 4.33. Farklı trafik ve taban zeminin taşıma gücü (CBR) değerlerine göre üstyapı maliyet oranları

Trafik CBR (%)	0.5×10^6	1×10^6	5×10^6	10×10^6	20×10^6	50×10^6
3	0.74	0.92	1.43	1.38	1.47	1.51
10	0.58	0.69	1.18	1.12	1.22	1.20
20	0.53	0.64	1.10	0.98	1.07	1.16

BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Bu çalışmaya altlık teşkil eden araştırmanın ayrıntılı teknik analizinden alınan değerlendirmelerden çıkan sonuçlar, aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

Düşük trafik için esnek üstyapı maliyeti (TL/km. olarak) rijit üstyapıdan yaklaşık %38 daha ucuzdur. Yüksek trafik için ise, rijit üstyapı maliyeti esnek üstyapı maliyetine (TL/km) nazaran yaklaşık % 29 daha ucuzdur.

Üstyapı hesabı için gerekli olan parametreler ne seçilirse seçilsin, trafik yükünün artmasına paralel olarak esnek üstyapı/rijit üstyapı maliyet oranı da artmaktadır. Yani trafiğin artışı ekonomik açıdan rijit üstyapıyı avantajlı hale getirmektedir.

Taban zemininin taşıma gücünün (CBR) düşük olması durumunda, trafiğin $T_{8,2} = 0.5 \times 10^6$ dan büyük olduğu durumlarda rijit üstyapı daha ekonomiktir. Bu durumda esnek üstyapı/rijit üstyapı maliyet oranı 1.51'e kadar çıkmaktadır.

Trafik $T_{8,2} \leq 0.5 \times 10^6$ olduğunda zeminin taşıma gücü (CBR) ne olursa olsun esnek üstyapı daha ekonomik olmaktadır. Bu durumda aralarındaki maliyet farkı %38'e kadar çıkmaktadır.

Aynı zemin taşıma gücü için, trafik artışı ile esnek üstyapı maliyetinin değişimi, rijit üstyapıya nazaran daha fazla olmaktadır.

İklim koşullarının don etkisi bakımından hafif oluğu kesimlerde, düşük trafik değerlerinde ($T_{8,2} \leq 0.5 \times 10^6$) esnek üstyapı rijit üstyapıya göre daha ekonomik olmaktadır.

Yüksek trafik etkisinde ($T_{8,2} \geq 5 \times 10^6$) iklim koşulları ne olursa olsun rijit üstyapı esnek üstyapıya oranla daha ekonomik olmaktadır.

Ülkemizde hazır beton tesislerinin yaygınlaşması, yol yapımında beton kaplama tercih edildiğinde malzeme temini yönünden büyük avantaj ve ekonomiklik sağlayacaktır. Bunun yansira, betonarme aşınma tabakasının imalatı elverişsiz hava koşullarında bitümlü sıcak karışıma göre daha sağlıklı yapılabilmektedir. Beton yol imalatı müteahhit firmalara iş programı açısından esneklik getirmektedir.

Beton yol üstyapı tiplerinden biri olan silindirle sıkıştırılabilen beton (RCC), beton asfalt (Bitümlü sıcak karışım) kaplamalı yolların yapımında kullanılan ekipmanlarla yapılabildiğinden, yeni bir ekipman maliyeti yaratmayacak ve yol yapımında bu teknik dikkate alınırsa büyük avantaj sağlayacaktır.

Beton yolların mekanik özellikleri (mukavemet, yorulma mukavemeti, v.b) daha yüksek olduğundan daha az kalınlıkta yapılabilmekte, malzeme, taşıma ve işçilik maliyetlerinde tasarruf sağlamaktadır.

ABD’de eyalet karayolu performansları yıllar içerisinde izlenerek kayıt altına alınmış. Ağır kış koşulları ve yaz sıcaklıklarına maruz kalan ve ağır araçları taşıyan bu yolların performansları; beton yolların servis ömürleri (tamire ihtiyaç gösterme süresi) eyaletler bazında 20 – 25 yıl civarında olurken, asfalt yollarda 6 – 14 yıl olmaktadır. Servis ömürleri oranı, beton kaplama ömrünün asfalt kaplama ömrüne oranının 1.7 ile 4.5 arasında değiştiği, ağırlıklı olarak da bu oranın 1.7 – 2.0 civarında olduğu görülmüştür. Bu da beton yolların servis ömürleri ve bakım onarım maliyetleri açısından asfalt yollardan daha avantajlı olduğunu göstermektedir..

Asfalt yolların küçük bakımlarının her 3 – 5 yılda bir, rehabilitasyonunun da 17. yılda olduğu, öte yandan betonun ilk küçük bakımının 12. yıldan, yüzeyinin yeniden düzeltilmesinin 18. yıldan sonra yapıldığı görülmektedir.

Beton kaplamalarda aşınma miktarı normal dayanımlı betonlarda kuru halde asfaltın %60’ı, ıslak halde %33’ü kadar olmaktadır. Beton sınıfı yükseldikçe aşınma dayanımı artmakta, yüksek dayanımlı beton kullanılması durumunda aşınma miktarı doğal granit eşiğindedir.

ABD'deki Washington otoyolu üzerinde yapılan performans değerlendirmelerinde, yol kaplamasının ömrü süresince verdiği hizmetin kalitesi incelendiğinde; asfalt yol performansının %20'sini yaklaşık ilk 7 yılda kaybederken, beton yolda bu süre 13 yıl olmuştur. Asfalt üstyapı ile imal edilen yolun tamir edilen kesimleri ise servis ömürlerinin %70'ini ilk 7 yılda kaybetmektedir.

Bilindiği üzere beton asfalta göre daha rijit ve mukavemeti yüksek olan malzemedir. Yol yapımında beton kaplama kullanıldığında, ağır vasıtaların yol yüzeyinde yapmakta olduğu, özellikle tırmanma şeritleri, otobüs durakları ve kavşaklar gibi düşük trafik hızları ve uzun yüklenme zamanlarına maruz kalan kesimlerde görülen bozulmalar (ondülasyon, oturma, çökme, tekerizi gibi) önlenecektir. Bu da yolun bakım – onarıma duyduğu ihtiyacı azaltarak işletme maliyetlerinde ekonomiklik sağlayacak ve yolun projelendirilirkenki hizmet düzeyinde kalmasını sağlayarak sürüş konforunda yada güvenliğinde azalmaya sebep olmayacaktır.

Ağır taşıtların kaplama yüzeyinde yapmış olduğu bozulmalar, taşıtın hareket ederken daha fazla enerjiye ihtiyaç duymasına neden olmaktadır. Beton yollarda bu bozulmalar olmadığından enerji kullanımı azalmaktadır. Yük taşımacılığının yüksek oranda karayollarından sağlandığı ülkemizde beton yol imalatı taşımacılık maliyetlerinde tasarruf sağlayacaktır.

Bir ülkenin bağımsız ve özgür olarak ayakta durabilmesi, dışarıya bağımlı olmamasından geçmektedir. Bilindiği gibi asfalt kaplamaların ana maddesi olan bitüm, petrolün yan ürünüdür. Beton kaplamalarda kullanılan ana malzeme olan çimento - demir ülkemizde üretilmekte ve öz kaynaklarımız arasında yer almaktadır. Bu da göstermektedir ki beton kaplamalı yolların asfalt yollara tercih edilmesi, karayolu yapımında dışa bağımlılığımızı azaltacaktır.

Beton kaplamalı yollar asfalt kaplamalı yollara göre çok daha açık renkte olduklarından gece görüşünü arttırmaktadır. Islak hava koşullarında bile tehlikeli far ışığı yansımalarına sebep olmamaktadır. Beton yolların bu gibi avantajlı özellikleri trafik güvenliği açısından büyük önem taşımakla beraber; yerleşim birimleri ve otoyollar gibi yol aydınlatması

yapılan kesimlerde ışıklandırma imalat ve işletme maliyetlerindeki yüksek oranda düşürmektedir.

Beton yolların yüzey pürüzlülüğü daha az olduğundan yüksek hızlarda daha az gürültüye sebep olurlar. Böylece yerleşim birimlerinde yaşam kalitesi yükselirken, doğal koruma alanları gibi hassas bölgelerde de doğal yaşama daha az zarar verir.



KAYNAKLAR

[1] ULUĞTEKİN E., "Asfalt Betonunun Tekrarlı Yükleme Altındaki Zamana Bağlı Davranışı", Y. Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Eylül 1999.

[2] "Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Formu", KGM, 2001.

[3] Kanada Çimento Birliği, "Beton Yolların Faydaları", 2001.

[4] ARIOĞLU E., KÖYLÜOĞLU Ö., "Yüksek Performanslı Betonların Yol Kaplama Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin İrdelenmesi", THBB Hazır Beton Dergisi - Beton Yollar Özel Eki, 1996.

[5] Türkiye Hazır Beton Birliği, "Bir Seçenek Daha Var Beton Yollar", İstanbul, Ağustos 2002.

[6] TUNÇ. A., "Yol Malzemeleri ve Uygulamaları ", 1. Baskı, Temmuz 2001.

[7] AĞAR E., TAŞDEMİR Y., "Silindir ile Sıkıştırılabilen Beton Yollar", THBB Hazır Beton Dergisi, sayı:51, Mayıs – Haziran 2002.

[8] AĞAR E., SÜTAŞ I., ÖZTAŞ G., "Beton Yollar", İTÜ ,1998.

[9] ULUÖZ N., "Beton Yollar Maliyet Araştırması", Adana Çimento Sanayi, 2001.

ÖZGEÇMİŞ

Bülent TATLI, 20 Kasım 1973 Sakarya Karasu'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Karasu'da tamamlayarak 1991 yılında Ankara İnönü Lisesinden mezun oldu. 1991 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde yüksek öğrenimine başladı ve Kasım 1999'de mezun oldu. 2001 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Anabilim Dalında yüksek lisans yapmaya hak kazandı.

