



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ASFALT VE BETON KAPLAMALI YOLLARIN MALİYET YÖNÜNDEN
KARŞILAŞTIRILMASI

EMRULLAH EDİS

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANTAKYA

TEMMUZ-2007



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ASFALT VE BETON KAPLAMALI YOLLARIN MALİYET YÖNÜNDEN
KARŞILAŞTIRILMASI

EMRULLAH EDİS

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANTAKYA

TEMMUZ-2007

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
SİMGELER VE KISALTMALAR	V
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
1.GİRİŞ.....	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	2
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	3
3.1. Materyal	3
3.1.1. Asfalt Kaplamalı Üstyapılar	3
3.1.2. Asfalt Kaplamalı Üstyapı tipleri	3
3.1.3. Sathi kaplamalı Esnek Üstyapılar	4
3.1.4. Bitümlü Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalı Üstyapılar.....	5
3.1.4.1. Asfalt Kaplamalı Üstyapı Dizayn Metotları	6
3.1.4.2. Genel Bilgiler	6
3.1.4.3. Sathi Kaplamalı Üstyapıların Projelendirilmesi	12
3.1.4.4. Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalı Üstyapıların Projelendirilmesi.....	13
3.1.5. Beton Kaplamalı Üstyapılar	15
3.1.6. Beton Kaplamalı Üstyapı Tipleri.....	18
3.1.6.1. Kalın Plak Kaplamalar	18
3.1.6.2. Lifli Beton Plak Kaplamalar	19
3.1.6.3. Ön Gerilmeli Beton Kaplamalar	19
3.1.6.4 Silindire Sıkıştırılan Beton (SSB) Kaplamalar	20

3.1.6.5. Kendinden Yerleşebilen Betonlar	31
3.1.6.6. Sürekli Betonarme Yol Kaplamaları.....	32
3.1.7. Beton Kaplama Dizaynı	35
3.1.7.1. Genel özellikler	35
3.1.7.2. Beton kaplamalarda oluşan gerilmeler	36
3.2.Yöntem	51
3.2.1. Maliyet Analizi	51
3.2.1.1. Trafik.....	51
3.2.1.2. Taban Zemini Taşıma Gücü (CBR).....	51
3.2.1.3 Bölge Faktörü (R)	51
3.2.1.4. Son Servis Kabiliyeti (Pt)	52
3.2.1.5. Değişik Kaplama Türlerinin 10 km.lık Yol Keşif Özetleri	53
4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	72
5.SONUÇ VE ÖNERİLER	82
KAYNAKLAR.....	83
TEŞEKKÜR.....	84
ÖZGEÇMİŞ	85

ÖZET**ASFALT VE BETON KAPLAMALI YOLLARIN MALİYET YÖNÜNDEN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Teknolojik ve bilimsel gelişmelerin hızlı yaşandığı dünyada, ülkemizin bu gelişmelerin gerisinde kalmasının en önemli nedenlerinden biride ulaşım ağının yeterli ve istenen standartlarda olmamasıdır. 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. Bununla ilgili olarak; ilk yapım maliyeti daha fazla olmasına rağmen, uzun vadede fazla bakım ve onarım gerektirmediğinden beton yol seçeneği de unutulmamalıdır.

Bu tezde karayolu üstyapı tipleri hakkında bilgi verilerek, üstyapı alternatiflerinden biri olan beton kaplamalı üstyapı ve asfalt kaplamalı üstyapı arasında performans maliyetleri karşılaştırması yapılmıştır.

ABSTRACT

THE COMPARISON COSTS OF FLEXIBLE PAVEMENTS AND 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.

2007,85 pages

Keywords: Concrete road, flexible pavements, rigid pavements

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AASHTO	:	American Association of State Highways And Transportation Officials
EDY	:	Eşdeğer Dingil Yüğü
CBR	:	California Taşıma Oranı(California Bearing Ratio)
FAA	:	Federal Aviation Administration
KGM	:	Karayolları Genel Müdürlüğü
PCA	:	Portland Cement Association
RCC	:	Roller Compacted Concrete (Silindirle Sıkıştırılabilen Beton (SSB))
TÇMB	:	Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğı
YOGATT	:	Yıllık Ortalama Günlük Ağır Taşıt Trafiğı
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

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1	Satış cinsine göre yol ağı (Km) 01.04.2007 tarihi itibariyle.....	4
Çizelge 3.2	Servis kabiliyeti (Pt)'nin tayini.....	7
Çizelge 3.3	Taşıt eşdeğerlik faktörleri	10
Çizelge 3.4	ABD'nin çeşitli eyaletlerindeki yol kaplamalarının servis ömrü açısından karşılaştırılması- (Servis Ömrü -Yıl).....	15
Çizelge 3.5	Beton liflerin özellikleri.....	19
Çizelge 3.6	Agrega ve bağlayıcı karışımının gradasyon sınırları.....	22
Çizelge 3.7	Geleneksel beton ve ssb kaplamalar için tasarlanmış karışım örneği.....	25
Çizelge 3.8	Örnek bir beton bileşimi ve özellikleri.....	35
Çizelge 3.9	Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 15 cm plentmiks temel 20cm dozaj 400).....	53
Çizelge 3.10	Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 18cm plentmiks temel 20cm dozaj 400).....	54
Çizelge 3.11	Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 20cm plentmiks temel 20cm dozaj 400).....	55
Çizelge 3.12	Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 25cm plentmiks temel 20cm dozaj 400).....	56
Çizelge 3.13	Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 27cm plentmiks temel 20cm dozaj 400).....	57
Çizelge 3.14	Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı 30cm plentmiks temel 20cm dozaj 400).....	58
Çizelge 3.15	Tek kat sathi kaplamalı 10 km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=0.5 \times 10^6$ CBR=%5Pt=2.....)	59
Çizelge 3.16	Tek kat sathi kaplamalı 10 km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=1 \times 10^6$ CBR= %10 Pt=2.....)	60
Çizelge 3.17	Tek kat sathi kaplamalı 10 km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=1.5 \times 10^6$ CBR= %15 Pt=2.....)	61

Çizelge 3.18	Tek kat sathi kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=2 \times 10^6$ CBR= %20 Pt=2).....	62
Çizelge 3.19	Tek kat sathi kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=2.5 \times 10^6$ CBR= %25 Pt=2).....	63
Çizelge 3.20	Tek kat sathi kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=3 \times 10^6$ CBR= %30 Pt=2).....	64
Çizelge 3.21	Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=0.5 \times 10^6$ CBR= %5 Pt=2).....	65
Çizelge 3.22	Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=1 \times 10^6$ CBR= %10 Pt=2).....	66
Çizelge 3.23	Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=1.5 \times 10^6$ CBR= %15 Pt=2).....	67
Çizelge 3.24	Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=2 \times 10^6$ CBR= %20Pt=2).....	68
Çizelge 3.25	Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=2.5 \times 10^6$ CBR= %25 Pt=2).....	69
Çizelge 3.26	Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=3 \times 10^6$ CBR= %30 Pt=2)	70
Çizelge 3.27	Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti ($T_{8,2}=6 \times 10^6$ CBR= %30 Pt=2.5).....	71
Çizelge 4.1	Kaplama türlerinin ilk yapım maliyetleri.....	72
Çizelge 4.2	Kaplama türlerinde üstyapı kalınlıklarının yüzde değişimi ve buna bağlı olarak maliyetlerinin değişimi....	74
Çizelge 4.3	Kaplama türlerinin yıllara göre bakım maliyetleri.....	75
Çizelge 4.4	Taşıma mesafeleri ve maliyet ilişkisi.....	77

Çizelge.4.5	Cizre-Silopi (Km:0+000-10+000) bölünmüş yolda tek şerit sathi kaplama yapılması işinin keşif özeti.....	78
Çizelge 4.6	Oyalı ayırım-Cizre (Km:0+000-10+000) bölünmüş yolda tek şerit sıcak karışım asfalt yapılması işinin keşif özeti.....	79
Çizelge 4.7	Oyalı ayırım-Cizre (Km:0+000-10+000) bölünmüş yolda tek şerit beton yol yapılması işinin keşif özeti.....	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1	Bitümlü sıcak karışım üstyapı tipi.....	6
Şekil 3.2	Sathi kaplamalı esnek üstyapılar için projelendirme abağı.....	12
Şekil 3.3	Sıcak karışım kaplamalı esnek üstyapılar için projelendirme abağı.....	14
Şekil 3.4	Beton elemanlarının hacimce ve ağırlıkça dağılımı.....	17
Şekil 3.5	Kaplama maliyetlerinin karşılaştırılması.....	29
Şekil 3.6	Asfalt ve beton yollarda durma mesafeleri.....	30
Şekil 3.7	Asfalt ve beton kaplamaların gece görüşü.....	30
Şekil 3.8	CBR – k ilişkisi (PCA).....	37
Şekil 3.9	Beton plakta defleksiyon oluşumu.....	37
Şekil 3.10	Isı farkından ötürü beton plakta şekil değiştirme.....	38
Şekil 3.11	Beton plakta farklı gerilme yaratan tekerlek yükleri.....	39
Şekil 3.12	Beton plakta köşe yüklemesi.....	41
Şekil 3.13	Z _i faktörleri (Hetenyi).....	45
Şekil 3.14	Isıdan dolayı beton plakta oluşan burulma.....	46
Şekil 3.15	Burulma katsayıları.....	47
Şekil 3.16	Sıcak karışım asfalt kaplamalı yolun enkesiti.....	53
Şekil 4.1	Kaplama türlerinin ilk yapım maliyetleri.....	73
Şekil 4.2	Kaplama türlerinde üstyapı kalınlıklarının yüzde (%) değişimi ve buna bağlı olarak maliyetlerinin değişimi.....	74
Şekil 4.3	Kaplama türlerinin yıllara görbakım maliyetleri.....	75
Şekil 4.4	Taşıma mesafeleri vmaliyet ilişkisi.....	77

1.GİRİŞ

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 olmasını gerektirmektedir.

Zengin yeraltı ve yerüstü kaynaklarına sahip olmasına rağmen ekonomik olarak güçsüz 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; asfalt kaplamalı ve beton kaplamalı üstyapıdır. Ülkemizde 1950'li yıllarda başlatılmış olan karayolu ağlarının yaygınlaştırılmasında kullanılan projelendirme ve yapım teknikleri çoğunlukla asfalt kaplamalı üstyapıları esas alarak yapılmıştır. Oysa asfalt kaplamalı üstyapılarda kullanılan petrol ürünü olan bitüm konusunda ülkemiz dışa bağımlıdır.

Yüzyıldan beri dünyada yaygın olarak kullanılmaya başlanan beton yollar alternatifi ülkemizde her türlü kaynağın bulunmasına rağmen yeterince değerlendirilmemiştir. 70'li yıllarda petrol fiyatlarındaki ani artış nedeniyle asfalt betonu birim fiyatında bitümün payı %30-%45'e çıkmış, böylece asfalt hammadde maliyeti açısından sahip olduğu üstünlüğü yitirmeye başlamıştır.

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

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İstanbul Teknik Üniversitesi inşaat Mühendisliği Fakültesinde; ülkemizdeki ulaştırma yatırımlarını incelemek maksadıyla Şafak BİLGİÇ Tarafından 2002 yılında ‘Türkiye’de Ulaştırma Yatırımlarının Değerlendirilmesi İçin Çok Ölçütlü Bir Yöntem Geliştirilmesi’ doktora tezi hazırlanmıştır. Bu çalışmada; Tüm ülkelerin özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin çok pahalı olan ve alternatifi olmayan ulaştırma yatırımlarını değerlendirirken özel yöntemlere ve yaklaşımlara gereksinim duyduklarını ve her ülke kendi şartları ve imkanları çerçevesinde kendine bir yöntem belirlemek durumunda olduğunu anlatılıyor. Kadıköy-Bostancı raylı sistem-tercihli otobüs yolu dışlayan projeler seçimi bu yöntemle yapılmıştır.

Yine ulaştırma maliyetleri konusunda; Prof. Dr. Haluk Gerçek tarafından 2000 yılında ‘ Ulaştırma maliyetlerinin Değerlendirilmesinde Bulanık Mantık Yaklaşımıyla Katılımcı Bir Karar Destek Sistemi’ isimli bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, “katılımcı karar verme”yi öngören “bulanık mantık”ın kullanıldığı bir yaklaşımla, ulaştırma yatırımlarının değerlendirilmesine yönelik bir “Karar Destek Sistemi”nin oluşturulması amaçlanmıştır. Gelişmekte olan ülkelerin parasal kaynak kısıtı ve yatırımla oluşabilecek çevresel riskler gözönüne alındığında, ulaştırma yatırımlarının değerlendirilmesinin önemi bir kat daha artmaktadır. Bir bölge veya kent için yapımı düşünülen bir ulaştırma yatırımı, uzmanlarca yapılan mühendislik hesaplamaları açısından ne düzeyde doğru olursa olsun, bu yatırımın bölge insanınca ne düzeyde benimseneceği ve kullanılacağı hususunun da gözönüne alınması gerekmektedir. Sonuç olarak, önerilen ‘Ulaştırma Yatırımlarını Değerlendiren Karar Destek Sistemi’ (UYDKDS), karar vermede katılımcılığı öngören, bulanık olarak verilen yargılamaların çözümlemeye kullanılabildiği ve sonucun da bu belirsizlikleri ifade eder şekilde elde edilebildiği, çeşitli duyarlık analizlerine imkan tanıyan ve spesifik olarak “ulaştırma yatırımı değerlendirmelerine yönelik bir karar destek sistemi’ dir.

Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği tarafından “ Bir Seçenek Daha Var, Beton Yollar” hazırlanan bu çalışma çerçevesinde ; Karayolları Genel Müdürlüğü ile Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği arasında bir anlaşma yapılmış ve birtakım deneme yolları imalatı yapılmıştır. Kaplama yapım maliyetleri Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği tarafından karşılanmak üzere, İstanbul Hasdal – Kemerburgaz, Afyon – İncehisar yolu yapılmıştır.

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1 Asfalt Kaplamalı Üstyapılar

Asfalt kaplamalı 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.Kaplamanın esas maddesini petrol türevi olan bitüm oluşturmaktadır.

Esnek üstyapıların performansı ve stabilitesi;

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

Her şeye rağmen termoplastik ve akışkan bir malzeme olan asfaltın, özellikle sıcaklığa ve yükleme hızına bağlı olan davranış şekli, yüksek dingil yükleri ve düşük hızlarda istenmeyen sonuçlara yolaçmaktadır. Aynı zamanda 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, kasisleşme ve benzeri deformasyonlar oluşmaktadır. Esnek üstyapılardaki sıcaklık artışına ve yükleme zamanına bağlı sünme davranışı nedeniyle bu istenmeyen sonuç kaçınılmaz ve çok yaygın şekilde gözlenmektedir.

3.1.2. Asfalt Kaplamalı 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 hemen hemen tamamı, çizelge 3.1.'de de görüldüğü gibi, esnek kaplama ve üstyapı tipinde imal edilmiştir. Bu esnek üstyapılar ve genel özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

Çizelge 3.1. Satış cinsine göre yol ağı (km) 01.04.2007 tarihi itibarıyla(www.kgm.gov.tr)

	Asfalt Betonu	Sathi Kaplama	Stabilize	Parke	Toprak	Geçit Vermez	Toplam
Otoyol	2 041	-	-	-	-	-	1 951
Devlet Yolları	6 337	24 391	43	237	86	241	31 335
İl Yolları	867	25 768	92	1 895	1 140	667	30 429
Toplam	9 245	50 159	135	2 132	1 226	908	63 805

3.1.3. 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 kısılacığı 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 2006 verilerine göre, ülkemizde halen kullanılmakta olan yaklaşık 60.000 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 sağlamlığı açısından sakıncalar yaratmaktadır.

3.1.4. Bitümlü Sıcak Karışım Kaplamalı styapılar

Bitümlü sıcak karışımlar, bir asfalt plentinde yada yerde karışım yöntemiyle agrega ile asfalt bağlayıcının sıcak olarak karıştırılıp yola nakledildikten sonra sıcak olarak sıkıtırılmalarına veya sıvı asfaltlar (katbek veya emülsiyon) ile soğuk olarak, harekeli bir plentde veya sabit bir plentde karıştırılıp yolda sıkıtırılmı 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 ilerinde, 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 3.1.'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 styapılı yol tip kesitlerinde kullanılan standart tabakalardır.



Şekil 3.1. 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.

3.1.4.1. Asfalt Kaplamalı Üstyapı Dizayn Metodları

3.1.4.2. 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 alakalıdır.

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 tekrürü 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.

Çizelge 3.2. 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 agrega, ince agrega, 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 olup tekerlekle temas direk temas eden kısımdır. Genellikle en az 5 cm yapılır.

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.

CBR (California Taşıma Oranı)

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

Eşdeğer Dingil Yüğü, 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 serilip sıkıştırılan, kırma taşın belirli boyutlarından oluşan ve belirli fiziksel özelliklere sahip tabaka veya tabakalardır.

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.

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 Trafığı

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.

Çizelge 3.3. 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 tekerrür 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

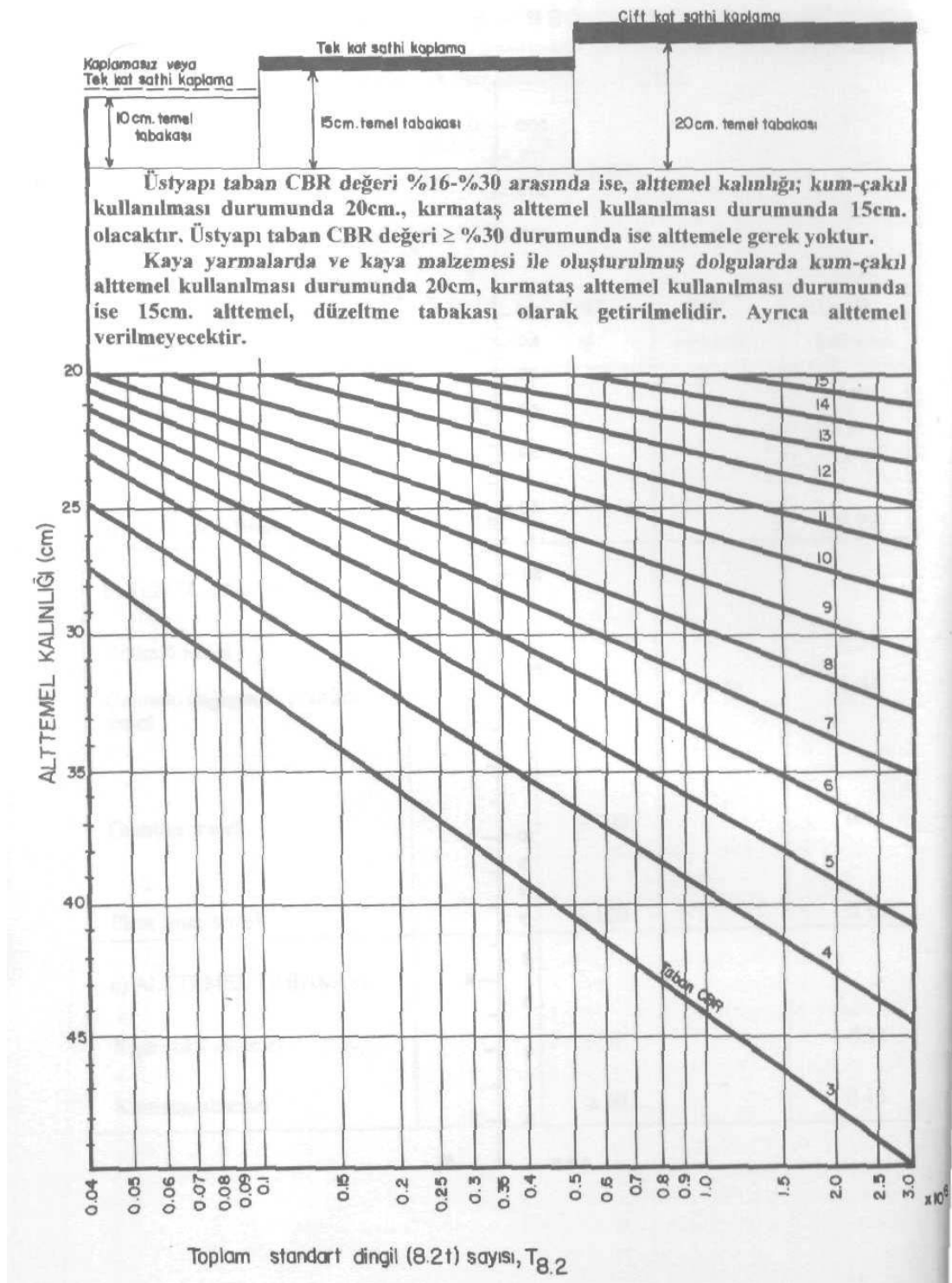
Tek, tandem ve tridem dingil yüklerini, $T_{8.2}$ sayısına dönüştürmek için aşağıdaki hasar formülleri kullanılmaktadır.

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

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

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

3.1.4.3. Sathi Kaplamalı Üstyapıların Projelendirilmesi



Şekil 3.2. Sathi kaplamalı esnek üstyapılar için projelendirme abağı.(Karayolları Projelendirilme Rehberi Ankara-2006)

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.

3.1.4.4. Sıcak Karışım Kaplamalı Üstyapıların Projelendirilmesi

Burada verilen projelendirme metodunda kaplamanın 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

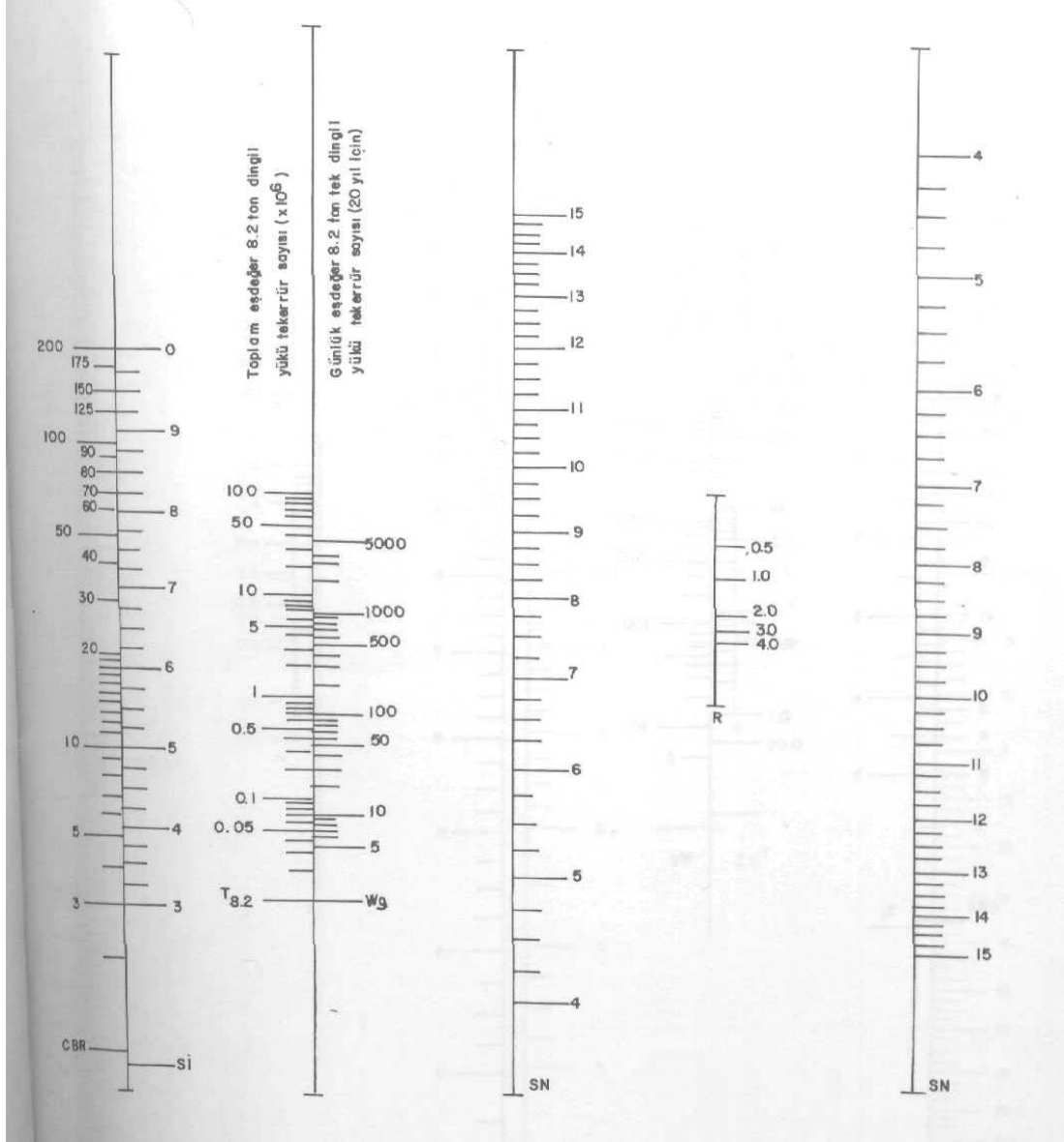
$T_{8.2}$: P_t 'ye erişinceye kadar tekerrür edecek (8.2 ton) standart dingil sayısı

SN : Üstyapı sayısı (inç)

R : Bölge faktörü

S_i : Zemin taşıma değeridir.

Bu çalışmada, K.G.M.'nin kullanmış olduğu(şekil 3.3) asfalt betonu yollarda uygulanacak üstyapı kompozisyonu kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Sıcak karışım kaplamalı esnek üstyapılar için projelendirme abağı.(Karayolları Projelendirilme Rehberi Ankara-2006)

3.1.5 Beton Kaplamalı Üstyapılar

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, Çizelge 3.4.'de görülen sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 3.4. ABD'nin çeşitli eyaletlerindeki 2006 yılı için yol kaplamalarının servis ömrü açısından karşılaştırılması

(Servis Ömrü -Yıl)

Kuruluş Eyalet	Beton	Asfalt	Oran
Coloroda	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
Wisconsin	27	6 – 12	4.5 – 2.3
FHWA(1990)	13 – 30	6 – 20	2.2 – 1.5
FHWA(1976)	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 ile 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 tam yarısı, 17 yıldır.

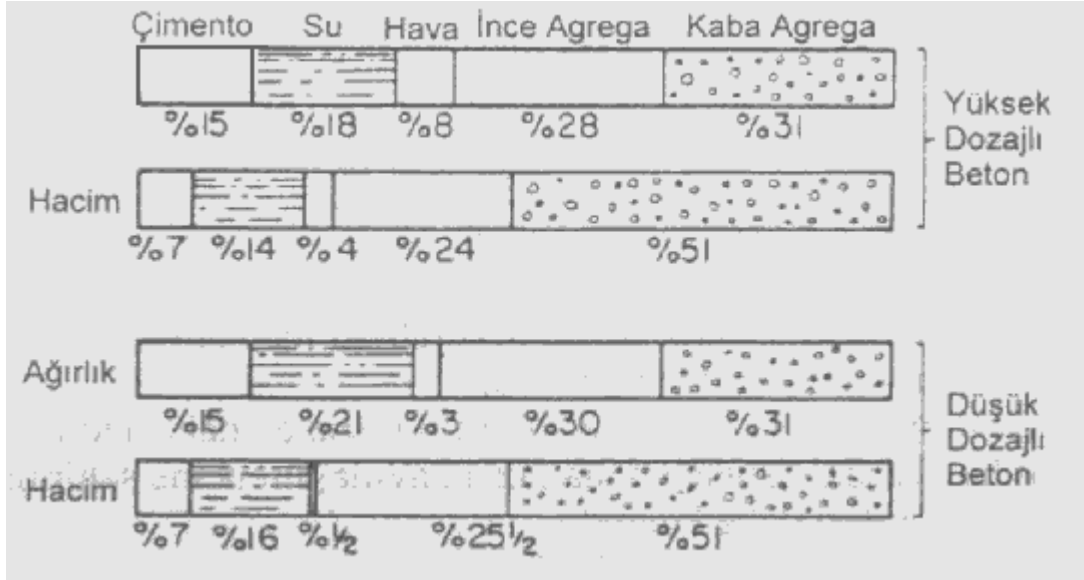
Bu araştırma aynı zamanda asfaltın küçük bakımlarının her 3 - 5 yılda bir, rehabilitasyonunun da 17'nci yılda olduğunu, öte yandan betonun ilk küçük bakımının 12'nci yıldan, yüzeyinin yeniden düzeltilmesinin ise 18'inci yıldan sonra yapıldığını ortaya koymaktadır.

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.

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.

Beton Kaplamalı Üstyapılarda Kullanılan Malzemeler

Beton, genel olarak hava, agrega ve çimento ve sudan 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 3.4. Beton elemanlarının hacimce ve ağırlıkça dağılımı (Beton Yollar- Emine AĞAR)

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]

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 25 mm'den büyük çakılların konkasörlerde kırılmasıyla elde edilir.

3.1.6. Beton Kaplamalı 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.

3.1.6.1. 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 yükseltmeli, plak kenarına serilecek banket betonu, geçirimsiz beton türünden seçilmelidir.

3.1.6.2. Lifli Beton Plak Kaplamalar

Çimento, agrega ve liflerden oluşan betona lifli beton denir. Lifler genellikle süreksiz ve beton içine homojen dağılmış olarak yer alır. Betonun 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 Çizelge 3.5.’de verilmiştir.

Yol betonlarında en çok kullanılan lifler arasında yer alan çelik lifler, betonun eğilme direncini, çarpmaya dayanıklılığını, tokluğunu, yorulma direncini ve çatlamaya 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.

Çizelge.3.5. Beton liflerin özellikleri (Beton Yollar - Emine AĞAR)

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.

3.1.6.3. 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, malzemedeki optimum düzeyde faydalanılmadığını göstermektedir. Ön gerilmeli plak ile betonun efektif eğilme gerilmesi, basınç gerilmelerinin dahil edilmesiyle yoluyla artırılır. 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.

3.1.6.4. Silindirle Sıkıştırılan Beton (SSB) Kaplamalar

Silindirle sıkıştırılabilen beton (SSB) 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 SSB kaplamalar, bitümlü kaplama yapımında kullanılan araçlarla taşınabilmekte, serilebilmekte ve sıkıştırılabilmektedir. SSB kaplamalar genellikle çift tamburlu titreşimli silindir ile sıkıştırılmaktadır. SSB ismini, kaplamanın yapım yönteminden almaktadır. Bu yapım tekniği kullanılarak, büyük miktarda beton, donatısız olarak yerleştirilmektedir. SSB kaplamaların maliyeti, geleneksel beton kaplamalardan %10 ile %30 arasında daha düşüktür.

SSB 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 silindire 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, SSB kaplamalarının gündeme gelmesini sağlamıştır.

SSB kaplamaların bilinen ilk modern örneği 1970 yılında, İspanya'da, düşük hacimli trafiğe sahip olan bir yolda uygulanmıştır. Ağır taşıt trafiğini taşıyan diğer bir SSB 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 SSB inşa edilirken, Şili, Uruguay, Meksika, Kolombiya, Ekvator ve Güney Afrika gibi ülkelerde çok az veya deneme yolu olarak kullanılmıştır. Uygulanan SSB miktarı 1990 yılının sonunda toplam 12.000.000 m² yi aşmış olup SSB uygulamasının yarısı İspanya'da yapılmıştır. Otoyollarda kullanılan 1.500.000 m² SSB üzerine, yüzey düzgünlüğünü sağlamak için beton asfalt aşınma tabakası yerleştirilmiştir. Geriye kalan 10.500.000 m² SSB kaplama, ikinci sınıf yol, sanayi ve askeri alanlar gibi düşük hızlı trafiğin olduğu yerlerde kullanılmıştır.

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, SSB kaplamalar, geleneksel beton kaplamalara göre daha kısa bir sürede trafiğe açılabilir.

SSB'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, SSB'nin ekonomikliğini ve kalitesini belirlemedeki en önemli faktörlerden biri, uygun agrega kaynağının seçilmesidir. SSB 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 SSB'lerin sıkıştırılması, yuvarlak çakıldan yapılmış SSB'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.

SSB ve geleneksel betonda kullanılan agregalar arasındaki en önemli farklılıklardan biri agrega gradasyonudur. SSB'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.

Çizelge 3.6. Agrega ve 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 agrega 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 agrega gradasyon sınırları Çizelge 3.6.'de görülmektedir. [8]

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

Takviye tabakası çalışmalarında, agrega seçimindeki en önemli faktör, karışımın sıkıştırıldığı anda yüksek iç dayanıma ulaşabilme yeteneğidir. SSB, 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, SSB'nin yeterli kapasiteye sahip olacağı ileri sürülmüştür. Kırılmış kaba agrega kullanıldığında, bu sınır belirgin bir şekilde aşılmaktadır.

Çimento oranı, kuru karışım toplam ağırlığının %10 ile %17'si arasında olup m³ 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 SSB'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.

Hava sürükleyici katkı maddeleri, SSB kaplama karışımlarında sınırlı olarak kullanılmaktadır. Laboratuvar araştırmaları homojen bir şekilde hava dağılımı sağlandığında, don nedeniyle meydana gelecek zararların azaltılabileceğini göstermiştir. Kıvamlilik 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 SSB'nin karışım bileşim oranlarını saptama işlemleri aynıdır. Karışım bileşim oranlarını saptama işlemlerindeki küçük farklar, taze SSB'nin kıvamının yüksek olmasından, geleneksel gradasyon dışında gradasyon kullanılmasından ve sıkıştırma işlemlerinden kaynaklanmaktadır.

SSB'nin, geleneksel betondan farklı özellikleri şunlardır:

- 1.SSB, hava kabarcıklı beton değildir,
- 2.SSB, düşük su oranına sahiptir,
- 3.SSB, düşük çimento, uçucu kül ve su oranına sahiptir,
- 4.SSB'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 çekiç ile değişik su oranlarına sahip numuneler sıkıştırılarak hazırlanmaktadır. SSB'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 bulunmaktadır. Geliştirilmiş vibrasyon testinde taze malzeme üzerine yük konularak titreşim uygulanmaktadır. Bilindiği gibi vibrasyon metodunda kıvam ölçüsü, betonun tam olarak oturması için saniye olarak geçen titreşim süresidir. Laboratuvar çalışmaları, 22.7 kg yük altında, geliştirilmiş vibrasyon sürelerinin 30 - 40 saniye olduğunu, bununda SSB kaplama karışımlarına uygun olduğunu göstermiştir. Geleneksel vibrasyon testinde malzeme üstüne yük konulmamaktadır, SSB 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 SSB kaplamalar için hazırlanmış karışım tasarımı örneği tablo 3.5.'de verilmiştir.

SSB 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.

Çizelge 3.7. Geleneksel beton ve SSB kaplamalar için hazırlanmış karışım 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.		
SSB	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'nın yeterli olacağı açıklanmıştır. Almanya'da SSB kaplamalar için önerilen yarmada çekme dayanımı 3.0 MPa, basınç dayanımı 40 MPa olup, SSB 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 SSB 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.

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

SSB'nin kullanıldığı birçok ülkede, SSB ile yapılan kaplamaların tasarımı, geleneksel betonlar için kullanılan yöntemlerle yapılmaktadır. ABD'de, Portland Çimento Birliği ve Mühendisler Kurulunun her ikisi de SSB 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 SSB kaplamalarda düzensiz çatlaklar oluşacaktır. Fransa ve İspanya gibi ülkelerde kaplama tasarımı kataloğunda SSB de yer almaktadır.

SSB 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. SSB, tesisten uygulama alanına damperli kamyon ile taşınmaktadır. Kamyon, SSB'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 aktarıldığı kısım ile kamyon arasına silo yerleştirilmelidir. Silo yerleştirilmediğinde, kamyon gelmeyecek olursa tesis durdurulacaktır. Tesisin her bir duruşunda, üretime tekrar başlarken üretilen karışım özellikleri farklı olacaktır.

SSB karışımları, kaplama makinaları ile serilmelidir. Serici, istenilen kotta serim yapabilecek şekilde hassas cihazlarla donatılmış olmalıdır. Titreşimli master 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, SSB 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 master 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. SSB, 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 artırılabilecektir.

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

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

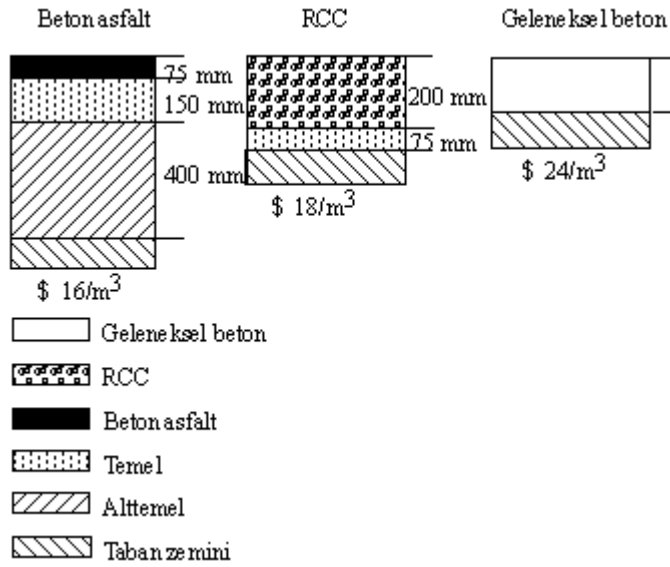
Kür işleminde, hidrasyon işlemi için gerekli nem sağlanmaktadır ve her beton türü gibi SSB kaplamanın performansı için de çok önemlidir. Hidrasyon, betonun serleşmesini ve dayanım kazanmasını sağlayan kimyasal bir reaksiyondur. Bu yüzden kür işlemi oldukça önemli bir basamaktır. Yüzeyi her zaman nemli 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 yapılabilmekte olup genellikle sulama boruları ve su püskürtme başlıkları ile yapılmaktadır. Kür işlemi, SSB'ler için geleneksel betonlara göre daha önemlidir. Yetersiz kür işlemi sonunda, zayıf aşınma tabakaları elde edilmektedir.

SSB 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.

Beton asfalt kaplama, geleneksel beton kaplama ve SSB 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.

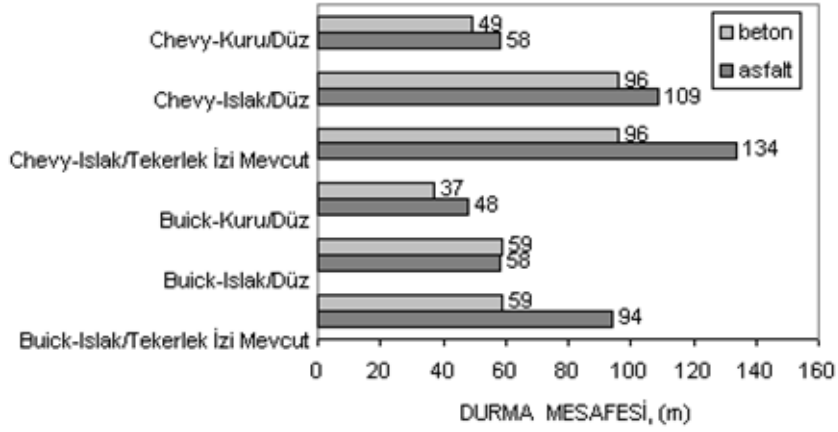


Şekil 3.5. Kaplama maliyetlerinin karşılaştırılması (Beton Yollar - Emine AĞAR)

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 3.6. Beton asfalt ve beton yollarda durma mesafeleri



Beton



Asfalt

Şekil 3.7. Asfalt ve beton kaplamalı yollarda 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 3.7.' de görüldüğü üzere, beton kaplama daha açık renklidir ve daha koyu olan beton asfalt kaplamaya göre aracın ışığını daha fazla yansıtacaktır.

Mevcut ekipmanlarla uygun yüzey düzgünlüğüne erişmek güç olduğundan, SSB kaplamaların yüksek hızlı trafik altında kullanılabilmesi için, birkaç santimetre beton asfalt ile kaplanması gerekmektedir. Ayrıca, SSB kaplamalar, hazırlanırken sahip olduğu nem değişimine ve yetersiz sıkıştırmaya, beton asfalt kaplamalardan daha hassastır.

SSB kaplamalar, beton asfalt kaplamalara göre daha çabuk trafiğe açılırlar. Ancak geleneksel betonla karşılaştırdığımızda daha kısa süre gerektirdiğini vurgulamak gerekir. SSB, 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 SSB kaplama kullanımına başlanması ile daha ekonomik ve uzun ömürlü yollar inşa edilmeye başlanabilecektir. SSB karışımının gelişmiş ülkelerde olduğu gibi hazır beton üreticilerinden alınmasıyla, kaliteli bir kaplama elde edilebilecektir.

3.1.6.5. Kendinden Yerleşebilen Betonlar

Katkı maddesiyle akışkan hale getirilmiş yüksek mukavemete sahip betonlardır. Bu betonların avantajları arasında; çok yüksek mukavemet, durabilite, şekil verilebilme kolaylığı, iş gücü azalması vb. sayılabilirken dezavantajları arasında küre karşı hassasiyet, rötre çatlaklarının çabuk oluşumu ve ilk yatırım maliyetinin yüksek olması sayılabilir. Bu betonların rijit üst yapılarda kullanılması henüz araştırılmamış bir konudur.

3.1.6.6. 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 üst 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 doymuş 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 sonucun temini için beton kesitinde yaklaşık %0.67 oranında donatı kullanılması gerektiğini göstermektedir.

Yol yapılarında olduğu kadar, hava alanları pistlerinde de sürekli betonarme üst yapıların 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'te 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:

1. 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.
2. Kullanılan malzemeler yorulmaya karşı yüksek dirence sahiptir. Bu bakımdan mekanik dayanıklılığı yüksek bir üstyapı elde edilir.
3. Sürekli betonarme plağın sahip olduğu yüksek rijitlik sayesinde taban zemininin bir kesiminden diğerine değişebilen taşıma gücü özelliklerine az duyarlıdır.
4. Derzlerin bulunmaması, bakım ve onarım maliyetlerini büyük oranda düşürür, seyir konforunu ise artırır.

5. 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:

1. 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.

2. 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:

1. Mekanik direnç ve büzülme açısından maksimum homojenlik,
2. 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.

Çizelge 3.8. 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 NPC 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.

3.1.7. Beton Kaplama Dizaynı

3.1.7.1. 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.

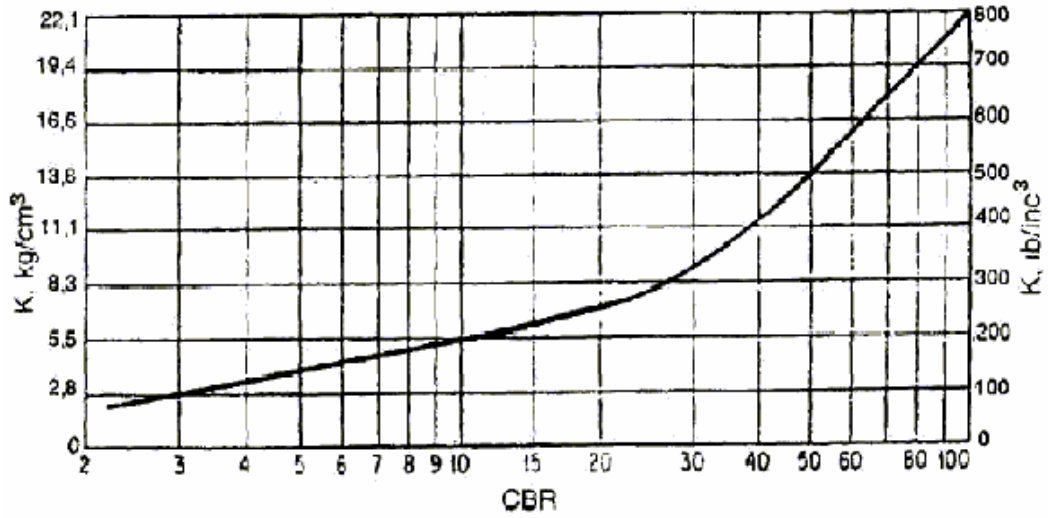
3.1.7. 2. Beton kaplamalarda oluşan gerilmeler

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;

1. Taşıt yükleri
2. Peryodik ısı değişimleri (burulma - kıvrılma, büzülme, genleşme, vb.)
3. Peryodik hacimsel değişimler (don kabarması, oturma, vb.)
4. Plak ile temel arasındaki yatay sürtünme
5. Plaklar arasındaki düşey sürtünme ve yük transferi gibi sebeplerden ötürü farklı şiddetlerde oluşmaktadır. Bu nedenle, beton kaplama kalınlıklarının dizaynı için;

1. Trafik (dingil yükü ve tekerrür sayısı)
2. Zemin taşıma gücü
3. İklim
4. 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 3.8. CBR – k ilişkisi (Beton Yollar –Emine AĞAR)

Beton kaplama dizaynında zemin mukavemeti, plaka yükleme testi ile elde edilen yatak katsayısı ile tanımlanır. Şekil 3.8.'de CBR ile k arasındaki ilişkisi görülmektedir. Kısaca 'k' değeri; bir yük altında birim alana gelen yükün, taban reaksiyonun, o noktada oluşan deformasyon (çökme) olarak ifade edilir.

$$k = P/Y \quad \text{Burada; } P: \text{ Tabana gelen yük, } Y: \text{ Çökme deformasyonu (cm)}$$

Şekil 3.10.'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.

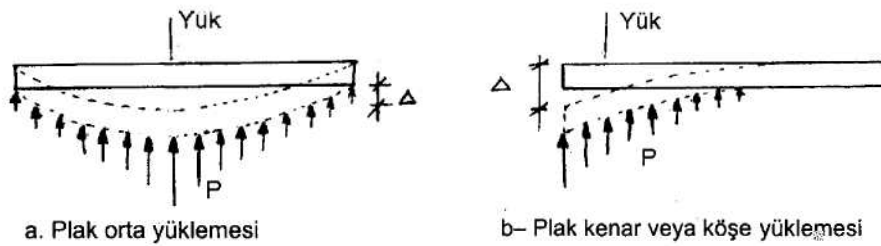
$$p = k\Delta \quad (3.1)$$

Burada:

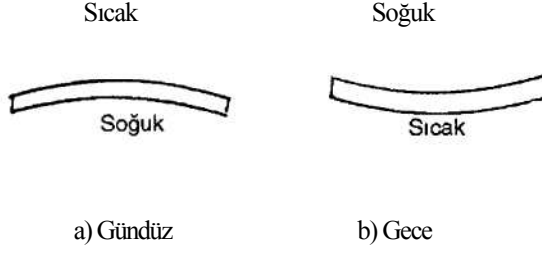
p: Zemin reaksiyon basıncı, kg/cm²

k: Zemin yatak katsayısı veya zemin reaksiyon modülü, kg/cm²/cm (veya kg/cm³)

Δ : Plakanın defleksiyonu, cm



Şekil 3.9. Beton plakta defleksiyon oluşumu



Şekil 3.10. Isı farkından ötürü beton plakta oluşan şekil değiştirme

Beton plaklar ısının etkisi ile burulmaya uğrarlar. Şekil 3.11.'de görüldüğü gibi, gece ve gündüz vakti kaplamanın alt ve üst yüzeyi farklı ısılarından dolayı plak kenarları yukarı veya aşağı doğru eğilmeye yani burulmaya (kıvrılmaya) çalışır. Bu da beton plakta 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 (ağırlığı) tarafından bu kıvrılmaya karşı konulur. Bu da beton plak içinde burulma gerilmelerini doğurur.

Beton plağın kenar ve köşelerinde oluşan bu kıvrılmalardan dolayı beton plak her noktasında zeminle tam temas edemeyeceğinden zeminin beton plağa desteği uniform olamayacaktır. Böylece teker yükünün kaplamada yarattığı eğilme-çekme gerilmesi de artmaktadır. Şekil 3.10.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 plakta basınç ve çekme gerilmeleri yaratır. Fakat beton plaklarda yapılacak genişleme derzleri ile bu gerilmeler ortadan kaldırılabılır veya en azından azaltılabilir. Bu defada derzlerin varlığı ile teker gürültüsü yaratılarak sürüş konforunu azaltılmaktadır.

Teker Yüklerinden Ötürü Oluşan Gerilmeler

Beton plak üzerine etki eden teker yükü plağın farklı bölgelerinde farklı eğilme gerilmelerini yaratmaktadır. Şekil 3.12.'te 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.

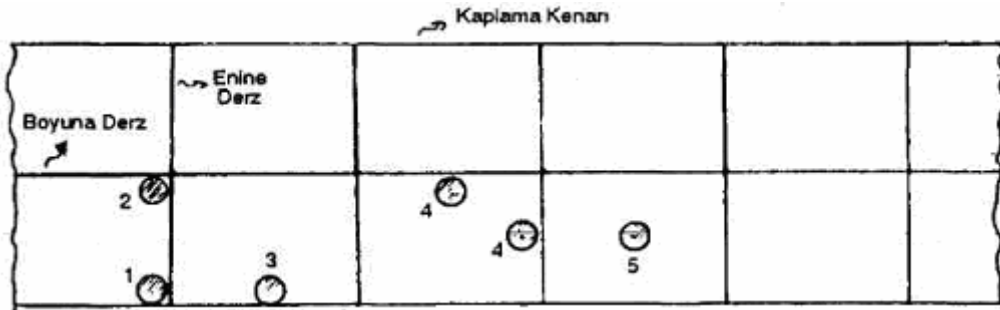
Şekil 3.12.' te 1 nolu noktadaki teker yükü beton plakda maksimum eğilme – çekme gerilmesi yaratırken aynı teker yüküne sahip 2,3,4 ve 5 nolu noktalarda giderek azalan bir etki göstermektedir. Bir beton kaplama plağı üzerine etki eden teker yükü;

1. Teker yükünün pozisyonu
2. Teker yükünün büyüklüğü
3. Teker yükünün etki alanı (temas alanı)

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

4. Zeminin rijitliğine
5. Beton eğilme rijitliğine

bağlı olarak değişir.



Şekil 3.11. 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

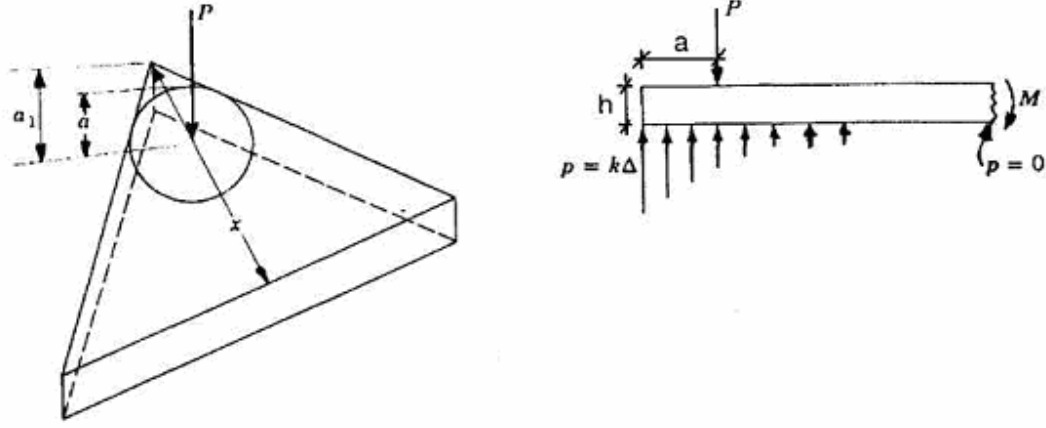
E : Beton kaplamanın elastikiyet modülü, kg/cm²

h : Beton kaplamanın kalınlığı, cm

μ : Beton kaplamanın poisson oranı (≈ 0.15)

k : Yatak katsayısı (zemin reaksiyon modülü), kg/cm³

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



Şekil 3.12. 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 ampirik 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.

1. Beton kaplama yükleme halinde sadece düşey yönde hareket etmekte ve zeminin gösterdiği reaksiyon basıncı defleksiyon (sehim) ile orantılıdır ($p = k\Delta$).
2. Zemin k değerine göre defleksiyon yapabilen sürekli bir elastik ortam olmayıp birbirinden bağımsız yan yana gelmiş yayların farklı defleksiyonu (Winkler temeli) olarak davranış gösterir.
3. Beton plak homojen ve elastik bir katıdır.
4. 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.
5. 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.

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

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

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

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

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

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 etkiğiği noktadaki radyal ve teğetsel momentler (herbirim genişlik için)

τ : Plağın her birim genişliği için kayma gerilmesi

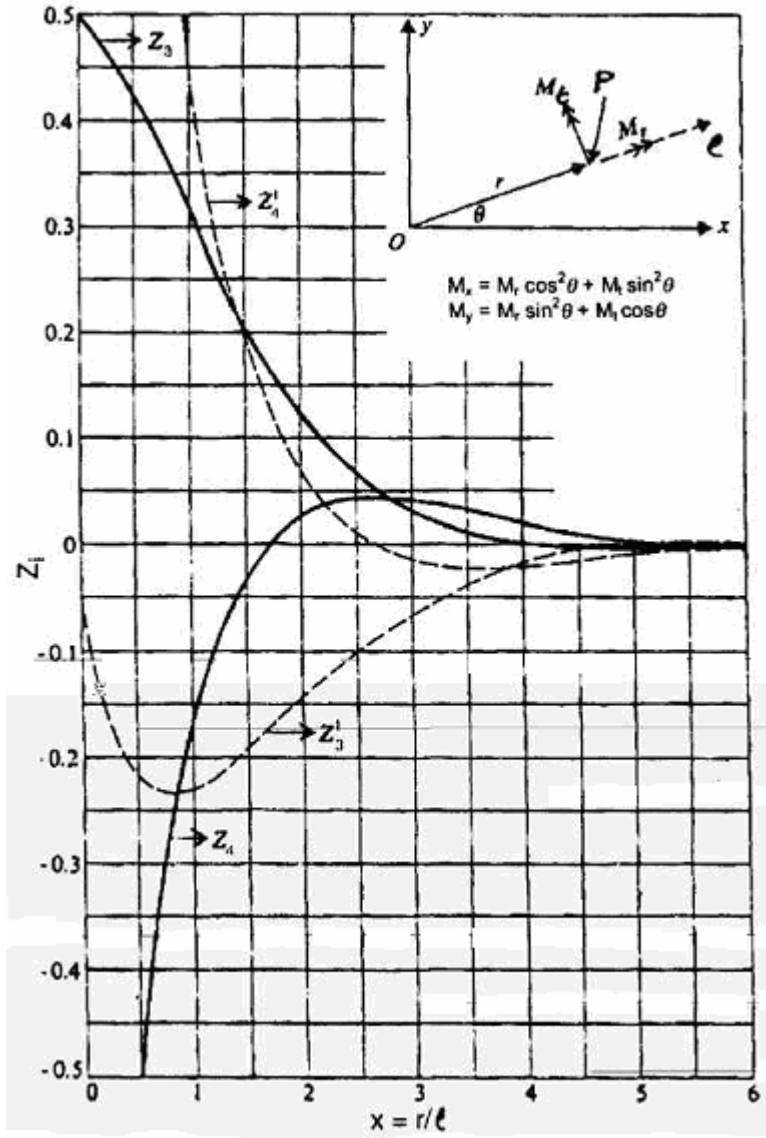
x : r/l

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

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

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

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

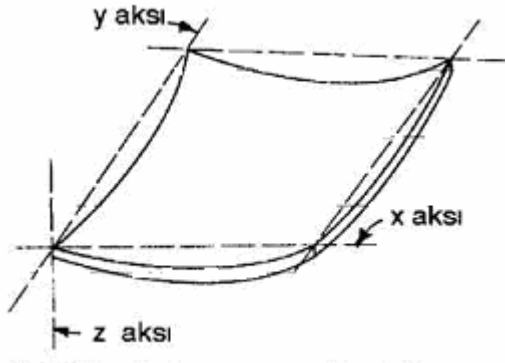


Şekil 3.13. Z_i faktörleri (Hetenyi)

Westergaard analizine göre teker yükünün üniform dairesel yayılı yük olarak kaplamaya etki etkidiği 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.

Burulmadan ötürü oluşan gerilmeler



Şekil 3.14. Isıdan dolayı beton plakda oluşan burulma

Eğer beton plak Şekil 3.10.'da görüldüğü gibi, alt ve üst yüzeyi farklı ısılara maruz kalması halinde kıvrılmaya (yani burulmaya) zorlanacaktır. Beton plağın kendi ağırlığı ile bu kıvrılmaya karşı direnç göstermesi iç gerilmelerin doğmasına neden olmaktadır.

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 genleşme 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.

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

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

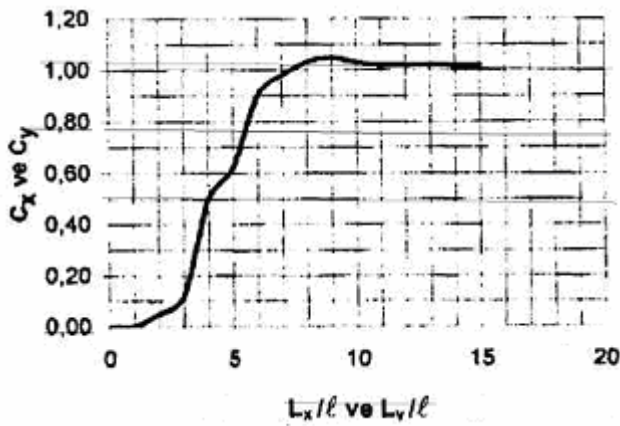
$$\sigma_y = \frac{E \varepsilon_t \Delta_t}{2} \left(\frac{C_x + \mu C_x}{1 - \mu^2} \right) \quad (3.25)$$

Burada;

C_x : Beton plağın uzunluğu yönündeki katsayı

C_y : Beton plağın genişliği yönündeki katsayı

L_x ve L_y : Beton plağın serbest uzunluğu ve genişliği



Şekil 3.15. Burulma gerilmeleri katsayıları

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 aşağıdaki formüllere 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'daki 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

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

Genel olarak beton kaplamalarda oluşan gerilmeler;

1. Teker yükü ve lastik basıncı
2. Tekerlerin ara mesafesi
3. Teker yükünün plaktaki yükleme yeri (köşe, kenar veya orta)

4. Zeminin reaksiyonu (yatak katsayısı)
5. Çevresel etkilerden (ısı, rutubet) ötürü beton plakda burulma
6. 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;

1. Beton plakaya etki eden yükün büyüklüğüne
2. Zeminin yatak katsayısına (veya zemin reaksiyon modülü)
3. Beton plakanın burulma halinde yüklenme şartlarına bağlı olarak oluşan gerilmelerin bileşkesi göz önüne alınmalıdır. Zira kritik gerilmeler;
 1. Beton plak yukarı doğru kıvrık iken köşe yüklemesinde
 2. 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 arasına granüler temel tabakası yapılmaktadır. Temel tabakasının kalınlığı arttıkça yatak katsayısıda artmaktadır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Maliyet Analizi

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

3.2.1.1. Trafik

Bu çalışmada 6 ayrı trafik grubu değerlendirilmiştir. Trafikğin değerlendirilmesi, standart dingil yükünün tekerrür sayısı (T_{82}) olarak yapılmıştır. Tablo 4.3.'den de görüleceği gibi bu 6 grup, hafif ve ağır taşıt trafiğini temsil etmektedir. Ağır taşıt trafiğini temsilen ise; yani YOGATT'nin 500'den büyük olduğu 0.5×10^6 , 1×10^6 , 1.5×10^6 , 2×10^6 , 2.5×10^6 , 3×10^6 ve 3×10^6 standart dingil yükü tekerrürleri alınmıştır.

3.2.1.2. Taban Zemininin Taşıma Gücü (CBR)

3 farklı taban zemini düşünülmüş, buna göre taban zemini taşıma gücü olarak kötü CBR%3, orta CBR%10, iyi CBR%20 ve çok iyi CBR%30 değerleri alınmıştır. Burada da amaç yine iyi ve kötü zemin durumlarında avantajlı olan üstyapı tipini ortaya çıkarmaktır. Taban zeminin değeri CBR= %5 için taban yatak katsayısı $k = 4.15 \text{ kg/cm}^3$, CBR= %10 için $k = 5.54 \text{ kg/cm}^3$, CBR= %20 için $k = 6.95 \text{ kg/cm}^3$ ve CBR= %20 için $k = 9.52$ olarak tablodan seçilmiştir.

'k' değeri; bir yük altında birim alana gelen yükün, taban reaksiyonun, o noktada oluşan deformasyon (çökme) olarak ifade edilir.

$$k = P/Y \text{ Burada; P: Tabana gelen yük, Y: Çökme deformasyonu (cm)}$$

3.2.1.3. Bölge Faktörü (R)

Farklı çevre ve iklim koşullarında değerlendirme yapılması için düşünülmüş, AASHTO yol deneyinden geliştirilmiş formüle konulan katsayıdır. Bölge faktörünü doğrudan doğruya tayin etmek için bir metot yoktur.

Bu çalışmada $R=1$ alınmıştır. Özel durumlar (aşırı yağışa maruz yerler yada çok sık don olan bölgeler) olmadığı sürece, genelde bölge faktörü $R=1$ alınmaktadır.

3.2.1.4. Son Servis Kabiliyeti (P_t)

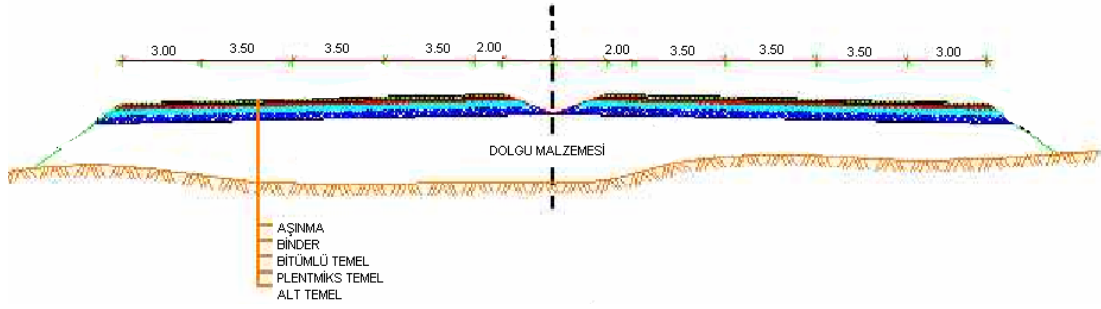
Yolun önemini (otoyol, devlet yolu ve il yolu gibi) ifade etmek için kullanılır. Karayolları mühendisliği konularında uzun süreli deneyimi olan seçme uzmanlardan oluşan bir kurulun, karayolundan yararlanan kimseler sıfatı ile yola verdikleri bireysel değerlendirmelerin ortalamasıdır. Servis kabiliyeti derecesi (0) ile (5) arasında değişen bir ölçek tespit edilmiştir. Burada (5) değeri en yüksek, (0) değeri ise en düşük servis kabiliyeti derecesini gösterir. Bu çalışmada son servis kabiliyeti olan $P_t=2$ alınmıştır.

Beton özellikleri:

Bu çalışmada 10 km. lik 6 tane beton yol keşif özeti hazırlanmıştır. Bu keşif özetleri hazırlanırken betonun tabaka kalınlıkları, plentmiks temel kalınlıkları, trafik yoğunlukları ve zemin taşıma gücü değerleri gibi parametreler değişirken; yolun platform genişliği, beton sınıfı, beton dozajı ve P_t değerleri sabit tutulmuştur. Çalışmanın amacı maliyet yönünden karşılaştırma olduğundan bazı parametreler sabit bazıları değişken tutulmuştur. Bu şekilde hem daha rahat grafize edilebilir ve hem de aradaki fark daha rahat görülebilir.

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

Yolun platform genişliği 29 metre alınmıştır. Araç trafiği 22m ve banketler toplamı da 7m alınmıştır.



Şekil 3.16. Sıcak karışım asfalt kaplamalı yolun en kesiti

3.2.1.5. Değişik Kaplama Türlerinin 10 km.lik Yol Keşif özetleri

Çizelge 3.9. Beton kaplamalı 10 km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı=15cm, plentmiks temel= 25cm, Yol Platform Genişliği=29m, Beton dozajı 400)

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
1	Plentmiks temel yapılması (Astarsız) ($T_{8,2} = 0.5 \times 10^6$ CBR= %5 Pt=2)	72 500	m ³	20	1 450 000
2	Beton yapımı+işçilik+kür	43 500	m ³	118	5 133 000
3	Kalın demir zati bedeli +demir işçiliği	82	ton	1200	98 400
4	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M=6 km	72 500	m ³	1.5	108 750
5	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	72 500	m ³	3.8	275 500
6	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi M=25 km	72 500	m ³	7	507 500
7	Temel için su nakli M=13 km	2600	ton	2.5	65 000
8	Demirin yükleme, boşaltma ve nakli M=90 km	66	ton	25	1650
TOPLAM					7 639 800

Çize 3.10. Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı=18cm, plentmiks temel= 25cm, beton dozajı=400)

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
1	Plentmiks temel yapılması (Astarsız) ($T_{8,2}=1 \times 10^6$ CBR= %10 Pt=2 C30 betonu	72 500	m ³	20	1 450 000
2	Beton yapımı+işçilik+kür	52 200	m ³	118	6 159 600
3	Kalın demir zati bedeli +demir işçiliği	82	ton	1200	98 400
4	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M=3 km	72 500	m ³	0.95	68 875
5	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	72 500	m ³	3.8	275 500
6	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi M=25 km	72 500	m ³	4.5	326 250
7	Temel için su nakli M=13 km	2600	ton	2.5	65 000
8	Demirin yükleme, boşaltma ve nakli M=90 km	66	ton	25	1650
TOPLAM					8 445 275

Çize 3.11. Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı=20cm, plentmiks temel= 25 cm, beton dozajı 400)

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
1	Plentmiks temel yapılması (Astarsız) ($T_{8,2}=1.5 \times 10^6$ CBR= %15, Pt=2)	72 500	m ³	20	1 450 000
2	Beton yapımı+işçilik+kür	58 000	m ³	118	6 844 000
3	Kalın demir zati bedeli +demir işçiliği	82	ton	1200	98 400
4	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M=5 km	72 500	m ³	1.4	101 500
5	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	72 500	m ³	3.8	275 500
6	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi M=25 Km	72 500	m ³	4.5	326 250
7	Temel için su nakli M=13 km	2600	ton	2.5	65 000
8	Demirin yükleme, boşaltma ve nakli M=90 km	66	ton	25	1650
TOPLAM					9 162 300

Çize 3.12. Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı=25cm, plentmiks temel= 25 cm, beton dozajı 400)

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
1	Plentmiks temel yapılması (Astarsız) ($T_{8.2} = 2 \times 10^6$ CBR= %20 Pt=2)	72 500	m ³	20	1 450 000
2	Beton yapımı+işçilik+kür	72 500	m ³	118	8 555 000
3	Kalın demir zati bedeli +demir işçiliği	82	ton	1200	98 400
4	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M=6 km	72 500	m ³	1.5	108 750
5	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	72 500	m ³	3.8	275 500
6	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi M=25 Km	72 500	m ³	4.5	326 250
7	Temel için su nakli M=13 km	2600	ton	2.5	65 000
8	Demirin yükleme, boşaltma ve nakli M=90 km	66	ton	25	1650
TOPLAM					10 880 550

Çizelge 3.13. Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı=27cm, plentmiks temel = 25 cm.beton dozajı 400)

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
1	Plentmiks temel yapılması (Astarsız) ($T_{8.2} = 2.5 \times 10^6$ CBR= %25 Pt=2)	72 500	m ³	20	1 450 000
2	Beton yapımı+işçilik+kür	78 300	m ³	118	9 239 400
3	Kalın demir zati bedeli +demir işçiliği	82	ton	1200	98 400
4	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M=3 km	72 500	m ³	0.95	68 875
5	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	72 500	m ³	3.8	275 500
6	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi M=25 km	72 500	m ³	4.5	326 250
7	Temel için su nakli M=13 km	2600	ton	2.5	65 000
8	Demirin yükleme, boşaltma ve nakli M=90 km	66	ton	25	1650
TOPLAM					11 525 075

Çize 3.14. Beton kaplamalı 10 km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı=30 cm, plentmiks temel= 25 cm, beton dozajı 400)

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
1	Plentmiks temel yapılması (Astarsız) ($T_{8,2} = 3 \times 10^6$ CBR= %30 Pt=2	72 500	m ³	20	1 450 000
2	Beton yapımı+işçilik+kür	87 000	m ³	118	10 266 000
3	Kalın demir zati bedeli +demir işçiliği	82	ton	1200	98 400
4	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M=4 km	72 500	m ³	1.2	87 000
5	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M=17 km	72 500	m ³	4	290 000
6	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi M=25 km	72 500	m ³	4.5	326 250
7	Temel için su nakli M=13 km	2600	ton	2.5	65 000
8	Demirin yükleme, boşaltma ve nakli M=90 km	66	ton	25	1650
TOPLAM					12 584 300

Çize 3.15. Tek kat sathi kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
	$T_{8.2} = 0.5 \times 10^6$ R=1 CBR= %5 Pt=2				
	Plentmiks Temel=10 cm Alttemel=15 cm				
1	Alttemel yapılması	43 500	m ³	16	696 000
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	29 000	m ³	20	580 000
3	Bir tabaka astarlı sathi kaplama yapılması	290	da	1 350	391 500
4	Astarın (MC30) zati bedeli	450	ton	900	405 000
5	Bitümün zati bedeli (AC 150/200)	380	ton	650	247 000
6	Bitümün ısıtılması	380	ton	20	76 000
7	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 3 km	29 000	m ³	0.85	24 650
8	Alttemel Nakli M=55 km	43 500	m ³	6	261 000
9	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M=10 km	29 000	m ³	2	58 000
10	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi M=25 km.	29 000	m ³	4	116 000
11	Mıdır nakli M=40 km	8700		4.2	36 540
12	Bitüm nakli M= 150 km	830	Ton	25	20 750
13	Alttemel için su nakli M=35 km	15 000	Ton	6	90 000
14	Temel için su nakli M=35 km	12 000	Ton	6	72 000
TOPLAM					3 074 440

Çize 3.16. Tek kat sathi kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
	$T_{8.2} = 1 \times 10^6$ R=1 CBR= %10 Pt=2				
	Plentmiks Temel=15 cm Alttemel=15cm				
1	Alttemel yapılması	43 500	m ³	16	696 000
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	43 500	m ³	20	870 000
3	Bir tabaka astarlı sathi kaplama yapılması	290	da	1 350	391 500
4	Astarın(MC30) zati bedeli	450	ton	900	405 000
5	Bitümün zati bedeli (AC 150/200 İşyeri)	380	ton	650	247 000
6	Bitümün ısıtılması	380	ton	20	7 600
7	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 3 km	43 500	m ³	0.85	36 975
8	Alttemel Nakli M=55 km	43 400	m ³	6	261 000
9	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M=10 Km	43 500	m ³	2	87 000
10	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi M=30 km.	43 500	m ³	4	174 000
11	Mıcır nakli M=40 km	8 700		4.2	36 540
12	Bitüm nakli M= 150 km	380	ton	25	9 500
13	Alttemel için su nakli M=35 km	15 000	ton	6	90 000
14	Temel için su nakli M=35 km	15 000	ton	6	90 000
TOPLAM					3 402 115

Çize 3.17. Tek kat sathi kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
	$T_{8,2}=1.5 \times 10^6$ R=1 CBR= %15 Pt=2				
	Plentmiks Temel=20 cm Alttemel=20cm				
1	Alttemel yapılması	58 000	m ³	16	928 000
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	58 000	m ³	20	870 000
3	Bir tabaka astarlı sathi kaplama yapılması	290	da	1 350	391 500
4	Astarın (MC30) zati bedeli	450	ton	900	405 000
5	Bitümün zati bedeli (AC 150/200 İşyeri)	380	ton	650	247 000
6	Bitümün ısıtılması	740	ton	20	1 480
7	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 3 km	116 000	m ³	0.85	98 600
8	Alttemel Nakli M=55 km	72 500	m ³	6	435 000
9	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M=10 km	43 500	m ³	2	87 000
10	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi M=30 km.	43 500	m ³	4	174 000
11	Mıdır nakli M=40 km	87 000		4.2	365 400
12	Bitüm nakli M= 150 km	740	ton	25	18 500
13	Alttemel için su nakli M=35 km	20 000	ton	6	120 000
14	Temel için su nakli M=35 km	20 000	ton	6	120 000
TOPLAM					4 261 480

Çize 3.18. Tek kat sathi kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
	$T_{8,2}=2 \times 10^6 R=1$ CBR= %20 Pt=2				
	Plentmiks Temel=20 cm alttemel=22cm				
1	Alttemel yapılması	63 800	m ³	16	1 020 800
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	58 000	m ³	20	1 116 000
3	Bir tabaka astarlı sathi kaplama yapılması	290	da	1 350	391 500
4	Astarın (MC30) zati bedeli	450	ton	900	405 000
5	Bitümün zati bedeli (AC 150/200 İşyeri)	380	ton	650	247 000
6	Bitümün ısıtılması	740	ton	20	1 480
7	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 3 km	121 800	m ³	0.85	103 530
8	Alttemel Nakli M=55 km	63 800	m ³	6	382 800
9	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M=10 km	58 000	m ³	2	116 000
10	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi M=30 km	58 000	m ³	4	132 000
11	Mıdır nakli M=40km	87 000		4.2	365 400
12	Bitüm nakli M= 150 km	740	ton	25	18 500
13	Alttemel için su nakli M=35 km	22 000	ton	6	132 000
14	Temel için su nakli M=35 km	20 000	ton	6	120 000
TOPLAM					4 552 010

Çize 3.19. Tek kat sathi kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
	$T_{8,2}=2.5 \times 10^6 R=1$ CBR= %25 Pt=2				
	Plentmiks Temel=22 cm Alttemel=24cm				
1	Alttemel yapılması	69 600	m ³	16	1 113 600
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	63 800	m ³	20	1 276 000
3	Bir tabaka astarlı sathi kaplama yapılması	290	da	1 350	391 500
4	Astarın (MC30) zati bedeli	450	ton	900	405 000
5	Bitümün zati bedeli (AC 150/200 İşyeri)	380	ton	650	247 000
6	Bitümün ısıtılması	830	ton	20	16 600
7	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 3 km	121 800	m ³	0.85	103 530
8	Alttemel Nakli M=55 km	69 600	m ³	6	417 600
9	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M=10 km	63 800	m ³	2	127 600
10	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi M=30 km	63 800	m ³	4	255 200
11	Mıcır nakli M=40 km	87 000		4.2	365 400
12	Bitüm nakli M= 150 km	830	ton	25	20 750
13	Alttemel için su nakli M=35 km	24 000	ton	6	144 000
14	Temel için su nakli M=35 km	22 000	ton	6	132 000
TOPLAM					5 015 780

Çize 3.20. Tek kat sathi kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
	$T_{8,2}=3 \times 10^6$ R=1 CBR= %30 Pt=2				
	Plentmiks Temel=24 cm Alttemel=25cm				
1	Alttemel yapılması	72 500	m ³	16	1 160 000
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	69 600	m ³	20	1 392 000
3	Bir tabaka astarlı sathi kaplama yapılması	290	da	1 350	391 500
4	Astarın (MC30) zati bedeli	460	ton	900	414 000
5	Bitümün zati bedeli (AC 150/200)	380	ton	650	247 000
6	Bitümün ısıtılması	840	ton	20	16 800
7	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 3 km	142 100	m ³	0.85	120 785
8	Alttemel Nakli M=55 km	72 500	m ³	6	435 000
9	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M=10 km	69 600	m ³	2	139 200
10	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi M=30 km.	69 600	m ³	4	278 400
11	Mıdır nakli M=40 km	87 000		4.2	365 400
12	Bitüm nakli M= 150 km	840	ton	25	21 000
13	Alttemel için su nakli M=35 km	25 000	ton	6	150 000
14	Temel için su nakli M=35 km	24 000	ton	6	144 000
TOPLAM					5 275 085

Çizelge 3.21. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
	$T_{8.2}=0.5 \times 10^6$ R=1 CBR= %5 Pt=2	Aşınma =5 cm binder =5cm plentmiks temel=10 cm alttemel=15 cm			
1	Alttemel yapılması	43 500	m ³	16	696 000
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	29 000	m ³	20	580 000
3	Binder Yapılması	14 500	ton	8.5	123 250
4	Aşınma Yapılması	14 500	ton	9	130 500
5	Bitümün zati bedeli (AC 50/70)	1160	ton	630	730 800
6	MC-30 Yapıştırıcı zati bedeli	870	ton	900	783 000
7	Bitümün ısıtılması	1160	ton	15	17 400
8	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 3 km	94 540	ton	0.85	80 359
9	Alttemel Nakli M=30 km	43 500	m ³	4	174 000
10	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi M=30 km	41 609	m ³	4	166 430
11	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	41 609	ton	2	83 215
12	Bitümün nakli (AC 50/70) M=150	1160	ton	25	161 825
13	Alttemel için su nakli M=35 km	15 000	ton	6	90 000
14	Temel için su nakli M=35 km	12 000	ton	6	72 000
TOPLAM					3 888 779

Çizelge 3.22. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
	$T_{8.2} = 1 \times 10^6$ R=1 CBR= %10 Pt=2	Aşınma =5 cm Binder =7cm Plentmiks Temel=15cm Alttemel=15 cm			
1	Alttemel yapılması	43 500	m ³	16	696 000
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	43 500	m ³	20	870 000
3	Binder Yapılması	46 690	Ton	8.5	396 865
4	Aşınma Yapılması	33 350	Ton	9	300 150
5	Bitümün zati bedeli (AC 50/70İşyeri)	3202	Ton	630	2 017 260
6	MC-30 Yapıştırıcı zati bedeli	870	Ton	900	783 000
7	Bitümün ısıtılması	3202	Ton	15	48 030
8	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 7 km	176 888	Ton	1.6	283 020
9	Alttemel Nakli M=30 km	43 500	m ³	4	174 000
10	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi M=30 km	78 300	m ³	4	313 200
11	Plentmiks temel binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	78 300	Ton	2	156 600
12	Bitümün nakli (AC 50/70) M=150 km	3202	Ton	25	80 050
13	Alttemel için su nakli M=15 km	15 000	Ton	6	90 000
14	Temel için su nakli M=15 km	15 000	Ton	6	90 000
TOPLAM					6 298 175

Çizelge 3.23. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
	$T_{8,2}=1.5 \times 10^6$ R=1 CBR= %15 Pt=2	Aşınma = 5cm binder = 6cm bitümlü temel= 8 cm plentmiks temel=15 cm alttemel=20 cm			
1	Alttemel yapılması	58 000	M ³	16	928 000
2	Plentmiks temel yapılması (astarsız)	43 500	M ³	20	870 000
3	Bitümlü temel yapılması	53 360	ton	8	426 880
4	Binder yapılması	40 020	ton	8.5	340 170
5	Aşınma yapılması	33 350	ton	9	300 150
6	Bitümün zati bedeli (AC 50/70)	5069	ton	630	3 193 470
7	MC-30 yapıştırıcı zati bedeli	870	ton	900	783 000
8	Bitümün ısıtılması	5069	ton	15	76 035
9	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 3 km	221 711	ton	0.85	188 454
10	Alttemel nakli M=30 km	58 000	M ³	4	232 000
11	Plentmiks temel, bitümlü temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi M=30 km	96 396	M ³	4	385 584
12	Plentmiks temel, bitümlü temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	96 396	M ³	2	192 792
13	Bitümün nakli (AC 50/70) M=150	5069	ton	25	126 725
14	Alttemel için su nakli M=15 km	20 000	ton	6	120 000
15	Temel için su nakli M=15 km	15 000	ton	6	90 000
TOPLAM					8 253 260

Çizelge 3.24. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
		Aşınma =5 cm Binder =8cm Bitümlü temel=10cm T _{8,2} =2x10 ⁶ R=1 CBR= %20 Pt=2 plentmiks temel=20 cm alttemel=20 cm			
1	Alttemel yapılması	58 000	m ³	16	928 000
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	58 000	m ³	20	1 160 000
3	Bitümlü Temel Yapılması	66 700	ton	8	533 600
4	Binder Yapılması	53 360	ton	8.5	453 560
5	Aşınma Yapılması	33 350	ton	9	300 150
6	Bitümün zati bedeli (AC 50/70)	6136	ton	630	3 865 680
7	MC-30 Yapıştırıcı zati bedeli	870	ton	900	783 000
8	Bitümün ısıtılması	6136	ton	15	92 040
9	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 3 km	208 510	ton	0.85	177 233
10	Alttemel Nakli M=20 km	58 000	m ³	3	174 000
11	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi M=25 km	211 410	m ³	4	845 640
12	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	211 410	ton	2	422 820
13	Bitümün nakli (AC 50/70) M=150 km	6136	ton	25	153 400
14	Alttemel için su nakli M=35 km	20 000	ton	6	120 000
15	Temel için su nakli M=15 km	20 000	ton	6	120 000
TOPLAM					10 129 123

Çizelge 3.25. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
	$T_{8.2} = 2.5 \times 10^6$ R=1 CBR= %25 Pt=2	Aşınma =5 cm Binder =10cm Bitümlü Temel=12 cm Plentmiks Temel=22 cm Alttemel=22 cm			
1	Alttemel yapılması	63 800	m ³	16	1 020 800
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	63 800	m ³	20	1 276 000
3	Bitümlü Temel Yapılması	80 040	ton	8	640 320
4	Binder Yapılması	66 700	ton	8.5	566 950
5	Aşınma Yapılması	33 350	ton	9	300 150
6	Bitümün zati bedeli (AC 50/70)	7204	ton	630	4 538 520
7	MC-30 Yapıştırıcı zati bedeli	870	ton	900	783 000
8	Bitümün ısıtılması	7204	ton	15	108 060
9	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 3 km	172 886	m ³	0.85	146 953
10	Alttemel Nakli M=30 km	63 800	m ³	4	255 200
11	Plentmiks temel, bitümlü temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi M=30 km	142 100	m ³	4	568 400
12	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	142 100	m ³	2	284 200
13	Bitümün nakli (AC 50/70) M=150 km	7204	ton	25	180 100
14	Alttemel için su nakli M=35 km	22 000	ton	6	132 000
15	Temel için su nakli M=15 km	22 000	ton	6	132 000
TOPLAM					10 932 650

Çizelge 3.26. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
	$T_{8.2} = 3 \times 10^6$ R=1 CBR= %30 Pt=2	Aşınma=6 cm binder =10cm bitümlü temel=15cm plentmiks temel=25 cm alttemel=25 cm			
1	Alttemel yapılması	72 500	m ³	16	1 160 000
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	72 500	m ³	20	1 450 000
3	Bitümlü Temel Yapılması	100 050	ton	8	800 400
4	Binder Yapılması	66 700	ton	8.5	453 560
5	Aşınma Yapılması	40 020	ton	9	360 180
6	Bitümün zati bedeli (AC 50/70)	8 271	ton	630	5 210 730
7	MC 30 Yapıştırıcı zati bedeli	870	ton	900	783 000
8	Bitümün ısıtılması	9 141	ton	15	137 115
9	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 3 km	231 304	m ³	0.85	196 608
10	Alttemel Nakli M=30 km	72 500	m ³	4	290 000
11	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi M=30 km	158 804	m ³	4	635 216
12	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın konkasör- plent arası nakliyesi M=15 km	141 752	m ³	2	317 608
13	Bitümün nakli M=150 km	9 141	ton	25	228 525
14	Alttemel için su nakli M=35 km	25 000	ton	6	150 000
15	Temel için su nakli M=15 km	25 000	ton	3	150 000
TOPLAM					12 322 942

Çizelge 3.27. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
	$T_{8,2} = 6 \times 10^6$ R=1 CBR= %30 Pt=2	Aşınma =6 cm binder =15cm bitümlü temel=20cm plentmiks temel=25 cm alttemel=25 cm			
1	Alttemel yapılması	72 500	m ³	16	1 160 000
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	58 000	m ³	20	1 160 000
3	Bitümlü Temel Yapılması	133 400	Ton	8	1 067 200
4	Binder Yapılması	100 050	Ton	8.5	850 425
5	Aşınma Yapılması	40 020	Ton	9	360 180
6	Bitümün zati bedeli (AC 50/70)	10 938,8	Ton	630	6 891 444
7	MC-30 Yapıştırıcı zati bedeli	870	Ton	900	783 000
8	Bitümün ısıtılması	10 938,8	Ton	15	164 082
9	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 3 km	259 144	m ³	0.85	220 272
10	Alttemel Nakli M=30 km	72 500	m ³	4	290 000
11	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi M=30 km	186 644	m ³	4	746 576
12	Plentmiks temel, Bitümlü temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	141 752	m ³	2	373 288
13	Bitümün nakli M=150	10 938,8	Ton	25	273 470
14	Alttemel için su nakli M=35 km	25 000	Ton	6	150 000
15	Temel için su nakli M=35 km	20 000	Ton	6	120 000
TOPLAM					14 609 937

4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Giriş bölümünde belirtildiği gibi, bu çalışmada asfalt kaplamalı üstyapılarla beton kaplamalı üstyapıların maliyet yönünden karşılaştırılması incelenmiştir.

Bu amaçla, 10 km.'lik 19 ayrı keşif özetleri (çizelge 3.9 – çizelge 3.27) hazırlanmış olup bu keşif özetlerinde; beton kaplamalı,sathi kaplamalı ve sıcak asfalt kaplamalı üstyapıların değişik trafik yoğunluklarında ($T_{8.2} = 0,5 \times 10^6 - 6 \times 10^6$) ilk yapım maliyetleri incelenmiştir.

Hazırlanmış bu keşif özetleri doğrultusunda, ilk yapım maliyetleri yönünden üstyapı tiplerinin (Satki kaplama , sıcak karışım asfalt kaplama ve beton kaplama) maliyet karşılaştırılması(çizelge 4.1-şekil 4.1) yapılmıştır.Yapım maliyetleri karşılaştırılması yapılırken üstyapı tiplerinin tabaka kalınlıkları artarken buna bağlı olarak maliyetlerinin artış miktarlarında incelenmiştir (çizelge 4.2 – şekil 4.2).

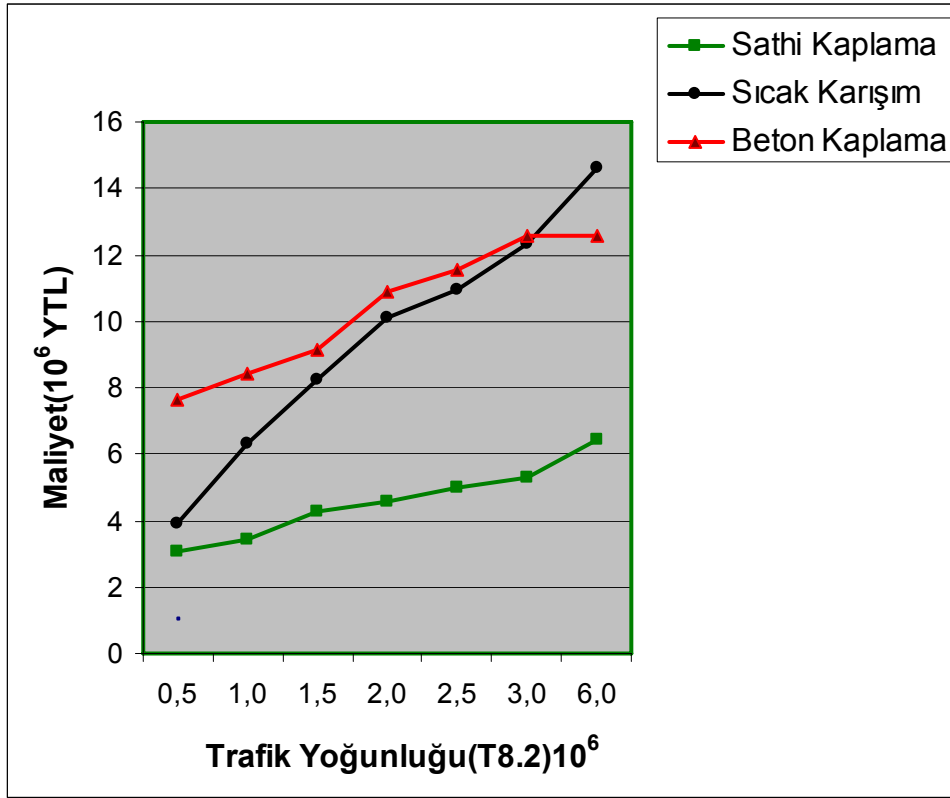
Beton kaplamalı üstyapılar ve asfalt kaplamalı üstyapıların ilk yapım maliyetleri hesaplanırken, uzun vadede hangi kaplama türünün daha cazip olduğunu görmek amacıyla bakım masraflarının yıllara göre değişimi(çizelge 4.3- şekil 4.3) incelenmiştir.

Hazırlanan bu keşif özetleri ve grafikler ışığında sonuçlar bölümü hazırlanmış olup gerekli öneriler yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Kaplama türlerinin ilk yapım maliyetleri

Trafik Yoğunluğu($T_{8.2}$)	Sathi Kaplama (1000 YTL)	Sıcak Karışım Kaplama (1000 YTL)	Beton Kaplama (1000 YTL)
500 000	3 074	3 889	7 640
1 000 000	3 402	6 298	8 445
1 500 000	4 261	8 253	9 162
2 000 000	4 552	10 129	10 880
2 500 000	5 016	10 933	11 525
3 000 000	5 275	12 323	12 584
6 000 000	6 450	14 610	12 584

Şekil 4.1. Kaplama türlerinin ilk yapım maliyetlerinin karşılaştırılması

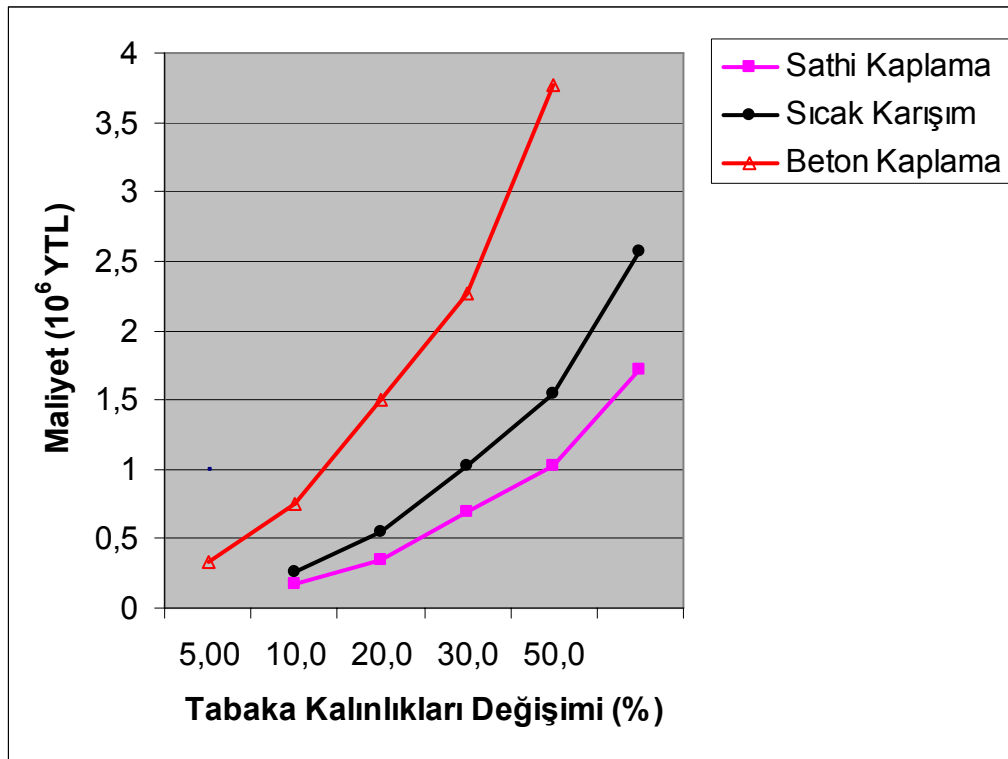


Şekil 4.1'de görüldüğü gibi ;

1. Yapım maliyeti düşük trafik yoğunluklarında ($T8.2 = 0.5 \times 10^6$ - $T8.2 = 0.5 \times 10^6$) en fazla olan beton kaplamalı yoldur. En ucuz olan da sathi kaplamalı yol çeşididir.
2. Trafik yoğunluğu arttıkça tüm kaplamalarda yapım maliyetleri doğru orantıda artıyor.
3. Sıcak karışım asfalt kaplamada ilk yapımda beton kaplamadan daha ucuz olmasına rağmen trafik yoğunluğu arttıkça aradaki bu fark kapanmakta ve $T8.2 = 4.5 \times 10^6$ dan sonra da sıcak karışım asfalt kaplama daha pahalı olmaktadır.

Çizelge 4.2. Kaplama kalınlıklarının yüzde değişimi ve buna bağlı değişen maliyet

Kaplama Kalınlıkları Değişimi (%)	Sathi Kaplama Maliyeti (YTL)	Sıcak Karışım Kaplama Maliyeti (YTL)	Beton Kaplama Maliyeti (YTL)
5	171 545	257 757	376 987
10	343 090	515 514	753 974
20	686 180	1 031 028	1 507 948
30	1 029 270	1 546 542	2 261 922
50	1 715 450	2 577 570	3 769 870

Şekil 4.2. Kaplama kalınlıklarının yüzde değişimi ve buna bağlı değişen maliyet 3×10^6 

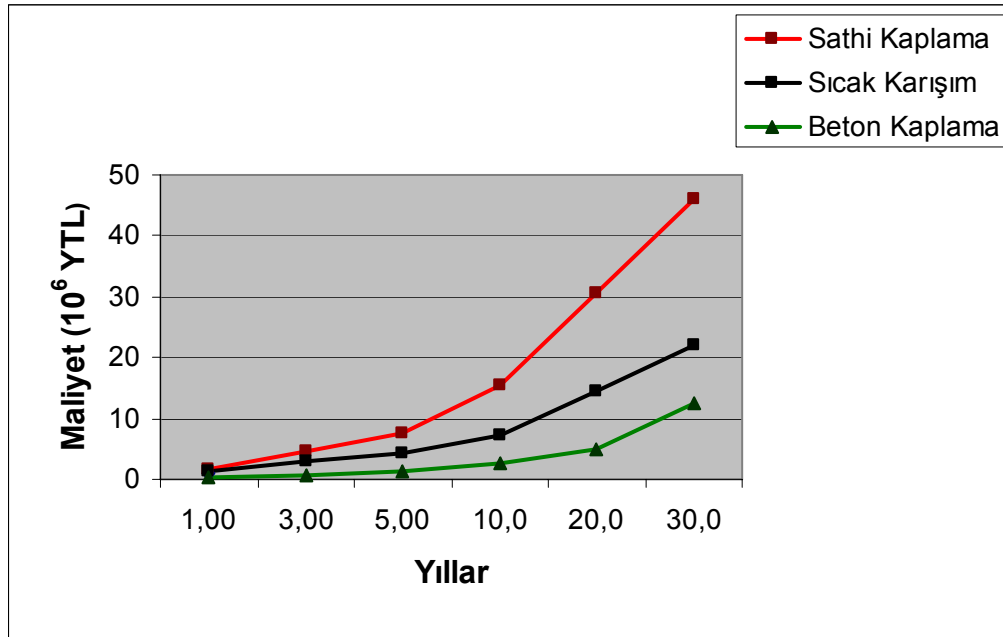
Kaplama kalınlıkları hesaplanırken, beton kaplama için kalınlık 33 cm (25 cm pmt ve 18 cm beton). Sıcak karışım asfalt için kalınlık 27 cm (pmt 15, binder 7 cm, aşınma 6 cm). Sathi kaplama için kalınlık 26 cm (pmt 22 cm, mıcır 4 cm) alınmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken alttemel kalınlığı hesaba katılmamıştır. Buna göre;

1. Kaplama kalınlıkları arttıkça kaplama cinslerinin hepsinde de maliyetler doğru orantıda artmaktadır.
2. Sathi kaplama maliyetinin ucuz olmasının nedeni, kaplama kalınlığının en az olması ve sıcak karışıma nazaran fazla bitümlü tabakaların olmayışı.
3. İlk yapım maliyeti de fazla olan beton kaplamalı yolda kaplama kalınlığı arttıkça buna bağlı olarak maliyet de artmaktadır.

Çizelge 4.3. Yıllara göre bakım ve maliyet ilişkisi

Yıllar	Sathi Kaplama Bakım Masrafı		Sıcak Karışım Kaplama Bakım Masrafı		Beton Kaplama Bakım Masrafı	
	(%)	(YTL)	(%)	(YTL)	(%)	(YTL)
1	%50	1537220	%10	1 460 934	%2	251 686
3	%150	4611660	%20	2 921 868	%6	755 058
5	%250	7686100	%30	4 382 802	%10	1 258 430
10	%500	15372200	%50	7 304 670	%20	2 516 860
20	%1000	30744400	%100	14 609 340	%40	5 033 720
30	%1500	46116600	%150	21 914 010	%100	12584 300

Şekil 4.3. Yıllara göre bakım ve maliyet ilişkisi



Şekil 4.3' ten de anlaşılacağı gibi ;

1. Bakım masrafı en fazla olan sathi kaplamalı üstyapı çeşididir.
2. Sıcak karışım asfaltta ilk on yıla kadar çok ciddi bakım gerektirmezken 10 yıldan sonra ciddi bakım maliyetleri gerektirmektedir.
3. Beton kaplama ise bakım masrafı en az olan üstyapı çeşididir. Yapımdan itibaren ilk 20 yıl içerisinde çok önemli bir bakım masrafı gerektirmezler.

TAŞIMA MESAFELERİNDE NAKLİYE MALİYETİ HESABI

$$M > 10\ 000 \text{ m ise } F = 1,25 \times A \times Y \times 0,00017 \times \sqrt{M} \times K$$

$$M < 10\ 000 \text{ m ise } F = 1,25 \times A \times Y \times (0,0007 \times M + 0,001) \times K$$

M = Mesafe

F = Fiyat

A = Zorluk katsayısı (KGM standart 1 kabul eder)

Y = Yoğunluk

K = Her cins tonajda motorlu araca ait taşıma katsayısı K=110 (2006 değeri)

Örnek:

30 ton plentmiks temelin 30 km taşınması ne kadara mal olur?

Çözüm:

$$A=1$$

$$Y= 1.6 \text{ ton/m}^3$$

$$K=110$$

Mesafe 30 000 metre olduğundan;

$$F=1.25 \times 1 \times 1.6 \times 0.00017 \times \sqrt{30000} \times 110$$

$$F = 6.47$$

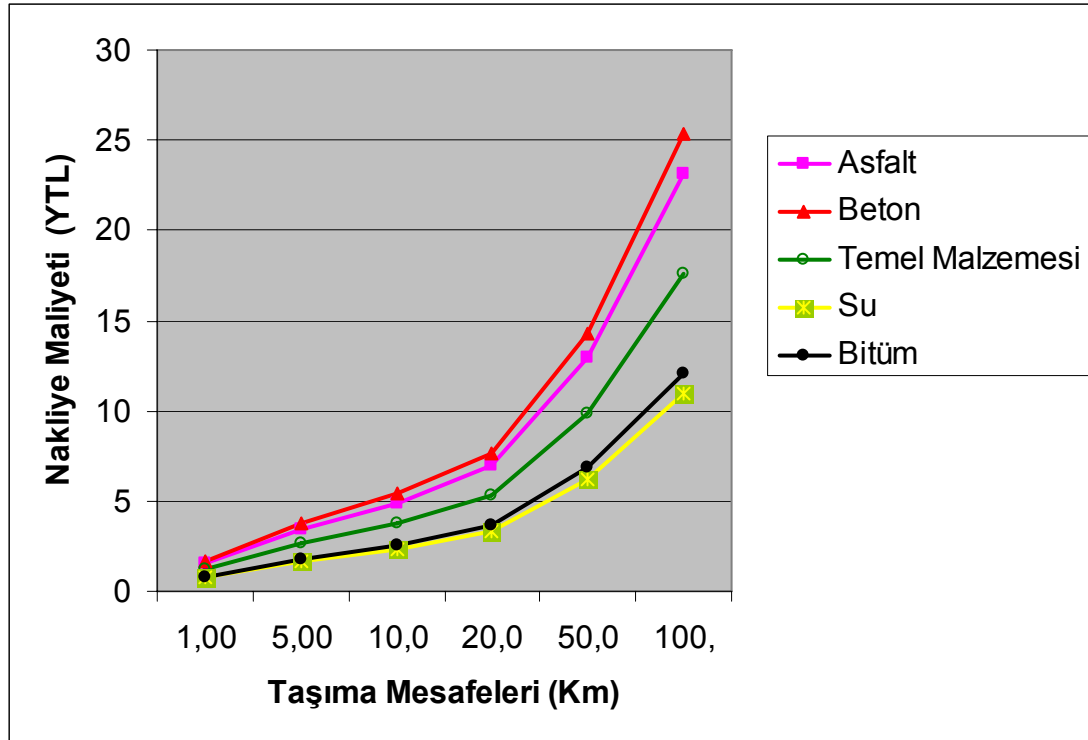
$$F = 6.47 \times 30 = \mathbf{194.1 \text{ YTL}}$$

Çizelge 4.4. Taşıma mesafeleri ve maliyet ilişkisi

Mesafeler (Km)	Asfalt (YTL)	Beton (YTL)	Temel Malzemesi(YTL)	Bitüm (YTL)	Su (YTL)
1	1.55	1.7	1.18	0,81	0,74
5	3.47	3.8	2.64	1,82	1,65
10	4.91	5.38	3.74	2,57	2,33
20	6.93	7.59	5.28	3,63	3,3
50	12.99	14.23	9.9	6,81	6,19
100	23.1	25.3	17.6	12,1	11

Not: Yoğunluklar, Asfalt = 2,1 kg/cm³ , Beton = 2,3 kg/cm³ , Bitüm = 1,1 kg/cm³ , Temel malzemesi =1,6 kg/cm³ ve su =1 kg/cm³ olarak alınmıştır.

Şekil 4.4. Taşıma mesafeleri ve maliyet ilişkisi



Şekil 4.4 ten de anlaşılacağı gibi;

Taşıma mesafeleri arttıkça maliyet te artar. Burada taşıma mesafeleri ile maliyet arasında; nonlinear bir ilişki bulunmaktadır. Taşıma formülünde yoğunluğu fazla olan

malzemenin taşıma maliyetide daha çoktur. Bu yüzden taşıma maliyeti en fazla olan beton ve en az olan su dur.

Çizelge 4.5.Cizre-Silopi (Km:0+000-10+000) bölünmüş yolda tek şerit sathi kaplama yapılması işinin keşif özeti (platform genişliği 11 metre)

Sıra No	İşin cinsi	Miktarı	Birimi (YTL)	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
1	Plentmiks alttemel yapılması işi (elenmiş ve kırılmış çakıldan) alttemel kalınlığı = 20 cm	35 200	Ton	18.14	638 528
2	Elenmiş çakıldan istenilen tiplerde Konkasörle kırılmış ve elenmiş asfalt mıcırı temini ve nakli	3300	m ³	15.91	52 503
3	Plentmiks temel yapılması işi (elenmiş, kırılmış çakıldan ve ocak taşından) temel kalınlığı = 15 cm	26 400	Ton	25.67	677 688
4	Bitüm zati bedeli (AC 50/70) Batman rafineri fiyatı baz alınmıştır	176	Ton	535.30	94 212.8
5	Astarın (MC 30) zati bedeli Batman rafineri fiyatı baz alınmıştır	154	Ton	824.82	127 022.28
6	Taşıma dolayısıyla soğuyan bitümün ısıtılması	330	Ton	20.40	6 732
7	Bitüm nakli (M= 180 km)	330	Ton	13.55	4 471.5
8	Plentmiks temel ve alttemel nakli M = 5 km	61 600	Ton	0.99	60 984
TOPLAM					1 662 141.58

Çizelge 4.6. Oyali ayırım-Cizre (Km:0+000-10+000) bölünmüş yolda tek şerit sıcak karışım asfalt yapılması işinin keşif özeti (platform genişliği 11 metre)

Sıra No	İşin cinsi	Miktarı	Birimi (YTL)	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
1	Plentmiks alttemel yapılması (elenmiş ve kırılmış çakıldan) alttemel kalınlığı = 20 cm	35 200	Ton	18.14	638 528
2	Plentmiks temel yapılması (elenmiş, kırılmış çakıldan ve ocak taşından) temel kalınlığı = 15 cm	26 400	Ton	25.67	677 688
3	Bitümlü temel yapılması Bitümlü temel kalınlığı =10 cm	17 600	Ton	39.16	689 216
4	Binder tabakası yapılması Tabaka kalınlığı = 7 cm	12 320	Ton	39.16	482 451.2
5	Aşınma tabakasının yapılması Tabaka kalınlığı = 5 cm	8 800	Ton	39.16	344 608
6	Taşıma dolayısıyla soğuyan bitümün ısıtılması	1742	Ton	20.40	35 536.8
7	Plentmiks temel ve alttemel nakli M = 5 km	61 600	Ton	0.99	60 984
8	Ocak konkasör arası taş nakli M= 1 km	65 000	Ton	0.49	31 850
TOPLAM					2 960 862

Çizelge 4.7. Oyalı ayırım-Cizre (Km:0+000-10+000) bölünmüş yolda tek şerit beton yol yapılması işinin keşif özeti (platform genişliği 11 metre)

Sıra No	İşin cinsi	Miktarı	Birimi (YTL)	Birim Fiyatı (YTL)	Tutarı (YTL)
1	Plentmiks alttemel yapılması (elenmiş ve kırılmış çakıldan) alttemel kalınlığı = 20 cm	35 200	Ton	18.14	638 528
2	Plentmiks temel yapılması (elenmiş, kırılmış çakıldan ve ocak taşından) temel kalınlığı = 15 cm	26 400	Ton	25.67	677 688
3	Beton yapımı+işçilik+kür Beton tabakası kalınlığı=20 cm	22 000	m ³	122	2 684 000
4	Demirin zati bedeli+demir işçiliği	41	Ton	1200	49 200
5	Ocak - konkasör arası taş nakliyesi M = 5 km	61 600	Ton	0.49	31 850
6	Temel için su nakliyesi M=13	1100	Ton	2.5	2 750
7	Plentmiks temel ve alttemel nakli M = 5 km	61 600	Ton	0.99	60 984
TOPLAM					4 145 000

Çizelge 4.5 ve 4.6' da hazırlanmış olan keşif özetleri Karayolları 95.Şube Şefliği yol ağında olup, halen yapım aşamasındadır.Çizelge 4.7 ise sıcak karışım asfalt kaplama olan yolun beton olması varsayılarak tasarlanmıştır.

Bu keşif özetleri incelendiğinde, ilk yapımda en pahalı olan beton kaplamalı yol, en ucuz olan ise sathi kaplamalı yol çeşididir.Buna karşılık sathi kaplama her sene bakım ve onarım gerektirirken sıcak karışım kaplama 5 yıldan sonra bakıma ihtiyaç duyar ve beton olsaydı ilk on yıl çok önemli bir bakım gerektirmezdi.

Cizre-Silopi yolunun uluslar arası bir yol olan Güney Tetek yolunun son kısmı olması nedeniyle çok yoğun bir trafiğe (T8.2 = 80 574 120) maruz kalmaktadır. Bunun için bu yolun beton kaplama yapılması hem daha çok dayanıklı ve hemde uzun vadede daha ekonomik olacaktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Asfalt kaplamalı üstyapılarla beton kaplamalı üstyapıların maliyetlerinin karşılaştırılması amacıyla yapılmış olan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Beton kaplamalı üstyapılar ilk yapım maliyeti, asfalt kaplamalı üstyapılara nazaran düşük trafik yoğunluklarında ($T_{8.2} = 0.5 \times 10^6 - 4.5 \times 10^6$) daha pahalı bir üstyapı çeşididir. Ancak; trafik yoğunluğu ($T_{8.2} = 4.5 \times 10^6$) ' dan sonra şekil 4.1 den de görüleceği gibi, sıcak karışım asfalt kaplama maliyetiyle aynı olmakta ve bu trafik yoğunluğundan sonraki yoğunluklarda beton kaplamalı üstyapılar daha ekonomik olmaktadır.

Sathi kaplamalı üstyapılar ilk yapım maliyeti her şartta (trafik yoğunluğu ne olursa olsun) en ucuz üstyapı tipidir. Buna rağmen uzun vadede çok fazla bakım masrafı gerektirdiğinden en pahalı üstyapı çeşidi olmaktadır.

Beton kaplamalı üstyapılarda kaplama (plentmiks temel ve beton tabakası) kalınlığı arttıkça, maliyet de artar. Aynı şekilde sıcak karışım asfalt kaplamada da tabakaların kalınlıkları (aşınma, binder, bitümlü temel ve plentmiks temel) artarken maliyetleride artıyor.

Bakım masrafları yönünden kaplama türleri karşılaştırıldığında; Şekil 4.3 ' ten de görüleceği gibi en çok bakım masrafı gerektiren sathi kaplamalı üstyapı ve en az bakım masrafı gerektiren ise beton kaplamalı üstyapıdır. Sathi kaplamalı üstyapı çeşidi ilk yapım yılından itibaren ciddi bakım masrafı gerektirir (her yıl hemen hemen yapım maliyetinin %50' si kadar) .

Beton kaplamalı üstyapı; bakım maliyeti yönünden en ekonomik olan üstyapı çeşididir. Şekil 4.3 ' ten de görüldüğü gibi ilk 20 yıla kadar ciddi bir bakım masrafı gerektirmezken 20. yıldan itibaren önemli bakım masrafları gerektirir.

Sıcak asfalt kaplamada yapımından itibaren ilk 10 yılda çok önemli bir bakım masrafı gerektirmezken 10. yıldan itibaren ciddi bakım masrafları gerektirirler.

Kaplama türleri ilk yapım ve bakım masrafları yönünden etraflıca incelendiğinde beton kaplamalı üstyapının en ekonomik ve sathi kaplamanında en pahalı üstyapı tipi olduğu görülecektir. Ülkemiz karayolları yol ağında ne yazık ki beton yola bugüne kadar yeterince önem verilmemiştir. Yol ağımızın yaklaşık %80 'i sathi kaplamadan oluşmakta ve bu da milli gelirimizin büyük bir kısmının açık bir şekilde heba edilmesi demektir.

Sonuç olarak şu denilebilir; sathi kaplama kısa ve gündelik sorunları gidermekte ama uzun vadelerde milli ekonomiye büyük hasarlar vermektedir. Beton yollar yapılamazsa dahi en azından sıcak karışım asfalt kaplamalı üstyapılar daha çok yapılmalıdır.

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] EMİNE AĞA,TAŞDEMİR Y. "Silindir ile Sıkıştırılabilen Beton Yollar", THBB Hazır Beton Dergisi, sayı:51, Mayıs – Haziran 2002.
- [8] EMİNE AĞAR, SÜTAŞ I., ÖZTAŞ G., "Beton Yollar", İTÜ ,1998.
- [9] ULUÖZ N., "Beton Yollar Maliyet Araştırması", Adana Çimento Sanayi, 2001.
- [10] "9.Uluslararası Beton Yollar Sempozyumu"
- [11] "Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi "ANKARA-2006

TEŞEKKÜR

'Beton kaplamalı üstyapılarla asfalt kaplamalı üstyapıların maliyet yönünden karşılaştırılması' isimli bu çalışmada; kaplama türleri, hem ilk yapım maliyetleri hemde bakım ve işletim maliyetleri yönünden karşılaştırılmıştır.

Tez konumun belirlenmesinde ve çalışmalarımın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, değerli fikir ve katkılarıyla ışık tutan ve yönlendiren danışman hocam, Doç. Dr. Ali Osman ATAHAN' a, değerli yardımlarını gördüğüm ulaşım ana bilim dalı öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Turan ARSLAN' a, bana göstermiş olduğu sabır ve verdiği maddi-manevi desteğinden dolayı sevgili babam Abdulsettar EDİS' e, yüksek tahsilim boyunca ve iş hayatımda bana verdiği büyük desteğinden dolayı, Şırnak Milletvekili Sayın Abdullah Veli SEYDA' ya teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Şırnak'ın Cizre ilçesinde doğdum. İlk orta ve lise öğrenimimi Cizre'de tamamladım.1997 de Ankara Üniversitesi Çankırı Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümünden mezun oldum.2004 yılında da Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliğinden mezun oldum. Mezun olduğum sene Karayolları 9. Bölge Müdürlüğü 95. Şube Şefliğinde Bakım Mühendisi olarak işe başladım. Halen bulunduğum görevde çalışmaktayım.