



BETON VE ASFALT YOLLARIN TERCİH

KRİTERLERİNİN ANALİZİ

CEM ANLAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DR. ÖĞR. ÜYESİ MELİH NACİ AĞAOĞLU

Kasım - 2019

Her hakkı saklıdır

Cem Anlar tarafından hazırlanan “Beton ve Asfalt Yolların Tercih Kriterlerinin Analizi” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 15 KASIM 2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Çokluğu ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Melih Naci AĞAOĞLU



Üye
Dr. Öğr. Üyesi Ferit YAKAR
Gaziosmanpaşa Üniversitesi



Üye
Doç Dr. Bekir AKTAŞ
Erciyes Üniversitesi



ONAY

Prof. Dr. Cetin CEKİCİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



T.C.
TOKATGAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETON VE ASFALT YOLLARIN TERCİH KRİTERLERİNİN ANALİZİ

CEM ANLAR

TOKAT

Kasım - 2019

Her hakkı saklıdır

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

CEM ANLAR

15 KASIM 2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETON VE ASFALT YOLLARIN TERCİH KRİTERLERİNİN ANALİZİ

CEM ANLAR

TOKATGAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI:DR. ÖĞR. ÜYESİ MELİH NACİ AĞAOĞLU)

Tez çalışması kapsamında, genel hatları ile beton yolların tanımı, önemi ve asfalt yollar ile aralarındaki farklar hakkında bilgiler verilmektedir.

Beton yolların diğer yol türlerine tercih edilebilmesi için hızlı, güvenli, ekonomik, yapım tekniği basit ve konforlu olmalıdır. Beton yolların yapısal ömürleri, ekonomik kazanımları, dayanımları, sürüş güvenliği, konforu, akaryakıt tasarrufu, gece görüş avantajı, hammadde avantajı, uygulanabilirliği, gibi üstünlüklerinden bahsedilerek güncel yapım teknikleri hakkında bilgi verilmiştir.

Beton ve asfalt kaplamalı yollar arasında ki ilk yapım maliyeti, bakım maliyeti, yapının kullanım ömrü gibi bilgilere yer verilerek beton yollar ve asfalt yollar arasında tercih yapılması sağlanmaktadır.

2019, 70 SAYFA

ANAHTAR KELİMELEER:Beton yol, Asfalt yol, Maliyet

ABSTRACT

MASTER THESIS

**ANALYSIS OF PREFERENCE CRITERIA FOR CONCRETE AND ASPHALT
HIGHWAYS**

CEM ANLAR

**TOKATGAZIOSMANPASA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR:ASST. PROF. DR. MELİH NACİ AĞAOĞLU)

Within the scope of the thesis, general information is given about the definition, importance and differences between the asphalt roads

In order for concrete roads to be preferred over other road types, the construction technique must be fast, safe, economical, simple and comfortable. The structural life of the concrete roads, economic gains, durability, driving safety, comfort, fuel saving, night vision advantage, raw material advantage, applicability, such as the advantages of current construction techniques are mentioned

Concrete and asphalt paved roads, such as the initial construction cost, maintenance cost, the life of the structure by giving information such as the choice between concrete roads and asphalt roads are provided

2019, 70 PAGE

KEYWORDS:Concretehighway, Asphalhighway, Constructioncost

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca değerli görüş ve katkılarıyla, her türlü konuda yardımını esirgemeyen, değerli zamanını bana ayıran, çalışmalarımda gecikmelerime rağmen bana sabır gösteren saygı değer danışman hocam **Dr.Öğr. Üyesi Melih Naci AĞAOĞLU**'na teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hayatım boyunca yanımda olan iyi kötü her türlü kararımın arkasında olan, benim bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan ve varlıklarından gurur duyduğum başta annem **Nuriye NERGİS ANLAR**'a, babam **Mustafa ANLAR**'a, abim **Ufuk ANLAR**'a ve kardeşim **SamedANLAR**'a teşekkür ederim

Cem ANLAR

15 KASIM 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1. Esnek Üstyapı	4
2.1.1. Temel ve alttemel tabakaları	5
2.1.2. Temel ve alttemel tabakalarının özellikleri	8
2.1.3. Kaplama tabakası	10
2.1.4. Esnek kaplama kusurları	12
2.2. Rijit Üstyapı	13
2.2.1. Kaplama tabakası	14
2.2.2. Zemin ve alttemel tabakaları	14
2.2.3. Beton kaplama kusurları	15
2.3. Beton ve Asfalt Yol Uygulamaları	16
2.4. Türkiye’de Beton Yol Uygulamaları	17
2.5. Beton Yol Yapım Aşamaları	25
2.5.1. Taban zemininin ve alttemelin hazırlanması	25

2.5.2. Kalıpların yerleştirilmesi	26
2.5.3. Betonun hazırlanması	26
2.5.4. Betonun ve donatısının yerleştirilmesi	27
2.5.5. Genleşme derzinin yapımı	27
2.5.6. Beton yolun sıkıştırılması ve tesviyesi	27
2.5.7. Beton Yolların Avantajları	29
2.5.8. Beton yolların dezavantajları	30
2.6. Asfalt Yollar ve Uygulamaları	31
2.6.1. Türkiye’de bitümlü bağlayıcıların kullanıldığı yol kaplamaları	32
2.7. Türkiye’de Asfalt Yol Uygulamaları	33
2.7.1. Bitümlü sıcak karışım yüzeylerin hazırlanması	34
2.7.2. Sıcak karışım asfalt kaplamalar için alt tabakaların hazırlanması	34
2.7.3. Asfalt yolların avantajları	37
2.7.4. Asfalt yolların dezavantajları	37
3.1. Yöntem	38
3.1.1. Maliyet analizi	38
3.1.2. Trafik	38
3.1.3. Taban zemininin taşıma gücü (CBR)	38
3.1.4. Bölge faktörü (R)	40
3.1.5. Son servis kabiliyeti (P_t)	40
3.2. Üstyapı kalınlıklarının belirlenmesi	41
3.2.1. Esnek üstyapı kalınlıklarının belirlenmesi (BSK)	41
3.2.2. Rijit üstyapı kalınlıklarının belirlenmesi (Beton Yol)	44
3.3. Rijit ve esnek kaplama maliyetlerinin karşılaştırılması	47
4. BULGULAR	59

4.1. Kaplama Türlerinin İlk Yapım Maliyetleri.....	60
4.2. Kaplama Türlerinin Yıllık Bakım Maliyetleri	62
4.3. Taşıma / Nakliye Maliyeti Analizi.....	63
5. SONUÇ	66
6. KAYNAKÇA	68
7. ÖZGEÇMİŞ.....	70

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Temel ve alttemel tabakalarında kullanılan agrega gradasyonları (KTS, 2013)	8
Çizelge 2.2. Alttemel tabakasının fiziksel özellikleri (KTS, 2013)	9
Çizelge 2.3. Asfalt kaplama kusurları ve nedenleri (asfalt enstitüsü)	13
Çizelge 3.1. Proje esneklik modülü (M_R) değerleri	40
Çizelge 3.2 $T_{8.2} = 5 \times 10^6$ trafik yoğunluğunda ki 3 farklı zeminin esnek üstyapı kalınlıkları	43
Çizelge 3.3 $T_{8.2} = 15 \times 10^6$ trafik yoğunluğunda ki 3 farklı zeminin esnek üstyapı kalınlıkları	43
Çizelge 3.4 $T_{8.2} = 25 \times 10^6$ trafik yoğunluğunda ki 3 farklı zeminin esnek üstyapı kalınlıkları	44
Çizelge 3.5 $T_{8.2} = 5 \times 10^6$ trafik yoğunluğunda ki 3 farklı zeminin rijit üstyapı kalınlıkları	45
Çizelge 3.6 $T_{8.2} = 15 \times 10^6$ trafik yoğunluğunda ki 3 farklı zeminin rijit üstyapı kalınlıkları	46
Çizelge 3.7 $T_{8.2} = 25 \times 10^6$ trafik yoğunluğunda ki 3 farklı zeminin rijit üstyapı kalınlıkları	46
Çizelge 3.8. Beton kaplamalı 10 km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı=22cm, $T_{8.2} = 5 \times 10^6$)	48
Çizelge 3.9. Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı=26cm, $T_{8.2} = 15 \times 10^6$)	49
Çizelge 3.10. Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti (Beton kalınlığı=26cm, $T_{8.2} = 25 \times 10^6$)	49
Çizelge 3.11. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti ($T_{8.2} = 5 \times 10^6$ R=1 CBR= %3 Pt=2 MR = 5275)	50
Çizelge 3.12. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti ($T_{8.2} = 5 \times 10^6$ R=1 CBR= %15 Pt=2 $M_R = 13692$)	51
Çizelge 3.13. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti ($T_{8.2} = 5 \times 10^6$ R=1 CBR= %40 Pt=2 MR = 14865)	52
Çizelge 3.14. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti ($T_{8.2} = 15 \times 10^6$ R=1 CBR= %3 Pt=2 MR = 5275)	53

Çizelge 3.15. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti ($T_{8.2} = 15 \times 10^6$ R=1 CBR= %15 Pt=2 $M_R = 13692$).....	54
Çizelge 3.16. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti ($T_{8.2} = 15 \times 10^6$ R=1 CBR= %40 Pt=2 MR = 14865).....	55
Çizelge 3.17. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti ($T_{8.2} = 25 \times 10^6$ R=1 CBR= %3 Pt=2 MR = 5275).....	56
Çizelge 3.18. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti ($T_{8.2} = 25 \times 10^6$ R=1 CBR= %15 Pt=2 $M_R = 13692$).....	57
Çizelge 3.19. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km.'lik yolun keşif özeti ($T_{8.2} = 25 \times 10^6$ R=1 CBR= %40 Pt=2 MR = 14865).....	58
Çizelge4.1. Kaplama türlerinin ilk yapım maliyetleri.....	60
Çizelge 4.2. Yıllara göre bakım ve maliyet ilişkisi.....	62
Çizelge 4.3. Taşıma mesafeleri ve maliyet ilişkisi.....	64

ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Karayolu üstyapı elemanları.....	4
Şekil 2.2. Üstyapı tabakalarında araç lastiğinden gelen yükün dağılımı.....	11
Şekil 2.4. İncirlik hava üssü çevre güvenlik yolu beton dökümü(Ecevit, 2007).	18
Şekil 2.5. Adana, Mavi bulvar beton yolu(Ecevit, 2007).	18
Şekil 2.6. Kaplama yüzeyinin masterlanması(Yeniboğanlı, 2010).....	19
Şekil 2.7. Kür uygulaması(Yeniboğanlı, 2010)	19
Şekil 2.8. Derz kesimi(Yeniboğanlı, 2010)	20
Şekil 2.9. Kayma demirleri(Akpınar, 2014)	20
Şekil 2.10. Kürleme İşlemi(Akpınar, 2014)	21
Şekil 2.11. Kayma demirleri yerleştiriliyor(Gülen Şahin ve ark., 2016).	21
Şekil 2.12.Kür uygulaması(Gülen Şahin ve ark., 2016).	22
Şekil 2.13. Ordu - Ulubey yolu, beton yol kesimi(İHA, 2019)	22
Şekil 2.14. Kocaeli - Karamürsel beton yol kesimi masterlanması(Abut, 2018)	23
Şekil 2.15. Derz kesimi (Abut, 2018).....	23
Şekil 2.16. Antalyaaili beton yol çalışması(Yaman ve Ceylan, 2015)	24
Şekil 2.17.Denizli beton yol çalışması(Yaman ve Ceylan, 2015)	24
Şekil 4.1. Kaplama kalınlıklarının yüzde değişimi ve buna bağlı değişen maliyet	60
Şekil 4.2. Yıllara göre bakım ve maliyet ilişkisi.....	62
Şekil 4.3. Taşıma mesafeleri ve maliyet ilişkisi.....	65

1. GİRİŞ

Son yıllarda, köprü tabliyeleri, otoyollar, havaalanı kaplamaları ve endüstriyelzeminlerin onarımında rijit beton kaplamaların kullanımı hızla artmaktadır. Birkaplamanın temel amacı, zararlı maddelerin ve suyun girişini engelleyerek yapının servis ömrünü uzatmak ve dayanıklı aşınma yüzeyi sağlamaktır. Ayrıca; kaplama, döşeme ve köprü tabliyelerinin yüklenme durumlarına uyumlu olarak yeterli yük taşıma kapasitesi sağlamak amacıyla tasarlanır. Tasarlanmış Çimento Bağlayıcı Kompozitler (ECC); Üstün süreklilik ve dayanıklılık özelliklerinden dolayı geleneksel kaplama malzemelerinin yerine kullanılacak önemli bir alternatif kaplama malzemesidir. Uçak pistleri, taksi yolları ve apronlarda beton ya da asfalt kaplama kullanılmaktadır. Kaplamalı sahalar, hava araçlarının güvenliği için uygun koşullara sahip olmalıdır. Ülkemizde askeri hava alanlarının büyük çoğunluğu NATO bütçesiyle yapılmıştır. NATO standartlarına göre, esnek (asfalt) kaplamalı saha asgari 15 yıl, rijit (beton) kaplamalı saha ise 25 yıl hizmet vermelidir. NATO bütçesi ile yapılan kaplamalı sahalar için asfalt olanlarda 10 yıl, betonlarda ise 12 yıldan önce geniş kapsamlı onarım bütçesi ayrılmamaktadır. Ülkemizde ise asfalt pistlerin ortalama ömürleri 15 yılı çoğuzaman bulmamakta, beton pistlerde ise 10 yıllla sınırlı kalmaktadır. Pist ömürleri uzatılabildiği takdirde, Türk Hava Kuvvetleri'nin yıpranma payı giderleri azalacak ve daha güvenli kaplamalı sahalar sayesinde olası uçak kazaları riski azaltılmış olacaktır.

Karayolu üst yapı kaplamalarında en çok kullanılan iki bağlayıcı malzeme asfalt ve çimentodur. Yol kaplamalarında asfalt, sathi kaplama veya asfalt betonu olarak uygulanabilir. Sathi kaplamada bitüm üzerine agrega serilip ince bir tabaka halinde sıkıştırılır. Asfalt betonu kaplamada ince ve iri agrega sıcak bitümle karıştırıldıktan sonra yola serilerek sıkıştırılır ve daha kalın bir tabaka oluşturulur. Çimento betonu kaplamalarda ise ince ve iri agreganın su ve çimento ile karıştırılması sonucu elde edilen beton, yol yüzeyine serilerek sıkıştırılır ve yeterli dayanım kazanıncaya kadar kür uygulanır.

Çağımızda insan nüfusunun hızla artması, doğal kaynakların hızla tükenmesine sebep olmaktadır. Doğaya vermiş olduğumuz zararı en aza indirmek için insanların oluşturmuş olduğu atıkların azaltılması ya da geri dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle atık kontrolü ve yönetimi günümüzün en büyük sorunlarından biri olmuştur. Bu sorunu çözenin en iyi yolu iyi planlanmış bir katı atık yönetimi oluşturmaktır. Katı atık yönetiminin amacı; her türlü atık malzemenin çevreye zarar verecek şekilde, doğrudan veya dolaylı bir biçimde doğal ortama verilmesi, depolanması, taşınması, uzaklaştırılması ve benzeri faaliyetlerin yasaklanması, çevreyi olumsuz yönde etkileyebilecek olan tüketim maddelerinin idaresini belli bir disiplin altına alarak, havada, suda ve toprakta kalıcı etki gösteren atık malzemelerin hayvan ve bitki nesillerini, doğal zenginlikleri ve ekolojik dengeyi bozmasının önlenmesi ile buna yönelik prensip, politika ve programların belirlenmesi, uygulanması ve bu doğrultuda geliştirilmesidir (T.C. Çevre Bakanlığı, 2015).

Hammaddenin en çok kullanıldığı sektörlerin başında inşaat sektörü gelmektedir. Elde edilen verilere göre, inşaat sektörü hammaddenin %50'sini doğadan sağlamaktadır. Toplam enerjinin %40'ını kullanır ve yine ortaya çıkan bu atıkların %50'sini oluşturur (Oikonomou, 2005). Yapılan araştırmalara göre; yapı/altyapı inşaatı, yenilenmesi, tadilatı ve tamirata, yolların ve köprülerin yapımı ve yenilenmesi ve diğer insan yapımı işler sonucu Avrupa Topluluğu ülkelerinde yılda 180 milyon ton, Almanya'da 30 milyon ton ve ABD'de 136 milyon ton inşaat ve yıkıntı atığı oluşmaktadır. ABD'de inşaat/yıkıntı atıklarının % 43'ü konutlardan (58 milyon ton) %57'si (78 milyon ton) diğer kaynaklardan oluşmaktadır. Bu atıkların %8'i yeni inşaat yapımından, %44'ü yenileme ve %48'i yıkıntı atıklarıdır. Sydney şehrinde oluşan inşaat/yıkıntı atığı miktarı toplam katı atığın %60'ını oluşturmaktadır. 1998 yılı verilerine göre Hong Kong'da bir günde üretilen inşaat/yıkıntı atığı miktarı 32.710 tondur. İngiltere'de yılda 53.6 milyon ton inşaat/yıkıntı atığı oluşmaktadır. Bu atıkların 27.4 milyon tonu (%51.12) depolanmakta, 21.2 milyon tonu (%39.55) inşaat esnasında arazi kazanımında kullanılmakta ve 5 milyon tonu (%9.33) yeni ürün kazanmak üzere değerlendirilmektedir. Özellikle beton vb. malzemelerin atıklarının değerlendirilmesi yoluna gidilerek önemli miktarlarda hammadde ve ekonomik kazanç sağlanabilir (Xue, et al., 2006; Do, et al., 2008; Su, et al., 2002).

Betonun, doğal kaynaklar üzerinde yıkıcı olmaktadır ve kullanımından sonra zararlı çevresel etkileri nedeniyle yapı malzemesi olarak çevre dostu olmadığı görülmektedir. İnşaat atıklarından özellikle atık betonun beton üretiminde veya yol yapımında agrega olarak kullanılması bu atıkların çevreye verdiği zararların azaltılmasının yanında, mevcut agrega kaynaklarının tüketiminin de en aza indirilmesini sağlamaktadır.

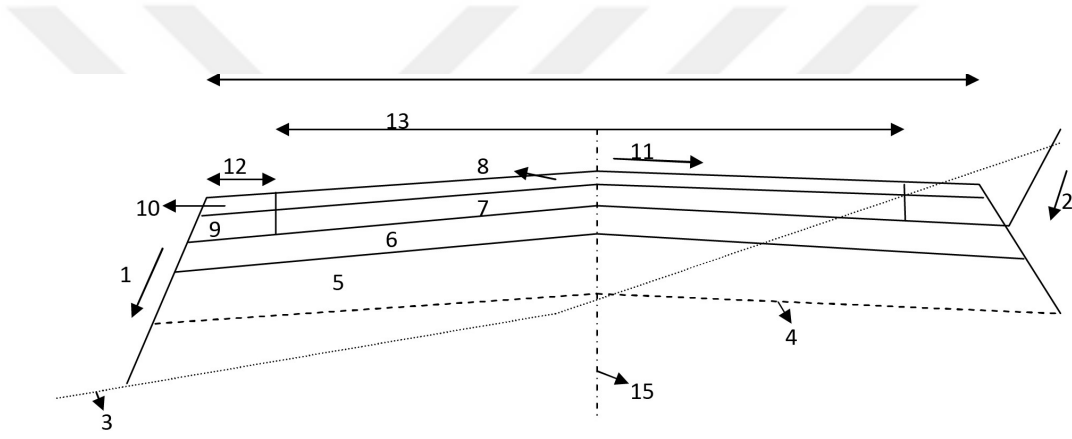
Yapılan deneysel çalışmalarda, Geri dönüşüm agregasının kalitesinin atık betonun kalitesine bağlı olduğu, karışımda çimento hamuruyla iyi bir aderans sağladığı, daha düşük bir özgül ağırlığa sahip olduğu, Los Angeles aşınma yüzdesi değerlerinin daha yüksek olduğu ve agrega emme suyuna ilaveten %10 daha fazla suya gereksinimi olduğu belirlenmiştir(Durmuş vd., 2009).

Asfalt yolların büyük bir kısmını oluşturan agregalar, yolun servis ömrü süresince önemli bir rol oynarlar. Farklı yol tabakalarında farklı agrega özellikleri aranır. Aşınma tabakası yolun servis ömrü ve yol güvenliği açısından en önemli parametrelerden biridir. Yolun servis ömrünü en iyi şekilde tamamlayabilmesi için burada kullanılacak olan agreganın mekanik özelliklerinin çok iyi olması ve cilalanmaya karşı yüksek dayanım göstermesi istenir. Dolayısıyla kaliteli hammadde arayışına giren insanoğlu her gün yeni agrega ocakları açmakta ve gün geçtikçe bu agrega ocaklarına talep artmaktadır. Bununla birlikte bu ocaklardan dolayı yeryüzünün şekli bozulmakta, çevremizde hoş olmayan görüntüler oluşmaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER

Bir yol kesiti altyapı ve üst yapı olmak üzere iki ana bölümden oluşur. Altyapı yarma ve dolgulardan oluşurken, üst yapı trafik yükünü taşıyan altyapıya gerilmeleri ve yükü aktaran kısımdır.

2.1. Esnek Üstyapı



Şekil 1.1. Karayolu üstyapı elemanları

- 1) Dolgu Şevi
- 2) Yarma Şevi
- 3) Tabii zemin
- 4) Yol gövdesi (Taban zemini.)
- 5) Seçme malzeme (Gerekli olduğu durumlarda serilir.)
- 6) Alt temel
- 7) Temel
- 8) Kaplama (AŞınma ve binder tabakalarından oluşur.)
- 9) Banket temeli
- 10) Banket
- 11) Yol enine eğimi
- 12) Banket genişliği
- 13) Kaplama genişliği
- 14) Platform genişliği
- 15) Yol ekseni

Esnek styapı kaplamaları Şekil2.1.'de görüldüğü üzere 5 ayrı tabakadan meydana gelir. Bunlar; kaplama tabakası, temel, alt temel, seçme malzeme ve tabii zemin diye yukarıdan aŐaęıya sıralanırlar. Tabaka kalınlıkları da yukarıdan aŐaęıya bir artış göstermektedir. Yapılacak yolun zemin mukavemeti, trafik hacmi gibi özelliklerine bakılarak bu tabakaların hepsi ya da birkağı birlikte kullanılır (Eskişehir Osmangazi niversitesi karayolu ders notları, 2008).

2.1.1. Temel ve alttemel tabakaları

Esnek kaplamalarda kullanılan temel ve alttemel tabakaları, taban zemini olarak adlandırılan yol gövdesi üzerine yerleŐtirilir. Belli bir granülometriye sahip olan bu tabakaların amacı, diğer tabakalara oranla daha ucuza mal edildiklerinden ve daha kalın yapılabildiklerinden, yol kaplamasına yorulma direnci, rijitlik ve yk yayma kabiliyeti kazandırmaktır. Bu tabakalar yoldaki yük taşıma kabiliyetini artırırlar, drenajı sağlarlar,

donma ve şişme etkilerine karşı koruma sağlarlar, deformasyonları azaltırlar ve kaplama tabakası için uygun bir yüzey oluştururlar. Bu tabakaların, özellikle kalite açısından düşük ancak dren kabiliyeti yüksek agregalardan oluşması istenmektedir. Tabakalar 5 farklı şekilde imal edilebilir. Bunlar; plentmiks temel, mekanik stabilizasyon temel, çimento stabilizasyon temel, bitümlü temel ve alttemeldir. (Tunç, 2004).

Plentmikstemel

İyi derecelenmiş bir gradasyona sahip agreganın, optimum su içeriği ile bir plent içerisinde karıştırılarak, zemine serilip sıkıştırılmasıyla oluşan temel türüdür. Bu temelde karıştırma işlemi kesinlikle sabit bir plent içinde yapılmalıdır. Seçilen kaba agrega; kırma taş, çakıl veya cüruf, ince agrega ise; kırılmış çakıl, kırma kum, doğal kum veya cüruf kumu olmalıdır.

Mekanik stabilizasyon temel

Bu tabakada, plentmiks temelde olduğu gibi iyi derecelenmiş gradasyona sahip agregaların, optimum su içeriğinde karıştırılıp yola serilmesiyle oluşur. Sıkıştırma işlemi silindirler yardımıyla en yüksek kuru yoğunluk derecesine ulaşıncaya kadar yapılır. Bu temel tipinde trafik yükleri altında kalıcı deformasyonlar gözlemlenmediğinden dolayı bu temele, mekanik stabilizasyon temel denir. Sıkça kullanılan bir diğer adı da stabilize yoldur. Kullanılan kaba agrega; çakıl, kırılmış çakıl, cüruf veya kırma taş olabilir. İnce agrega olarak ise; kırılmış çakıl, kırma kum, doğal kum ve cüruf kumu kullanılır. Bu temel tipinde serme işlemi, Jayrosfer veya Finisher ile yapılmalı, sıkıştırma işleminde ise mutlaka titreşimli bir silindir kullanılmalıdır. Mekanik stabilizasyon temel, diğer temel tiplerine göre daha ekonomiktir ancak konforu daha azdır (Tunç, 2004).

Çimento stabilizasyon temel

Bu temel tabakasının plentmiks temelden tek farkı, karışımın plent içerisinde belli bir oranda çimento katılarak hazırlanmasıdır. Kaba agregası, mekanik temel de kullanılan ile aynı, ince agregası ise plentmiks temel de kullanılan agrega ile aynı özelliklerdedir.

Temel tabakasında kullanılacak çimento miktarı, proktor deneyi ile tespit edilir. Normal betona oranla çimento miktarı azdır ancak su/çimento oranı düşük olduğu için mukavemet açısından, özellikle yollar dayüksekstabiliteli bir temel tabakası olarak kullanılmaktadır.

Bitümlü temel

Bir diğer temel türü olan bitümlü temel, esasında düşük Marshall stabilitesine sahip asfalt betonundan başka bir şey değildir. Bitümlü temel yaklaşık olarak 100 kg agregaya %3 – 3.5 arası bitüm olmak üzere bağlayıcı katılarak oluşturulur. Bitüm miktarı az olmasına karşın diğer tabakalara nazaran daha yüksek stabilite elde etmek mümkündür. Kullanılacak agregalar ise diğer temel tiplerinde olduğu gibi iyi derecelenmiş belli gradasyonlu agregalardan seçilir.

Alt temel

Esnek kaplamaların en alttaki tabakasıdır. Burada kullanılan malzemenin elastikiyeti düşük, dren kabiliyeti de bir o kadar yüksektir. Temel tabakası ile hemen hemen aynı işlevi görürler fakat alt temel tabakası, kaplamanın en düşük maliyetli ve en kalın tabakasıdır.

Çizelge 2.1. Temel ve alttemel tabakalarında kullanılan agrega gradasyonları (KTŞ, 2013)

Elek inç (mm)	Alttemel Tabakası	Mekanik Stabilizasyon Temel Tabakası				Plentmiks Temel Tabakası		Çimento Stabilizasyon Temel Tabakası
		A	B	C	D	Tip-1	Tip-2	
75 (3")	100	-	-	-	-	-	-	-
50 (2")	-	100	100	-	-	-	-	-
37.5 (1 1/2")	85-100	80-100	85-100	-	-	100		100
25 (1")	-	60-90	70-95	100	100	72-100	100	72-100
19 (3/4")	-	-	-	75-100	80-100	60-92	80-100	60-92
9.5 (3/8")	45-100	30-70	40-75	50-85	60-100	40-75	50-82	40-75
4.75 (No.4)	25-85	25-55	30-60	35-65	50-85	30-60	35-65	30-60
2.00 (No.10)	-	15-40	20-45	25-50	40-70	20-45	23-50	20-45
0.425 (No.40)	7-40	8-20	10-25	12-30	20-45	8-25	12-30	8-25
0.075 (No.200)	0-12	2-8	0-12	0-12	0-12	0-10	2-12	0-10

2.1.2. Temel ve alttemel tabakalarının özellikleri

Adından da anlaşıldığı üzere bu tabakalar yolun temel görevini gören yapılardır. Sıkıştırılmış zemine göre daha kaliteli ve mukavemetlidirler ancak ekonomik olmaları bakımından kaplama tabakasına nazaran daha düşük kalitede imal edilir ve daha kalın yapılırlar. Bu iki tabakanın görevleri şunlardır;

- Kaplama inşaatının maliyetini düşürmek,
- Kaplama tabakası için uygun bir platform oluşturmak,
- Trafik yüklerini kaplamadan alarak zemine yaymak,
- Deformasyonlara karşı direnç sağlamak,
- Şişme ve büzülmeleere karşı koymak,
- Drenajı sağlamak.

Ancak bu tabakalardan beklenen en önemli iki işlev; yüksek dren kabiliyeti ve yüksek stabilitedir. Bu iki temel görevi sağlamak için kullanılacak agregaların, yüksek stabiliteli, maksimum yoğunlukta sıkışma gösteren, yoğun gradasyonlu, permeabil, içinde ince malzemesi az olan, don duyarlılığı az, işlenebilirliği yüksek ve fazla segregasyona uğramayan agregalar olması gerekmektedir (Tunç, 2004).

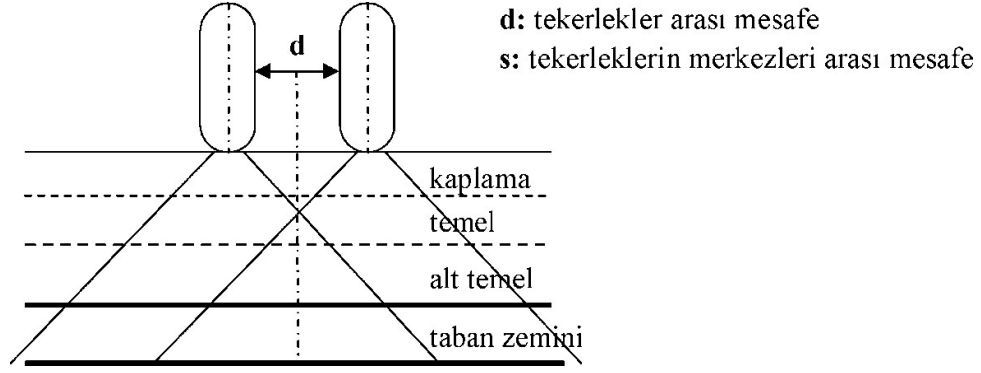
Çizelge 2.2. Alttemel tabakasının fiziksel özellikleri (KTŞ, 2013)

DENEY ADI		ŞARTNAME LİMİTLERİ	DENEY STANDARDI
% Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, MgSO ₄ ile kayıp, %		≤ 25 (MS ₂₅)	TS EN 1367 - 2
Parçalanma Direnci (Los Angeles), %		≤ 45 (LA ₄₅)	TS EN 1097 - 2* AASHTO T 96
Yassılık İndeksi, %		35	BS 812
		≤ 30 (FI ₃₀)	TS EN 933-3*
Su Emme (Kaba ve İnce Agregada), %		≤ 3,5 (WA _{24,3,5})	TS EN 1097 - 6
Likit Limit, %		≤ 25	TS 1900-1 AASHTO T 89
Plastisite İndeksi, %		≤ 6	TS 1900 - 1 AASHTO T 90
Kil Topağı ve Dağılabilen Dane Oranı, maksimum %		<u>İri Malzeme</u> (4,75 mm elek üstü) ≤ 2	ASTM C 142
Organik Madde, (%3 NaOH ile)		Negatif	TS EN 1744-1
METİLEN MAVİSİ MB g/kg	İnce agreganın 0/2 mm'lik kısmına	≤ 4,0 (MB _{4,0}) ≤ 5,5 (MB _{5,5})**	TS EN 933-9
	Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm kısmına	≤ 5,5 (MB _{5,5})**	
* Referans Metot ** Magmatik kökenli kayalarda, şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerinin sağlanamaması durumunda bu şart aranacaktır.			

2.1.3 Kaplama tabakası

Karayolunun, trafik yüklerine doğrudan maruz kalan en üst tabakasıdır. Sıcak asfalt karışımlar, Bitümlü sıcak karışımlar veya asfalt bağlayıcılı sıcak karışımlar ile elde edilen, aşınma ve binder tabakaları, kaplama tabakasının tamamını oluşturur. Esnek ve Rijit olmak üzere iki farklı tipte inşa edilebilirler. Trafik yükleri nedeniyle oluşan, gerilmelere, deformasyonlara ve iklim koşullarının her türlü ayrıştırma etkisine karşı koyabilmesi açısından, temel ve alttemel tabakalarına göre daha stabil olmak zorundadırlar. Bir kaplama tabakası genel olarak aşağıdaki fonksiyonları yerine getirebilecek tasarıma sahip olmalıdır.

- Sürüş konforu ve taşıt işletme giderleri açısından düzgün ve pürüzsüz yüzeylere sahip olmalıdır,
- Trafik ve çevre etkilerine yani düşük ısı çatlağı, asfalt soyulması, agreganın cilalanması, vb. kaplama kusurlarına karşı dirençli, durabil olmalıdır,
- Sürüş emniyeti açısından alıymanda, kurbda ve dik eğimlerde yeterli sürtünme direncine sahip olmalıdır,
- Kalıcı deformasyonlara, özellikle teker izi oluklarına karşı dirençli olmalıdır,
- Kalıcı deformasyon yapmadan trafik yüklerini alt tabakalara yani temel, alttemel ve zemine emniyetle yayabilme yeteneğine sahip olmalıdır,
- Tekerrür eden ağır trafik yüklerine karşı yeterli yorulma mukavemetine sahip olmalıdır,
- Yüzeysel yağmur sularının temele ve zemine sızmasını önleyecek kadar geçirimsiz olmalıdır,
- Yüksek dolgulu kesimlerde uzun dönemli oturmalara uyum sağlayacak esnekliğe sahip olmalıdır,
- Ağır trafik yükleri altında geçici deformasyon yapabilecek esnekliğe ve bir o kadar da yorulma mukavemeti için gerekli rijitliğe sahip olmalıdır (Tunç, 2004).



Şekil 2.2. Üstyapı tabakalarında araç lastiğinden gelen yükün dağılımı

Sathi (yüzeysel) kaplamalar

Yolun yapılacağı temel tabakası üzerine ince bir film halinde asfalt püskürtülür. Bu asfaltın üzerine belli bir gradasyona sahip agregaya dökülür ve bir silindir vasıtasıyla sıkıştırılır. Sıkışma bazen yolun üzerinden geçen trafik yükleri tarafından sağlanır. Bu trafik yükünün fazla olması halinde serim işlemi iki kat şeklinde imal edilebilir. Ancak bu tip kaplamalar, özellikle hava sıcaklığının fazla olduğu bölgeler ve kışın tuzlamanın yapıldığı yerlerde pek fazla bir dayanım gösteremezler.

Asfalt betonu (sıcak asfalt karışımı) kaplamalar

Bu tip kaplama tabakası imalatında öncelikle, asfalt ve agregaya şantiyede bulunan plantler içerisinde 150°C 'de karıştırılır. Karışım daha sonra kamyonlar vasıtasıyla serim yapılacak bölgeye nakledilir. Finisher denilen aletler ile ince tesviyesi daha önceden yapılmış olan temel tabakası üzerine tasarlanan kalınlıkta serilir. Bu işlemler sırasında döküm sıcaklığının 60°C 'nin altına düşmemesine özen gösterilmelidir.

2.1.4. Esnek kaplama kusurları

Esnek kaplama kusurları Çizelge 2.3.'te de belirtildiği üzere genel olarak, trafiğe, malzeme kalitesine, yapım hatalarına ve çevresel etkilere bağlı olarak oluşmaktadır. Oluşan bu kusurlar ise; yorulma çatlakları, teker izi olukları, ısı çatlakları, deformasyonlar ve ayrışmalardır.

Daha ayrıntılı bir biçimde bahsedecek olursak, bu kusurlara neden olan faktörler aşağıdaki gibi sıralanır;

- Aşırı trafik yükleri, aşırı trafik hacmi, düşük ve yüksek hava ısısı, Ani hava değişimleri ve aşırı yağış etkisi gibi faktörler,
- Şartnamede belirtilen kriterlere uymayan kötü malzemenin kullanılması, yapılan üretimin homojen olmaması, kullanılan malzemenin sık sık değiştirilmesi, üretimde kullanılan karışım oranlarının dengesizliği gibi faktörler,
- Kötü hava koşullarında yapılan imalatlar, asfaltın aşırı ısı veya soğuğa maruz bırakılması, serim işlemi esnasında segregasyon, serim işlemlerinde yapılan uygulama hataları ve yetersiz sıkıştırma gibi faktörler,
- Zeminin yetersizliği, drenajın yetersiz oluşu, zeminin ince tanelerinin trafik yükleri ile alttaki temel tabakaları arasına girmesi, don derinliğinin fazlalığı, yer altı su seviyesinin yüksek olması, şişme ve rötre ile aşırı hacim değişiklikleri ve oturma gibi faktörler,
- İmalat esnasında kullanılan finişer, silindir ve asfalt plenti gibi iş makinelerinin kontrol ve kalibrasyonlarının yapılmamış olması ve kullanılacak malzemenin kalite kontrollerinin yapılmaması gibi faktörler,
- Yetersiz bakım ve onarımın yapılması, zarar gören tabakaya uygulanacak takviye tabakasının zamanında uygulanmaması gibi faktörler (Eskişehir Osmangazi üniversitesi karayolu ders notları, 2008).

Esnek kaplama kusurları 3 ana başlık altında toplanır. Bunlar; deformasyonlar, ayrışmalar ve çatlaklardır. Deformasyonların başlıcaları, teker izi olukları, öndülasyonlar, bölgesel çökme ve kabarmalardır. Çatlaklar ise yorulma, blok, boyuna, enine, kenar, yansıma ve düşük ısı çatlakları olarak sınıflandırılır.

Çizelge 2.3. Asfalt kaplama kusurları ve nedenleri (asfalt enstitüsü)

Kusurlar	Yapısal Bozulmalar	Karışım Kompozisyonu	Isı veya Rutubet Değişimi	Yapım Hataları
Timsah sırtı çatlak	V			
Kenar çatlağı	V		V	V
Yansıma çatlağı			V	
Büzülme çatlağı		V		V
Ötelenme çatlağı				V
Teker izi	V	V		V
Öndülasyon	V	V		V
Çökme	V		V	
Kabarma/Şişme	V	V	V	V
Çukur		V		V
Sökülme/Parçalanma		V		V
Terleme/Kusma		V		
Agrega cilalanması		V		V
Agrega kaybı		V		

Anonim, 2018. Asfalt Yollarda Meydana Gelen Kusur ve Hasar Çeşitleri.

<https://insapedia.com/asfalt-yollarda-meydana-gelen-kusur-ve-hasar-cesitleri/> - (16.08.2018)

2.2. Rijit Üstyapı

Üzerine gelen trafik yüklerini kendi rijitliği ile taşıyan üstyapı türüdür. Beton kaplama olarak adlandırılırlar. Bu kaplama türünün performansı, onu oluşturan beton plaklar ve alttemel veya temel tabakalarına bağlıdır. Dolayısıyla bu kaplama türünün performansına, bu tabakalarda kullanılan beton malzemesinin özellikleri doğrudan etki eder.

2.2.1. Kaplama tabakası

Kaplama betonları, diğer yapı betonlarından farklı olarak trafik ve çevre etkilerine maruz kalırlar. Bu bakımdan bu betonların imalatı özel şartlar çerçevesinde gerçekleştirilir. Normal bir kaplama betonu için bazı durumların göz önüne alınmaları şarttır. Beton yol, tahmin edilen trafik yükü, tekerrür sayısı gibi hususlara karşı direnç gösterebilmeli ve çekme, yorulma mukavemetlerine sahip olmalıdır. Yapılan yol, dış etkenlerin aşındırma etkilerine karşı koyabilmek için yüksek durabiliteye sahip olmalıdır. Yeterli dayanıklılığı sağlamak amacıyla beton içerisinde yüksek miktarda çimento ve az miktarda su katarak su/çimento oranını düşük tutmak gerekir. Ayrıca kayma mukavemetini düşük tutmak amacıyla beton içerisindeki kum miktarı minimumda tutulmalıdır. Yeterli bir eğilme ve çekme direnci sağlamak, kullanılan agreganın yüksek kalitede olmasına bağlıdır. Serim işlemi sırasında asfalt betonundakinin aksine betonun işlenebilirliği düşük olmalıdır. Soğuk iklim koşullarında, donma ve çözünme etkilerine karşı dayanıklı olması da aranan nitelikler arasındadır.

2.2.2. Zemin ve alttemel tabakaları

Beton kaplama tabakasının, trafik yüklerinden oluşacak gerilmelere karşı dirençli olması gerektiği kadar beton kaplamanın altındaki zeminde çevre ve trafik şartlarına karşı stabil ve üniform bir davranış göstermesi şarttır. Stabil ve üniform bir desteğin amacı, beton kaplamanın her noktasında sabit ve yeterli bir taban dayanımının sürekliliğini sağlamaktır. Bu nedenle taban zemini iyileştirilmeli ve kaplama tabakası ile zemin arasına yüksek granüler malzeme konulmalıdır. Kaplama altına yapılacak temel ve alttemel tabakasının genel amaçları şunlardır;

- Kaplama tabakası için uygun bir yüzey oluşturmak,
- Drenajı sağlamak,
- Don kabarmalarına karşı koymak,
- Zemindeki şişme ve büzölmelere karşı koymak,
- Zeminden gelecek çamurun yüzeye yapacağı pompaj etkisini önlemek.

2.2.3. Beton kaplama kusurları

Beton kaplamalar iyi tasarlanır ve inşa edilirse, birkaç yılda bir derz dolgularını yenilemek ve kayma dirençlerini iyileştirmek amacıyla yapılan tamiratlar hariç neredeyse hiçbir onarıma ihtiyaç duymazlar. Bu, rijit üstyapıların esnek üstyapılardan ayıran temel özelliklerden biridir. Bu durum ancak tasarım ve inşa sırasında yapılacak hatalar, beton yolların hizmet ömrü süresince sorunlu olmasını sağlayacak bu da yolun esnek üstyapılara göre oldukça maliyetli olmasına neden olacaktır.

Beton kaplamalarda da gerek trafik etkileri gerekse çevre koşulları ve imalat hataları nedeniyle bazı kusurlar oluşur. Bunlar farklı kusurlar olduğu gibi, bir kısmı da esnek kaplama kusurlarıyla benzerlik gösterir. Beton kaplamalarda oluşan kusurlar;

- Çatlaklar,
- Yüzeysel kusurlar,
- Çukurlar,
- Burulmalar,
- Su birikintileri veya yüzey drenajının yetersiz olması,
- Renk farklılıkları,
- Oturmalar ve köşe kırıkları,
- Derz bozulmaları olarak sıralanır (Tunç, 2004).

2.3.Beton ve Asfalt Yol Uygulamaları

Tarihte ilk defa Romalılar tarafından M.Ö. 1. yüzyılda kullanılan beton, yollardaki taşların bağlayıcı maddesiydi.

19. yüzyıl sonlarında Amerika Birleşik Devletleri'nin Ohio eyaletinde bir sokakta kullanılan beton, tarihin ilk beton yolunu oluşturmuştur. Ancak zamanla zemin problemleri yaşanması ile 1920'li yıllarda tasarım ilkelerine sahip ilk beton yollar yapılmaya başlanmıştır. (Türkiye Hazır Beton Birliği, 2003).

Beton yolların hız kazanması; 1933 yılında Almanya'nın askeri birliklerinin hızlı ve güvenli bir şekilde transferlerini sağlamak ve bunu sağlarken aynı zamanda da istihdam sağlamak amacıyla yapılan beton otoyollar sayesinde gerçekleşmiştir. 1960 ve 70'lerde ABD'de 70 bin km ye ulaşan beton yol ağı beton yolların popülaritesini arttırmış, Belçika ve Japonya'da da kullanılmaya başlanmıştır (Türkiye Hazır Beton Birliği, 2003).

Beton yollar, asfalt yollarda kullanılan asfalt betonu aksine çimento betonu kullanılarak yapılmış yollardır. Aslında bu tür yollara adını veren yolun kaplaması olan betondur. Bu kaplamalar hafif, orta ve ağır trafik yoğunluğu olan yollarda kullanılabilir. Kaplamaların genel özelliği olarak, betonun buradaki görevi de üzerine gelen tekerlek yüklerini tabana yaymak ve tabanın deforme olmasına engel olmaktır.

Yol yapımında kullanılacak olan betondan istenilen özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yüksek kayma direnimine ve düşük yuvarlanma sahip olmalı,
- Agregaların sağlanacağı kaynaklar belirlenip, kalite kontrolünün yapılması;
- Kullanılacak beton tasarımına karar verilmesi,
- Beton dökümünden trafiğe açılana kadarki sürede uygulanacak olan serme, mastarlama, pürüzlendirme, derz kesimi gibi işlemlerde iyi bir işçilik gerektirmesi,
- Beton yolların atmosferik şartlara açık saha betonu olması nedeniyle soğuk ve sıcak havada beton döküm şartlarına ve kür koşullarına dikkat edilmesi.

2.4. Türkiye’de Beton Yol Uygulamaları

1950 yılında kurulmuş KGM sorumluluğundaki otoyolların tamamı Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) kaplamalıdır. Bu sebeple ülkemizde asfalt yol yapımına dair belirgin bir tecrübe mevcuttur. Ayrıca ucuz bitüm de sağlanabilmiştir. Bunun da etkisi ile tüm karayolları düşünüldüğünde; günümüzde beton kaplamalı yolların oranı sadece %6’dır.

İncirlik Üssü içerisindeki pist ve yollarda (Şekil 2.4) beton kaplamalar kullanılması, Adana Büyükşehir Belediyesi tarafından yakından takip edilmiş ve 1985 - 1990 yılları arasında benimsenen Yeni Adana Projesi dahilinde bazı bulvarlarda (Şekil 2.5) uygulanmıştır. Bu yollar günümüzde halen hizmet vermektedir (Ecevit, 2007).



Şekil 2.4. İncirlik hava üssü çevre güvenlik yolu beton dökümü(Ecevit, 2007).



Şekil 2.5. Adana, Mavi bulvar beton yolu(Ecevit, 2007).

Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği tarafından Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM)'nin onayını olarak Afyonkarahisar - Emirdağ arasındaki 2 kilometrelik deneme alanında 28 Mayıs 2004 yılında yapımına başlanan beton yol (Şekil 2.6ve Şekil 2.7), Türkiye'de yapılmış olan ilk beton yol uygulamasıdır. Yapımı 6 ay sürmüş olan beton yol, 17 Haziran 2004 yılında tamamlanmış ve günümüzde halen herhangi bir bakım veya tadilat gerektirmeden kullanılmaya devam etmektedir. Servis ömrü ise Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'nce en az 25 yıl olarak belirtilmiştir.



Şekil 2.6. Kaplama yüzeyinin masterlanması(Yeniboğanlı, 2010)



Şekil 2.7. Kür uygulaması(Yeniboğanlı, 2010)

Teknik bağlamda Afyonkarahisar - Emirdağ yol ayrımının 5+700 ve 7+700 km arasında boyuna eğilme derzli olarak yapılmış olan 7.50 m genişliğindeki yolda; plağı ortalayarak ve bağlantı donatılarına dik şekilde bırakılmış derzler (Şekil 2.8) bulunmaktadır. Daha sonrasında ise 1-2 mm olan derz kalınlıkları 25 mm derinliğe kadar 7 - 8 mm'ye çıkarılmıştır.



Şekil 2.8. Derz kesimi(Yeniboğanlı, 2010)

Bir diğer deneme amaçlı olarak yapılmış olan yol İstanbul'da bulunmaktadır.Yine TÇMB ve KGM arasında imzalanan protokol ile belirlenen bu kesim; Hasdal Kavşağı - Kemerburgaz Ayrımı - Yassıören Devlet Yolu'nun 39+900 ve 43+504 km'leri arasında kalan, Kemerburgaz ayrımına doğru sağ tek taşıt yönü (Şekil 2.9 ve Şekil 2.10) olan yol yaklaşık 3,50 km dir. Yolun 40+000 ile 42+500 km'leri arası 5 cm asfalt ve 27 cm beton, 42+500 ve 43+500 km'lerinde ise 32 cm beton kaplama kullanılmıştır. 1 Mayıs 2006'da inşasına başlananyolun, 10 Ağustos 2006'da geçici kabulü yapılmıştır (Yeniboğanlı, 2010).



Şekil 2.9. Kayma demirleri(Akpınar, 2014)



Şekil 2.10. Kürleme İşlemi(Akpınar, 2014)

Türkiye’de çimento sektörünün önde gelen firmalarından biri olan Çimsa, Eskişehir’deki fabrikasının önünden geçen (Şekil 2.11 ve Şekil 2.12) Eskişehir - Bursa karayolunun yaklaşık 2 km’lik kısmını, yoldaki taşıt trafiğini rahatlatmak ve fabrikasına giriş - çıkış yapan ağır vasıta araçlarına güvenli bir yol sunmak amacıyla beton yol ile değiştirmiştir



Şekil 2.11. Kayma demirleri yerleştiriliyor(Gülen Şahin ve ark., 2016).



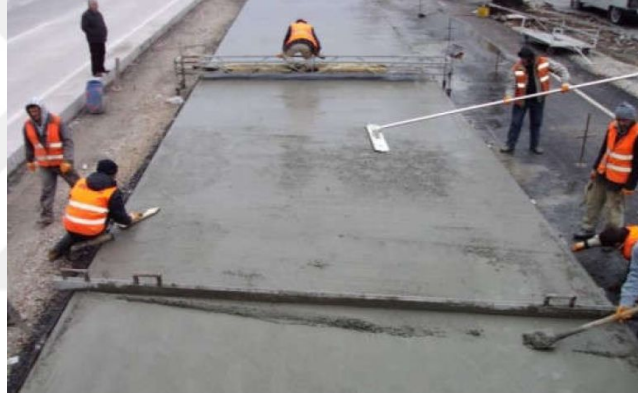
Şekil 2.12.Kür uygulaması(Gülen Şahin ve ark., 2016).

2007 yılında KGM ve Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN) arasında imzalanan protokol ile Ordu - Ulubey devlet yolunun 5+000 - 6+000 km'leri arasında çift yönlü olarak beton yol deneme kesimi yapılmıştır. Beton yolun 700 m'lik kısmında bor katkılı çimento ve geri kalan 300 m'lik kısmında ise katkısız çimento kullanılmış ve plak kalınlığı 28 cm olarak imal edilmiştir. Bu yol bölünmüş yolun bir tarafına yapılmış, böylece beton yol ve mevcut sathi kaplamalı yolun karşılaştırılması amaçlanmıştır (KGM Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, 2018). Şekil 2.13'te görünen yol tekerlek izlerinden dolayı asfalt izlenimi vermektedir.



Şekil 2.13. Ordu - Ulubey yolu, beton yol kesimi(İHA, 2019)

2009 yılında KGM'nin üstyapısını projelendirdiği, beton dizaynını ve imalatını kendi yaptığı ilk beton yol uygulaması; Kocaeli - Karamürsel şehir geçişi arasındaki 2.50 km uzunluğundaki bölünmüş yolda (gidiş - geliş toplam 5 km) gerçekleşmiştir. İzmit - Yalova D-130 devlet yolunun 38+400 - 40+000 km'leri arasındaki 1.6 km'lik kesimde uygulanan beton yolun altyapısı, mevcut bitümlü sıcak kaplamanın kaldırılıp, terasman kotuna kadar taş dolgu yapılarak elde edilmiştir. Bu uygulamada 20 cm plentmiks temel üzerine, 6 cm binder tabakası ve 30 cm beton kaplaması serilmiştir (Abut ve Çankaya, 2016). Şekil 2.14. ve Şekil 2.15'te temastarlama ve derz kesimi görülmektedir.



Şekil 2.14. Kocaeli - Karamürsel beton yol kesimi temastarlanması (Abut, 2018)



Şekil 2.15. Derz kesimi (Abut, 2018)

Türkiye'nin ilk silindir ile sıkıştırılmış beton (SSB) yolu ise 2009 yılında Antalya Büyükşehir Belediyesi tarafından toplam 150 m boyunca yapılmıştır (Şekil 2.16). Bu yol, 20 cm temele, 10 cm alttemele, 19 cm SSB ve 4 cm asfalt tabakadan oluşmakta ve 4 kesim halinde yapılmıştır.



Şekil 2.16. Antalya'lı beton yol çalışması(Yaman ve Ceylan, 2015)

2009 yılında Antalya'daki uygulamanın etkisi ile aynı yıl SSB yol yapımına (Şekil 2.17) başlayan Denizli Belediyesi, 15 cm kalınlığında poroz beton üstüne parke taşı uygulamıştır. 2011 yılında ise şehrin ara sokaklarında poroz beton uygulaması yaparken, ana caddelerde ise çelik lifli SSB yol yapılmıştır (Yaman ve Ceylan, 2013).



Şekil 2.17. Denizli beton yol çalışması(Yaman ve Ceylan, 2015)

2.5. Beton Yol Yapım Aşamaları

Beton yolun yapım aşamaları (Ağar ve ark.,1998)'agöre dokuza ayrılır. Bu aşamalar en başından itibaren büyük önem arz etmektedir. Bunun nedeni ise, ilk aşamada yapılacak olan en küçük bir hatanın, ileride çok büyük problemlere sebep olabileceğidir.

2.5.1.Taban zemininin ve alttemelin hazırlanması

Taban zemini, beton kaplamayı ve bunun üstüne gelecek olan trafik yüklerini taşır. Taban zemininin bu yükleri bozulmadan taşıyabilmesi için iyice sıkıştırılması gerekmektedir. Bu işlem için de silindirler kullanılır. ± 6 mm toleransla tesviye edilen alttemel, enkesit ve boykesit olarak kontrol şablonu ile kontrol edilmektedir. Taban zeminin üzerine gelen yükleri üniform bir şekilde taşıması, kaplamada herhangi bir çatlağa veya kaymaya neden olmaması açısından alttemel seviyesi derece önemlidir. Bu yüzden taban zemininin her yerinde aynı malzemenin kullanılması ve aynı sertlikte olması gerekmektedir. Bu işleme, yol üzerinde yer alacak herhangi bir menfez, kanal gibi sanat yapılarının dolgularında da dikkat etmek gerekir.

Taban zemininin beton döküleceği sıradaki nem doygunluğu büyük önem arz etmektedir. Çok kuru ise betonun suyunu emecek ve rötre çatlakları oluşacak, çok nemli ise taban zemini çamur haline gelecektir. Bu nedenle taban zeminin, beton dökümünden önceki gece ıslatılması uygun olur. Ayrıca beton dökümünden önce zemine serilecek bir branda, beton kaybının da önüne geçecektir.

2.5.2.Kalıpların yerleştirilmesi

Kalıplar, dökülmüş olan ıslak betonun hareketini sınırlamak ve beton plaklar arası lamba-zıvanalı yüzey oluşmasını sağlamak amacıyla kullanılır. Devrilen, yerinden oynayan, oturan kalıplar bitmiş betonda kötü bir manzaraya ve kaliteye sebep olur.

Çelik kalıplar yerleştirilirken, önce bir doğrultu belirlenir, daha sonrasında belirli aralıklarla kazıklar çekilerek, aynı kotta ilerleyecek şekilde ip veya ince çelik halat gerilir. Daha sonrasında ise bu iplere teğet olacak şekilde kalıbın kazıkları çakılır ve sıradaki kalıplar ilk kalıp baz alınarak yerleştirilmeye devam eder.

2.5.3.Betonun hazırlanması

Beton üretimi için sahaya vagonlar veya kamyonlar ile getirilen malzemelerin plentte kullanılmasının yanı sıra hazır beton da kullanılır. Döküm alanına çağırılan godeli hazır beton mikseri, servis yolu olmadığı sürece, düzenlenen taban zemini üzerinde gideceğinden, tesviyesi iyi yapılmayan veya iyice sıkılaştırılmayan tabanda bozukluklara sebep olabilir. Bu yüzden üzerinde kendi bomu olan transmikserler ile beton dökülmesi daha sağlıklı olacaktır.

Beton dökerken hava sıcaklığı her zaman önemli bir kriter olmuştur. Mevcut şartnameler beton dökümündeki maksimum sıcaklığı vermemektedir ancak +40°C'den daha sıcak havalarda beton dökülmemesi önerilmektedir böylece betonun çabuk priz alıp kılcal çatlaklarının artması önlenir. Ayrıca +5°C'den düşük hava sıcaklıklarında ise beton prizinin alamama ihtimaline karşın yine beton dökümü önerilmemektedir.

2.5.4.Betonun ve donatısının yerleştirilmesi

Donatılı yollarda, donatının alt kotuna kadar olan yükseklikte beton dökülür, daha sonrasında ise beton kurumadan donatılar indirilir ve betonlanmaya devam edilir böylece beton katmanları arasında soğuk derz oluşumu önlenmiş olur.

2.5.5.Genleşme derzinin yapımı

Enine genleşme derzlerinin, kaplama yüzeyine tam dik olmasına özen gösterilmelidir. Ayrıca derz dolgu malzemesinin daima hazırda tutulması gerekir, aksi takdirde dolgu uygulanana kadar derz arasına kaçacak küçük bir beton parçası, genleşme anında kama gibi çalışarak betonu çatlatacaktır.

Beton dökümünden sonra açılacak olan derzlerde, betonun priz başlangıcında kesmeye dikkat edilmelidir, geç kalırsa kesme işlemi zorlaşır ve çatlaklar meydana gelebilir.

2.5.6.Beton yolun sıkıştırılması ve tesviyesi

Sıkıştırma

Kullanılan vibratörler beton yolun serim tekniğine göre değişmektedir. Küçük işlerde veya yolun ayrı plaklar şeklinde döküldüğü teknikte klasik vibratörler veya yüzey vibratörleri kullanılırken, finişerlerin kullanıldığı teknikte finişerindahili vibratörü kullanılmaktadır.

Tesviye

Yol yapımında olabildiğince elle tesviyeye izin verilmemdir. Tesviye makineleri kullanılmaktadır. Tesviye makinesi istenilen kottan 1 - 2 cm daha yüksek bir kotta serilmiş olan beton yüzeyde ilerler ve mastarı yardımıyla önündeki betonu bir nebze sıkıştırır ve arkasından gelen araç sayesinde yüksek kotta dökülen beton da istenen kota indirilmiş olur.

Yol Yüzeyinin pürüzlendirilmesi

Her türlü yol kaplamasında olduğu gibi beton yollarda da yolun taşıtların kaymasını önlemeleri ve fren mesafesini azaltması için pürüzlendirme yapılması gerekmektedir. Bu yüzden beton yolun yapımı, servis ömrü ve bakımı sırasında belirli pürüzlendirme yöntemleri ile yuvarlanma katsayısı artırılmadan kayma sürtünme katsayısı artırılmaktadır.

Betonun Korunması

Betonun döküldükten sonraki ilk 72 saatte ıslak tutulması kırılma modülünü %20 ve aşınma direncini %35 oranında artırır. Bu yüzden ilk üç gün betonun ıslak tutulmasına özen gösterilmelidir. Bunun için genellikle sıcak havalarda, betonun üzerine branda veya şilte serilerek ıslatılır. Suyun ulaşılması zor olduğu yerlerde dökülen betonlarda ise, kalsiyum klorür kullanılabilir. Bu betonun havadan nem çekebilmesini sağlar. Bunun için ise bitmiş yola önce branda örtülür, prizini alan betonun brandası kaldırılarak kalsiyum klorür yüzeye serilir.

+5°C altındaki hava sıcaklıklarında dökülecek olan betonda ısıtılmış agrega, sıcak su ve yüksek ilk dirençli çimento kullanılması gerekmektedir. Çimentonun sertleşmesini sağlayan kimyasal tepkimeler +5°C ve +20°C'ler arasında gerçekleşir, ancak beton

uygun bir sıcaklıkta döküldüğü ve ortaya çıkan ısının bünyede tutulduğu sürece, priz alma süreci herhangi bir sıcaklıkta gerçekleşebilir.

Yolun Trafiğe Açılması

Birçok ülkede, yol betonunun dökümü sırasında alınan numuneler aynı ortamda saklanır ve 7 - 8 gün sonra kontrol edilir. Betonun kırılma direncinin 30 kg/cm^2 'yi bulması, ağır trafiğe maruz kalacaksa 35 kg/cm^2 'yi bulması beklenir (Ağar ve ark., 1998).

2.5.7. Beton Yolların Avantajları

Beton yolların çevreci olduğu hem Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB) hem de Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB) tarafından birçok yayında belirtilmiştir. TÇMB, European Concrete Pavement Association (EUPAVE) kaynaklı bir çevirisinde beton yolun CO₂ emisyonu azaltılmasını sağladığını belirtmektedir. Ayrıca çevreye zararlı olmadığı belirtilmekte (EUPAVE, 2018), ve aynı zamanda THBB ise yapım ve uygulama aşamalarında beton yolların daha az çevre kirliliğine neden olduğu belirtilmektedir. (Türkiye Hazır Beton Birliği, 2003). Çevreci veya çevre dostu tabiri içinde birçok etmen bulundurabilir. Bunlardan biri de bu yol kaplamalarının servis ömürleri boyunca neden oldukları sera gazı ve toz emisyonlarıdır. Bu çalışmanın amacı iki kaplama türünü bu yönden incelemek ve karşılaştırmak olup, karşılaştırmayı karışım malzemelerinin üretimi, karışımların hazırlanması, kaplamanın serilmesi ve servis ömrü boyunca bakım - onarımı olarak detaylandırarak sunmaktır. Bu şekilde kaplamaların avantajlarının farklı süreçlere göre değerlendirilebilmesi amaçlanmaktadır. Beton yolların avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Bakım ve onarım işlemleri asfalt kaplamalara çok daha seyrek.
- Yüksek taşıma gücü sayesinde aynı trafik yükünde asfalt kaplamalara göre daha az kaplama kalınlığı gerektirir.

- Yüksek mikrodokusu sayesinde daha kısa fren mesafesi sağlar ve yüksek kayma direnimi sayesinde daha düşük su kızıağı etkisine sahiptir.
- Özellikle ülkemizde yük taşımacılığının %90 oranında karayolu ile yapılması nedeniyle asfalt kaplamalı yollarda sıkça görülen kalıcı deformasyonlar (tekerlek izi, ondülasyon, yığışma vb.) beton yollarda gözlenmez.
- Uygun sıcaklık aralığında (+5°C - 32°C) ve geliştirilen katkıları sayesinde her mevsimde uygulanabilir. Ancak soğuk iklimde erken dayanımı yüksek beton üretilmesi durumunda başlangıç dayanımı yüksek olsa da nihai dayanımı daha düşük olması söz konusudur (Baradan, ve ark., 2015)
- Açık renkli olması dolayısıyla insan, hayvan ve taşıtların gece görünebilirliğini artırır.
- Diğer kaplama türlerine göre daha uzun ömürlüdür.
- Düşük yuvarlanma direnimi sayesinde yakıttan ve lastik ömründen tasarruf sağlar (Kozak, 2011) ve yüksek kaymaya direnimi sayesinde daha kısa fren mesafesi ve daha dik eğimlere uygulanma olanağı sağlar.

2.5.8. Beton yolların dezavantajları

- Açık renkli olduklarından özellikle güneşli havalarda göz kamaşmasına sebep olabilir, bunun yaşanmaması için betona boya karıştırılabilirse de maliyeti etkilediğinden kullanımı çok yaygın değildir.
- Derzli donatılı ve derzlidonatsız uygulamalarda derzler ve drenaj amaçlı açılan ince kanallar sebebiyle tekerlek gürültüsü yapabilir, sarsıntıya sebep olabilir (Kozak, 2011). Sürekli donatılı uygulamalarda bu problemler görülmemektedir.
- Kayma demiri yerleştirilirken, dokulu yüzey oluşturulurken ve derz kesimi yapılırken ince işçilik ve zamana ihtiyaç duyulması.
- Trafik altında çalışmaya uygun değildir, bakım - onarım sırasında servis yolu gerektirebilir (Topal, 2010).
- Bakım - onarım çalışmaları uzun süreli ve maliyetlidir. Altyapı çalışmaları için kaplamanın kırılması gereklidir.
- Yolun trafiğe açılması için beton kaplamanın belirli bir dayanıma ulaşması beklenmelidir.

2.6. Asfalt Yollar ve Uygulamaları

Asfalt kullanımının başladığı 5000 yılı aşkın süredir geçirimsizliği sağlayan bir inşaat malzemesidir. Ancak asfaltın yol inşaatında kullanılmaya başlanması çok da eski tarihlere dayanmamaktadır. 100 yıl öncesinde yollarda taşıtların kaldırdığı tozu önlemek amacıyla kullanılmaya başlanan asfaltın ilk plenti 1920 - 1930 yılları arasında işletmeye alınmıştır (Türkiye Asfalt Mütcaahhitleri Derneği, a,b).

Türkiye'deki ilk asfalt kaplama uygulamaları Osmanlı döneminde gerçekleşmiş ve Fransızlardan yardım alınmıştır. Cumhuriyet döneminde ise ilk uygulamalar 1929'da başlamış ve Marshall Teknik Yardımı sayesinde 1948'ten itibaren yaygınlaştırılmış ve sonunda 1950 yılında KGM kurulmuştur (Türkiye Asfalt Mütcaahhitleri Derneği, a,b).

Otomotiv, yolcu ve yük taşıma sektörünün gelişmesi ile birlikte gün geçtikçe artan karayolu ağı 1950 yılında 9.500 km iken, 2019 yılında 67.333 km'ye ulaşmıştır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2018a).

70'li yılların sonunda KGM'nin teşviki sayesinde BSK üretim ve uygulamasına geçen ve makine parkını bu yönde oluşturan mütcaahhitler aktivite alanlarına asfaltı da eklemiştir (Türkiye Asfalt Mütcaahhitleri Derneği, a,b).

2000'li yılların başında toplumsal bir yara haline gelen trafik kazalarını, can ve mal kaybını azaltmak ve güvenliği sağlamak amacıyla yapımı planlanan 15.000 km'lik bölünmüş yolların öncelikli 6.000 km'sinin yapımına 2003 yılında başlanmıştır (Türkiye Asfalt Mütcaahhitleri Derneği, a,b).

2007 yılı itibarı ile 63.899 km uzunluğundaki karayolu ağının %93'ü asfalt kaplamalıdır. Asfalt kaplamalı bu yolların ise %78'i sathi kaplama iken sadece %15'inde belirli bir stabiliteye sahip olan BSK kullanılmıştır. 1.987 km otoyol, 9.258 km bölünmüş yol ve il yolu standardında iken bu yolların %34'ü BSK kaplamalıdır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2018b).

2019 yılı itibarı ile 67.333 km uzunluğundaki karayolu ağının %94'ü asfalt kaplamalıdır. Asfalt kaplamalı bu yolların ise %62'si sathi kaplama iken sadece %38'inde belirli bir stabiliteye sahip olan BSK kullanılmıştır. 2.159 km'si otoyol, 20.475 km si bölünmüş yol ve 1.796 km si il yolu standardında iken bu yolların toplamda %36'sı BSK kaplamalıdır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2018b).

2.6.1.Türkiye’de bitümlü bağlayıcıların kullanıldığı yol kaplamaları

Asfalt yolların yapısını ve özelliklerini anlayabilmek için öncelikle bitümlü bağlayıcıları ve asfaltın üretimini incelemek gereklidir. Asfalt kaplamalar kullanım şekilleri ve alanlarına göre 3 grupta incelenebilir.

Sathi kaplamalar

Sathi kaplamalar düşük trafik yükü olan yollarda kaplama tabakası olarak kullanılmaktadır. Tercih nedenlerinin başında düşük maliyetine rağmen yüksek kayma direnci gelmektedir. Bozulmuş kaplamaların bakım - onarım çalışmalarında kullanılmasının yanı sıra hizmete açılması düşünülen granüler temel tabakalarına da geçici olarak bir kaplama olarak kullanılmaktadır. Trafik, mevcut yol yüzeyi, mıcır gradasyonu, püskürtülen bitümlü bağlayıcı oranı ve çevre koşulları sathi kaplamalarının performansını önemli düzeyde belirleyen etmenlerdir.

Ilık Karışımlar

Bitümlü karışım performansından taviz vermeden, üretim sıcaklığının; kullanılan yakıt ve açığa çıkan emisyonların düşürülmesi amacıyla en az 20 - 30°C azaltılması ile elde edilmiştir. Karışımın üretimi sırasındaki sıcaklığın 10°C düşürülmesi, açığa çıkan emisyonun % 50 azalmasına neden olacağından hak ettiği önemi görmeye başlamıştır.

Bitümlü Sıcak Karışımlar

Orta ve ağır trafikli yollarda, yükleri taşımak, tabana yaymak ve alttaki tabakaları doğa koşullarına karşı korumak amacıyla kullanılmaktadır. Bu karışımlar sıcak agreganın, ısıtılmış asfalt çimentosu ile karıştırılması ile elde edilir ve bu nedenle sathi kaplamaya göre maliyeti çok daha yüksektir. Bu nedenle kendinden istenen belirli koşulları sağlaması için stabilite, durabilite, geçirimsizlik, işlenebilirlik, esneklik, yorulmaya direnci ve kayma direnci gibi özellikleri yeterince yerine getirmesi gerekmektedir.

2.7.Türkiye’de Asfalt Yol Uygulamaları

Ülkemizde asfalt üretimi 1955 yılında kurulan Batman Petrol Rafinerisi ile başlamış ve Mersin, Aliağa, İzmit ve Kırıkkale rafineleri ile devam etmiştir. Buna rağmen ülkemizde kullanılan ham petrolün büyük bir oranı yurt dışından ithal edilmektedir.

Ülkemiz yol ağı uzunluklarına bakıldığında ise karayolunun yolcu ve yük taşımacılığı için ilk tercih olmasına rağmen, ülke büyüklüğüne oranı açısından birçok ülkenin gerisinde kalmaktadır. 2017 istatistiklerine göre karayolları; yolcu taşımacılığında %88,8, yük taşımacılığında ise %90’lık bir orana sahiptir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2018b).

1950’li yıllarda benimsenen kalkınma modeli sayesinde başta İstanbul olmak üzere büyük şehirler hızlı bir şekilde göç almaya başlamış, böylece çarpık kentleşme sorunu baş göstermiştir. Buna paralel olarak artan ulaşım ve taşımacılık ihtiyacı ise KGM’nin kuruluşuna ve karayolları ağının genişlemesine sebep olmuştur (Şenol, 2010).

2.7.1.Bitümlü sıcak karışım yüzeylerin hazırlanması

Sıcak karışım asfaltın performansı, üstyapı tabakalarının serileceği yüzeyin durumuyla direkt ilişkilidir. Tamamının asfalt tabakalarından oluştuğu üstyapı tipinde, eğer taban zeminin durumu zayıf ise, yolun nihai ömrü önemli derecede düşebilir. Yeni bağlayıcısızgranüler temel tabakasının üzerine serilecek olan sıcak karışım asfalt tabakaları için, temel malzemesi stabil ve yüzeyi kuru olmalıdır. Yüzey, serici veya karışımı taşıyan kamyonlarca bozulmuş olmamalıdır. Mevcut asfalt kaplamanın üstüne serilecek olan karışımlar için ise, yüzey iyi bir şekilde hazırlanmalıdır: Çukurlar doldurulmalı, çatlaklar dolgu malzemesi ile yalıtılmalı ve yüzey temizlenmelidir. Ayrıca, mevcut üstyapı yüzeyi ile yeni serilecek asfalt arasındaki bağlantıyı sağlamak için yapıştırma tabakası kullanılmalıdır.

2.7.2.Sıcak karışım asfalt kaplamalar için alt tabakaların hazırlanması

Üstyapı Tabanı

Asfalt kaplama direkt olarak üstyapı tabanı üzerine serilecekse, bu taban malzemesi, su içeriği, yoğunluk, yapısal dayanım açısından uygun şartlara sahip olmalı ve kaplamanın uygulanabilmesi için belli bir yüzey düzgünlüğünü de sağlaması gereklidir. Bir üst tabakanın serimi için üstyapı tabanının hazır olduğu saptandıktan sonra ve serim başlamadan önce, oluşturulan üstyapı tabanının inşaat trafiğinin ağırlığını taşıyabilecek güçte olup olmadığı ayrıca kontrol edilmelidir. Asfalt serimi başlamadan önce, mutlaka sağlam bir üstyapı tabanı teşkil edilmelidir. Serim işlemi sırasında tabanda bozulmalar oluşursa, taban düzeltilinceye kadar asfalt serimi durdurulmalıdır.

Genellikle üstyapı tabanı üzerine bitüm emülsiyonu veya sıvı petrol asfalttan yapılan bir astar tabakası sermeye gerek yoktur. Ancak, özellikle üstyapı tabanında kullanılan toprak siltli kil veya kil olduğu zaman astar uygulaması doğru olur. Çünkü astar

malzemesi taban toprağı tarafından absorbe edilemez. Kumlu taban zeminleri üzerine astar tabakası kullanımının gerekliliğı halen tartışılmaktadır. Nakliye kamyonlarının tekerlekleri altında aşırı derecede kumlu malzeme bulunması halinde tabanın gerekli yük taşıma özelliklerini sağlayabilmesi için, serimden önce taban toprağının bağlayıcı malzemelerin bazı tipleriyle stabil hale getirilmesi gereklidir. Bu tür durumlarda, serim işlemi sırasında kumlu zemini yerinde tutmak için astar tabakası genellikle yeterli olmayacaktır. Astar ancak iyi bir şekilde hazırlanmış taban zemininin üzerinde kullanılabilir. Asfalt tabakası yeni veya mevcut bir bağlayıcı granüler temel tabakası üzerine direkt olarak inşa edilecekse, bu temel malzemesi, su içeriğı, yoğunluk ve yapısal dayanım açısından gerekli şartları sağlamalı ve serilecek tabakaya düzgün bir yüzey oluşturmalıdır. Eğer granüler malzeme şartları uygun değilse, serim için uygun koşullar sağlanıncaya kadar temel tabakası stabil hale getirilmelidir.

Astar, temel tabakasını korumak ve serimden önce yağmur esnasında aşırı derecede su emmesini önlemek amacıyla kullanılan geçici bir sızdırmazlık tabakasıdır. Asıl amacı altındaki malzemeyi nemli havadan korumaktır. Yağmur yağmadan önce alttaki malzeme asfalt tabakası ile kaplanabilirse, astar uygulamasına gerek yoktur. Bir astar uygulamasında, serim başlamadan en az 48 saat önce bitümlü malzeme, bir distribütör ile temel tabakası üzerine yayılır. Genellikle bir sıvı petrol asfaltı (MC 30 veya MC 70) astar malzemesi olarak kullanılır. Ayrıca, bitüm emülsiyonu da başarıyla uygulanabilir. Temel tabakası yüzeyinin gözenekliliğine bağlı olarak uygulama hızı değiştirilmelidir. Genellikle uygulama hızı, çok sıkı bir yüzey için $0,65 \text{ lt/m}^2$ veya daha az, çok gözenekli bir yüzey için ise 1.8 lt/m^2 'ye kadar artmaktadır. Çok fazla astar malzemesi uygulanmamalıdır, serilen astar malzemesi granüler temel malzemesince 24 saat içinde tam olarak absorbe edilebilmelidir. Astar malzemesinin hepsi tam olarak absorbe edilmemişse, fazla astar malzemesi kum ile kurutulmalı veya ortadan kaldırılmalıdır.

Bitümlü Sıcak Karışımların Serimi

Serme işleminin yolun plan, profil ve kesitlerine uygun olarak tekerlekli veya paletli sericilerle (finişer) yapılmaktadır. Sericiler çekici ve serici ünitelerinden oluşur. Çekici ünitesi, sıcak karışım asfaltı hazneye boşaltan kamyonu iter ve serici ünitesini çeker. Kamyonlar, malzemenin dorseye yapışmaması için, plentte yüklenmeden önce yağlanmalıdır. Serim işleminin sürekli olabilmesi için yanaşan kamyon ve finişerin birbirlerine olabildiğince yakın ve aynı hızda gitmesi gereklidir. Makine ile serilmesi mümkün olmayan yerlerde malzeme elle serilmektedir. İstenen kaplama özelliklerinde imalat yapmak için finişerlerde kalınlık, eğim ayarları, duyargalar ve vibratör bulunmaktadır. Vibrasyonun frekansı, malzemeyi karıştıran bıçakların çalışma hızı, malzeme tipi, sıcaklığı ve serme hızı optimum olduğu sürece sıkışmanın %80 - 95'i tamamlanabilmektedir.

Bitümlü Sıcak Karışımların Sıkıştırılması

Sıkıştırma dolgu ve kaplama aşamasında büyük önem arz eder. Bu aşamalarda yapılan hatalar etkisini uzun vadede ancak dramatik olarak gösterir. Sıkıştırmaya; karışımın viskozitesi, ısısı, sıkıştırma ekipmanının tipi, tabaka kalınlığı, asfalt yüzdesi gibi etmenler büyük etkide bulunmaktadır.

Sıkıştırma ekipmanı olarak demir bandajlı silindir, lastik tekerlekli silindir ve vibrasyonlu silindir olmak üzere üç yaygın silindir kullanılmaktadır. Silindirlerin her bir noktaya eşit sıkıştırma uygulayabilmesi için operatörlerin belli bir düzen tatbik etmesi gerekmektedir.

2.7.3. Asfalt yolların avantajları

- Trafik için düzgün ve gürültüsüz bir yüzeye sahiptir.
- Kuru yolda yüksek kayma sürtünme katsayısına sahiptir.
- Üstten gelen yükü alt tabakalara yayarak iletir.
- Geçirimsiz yüzey sağlar.
- Kademeli inşaata uygundur.
- Bakım-onarım trafik altında yapıldığından servis yolu gerektirmez.
- Yapım ve onarımdan hemen sonra trafiğe açılabilir.
- Bilgi ve ekipman açısından ülkemizde yeterli deneyime sahip olunmuştur.
- Uygulaması ve bakım-onarımı kolaydır.

2.7.4. Asfalt yolların dezavantajları

- Viskoelastik özelliği sayesinde ağır trafik yükleri altında ve sıcak iklim koşullarında viskoz davranış göstererek kalıcı deformasyona uğrar.
- Koyu rengi nedeniyle gece görüş zorluğu yaratır
- Ülkemizde özellikle soğuk ve yağışlı iklime sahip bölgelerde inşaat mevsimi kısadır.
- Asfalt kaplamaların bağlayıcısı olan bitümün üretildiği petrol, büyük oranda ithal edilmektedir.
- Rafinerilerin konumları itibariyle nakliye mesafe ve maliyetleri fazladır.
- Bağlayıcının viskozitesinin düşürülmesi için ısıtma zorunluluğu olması nedeniyle fazla enerjiye gerek duyar ve yüksek ısılara çıktığında yanma ve parlama riski vardır.
- Taşıtlardan sızabilecek olan yakıt, yağ ve kimyasal maddeler yol yüzeyine düşerek bitümün bağlayıcılık özelliklerinin azalmasına sebep olup, kaplamaya zarar vermektedir (Türkiye Asfalt Mütahhitleri Derneği, a.,b). Özellikle düşük aşınma dayanımına sahip agregalar kullanılması durumunda cilalanmaya uğrayarak makrodokusu kaybolur ve özellikle yağışlı havalarda su kızıağına neden olarak fren mesafesi artar. Bu durum sürüş güvenliğini azaltır.
- Beton yollara göre yuvarlanma direncinin yüksek olması sebebiyle araçların yakıt tüketimini artırır.

3. MATERYAL veYÖNTEM

3.1. Yöntem

3.1.1. 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 aşağıda açıklanmıştır.

3.1.2. Trafik

Bu çalışmada 3 ayrı trafik grubu değerlendirilmiştir. Trafığın değerlendirilmesi, standart dingil yükünün tekerrür sayısı ($T_{8.2}$) olarak yapılmıştır. 5×10^6 , 15×10^6 ve 25×10^6 standart dingil yükü tekerrürleri alınarak oluşturulan 3 grup, hafif ve ağır taşıt trafiğini temsil etmektedir.

3.1.3. Taban zemininin taşıma gücü (CBR)

CBR, proje kalınlıklarının hesaplanmasına esas olan ve proje kalınlıklarının uygulanacağı yol kesiminde bulunan, zemin yapısına bağlı olarak değişkenlik gösteren zemin taşıma gücü değeridir. Güzergah üzerinde açılan birçok araştırma çukurundan elde edilen CBR deneyi sonuçlarının dağılımına göre Proje Esneklik Modülü M_R değeri belirlenir.

Üstyapı tabanının üstyapı projelendirilmesine esas olan taşıma gücü esneklik modülü M_R değeri ile tanımlanır. Esneklik modülü deneyiyle (AASHTO-T307) ya da aşağıda ki formül ile zemin parametrelerine bağlı olarak belirlenir.

Esneklik modülü granüler malzemelerde, zemin yapısı, su içeriği ve gerilme koşullarına bağlı olduğundan, her üstyapı tabakasında farklılık göstermektedir. Karayolları Genel Müdürlüğü Üstyapı Şubesi Müdürlüğü'nde Türkiye'nin farklı bölgelerinden her cins malzemeyi temsil edecek şekilde alınan temel, alttemel ve taban zemini numunelerine esneklik modülü deneyi yapılmış olup, elde edilen deney sonuçları istatistiksel yöntemlerle analiz edilerek granüler malzemelerin esneklik modülü için aşağıda verilen genel formül elde edilmiştir.

$$M_R = 1750 \cdot (D_{BSK} + K)^{0,436} \cdot CBR^{0,4} \cdot \left(\frac{1}{1 + \log(N_{o200})} \right)^{0,35(LL \cdot PI +)^{0,06}} \cdot \left(\frac{\gamma_{maks}^2}{N_o} \right)^{0,09 \log(\omega_{opt})} \quad (3.1)$$

Burada;

- M_R : Esneklik modülü, psi
- D_{BSK} : Bitümlü sıcak karışım kaplamalarının toplam kalınlığı, cm
- CBR : Kaliforniya taşıma oranı, %
- ω_{opt} : Optimum rutubet, %
- γ_{maks} : Maksimum kuru birim hacim ağırlık, g/cm³
- LL : Likit limit, %
- PI : Plastisite indeksi, %
- N_{o200} : 200 nolu elekten geçen malzeme yüzdesi
- N_{o4} : 4 nolu elekten geçen malzeme yüzdesi
- k : Derinlik düzeltme faktörü, cm

Tez çalışması kapsamında daha önceden karayollarında araştırma çalışması yapılan (Hafik-Celalli) Ayrımı – (Bolucan-Beypınarı) Ayrımı Yolu araştırma çalışmaları kapsamında açılmış bir araştırma çukuru deney sonuçlarından, 1 adet deney setinin CBR deney sonuçları değiştirilip farklı M_R değerleri elde edilerek, 3 farklı taban zemini düşünülmüş, buna göre taban zemini taşıma gücü olarak kötü CBR%3, orta CBR%15 ve iyi CBR%40 değerleri alınmıştır. Burada da amaç yine iyi ve kötü zemin durumlarında avantajlı olan üstyapı tipini ortaya çıkarmaktır. Seçilen CBR değerlerine istinaden formül (3.1) e göre bulunan Proje Esneklik Modülü (M_R) değerleri çizelge 3.1 de verilmektedir.

Çizelge3.1. Proje esneklik modülü (M_R) değerleri

ÖrnekNo	Elek Analizi		Atterberg Limitleri		Proctor		CBR Deneyi		M_R psi
	No. 4 Geçen %	No. 200 Geçen %	LL %	PI %	Wopt %	γ_{max}	Şişme %	CBR %	
ÖRN-1	97,37	58,97	33,9	12,1	17,3	1,74	0,82	3	5275
ÖRN-2	97,37	58,97	33,9	12,1	17,3	1,74	0,82	15	13692
ÖRN-3	97,37	58,97	33,9	12,1	17,3	1,74	0,82	40	14865

3.1.4. 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.

3.1.5. 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.

3.2. Üstyapı kalınlıklarının belirlenmesi

AASHTO(Amerikan Karayolları Sınıflandırma Sistemi) 1986 yılında bu kapsamda bir proje rehberi çıkarmıştır. Üstyapı performansını CBR yerine esneklik modülü(M_R)ile ilişkilendirmenin daha doğru olacağı ortaya koymuştur. Böylece tekrarlı yükler altında yol üstyapısının elastiklik modülü tanımlanmıştır. Aynı zamanda bu esneklik modülü, üstyapı tabakalarının yük dağıtabilme kapasitelerinin bir ölçüsüdür. Projenin M_R değeri, tabaka kalınlıklarının hesaplanmasında esas olarak alınan değerdir.

En sade haliyle (dinamik yük altında) esneklik modülü=maksimum gerilme/maksimum birim şekil değiştirme olarak tanımlanabilir. Üstyapıyı oluşturan bileşenler elastik değildir bu nedenle, yük uygulandıktan sonra oluşan deformasyonların bir kısmı kalacaktır. Ancak üstyapıyı oluşturan malzemenin dayanımı, trafik yükünden büyük olduğu durumda, deformasyonların elastik sınırlar içerisinde kalacağını görürüz.

3.2.1 Esnek üstyapı kalınlıklarının belirlenmesi (BSK)

Önceki kısımlarda belirtildiği üzere proje süresi için hesaplanan standart dingil tekerrür sayısına ve diğer parametrelere göre bulunan üstyapı sayısını gerçek kalınlığa dönüştürmek için Tablo3.2 kullanılmaktadır. Tablo 3.2'den de görüleceği üzere üstyapı tabakaları bitümlü sıcak karışım ve plentmix tabakalarını içermektedir. Alttemel tabakası kalınlıkları ise değişik esneklik modülü (M_R) değerlerine göre bu tablolarda kum, çakıl, alttemel ve kırmataşalttemel alternatifleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Önceki bölümde seçilen tasarım parametrelerine göre kalınlık hesabı yapılmış, değişken Proje M_R ve trafik tekerrür sayılarına göre bulunan kalınlıklar aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Maliyetanalizleri yapılırken bu tablolardan faydalanılmıştır.

Tablo 3.2. R=%95 Güvenilirlik için asfalt betonu kaplamalı yollarda uygulanacak üstyapı kalınlıkları

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

Formül (3.1)'e göre hesaplanan, Çizelge 3.1'de verilen Proje esneklik modülü (M_R) değerleri ve trafik kategorilerine göre Tablo 3.2'den üstyapı tabakaları kalınlıkları belirlenir.

Belirlenen üstyapı tabaka kalınlıkları Çizelge 3.2, Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.2. $T_{8.2} = 5 \times 10^6$ trafik yoğunluğundaki 3 farklı zeminin esnek üstyapı kalınlıkları

Trafik Kategorileri ve Proje M_R Değeri	Üstyapı Tabakaları	Tabaka Kalınlıkları
$T_{8.2} = 5 \times 10^6$ $M_R = 5275$	Aşınma (cm)	5
	Binder (cm)	6
	Bitümlü temel (cm)	8
	Plentmix temel (cm)	15
	Plentmixalttemel (cm)	30
$T_{8.2} = 5 \times 10^6$ $M_R = 13692$	Aşınma (cm)	5
	Binder (cm)	6
	Bitümlü temel (cm)	8
	Plentmix temel (cm)	15
	Plentmixalttemel (cm)	15
$T_{8.2} = 5 \times 10^6$ $M_R = 14865$	Aşınma (cm)	5
	Binder (cm)	6
	Bitümlü temel (cm)	8
	Plentmix temel (cm)	15
	Plentmixalttemel (cm)	-

Çizelge 3.3. $T_{8.2} = 15 \times 10^6$ trafik yoğunluğunda ki 3 farklı zeminin esnek üstyapı kalınlıkları

Trafik Kategorileri ve Proje M_R Değeri	Üstyapı Tabakaları	Tabaka Kalınlıkları
$T_{8.2} = 15 \times 10^6$ $M_R = 5275$	Aşınma (cm)	5
	Binder (cm)	7
	Bitümlü temel (cm)	8
	Plentmix temel (cm)	15
	Plentmixalttemel (cm)	30
$T_{8.2} = 15 \times 10^6$ $M_R = 13692$	Aşınma (cm)	5
	Binder (cm)	7
	Bitümlü temel (cm)	8
	Plentmix temel (cm)	15
	Plentmixalttemel (cm)	15
$T_{8.2} = 15 \times 10^6$ $M_R = 14865$	Aşınma (cm)	5
	Binder (cm)	7
	Bitümlü temel (cm)	8
	Plentmix temel (cm)	15
	Plentmixalttemel (cm)	-

Çizelge 3.4. $T_{8.2} = 25 \times 10^6$ trafik yoğunluğundaki 3 farklı zeminin esnek üstyapı kalınlıkları

Trafik Kategorileri ve Proje M_R Değeri	Üstyapı Tabakaları	Tabaka Kalınlıkları
$T_{8.2} = 25 \times 10^6$ $M_R = 5275$	Aşınma (cm)	5
	Binder (cm)	7
	Bitümlü temel (cm)	9
	Plentmix temel (cm)	15
	Plentmixalttemel (cm)	30
$T_{8.2} = 25 \times 10^6$ $M_R = 13692$	Aşınma (cm)	5
	Binder (cm)	7
	Bitümlü temel (cm)	9
	Plentmix temel (cm)	15
	Plentmixalttemel (cm)	15
$T_{8.2} = 25 \times 10^6$ $M_R = 14865$	Aşınma (cm)	5
	Binder (cm)	7
	Bitümlü temel (cm)	9
	Plentmix temel (cm)	15
	Plentmixalttemel (cm)	-

3.2.2.Rijitüstyapı kalınlıklarının belirlenmesi (Beton Yol)

Beton yollar genel olarak üstyapı taban zemini üzerine yapılan beton plaklardan oluşur. Beton yolların projelendirilmesinde genel hedef; öngörülen analiz süresi boyunca kaplama üzerinden geçen trafiğin oluşturabileceği yüksek şiddetteki deformasyonlara, çatlamalara karşı güvenli bir şekilde oluşturulacak beton plak ile diğer üstyapı tasarımının ve üstyapıda kullanılacak malzemelerin özelliklerinin belirlenmesidir. Burada beton plağın görevi, betonun sağladığı rijit davranış vasıtasıyla trafikten gelen yükleri tabanın deforme olmayacağı bir değere indirgeyerek tabana iletmektir.

Tablo 3.3. R=%95 ve Beton sınıfı C30/37 için önerilen beton kaplama kalınlığı

Trafik Kategorileri(Milyon)		Beton Kaplama Kalınlığı (cm)
0	3,5	20
3,5	4,5	21
4,5	6	22
6	7,5	23
7,5	10	24
10	13	25
13	16,5	26
16,5	20,5	27
20,5	26	28
26	32,5	29
32,5	40	30

(Karayolları Genel Müdürlüğü, 2019).

Karayolları genel müdürlüğü, karayolları beton yol üstyapılar projelendirme rehberinde sunulan beton kaplama kalınlıkları Tablo 3.3'te verilmiştir. Tablo 3.3'te verilen trafik yoğunluğuna karşılık gelen beton kaplama kalınlıkları çizelge 3.5, çizelge 3.6 ve çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. $T_{8,2} = 5 \times 10^6$ trafik yoğunluğundaki 3 farklı zeminin rijit üstyapı kalınlıkları

Trafik Kategorileri ve Proje M_R Değeri	Üstyapı Tabakaları	Tabaka Kalınlıkları
$T_{8,2} = 5 \times 10^6$ $M_R = 5275$	Beton kaplama kalınlığı (cm)	22
	Plentmix temel (cm)	20
$T_{8,2} = 5 \times 10^6$ $M_R = 13692$	Beton kaplama kalınlığı (cm)	22
	Plentmix temel (cm)	20
$T_{8,2} = 5 \times 10^6$ $M_R = 14865$	Beton kaplama kalınlığı (cm)	22
	Plentmix temel (cm)	20

Çizelge 3.6. $T_{8.2} = 15 \times 10^6$ trafik yoğunluğundaki 3 farklı zeminin rijit üstyapı kalınlıkları

Trafik Kategorileri ve Proje M_R Değeri	Üstyapı Tabakaları	Tabaka Kalınlıkları
$T_{8.2} = 15 \times 10^6$ $M_R = 5275$	Beton kaplama kalınlığı (cm)	26
	Plentmix temel (cm)	20
$T_{8.2} = 15 \times 10^6$ $M_R = 13692$	Beton kaplama kalınlığı (cm)	26
	Plentmix temel (cm)	20
$T_{8.2} = 15 \times 10^6$ $M_R = 14865$	Beton kaplama kalınlığı (cm)	26
	Plentmix temel (cm)	20

Çizelge 3.7. $T_{8.2} = 25 \times 10^6$ trafik yoğunluğundaki 3 farklı zeminin rijit üstyapı kalınlıkları

Trafik Kategorileri ve Proje M_R Değeri	Üstyapı Tabakaları	Tabaka Kalınlıkları
$T_{8.2} = 25 \times 10^6$ $M_R = 5275$	Beton kaplama kalınlığı (cm)	28
	Plentmix temel (cm)	20
$T_{8.2} = 25 \times 10^6$ $M_R = 13692$	Beton kaplama kalınlığı (cm)	28
	Plentmix temel (cm)	20
$T_{8.2} = 25 \times 10^6$ $M_R = 14865$	Beton kaplama kalınlığı (cm)	28
	Plentmix temel (cm)	20

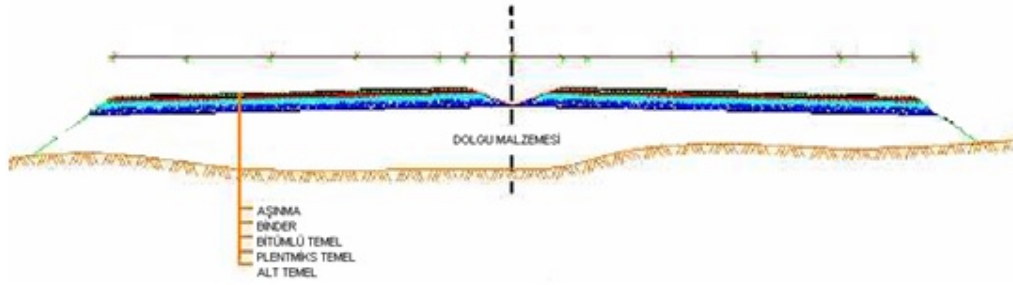
Bu çalışmada 10 km'lik 3 tane beton yol keşif özeti ve hazırlanmıştır. Bu keşif özetleri hazırlanırken betonun tabaka kalınlıkları, plentmiks temel kalınlığı, trafik yoğunlukları ve zemin taşıma gücü değerleri gibi parametreler değişirken; yolun platform genişliği, beton sınıfı, beton dozajı ve P_t değerleri sabit tutulmuştur. Çalışmanın amacı maliyet yönünden karşılaştırma olduğundan bazı parametreler sabit bazıları değişken tutulmuştur.

3.3. Rijit ve Esnek Kaplama Maliyetlerinin Karşılaştırılması

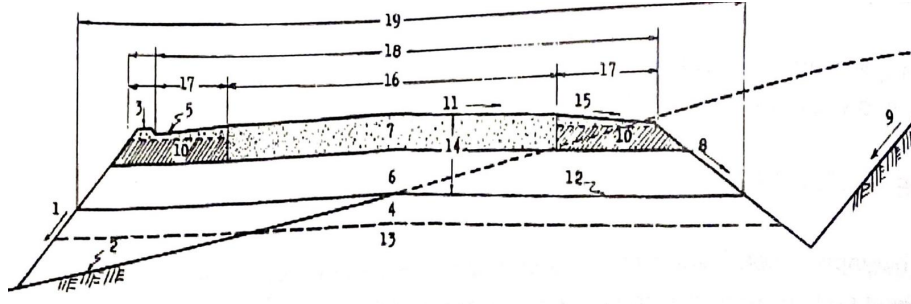
Rijit (beton) ve Esnek (BSK) kaplamaların ilk yapım maliyetlerinin karşılaştırılması amacıyla; 22 metre kaplama ve 7 metre banket genişliği olmak üzere toplam 29 metre platform genişliğine sahip 10 km'lik bir yolun taban zemini ve trafik yoğunluğu faktörlerinin değiştirilmesi ve buna bağlı olarak değişen üstyapı kalınlıkları neticesinde oluşan 12 farklı ilk yapım maliyeti aşağıdaki çizelgelerde sunulmuştur.

Yapılan araştırmada karayolları beton yol üstyapılar projelendirme rehberine göre beton kaplama kalınlığının yalnızca trafik yoğunluğuna bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Bu sebeple 3 farklı trafik yoğunluğu ele alındığından dolayı beton yollar için üç farklı ilk yapım maliyeti hazırlanmıştır.

Esnek üstyapılar (BSK) için yine 3 farklı trafik yoğunluğu ve 3 farklı üstyapı taban zemini durumuna göre toplamda 9 farklı ilk yapım maliyeti hazırlanmıştır.



Şekil 3.1. Sıcak karışım asfalt kaplamalı yolun en kesiti



- | | |
|---------------------------|--|
| 1- Dolgu Şevi | 11- Yolun Enine Eğimi |
| 2- Doğal Zemin | 12- Taban Yüzeyi (Tasviye Yüzeyi) |
| 3- Eşik | 13- Yol Gövdesi (Taban Zemin) |
| 4- Seçme Malzeme Tabakası | 14- Üst Yapı Proje Kalınlığı |
| 5- Banket Kaplaması | 15- Banket Eğimi |
| 6- Alt Temel | 16- Trafik Şeritleri Genişliği |
| 7- Rijit Plak | 17- Banket Genişliği |
| 8- Hendek Şevi | 18- Yol Genişliği (Platform Genişliği) |
| 9- Yarma Şevi | 19- Üst Yapı Taban Genişliği |
| 10- Banket Temeli | |

Şekil 3.2. Beton kaplamalı yol tip enkesiti(Karayolları Genel Müdürlüğü, 2019).

Çizelge 3.8. Beton kaplamalı 10 km'lik yolun keşif özeti
(Beton kalınlığı=22cm, $T_{8.2} = 5 \times 10^6$)

Sıra No	İşin Cinsi	Miktar	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
1	Plentmiks temel yapılması (Astarsız) ($T_{8.2} = 5 \times 10^6$ CBR= %3Pt=2)	58.000	m ³	33,46 TL	1.940.680,00 TL
2	Beton yapımı+işçilik+kür	63.800	m ³	300,00 TL	19.140.000,00 TL
3	Kalın demir zati bedeli +demir işçiliği	82	ton	3.200,00 TL	262.400,00 TL
4	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M=2 km	58.000	m ³	3,73 TL	216.340,00 TL
5	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	58.000	m ³	10,05 TL	582.900,00 TL
6	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi M=25 km	58.000	m ³	13,47 TL	781.260,00 TL
7	Temel için su nakli M=13 km	2.600	ton	5,85 TL	15.210,00 TL
8	Demirin yükleme, boşaltma ve nakli M=90 km	82	ton	22,36 TL	1.833,52 TL
TOPLAM					22.940.623,52 TL

Çizelge 3.9. Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti
(Beton kalınlığı=26cm, $T_{8,2} = 15 \times 10^6$)

Sıra No	İşin Cinsi	Miktar	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
1	Plentmiks temel yapılması (Astarsız) ($T_{8,2} = 15 \times 10^6 P_t = 2$)	58.000	m ³	33,46 TL	1.940.680,00 TL
2	Beton yapımı+işçilik+kür	75.400	m ³	300,00 TL	22.620.000,00 TL
3	Kalın demir zati bedeli +demir işçiliği	82	ton	3.200,00 TL	262.400,00 TL
4	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M=2 km	58.000	m ³	3,73 TL	216.340,00 TL
5	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	58.000	m ³	10,05 TL	582.900,00 TL
6	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi M=25 km	58.000	m ³	13,47 TL	781.260,00 TL
7	Temel için su nakli M=13 km	2.600	ton	5,85 TL	15.210,00 TL
8	Demirin yükleme, boşaltma ve nakli M=90 km	82	ton	22,36 TL	1.833,52 TL
TOPLAM					26.420.623,52 TL

Çizelge 3.10. Beton kaplamalı 10km'lik yolun keşif özeti
(Beton kalınlığı=26cm, $T_{8,2} = 25 \times 10^6$)

Sıra No	İşin Cinsi	Miktar	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
1	Plentmiks temel yapılması (Astarsız) ($T_{8,2} = 0.5 \times 10^6 P_t = 2$)	58.000	m ³	33,46 TL	1.940.680,00 TL
2	Beton yapımı+işçilik+kür	81.200	m ³	300,00 TL	24.360.000,00 TL
3	Kalın demir zati bedeli +demir işçiliği	82	ton	3.200,00 TL	262.400,00 TL
4	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M=2 km	58.000	m ³	3,73 TL	216.340,00 TL
5	Temelin konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	58.000	m ³	10,05 TL	582.900,00 TL
6	Temelin plent-serim yeri arası nakliyesi M=25 km	58.000	m ³	13,47 TL	781.260,00 TL
7	Temel için su nakli M=13 km	2.600	ton	5,85 TL	15.210,00 TL
8	Demirin yükleme, boşaltma ve nakli M=90 km	82	ton	22,36 TL	1.833,52 TL
TOPLAM					28.160.623,52 TL

Çizelge 3.11. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km'lik yolun keşif özeti
($T_{8,2} = 5 \times 10^6$, $R=1$, $CBR = \%3$, $Pt=2$, $MR = 5275$)

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
$T_{8,2} = 5 \times 10^6$ $R=1$ $CBR = \%3$ $Pt=2$ $M_R = 5275$		Aşınma =5 cm binder =6cm Bitümlü Temel = 8cm Plentmiks temel=15cm Alttemel=15 cm			
1	Alttemel yapılması	87.000	m ³	7,93 TL	689.910,00 TL
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	43.500	m ³	33,46 TL	1.455.510,00 TL
	Bitümlü Temel Tabaksı Yapılması	290.000	m ²	11,10 TL	3.219.000,00 TL
3	Binder Yapılması	290.000	m ²	8,81 TL	2.554.900,00 TL
4	Aşınma Yapılması	290.000	m ²	7,51 TL	2.177.900,00 TL
5	Bitümün zati bedeli (AC 50/70)	1.160	ton	1.600,00 TL	1.856.000,00 TL
8	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 2 km	94.540	ton	2,33 TL	220.278,20 TL
9	Alttemel Nakli M=25 km	87.000	m ³	8,42 TL	732.540,00 TL
10	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi M=25 km	98.600	m ³	8,42 TL	830.212,00 TL
11	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	98.600	m ³	5,85 TL	576.810,00 TL
12	Bitümün nakli (AC 50/70) M=250	1.160	ton	56,66 TL	65.725,60 TL
TOPLAM					14.378.785,80 TL

Çizelge 3.12. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km'lik yolun keşif özeti
($T_{8,2} = 5 \times 10^6$, $R=1$, $CBR = \%15$, $Pt=2$, $M_R = 13692$)

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
$T_{8,2} = 5 \times 10^6$ $R=1$ $CBR = \%15$ $Pt=2$ $M_R = 13692$		Aşınma =5 cm binder =6cm Bitümlü Temel = 8cm Plentmiks temel=15cm Alttemel=15 cm			
1	Alttemel yapılması	43.500	m ³	7,93 TL	344.955,00 TL
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	43.500	m ³	33,46 TL	1.455.510,00 TL
	Bitümlü Temel Tabaksı Yapılması	290.000	m ²	11,10 TL	3.219.000,00 TL
3	Binder Yapılması	290.000	m ²	8,81 TL	2.554.900,00 TL
4	Aşınma Yapılması	290.000	m ²	7,51 TL	2.177.900,00 TL
5	Bitümün zati bedeli (AC 50/70)	1.160	ton	1.600,00 TL	1.856.000,00 TL
8	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 2 km	94.540	ton	2,33 TL	220.278,20 TL
9	Alttemel Nakli M=25 km	43.500	m ³	8,42 TL	366.270,00 TL
10	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi M=25 km	98.600	m ³	8,42 TL	830.212,00 TL
11	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	98.600	m ³	5,85 TL	576.810,00 TL
12	Bitümün nakli (AC 50/70) M=250	1.160	ton	56,66 TL	65.725,60 TL
TOPLAM					13.667.560,80 TL

Çizelge 3.13. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km'lik yolun keşif özeti
($T_{8,2} = 5 \times 10^6$, $R=1$, $CBR = \%40$, $Pt=2$, $MR = 14865$)

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
$T_{8,2} = 5 \times 10^6$ $R=1$ $CBR = \%40$ $Pt=2$ $M_R = 14865$		Aşınma =5 cm binder =6cm Bitümlü Temel = 8cm Plentmiks temel=15cm Alttemel=15 cm			
1	Alttemel yapılması	0	m ³	7,93 TL	0,00 TL
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	43.500	m ³	33,46 TL	1.455.510,00 TL
	Bitümlü Temel Tabaksı Yapılması	290.000	m ²	11,10 TL	3.219.000,00 TL
3	Binder Yapılması	290.000	m ²	8,81 TL	2.554.900,00 TL
4	Aşınma Yapılması	290.000	m ²	7,51 TL	2.177.900,00 TL
5	Bitümün zati bedeli (AC 50/70)	1.160	ton	1.600,00 TL	1.856.000,00 TL
8	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 2 km	94.540	ton	2,33 TL	220.278,20 TL
9	Alttemel Nakli M=25 km	0	m ³	8,42 TL	0,00 TL
10	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi M=25 km	98.600	m ³	8,42 TL	830.212,00 TL
11	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	98.600	m ³	5,85 TL	576.810,00 TL
12	Bitümün nakli (AC 50/70) M=250	1.160	ton	56,66 TL	65.725,60 TL
TOPLAM					12.956.335,80 TL

Çizelge 3.14. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km'lik yolun keşif özeti
($T_{8,2} = 15 \times 10^6$, $R=1$, $CBR = \%3$, $Pt=2$, $MR = 5275$)

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
$T_{8,2} = 15 \times 10^6$ $R=1$ $CBR = \%3$ $Pt=2$ $M_R = 5275$		Aşınma =5 cm binder =7cm Bitümlü Temel = 8cm Plentmiks temel=15cm Alttemel=30 cm			
1	Alttemel yapılması	87.000	m ³	7,93 TL	689.910,00 TL
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	43.500	m ³	33,46 TL	1.455.510,00 TL
	Bitümlü Temel Tabaksı Yapılması	290.000	m ²	11,10 TL	3.219.000,00 TL
3	Binder Yapılması	290.000	m ²	10,23 TL	2.966.700,00 TL
4	Aşınma Yapılması	290.000	m ²	7,51 TL	2.177.900,00 TL
5	Bitümün zati bedeli (AC 50/70)	1.160	ton	1.600,00 TL	1.856.000,00 TL
8	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 2 km	94.540	ton	2,33 TL	220.278,20 TL
9	Alttemel Nakli M=25 km	87.000	m ³	8,42 TL	732.540,00 TL
10	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi M=25 km	101.500	m ³	8,42 TL	854.630,00 TL
11	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	101.500	m ³	5,85 TL	593.775,00 TL
12	Bitümün nakli (AC 50/70) M=250	1.160	ton	56,66 TL	65.725,60 TL
TOPLAM					14.831.968,80 TL

Çizelge 3.15. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km'lik yolun keşif özeti
($T_{8,2} = 15 \times 10^6$, $R=1$, $CBR= \%15$, $P_t=2$, $M_R = 13692$)

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
$T_{8,2} = 15 \times 10^6$ $R=1$ $CBR= \%15$ $P_t=2$ $M_R = 13692$		Aşınma =5 cm binder =7cm Bitümlü Temel = 8cm Plentmiks temel=15cm Alttemel=30 cm			
1	Alttemel yapılması	43.500	m ³	7,93 TL	344.955,00 TL
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	43.500	m ³	33,46 TL	1.455.510,00 TL
	Bitümlü Temel Tabaksı Yapılması	290.000	m ²	11,10 TL	3.219.000,00 TL
3	Binder Yapılması	290.000	m ²	10,23 TL	2.966.700,00 TL
4	Aşınma Yapılması	290.000	m ²	7,51 TL	2.177.900,00 TL
5	Bitümün zati bedeli (AC 50/70)	1.160	ton	1.600,00 TL	1.856.000,00 TL
8	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 2 km	94.540	ton	2,33 TL	220.278,20 TL
9	Alttemel Nakli M=25 km	43.500	m ³	8,42 TL	366.270,00 TL
10	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi M=25 km	101.500	m ³	8,42 TL	854.630,00 TL
11	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	101.500	m ³	5,85 TL	593.775,00 TL
12	Bitümün nakli (AC 50/70) M=250	1.160	ton	56,66 TL	65.725,60 TL
TOPLAM					14.120.743,80 TL

Çizelge 3.16. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km'lik yolun keşif özeti
($T_{8,2} = 15 \times 10^6$, $R=1$, $CBR = \%40$, $P_t=2$, $M_R = 14865$)

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
$T_{8,2} = 15 \times 10^6$ $R=1$ $CBR = \%40$ $P_t=2$ $M_R = 14865$		Aşınma =5 cm binder =7cm Bitümlü Temel = 8cm Plentmiks temel=15cm Alttemel=30 cm			
1	Alttemel yapılması	0	m ³	7,93 TL	0,00 TL
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	43.500	m ³	33,46 TL	1.455.510,00 TL
3	Bitümlü Temel Tabaksı Yapılması	290.000	m ²	11,10 TL	3.219.000,00 TL
4	Binder Yapılması	290.000	m ²	10,23 TL	2.966.700,00 TL
5	Aşınma Yapılması	290.000	m ²	7,51 TL	2.177.900,00 TL
6	Bitümün zati bedeli (AC 50/70)	1.160	ton	1.600,00 TL	1.856.000,00 TL
7	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 2 km	94.540	ton	2,33 TL	220.278,20 TL
8	Alttemel Nakli M=25 km	0	m ³	8,42 TL	0,00 TL
9	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi M=25 km	101.500	m ³	8,42 TL	854.630,00 TL
10	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	101.500	m ³	5,85 TL	593.775,00 TL
11	Bitümün nakli (AC 50/70) M=250	1.160	ton	56,66 TL	65.725,60 TL
TOPLAM					13.409.518,80 TL

Çizelge 3.17. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km'lik yolun keşif özeti
($T_{8,2} = 25 \times 10^6$, $R=1$, $CBR= \%3$, $Pt=2$, $MR = 5275$)

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
$T_{8,2} = 25 \times 10^6$ $R=1$ $CBR= \%3$ $Pt=2$ $M_R = 5275$		Aşınma =5 cm binder =7cm Bitümlü Temel = 9cm Plentmiks temel=15cm Alttemel=30 cm			
1	Alttemel yapılması	87.000	m ³	7,93 TL	689.910,00 TL
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	43.500	m ³	33,46 TL	1.455.510,00 TL
3	Bitümlü Temel Tabaksı Yapılması	290.000	m ²	12,18 TL	3.532.200,00 TL
4	Binder Yapılması	290.000	m ²	10,23 TL	2.966.700,00 TL
5	Aşınma Yapılması	290.000	m ²	7,51 TL	2.177.900,00 TL
6	Bitümün zati bedeli (AC 50/70)	1.160	ton	1.600,00 TL	1.856.000,00 TL
7	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 2 km	94.540	ton	2,33 TL	220.278,20 TL
8	Alttemel Nakli M=25 km	87.000	m ³	8,42 TL	732.540,00 TL
9	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi M=25 km	104.400	m ³	8,42 TL	879.048,00 TL
10	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	104.400	m ³	5,85 TL	610.740,00 TL
11	Bitümün nakli (AC 50/70) M=250	1.160	ton	56,66 TL	65.725,60 TL
TOPLAM					15.186.551,80 TL

Çizelge 3.18. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km'lik yolun keşif özeti
($T_{8,2} = 25 \times 10^6$, $R=1$, $CBR= \%15$, $P_t=2$, $M_R = 13692$)

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
$T_{8,2} = 25 \times 10^6$ $R=1$ $CBR= \%15$ $P_t=2$ $M_R = 13692$		Aşınma =5 cm binder =7cm Bitümlü Temel = 9cm Plentmiks temel=15cm Alttemel=30 cm			
1	Alttemel yapılması	43.500	m ³	7,93 TL	344.955,00 TL
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	43.500	m ³	33,46 TL	1.455.510,00 TL
3	Bitümlü Temel Tabaksı Yapılması	290.000	m ²	12,18 TL	3.532.200,00 TL
4	Binder Yapılması	290.000	m ²	10,23 TL	2.966.700,00 TL
5	Aşınma Yapılması	290.000	m ²	7,51 TL	2.177.900,00 TL
6	Bitümün zati bedeli (AC 50/70)	1.160	ton	1.600,00 TL	1.856.000,00 TL
7	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 2 km	94.540	ton	2,33 TL	220.278,20 TL
8	Alttemel Nakli M=25 km	43.500	m ³	8,42 TL	366.270,00 TL
9	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi M=25 km	104.400	m ³	8,42 TL	879.048,00 TL
10	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	104.400	m ³	5,85 TL	610.740,00 TL
11	Bitümün nakli (AC 50/70) M=250	1.160	ton	56,66 TL	65.725,60 TL
TOPLAM					14.475.326,80 TL

Çizelge 3.19. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km'lik yolun keşif özeti
($T_{8,2} = 25 \times 10^6$, $R=1$, $CBR= \%40$, $P_t=2$, $M_R = 14865$)

Sıra No	İşin Cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
$T_{8,2} = 25 \times 10^6$ $R=1$ $CBR= \%40$ $P_t=2$ $M_R = 14865$		Aşınma =5 cm binder =7cm Bitümlü Temel = 9cm Plentmiks temel=15cm Alttemel=30 cm			
1	Alttemel yapılması	0	m ³	7,93 TL	0,00 TL
2	Plentmiks temel yapılması (Astarsız)	43.500	m ³	33,46 TL	1.455.510,00 TL
3	Bitümlü Temel Tabaksı Yapılması	290.000	m ²	12,18 TL	3.532.200,00 TL
4	Binder Yapılması	290.000	m ²	10,23 TL	2.966.700,00 TL
5	Aşınma Yapılması	290.000	m ²	7,51 TL	2.177.900,00 TL
6	Bitümün zati bedeli (AC 50/70)	1.160	ton	1.600,00 TL	1.856.000,00 TL
7	Ocak-konkasör arası taş nakliyesi M= 2 km	94.540	ton	2,33 TL	220.278,20 TL
8	Alttemel Nakli M=25 km	0	m ³	8,42 TL	0,00 TL
9	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın plent-serim yeri arası nakliyesi M=25 km	104.400	m ³	8,42 TL	879.048,00 TL
10	Plentmiks temel, binder ve aşınmanın konkasör-plent arası nakliyesi M=15 km	104.400	m ³	5,85 TL	610.740,00 TL
11	Bitümün nakli (AC 50/70) M=250	1.160	ton	56,66 TL	65.725,60 TL
TOPLAM					13.764.101,80 TL

4. BULGULAR

Giriş bölümünde belirtildiği gibi, bu çalışmada beton ve asfalt yolların tercih kriterlerinin analizi incelenmiştir.

Bu amaçla, Çizelge 3.8, Çizelge 3.9 ve Çizelge 3.10'da 3 farklı trafik yoğunluğuna karşılık gelen beton kaplamalı 10km'lik 3 farklı yolun keşif özeti verilmiştir.

Çizelge 3.11, Çizelge 3.12, Çizelge 3.13, Çizelge 3.14, Çizelge 3.15, Çizelge 3.16, Çizelge 3.17, Çizelge 3.18 ve Çizelge 3.19'da trafik yoğunluklarına ve zeminin M_R değerine göre bitümlü sıcak karışım kaplamalı 10 km'lik 9 farklı kalınlıktaki yolun keşif özeti görülmektedir.

Hazırlanmış olan 10 km'lik 12 ayrı bu keşif özetlerinde; beton kaplamalı ve sıcak asfalt kaplamalı üstyapıların değişik trafik yoğunluklarında ($T_{8,2} = 5 \times 10^6 - 25 \times 10^6$) ilk yapım maliyetleri incelenmiştir.

Hazırlanmış bu keşif özetleri doğrultusunda, ilk yapım maliyetleri yönünden üstyapı tiplerinin (Sıcak karışım asfalt kaplama ve beton kaplama) maliyet karşılaştırılması yapılmıştır. Yapım maliyetleri karşılaştırılması yapılırken üstyapı tiplerinin tabaka kalınlıkları artarken buna bağlı olarak maliyetlerinin artış miktarları da incelenmiştir.

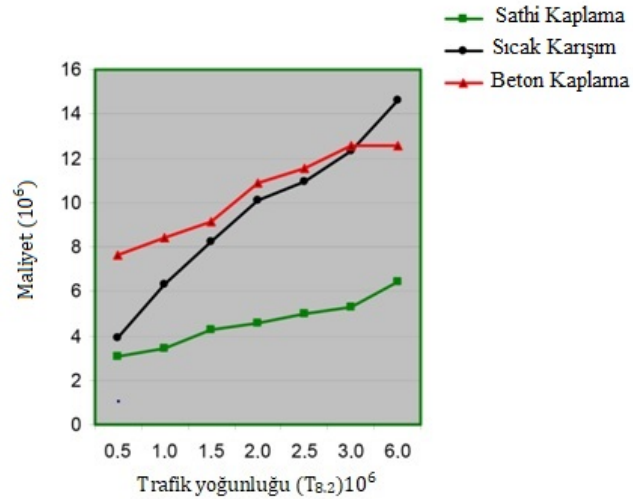
Beton kaplamalı üstyapılar ve asfalt kaplamalı üstyapıların ilk yapım maliyetleri hesaplanırken, uzun vadede hangi kaplama türünün daha cazip olduğunu görmek amacıyla bakım masraflarının yıllara göre değişimi Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

4.1. Kaplama Türlerinin İlk Yapım Maliyetleri

Sıcak karışım ve beton kaplama için ilk yapım maliyetleri çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge4.1. Kaplama türlerinin ilk yapım maliyetleri

Trafik Yoğunluğu($T_{8,2}$)	CBR	Sıcak Karışım Kaplama	Beton Kaplama
5 000 000	%3	13.764.101,80 TL	22.940.000,00 TL
15 000 000	%3	14.475.326,80 TL	26.420.000,00 TL
25 000 000	%3	15.186.551,80 TL	28.160.000,00 TL
5 000 000	%15	13.409.518,80 TL	22.940.000,00 TL
15 000 000	%15	14.120.743,80 TL	26.420.000,00 TL
25 000 000	%15	14.831.968,80 TL	28.160.000,00 TL
5 000 000	%40	12.956.335,80 TL	22.940.000,00 TL
15 000 000	%40	13.667.560,80 TL	26.420.000,00 TL
25 000 000	%40	14.378.785,80 TL	28.160.000,00 TL



Şekil 4.1. Trafik yoğunluğuna göre maliyet değişimi

1) Şekil 4.1’de görüldüğü gibi; düşük trafik yoğunluklarında yapım maliyeti en fazla olan beton kaplamalı yoldur. En ucuz olan da sathi kaplamalı yol çeşididir.

2) Trafik yoğunluğu arttıkça tüm kaplamalarda yapım maliyetleri doğru orantıda artmaktadır.

3) Sıcak karışım asfalt kaplamada ilk yapımda beton kaplamadan daha ucuz olmasına rağmen trafik yoğunluğu arttıkça aradaki bu fark kapanmakta ve $T_{8,2}=4.5 \times 10^6$ ’dan sonra da sıcak karışım asfalt kaplama daha pahalı olmaktadır.

Kaplama kalınlıkları hesaplanırken; karayolları beton yol üstyapılar projelendirme rehberi ve karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberinden yola çıkılarak zemin CBR ve M_R değerlerine göre ve yolun trafik yoğunluklarına göre çeşitlikaplama kalınlıkları belirlenmiştir. Buna göre;

1) Kaplama kalınlıkları arttıkça kaplama cinslerinin hepsinde de maliyetler doğru orantıda artmaktadır.

2) Sathi kaplama maliyetinin, bitümlü sıcak karışım kaplamaya göre daha uygun olmasının sebebi kalınlığının az olması ve sıcak karışımdan daha az bitümün kullanılmasıdır.

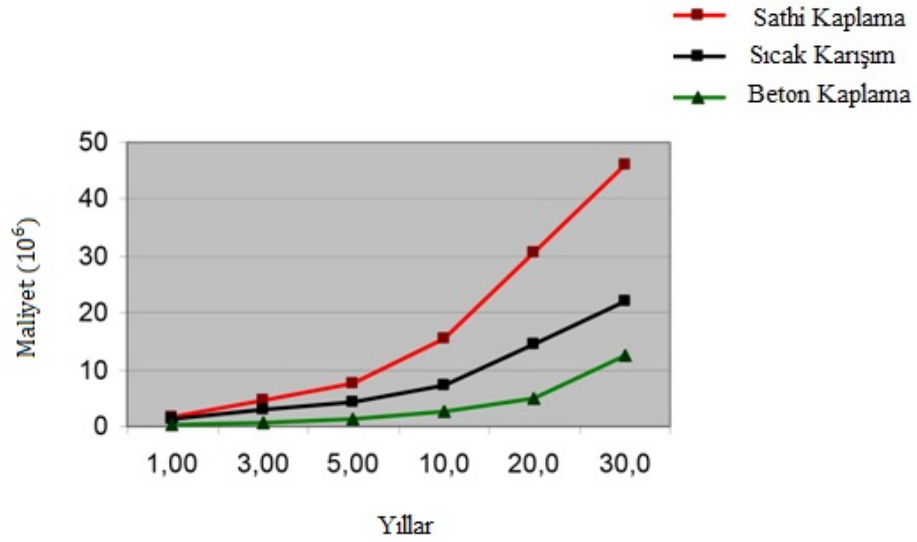
3) İlk yapım maliyeti de fazla olan beton kaplamalı yolda kaplama kalınlığı arttıkça buna bağlı olarak maliyet de artmaktadır.

4.2. Kaplama Türlerinin Yıllık Bakım Maliyetleri

Sathi kaplama, Sıcak karışım ve beton kaplama için yıllık bakım maliyetleri çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Yıllara göre bakım ve maliyet ilişkisi

Yıllar	Sathi Kaplama Bakım Masrafı		Sıcak Karışım Kaplama Bakım Masrafı		Beton Kaplama Bakım Masrafı	
	(%)	(TL)	(%)	(TL)	(%)	(TL)
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 4.2. Yıllara göre bakım ve maliyet ilişkisi

Şekil 4.2'den de anlaşılacağı gibi;

- 1) Bakım masrafı en fazla olan sathi kaplamalı üstyapı çeşididir.
- 2) Sıcak karşım 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.

4.3. Taşıma / Nakliye Maliyeti Analizi

Taşıma, Yapım İşleri Genel Teknik Şartnamesinde “yapı işlerinde kapsamda belirtilen ve tasdikli projesi gereği her türlü malzemenin buldukları yerden işyerine, dolguya, depoya nakledilmesi işi” olarak tanımlanmıştır.

Kazıdan çıkan malzemenin, ocaktan satın alınan veya üretilen malzemenin depo yeri olarak gösterilen bölgeye taşıma bedellerinin ne şekilde hesap edileceği ve dikkate alınacak birim hacim ağırlıkları yapım işleri genel şartnamesinde detaylı olarak belirtilmiştir.

Nakliye analizlerinde genellikle 10 km den uzak mesafeler ve 10 km den yakın mesafeler olmak üzere iki temel nakliye formülü kullanılmaktadır.

$$M > 10.000 \text{ m ise } F = 1,25 \times A \times Y \times 0,00017 \times \sqrt{M} \times K$$

$$M < 10.000 \text{ m ise } F = 1,25 \times A \times Y \times (0,00017 \times M + 0,001) \times K$$

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 temel in 30 km taşınması ne kadara mal olur?

Çözüm: A=1

Y= 1,6 ton/m³ 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

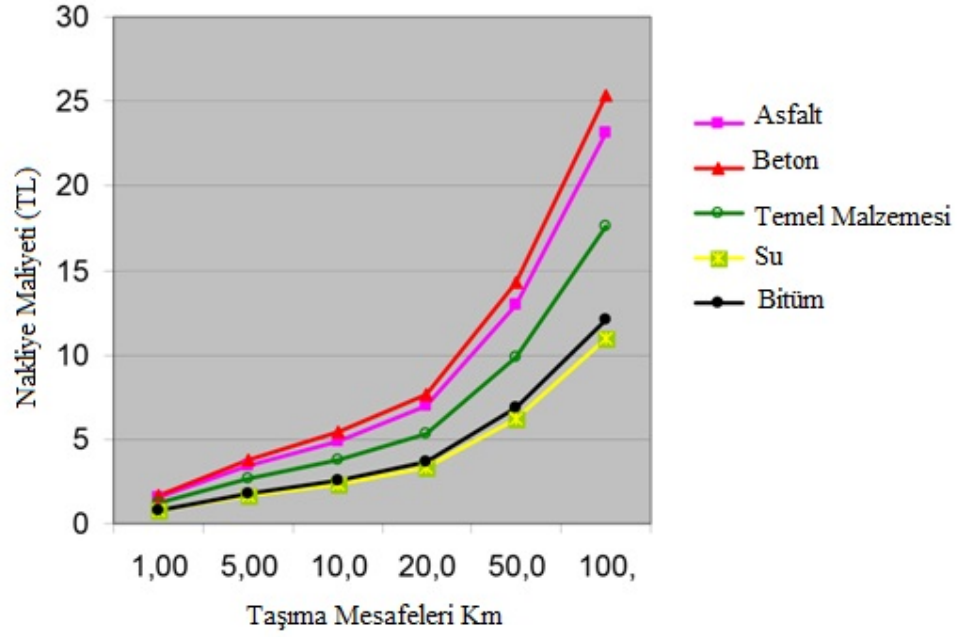
F = 6.47 x 30 = **194,1 TL**

Çizelge 4.3'te asfalt, beton, temel malzemesi, bitüm ve su için mesafeye bağlı olarak nakliye maliyetleri verilmiştir.

Çizelge 4.3. Taşıma mesafeleri ve maliyet ilişkisi

Mesafeler (Km)	Asfalt (TL/M ³)	Beton (TL/M ³)	Temel Malzemesi(TL/M ³)	Bitüm (TL/M ³)	Su (TL/M ³)
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/cm³ve su =1 kg/cm³ olarak alınmıştır.



Şekil 4.3. Taşıma mesafeleri ve maliyet ilişkisi

Şekil 4.3'ten de anlaşılacağı gibi; Taşıma mesafeleri arttıkça maliyet te artar. Burada taşıma mesafeleri ile maliyet arasında; lineer olmayan bir ilişki bulunmaktadır. Taşıma formülünde yoğunluğu fazla olan malzemenin taşıma maliyeti de daha çoktur. Bu yüzden taşıma maliyeti en fazla olan beton ve en az olan su dur.

5. SONUÇ

Asfalt kaplamalı üstyapılarla beton kaplamalı üstyapıların maliyetlerinin karşılaştırılması amacıyla bu çalışmada 3 farklı trafik yoğunluğu ve 3 farklı zemin çeşidi ele alınarak esnek ve rijit kaplamalı yolların ilk yapım maliyetleri karşılaştırılmıştır.

Yapılan bu çalışmada beton kaplama kalınlığının trafik yoğunluğu ile doğru orantılı bir şekilde arttığı görülmüştür, karayolları beton yol üstyapılar projelendirme rehberinde belirtildiği üzere zemin sınıfına bağlı olarak beton kaplama kalınlığında herhangi bir farklılık görülmemektedir.

Esnek kaplamalı üstyapıların ise zemin CBR değeri ve CBR değerine de bağlı olarak hesaplanan Proje esneklik modülü (M_R) değeri düştükçe kaplama kalınlığının arttığı ve trafik yoğunluğu arttıkça yine esnek kaplama kalınlığının arttığı görülmüştür.

Proje esneklik modülü (M_R) ve trafik yoğunluğuna bağlı tabaka kalınlıkları çizelgeler de verilmiş olup bu değerlerin değişimine bağlı olarak 12 farklı kaplama kalınlığı ve tipine göre ilk yapım maliyeti hazırlanmıştır.

Yapılan çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Beton kaplamalı üstyapılar ilk yapım maliyeti, asfalt kaplamalı üstyapılara nazaran daha pahalı bir üstyapı çeşididir.

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

Bakım masrafları yönünden kaplama türleri karşılaştırıldığında; esnek kaplamalı üstyapılar, beton kaplamalı üstyapılardan daha fazla bakım gerektirir ve daha kısa sürede kullanım ömürleri tamamlanır. Beton kaplamalı yollar, esnek kaplamalara nazaran daha uzun süre bakım gerektirmeden kullanılmaktadır.

Beton kaplamalı üstyapı; bakım maliyeti yönünden en ekonomik olan üstyapı çeşididir. İlk 20 yıla kadar ciddi bir bakım masrafı gerektirmezken 20. yıldan itibaren önemli bakım masrafları gerektirmektedir.

Sıcak asfalt kaplamada yapımdan 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, esnek kaplamalı üstyapıdan daha az maliyetli olduğu görülecektir. Ülkemiz karayolları yol ağında ne yazık ki beton yola bugüne kadar yeterince önem verilmemiştir. Otoyollarımızın tamamı esnek üstyapı kaplamalıdır.

Sonuç olarak şu denilebilir; ilk yapım maliyeti fazla olmasına rağmen kullanım ömrünün fazla olması, esnek üstyapıya göre daha az bakım gerektirmesi, daha az bakımın yanı sıra bakım işlerinden dolayı çevreye verilen sıkıntıların en aza indirgenmesi açısından rijit kaplamalı yolların esnek kaplamalı üstyapıya tercih edilebilirliği göz önünde bulundurulmalıdır.

6. KAYNAKÇA

- Abut, Y.,2018. Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yol: Kalite Kontrol Çalışmaları. Beton Yollar ve Köydes Projesi Eğitim Semineri. Ankara.
- Ağar, E., Süttaş, İ. ve Öztaş, G., 1998. Beton Yollar (Rijit Yol Üstyapıları). İstanbul Teknik Üniversitesi.İstanbul.
- Akpınar, M. V.,2014. Beton yollar: Hasdal - Kemerburgaz. <http://mvakpinar.com/?mva=derslerim&dersno=8>. (18.06.2019)
- Baradan, B., Türkel, S., Yazıcı, H., Ün, H., Yiğiter, H., Felenkoğlu, B., Öztürk, U. A., 2015. Beton. Dokuz Eylül Üniversitesi. İzmir.
- Do, H.S., Mun, P.H. andKeun, R.S., 2008, A study on engineeringcharacteristics of asphaltconcreteusing filler withrecycledwaste lime, Science Direct, Waste Management 28, 191-199pp.
- Durmuş, G., Can, Ö. Ve Şimşek, O., 2009. Geri Dönüşüm Agregalarından Üretilen Farklı Sınıflardaki Betonun Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu. Karabük.
- Ecevit, O.,2007. Karayollarında Rijit Üstyapı Uygulamaları ve Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü., 2008, Karayolu Ders Notları, Eskişehir.
- EUPAVE.,2018. Beton: Kentsel Ulaşım Altyapısının Sürdürülebilir Ortağı. (TÇMB, Çev.). Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği.Ankara.
- Gülen Şahin, F., Derin, E. ve Arıkoğlu, G., 2016. Eskişehir’de Beton Yol Yapımı. Hazır Beton Dergisi, (136) 77-86.
- Anonim, 2018. Asfalt Yollarda Meydana Gelen Kusur ve Hasar Çeşitleri. <https://insapedia.com/asfalt-yollarda-meydana-gelen-kusur-ve-hasar-cesitleri/> (16.08.2018)
- İHA. (2019). 12 Yıldır Bozulmayan Yol. <https://www.ihacom.tr/haber-12-yildir-bozulmayan-yol-772415/> (22.07.2019)
- Karayolları Genel Müdürlüğü (2018a). Trafik ve Ulaşım Bilgileri. <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Istatistikler/TrafikveUlasimBilgileri/18TrafikUlasimBilgileri.pdf> (22.07.2019)
- Karayolları Genel Müdürlüğü (2018b). Yol Ağı Bilgileri. <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/YolAgi.aspx> (22.07.2019).
- Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Şartnamesi, 2006. https://yapim.otoyolas.com.tr/wp-content/uploads/kaliteyayinlari/16_EK_3_KTS_2006_bit%C3%BCml%C3%BCC_sicak_karisim_kisimlari.pdf (13.07.2019)
- Kozak, M.,2011. Beton Yollar ve Beton Yol Yapımının Araştırılması. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7 (1), <https://docplayer.biz.tr/16333347-Beton-yollar-ve-beton-yol-yapiminin-arastirilmesi.html> (23.07.2019).

- Oikonomou, N.D., 2005, Recycled concrete aggregates. Cement & Concrete Composites, (27), 315-318.
- Su, N. and Chen, J.S., 2002, Engineering properties of asphalt concrete made with recycled glass, Science Direct, Resources, Conservation and Recycling(35), 259-274.
- Şenol, A., 2010. Karayolu yol üst yapısı. Ders notu. Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, <http://www.cygm.gov.tr/CYGM/Files/mevzuat/yonetmelik/kaky.doc> (20.07.2019)
- Topal, A., 2010. Beton yolların tasarımı. Ders notu, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Tunç, A., 2004, Kaplama Mühendisliği ve Uygulamaları, Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti., 546 s.
- Türkiye Asfalt Mütahhitleri Derneği., 2019). Asfalt'ın Tarihçesi. <http://www.asmud.org.tr/asfalt.php>. (06.07.2019)
- Türkiye Asfalt Mütahhitleri Derneği., 2019. Asfaltın Avantajları. <http://www.asmud.org.tr/asfalt.php?sayfa=28>. (06.07.2019)
- Türkiye Hazır Beton Birliği., 2019. Bir Seçenek Daha Var Beton Yollar, <https://www.thbb.org/teknik-bilgiler/beton-yollar/>(13.06.2019)
- Xue, Y., Wu, S., Hou, H. and Zha, J., 2006. Experimental investigation of basic oxygen furnace slag used as aggregate in asphalt mixture, Science Direct, Journal of Hazardous Materials(138), 261-268.
- Yaman, İ. Ö., ve Ceylan, H., 2013. Silindirle sıkıştırılmış beton yollar. Hazır Beton, (117), 69-82.
- Yenidoğanlı, P. A., 2010. Türkiye'nin İlk Beton Karayolları. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği. Ankara.

7. ÖZGEÇMİŞ

11.09.1990 tarihinde Van'da doğdum. Babam Devlet Memuru emeklisi Annem ev hanımıdır. Üç çocuklu bir ailenin ikinci çocuğuyum. İlk ve Orta Öğrenimimi Van Husrevpaşa İlköğretim okulunda tamandıktan sonra lise öğrenimimi Kazım Karabekir Süper Lisesinde tamamladım. Cumhuriyet Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden dereceyle mezun oldum. Cumhuriyet Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü okurken aynı zaman diliminde çift ana dal programına hak kazanarak aynı üniversitenin Geomatik Mühendisliği bölümünüden de mezun oldum. Miroğulları İnşaatın Karayolları 16. Bölge Müdürlüğü uhdesinde yapımı tamamlanan Zara – Divriği İl Yolunun yapımında 4 yıl şantiye şefi olarak görev yaptım. Söz konusu görevimi yaparken 2015 yılında UCS Harita Müh. İnş. Ve Mad. İth. İhr. San. ve Tic. Ltd. Şti.'ni kurdum. Kendi firmamla çeşitli kamu kuruluşlarıyla ve çeşitli özel firmalarla sözleşmeler yaparak çeşitli yapım ve mal alım işlerini tamamladım. 2018 yılında DEV GRUP Danışmanlık İnşaat A.Ş. adı altında ikinci firmamı kurdum. Bu firmamla da bazı kamu kuruluşlarında yapım işi faaliyetlerinde bulundum. Şu an hala söz konusu firmalarımla çeşitli özel ve kamu sektörlerinde hizmetler vermekteyim. Ayrıca Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi İnşaat mühendisliği Bölümü Ulaştırma ana bilim dalında yüksek lisans yapmaktayım.