

T. C.
ŞIRNAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

CİZRE- SİLOPİ KARAYOLUNUN ESNEK ÜSTYAPI
BOZULMALARINDA YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI VE BETON YOL ALTERNATİFİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Turan FIRAT

Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Sedat ÖZCANAN

ŞIRNAK, 2023

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm. Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.



Turan FIRAT

ÖNSÖZ

Asfalt, beton ve silindirle sıkıştırılmış beton konularında tez çalışması boyunca tecrübelerini ve bilgisini esirgemeyen, bana her anlamda destek olan tez danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Sedat ÖZCANAN'a minnet duyuyor ve şükranlarımı sunuyorum.

Çalışma süresince desteklerini gördüğüm, Öğretim Görevlisi Özgür Özcan'a ve İnşaat Mühendisi Ahmet Fırat'a, maddi ve manevi destekleriyle bana güç veren başta sevgili eşim Dilem FIRAT olmak üzere tüm aileme ve dostlarıma teşekkürü bir borç bilirim.



CİZRE- SİLOPİ KARAYOLUNUN ESNEK ÜSTYAPI BOZULMALARINDA YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI VE BETON YOL

ALTERNATİFİ

Turan FIRAT

ŞIRNAK ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZET

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Sedat ÖZCANAN
Yıl : 2023
Jüri : Dr. Öğr. Üyesi Sedat ÖZCANAN
: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Behram UĞUR
: Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim YUMRUTAŞ

Tasarlanan bir karayolunun öngörülen servis ömrü boyunca kaliteli bir hizmet sağlayabilmesi, bozulmalara karşı göstereceği dirençle doğrudan ilişkilidir. Karayolunun bozulmalara karşı gösterdiği direnç ise büyük ölçüde mekanik performansa bağlıdır. İklim ve sıcaklık, esnek üstyapılarda mekanik performansı etkileyen en önemli çevresel faktördür. Bu sebeple herhangi bir yol kesiminde üstyapı tasarımı yapılırken bölgenin sıcaklık değerleri göz önüne alınmalıdır.

Silopi-Cizre karayolu, Habur Sınır Kapısı aracılığıyla gerçekleştirilen sınır ticaretinin yoğun bir şekilde gerçekleştiği önemli bir ulaşım hattıdır. Ulaşımın ağır araçlarla sağlandığı bu yol, geniş trafik hacmiyle beraber kayda değer dingil yükleri ve gerilmelere maruz kalmaktadır. Bununla birlikte yörenin, Türkiye’de en yüksek sıcaklıkların görüldüğü bölge olması faktörü de üstyapıdaki bozulma ve deformasyonları kaçınılmaz hale getirmiştir.

Bu çalışmada bahsi edilen sebeplerden ötürü birçok kesimde bozulmaya uğramış Silopi-Cizre yolu özelinde sıcak bölgelerde uygulanabilir üstyapı tiplerinin sıcaklıkla mekanik davranış ilişkisi araştırılmıştır. Bu amaçla belirli sıcaklıklarda (20°, 30°, 40° ve 50°) mevcut asfalt kaplamalı karayoluna ait karot örnekler bir dizi Marshall stabilite testine, laboratuvarıda üretilen C25 beton ve silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) numuneler ise bir dizi standart basınç testine tabi tutularak mekanik performansları karşılaştırılmıştır. Testler sonucunda mevcut asfalt kaplamanın basınç dayanımında 50°’den 20°’ye oranla %52’ye varan bir azalma gerçekleştiği, bu oranın C25 beton için stabil kalmakta iken, SSB numuneler için % 23’lük dayanım artışı görülmektedir. Sonuç olarak asfalt kaplamaların yüksek sıcaklıkta mekanik performansını önemli ölçüde yitirdiği anlaşılmış olup sıcak bölgelerde asfalt kaplama yerine beton yol veya SSB yolların tercih edilebileceği önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: SSB, Beton Yol, Asfalt, Bitümlü Sıcak Karışım (BSK), Yol Bozulmaları, Sıcaklık Etkisi.

ABSTRACT**INVESTIGATION OF HIGH TEMPERATURE'S IMPACT ON FLEXIBLE
PAVEMENT DESTRUCTIONS ON THE CIZRE-SILOPI HIGHWAY AND
CONCRETE ROAD OPTION****Turan FIRAT****SIRNAK UNIVERSITY****GRADUATE EDUCATION INSTITUTE****Msc THESIS**

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Sedat ÖZCANAN

Year : 2023

Jury : Asst. Prof. Dr. Sedat ÖZCANAN

: Asst. Prof. Dr. İbrahim Behram UĞUR

: Asst. Prof. Dr. Halil İbrahim YUMRUTAŞ

The ability of a designed highway to provide a quality service throughout its predicted service life is directly related to its resistance to deterioration. The roadway's resistance to disturbances is largely dependent on mechanical performance. Climate and temperature are the most important environmental factors affecting the mechanical performance of flexible pavements. For this reason, the temperature values of the region should be taken into account when designing the pavement in any road section.

The Silopi-Cizre highway is an important transportation line where border trade through the Habur Border Gate takes place intensively. This road, where transportation is provided by heavy vehicles, is exposed to significant axle loads and stresses together with the large traffic volume. However, the fact that the region is the region with the highest temperatures in Turkey has made the deterioration and deformations in the superstructure inevitable.

In this study, the relationship between temperature and mechanical behavior of flexible pavement types in hot regions was investigated, especially on the Silopi-Cizre road, which has deteriorated in many parts due to the reasons mentioned. For this purpose, core samples of asphalt-pavement highways at certain temperatures (20°, 30°, 40° and 50°) are subjected to a series of Marshall stability tests, while C25 concrete and roller compacted concrete (RCC) samples produced in the laboratory are subjected to a series of standard pressure tests. Mechanical performances were compared. As a result of the tests, there is a decrease of up to 52% in the compressive strength of the existing asphalt pavement compared to 50° to 20°, while this rate remains stable for C25 concrete, a 23% increase in strength is observed for RCC samples. As a result, it has been understood that asphalt pavements lose their mechanical performance at high temperatures, and it has been suggested that concrete roads or RCC roads may be preferred instead of asphalt pavement in hot regions.

Keywords: Roller Compacted Concrete (RCC), Concrete Road, Asphalt, Bituminous Hot Mix (BHM), Road Disorders, Temperature Effect.

İÇİNDEKİLER

T. C.	1
ÖNSÖZ.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	iii
1. GİRİŞ.....	1
1.1.Tezin Amacı ve Kapsamı.....	2
1.2. Karayolu	3
1.3. Karayolunun Yapısı.....	3
1.3.1. Altyapı	3
1.3.2.Üstyapı	3
1.4. Esnek Üstyapıda Meydana Gelen Bozulmalar	6
1.4.1. Ölçütler	6
1.4.1.1. Servis Yeteneği İndeksi.....	6
1.4.1.2. Tekerlek İzi Derinlikleri.....	6
1.4.1.3. Çatlaklar	6
1.4.1.4. Defleksiyonlar	6
1.5. Bozulmaların Nedenleri	7
1.5.1.Tasarım Hataları.....	7
1.5.2.Yapım Hataları.....	7
1.5.3.Bakım Hataları.....	7
1.5.4.Trafik Etkileri	7
1.5.5. İklimin ve Çevrenin Etkileri.....	8
1.6. Bozulmaların Seyri	8
1.6.1. Bozulma Oluşum Şekilleri.....	8
1.7. Literatür Özeti	9
2. MATERYAL VE METOT	19
2.1. Cizre –Silopi Karayolu ve Trafik Durumu	19
2.2. Cizre- Silopi Bölgesinin Sıcaklık Durumu	19

2.3. Testler ve Deneyler	21
2.3.1. Tava Tipi Beton Mikseri.....	21
2.3.2. Karot Alma Makinesi	21
2.3.3. Çökme Deneyi (Slump Testi)	22
2.3.4. Laboratuvar Fırını (Etüv)	22
2.3.5. Marshall Kararlılık Deneyi (Marshall Stabilite Testi)	22
2.3.6. Basınç Deneyi (Basınç Testi).....	23
2.4. Örneklerin Hazırlanması.....	24
3. YÖNTEM VE BULGULAR	26
3.1. Karayolunun Bozulmasında Sıcaklık Faktörünün İncelenmesi	26
3.2. BSK Numunelerinin Mekanik Özelliklerinin Farklı Sıcaklıklardaki Değişimi	26
3.3. Beton (C25) Numunelerinin Mekanik Özelliklerinin Farklı Sıcaklıklardaki Değişimi	29
3.4. Silindire Sıkıştırılmış Beton (SSB) Numunelerinin Mekanik Özelliklerinin Farklı Sıcaklıklardaki Değişimi	32
3.5.Sonuçların Karşılaştırılması	35
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	37
4.1. Çalışmanın Sonuçları	37
4.2. Öneriler	38
KAYNAKÇA.....	39

KISALTMALAR

AASHTO	: The American Association of State Highway and Transportation Officials
BSK	: Bitümlü Sıcak Karışım
CDoT	: California Department of Transportation
IKA	: Ilık Karışım Asfalt
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
SSB	: Silindirle Sıkıştırılmış Beton
YDD	: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
YOGT	: Yıllık Ortalama Günlük Trafik



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Beton Yol Tabakaları	4
Şekil 1.2. Beton Yol En Kesiti	4
Şekil 1.3. Esnek Üstyapının Kesit Görünümü	5
Şekil 1.4. Esnek Üstyapının Tabakalarının Gösterimi	5
Şekil 1.5. Esnek Üstyapı Yoldaki Bozulmalar ve Birbirlerine Etkileri	9
Şekil 1.6. Tekrarlı Yüklerle Zayıf Kaplamada Oluşan Tekerlek İz Oluşumu.	10
Şekil 1.7. Düşük Kayma Mukavemeti ile Zayıf Asfalt Kaplamadaki Tekerlek İzi Oluşumu	10
Şekil 1.8. Silopi-Cizre Karayolu Yolunun Yeni Yapılan Kısımındaki Tekerlek İzi Hasarları	11
Şekil 1.9. Silopi-Cizre Karayolunun Eski Kısımındaki Tekerlek İzi Hasarları	11
Şekil 1.10. Silopi-Cizre Karayolu Yeni Yapılan Kısımındaki Lokal Oturma	12
Şekil 1.11. Silopi-Cizre Karayolu Yolu Yeni Yapılan Kısımındaki Hafif Ondülasyonlar	12
Şekil 1.12. Silopi-Cizre Karayolu Yolunun Eski Kısımındaki Yorulma Çatlakları ...	13
Şekil 1.13. Blok Çatlakları	14
Şekil 1.14. Yansıma Çatlakları	14
Şekil 1.15. Silopi-Cizre Karayolunun Eski Kısımındaki Çukurlar	15
Şekil 2.1. Cizre bölgesinin son 30 yıllık saatlik sıcaklık değerlerinin ortalaması	20
Şekil 2.2. Silopi bölgesinin son 30 yıllık saatlik sıcaklık değerlerinin ortalaması ...	20
Şekil 2.3. Tava Tipi Beton Mikseri	21
Şekil 2.4. Karot Alma Makinesi	21
Şekil 2.5. Çökme Deneyi (Slump Testi)	22
Şekil 2.6. Laboratuvar Fırını (Etüv)	22
Şekil 2.7. Marshall Kararlılık Deneyi (Marshall Stabilite Testi)	23
Şekil 2.8. Basınç Deneyi (Basınç Testi)	24
Şekil 2.9. BSK, SSB ve Beton (C25) numuneleri	25
Şekil 3.1. BSK numunelerinde sıcaklığın etkisine bağlı olarak stabilite, yükleme, akma ve gerilme değerlerinde meydana gelen değişikliklerin ölçülmesi	27
Şekil 3.2. BSK numunelerinde sıcaklığın etkisine bağlı olarak stabilite, yükleme, akma ve gerilme değerlerinde meydana gelen değişikliklerin test cihazındaki değerleri ve grafiksel gösterimi	27
Şekil 3.3. BSK numunelerinde sıcaklığın (20, 30, 40 ve 50 °C) etkisine bağlı olarak deneyler sonrası meydana gelen deformasyonlar	28
Şekil 3.4. BSK numunelerinde sıcaklığın etkisine bağlı olarak meydana gelen mekanik değişikliklerin grafiksel gösterimi	29
Şekil 3.5. Sıcaklığa bağlı olarak beton numunelerinde oluşan yük kapasitesi ve basınç dayanımının ölçülmesi	30
Şekil 3.6. Sıcaklığa bağlı olarak beton numunelerinde oluşan yük kapasitesi ve basınç dayanımının test cihazındaki değerleri ve grafiksel gösterimi	30

Şekil 3.7. Sıcaklığa bağlı (20, 30, 40 ve 50 °C) olarak beton numunelerinde deneyler sonrası meydana gelen deformasyonlar	31
Şekil 3.8. Beton numunelerinde sıcaklığın etkisine bağlı olarak meydana gelen mekanik değişikliklerin grafiksel gösterimi	32
Şekil 3.9. Sıcaklığa bağlı olarak SSB numunelerinde oluşan yük kapasitesi ve basınç dayanımının ölçülmesi	33
Şekil 3.10. Sıcaklığa bağlı olarak SSB numunelerinde oluşan yük kapasitesi ve basınç dayanımının test cihazındaki değerleri ve grafiksel gösterimi	33
Şekil 3.11. Sıcaklığa bağlı olarak (20, 30, 40, 50 °C) SSB numunelerinde deneyler sonrası meydana gelen deformasyonlar	34
Şekil 3.12. SSB numunelerinde sıcaklığın etkisine bağlı olarak meydana gelen mekanik değişikliklerin grafiksel gösterimi	35
Şekil 3.13. BSK, Beton ve SSB numunelerinde 20 °C sıcaklıktaki gerilme – basınç dayanımı temel alınarak sıcaklığın etkisine bağlı olarak meydana gelen mekanik değişikliklerin performans değerlerinin grafiksel gösterimi	36

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1.: Satış Türüne Göre Türkiye'deki Yol Ağı.....	1
Çizelge 1.2.: 2015-2020 Yılları Arasındaki Yük ve Seyahat Bilgileri	7
Çizelge 2.1.: 2017-2021 (5 yıllık ortalamaları) Yıllarının YOGT Değerleri	19
Çizelge 2.2.: BSK, Beton (C25) ve SSB Numunelerin Karışım Oranları.....	24
Çizelge 3.1.: BSK numunelerinde sıcaklığın etkisine bağlı olarak meydana gelen mekanik değişikliklerin değerleri.....	28
Çizelge 3.2.: Beton numunelerinde sıcaklığın etkisine bağlı olarak meydana gelen mekanik değişikliklerin değerleri.....	31
Çizelge 3.3.: SSB numunelerinde sıcaklığın etkisine bağlı olarak meydana gelen mekanik değişikliklerin değerleri.....	34
Çizelge 3.4.: BSK, Beton ve SSB numunelerinde 20 °C sıcaklıktaki gerilme – basınç dayanımı baz alınarak sıcaklığın etkisine bağlı olarak değişik sıcaklık değerlerinde meydana gelen mekanik değişikliklerin performans değerleri	36

1. GİRİŞ

Artan dünya nüfusu, teknolojik yenilikler, ekonomik faaliyetlerin çeşitlilik kazanması gibi etmenler küreselleşen dünyada ülke içi ve ülkeler arası ulaşımın önemini gün be gün arttırmaktadır. Şüphesiz ulaşım yolları içinde ayrı bir yeri olan ve geçmişten günümüze en çok tercih edilen karayolu ulaşımı, teknolojik ilerlemelerden bağımsız olarak hala mevcut önemini korumaktadır.

Uzunluk olarak toplamda 68.689 km karayolu ağına sahip Türkiye’de Çizelge 1.1.’de görüldüğü üzere yolların yaklaşık % 53’ünü sathi kaplamalar, % 42’sini ise asfalt betonu oluşturmaktadır. Esnek üstyapılar; bu alandaki uzman eleman, makine ve tesis sayısının fazlalığı nedeniyle eskiden beri ülkemizde sıklıkla tercih edilirken beton yollar ve silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) yol uygulamalarına az rastlanılmaktadır (KGM, 2023).

Çizelge 1.1.: Satih Türüne Göre Türkiye’deki Yol Ağı (KGM, 2023)

SATIH CİNSİNE GÖRE YOL AĞI (KM)							
01.01.2023 tarihi itibarıyla							
	Asfalt Betonu	Sathi Kaplama	Parke	Stabilize	Toprak	Diğer Yollar	TOPLAM
Otoyol (*)	3.633	-	-	-	-	-	3.633
Devlet Yolları	19.701	10.869	47	22	-	301	30.940
İl Yolları	5.844	25.315	240	311	323	2.083	34.116
TOPLAM	29.178	36.184	287	333	323	2.384	68.689

Esnek üstyapı üzerinde meydana gelen bozulmalar; yol konforu, yolun sürekliliği ve kullanılabilirliğini olumsuz etkilemekte, önlemleri alınmazsa bazı durumlarda ölümlü-yaralanmalı trafik kazalarına sebebiyet verebilmektedir. 2022 yılı verilerine göre Türkiye’de gerçekleşen 901 adet trafik kazasının yol kusurlarından kaynaklanmış olması da bu gerçeği kanıtlar niteliktedir (EGM, 2022).

Karayolları üzerindeki bozulmalar kalıcı deformasyonlar, çatlaklar ve ayrılmalar şeklinde sınıflandırılmaktadır. Trafikteki hacim artışı, dingil yüklerinin ve ağır vasıta sayısının artması, tekerlek izi basınçlarının ve kaplama gerilmelerinin artması gibi faktörler, karayollarındaki bozulmaların başlıca sebeplerindendir. Bozulmaların en önemli sebeplerinden birisi de sıcaklıktır (Kutluhan, 2008). Sıcaklık ortalamalarının yüksek olduğu bölgelerde karayolu üzerinde termal çatlaklar ve

tekerlek izi bozulmaları meydana gelirken sıcaklık farkının yüksek olduğu kesimlerde donma-çözölmeye bağılı kabarma ve çökmeler oluşabilmektedir (Bağıdatlı ve Yıldırım, 2017).

Karayolunun mekanik performansı, bir bakıma yol üzerinde oluşın gerilme ve basınçları karşılayabilme yeteneğı olarak göröldüğü için bozulmalara karşı gösterilen direncin ölçütlerinden biri olarak değeriendirilebilir. Herhangi bir karayolu kesimi için üstyapı tasarımı yapılırken yolun mekanik performansının bulunduğı bölgenin çevresel şartları göz önünde bulundurularak hesaplanması gerekmektedir. Kuşkusuz bu çevresel faktörlerin en önemlisi, karayolunun performansını önemli düzeyde etkileyen iklim ve sıcaklıktır. Özellikle esnek üstyapılarda farklı sıcaklıklarda mekanik performansın da farklılaşabileceğı, yüksek sıcaklıklarda kaplamanın taşıma gücünün önemli ölçüde azalabileceğı düşünölmektedir.

1.1.Tezin Amacı ve Kapsamı

Habur Sınır Kapısı; hem Türkiye'nin en işlek 2. sınır kapısı olması hem de önemini halen koruyan tarihi "İpek Yolu" güzergâhında bulunması sebebiyle Güneydoğı Anadolu Bölgesi bilhassa Şırnak ili için azami ölçüde önem arz etmektedir. Sınır ticaretinin yoğun olarak yapıldığı bu bölgede Silopi-Cizre karayolu, sınırdan ülkenin iç kısımlarına doğru sağlanan ulaşım ağıının ilk adımı olması bakımından ehemmiyetlidir.

Silopi-Cizre karayolunun bulunduğı bölgenin özellikle yaz aylarındaki ortalama sıcaklığının çok yüksek olması ve sınır ticaretinin genellikle tır, kamyon, tanker gibi ağır araçlarla yapılması, mevcut karayolunun devamlılığını ciddi anlamda tehdit etmektedir. Yüksek sıcaklıklar, asfalt kaplamanın yumuşamasına; ağır ve devamlı trafik yükleri ise kaplama üzerindeki gerilmelerden ötürü bozulma ve deformasyonlara sebebiyet vermektedir.

Tüm bu olumsuzluklar, bahsi edilen karayolunda asfalt kaplama kullanımının trafik sürekliliğı açısından tartışılır olduğunu göstermektedir. Bu durum ise sıcaklığa aşırı duyarlı mevcut asfalt kaplama yerine farklı çözüm arayışlarına gidilebileceğine işaret etmektedir.

Bu çalışmada Silopi-Cizre karayolu üzerindeki BSK (Bitümlü Sıcak Karışım) kaplama, beton yol ve silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) yolların inşa edildikleri malzemelerle farklı sıcaklıklardaki mekanik performansları göz önüne alınarak karşılaştırılması amaçlanmıştır. Farklı sıcaklık değerilerinde mevcut BSK kaplamanın

yerinde alınan karot numunelerine Marshall stabilite deneyi, C25 kalitesinde üretilen beton ve SSB numunelere ise basınç deneyleri uygulanarak mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

1.2. Karayolu

Her türden yaya ile taşıtın emniyetli bir şekilde ulaşım yapabilmesi için belli kurallarla yapılmış ve belli kurallara göre işaretlemesi yapılmış kamu arazilerine karayolu denir (Yayla, 2006).

1.3. Karayolunun Yapısı

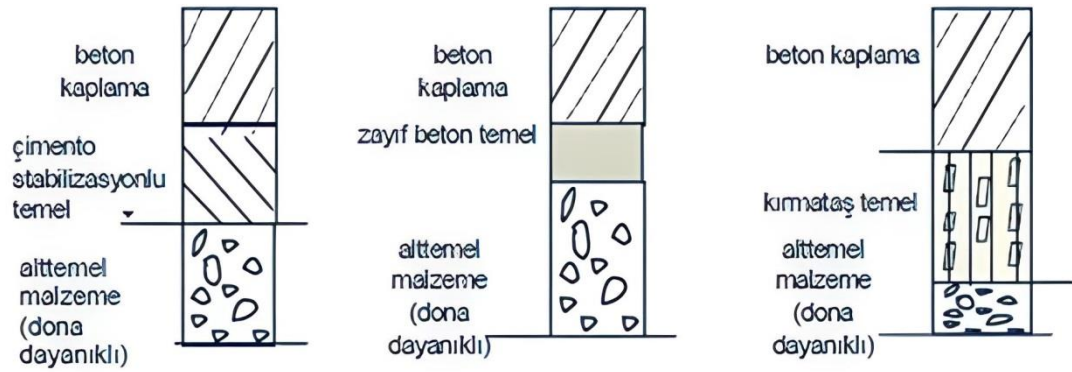
Bir yol boyunca belirli kurallara göre doğal zeminin belli yüksekliğe getirilerek üstünde motorlu araçların rahat, güven içinde ve hızlı bir şekilde hareket edebilmelerini sağlayan yapılardır. Altyapı ve üstyapı olarak iki çeşittir (İlıcılı vd., 2001).

1.3.1. Altyapı

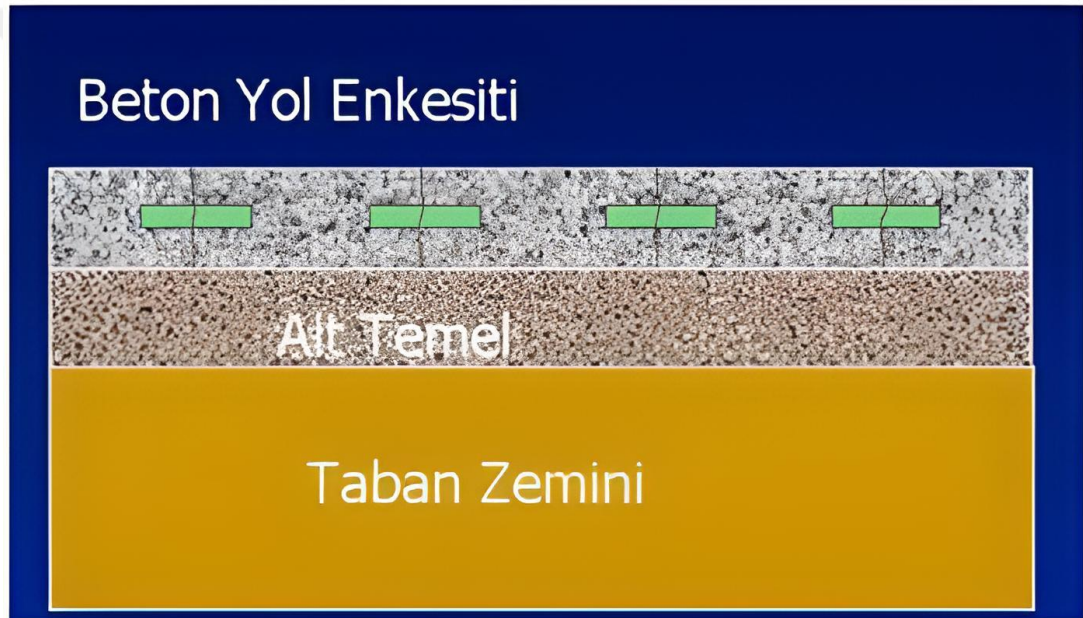
Tamamıyla bitmiş bir karayolunda dolgu kısımlarda taşınmış toprak, yarma kısmında doğal zemin olan köprüyol, menfez, köprü, istinat duvarı ve tünel gibi her türlü elemanı kapsayan bölgelerdir (İlıcılı vd., 2001).

1.3.2. Üstyapı

Önce alt temel, sonra temel ve daha sonra kaplama olmak üzere 3 tabakadan oluşan yola denir. Trafik yükünün dengeli dağılmasını sağlar, altyapının zarar görmesini engeller ve araçların rahat bir şekilde gidebilmesine olanak sağlar. Kaplama kısmında kullanılan malzemenin cinsine ve özelliğine, yapım tekniğine göre esnek ve rijit olmak üzere ikiye ayrılır. Kaplama eğer çimento betonu ile yapılmışsa üstyapı, beton yol olarak bildiğimiz, rijit üstyapı olur. Beton gelen trafik yükünü taban deforme olmadan tabana aktarır. Betonun davranışı üstyapı tabakaları ve dökülen betonun özelliğine göre değişiklik gösterir. Üstyapı tabakaları proje yapılırken iyice incelenmeli, malzeme özellikleri iyi seçilmelidir. Beton yol, Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'de görüldüğü gibi tabakalar halinde yapılır ve yüksek rijitlik nedeniyle tabanda oluşan gerilmeleri geniş alana yayar (Hanlı, 2009).

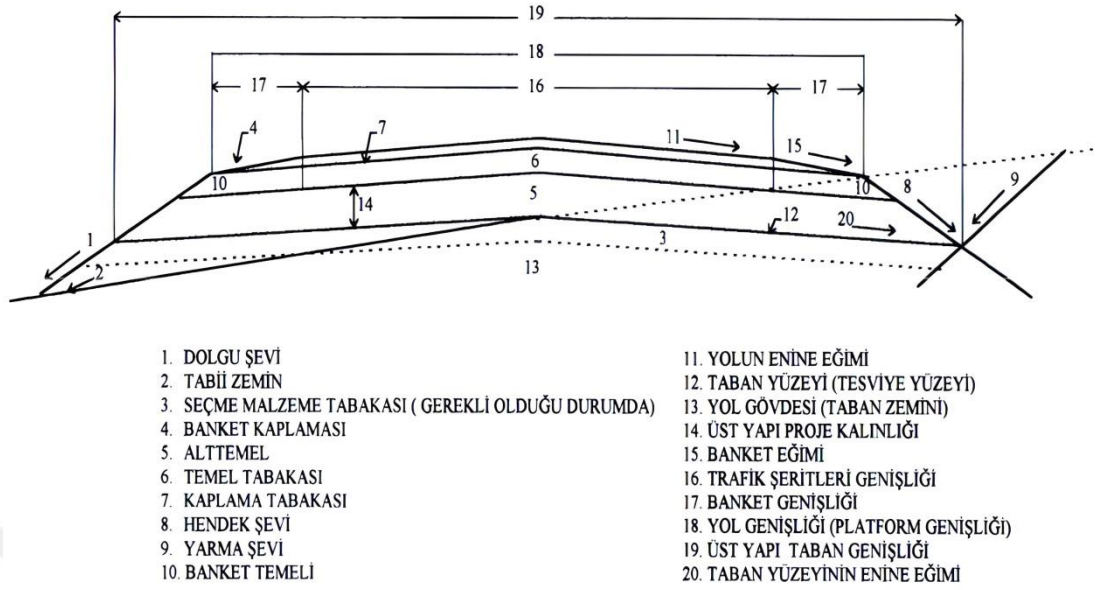


Şekil 1.1. Beton Yol Tabakaları (THBB, 2019)

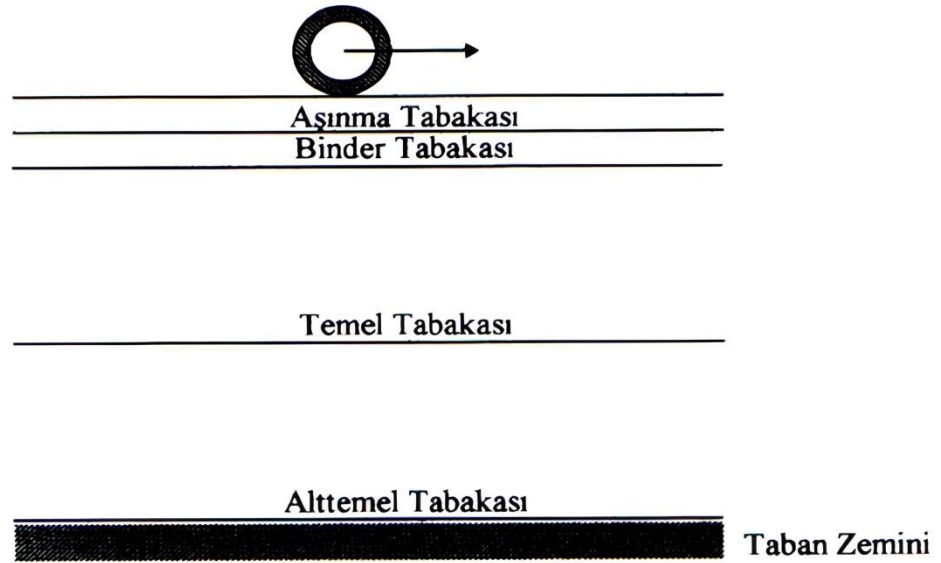


Şekil 1.2. Beton Yol En Kesiti (THBB, 2019)

Kaplama eğer asfalt ile yapılmışsa üstyapı esnek üstyapı olur. Esnek üstyapı trafik yüklerini taban zeminine tabakalar halinde dağıtır, kaplamanın davranışı agrega ve bitümlü bağlayıcı niteliklerine göre değişkenlik gösterir (Ilıcalı vd., 2001). Şekil 1.3'te ensek bir üstyapıya ait enkesit ve elemanları, Şekil 1.4' te ise esnek üst yapı tabakaları gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Esnek Üstyapının Kesit Görünümü (Ağar ve Umar, 1991)



Şekil 1.4. Esnek Üstyapının Tabakalarının Gösterimi (Ağar ve Umar, 1991)

Eğer esnek üstyapı projesi iyi bir şekilde yapılırsa yük, deformasyona yol açmadan tabana yayılır (Arık, 1998). Üstyapı yapımı öncesinde altyapı, teknik şartnameye uygun hale getirilmelidir. Çünkü taban zemini doğrudan üstyapıyı etkiler. Trafik yükleri yapıda basınç gerilmesi ve radyal çekmeye yol açar. Dingil yükü devam ettikçe gerilme şiddeti de artar (Hanlı, 2009).

1.4. Esnek Üstyapıda Meydana Gelen Bozulmalar

Trafik yükleri, yanlış malzeme seçimi, doğal yapı, iklim koşulları, tasarım hataları vb. çeşitli nedenlerle üstyapıda oluşabilen üstyapının özgün yapısından farklı olarak oluşan fiziksel şekil değiştirmelere bozulma denir (İyınam, 1997).

Fonksiyonel ve yapısal bozulma olmak üzere iki çeşit bozulma üstyapıda gerçekleşir. Üstyapıda kırılma, bozulma veya göçme varsa yapısal bozulma, eğer hedeflenen fonksiyonlar gerçekleştirilemiyorsa fonksiyonel bozulma olur (Güzel, 2001).

1.4.1. Ölçütler

Dört başlıkta toplanabilir (Ilıcalı vd., 2001).

1.4.1.1. Servis Yeteneği İndeksi

AASHTO–1986’da ifade edilen servis yeteneği, araçların güvenli ve rahat bir şekilde ulaşımını gösteren kaplamanın performansına denir.

0-5 arasında bir değer olup, PSI(servis yeteneği indeksi) değeri 1,5 olursa yolun kullanılamayacağını ifade eder. Bu değerler, tasarımcı olmayanlar ile kullanıcıların verdiği değerlerin korelasyonu ile bazı mekanik cihazların yaptığı ölçümlerin sonuçlarına göre belirlenir (AASHTO, 2003).

1.4.1.2. Tekerlek İzi Derinlikleri

Karayollarında 1,0 ile 2,5 cm arası meydana gelen derinliklerdir (Hanlı, 2009).

1.4.1.3. Çatlaklar

Çatlama/ birim alan formülüne göre hesaplanan üstyapıda basınç ve çekme gerilmeleri nedeniyle oluşan yarılmalardır (Hanlı, 2009).

1.4.1.4. Defleksiyonlar

Bir üstyapıya yük binmesiyle oluşan elastik deformasyon, yük kalkınca düzelir. Buna defleksiyon denir. Defleksiyon yüksek olursa yolun zayıflığının ve bozulmalarının artacağını işaretidir (Hanlı, 2009).

Defleksiyonu ölçmek için düşen ağırlıklı deflektometre ve Benkelman kirişi kullanılmaktadır (KGM, 2000).

1.5. Bozulmaların Nedenleri

Genel olarak bozulmalar tasarım hataları, trafik etkileri, yapım hataları, iklim şartları ve bakım hatalarından meydana gelmektedir (Hanlı, 2009).

1.5.1.Tasarım Hataları

Üstyapı performansının doğrudan etkileyicilerinden olan tasarımda oluşan hatalar, taban zemininde incelemelerin iyice gerçekleştirilmemiş olması, projelendirmede çevresel etki ve trafik yükünün yanlış hesaplanması, menfez ve büz üstlerinde dolgunun yeterince yüksek yapılmamış olması, şevlerin dik bir şekilde kesilmesi, çok yüksek dolgu ve yarmaların yapılması, sanat yapıları ve hendeklerin yerinin uygun seçilmemeleri ve uygun boyutlarda yapılmamaları yüzünden oluşur (Güzel, 2001).

1.5.2.Yapım Hataları

Taban zeminin taşıma gücü yeterli değilse güçlendirme yapılmadan yol gövdesi yapılması, tabaka kalınlıklarının istenilen şekilde yapılmaması, dolgu malzemesinin uygun şekilde belirlenmemesi, bitümlü malzemenin ve agreganın yanlış ve kalitesiz belirlenmesi, yetersiz drenaj sistemi, sıkıştırmanın yanlış yapılması, işçiliğin kötü olması, bitümlü karışım hazırlanırken yağışlı havada veya uygun olmayan düşük sıcaklıklarda hazırlanması gibi hatalar yapım aşamasında yapılan yapım hatalarıdır (Güzel, 2001).

1.5.3.Bakım Hataları

Banketlerin bakımının ihmal edilmesi, buzlu ve karlı yollarda yapılan yanlış uygulamalar bakım ve onarımın geç yapılması gibi hatalardır (Doğan, 2006).

1.5.4.Trafik Etkileri

Ülkemizde aşırı yüklü kamyonlar denetimsiz bir şekilde yollarda seyrettiği için yollarımıza en büyük zararı onlar vermektedir. Tasarım yapılırken dingil yük değerleri de göz önüne alınmadan yapılan yollar çok daha çabuk bozulmaktadırlar (İyınam, 1997).

Çizelge 1.2’de 2015-2020 yılları arasında etüde alınan ağır taşıtların yük ve seyahat bilgileri verilmiştir. Araçların kendi yükleri de dâhil edildiğinde bu araçlar, karayolu üzerinde çok büyük dingil yüklerine sebep olmaktadır.

Cizelge 1.2.: 2015-2020 Yılları Arasındaki Yük ve Seyahat Bilgileri (KGM, 2022)

Taşıt Sınıfı	Coğrafi Sınıflandırma	Etüde Alınan Taşıt Sayısı	%	Ortalama Taşınan Yük (ton)	Ortalama Seyahat Uzunluğu (Km)	Taşıt-Km (%)	Ton-Km (%)	
Kamyon	İl İçi	18.542	36,3	5,3	53	7,8	5,7	
	İller Arası	32.486	63,6	7,2	358	91,8	94,0	
	Uluslar arası	77	0,2	6,7	663	0,4	0,3	
Toplam		51.105	100	6,5	248	100	100	
Kamyon+Römork-çekici+Yarı Römork	İl İçi	13.187	21,4	13,8	58	2,9	2,6	
	İller Arası	44.351	72,0	15,4	482	81,3	82,6	
	Uluslar arası	4.048	6,6	14,8	1.028	15,8	14,8	
Toplam		61.586	100	15,0	427	100	100	
Toplam Taşıtlar	Ağır	İl İçi	31.729	28,2	8,8	55	4,5	3,2
		İller Arası	76.837	68,2	11,9	430	84,7	84,8
		Uluslar arası	4.125	3,7	14,6	1.021	10,8	12,0
Toplam		112.691	100	11,2	346	100	100	

1.5.5. İklimin ve Çevrenin Etkileri

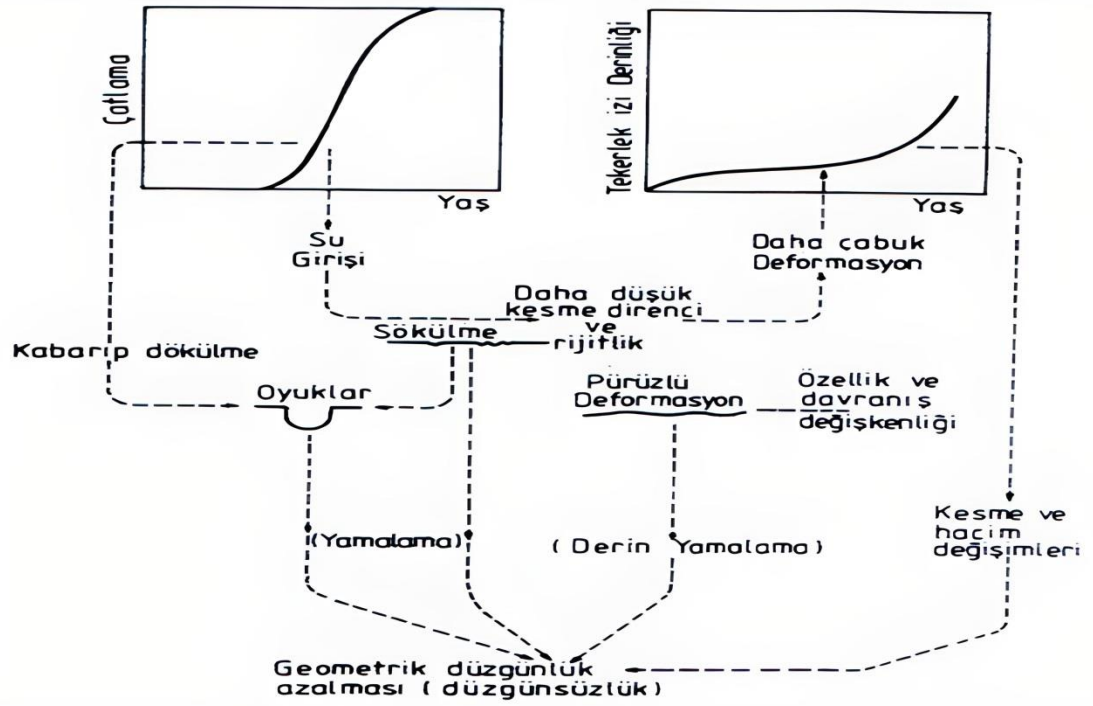
Bitümlü bağlayıcılar sıcaklık düştüğünde büzülür, sıcaklık yükseldiğinde yumuşar. Soğuk havalarda çekme gerilmeleri oluşur ve çatlaklara yol açar. Sıcak havalarda asfalt kaplamanın yumuşaması nedeniyle derin tekerlek izleri ve aşınmaları, yüzeyde düzgün yapının bozulması gözlemlenir (İlcalı vd., 2001).

1.6. Bozulmaların Seyri

Bozulmalar ya üstyapıda tekerlek izlerinin oluşması, aşınma tabakasında meydana gelen çatlama şeklinde yol üst yüzeyi boyunca ve zaman içerisinde gerçekleşir ya da aşınma tabakasında meydana gelen bozulmalar ve yolda oluşan çökmeler gibi belli alanlarda ani ve hızlı bir şekilde gerçekleşir (İyınam, 1997).

1.6.1. Bozulma Oluşum Şekilleri

Trafikteki dingil yükleri tabakalarda gerilmeye ve çeşitli deformasyonlara sebep olurlar. Bunlar Şekil 1.5'te gösterildiği gibi çeşitli şekillerde olabilir (İyınam, 1997).

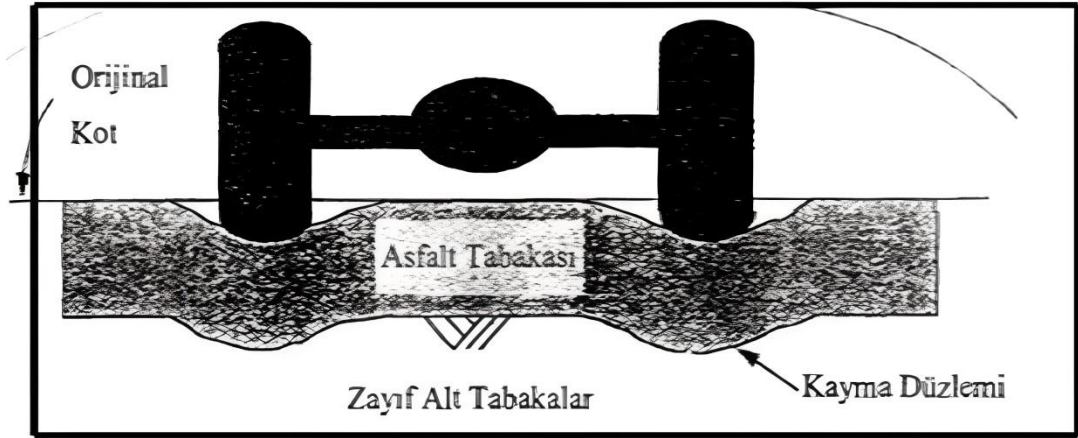


Şekil 1.5. Esnek Üstyapı Yoldaki Bozulmalar ve Birbirlerine Etkileri (İyınam, 1997)

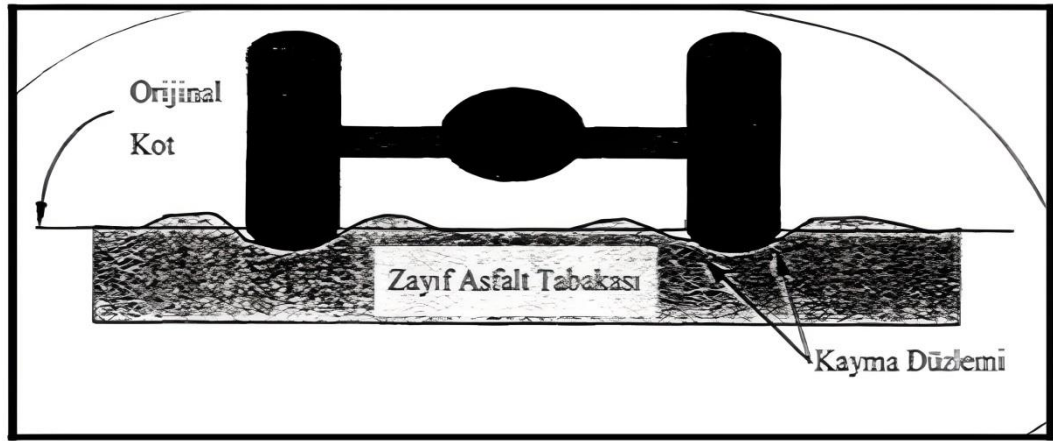
1.7. Literatür Özeti

Üstyapıda çevrenin etkisi ve trafiğin oluşturduğu yük nedeniyle hizmet yeteneğindeki düşüşe bozulma denir (Güzel, 2001).

BSK tabakasının yüzeyde tasarlanmış düzgün halinin bozulması ve tasarımı koruyamamasıyla kalıcı deformasyon oluşur. En çok oluşan kalıcı deformasyon türü tekerlek izidir. Tekerlek izi, en çok iki sebepten dolayı oluşur. Yüklerin tabakaya çok sık ve tekrarlı uygulandığı durumlarda üstyapı tabakasında Şekil 1.6'daki gibi deformasyonlar oluşur. Üstyapı tabakasının yola yüklenen tekrarlı ağır taşıt yüklerine karşı mukavemetinin düşük olduğu durumlarda da Şekil 1.7'deki gibi asfalt tabakanın içinde tekerlek izleri oluşur. Yaz aylarında yüksek sıcaklıklar olduğundan zayıf olan asfalt karışımlarda tekerlek izi sıklıkla gözlemlenir (Ağar ve Umar, 1991).



Şekil 1.6. Tekrarlı Yüklerle Zayıf Kaplamada Oluşan Tekerlek İz Oluşumu (Ağar ve Umar, 1991)



Şekil 1.7. Düşük Kayma Mukavemeti ile Zayıf Asfalt Kaplamadaki Tekerlek İz Oluşumu (Ağar ve Umar, 1991)

Trafik yüklerinin sık tekrarı dalgalı hareketler sonucu meydana gelen yer değiştirmeler nedeniyle oluklanmalar oluşur (İlıcılı vd., 2001). Şekil 1.8’de Cizre-Silopi yolunun yeni yapılan kısmında kısa sürede meydana gelen tekerlek izi hasarları görülmektedir. Şekil 1.9’da ise yolun daha eski bir bölümüne ait tekerlek izi hasarları gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Silopi-Cizre Karayolu Yolunun Yeni Yapılan Kısımındaki Tekerlek İzi Hasarları (2022)



Şekil 1.9. Silopi-Cizre Karayolunun Eski Kısımındaki Tekerlek İzi Hasarları (2022)

Tekerlek izi asfalt tabakasıyla ilgili veya alt tabakalarla ilgili nedenlerle oluşabilir. Bunun yanında tekerlek izi oluşumunun çevresel nedenleri çok fazla ağır ve tekrarlı yük ve çok yüksek sıcaklıklardır. Araçların dingil yükleri, lastik basınçları, sürekli tekrar eden hızlı yükler ve yavaş seyreden araçlar yani ağır taşıt trafiğinin oluşması, iz ve oluk oluşumunun en önemli sebepleridir (Ilıcalı vd., 2001). Kaplamada bozulma Şekil 1.10'daki gibi düşey yönde lokal oturmalar şeklinde meydana gelebilir (Doğan, 2006).



Şekil 1.10. Silopi-Cizre Karayolu Yeni Yapılan Kısımındaki Lokal Oturma (2022)

Yüzeyde tekerleklerin mekanik etkisinin ve sıcak havanın etkisiyle Şekil 1.11'deki gibi yola dikine veya paralel olacak şekilde yoğrulma, ötelenme ve ondülasyonlar şeklinde bozulmalar görülebilir (Arık, 1998).



Şekil 1.11. Silopi-Cizre Karayolu Yolu Yeni Yapılan Kısımındaki Hafif Ondülasyonlar (2022)

Sıcak hava nedeniyle bitüm kaplama yüzeye çıkar, ağır araçların geçişlerinde de lastiklerindeki şekiller kaplamada desenlerini bırakır. Asfaltta kuma varsa araçlar hareket halinde iz bırakır, eğer tabaka oturmaları yeterli değilse araçlar park halinde de tekerlek profil izi bırakır. Ağır taşıtların seyrettiği yollarda dingiller yola çok fazla yük bindirir ve bunlar sürekli tekrar edince yollarda çatlaklara sebep olurlar. Taşıtların aniden yavaşladığı veya hızlandığı yollarda da ortaya çıkan yatay kuvvet

çatlamaya sebep olur. Sıcaklıklarda meydana gelen değişimler, kireç stabilizasyonu veya çimento kürü nedeniyle oluşan hacim değişimleri, agreganın fazla kullanılması, asfalt içerisinde bulunan bazı maddelerin buharlaşmaları da çatlaklara yol açar (Hanlı, 2009).

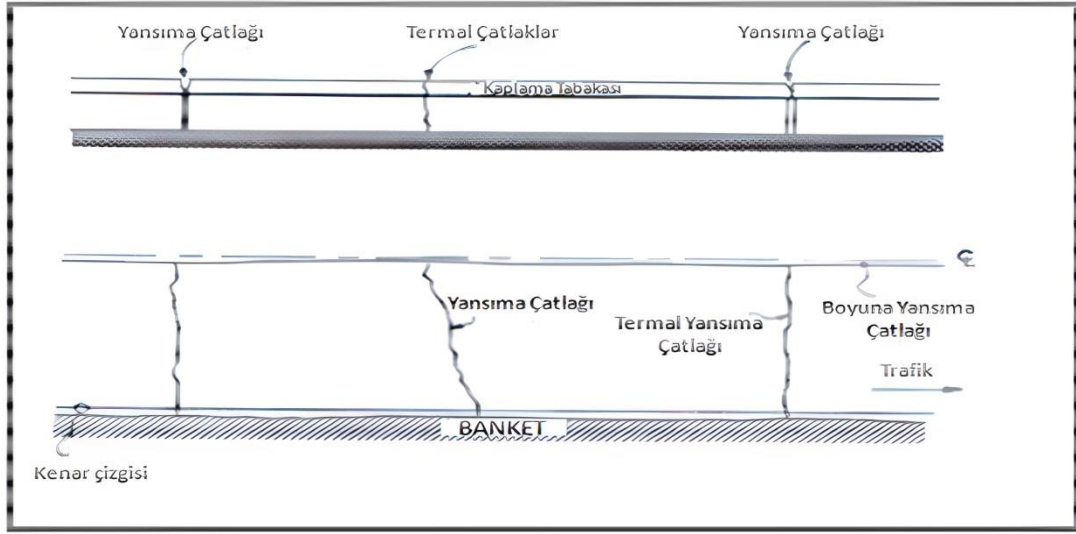
Yorulma çatlakları asfalt kaplamalarda, kaplamaya binen yük nedeniyle kaplamada olması gereken gerilme dayanımının yeterli olmaması, geçilmesi durumunda oluşan çatlak türüdür. Şekil olarak timsah sırtına benzediği için timsah sırtı çatlakları olarak da isimlendirilirler. Yorulma çatlakları Şekil 1.12'deki gibi çukurlara sebep olurlar (Umar ve Ağar, 1991).



Şekil 1.12. Silopi-Cizre Karayolu Yolunun Eski Kısımındaki Yorulma Çatlakları (2022)

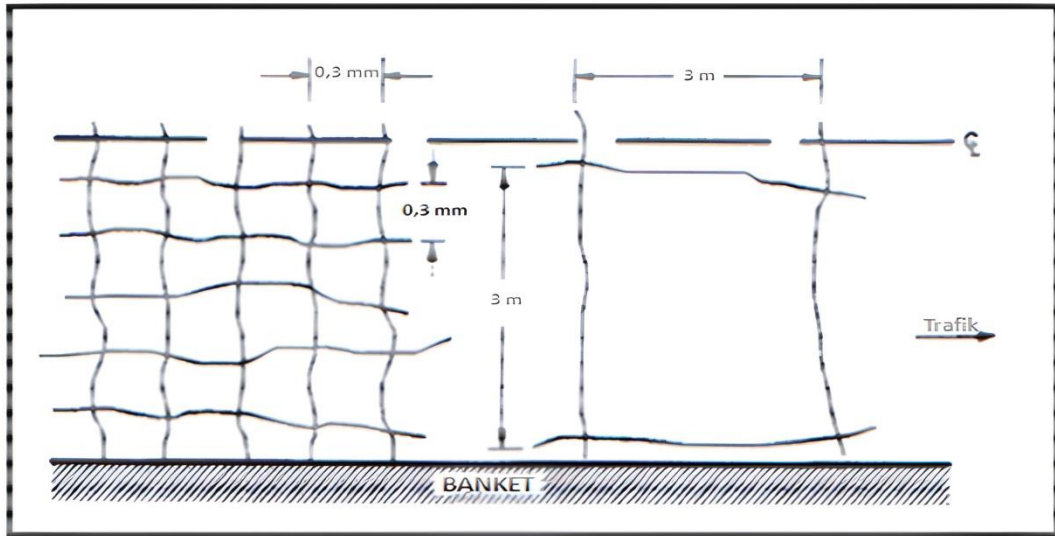
Düşük sıcaklık olduğu zaman kaplama büzülme yapar, bu durum kaplamada çekme gerilmesi yaratır. Bu gerilmeler sonucu enine doğru termal çatlamlar oluşur (Umar ve Ağar, 1991).

Kaplamanın kenarında trafik yükü, yetersiz kaplama, don vb. nedenlerle oluşan kenara paralel giden çatlaklara kenar çatlağı denir. Büyümesi halinde yorulma çatlağına dönüşür. Kaplamanın taşıma gücünün ve drenajın yetersiz olması, don ve nem, trafik yükleri gibi nedenlerle iki şerit veya banket ile kaplamanın birleştikleri yerlerde yol eksenine boyunca oluşan çatlaklar boyuna çatlaklardır. Kaplamanın şişerek büzülmesi, don ve yaşlanmadan dolayı kaplamada enine ve boyuna oluşan çatlaklar şekil 1.13'teki gibi blok çatlakları oluşturur (Arık, 1998).



Şekil 1.13. Blok Çatlakları (USDOT, 2001)

Asfalt tabakaya yapılan takviye tabakasında altta kalan tabakalarda daha önce oluşan çatlakların yansması sonucu oluşan çatlak türüne yansima çatlakları denir (Terzi, 2004). Şekil 1.14 ile yansima çatlakları gösterilmiştir.



Şekil 1.14. Yansima Çatlakları (CDoT, 2001)

Düşük kaliteli ya da yanlış yapılan, aşırı taşıt yükü binilen, mevsimsel sıcaklık değişimlerinin etkili olduğu ve diğer bozulma türlerinin de etkilediği kaplamalarda meydana gelen oyuklara çukur denir (Arık, 1998). Şekil 1.15'te Silopi-Cizre yolu arasındaki meydana gelen çukurlardan bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 1.15. Silopi-Cizre Karayolunun Eski Kısımındaki Çukurlar (2022)

Boşluk yüzdesi fazla olan ya da sıkıştırması zayıf yapılan ya da bitüm oranı az veya yaşlı olan yollarda trafiğinde etkisiyle kopma, agreganın eksik olması veya çukur şeklinde soyulmalar, sökülmeler, ayrışmalar gözlemlenir. Kaplamanın yüzey kısmında ayrışmalar görülür ve yüzeyinde asfalt lekeleri üste çıkar. Bu şekilde kaplama agregası kayıpları yaşanır. Kusma, kaplamada sıcak havanın etkili olduğu bölgelerde trafik yükleri, yapımda çok fazla bitüm kullanılması, astar malzemesinin fazlaca kullanılması, agreganın aşırı soyulması, terleme olan yüzeylerde önlem alınmaması gibi nedenlerle asfaltın, hususi olarak tekerlek izinde, yüzeye çıkmasına denir. Agreganın kaybı nedeniyle kaplamada agreganın olmadığı kısımlarda, çukurlar oluşur, yüzey siyah olur ve serbest malzemeler yüzeye çıkar. Kaplamanın yüzeyinde doğrusal bir biçimde dokulu bir yüzey oluşarak çizgisel agreganın kaybı yaşanır. Kaplama yüzeyinde kırılmamış agreganın kullanılması, trafik nedeniyle kırmataşın aşınması gibi nedenlerle agregadaki daneler pürüzsüz bir hale gelir ve kaplama cilalanır. Bazen de yollarda kabarık, şişkinlikler şeklinde bozulmalar oluşur. Bombelik olarak adlandırılırlar (Arık, 1998; KGM, 2000; CDoT, 2001; Doğan, 2006).

BSK (Bitümlü Sıcak Karışım), İKA (Ilık Karışım Asfalt) ve beton karşılaştırmasının sonuçları, betonun yaşam döngüsünde, sera gazı emisyonlarında, ılık karışım asfalttan %34 ve sıcak karışım asfalttan %76 kadar daha az salınım yaptığını ortaya koydu. BSK üretiminde azaltma yapılarak, İKA'nın asitleşme etkisinde % 29'luk ve BSK'nın hem fosil yakıt tüketiminde hem de fotooksidan oluşum etkisinde % 25'lik bir azalma sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca betondaki

çimentonun %25'inin uçucu külle ikame edilmesi küresel ısınma potansiyelini %22 oranında azaltmaktadır (Hanson vd., 2012; Mazumder vd., 2016; Ma vd., 2016).

Asfalt kaplamalardaki bitüm, atmosferik oksijen ile yavaş reaksiyona girerek oksidatif yaşlanmaya neden olur. Kuru ve ıslak koşullarda oksitlenmiş bitüm ve mineral yüzeyler arasındaki ara yüzey adezyonunun moleküler agregasyona ve yaşlanmış bitümün fiziksel sertleşmesine yol açtığını göstermektedir (Gao vd., 2022; Gao vd., 2019).

Yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) metodolojisi, bir yol sisteminin tüm yaşam süresi boyunca çevresel etkilerini değerlendirmek için kullanılabilir. Asfalt kaplamaların tasarım ömrünün sonuna kadar trafiğe hizmet etmesi için uygun zamanda bakım ve onarım yapılması şarttır. Bununla birlikte, asfalt karışımlarının bakım için sık üretimi ve uygulanması sadece maliyetli olmakla kalmaz, aynı zamanda çok fazla sera gazı üretir. Asfalt kaplama üretimi ve inşaatı sırasında oluşan uçucu organik bileşikler hem asfalt işçilerinin sağlığı hem de atmosferik ekosistem üzerinde olumsuz etkilere sahiptir (Anupam vd., 2022; Butt vd., 2015; Gedik, 2020; Gedik vd., 2021; Wang vd., 2020).

Daha sık ve yoğun iklim değişikliği olaylarının ortaya çıkmasıyla birlikte, altyapıları ve operasyonları da dâhil olmak üzere ulaşım sistemleri giderek daha savunmasız hale gelmekte ve diğer bölgelerdeki ulaşım ağlarına doğrudan veya dolaylı olarak etki etmektedir. İspanya'daki demiryolu ağları tüm ağ, ray deformasyonu veya en kötü durumda, yanal yol bükülmesi gibi rahatsızlıklara ve ciddi bozulmalara neden olabilecek yüksek sıcaklık dönemlerine maruz kalmaktadır. Isınma sıcaklıklarının kaplamanın daha hızlı yapısal bozulmasına, bunun da daha erken veya daha sık kaplama işlemlerine yol açtığı bulunmuştur. YDD sonuçları, iklim değişikliğinin yıllar boyunca daha fazla CO₂ emisyonuna neden olduğunu ve uzun vadeli yol kaplama performansını etkilediğini göstermektedir. Kaplamaları daha önce olduğu gibi aynı kullanılabilirlik aralıklarında tutmak için, mevcut kaplama bakım stratejilerinin yeniden değerlendirilmesi ve gerekirse değiştirilmesi gerekir. Bakımdaki değişiklikler, farklı araç ve kullanıcı maliyetlerine yol açar. Ortalama yıllık hava sıcaklıklarının yüzyıl boyunca artacağı ve yüzyıl sonuna doğru bazı yerlerde kaplama sıcaklıklarının 65 °C'ye kadar ulaşması beklenmektedir. Modern altyapı, sıcaklık, yağış ve havanın diğer yönlerindeki tarihsel değişimlerine

dayanacak şekilde tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Ancak bugün, tarihsel iklimin uzun vadeli istatistikleri değişmektedir. Ortalama sıcaklık artmakta, yağış değişmekte ve sıcak hava dalgaları ile yoğun yağış olayları dâhil olmak üzere birçok aşırı durum daha güçlü ve daha sık hale gelmektedir. Tarihsel koşullara dayalı mevcut kaplama tasarımı, koşullar kaplamanın çalışmak üzere tasarlandığı aralığı aştığı için yeterli dayanıklılığı sağlamamaktadır. Sera gazı emisyonları, 20. yüzyılın ortalarından itibaren küresel sıcaklıklarda artışa neden olmuştur ve ısınmanın hızlanması öngörülmektedir. İlkbahar sonu ve yaz mevsimlerinin hâkim olduğu mevsimsel kaplama hasarının, sıcaklıklar arttıkça yıl boyunca daha eşit bir şekilde dağılacığı tahmin edilmektedir. Tekerlek izi sorunlarının iklim değişikliği yüzünden daha da şiddetleneceğini ve daha erken bakım, iyileştirme veya yeniden inşa işleminin gerekli olacağını, tahmin edilen iklim değişikliklerinin büyük olasılıkla daha büyük sıkıntılara ve/veya üstyapının daha erken arızalanmasına neden olacağını göstermektedir. Üstyapı mühendislerinin tasarımlarına daha uzun süreli hava ve iklim serilerini dâhil ederek tasarım yapmaları fayda sağlayacaktır. Yol tasarımı işlevselliği, güvenliği ve uzun ömürlülüğü en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır. Antropojenik iklim değişikliği, hızlı altyapı arızasına ve sonuç olarak, özellikle sıcaklığın malzeme seçimi için kilit bir belirleyici olduğu asfalt yollar için bakım maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, iklim değişikliği ışığında mühendislik uygulama standartlarının güncellenmesi gerekmektedir (Underwood B. Vd., 2017; Zhang vd., 2022; Gudipudi vd., 2017; Mills vd., 2009; Knott vd., 2019; Stoner vd., 2019; Jitsangiam vd., 2020; Meagher vd., 2012; Basit vd., 2022; Sancı vd., 2020; Wang vd., 2020; Blaauw vd., 2022; Chen vd., 2021; Qiao vd., 2015; Qiao vd., 2013).

Paralel testlere dayalı olarak tekrarlanan yüke maruz kalan asfalt karışımının kalıcı deformasyon gelişiminin belirsizliği değerlendirildiğinde, gerinim oranı eğrisindeki karakteristik noktalara dayanan kalıcı deformasyon süreci için sınır durumları ve hasar durumları belirleme yöntemleri kullanılmalıdır. Malzeme ciddi hasar durumundayken iyileştirme potansiyeli düşük olur, bu nedenle hasar seviyesi yükselse bile bu düşük seviyelerde kalacaktır. Köpürme sırasında enjekte edilen su ve düşük üretim sıcaklığı, köpüklü IKA'yı tekerlek izi ve sıyrılmaya daha yatkın hale getirir (Zhang vd., 2021; Liv vd., 2020; Bairgi B. K. vd., 2018).

Türkiye’de yanlış malzemenin kullanılması, tasarımın ve projelendirmenin hatalı yapılması, şartnameye uygun hareket edilmemesi, imalat esnasında yapılan kusurlar, trafik hacminin kontrolsüz şekilde artması ve iklimsel koşulların çok ciddi etki etmesi nedenleriyle asfalt yollarda bozulmalar olmaktadır (Ayçiçek, 2011).

Esnek üstyapı kaplamalı yollarda iklim ve bölge etkisi nedeniyle oluşan kabarmaların, karayolları için en büyük bakım maliyeti getirdiği tespit edilmiştir (Yıldırım ve Bağdatlı, 2017).

Kısa mesafelerde durma imkânının, gece görüşünün ve trafik akışının daha iyi olması, tekerlek izlerinin meydana gelmemesi, her iklim koşulunda yapılabilir olması, yerli üretime katkı sağlaması, hava koşullarında ve yola dökülen çeşitli yakıt, yağ gibi malzemelere karşı dirençli olması, çevreye zararının az olması ve akaryakıt avantajı sağlaması gibi nedenlerle beton yolların ülkemizde de kullanılması gerekmektedir (Kozak, 2011).

Türkiye’de ulaşım ağının büyük oranda (% 90 – 95) asfalt kaplamadan oluştuğu görülmektedir. Karayollarının çevresel ve iklimsel etkileri, bakım ve onarım maliyetleri vb. her türlü durumu hesaba katarak kaynakların daha iyi kullanılması, diğer ülkelerde olduğu gibi, çimento üretiminde dünyanın sayılı ülkelerinden biri olmamız da göz önüne alınarak, beton yol uygulamalarına yer verilmesi uygun olacaktır. Karayolu planlamaları yapılırken, ağır taşıt trafik hacminin yoğun olarak gerçekleştiği bölgelerde, beton yol yapımı artık zorunlu hale gelmiştir (İyınam ve Ağar, 2003).

KGM’nin yetki sınırları içerisinde olan ağır taşıt trafik hacmi yoğun yollarda, İl Özel İdareleri ve Belediyeler yetki sınırlarında olan köy ve şehiriçi yollarda SSB üstyapı kaplamaları kullanım için daha uygundur. SSB yol uygulamaları BSK’ya oranla dayanıklı olması yanında, maliyetinin düşük olması, hızlı ve çok kolay bir şekilde serilmesi büyük avantajlarıdır. Yüksek hızla araçların geçtiği otoyollarda da SSB’nin kullanılması durumundan SSB kompozit uygulaması ile kısıtlamaların üstesinden gelinebilmektedir Beton ve SSB üstyapı kaplama yollar Türkiye’nin önemsemesi gereken stratejik konumdaki konularından biridir ve çok önemli bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır (Engin vd., 2019; Crompton, 2015; Yaman ve Ceylan, 2013).

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada farklı sıcaklık değerlerinde mevcut Silopi-Cizre karayolu üzerindeki BSK kaplamanın yerinde alınan karot numunelerine Marshall stabilite testi, C25 kalitesinde üretilen beton ve SSB numunelere ise basınç deneyleri uygulanarak mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

2.1. Cizre –Silopi Karayolu ve Trafik Durumu

Şırnak ilinin iki ilçesi olan Cizre ve Silopi arasındaki karayolu çok önemli bir ticaret yoludur. Türkiye ve Irak arasındaki ticaret büyük çoğunlukla bu yol üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bu karayolu O.52 otoyolunun bitiminden sonra bu yoldan gelen lojistiğin aktarıldığı temel kısımdır. Bunun yanında Diyarbakır üzerinden Mardin’i takip ederek sınıra gelen tüm lojistik yine bu yol üzerinden geçmektedir. Bu yol bu kadar büyük ehemmiyet taşımakta iken yolun gerek altyapısında gerekse üstyapısında çok büyük sıkıntılar meydana gelmektedir. Bu yolun büyük kısmından geçişleri ağır taşıtlar oluşturmaktadır ve çok fazla dingil yüküne sebep olmaktadırlar. Çizelge 2.1’de 2017-2021 (5 yıllık ortalama) yılları arasında Silopi-Cizre karayolunda oluşan yıllık ortalama günlük trafik (YOGT) değerleri verilmiştir (KGM, 2023). Bu yolda oluşan trafik yükünün %39,63’ü tır ve kamyonlardan kaynaklanmaktadır. Otobüsleri de dâhil edersek trafik yükünün yaklaşık % 41’i ağır taşıtlardan oluşmaktadır. Bu oranlar kaplama için çok önemli dingil yükü ağırlığı oluşturmaktadır.

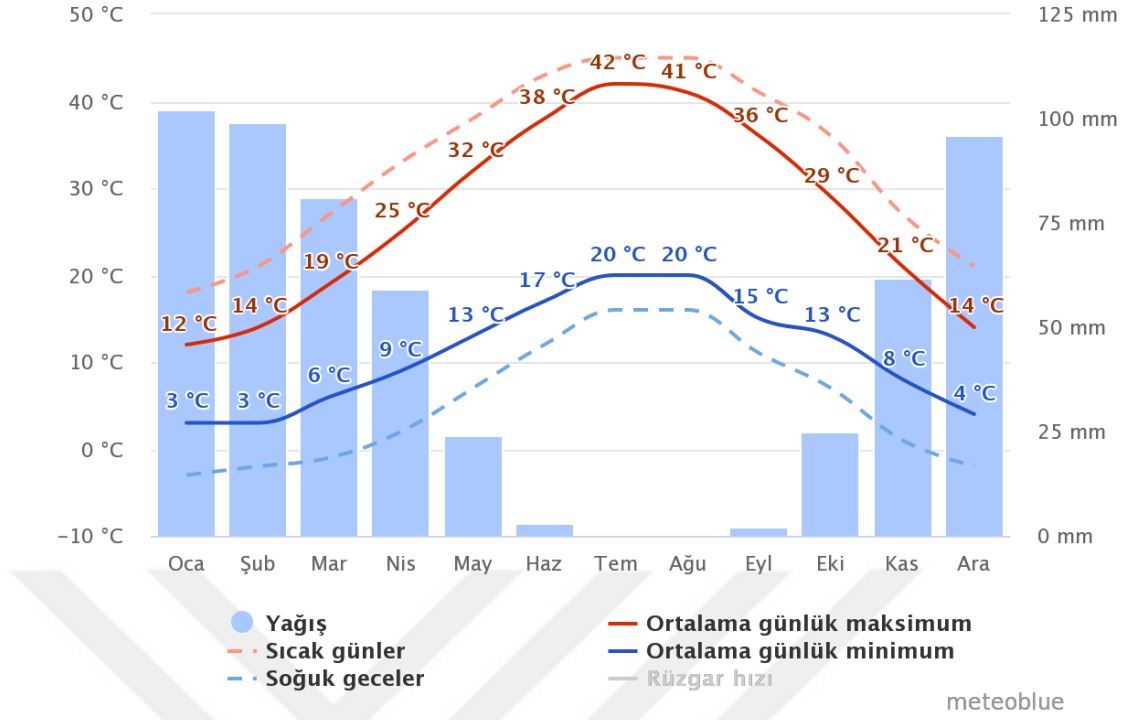
Çizelge 2.1.: 2017-2021 (5 yıllık ortalamaları) Yıllarının YOGT Değerleri (KGM, 2023)

Araç Tipi	Adet	Yüzdelik (%)
Otomobil	4549	50,36
OTV*	830	9,19
Otobüs	75	0,82
Kamyon	501	5,55
Tır	3.078	34,08
YOGT-Toplam	9.033	100

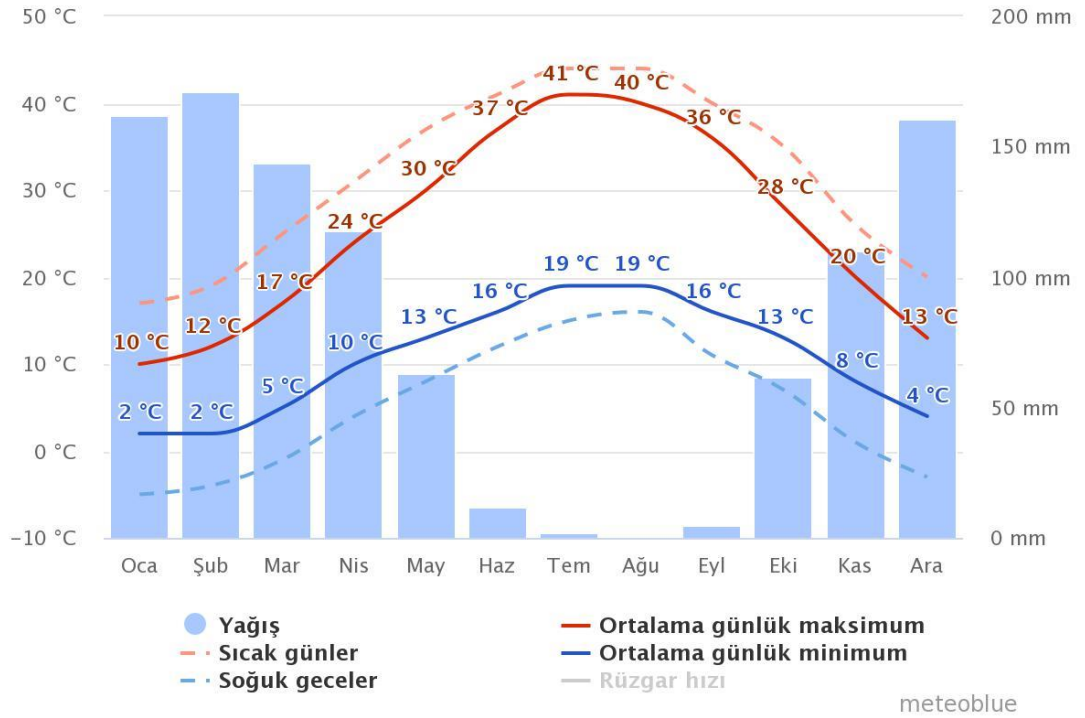
*Orta Ticari Vasıta

2.2. Cizre- Silopi Bölgesinin Sıcaklık Durumu

Cizre ve Silopi bölgelerinin son 30 yıllık saatlik sıcaklık değerlerinin ortalaması Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere Nisan ayından itibaren Kasım’a kadar sıcaklık 25 °C’nin üstünde seyretmektedir. 2021 ve 2022 yıllarında Cizre’de en büyük sıcaklık Temmuz/Ağustos aylarında yaklaşık 50 °C civarlarında gözlemlenmiştir (Meteoblue, 2023). Bu sıcaklık Türkiye’de rekor olarak kayıtlara geçmiştir



Şekil 2.1. Cizre bölgesinin son 30 yıllık saatlik sıcaklık değerlerinin ortalaması (Meteoblue, 2023)



Şekil 2.2. Silopi bölgesinin son 30 yıllık saatlik sıcaklık değerlerinin ortalaması (Meteoblue, 2023)

Hâlihazırda kullanılan BSK yolun üstyapısının sıcaklık ile değişimi çalışmamızın kilit noktasıdır. Çalışmamızda sıcaklığın asfalta, betona (C25) ve

silindirle sıkıştırılmış betona(SSB) etkisi incelendiğinden ortalama sıcaklık değerleri bizler için önem kazanmaktadır.

2.3. Testler ve Deneyler

2.3.1. Tava Tipi Beton Mikseri

Beton (C25) ve SSB üretimi için kullanılmıştır. Belli kıvama gelene kadar çimento, agrega, su gibi bileşenleri karıştırmak için kullanılır.



Şekil 2.3. Tava Tipi Beton Mikseri

2.3.2. Karot Alma Makinesi

Asfalt yoldan numune almak için kullanılmıştır. Kiriş, kolon, döşeme, taş veya asfalt kaplamalardan numune almak için kullanılır.



Şekil 2.4. Karot Alma Makinesi

2.3.3. Çökme Deneyi (Slump Testi)

SSB ve beton numunelerin kıvamını test etmek için kullanılmıştır. Karışım homojen hale geldikten sonra çökme değeri sıfır olduktan sonra numuneler hazırlanmıştır. Malzemenin kıvamını yani akıcılığını test etmek için kullanılır.



Şekil 2.5. Çökme Deneyi (Slump Testi)

2.3.4. Laboratuvar Fırını (Etüv)

Çalışmanın amacı farklı sıcaklıklarda mekanik etkiyi ölçmek olduğundan 24 saat boyunca 20°, 30°, 40° ve 50 °C sıcaklıklarda numuneler etüvde bırakılmışlardır. Numuneler daha sonra teste tabi tutulmuşlardır.

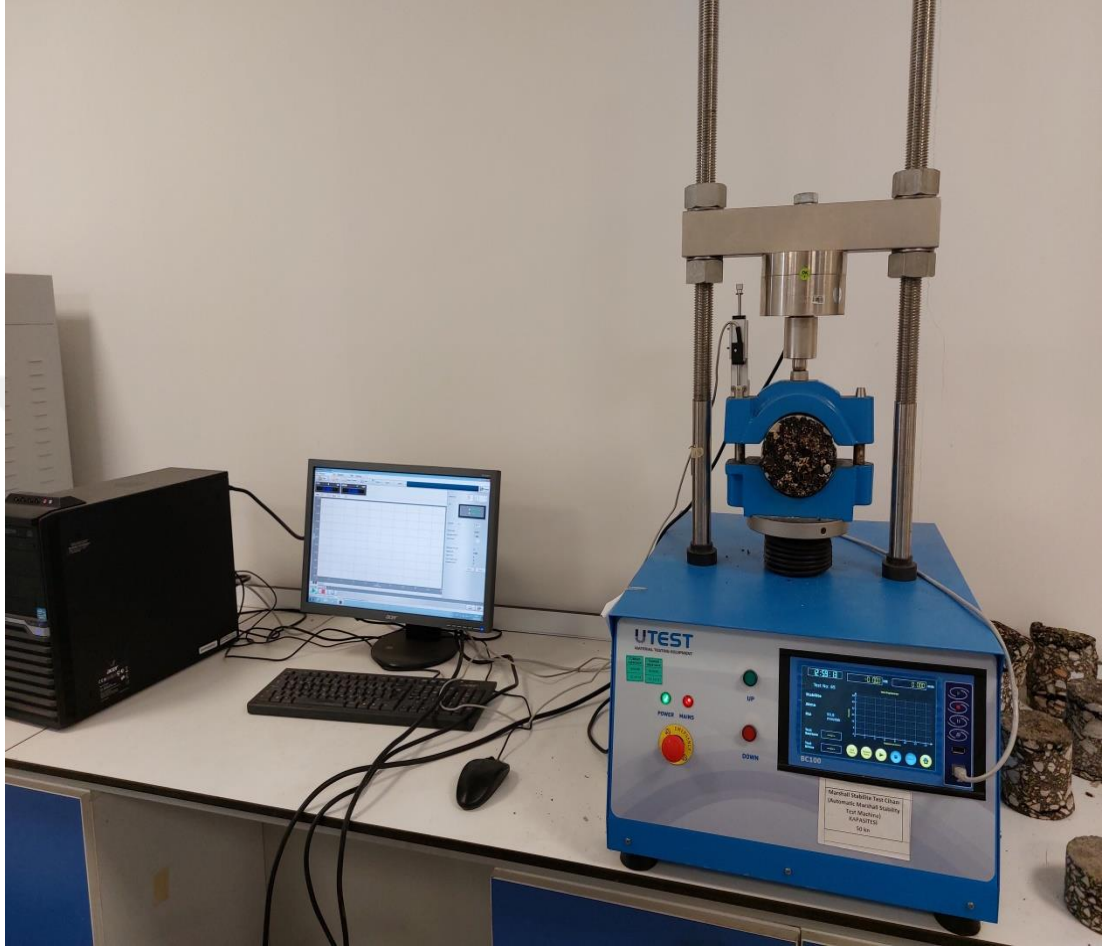


Şekil 2.6. Laboratuvar Fırını (Etüv)

2.3.5. Marshall Kararlılık Deneyi (Marshall Stabilite Testi)

Asfalt karot numuneler 24 saat ayrı ayrı 20°, 30°, 40° ve 50 °C sıcaklıklarda etüvde bekletilerek, SSB ve beton (C25) numunelerle mekanik performanslarını karşılaştırmak için, mekanik davranışlarında meydana gelen değişiklikler ve

kararlılık gözlemlenmiştir. Yoldan alınan karot numunelere beton ve SSB’de olduğu gibi basınç deneyi değil, akma ve yük değerlerinin tespit etmek için Marshall testi yapılmıştır. Bu deney BSK üstyapıların akma ve yük değerlerinin tespit edilmesi için kullanılır.



Şekil 2.7. Marshall Kararlılık Deneyi (Marshall Stabilite Testi)

2.3.6. Basınç Deneyi (Basınç Testi)

SSB ve beton (C25) numuneler ayrı ayrı 24 saat boyunca 20°, 30°, 40° ve 50 °C sıcaklıklarda etüvde tutulduktan sonra basınç deneyine tabi tutulmuşlardır. Bu test ölçülmesi istenen malzemenin eksenel yük altındaki dayanıklılığını ölçmeye yarar.



Şekil 2.8. Basınç Deneyi (Basınç Testi)

2.4. Örneklerin Hazırlanması

Çizelge 2.2’de Beton (C25), BSK ve SSB için ayrı ayrı verilen malzeme oranları ile numuneler her bir sıcaklık değeri için birer numune hazırlanmıştır. Hazırlanan beton ve SSB numuneleri 7 gün kürlendikten sonra 7 günlük basınç dayanımları ile testler yapılmıştır. Sahadaki gerçekliği daha iyi yansıtacağı düşünüldüğünden BSK numuneleri direkt olarak sahadan alınmıştır. Beton (C25) ve SSB numuneler 150x150x150 mm olan küp numuneler şeklinde hazırlanmıştır. Şekil 2.9’da BSK, SSB ve Beton (C25) numunelerinin görselleri paylaşılmıştır.

Çizelge 2.2: BSK, Beton (C25) ve SSB Numunelerin Karışım Oranları

BSK		Beton (C25)		SSB (35)	
Yoğunluk	2.420 kg/m ³	Çimento	285 kg/m ³	Çimento	250 kg/m ³
Bitüm	98,01 kg/m ³	Su	213.5 L/m ³	Su	95,5 L/m ³
0-5 mm agr.	1.161,6 kg/m ³	Kum	615 L/m ³	Kum	735 kg/m ³
5-12 mm agr.	532,4 kg/m ³	5-10 mm agr.	415 kg/m ³	7-14 mm agr.	810 kg/m ³
12-19 mm agr.	338,8 kg/m ³	10-20 mm agr.	825 kg/m ³	14-20 mm agr.	420 kg/m ³
19-25 mm agr.	387,2 kg/m ³				



Şekil 2.9. BSK, SSB ve Beton (C25) numuneleri

3. YÖNTEM VE BULGULAR

3.1. Karayolunun Bozulmasında Sıcaklık Faktörünün İncelenmesi

Çalışmanın literatür taraması kısmında Silopi-Cizre karayolunda meydana gelen bozulmaların örnek görselleri paylaşılmıştı. Yol bozuklukları daha çok tekerlek izi, ondülasyonlar, çökme, çukurlar, timsah sırtı, blok ve yorulma çatlakları şeklinde olmuştur. Tekerlek izi en çok göze çarpan bozulma olmuştur. Bu bozulma yeni yapılan üstyapıda da gözlemlenmiştir.

Sıcaklığa karşı asfaltın malzeme olarak hassas olup sıcak havalarda akışkan hale gelmesi, meydana gelen bozulma türlerinin genellikle tekerlek izleri, yorulma ve termal çatlaklar olması ve yol boyunca en çok ağır taşıtların geçmesi nedeniyle özellikle tekerlek izinin hem eski hem de yeni üstyapıda oluşmasının başlıca sebebinin tüm Türkiye’de rekor kıran sıcak havalar ve sürekli devam eden ağır taşıt trafiğinin oluşturduğu dingil yükleri olduğu tespit edilmektedir.

3.2. BSK Numunelerinin Mekanik Özelliklerinin Farklı Sıcaklıklardaki Değişimi

Çalışmada 20°, 30°, 40° ve 50 °C sıcaklıklarda üçer numune asfaltın akma dayanımı ve stabilitesi Marshall deneyi ile incelenmiştir. Yaz mevsiminin özellikle temmuz/ağustos aylarında sıcaklıkların 50 °C’yi bulması temel alınmıştır. Sahadan alınan karotlar etüvde 24 saat boyunca bekletildikten sonra Marshall testine tabi tutularak asfaltın farklı sıcaklıklardaki akma dayanımı ve stabilitesi tespit edilmiştir.

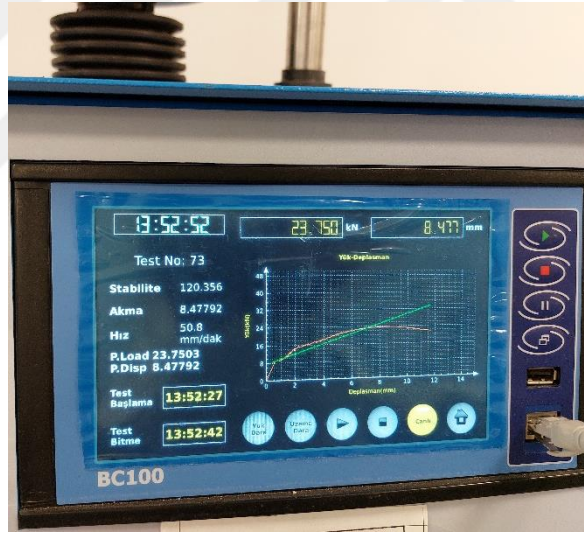
BSK numunelerinde sıcaklığın etkisine bağlı olarak stabilite, yükleme, akma ve gerilme değerlerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Çizelge 3.1’de verilmiştir. Şekiller ve Çizelge 3.1’den de görüldüğü üzere sıcaklığın artmasıyla BSK numunelerinde değişikliklerin olduğu görülmektedir. Kapasitenin kayıp oranı, gerilme, yükleme ve stabilite değerlerinde meydana gelen değişim oranları 20 °C’den 30 °C’ye %34, 30 °C’den 40 °C’ye % 16, 40 °C’den 50 °C’ye çıkana kadar % 13 olmuştur, başlangıç değerinden son değere kadar yani 20 °C’den 50 °C’ye kadar meydana gelen değişim oranı ise % 52’ye varmaktadır. 20 °C ile 30 °C arasında çok değerler çok hızlı şekilde düşme eğiliminde iken 30 °C’den sonra düşüş eğiminin azaldığı görülmektedir. Asfaltta oluşan akma değeri 20 °C’den 30 °C’ye % 24, 30 °C’den 40 °C’ye % 8, 40 °C’den 50 °C’ye çıkana kadar % 7 olmuştur, başlangıç değerinden son değere kadar yani 20 °C’den 50 °C’ye kadar meydana gelen akma oranı ise % 43’e kadar çıkmıştır. Asfaltın sıcaklık arttıkça akıcı-viskoz bir hal aldığı görülmektedir.

Asfaltın sıcaklıktan çok çabuk etkilendiği ortada iken 50 °C gibi çok yüksek sıcaklıkların yaşandığı Silopi ve Cizre gibi bölgelerde, ağır taşıtların yoğunluklu olarak geçiş yaptığı bir karayolunda halen asfaltın kullanılması sıkıntılara yol açmaktadır. Nitekim Silopi- Cizre karayolunun yeni yapılan kısmında şimdiden

tekerlek izleri oluşmuş ve ondülasyonlar gözlemlenmektedir. Bu durumun sıcaklık ve ağır taşıt dingil yükü kaynaklı olduğu elde edilen neticelerden çıkarılmaktadır.



Şekil 3.1. BSK numunelerinde sıcaklığın etkisine bağlı olarak stabilite, yükleme, akma ve gerilme değerlerinde meydana gelen değişikliklerin ölçülmesi



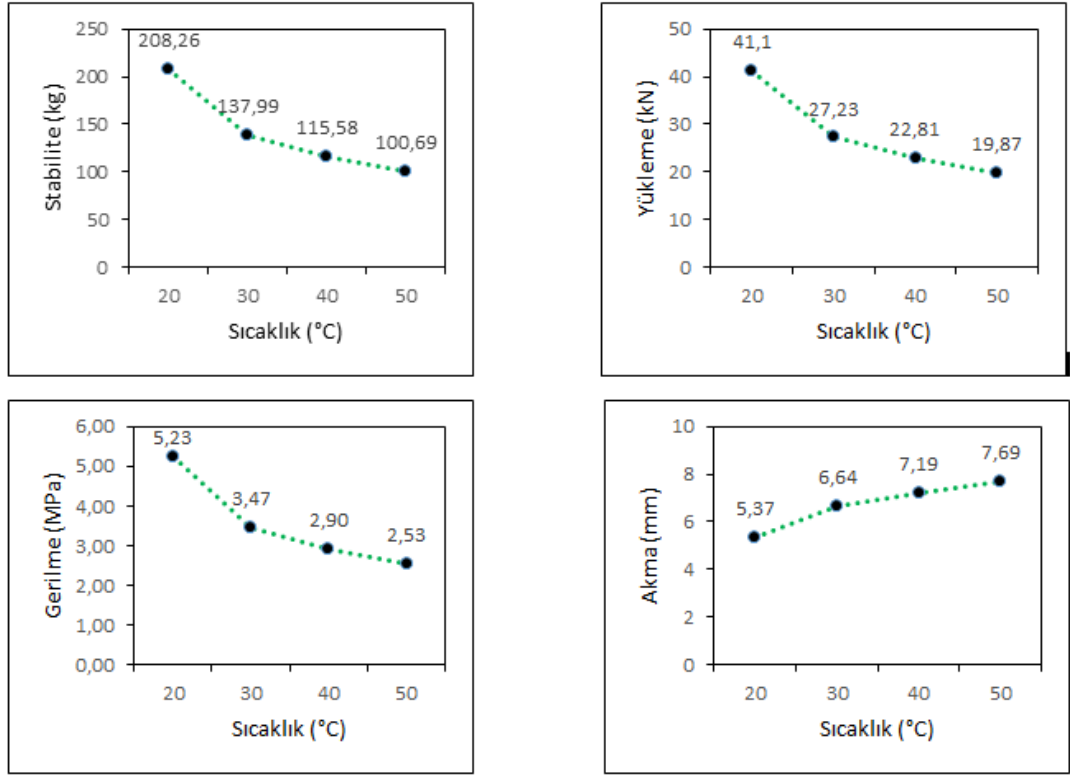
Şekil 3.2. BSK numunelerinde sıcaklığın etkisine bağlı olarak stabilite, yükleme, akma ve gerilme değerlerinde meydana gelen değişikliklerin test cihazındaki değerleri ve grafiksel gösterimi



Şekil 3.3. BSK numunelerinde sıcaklığın (20, 30, 40 ve 50 °C) etkisine bağlı olarak deneyler sonrası meydana gelen deformasyonlar

Çizelge 3.1.: BSK numunelerinde sıcaklığın etkisine bağlı olarak meydana gelen mekanik değişikliklerin değerleri

Sıcaklık (°C)	Stabilite (kg)	Yükleme (kN)	Akma (mm)	Gerilme (MPa)
20	208.26	41.10	5.37	5.23
30	137.99	27.23	6.64	3.47
40	115.58	22.81	7.19	2.90
50	100.69	19.87	7.69	2.53



Şekil 3.4. BSK numunelerinde sıcaklığın etkisine bağlı olarak meydana gelen mekanik değişikliklerin grafiksel gösterimi

3.3. Beton (C25) Numunelerinin Mekanik Özelliklerinin Farklı Sıcaklıklardaki Değişimi

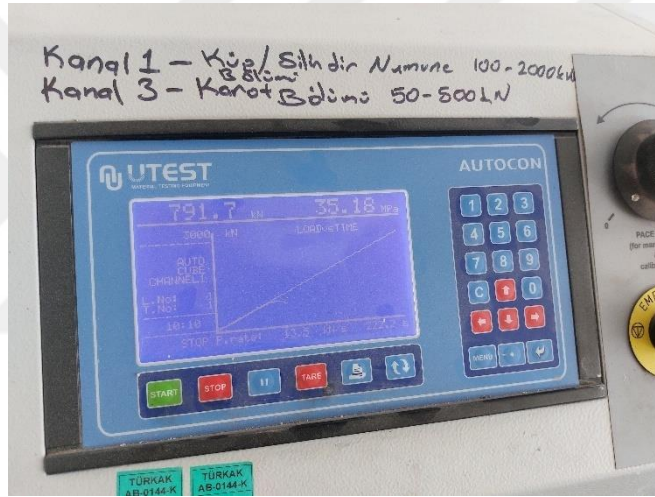
Beton (C25) basınç testleri, numunelerin kürlenip kurutulmasının akabinde 7 günlük basınç dayanımı temel alınarak birer numune alınarak 20°, 30°, 40° ve 50 °C’lerde 24 saat boyunca etüvde bekletildikten sonra yapılmışlardır. Beton numunelerinin yük taşıma kapasiteleri ve basınç dayanımları basınç testleri uygulanarak tespit edilmiştir. BSK ve beton numunelerin testleri farklı olsa da temel alınan nokta, sıcaklığın mekanik özellik üzerindeki etkisinin incelenmesidir.

Basınç dayanımları bilinen beton ve SSB numuneleri bizlere kullanılacak betonun ve SSB’nin mekanik özellikleri hakkında bilgi verir. Basınç dayanımı yükseldikçe betonda su geçirgenliği azalır ve betonun dayanıklılığı artar.

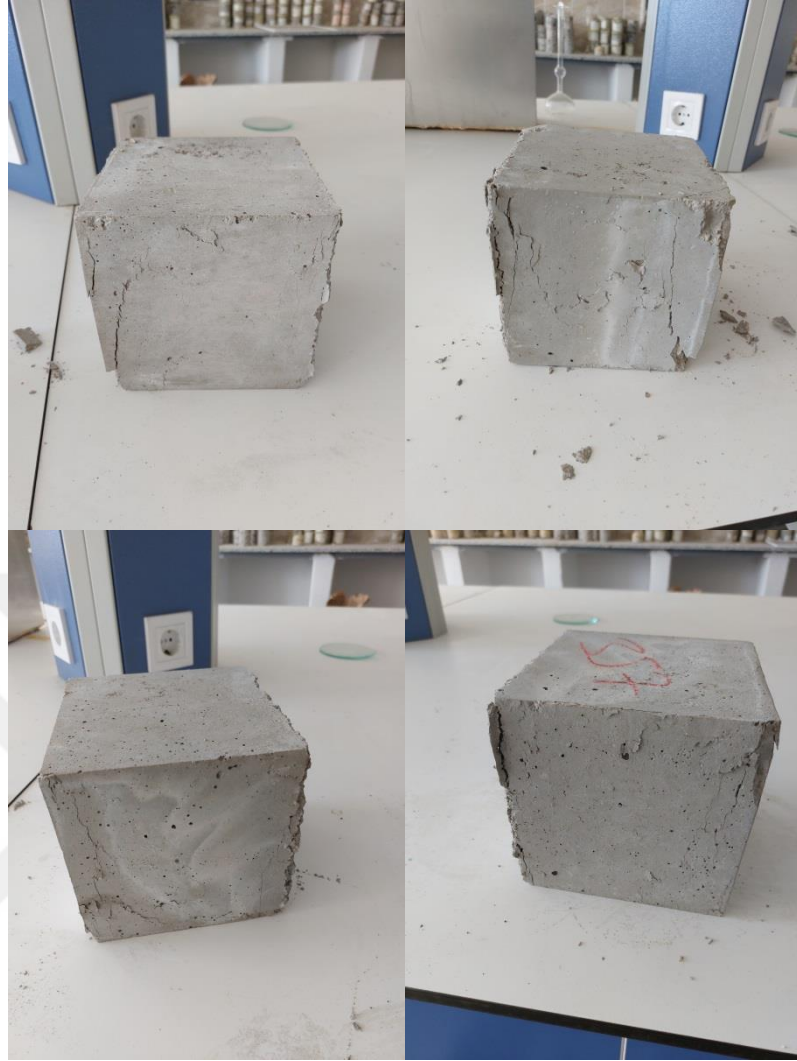
Çizelge 3.2 ve Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3. 7 ve Şekil 3.8’de sıcaklığa bağlı olarak beton numunelerinde oluşan yük kapasitesi ve basınç dayanımı verilmiştir. Asfalttan farklı olarak beton numunelerinde yük kapasitesi ve basınç dayanımında sıcaklığa bağlı olarak bariz farklar görülmemekte, neredeyse aynı kalmaktadırlar.



Şekil 3.5. Sıcaklığa bağlı olarak beton numunelerinde oluşan yük kapasitesi ve basınç dayanımının ölçülmesi



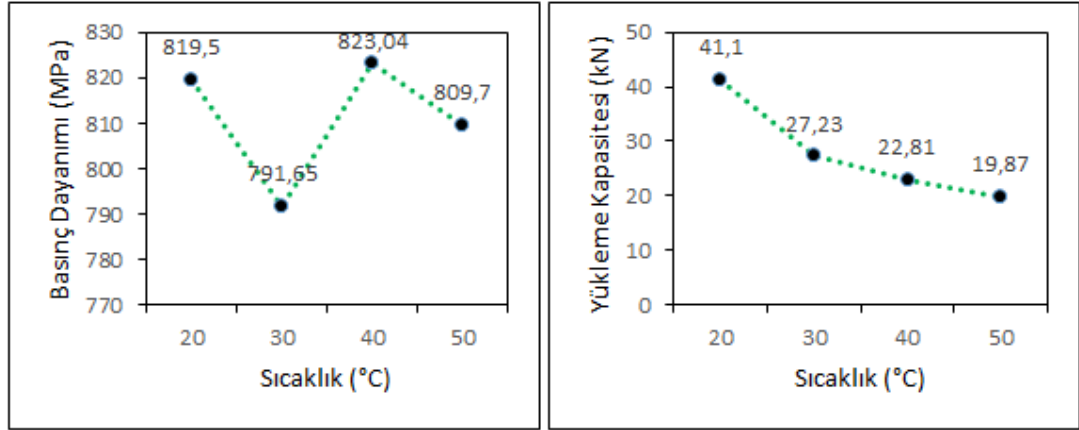
Şekil 3.6. Sıcaklığa bağlı olarak beton numunelerinde oluşan yük kapasitesi ve basınç dayanımının test cihazındaki değerleri ve grafiksel gösterimi



Şekil 3.7. Sıcaklığa bağlı (20, 30, 40 ve 50 °C) olarak beton numunelerinde deneyler sonrası meydana gelen deformasyonlar

Çizelge 3.2.: Beton numunelerinde sıcaklığın etkisine bağlı olarak meydana gelen mekanik değişikliklerin değerleri

Sıcaklık (°C)	Basınç Dayanımı (MPa)	Yükleme Kapasitesi (kN)
20	36.42	819.50
30	35.18	791.65
40	36.58	823.04
50	35.99	809.70



Şekil 3.8. Beton numunelerinde sıcaklığın etkisine bağlı olarak meydana gelen mekanik değişikliklerin grafiksel gösterimi

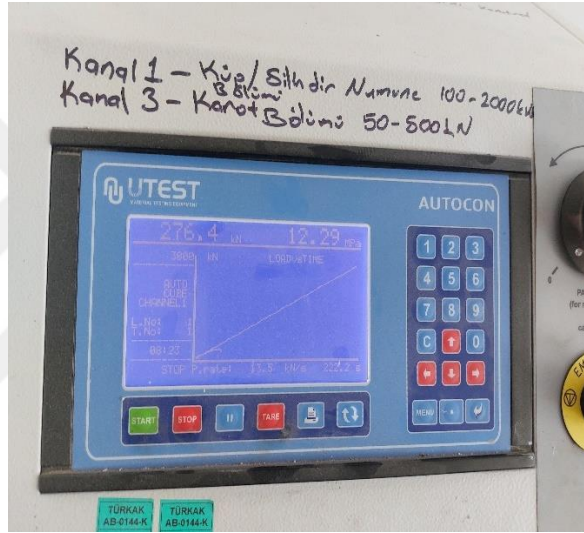
3.4. Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) Numunelerinin Mekanik Özelliklerinin Farklı Sıcaklıklardaki Değişimi

Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) basınç testleri, numunelerin kürlenip kurutulmasının akabinde 7 günlük basınç dayanımı temel alınarak birer numune olmak üzere 20°, 30°, 40° ve 50 °C’lerde 24 saat boyunca etüvde bekletildikten sonra yapılmışlardır. SSB numunelerinin yük taşıma kapasiteleri ve basınç dayanımları basınç testleri uygulanarak tespit edilmiştir. Beton ile aynı içeriklere sahip olsa da karışım oranları değişmektedir. SSB üstyapı kaplama olarak kullanıldığında karışım kuru ve sert olduğundan silindirle sıkıştırılabilir özelliktedir. SSB kaplamanın serilmesi basit ve hızlıdır. Bunun yanında beton kaplamaya göre ekonomikliği de daha fazladır.

Çizelge 3.3 ve Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de sıcaklığa bağlı olarak SSB numunelerinde oluşan yük kapasitesi ve basınç dayanımı verilmiştir. SSB’nin basınç dayanımı 30 MPa ortalamasında iken 15 MPa’da kalmasının sebebi SSB için kullanılan malzemenin, mikserde hazırlanan malzeme küplere doldurulduğunda, sahadaki uygulamada kullanıldığı şekilde sıkıştırma yerine tokmak ile vurmak suretiyle sıkıştırılması ve su oranının düşük kalmasıdır. Yalnız çalışmada temel amaç sıcaklık değişikliklerinde SSB’nin mekanik davranışlarında meydana gelen özellikleri incelemektir. Bu yüzden dayanımla ilgili bu dayanım düşüklüğü çalışmanın amacını etkilememektedir. Nitekim veriler incelendiğinde sıcaklık arttıkça SSB’nin yük kapasitesi ve basınç dayanımı artmaktadır. 20 °C ve 30 °C arasında SSB’un yük kapasitesi ve basınç deneyimi gözle görülür bir şekilde artmaktadır. 30 °C ve 50 °C arasında ise bariz bir fark oluşmamıştır. Yalnızca 50 °C’deki performans ile 20 °C’deki performans karşılaştırıldığında %23 oranında daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



Şekil 3.9. Sıcaklığa bağlı olarak SSB numunelerinde oluşan yük kapasitesi ve basınç dayanımının ölçülmesi



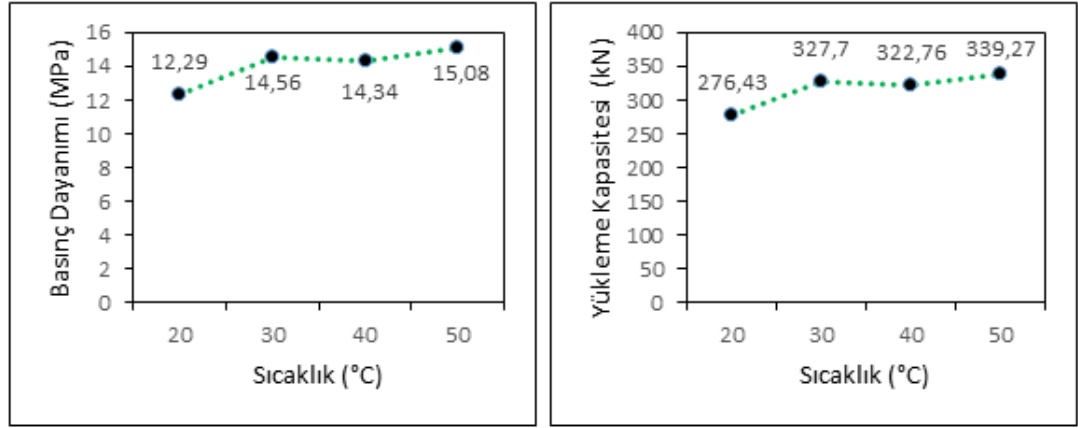
Şekil 3.10. Sıcaklığa bağlı olarak SSB numunelerinde oluşan yük kapasitesi ve basınç dayanımının test cihazındaki değerleri ve grafiksel gösterimi



Şekil 3.11. Sıcaklığa bağlı olarak (20, 30, 40, 50 °C) SSB numunelerinde deneyler sonrası meydana gelen deformasyonlar

Çizelge 3.3.: SSB numunelerinde sıcaklığın etkisine bağlı olarak meydana gelen mekanik değişikliklerin değerleri

Sıcaklık (°C)	Basınç Dayanımı (MPa)	Yüklemeye Kapasitesi (kN)
20	12.29	276.43
30	14.56	327.70
40	14.34	322.76
50	15.08	339.27



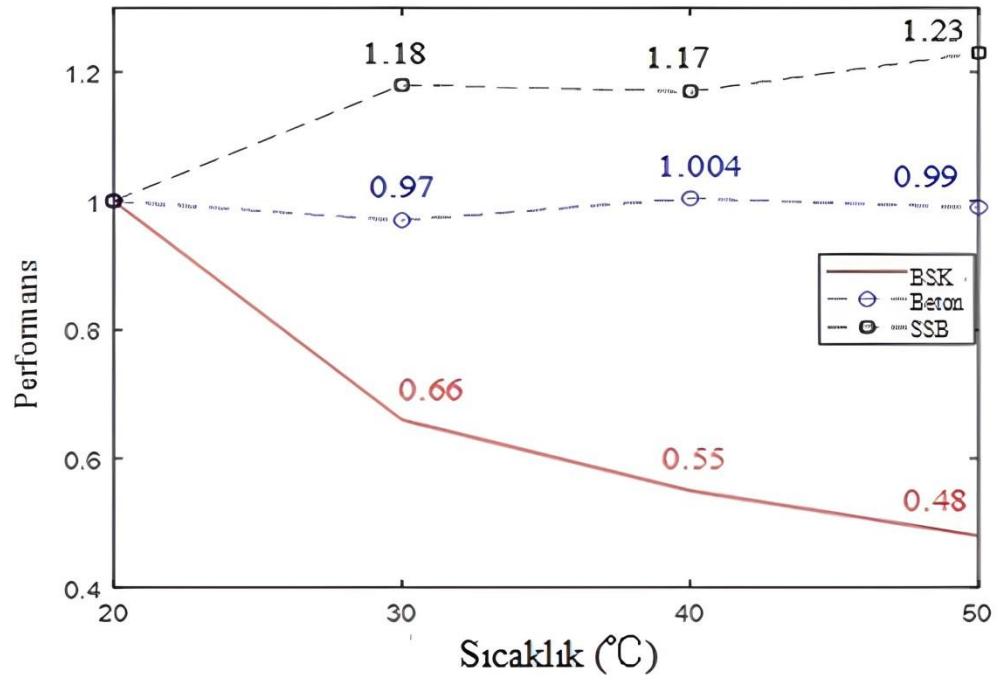
Şekil 3.12. SSB numunelerinde sıcaklığın etkisine bağlı olarak meydana gelen mekanik değişikliklerin grafiksel gösterimi

3.5.Sonuçların Karşılaştırılması

Betonun, SSB'nin ve BSK'nın sıcaklık karşısındaki performansları Şekil 3.13 ve Çizelge 3.4'te gösterilmiştir. Başlangıç noktası 20 °C alınmıştır. Normal sıcaklık değerine en yakın değer olduğundan bu şekilde temel alınmıştır. Performans ölçümü için en baştan bu yana kritik nokta olarak ele aldığımız gerilme- basınç dayanımı temel alınmıştır. Şekil 3.4'te görüleceği üzere sıcaklık arttıkça BSK performansı % 52 oranında düşmüştür. Betonun (C25) sıcaklık karşısındaki performansı istikrarlı iken, SSB sıcaklık karşısında performansını % 23 arttırmıştır. Belirtildiği üzere sıcaklık karşısında asfalt hassasiyet gösterir. Nitekim yapılan deneyler bunu göstermiştir. Asfalt için yapılan testlerde 20 °C ile 30 °C arası en önemli geçiş bölgesi olmuştur. Asfaltın kendisi malzeme olarak elastik bir malzeme iken ortalama sıcaklık değeri aşıldığında visko-elastik bir davranış sergilemeye başlar. Cizre ve Silopi bölgesindeki aşırı sıcak havalar ile visko-elastik yapıya bürünen BSK kaplama, karayolu üzerindeki yoğun ağır taşıt trafiği ile birleşince yol boyu hasarlar oluşmaya başlar. Tüm bu durum değerlendirildiğinde betonun dayanım kaybetmemesi nedeniyle asfalttan daha iyi olacağı ve yine SSB'nin dayanımının artması nedeniyle betondan da daha iyi bir çözüm getireceği aşikârdır. Asfaltın sıcaklık ile basınç dayanımı başlangıçta 5.23 MPa iken sıcaklık arttıkça bu dayanım düşmüş ve 2.53 MPa ile yaklaşık % 52 oranında dayanım kaybı yaşamıştır. Betondaki (C25) dayanımı başlangıçta 36 MPa iken sıcaklık arttıkça basınç dayanımı stabil kalmıştır. SSB'nin basınç dayanımı 12.29 MPa iken sıcaklık arttıkça basınç dayanımı 15 Mpa'a kadar artmıştır. Basınç dayanımına dayalı olarak baktığımızda beton (C25) asfaltın 14 katı kadar ve yine SSB ise asfaltın 6 katı kadar dayanım göstermektedir. Cizre- Silopi bölgesinin sıcak havası ve karayolunun trafikteki ağır taşıt dingil yükü değerlendirildiğinde betonun (C25) ve SSB'nin BSK üstyapıya oranla Cizre- Silopi karayolu için kullanılması daha uygun olacaktır.

Çizelge 3.4.: BSK, Beton ve SSB numunelerinde 20 °C sıcaklıktaki gerilme – basınç dayanımı baz alınarak sıcaklığın etkisine bağlı olarak değişik sıcaklık değerlerinde meydana gelen mekanik değişikliklerin performans değerleri

Sıcaklık (°C)	BSK	Beton (C25)	SSB
20	1.00	1.00	1.00
30	0.66	0.97	1.18
40	0.55	1.004	1.17
50	0.48	0.99	1.23



Şekil 3.13. BSK, Beton ve SSB numunelerinde 20 °C sıcaklıktaki gerilme – basınç dayanımı temel alınarak sıcaklığın etkisine bağlı olarak meydana gelen mekanik değişikliklerin performans değerlerinin grafiksel gösterimi

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1. Çalışmanın Sonuçları

Bu çalışma ile tarihi ipek yolunun bir parçası olan Cizre- Silopi karayolunun üstyapısının BSK kaplaması üzerinde meydana gelen bozulmaların ve problemlerin neden kaynaklandığı ve çözüm önerileri araştırılmıştır. Karayolunda, üstyapısının BSK kaplama olması nedeniyle sürekli onarım ve yeniden yapım süreci yaşanmaktadır. Karayolu üzerinde hem yeni yapılan kısımda hem de eski kısımda incelemeler yapılmıştır. Karayolu üstyapısında meydana gelen yol bozulmaları belirlenmiştir. Cizre ve Silopi bölgesi boyunca yıl boyu yaşanan ortalama sıcaklık 25 °C civarında iken, yaz mevsiminde Türkiye sıcaklık rekorları olan 50 °C'lere kadar sıcaklık seviyeleri yükselmektedir. Asfaltın sıcaklık karşısındaki hassasiyeti bilindiğinden sahadan alınan BSK karot numuneleri, Beton (C25) numuneleri ve SSB numunelerinin her biri için 20°, 30°, 40° ve 50 °C sıcaklıklardaki basınç dayanımları incelenmiş ve analizleri yapılmıştır. Yıllık ağır taşıt trafik hacminin yaklaşık % 41 olduğu karayolunda dingil yükleri ve bunlardan kaynaklanan basınçlar bir arada değerlendirilerek aşağıda yer alan neticelere varılmıştır;

- BSK numuneler üzerinde yapılan incelemelerde 20 °C'den 50 °C'ye sıcaklık arttığında asfalt kaplama, performansının % 52'sini kaybetmiştir. BSK'nın akma değerinde yaklaşık % 43 oranında akışkanlık artışı olmuştur. BSK'nın sıcaklık artışlarında kritik noktaları 20 °C ve 30 °C arasında iken olmuştur. Bu da bizlere sıcaklık arttıkça asfaltın elastik iken viskoz- elastik bir yapıya büründüğünü göstermiştir. Mekanik özellikler incelendiğinde sıcak havalarda BSK'nın hassas olduğu görülmektedir.
- Tekerlek izi Cizre- Silopi karayolu boyunca en fazla tespit edilen yol bozulmaları olmuştur. Asfaltın sıcaklık artışı ile akıcı- viskoz bir yapıya büründüğü belirlenmiştir. Nitekim tekerlek izinin oluşum sebebine baktığımızda yaz mevsimi sıcaklıklarının 50 °C'ye vardığı ve ağır taşıt trafik oranının % 40'lara vardığı karayolunda dingil yükleri ve bu yüklerin oluşturduğu basınçların neden olduğu görülmektedir.
- Beton (C25) numuneler incelendiğinde sıcaklık artışı ile yük kapasitesinde ve basınç dayanımında önemli derecede değişim yaşanmamış ve 20 °C ile 50 °C arası arttırılan sıcaklıklarda da betonun mekanik özelliklerinde istikrarlı yapısını korumuştur. Yıl boyu ortalama sıcaklıkları 25 °C ve 26 °C civarı olan ve yaz mevsiminde sıcaklık 45 °C ve 50 °C'ye ulaşan Cizre ve Silopi gibi bölgelerde BSK kaplama yerine betonun kullanılmasının uygunluğu sıcak havalardan etkilenmemesi ve basınca karşı dayanıklı olmasından görülmektedir. Basınçtan etkilenmemesi ve sıcaklık karşısında mekanik özellik olarak farklılık oluşmaması nedeniyle tekerlek izlerinin betonda oluşmadığı görülmektedir.
- SSB numunelerde yapılan incelemelerde sıcaklık arttıkça SSB'nin yük kapasitesinde ve basınç dayanımında artış gözlemlenmiştir.

- BSK'nın beton (C25) ve SSB'ye oranla basınç dayanımı açısından düşük kaldığı tespit edilmiştir. Nitekim BSK numunelerinde başta 5.23 MPa olan basınç dayanımı sıcaklık arttığı zaman 2.53 MPa'a kadar düşüş göstermiştir. Betondaki (C25) dayanım başta 36 MPa ve sonrasında da yaklaşık değerlerle devam etmiştir. SSB numunelerinde ise dayanım başta 15 MPa iken sıcaklık arttıkça basınç dayanımının arttığı belirlenmiştir

4.2. Öneriler

Ağır taşıt trafiğinden kaynaklanan dingil yükleri ve yüksek sıcaklıkların BSK üstyapısında bozulmaların temel nedeni olması nedeniyle Cizre- Silopi karayolu için sıcaklık artsa bile dayanımı etkilenmeyen beton (C25) veya SSB'nin BSK'ya karşın yol kaplaması olarak kullanılması önerilmektedir.

BSK üstyapıda sürekli olarak yapılan onarımlar ve bakımlar SSB veya Beton (C25) kullanıldığında çok önemli oranda düşecektir. Uzun vadede de çok daha ekonomik ve asfalta göre daha uzun yıllar kullanım imkânı sağlayacaktır.

Beton (C25) ve SSB'nin her ikisi de BSK'ya oranla çevreye daha az zarar vermektedir. Nitekim BSK sera gazı emisyonuna daha fazla sebebiyet vermekte ve küresel ısınma potansiyelini arttırmaktadır. Mühendislerin yol tasarımları yaparken iklim değişikliklerini göz önünde bulundurarak, daha uzun süreli hava ve iklim serilerini dâhil ederek, mühendislik uygulama standartlarını güncellemeleri önerilmektedir.

Bu alanda yapılacak daha fazla deney ile gerek BSK'nın gerekse beton (C25) ve SSB'nin üstyapısı için karşılaştırmalar yapılması alan literatürüne çok büyük katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

<https://www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/kurumsal/yolagi.aspx>

<https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/TrafikHacimHaritasi.aspx>

Aralık-2022 Ülke Geneli Trafik İstatistik Bülteni, Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Başkanlığı, Ankara.

Kutluhan S.,2008. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Tekerlek İzi Oluşumunun Modellemesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 183s.

Bağdatlı M. E. C., Yıldırım M. Ş., Karayolu üstyapılarındaki Bozulmaların Bakım Maliyetlerine Etkisi, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi Cilt 6(1) 102-111 2017.

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/nevbiltek/issue/28378/304473>.

Karayolları, 2000.Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Mazumder M., Sriraman V., Kim H.H., Lee S-L.. Quantifying the environmental burdens of the hot mix asphalt (HMA) pavements and the production of warm mix asphalt (WMA). International Journal of Pavement Research and Technology 9 (2016) 190–201. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1996681416300025?via%3Dihub>.

<http://atis.com.tr/raiseapp-project/asfalt-beton-3/>

<https://santiyede.com/sathi-kaplama-nedir-avantaj-ve-dezavantajlari/>

KGM, 2022. İstatistikler-Devlet ve İl Yolu Envanteri-Yol Ağı Uzunluğu. <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Istatistikler/DevletveIlYolEnvanteri.aspx>

Butt A.A.,Toller S., Birgisson B.. Life cycle assessment for the green procurement of roads: a way forward. Journal of Cleaner Production 90 (2015) 163-170. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261401275X?via%3Dihub>.

Ulaştırma Ana Planı Stratejisi, 2003-2005. İTÜ Ulaştırma Uygulama Araştırma Merkezi.

Ma F.,Sha A., Lin R., Huang Y., Wang C.. Greenhouse Gas Emissions from Asphalt Pavement Construction: A Case Study in China. Int. J. Environ. Res. Public Health 2016, 13, 351. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27011196/>.

Yayla, N., 2006. Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul, ISBN9755112871

Hanson C.,Noland R., Cavale K.. Life-cycle greenhouse gas emissions of materials used in road construction. J. Transp. Res. Board 2287 (2012) 174–181.

<https://journals.sagepub.com/doi/10.3141/2287-21>

İlcalı, M., Tayfur, S., Özen, H.,Sönmez, İ.,Eren, K., 2001.Asfalt ve Uygulamaları, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayın Merkezi Başkanlığı, İsfalt, Seçil Ofset, 280s.

Gedik A.. A review on the evaluation of the potential utilization of construction and demolition waste in hot mix asphalt pavements. *Resources, Conservation&Recycling* 161 (2020)104956. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344920302743?via%3Dihub>.

Hanlı, E., 2009. Esnek Yol Üstyapısında Oluşan Bozulmalar ve Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 139s.

Neden Beton Yollar? Türkiye Hazır Beton Birliği. <https://www.thbb.org/teknik-bilgiler/beton-yollar/>

Gedik A., Selçuk S., Lav A. H.. Investigation of recycled fluorescent lamps waste as mineral filler in highway construction: A case of asphaltic pavement layers. *Resources, Conservation&Recycling* 168 (2021) 105290. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344920306054?via%3Dihub>.

Arık, A., 1998. Balıkesir İli Çevresindeki Karayollarında Esnek Üstyapı Bozulmalarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 86s.

Gao Y., Zhang Y., Yang Y., Zhang J., Gu F.. Molecular Dynamics investigation of interfacial adhesion between oxidised bitumen and mineral surfaces. *Applied Surface Science* 479 (2019) 449–462. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169433219304635?via%3Dihub>

Ağar, E., Umar, F., 1991. Yol Üstyapısı, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.

Sanchis I.V., Franco R. I., Fernandez P. M., Zuriaga P.S. (PhD), Torres J.B.F.. Risk of increasing temperature due to climate change on high speed rail network in Spain. *Transportation Research Part D* 82 (2020) 102312. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920919303979?via%3Dihub>.

İyınam, Ş., 1997. Karayollarında Üstyapı Bakım Çalışmalarını Planlama Metodolojisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

KGM (2022). Karayollarında Ağır Taşıt Trafiğinin ve Yük Taşımacılığının Özellikleri ve Eğilimleri-2015-2020 Yılı Etüt Sonuçları, Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı Ulaşım Etütleri Şubesi Müdürlüğü. [https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Yayinlar/YayinPdf/Karayollar%C4%B1ndaAğırTaşıtTrafiğininveYükTaşımacı%C4%B1lığınınÖzellikleriE%C4%9Filimleri\(2015-2020\).pdf](https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Yayinlar/YayinPdf/Karayollar%C4%B1ndaAğırTaşıtTrafiğininveYükTaşımacı%C4%B1lığınınÖzellikleriE%C4%9Filimleri(2015-2020).pdf)

Wang T., Qu Z., Yang Z., Nichol T., Clarke G., Ge Y-E.. Climate change research on Transportation systems: Climate risks, adaptation and planning. *Transportation Research Part D* 88 (2020) 102553. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920920307409?via%3Dihub>.

Güzel, G., 2001. Seminer Çalışması, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Blaauw S. A., Maina J. W., Mturi G. A. J., Visser A. T.. Flexible pavement performance and life cycle assessment incorporating climate change impacts. *Transportation Research Part D* 104 (2022) 103203. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920922000335?via%3Dihub>.

AASHTO, 2003.A. Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Washington D.C.

Gao Y.,Zhang Y., Zhang C., Liu X., Jing R.. Quantifying oxygen diffusion in bitumen films using molecular Dynamics simulations. *Construction and Building Materials* 331 (2022) 127325. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061822010054?via%3Dihub>.

Doğan, O.,2006. Esnek Üstyapılı Devlet Yollarındaki Bozulmaların Bulanık Mantık ile Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 98s.

Li L.,Gao Y., Zhang Y.. Crack length based healing characterisation of bitumen at different levels of cracking damage. *Journal of Cleaner Production* 258 (2020) 120709. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620307563?via%3Dihub>.

California Department of Transportation.,2001. Felexible Pavement Rehabilitation Manual, State of California, 154s.

Wang F.,Li N., Hoff I., Wu S., Li J., Barbieri D. M., Zhang L.. Characteristics of VOCs generated during production and construction of an asphalt pavement. *Transportation Research Part D* 87 (2020) 102517. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920920307045?via%3Dihub>.

US Department of Transportation, 2005.AsphaltConcretePavement,DistressIdendification Guide, State of North Dakota Product.

Chen X.,Wang H., Horton R., DeFlorio C.. Life-cycle assessment of climate change impact on time-dependent carbon-footprint of asphalt pavement. *Transportation Research Part D* 91 (2021) 102697. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920921000031?via%3Dihub>.

Terzi, S.,2004. Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla Karayolu Üstyapı Bakım Yönetim Modeli Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

Zhang C., Tan Y., Zhang L., Li G., Zhang J., Wang Y.. Developing fragility curves for asphalt mixture to assess the uncertainty of the permanent deformation performance. *Construction and Building Materials* 310 (2021) 125272. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061821030130?via%3Dihub>.

KGM, 2022. Karayollarında Ağır Taşıt Trafığının ve Yük Taşımacılığının Özellikleri ve Eğilimleri, 2015-2020 Yılı Etüt Sonuçları.

Basit A.,Shafiee M., Bashir R., Perras M. A.. Climate change and asphalt binder selection across ontario: A quantitative analysis to wards the end of the century. *Construction and Building Materials* 361 (2022) 129682. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061822033384?via%3Dihub>.

Meagher W., Daniel J.S., Jacobs J., Linder E.. Method for Evaluating Implications of Climate Change for Design and Performance of Flexible Pavements. *Transp. Res. Rec.* 2305 (1), (2012) 111–120. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3141/2305-12>.

Underwood B., Guido Z., Gudipudi P., Feinberg Y.. Increased costs to US pavement in frastructure from future temperature rise. *Nature Climate Change* 7, 704–707 (2017). <https://doi.org/10.1038/nclimate3390>.

Jitsangiam P., Kumlai S., Nikraz H.. New theoretical frame work for temperature-effect integration into asphalt concrete pavement life prediction with respect to Australian pavement conditions, *Road Materials and Pavement Design*, 23:3, (2022) 583–600, <https://doi.org/10.1080/14680629.2020.1834440>.

Qiao Y., Dawson A.R., Parry T., Flintsch G. W.. Evaluating the effects of climate change on road maintenance intervention strategies and Life-Cycle Costs. *Transportation Research Part D* 41 (2015) 492–503. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920915001431?via%3Dihub>.

Stoner A. M. K., Daniel J.S., Jacobs J.M., Hayhoe K., Scott-Fleming I. Quantifying the Impact of Climate Change on Flexible Pavement Performance and Life time in the United States. *Transportation Research Record* 2019, Vol. 2673(1) 110–122. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0361198118821877>.

Knott J.F., Sias J.E., Dave E.V., Jacobs J.M., 2019. Seasonal and Long-Term Changes to Pavement Life Caused by Rising Temperatures from Climate Change. *Transp. Res. Rec.* 2673 (6), 267–278. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0361198119844249?journalCode=trra>.

Mills B.N., Tighe S.L., Andrey J., Smith J.T., Huen K., 2009. Climate Change Implications for Flexible Pavement Design and Performance in Southern Canada. *J. Transp. Eng.* 135 (10), 773–782. <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-947X%282009%29135%3A10%28773%29>.

Qiao Y., Flintsch G.W., Dawson A.R., Parry T., 2013. Examining Effects of Climatic Factors on Flexible Pavement Performance and Service Life. *Transp. Res. Rec.* 2349 (1), 100–107. <https://journals.sagepub.com/doi/10.3141/2349-12>.

Gudipudi P. P., Underwood B. S., Zalgout A.. Impact of climate change on pavement structural performance in the United States. *Transportation Research Part D* 57 (2017) 172–184. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920917304030?via%3Dihub>.

Bairgi B. K., Tarefder R. A., Ahmed M. U.. Long-term rutting and stripping characteristics of foamed warm-mix asphalt (WMA) through laboratory and field investigation. *Construction and Building Materials* 170 (2018) 790–800. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818305385?via%3Dihub>.

Zhang C., Tan Y., Gao Y., Fu Y., Li J., Li S., Zhou X.. Resilience assessment of asphalt pavement rutting under climate change. *Transportation Research Part D* 109 (2022) 103395. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136192092200222X?via%3Dihub>.

Anupam B. R., Sahoo U. C., Chandrappa A. K.. A methodological review on self-healing asphalt pavements. *Construction and Building Materials* 321 (2022) 126395. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061822000897?via%3Dihub>.

<https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/TrafikHacimHaritalari2021.aspx>

https://www.meteoblue.com/tr/hava/historyclimate/climatemodelled/cizre_t%c3%bcrkiye_318253

https://www.meteoblue.com/tr/hava/historyclimate/climatemodelled/silopi_t%c3%bcrkiye_300797

Bağdatlı M. E. C., Yıldırım M. Ş., Karayolu Üstyapılarındaki Bozulmaların Bakım Maliyetlerine Etkisi, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi Cilt 6(1) 102-111 2017 DOI: 10.17100/nevbiltek.304473

URL: <http://dx.doi.org/10.17100/nevbiltek.304473>

Ayçiçek S., 2011. Esnek Üstyapılarda İmalat ve Uygulama Kusurları, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, 116s.

Kozak M., Beton Yollar ve Beton Yol Yapımının Araştırılması, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 7, Sayı: 1, 2011 (89-99).

<https://dergipark.org.tr/en/pub/yted/issue/22210/238475>

İyınam Ş., Ağar E. Karayollarında Hazır Beton, 2003.

<https://www.thbb.org/media/202906/108.pdf>

Engin Y., Gökalp İ., Önkol E., Ağaç H., Ekim H., Türkiye’de Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yol Uygulamaları, Hazır Beton Dergisi, Eylül –Ekim 2019.

https://www.thbb.org/media/386775/hazir_beton_dergisi_155_turkiyede_silindirle_sikistirilmis_beton_yol_uygulamalari.pdf

Crompton S., Otoyollar için Kompozit Çözümlerde Silindirle Sıkıştırılmış Beton Kullanımı, Hazır Beton Dergisi, Mayıs- Haziran 2015.

https://www.thbb.org/media/386775/hazir_beton_dergisi_155_turkiyede_silindirle_sikistirilmis_beton_yol_uygulamalari.pdf

Yaman İ.Ö., Ceylan H., Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar, Hazır Beton Dergisi, Mayıs- Haziran 2013.

<https://www.thbb.org/media/2075/makale117.pdf>