



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**BITÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA KULLANILAN FARKLI LİF
BOYLARININ KARIŞIMIN FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

EREN DEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN

DOÇ. DR. SERCAN SERİN

DÜZCE, 2022

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA KULLANILAN FARKLI LİF
BOYLARININ KARIŞIMIN FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Eren DEMİR tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Sercan SERİN

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Sercan SERİN

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU

Sakarya Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Bekir ÇOMAK

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 08/08/2022

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

08 Ağustos 2022

Eren DEMİR

TEŐEKKÜR

Tez çalışmasının konusu, deneysel çalıőmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazım aşamasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Sercan SERİN'e en içten dileklerle teőekkür ederim. Çalıőmalarımda bana katkı sağlayan ve destek olan Arő. Gör. Yakup NAL'a teőekkür ederim.

Bu alıőma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaőlarıma sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2022

Eren DEMİR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	i
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ii
KISALTMALAR.....	iii
SİMGELER.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. KARAYOLU ÜSTYAPISI.....	3
1.1.1. Rijit Üstyapılar.....	3
1.1.2. Kompozit (Yarı Rijit) Üstyapılar.....	3
1.1.3. Esnek Üstyapılar.....	4
1.1.3.1. Alt Temel Tabakası.....	5
1.1.3.2. Temel Tabakası.....	5
1.1.3.3. Bitümlü Temel Tabakası.....	5
1.1.3.4. Binder Tabakası.....	5
1.1.3.5. Aşınma Tabakası.....	6
1.2. ESNEK ÜSTYAPILARDA MEYDANA GELEN BOZULMALAR.....	6
1.2.1. Deformasyonlar.....	6
1.2.2. Çatlamlar.....	7
1.2.3. Ayrışmalar.....	7
1.3. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLAR.....	8
1.3.1. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Malzemeler.....	8
1.3.1.1. Agregalar.....	8
1.3.1.2. Bitümlü Bağlayıcılar.....	9
1.4. LİFLER VE LİFLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	10
1.4.1. Lif Türleri.....	10
1.4.1.1. Doğal Lifler.....	12
1.4.1.2. Sentetik (Yapay) Lifler.....	12
1.4.1.3. Bazalt Lifler.....	12
1.4.1.4. Cam Lifler.....	12
1.4.1.5. Çelik Lifler.....	13
2. LİTERATÜR TARAMASI VE KAYNAK ÖZETLERİ.....	15
3. MATERYAL.....	23
3.1. AGREGA.....	23
3.1.1. Elek Analizi Deneyi.....	23
3.1.1. Los Angeles Aşınma Deneyi.....	25
3.1.2. Hava Tesirlerine Karşı Dayanım Deneyi (Donma Deneyi).....	25
3.1.3. Yassılık İndeksi Deneyi.....	25
3.1.4. Özgül Ağırlık ve Absorpsiyon Deneyi.....	26
3.2. BİTÜMLÜ BAĞLAYICI.....	26

3.3. CAMLİFİ.....	27
4. METOD.....	29
4.1. MARSHALL DENEYİ.....	30
4.1.1. Deneyde Kullanılan Aletler	30
4.1.2. Deney Malzemeleri.....	30
4.1.3. Numunelerin Hazırlanması.....	30
4.1.4. Deneyin Yapılışı.....	31
5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR.....	37
5.1. LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI.....	37
5.2. İSTATİSTİKSEL ANALİZ SONUÇLARI.....	42
6. SONUÇLAR	47
7. KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	53

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1-1. Esnek üstyapı en kesiti.	2
Şekil 1-2. Rijit üstyapı kesiti (Torun, 2015).	3
Şekil 1-3. Esnek üstyapı katmanları (Özüğurlu, 2015).....	4
Şekil 1-4. Tekerlek izi oluşumu (İskender, 2004).	6
Şekil 1-5. Üstyapıda oluşan çatlama (Hanlı, 2009).	7
Şekil 3-1. Agreganın numunelerinin ve elek takımlarının hazırlanma aşaması ve 0-4 mm çaplı agreganın eleme işlemi.	24
Şekil 4-1. Çalışmaya ait akış şeması.....	29
Şekil 4-2. Agreganın ve bitümün karıştırılması.....	31
Şekil 4-3. Numunenin ısı kontrolü.....	32
Şekil 4-4. Deney numunesine farklı boylarda cam lifi eklenmesi.....	32
Şekil 4-5. Numunelerin etüvde bekletilmesi.....	33
Şekil 4-6. Deney numunelerinin sıkıştırma işlemine hazırlanması.....	33
Şekil 4-7. Marshall numunelerinin sıkıştırılması işlemi.....	34
Şekil 4-8. Numunelerin kalıptan çıkarılması.....	34
Şekil 4-9. Marshall numunesi boy ölçümü.....	35
Şekil 4-10. Marshall numunelerin tartılması.....	35
Şekil 4-11. Marshall stabilite deneyi.....	36
Şekil 5-1. Farklı lif içeriği ve boyuna sahip numunelere ait Stabilite (kg) değerleri.	37
Şekil 5-2. Farklı lif içeriği ve boyuna sahip numunelerin Akma (mm) değerleri.....	38
Şekil 5-3. Farklı lif içeriği ve boyuna sahip numunelere ait V_{MA} (%) değerleri.....	39
Şekil 5-4. Farklı lif içeriği boyuna sahip numunelere ait V_f (%) değerleri.....	40
Şekil 5-5. Farklı lif içeriği ve boyuna sahip numunelere ait V_h (%) değerleri.....	40
Şekil 5-6. Farklı lif içeriği ve boyuna sahip numunelere ait pratik yoğunluk değerleri.	41
Şekil 5-7. Marshall katsayısı değerleri (MQ).....	41
Şekil 5-8. Tahmini ve gerçek marshall stabilite değerleri arasındaki ilişki.....	46

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1.1. Bitümlü malzemelerin sınıflandırılması (Orhan, 2012).	10
Çizelge 1.2. Lif çeşitleri (Aral, 2006).	11
Çizelge 1.3. Değişik lif çeşitlerine ait tipik özellikler (Kurt, 2006).	11
Çizelge 1.4. Bazı cam çeşitleri ve özellikleri (Şahin, 2000).	13
Çizelge 1.5. Bazı cam liflerine ait fiziksel ve mekanik özellikler (Chawla, 1998).	13
Çizelge 3.1. Elek açıklıkları.	23
Çizelge 3.2. Elek analizi deneyi sonuçları.	24
Çizelge 3.3. Gradasyon eğrisi.	25
Çizelge 3.4. Agregaya ait deney sonuçları.	26
Çizelge 5.1. Tanımlayıcı istatistikler.	43
Çizelge 5.2. Korelasyon analizi sonuçları.	43
Çizelge 5.3. Model özet tablosu.	44
Çizelge 5.4. Deney çalışmasına ilişkin anlamlılık sonuçları.	44
Çizelge 5.5. Katsayılar tablosu.	45
Çizelge 5.6. Korelasyon katsayıları.	45
Çizelge 5.7. Kalan istatistikler.	46

KISALTMALAR

AC	Asfalt Çimentosu
ASTM	American Society for Testing and Materials (ASTM Uluslararası Standartları)
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
ÇBGT	Çimento Bağlayıcı Granüler Temel
GT	Granüler Temel
ITFT	Dolaylı Gerilim Yorulma Testi
ITS	Dolaylı Çekme Dayanım Testi
MQ	Marshall Katsayısı Değerleri
PMT	Plent-Miks Temel
PT	Poriparafenilen Tereftalamidin (Kevlar)
SC	Sıvı Petrol Asfaltları
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences (İstatistiksel Analiz Programı)
SPT	Superpave Penetrasyon Test Cihazı

SİMGELER

D_p	Bitümlü sıcak karışımın pratik yoğunluğu
V_h	Bitümlü sıcak karışımındaki hava boşluğu
V_f	Bitümlü sıcak karışımındaki hava boşluğunun asfaltla doluluk yüzdesi
V_{MA}	Agrega boşluk hacmi



ÖZET

BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA KULLANILAN FARKLI LİF BOYLARININ KARIŞIMIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Eren DEMİR
Düzce Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Doç. Dr. Sercan SERİN
Ağustos 2022, 53 sayfa

Ülkemizin jeopolitik konumu nedeniyle ulaşım her alanda daha önemli hale gelmektedir. Karayolu taşımacılığında yükün kısa ve orta mesafelerde esnek ve hızlı bir biçimde taşınmasına olanak vermesi ve kapıdan kapıya ulaşım imkânı sağlaması gibi avantajlar ulaşımında karayolunun önemini artırmaktadır. Karayolu ulaşımına olan talebin artması karayolu üstyapısının ömrünü uzatma ve maliyetini azaltma ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Karayolu üstyapılarında, zamanla oluşacak deformasyonları en aza indirmek amacıyla asfalt kaplamaların performansını artırma çalışmaları son yıllarda önem kazanmaktadır. Bu nedenle çeşitli katkı malzemeleri kullanılarak asfalt kaplama karışımlarının performansını arttırmaya yönelik çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında katkı malzemesi olarak cam lifinin bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirliği incelenmiştir. Kullanılan cam lifi kısa, orta ve uzun olmak üzere üç kategoride kullanılmıştır. Kısa boy cam lifi 4 mm boyunda ve ağırlıkça %0,75, %1 ve %1,5 oranlarında, orta boy cam lifi 12,5 mm boyunda ve ağırlıkça %0,75, %1 ve %1,5 oranlarında son olarak uzun boy cam lifi ise 22,5 mm uzunluğunda ve ağırlıkça %0,75, %1 ve %1,5 oranlarında kullanılmıştır. Her bir uzunluktaki liflerden üçer grup olacak şekilde toplamda 27 adet Marshall numuneleri ve 3 adet referans numune olmak üzere toplam 30 adet numune hazırlanmıştır. Karayolu teknik şartnamesinde belirtilen temel mekanik ve fiziksel deneyler yapılmıştır. Marshall stabilite değerleri, akma, yoğunluk, V_{MA} , V_f ve V_h değerleri elde edilmiştir. Böylece lif oranı ve lif boyu değişiminin sıcak asfalt karışımı üzerinde mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir.

İnceleme sonucunda Marshall stabilite deneyi değerlerine göre cam lifi takviyeli numunelerde 4 mm kısa boy cam lifi %0,75 oranında eklendiğinde diğer gruplara göre mekanik özelliklerinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Cam lifi, Esnek üstyapılar, Lif boyu, Marshall stabilitesi.

ABSTRACT

THE EFFECT OF DIFFERENT FIBER SIZES USED IN HOT BITUMINOUS MIXTURE ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE MIXTURE

Eren DEMİR

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Civil Engineering

Supervisor: Associate Professor Dr. Sercan SERİN

August 2022, 53 pages

Due to the geopolitical position of our country, transportation becomes more important in every field. Advantages such as allowing the cargo to be transported flexibly and quickly over short and medium distances in road transportation and providing door to door transportation increase the importance of the highway in transportation. The increase in the demand for road transport brings with it the need to extend the life of the road superstructure and reduce its cost. In recent years, efforts to increase the performance of asphalt pavements have gained importance in order to minimize the deformations that will occur over time in highway pavements. For this reason, various studies are carried out to increase the performance of asphalt coating mixtures by using various additives.

In this thesis, the usability of glass fiber as an additive in hot bituminous mixtures was investigated. The glass fiber used was used in three categories as short, medium and long. Short fiber glass is 4 mm long and 0,75%, 1%, 1,5% by weight, medium glass fiber is 12,5 mm long and 0,75%, 1%, 1,5% by weight lastly long glass fiber length glass fiber is 22,5 mm long and 0,75%, 1%, 1,5% by weight were used. A total of 30 samples, 27 Marshall samples and 3 reference samples, were prepared in three groups from each length of fibers. Basic mechanical and physical tests specified in the highway technical specifications were carried out. Marshall stability values, yield, density, V_{MA} , V_f and V_h values were obtained. Thus, the mechanical and physical properties of fiber ratio and fiber length variation on the hot asphalt mixture were investigated.

As a result of the examination, according to Marshall stability test values, when 4 mm short glass fiber was added at the rate of 0,75% in glass fiber reinforced samples, an increase in mechanical properties was observed compared to other groups.

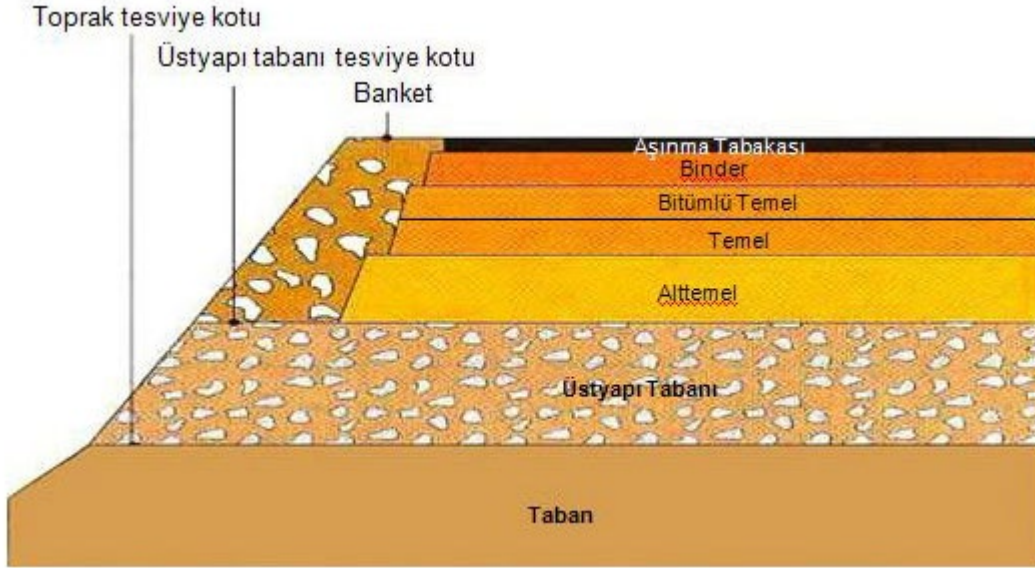
Key words: Flexible pavements, Fiberglass fiber, Fiber length, Marshall stability.

1. GİRİŞ

Bir ülkenin ulaşım ağının ihtiyaçlarını karşılayacak standartta olması o ülkenin gelişmişlik düzeyini göstermektedir. Gelişmiş ülkelere kıyasla ülkemizde ulaşım ağı yetersiz kalmakla birlikte ağır taşıt trafiği de artmaktadır. Ağır taşıt trafiğinin artması üstyapıda önemli problemlere yol açmaktadır. Mali kaynakların da sınırlı olması sebebiyle karayolu yatırımının etüt proje ve yapım aşamalarında en uygun çözümlerin üretilmesi gerekmektedir.

Karayolu üstyapısı; rijit üstyapı ve esnek üstyapı olarak iki türde tasarlanabilmektedir. Rijit üstyapıda bağlayıcı olarak portland çimento kullanılırken esnek üstyapılar ise bitümlü kaplama tabakalarından meydana gelmektedir. Esnek üstyapı malzemesi olan bitümlü karışımlar, hızlı ve pratik uygulama imkânıyla şehir içi ve şehirlerarası yollarda trafik akışını aksatmadan, güvenli bir şekilde yolun trafiğe açılmasını sağlaması sebebiyle tercih edilmektedir.

Karayolu yapımının en önemli kısmını oluşturan bitümlü kaplama karışımlar iki ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan biri agrega diğeri ise bitümlü bağlayıcılardır. Agreganın asfalt plantinde yaklaşık 150-160°C ısıtılıp kurutulmasıyla ve ayrıca yine aynı derecede ısıtılmış bitümün karışım dizaynına uygun olarak karıştırılmasıyla bitümlü sıcak karışımlar elde edilmektedir (Aslan, 2019).



Şekil 1-1. Esnek üstyapı en kesiti.

Agrega ve bitümlü malzemenin bileşiminden oluşan ve ayrıca trafik yüklerinden direkt etkilenen üstyapı tabakalarının inşa edilme amaçları, ağır taşıt trafiğinin aşındırıcı etkisine karşı dayanım sağlamak, yol yapısını suyun zararlı etkilerinden korumak ve düzgün bir yuvarlama yüzeyi oluşturarak rahat bir sürüş sağlamaktır (Avcı, 2009).

Karayolu üstyapısında kullanılacak malzeme seçilirken; malzemenin proje standartlarını sağlaması, düşük maliyetli olması ve çevreye uyumlu olması gibi parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Bitümlü sıcak karışımların (BSK) mühendislik özelliklerini iyileştirmek amacıyla uygulanan en önemli yöntemlerden biri BSK'da çeşitli katkı maddeleri kullanılmasıdır.

Bu çalışmada katkı malzemesi olarak cam lifinin bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirliği incelenmiştir. Çalışmada kullanılan cam lifi 3 farklı boyda ve 3 farklı oranda kullanılmıştır. Cam lifi 4 mm, 12,5 mm ve 22,5 mm boyutlarında ve her bir uzunluk için ise ağırlıkça %0,75, %1 ve %1,5 oranlarında kullanılmıştır. Cam lifi takviyeli karışımdan üçer grup oluşturulmuş ve ayrıca cam lifi takviyesiz üç adet referans numune olmak üzere toplamda 30 adet numune hazırlanmıştır. Numunelere uygulanan Marshall Stabilite deneyi sonucunda stabilite değerleri, akma, yoğunluk, V_{MA} , V_f ve V_h değerleri elde edilmiştir. Böylece lif tipi değişimi, lif oranı değişimi ve lif boyu değişiminin sıcak asfalt karışımı üzerinde mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir.

1.1. KARAYOLU ÜSTYAPISI

Kara araçları ve yayaların yükleri ile birlikte ulaşımını sağlayan belli standartlarda yapılmış arazi şeridi, yol, köprü, otoyol gibi yapılara karayolu denilmektedir. Yol gövdesi, üstyapı ve altyapı olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır.

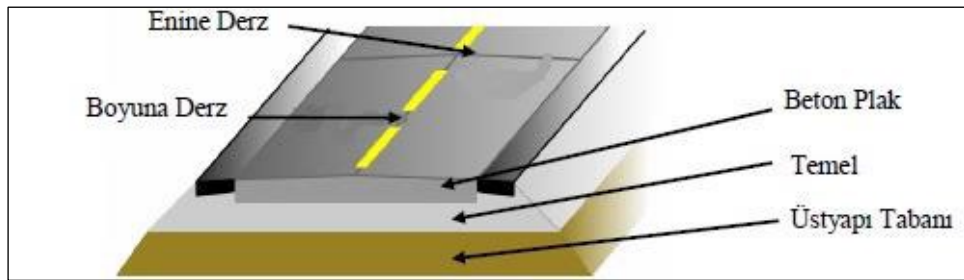
Karayolu üstyapısı, taşıtların sebep olduğu tekerlek yüklerini altyapının taşıma gücü seviyesine indirmek ve altyapıyı trafik yüklerinden korumak için inşa edilen alt temel, temel ve kaplama tabalarından meydana gelmektedir (Hanlı, 2009).

Karayolu üstyapıları kaplama tabakasında kullanılan malzemenin türlerine, özelliklerine ve yapım metotlarına göre esnek üstyapı, rijit üstyapı ve yarı rijit üstyapı şeklinde inşa edilmektedir (Hanlı, 2009).

1.1.1. Rijit Üstyapılar

Rijit üstyapılar, trafik yüklerini tabana iletmek için taban zemini üzerine yapılan beton plaktan oluşmaktadır. Beton plak üzerine gelen trafik yüklerini taban zeminine aktarmaktadır (Umar ve Ağar, 1991).

Rijit üstyapılar (beton yollar) yüksek eğilme direncine sahip, Portland çimentosundan yapılmış tek tabakalı plak vasıtasıyla yükleri taban zeminine ileten üstyapı türleridir. Şekil 1.2'de rijit üstyapılarının alt temel tabakası ve beton kaplama olmak üzere iki bölümden oluştuğu görülmektedir (Torun, 2015).



Şekil 1-2. Rijit üstyapı kesiti (Torun, 2015).

1.1.2. Kompozit (Yarı Rijit) Üstyapılar

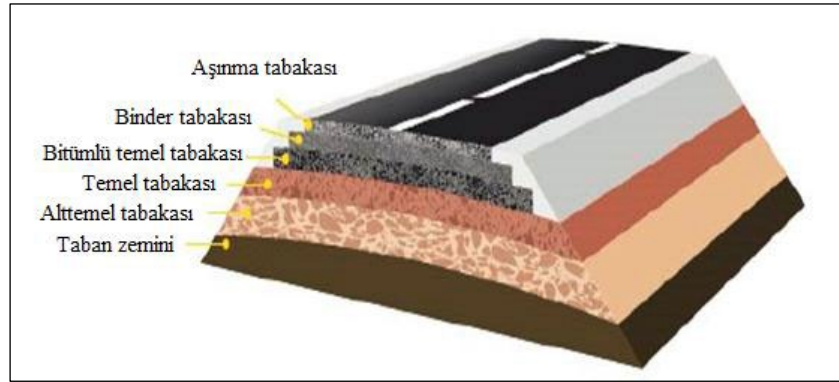
Zamanla zarar görmüş üstyapıda rijit ve esnek üstyapının birlikte kullanılarak dayanıklılığının artırılması sonucu elde edilen üstyapı türü yarı rijit (kompozit) üstyapı olarak adlandırılmaktadır. Yarı rijit üstyapılar yüksek maliyetli olduklarından dolayı pek tercih edilmemektedirler (TAMD, 2014).

1.1.3. Esnek Üstyapılar

Esnek üstyapılar bitümlü kaplama tabakalarından meydana gelmektedir. Esnek üstyapıda oluşan gerilmelerin değeri, yolun en üst tabakasından alta doğru inildikçe düştüğü için, kullanılacak malzemelerin mekanik özellikleri de bu gerilme dağılışına uygun olarak seçilmektedir.

Esnek üstyapılar, yolun sahip olduğu trafik hacmi, mevcut malzeme durumu ve taban zemininin taşıma gücü gibi hususlar dikkate alınarak tabakalı olarak projelendirilmektedir. Bu tabakalar; kaplama tabakası, temel tabakası, alt temel tabakası ve taban zemini olarak isimlendirilmektedir (Saltan ve Fındık, 2005).

Esnek üstyapıların dizaynında platform genişliği, banket genişlikleri, hendek ve şevler oldukça önemli bir yer teşkil etmektedir. Tipik esnek üstyapı katmanları Şekil 1.3.'te gösterilmektedir.



Şekil 1-3. Esnek üstyapı katmanları (Özüğurlu, 2015).

Esnek kaplamalarda, ekonomik kalkınma ve yaşam standartlarının yükselmesine paralel olarak artan trafik hacmi ve dingil yükleri, üretim hataları, yetersiz bakım ve iklim koşulları etkisi altında tekerlek izi oluşumu, yorulma ve düşük sıcaklık çatlakları ve suya karşı duyarlılık gibi bozulmalar oluşmakta bu da yolun öngörülen ömür ve konfor düzeyini düşürmektedir.

Esnek üstyapılar, belirli özelliklere sahip malzemelerden yapılmış alt temel, temel ve kaplama tabakalarından oluşmaktadır. Esnek üstyapıda oluşan gerilmeler yolun üst tabakasından alt tabakalara doğru azaldığı için, tabakalarda kullanılacak malzemelerin mekanik özellikleri de gerilme dağılışına uygun olarak seçilmelidir (Saltan ve Fındık, 2005).

1.1.3.1. *Alt Temel Tabakası*

Esnek üstyapılarda taban zemini ve temel tabakası arasında yer alan malzemesi temel tabakasına göre daha düşük kalitede olan tabakaya alt temel tabakası denilmektedir. Alt temel tabakasının görevleri; bitümlü tabakaların inşası için çalışma platformu oluşturmak, trafik yüklerini alttaki taban zeminine aktarmak, temel tabakasına düzgün bir zemin hazırlamak ayrıca bir üst tabakalarda kullanılan malzemelerin özelliklerini korumaktır (Görgülü, 2018).

1.1.3.2. *Temel Tabakası*

Kaplama ile alt temel arasında yer alan temel tabakası doğal kum, çakıl, silt, kil ve bitüm karışımları gibi malzemelerden meydana gelmekte olup, trafiğin doğrudan temas etmediği tabaka temel tabakası olarak isimlendirilmektedir. Temel tabakası rijit üstyapılarda kullanıldığında çoğunlukla alt temel ismi almaktadır. Temel tabakası tasarımı; pompaj olayının kontrolü, don etkisinin kontrolü, drenaj, alt temelde şişme-büzülme olayının kontrolü amaçları ile kullanılmaktadır.

1.1.3.3. *Bitümlü Temel Tabakası*

Bitümlü temel tabakası, taşıtlara uygun bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafiğin aşındırma etkilerine karşı koymak ve yapıya sızan yüzeysel su miktarını ve temel tabakasına iletilen kayma gerilmelerini azaltmak amacıyla inşa edilmektedir (Ilıcalı vd., 2001).

Trafik hacmi ve dingil ağırlıkları göz önüne alınarak oluşturulan yol projelerinin üstyapı performansı ve kaplama ömrü açısından farklı karışım olanakları sağlayan esnek yol üstyapı kaplamaları genel anlamda iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunlardan ilki olan sathi (yüzeysel) kaplamalı yollar ikincisi bitümlü karışım kaplamalı yollar olarak ikiye ayrılmaktadır (Aslan, 2019).

1.1.3.4. *Binder Tabakası*

Bitümlü temel ve aşınma tabakaları arasında binder tabakası yer almaktadır. Binder terimi, aşınma tabakasını granüler temel ile birleştirerek bağlayan katmanı ifade etmektedir. Binder tabakası; yoğun gradasyonlu geleneksel tip asfalttan oluşur ve üzerine gelen trafik yüklerinin bitümlü temel tabakasına yayılarak iletilmesini sağlar. Binder tabakası aşınma tabakasından gelen yükü temel tabakasına aktararak çeşitli bozulmaların oluşmasını önlemektedir (Lavin, 2003).

1.1.3.5. Aşınma Tabakası

Aşınma tabakası, trafik yüklerinin ve iklim koşullarının deforme edici etkilerine doğrudan maruz kalan en üst tabakadır. Aşınma tabakası trafik yüklerine doğrudan maruz kaldığı için mukavemeti ve kayma direnci yüksek, gürültü seviyesinin ise olması gerekmektedir. Ayrıca diğer tabakalara göre yüksek kalitedeki malzemelerle yapılması gerektiğinden maliyeti de fazladır (Özüğurlu, 2015).

1.2. ESNEK ÜSTYAPILARDA MEYDANA GELEN BOZULMALAR

Esnek üstyapı kaplamalarında, artan trafik hacmi, dingil yükleri, üretim hataları, gerekli kontrol ve bakımların yapılmaması ve iklim koşulları gibi sebeplerle hizmet ömründen önce çeşitli deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu deformasyonlar yolun servis ömrünü kısaltmakta ayrıca güvenlik, konfor ve ekonomi bakımından üstyapıyı olumsuz etkilemektedir. Üstyapıda oluşan deformasyonların giderilebilmesi bozulma nedenlerinin iyi anlaşılmasına bağlıdır. Esnek üstyapı kaplamalarında oluşan bozulmalar deformasyonlar, ayrışmalar ve çatlamlar olarak incelenebilmektedir.

1.2.1. Deformasyonlar

Genellikle tekerlek izi oluşumu, çatlama, çökme ve kabarmalar olarak görülür. Tekerlek izi oluşumu, çoğunlukla ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu yollarda meydana gelmekte olup düşey kalıcı deformasyonlar olarak tanımlanır.



Şekil 1-4. Tekerlek izi oluşumu (İskender, 2004).

Üstyapıda oluşan çökmeler (oturmalar) alt tabakaların yetersiz ve düzensiz sıkıştırılması, kaplamada su içeriğinin artması, aşınma tabakasında parçalanmaların artması sonucu meydana gelen lokal alanlardır.

Kabarmalar, üst tabakanın şişmesi sonucu oluşan deformasyonlardır. Temel tabakasında zemin içinde kalan buzun genleşmesi sonucu oluşabilmektedir.

1.2.2. Çatlamlar

Yol üstyapısında, basınç ve çekme gerilmelerinden dolayı, yol eksenine paralel veya dik doğrultuda oluşan yarılmalar çatlama olarak ifade edilir. Üstyapıda oluşan çatlaklar dingil yüklerinden dolayı trafik yüklerine bağlı oluşan veya taşıtların ani hızlanma ve yavaşlamalarına bağlı da oluşabilmektedir. En yaygın çatlaklar; yorulma çatlakları, boyuna çatlama, blok çatlama, kayma çatlama, yansıma çatlağı ve kenar çatlağı olarak görülmektedir.



Şekil 1-5. Üstyapıda oluşan çatlama (Hanlı, 2009).

1.2.3. Ayrışmalar

Aşınma tabakasının trafik etkisi ile küçük parçalar halinde kopması, agrega tanelerinin aşınma tabakasından ayrılmasından kaynaklanmaktadır. Ayrışmaların sebebi düşük kalite malzeme kullanılması, homojen olmayan karışım, asfaltta yetersiz adezyon gibi sebeplerden meydana gelmektedir.

1.3. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLAR

Karayolu esnek üstyapısını oluşturan bitümlü sıcak karışımlar, belirli gradasyona sahip agregalar ile karışım içerisinde bağlayıcı görevi üstlenen bitüm malzemesinin yüksek sıcaklıklarda karıştırılıp ardından yola serilerek sıkıştırılmasıyla oluşturulurlar.

Sıcak karışım kaplamalarının trafiğin orta ve daha yoğun olduğu yollarda dingil yüklerini taşımak, olumsuz iklim koşullarından üstyapıdaki diğer tabakaları korumak gibi çeşitli amaçlar için kullanılır. Bu tip kaplamalar standardı yüksek yollarda kullanılmaktadır. Bitümlü sıcak karışımlar yapımı ve uygulama yöntemleri açısından, sathi kaplama tabakalarına göre çok daha maliyetlidir. Bitümlü sıcak karışımların karışım oranlarının karayolları teknik şartnamesindeki belirlenen standartları sağlayabilmesi gerekmektedir.

Karışım dizaynı Marshall metodu, Hweem yöntemi ve Superpave yöntemi kullanılarak laboratuvarında hazırlanır. Dünyada ve ülkemizde karışım dizaynını belirlemede en yaygın olarak kullanılan yöntem Marshall metodudur (Aslan, 2019).

1.3.1. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Malzemeler

1.3.1.1. Agregalar

Agrega; doğal (tabii), yapay veya her iki cins yoğun mineral malzemenin genellikle 63 mm'ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmış veya kırılmamış tanelerinin bir yığıdır. Bitümlü kaplama tabakalarının ağırlıkça %93-96'sı agregadır. Bu nedenle kullanılacak agregaların gradasyon-yoğunluk, dayanıklılık, dane şekli, yüzey yapısı, kırılmışlık oranı, plastisite, permeabilite gibi özellikleri aranılan şartları sağlamalıdır (Öksüz B., 2011).

Agregalar tane boyutlarına göre sınıflandırılmaktadır. Tane boyutlarına göre; ince agregalar (kum, kırma taş), iri agregalar (çakıl, kırma taş) ve tüvanan (karışık) agregalar olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır.

Akbulut ve Gürer, (2006), Atık mermerlerin asfalt kaplamalarda agrega olarak değerlendirilmesi çalışmasında mermer atığı ve kireçtaşı kökenli iki farklı agrega kullanılmışlardır. Los Angeles Aşınma deneyi sonucuna göre mermer atığı numunesi %27,44 aşınma kaybı ile şartnamede yol agregalarında aranan özellikleri sağlamıştır. Buna karşın darbelenme kaybı değeri şartnamelerde belirtilen %18 değerinden büyüktür. Kireçtaşı kökenli şahit numunesinin darbelenme kaybı 16,83 iken mermer atığı numunesi %18,66'dır. Bu çalışma kapsamında agregalar ve sıcak karışımlar üzerinde yapılan

deneyler sonucunda mermerden üretilen agregaların şartname değerlerini sağladığı ve agrega olarak değerlendirilebileceği görülmüştür.

1.3.1.2. Bitümlü Bağlayıcılar

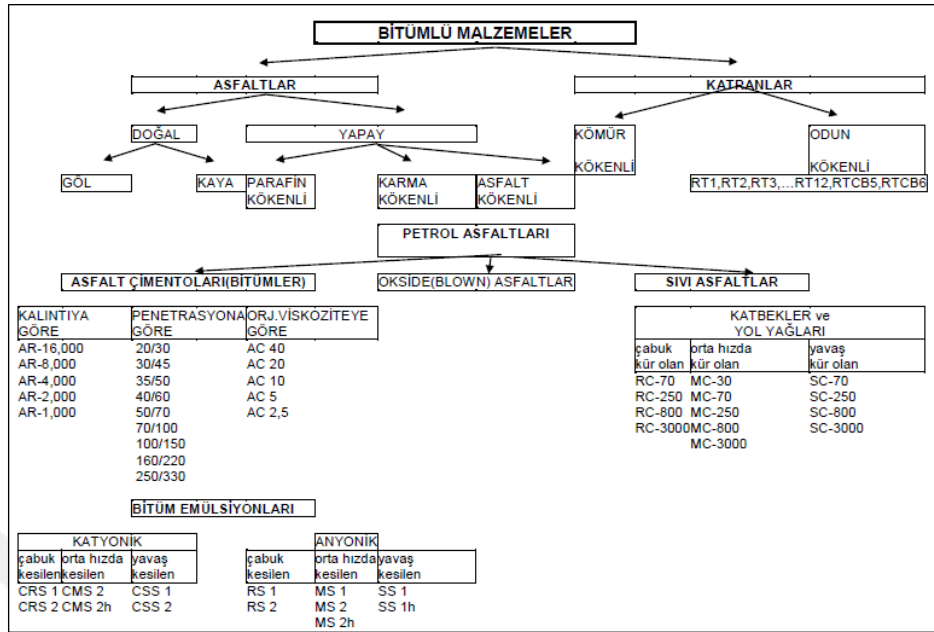
Bitüm, asfalten ve malten olmak üzere iki ayrı kimyasal gruptan oluşur. Bitümün %5-%25'i asfaltenlerden oluşur ve miktarına bağlı olarak bitümün reolojik özelliklerini önemli derecede etkiler. Yüksek oranda asfalten içeren bitümün penetrasyonu yüksek, yumuşama noktası ise düşük olur. Yani daha sert ve viskozitesi yüksektir. Maltenler ise doymuş hidrokarbon, aromatik ve reçinelerden oluşan üç farklı gruba ayrılmıştır. Bitümün kullanılabilir hale gelmesi, ısıtılarak sıvılaştırmayla mümkündür. Agrega ile karışıktan sonra onları sararak soğur ve tekrar sertleşip, bağlayıcılık görevini üstlenir (Çelik, 2006).

Bitümlü karışımların üretilmesi, ilgili teknik şartnamede belirlenen orandaki bitümlü bağlayıcı ve standart agreganın karıştırılması ile gerçekleşir. Bitümlü karışımların bir arada durabilmesi bitümlü malzeme ile içsel sürtünme direnci ve stabilitesi ise agrega ile sağlanır. Agrega danelerinin bir arada durmasına yarayan bitümlü bağlayıcı, etki eden trafik yükü karşısında dağılmayı önlemektedir. Ayrıca karışım içindeki boşlukları doldurup geçirimsizlik oluşturmakta ve düzgün yüzey oluşturarak da sürüşlerin daha konforlu olmasını sağlamaktadır (Tunç, 2001).

Bitümlü karışımlar, agrega ve uygun oranda eklenen bitümlü bağlayıcılar ile elde edilir. Bitümlü karışımların kohezyonu bitümlü malzemeler tarafından sağlanırken agrega ise karışımın içsel sürtünme direncinden ve stabilitesinden sorumludur. Bitümlü karışımlar serbest agrega malzemesine göre maliyeti fazla olduğundan yol yapımında çoğunlukla sadece kaplama tabakalarının yapımında kullanılır (Tunç, 2001).

Bitümlü bağlayıcıların üretim kaynaklarına göre sınıflandırılması Çizelge 1.1'de görülmektedir.

Çizelge 1.1. Bitümlü malzemelerin sınıflandırılması (Orhan, 2012).



Asfalt

Kırılması güç anlamına gelen asfalt, koyu kahve renkten siyaha kadar değişen, güçlü bağlayıcı özelliği olan, kıvam bakımından katı, yarı katı veya sıvı olabilen, doğal halde bulunan veya ham petrolün arıtılmasından elde edilen maddedir.

Asfaltlar kaynaklarına göre doğal asfaltlar ve yapay asfaltlar olmak üzere iki gruba ayrılır. Doğal asfaltlar genellikle mineral maddelere karışmış halde bulunurlar. Doğal asfaltların başlıcaları, doğada %35'e kadar mineral malzeme barındıran göl asfaltları ile %2-3 civarında asfalt barındıran kaya asfaltlardır. Kaya asfaltları asfaltın yanı sıra kumtaşı, kalker, kil vb. minerallerle karışım halinde bulunur (Tunç, 2001).

1.4. LİFLER VE LİFLERİN SINIFLANDIRILMASI

Bitüm-agrega karışımlarında agreganın belirli bir miktar filler içermesi, istenilen karışım dizaynını ve optimum performansı sağlamak için gereklidir. Optimum performansı sağlamak için katkı malzemesi olarak liflerin kullanılması son zamanlarda yaygınlaşmıştır (Serin vd., 2012).

1.4.1. Lif Türleri

Lifler mekanik özellikleri ve kullanım alanları bakımında çok farklı biçimlerde sınıflandırılabilir. Lifler genel olarak Çizelge 1.2.'deki gibi sınıflandırılabilir

(Aral, 2006). Doğal lifler; hayvansal, bitkisel ve mineral liflerdir. Yapay lifler ise polimer, metalik ve seramik liflerden oluşur.

Çizelge 1.2. Lif çeşitleri (Aral, 2006).

Doğal Lifler			Yapay Lifler
Bitkisel Lifler	Hayvansal Lifler	Madensel Lifler	
Akwara	Yün	Asbest	Cam Lifleri
Bambu	İpek	Bazalt	Kevlar
Hindistan Cevizi Kabuğu	Kıl	Metal Lifler	Akrilik
Keten, Kenevir		Karbon	Aramid
Jüt			Naylon
Sisal			Polyester
Şeker Kamışı Posası			Polietilen
Ahşap (Selüloz)			Polipropilen
			Poliüretan

ASTM'ye göre bir malzemenin lif olarak adlandırılabilmesi için;

- Uzunluğunun enine oranı en az 10/1
- En büyük kesit $\leq 0,05 \text{ mm}^2$
- En büyük genişlik $\leq 0,25 \text{ mm}$ olmalıdır.

Bazı lif çeşitlerine ait tipik özelliklere Çizelge 1.3'de verilmektedir.

Çizelge 1.3. Değişik lif çeşitlerine ait tipik özellikler (Kurt, 2006).

Lif Türü	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Maksimum Uzama Oranı (%)
Bazalt Lif	2.80	89	4840	3.5
Cam	2.5	69	1035-3795	1.5-3.5
Çelik	7.8	200	276-2760	0.5-35

1.4.1.1. Doğal Lifler

Doğal liflerin en önemli özellikleri kolayca elde edilebilmeleridir. Dünyada kullanılan liflerin %61'i bitkisel, %5'i hayvansal, %34'ü kimyasal kökenlidir. Bilinen es eski doğal lifler saman ve kıl kökenli lifler olup Portland çimentosu ile kullanılan diğer doğal lifler ise bambu, Hindistan cevizi ve şeker kamışı gibi liflerden oluşmaktadır (Sim vd., 2005).

1.4.1.2. Sentetik (Yapay) Lifler

Sentetik lifler petrokimya ve tekstil endüstrisindeki gelişmeler ve araştırmalar sonucunda ortaya çıkan insan yapımı liflerdir. Sentetik liflerin çekme dayanımlarının çok yüksek olmasına karşın aramid dışındakilerin elastisite modülleri düşük değerlerdir. Sentetik lifin kalitesi, narinliklerine bağlıdır ve çapları mikron düzeydedir (Cement&Concrete Institute, 2010).

1.4.1.3. Bazalt Lifler

Bazalt lifler, bazalt kayacının erime (1300-1700 °C) işlemlerinden geçirilip ince partiküller halinde ayrılıp lif formunda üretilen ekonomik, kimyasal etkilere karşı direnci yüksek bir malzemedir. Bu işlemler sırasında lif üretiminde başka herhangi bir katkı malzemesi kullanılmamaktadır. Bazalt lifin elastisite modülü 80-90 GPa ve çekme dayanımı ise 3-4.8 GPa arasındadır. Bazalt lifleri ön plana çıkaran en önemli özellik, zararlı çevresel etkilere karşı gösterdiği direnç ve korozyona uğramamasıdır. Beton içerisinde kullanıldığında betonun özellikle çekme ve eğilme dayanımı ile tokluğunu önemli ölçüde arttırmaktadır (Kızılkant vd., 2014).

1.4.1.4. Cam Lifler

Camın ana maddelerinden en önemlisi (SiCo₂) silis kumudur. Silis kumu çok dengeli oksit olduğundan çok yüksek sıcaklıklara ve bazı kimyasal işlemlere dayanıklıdır.

Cam liflerin elde edilmesi; elektrik fırınında 1200-1500 °C'de eritildikten sonra çok küçük binlerce delikten akıtılarak soğutulmasıyla oluşturulmaktadır. Şekil 1.6.'te cam lifi örneği görülmektedir.

Farklı kimyasal bileşimlerinden oluşan cam liflerinin tipleri ve özellikleri Çizelge 1.4 'te verilmiştir.

Çizelge 1.4. Bazı cam çeşitleri ve özellikleri (Şahin, 2000).

A Camı	Yüksek alkali oranı
C Camı	Kimyasal dayanım
E Camı	Elektrik özellikleri
M Camı	Yüksek elastik modül
S-2 Camı	Yüksek çekme dayanımı
W-2 Camı	Paneller için yarı şeffaf
AR Camı	Alkali dayanımı
R Camı	Yüksek çekme dayanımı

Cam lifler yüksek mukavemetli, esnek, hafif ve düşük maliyetli liflerdir. Aşınmaya karşı dayanıklıdırlar. Cam lifler türlerine göre farklı dayanım değerlerine sahiptirler. A camı çok nadiren lif üretimi için kullanılmasına karşın C camı lif üretimi için kullanılmaktadır. Çizelge 1.5’de bazı cam lifi tiplerinin fiziksel özellikleri verilmiştir (Chawla, 1998).

Çizelge 1.5. Bazı cam liflerine ait fiziksel ve mekanik özellikler (Chawla, 1998).

Cam Lifi Tipi	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Çekme Dayanımı (GPa)	Elastisite Modülü (GPa)
E	2.54	1.7-3.5	69-72
S	2.48	2-4.5	85
C	2.48	1.7-2.8	70
CEM-FİL	2.7	-	80

1.4.1.5. Çelik Lifler

Yol betonlarında en çok kullanılan liflerden biri de çelik liflerdir. Çelik lifler betonun eğilmeye ve çarpmaya karşı dayanıklılığını, yorulma ve çatlama dirençlerini artırmaktadır. Beton karışımına beton hacminin %4 - %5 i oranında eklenir.

Serin vd. (2012), doğrudan trafik yükü etkilerine maruz kalan kaplamanın yüzey tabakasında oluşan gerilmeleri taşıyabilmek için çelik liflerin kullanılabilirliğini

araştırmışlar. Numuneler Marshall Stabilite Testi kapsamında üretilmiş ve test edilmiş ve kullanılacak agrega numunesi için optimum bitüm içeriği değerini belirlemişlerdir. Deney alışması sonucu yapılan hesaplama yöntemlerine göre en ideal bitüm yüzdeleri oluşturulmuş ve beş farklı bitüm yüzdesi (%4,5, %5, %5,5, %6 ve %6,5) belirlenmiştir. Her bitüm yüzdelerinden üçer adet toplamda 15 adet Marshall numunesi ile Marshall Stabilite deneyi gerçekleştirilmiş ve agrega için en ideal bitüm yüzdesi %5,5 olarak belirlenmiştir. Belirlenmiş olan en ideal bitüm yüzdesi ve lif (%0, %0.25, %0.50, %0,75, %1, %1,5, %2, %2,5) oranları ile her bir lif oranı için üçer adet numune dökülerek tekrar Marshall Stabilite deneyi gerçekleştirilmiştir. En iyi sonuçlar %5,5 bitüm içeriği ve %0,75 elik ilavesi ile elde edilmiştir. Sonuç olarak, olumlu stabilite etkisi nedeniyle, elik lif ilavelerinin esnek kaplamanın bağlayıcı tabakasında kullanılabileceği sonucu ortaya çıkmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI VE KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde farklı lif türlerinin katkı malzemesi olarak kullanılmasının beton ve bitümlü karışımlar üzerindeki etkilerini deneysel çalışmalar yoluyla inceleyen araştırmalara yer verilmektedir.

Chen ve Lin (2005), liflerle karıştırılmış bitümün güçlendirme mekanizmasını incelemişlerdir. Bitüme selüloz, taş yünü ve polyester çeşitleri içeren lifler ilave ederek viskozite, tokluk ve sağlamlık, mikroskopi ve reolojik testler yapmışlardır. Test sonuçları, artan gerilme mukavemeti ile bitüm ve lifler arasında iyi bir yapışma olduğunu göstermiştir. Taranan elektron mikrografları, fiberlerin bitümü üç boyutlu bir yapı aracılığıyla güçlendirdiğini göstermektedir. Bununla birlikte, lifler birbirleriyle etkileşime girdiğinde, daha düşük tokluk ile sonuçlanan kritik bir lif fraksiyonu vardır. Optimum lif içeriği, lif türüne, uzunluğuna ve çapına bağlı olduğunu söylemişlerdir.

Lee vd. (2005), liflerin asfalt betonunun yorulma çatlama direncine etkisi kırılma enerjisi kullanılarak incelemişlerdir. Deneysel program iki aşamalı olarak tasarlanmıştır: tek lif çekme testi ve dolaylı gerilme mukavemeti testi. 15 denye tekli naylon liflerin sıyırılma testleri ile kritik lif gömülü uzunluğu 9,2 mm olarak belirlenmiştir. Dolaylı gerilme mukavemeti testlerinde ise, çekme testlerinin (kritik gömülü uzunluk) ve üç hacim fraksiyonunun (%0,25, 0,5 ve 1) sonuçlarına göre iki uzunlukta, 6 ve 12 mm'lik naylon liflerle karıştırılmış asfalt betonu numuneleri hazırlanmış ve test edilmiştir. %1 ve 12 mm'lik liflerle üretilen asfalt beton numuneleri, güçlendirilmemiş numunelere göre %85 daha yüksek kırılma enerjisi ile sonuçlanmış ve gelişmiş yorulma çatlama direnci göstermiştir. Bu çalışma için liflerle optimize edilmiş bir asfalt karışımı tasarımı geliştirilmemiş olsa da artan kırılma enerjisi, geri dönüştürülmüş halı liflerinin kullanımıyla kolaylaştırılabilen asfalt yorgunluk ömrünü iyileştirme potansiyeli sunmaktadır.

Tapkın (2007), polipropilen liflerin asfalt betonuna etkisini araştırmıştır. Polipropilen lifli asfalt beton numuneleri optimum bitüm içeriğinde üretmiştir. Lif takviyeli numunelerde Marshall kararlılık değerlerinin arttığı ve akış değerlerinin belirgin şekilde azaldığı, numunelerin yorgunluk ömrünün arttığı da görülmüştür. Asfalt betonunun özelliklerinin

iyileştirilmesi polipropilen liflerin olumlu etkisini göstermektedir. Lif takviyeli asfalt karışımı tekerlek izine karşı iyi bir direnç, daha uzun yorulma ömrü ve daha az yansıma çatlağı sergiler. Bu nedenle polipropilen liflerin uygulanmasının asfalt karışımının özelliklerini çok faydalı bir şekilde değiştirdiği sonucuna varmıştır.

Ziari ve Khabiri (2007), esnek yol kaplamasının bakımı ve çelik cüruf asfaltının mekanik özellikleri üzerine yaptıkları çalışmada Marshall testi ve Stabilitate testi uygulamışlardır. Testlerde kullanılan malzemeler arasında AC 60–70 bitüm, kireçtaşı agregası ve kırılmış geri dönüştürülmüş çelik cürufu bulunmaktadır. Uygulanan testlerin sonuçları aşağıda yer almaktadır.

- Çelik cürufunun otoyol yapımında asfalt karışım agregası olarak kullanılabilceği,
- Atık çelik cürufunun maksimum 4,75 mm boyutunda ve beton ikame oranı %10 olacak şekilde kullanılabilceği,
- Yüksek sıcaklık stabilitesi ve su stabilitesi gibi performansları standartlara ulaşır,
- Test sonucunda kırık çelik cürufunun sünme rijitliğini geliştirmek için faydalı bir işlem olduğunu göstermiştir.

Çelik cürufu israfının en büyük çözümlünün onu kullanmak olabileceğine vurgu yapmışlardır.

Shaopeng vd. (2007), Lifle modifiye edilmiş asfalt karışımının dinamik özelliklerini araştırdıkları çalışmada asfalt karışımına katkı maddesi olarak selüloz lif, polyester lif ve mineral lif kullanılmışlardır. Deneysel sonuçlara göre tüm fiber modifiye asfalt karışımının, kontrol karışımına kıyasla daha yüksek dinamik modüle sahip olduğunu göstermiştir. Her tip asfalt karışımının dinamik modül ana eğrileri, bir kontrol sıcaklığında (21,1°C) süperpozisyon teorisine uygun olarak doğrusal olmayan en küçük kare regresyonuna göre belirlenmektedir. Asfalt karışımının yorgunluk parametresi $E^* \times \sin \delta$ ve tekerlek izi parametresi $E^* / \sin \delta$, yorgunluk ve tekerlek izi direnci özelliklerini incelemek için benimsenmiştir ve deneysel sonuçlar, bu özelliklerin fiber katkı maddeleri ile iyileştirilebileceğini göstermektedir. Asfalt karışımının dinamik modülü farklı liflerle sıcaklık ve frekansının her testte arttığı; fiber modifiye asfalt karışımının faz açıları düşük sıcaklıkta kontrol karışımından daha az ama yüksek sıcaklıkta daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Guo vd. (2009), asfalt karışımında yorulma dayanımını artırmak için takviye olarak

Bonifiberler kullanımına odaklanmışlardır. Bonifibers ilavesinin asfalt beton kaplamanın dayanıklılığı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla MTS-810 üzerinde bir yorulma testi geliştirilmişlerdir. AC-20 yoğun dereceli bitümlü beton ve SMA-13 taş mastik asfalt dahil olmak üzere iki çeşit asfalt karışımından 96 kiriş numunesi imal edilmiş ve test edilmişlerdir. Test sonuçları, liflerin eklenmesinin sapma gelişimini ve çatlak gelişimini önemli ölçüde yavaşlattığını göstermiştir. İnceleme sonucunda, polyester lif takviyeli asfalt karışımları, yorulmaya karşı dirençte düz betona göre çok daha iyi davrandığını göstermişlerdir.

Ye, Wu ve Li (2009), lifle modifiye edilmiş asfalt karışımlarının dinamik ve yorulma özelliklerini selüloz, polyester ve mineral lifler üzerine faz açısını belirlemek için Superpave Basit Performans Test cihazı (SPT), yorulma özellikleri, farklı gerilme oranlarında Dolaylı Gerilim Yorulma Testi (ITFT) kullanılarak dinamik modül testleri ile araştırmışlardır. Test sonuçlarında, lifli asfalt karışımlarının yorulma parametrelerinin azaldığını göstermiş, bu da yorulma özelliğinin lif değiştiricilerle iyileştirilebileceğini göstermiştir. Yorulma testi sonuçları ayrıca fiberle modifiye edilmiş asfalt karışımlarının, kontrol karışımı ile karşılaştırıldığında daha iyi yorulma direnci gösterdiğini göstermiştir.

Ahmedzade ve Şengöz (2009), sıcak karışım asfalt betonunda çelik cüruf kaba agregasının kullanımı çalışmalarında karışımların tüm mekanik özelliklerini gerilme direnci modülü, sünme sertliği ve gerilme mukavemeti testlerini Marshall stabilitesi ile değerlendirmişlerdir. Marshall Stabilitesi testine göre çelik cürufu karışımında kireçtaşı karışımından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Çelik cürufunun asfalt beton karışımlarında iri agrega olarak kullanılmasının stabiliteyi artırdığı, akma değerini düşürdüğünü göstermiştir.

Chen vd. (2009), polyester, poliakrilonitril, lignin ve asbest lifleri olmak üzere dört farklı lif kullandıkları araştırmalarında lif katkılı asfalt karışımların mekanik özelliklerini ve tasarım yöntemlerini araştırmışlardır. Asfalt karışımların mekanik ve tasarım özelliklerini belirlemek için Marshall testleri yapmışlar ayrıca neme duyarlılığı, dinamik kararlılığı incelemek için de performans testleri de yapmışlardır. Test sonuçlarında asfalt karışımlara lif eklendikten sonra en uygun asfalt içeriğinin hava boşluğu, mineral agrega içindeki boşluk ve Marshall kararlılığını artırdığını, yığın özgül ağırlığının azaldığını göstermektedir. Lif takviyeli asfalt karışımı için hem lif hem de asfalt karışımının özelliklerine göre lif türünü seçen, Marshall yöntemini takiben optimum asfalt içeriğini tasarlayan ve ardından performans testi açısından optimum lif içeriğini belirleyen bir

tasarım prosedürü önerilmiştir. Test sonuçlarına göre, bu çalışmada kullanılan polyester lif için kütlece %0,35 lif içeriği önermişler, lignin ve asbest lifleri, daha yüksek asfalt absorpsiyonlarından dolayı daha yüksek optimum asfalt içeriği ve V_{FA} (mineral agregaların boşluklarına doldurulmuş asfalt) ile sonuçlanır. Fiber takviyeli asfalt karışımı için hem fiber hem de asfalt karışımının özelliklerine göre fiber türünü seçen, Marshall yöntemini takiben optimum asfalt içeriğini tasarlayan ve ardından performans testi açısından optimum fiber içeriğini belirleyen bir tasarım prosedürü önerilmiştir.

Chen ve Xu (2010), asfalt bağlayıcıyı stabilize etmek ve güçlendirmek için liflerin fiziksel özelliklerini araştırmışlardır. Laboratuvar testlerini, sırasıyla doyguluk, asfalt emilimi ve stabilizasyonu ve termostabiliteyi değerlendirmek için beş fiber türü (iki polyester, bir poliakrilonitril, bir lignin ve bir asbest) üzerinde çalışmışlardır. Koni batırma deneyi, lifle modifiye edilmiş asfaltın akışa karşı direncini incelemek için tasarlandı ve fiber modifiye asfaltın reolojik özelliklerini ve tekerlek izi direncini değerlendirmek için standart dinamik kayma reometre testini yapmışlardır. Asfalt bağlayıcısında oluşan liflerin mikro yapıları ve uzaysal ağı Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) kullanılarak gözlemlendi. Sonuçlar, liflerin asfalt bağlayıcının tekerlek izi ve akışa karşı direncini ve dinamik kesme modülünü etkili bir şekilde iyileştirebileceğini göstermektedir. Fiber, uzaysal ağ oluşturma, asfalt bağlayıcının yapışması ve stabilizasyonu işlevleriyle asfalt matrisini güçlendirmektedir. Polyester ve poliakrilonitril lifler, lignin ve asbest liflerinden daha büyük bir ağ etkisine sahip gibi görünmekte olduğunu ve liflerin uçlarındaki anten özellikleri bu etkiyi daha da güçlendirdiğini vurgulamışlardır. Linyin lifi en yüksek su emilimine ve en düşük termostabiliteye sahip olmakla birlikte linyin ve asbest lifleri, polimer liflere göre asfalt emiliminde ve stabilizasyonunda daha fazla etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir.

Xu vd. (2010), çevre sıcaklığı ve su etkileri altında asfalt beton (AC) karışımları için liflerin güçlendirici etkilerini ve mekanizmalarını dört farklı lif türü; polyester, poliakrilonitril, lignin ve asbest üzerinde incelenmişlerdir. Mukavemetini, gerilimini ve yorgunluk davranışını ölçmek için fiber takviyeli AC (FRAC) üzerinde laboratuvar testleri yapmışlardır. Sonuçlar, liflerin AC'nin tekerlek izi direncini, yorulma ömrünü ve tokluğunu önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermektedir. Eğilme mukavemeti ve nihai eğilme gerilmesi ve düşük sıcaklıkta bölünmüş dolaylı gerilme mukavemeti (SITS) de iyileşmiştir. Polimer lifler (polyester ve poliakrilonitril) gelişmiş tekerlek izi direncine, yorulma ömrüne ve daha büyük ağ oluşturma işlevlerinden dolayı lignin ve asbest

liflerinden daha önemli ölçüde SITS'e sahiptir; lignin ve asbest lifleri daha fazla eğilme mukavemeti ve nihai eğilme gerilmesi ile sonuçlanmıştır. Ancak, su donma-çözülme etkisi altındaki lifin etkisi ümit verici görünmemektedir ve FRAC'ın lignin ve asbest lifli SITS'si bu etki altında bir dereceye kadar azalmaktadır. Aynı zamanda, karışım kütleline göre %0,35'lik bir lif içeriğinin, polyester lif için tekerlek izi direnci ve SITS'in optimum performans çıktılarını elde ettiğini bulmuşlardır.

Mahrez and Karim (2010), cam lif ile güçlendirilmiş taş mastik asfalt karışımının yorulma özelliklerini incelemiştir. Asfalt güçlendirmesinin, esnek kaplama performansını artırmak için uygulanabilir çözümler olarak düşünüldüğünü vurgulamışlardır. Çalışmalarında, cam lif takviyeli taş mastik asfaltın özelliklerini sunmuşlar. Farklı lif içeriklerine sahip asfalt karışımının bu tür ilgili özelliklerini değerlendirmek için laboratuvar testleri yapılmıştır. Taş mastik asfalt karışımına fiber ilavesinin, stabilitesini azaltarak ve karışımındaki boşlukları artırarak bitümlü karışımların özelliklerini etkilediğini göstermişlerdir. Güçlendirilmiş SMA karışımının sertlik özellikleri, kontrol karışımı ile karşılaştırıldığında yaklaşık 12 artırılmıştır. 0,2'den fazla lif içeriğine sahip karışımlar, kalıcı deformasyona karşı daha düşük direnç sergilemiştir. Sonuçlar, fiberin, artan trafik yükü nedeniyle yol kaplamasında meydana gelen yapısal sıkıntılara direnme potansiyeline sahip olduğunu, böylece özellikle daha yüksek stres seviyesinde çatlama ve kalıcı deformasyona karşı direnci artırarak yorgunluk ömrünü iyileştirdiğini göstermişlerdir.

Chen ve Li (2012), bazalt lifinin kaplama performansını güçlendirmedeki etkinliğini incelemiş, lif miktarlarının test edilmesiyle en uygun bazalt lifi miktarını % 0,3 olarak bulmuştur. Bu oran %5,35 optimum asfalt oranına karşılık gelmiştir. Lif eklenmesi asfalt karışımın kararlılığını kayda değer şekilde geliştirmiştir. Polyester ile karşılaştırıldığında asfaltın yüksek sıcak kararlılığı için bazalt lifinin etkileri daha fazladır. Yapılan testler sonucunda bazalt liflerin asfalt betonunun kaplama performansını önemli ölçüde artırdığını ve uygulamaya değer olduğunu belirtmişlerdir.

Liu vd. (2012), Bazalt lifin SBS modifiye asfalt karışımını güçlendirme performansını laboratuvar deneyleriyle incelemiştir. İnceleme sonucunda bazalt lif ve polyester lif SBS modifiye karışımının hazırlanmasında Marshall testi ve donma-çözülme testleri kullanılmışlardır. Marshall testine göre sıkıştırılmış Marshall numunesi 48 saat 60°C'de sıcak su banyosuna taşındı daha sonra Marshall stabilitesi test edilmiş ve kalan stabilitesini elde etmek için oda sıcaklığına yerleştirilmiştir. Donma-çözülme testine göre

numune -18°C nin altında 16 saat bekletildi ve sonra 60°C sabit sıcaklıkta 24 saat bekletilmiştir. Deney sonuçlarına göre yüksek sıcaklıktaki asfalt kaplamasında bazalt lifi kullanmanın tekerlek izini azaltarak asfalt kaplama performansını iyileştirdiğini vurgulamışlardır.

Morova (2013), farklı miktarlarda bazalt liflerinin sıcak asfalt betonunda oluşturduğu gerilmeleri taşıyabilme durumunu Marshall Stabilite Testi kapsamında yapmış olduğu inceleme neticesinde yapılan deneyler sıcak asfalt betonuna bazalt lifi kullanımının olumlu etkiye sahip olduğunu gösterdi. Ancak bazalt liflerinden dolayı araç lastiklerinde oluşabilecek negatif etkileri önlemek amacıyla sadece binder tabakası için dikkate alınabileceğini vurguladı.

Shunzhi vd. (2014), düşük sıcaklıkta asfalt bağlayıcı üzerinde lif takviyenin etkisini araştırmışlardır. Asfalt matrisinden alınan çoklu liflerin sıyrılma laboratuvar testi, liflerde oluşan etkiyi ve matris üzerindeki liflerin sıyrılma kuvvetini incelemek üzere yapılmıştır. Ayrıca, güçlendirilmiş asfalt liflerinin gerilme etkileri ise basit çekme deneyi ile incelenmiştir. Genel anlamda lifler mikro çatlaklar boyunca etkin yük transferi sağlamaktadır. Bu sebeple düşük sıcaklık altında lif takviyeli asfalt ile sonuçlanmaktadır. Bu incelemeye dayanarak aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- 1- Aynı tip lifler için, her üç asfalt matrisinde tüm sıyrılma kuvvetleri hemen hemen birbiri ile özdeş olmaktadır. Ancak aramid lifi polyester lifine kıyasla asfalt ile olan bağını tam anlamıyla aktif edebilmesi için çok daha fazla gömme uzunluğuna sahip olması gerekmektedir.
- 2- Yeterli miktarda polyester eklenmesi FRA'nın çekme özelliklerini (özellikle akma dayanımı açısından) büyük ölçüde artırabilir. Sıcaklık düştüğünde asfalt matrisi daha fazla kırılabilirken, FRA sıcaklık değişiminden etkilenmeksizin çekme sünekliğini sürdürmektedir.
- 3- Optimum lif dozajı ve lif uzunluğu bu çalışmanın sınırları içerisinde elde edilmiştir. Her iki parametre için de alt sınırlar mikro çatlaklar boyunca oluşan yük transferi ile kontrol edilirken, üst sınırlar ise çoğunlukla asfalt matrisindeki liflerin işlenebilirliği ile kontrol edilmektedir.

Guo vd. (2015), yapmış oldukları çalışmada diatomit ve cam lifin asfalt betonu karışımları üzerindeki etkilerini laboratuvar ortamında çeşitli testlerle incelemişlerdir. Laboratuvar ortamında diatomit ve cam lif katkılı modifiye asfalt betonu numunelerini

üretmişler ve tekerler izi testi, düşük sıcaklıkta indirekt çekme testi, indirekt çekme yorulması testi ve indirekt çekme sertliği modülü testi testlerini yapmışlardır. Modifiye karışımın özelliklerini incelerken varyans analizi ve istatistiksel regresyon yöntemlerini kullanmışlardır. Deney sonuçları asfalt betonu karışımında kullanılan diatomit ve cam lif katkılarının yorulma direncini ve özelliklerini geliştirdiğini göstermiştir. Düşük sıcaklıklarda diatomit kullanımından meydana gelen deformasyonlar cam lif kullanımı ile çözümlenmiştir.

Ohm vd. (2016), cam lif takviyeli asfalt karışımlarının sahada uygulanabilirliği ve laboratuvar performansını değerlendirdikleri araştırmada cam lif takviyeli asfalt karışımının gerilme mukavemetinin sıcak asfalt karışımına göre %115 daha büyük olduğunu göstermiştir.

Morova vd. (2016), fiber olarak sıcak karışım asfaltta poliparafenilen tereftalamidin (PT) kullanımını farklı oranlarda kireçtaşı agregası ile Marshall Stabilite Testi uygulayarak araştırmışlardır. Araştırmanın ikinci aşamasında, optimum bitüm içeriğine göre %0,25, %0,50, %0,75, %1,00, %1,50, %2,00 farklı poliparafenilen tereftalamid lif (PTF) oranları kullanılarak yeni numuneler hazırlanmış. Test sonuçlarına göre % 0,25 PTF oranı kullanılarak hazırlanan numuneler en yüksek Marshall Stabilite sonucunu vermiştir. Araştırmanın son aşamasında, en iyi lif oranı (% 0,25) ve bu sonuca yakın (%0,50 ve %0,75) farklı bitüm içerikleri (%4,15, %4,65 ve %5,15) gerçekleştirilmiştir. Böylece, çalışmanın ikinci aşamasında bitüm içeriğinin belirlenen lif oranına etkisi araştırılmıştır. Ayrıca % 0,25, % 0,50 ve % 0,75 lif oranlarında hazırlanan sıcak karışım asfalt (HMA) numuneleri üzerinde Dolaylı Çekme (ITS) Mukavemet Testi uygulanmış ve nem duyarlılıkları belirlenmiştir. Tüm sonuçlar, en iyi lif oranının %0.25 olduğunu ve referans numuneler için lif katkı maddesi ile belirlenen optimum bitüm içeriğinin sabit kaldığını göstermiştir.

Lif katkılı beton ve bitümlü karışımlar üzerinde yapılan çalışmalar lif katkılı karışımların dayanımlarında artış olduğunu göstermektedir. Cam lifli katkılı asfalt betonu karışımlarında ise belli bir orana kadar kullanılan fiberin, artan trafik yükü nedeniyle yol kaplamasında meydana gelen yapısal sıkıntılara direnme potansiyeline sahip olduğunu ayrıca çatlama ve kalıcı deformasyona karşı direnci artırarak yolun servis ömrünü artırdığını göstermişlerdir.

Yapılan bu tez çalışmasında literatürden farklı olarak; değişen cam lifi boyunun bitümlü karışımlarda fiziksel ve mekanik özelliklere olan etkisi Marshall Stabilite deney yöntemiyle araştırılmıştır.



3. MATERYAL

3.1. AGREGA

3.1.1. Elek Analizi Deneyi (ASTM C136, ASTM C117, TS EN 933-1)

Agrega tanelerinin büyüklüklerine göre dağılımını hesaplamak için agrega çeşitli eleklerden geçirilmektedir. Çizelge 3.1.'de elek açıklıkları verilmiştir. En büyük göz açıklığına sahip elek en üste gelecek şekilde üst üste yerleştirilir. Agreganın numunesi en üstteki eleğe dökülerek elendiğinde taneler büyüklüklerine göre elek üstünde kalan agreganın miktarı belirlenmiş olur. Deney sonucunda hesaplanan gradasyonun şartnameye uygunluğu kontrol edilir. Bitümlü kaplama karışımlarında kullanılacak agregaların, tane boyutu dağılımını bulmak için aşağıda açıklıkları verilen elekler kullanılmaktadır.

Çizelge 3.1. Elek açıklıkları.

Elek Açıklığı	
mm	inch
37,5	1 1/2
25	1
19,1	3/4
12,7	1/2
9,52	3/8
4,75	No.4
2,00	No.10
0,42	No.40
0,177	No.80
0,075	No.200



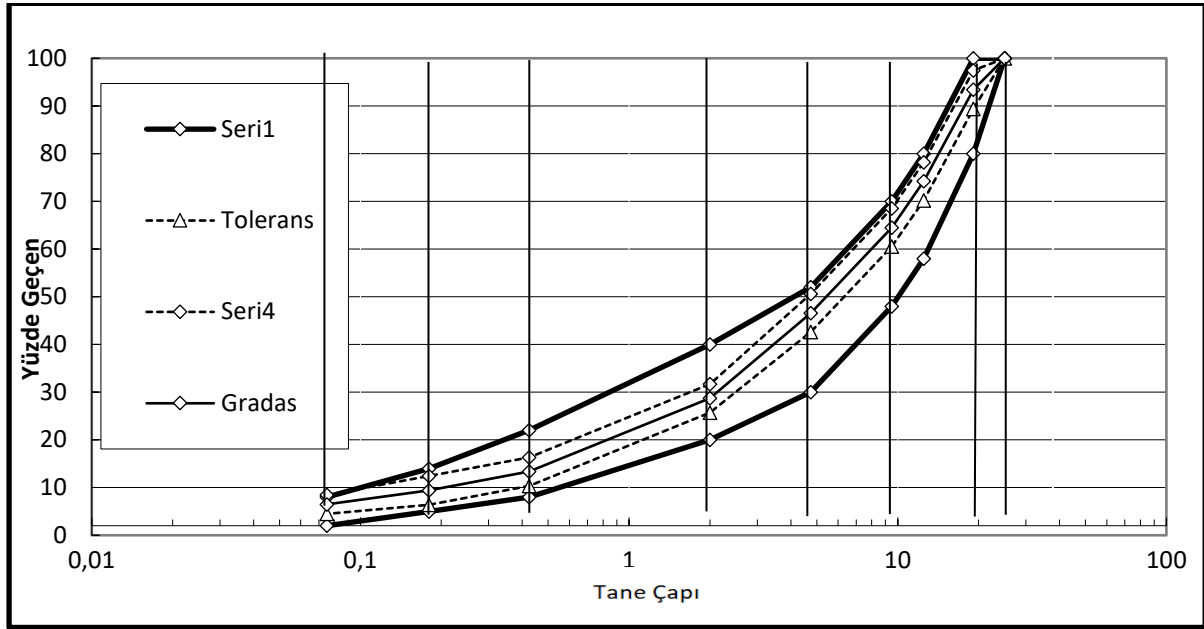
Şekil 3-1. Agregta numunelerinin ve elek takımlarının hazırlanma aşaması ve 0-4 mm çaplı agreganın eleme işlemi.

Marshall Stabilite deneyi için kırma taş agregası kullanılmış olup, agregta Düzce’de bulunan kırma taş ocaklarından temin edilmiştir. Agregata uygulanan elek analizi deneyi sonuçları ve gradasyon eğrisi Şekil 3.1. ve Çizelge 3.2.’de sunulmaktadır.

Çizelge 3.2. Elek analizi deneyi sonuçları.

Elekler	Kümülatif Kalan		Geçen	Toleranslar	
	inch	g		%	Min.
				100	100
1			100	100	100
3/4		65	6,6	93,4	89,4
1/2		255	25,8	74,2	70,2
3/8		351	35,5	64,5	60,5
No.4		528	53,4	46,6	42,6
No.10		705	71,3	28,7	25,7
No.40		857	86,6	13,4	10,4
No.80		896	90,6	9,4	6,4
No.200		925	93,5	6,5	4,5
Net Numune (g)		989,10			

Çizelge 3.3. Gradasyon eğrisi.



3.1.1. Los Angeles Aşınma Deneyi (ASTM C131, AASHTO T96, TS EN 1097-2)

Los Angeles Aşınma deneyi, darbelenme ve aşındırma etkisiyle agregatanelerinde oluşan aşınmanın bulunmasını sağlar. Bu deneyle dane boyutu 75 mm'den küçük olan iri agregaların Los Angeles aşınma makinesi ile aşınmaya karşı mukavemeti bulunur.

3.1.2. Hava Tesirlerine Karşı Dayanım Deneyi (Donma Deneyi) (AASHTO T104, TS EN 1367-1)

Bu deney, iklim etkilerine karşı agregaların mukavemetlerinin ölçülmesi için yapılan bir deneydir. Kullanılacak agreganın gerçek iklim şartlarında maruz kaldığı etkiler hakkında elde yeterli bilginin olmadığı durumlarda laboratuvar ortamında yapılan hızlandırılmış bir deneydir. Deney 4.75 mm üzerinde kalan agregaya, 5 donma-çözülme periyodu olarak uygulanır ve bu işlemler sonunda oluşan kayıp yüzdesi hesaplanır.

3.1.3. Yassılık İndeksi Deneyi (BS 812)

Kalınlığı, nominal boyutunun 0,6'sından daha küçük olan agregatanelerinin yassı olarak tanımlanmasına dayanan bir metottur. Agregatanelerinin yassılık indeksi, belirli boyutlarda göz açıklıkları olan yassılık indeksi şablonu kullanılarak ayrılan yassı tanelerin ağırlığının, toplam numune ağırlığına oranının yüzdesi olarak ifade edilir. Yassılık indeksi deneyi TS EN 933-3 standardı dikkate alınarak yapılmaktadır.

3.1.4. Özgül Ağırlık ve Absorpsiyon Deneyi (ASTM C127, TS EN 1097-6)

Agreganın özgül ağırlığı, o agreganın birim hacimdeki ağırlığının, aynı hacimde ve 25°C'deki suyun ağırlığına oranıdır (KGM Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları).

Agreganın su emme miktarı agreganın özelliklerini etkiler. Agregada boşlukların fazla olması agreganın donma ve çevre etkilerine karşı dayanıklılığını azaltır. Su emme oranı, % 1'den daha büyük değilse agreganın donma-çözülme etkisine dirençli olduğu kabul edilir.

Ayrıca çalışmada kullanılan agregaya dair yapılan diğer laboratuvar deney sonuçları Tablo 1'de sunulmuştur.

Çizelge 3.4. Agregaya ait deney sonuçları.

Parametre	Br	Deney Sonucu	Şart. Lim.
Los Angeles Deneyi ile Parçalanmaya Karşı Direncin Tayini (500 devir, %65'i (14-12 mm), %35'i (12-10 mm elekten))	%	12,9	Maks. 35
Sodyum Sülfat Aşınma Kaybı (Na ₂ SO ₄)	%	1,44	Maks. 12

3.2. BİTÜMLÜ BAĞLAYICI

Deneyisel çalışmalarda kullanılan modifiye bitüme ait temel fiziksel özellikler laboratuvar deneyleri sonucunda tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar tercih edilen bitümün karayolları şartname limitlerini sağladığı görülmüştür.

Çizelge 3.5. Polimer (PG 70-16) modifiye bitüm fiziksel özellikleri.

Parametre	Birim	Deney Sonucu	Şartname Limitleri
		%4,5	Limit Value KTŞ
1. Penetrasyon (25°C, 100g, 5 sn)	0,1 mm	31	25-55
2. Yumuşama Noktası	°C	83,6	65
3. Kuvvet Ölçümlü Düktilite	J	---	0,5
4. Elastik Geri Dönme	%	91	60
5. Parlama Noktası	°C	255	220
6. Özgül Ağırlık	gr/cm ³	1,03	1,0-1,1

Deneyde %4,97 oranında bitüm kullanılmıştır. Optimum bitüm tayini için Bitüm Ekstraksiyon Deneyi yapılmıştır. Bitüm oranının hesaplanması için karışımdaki bitüm miktarı temizlenmiş net numuneye bölünerek yüzdesi alınmıştır. Referans numunelerin özellikleri ve bitüm yüzdesi Çizelge 3.6’da sunulmaktadır.

Çizelge 3.6. Bitüm yüzdeleri.

Bitümlü Num.+Sepet+Kartuş	A	1451,70
Temizlenmiş Num.+Sepet+Kartuş	B	1402,50
Sepet+Kartuş	C	413,40
Karıışımdaki Bitüm Miktarı (gr)(A-B)	D	49,20
Temizlenmiş Net Numune (gr) (B-C)	E	989,10
Yüzde Bitüm (D/E*100)	Wa	4,97

3.3. CAM LİFİ

Deneyde C tipi cam lifi kullanılmıştır. C tipi cam lifi daha kolay temin edilebildiği ve maliyetinin düşük olması sebebi ile tercih edilmiştir. Kullanılan cam lifi kısa, orta ve uzun olmak üzere üç kategoride kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Cam lifi.

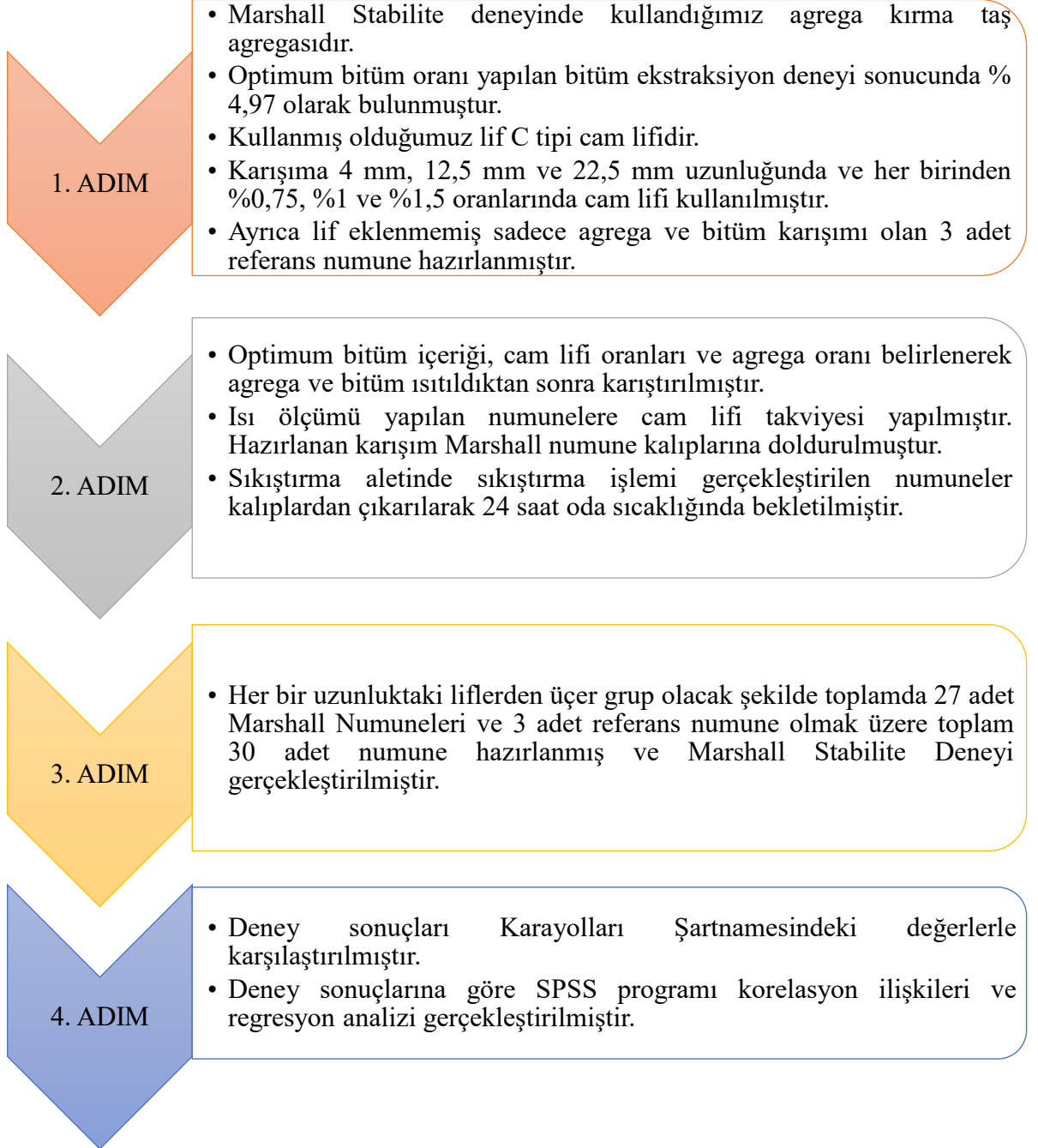
Kullanılan cam lifinin fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.7’de sunulmaktadır.

Çizelge 3.7. Cam lifinin fiziksel ve mekanik özellikleri.

	Lif Uzunluğu (mm)	Özgül Ağırlık	Elastisite Modülü (Gpa)	Çekme Dayanımı (Gpa)	Kırılma Deformasyonu (%)
Kısa	4	2,6	70-80	2,4	2-3,5
Orta	12,5	2,6	70-80	2,4	2-3,5
Uzun	22,5	2,6	70-80	2,4	2-3,5

4. METOD

Bu bölümde çalışmaya ait akış şeması sunulmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda bulunan değerler ve çalışmanın yapım aşamaları anlatılmaktadır.



Şekil 4-1. Çalışmaya ait akış şeması.

4.1. MARSHALL DENEYİ

Birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de bitümlü sıcak karışımların dizayn oranlarını belirlemek amacıyla Marshall Dizayn Metodu kullanılmaktadır. Metot, Marshall Stabilite (MS) deney aleti yardımıyla, aynı agrega karışımına farklı oranlarda bitümlü bağlayıcı karıştırarak hazırlanan briket yan yüzlerine yükleme yapılarak plastik akmaya karşı dayanım ölçümünü kapsamaktadır (Aslan, 2019).

4.1.1. Deneyde Kullanılan Aletler

- Etüv
- Tepsi ve kaplar
- Terazî
- Kürek
- Termometre
- Mekanik Karıştırıcı
- Su Banyosu
- Sıkıştırma Tablası
- Sıkıştırma Kalıbı
- Stabilite Ölçüm Kalıbı

4.1.2. Deney Malzemeleri

Agrega: Granülometrik şartlarda hazırlanmış 1200 gr agrega karışımı

Bitüm: Belli oranlarda hazırlanmış bitüm

Katkı Maddesi: Farklı boylarda ve oranlarda cam lifi

4.1.3. Numunelerin Hazırlanması

Granülometrik şartlara göre hazırlanmış agrega, etüvde 185°C'ye kadar ısıtılır ve 120°C'ye kadar ısıtılmış olan bitüm, agrega ile iyice karıştırılır. Katkı maddesi eklemenden 3 adet referans numune hazırlanır ve kalan numuneye belirlenen oranlarda cam lifi eklenerek deney numuneleri karıştırılır. Karıştırılan numuneler ısıtılmış Marshall numune kalıplarına şişleme çubuğu yardımıyla boşluk kalmayacak şekilde doldurulur. Numuneler sıkıştırma işlemi için Marshall tokmağına yerleştirilir. 4,5 kg ağırlığındaki tokmak 45 cm yükseklikten numunenin her iki yüzeyine de 75'er defa düşerek sıkıştırma işlemini

gerçekleştirilir. Kalıptan çıkarılan numuneler 24 saat oda sıcaklığında bekletilir.

4.1.4. Deneyin Yapılışı

Marshall deney numuneleri en az bir gece oda sıcaklığında bekletildikten sonra boyları ölçülerek havada, suda ve doygun-yüzey kuru ağırlıkları ölçülerek kaydedilir ve numuneler deneye alınır.

Numuneler sırayla Marshall Stabilite deney aletine yerleştirilerek deney cihazı çalıştırılır. Her numunenin kırılmaya başladığı andaki yük ve deformasyon değerleri kaydedilir. Kırılma anında kaydedilen maksimum değer ile bitümlü karışımın stabilitesi belirlenir.

Marshall Stabilite deneyinde Düzce Üniversitesinden temin edilen agregalar, %4,97 oranında bitümlü bağlayıcı ve 3 farklı uzunlukta cam lifi kullanılmıştır.



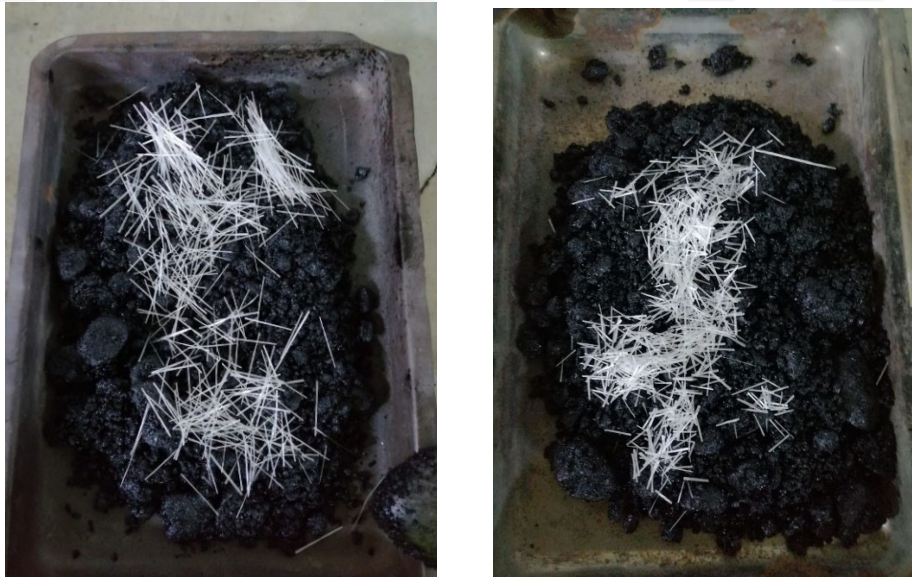
Şekil 4-2. Agregalar ve bitümün karıştırılması.

Agregalar 185°C'ye kadar etüvde ısıtılmıştır. Agregada bir oyuk oluşturulmuş ve 120°C'ye kadar ısıtılmış olan bitüm ilave edilerek agregalar bitüm ile kaplanana kadar iyice karıştırılmıştır. Marshall briketi için alınan numuneler üç ayrı kaptaki karıştırılmıştır.



Şekil 4-3. Numunenin ısı kontrolü.

Isı kontrolü yapılan numuneye kısa boy cam lifi 4 mm boyunda ağırlıkça %0,75, %1 ve %1,5 oranlarında, orta boy cam lifi 12,5 mm boyunda ve ağırlıkça %0,75, %1 ve %1,5 oranlarında ve uzun boy cam lifi ise 22,5 mm uzunluğunda ve ağırlıkça %0,75, %1 ve %1,5 oranlarında bitümlü agrega karışımlarına cam lifi takviyesi yapılmıştır.



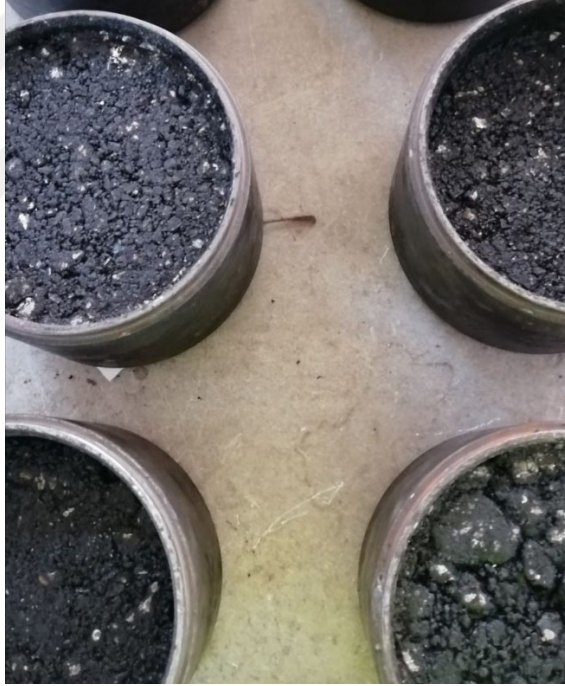
Şekil 4-4. Deney numunesine farklı boylarda cam lifi eklenmesi.

Hazırlanan karışımlar ısıtılmış Marshall numune kalıplarına doldurulmuştur. Sıkıştırma aleti yaklaşık 4,5 kg ağırlığındaki tokmak 45 cm yükseklikten numunenin her iki yüzeyine

75'er defa düşerek sıkıştırma işlemini gerçekleştirmiştir.



Şekil 4-5. Numunelerin etüvde bekletilmesi.



Şekil 4-6. Deney numunelerinin sıkıştırma işlemine hazırlanması.

Sıkıştırma işlemi biten numuneler kalıptan çıkarılarak kuruması ve dayanım kazanması için 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir.



Şekil 4-7. Marshall numunelerinin sıkıştırılması işlemi.



Şekil 4-8. Numunelerin kalıptan çıkarılması.

Marshall deney numuneleri en az bir gece oda sıcaklığında bekletildikten sonra boyları ölçülerek havada, suda ve doymun-yüzey kuru ağırlıkları ölçülerek kaydedilmiş ve numuneler deneye alınmıştır.

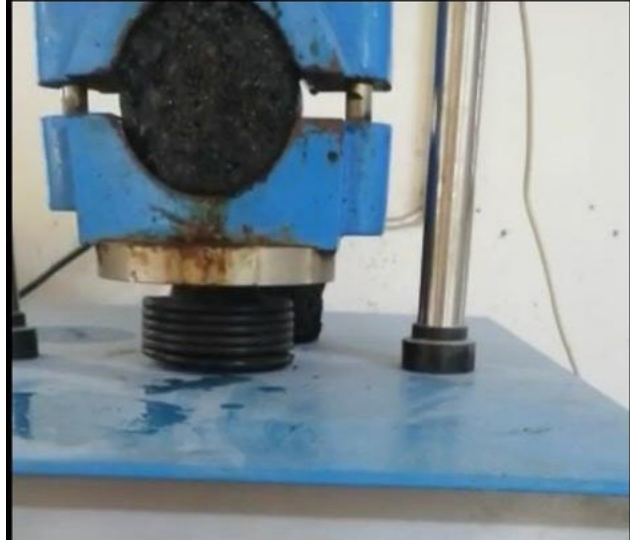


Şekil 4-9. Marshall numunesi boy ölçümü.



Şekil 4-10. Marshall numunelerin tartılması.

24 saat oda sıcaklığında bekletilen numunelerden doygun yüzey kuru ağırlık alınacak numuneler 60°C'deki su banyosunda 1 saat süre ile ısıtılmıştır. Numuneler sırayla Marshall Stabilite deney aletine yerleştirilerek deney cihazı çalıştırılmıştır. Her numunenin kırılmaya başladığı andaki yük ve deformasyon değerleri kaydedilmiştir. Kırılma anında kaydedilen maksimum değer ile bitümlü karışımın stabilitesi belirlenmiştir.



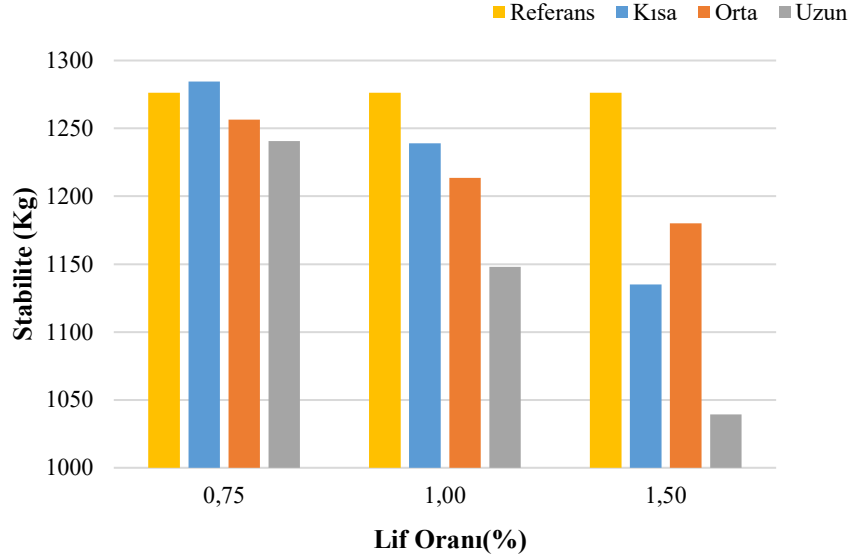
Şekil 4-11. Marshall stabilite deneyi.

5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

5.1. LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI

Numunelere uygulanan Marshall Stabilite deneyinde, yükleme sırasında stabilite yükselerek maksimuma ulaşır ve bir noktadan sonra düşmeye başlar. “Marshall Stabilitesi” adı verilen bu değer numunenin kırılmasını sağlayan kg cinsinden toplam yük miktarıdır. Ayrıca numunenin kırılma sırasında hareket miktarı ölçülerek “Akma” değeri belirlenmektedir (F. Umar ve E. Açar, 1991).

Bitümlü sıcak asfalt karışımına ilave edilen ağırlıkça %0,75 oranındaki 4 mm uzunluğundaki cam lifinde Marshall Stabilitesinin maksimum seviyeye ulaştığı ve Stabilite değerini referans numuneye göre %0,60 civarında artırdığı gözlemlenmiştir. Marshall Stabilitesi değerleri Şekil 5.1’de görülmektedir.



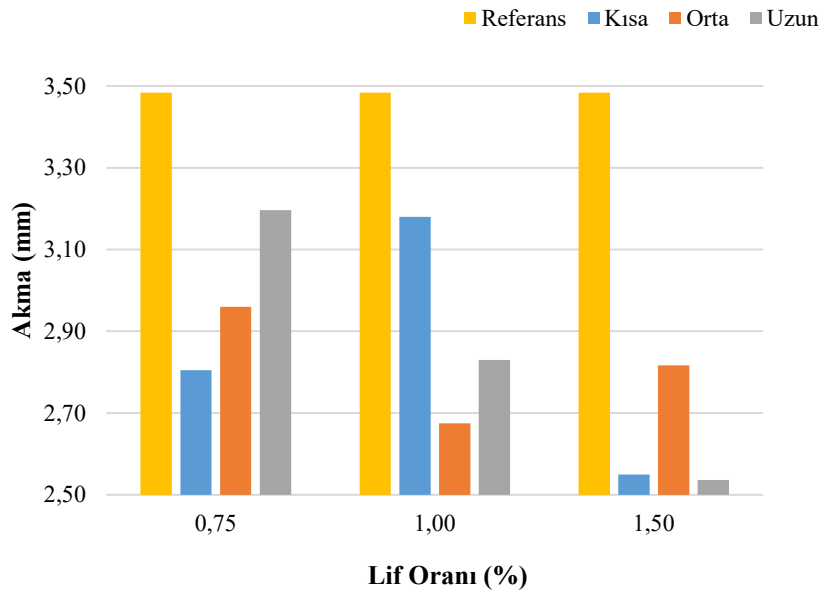
Şekil 5-1. Farklı lif içeriği ve boyuna sahip numunelere ait Stabilite (kg) değerleri.

Karayolları Teknik Şartnamesine göre binder tabakası stabilite değeri en az 750 kg olmalıdır. Deneyde kullanılan numunelerden lif içermeyen referans numunenin stabilite değeri 1276,8 kg ile Karayolları Teknik Şartnamesindeki şartı sağlamaktadır.

Deney çalışmasında lif boyu 4 mm olan numuneler için; ağırlıkça %0,75 lif içeriğine sahip numunede Marshall Stabilitesi 1284,5 kg, ağırlıkça %1 lif içeriğine sahip numunede Marshall Stabilitesi 1239,0 kg, ağırlıkça %1,5 lif içeriğine sahip numunede Marshall Stabilitesi 1135,0 kg olduğu görülmüştür.

Deney çalışmasında lif boyu 12,5 mm olan numuneler için; ağırlıkça %0,75 lif içeriğine sahip numunede Marshall Stabilitesi 1256,5 kg, ağırlıkça %1 lif içeriğine sahip numunede Marshall Stabilitesi 1213,5 kg, ağırlıkça %1,5 lif içeriğine sahip numunede Marshall Stabilitesi 1180,0 kg olduğu görülmüştür.

Deney çalışmasında lif boyu 22,5 mm olan numuneler için; ağırlıkça %0,75 lif içeriğine sahip numunede Marshall Stabilitesi 1240,7 kg, ağırlıkça %1 lif içeriğine sahip numunede Marshall Stabilitesi 1148,0 kg, ağırlıkça %1,5 lif içeriğine sahip numunede Marshall Stabilitesi 1039,3 kg olduğu görülmüştür.



Şekil 5-2. Farklı lif içeriği ve boyuna sahip numunelerin Akma (mm) değerleri.

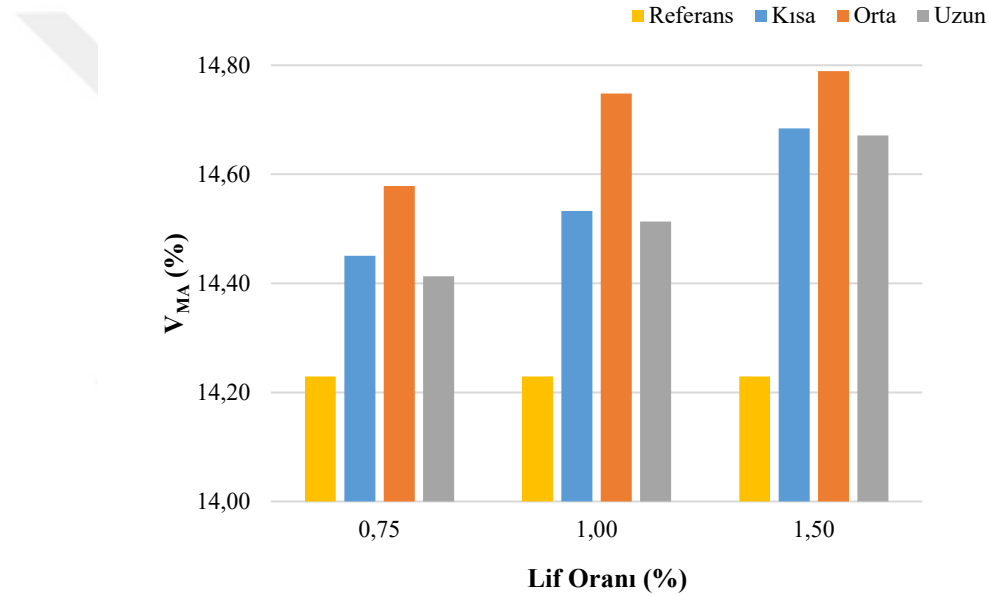
Karayolları Teknik Şartnamesi Standartlarına göre akma değerleri için en uygun aralık 2-4 mm olmalıdır. Hazırlanan karışımlara ait akma grafiği Şekil 5.2'de görülmektedir.

Çalışmada lif boyu 4 mm olan numuneler için; ağırlıkça %0,75 lif içeriğine sahip numunede Akma değeri 2,8 mm, ağırlıkça %1 lif içeriğine sahip numunede Akma değeri 3,2 mm, ağırlıkça %1,5 lif içeriğine sahip numunede Akma değeri 2,5 mm olduğu görülmüştür.

Çalışmada lif boyu 12,5 mm olan numuneler için; ağırlıkça %0,75 lif içeriğine sahip numunede Akma değeri 3 mm, ağırlıkça %1 lif içeriğine sahip numunede Akma değeri 2,7 mm, ağırlıkça %1,5 lif içeriğine sahip numunede Akma değeri 2,8 mm olduğu görülmüştür.

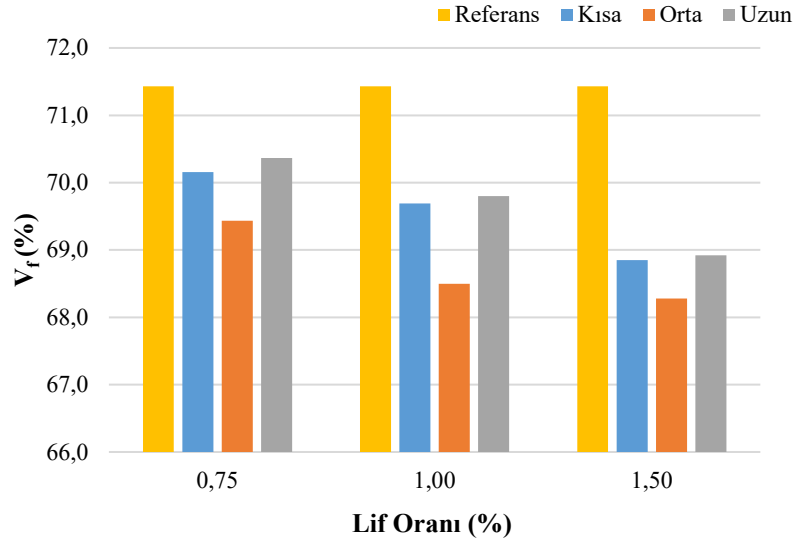
Çalışmada lif boyu 22,5 mm olan numuneler için; ağırlıkça %0,75 lif içeriğine sahip numunede Akma değeri 3,2 mm, ağırlıkça %1 lif içeriğine sahip numunede Akma değeri 2,8 mm, ağırlıkça %1,5 lif içeriğine sahip numunede Akma değeri 2,8 mm olduğu görülmüştür.

Bütün lif oranları ve boyları için Akma değerleri 2-4 mm arasındadır.



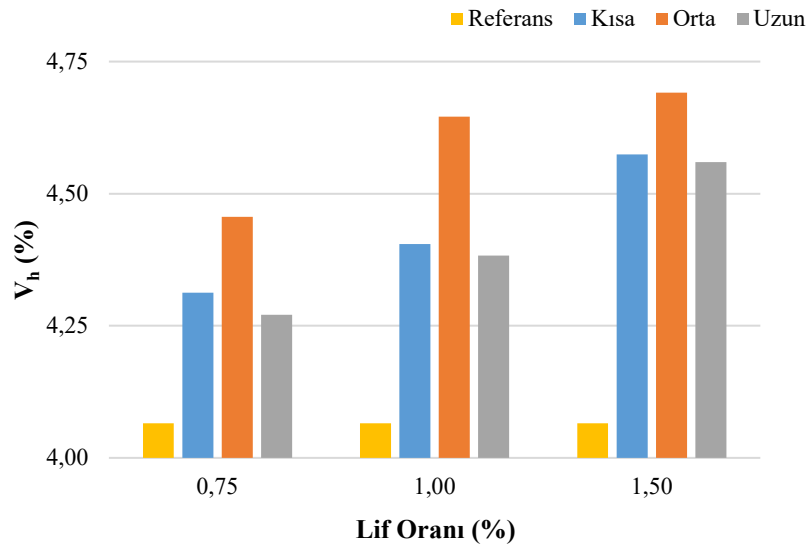
Şekil 5-3. Farklı lif içeriği ve boyuna sahip numunelere ait V_{MA} (%) değerleri.

V_{MA} değeri sıkıştırılmış karışımdaki agregalar arası boşluk olarak ifade edilmektedir. Karayolları Teknik Şartnamesine göre minimum V_{MA} değeri minimum %13 olmalıdır. Deney sonucunda V_{MA} değerinin referans numune de dahil olmak üzere bütün lif boyları ve oranları için %13'ün üstünde olduğu ve lif oranı arttıkça V_{MA} değerinin de arttığı görülmektedir.



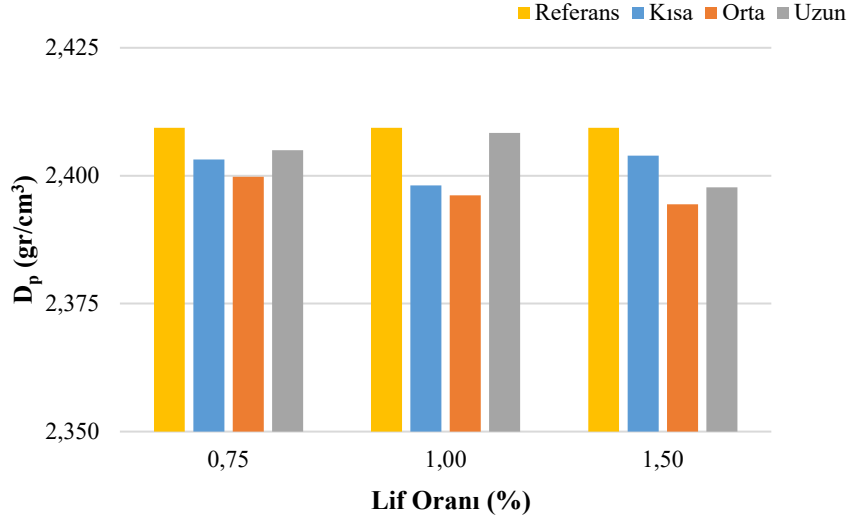
Şekil 5-4. Farklı lif içeriği boyuna sahip numunelere ait V_f (%) değerleri.

V_f değeri asfaltla dolu boşluk olarak ifade edilmektedir. Çalışma sonucuna göre V_f değerlerinin bütün numunelerde referans numunenin altında olduğu tespit edilmiştir. Deney numunelerindeki lif oranı arttıkça V_f değeri azalmaktadır.



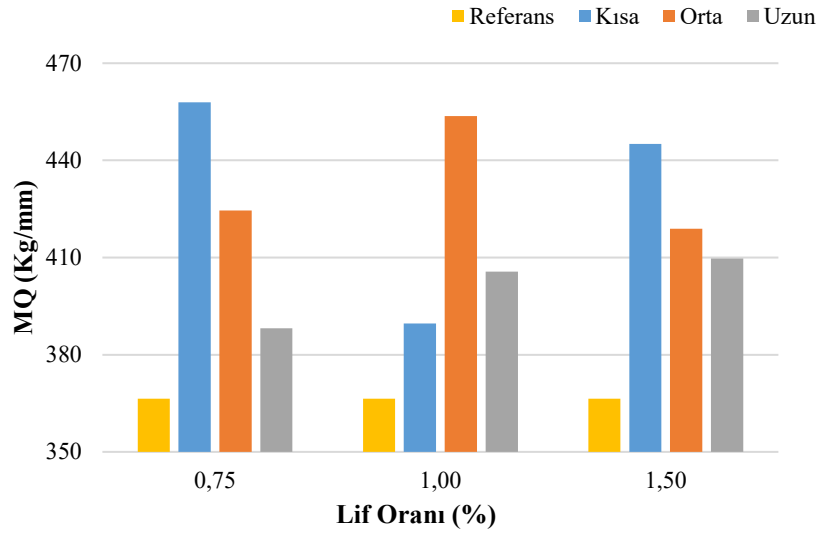
Şekil 5-5. Farklı lif içeriği ve boyuna sahip numunelere ait V_h (%) değerleri.

V_h değeri hava boşluğunu ifade etmektedir. Karayolları Teknik Şartnamesine göre bitümlü sıcak asfalt karışımlarda belli oranı geçmemesi şartıyla boşluk olması istenen bir özelliktir. Deney sonucunda referans numuneye göre kıyaslandığında boşluk hacminde sürekli bir artış olduğu görülmektedir.



Şekil 5-6. Farklı lif içeriği ve boyuna sahip numunelere ait pratik yoğunluk değerleri.

D_p değeri, her numuneye ait deneysel birim hacim ağırlıkları ifade etmektedir. Deney sonucunda her lif oranı ve boyu için D_p değerinin referans numunenin altında kaldığı ayrıca çok fazla değişkenlik göstermediği görülmektedir.



Şekil 5-7. Marshall katsayısı değerleri (MQ).

Marshall Katsayısı (MQ) stabilitenin akmaya oranı olarak tanımlanmaktadır. Yükün deformasyona karşı oranını temsil etmektedir. MQ değeri karışımın rijitlik göstergesini vermek için kullanılabilirken minimum akma değeri kırılma aşımına karşı hassas bir karışımın kullanılmasını engelleyebilmektedir.

Çalışmada lif boyu 4 mm olan numuneler için; ağırlıkça %0,75 lif içeriğine sahip numunede MQ değeri 457,93 kg/mm, ağırlıkça %1 lif içeriğine sahip numunede MQ değeri 389,62 kg/mm, ağırlıkça %1,5 lif içeriğine sahip numunede MQ değeri 445,10 kg/mm olduğu görülmüştür.

Çalışmada lif boyu 12,5 mm olan numuneler için; ağırlıkça %0,75 lif içeriğine sahip numunede MQ değeri 424,49 kg/mm, ağırlıkça %1 lif içeriğine sahip numunede MQ değeri 453,65 kg/mm, ağırlıkça %1,5 lif içeriğine sahip numunede MQ değeri 418,94 kg/mm olduğu görülmüştür.

Çalışmada lif boyu 22,5 mm olan numuneler için; ağırlıkça %0,75 lif içeriğine sahip numunede MQ değeri 388,11 kg/mm, ağırlıkça %1 lif içeriğine sahip numunede MQ değeri 405,65 kg/mm, ağırlıkça %1,5 lif içeriğine sahip numunede MQ değeri 409,72 kg/mm olduğu görülmüştür. Lif boyu 22,5 mm olan numunelerde lif oranı arttıkça Marshall Katsayısının da arttığı görülmektedir.

Lif takviyeli numunelerin tamamında Marshall katsayısı lif takviyesi eklenmemiş referans numunelere kıyasla yüksek çıkmıştır. Lif takviyesi yükün deformasyona karşı oranını olumsuz yönde etkilemektedir.

5.2. İSTATİSTİKSEL ANALİZ SONUÇLARI

Bu tez çalışmasında katkı malzemesi olarak cam lifinin bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirliğini incelemek amacıyla mekanik ve fiziksel deneyler yapılmış; stabilite, akma, yoğunluk, V_{MA} , V_f ve V_h değerleri elde edilmiştir. Söz konusu değerler SPSS programı ile deney sonuçlarının anlamlılığı analiz edilerek stabilite tahminleri için korelasyon analizi ve regresyon yapılmıştır.

Tanımlayıcı istatistiklerde stabilite, yoğunluk, V_{MA} , V_f ve V_h gibi değerlerin istatistiksel olarak genel özelliklerini tanımlayan ölçütler yer almaktadır. Araştırmada yer alan değişkenin tanımlayıcı istatistiklerine bakıldığında stabilite ortalaması Çizelge 5.1.'de görüldüğü gibi 1198,4'dür.

Çizelge 5.1. Tanımlayıcı istatistikler.

	Ortalama	Std. Sapma
Stabilite	1,19840E3	79,023765
Lif Boyu	1,39410E1	9,474396
Lif Oranı	0,96875	0,485174
D _p	2,40161	0,008443
V _{MA}	1,45551E1	0,176839
V _f	6,95773E1	0,994569

Çizelge 5.2. Korelasyon analizi sonuçları.

		Stabilite	Grup	Oran	D _p	V _{MA}	V _f
Pearson Korelasyonu	Stabilite	1,000	-0,477	-0,756	0,285	-0,579	0,580
	Lif Boyu	-0,477	1,000	0,455	-0,217	0,457	-0,460
	Lif Oranı	-0,756	0,455	1,000	-0,424	0,902	-0,904
	D _p	0,285	-0,217	-0,424	1,000	-0,517	0,516
	V _{MA}	-0,579	0,457	0,902	-0,517	1,000	-1,000
	V _f	0,580	-0,460	-0,904	0,516	-1,000	1,000
Sig. (1-tailed)	Stabilite	.	0,009	0	0,088	0,002	0,001
	Lif Boyu	0,009	.	0,013	0,155	0,012	0,012
	Lif Oranı	0	0,013	.	0,019	0	0
	D _p	0,088	0,155	0,019	.	0,005	0,005
	V _{MA}	0,002	0,012	0	0,005	.	0
	V _f	0,001	0,012	0	0,005	0	.

Stabilite değişkeninin araştırmada ele alınan diğer değişkenlerle olan ilişkisinin korelasyon analizi sonuçları Çizelge 5.2.'de verilmektedir. Stabilite üzerinde etkili olan değişkenlerin tespitine yönelik elde edilen sonuçlarda, sadece lif oranı değişkeninin stabilite üzerinde anlamlı etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.3'de görüldüğü gibi modelimizdeki değişkenlerin stabiliteyi açıklama oranının %71,4 olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.3. Model özet tablosu.

Model	R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Std. Tahmin Hatası	İstatistik Değişimleri					Durbin - Watson
					R ² Değişimi	F Değişimi	df 1	df 2	Sig. F Change	
1	0,845 ^a	0,714	0,635	47,75299	0,714	8,997	5	18	0,000	0,524

a. Tahminler: (Sabit), V_f, Lif Boyu, D_p, Lif Oranı, V_{MA}
b. Bağımlı Değişken: Stabilité

Çalışmada stabilite üzerinde etkili olan değişkenlerin tespitine yönelik oluşturulan modelin anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Değer, 0,05'in üzerinde olduğu için deney sonuçlarının anlamlı çıktığını ifade etmektedir.

Çizelge 5.4. Deney çalışmasına ilişkin anlamlılık sonuçları.

ANOVA ^b						
Model		Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Sig.
1	Regresyon	102583,108	5	20516,622	8,997	0,000 ^a
	Kalan	41046,265	18	2280,348		
	Toplam	143629,374	23			

a. Tahminler: (Sabit), V_f, Lif Boyu, D_p, Lif Oranı, V_{MA}
b. Bağımlı Değişken: Stabilité

Çizelge 5.5. Katsayılar tablosu.

Katsayılar ^a												
Model	Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar	t	Sig.	95% B İçin Güven Aralığı		Korelasyonlar			Doğrusallık İstatistikleri	
	B	Std. Hata	Beta			Alt Sınır	Üst Sınır	Sıfır Sıralı	Kısmi	Bölüm	Hata Payı	VIF
1 (Constant)	248912,734	141403,051		1,760	0,095	-48164,052	545989,519					
Lif Boyu	-2,253	1,228	-0,270	1,834	0,083	-4,834	0,327	-0,477	-0,397	-0,231	0,732	1,366
Lif Oranı	-239,255	53,126	-1,469	4,504	0,000	-350,869	-127,642	-0,756	-0,728	-0,567	0,149	6,701
D _p	544,357	1386,454	0,058	3,393	0,699	-2368,476	3457,189	0,285	0,092	0,049	0,724	1,382
V _{MA}	-9053,544	5221,225	-20,260	1,734	0,100	-20022,931	1915,844	-0,579	-0,378	-0,218	0,000	8,599E3
V _f	-1681,337	939,469	-21,161	1,790	0,090	-3655,087	292,414	0,580	-0,389	-0,226	0,000	8,806E3

a. Bağımlı Değişken: Stabilité

Çizelge 5.6. Korelasyon katsayıları.

Korelasyon Katsayıları ^a							
Model		V _f	Grup	D _p	Oran	V _{MA}	
1	Korelasyonlar	V _f	1,000	0,252	-0,008	0,427	1,000
		Lif Boyu	0,252	1,000	-0,015	0,012	0,248
		D _p	-0,008	-0,015	1,000	-0,103	0,001
		Lif Oranı	0,427	0,012	-0,103	1,000	0,406
		V _{MA}	1,000	0,248	0,001	0,406	1,000
Kovaryanslar	V _f	8,826E5	290,412	-1,052E4	2,132E4	4,903E6	
	Lif Boyu	290,412	1,509	-25,058	0,779	1,594E3	
	D _p	-1,052E4	-25,058	1,922E6	-7,588E3	7,624E3	
	Lif Oranı	2,132E4	0,779	-7,588E3	2,822E3	1,127E5	
	V _{MA}	4,903E6	1,594E3	7,624E3	1,127E5	2,726E7	

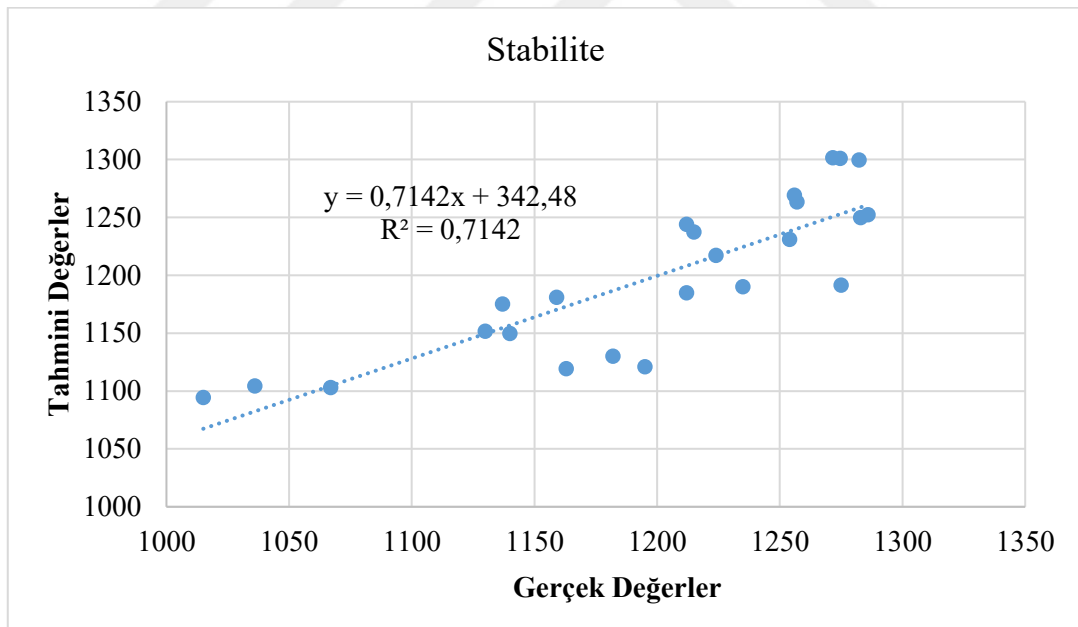
a. Bağımlı Değişken: Stabilité

Stabilité üzerinde etkili olan değişkenlerin tespitine yönelik oluşturulan modelin anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Stabilité ile oran değişkeni arasında negatif yönde bir ilişki

olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.7. Kalan istatistikler.

	Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma
Tahmini Değer	1,09450E3	1,30137E3	1,19840E3	66,784243
Std. Tahmini Değer	-1,556	1,542	0	1,000
Öngörülen Değerin Std Hatası	17,163	31,073	23,631	3,487
Düzeltilmiş Tahmini Değer	1,09798E3	1,31506E3	1,19920E3	69,981956
Kalan	-7,949665E1	8,356085E1	0	42,244766
Std. Kalan	-1,665	1,750	0	0,885
Stud. Kalan	-1,979	1,943	-0,007	1,010
Silinen Kalan	-1,123814E2	1,029787E2	-,793981	55,284386
Stud. Silinen Kalan	-2,175	2,123	-0,002	1,056
Mahal. Distance	2,013	8,780	4,792	1,658
Cook's Distance	0,001	0,270	0,051	0,065
Centered Leverage Value	0,088	0,382	0,208	0,072



Şekil 5.8. Tahmini ve gerçek marshall stabilite değerleri arasındaki ilişki.

Stabilite üzerinde etkili olan değişkenlerin tespiti sonrasında en etkin parametrelerin girdi olarak kullanıldığı SPSS çoklu regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonunda elde edilen tahmin değerler ve gerçek stabilite değerlerinin korelasyonunun %71,42 olduğu gözlenmiştir.

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında bitümlü sıcak karışımlara cam lifi takviyesinin etkileri ve kullanılabilirliği Kullanılan cam lifi 4 mm, 12,5 mm ve 22,5 mm olmak üzere üç boyda kategorize edilerek kullanılmıştır. Her bir cam lifi boyu için ağırlıkça %0,75, %1 ve %1,5 oranları bitümlü sıcak karışımlara ayrı ayrı takviye edilmiştir. Böylece 4 mm, 12,5 mm ve 22,5 mm uzunluktaki liflerden üçer grup olacak şekilde toplamda 27 adet Marshall Numuneleri ve lif takviyesiz 3 adet referans numune olmak üzere toplam 30 adet numune hazırlanmıştır. Karayolu teknik şartnamesinde belirtilen temel mekanik ve fiziksel deneyler yapılmıştır. Marshall stabilite değerleri, akma, yoğunluk, V_{MA} , V_f ve V_h değerleri elde edilmiştir. Böylece lif tipi değişimi, lif oranı değişimi ve lif boyu değişiminin sıcak asfalt karışımı üzerinde mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir.

Çalışma sonucunda bitümlü sıcak karışımlarda Marshall Stabilite değerinin üç farklı lif boyu içinde 4 mm boyutundaki numunede ve ağırlıkça %0,75 oranında cam lifinin eklenmesi durumunda maksimum seviyeye ulaştığı görülmektedir. Marshall Stabilite değerini referans numuneye göre %0,60 civarında artırarak 1284,5 kg olduğu gözlemlenmiştir. Üç boy için de cam lifi oranı artırıldıkça Marshall Stabilite değerinin giderek azaldığı hatta referans numunenin altına düştüğü görülmektedir. Ancak Marshall Stabilite değeri referans numunenin altına düşse bile Karayolları Teknik Şartnamesinde yer alan Dizayn Kriterlerine göre binder tabakası minimum Marshall Stabilite değerinin çok üzerinde olduğu görülmektedir.

Karayolları Teknik Şartnamesine göre bitümlü sıcak asfalt karışımlarda hava boşluğu belli bir oranı geçmemek şartıyla istenen bir özelliktir. Çalışmada bütün lif boyları için cam lifi oranı arttıkça hava boşluğu oranının da attığı gözlemlenmiştir. Cam lifi oranı arttıkça agregalar arası boşluk da artmış ancak asfaltla dolu boşluk oranı azalma göstermiştir.

Deney sonuçlarına göre SPSS programı ile korelasyon ilişkileri ve regresyon analizi gerçekleştirilmiş ve sadece lif oranı değişkeninin stabilite üzerinde anlamlı etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Geliştirilen tahmin modellerinin Stabilitayı açıklama oranının %71,42 olduğu görülmektedir.

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde bitümlü sıcak karışımlarda belli bir orana kadar cam lifi takviyesi kullanılması bitümlü sıcak karışımların performansını artırdığı fakat % 0,75 oranını geçtiği zaman performansı olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Ağırlıkça % 0,75 lif oranında kullanılan liflerin Marshall Stabilite değerini % 0,60 katkı yaptığı gözlemlenmiştir. Farklı lif boyları içerisinde ise en uygun lif boyunun 4 mm kısa cam lifi olduğu gözlenmiştir. Hem fiziksel hem de mekanik performans açısından kısa cam liflerinin daha olumlu katkı sağladığı tüm çalışmalar sonunda tespit edilmiştir.



7. KAYNAKLAR

- Ahmedzade, P., Sengoz B. (2009). Evaluation of steel slag coarse aggregate in hot mix asphalt concrete, *Tehlikeli Maddeler Dergisi*, 165(1-3), 300–305.
- Akbulut, H. & Gürer, C. (2006). Atık mermerlerin asfalt kaplamalarda agrega olarak değerlendirilmesi, *İMO Teknik Dergi*, 3943-3960.
- Aral, M. (2006). ‘Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı Bir Optimum Tasarım’, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Asi, Ibr., Shalabi, F. & Naji, J. (2009). Use Of Basalt İn Asphalt Concrete Mixes, *Construction and Building Materials, İnşaat ve Yapı Malzemeleri Dergisi*, 23, 498–506.
- Aslan, D. (2019). ‘Diyarbakır Yöresinde Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Bazalt, Kalker, Dere Malzemelerinin Karakteristik Özelliklerinin Karşılaştırılması’, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, Türkiye.
- Avcı, E. (2009). ‘Sıcak İklimli Bölgelerde Kullanılan Asfalt Betonu Karışım Değişkenlerinin Kaplama Tabakası Performansına Etkisi’, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye.
- Cement&Concrete Institute, (2010). ‘Fibre Reinforced Concrete’, Çimento ve Beton Enstitüsü, Midrand, Güney Afrika.
- Chawla K.K., (1998). *Fibrous Materials*, Cambridge, Cambridge University Publishing.
- Chen, H., Xu, Q., (2010). Experimental study of fibers in stabilizing and reinforcing asphalt binder, *Fuel Dergisi*, 89, 1616–1622.
- Chen, J., & Lin, K., (2005). Mechanism And Behavior Of Bitumen Strength Reinforcement Using Fibers, *Malzeme Bilimi Dergisi*, 40, 87– 95.
- Chen, Y., & Li, Z. (2012). Study of Road Property of Basalt Fiber Asphalt Concrete, *Uygulamalı Mekanik ve Malzemeler*, c. 238, ss 22-25.
- Çelik, O. N. (2006). *Karayolları, Ders Notları*. Selçuk Üniversitesi.

- Görgülü, M., (2018). ‘Değişik Tipteki Agregada ve Bağlayıcının Sıcak Karışım Asfaltın Mekanik Özelliklerine Etkisi’, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.
- Guo, Q., Li, L., Cheng, Y., Jiao, Y. & Xu, C., (2015). Laboratory evaluation on performance of diatomite and glass fiber compound modified asphalt mixture, *Malzemeler ve Tasarım Dergisi*, 66, 51-59.
- Guo, Y., Zhao, Y. & Guo, N. (2009). A Fatigue Test on Fiber Reinforced Asphalt Mixtures. Ninth International Conference of Chinese Transportation Professionals (ICCTP), 2708-2714.
- H., Chen, Q., Xu, S., Chen, Z., Zhang (2009). Evaluation and design of fiber-reinforced asphalt mixtures, *Malzemeler ve Tasarım Dergisi*, 30, 2595–2603.
- Hanlı, E. (2009). ‘Esnek Yol Üstyapısında Oluşan Bozulmalar ve Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- İlıcılı M., Tayfur S., Özen H., Sönmez İ. & Eren K. (2001). *Asfalt ve Uygulamaları*, İstanbul: Seçil Ofset Yayınevi.
- İskender, E. (2004). ‘Asfalt Betonunda Kalıcı Deformasyon Probleminin Değerlendirilmesi’, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Karayolları Genel Müdürlüğü, Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı El Kitabı, Ankara, 2021.
- Kızıllıkanat, A.B., Kabay, N., Akyüncü, V. & Erdoğan, G., (2014). Basalt Fibers And Mechanical Properties Of Basalt Fiber Reinforced Concrete, *Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, Sigma 32, 444-452.
- Kurt, G., (2006). ‘Lif İçeriği ve Su/Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışlarına Etkileri’, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Lavin, P., (2003). *Asphalt Pavements*, Londra: CRC.
- Lee, S.J., Rust, P.J., Hamouda, H., Kim, Y.R., Borden R.H. (2005). ‘Fatigue Cracking Resistance of Fiber-Reinforced Asphalt Concrete’, *Textile Res. J.* 75(2), 123–128.
- Liu, Z., Chen, C., Qin, R. & Zou, X. (2012). ‘Research To Performance Of Basalt Fibre Strengthen Sbs Modified Asphalt Mixture’, *Advanced Materials Research*, 191-195.

- Mahrez, A. ve Karim, M.R. (2010). Fatigue characteristics of stone mastic asphalt mix reinforced with fiber glass, *Uluslararası Fizik Bilimleri Dergisi*, 5(12), 1840-1847.
- N., Morova (2013). Investigation Of Usability Of Basalt Fibers In Hot Mix Asphalt Concrete, *İnşaat ve Yapı Malzemeleri Dergisi*, 47, 175–180.
- N., Morova, S., Serin, S., Terzi, M., Saltan, D., Özdemir Küçükçapraz, S., Sargin Karahançer & E. Erişkin (2016). Utility Of Polyparaphenylene Terephthalamide Fiber İn Hot Mix Asphalt As A Fiber, *Construction and Building Materials*, 107, 87-94.
- Ohm, B., Yoo, P., Ham, S. & Suh Y. (2016). A Study On Field Application Of Glass Fiber-Reinforced Asphalt Mixtures, *Uluslararası Karayolu Mühendisliği Dergisi*, 18(3), 67-74.
- Orhan, F. (2012). Bitümlü Karışımlar Laboratuvar Çalışmaları, Karayolları Genel Müdürlüğü.
- Öksüz, B. (2011). ‘Asfalt Betonlu Kaplamalarda Volkanik Cüruf ve Cam Atıklarının Filler Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması’, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye.
- Özuğurlu, B. (2015). ‘Karayolu Esnek Üst Yapı Binder Tabakasında Elektrik Ark Ocağı Cürufunun Yapay Agregada Kullanımının İncelenmesi’, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Saltan, M., Fındık, S. (2005). Geniş Tabanlı ve Çift Tekerlekli Ağır Taşıtların Karayolu Esnek Üstyapıları Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, (ss. 429-438). Retma Yayınevi.
- Serin S., Morova N., Saltan, M., Terzi, S. (2012). ‘Investigation Of Usability Of Steel Fibers İn Asphalt Concrete Mixtures, *İnşaat ve Yapı Malzemeleri Dergisi*, 36, 238–244.
- Serin, S., Macit, M.E., Çınar, E.C. & Çelik, S. (2012). Doğal Kenevir Lifi Kullanımının Asfalt Beton Karışımlara Etkisi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 732-744.
- Shunzhi, Q., Hui, M., Jiliang, F., Ruochong, Y. & Xiaoming H., (2014). Fiber Reinforcing Effect On Asphalt Binder Under Low Temperature, *İnşaat ve Yapı Malzemeleri Dergisi*, 61, 120–124.
- Sim, J., Park, C., Moon, D., Y. (2005). Characteristics Of Basalt Fiber As A Strengthening Material For Concrete Structures, *Kompozitler: Bölüm B*

Mühendislik Dergisi, 36, 504–512

Şahin, Y. (2000). Kompozit Malzemelere Giriş. Ankara: Gazi Kitabevi.

Türkiye Asfalt Mütcaahhitleri Derneği (2014). Türk Asfalt Mütcaahhitleri Derneği Bülteni, Sayı 2, Ankara.

Tapkın, S., (2007). ‘The Effect Of Polypropylene Fibers On Asphalt Performance’, *Bina ve Çevre Dergisi*, 43, 1065–1071.

Taşdemir Y., Ağar E. (2005). Bitümlü Kaplamalarda Düşük Sıcaklık Çatlaklarının İncelenmesi, *İTÜ Dergisi Mühendislik*, 4(1), 59-70.

Torun, S. (2015). ‘Bitümlü Sıcak Karışımlarda Katkı Maddesi Olarak PR Plast Kullanımının Araştırılması’, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye.

Tunç, A. (2001). Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Ankara: Nobel Yayıncılık.

Umar, F., & Ağar, E., (1991). Yol Üstyapısı. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, 339s. İstanbul.

WU Shaopeng, YE Qunshan, LI Ning, YUE Hongbo (2007). ‘Effects of Fibers on the Dynamic Properties of Asphalt Mixtures’, *Wuhan Journal of the University of Technology*, 22(4), 733-736.

Xu, Q., Chen, H., & Prozzi, J.A. (2010). Performance Of Fiber Reinforced Asphalt Concrete Under Environmental Temperature And Water Effects, *İnşaat ve Yapı Malzemeleri Dergisi*, 24(10), 2003-2010.

Yayla, N. (2006). Karayolu Mühendisliği, İstanbul: Birsen Yayınevi.

Ye, Q., Wu, S. & Li, N. (2009), ‘Investigation Of The Dynamic And Fatigue Properties Of Fiber-Modified Asphalt Mixtures, *Uluslararası Yorulma Dergisi*, 31, 1598–1602.

Ziari, H., & Khabiri M. (2007). ‘Preventive Maintenance Of Flexible Pavement And Mechanical Properties Of Steel Slag Asphalt’, *Çevre Mühendisliği ve Peyzaj Yönetimi Dergisi*, 15(3), 188–192.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Eren DEMİR

Yabancı Dili :İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İnşaat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2022
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Atılım Üniversitesi	2016
Lise	Sayısal(Matematik-Fen)	İnönü Lisesi	2010

YAYINLAR

Serin, S., Demir, E. (2022). Investigation of The Performance of Glass Fiber Reinforced Bituminous Hot Mixes, 7th International Zeugma Conference on Scientific Researches, Gaziantep, TÜRKİYE.