



**KARBON LİF İLAVELİ BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin GÜRGÖZE

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Cahit GÜRER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2017

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KARBON LİF İLAVELİ BİTÜMLÜ SICAK
KARIŞIMLARIN ELEKTRİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Hüseyin GÜRGÖZE

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Cahit GÜRER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2017

TEZ ONAY SAYFASI

Hüseyin GÜRGÖZE tarafından hazırlanan “KARBON LİF İLAVELİ BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI ” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 12/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Cahit GÜRER

Başkan : Prof.Dr.Serdal TERZİ
Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,

İmza

Üye : Yrd. Doç. Dr. Cahit GÜRER
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,

İmza

Üye : Prof. Dr. Hüseyin AKBULUT
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../2017 tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım
bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

12/07/2017

İmza
Hüseyin GÜRGÖZE

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARBON LİF İLAVELİ BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Hüseyin GÜRGÖZE

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Cahit GÜRER

Lif kullanımından yararlanılan uygulamalardan biri de bitümlü karışımların iletken hale getirilmesi konusudur. Karayollarında buzlanmayı önlemek için kimyasal maddeler ve tuzlama gibi geleneksel yöntemler kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemler buzlanmayla mücadelede yetersiz kalınmakta ve kaçınılmaz problemler yaşanmaktadır. Bu yöntemler asfalt kaplamasına sistematik olarak zarar vermekte ve ömrünü de azaltmaktadır. Örneğin, buz çözen kimyasalların kullanımı asfalt kaplamaları ve köprü tabliyelerini korozyona uğratmakla kalmaz, aynı zamanda toprak ekolojik çevreyi de yıkıcı etkiye sahiptir. Ayrıca taşıtlarda da korozyona neden olur.

Artan trafik hacmi ve dingil yükleri, üretim hataları, yetersiz bakım ve iklim koşulları vb. zorlayıcı etkiler karayolu kaplamalarının beklenenden daha kısa sürede bozulmasına yol açmaktadır. Tüm bunların yanında agrega, petrol gibi hammadde kaynakları da giderek azalmaktadır. Bu durum mevcut asfalt kaplamalarının özelliklerinin ve kalitesinin arttırılarak daha uzun ömürlü olmaları zorunluluğunu gündeme getirmekte ve konu ile ilgili araştırmaların yapılmasına vesile olmaktadır. Bu arayışlar sonucunda farklı tip asfalt karışımlar (Taş mastik, ılık asfalt, superpave, modifiye asfalt vb.) geliştirilmiş aynı zamanda mevcut asfalt karışımlara çeşitli katkı maddeleri ilave

edilerek asfalt kaplamaların performanslarının ve farklı özelliklerinin geliştirilmesiyle ilgili araştırmalar hız kazanmıştır.

Bu tez kapsamında bitümlü sıcak karışım ve taş mastik asfalt karışımlarda % 4,5 ve % 6,5 sabit optimum bitüm oranlarında üretilen asfalt karışım numunelerine üç farklı uzunlukta (5,10,15 mm) ve ağırlıkça %0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 oranlarında karbon lifi (KL) ilave edilerek numuneler hazırlanmış bu numuneler üzerinde elektriksel iletkenlik özellikleri, Marshall Stabilite, Akma, Ultra ses geçiş hızı, süzölme vb. özellikler ölçölmüştür ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Her bir farklı KL oranı için optimum bitüm miktarının da bulunmasın gerektiği, KL'nin elektriksel iletkenlik özelliklerinin geliştirilmesinde oldukça etkili olduğu görölmüştür.

2017, xiv + 92 sayfa

Anahtar Kelimeler: Bitümlü Sıcak Karışımlar, Taş Mastik Asfalt, Karbon Lif, Lif Uzunluğu, Elektriksel Özdirenç.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION THE ELECTRICAL PROPERTIES OF BITUMINOUS HOT MIXTURES WITH CARBON FIBER ADDITIVE

Hüseyin GÜRGÖZE

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Cahit GÜRER

In another application, which utilizes the use of fibers, the conversion of the bituminous mixtures into a conductive from insulator. In order to prevent icing on road surfaces, traditional methods such as chemical substances and salting are used. However, these methods are inadequate for anti-icing and cause to unavoidable problems. These methods systematically deteriorate to bituminous mixtures and reduce its service life. For example, the using anti-icing chemicals not only damage the asphalt pavements and bridge decks, but also has destructive effect on the soil and ecological environment. It also causes corrosion in metallic parts of vehicles.

Increased traffic volumes and axle loads, faults of construction, compelling effects such as inadequate maintenance and climatic conditions, etc. cause to premature failures of road pavements less than expected service life. Besides, raw materials such as aggregate and oil are gradually decreasing. This situation raises the necessity of increasing the quality of existing bituminous pavements and extending the their service life and encourages making research on the subject. As a result of these researches different types of bituminous mixtures (stone mastic asphalt, warm mix asphalt, Superpave, Modified bituminous mixtures, etc.) were developed and at the same time researches

were gained importance about developing the performance and properties of existing bituminous mixtures by adding various additives and materials.

In this thesis, bituminous hot mix and stone mastic asphalt mixture specimens with three different lengths (5,10,15 mm) and 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 and 0,5 % by weight carbon fiber (CF) were produced at constant optimum bitumen ratios of 4,5% and 6,5% respectively. Electrical conductivity properties, Marshall Stability, Flow, Ultra sound passing velocity, bitumen drainage etc. properties were measured on these specimens and test results were assessed. It was concluded that, the optimum amount of bitumen must be found for each different CF ratio, and CF is very effective additive to improving the electrical conductivity properties of the bituminous mixtures.

2017, xiv + 92 page

Keywords: Bituminous Hot Mixtures, Stone Mastic Asphalt, Carbon Fiber, Fiber Length, Electrical Conductivity.

TEŞEKKÜR

Hazırlamış olduğum bu tez çalışmamda bilgi ve birikimi ile bana yol gösteren, bu tezin oluşmasında yaptığı yardım ve katkılarından dolayı tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Cahit GÜRER'e

Laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen lisans öğrencileri Kadir DÜZGÜN ve Mehmet Fırat ÖZUĞUR'a, Afyonkarahisar Belediyesi Asfalt Şantiyesi laboratuvar çalışmalarına, Karbon lifleri temin ettiğimiz Dowaksa İleri Kompozit Malzemeler San.Ltd.Şti.'ye, Agregaları temin ettiğimiz Kolsan A.Ş.' ye ve Düzkar İnşaat şantiye şefi Ahmet DÖNMEZ'e

Eğitim hayatım boyunca bu günlere gelmemi sağlayan, maddi ve manevi destek olan aileme teşekkür ederim.

Hüseyin GÜRGÖZE

Afyonkarahisar, 2017

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
RESİMLER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	5
2.1 Temel Kavramlar	5
2.1.1 Yol Üstyapısı	5
2.2 Taş Mastik Asfalt.....	6
2.3 Bitümlü Sıcak Karışımlar	9
2.3.1 Bitümlü karışımların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri	10
2.4 Bitümlü Karışımlar İçerisinde Lif Kullanımı ile İlgili Önceki Çalışmalar.....	12
2.5 Elektriksel Özellikler ve Yapılmış Çalışmalar	24
2.6 Lif Çeşitleri	30
2.6.1 Polipropilen Lifler	30
2.6.2 Polyester Lifleri	31
2.6.3 Selüloz Lifler	32
2.6.4 Cam Lifler	32
2.6.5 Karbon Lifleri.....	33
3. MATERYAL VE METOT	36
3.1 Materyal	36
3.2 Metot.....	37
3.2.1 Marshall Metodu İle Asfalt Numunelerinin Üretilmesi	39
3.2.2 Marshall Stabilite ve Akma Deneyi	44
3.2.3 Sıcak Karışım Asfalt Numunelerinin Elektriksel Özelliklerinin Ölçülmesi	45
3.2.4 Sabit Elektrik Gerilimi İle Numunelerin Sıcaklık Değişimlerinin Belirlenmesi.	46

3.2.5 Schellenberger Bitüm Süzülme Deneyi.....	47
3.2.6 Ultrases Deneyi	48
4. BULGULAR	50
4.1 Elektriksel Özdirenç Sonuçları	50
4.2 Elektrik İletkenli Asfalt Numunelerinin Sıcaklık Değişimleri	53
4.3 Schellenberger Bitüm Süzülme Deneyi Sonuçları.....	60
4.4 Ultrases Sonuçlarının Değerlendirilmesi	62
4.4.1 BSK ve TMA Numunelerinin Ultrases Deney Sonuçları.....	63
4.4.2 TMA Numunelerinin Ultrases Deney Sonuçları	64
4.5 Karbon Lifli Numunelerin Marshall Stabilite ve Akma Deneyi Sonuçları	65
4.6 Maliyet Analizi	81
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	83
6. KAYNAKLAR.....	85
ÖZGEÇMİŞ.....	92

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	Santigrad Derece
cm	Santimetre
dk	Dakika
gr	Gram
kg	Kilogram
km	Kilometre
KN	Kilonewton
m ³	Metreküp
mm	Milimetre
MPa	Mega Paskal
Pa	Pascal
m	metre
Ω	Ohm
ρ	Elektriksel Özdirenç
L	Numunenin Yüksekliği
R	Direnç
S	Elektrot İletken Alanı
I	Akım
V	Gerilim
µm	Mikron metre

Kısaltmalar

A	Briketin Havadaki Ağırlığı
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AB	Avrupa Birliği
AC	Asfalt Betonu
ANN	Yapay Sinir Ağları
ASTM	Amerika Deney ve Malzeme Kurumu
B50/70	Bitüm Penetrasyon Sınıfı
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
Dp	Briketin Hacim Özgöl Ağırlığı
DT	Briketin Torik Özgöl Ağırlığı
E	Dinamik Modülü
ECON	Elektriksel İleten Beton
FEM	Sonlu Eleman Yöntemi
Gef	Agreganın Efektif Özgöl Ağırlığı
Gb	Bitüm Özgöl Ağırlığı
Gsb	Agreganın Hacim Özgöl Ağırlığı

Kısaltmalar (Devam)

İÇD	İndirekt Çekme Dayanımı
İAB	İletken Asfalt Betonu
KL	Karbon Lifi
PP	Polipropilen
R	Ohm Olarak Ölçülen Direnç
ODOT	Ohio Eyaleti Karayolları İdaresi
TMA	Taş Mastik Asfalt
SMB	Splitt Mastix Binder (TMA)
SPT	Superpave Performans Test Cihazı
V	Briketin Hacmi
Vh	Briketin Boşluk Seviyesi
Vf	Briketteki asfaltla dolu boşluk yüzdesi
VMA	Agregalar arası boşluk yüzdesi
Wa	Agrega Ağırlığınca Bitüm Yüzdesi
Wb	Toplam karışıma göre bitüm yüzdesi
δ	Faz Açısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 4.1	5 mm KL'li BSK numunelerin özdirenç değerleri.	50
Şekil 4.2	10 mm KL'li BSK numunelerin özdirenç değerleri.	50
Şekil 4.3	15 mm KL'li BSK numunelerin özdirenç değerleri.	51
Şekil 4.4	5 mm KL'li TMA numunelerin özdirenç sonuçları değerleri.	52
Şekil 4.5	10 mm KL'li TMA numunelerin özdirenç değerleri.	52
Şekil 4.6	15 mm KL'li TMA Numunelerin Özdirenç Sonuçları.	53
Şekil 4.7	5 mm KL'li BSK numunelerin sıcaklık değişimleri.	54
Şekil 4.8	10 mm KL'li BSK numunelerin sıcaklık değişimleri.	54
Şekil 4.9	15 mm KL'li BSK numunelerin sıcaklık değişimleri.	55
Şekil 4.10	5 mm KL'li TMA numunelerin sıcaklık değişimleri.	56
Şekil 4.11	10 mm KL'li TMA numunelerin sıcaklık değişimleri.	56
Şekil 4.12	15 mm KL'li TMA numunelerin sıcaklık değişimleri.	57
Şekil 4.13	5 mm KL'li BSK numunelerin 0-10 °C sıcaklık değişimleri.	57
Şekil 4.14	10 mm KL'li BSK numunelerin 0-10 °C sıcaklık değişimleri.	58
Şekil 4.15	15 mm KL'li BSK numunelerin 0-10 °C sıcaklık değişimleri.	58
Şekil 4.16	5 mm KL'li TMA numunelerin 0-10 °C sıcaklık değişimleri.	59
Şekil 4.17	10 mm KL'li TMA numunelerin 0-10 °C sıcaklık değişimleri.	59
Şekil 4.18	15 mm KL'li TMA numunelerin 0-10 °C sıcaklık değişimleri.	60
Şekil 4.19	5mm KL'li TMA numunelerin schellenberger süzülme deneyi sonuçları. ...	61
Şekil 4.20	10mm KL'li TMA numunelerin schellenberger süzülme deneyi sonuçları. .	61
Şekil 4.21	15mm KL'li TMA numunelerin schellenberger süzülme deneyi sonuçları. .	61
Şekil 4.22	5 mm KL'li BSK numunelerin ultrases deneyi sonuçları.	63
Şekil 4.23	10 mm KL'li BSK numunelerin ultrases deneyi sonuçları.	63
Şekil 4.24	15mm KL'li BSK numunelerin ultrases deneyi sonuçları.	63
Şekil 4.25	5mm KL'li ilaveli TMA numunelerin ultrases deneyi sonuçları.	64
Şekil 4.26	10 mm KL'li ilaveli TMA numunelerin ultrases deneyi sonuçları.	64
Şekil 4.27	15mm KL'li ilaveli TMA numunelerin ultrases deneyi sonuçları.	64
Şekil 4.28	5 mm KL'li ilaveli BSK numunelerin marshall stabilite sonuçları.	65
Şekil 4.29	10 mm KL'li ilaveli BSK numunelerin marshall stabilite sonuçları.	65

Şekil 4.30	15 mm KL'li ilaveli BSK numunelerin marshall stabilite sonuçları.	66
Şekil 4.31	5 mm KL'li ilaveli TMA numunelerin marshall stabilite sonuçları.	66
Şekil 4.32	10 mm KL'li ilaveli TMA numunelerin marshall stabilite sonuçları.	66
Şekil 4.33	15 mm KL'li ilaveli TMA numunelerin marshall stabilite sonuçları.	67
Şekil 4.35	10 mm KL ilaveli BSK numunelerin Vh (boşluk) sonuçları.	69
Şekil 4.36	15 mm KL ilaveli BSK numunelerin Vh (boşluk) sonuçları.	69
Şekil 4.37	5 mm KL ilaveli TMA numunelerin Vh (boşluk) sonuçları.	70
Şekil 4.38	10 mm KL'li ilaveli TMA numunelerin Vh (boşluk) sonuçları.	70
Şekil 4.39	15 mm KL ilaveli TMA numunelerin Vh (boşluk) sonuçları.	70
Şekil 4.40	5 mm KL ilaveli BSK numunelerin Vf sonuçları.	71
Şekil 4.41	10 mm KL ilaveli BSK numunelerin Vf sonuçları.	72
Şekil 4.42	15 mm KL ilaveli BSK numunelerin Vf sonuçları.	72
Şekil 4.43	5 mm KL ilaveli TMA numunelerin Vf sonuçları.	72
Şekil 4.44	10 mm KL ilaveli TMA numunelerin Vf sonuçları.	73
Şekil 4.45	15 mm KL ilaveli TMA numunelerin Vf sonuçları.	73
Şekil 4.46	5 mm KL ilaveli BSK numunelerin Dp (yoğunluk) sonuçları.	74
Şekil 4.47	10 mm KL ilaveli BSK numunelerin Dp (yoğunluk) sonuçları.	74
Şekil 4.48	15 mm KL ilaveli BSK numunelerin Dp (yoğunluk) sonuçları.	75
Şekil 4.49	5 mm KL ilaveli TMA numunelerin Dp (yoğunluk) sonuçları.	75
Şekil 4.50	10 mm KL ilaveli TMA numunelerin Dp (yoğunluk) sonuçları.	75
Şekil 4.51	15 mm KL ilaveli TMA numunelerin Dp (yoğunluk) sonuçları.	76
Şekil 4.52	5 mm KL ilaveli BSK numunelerin VMA değerleri.	76
Şekil 4.53	10 mm KL ilaveli BSK numunelerin VMA değerleri.	77
Şekil 4.54	15 mm KL ilaveli BSK numunelerin VMA değerleri.	77
Şekil 4.55	5 mm KL ilaveli TMA numunelerin VMA değerleri.	77
Şekil 4.56	10 mm KL ilaveli TMA numunelerin VMA değerleri.	78
Şekil 4.57	15 mm KL ilaveli TMA numunelerin VMA değerleri.	78
Şekil 4.58	5 mm KL ilaveli BSK numunelerin akma sonuçları.	79
Şekil 4.59	10 mm KL ilaveli BSK numunelerin akma sonuçları.	79
Şekil 4.60	15 mm KL ilaveli BSK numunelerin akma sonuçları.	80
Şekil 4.61	5 mm KL ilaveli TMA numunelerin akma sonuçları.	80
Şekil 4.62	10 mm KL ilaveli TMA numunelerin akma sonuçları.	80

Şekil 4.63 15 mm KL ilaveli TMA numunelerin akma sonuçları.....	81
--	----



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Saman esaslı kompozit liflerin kaplamalarda bloklu çatlaklara etkisi	20
Çizelge 2.2 Lif tiplerinin avantajları ve dezavantajları (McDaniel, 2015)	34
Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan karbon liflerin mühendislik özellikleri	37
Çizelge 3.2 Bitümün mühendislik özellikleri	37
Çizelge 3.3 BSK ve TMA serileri için kullanılan karbon lifi özellikleri	39
Çizelge 4.1 Ultrases - beton kalitesi arasındaki ilişki (Erdoğan, 2003).	62
Çizelge 4.2 Çalışmada kullanılan iletken TMA numunesinin ton başına maliyeti	82
Çizelge 4.3 Çalışmada kullanılan iletken TMA numunesinin ton başına maliyeti	82

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 2.1 Tipik bir esnek üstyapı en kesiti (Gürer 2017)	6
Resim 2.2 Asfalt kaplamanın uygulama katmanları (Int. Kyn.3)	8
Resim 2.3 TMA'ın uygulama aşamaları (Gürer 2017)	9
Resim 2.4 Selülozik elyaf (Gürer 2017)	9
Resim 2.5 Üç noktalı eğilme deneyi (Romeo and Montepara, 2012)	18
Resim 2.6 Takviye mekanizmasının şematik görünümü (Park vd. 2015)	22
Resim 2.7 Toplam iletken katkı içeriği ve hacim direnci değişimi (Garcia vd. 2009)	26
Resim 3.1 Asfalt karışımı için yıkanıp elenen kireçtaşı ve bazalt numuneleri	36
Resim 3.2 Tez yöntemi akış şeması	38
Resim 3.3 Asfalt karışımında iletkenlik için kullanılan 5-10-15 mm. karbon lifleri	38
Resim 3.4 Marshall briketlerin kalıplar içindeki durumu	41
Resim 3.5 Marshall briketlerinin kalıplardan çıkartılmış durumu	41
Resim 3.6 Kumpas ile numunenin yüksekliğinin ve sudaki ağırlığının Belirlenmesi	42
Resim 3.7 Su banyosu ve marshall deney cihazı	44
Resim 3.8 İki elektrotlu yöntemi İle öz direnç ölçümü	46
Resim 3.9 İletken asfalt numunelerinin elektrik akım ile ısıtılması	47
Resim 3.10 Hazırlanan TMA boş behere boşaltılması ve deney sonu boş beher	48
Resim 3.11 Ultrases cihazı	49
Resim 4.1 Ultrases deneyi	62

1. GİRİŞ

Ulaşım bir nesnenin veya bir kişinin bir bölgeden farklı bir bölgeye gidiş ve gelişidir. Ulaşımın kaliteli bir şekilde gerçekleşmesi için bazı parametreler vardır. Bunlar konforlu olması, hızlı gerçekleşmesi, güvenli olmasıdır. Bu parametrelerden güvenlik bilim insanları ve mühendislerin en öncelikli hedefleri arasındadır. Kış aylarından karayollarında buzlanma ve yağış gibi iklim koşullarından kaynaklanan problemler güvenliği tehdit eden en önemli etkenlerden biridir. Ayrıca kış aylarında soğuk hava şartlarından dolayı asfalt kaplamasının kar ve buzlanmadan dolayı önemli hasarlara ve problemlere neden olduğu bilinmektedir. Asfalt kaplamalarında ki kar birikimi veya buz oluşumunun insanların ve malların taşınması üzerinde olumsuz etkileri olduğu ve hatta yaşamları ve mülkleri üzerinde tehlikeli etkilere sahip trafik kazalarına neden olduğu yaygın olarak bilinmektedir. Özellikle tünel girişleri ve çıkışları, köprüler, karayollarında eğimin yüksek olduğu bölümler (rampa-yokuş), hava alanları gibi kritik öneme sahip bölümlerde kış aylarındaki hava şartları trafiği engelleyebilir. İstatistikler, soğuk hava koşullarının yıllık % 10-% 15 trafik kazalarının en büyük sebepleri olduğunu belirtmiştir ve bu da çok büyük ekonomik kayıplara ve ölümlere neden olmuştur (Yehia vd. 2000). Bu nedenle, karın ve buzun zamanında kaldırılması ve asfalt kaplamasının trafikte güvenli bir yerde tutulması, soğuk mevsimlerde en çok endişe verici hususlardır.

Ülkemizde genel olarak kar ve buz giderme için kimyasal ve tuzlama gibi geleneksel yöntemler kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemler buzlanmayla mücadelede yetersiz kalınmakta ve kaçınılmaz problemler yaşanmaktadır. Bu yöntemler asfalt kaplamasına sistematik olarak zarar vermekte ve ömrünü azaltmaktadır. Örneğin, buz çözen kimyasalların kullanımı asfalt kaplamaları ve köprü güvertelerini korozyona uğratmakla kalmaz, aynı zamanda toprak ekolojik çevreyi de yıkıcı etkiye sahiptir (Wang vd. 2006). Sıcaklık $-3,9^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düşerse, buzlanma için en çok kullanılan tuz (sodyum klorür) erimeyecektir (Sanzo and Hecnar 2006). Dahası, kar kaldırma makineleri, yüksek bakım gerektiren büyük miktarda insan gücü ve malzeme kaynağı gerektirir. Makine titreşimi ve mekanik cihazın yanlış kullanımı da doğal servis süresi boyunca asfalt kaplamasının yüzeyinin hasar görmesine neden olacaktır (Nixon 1993).

Bahsedilen geleneksel yöntemlerin neden olduğu olumsuz etkileri önlemek, asfalt kaplamasındaki yüzeyin buzlanmasını önlemek ve karı eritmek için bilim insanları ve mühendisler araştırma içine girmiştir. Bu araştırmaların odaklandığı noktalardan birisi de iletken asfalt betonu teknolojisidir. Kış aylarında emniyetli sürüş sağlamak için geliştirilmiş aktif bir buzlanma ile mücadele yöntemidir.

Dünyada ve ülkemizdeki artan sanayileşme, ekonomik gelişmeler ve hızlı kentleşme birçok alanda kaynak ve hammadde problemini ortaya çıkarmakta ve mevcut kaynakların daha etkin kullanımıyla ilgili çalışmaların artmasına sebep olmaktadır. Kaynakların, gelecek kuşakların gereksinimlerine cevap verme kapasitesini tehlikeye atmadan kullanılması sürdürülebilirlik olarak bilinmektedir. İnsanoğlu, sürdürülebilirliği sağlayabildiği sürece dünya, insan ve diğer canlılara ev sahipliği etmeye devam edebilecektir. Yenilenemeyen enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli kullanımı ve doğaya karşı sorumlu davranılması çevresel sürdürülebilirliğin gereksinimlerini oluşturmaktadır. Sürdürülebilirliğin önemli olduğu alanlardan bir tanesi de karayolu ulaşımı ve karayolu kaplamalarında yaygın olarak kullanılan asfalt kaplamalardır.

Bugün Sıcak asfalt karışımlar 500 milyon ton üretilip yerleştirilmektedir. Yalnız ABD yerleştirilen kaplama yaklaşık 10,5 milyar dolara mal olmaktadır (Roberts 1996). Türkiye 46 milyon ton ile sıcak karışım asfalt tüketiminde Avrupa'da ilk sıradadır (Int. Kyn.1). Ülke içinde yolcu taşımacılığının % 95,2'si karayoluyla yapılmaktadır. Bu oran ABD'de % 89 AB ülkelerinde ise % 79 oranlarında seyretmektedir. Yük taşımacılığı alanında karayolu kullanım oranı ülkemizde % 76,1 civarındadır. Bu oran ABD'de % 69,5 AB ülkelerinde ise yaklaşık % 45'tir (Int. Kyn. 2). 2016 TÜİK verilerine göre trafiğe kayıtlı 20 milyonun üzerinde araç bulunmaktadır. Artan trafik hacmi ve dingil yükleri, üretim hataları, yetersiz bakım ve iklim koşulları vb. zorlayıcı etkiler karayolu kaplamalarının beklenenden daha kısa sürede bozulmasına yol açmaktadır. Tüm bunların yanında agrega, petrol gibi hammadde kaynakları da giderek azalmaktadır. Bu durum mevcut asfalt kaplamalarının özelliklerinin ve kalitesinin arttırılarak daha uzun ömürlü olmaları zorunluluğunu gündeme getirmekte ve konu ile ilgili araştırmaların yapılmasına vesile olmaktadır. Bu arayışlar sonucunda farklı tip asfalt karışımlar (Taş

mastik, ılık asfalt, superpave, modifiye asfalt vb.) geliştirilmiş aynı zamanda mevcut asfalt karışımlara çeşitli katkı maddeleri ilave edilerek asfalt kaplamaların performanslarının geliştirilmesiyle ilgili araştırmalar hız kazanmıştır.

Bilim insanları ve mühendisler asfalt kaplamaların performansını artırmak için bağlayıcı modifikasyonu, farklı dizayn yöntemleri, katkı maddesi kullanımı gibi çeşitli yöntemler uygulamaktadırlar. Son yıllarda uygulanan yöntemlerden birisi de asfalt kaplamalar içerisinde lif kullanımıdır. Farklı kökenli lif takviyeleri de asfalt modifikasyonu için genel bir yöntem olduğu kabul edilmektedir. Asfalt kaplamalarının davranışını iyileştirmek için lif kullanımı yeni bir kavram değildir. Asfalta kaplamaların lif ile takviyesi ile ilgili ilk denemeler 1950'li yıllara kadar uzanmaktadır ve asfalt kaplamalardaki lifin yararlılığı ve etkinliği konusunda çeşitli görüşler mevcuttur. Asfalt kaplamalarda farklı kökenli lifler kullanılabilmektedir. Yıllar geçtikçe gelişen sanayileşmenin ve teknolojik gelişmelerin ışığında piyasaya da polyester, cam, asbest, polipropilen, karbon, selüloz fiber birçok fiber çeşidi sürülmüştür.

Selüloz ve mineral elyaflar genellikle kesikli gradasyona sahip taş matrik asfalt (TMA) ve açık gradasyon veya gözenekli karışımlarda kullanılmaktadır. Polipropilen ve polyester lifler daha yoğun dereceli karışımlarda kullanılmış ve halen bir dereceye kadar kullanılmaktadır. Asfalt karışımlarına bazen çeşitli polimerler, çelik yün ve diğer liflerde ilave edilmektedir. Bu çeşitli liflerin yararları ve sonuçları iyi belgelenmemiştir. Farklı iklim koşullarında, farklı trafik yüklemelerinde ve farklı uygulamalarda en iyi performansı sağlamak için uygun özellikler ve malzeme özellikleri de yaygın şekilde bilinmemektedir.

Yaygın olarak bitümlü sıcak karışımlarda lif kullanımının süneklik, malzeme mukavemeti ve yorulma vb. özellikleri geliştirdiğine inanılmaktadır. Bunlara ilaveten kalıcı deformasyonları azaltıp çatlak oluşumunu ve yayılmasını da önlediği de bilinmektedir. Ayrıca bitüm bağlayıcısı ile karbon lifleri doğal uyumu olduğundan dolayı özellikle kayma ve çekme mukavemetiyle ilişkili olan mekanik sonuçların daha da iyi olacağına inanılmaktadır.

Asfalt kaplamalarında bakım ve rehabilitasyon için ek harcamaya neden olan iki önemli sıkıntı vardır. Bunlardan birincisi tekrarlanan yükler altında kalıcı deformasyon ve yorulma çatlaklarıdır. Lif takviyesi bu problemlere önemli ölçüde olumlu katkı verdiğinden dolayı kaplamaların servis ömrünü uzatmakta ve bakım maliyetlerini de azaltmaktadır. Ayrıca taş mastik asfalt gibi yüksek bitüm oranına sahip olan kaplama çeşitlerinde süzülme miktarını da önemli ölçüde azalttığı bilinmektedir. Bu da selülozik elyaf kullanımının azalması anlamına da gelmektedir. Bu durum maliyeti de önemli ölçüde aşağıya çekmektedir.

Teorik olarak, gerilimler güçlü liflere aktarılabilir, zayıf asfalt karışımı üzerindeki stresleri azaltır. Gerilmeleri etkin bir şekilde aktarmak için lif ve asfalt bağlayıcısı arasında iyi bir yapışma olmalıdır; Lif üzerinde daha büyük bir yüzey alanı bu yapışmaya yardımcı olabilir. Ek olarak, lifin, stres konsantrasyonlarından kaçınmak için karışım içinde homojen bir şekilde dağılması gerekir (Cleven 2000).

Liflerin dağılımının homojenlik derecesi elde edilen karışımlar gücünü belirler. Burada, karışım içeren fiber kontrol karışımına göre optimum bağlayıcı içeriği hafif bir artış gösterir. Bu çok ince agrega ilavesine benzer. Bitüm miktarı liflerin emme ve yüzey alanına bağlı olduğu ve bu nedenle de farklı lif yoğunlukları ile ve aynı zamanda, farklı elyaf türleri tarafından da etkilenir.

Lifli asfalt kaplamalarının yorulma ve kırılma işlemi sırasında emilen birim deformasyon miktarını artırabileceği savunulmaktadır. Literatür ve saha çalışmalarından elde edilen sonuçlar lif ilavesi çatlamaya karşı daha dayanıklı, daha esnek karışımları üretmeye yardımcı olacağını göstermektedir.

Bu tez kapsamında bitümlü sıcak karışım ve taş mastik asfalt karışımlarda % 4,72 ve % 6,5 optimum bitüm oranlarında üretilen asfalt karışım numunelerine üç farklı uzunlukta (5,10,15 mm) ve ağırlıkça % 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 oranlarında karbon lifi ilave edilerek numuneler hazırlanmış bu numuneler üzerinde elektriksel iletkenlik özellikleri, Marshall Stabilite, Akma, Ultrases dayanım vb. özellikler ölçülmüştür ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Temel Kavramlar

2.1.1 Yol Üstyapısı

Yol gövdesi, altyapı ve üstyapı olmak üzere iki kısımdan oluşur. Altyapı yarma ve dolguları içerir. Üstyapı ise trafik yüklerini taşıyan ve azaltarak altyapıya aktaran tabakalı bir yapıdır. Üstyapılar, tabakalardan kullanılan malzemelerin özelliklerine göre esnek, rijit ve yarı-rijit olmak üzere üçe ayrılırlar.

2.1.1.1 Rijit Üstyapı

Yüklerin büyük bölümünün beton plaka tarafından karşılandığı, kalan kısmının altyapıya aktarıldığı üstyapı tipidir. Üstyapı tabanının dayanımına bağlı olarak plakanın altına temel tabakası yapılabilir ya da yapılmayabilir.

2.1.1.2 Yarı-Rijit Üstyapı

Bitümlü kaplama ve bir ya da birden fazla hidrolik bağlayıcı tabakayı içeren ve yükleri geniş bir yüzeye yayarak tabana aktaran bir üstyapı tipidir

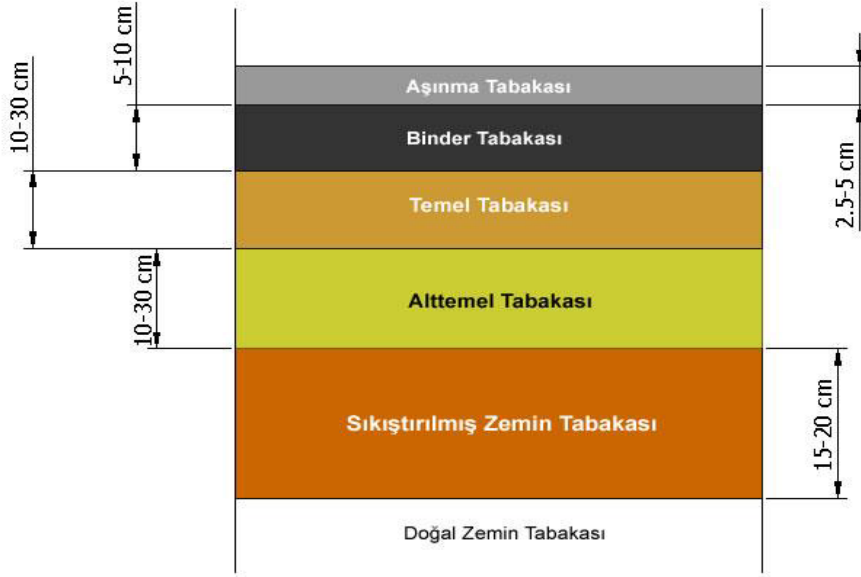
2.1.1.3 Esnek Üstyapı

Yüklerinin büyük bir kısmının üstyapıyı oluşturan bitümlü bağlayıcı ya da bağlayıcısız tabakalar tarafından taşındığı, kalan kısmın tabana aktarıldığı üstyapı tipidir. Stabilitesi, agrega kenetlenmesine, dane sürtünmesine ve kohezyona bağlıdır. Esnek üstyapı belirli özelliklere sahip malzemelerden oluşmuş bir seri tabakayı içerir. Tabaka kalınlıkları tabanın taşıma gücü ve trafik yüklerine bağlı olarak hesaplanır (Orhan 2012).

Esnek Üstyapı tabakalarını şu kısımlara ayırabiliriz;

- Kaplama tabakaları
- Temel (Çimento Bağlayıcılı Granüler Temel)
- Alttemel (Kırmataş, Kum-Çakıl)
- Seçme Malzeme Tabakası
- Stabilize Edilmiş Zemin (veya ıslah edilmiş zemin) (Tunç 2004).

Esnek üstyapıların yapımında alttemel, temelin üzerine BSK tabakaları serilir. Bu tabakaları Bitümlü temel, Binder, Aşınma olarak sıralayabiliriz. BSK veya bitümlü bağlayıcılar esnek üstyapıların en üst kısmında yer almaktadırlar. Kaplamanın üst kısmında olmaları sebebiyle gerilmelere, deformasyonlara ve çevresel etkilere daha fazla maruz kalmalarından dolayı temel ve alttemel tabakalarına göre daha etkin olmak zorundadır. Bu tabakalar çok farklı karışımlar altında farklı isimler almaktadır. Bunlar Bitümlü sıcak karışımlar, taş mastik asfalt, poroz asfalt gibi karışımlardır.



Resim 2.1 Tipik bir esnek üstyapı en kesiti (Gürer 2017).

2.2 Taş Mastik Asfalt

Avrupa'da taş mastik asfalt olarak adlandırılan (TMA), yirmi yılı aşkın süredir küresel asfalt kaplama pazarını oldukça yüksek bir hızla devralmıştır. TMA karışımı veya Almanya'daki ismiyle "Splittmastix Asphalt" 1960'lı yılların ortalarından beri

bilinmektedir. TMA, iri agregadan oluşmuş bir iskelet ile boşlukları dolduran ince agrega filler-bitüm harcının (mastik harç) karışımıdır (Orhan 2012).

TMA'nın asfalt betonu aşınmaya göre büyük üstünlüklere sahip olduğu belirtilmektedir. Bu avantajlar şöyle özetlenebilir.

- Uzun çalışma ve servis ömrü
- Yüksek iri agrega içeriği ve kenarlı agrega parçacıklarının güçlü iskeletine bağlı deformasyona karşı yüksek direnç oluşturması
- Bağlayıcı içeriği artışı için artan yorulma ömrü
- Sert ve kaba agrega tanelerinin varlığı nedeniyle artan aşınmaya direnci
- Katman yüzeyinin kaba dokusundan dolayı işletme sırasın su sıçratmaları daha azdır.
- Gürültü azaltma özelliğini olması.
- Kesikli gradasyon sahip agrega yapısından dolayı yüksek sürtünme seviyesi sağlar ve fren mesafesini kısaltır, bu sayede trafik güvenliği artar (Blazejowski 2011).

Dezavantajları da şöyle özetlenebilir.

- Yüksek bitüm oranı
- Bitümün drene olmasını önlemek amacıyla elyaf kullanılma zorunluluğu
- Karıştırma, serme ve sıkıştırma sıcaklıklarının 10-15 °C daha yüksek oluşu, karıştırma süresinin 10-15 sn. daha uzaması

Genel olarak, iyi tasarlanmış bir TMA aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

- Yüksek stabilite, tekerlek izinde deformasyona karşı direnç,
- iyi bir yüzey sürtünme özelliği,
- durabilite özelliklerinin iyileşmesi ve yaşlanmanın azalması,
- yüzeyden trafiğin etkisiyle su sıçramanın azalması,
- trafik gürültüsünün azalması,
- karışımın homojenliğinin artması (Woodside vd. 1999).

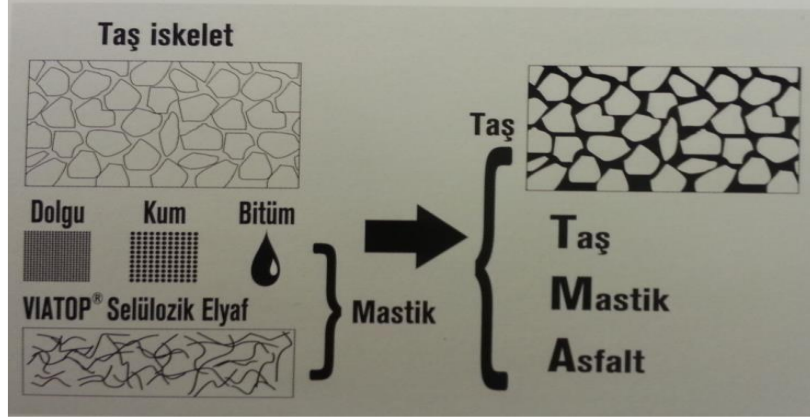
Nedeniyle maliyetin BSK ya göre yaklaşık %20 yüksek olması dezavantajı vardır. Ancak TMA nın daha uzun ömürlü olması dikkate alındığında, ilk maliyetin yüksek olmasına karşın, uzun vadede daha ekonomik olduğu öne sürülmektedir (Önal vd. 2000).

TMA karışımlar genellikle aşınma tabakalarında kullanılır. TMA karışımları önceleri yüzey kaplamaları için dizayn edilmelerine karşın Almanya ve ABD gibi ülkelerde, binder (orta) tabakalarında da (Splittmastixbinder –SMB adıyla) denenmeye başlanmıştır (Gürer 2017).



Resim 2.2 Asfalt kaplamanın uygulama katmanları (Int. Kyn.3).

TMA karışımlar % 70-80 oranında kaba agrega, % 20-30 oranında ince agrega ile minimum % 6,5 gibi yüksek bir oranda bitümle gerçekleşir. Karışımda kaba agreganın daha fazla olması sonucu oluşan boşluklar ince harç ile kapatılır. Bu ince harç mineral filler, bitüm ve bitümü tutan elyaf ile doldurulmaktadır. Bu elyaf sayesinde daha yüksek miktarda kullanılan bitüm, kaba agrega üzerinde süzülmeden tutunabilir (Gürer 2017).



Resim 2.3 TMA'nın uygulama aşamaları (Gürer 2017).



Resim 2.4 Selülozik elyaf (Gürer 2017).

2.3 Bitümlü Sıcak Karışımlar

Bitümlü karışımlar agrega ile bitümlü bağlayıcı malzemeden oluşur. Bu karışımlar serbest agrega malzemesine göre çok pahalı olduklarından yol yapımında çoğunlukla, yalnızca kaplama tabakalarının yapımında kullanılırlar. Bitümlü karışımlar pahalı olmakla beraber birçok yararlı özelliklere sahiptir:

- Yol düzgün yüzeyli olur. Taşıtların tekerlek sürtünmesi nedeniyle yaptığı gürültü önemli ölçüde azalır. Konfor artar. Tekerlekler daha az aşınır.
- Bağlayıcı malzeme agrega danelerini çok iyi şekilde birbirine bağladığı için taşıtların taş fırlatması tehlikesi ortadan kalkar.
- Oldukça geçirimsiz bir yol yüzeyi elde edilir.

Bitümlü karışımlardan 2 cm. kalınlıkta ince kaplama tabakaları yapılabildiği gibi 10 cm. kalınlıkta kaplamalar yapılması da mümkündür. Ancak 5-6 cm. den daha kalın bir kaplama yapılması söz konusu olunca bunu yapıları farklı iki ayrı tabaka halinde oluşturmak gerekir. Altaki tabaka genellikle daha az sıkıştırılır ve daha az bağlayıcıdır. Bu tabaka “binder” veya “bağlayıcı tabaka” adını alır. Üstteki tabaka ise iyi sıkıştırılmıştır ve bağlayıcısı binder tabakasına göre daha fazladır. Bu tabaka “yuvarlanma tabakası” veya “aşınma tabakası” denir.

2.3.1 Bitümlü karışımların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

2.3.1.1 Stabilite

Stabilite, taşıtlardan gelen sürekli dinamik yükler, uzun süreli statik yükler ile hızlanan veya yavaşlayan tekerlek etkileri altında oluşan basınç, çekme, kesme kuvveti (makaslanma) ve sökülmeğe karşı bitümlü kaplamanın gösterdiği dirençtir. Stabilite yetersizliği yolda çökme, ondülasyon ve akmaların oluşmasına yol açar. Üstyapı projelendirilmesi açısından bitümlü karışımların en önemli özelliği stabilitedir.

2.3.1.2 Fleksibilite (Esneklik)

Yolun alt takasındaki çökmelerden, bitümlü kaplama tabakalarına geçecek genel deformasyona bitümlü tabakaların çatlamadan karşı koyabilme yeteneğidir. Fleksibilite yetersizliği yol yüzeyinde çatlamalara yol açar. Mineral fillerin ve asfalt çimento oranı, asfalt çimentosunun kıvamı, düktilitesi ve sıcaklığa karşı duyarlılığı fleksibiliteye tesir etmektedir. Kararlı ve esnek bir bitümlü karışım elde edebilmek için yazın kıvam koruyabilen, kışın ise kırılğan hale gelmeyen ve yorulmaya karşı dayanıklı bir bağlayıcı gerekir.

2.3.1.3 Dayanıklılık

Bir bitüm (asfalt betonu) kaplamanın dayanıklılığı, trafik, su, hava ve sıcaklık değişikliklerinin etkilerine karşı gösterdiği dirençtir. Bütün bunlara ek olarak, bir

bitümlü karışım kaplamanın trafik etkileri karşısında yeterince kararlı olabilmesi için dayanıklılık koşullarının da iyi olması gerekir.

Karışımın aşınmaya karşı direnci doğal olarak agreganın aşınma özelliğine bağlıdır. Aşınma tabakalarında daha sert agrega kullanarak daha yüksek bir dayanıklılık sağlanabilir. Şişmeye karşı direnç de gene agreganın şişme karakteristiklerine bağlıdır. Dayanıklılığı etkileyen diğer bir önemli faktör nemdir. Mevcut nem halinde karışımın soyulmaya karşı direnci agreganın asfalt absorpsiyonu ile ilgilidir.

Asfaltın oksitlenmeye karşı direncinde, asfaltın yaşlanma karakteristikleri ve bitümlü karışımdaki boşluk oranı önemli rol oynar. Oksitlenme aynı zamanda kaplamanın kırılmaya karşı direncine de etkir. Çünkü oksitlenme sırasında penetrasyonun düşmesi ile kaplama daha kırılğan hal alır. Bu nedenle, kırılmaların artmasına sebep olan asfaltın oksitlenmesini en alt düzeyde tutmak için bitümlü karışımın boşluk yüzdesinin belirli sınırlar içinde kalması sağlamalıdır.

2.3.1.4 Kaymaya Karşı Direnç

Bitümlü kaplama yüzeyinin sürtünme ile vasıtaların güvenli bir şekilde durmasını ve hareket etmesini sağlaması, kaplamanın kaymaya karşı olan direncine bağlıdır. Bu özellik kaplamanın yüzey dokusu kadar beton asfalt karışımındaki asfalt çimentosu oranı ve boşluk oranı ile ilgilidir. Yumuşak agregalar fazla aşındıkları için düz bir yüzey oluştururlar. Diğer taraftan, karışımda çok fazla asfalt varsa veya yeterli boşluk yoksa trafiğin oluşturduğu sıkıştırma tesiri ile veya sıcak havalarda agregaların genleşmeleri sonunda, asfalt dışarı çıkar ve kaygan bir yol yüzeyi meydana gelir. Bu hale “kaplamanın terlemesi” denir. Bu sakıncanın ortaya çıkması için beton asfalt karışımı homojen olmalı, üretim ve kullanma sırasında segragasyona uğramamalıdır. Diğer taraftan karışımda gevrek agrega bulunmamalıdır. Çünkü gevrek malzeme tekerlek etkisiyle cilalı hale gelir. Cilalanma da kayma direnci bakımından büyük sorunlar ortaya çıkarır.

2.3.1.5 İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, malzemeyi istenilen kıvamda, istenilen üniformlukta, sıkıştırma ile kolayca yerleştirebilmektir. Bu özellik, agrega granülometrisi, asfalt çimentosu oranı, en büyük dane boyutu, danelerin şekli ve agreganın yüzey dokusu ile çok yakından ilgilidir. 10 nolu elek altındaki agreganın şekli bitümlü karışımı özellikleri üzerinde gözle görülür şekilde etkilidir. Köşeli danelere sahip veya kırmataş parçaları içeren kumlar stabiliteyi yükseltirken, yuvarlak daneli kumlar işlenebilirliği artırırlar. Bazı hallerde iyi derecelenmiş karışım ve yeterli silindirileme olduğu halde bağlayıcı azlığı sebebiyle istenilen yoğunluk elde edilememektedir. Bu durum asfalt çimentosu oranının bitümlü karışım işlenebilirliğindeki rolünü açık olarak ortaya koyar.

2.3.1.6 Geçirimsizlik

Bitümlü karışımlardan oluşmuş kaplama tabakasının alt tabakalara su geçirmeyecek derecede geçirimsiz olması gerekir (Umar ve Ağar 1985).

2.4 Bitümlü Karışımlar İçerisinde Lif Kullanımı ile İlgili Önceki Çalışmalar

Bitümlü karışımların davranışını iyileştirmek için lif kullanımının geçmiş antik çağlara kadar dayanmaktadır. Bitümlü karışımlarda saman şeklinde lif kullanımı en eski kullanımlara örnek olarak verilebilir. ABD’de asbest lifleri 1920’lerin başlarında kullanılmıştır. Bu kullanım, 1960’lı yıllarda sağlık ve çevre tehlikeleri tespit edilene kadar devam etmiştir. Pamuk lifleri 1930’larda kullanılmış ancak zamanla bozulmaya meyilli olduğu için bu uygulamadan vazgeçilmiştir. O zamandan beri çeşitli malzeme uygulamalarında ve Dünyanın farklı yerlerinde lif kullanımıyla ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Serfas and Samanos 1996, Cleven 2000, Johrami and Khodaii 2008).

Malzemeler içinde lif kullanımının belli başlı faydaları sağladığı bilinmektedir (Peltonen 1991):

- Çekme mukavemetinin ve çatlama direnci artar,
- çatlama şiddeti ve boyutu azalır,

- yorulma direnci artar,
- karışım içindeki yanal tutunma neticesinde tekerlek izi deformasyonuna karşı dayanım artar,
- aşınmaya dayanıklılığı artar,
- yüksek bitüm içeriği, dayanıklılığın artmasına neden olur.
- daha uzun servis ömrü nedeniyle potansiyel olarak daha düşük maliyet elde edilmiş olur.

Lif takviyeli modern yollar 1950'li yılların başlarında başlamıştır. Bitümlü karışımların takviyesi üzerinde bilinen en eski çalışma Zube (1956) tarafından gerçekleştirilmiştir. Zube yansıma çatlaklarını önlemek amacıyla çalışmada hasır tel çeşitlerini bitümlü karışım tabakaları içinde değerlendirmiştir. Çalışmada hasır tel takviyesinin çatlak oluşumunu engellediği ya da uzamasını geciktirdiği sonucuna varmıştır. Ancak kullanılan hasır tellerin su sızması ile korozyona meyilli olduğu fark edilmiştir. Asbest lifi kullanımının uzun vadeli dönemlerde parçalanma bozulması ve sağlık açısından tehlikeli olduğu rapor edilmiştir.

Jeng vd. (1993), lif takviyesinin çatlak direnci üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi için kırılma mekanığı yaklaşımını kullanmışlardır. Karışımları modifiye etmek için polyester ve polipropilen lifler kullanılmış, daha sonra numuneler üzerinde elastite modülü, kırılma enerjisi ve çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Modifiye numunelerde kırılma enerjisinin % 50 ila % 100 oranında arttığı görülmüştür. Bunun da tokluğu arttırdığı sonucuna varılmıştır. Fakat esneklik ve çekme mukavemeti sonuçlarında kayda değer bir değişiklik görülmediği belirtilmiştir.

Simpson ve ark. (1994), lifle modifiye edilmiş bitümlü karışımlar üzerinde bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bitümlü bağlayıcının lifle modifiyesi için polipropilen ve polyester lifler ve polimerler kullanılmıştır. Modifiye bağlayıcıya ait iki patentli karışım da değerlendirilmiştir. Kontrol numunesi olarak da modifiye edilmemiş bir karışım kullanılmıştır. Marshall yöntemi, indirekt çekme dayanımı (İÇD), nem hasar duyarlılığı, donma-çözülme duyarlılığı, esneklik modülü ve tekrarlanan yük deformasyonu deneyleri yapılmıştır. Lif takviyeli karışımların hiçbirisi donma-çözülme dayanımına karşı bir artış göstermemiştir. Lif takviyeli karışımların soyulma dayanımı

potansiyellerinde de bir gelişme görülmemiştir. İÇD deneyi sonuçlarına göre kontrol ve polipropilen lif takviyeli karışımların termal çatlaklara karşı herhangi bir problem göstermeyeceği bununla birlikte polyester ve polimer lifler içeren karışımların ise olumsuz davranış sergileyebileceği belirtilmiştir. Belirli bir sıcaklıkta gerçekleştirilen esneklik modülü deney sonuçlarına göre lif modifiyeli karışımlar daha rijit davranış sergilerlerken, yüksek sıcaklıktaki esneklik modülü deneylerinde rijitliğin tüm karışım numunelerinde kontrol numunesine göre arttığı görülmüştür. Tekrarlı yük deformasyon deneyi ile tekerlek izi deformasyon potansiyeli belirlenmiş ve polipropilen modifiyeli numuneler haricinde tüm numunelerde tekerlek izi deformasyonuna olan eğilimin azaldığı görülmüştür.

Serfass ve Samanos (1996), asbest, kaya yünü, cam yünü ve selüloz lifi ile takviyeli BSK'nın etkilerini inceleyen bir çalışmanın sonuçlarını yayınlamışlardır. Çalışma kapsamında esneklik modülü, düşük sıcaklıkta doğrudan gerilme, tekerlek izinde deformasyon direnci ve yorulmaya karşı direnç deneyleri yapılmıştır. Araştırma kapsamında, Fransa'nın Nantes kentindeki bir deneme yolunda üç farklı çalışma gerçekleştirilmiştir. Birinci deneyin sonucunda lif takviyeli BSK'nın 1,1 milyon 13 t'luk dingil yükü tekrerründen sonra modifiye olmayan ve iki farklı elastomer ile modifiye edilmiş bağlayıcıların kullanıldığı BSK'lara kıyasla yüksek oranda boşluk oranına sahip olduğu görülmüştür. Araştırmacılar, bunun daha iyi drenaja karşılık geldiğini ve bu nedenle test edilen gözenekli karışımlarda neme bağlı üstyapıda aşırı gerilmeler nedeniyle oluşan bozukluklara karşı duyarlılığın düştüğü sonucuna varmışlardır. İkinci çalışmada, yorulma bozuklukları bulgusu veren kaplamanın üzerine yapılan lif katkılı BSK üzerine 2 milyon yük uygulaması yapılmıştır. Yükleme uygulamalarının ardından kaplama yüzeyinin iyi korunmuş bir makro dokuya sahip olduğu ve herhangi bir çatlama görülmediği belirtilmiştir. Araştırmacılar, bunun lif katkılı BSK'nın bir kaplama karışımı olarak etkinliğini kanıtladığı sonucuna varmışlardır. Serfass ve Samanos tarafından bildirilen üçüncü çalışmada, Lif katkılı kaplamalar da yorulmuş kaplamalar üzerinde inşa etmiştir. 1,2 milyon dingil yükü tekrarından sonra lif modifiyeli tabakaların hiçbirisinde tekerlek izinde deformasyon ve yorulmayla ilgili bozulmaların görülmediği belirtilmiştir. Bu, ikinci çalışmanın bulguları ile bağlantılı olarak, yorulma ömrünün, lif katkılı kaplamalarda geleneksel

karışımlara göre geliştiği görülmüştür. Serfass ve Samanos (1996), üçüncü çalışmasında da, BSK'lara lif ilavesinin, performansı geliştirdiğini rapor etmiştir. Lif ilavesi aynı zamanda BSK karışımlarının sıcaklık duyarlılığının azalmasını da sağlamıştır.

Chen vd. (1997), karbon lifi ile modifiye edilmiş Portland çimentosu betonunda yapılan bir çalışmada, karışımların performansını geliştirmek için liflerin homojen dağılımının gerekli olduğunu belirtmiştir. Lif takviyeli karışımlarda liflerin düzgün ve homojen dağılımı karışımın performansını etkileyen en önemli unsurlardan birisidir. Çalışmada üç çeşit dispersiyon verici madde (toplanmayı giderici kimyasal) madde ve ortalama 5,1 mm uzunluğunda karbon lifi kullanılmıştır. Beton karışım numuneleri, farklı lif içeriklerinde eğilme mukavemeti açısından test edilmiştir. Dağıtma maddeleri içeren tüm karışımlar, kontrol karışımlarına kıyasla belirgin olarak daha yüksek eğilme mukavemeti ve sertlik ile sonuçlanmıştır.

Fitzgerald (2000) yapmış olduğu tez çalışmasında, bitümlü karışımlara karbon lifi (KL) ilavesinin etkilerini araştırmıştır. Araştırma sonucunda KL ilaveli BSK'ların mekanik özelliklerin gelişmesi açısından faydalı olduğu bunun yanında elektriksel öz direncin düşmesini sağladığını belirtmiştir. Gelişmiş mekanik özellikler sayesinde daha uzun ömürlü ve durabil kaplamaların oluşmasının sağlayabileceğini belirtmiştir. Özellikle elektriksel öz dirençteki azalma sayesinde bu tip kaplamaların buzlanma önleyici kaplamalar olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Fitzgerald BSK karışımlara karbon lifi ilavesi sırasında bazı önlemlerin gerekli olduğunu belirtmiştir. Havadan indirmeli karbonlu liflerin, potansiyel kısa devre elektrik ekipmanı tehlikesi oluşturma durumu vardır ve genelde karbon lifleri zayıf dağılma eğilimindedir ve karıştırma sırasında agrega ile uzun süreli temas halinde bozulmaya maruz kalırlar. Çalışmada önerilen karbon lifi dağıtım yöntemi, liflerin bitüm ile birlikte düşük yoğunluklu poietilen malzeme ile yaprak şeklinde matris malzemesi olarak sarılmasını içerir.

Kök (2002), yaptığı çalışmada bitümlü sıcak karışımlarda donatı kullanımının, esnek kaplamanın fiziksel özelliklerine olan etkisini araştırmıştır. Bu amaçla değişik çap ve göz açıklığına sahip çelik donatılar farklı granülometrelerle hazırlanan bitümlü sıcak karışımların içine yerleştirilerek, Marshall, basınç dayanımı ve eğilmede çekme

dayanımı deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışma deneylerde çelik donatı kullanılması yönüyle, polimerlerle kuvvetlendirilmiş BSK çalışmalarından ayrılmaktadır. Sonuçta 10 mm göz açıklığına ve 1 mm et kalınlığına sahip çelik donatının kullanıldığı BSK kaplamalarda rijitliğin % 50, eğilmede çekme dayanımının % 124 oranında arttığı ve üst yapı performansının önemli derecede iyileştiği görülmüştür.

Putman and Amirkhanian (2004) otomobil lastiği ve döşemesinin üretimi aşamalarında açığa çıkan liflerin bazı uygulamalarda kullanılabildiğini fakat çoğunlukla atık toplama alanlarında bu tip malzemelerin biriktirildiğini belirtmişlerdir. Şayet bu tip atık malzemeler herhangi bir uygulamada kullanılabilirse atık sahalarındaki yük de azalmış olacaktır. Ayrıca bu tip malzemeler atık olduğundan bu malzemelerin lif olarak kullanımı belirli bir amaca yönelik üretilen liflere kıyasla maliyeti önemli ölçüde azaltabilir. Bu çalışmanın başlıca amacı atık lastik ve döşeme liflerinin TMA karışımlar içerisinde lif olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. TMA karışımlar içerisindeki yüksek polimer modifiye bitüm içeriğinden dolayı meydana gelebilecek süzülmeyi önlemek için karışım içerisinde stabilize edici katkı olarak lifler kullanılmaktadır. TMA karışımlar içerisinde en yaygın kullanılan lifler selüloz ve mineral liflerdir. Araştırmacılar bu çalışmada atık lastik ve döşeme lifleri içeren TMA karışım numunelerinin sonuçlarını, sıcak karışım asfaltlarda yaygın olarak kullanılan selüloz ve polyester esaslı lif sonuçları ile kıyaslamışlardır. Atık lif içeren numunelerin kalıcı deformasyon ve nem hassasiyetlerinde selüloz ve polyester lif içeren numunelere göre belirgin bir fark olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Lastik, döşeme ve polyester esaslı lifler karışımın tokluğunu selüloz esaslı liflere kıyasla belirgin bir şekilde geliştirmiştir.

Shaopeng vd. (2007) lif modifiyeli BSK'larda dinamik özellikleri araştırılmışlardır. BSK için katkı maddesi olarak selüloz lif, polyester lif ve mineral lifler kullanılmış ve sırasıyla karışıma % 0,3, % 0,3 ve % 0,4 oranlarında olarak ilave etmişlerdir. Kontrol karışım ve lifli BSK larda çeşitli sıcaklık ve frekanslarda dinamik modülü (E) ve faz açısını (δ) incelemek için Superpave performans test cihazı (SPT) kullanılarak dinamik modül deneyini yapmışlardır. Deney sonuçları, tüm lifli modifiye BSK ların kontrol karışımına kıyasla daha yüksek dinamik modülüne sahip olduğunu göstermektedir. BSK ların yorulma parametresi $E \times \sin\delta$ ve tekerlek izinde deformasyon parametresi $E / \sin\delta$,

yorulma ve sürtünme direnci özelliklerini incelemek için benimsemişler ve deneysel çalışmaların sonucunda, bu tür özelliklerin lifli katkı maddeleri ile iyileştirilebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Tapkın vd. (2009) polipropilen (PP) liflerle modifiye edilmiş BSK karışımların snme deney sonuçlarının yapay sinir ağları (ANN) ile tahmin edilmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Polipropilen lifler bitümlü bağlayıcıların modifiye edilerek BSK karışımlarda fiziksel ve mekanik özelliklerin geliştirilmesi amacıyla kullanılırlar. M-03 tipi polipropilen lif kullanılarak optimum bitüm oranında üretilen Marshall numuneleri reolojik snme davranışlarını belirlemek için tekrarlı snme deneyine tabi tutulmuştur. Önceden şartlandırılan sıcaklıklarda numunelere farklı yük değerleri ve yükleme parametreleri uygulanmıştır. Polpropilen lif ilavesi Marshall stabilitesini geliştirmiş, akma değerini düşürmüş, tekrarlı snme deneyi altında numunelerin servis ömürlerinin arttığı grlmştir. Önerilen ANN modelinden, standart Marshall numunelerinin polipropilen tipi, numune yüksekliği, mineral agregalar arasındaki boşluk, bitümle dolu boşluk, hava boşluğu ve deney periyodu sonundaki snme özellikleri gibi fiziksel özelliklerini kullanarak mekanik deney sonucundaki birikmiş şekil değiştirme özelliklerinin önceden tahmin edilmesinde yararlanılabilir. Tüm bunlara ilaveten parametrik analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda önerilen modelin bu alanda çalışan araştırmacılar için oldukça doğru ve hızlı bir çözüm üreten model olduğu kanaatine varılmıştır.

Chen vd. (2009) yaptığı çalışmada lif takviyeli BSK'ların hacimsel ve mekanik özellikleri ile dizayn yöntemlerini incelenmiştir. Çalışmada polyester, poliakrilonitril, lignin (odun özü) ve asbest lifi olmak üzere dört farklı türde lif kullanılmıştır. Numuneler zerinde Marshall deneyi, nem duyarlılığını ve dinamik stabiliteyi incelemek için de performans deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar, optimum bitüm içeriğinin, hava boşluğunun, mineral agregası boşluğunun ve Marshall stabilitesinin arttığını, buna karşın BSK karışımlara lif ilavesinden sonra sonra kütle zgl ağırlılığının azaldığını göstermektedir. Optimum bitüm içeriği, Marshall kararlılığı ve dinamik stabilitenin başlangıçta arttığı ve daha sonra lif içeriği arttıķa azaldığı belirtilmiştir.

Elde edilen sonuçlar esas alınarak kullanılan polyester elyaf için, ağırlıkça % 0,35 oranında bir lif içeriği önerilmiştir.

Romeo ve Montepara (2012) yaptıkları çalışmada iki katmanlı takviyeli BSK numunelerinde yapılan bükülme kırılması testlerinde performans değerlendirmesi ve ebat etkisi değerlendirilmesi üzerinde durmuşlardır. Bir çelik ağ ve üç fiber cam ızgaralar araştırılmıştır. Üç Noktalı Bükme testi, 60 mm uzunlukta numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Test, takviyeli ve takviyesiz iki numunede iki farklı şekilli numune (400x100 mm kiriş ve 500x500 mm plaka) üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deformasyon lokalizasyonu ve hasar dağılımı, Dijital Görüntü Korelasyonu kullanılarak dört farklı ara katman araştırılmıştır. Üç cam lif ızgarası ve bir çift bükümlü çelik ağdan oluşmaktadır. Sunulan sonuçlar, bozulma direnci ve gerilme dağılımı açısından güçlendiricilerin faydalarını vurgulamışlardır. Takviye işleminin birincil yararı, yüzey katmanındaki gerilme streslerini, yüzey gerilmesinin ve kesilme geriliminin yüzey tabakasının tabanından katmanın altına kaydırarak yüzeydeki kırılma potansiyelini azalttığını vurgulamışlardır.



Kiriş Örneği



Döşeme Örneği

Resim 2.5 Üç noktalı eğilme deneyi (Romeo and Montepara, 2012).

Serin vd. (2012), çelik liflerin BSK karışımlarda kullanılabilirliği üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında trafik etkilerine doğrudan maruz kalan kaplamanın en üst tabakasında meydana gelen gerilmeleri azaltmak için çelik lif kullanımının etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda numuneler hazırlanarak Marshall Stabilitate deneylerine tabi tutulmuş ve kullanılacak agregalar için optimum bitüm değerleri belirlenmiştir.

Sonuçlara göre her bir farklı lif oranındaki (% 0,25, 0,50, 0,75, 1,00, 1,50, 2,00, 2,50) üç numune için % 5,5 bitüm oranı esas alınmış ve en iyi sonuç % 0,75 lif oranındaki numunelerde elde edilmiştir. Sonuç olarak esnek üstyapıların binder tabakasında çelik lif ilavesinin stabilite üzerinde pozitif etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Abtahi vd. (2013), BSK karışımların performansını geliştirmek için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çeşitli modifiye malzemeleri arasında, geliştirici etkilerinden dolayı lif malzemeler daha çok ilgi çekmektedir. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada cam ve polipropilen liflerin BSK içerisinde hibrid güçlendirici etkisi üzerine odaklanmışlardır. Bireysel olarak cam lifi ve PP lifi ile modifiye edilmiş BSK karışımlar diğer liflerle güçlendirilmiş numunelere göre üstün performans sergilemişlerdir. Bundan dolayı yapılan çalışmada, performansın geliştirilmesi için bu iki farklı tip lif bir arada kullanılmıştır. Bu tür hibritli BSK karışımı çerçevesinde, PP lifinin yapışkan özelliği ve cam lifin yüksek erime noktası avantajından yararlanılarak tasarlanmışlardır. Bu şekilde, 12 mm uzunluğa sahip PP lifleri farklı oranlarda bitüm ile karıştırmışlardır. Agregalara 12 mm uzunluğunda cam lifler de ilave edilmiştir. Hibrit takviyeli BSK numunelerine Marshall ve özgül ağırlık deneyleri, Superpave yoğurmalı kompaktörlerden yararlanılarak yapılmıştır. Bitüm numunelerine penetrasyon, yumuşama noktası ve düktilite deneyleri uygulanmıştır. Sonuçlar, modifiye edilmemiş bitüm numunesine kıyasla PP liflerin modifiye bitümün penetrasyonunu ve sünekliğini azalttığını, yumuşama noktası değerini arttırdığını ortaya koymuştur. Marshall deneyi sonuçları, PP'nin istatistiksel olarak özellikleri etkileyebileceğini ve karışımın tutarlılığını geliştirdiğini göstermektedir. % 0,1 cam elyafı ve % 6 PP'den oluşan bir karışımın kullanılması, artan stabilite ve azalan akma ile en iyi hibrid lif takviyesi olduğunu belirtmişlerdir. Dolayısıyla, hibrit lif takviyeli BSK'nın toplam boşluk karışımı ve stabilitede ki büyüme nedeniyle sıcak bölgelerde uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Qiang vd. (2013) saman esaslı kompozit liflerin BSK karışımlarda kullanımını araştırmışlardır. Saman esaslı kompozit lifler genellikle zirai atıklardan oluşmakta ve bentonit ile modifiye edildikten sonra kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında farklı tip liflerin mikro yapı özellikleri incelenerek karşılaştırılmıştır. Isı direnci, yağ

absorpsiyonu, ara yüz güçlendirici etkisi, kesme dayanımı performansı ve çatlak oluşum direnci gibi fiziksel ve mekanik özellikleri kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Sonuçlar bu tip liflerin ısı direnci, yağ absorpsiyonu ve kesme dayanımı performansının ligno selüloz liflerden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Tüm bunlara ilaveten ara yüzey güçlendirme etkilerinin de diğer liflere göre daha iyi olduğu ve çatlak oluşumunu önlediği belirlenmiştir.

Çizelge 2.1 Saman esaslı kompozit lifli kaplamalarda blok etkisinin, artan uzunluk / çap oranı ile verimliliğinin azaldığını göstermektedir. Bu nedenle, bu lifler temel çatlak genişlemesinin önlenmesinde etkili olmuştur.

Çizelge 2.1 Saman esaslı kompozit liflerin kaplamalarda bloklu çatlaklara etkisi

Lif Oranı (Uzunluk/Çap)	10	15	20	30
Blok Etkisi %	41.2	36.7	33.0	27.0

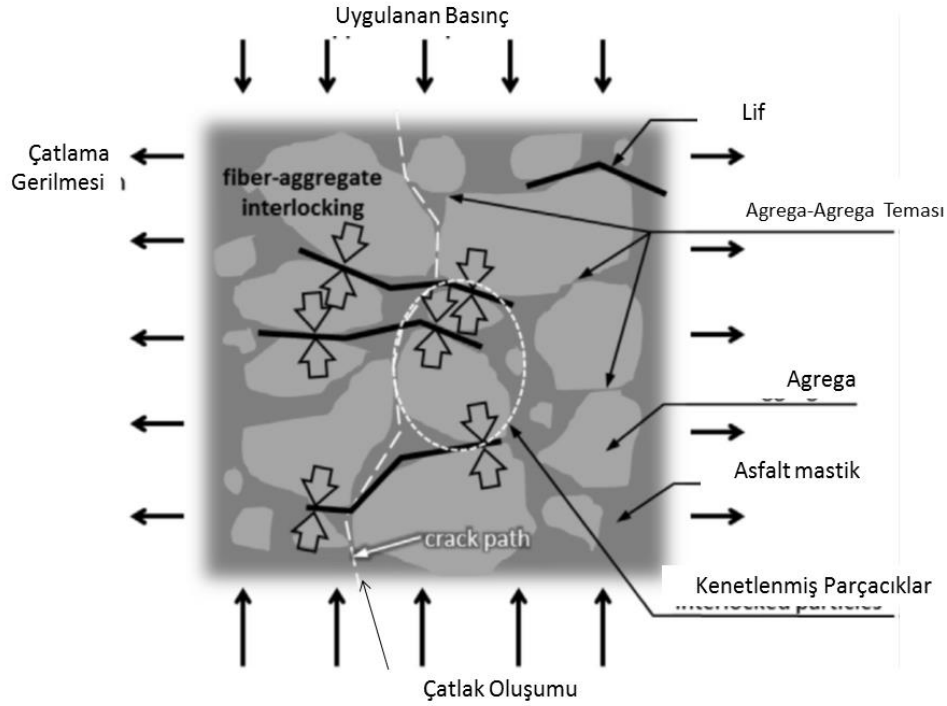
Morova (2013) çalışmasında, BSK kaplamalarda yüzey tabakasında oluşan gerilmeleri taşıyacak bazalt liflerinin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu bağlamda, numuneler Marshall dizaynı ile üretilmiş ve kullanılacak agrega numuneleri için optimum bitüm içeriği değeri belirlenmiştir. Optimum bitüm içeriği için belirlenen değer (% 5) temel alınmış, bir dizi farklı lif oranının her biri için üç numune hazırlanmıştır. En iyi stabilite değerini veren lif oranı için optimum değer belirlenmiştir. En iyi lif oranının (% 0,5) diğer bitüm içeriği için daha iyi bir stabilite değeriyle sonuçlanıp sonuçlanmayacağını belirlemek için, farklı bitüm miktarlarıyla ve en iyi beş farklı lif oranı değeri optimum değere yakın olan ekstra numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler Marshall Stabilite deneyine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak, BSK karışıma bazalt lif eklenmesinin stabilite için olumlu bir etkisi olduğu gözlenmiştir. Ancak, bazalt liften kaynaklanan, araç lastikleri için hasar verebilecek olumsuz etkileri önlemek için sadece binder tabakasında kullanılmalarının uygun olacağını belirtmişlerdir.

Gopalakrishnan vd.(2015) yaptıkları çalışmada karbon esaslı iletken malzemelerin (karbon tozu ve lifleri) tip ve oranlarının, iletken harçların özellikleri, ısınma performansı kendi kendine ısınabilen ECON karışımları dizaynı ve hava alanlarının buzlanma önleyici kaplamaları için istenen elektriksel ve mekanik özellikleri sağlayıp

sağlamadığı araştırılmışlardır. ECON karışımlarının optimize edilmesindeki çeşitli zorlukları tanımlamak için geçmişte araştırılan çeşitli iletken malzemeler ve bunların optimum konsantrasyon seviyeleri ilgili bir literatür incelemesi yapılmıştır. Bunun neticesinde ECON karışım dizaynı ve maliyet etkin bir ECON sistemi oluşturulması amaçlanmıştır. Deneysel incelemelerde, harç numuneleri farklı konsantrasyon seviyelerinde iletken malzemelerle modifiye edilmişler ve şahit numunelerde (iletken malzeme içermeyen) elektriksel ve mekanik özellikleri açısından kıyaslanmıştır. 6 mm. Uzunluktaki karbon lifine sahip numunelerin karbon tozlu numunelere göre elektriksel iletkenlik özelliklerini, herhangi bir dayanım ve işlenebilirlik kaybı olmaksızın, daha çok geliştirdiği gözlenmiştir. Karbon esaslı iletken tozlar arasında kaba grafit tozu kabul edilebilir elektriksel iletkenlik gelişimi sağlar ve çok az dayanım ve işlenebilirlik kaybı olur. İletken harçların ısınma özellikleri iletken malzemelerle üretilen ECON karışımları için havaalanlarında buzlanma önleyici uygulamalarda ısınma performansı gelişimi sağladığını göstermiştir.

Park vd. (2015), çelik lifle güçlendirilmiş BSK'ların -20 °C'de çatlak oluşumu etkisini incelemiştir. Çelik liflerin BSK numunelerdeki güçlendirici etkisi -20 °C'de gerçekleştirilen indirekt çekme deneyleri ile araştırılmıştır. Elde edilen bulgular, lif kullanılmayan kontrol numuneleri sonuçları ile aynı zamanda karbon ve polivinil alkol lifleri kullanılan numune sonuçları ile kıyaslanmıştır. Deneylerden numunelerin çatlak direnci, indirekt çekme dayanımı, kırılma enerjisi ve çatlama sonrası enerji değerleri elde edilmiştir. Liflerin güçlendirme etkisinin esaslarını anlamak ve uygun lif türünü seçebilmek için lif çapı, uzunluğu, deforme olmuş şekil ve lif içeriği etkileri araştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre BSK numunelerin düşük sıcaklık çatlama dirençlerinin uygun tip ve miktarda çelik lif ilavesiyle önemli ölçüde gelişebileceği fakat mekanik özelliklerdeki gelişmenin lif boyu ve çapından etkilendiği belirlenmiştir. Lifle güçlendirilmiş BSK'ların indirekt çekme dayanımları ve toklukları 0,2-0,4 mm çap aralığında, lif boyunun artışıyla birlikte artmıştır. Liflerin mekanik deformasyonları, kanca veya bükülme şekli vb. çatlama sonrası enerji emiliminde daha da gelişmeler sağlayabilir. Güçlendirilmemiş numunelere göre, lifle güçlendirilmiş numunelerde indirekt çekme dayanımlarında % 62,5 artış, kırılma enerjisi ve tokluklarında ise % 370 ve % 895 gelişme görülmüştür. Araştırmacılar deneysel gözlemleri esas alarak, lif

takviyesi mekanizmasını açıklayabilmek için bir hipotez önermişlerdir. BSK karışımların iskelet yapısı arasındaki liflerin birbirine kenetlenmesinin liflerin direncini arttırdığı hipotezini ileri sürmüşlerdir (Resim 2.6). Böyle bir mekanizma ITS iyileşmesinde rol oynamakla birlikte, kritik lif çapının ötesinde bu etkinin azalabileceği sonucuna ulaşılmıştır.



Resim 2.6 Takviye mekanizmasının şematik görünümü (Park vd. 2015).

Reddigar vd. (2016) yapmış oldukları çalışmada kaplamalarda görülen sürekli bozulmalardan dolayı bakım maliyetlerinin kaplama maliyeti içinde önemli bir faktör olduğuna değinmişlerdir. Yaptıkları çalışmada cam liflerinin bitümlü karışımlarda istenen özelliklere ulaşabilmesi açısından etkisini değerlendirmişlerdir. Bitüme eklenen cam lifleri ile penetrasyon, duktilite ve stabilite değerlerindeki gelişimi belirlemişlerdir. % 1, 3 ve 5 oranlarında eklenen cam lifi ile penetrasyon % 40'dan 55 değerine gelişmiş ve bunun sonucunda dayanımda artış görülmüştür. Penetrasyon değeri en yüksek % 5 cam lifi ilavesinde 35,33 mm olarak, % 1 cam lifi ilavesinde 45,66 mm olarak elde edilmiştir. Duktilite değeri ise % 30'dan % 65'e gelişmiştir. Duktilite değeri en yüksek % 3 lif ilaveli numunelerde 113 mm olarak, en düşük % 1 laveli numunelerde 96 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak % 3 cam lifi ilaveli karışımların yüksek trafik yükündeki performansının daha iyi olacağı ve servis ömrünün uzayacağı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Demirkaya (2016) yaptığı çalışmada karbon fiber katkılı asfalt karışımların davranışını araştırmak için belli oranlarda kırılmış karbon fiber kullanılarak asfalt betonu karışımlar üretilmiş ve test edilmiştir. Bu çalışmada, karbon fiber katkılı asfalt betonu karışımının mekanik özelliklerinin ve stabilitesinin artırılması amaçlanmıştır. Asfalt betonu karışımlara 3 farklı uzunlukta (3, 6 ve 12 mm) kırılmış karbon fiberler farklı oranlarda karıştırılarak en iyi mekanik özellik gösteren uzunluk ve oran elde edilmiştir. Yaptığı marshall stabilite deneyi sonucunda en iyi mekanik değeri % 0,5 oranındaki 12mm uzunluğundaki karbon fiberli asfalt karışımın verdiği tespit edilmiştir.

Silva (2017) yaptığı çalışmada akrilik liflerin bitümlü karışımlardaki temel avantajlarını değerlendirme üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Laboratuvarında elde edilen sonuçları yol kaplamalarında kullanılan karışımlarla karşılaştırmıştır. Genellikle lifler yol kaplamalarında kullanılan bitümlü karışımların mekanik özelliklerini geliştirmek için kullanılır. Bununla beraber lifler bitümlü karışımları modifiye etmek için, kalıcı deformasyona dirençlerini kaybetmeden karışımların bağlayıcı içeriğinin artmasına izin veren katkı maddesi olarak da kullanılmaktadır. Lifler özellikle yüksek oranlarda mastik harcı içeren taş mastik asfalt (TMA) gibi karışımlar için oldukça önemli bir katkı maddesidir. Lifle modifiye edilmiş bitümlü karışımlar çatlamış yol kaplamalarının üzerine uygulanacak ince kaplamalar için mükemmel bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Bu tip karışımların mastik harcındaki yüksek miktardaki bitüm, yorulma ve yansıma çatlaklarının başlama ve yayılmasına karşı önemli bir direnç sağlar, içerisindeki liflerin sağladığı stabilite ile yol kaplamalarının üst kısımları için üstün performansa sahip malzemelerin üretilmesini sağlar. Çalışma kapsamında ayrıca FEM (Sonlu elemanlar yöntemi) ile bir modelleme yapılarak, çatlamış bir kaplama üzerine yapılacak lifli ve yoğun karışimli kaplama kalınlığını hesaplamışlardır. Marshall dizayn yöntemi ile ilgili olarak AC 0/14 karışımın APORBET (Portekiz Karayolu Şartnameleri) şartnamelerine uygun olduğu (Optimum bağlayıcı içeriği % 5,5) ve TMA 0/12 lifli karışımların Marshall özelliklerinin yüksek bağlayıcı içeriğinden dolayı hafifçe daha aşağıda olduğu belirlenmiştir. TMA karışımların bağlayıcı oranı % 6-7 arasında olduğunda Portekiz şartnamelerine uygundur. En iyi TMA karışımı % 0,3 lif oranında ve optimum bağlayıcı içeriği % 6,8 oranında elde edilmiştir. Diğer TMA

numunelerinde Marshall deneyleri sırasında gözeneklilik veya aşırı şekil bozukluğu problemleri görüldüğü belirtilmiştir. TMA karışımların rijitlik modülleri, BSK karışımlardan % 8 daha düşüktür, TMA karışımların faz açısı BSK karışımlardan yalnızca % 6 daha fazla elde edilmiştir. Bağlayıcı içerikleri göz önüne alındığında TMA 0/12 karışımların rijitlik modülleri oldukça yüksek elde edilmiştir. Bunun en önemli nedeni ise karışımdaki lifin güçlendirici etkisi olarak görülmektedir. % 0,3 lif içerikli TMA 0/12 karışımının geleneksel BSK 0/14 karışımına göre yorulma çatlağı direnci 3,7 kat daha yüksek elde edilmiştir. TMA karışımlara ilave edilen yüksek lif içeriği sayesinde stabilite kaybedilmeksizin daha yüksek bağlayıcı kullanımının sağlanması yorulma çatlağına karşı direncin gelişmesini sağlamıştır. Dolayısı ile TMA karışımlarda lifle yapılan bu iyileşme sayesinde yol bakımında AC 0/14 karışımlara göre kaplama kalınlıklarında % 70 azalma sağladığı rapor edilmiştir.

2.5 Elektriksel Özellikler ve Yapılmış Çalışmalar

Çimento beton endüstrisinde lif ile takviye edilmiş çimento esaslı kompozitler Yüksek performanslı olarak nitelendirilir ve betonda meydana gelen hasarların incelenmesi neticesinde gerilmelere karşı yüksek direnç sergiler. FRCC tekniğinin temel teorisine göre çok çeşitli lifler asfalt betonunu güçlendirmek için araştırılmıştır. Karbon ve çelik esaslı lifler iletken asfalt betonlarını hazırlanmasında yaygın olarak kullanılan lif türleridir (Pan vd. 2014).

Geleneksel asfalt karışım malzemesi kaba agrega, ince agrega, asfalt bağlayıcısı ve mineral filler maddesini içermektedir. Bu bileşenlerin yüksek elektriksel özdirençlerinden dolayı, geleneksel asfalt karışımı, 10^8 ile 10^{12} $\Omega.m$ arasında bir özdirenç değeri olan bir elektriksel yalıtkan bir malzemedir. Bu tür yalıtkan malzemelerin içerisine 10 $\Omega.m$ altında özdirence sahip iletken malzemeler ilave edilerek iletken hale dönüştürülebilir (Pan vd. 2014).

Parçacık boyutlarına göre, iletken malzemeler için üç kategori vardır:

1. Grafit, karbon siyahı ve alüminyum parçaları içeren toz malzemeler (Huang vd. 2009),

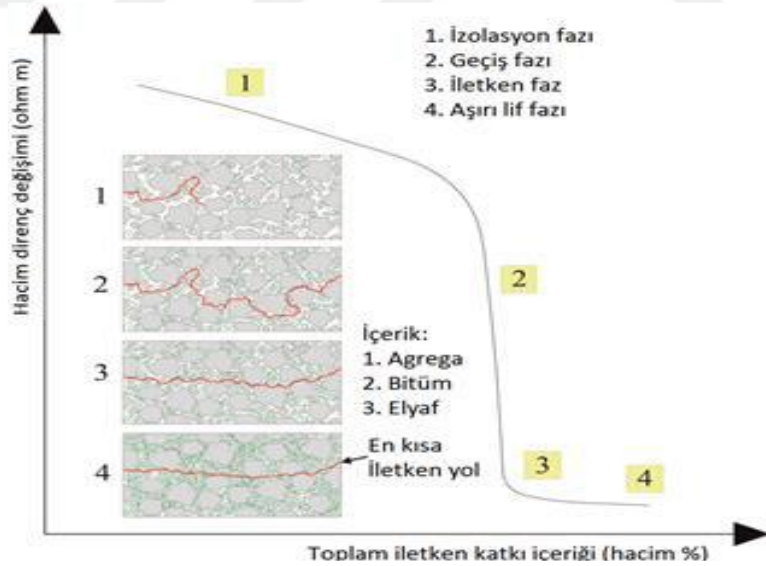
2. Karbon lifi, çelik yün, karbon nano lif ve çelik lifleri (Wu vd. 2005),
3. Kaba ve ince agrega (kısmen veya tamamen) yerine cüruf gibi katı parçacıklar (Ahmedzade and Sengoz, 2009).

Wu vd. (2005) yaptığı çalışmada asfalt betonun öz direncinin % 8 (hacimce) karbon lifi eklenmesiyle 100 Ω .m 'nin altına düştüğünü göstermişlerdir. İletken asfalt karışımı üretmek için öz direncin 100 Ω .m altına düşmesi gerekmektedir. İletken asfalt karışımı, 100 Ω .m bir direnç ile üretmek için, Huang vd. (2006), 8 μ m çapında ve 6 mm uzunluğunda çelik liflerin % 2,3'ünü hacimce bitümlü bağlayıcıya eklemişlerdir. Garcia' vd. (2009) 635 ila 889 μ m arasında değişen bir çapa sahip çelik yünün % 6'sını (hacimce) bitümlü bağlayıcıya eklemişlerdir. Bu araştırmalar, daha küçük çaplı çelik liflerin asfalt karışımının iletkenliğini arttırmada daha etkili olduğunu ve karbon lifi (az miktarda) ve karbona dayalı tozların (büyük miktar) kombinasyonun, daha düşük öz dirençli İAB üretmek için maliyet etkin bir yöntem olduğunu göstermiştir. İletken malzemelerin şekli karakteri nedeniyle asfalt beton iletkenliğinin geliştirilmiş mekanizması şu şekilde tanımlanmıştır: Tozlar, zincirler halinde kısa menzilli temas sağlar ve lifler ise uzun menzilli bir köprüleme etkisi ve kısa devre etkisi sergilerler. (Wu vd. 2002). Wu vd.(2005) 'ne göre yüksek en-boy oranına sahip olduğu için, lif toz kümelerini birleştirerek iletken yolların uzunluğunu azaltır ve sonuç olarak daha düşük bir iletken toz içeriğinin malzemeyi iletken hale getirmek için yeterli olacağını belirtmişlerdir.

Garcia vd. (2009) iletken asfaltın hazırlanması için üç tip iletken bileşenden bahsetmiştir. Bunlar tekli bileşen sistemi (iletken toz veya lif), karışık bileşen sistemi (iletken lif ve tozun her ikisi bir arada) ve çoklu bileşen sistemi (karışık iletken bileşen maddeleri ve iletken agrega). Basit bileşen sisteminde, BSK içinde dağılmış çok sayıda bağlantısız kısa iletken köprü kümeleri bulunmaktadır. Farklı bir deyişle, iletken dolgu maddelerin sadece küçük bir kısmı etkin iletken köprüler oluşturmuştur ve bunların çoğu asfalt karışımının etrafına dağıldığı belirtilmiştir.

Garcia vd. (2009) İletken lifleri, elektronlar için kısa yollar olarak düşünmüşlerdir. Başlangıçta, karışıma az sayıda lif eklendiğinde, iyi dağıldığı düşünülürse,

birbirlerinden tamamen izole olurlar. Eğer o zaman numunenin elektrik özdirenci ölçülürse, BSK içerisindeki mastik harcına göre biraz daha düşük olduğu tespit edilir. Bunun nedeni, elektronların bitümün içerisinde yüksek elektriksel dirençle karşılaşmasıdır, fakat birdenbire yollarını kolaylaştıran elektriksel iletken bir life rastladıklarında iletimlerinin kolaylaştığı düşünülmektedir. Şayet karışıma daha fazla lif eklenirse, elektronların iletken yollarının sayısı artar ve özdirenç azalmaya başlar. Sonunda, numunenin her iki ucunu da bağlayacak kadar çok lif olduğundan ve elektronların artık bitümün üzerinde çalışmasına gerek kalmayacaktır. Bu ilk iletken yol çok dolambaçlı bir yol olacaktır. Kısa bir lif miktarı, bu iletken yol boyunca köprülerin eğilmesi, düzleştirilmesi ve iletkenliği çok artırmak için daha fazla çalışacaktır. Mantık olarak karışımın içerisinde iletken yollar en kısa boya ulaştığında karışıma daha fazla iletken lif ilave edilmesi karışımın özdirencini düşürmeyecektir (Resim 2.7). Bu düşüncelerin ardından, karışımın özdirencini düşürme konusunda liflerin filler maddesinden daha etkili olduğu mantığıdır: Lifler daha uzun iletken yollar oluşturlarken, aynı hacimdeki iletken filler maddesi karışımın içerisinde her yere dağılır (Garcia vd. 2009).



Resim 2.7 Toplam iletken katkı içeriği ve hacim direnci değişimi grafiği (Garcia vd. 2009).

Asfalt betonu numunesi boyunca yeterli bir uzunlukta iletken bir yola sahipse, yalıtkandan bir iletkene dönüştürülebilir. Bu durumda böyle bir iletken yol etkili

nitelikte olmak zorundadır. Bu nitelik eşik etkisiyle yani performans iletimini göstermenin basit bir yöntemi olan Perkolasyon teorisi ile açıklanmıştır. Perkolasyon teorisinde elektrik öz dirençteki büyüklüğün, liflerin yeterli hacminde olması durumunda lif içeriğinin artması ile şiddetle azaldığını gözlemlemek mümkündür. Bu verilere dayanarak, iletken katkı içeriği değişimleri altındaki dirençteki değişiklikler dört aşamaya bölünebilir.

1.Yalıtım evresi, liflerin ayrıldığı yerde, test örneğinin her iki aşaması arasında iletken bir yol bulunmadığı; Burada sistemin öz direnç asfalt betonu ile aynı olacaktır.

2.Geçiş evresi, burada ilk perkolasyon yolları oluşur ve öz direnç çok hızlı düşer. Bu aşamada, numuneler iletkenler ve lifler temas halindedir; Bu faz elektrik direncinde minimumda biter.

3.İletken evre, burada lif karışımındaki maksimum dağılma seviyesine ulaşır; Bu her kum-bitüm oranı için lifin optimum içeriği olarak düşünülebilir.

4.Son olarak, Aşırı Lif evresinde lif miktarı arttıkça iletken yolların uzunluğu daha fazla azalmaz. Bununla birlikte lif miktarı arttıkça kompozit malzemenin öz direncinde çok hafif bir azalma görülebileceği belirtilmiştir. En kısa iletken yola ulaşıldığında, iletken parçacıkların hacminde ki artış iletkenlikte bir artış oluşturmaz. Aslında, bu evre, karıştırma işlemi sırasında kolaylıkla ayırt edilebilir, çünkü lif hacmi çok yüksektir, böylece karıştırmak imkânsızdır ve lif topaklanmaları ortaya çıkmaya başlar (Garcia vd. 2009).

Garcia vd.(2009) yaptığı çalışmada iletken olarak kullanılan lifin belirli bir hacmi için artan kum-bitüm oranı ile iletkenliğin azalacağını belirtmiştir. Bunun nedeni, karışım içindeki lif hacminin üzerinde bitüm hacmi veya çimento macunu ile ters orantılı olmasıdır. Buna ek olarak, lif hacmini düşürüldüğüne optimum kum-bitüm oranı büyür ve direnç aşağıya düşer, iletken olmayan bir malzemeye dönüşür. Bu olay liflerin yalnızca büyük agrega çevresindeki boş alanlarda bulunması nedeniyle olur. Bu alanlar çok büyük ve liflerin hacmi yetmiyorsa, basitçe süzülmez; Aynı, yalıtım evresi

esnasındaki gibi kum-bitüm oranını sabitleyerek lif hacmini değiştirerek de gerçekleşir. Bu lifler temas etmeye başladığında, geçiş Aşamasına benzer bir olay olur ve direnç minimuma ulaştığında İletkenlik evresi olarak düşünülebilir. Kum-bitüm oranını optimumu aştığında, karışımın çalışılması zorlaşır ve liflerin dağılımı homojen olmaz. Liflerin düzgün dağılımı için yeterli bitüm yoktur, lif topaklanmaları ortaya çıkar ve özdirenç katlanarak büyür. Ayrıca, bu fazda liflerin ilavesi iletkenliği arttırmaz.

Liu vd. (2010) yaptıkları çalışmada indüksiyon ısınması için kullanılan elektriksel iletken katkı maddelerini (çelik lifler ve çelik yün) poroz asfalt betonuna ilave edilerek numune hazırlamışlardır. Çalışmanın temel amacı poroz asfalt betonun elektrik iletkenliğini ve dolaylı gerilme mukavemetini incelemek ve indüksiyon ısıtması ile ısıtılabilirliğini kanıtlamaktır. Gözenekli asfalt betonu elektriksel olarak iletken hale getirmek için, küçük çaplı uzun çelik yün, daha büyük çaplı kısa çelik lifler kullanılmıştır. Kısa uzunlukta ve büyük çaplı çelik lifler daha iyi güçlendirme kapasitesine sahiptir. Çelik yün ilaveli gözenekli iletken asfalt betonunun indüksiyon ısıtması ile kolaylıkla ısıtıldığı da kanıtlamıştır. En iyi iletkenlik, iyi bir indüksiyon ısıtma hızı ve kabul edilebilir bir dolaylı gerilme mukavemeti elde etmek için, poroz asfalt betonda çelik yünün optimum miktarı % 10 (Bitümün hacimce) olarak önerilmiştir. Asfalt betonunun kendi kendine iyileştirme kapasitesinin, indüksiyon ısıtması sırasındaki sıcaklığın artmasıyla gelişeceği düşünülmüştür.

Garcia vd. (2009) yaptıkları çalışmada, asfalt harçların iletkenliğini, iletken katkı maddeleri ve lif ilavesi ile incelemişlerdir. Lif içeriği, kum-bitüm oranı, iletken katkı maddeleri ve lif kombinasyonunun asfalt harç özdirencine etkisi araştırılmıştır. Grafit ve çelik yünü kullanılmış ve bu tip karışımların indüksiyon enerjisi ile ısıtılabilirliğini kanıtlamışlardır. Perkolasyon eşiğine ulaşmanın, karışıma filler maddeleri ilave etmekten çok, elektriksel iletken özelliği olan liflerin ilavesi ile sağlandığını belirlenmişlerdir. Buna ilaveten perkolasyon eşiğinin, kum-bitüm oranı ve lif içeriği hacminde etkili olduğunu belirtmişlerdir. Her bir kum-bitüm oranı için optimum bir lif oranı mevcuttur, bunun üstündeki oranlarda karışımı oluşturmak zordur ve elektrik özdirencin eksponansiyel olarak artacağını belirtmiştir. Bilgisayarlı tomografi kullanarak karışımın içindeki lifler görselleştirilmiştir. Son olarak, araştırmanın

geçerliliği için üç farklı numune indüksiyonla ısıtılmış ve sıcaklık farklılıkları ölçülmüştür. Sonuç olarak düşük özdirence sahip numunelerin yüksek ısınma değerine sahip olduğu belirtilmiştir.

Qun vd. (2013) iletken asfalt betonun özdirencini iki elektrot yöntemiyle belirlemek için yeni bir yöntem geliştirmeyi amaçlamışlardır. Temas direncinin etkisi nedeniyle, ölçülen direnç her zaman gerçek özdirence eşit değildir. Gerçek özdirenci belirlemek için, ölçülen özdirenç, temas direnci ve özdirenç ile doğrusal bir ilişki kurulmuştur. Ardından, değişik grafit içerikli altı numune formülasyonu doğrulamak için deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları, hattın eğiminin temas direncini temsil ettiğini ve kesişimin gerçek direnci gösterdiğini göstermektedir. Grafit içeriğinin temas direnci ve gerçek özdirenci üzerindeki etkileri de ortaya çıkmaktadır. Sonuçlar, grafit içeriği % 3'ün üzerinde olması halinde, direnç ölçümünün doğruluğu üzerindeki temas direncinin etkisinin daha ciddi olacağını göstermektedir. Bundan dolayı, temas direnci hesaba katılarak asfalt betonun özdirencini belirlemek gerektiğini belirtmişlerdir.

Wu vd. (2013) elektriksel iletken asfalt betonunun (İAB) özelliklerini karışıma elektriksel iletken katkı malzemeleri ilave ederek analiz etmişlerdir. Deneysel sonuçlar, karışık iletken madde kombinasyonunun, elektrik iletkenliğinde tek tip iletken madde ilavesine göre kayda değer avantajlara sahip olduğunu göstermiştir. Hem İAB'nin, hem de doğru akım yoluyla kar eritmek için etkili bir yöntem sağladığını ispatlamak için laboratuvar ve saha testleri yapılmıştır. Ek olarak, kızılötesi görüntüleme teknolojisi sıcaklık alanı dağılımı da kullanılmıştır. Ayrıca, sıcaklık, voltaj ve sıcaklık dolaşımının İAB direnci üzerine olan etkileri iletken yolların kırılması ve yeniden inşa edilmesi ile açıklanmıştır. Son olarak, X-ışınlı bilgisayarlı tomografi, karışık dolgu maddeleri için iletkenlik mekanizmaları hakkında bilgi vermiştir. İAB'de oluşturulan iletken zincirin büyük oranda asfalt harcı içindeki iletken dolgu maddesinin dağılımına bağlı olduğu gösterilmiştir.

Geleneksel asfalt kaplamalar oldukça düşük iletkenlik değerine sahiptir. Vo vd.'nin (2017) yaptığı çalışmada iletken dolgu maddesi içeren asfalt karışımların termal özelliklerinin gelişmesine ve iletkenlik performansının iki boyutlu simülasyon programı

ile araştırılmasına odaklanılmıştır. Ayrıca karışım içerisindeki iletken dolduların yapısını gözlemlemek için asfalt karışımların mikroyapısı son derece yüksek bir büyütme ile analiz edilmiştir. Tüm bunlara ilaveten dolaylı çekme dayanımı da (IDT) araştırılmıştır. Çalışmada doğranmış karbon lifi, kesilmiş karbon lifi ve grafit tozu ile modifiye edilmiş asfalt karışımlar kullanılmıştır. Ayrıca farklı oranlarda karbon lifi ile karıştırılmış olan grafit filler ekisi de değerlendirilmiştir. Karbon lifi ve grafitin uygun türü ve miktarını elde etmek için modifiye asfalt karışımların termal özellikleri, iletkenlik etkilerini değerlendirmek için, ölçülmüş ve hesaplanmıştır. Isıl iletkenlik deneyleri ve analiz sonuçları karbon lifleri ve grafitin asfalt karışım numunelerinin ısı iletkenlik özelliklerini geliştirdiğini göstermiştir. İki farklı iletken maddenin kombinasyonundan oluşan fillerin tek grafit veya karbon lifine göre üstünlükleri olduğu görülmüştür. Simülasyon sonuçları her bir iletken filler maddesi ile ilişkili makul ve güvenilir ısı iletimi ilişkisi sunmuştur. IDT deneyi, karışımlara belirli miktarda doğranmış karbon elyafı ilave edilmesinin çekme mukavemetini arttırdığını göstermiştir. Mikroanaliz sonuçları grafit partüküllerinin asfalt karışımı boyunca iletken küme oluşumu gösterdiğini, karbon liflerinin ise uzun menzilli bir iletken köprü oluşturduğunu göstermiştir. Araştırmacılar uzun vadeli ve maliyet etkinliğin değerlendirmek için sahada çalışmaların yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

2.6 Lif Çeşitleri

Asfalt karışımlarında piyasada uygulanmak üzere lif malzemeleri çok sayıda bulunmaktadır. Bunlar polyester, karbon, asbest, polipropilen, selüloz, cam lif gibi malzemelerdir.

2.6.1 Polipropilen Lifler

Ucuz bir lif olan PP, ham petrolün rafine edilmesi sırasında açığa çıkan veya doğal gazın bir bileşeni olan PP polimerizasyonu ile üretilir. Molekül zincirleri birbiriyle sıkı sıkıya bağlıdır ve polimer içinde düzenlidir ve sonuç olarak bünyesine su almaz. PP düşük erime sıcaklığına (165 °C) sahiptir. Lif ıslak iken mukavemetli (70-80 KN) olmasına ve bu mukavemetini kaybetmemesine rağmen, çekme modülü (uzamaya karşı

direnç) düşüktür ve düşük elastik geri dönmeye ve kötü sünme davranışına (yük altında sürekli uzama) sahiptir (Int. Kynk.4).

PP lif yaygın olarak dayanım arttırıcı madde olarak betonda kullanılmaktadır. PP lifler, beton karışımlar içerisinde, uzun yıllardan beridir kullanılan olan bir mikro donatı çeşidi olarak literatürde yerini almıştır (Song vd. 2005). Ayrıca PP lifler ayrıca ABD'deki BSK karışımlarda modifiye edici madde olarak da kullanılmıştır. Ohio Eyaleti Karayolları İdaresi (ODOT) yüksek performanslı asfalt kaplamalarda PP lifleri kullanmak için standartlar yayınlamıştır. Bu özel lif daha sert ve dayanıklı hale getirmede asfalt betonuna üç boyutlu takviye sağlamıştır. Karışıma lif eklenmesinin, çatlama ve bitümlü karışımların kalıcı deformasyona karşı direnci arttırarak yorulma özelliklerini iyileştirdiği belirtilmiştir.

Tapkin vd. (2009) yaptığı çalışmada PP liflerin BSK larda katkı malzemesi olarak kullanımını incelemiştir. Çalışmada kalkerli agrega ve 60/70 penetrasyonlu yoğun bitüm kullanmıştır. Optimum bitüm içeriğinde PP lif katkılı ve katkısız standart Marshall briketleri üzerinde standart stabilite ve akma deneylerini yapmışlardır. Deney sonuçları PP lifler, test edilen numunelerin Marshall stabilite değerlerini önemli oranda arttırırken, akma değerlerinde de dikkate değer düşüslere yol açmıştır. Bu da Marshall numunelerinin rijitlik modüllerinde artışlar sağlamışlardır. Çalışmanın son aşamasında da numuneler de indirekt çekme deneyine tabi tutulmuştur. Karşılaştırılabilir sonuçlar elde edebilmek için PP lif katkılı ve katkısız Marshall numuneleri için sabit tutulmuştur. Elastik ve kalıcı birim deformasyonların incelenmesi, polipropilen lif katkılı Marshall briketlerinin laboratuvar yorulma ömürlerinin PP katkısız Marshall numunelerine göre daha uzun olduğunu göstermiştir.

2.6.2 Polyester Lifleri

Polyester ham petrol bileşenlerinin polimerize ürünüdür. Kolay kolay kopmazlar. Özgül ağırlığı 1,38 g/cm³ tür. Erime sıcaklığı 260 °C'dir (Int.Kyn 5).

Shopeng vd. (2008) yaptığı çalışmada polyester lifin reolojik özelliklere ve asfalt yorulma özelliklerine etkilerini araştırmıştır. Viskozite, reolojik ve yorulma testleri,

asfalt bağlayıcısının ve karışımın bu tür özelliklerini farklı lif içeriğiyle karakterize etmek için yapılmıştır. Sonuçlar, asfalt bağlayıcısının viskozitesinin, özellikle düşük sıcaklıkta artan polyester lif içeriğiyle arttığını göstermektedir. Kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığında, lif ile modifiye edilmiş asfalt karışımının gerilme oranları 1,9, 2,9 ve 3,6 kat artmıştır. Polyester lifli ve polyester lifsiz asfalt karışımı için yorulma fonksiyonlarının parametreleri elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Asfalt karışımının yorulma özelliğinin, özellikle düşük gerilme seviyelerinde, lif eklenmesiyle geliştirilebileceğini sonucuna ulaşılmıştır.

2.6.3 Selüloz Lifler

Selüloz lifler, çoğunlukla odunsu bitkilerden elde edilen bitki esaslı liflerdir, ancak bazıları geri dönüşümlü gazete ile elde edilmiştir. Bu lifler, epey yüksek emilimle dallanma eğilimindedir; Selüloz elyaflarının karışımlarda yüksek bağlayıcı içeriğine sahip olmasına yardımcı olan bu doğallığıdır. Selüloz lifler gevşek biçimde veya top halinde tedarik edilebilir.

Partl vd. (2008) çalışmasında çeşitli içerikli selüloz lifleri TMA'da kullanarak araştırmıştır. Karışım numunelerine termal gerilme numune testleri ve indirek çekme deneyi kullanarak değerlendirmiştir. Karıştırma işleminde liflerin topaklanma problemi oluşmuştur. Liflerin dağılımını sıcaklığı ve karıştırma süresini artırarak düzeltilmesine rağmen bazı topaklanmalar giderilmemiştir. TMA'nın selüloz lif ile birlikte yapılan iki deney esas alındığında karışım özelliklerinin gelişmediğine karar vermişlerdir. Yazarlar liflerin kötü dağılımı ve topaklanmanın sınırlı bir iyileştirme yaptığını savunmuşlardır.

2.6.4 Cam Lifler

Cam ve cam lifin tarihsel kökeni belirsizdir. Cam elyaf yüksek mukavemete sahiptir, uzaması % 3-4 fakat elastik toparlanma % 100 dür. Cam Lifler yanmazlar. Bununla birlikte, yaklaşık 815 ° C'de yumuşarlar ve 315 ° C'nin üzerindeki sıcaklıklarda güçleri azalmaya başlar. Cam lifler gevrekler ve karışım sırasında dikkatli kullanılmalıdırlar (Abtahi vd. 2013).

Asfalt karışımlarda cam lif eklemek mukavemeti ve yorulma özelliklerini geliştirirken aynı zamanda sünekliği de arttırdığı düşünülmektedir. Cam lifin üstün mekanik özellikleri nedeniyle asfalt modifikasyonu için önemli bir avantaj sağlandığı düşünülmektedir. Cam elyaf takviyeli asfalt karışımların kullanımı maliyeti artırabilir bununla birlikte bakım masraflarından tasarruf edilebilir (Mahrez vd. 2003).

2.6.5 Karbon Lifleri

Karbon lifi ileri teknoloji ürünü, ipliksi bir tür plastik madde olup Akrilik elyafın belli proseslerden geçirilmesiyle elde edilir. Yüksek dayanıklılık, düşük yoğunluk, düşük sürtünme ve düşük ağırlık özelliklerinin üstün bileşimi ile uzay ve havacılık sanayi, savunma, otomotiv sanayilerinde, spor gereçlerinde (tenis raketi, board), yapı güçlendirme alanlarında, enerji depolamada tercih edilen bir üründür (Int. Kynk 6).

Karbon lifin yapısı, çelikten 4,5 kat daha hafif olmasına rağmen 3 kat daha dayanıklıdır. Karbon lif geleneksel metal malzemelere göre gücü üstün, son derece güçlü sert ve hafif bir malzemedir. Teknik olarak birbirine bağlanmış en az % 95 C atomu ihtiva eden bir Lif olarak bilinir. Karbon lif 1958 yılında icat edilmiş, ancak 1963 yılında kadar imalatlarda kullanılmamıştır (Anonim 2008).

Karbon liflerinin asfalt kaplamaların geliştirilmesinde diğer lif türlerinden daha fazla avantajlar sunduğu düşünülmektedir. Lif Karbondan oluşmaktadır ve asfalt da bir hidrokarbon olduğu için doğal olarak uyumlu olduğu düşünülmektedir. Karbon lifi 1000 °C den fazla sıcaklıkta üretildiği için, lifin erimesi yüksek sıcaklıkta karıştırma önemli sorun değildir (Anonim 2008).

Karbon Lifin Özellikleri

- Yüksek sertliğe sahiptir,
- Yüksek çekme mukavemetine sahiptir,
- Hafiftir,
- Yüksek kimyasal dayanımı vardır,

- Yüksek sıcaklık toleransı vardır,
- Düşük termal genleşmeye sahiptir (Anonim 2008).

Çizelge 2.2 Lif tiplerinin avantajları ve dezavantajları (McDaniel 2015).

Lif Tipi	Avantajları	Dezavantajları
Selüloz	Yüksek bağlayıcı emme özelliğinden dolayı daha dayanıklı bir karışım elde edilir.	Yüksek bağlayıcı emme özelliği maliyeti arttırmaktadır.
	Taş mastik Asfaltlarda Açık ve kesikli gradasyona sahip stabilize karışımlardır. Nispeten ucuzdur.	Çekme modunda güçlü değildir.
	Çeşitli Bitki malzemeleri ile yapılır. Yaygın olarak kullanılabilir.	
	Gazete kâğıdı gibi geri dönüşümlü malzemelerden olabilir.	
Mineral	Selüloz gibi emici değildir	Sert karışım oluşturabilir, sıkıştırmak için zorlanabilir, lastik hasarına sebep olabilir.
	Elektriksel olarak eritici amaçlı ve çatlakların iyileşmesinde katkıda bulunur	Nem nedeniyle çürüyüp zarar verebilir.
Polyester	Çatlama, tekerlek izi ve çukur oluşumuna karşı dayanıklıdır. Mukavemeti ve stabiliteyi artırır.	Kanıtlanmış bir maliyet bedeli yoktur.
	Daha yüksek bir erime noktasına sahiptir.	
	Yüksek çekme mukavemeti	

Çizelge 2.2 (Devam)

	Tekerlek izi, çatlak ve ondülasyonu azaltır.	Kanıtlanmış bir maliyet bedeli yoktur.
	Petrolde elde edildiği için asfalt ile çok uyumludur.	
Polipropilen	Asfalt ile güçlü bağlanır.	
	Asfalt içinde kolayca dağılır.	
	Asit ve tuzlara karşı dayanıklısıdır.	
	Düşük Özgöl Ağırlık birim ağırlık başına daha fazla lif ilave anlamına gelir.	
	Yüksek çekme mukavemeti	Kırılgandır.
Cam Elyaf	Düşük uzama	Lifler birbirini çapraz kesebilir.
	Yüksek elastik toparlanma	Karıştırma ve sıkıştırma sırasında kesilebilir.
	Yüksek Yumuşama noktası	Kanıtlanmış bir maliyet bedeli yoktur.

3. MATERİYAL VE METOT

3.1 Materyal

Çalışmada agrega olarak Afyonkarahisar KOLSAN AŞ'den temin edilen kireçtaşı ile Afyonkarahisar Belediyesinden temin edilen bazalt kökenli agregalar kullanılmıştır (Şekil 3.1). Bazalt agregalar TMA numunelerin iri fraksiyonlarında kullanılmıştır. TMA karışımlarda elyaf olarak Teknomet Şirketinden temin edilip VIATOP® elyafları kullanılmıştır. Çalışmada TMA numuneleri için iletken bileşen olarak kullanılacak karbon lifi ise Yalova'da DOWAKSA İleri Kompozit Malzemeler San.Ltd.Şti'den temin edilmiştir. Temin edilen karbon lifinin kodu 24K A-49 dur. Kullanılan karbon lifine ait malzeme özellikleri Çizelge 3.1 de verilmiştir. Yapılan çalışmada bağlayıcı olarak, Afyonkarahisar Belediyesi asfalt şantiyesinden alınan, Aliğa rafinerisinde üretilmiş B50-70 penetrasyon sınıfı bitüm kullanılmıştır.(Çizelge 3.2)



Resim 3.1 Asfalt karışımı için yıkanıp elenen kireçtaşı ve bazalt numuneleri

Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan karbon liflerin mühendislik özellikleri.

Fiber Özellikleri	Değerler	Test Metodu
Çekme Dayanımı (MPa)	4900	ISO 10618
Çekme Modülü (GPa)	250	ISO 10618
Birim deformasyon (%)	2.0	ISO 10618
Yoğunluk (g/cm ³)	1.79	ISO 10119
Akma (g/1000 m)	1600	ISO 1889

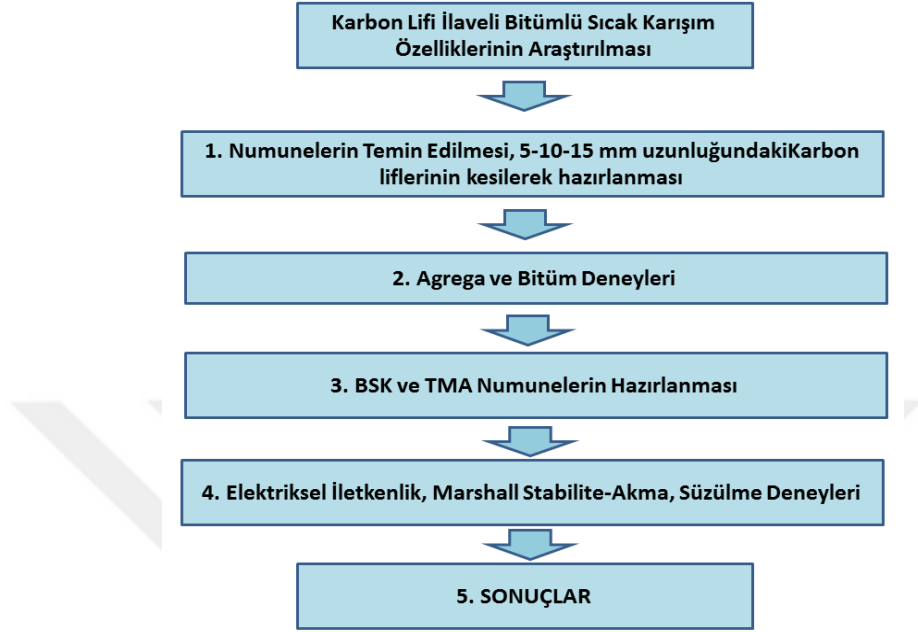
Çizelge 3.2 Bitümün mühendislik özellikleri.

Özellikleri	Değeri	Standart
Kaynak	Ali Ağa	-
Penetrasyon Derecesi	50/70	-
Penetrasyon 25 °C'de	64	ASTM D5-06e1,
Özgül Ağırlık	1,030	ASTM D70-09e1
Yumuşama Noktası (°C)	47	ASTM D36/D36M-09
Isıtma Kaybı (%)	2,2	ASTM D6-95
Parlama Noktası(°C)	280	ASTM D92-05a
Düktilite (5cm/dak 25 °C)	>100 cm	ASTM D113-07
Viskozite 135 °C	0,400 pas	ASTM D4402-06
Viskozite 165 °C	0,101 pas	ASTM D4402-06

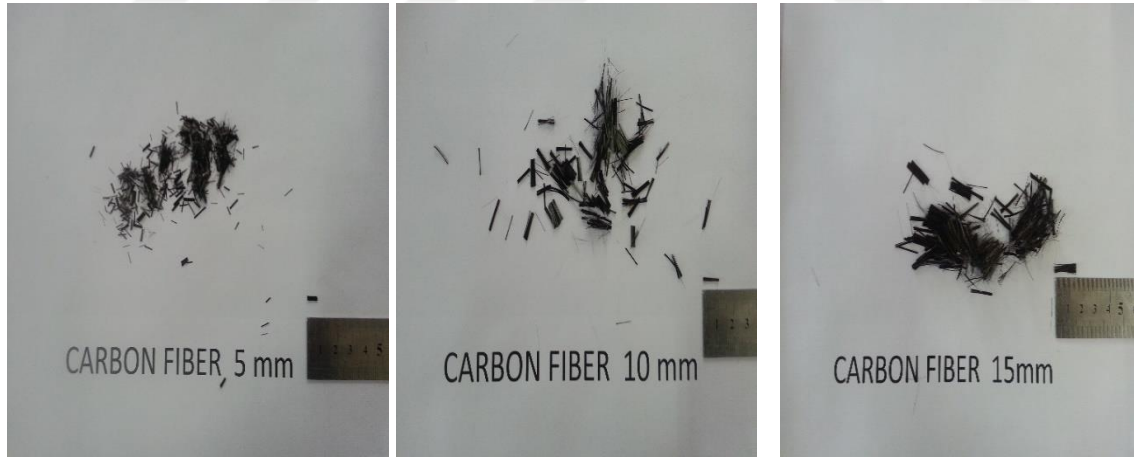
3.2 Metot

Tez çalışmasının yöntem akış şeması Şekil 3.2’de verilmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle agrega, bitüm ve karbon fiberler temin edilmiştir. Karbon fiberler 5-10-15 mm. Uzunluğunda maket bıçağı ile kesilip, agreganın ağırlıkça % 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 karbon lifi ilaveli, standart 64 mm. Yükseklik, 102 mm. Çapında ve 1200 gr. Ağırlığında BSK ve TMA numuneleri hazırlanmıştır. Ayrıca BSK ve TMA numunelerinden karbon fibersiz şahit numuneler de üretilmiştir. Şahit numuneler ile birlikte 16 seri ve her seriden ikişer adet üretilmiştir. Toplamda 32 adet TMA ve 32 adet BSK numuneleri vardır. Bu asfalt numuneleri üzerinde elektriksel iletkenlik (dıştan temas ile 2 elektrot yöntemi), ısınma, Marshall akma, stabilite, bitüm süzülmesi, ultrases deneyleri yapılarak elde edilen deneysel bulgular ışığında şahit TMA ve BSK numuneleri ile karşılaştırılıp sonuçlar değerlendirilecektir. (ASTM, 1992; KTŞ, 2013).

BSK ve TMA numuneleri için optimum bitüm değeri, aynı agrega ve gradasyon aralıkları kullanıldığı için, sırasıyla Gürer ve Selman (2015) ve Gürer vd. (2016) tarafından hazırlanan rapordaki % 4,72 ve % 6,5 değeri kullanılmıştır.



Resim 3.2 Tez yöntemi akış şeması.



Resim 3.3 Asfalt karışımında iletkenlik için kullanılan 5-10-15 mm. karbon lifleri.

Çizelge 3.3 BSK ve TMA serileri için kullanılan karbon lifi özellikleri.

Seri	Lif Uzunluğu (mm)	Lif Oranı % (Asfalt Briketin Ağırlığına)	Lif Ağırlığı/Briket (g)
1	5	0.1	1.2
		0.2	2.4
		0.3	3.6
		0.4	4.8
		0.5	6.0
2	10	0.1	1.2
		0.2	2.4
		0.3	3.6
		0.4	4.8
		0.5	6.0
3	15	0.1	1.2
		0.2	2.4
		0.3	3.6
		0.4	4.8
		0.5	6.0

3.2.1 Marshall Metodu İle Asfalt Numunelerinin Üretilmesi

Marshall kaplama karışım dizayn metodunun kavramları, daha önceden Mississippi Devlet Karayolları Departmanı Bitümlü Malzemeler Mühendisi olan Bruce Marshall tarafından formüle edilmiştir. Marshall deney yöntemleri, ASTM tarafından standart hale getirilmiştir. İlgili yöntem ASTM gösterimi D 1559 “Marshall teçhizatı kullanılarak bitümlü karışımların plastik akmaya karşı direnci” kısmında verilmektedir. Marshall metodu yalnızca penetrasyon veya viskoziteye göre sınıflandırılmış asfalt çimentosu kullanan ve maksimum boyutu 25 mm. Veya daha küçük agregalar içeren sıcak asfalt kaplama karışımlara uygulanabilmektedir. Bu metot, sıcak asfalt karışımların laboratuvarında dizaynı için öngörülmüştür (Uluçaylı, 2002).

Marshall Metodu için işlem deney numunelerin hazırlanması ile başlar. Bütün bu işlemlerin başlangıcı için şunlar takip edilir (Uluçaylı, 2002) ;

- Kullanım için önerilen malzemelerin proje şartnamelerinin koşullarını karşılamalıdır.

- Agreg a karışım kombinasyonları proje şartname gradasyon koşullarını sağlamalıdır.
- Yoğunluk ve boşluk analizlerinde kullanım için, karışım da kullanılan tüm agregaların karışım ile asfalt çimentosunun özgül ağırlığı belirlenmesi gerekmektedir.
- Marshall yöntemiyle standart, silindirik 64 mm yükseklik 102 mm çapında deney numuneleri kullanılır. Bu numuneler ısıtma-karıştırma ve sıkıştırma işlemlerinden oluşan özel bir yöntemle hazırlanır. Marshall Metodu ile karışım dizaynının en önemli iki esas özelliği, sıkıştırılmış deney numunelerinde yoğunluk-boşluk analizi ve stabilite-akma deneyleridir.

Briketlerin hazırlanması şu şekilde gerçekleşmektedir;

- 1200 gr'lık numune için agreg a miktarları ayrı kaplara doldurularak 24 saat bekletilmek üzere 165 °C'lik etüve konulur.
- Kullanılacak bitüm etüve konularak 165°C'ye kadar ısıtılır. TMA numunelerinde sıcaklık 180°C alınır.
- Deneyde kullanılacak olan mikser kabı, Marshall tokmağı, briket kalıbı, spatula, kürek vb. aletler de 165°C'lik etüvde ısıtılır.
- İstenilen ısıya gelen agregayı karıştırma kabına boşaltılarak kuru olarak karıştırılır.
- Agreg a ağırlığına göre karışımın içerisine konulması gereken bitüm miktarı konulur.
- Konulan bitümün agreg a içerisinde homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak için ısıtıcılı mekanik mikserde 3-4 dk. Karıştırma işlemi yapılır.

- Karışım, kalıba boşaltılır ve ısıtılmış bir spatula ile iç kısımlarından ve çevresinden 10-15 kez çabukça darbelenerek sıkıca yerleştirilir. Numuneler 101,6 mm çapında ve 76,2 mm yüksekliğindeki numune kalıbında aynı boşluk oranlarını yakalayabilmek için numunelerin uygun sıkıştırma sıcaklıklarında 4536 g ağırlığında 457,2 mm'den serbest düşüş yapan sıkıştırma tokmağı ile numunenin ön ve arka yüzüne dizayn trafik sınırlamasına göre belirlenen 75 darbe uygulanarak sıkıştırılır.
- Sıkıştırılan numuneler numaralandırılarak soğumaya bırakılır.
- Numune kalıptan krika ile çıkarılarak düzgün bir yüzey üzerine konulduktan sonra yaklaşık 15 saat soğumaya bırakılır.



Resim 3.4 Marshall briketlerin kalıplar içindeki durumu.



Resim 3.5 Marshall briketlerinin kalıplardan çıkartılmış durumu.

Briketlerin Yüksekliklerinin ve Hacminin Belirlenmesi: Standart briket yüksekliği 63,5 mm olup stabilite değeri bu standart yüksekliğe göre değerlendirilir. Standart briket yüksekliği 63,5 mm. karşılık gelen düzeltme katsayı 1'dir. Yüksekliğin 63,5 mm den büyük olduğu durumda bu düzeltme katsayı azalır, 63,5 mm den küçük olduğu durumda ise yükselir. Briketin ölçülen stabilitesi ile numunenin yüksekliğine bağlı katsayının çarpımı, 63,5 mm yüksekliğindeki (standart) briketeye göre düzeltilmiş stabilite değerini verir. Bunun için bir her briketin değişik yerlerinden kumpas ile üç okuma alınarak bu okumaların ortalaması briket yüksekliği olarak kaydedilir.

Bir briketin hacmi, briketin doymuş yüzey-kuru ağırlığından sudaki ağırlığının çıkarılması ile elde edilir.



Resim 3.6 Kumpas ile numunenin yüksekliğinin ve sudaki ağırlığının belirlenmesi.

Briketlerin Yoğunluk ve Boşluk Oranı: Briketin hacim özgül ağırlığı (D_p), briketin havadaki ağırlığının hacmine oranıdır:

$$D_p = \frac{A}{V} \quad (3.1)$$

D_p : Briketin hacim özgül ağırlığı (g/cm^3)

A : Briketin havadaki ağırlığı (g)

V : Briketin hacmi (cm^3)

Briketin maksimum teorik özgül ağırlığı (D_T), agreg ağırlığına göre bitüm yüzdesi cinsinden aşağıdaki denkleme göre hesaplanır.

$$DT = \frac{100+Wa}{\frac{100}{Gef} + \frac{Wa}{Gb}} \quad (3.2)$$

DT : Briketin maksimum teorik özgül ağırlığı

Wa : Agreg ağırlığına göre bitüm yüzdesi

G_{ef} : Agreganın efektif özgül ağırlığı

G_b : Bitümün özgül ağırlığı

Briketlerdeki VMA yüzdesi: VMA, agregalar arası boşluk yüzdesidir. Aşağıdaki denkleme göre hesaplanır

$$VMA = 100 - D_p \times \frac{100 - W_b}{G_{sb}} \quad (3.3)$$

VMA : Agregalar arası boşluk yüzdesi

D_p : Briketin hacim özgül ağırlığı

G_{sb} : Agreganın hacim özgül ağırlığı

W_b : Toplam karışıma göre bitüm yüzdesi

Briketlerin Hava Boşluğu ve Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesinin Hesabı: Bu hesap 3.4 denkleme göre hesaplanır.

$$V_h = \frac{D_t - D_p}{D_p} \times 100 \quad (3.4)$$

$$V_f = \frac{V_{ma} - V_h}{V_{ma}} \times 100 \quad (3.5)$$

V_h : Briketteki boşluk yüzdesi

DT : Briketin maksimum teorik özgül ağırlığı (g/cm^3)

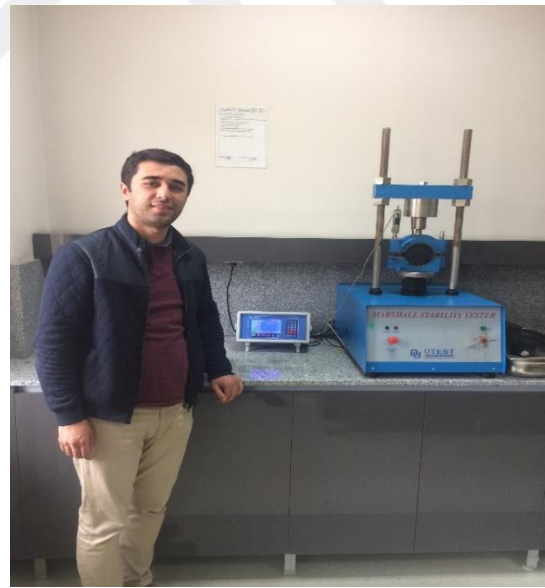
DP : Briketin hacim özgül ağırlığı (g/cm^3)

Vf : Briketteki asfaltla dolu boşluk yüzdesi

VMA : Briketteki agregalar arası boşluk yüzdesi

3.2.2 Marshall Stabilite ve Akma Deneyi

Biriketler, stabilite deneyine tabi tutulmadan önce 30 dk 25°C 'lik su banyosunda bekletildikten sonra su banyosundan çıkarılarak kurutulur. Briket, stabilite aletinin iki segmanı arsına yerleştirildikten sonra sabit bir deformasyon hızıyla (51 mm/dk) kırılma anındaki yük değerine kadar yüklenir. Brikette kırılma meydana geldiği andaki yük miktarı (N) ve akma miktarı (mm) kaydedilir. Her briket için yük miktarı ve akma miktarı aynı şekilde belirlenir. Marshall Stabilite değerini ifade eden yük miktarları, düzeltme faktörleri ile çarpılarak her briket için düzeltilmiş stabilite değerleri hesaplanır.



Resim 3.7 Su banyosu ve marshall deney cihazı.

3.2.3 Sıcak Karışım Asfalt Numunelerinin Elektriksel Özelliklerinin Ölçülmesi

Standart asfalt numunesinde İAB'nun elektriksel öz direncini ölçmek için yaygın olarak kullanılan yöntemler vardır. ASTM D257- 91: 1998 'e göre, öz direnç ölçümü için iki tür yöntem kullanılmıştır. Dört- elektrot yöntem ve iki-elektrot yöntemlerdir. İki elektrotlu yöntem, $10^6 \Omega.m$ dan yüksek öz dirençli malzemelere uygulanır, dört elektrot yöntem ise 1 den $10^5 \Omega.m$ kadar değişen öz dirençli malzemelere uygulanır. Temas aralığındaki direnci azaltmak için, elektrot ve numune arasında sıkı temas sağlamak önemlidir. Bunun için literatürde elektrot ile numune arasına grafit yağı veya numune etrafına bakır bir bant dönmek gibi yöntemler önerilmektedir (Wu vd. 2010, Huang vd. 2006).

İAB'nin öz direncini ölçmek için 4 elektrot yöntemde, probların hazırlanan numunenin sıkışma safhasında numune içerisinde kalması ve sürekli zarar görmesi sebebiyle kullanışsız ve düşük faydaya sahip bir yöntem olduğu görülmektedir. Buna karşılık, iki prob yönteminde elektrotlar numunenin dışına tutturuldukları için asfalt betonun sıkıştırılması esnasında zarar görme ihtimali yoktur. Bundan dolayı, İki elektrot yöntemi İAB'nin iletkenliğini ölçmede önemli bir yöntem olduğu görülmektedir (Liu and Wu, 2009). İki elektrot yöntem ile öz direnç ölçümü Şekil 3.8' de görülmektedir. Ölçülen direnç değerinin, hem numunenin hem de kullanılan iletkenin ve levhanın kontak direnç değerlerinin toplamına eşit olacaktır. Elektriksel özelliklerin ölçülmesinde Fluke marka multimetre cihazı, elektrot olarak ise silindirik sıcak karışım asfalt numunelerinin alt ve üst yüzeyine tamamen kapsayan bakır levhalar kullanılmıştır. Bakır levhalar ile asfalt numune arasındaki hava boşluklarını doldurmak için de iletken jel kullanılmıştır. Asfalt numunelerinin öz dirençlerinin hesaplanabilmesi için sabit gerilim altında (5-10-15-20-25 V) numunelerden geçen akım değerleri cihazdan okunmuştur. Ölçülen bu değer ile direnç değeri hesaplanıp numune yükseklikleri ile kesit alanlarından yola çıkarak öz direnç değerleri $\Omega.m$ olarak hesaplanır.



Resim 3.8 İki elektrotlu yöntemi ile özdirenç ölçümü.

Numunelerin direnci (ρ) aşağıdaki denklemlere göre hesaplandı:

$$V = I \times R \quad (3.6)$$

$$\rho = R \times \frac{S}{L} \quad (3.7)$$

Burada;

ρ =Elektriksel özdirenç

L =İletken BSK Numune Yüksekliği (m)

R =Ohm olarak ölçülen direnç

S =Elektrot iletken alanıdır (m²)

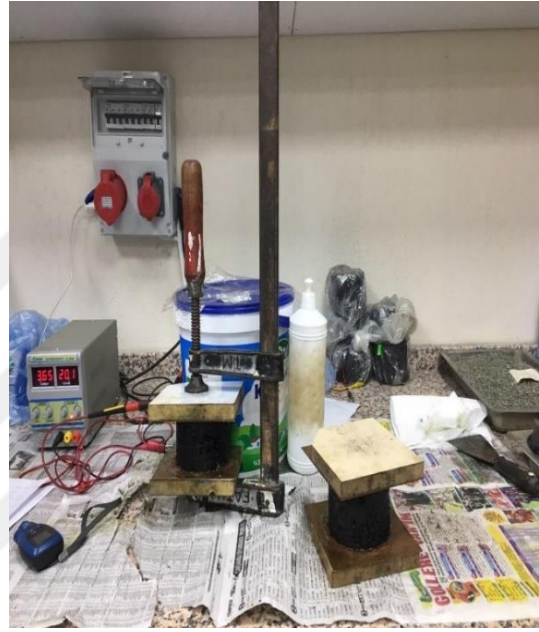
V = Gerilim

I =Akım

3.2.4 Sabit Elektrik Gerilimi İle Numunelerin Sıcaklık Değişimlerin Belirlenmesi

İletken BSK numunelerinin sabit elektrik gerilimi altındaki ısınma performanslarını belirlemek için sıcaklıklarında meydana gelen değişimler karşılaştırılmıştır. Hazırlanan asfalt numuneleri içerisinde iletken bileşen olarak kullanılan karbon lifinin numuneler üzerindeki sıcaklık derecelerini ve etkilerini bu deney ile incelenmiştir. Öncelikle Asfalt numunelerine doğru akım altında sabit 30 V gerilim uygulanmıştır. Bazı asfalt numuneleri 20 V düzeyinde kalmıştır. Bundan dolayı tekrar bütün numunelere 20 V

gerilim uygulanarak sıcaklıklarında meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Bunun için 2 elektrot yöntemi kullanılarak 10 dk boyunca sabit gerilim altında doğru akım geçirilmiş ve sıcaklıklarındaki değişim her iki dakikada bir numune ortasındaki üç farklı noktadan lazer termometre ile ölçülerek belirlenmiştir. Hesaplamalarda bu ölçümlerin aritmetik ortalaması esas alınmıştır. Tüm numunelerden akım geçirilmeden önce numune başlangıç sıcaklıkları kaydedilmiştir.

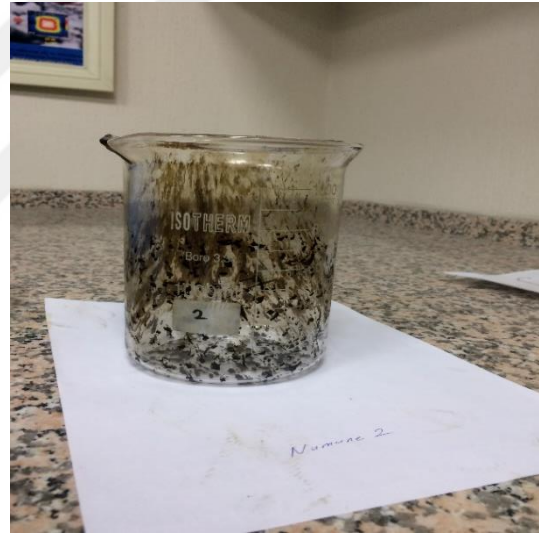


Resim 3.9 İletken asfalt numunelerinin elektrik akım ile ısıtılması.

3.2.5 Schellenberger Bitüm Süzülme Deneyi

Tez kapsamında üretilen TMA asfalt briketlerinin içeriğinde farklı miktarda elyaf ve karbon fiberler bulunmaktadır. TMA karışımlar diğer sıcak asfalt karışımlarına göre daha fazla bitüm içermektedir. TMA karışımlar iri gradasyonlu agregaya fraksiyonu hacimce daha fazla, ince fraksiyon aralığı daha az olduğundan kesikli gradasyona sahiptir. Ayrıca TMA karışımlar kaba agregaya da fazla miktarda bulunmaktadır. Bu kaba agregalar arasındaki boşluk diğer karışımlara göre daha fazla bitüm kullanılarak kapatılmaktadır. Karışım hazırlanırken işlenebilirlik açısından aşırı sıcaklıktan bitüm daha da akışkan hale dönüşüp, karışım içerisinde süzülmeğe meyilli olmaktadır. Genelde TMA karışımlarda bu tip süzülmeğe engellemek için selülozik elyaf

kullanılmaktadır. Bundan dolayı TMA karışı numunelerinde elyafla birlikte kullanılan karbon liflerinin de süzülme miktarına etki edip etmediği araştırmak için tüm TMA numunelerinde süzülme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney şu şekilde gerçekleştirilmiştir: 1000 gr TMA karışımı 135 ± 5 °C hazırlanır. Hazırlanan 1000 gr TMA karışımı 1000 ml'lik önceden 110 °C' lik etüvde 15 dk. Isıtılmış cam behere konularak 0,1 gr hassasiyetinde tartım işlemi yapılır. Cam beher üzeri kapatıldıktan sonra sıcaklığı 185 °C olan etüvde 1 saat bekletilir. Deney sonunda cam beher 0,1 gr hassasiyetle tartılır ve boş beher ağırlığı çıkartılır. Süzülen bitüm miktarı ilk başlangıçta deneye alınan karışım miktarına oranlanarak bulunur. Karayolları teknik şartnamesine göre değeri maksimum % 0,3 olmalıdır (TCK 2013 Tablo 408-9). Çıkan sonuç; % 0,2' den küçükse iyi, % 0,2 ile % 0,3 arasında ise kabul edilebilir, % 0,3' den büyükse kabul edilemez anlamındadır (TCK, 2013).



Resim 3.10 Hazırlanan TMA karışımın boş behere boşaltılması ve deney sonu boş beher.

3.2.6 Ultrases Deneyi

Betonun içerisinde geçen sesüstü dalgasının hızı ile beton dayanımı arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Ancak, sesüstü dalganın hızı ile betonun yoğunluğu arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu az olan bir betonda, yani içerisinde daha çok boşluk bulunan bir betonda, sesüstü dalganın betonun bir yüzeyinden diğerine ulaşabilme süresi daha uzundur. Bir başka deyişle, betonun içerisindeki boşluk miktarı arttıkça,

sesüstü dalganın hızı daha az olmaktadır. Bilindiği gibi, betonun yoğunluğu ile basınç dayanımı arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu yüksek olan betonların basınç dayanımları da genellikle yüksek olur (Erdoğan, 2003).

Beton kalitesinin denetlenmesi ve değerlendirilmesi için değişik yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri de ultrasonik test cihazı ile değerlendirme yöntemidir. Ultrasonik test cihazı, alıcı ve verici arasında oluşturulan ultrasonik ses dalgalarının beton içerisindeki geçiş süresinin belirlenmesi esasına dayanır. Bu hasarsız yöntem, çok sayıda nokta üzerinden okuma yapılabilmesi, zamandan tasarruf sağlanması ve taşıyıcı elemanlara zarar vermemesi açısından tercih edilir. Her ne kadar hasarsız olması açısından tercih edilen bir yöntem olsa da güvenilirliği açısından karot alma ve diğer yöntemlerle birlikte kullanılması daha iyi sonuç verir (Int.Kyn.7).

Ultra-ses dalgalarının betonda yayılma hızları ölçülerek;

- Betonun homojenliği
- Betonda kusur, çatlak vb.
- Elastisite modülü
- Beton dayanımı hakkında veriler elde edilebiliriz.

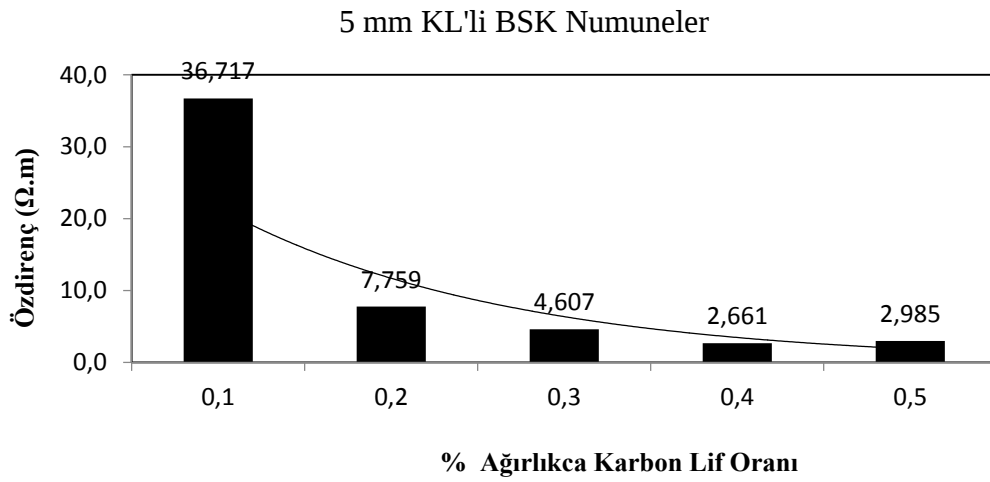


Resim 3.11 Ultrases cihazı.

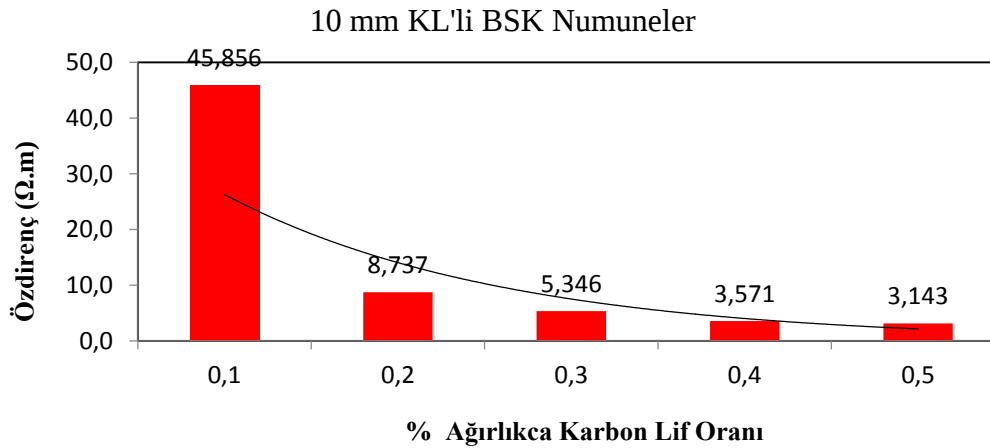
4. BULGULAR

4.1 Elektriksel Özdirenç Sonuçları

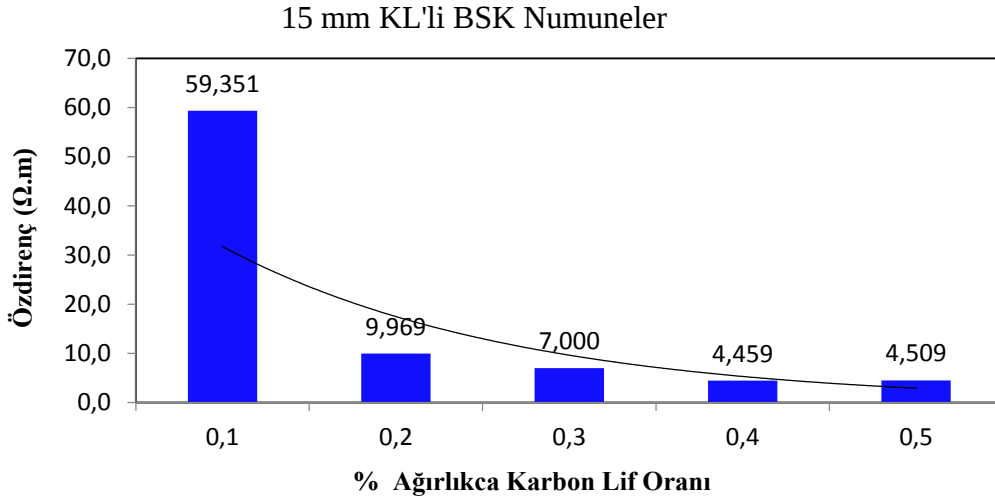
Üretilen asfalt numunelerin iletkenliklerini kıyaslamak için 2 elektrot yöntemi kullanılarak dıştan temas yoluyla ile elektriksel özdirenç ölçümleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karbon lifi katkılı (5, 10, 15 mm) BSK numunelerinin özdirenç değişimleri sırasıyla Şekil 4.1, 4.2, 4.3 'de görülmektedir.



Şekil 4.1 5 mm KL'li BSK numunelerin özdirenç değerleri.



Şekil 4.2 10 mm KL'li BSK numunelerin özdirenç değerleri.



Şekil 4.3 15 mm KL'li BSK numunelerin özdirenç değerleri.

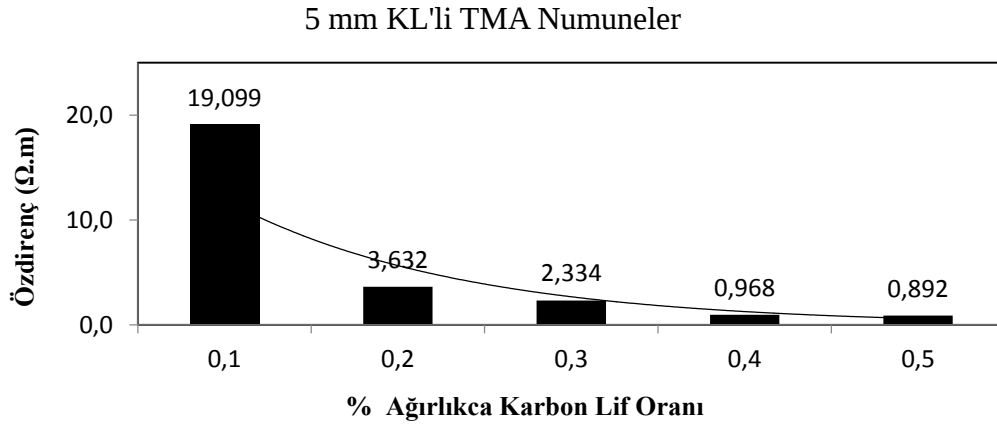
Her üç BSK serisindeki numunelerin hepsinde karbon lifi miktarı arttıkça özdirençin giderek azaldığı görülmüştür. Özdirençteki en büyük azalma Seri-1 numunelerinde elde edilmiştir. Bununla birlikte Seri-1 ve 2 numunelerinin sonuçları birbirine yakındır. Başlangıç numunelerinin (% 0,1) özdirenç değeri en düşük olan seri sırasıyla 1, 2 ve 3 olarak belirlenmiştir.

Tez çalışmasının bu kısmında TMA numuneleri içinde benzer ölçümler tekrarlanmış ve Seri 1, 2 ve 3 numunelerine ait özdirenç değişim grafikleri çizilerek sırasıyla Şekil...’de verilmiştir.

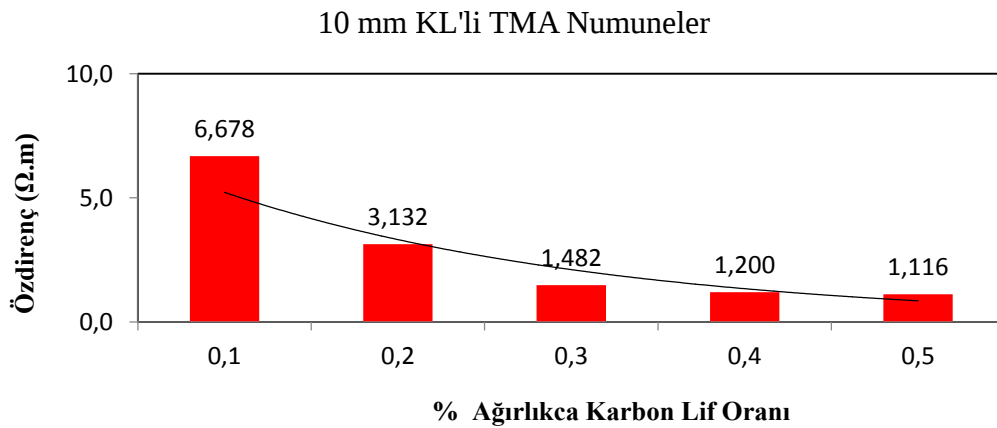
Tüm serilere ait numunelerde (5, 10 ve 15 mm) karbon lifi artışıyla birlikte, aynı BSK numunelerinde olduğu gibi, özdirenç değerlerinde azalma kaydedilmiştir. Her üç seride farklı karbon lifi içeriklerinde özdirençlerde % 80 civarındaki belirgin azalma görülmüştür. Seri 1 numunelerinde % 0,2 karbon lifi ilavesinde % 80 özdirenç azalması azalma görülürken, Seri 2 ve Seri 3 numunelerde sırasıyla % 0,4 ve % 0,3 karbon lifi ilavelerinde aynı azalma değerinin elde edildiği görülmüştür. TMA numunelerinde de özdirenç değeri en düşük olan seriler sırasıyla 1, 2 ve 3 olarak elde edilmiştir.

Dolayısıyla karbon lifinin az miktarlarda ve 5 mm uzunlukta kullanıldığında diğer serilere göre daha az topaklandığı düşünülmektedir. Bu deney sonucunda numunelerin

iletken hale getirilmesinde karışımdaki karbon lifi miktarı ve lif uzunluğunun oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir. Wu vd. tarafından da belirtildiği gibi karbon lifi katkılı numunelerde öz direnç değerleri 100 $\Omega\cdot m$.'nin altında elde edilmiştir. Genelde karbon lifleri yüksek en boy oranından iletken tozlara göre oldukça düşük öz dirence sahiptir. Numunelerden elde edilen sonuçlar bunu doğrulamaktadır. Tüm öz direnç grafiklerine üstel eğilim çizgileri eklendiğinde, iletken miktarı arttıkça giderek öz direnç eğilim çizgisinin de yataylaştığı görülmüştür. Garcia vd. (2009) tarafından da belirtildiği gibi iletken malzemeler içerisine ilave edilen iletken malzeme miktarı belli bir değere ulaştıktan sonra artık iletken miktarı ne kadar arttırılsa arttırılsın malzemenin iletkenliğinde önemli bir değişim görülmeyecektir. Elde edilen sonuçlar Garcia vd. (2009)'nin sonuçlarını doğrulamaktadır.

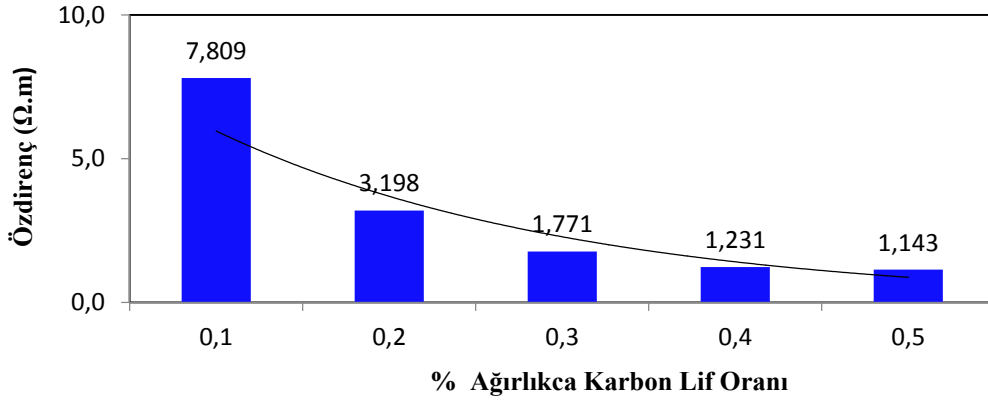


Şekil 4.4 5 mm KL'li TMA numunelerin öz direnç sonuçları değerleri.



Şekil 4.5 10 mm KL'li TMA numunelerin öz direnç değerleri.

15 mm KL'li TMA Numuneler



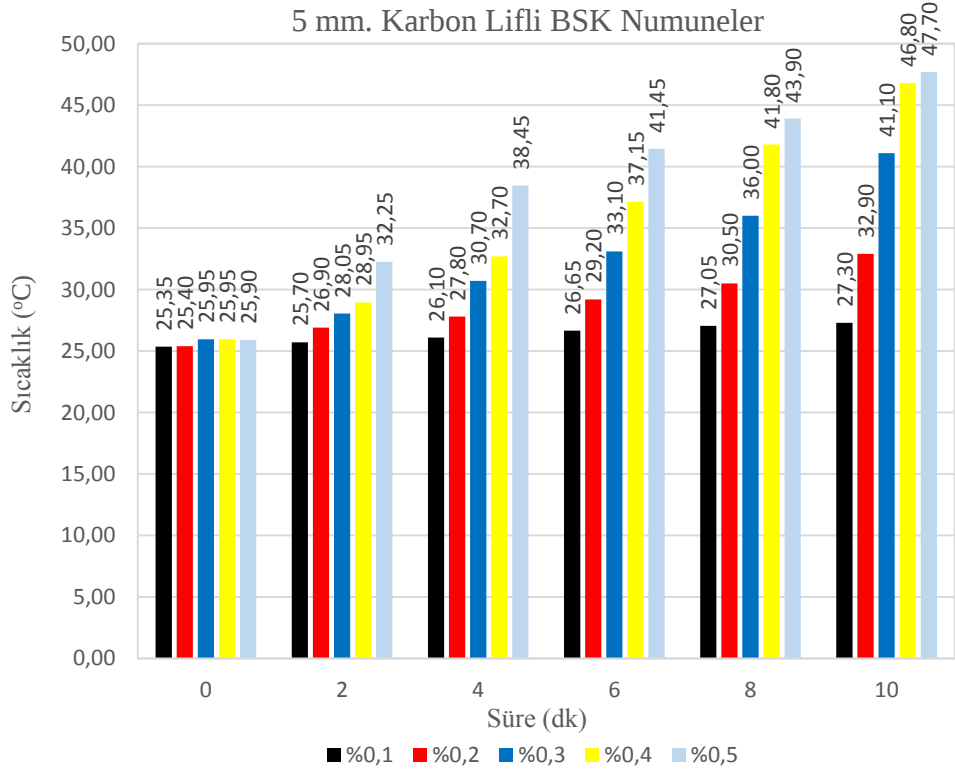
Şekil 4.6 15 mm KL'li TMA Numunelerin Özdirenç Sonuçları.

Numune tiplerine göre karşılaştırma yapıldığında her üç seri için özdirenç değerlerinin TMA numunelerinde daha düşük olduğu görülmüştür. Pan vd.(2014) iletkenlik üzerinde gradasyonun etkisini gösteren belirgin bir çalışma olmadığını belirtmiştir. Yapılan tez çalışması aynı karbon lifi özellikli serilerinin kullanıldığı TMA numunelerin daha iletken olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar üzerinde TMA'nın açık gradasyonunun etkili olduğu düşünülmektedir. Çünkü kapalı gradasyondaki farklı çaplardaki homojen agrega dağılımı iletken köprü oluşumunu kısmen de olsa zorlaştırabilir. Bununla birlikte açık gradasyonlu TMA numunelerinde iletken köprü oluşumunun BSK numunelere göre daha kolay olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte özdirenç sonuçları arasında belirgin bir fark görülmemesinin nedeni ise TMA numunelerinin optimum bitüm miktarının yüksek oluşuyla doğrudan ilişkisi olduğu düşünülmektedir. Nitekim Akbulut ve Gürer (2017) bitüm miktarının artışıyla birlikte iletkenlik değerlerinde azalmanın görüleceğini belirtmişlerdir. Elde edilen bulgular bu durumu doğrulamaktadır.

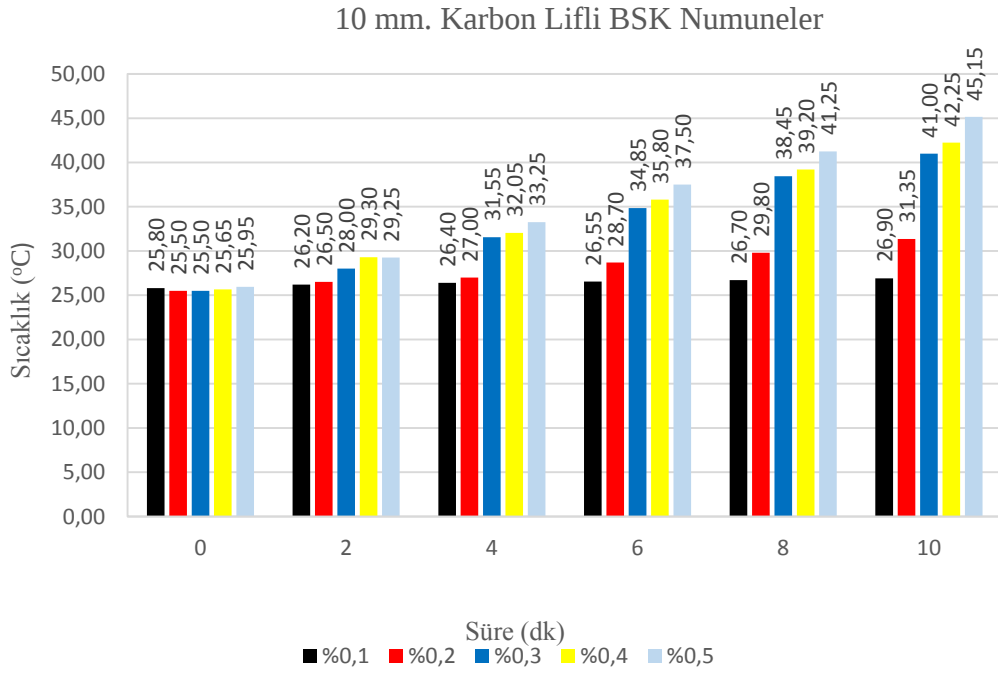
4.2 Elektrik İletkenli Asfalt Numunelerinin Sıcaklık Değişimleri

Bu deney kapsamında numuneler sabit gerilim 20 V altında elektrik akımı ile ısıtılmış ve sıcaklıklarında meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Sabit gerilim altında

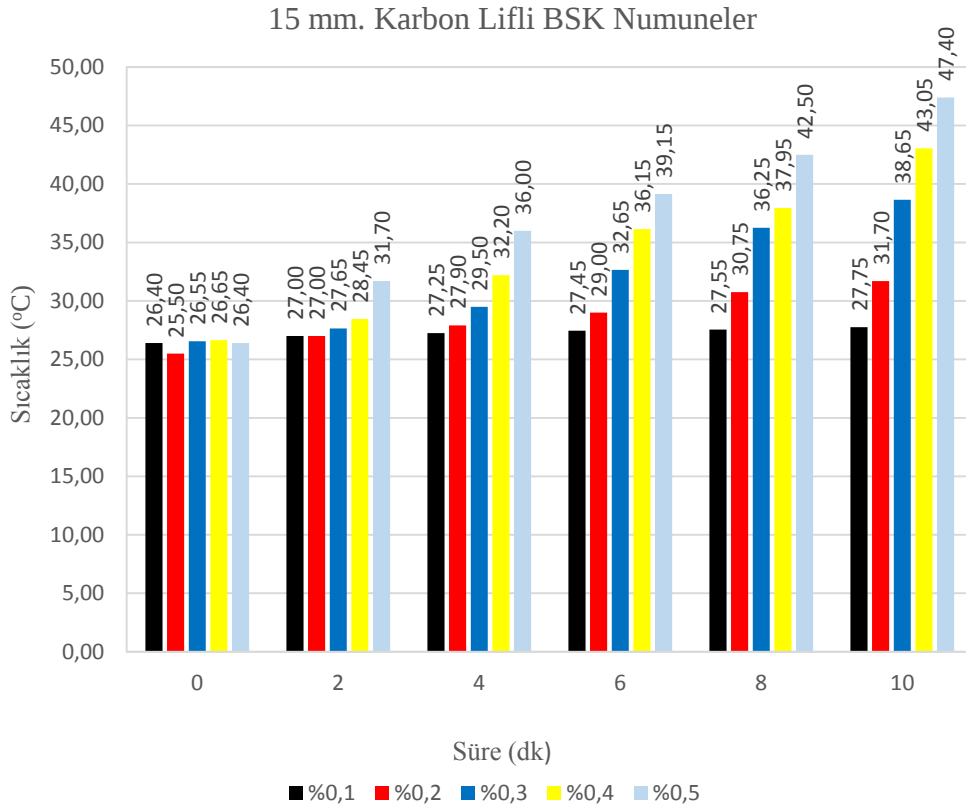
numunelerin sıcaklıklarında 2 şer dakika ara ile 10 dk'lık süre içinde meydana gelen değişimler sırasıyla Şekil 4.7, 8, 9, 10, 11 ve 12 'de görülmektedir.



Şekil 4.7 5 mm KL'li BSK numunelerin sıcaklık değişimleri.



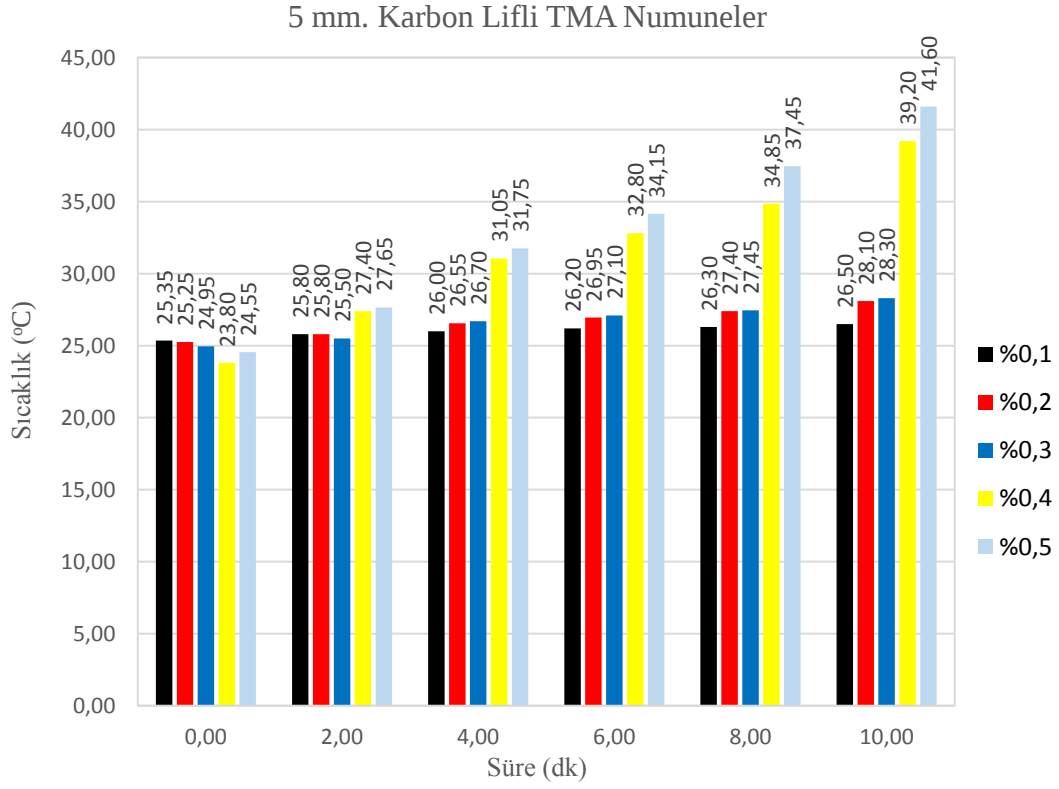
Şekil 4.8 10 mm KL'li BSK numunelerin sıcaklık değişimleri.



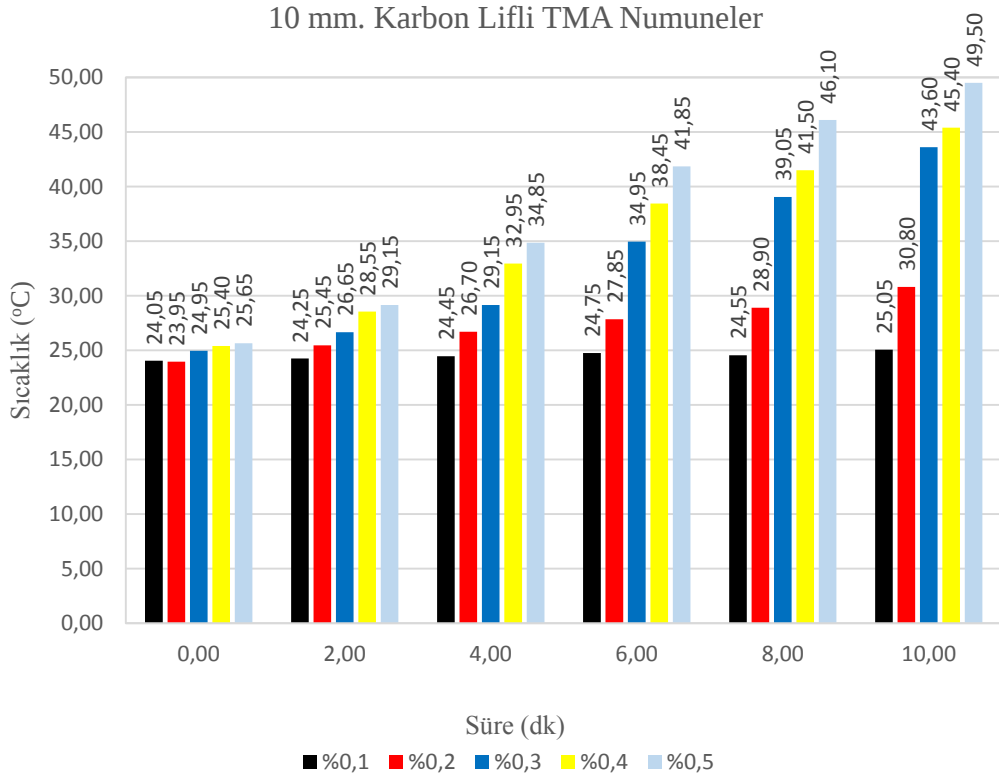
Şekil 4.9 15 mm KL'li BSK numunelerin sıcaklık değişimleri.

BSK numunelerinde elektrik gerilimi sürecinde maruziyet arttıkça numune sıcaklıklarında tüm serilere ait numunelerin sıcaklıklarında artış görülmüştür. BSK numunelerde karbon lifi miktarının artmasıyla birlikte numunelerin sıcaklıklarında da artış tespit edilmiştir. En yüksek sıcaklık artışı, öz direnç değişimlerinde olduğu gibi, % 0,5 karbon lifi ilaveli seri 1 numunelerinde elde edilmiştir. Onu sırasıyla seri 3 ve seri 2 takip etmiştir. BSK seri 1,2 ve 3 % 0,1 karbon lifi ilaveli numunelerinde sıcaklık artışının belirgin olmadığı görülürken tüm serilerde % 0,2 lif ilavesinden sonra artış eğilimi belirginleşmeye başlamıştır. Benzer şekilde tüm serilerde bu numunelerde öz direnç değerindeki azalmada % 0,2 den sonra belirginleşmiştir.

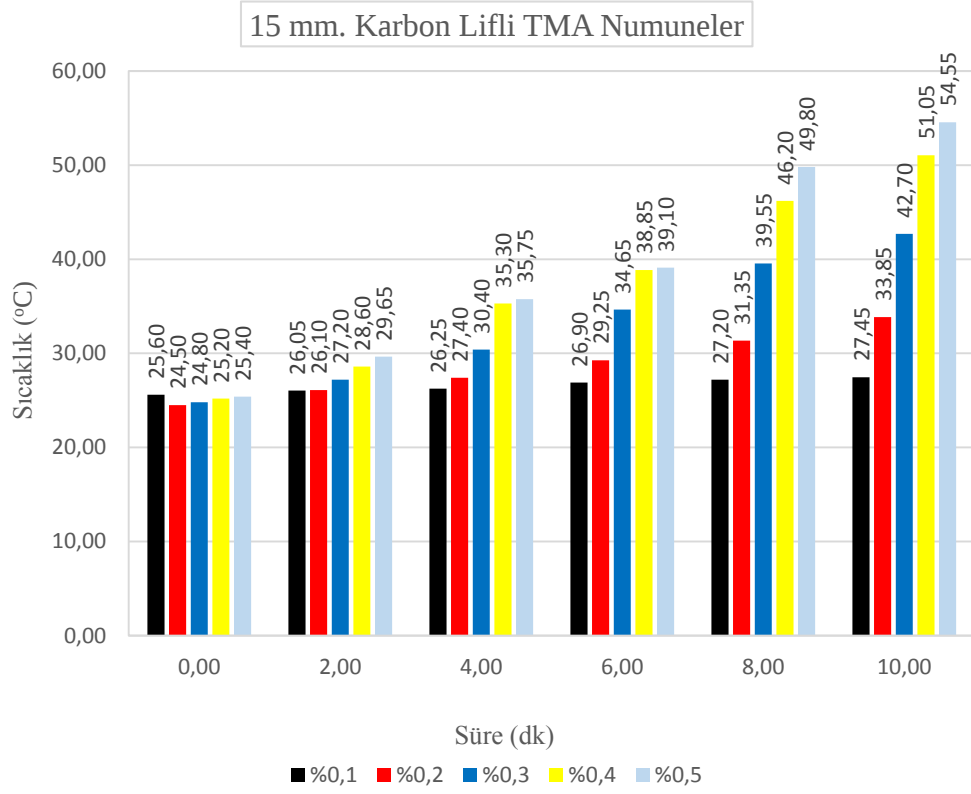
TMA numunelerde de sabit gerilime maruziyet süresi arttıkça tüm serilerde sıcaklık değerlerinde artış görülmüştür. Sıcaklık değerlerinin artışında karbon lifi miktarının da etkili olduğu belirlenmiştir. En yüksek sıcaklık artışı seri 1,2,3 numunelerinde sırasıyla % 0,4 % 0,2 ve % 0,2 olarak elde edilmiştir.



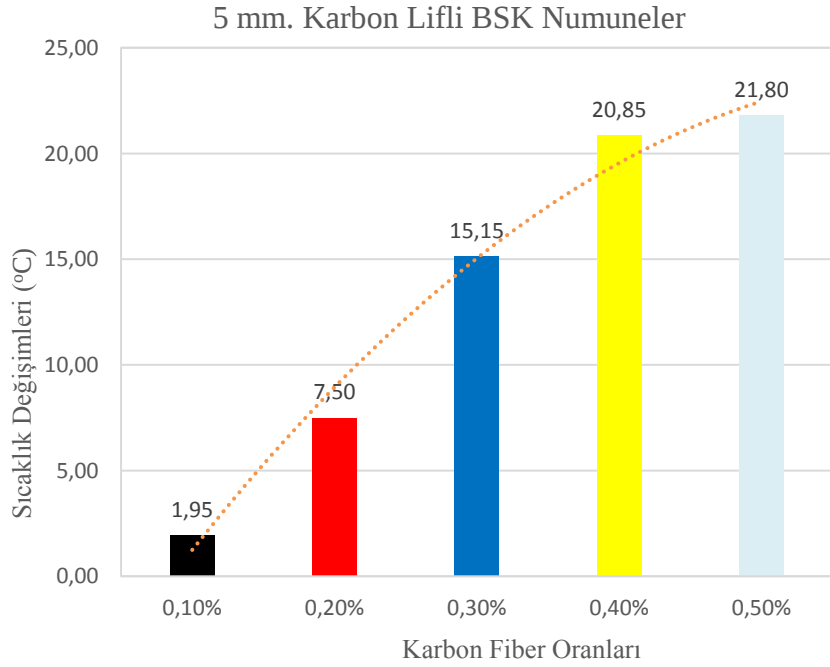
Şekil 4.10 5 mm KL'li TMA numunelerin sıcaklık değişimleri.



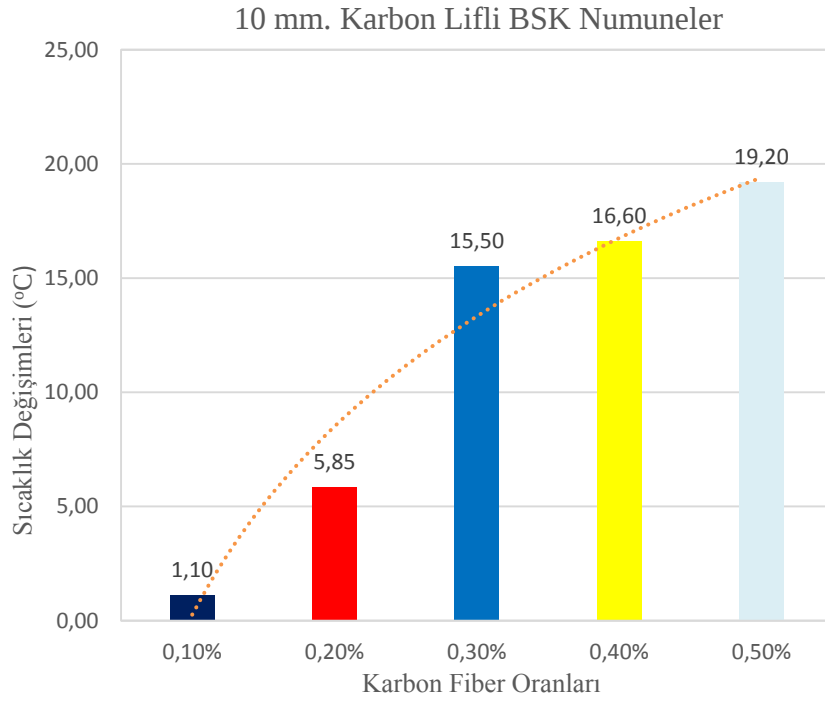
Şekil 4.11 10 mm KL'li TMA numunelerin sıcaklık değişimleri.



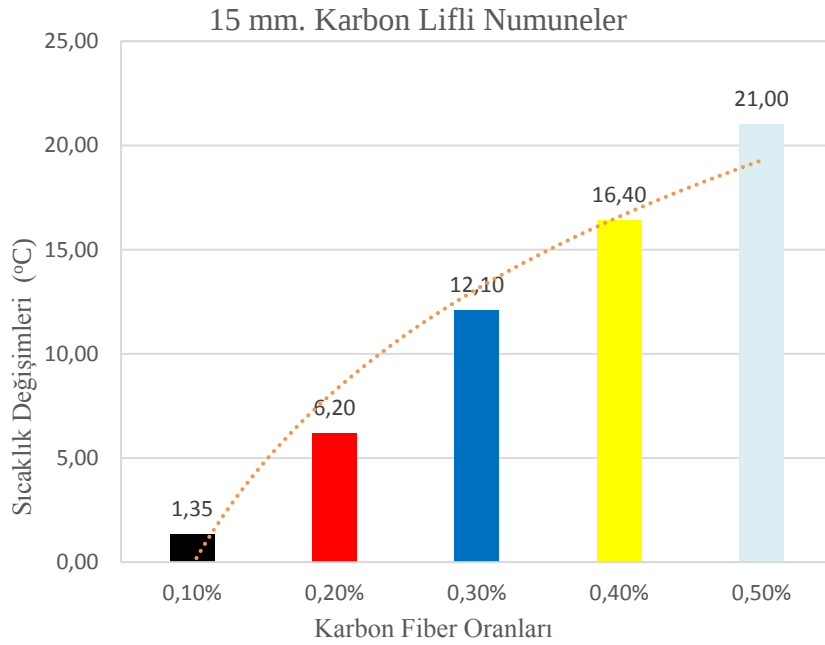
Şekil 4.12 15 mm KL'li TMA numunelerin sıcaklık değişimleri.



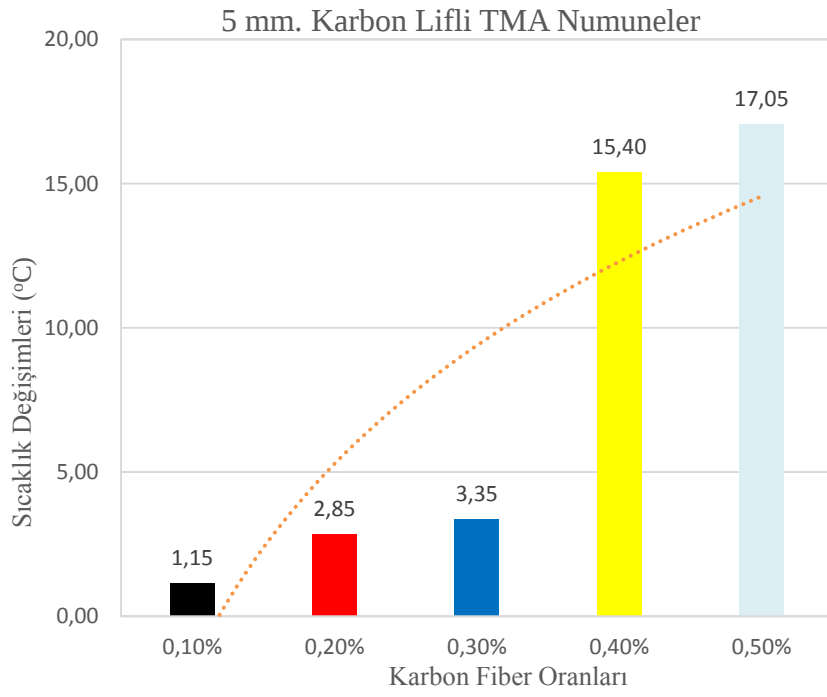
Şekil 4.13 5 mm KL'li BSK numunelerin 0-10 °C sıcaklık değişimleri.



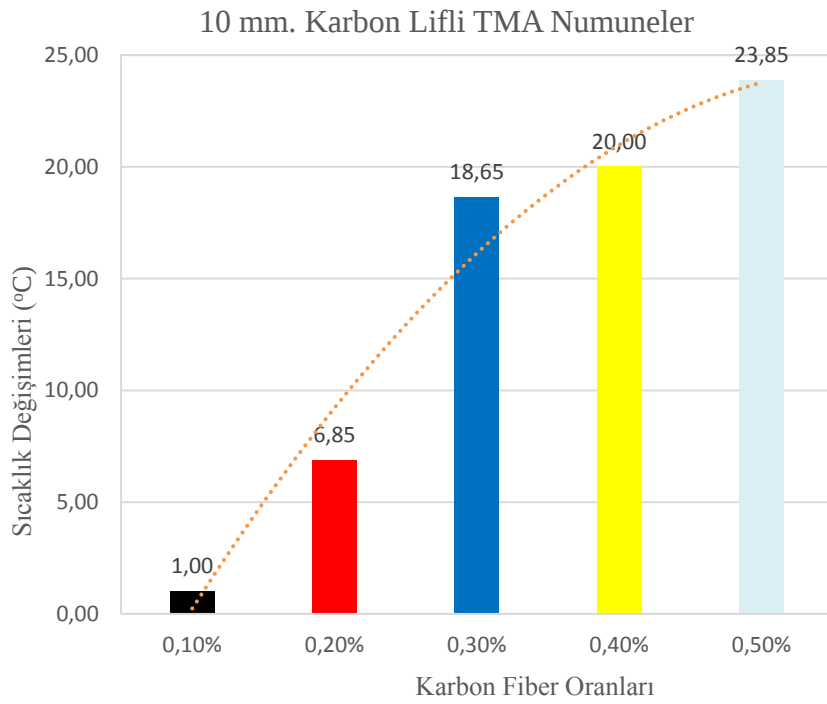
Şekil 4.14 10 mm KL'li BSK numunelerin 0-10 °C sıcaklık değişimleri.



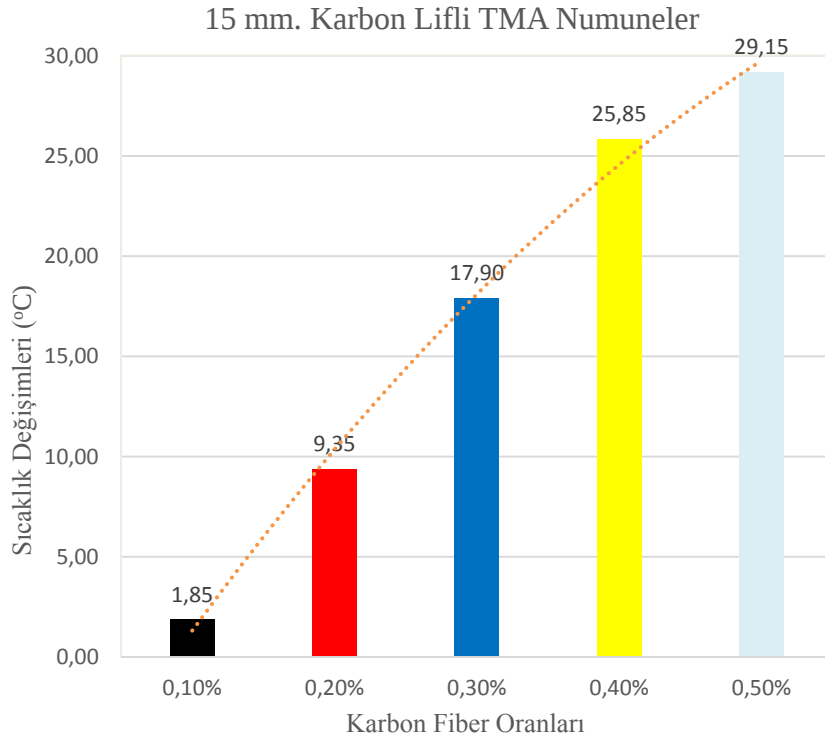
Şekil 4.15 15 mm KL'li BSK numunelerin 0-10 °C sıcaklık değişimleri.



Şekil 4.16 5 mm KL'li TMA numunelerin 0-10 °C sıcaklık değişimleri.



Şekil 4.17 10 mm KL'li TMA numunelerin 0-10 °C sıcaklık değişimleri.

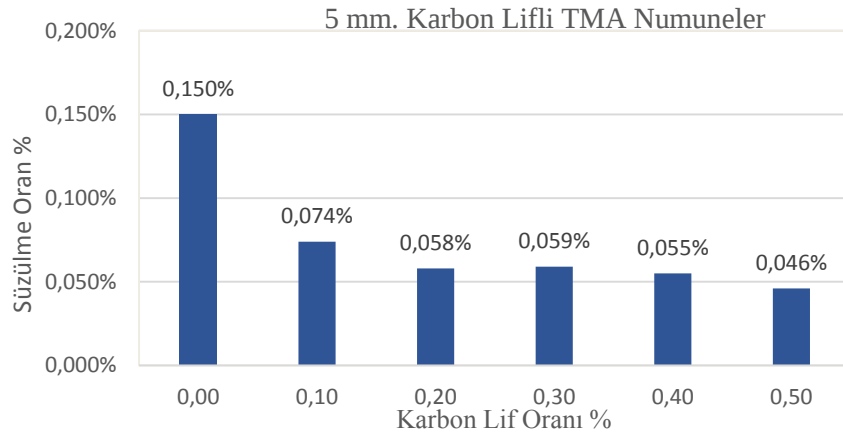


Şekil 4.18 15 mm KL'li TMA numunelerin 0-10 °C sıcaklık değişimleri.

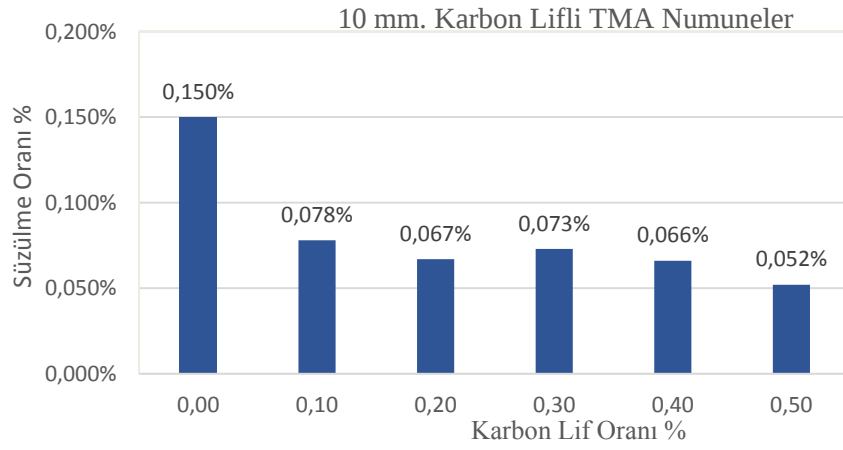
KL içerikli BSK ve TMA numunelerin 0-10 °C sıcaklık değişimleri şekil 4.13, 14, 15, 16, 17 ve 18 de görülmektedir. Bu grafiklerde görünen eğilim çizgisinde de anlaşıldığı gibi numunelere bir süre sonra sıcaklık değişimi sabit kalacaktır.

4.3 Schellenberger Bitüm Süzülme Deneyi Sonuçları

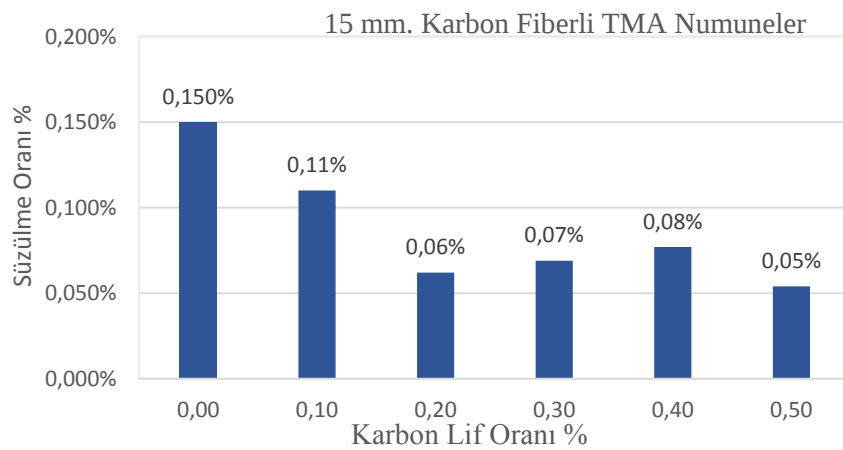
TMA numunelerde önemli bir problemde yüksek bitüm içeriğinden dolayı bitümün süzülme riskidir. Bunu önlemek için TMA bitümlü karışımlarında selülozik esaslı elyaf malzemesinin % 0,3-1,5 arasında kullanılması şartnameler tarafından önerilmektedir (TCK 2013). Yapılan tez çalışmasında, TMA karışım numunelerine ilave edilen KL'nin süzülme üzerinde bir etkisi olup olmadığının anlaşılması için her üç seri için, farklı KL oranındaki her numune üzerinde Schellenberger bitüm süzülme deneyleri yapılmış elde edilen sonuçlar Şekil 4.13, 14 ve 15'de verilmiştir.



Şekil 4.19 5mm KL'li TMA numunelerin schellenberger süzülme deneyi sonuçları.



Şekil 4.20 10mm KL'li TMA numunelerin schellenberger süzülme deneyi sonuçları.



Şekil 4.21 15mm KL'li TMA numunelerin schellenberger süzülme deneyi sonuçları.

Deney sonuçlarından da görüldüğü gibi, KL ilavesinin bitüm süzülmesi üzerinde etkili olduğu, dolayısıyla KL lifli numunelerde elyaf kullanımına gerek olmayabileceği görülmüştür. Tüm serilerde KL oranının artışıyla ters orantılı olarak süzülme miktarı da giderek azalmıştır.

4.4 Ultrases Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Ultrasonik test yöntemiyle herhangi bir betonun basınç dayanımını yeterince hassas olarak bulabilmek zor olmakla birlikte, herhangi bir beton içerisinden geçen ses üstü dalga hızı, o betonun içerdiği boşluk miktarı (ve yoğunluğu) ile yakından ilgili olduğu için, elde edilen sesüstü hız ile betonun kalitesi hakkında genel bir ilişki kurabilmek mümkün olabilmektedir. Whitehurst tarafından yoğunluğu yaklaşık 2400 kg/m³ olan betonlar üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonunda, ses üstü dalga hızı bilindiği takdirde beton kalitesinin ne olabileceğine dair önerilen sonuçlar Çizelge 4.1’de gösterilmiştir (Erdoğan 2003).

Çizelge 4.1 Ultrases - beton kalitesi arasındaki ilişki (Erdoğan, 2003).

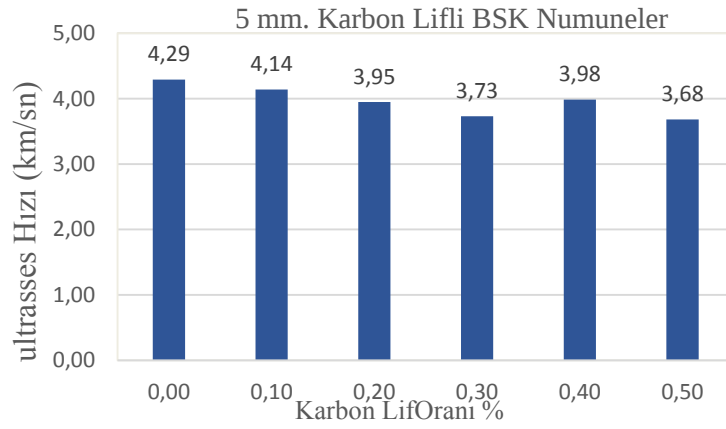
Dalga Hızı(m/Saniye)	>4500	3500-4500	3000-3500	2000-3000	<2000
Beton Kalitesi	Mükemmel	İyi	Şüpheli	Zayıf	Çok Zayıf

Bu tez çalışmasında da Marova (2013) tarafından yapılan çalışması esas alınarak bu deneyi numunelerin stabilitesini yorumlamak için ultrases deneyi yapılmıştır.

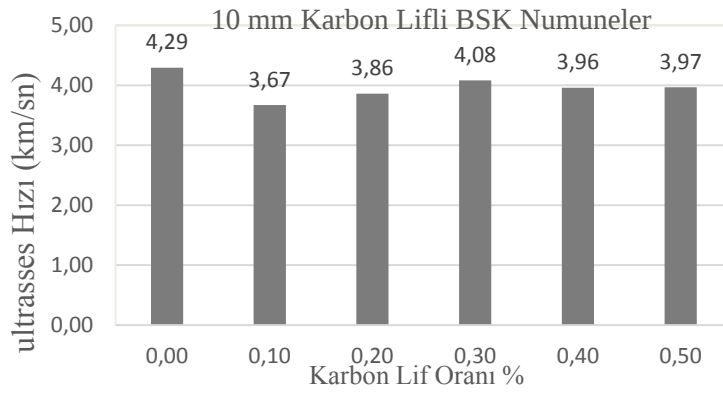


Resim 4.1 Ultrases deneyi.

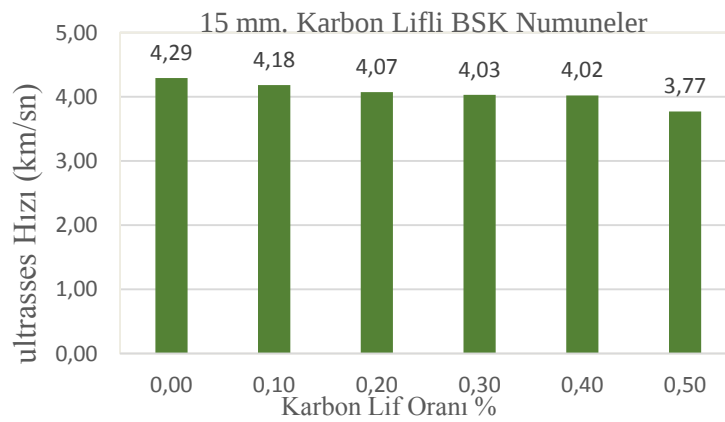
4.4.1 BSK ve TMA Numunelerinin Ultrases Deney Sonuçları



Şekil 4.22 5 mm KL'li BSK numunelerin ultrases deneyi sonuçları.

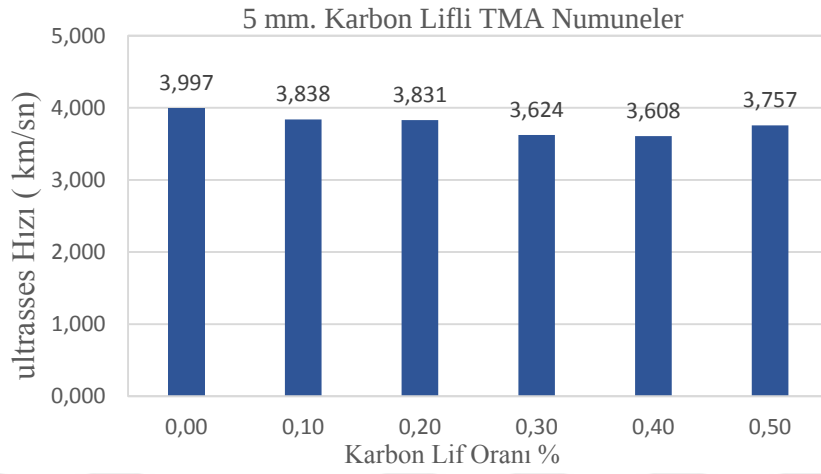


Şekil 4.23 10 mm KL'li BSK numunelerin ultrases deneyi sonuçları.

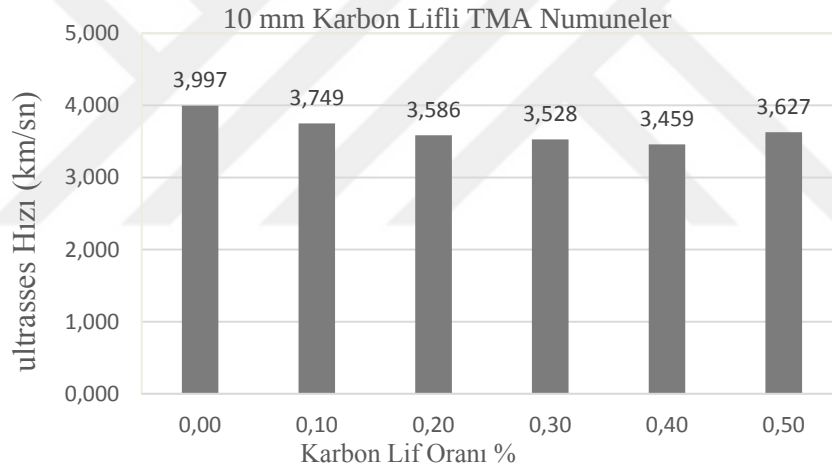


Şekil 4.24 15mm KL'li BSK numunelerin ultrases deneyi sonuçları.

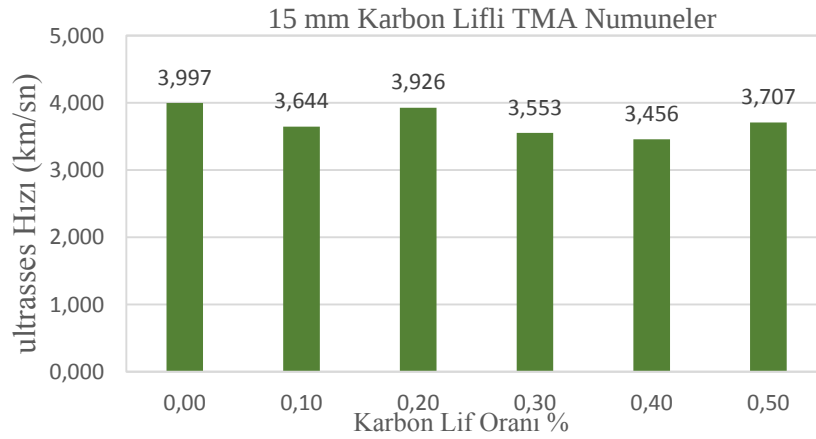
4.4.2 TMA Numunelerinin Ultrases Deney Sonuçları



Şekil 4.25 5mm KL'li ilaveli TMA numunelerin ultrases deneyi sonuçları.



Şekil 4.26 10 mm KL'li ilaveli TMA numunelerin ultrases deneyi sonuçları.

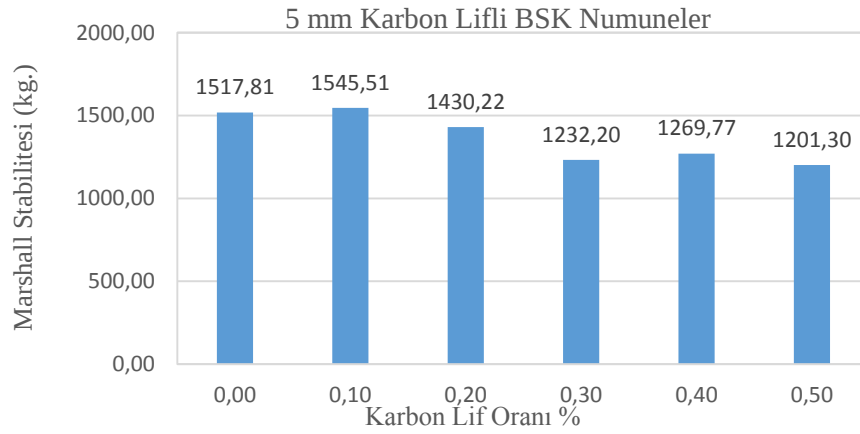


Şekil 4.27 15mm KL'li ilaveli TMA numunelerin ultrases deneyi sonuçları.

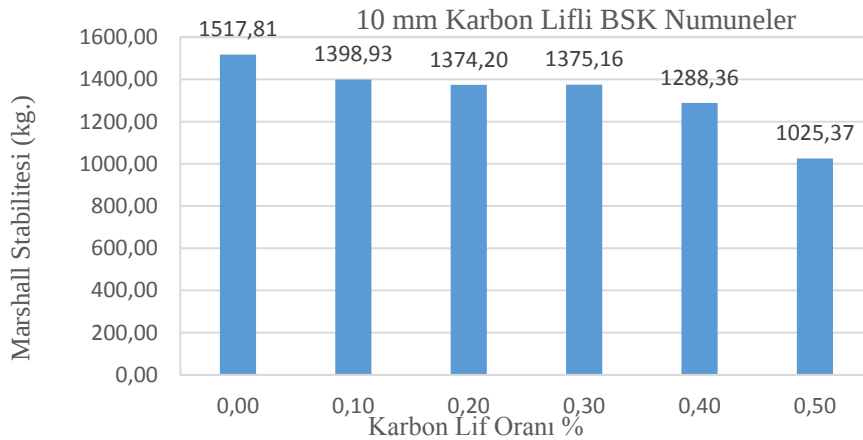
Asfalta karbon lifli bitümü absorbe ettiği için agrega ara yüzeyi ile boşluk meydana getirecektir. Sabit bitüm oranının da KL içerikli BSK ve TMA numunelerde agregalar arası fazla boşluk meydana geldiği için ultrases geçiş hızının azaldığı görülmüştür. Nitekim Özgan (2007), Turan ve Tanrıkulu (2013)'nın da belirttiği gibi karbon lifi arttıkça yoğunluk azalmakta numunelerin ultrases geçiş hızları da azalmaktadır.

4.5 Karbon Lifli Numunelerin Marshall Stabilite ve Akma Deneyi Sonuçları

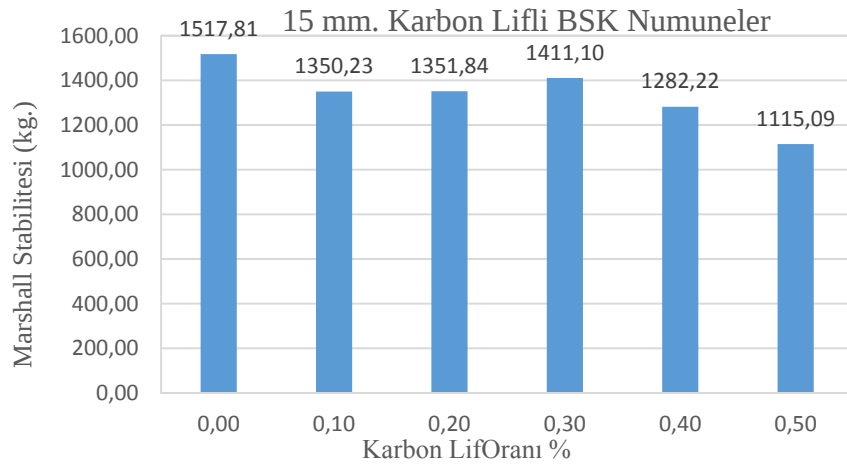
Karbon lifli BSK ve TMA numunelerinin Marshall Stabilite/Akma ölçer deney cihazında kırılması neticesinde Stabilite değerleri elde edilmiştir. Karbon lifli numunelerin stabilite değerleri değişimleri sırasıyla Şekil 4.28, 29, 30, 31, 32 ve 33'de verilmiştir.



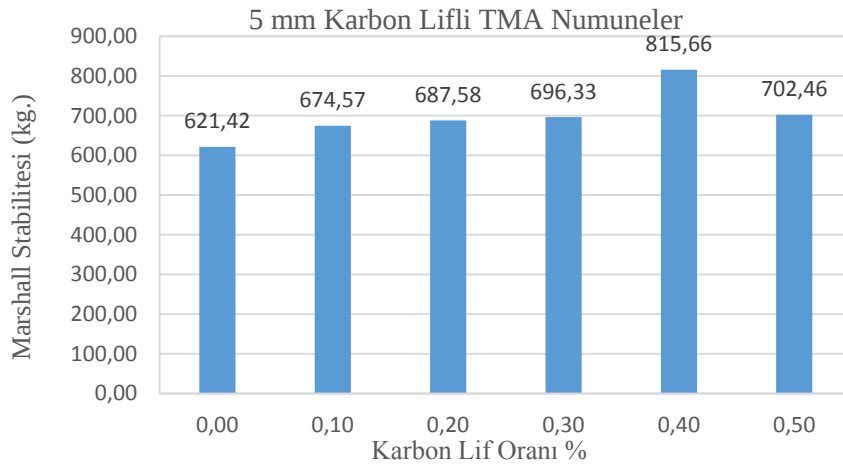
Şekil 4.28 5 mm KL'li ilaveli BSK numunelerin marshall stabilite sonuçları.



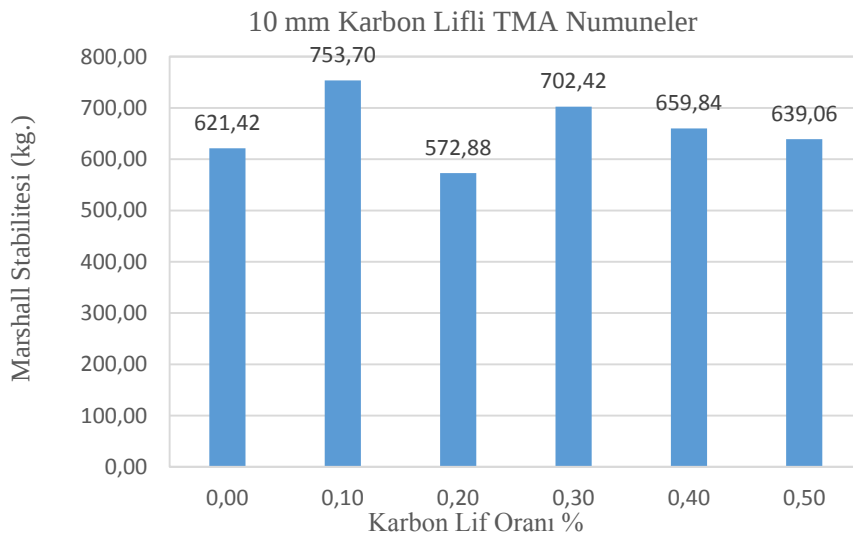
Şekil 4.29 10 mm KL'li ilaveli BSK numunelerin marshall stabilite sonuçları.



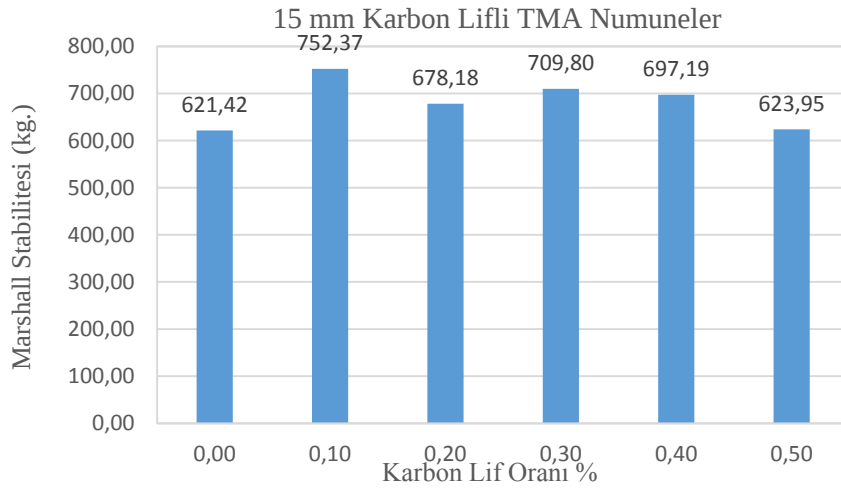
Şekil 4.30 15 mm KL'li ilaveli BSK numunelerin marshall stabilite sonuçları.



Şekil 4.31 5 mm KL'li ilaveli TMA numunelerin marshall stabilite sonuçları.



Şekil 4.32 10 mm KL'li ilaveli TMA numunelerin marshall stabilite sonuçları.



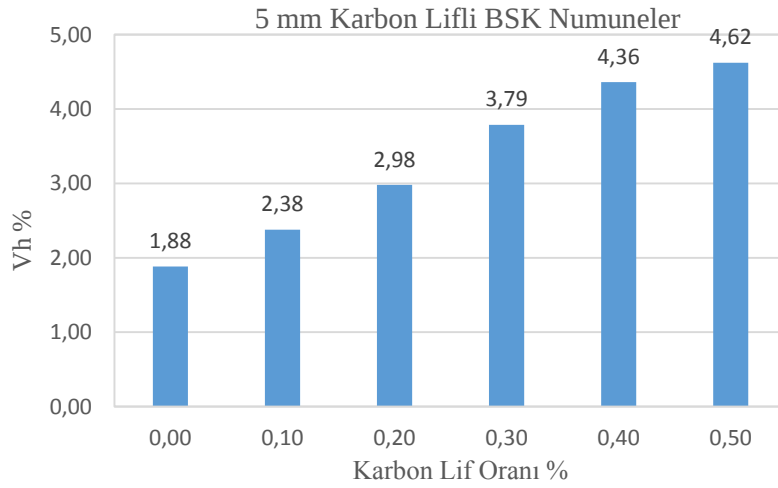
Şekil 4.33 15 mm KL'li ilaveli TMA numunelerin marshall stabilite sonuçları.

5 mm'lik lifin kullanıldığı BSK numunelerinin stabilite değerlerinde % 0,1 lif oranında stabilite değerinde artış meydana gelmiş, bundan sonraki lif miktarlarında ise (% 0,2-0,3-0,3-0,5) azalma olduğu görülmüştür. 5 mm'lik TMA numunelerde ise stabilite değerlerinde şahit numuneye göre (% 0,0) % 0,4 lif ilavesine kadar stabilite değerinde % 31 artış görülmüş, % 0,5 lif katkılı numunelerde ise maksimum stabilite değeri % 14 oranında azalmıştır. 10 mm'lik lifin kullanıldığı BSK numunelerde ise şahit numunelere göre stabilite değerlerinde azalma eğilimi görülmüştür. Serin vd. (2012) bitümlü karışım içerisinde farklı yüzdelerde çelik kullanmışlar stabilite değerinin % 0,75 çelik lifi oranında arttığını fakat daha fazla lif ilave edildiğinde ise azaldığını belirlemişlerdir. Farklı bitüm oranlarında ise bu artış miktarları değişmiştir. % 0,5 karbon lifi kullanımında % 32'lik bir stabilite değeri bulunmaktadır. Bununla birlikte stabilite değeri 1025 kg olup şartname sınır değerinden yüksektir. TMA numunelerde ise genelde artış eğilimi olmakla birlikte stabilite değerlerinde bir kararsızlık söz konusudur. 15 mm'lik lif katkılı BSK numunelerde ise stabilite değeri şahit numuneye göre % 27 azalmıştır. TMA numunelerde ise 10 mm'lik numunelere benzer şekilde hafif bir eğilimi görülmüştür.

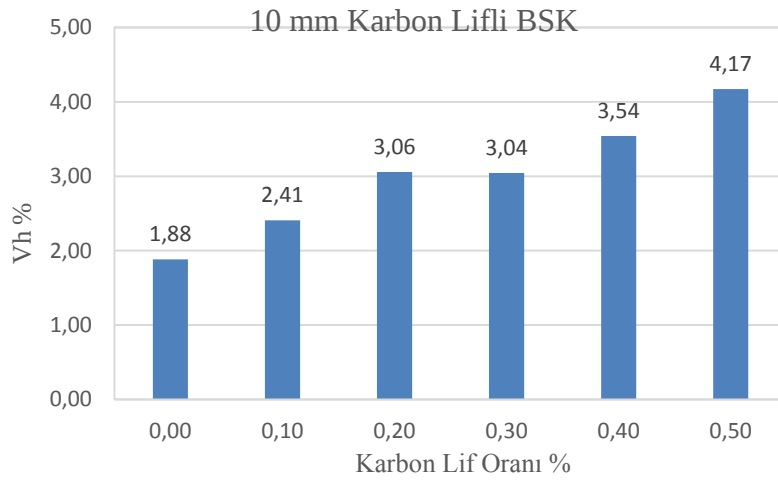
BSK numunelerinin stabilite değerlerinin, karbon lifi içermeyen numune değerlerine göre düşük olduğu görülmüştür. Bunun en önemli nedeninin karbon lifi içeriği arttıkça karışımdaki bitüm gereksiniminin de artmasına bağlanmaktadır. Lifli BSK numunelerde karbon lifi içeriği arttıkça stabilite değerleri de azalmaktadır. Bununla birlikte BSK

numunelerinin stabilite değerleri KTŞ (2013) şartname sınır değerinin üzerindeyken TMA numunelerde KTŞ (2013) şartname değerlerinin altındadır. TMA numunelerde hem şahit hem karbon lifli numunelerin stabilite değerlerinin düşük olduğu görölmektedir. Optimum bitüm yüzdesinin % 6,5 oluşunun bu durum üzerinde etkili olduğu düşünölmektedir. Çünkü TMA numunelerinde KTŞ şartnamelerine göre en düşük bitüm yüzdesi kullanımı ağırlıkça % 6,5 olarak önerilmektedir. Karışım içerisindeki karbon lifinin artışıyla birlikte optimum bitüm miktarının da yetersiz kaldığı düşünölmektedir. Fakat TMA numunelerde karbon lifleri bu durumu belli bir orana kadar iyileştirmiş bu nedenle stabilite değerlerinde bir miktar artış eğilimi görölmüşür. Nitekim Chen vd'nin (2009) belirttiğı gibi karışım içerisinde farklı lifler kullanıldığında hiç lif kullanılmayan karışımlara göre optimum bitüm yüzdesinde artış meydana gelmektedir. Yine Chen vd. (2009) sabit bitüm oranı kullanarak farklı liflerle denemeler yapılmış ve bu durumda Marshall stabilite değerlerinde belirgin bir gelişme görmemişlerdir. Her bir farklı lif için optimum bitüm miktarı hesaplanıp bu orana göre karışım üretildiğinde ise Marshall stabilite değerlerinde gelişme olduğu gözlenmiştir. Şayet yapılan tez çalışmasında da her bir farklı karbon lifi yüzdesi için dizayn yapıp bu değer kullanılmış olsaydı hem BSK hem TMA numunelerinin stabilite değerlerinde de artış eğilimi göröleceğı, TMA numunelerin ise şartname sınır değerlerini sağlayabileceğı düşünölmektedir.

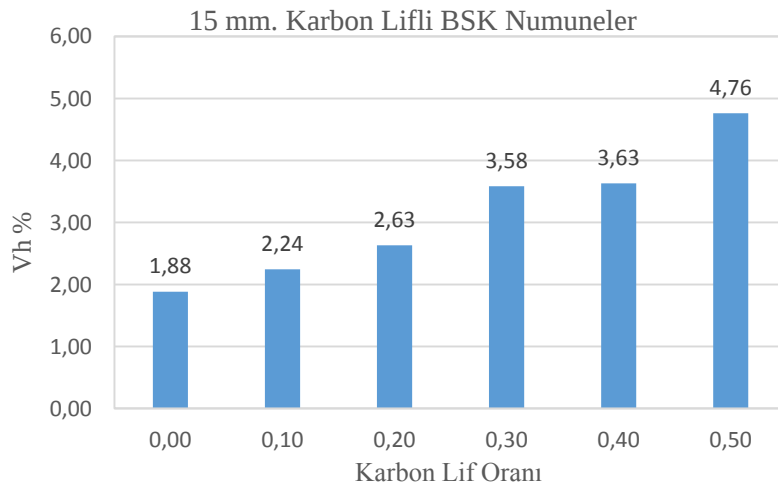
KTŞ şartnamesinde (2013) BSK ve TMA karışımlardaki boşluk oranı için bir alt ve üst sınır belirlenmiştir (% 3-5). Üst sınır konulmasının sebebi, boşluğun artmasının stabilite ve birim ağırlığın azalmasına, geçirimsizliğin ise artmasına yol açmasıdır. Diğer taraftan ise sıcak aylarda bağlayıcı viskozitesinin azalması sonunda boşlukların tamamen bağlayıcı ile dolması, agreganın bağlayıcı ile yağlanmış hale gelerek, bağlayıcı kusmasını önlemek amacıyla boşluk oranı için bir alt sınır önerilmiştir. BSK ve TMA numunelerdeki Boşluk (Vh) ve KL içeriğı ilişkisine ait grafikler sırasıyla Şekil 4.34, 35, 36, 37, 38 ve 39'da görölmektedir.



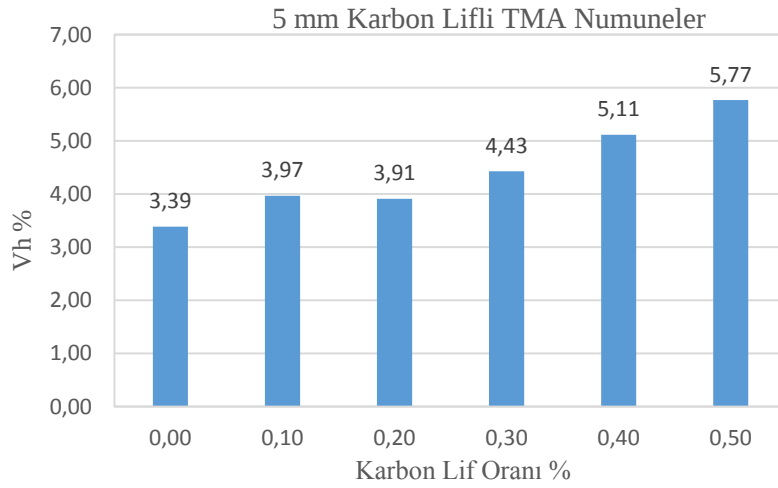
Şekil 4.34 5 mm KL'li ilaveli BSK numunelerin Vh (boşluk) sonuçları.



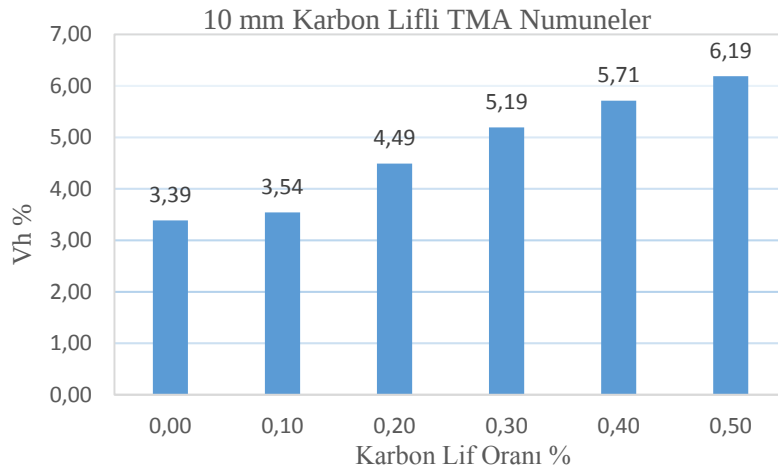
Şekil 4.35 10 mm KL ilaveli BSK numunelerin Vh (boşluk) sonuçları.



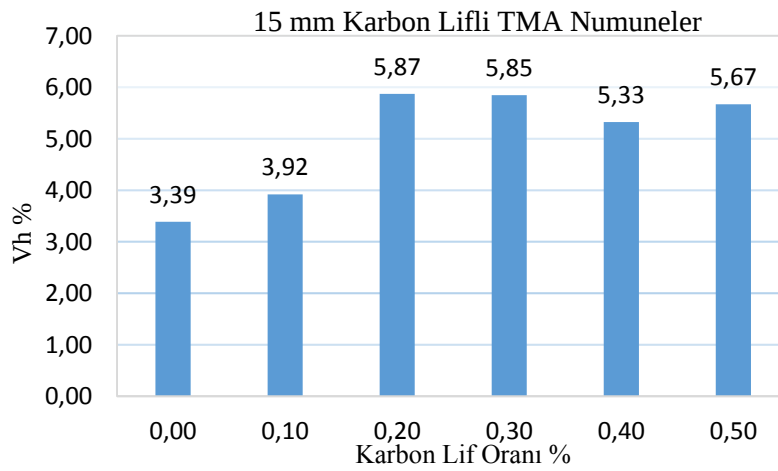
Şekil 4.36 15 mm KL ilaveli BSK numunelerin Vh (boşluk) sonuçları.



Şekil 4.37 5 mm KL ilaveli TMA numunelerin Vh (boşluk) sonuçları.



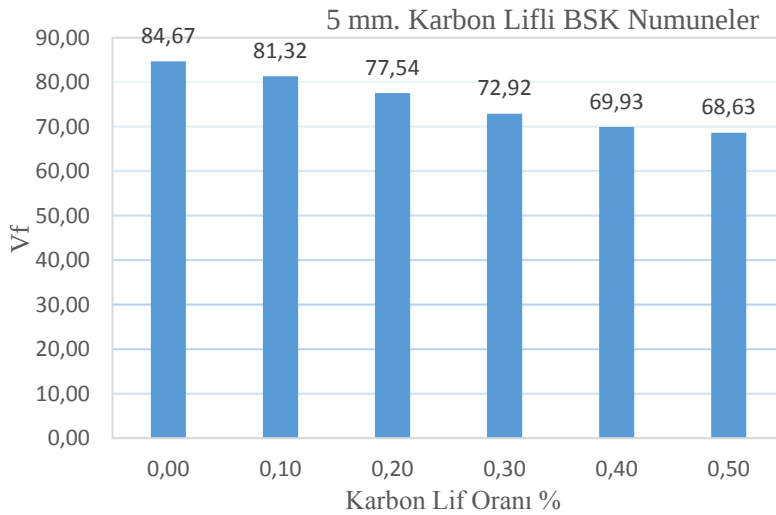
Şekil 4.38 10 mm KL'li ilaveli TMA numunelerin Vh (boşluk) sonuçları.



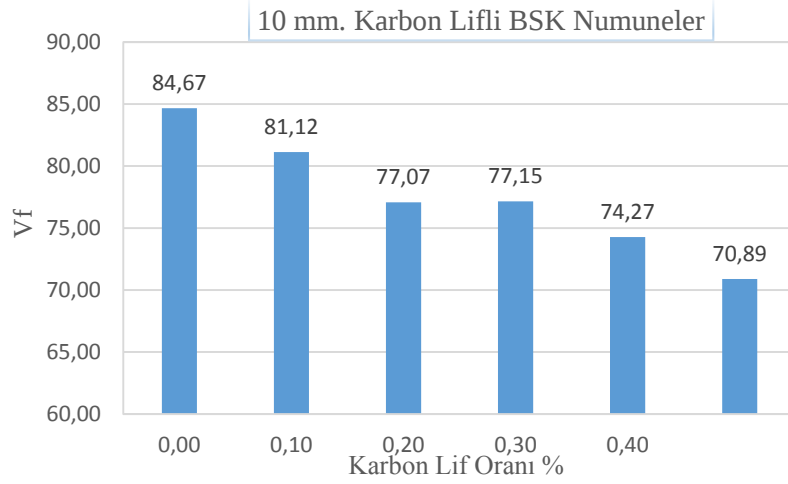
Şekil 4.39 15 mm KL ilaveli TMA numunelerin Vh (boşluk) sonuçları.

Dolayısıyla karışımdaki boşluk miktarı artışının karbon liflerinin bitümü absorbe etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu da tüm BSK numunelerinde şahit numuneye göre stabilite değerlerinde azalma olmasına yol açmıştır. KTŞ şartnamelerine göre karışımdaki boşluk değerinin % 3 ila 5 arasında olması gerekmektedir. 5mm BSK karışımlarda boşluk değerleri yalnızca % 0,4 ve % 0,5 KL ilaveli numunelerde şartname sınırları içerisindeyken 5 mm TMA karışımlarda ise boşluk değerleri % 0,3 KL ilavesinden sonra şartname üst sınırını geçmiştir. Bu da % 0,5 KL ilavesinden sonra TMA stabilite değerlerinde önemli azalmalara yol açmıştır. 10 mm BSK numunelerde ise boşluk değerleri %0,1 numunelerde şartname sınır değerlerinden küçüktür. 10 mm TMA numunelerde ise % 0,4 KL ilavesinden sonra boşluk değerleri şartname sınırlarının dışında kalmaktadır. 15 mm KL ilaveli BSK numunelerin boşluk değerleri 10 mm KL lifli numunelerde olduğu gibi % 0,1 KL ilavesinde boşluk değerleri şartname sınır değerinden (% 3) düşüktür. 15 mm KL ilaveli TMA numunelerde ise % 0,1 KL ilavesinden sonra boşluk değerleri şartname üst sınır (% 5) değerinden yüksek elde edilmiştir.

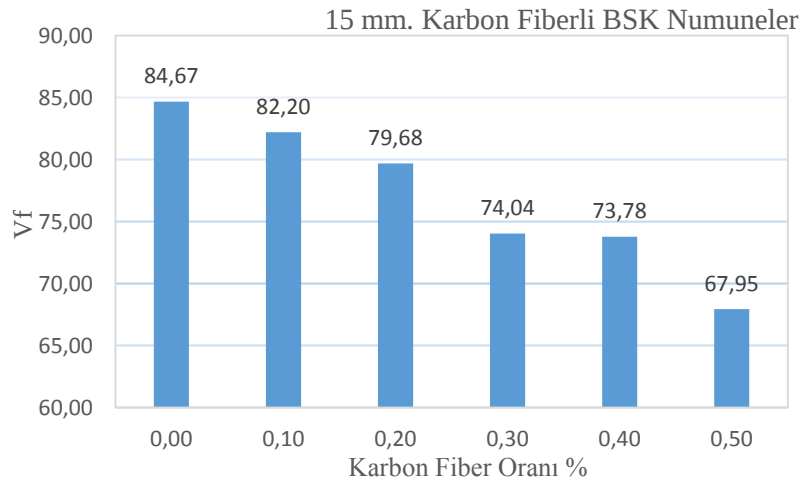
KL içerikli BSK ve TMA numunelerde, lif oranı ve uzunluğu arttıkça karışımdaki boşluk miktarında da artma eğilimi olduğu görülmektedir. Fakat boşluk miktarındaki artışın TMA numunelerde daha yüksek olduğu görülmektedir.



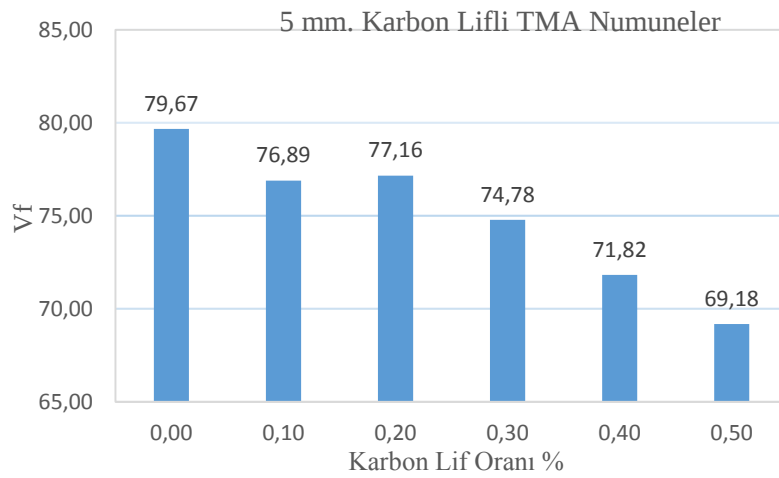
Şekil 4.40 5 mm KL ilaveli BSK numunelerin Vf sonuçları.



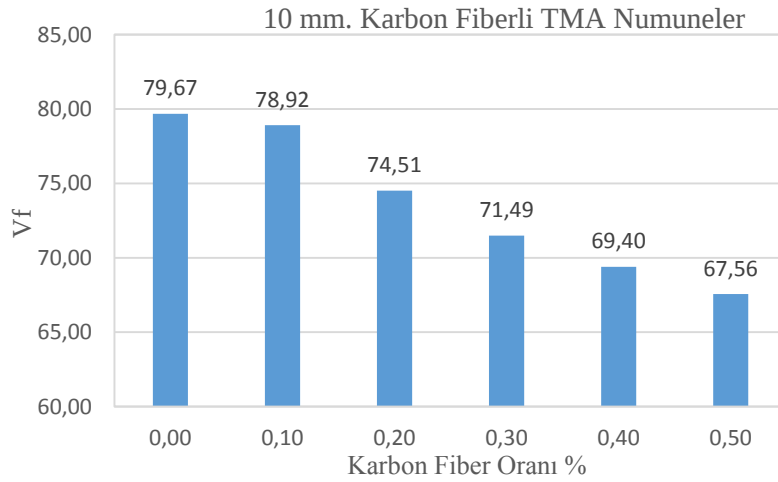
Şekil 4.41 10 mm KL ilaveli BSK numunelerin Vf sonuçları.



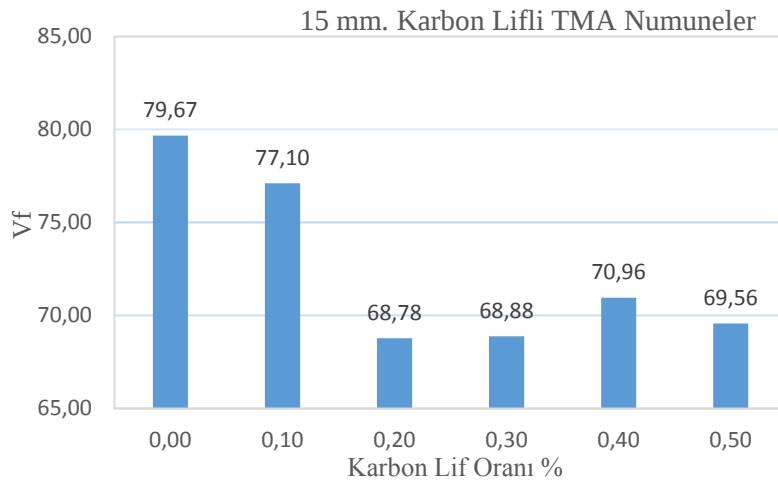
Şekil 4.42 15 mm KL ilaveli BSK numunelerin Vf sonuçları.



Şekil 4.43 5 mm KL ilaveli TMA numunelerin Vf sonuçları.



Şekil 4.44 10 mm KL ilaveli TMA numunelerin Vf sonuçları.

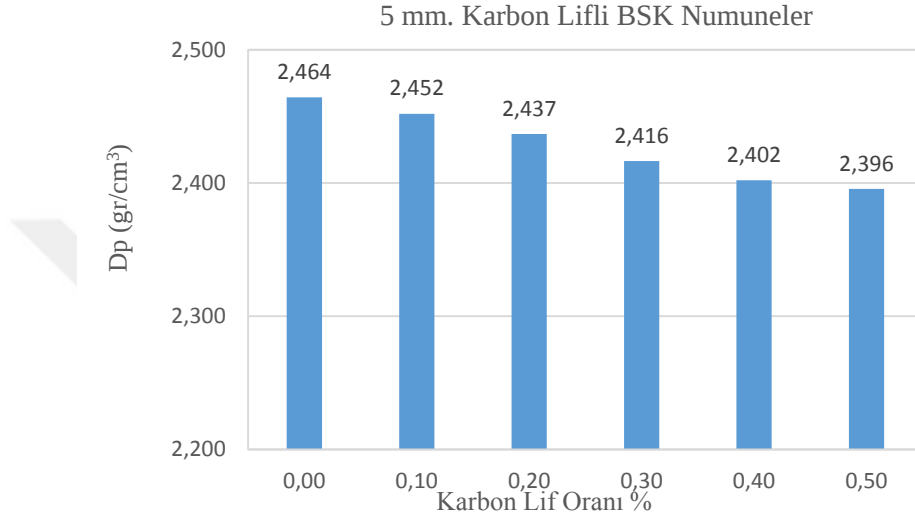


Şekil 4.45 15 mm KL ilaveli TMA numunelerin Vf sonuçları.

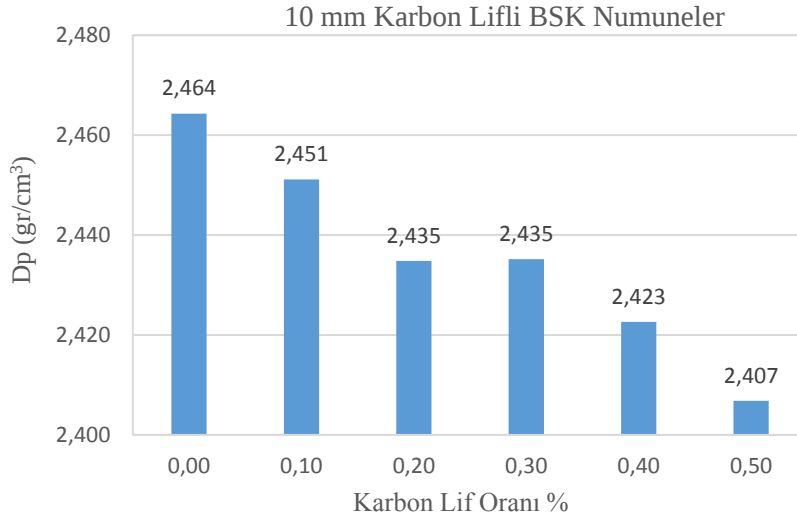
Bitümlü karışım numunelerin durabilitesi açısından bitümle dolu boşluğun önemi oldukça büyüktür. KTŞ (2013) şartnamelerine göre bu oranın en az % 70 olması gerekmektedir. KL ilaveli BSK ve TMA numunelerin bitümle dolu boşluk (Vf) değişimleri sırasıyla Şekil 4.40, 41, 42, 43, 44, 45’de görülmektedir. BSK numunelerinde % 0,5, TMA numunelerinde ise % 0,2 karbon lifi ilavesinden sonra KTŞ alt sınır değerinin (% 70) daha da altına düşülmektedir. Bu durum stabilite sonuçlarında bu değerlerden sonra olumsuz davranış şeklinde belirginleşmektedir. 10 ve 15 mm lif içerikli BSK numunelerinde tüm numunelerde VFA minimum sınır değeri (% 70) sağlanmıştır. 10 mm KL içerikli TMA numunelerde ise % 0,4 ve % 0,5 KL yüzdelerinde VFA şartname minimum değerinin altında elde edilmiştir. 15 mm KL

içerikli numunelerde ise VFA yalnızca şahit, % 0,1 ve % 0,4 numunelerinde şartname sınır değerini sağlamıştır.

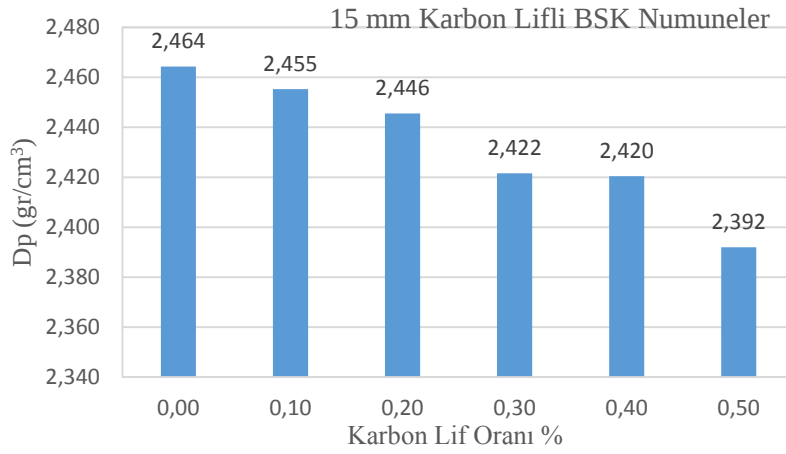
Bitümlü karışımların yoğunlukları arttıkça durabilite ve stabilite gibi fiziksel ve mekanik özellikleri daha iyi olur. BSK ve TMA numunelerdeki KL içeriği ve Yoğunluk (Dp) ilişkisine ait grafikler sırasıyla Şekil 4.46, 47, 48, 49, 50 ve 51’de görülmektedir



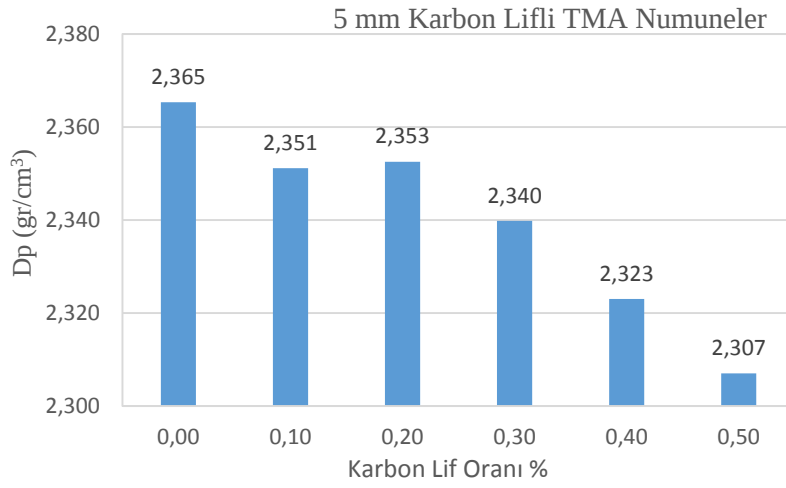
Şekil 4.46 5 mm KL ilaveli BSK numunelerin Dp (yoğunluk) sonuçları.



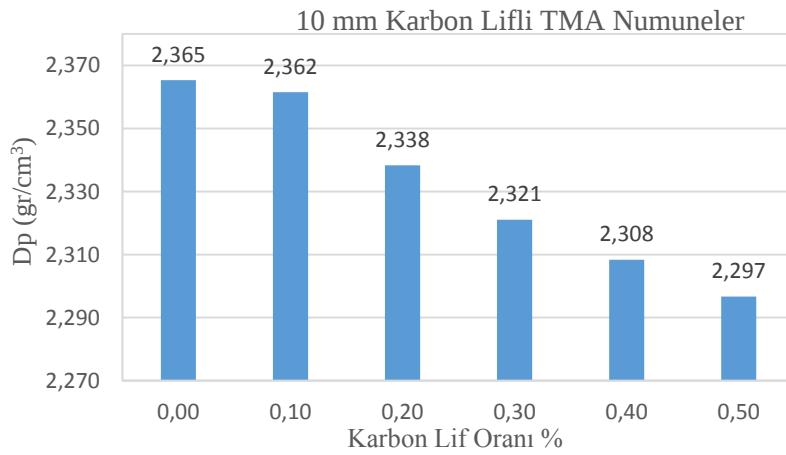
Şekil 4.47 10 mm KL ilaveli BSK numunelerin Dp (yoğunluk) sonuçları.



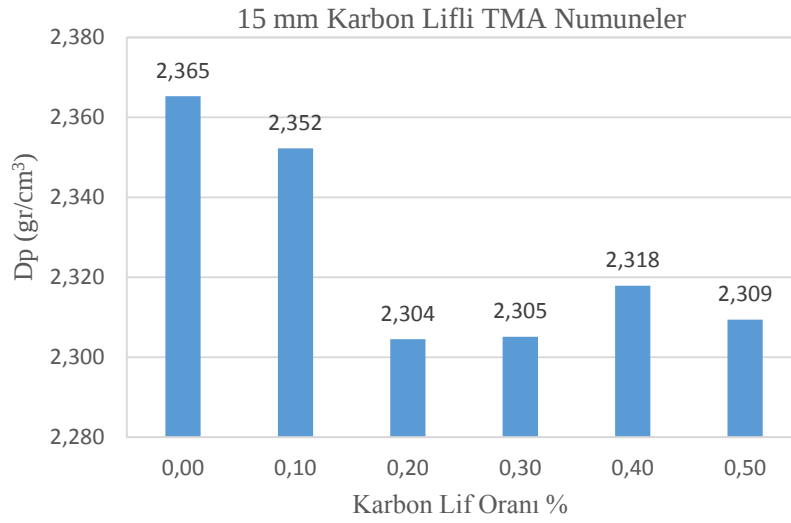
Şekil 4.48 15 mm KL ilaveli BSK numunelerin Dp (yoğunluk) sonuçları.



Şekil 4.49 5 mm KL ilaveli TMA numunelerin Dp (yoğunluk) sonuçları.



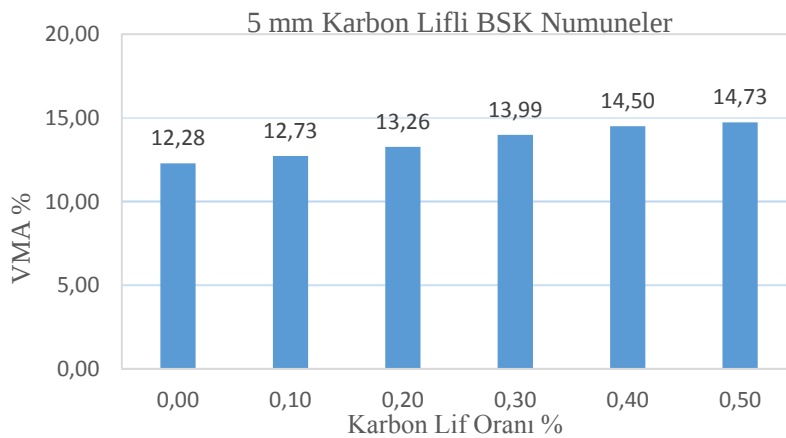
Şekil 4.50 10 mm KL ilaveli TMA numunelerin Dp (yoğunluk) sonuçları.



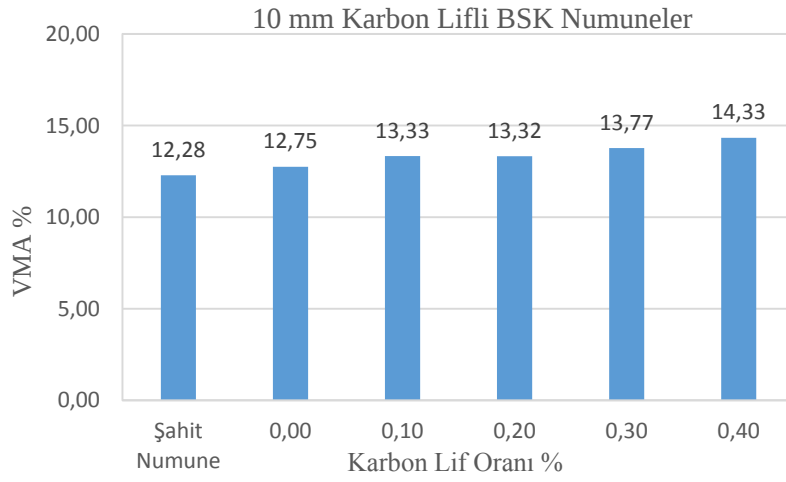
Şekil 4.51 15 mm KL ilaveli TMA numunelerin Dp (yoğunluk) sonuçları.

Boşluk özelliği ile ters orantılı, stabilite özelliği ile doğru orantılı olarak BSK ve TMA numunelerde KL oranı ve çapı arttıkça karışımların yoğunluklarının da azaldığı görülmektedir. En büyük azalmanın TMA numunelerde olduğu görülmektedir.

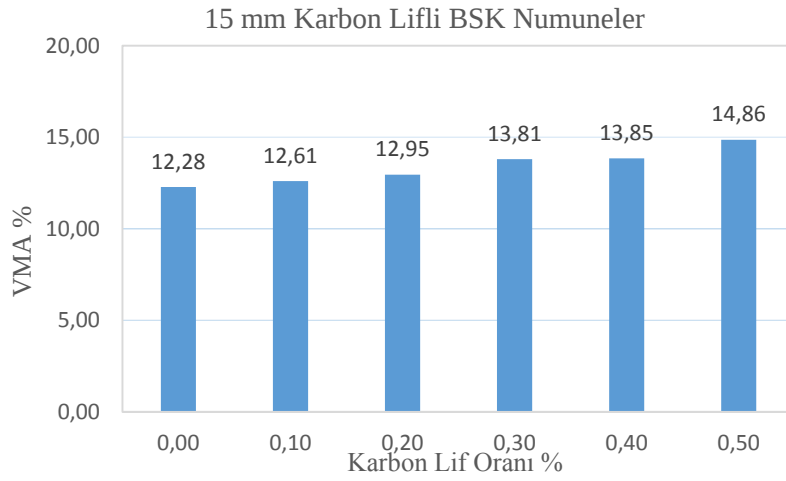
Agregaların bitümle kenetlenmesi ve durabilite açısından önemli bir özellik de mineral agregalar arasındaki boşluk değeridir. VMA sıkıştırılmış numune içerisindeki hava boşluklarının ve absorbe olmamış bağlayıcı hacimlerinin toplamıdır. BSK ve TMA numunelerdeki KL içeriği ve VMA (%) ilişkisine ait grafikler sırasıyla Şekil 4.52, 53, 54, 55, 56, 57’de görülmektedir.



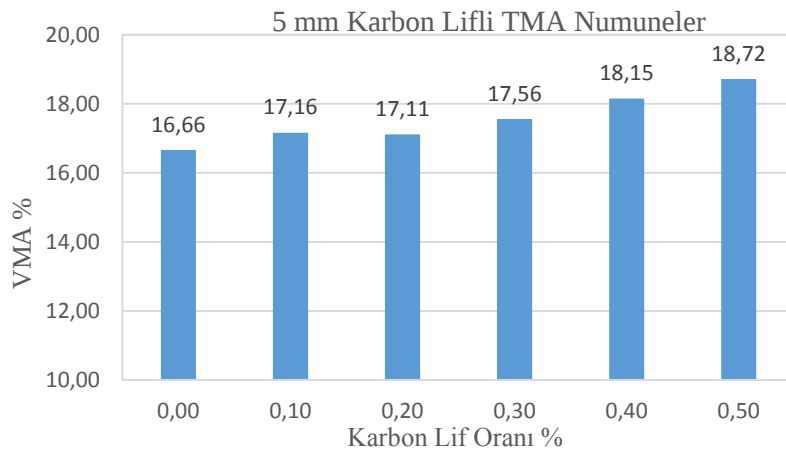
Şekil 4.52 5 mm KL ilaveli BSK numunelerin VMA değerleri.



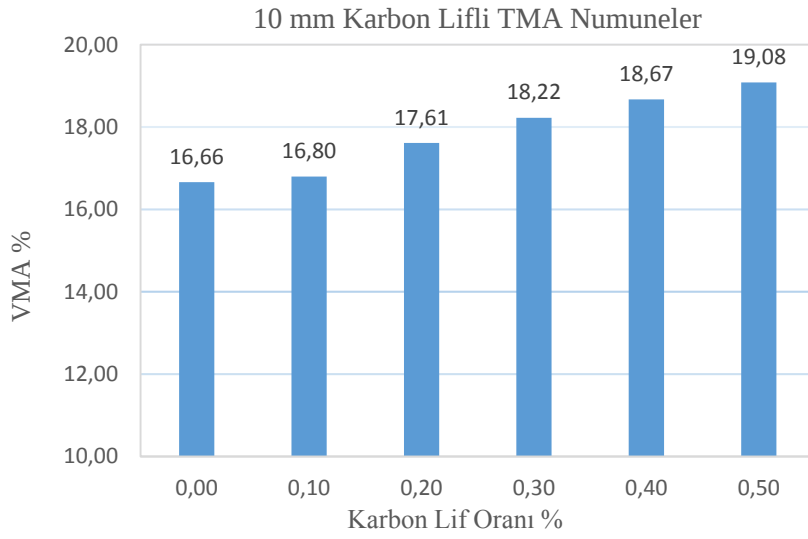
Şekil 4.53 10 mm KL ilaveli BSK numunelerin VMA değerleri.



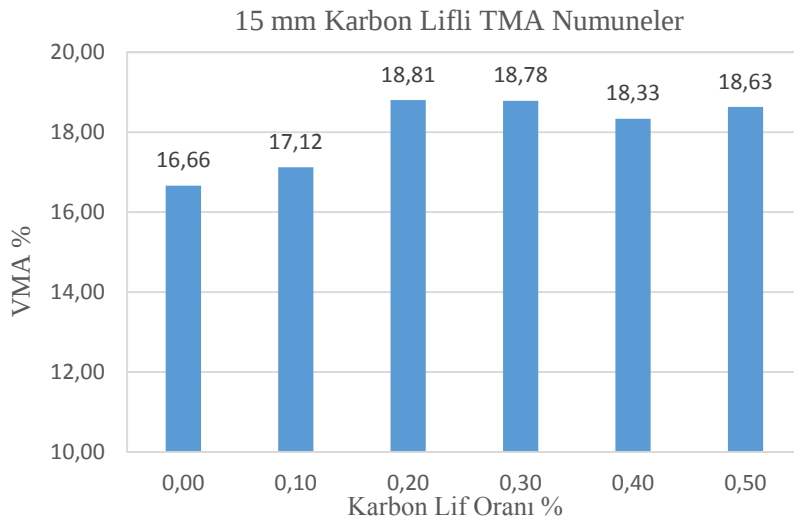
Şekil 4.54 15 mm KL ilaveli BSK numunelerin VMA değerleri.



Şekil 4.55 5 mm KL ilaveli TMA numunelerin VMA değerleri.



Şekil 4.56 10 mm KL ilaveli TMA numunelerin VMA değerleri.

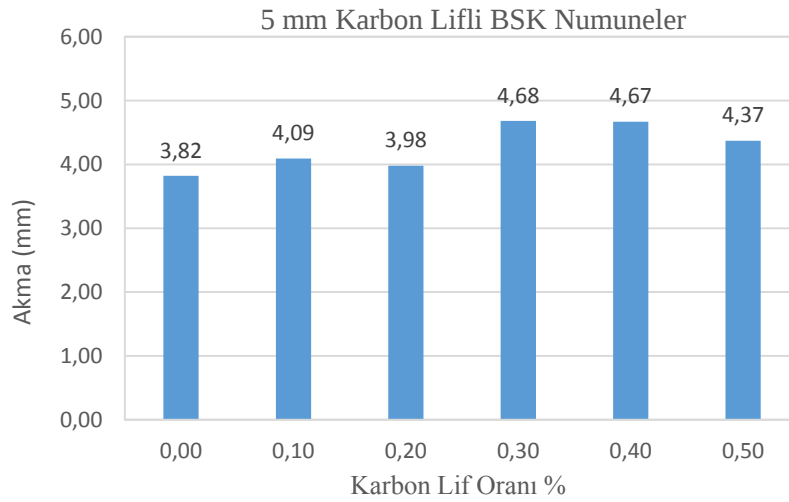


Şekil 4.57 15 mm KL ilaveli TMA numunelerin VMA değerleri.

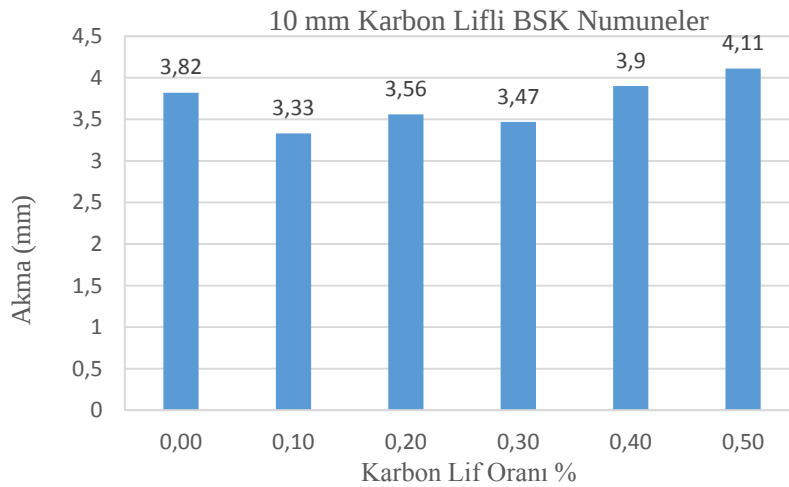
Agregalar arasındaki boşluğun KTŞ (2013) şartnamelerine göre BSK numunelerde minimum % 14-16 arasında olması istenirken, TMA numunelerde minimum % 17 olması istenmektedir. 5 mm KL lifli BSK numunelerde bu % 0,4 ve 0,5 KL içerikli numuneler, 10 ve 15 mm KL lifli BSK numunelerde ise yalnızca % 0,5 KL içerikli numuneler şartname değerlerini sağlamıştır. KL içerikli TMA numunelerde tüm numuneler şartname sınırlarının üzerinde VMA değerine sahiptir. Dolayısıyla TMA

numunelerinin yetersiz bitüm nedeniyle VMA değerleri şartname sınırlarının üzerindedir.

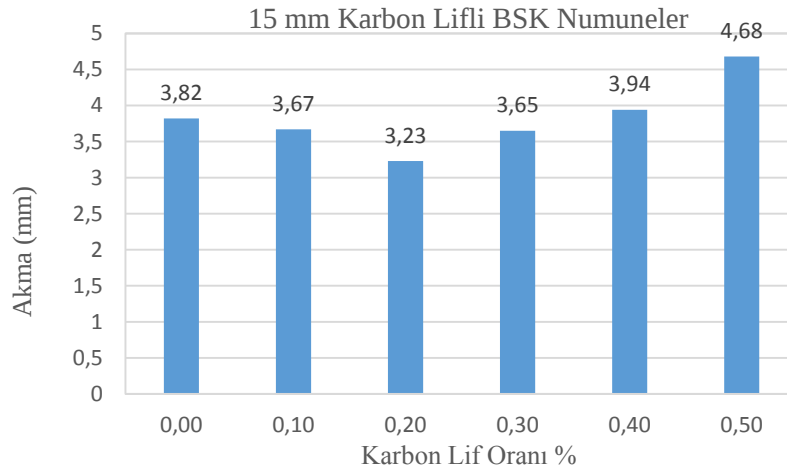
Akma Marshall numunesinin kırıldığı andaki deformasyona karşılık gelen bir değerdir. Bu değer için şartnameler bir alt ve üst limit tanımlamıştır. Akma değerinin düşük oluşu malzemenin gevrek davranış gösterdiğini, yüksek oluşu ise malzemenin plastik şekil değiştirme eğiliminin olabileceğini gösterir. BSK ve TMA numunelerdeki KL içeriği ve Akma ilişkisine ait grafikler sırasıyla Şekil 4.58, 59, 60, 61, 62, 63’de görülmektedir.



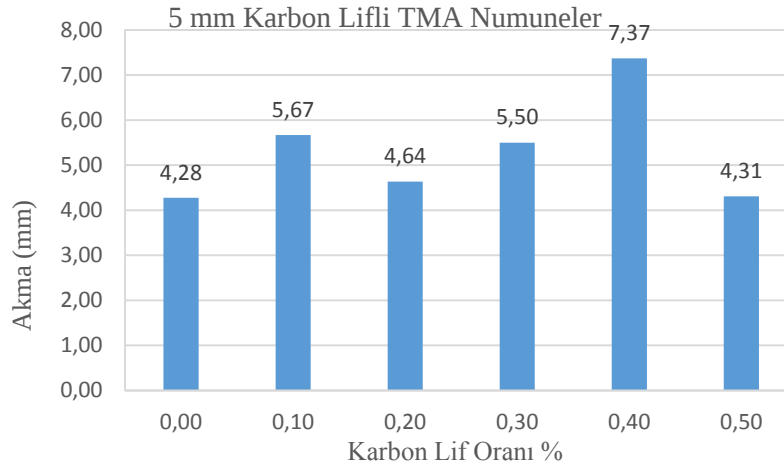
Şekil 4.58 5 mm KL ilaveli BSK numunelerin akma sonuçları.



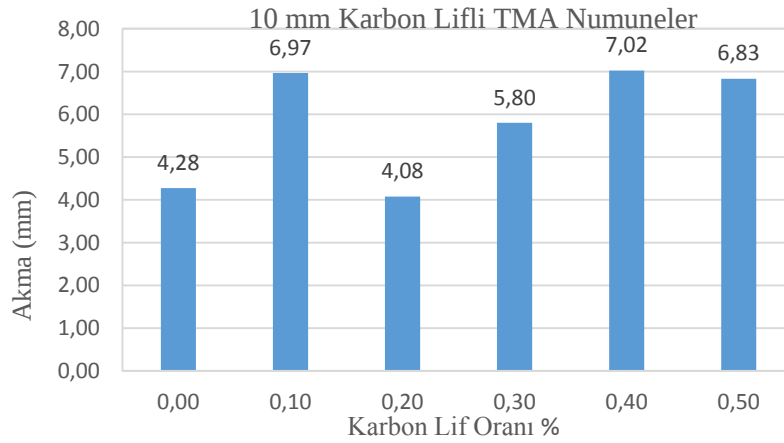
Şekil 4.59 10 mm KL ilaveli BSK numunelerin akma sonuçları.



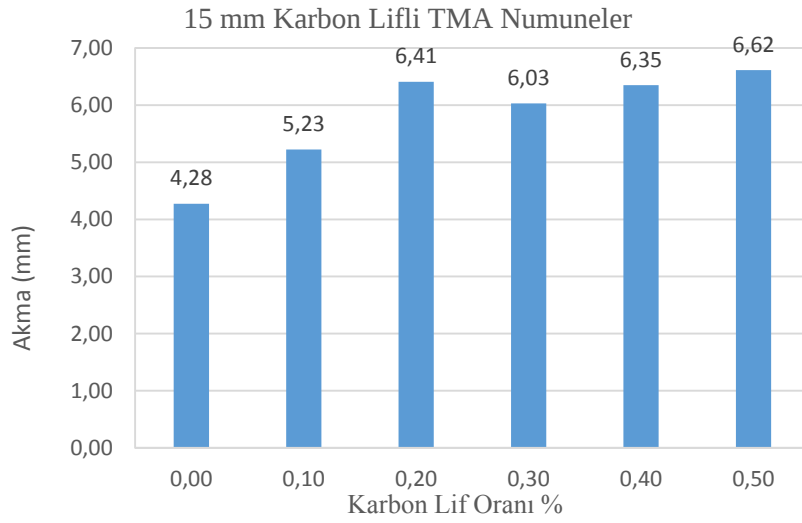
Şekil 4.60 15 mm KL ilaveli BSK numunelerin akma sonuçları.



Şekil 4.61 5 mm KL ilaveli TMA numunelerin akma sonuçları.



Şekil 4.62 10 mm KL ilaveli TMA numunelerin akma sonuçları.



Şekil 4.63 15 mm KL ilaveli TMA numunelerin akma sonuçları.

5 mm KL’li BSK numunelerde akma değerinin numunelerin tamamında üst limitin üzerinde olduğu görülmektedir. Akma değerleri göz önüne alındığında 5 mm KL’li BSK numunelerde 5mm uzunluğundaki lifin mekanik özelliklere herhangi bir etkisi olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte, lif boyutu 10 mm ve 15 mm olarak BSK karışımlarda kullanıldığında, akma değerinin giderek şartname aralığına (2-4 mm) girmeye başladığı görülmektedir. Özellikle % 0,3 15 mm KL içerikli numunelerin akma değerlerinin şartname aralığının ortasına yakın olduğu (3.2 mm) görülmektedir. Dolayısıyla lif boyunun uzamasının mekanik özellikler üzerinde daha etkili olabileceği düşünülmektedir. KL’li TMA numunelerde bitüm miktarının yetersiz oluşundan dolayı liflerin mekanik özelliklere herhangi bir olumlu etkisi görülememiştir.

4.6 Maliyet Analizi

Bu aşamada çalışmada kullanılan iletken TMA ve BSK karışım numuneleri için birim fiyat analizi yapılmış ve geleneksel TMA ve BSK birim fiyatları ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.2 ve 4.3). Birim fiyat analizin de kullanılan fiyatlar piyasa araştırması yapılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2 Çalışmada kullanılan iletken TMA numunesinin ton başına maliyeti

Malzeme	Miktarı (kg/ton)	Fiyatı (₺/ton)	Normal TMA Bileşenleri Fiyatı (₺/ton)	Çalışmada Kullanılan İletken TMA Birim Fiyatı (₺/ton)
İri Agregat	650	12,00	7,80	7,80
Kum	280	10,00	2,80	2,80
Mineral Filler	70	13,00	0,91	0,91
Bitüm	65	1.042,00	67,73	67,73
Elyaf	3	2.124,00	6,37	6,37
Karbon Lif	2	60.000,00	-	120,00
Toplam TMA Fiyatı			85,61	205,61

Çizelge 4.3 Çalışmada kullanılan iletken TMA numunesinin ton başına maliyeti

Malzeme	Miktarı (kg/ton)	Fiyatı (₺/ton)	Normal BSK Bileşenleri Fiyatı (₺/ton)	Çalışmada Kullanılan İletken BSK Birim Fiyatı (₺/ton)
İri Agregat	520	12,00	6,24	6,24
Kum	420	10,00	4,2	4,2
Mineral Filler	60	13,00	0,78	0,78
Bitüm	47.2	1.042,00	49,18	49,18
Karbon Lif	2	60.000,00	-	120,00
Toplam BSK Fiyatı			60,4	180,4

Sonuçlardan da görüldüğü gibi iletken TMA ve BSK numunelerinin birim fiyatlarının geleneksel TMA ve BSK numunelerine göre yüksek olduğu, bununla birlikte bu tip iletken asfalt betonlarının kış aylarında buzlanma problemi olan köprü, tünel çıkışları, eş düzey kavşaklar, düşey eğim vb. kesimlerde kullanılması ile buzlanmadan kaynaklanan trafik kazalarının azalabileceği ve uzun vade de fayda maliyet oranının yüksek olacağı düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında BSK ve TMA numunelerde karbon lifi kullanımının karışım özelliklerine nasıl etki ettiği laboratuvar deneyleri ile bulunmaya çalışılmıştır. BSK ve TMA numunelerde yapılan deneyler sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Karbon lifi kullanımının hem BSK hem de TMA numunelere elektriksel iletkenlik özelliği kazandırdığı görülmüştür. Tüm numunelerde ağırlıkça KL içeriği arttıkça özdirenç değerleri azalmıştır.
- Tüm numunelerde sabit gerilim altında numunelerin sıcaklıklarında meydana gelen artış miktarları tespit edildiğinde KL içeriğine ve uzunluğuna bağlı olarak sıcaklıkların da giderek arttığı belirlenmiştir. BSK numunelerde en büyük artış 5 mm % 0,5 KL içerikli numuneler de 10 dk da 21,8 C olarak tespit edilmiştir. TMA numuneler de ise 15mm uzunluğunda % 0,5 içerikli numunelerde 10 dk 29,2 °C olarak belirlenmiştir. Her iki numune türünde KL içerikli BSK ve TMA'ların buzlanma ile mücadelede aktif yöntemler olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.
- BSK ve TMA numunelerin % 0,2 KL içeriklerinde özdirencin KL uzunluğu fark etmeksizin belirgin bir şekilde azaldığı görülmüştür.
- BSK ve TMA numunelerin her ikisinde de Garcia vd. (2009) belirtildiği gibi belli bir değerden sonra karışıma ne kadar iletken bileşen(KL) ilave edilirse edilsin özdirencin belirgin bir değişiklik göstermeyeceği yani azalma eğilimin giderek lineer hale geldiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde KL içeriğine ve uzunluğuna bağlı olarak sıcaklık artış değişimlerindeki fark giderek azalmaktadır.
- Bir diğer önemli sonuç da iletkenlik üzerinde gradasyon özelliğinin de etkili olduğudur. Çünkü BSK ve TMA numunelerinin özdirenç değerleri ve sıcaklık artışları karşılaştırıldığında TMA numunelerin daha iletken olduğu

görülmektedir. TMA numunelerin kesikli gradasyona sahip olması ve KL'lerinin birbiri ile temas ederek iletken köprü etkisini kolaylaştırmasından dolayı bu numunelerin öz dirençleri BSK numunelere göre daha düşük elde edilmiştir.

- KL içerikli TMA numunelerde elde edilen bir diğer önemli sonuçta KL içeriğinin artışı ile birlikte süzülme eğiliminin de giderek azalmasıdır. Dolayısıyla KL içerikli numunelerde selülozik elyaf kullanımı da geleneksel TMA numuneler göre çok az miktarlarda kullanılacak veya hiç kullanılmayacaktır.
- BSK ve TMA numunelerde yapılan ultrases deneyi sonuçlarında Morava (2013)'nin elde ettiği sonuçlarda olduğu gibi yoğunluk azalması ile birlikte ultrases geçiş hızında da azalma görülmüştür.
- KL içeriğinin artışına bağlı olarak numunelerin boşluk oranlarının arttığı, yoğunluklarının ve stabilitelerinin azaldığı görülmüştür. Yapılan çalışmada tüm KL içerikli numunelerde bitüm oranının sabit alınmasının bu sonuçların üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Dolayısıyla KL numunelerin bitümü absorbe ettiği anlaşılmaktadır. Bundan sonraki çalışmalarda her bir farklı KL içeriği için optimum bitüm oranının tespit edilmesi gerekmektedir.
- BSK ve TMA numunesinde kullandığımız karbon lifler ekonomik olarak maliyeti yükseltmektedir. Ancak buzlanma kaynaklanan trafik kazalarının yoğun olduğu karayolu kara noktalarında önemli faydalar sağlayacağı düşünülmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda bu tip asfalt kaplamalarının birim maliyetinin düşürülmesi ile ilgili farklı çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Abtahia, SM., Sheikhzadehb, M. and Hejazib, SM. (2010). Fiber-reinforced asphalt-concrete A review. *Construction and Building Materials*, **24** :871-877
- Abtahi, S.M, S. Esfandiarpour, M. Kunt, S.M., Hejazi, and M.G. Ebrahimi (2013). Hybrid Reinforcement of Asphalt-Concrete Mixtures Using Glass and Polypropylene Fibers. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics* **8**:25-35
- Ahmedzade, P. and Sengoz, B. (2009). Evaluation of steel slag coarse aggregate in hot mix asphalt concrete. *J. Hazard. Mater*,**165**(1), 300–305.
- Blazejowski, K. (2011). Stone Matrix Asphalt Theory and Practice. New York,25-182.
- Chen, H., Q. Xu.(2010). Experimental study of fibers in stabilizing and reinforcing asphalt binder. *Fuel*, **89**:1616-1622.
- Chen, H., Q., Xu, S., Chen. and Zhang, Z.(2009). Evaluation and design of fiber-reinforced asphalt mixtures. *Materials and Design*, **30**:2595-2603.
- Chen, Pu-Woei., Chung, D.D.L. Xuli Fu. (1997). Microstructural and Mechanical Effects of Latex, Methylcellulose and Silica Fume on Carbon Fiber Reinforced Cement. *ACI Material Journal*, P.147-155.
- Cleven, M.A. (2000). Investigation Of The Properties Of Carbon Fiber Modified Asphalt Mixtures. Master Of Science In Civil Engineering Michigan Technological University, Michigan, ABD.
- Demirkaya, Ö. (2016) Karbon Fiberlerin Asfalt Karışımlarda Kullanımının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- Fitzgerald, RL. (2000). Novel Applications Of Carbon Fiber For Hot Mix Asphalt Reinforcement And Carbon-Carbon Pre-Forms. Msc Thesis, Michigan Technological University, 62p.
- García, A., Schlangen, E, van de Ven, M., (2009), “Electrical conductivity of asphalt mortar containing conductive fibers and fillers”. *Construction and Building Materials* **23**(10): 3175–3181.
- Gopalakrishnan, K., H., Ceylan, S, Kim., S., Yang. and H, Abdulla.(2015). Electrically Conductive Mortar Characterization for Self-Heating Airfield Concrete Pavement Mix Design. *International Journal of Pavement Research and Technology*, **8**:315-324.
- Gürer, C. (2016). Çeşitli Biyokütle Kalıntılarının Bitümlü Sıcak Karışımlarda Katkı Maddesi Olarak Kullanımının Araştırılması. Proje No: 13.HIZ.DES.46, Afyonkarahisar.
- Gürer, C., Selman, Ş.G. (2016). Kırka Bor Atıklarının Bitümlü Sıcak Karışımlarda Mineral Filler Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Proje No: 14.MUH.06, Afyonkarahisar.
- Gürer, C. (2017). Bitümlü Karışımlar. Lisansüstü Ders Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar.
- Huang, B.S., Chen, X.W., Shu, X. (2009). “Effects of electrically conductive additives laboratory-measured properties of asphalt mixtures”. *Journal of Materials in Civil Engineering* **21**(10): 612–617.
- Hugo, M.R.D., Silva (2017). “Study On The Use Of Bituminous Mixtures Modified With Acrylic Fibers In Road Pavement Overlays”, Case Study, University Of Minho Guimarães – Portugal.

- Jenq, Yeou-Shang, Chwen-Jang Liaw, Pei Liu. (1993). Analysis of crack resistance of asphalt concrete overlays. A fracture mechanics approach. *Transportation Research Record*. **1388**:160-166.
- Jahromi, S.G., A.Khodaii. (2008) Carbon Fiber Reinforced Asphalt Concrete. *The Arabian Journal for Science and Engineering*, **33**:355-364
- Kök, B.V. Bitümlü Sıcak Kaplamalarda Donatı Kullanımı, Asfaltarme, Yüksek Lisans, Fırat Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002, 58 s.
- Liu, Q., Erik, S., García, A., Ven, M. (2010) Induction heating of electrically conductive porous asphalt concrete, *Construction and Building Materials* **24**:1207-1213.
- Mahrez A, Karim M, Katman H. Prospect of using glass fiber reinforced bituminous mixes. *J East Asia Soc Trans Studies* 2003;5:794–807.
- Morova, N. (2013). Investigation of usability of basalt fibers in hot mix asphalt concrete. *Construction and Building Materials*, **47**:175-180.
- Mcdaniel, R.S. (2015) National Cooperative Highway Research Program. Purdue University West Lafayette, Indiana, 27
- Orhan, F. (2012). Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları. Karayolları Genel Müdürlüğü, ARGE Daire Başkanlığı, Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü, Ankara, 39.
- Önal, M.A., Orhan, F. ve Demir Ş. (2000). 3. Asfalt Sempozyumu. Syf. 120-125
- Özgan, E. (2007). Determining the Stability of Asphalt Concrete at Varying Temperatures and Exposure Times Using Destructive and Non-Destructive Methods. *Journal of Applied Scientific*, **7(24)**:3870-3879.

- Pan, P., Wu, S., Xiao, F., Pang, L., Xiao, Y. (2014). Conductive asphalt concrete: A review on structure design, performance, and practical applications, *Journal of Intelligent Material, Systems and Structures*, 1-15.
- Park., P, Tawil, S.E., Park, S.Y., Naaman. A.E., (2015). Cracking resistance of fiber reinforced asphalt concrete at -20 °C. *Construction and Building Materials*, **81**:47-57
- Peltonen, P. (1991). Wear and Deformation Properties of Fiber Reinforced Asphalt Pavements. *Construction and Building Materials*, **5**: 18-22.
- Putman, BJ. and Amirkhanian, SN. (2004). Utilization of waste fibers in stone matrix asphalt mixtures. *Resources, Conservation and Recycling*, **42**, 265-274.
- Qiang, X., Lei, L., and Jun, C.Y. (2013). Study On The Action Effect Of Pavement Straw Composite Fiber Material In Asphalt Mixture. *Construction and Building Materials* **43**:293-299
- Reddigar J K., Vasani MH, Shah P. (2016). Pavement Evaluation and Application of Glass Fibres in Flexible Pavement. *IJEDR*, **4**:2, 1308-1312.
- Romeo, E., Montepara, A. (2012). Characterization of reinforced asphalt pavement cracking behavior using flexural analysis. *Social and Behavioral Sciences*, **53**:356 – 365.
- Roberts, Freddy L. (1996). Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction 2. edition, *NAPA Research and Education Foundation*, p 1-10.
- Sanzo, D., Hecnar, S.J. (2006) . Effects of road de-icing salt (NaCl) on larval wood frogs *Rana sylvatica* . Volume 140, Issue 2, March 2006, Pages 247-256 .

- Serfass, J.P. J. Samanos. (1996) Fiber-Modified Asphalt Concrete Characteristics, Applications and Behavior. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, **65**: 193-230.
- Simpson, Amy L., Kamyar C. Mahboub. (1994) Case study of modified bituminous mixtures: Somerset, Kentucky. *Proceedings of the Third Materials Engineering Conference*, **804**:88-96.
- Song, P.S., S. Hwang, and B.C. Sheu.(2005). Strength Properties of Nylon and Polypropylene Fiber-Reinforced Concretes. *Cement and Concrete Research*, **35**: 1546–50.
- Shaopeng, W, Qunshan Y, Ning L. (2008). Investigation Of Rheological And Fatigue Properties Of Asphalt Mixtures Containing Polyester Fibers. *Construction and Building Materials*, **22**:80-95.
- Serin, S., Morova, N., Saltan, M., Terzi, S. (2012). Investigation of usability of steel fibers in asphalt concrete mixtures. *Construction and Building Materials* **36**:238-244
- S, Tapkın., A, Çevik., Ü, Uşar.(2009). “Accumulated strain prediction of polypropylene modified marshall specimens in repeated creep test using artificial neural networks” *Expert Systems with Applications* **36**:11186-11197
- S, Wu., Q, YE., N., Li, H. Yue.(2007). Effects of Fibers on the Dynamic Properties of Asphalt Mixtures. *Journal of Wuhan University of Technology*, **22**:733-736.
- Tapkin, S. (2009). Polipropilen Liflerin Bitümlü Sıcak Karışımlarda Katkı Malzemesi Olarak Kullanımı. 216-226.
- TCK (2013). Türkiye Cumhuriyeti Karayolu Teknik Şartnamesi, Ankara.

Tunç, A., “Kaplama Mühendisliği ve Uygulamaları”, Asil Yayın Dağıtım, Ankara, (2004)

Turan, M., ve Tanrikulu, M.A. (2013). Hasarsız Deney Yöntemleri İle Beton Kalitesinin Belirlenmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Dumlupınar Üniversitesi, **32**:41-56

Umar, F.,Ağar, E. (1985). Yol Üstyapısı. İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Ders Notları.

Uluçaylı, M. (2002). Asfalt El Kitabı. İSFALT yayınları, 500.

Vo, HV., Park D.W, Seo, W.J., Yoo, B.S. (2017). Evaluation Of Asphalt Mixture Modified With Graphite And Carbon Fibers For Winter Adaptation: Thermal Conductivity Improvement. *Journal Of Materials Of Civil Engineering* **29**(1).

Wang, Z.L., and Song J. (2006). Piezoelectric Nanogenerators Based on Zinc Oxide Nanowire Arrays. 312;242-246

Wu SP, Mo LT, Shui ZH, et al. (2005b) Investigation of the conductivity of asphalt concrete containing conductive fillers. *Carbon* 43(7): 1358–1363.

Woodside A.R., Woodward, W.D.H., and Akbulut H. (1999). Stone mastic asphalt: assessing the effect of cellulose fibre additives. Proc. Instn Civ. Engrs Mun. Engr, 1998, 127, Sept., 103 – 108.

Wu SP, Mo LT, Shui ZH. (2002). An improvement in electrical properties of asphalt concrete. Journal of Wuhan University of Technology. *Materials Science Edition* **17**(4):69–72.

Yang Q., Li X., Wang P. 2013. Resistivity measurement of conductive asphalt concrete based on two-electrode method. J. Cent. South Univ. **20**: 2599-2604.

Yehia, S., Tuan, C.Y., Ferdon, D., and Chen B. (2000). Conductive Concrete Overlay for Bridge Deck Deicing. Materials Journal, 97:2 Pages 172-181

Zube, Ernest. (1956). Wire Mesh Reinforcement in Bituminous Resurfacing. Highway Research Record, 131:1-18.

İnternet Kaynakları

- 1) <http://yolteknolojileri.com.tr/>, 20.04.2017
- 2) http://www.mfa.gov.tr/turkiye_de-karayolu-tasimaciligi-.tr.mfa, 25.05.2017
- 3) <http://www.simgemat.com.tr/ru/CevreArge/InovatifUrunler>, 30.06.2017
- 4) <http://www.tekstilteknik.com/Referanslar>, 02.02.2017
- 5) <http://www.tekstilokulu.net/smfforum/index>, 04.03.2017
- 6) www.aksaca.com, 05.06.2016
- 7) <http://www.atacanute.com/2014/06/ultrasonik-test-cihaz.html>, 30.05.2017

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hüseyin GÜRGÖZE
Doğum Yeri ve Tarihi : Elazığ – 11.02.1991
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0539 734 06 57/huseyingurgoze1@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Balakgazi Lisesi, (2005-2009)
Lisans : Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, (2009-2013)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, (2015-2017)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl: Bilgin Enerji Holding/Karaman, 2013-2014
Düzkar İnşaat/Afyon, 2014-2017

Yayınları (SCI ve diğer):Gürer C., Gürgöze H. (2017). Investigation Of Characteristics of Conductive Asphalt Concrete With Carbon Fiber (ICETAS 2017), Cluj Napoca Technical University, Romania

Gürer C., Gürgöze H. (2017).Investigation the Characteristics of Conductive Asphalt Concrete with Carbon Fibre, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, **6**:57-63.