

**T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**TAŞ MASTİK ASFALT KAPLAMALARDA DOĞAL
KENEVİR LİFİNİN SELÜLOZİK FİBER YERİNE
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

İbrahim ASLAN

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR**

Yozgat 2020

**T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**TAŞ MASTİK ASFALT KAPLAMALARDA DOĞAL
KENEVİR LİFİNİN SELÜLOZİK FİBER YERİNE
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

İbrahim ASLAN

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR**

Yozgat 2020

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. TAŞ MASTİK ASFALT KARIŞIMLAR.....	5
2.1. Taş Mastik Asfalt Karışımların Tanımı ve Tarihsel Gelişimi	5
2.2. Taş Mastik Asfalt Karışımların Türkiye’de Kullanımı	6
2.3. Taş Mastik Asfalt Kaplamalarda Kullanılan Malzemeler ve Teknik Özellikleri	6
2.3.1. Agregalar	6
2.3.1.1. Kaba Agregalar	7
2.3.1.2. İnce Agregalar	7
2.3.1.3. Mineral Filler	8
2.3.1.4. Agregalar Gradasyonu	9
2.3.2. Bitümlü Bağlayıcı	10
2.3.2.1. Bitümlü Bağlayıcı Özellikleri	10
2.3.2.2. Bitüme Uygulanan Deneyler	10
2.3.2.2.1. Penetrasyon Deneyi	10
2.3.2.2.2. Yumuşama Noktası Deneyi	11

2.3.2.2.3.	Düktilite Deneyi	12
2.3.2.2.4.	Dönel Viskozimetre Deneyi	12
2.3.3.	Fiber.....	13
2.3.3.1.	Fiber Tipleri	14
2.3.3.1.1.	Selüloz Fiberler.....	14
2.3.3.1.2.	Mineral Fiberler	14
2.3.3.1.3.	Sentetik Polimer Fiberler	14
2.3.3.1.4.	Diğer Bitki Esaslı Fiberler	14
2.3.3.2.	Taş Mastik Asfalt Kaplamalarda Fiber Kullanımı.....	15
2.4.	Taş Mastik Asfalt Karışımların Özellikleri	16
2.4.1.	Taş Mastik Asfalt Karışım Tasarımı	17
2.4.2.	Taş Mastik Asfalt Karışımları Üzerine Uygulanan Deneyler	18
2.4.2.1.	Schellenberger Süzülme Deneyi.....	18
2.4.2.2.	Marshall Stabilite Deneyi	18
2.4.3.	Taş Mastik Asfalt Karışımların Üstünlükleri	18
2.4.4.	Taş Mastik Asfalt Karışımların Sakıncaları	19
3.	KENEVİR.....	20
3.1.	Kenevir Lifinin Yapısal ve Fiziksel Özellikleri	20
3.2.	Türkiye’de Kenevir Yetiştiriciliği	21
3.3.	Kenevirin Kullanım Alanları.....	23
3.3.1.	Kenevir Bitkisinin İnşaat Mühendisliğinde Kullanımı.....	25
4.	DENEYSEL ÇALIŞMA	27
4.1.	Kullanılan Malzemeler ve Deney Sonuçları	27
4.1.1.	Agrega Deney Sonuçları	27
4.1.1.1.	Elek Analizi	27
4.1.1.2.	Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi	28
4.1.2.	Bitümlü Bağlayıcı Deney Sonuçları.....	31

4.1.2.1.	Dönel Viskozimetre Deney Sonuçları	32
4.1.3.	Fiber.....	33
4.1.3.1.	Doğal Kenevir Lifi.....	34
4.2.	Taş Mastik Asfalt Dizaynı ve Deney Sonuçları	34
4.2.1.	Karışımın Hazırlanması.....	34
4.2.2.	Karışımın Teorik Maksimum Özgöl Ağırlığının Belirlenmesi	35
4.2.3.	Tasarım Numuneleri Deney Sonuçları	37
4.2.4.	Tasarım Numuneleri Marshall Stabilite ve Akma Deney Sonuçları	39
4.3.	Selülozik Fiber ve Doğal Kenevir Lifi Kullanılarak Üretilen Numunelerin Deney Sonuçları	40
4.3.1.	Schellenberger Süzülme Deney Sonuçları	40
4.3.2.	Kenevir Lif Boyunun Etkisini Belirlemek Amacıyla Yapılan Deney Sonuçları.....	41
4.3.3.	Dişi ve Erkek Kenevir Lifinin Suya Karşı Hassasiyetlerini Belirlemek Amacıyla Yapılan Deney Sonuçları	44
4.3.4.	Fiber Karışım Oranının Etkisini Belirlemek Amacıyla Yapılan Deney Sonuçları	47
5.	SONUÇLAR	50
	KAYNAKLAR	52
	ÖZGEÇMİŞ	58

**TAŞ MASTİK ASFALT KAPLAMALARDA DOĞAL KENEVİR LİFİNİN
SELÜLOZİK FİBER YERİNE KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

İbrahim ASLAN

**Bozok Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
2020; Sayfa: 58**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR

ÖZET

Karayolları üzerinde taşımacılığa günden güne artan talep ve buna bağlı olarak karayollarındaki trafik hacminin artması üst yapıda tekerlek izi oluşumu gibi çeşitli problemleri de beraberinde getirmiştir. Üst yapıdaki en sık rastlanan bozulmalardan olan tekerlek izi oluşumunu önlemek amacıyla geliştirilen TMA (Taş Mastik Asphalt) kaplamalar, yüksek dane teması ve yüksek bitüm oranı ile ön plana çıkmaktadır. Bitüm oranı yüksek olan taş mastik asphalt karışımlarında bitümün agrega üzerinden akmasını önlemek amacıyla selülozik fiber, mineral fiber, bitki esaslı fiber ve bunlar gibi çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kenevir bitkisinden elde edilen liflerin TMA karışımlarda kullanılarak bitümün süzülme performansının araştırılması hedeflenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında %5,0 %5,5 %6,0 %6,5 %7,0 %7,5 bitüm oranlarında selülozik fiber katkısı ile 18 adet numune hazırlanarak optimum bitüm oranı belirlenmiştir. Fiber katkılarının asfaltın süzülmesine etkisinin belirlenmesi amacıyla %1, 2, 3, 4, 5 oranlarında fiber içeren ve fiber içermeyen referans karışımlara Schellenberger süzülme deneyleri uygulanmıştır. Çalışmada kenevir lifi boyunun TMA karışımların özelliklerine etkisinin belirlenmesi amacıyla 2 mm, 3 mm, 6 mm, 12 mm boylarında kesilen kenevir lifler ile numuneler hazırlanmıştır. Kenevir lifi karışım oranının TMA karışımların özelliklerine etkisinin belirlenmesi amacıyla katkısız ve %1, 3, 4 oranlarında fiber katkılı TMA numuneleri hazırlanmıştır. Marshall tasarım metodu ile hazırlanan numunelerin Dp (Hacim Özgül Ağırlık), Vh (Hava Boşluğu), VMA (Agrega

Boşluk Oranı), Vf (Bitüm ile Dolu Boşluk Oranı), MS (Marshall Stabilité) ve Akma değerleri belirlenmiştir.

Fiber olarak doğal kenavir lifi içeren TMA karışımları aynı özellikteki selülozik fiber içeren numuneler ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları neticesinde %1, 2 ve 3 oranlarında doğal kenavir lifinin süzölme açısından selülozik fibere kıyasla daha yüksek performans gösterdiği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Taş Mastik Asfalt, Doğal Kenavir Lifi, Süzölme.



INVESTIGATION OF USABILITY OF NATURAL HEMP FIBER INSTEAD OF CELLULOSIC FIBER IN STONE MASTIC ASPHALT

İbrahim ASLAN

**Bozok University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Master of Science Thesis**

2020; Page : 58

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR

ABSTRACT

The demand for transportation on highways is increasing as the day goes on and in addition, the increase in traffic volume on highways causes various problems such as rutting. Stone mastic asphalt mixtures have been developed in order to prevent tire tracks, which is one of the most common deteriorations in pavements. Stone mastic asphalt mixtures has high grain contact and bitumen rate. In order to prevent the bitumen from leaching over the aggregate, cellulosic fiber, mineral fiber, plant-based fiber and various additives are used in stone mastic asphalt mixes with high bitumen rate.

In this study, it is aimed to investigate the effect of the fibers obtained from the hemp plant on the draindown of stone mastic asphalt mixtures. In the first stage of the study, the optimum bitumen rate was determined by producing 18 samples with 5,0% 5,5% 6,0% 6,5% 7,0% 7,5% bitumen ratios with cellulosic fiber. In order to determine the effect of fiber additives on the draindown of asphalt, Schellenberger test was applied to blends containing 1, 2, 3, 4, 5‰ and fiber-free mixtures. In this study, samples were prepared with hemp fibers of 2, 3, 6, 12 mm lengths in order to determine the effects of hemp fiber length on stone mastic asphalt mixtures. In order to determine the effect of hemp fiber mixing ratio on the properties of stone mastic asphalt mixtures, samples were prepared with fiber additives at 1, 3, 4‰ ratios and without fiber. Dp, Vh, VMA,

Vf, MS and flow values of samples prepared by Marshall Design Method were determined. Stone mastic asphalt mixtures containing natural hemp fiber as fiber were compared with samples containing cellulosic fiber of the same properties. As a result of the experimental results, it has been revealed that natural hemp fiber at 1, 2 and 3‰ ratios has a higher performance than cellulosic fiber in terms of draindown.

Key Words: Stone Mastic Asphalt, Natural Hemp Fiber, Draindown.



TEŞEKKÜR

Bu çalışmaların planlanması, yürütülmesi sırasında desteğini ve emeğini esirgemeyen her hususta örnek aldığım saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR'e sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım.

Deney ve laboratuvar çalışmalarım esnasında desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen Öğr. Gör. Mehmet BAYAZİT'e, Dr. Öğr. Üyesi Yuşa ŞAHİN'e, İnşaat Mühendisi Bayram ŞAHİN'e ve İnşaat Yüksek Mühendisi Yunus Gündüz'e, yine bu süreçte desteklerini ve fikirlerini esirgemeyen Bozok Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün değerli hoca ve asistanlarına teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde en büyük paya sahip olan, maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan babam Mustafa Yaşar ASLAN ve annem Senem ASLAN'a şükranlarımı sunarım.

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1. Yıllara Göre Kara Taşıtları Sayısı	2
Tablo 1.2. Kaplama Cinsine Göre Yol Uzunlukları	2
Tablo 2.1. Türkiye’de Yıllara Göre Asfalt Uygulamaları ve Bitüm Tüketimi	6
Tablo 2.2. TMA Kaplamalarda Kullanılacak Kaba Agrega Özellikleri	7
Tablo 2.3. TMA Kaplamalarda Kullanılacak İnce Agrega Özellikleri	8
Tablo 2.4. TMA Kaplamalarda Kullanılacak Mineral Filler Gradasyon Limitleri	8
Tablo 2.5. TMA Aşınma Gradasyonu ve Tolerans Sınırları	9
Tablo 2.6. TMA Binder Gradasyonu ve Tolerans Sınırları	9
Tablo 2.7. Yol Kaplamalarında Kullanılan Kaplama Sınıfı Bitümlerin Özellikleri	10
Tablo 2.8. Mineral Fiber Özellikleri	15
Tablo 2.9. Selülozik Fiber Özellikleri	15
Tablo 2.10. TMA Tasarım Kriterleri	17
Tablo 3.1. Kenevir ve Bazı Diğer Selülozik Liflerin Fiziksel Özellikleri	21
Tablo 4.1. TMA karışım Garadasyonu ve Şartname Limitleri	27
Tablo 4.2. Deneylerde Kullanılan Agrega Özellikleri.....	31
Tablo 4.3. Bitümlü Bağlayıcı Özellikleri	32
Tablo 4.4. Bitüm Viskozimetre Deney Sonuçları	32
Tablo 4.5. TMA Tasarımı Deney Sonuçları.....	37
Tablo 4.6. Optimum Bitüm Oranı İle Üretilen Numunelerin Uygunluk Kontrolü ...	39
Tablo 4.7. Tasarım Numuneleri Stabilite ve Akma Deney Sonuçları.....	39
Tablo 4.8. Schellenberger Süzülme Deney Sonuçları.....	41
Tablo 4.9. Kenevir Lif Boyunun Etkisini Gösteren Deney Sonuçları.....	42
Tablo 4.10. Dişi ve Erkek Kenevir Lifinin Suyu Karşı Hassasiyetlerini Belirmek Amacıyla Yapılan Numunelerin Dp, Vh, VMA, Vf Deney Sonuçları	44
Tablo 4.11. MS-1 ve MS-2 Numuneleri Stabilite, Akma ve MSR Değerleri	46
Tablo 4.12. Farklı Oranlarda Fiber Kullanılarak Üretilen Numunelerin Deney Sonuçları	48

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Türkiye’de Ulaşım Türlerine Göre Yurtiçi Yolcu – Yük Taşıma Oranları .	1
Şekil 2.1. TMA (solda) ve HMA (sağda) Karışımları Yüzey Görünümleri	5
Şekil 2.2. Penetrasyon Deney Aleti	11
Şekil 2.3. Yumuşama Noktası Deney Aleti	11
Şekil 2.4. Düktilite Test Aparatları ve Test Cihazı	12
Şekil 2.5. Dönel Viskozimetre Deney Aleti	13
Şekil 2.6. Schellenberger Süzülme Deneyi.....	18
Şekil 3.1. Türkiye’de Kenevir Tarımına İzin Verilen 19 İl	22
Şekil 3.2. Türkiye’de 1961-2018 Yılları Arasında Kenevir Lifi Üretimi	22
Şekil 3.3. Türkiye’de 1961-2018 Yılları Arasında Kenevir Lifi Üretim Alanları	23
Şekil 3.4. Kenevirin Kullanım Alanları	24
Şekil 4.1. TMA Karışımlarında Kullanılan Agrega Granülometri Eğrisi.....	28
Şekil 4.2. Su İçerisinde Bekletilen Kaba Agrega.....	29
Şekil 4.3. 24 Saat Suda Bekletilen İnce Agrega	30
Şekil 4.4. 25 °C Su Banyosundaki İnce ve Filler Agrega Numuneleri.....	31
Şekil 4.5. Dönel Viskozimetre Deneyi Yapılışı.....	32
Şekil 4.6. Viskozite – Sıcaklık Grafiği	33
Şekil 4.7. Selülozik Fiber Peletleri	34
Şekil 4.8. Doğal Kenevir Lifleri	34
Şekil 4.9. Kalıplardan Çıkarılan Numuneler(solda) ve 60 °C Suda Bekletilen Numuneler(sağda).....	35
Şekil 4.10. Parçalara Ayrılmış TMA Karışımı	36
Şekil 4.11. Sarsma Tablası Üzerinde Vakum Uygulaması	36
Şekil 4.12. Tasarım Numuneleri Deney Sonuçları Grafiği.....	38
Şekil 4.13. Tasarım Numuneleri Stabilitate ve Akma Değerleri Grafiği.....	40
Şekil 4.14. Schellenberger Süzülme Deney Sonuçlarına Ait Grafikler	41
Şekil 4.15. Kenevir Lif Boyu Etkisini Belirlemek Amacıyla Üretilen Numunelerin Deney Sonuçları Grafikleri	43

Şekil 4.16. Dişi ve Erkek Kenevir Lifinin Suyu Karşı Hassasiyetlerini Belirlemek Amacıyla Üretilen Numunelerin Deney Sonuçları Grafikleri	45
Şekil 4.17. MS-1 ve MS-2 Numuneleri Stabilite ve Akma Değerleri Grafiği.....	46
Şekil 4.18. MSR Değerleri Grafiği	47
Şekil 4.19. Farklı Oranlarda Fiber Kullanılarak Üretilen Numunelerin Deney Sonuçlarına Ait Grafikler	49



KISALTMALAR LİSTESİ

BSK	: Bitümlü Sıcak Karışım
cP	: Centipoise
Dt	: Teorik Maximum Özgül Ağırlık
Dp	: Hacim Özgül Ağırlık
HMA	: Sıcak Karışım Asfalt
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
MS	: Marshall Stabilité
TMA	: Taş Mastik Asfalt
MPa	: Megapascal
Vf	: Bitüm ile Dolu Boşluk Oranı
Vh	: Hava Boşluğu Oranı
VMA	: Agregalar Arası Boşluk Oranı

1. GİRİŞ

İnsanlığın en önemli faaliyetlerinden biri olan ulaşım tarihin erken dönemlerinden beri varlığını sürdürmektedir. Ulaşım insanların, malların, hizmet ve paranın taşınmasını ifade eder. Aynı zamanda ulaşım faaliyetleri bölgedeki ekonomik değişim ve gelişimlerle paralellik göstermektedir [1].

Her biri kendi karakteristik özelliklere sahip denizyolu, karayolu, havayolu, demiryolu ve boru hatları sistemleri ulaşım sistemini meydana getirmektedir [2]. Bütün ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de karayolu ulaşımının önemi her geçen gün artmaktadır. Her türlü arazi yapısına uyum sağlaması, geniş ulaşım ağı sunması ve en kısa mesafeye kadar taşıma imkânı sağlaması en önemli tercih sebepleri arasındadır [3]. Bu özelliklere ilave olarak, aktarmalı ulaşımın söz konusu olduğu demiryolu, havayolu ve denizyolu ulaşımının tamamlayıcı olma özelliğiyle gelişimi hızlı olmuştur [4]. Ülkemizde gerek yolcu taşımacılığı gerekse yük taşımacılığı olsun karayolu ulaşımı açık şekilde önde yer almaktadır [2].



Şekil 1.1. Türkiye’de Ulaşım Türlerine Göre Yurtiçi Yolcu – Yük Taşıma Oranları[5]

Şekil 1.1’de 2018 yılı verilerine göre ülkemizde karayolu ulaşımının yük taşımacılığında %89,2 yolcu taşımacılığında %88,8’lik paya sahip olduğu görülmektedir. Karayolu ulaşımına olan talebin bu denli fazla olması trafik yükü ve hacminin artmasına neden olmuştur. Tablo 1.1’de ülkemizde trafikte kullanılan kara taşıtlarının yıllara göre artış gösterdiği görülmektedir.

Tablo 1.1. Yıllara Göre Kara Taşıtları Sayısı (Adet) [6]

Yıl	Otomobil	Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Motosiklet	Diğer	Toplam
2018	12.398.190	487.527	218.523	3.755.580	845.462	3.211.328	1.949.311	22.865.921
2019	12.503.049	493.373	213.358	3.796.919	844.481	3.331.326	1.974.469	23.156.975
2020	12.714.604	494.876	213.127	3.847.072	849.354	3.405.659	1.994.440	23.519.132

Karayolu üstyapısı, kaplama tabakasında kullanılan malzemenin türüne, özelliklerine ve yapım metoduna göre rijit üstyapı ve esnek üstyapı olmak üzere teşkil edilebilirler. Rijit üstyapılar çimento betonu kaplama tabakaları ile teşkil edilirken, bitümlü bağlayıcılar kullanılarak oluşturulan kaplama tabakaları esnek üstyapıları oluşturmaktadır. Bilgi ve tecrübe düzeyimizin yüksek olması nedeniyle esnek üstyapılar ülkemizde daha çok tercih edilmektedir [7]. Tablo 1.2’de 2020 yılı verilerine göre ülkemizdeki kaplama cinsine göre yol uzunlukları verilmiştir.

Tablo 1.2. Kaplama Cinsine Göre Yol Uzunlukları (Km) [8]

	Kaplama Cinsi						
Yol Sınıfı	BSK	Sathi Kaplama	Parke	Stabilize	Toprak	Diğer	Toplam
Otoyollar	3.060						2.060
Devlet Yolları	17.991	12.654	56	27		278	31.006
İl Yolları	4.689	26.163	243	453	440	2.177	34.165
Toplam	25.740	38.817	299	480	440	2.455	68.231

Karayolu esnek üstyapıları alt temel, temel ve kaplama tabakalarından oluşan tabakalı bir üstyapı tipidir. Esnek üstyapılar üzerine yükleri bu tabaklardan geçirerek zemine iletirler. Esnek üstyapılar nitelik ve performans bakımından alt temelden kaplama tabakasına doğru daha iyi malzemedan inşa edilirler. Esnek üstyapılar trafiği güvenle taşıırken aynı zamanda ekonomik olmak zorundadırlar [7].

Kaplama tabakası üstyapının doğrudan trafik yüklerine maruz kaldığı tabakasıdır. Kaplama tabakasının trafiğin aşındırıcı etkisine karşı koyma, konforlu ve emniyetli sürüş sağlamak, yüzeye gelen suların temele geçmesini önlemek gibi temel görevleri vardır [9].

Yoğun trafiğe maruz kalan kaplamalarda çevresel faktörlerin ve yüklerin etkisiyle bozulmalar meydana gelmektedir. Ülkemizde uygulama hataları, uygun olmayan malzeme kullanımı, iklim şartları, kontrolsüz ve hızlı trafik artışı, birimler arası koordinasyon eksiklikleri asfalt kaplamalarda bozulmalara sebebiyet vermektedir [10].

Üstyapının dayanımı arttırmak için kullanılan malzeme niteliklerinin iyi olması veya tabaka kalınlıklarının arttırılması gerekmektedir. Söz konusu durumlar ilk yapım maliyetini arttırmakta fakat bakım, yenileme ve taşıtların gecikmesinden kaynaklanan maliyetleri azaltmaktadır. Bu sebeple bilhassa trafik hacmi yüksek olan yolların uzun servis ömrüne göre projelendirilmesi büyük önem arz etmektedir [11].

Üst yapı ömrünün uzun olmasını sağlayan temel unsur, üstyapıda gelişen bozulmalara ve bu bozulmalar neticesinde gereken yüksek maliyetli yeniden yapımlara engel olacak, stabil temel üzerinde teşkil edilmiş uygun kalınlıkta üstyapı tabakalarıdır [12].

Aşınma tabakasının kalınlığı; trafik koşullarına, çevresel koşullara, uygulanacak bölgeye ait deneyimlere ve ekonomik şartlara bağlı olarak farklılık göstermektedir. Aşınma tabakası tekerlek izi oluşumuna ve yüzey çatlaklarına dayanımı, güvenli sürtünmeyi, gürültünün en alt düzeye indirilmesini sağlayacak biçimde tasarlanıp uygulanmalıdır. Bu şartlar, taş mastik asfalt, superpave yaklaşımına uygun iyi derecelenmiş karışımlar ve açık gradasyonlu sürtünme tabakaları kullanılarak sağlanabilmektedir. Tekerlek izi oluşumuna karşı direnç, durabilite, su geçirimsizliği ve su tesirlerine karşı dayanımın zorunlu olduğu durumlarda TMA kullanımı büyük önem arz etmektedir. TMA kullanımı özellikle tonajlı araç trafik hacmi yüksek yollarda ve şehir içi yollarda gerekli görülmektedir [13].

Trafik yüklerinin artması yol kaplamalarındaki deformasyonların artmasına neden olmaktadır. Araştırmalar yol yapım maliyetlerini düşürmeyi, performansı arttırmayı ve yol ömrünü arttırmayı amaçlamaktadır [14].

Malzemenin maliyeti, enerji ve kaynakların verimli kullanımı gibi hususlar mühendisleri yeni yol yapım teknikleri ve alternatif malzeme bulmaya yöneltmektedir [15].

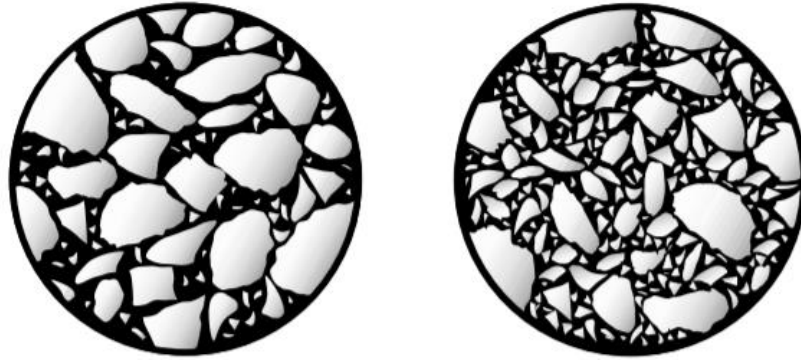
Bu çalışmanın amacı da TMA karışımlarda bitümün agrega yüzeyinden süzölmesini önlemek amacıyla kullanılan selölözük fiber yerine doğal kenevir lifinin kullanılabilirliğinin ayrıca doğal kenevir lifleriyle hazırlanan numunelerin Marshall parametrelerine etkisinin araştırılmasıdır.



2. TAŞ MASTİK ASFALT KARIŞIMLAR

2.1. Taş Mastik Asphalt Karışımların Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

TMA, iri agregadan oluşan iskelet yapı ile bu iskelet yapı arasındaki boşlukları dolduran ince agrega, filler ve bitüm harcının (mastik) karışımıdır. Yüksek dane teması ve iç kenetlenme ile kaba agrega trafik yüklerini taşıırken mastik harç ise boşlukları doldurarak durabiliteyi artırır. TMA karışımının bitüm oranının yüksektir ve bitüm ve filler karışımının süzülmesini önlemek amacıyla fiber kullanılır. TMA karışımlarda fiber kullanımı bitüm oranının artmasına olanak sağlamakta ve buna bağlı olarak durabiliteyi yükseltmekte ve plastik deformasyonlara karşı dayanımı arttırmaktadır [16]. Şekil 2.1’de TMA ve HMA (Sıcak Asphalt Karışım) karışımlara ait yüzey görünümleri verilmiştir.



Şekil 2.1. TMA (solda) ve HMA (sağda) Karışımları Yüzey Görünümleri [17]

TMA karışımları ilk olarak 1968 yıllarında Almanya’da çivili kar lastiklerinin oluşturduğu bozulmaları önlemek amacıyla geliştirilmiştir. 1975 yılında Avrupa’da çivili lastik kullanımının yasaklanmasıyla TMA karışımlarının kullanımına ara verilmiştir. Bir süre sonra Almanya’da yollarda tekerlek izi oluşumu gözlenmiş ve araştırmalar TMA karışımlarının kalıcı deformasyonlara karşı BSK karışımlardan daha yüksek performansa sahip olduğu gözlenmiştir. Bu sebeple TMA karışımların Almanya’da yeniden kullanılmasına karar verilmiş ve çoğu dünya ülkesinde yaygın olarak kullanım alanı bulmuştur [16].

Avrupa’da 30 yıldan fazla zamandır başarıyla kullanılan TMA karışımları, Amerika Birleşik Devletleri’nde ilk olarak 1991 yılının başında kullanılmaya başlanmıştır. Bu

karışımlar Avrupa’da çivili lastiklerin aşındırmasını önlemek amacıyla tasarlanmıştır fakat kalıcı deformasyonlara karşı daha yüksek direnç sağladığı belirlenmiştir [18].

2.2. Taş Mastik Asfalt Karışımların Türkiye’de Kullanımı

TMA karışımlarının Türkiye’de laboratuvar ve arazi performanslarının yüksek olması nedeniyle, ağır taşıt trafiğine maruz kalan güzergahlarda aşınma tabakası olarak TMA kullanımı yaygınlaşmaktadır. TMA ülkemizde ağır trafik hacminin olduğu otoyollarda, şehir içi kavşaklarda, toplu taşıma için ayrılmış yollarda aşınma tabakası olarak kullanılmaktadır [19]. Tablo 2.1’de yıllara göre asfalt uygulama ve bitüm tüketim miktarları verilmiştir.

Tablo 2.1. Türkiye’de Yıllara Göre Asfalt Uygulamaları ve Bitüm Tüketimi [20]

	2013	2014	2015	2016	2017
Bitümlü Sıcak Karışım(milyon ton)	46,2	30,9	37,9	40,4	46,9
Sathi Kaplama(km²)	216,3	203,8	269,2	306,4	268,4
Soğuk Bitümlü Karışım(milyon ton)	1,050	0,938	0,783	0,544	1,048
Bitüm Tüketimi(milyon ton)	2,820	2,389	2,726	2,931	3,620

2.3. Taş Mastik Asfalt Kaplamalarda Kullanılan Malzemeler ve Teknik Özellikleri

Taş mastik asfalt karışımlarda kullanılacak agrega, bitüm ve fiberler Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen özelliklere sahip olmalıdır.

2.3.1. Agrega

Taş mastik asfalt karışımlarda agregalar arasında daha fazla temas olduğundan bu karışımda kullanılan agreganın, yoğun gradasyonlu geleneksel asfalt betonu kaplamada kullanılan agregadan daha üstün nitelikli olması gerekmektedir [21].

2.3.1.1. Kaba Agrega

Kaba agrega No.4 elek üzerinde kalan malzeme; kırmataş, kırma çakıl veya bunların bileşiminden oluşacaktır [22].

TMA kaba agregası granit, bazalt veya diğer yüksek kaliteli magmatik kayaların kırılmasından elde edilen agregalardan oluşmaktadır. Kaba agrega çakıldan üretildiğinde, agreganın tüm yüzleri kırılmış olmalıdır [21]. TMA kaplamalarda kullanılacak kaba agrega özellikleri Tablo 2.2’de belirtilen özellikleri sağlamalıdır.

Tablo 2.2. TMA Kaplamalarda Kullanılacak Kaba Agrega Özellikleri [22]

Deney	Şartname Limitleri ^c	Deney Standardı
Parçalanma Direnci (Los Angeles) (%) Kayıp	≤ 25	TS EN 1097-2 ^a AASHTO T 96
Aşınma Direnci (Mikro-Deval) ^b (%) Kayıp	≤ 20	TS EN 1097-1
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, (MgSO ₄ ile kayıp) (%)	≤ 14	TS EN 1367-2
Yassılık İndeksi (%)	≤ 25	BS 812
	≤ 25	TS EN 933-3 ^a
Cilalanma Değeri (%)	≥ 50 ≥ 40 binder için	TS EN 1097-8
Kırılmışlık, ağırlıkça (%) (Tüm yüzeyi kırılmış- Tüm yüzeyi yuvarlak)	≥ 100 - ≤ 0	TS EN 933-5
Soyulma Mukavemeti (Bitüm Kaplı Yüzey) (%) (24 saat 60 °C suda bekletmeden sonra)	≥ 60	TS EN 12697-11 (Kısım 403 EK-A)
Su Emme (%)	≤ 2,0	TS EN 1097-6
Kil Topakları ve Ufalanabilir Taneler (%)	Bulunmayacak	ASTM C 142 AASHTO T 112
^a Referans Metot. ^b Gerek görüldüğünde yapılacaktır. ^c Parantez içerisindeki ifade, şartname değerinin TS EN 13043’deki sınıfını gösterir.		

2.3.1.2. İnce Agrega

İnce agrega, No.4 elekten geçen malzeme; sert ve dayanıklı kırmataş, kırma çakıl veya bunların bileşiminden oluşmalıdır. İnce agrega kil topakları, gevrek malzemeler organik ve diğer zararlı malzemeleri içermemelidir [22]. İnce agrega Tablo 2.3’te verilen özelliklere sahip olmalıdır.

Tablo 2.3. TMA Kaplamalarda Kullanılacak İnce Agrega Özellikleri [22]

Deney		Şartname Limitleri	Deney Standardı
Plastisite İndeksi		N.P.	TS-1900-1
Organik Madde (%)		Negatif	TS EN 1744-1 Madde 15.1
Su Emme (%)		≤ 2,0	TS EN 1097-6
Metilen Mavisi (g/kg)	İnce agreganın 0/2 mm kısmına	≤ 1,5 ≤ 3,0	TS EN 933-9
	Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm kısmına	≤ 3,0	
* Magmatik kökenli kayalarda, şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerinin sağlanmaması durumunda bu şart aranacaktır.			

2.3.1.3. Mineral Filler

No.200 elekten geçen malzeme filler olarak isimlendirilir. Karışımlarda mineral filler taş tozu ve sönmüş kireçten oluşacaktır. Mineral filler tamamen kuru olmalı toprak, kil, organik madde ve diğer zararlı maddeleri içermemelidir [22]. Mineral filler Tablo 2.4'te verilen özelliklere sahip olmalıdır.

Tablo 2.4. TMA Kaplamalarda Kullanılacak Mineral Filler Gradasyon Limitleri [22]

Elek Boyu		Geçen, %
No	mm	
No.40	0,425	100
No.80	0,180	85-100
No.200	0,075	70-100

KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü) teknik şartnamesine göre filler agregada plastisite indeksi aranmamaktadır [22].

2.3.1.4. Agrega Gradasyonu

Mineral agregası, filler dahil en az dört ayrı dane grubunun belli oranda karıştırılması ile oluşacaktır. Bitümlü malzemeler ile karıştırıldığında agregası uniform olmalıdır [22]. BSK’larda istenilen bir kalitede kaplama elde edilmesi, agregası kontrolünün sağlanması, yerel olarak bulunan malzemeden optimum şekilde yararlanma ve boyutların standart hale getirilip, maliyetlerin azaltılması ihtiyacından dolayı agregası gradasyon şartnamesi geliştirilmiştir [23]. Agregası karışımının dizayn gradasyonu ve tolerans limitleri tablo 2.5 ve 2.6’da verilmiştir.

Tablo 2.5. TMA Aşınma Gradasyonu ve Tolerans Sınırları [22]

Elek Boyutu		TMA TİP-1		TMA TİP-2	Tolerans Limitleri
		A	B		
inç	mm	Geçen (%)	Geçen (%)	Geçen (%)	(%)
3/4"	19,0	100	100		
1/2"	12,5	90-100	90-100	100	± 4
3/8"	9,5	50-75	50-67	90-100	± 4
No.4	4,75	25-40	25-35	25-45	± 3
No.10	2,0	20-30	20-30	20-30	± 3
No.40	0,425	12-22	12-22	12-22	± 3
No.80	0,180	9-17	9-17	9-17	± 3
No.200	0,075	8-12	8-12	8-12	± 2

Tablo 2.6. TMA Binder Gradasyonu ve Tolerans Sınırları [22]

Elek Boyutu		TMA Binder	Tolerans Limitleri
inç	mm	Geçen (%)	(%)
1"	25,0	100	
3/4"	19,0	92-100	± 4
1/2"	12,5	73-83	± 4
3/8"	9,5	56-66	± 4
No.4	4,75	32-42	± 3
No.10	2,0	25-30	± 3
No.40	0,425	14-20	± 3
No.80	0,180	9-15	± 3
No.200	0,075	7-11	± 2

2.3.2. Bitümlü Bağlayıcı

TMA karışımlarda kullanılacak bitümlü bağlayıcı TS EN 12591 Standardına uygun 40/60 veya 50/70 penetrasyonlu bitüm olabilir [22].

2.3.2.1. Bitümlü Bağlayıcı Özellikleri

Yol kaplamalarında kullanılan kaplama sınıfı bitümlerin özellikleri Tablo 2.7’de verilmiştir.

Tablo 2.7. Yol Kaplamalarında Kullanılan Kaplama Sınıfı Bitümlerin Özellikleri [22]

Sıra No	Deney Adı	Deney Standardı	Bitüm Sınıfları				
			B 40/60	B 50/70	B 70/100	B 100/150	B 160/220
1	Penetrasyon, (25 °C) 0,1 mm	TS EN 1426	40-60	50-70	70-100	100-150	160-220
2	Yumuşama Noktası (°C)	TS EN 1427	48-56	46-54	43-51	39-47	35-43
3	Frass Kırılma Noktası ^a (°C)	TS EN 12593	≤ -7	≤ -8	≤ -10	≤ -12	≤ -15
4	Yaşlanmaya Karşı Dayanım ^b	TS EN 12607-1					
4.1	Kütle Değişimi (%)		≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0
4.2	Kalıcı Penetrasyon (%)	TS EN 1426	≥ 50	≥ 50	≥ 46	≥ 43	≥ 37
4.3	Yumuşama Noktası Yükselmesi (°C)	TS EN 1427	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 10	≤ 11
5	Parlama Noktası (°C)	TS EN ISO 2592	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 220
6	Çözünürlük (%)	TS EN 12592	≥ 99	≥ 99	≥ 99	≥ 99	≥ 99
7	Parafin Mumu İçeriği ^c (%)	TS EN 12606-1	≤ 2,2	≤ 2,2	≤ 2,2	≤ 2,2	≤ 2,2
		TS EN 12606-2	≤ 4,5	≤ 4,5	≤ 4,5	≤ 4,5	≤ 4,5

^a Soğuk bölgelerde kullanılacak bitümlerde yapılacaktır.
^b Kalite kontrol amaçlı olarak bu deneyin TS EN 12607-02 (TFOT) deney standardı kullanılabilir.
^c Gerek duyulduğunda yapılacaktır.

2.3.2.2. Bitüme Uygulanan Deneyler

2.3.2.2.1. Penetrasyon Deneyi

Penetrasyon deneyi katı haldeki bitümün kıvamını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Deneyde 100 g. ağırlığındaki iğnenin 25 °C’deki bitüme 5 sn. süreyle batma miktarı Penetrasyon olarak tayin edilir. 1 Penetrasyon değeri 0,1 mm batma miktarını ifade etmektedir. Penetrasyon değeri ile bitüm sınıfı da saptanmaktadır [24]. Şekil 2.2’de Penetrasyon deney aleti gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Penetrasyon Deney Aleti

2.3.2.2.2. Yumuşama Noktası Deneyi

Yumuşama noktası deneyi bitümün yumuşama sıcaklığını belirlemek maksadıyla yapılan deneydir. Bu deneyde, kalınlık ve çapta bir halka içerisindeki bitüm deney düzeneğine yerleştirilmektedir. Bitüm üzerine standart çap ve ağırlıktaki bilye yerleştirilerek düzenek belirli hızda ısıtılmaktadır. Sıcaklık dakikada 5 °C arttırılmaktadır. Bitümün tabana değdiği andaki içinde bulunduğu suyun sıcaklığı yumuşama noktasını ifade etmektedir [25,26,27]. Şekil 2.3'te yumuşama noktası deney aleti gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Yumuşama Noktası Deney Aleti [28]

2.3.2.2.3. Düktilite Deneyi

Düktilite deney düzeneğine yerleştirilen bitüme 25  C’de dakika 5 cm hızla çekme uygulanır. İki parçayı birbirine bağlayan bitümün koptuğu andaki uzama miktarı santimetre cinsinden bitümün düktilitesi olarak ifade edilir [25,29]. şekil 2.4’te Düktilite deney aparatları ve cihazı verilmiştir.



şekil 2.4. Düktilite Test Aparatları ve Test Cihazı [28]

2.3.2.2.4. Dönel Viskozimetre Deneyi

Yüksek sıcaklıklardaki bitümlü bağlayıcı karakteristiklerini belirlemek amacıyla dönel viskozimetre deneyi kullanılmaktadır. Deneyde bitümün 20 dev./dk hızla dönen silindirik uca gösterdiği direnç bilgisayar kontrolü ile takip edilir ve okumanın sabit olduğu değer bitümün viskozitesi olarak ifade edilir [30,31,32]. şekil 2.5’te Brookfield Dönel Viskozimetre cihazı gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Dönel Viskozimetre Deney Aleti

2.3.3. Fiber

Asfalt karışımlarda fiber kullanımı yıllar öncesine dayanmaktadır. Asfalt karışımlarda fiber olarak saman kullanımının ilk örneklerinin eski Mısır'daki yapılarda olduğu öne sürülmektedir. Birleşik devletlerde 1920'li yılların erken dönemlerinde asbestos fiberleri kullanılmış ve bu kullanım 1960'lı yıllara kadar devam etmiştir. Artan çevre ve sağlık endişeleriyle kullanımı son bulmuştur. 1930'larda pamuk lifleri kullanılmış, fakat zamanla bozulma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Dünyanın farklı yerlerinde ve çeşitli uygulamalarda fiberler kullanılmıştır [33,34,35,36,37].

Fiberlerin birçok tipi asfalt kaplama karışımlarında kullanımı uygundur. Selüloz ve mineral fiberler TMA, açık gradasyonlu ve poroz karışımlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [38]. Asfaltın genellikle basınçta güçlü çekmede zayıf olduğu saptanmıştır. Çekme mukavemeti yüksek fiber kullanımı bir karışımın çekme mukavemetinin artmasına katkı sağlamaktadır. Teoride güçlü fiberler gerilmeleri üzerine alarak nispeten zayıf asfalt üzerinde ki gerilmeyi azaltır. Gerilmeleri etkili bir şekilde dağıtmak için fiber ve asfalt karışımı arasındaki adezyon iyi olmalıdır. Fiberlerdeki daha büyük yüzey alanı bu adezyona yardım edebilmektedir. Buna ek olarak, gerilim yoğunluğundan kaçınmak amacıyla fiberler karışım içerisinde uniform olarak dağılmış olmalıdır [35].

2.3.3.1. Fiber Tipleri

Fiberlerin her türü ve formu asfalt karışımlarda kullanılmaktadır. En yaygın fiberler selüloz, mineral ve polimer fiberlerdir [38].

2.3.3.1.1. Selüloz Fiberler

Selüloz fiberler, bazıları geri dönüştürülmüş gazetelerden elde edilmesine rağmen yaygın olarak odunsu bitkilerden elde edilen bitki esaslı fiberlerdir [38].

2.3.3.1.2. Mineral Fiberler

Mineral fiber olarak, doğada kendiliğinden oluşan asbestos yada üretilen mineral fiberler kullanılabilir [38].

2.3.3.1.3. Sentetik Polimer Fiberler

En yaygın kullanılan fiberler polyester, polipropilen, aramid ve polimerlerin birleşimidir. Farklı polimerlerin farklı erime noktasına sahip olduğu, sıcak asfalt karışımlara katıldığında göz önünde bulundurulmalıdır [35,38].

2.3.3.1.4. Diğer Bitki Esaslı Fiberler

Bunlar sınırlı alanlarda kullanılmaktadır. Bu fiberler jüt, keten, saman, ve kenevir gibi odunsu bitkilerin liflerinden, sisal bitkisinin yapraklarından elde edilebilirler. Ayrıca bu fiberler hindistan cevizi, pamuk, palmye gibi meyve liflerinden elde edilebilir [38,39,40,41,42,43,44,45].

Fiberler, TMA aşınmada karışım ağırlığının %0,3 – 1,0'i, TMA binderde %0,2 – 0,8'i oranında veya imalatçı tarafından tavsiye edilen oranda karışıma ilave edilebilmektedir. Fiber stabilize edici katkı maddesi olarak kullanılacak olup selüloz veya mineral fiber olmalıdır. Seçilen fiber Tablo 2.8 ve 2.9'da tanımlanan özelliklere uygun olmalıdır [22].

Tablo 2.8. Mineral Fiber Özellikleri [22]

Fiber Uzunluğu (Maksimum)	6 mm
No.40 (0,425 mm) elekten geçen	%95 (min.)
No.200 (0,075 mm) elekten geçem	%65 (min.)

Tablo 2.9. Selülozik Fiber Özellikleri [22]

Kül Muhtevası	% 18,0 ± % 5,0
PH	7,5 ± % 1,0
Yağ Absorbsiyonu	Elyaf Ağırlığının 5 ± 1 katı
Nem Absorbsiyonu	Ağırlıkça % 5,0

2.3.3.2. Taş Mastik Asfalt Kaplamalarda Fiber Kullanımı

Fiberler; karışım tasarımı, fiber dozajı ve karışım üretimi uygun olduğu sürece herhangi bir performans problemine neden olmamaktadır. Bazı durumlarda fiberler çatlama ve yorulma dirençlerini geliştirirken bazı durumlarda herhangi bir etkiye sahip olduğu görülmemiştir. Bu farklılıklar için, farklı çalışmalarda kullanılan farklı malzemeler, laboratuvar ve çalışma koşulları ve doğal değişkenliklerde olmak üzere birçok olası açıklama vardır [38].

Kumar ve ark. (2011), Hindistan’da yaygın olarak kullanılan sentetik fiberlere alternatif olarak kaplamalı jüt fiber katkılı TMA karışımları üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmada 60/70 penetrasyon sınıfında asfalt bağlayıcı kullanılmıştır. Yazar çalışmada sentetik fiber katkılı karışımların 35 °C ve 25 °C’de esneklik modülünün jüt fiber katkılı karışımlara göre 1,25 ve 1,27 kat daha yüksek olduğunu bulmuştur. Dinamik sünme testinde, 40 °C ve 50 °C’de jüt katkılı karışımların kümülatif deformasyonlarının sentetik fiber katkılı karışımlardan nispeten %4,0 ve %8,0 daha düşük olduğu görülmüştür. Çünkü dinamik sünmedeki düşük birikimli deformasyon değerleri kalıcı deformasyona karşı yüksek hassasiyeti göstermektedir. Yazar jüt fiber katkılı TMA karışımların sentetik fiber katkılı karışımlara kıyasla kalıcı deformasyonlara karşı hafif bir şekilde daha düşük direnç ortaya koyduğunu ifade etmektedir [46].

Çeşitli oranlarda tiftik yünü lignin, mineral, polyester ve karışık fiber katkılarının TMA karışımlara katılmasıyla yapılan çalışmada; her dört fiber türünde de karışım oranının artmasıyla Marshall stabilite değerlerinin de arttığı görülmüştür. Fiber içeriğinin %0,3'den fazla olduğunda karışık fiber, %0,3 olduğunda polyester fiber katkılı karışımın stabilitesinin daha iyi olduğu görülmektedir. Karışım oranları içerisinde en düşük stabilite değerleri mineral fiber katkılı karışımlarda görülmektedir. [47].

Muz lifinin asfalt karışımlara etkisinin incelendiği çalışmada; (0, 5, 10, 15, 20 mm) boylarında muz lifi kullanılarak üretilen TMA karışımlarının Marshall stabilitelerinin lif boyu arttıkça arttığı görülmektedir. Ayrıca çalışmada yapılan süzülme deney sonuçları muz lifinin aşırı süzülmeyi dengeleyici olarak kullanılabileceğini göstermektedir [48].

Pomza taşının fiber olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı çalışmada; karışımlara (0,180 – 0,075 mm ve 0,075 mm'den daha küçük) iki farklı boyutta ve %2,0 %4,0 ve %6,0 oranlarında pomza taşı ilave edilmiştir. Hazırlanan karışımlara Schellenberger deneyi uygulanmıştır. Pomza taşı boyutunun Schellenberger deney sonucuna katkısı olmadığı, ayrıca %4,0 ve %6,0 oranlarında fiber kullanılan karışımların deney sonuçlarının ise birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. TMA tasarım kriterlerine göre Schellenberger deney sonucunun %0,3'ü aşmaması gerekmektedir. %4,0 ve %6,0 oranlarında fiber olarak kullanılan pomza taşının bu kriteri sağladığı görülmektedir. Ancak fiber oranı %6,0 olduğunda karışımın işlenebilirliğinin azaldığı ve bitüm tüketimin arttığı görülmektedir. Bu sebeple karışıma %4,0 oranın fiber ilave edilerek TMA karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan TMA karışımlarının Vh ve VMA değerlerinin 2013 yılı KGM teknik şartnamesi sınır değerlerine uygun olduğu görülmektedir. Ön testler TMA karışımlarında pomza taşının %4,0 oranında kullanımı esnek üstyapı kaplamaları için en uygun performans sağlamaktadır [49].

2.4. Taş Mastik Asfalt Karışımların Özellikleri

Taş mastik asfalt karışımların en önemli özelliği %70 - %80 oranında kaba agrega ve %6,0 - %7,0 oranında bitümlü bağlayıcı içermesidir. Yüksek oranda kullanılan kaba agrega, birbiri ile temas halinde bir iskelet yapı oluşmasını sağlar. Bu iskelet yapı, yol

yüzeyine uygulanan yüklerin yol üzerinde deformasyona neden olmadan alt yapıya iletilmesini sağlar [50]. Açık gradasyona sahip olmasına rağmen, yüksek oranda kullanılan filler ve bitümlü bağlayıcı nedeniyle düşük boşluk oranına sahiptir. Yoğun gradasyonlu karışımlar için filler/bitüm oranı oranı 1,2 iken, TMA karışımlarında bu oran 1,5 olmaktadır [51].

2.4.1. Taş Mastik Asfalt Karışım Tasarımı

TMA karışımlarının dizaynında Marshall karışım tasarımı kullanılmaktadır. Yukarıda belirtilen gradasyona uygun olarak karıştırılan agrega bitümlü bağlayıcı ile belirlenen ideal sıcaklıklarda karıştırılarak iki yüzeyde 50'şer darbe uygulanarak sıkıştırılır. 24 saat oda sıcaklığında bekletilen numunelerin havada, suda ve suya doygun ağırları belirlenerek hacim özgül ağırlıkları, boşluk oranları hesaplanır. TMA karışımı tablo 2.10'da verilen özellikleri sağlamalıdır.

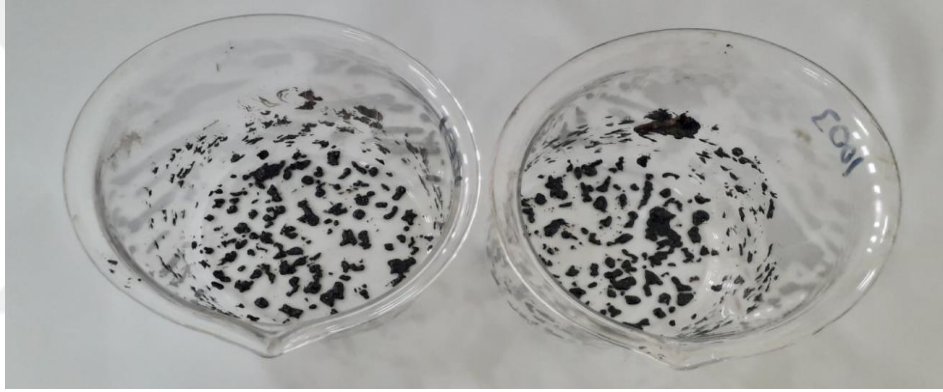
Tablo 2.10. TMA Tasarım Kriterleri [22]

Özellikler		Şartname Limitleri		Deney Standardı
		TMA Aşınma	TMA Binder	
Briket Yapımında Kullanılacak Darbe Sayısı		50	50	TS EN 12697-30
Hava Boşlukları (%)		2-4	3-4	TS EN 12697-8
Sıcak İklim Bölgelerinde Hava Boşlukları (%)		3-4		
Agregalar Arası Boşluk (VMA) (%) min.	TİP-1	16	13	TS EN 12697-8
	TİP-2	17		
Bitümlü Bağlayıcı (%)	TİP-1	5,8	5,2	TS EN 12697-1
	TİP-2	6,5		
İndirekt Çekme Mukavemeti Oranı, min. (%)		80	80	AASHTO T 283
Tekerlek İzinde Oturma (30.000 devirde, 60 °C'de (%) maks.		6	6	TS EN 12697-22
Elyaf Miktarı (%)		0,3-1,0	0,2-0,8	
Schellenberger Bitüm Süzülme Deneyi (%) maks.		0,3	0,3	TS EN 12697-18
Not: Tabakalar arası yapışma dayanımı TS EN 12697-48'e göre yapılabilecektir.				

2.4.2. Taş Mastik Asfalt Karışımları Üzerine Uygulanan Deneyler

2.4.2.1. Schellenberger Süzülme Deneyi

Schellenberger süzülme deneyi bitümün süzülme miktarını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Normal bitümde 135 ± 5 °C ve modifiyeli bitümlerde 145 ± 5 °C’de hazırlanan 1000 g TMA karışımı; 110 °C fırında ısıtılmış 1000 ml’lik cam behere konularak tartılır. Normal bitümle hazırlanan karışım için 175 °C, modifiyeli bitümle hazırlanmış karışım için 185 °C fırında 60 ± 1 dakika bekletilir. Süre sonunda beher sarsılmadan boşaltılır ve cam yüzeyinde kalan bitüm oranı tayin edilir [22]. Şekil 2.6’da Schellenberger deneyi sonrasında cam beherde oluşan görünüm verilmiştir.



Şekil 2.6. Schellenberger Süzülme Deneyi

2.4.2.2. Marshall Stabilite Deneyi

Marshall stabilite deneyi asfalt numunelerin stabilite ve akma değerlerini belirlemek amacıyla Marshall test cihazı ile yapılmaktadır. Stabilite ve akma değeri belirlenecek numuneler 30 dakika 60 °C suda bekletildikten sonra stabilite cihazının haznesine yerleştirilir. Marshall test cihazı numuneye 50,8 mm/dakika hızla yükleme yapar. Numunenin kırıldığı andaki değeri olan stabilite ve kırıldığı andaki hareket miktarı olan akma değerleri belirlenir.

2.4.3. Taş Mastik Asfalt Karışımların Üstünlükleri

- ✓ TMA karışımları kalıcı deformasyonlara karşı yüksek stabilite ve yüksek aşınma direnci sağlar.
- ✓ Yüksek kaplama sıcaklıklarında deformasyon direnci sağlar.

- ✓ Yaşlanma yavaştır ve erken asfalt çatlamlarına karşı dayanıklıdır.
- ✓ Hizmet ömrü uzundur.
- ✓ Su sıçratma ve gürültü düzeyi azdır.
- ✓ Düşük sıcaklık performansı iyidir.

2.4.4. Taş Mastik Asfalt Karışımların Sakıncaları

- ✓ Yüksek bağlayıcı oranı ve ilave fiber gereksinimi nedeniyle maliyeti yüksektir.
- ✓ İşlenebilirliği düşük olduğu için daha itinalı işçilik gerektirir.
- ✓ Polimer modifiyeli karışımlarda istenilen yüksek sıcaklığın korunabilmesi için nakliye mesafeleri sınırlandırılabilir.
- ✓ Trafiğe açılması zaman alabilir.

3. KENEVİR

Cannabinaceae familyasına ait bir tür olan kenevir odunsu ve tek yıllık bir bitkidir. Çeşitli yollarla dünya geneline yayılan kenevirin anavatanı Asya'dır. Cannabis Sativa ve Cannabis Indica olmak üzere iki alt türü bulunmaktadır. Cannabis Sativa türü önemli endüstriyel uygulamaları ile ön plana çıkmaktadır. İnsanlık tarihinde, yetiştirilen ilk kültür bitkilerinden birisi kenevirdir [52,53].

Cannabis Sativa türü ilk olarak MÖ 2700'lü yıllarda Çin'de ilaç olarak kullanılmış, MÖ 2000-2200 yıl öncesinde Asya'dan Avrupa'ya taşınmış ve günümüze kadar ekimine devam edilmiştir [53,54].

Kenevir yüzyıllardan beri endüstriyel ve tekstil ürünler başta olmak üzere hammadde olarak kullanılan lif ve yağlı tohum kaynağı bir bitkidir. Günümüzde dünya çapında otuzdan fazla ülkede endüstriyel kenevir yetiştirilmekte ve kenevir ürünleri dünya pazarında alıcı bulmaktadır [55,56].

3.1. Kenevir Lifinin Yapısal ve Fiziksel Özellikleri

Kenevir tek yıllık bir bitkidir. Bitkinin boğumlu uzun bir sakı vardır. Lif hücreleri kabuk kısmında demetler halindedir ve her lif demetinde 30-50 lif hücresi bulunmaktadır [53,57]. Her bir lif hücresi 20-35 mikron arasında inceliğe sahiptir. Kenevir sakında bulunan primer lifler tekstil sanayisinde kullanılmaya uygundur. Primer lifler sürgen dokudan meydana gelmektedir. Büyüme aşamasında bitkinin lif sayısında değişim olmazken liflerin boyu uzamaktadır. Gövdeden aşağı inildikçe lif kalınlığı artmaktadır. Parlak olan lifler sarı-kahverengi renktedir ve enine kesit poligonaldır [53,58].

Kenevir lifi dayanıklı, yüksek mukavemetli ve emicilik özelliğiyle doğal bir liftir [53]. Kenevir ve bazı selülozik liflerin fiziksel özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Kenevir ve Bazı Diğer Selülozik Liflerin Fiziksel Özellikleri [54,58]

Lif Cinsi	Tek Lif Uzunluğu (cm)	İşlem Görmüş Lif Uzunluğu (cm)	Kuru Özgöl Mukavemet (cN/dtex)	Yaş Özgöl Mukavemet (% kuru)	E-Modül(Mpa)	Yıllık Lif Verimi (kg/hektar)
Pamuk		1-6	25-50	105	11	800-1.000
Kenevir	100-300	65-75	35-70	105	12,7	3.000
Jüt	160-360	65-75	30-34	100	19-35	2.200
Keten	20-40	10-40	30-55	105	12-26	2.000

3.2. Türkiye’de Kenevir Yetiştiriciliği

Anadolu’da kenevir üretiminin MÖ 1500’lü yıllarda yapıldığı bilinmektedir. Samsun sınırları içerisinde bulunan Dünder Tepe Höyüğünde yapılan kazılar neticesinde yunus balığının bel omurundan yapılmış urgan yapımında kullanılan bir alet bulunması Anadolu’da kenevir tarımının MÖ 1500 yılından beri yapıldığını göstermektedir [59,60,61,62,63].

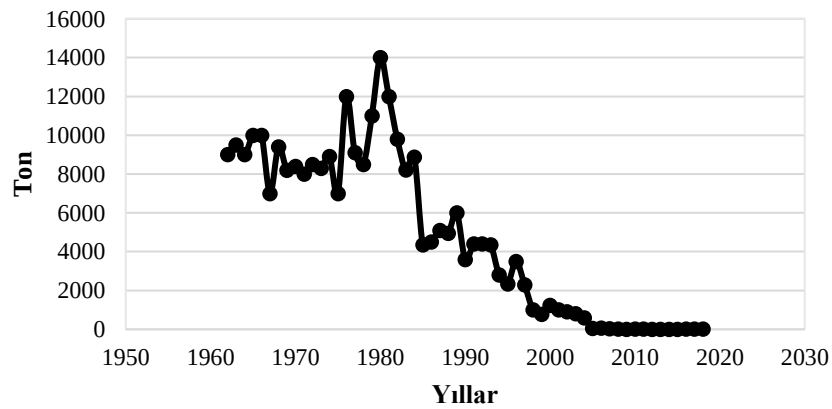
Kenevir ülkemizde hemen hemen bütün bölgelerimizde yetiştirilebilmekle birlikte nemin fazla olduğu Karadeniz Bölgesi tarım için en uygundur. Diğer bölgelerde de sulama faaliyetleri sayesinde verimli kenevir tarımı yapılabilmektedir [64].

Ülkemizde kenevir tarımı yönetmelikler dahilinde ve Bakanlık tarafından verilen izne bağlı olarak yapılmaktadır. 2016 yılında resmî gazetede yayımlanan Kenevir Yetiştiriciliği ve Kontrolü hakkında yönetmeliğe göre Türkiye’de kenevir tarımına izin verilen 19 il Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Türkiye’de Kenevir Tarımına İzin Verilen 19 İl [65]

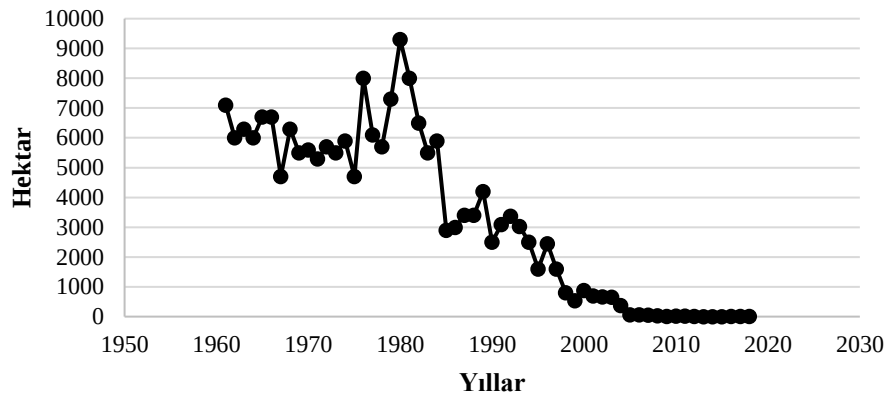
Türkiye’de kenevir yetiştiriciliği ve kenevir ürünleri kullanımı Osmanlı İmparatorluğu zamanına dayanmaktadır. Osmanlı’da; denizcilik ve tersane faaliyetleri sebebiyle kullanılan halat, urgan gibi kenevir mamulü malzemelere ihtiyaç duyulması, kenevir yetiştiriciliğine verilen ehemmiyeti arttırmıştır. Osmanlı Devleti’nde Trabzon, Canik, Aydın, İzmir, Kastamonu gibi vilayetler kenevir yetiştiriciliği ile ön plana çıkmış, özellikle Kastamonu en çok üretimin yapıldığı bölge unvanını almıştır [55]. Türkiye’de 1961-2018 yılları arasındaki kenevir lifi üretim miktarı Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Türkiye’de 1961-2018 Yılları Arasında Kenevir Lifi Üretimi [66]

Şekil 3.2’de Türkiye’de 1961-2018 yılları arasında en fazla kenevir üretimi yaklaşık 14.000 ton ile 1980 yılında yapıldığı, 2018 yılında ise bu rakamın 9 ton ile sınırlı kaldığı görülmektedir.

Türkiye’de üretimi 1933 yılında mevzuata bağlanan kenevir, Tarım ve Orman Bakanlığı’nın 29 Eylül 2016’da yayınladığı Kenevir Yetiştiriciliği ve Kontrolü Hakkında Yönetmelik ile izne tabi kültür bitkisi statüsüne alınmıştır [67]. Türkiye’de 1961-2018 yılları arasında kenevir üretim alanları Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Türkiye’de 1961-2018 Yılları Arasında Kenevir Lifi Üretim Alanları [66]

Türkiye’de kenevir üretim alanı yaklaşık 9.000 hektar ile en fazla 1980 yılına aittir. Üretim alanları 1980 yılından sonra azalma eğilimi göstermiştir.

3.3. Kenevirin Kullanım Alanları

Kenevir lifinin aşınma direnci, nefes alabilirlik, boncuklanmama, anti bakteriyel özellik sağlama ve mukavemet, nem absorbe, elektrostatik özelliklerin yüksek olması nedeniyle pek çok alanda tercih edilmektedir. 50.000’den fazla üründe kenevir lifinin kullanıldığı yorumlanabilmektedir. Kenevir lifinin kullanımın ne kadar geniş bir alana yayıldığıнын en iyi örneklerinden biri 1940’lı yıllarda Henry Ford tarafından kenevir lifi ile üretilen çelikten 10 daha sağlam olan ve kenevir biyoyakıt ile çalışacak şekilde tasarlanan otomobildir [68,69].



Şekil 3.4. Kenevirin Kullanım Alanları [68]

Şekil 3.4’te belirtilen doğal kenevir lifinin kullanım alanlarından; yapay liflerden elde edilen plastiklerin yerine geçmesiyle dünyanın sürdürülebilir geleceği açısından önemi bulunan biyobozunur özelliğe sahip biyoplastikler, 8 kez geri dönüştürülebilmesiyle çevreci bir yaklaşım sunan kenevir esaslı kağıtlar ve dünya atmosferine karbondioksit salınımına sebep olmayan biyodizeller dikkat çekmektedirler [68,70].

Günümüzde kenevir lifleri ekolojik özellikleri ve üstün kullanım performansı ile ön plana çıkmaktadır. Kenevir liflerinin özellikle de tekstil sektöründe kullanımı çok eskilere dayanmakla birlikte, kenevir lifinden kompozit malzeme üretiminden de çokça faydalanılmaktadır. Tutkal ve diğer polimerler malzemelerle iyi bağlar kurması neticesinde mobilya ve otomotiv sektöründe de dikkatleri üzerine çekmeyi başarmıştır. Mobilya sektöründe özellikle döşemelik kumaş kullanımında tercih edilirken otomobil endüstrisinde kapı ve koltuk panelleri gibi alanlarda kenevir liflerinden üretilmiş kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Çevresel kaygıların artması ve liflerinin

şekillenebilme ve kullanım kolaylığından dolayı kenevir liflerinden üretilmiş tekstil ürünlerine ve kompozit malzemelere sürekli bir talep olmaktadır [68,71].

3.3.1. Kenevir Bitkisinin İnşaat Mühendisliğinde Kullanımı

Kenevir bitkisinin inşaat Mühendisliği alanında yapı malzemesi olarak kullanımı ve bitümlü karışımlar üzerine ülkemizde kısıtlı çalışmalar yapılmıştır. Ancak yurt dışında birçok çalışma yapılmıştır. Kenevir bitkisinin inşaat mühendisliği alanında, özellikle bitümlü karışımlar üzerine yapılan çalışmalar hakkında aşağıdaki bilgiler verilmiştir;

Pietruszka, B., ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada kenevir-kireç harcının mekanik ve hidrotermal özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada 2 farklı karışım hazırlanmıştır. Bu karışımların bağlayıcı malzemeleri farklı olup iki karışım da kenevir parçacıkları kullanılmıştır. Birinci karışım bağlayıcı malzeme olarak kireç kullanılmış olup ikinci karışım ise bağlayıcı malzeme olarak kireç-çimento karışımı kullanılmıştır. Çalışmada basınç dayanımı değerleri 0,21 ile 0,60 MPa, birim ağırlıkları 309 ile 452 kg/m³ ve ısı iletkenlik katsayıları düşük seviyelerde olup 0,08 ile 0,12 W/(m.K) değerleri arasında görülmüştür. Su emme kapasitesi direnç faktörü olan μ değeri 24 ile 29 arasında görülmüştür. Sonuç olarak kenevir-kireç harcının yapıların higrotermal özelliğini iyileştirdiği görülmüştür. Aynı zamanda numerik modelleme çalışmalarının yapılabileceği önerilmiştir [72].

Hussain, A., ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada biyo-kompozitlerin yapı sektöründe kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla kompozitlerin higrotermal özellikleri başta olmak üzere mekanik özelliklerini de incelemişlerdir. Çalışmada bağlayıcı malzeme olarak nişasta(biyo) ve silika bazlı matrisler kullanılmıştır. 3 farklı karışım hazırlanmıştır. C1 kodlu karışım silika bazlı bağlayıcı malzeme kullanılmış olup kenevir/bağlayıcı oranı 5/1 olacak şekilde hazırlanmıştır. C2 ve C3 karışımlarında nişasta(biyo) bazlı bağlayıcı kullanılmış olup kenevir/bağlayıcı oranı 9/1 olacak şekilde hazırlanmıştır. C2 ve C3 karışımlarının farkı termal pres kullanılmasıdır. Sonuç olarak karışımların nem tutma performansı geleneksel kenevir-kireç harcına kıyasla yüksek çıkmıştır. Karışımların birim ağırlık değerleri 175 ile 240 kg/m³ arasında ölçülmüştür. Karışımların basınç dayanımları 0,49 ile 1,05 MPa değerleri arasında hesaplanmıştır. Karışımların ısı iletkenlik katsayıları 0,051 ile 0,058

W/(m.K) değerleri arasında ölçölmüştür. Sonuç olarak kenevir parçacıkları kullanarak hafif, dayanıklı ve termal iletkenlik performansı yüksek kompozitlerin üretilebileceği ve yapılarda kullanılabileceği görölmüştür [73].

Karahançer ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada; kenevir lifi oranının, karışımın dolaylı çekme dayanımı ve karışımın neme karşı duyarlılığı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Kenevir lifi oranı arttıkça dolaylı çekme dayanımının azaldığı belirlenmiştir. %0,1 oranında kullanılan lif oranının, referans numuneye göre neme karşı duyarlılığı azalttığı belirlenmiştir. Çalışmada lif uzunluğu olarak 3 cm seçilmiştir [74].

Serin ve ark. (2018), yaptıkları çalışma sonunda %0,1 oranında kenevir lifi kullanımının Marshall stabilitesini yaklaşık %40 arttırdığını görmüşlerdir. %0,25 oranında ise şahit numuneye göre Marshall stabilitesinde azalma olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada lif uzunluğu olarak 12 cm seçilmiştir [75].

Delgado ve Arnaud (2011), 4 farklı uzunluk ve 3 farklı oranlarda kenevir lifi kullanarak bitümlü karışımın yorulma davranışı üzerindeki etkilerini incelemiştir. 5 cm uzunluğunda, %0,4 oranında kenevir lifi kullanıldığında yorulma ömrünün arttığını göstermişlerdir [76].

Shanbara ve ark. (2018), soğuk bitümlü karışım üzerine yaptıkları çalışmalarında, kenevir lifi ile birlikte sentetik fiber, jüt lifi ve hindistancevizi lifi kullanmışlardır. Soğuk bitümlü karışımlarda, kenevir lifi kullanımının neme karşı duyarlılık üzerinde önemli faydalar sağladığı görölmüştür [77].

Gallo (2017) taş mastik karışımlar üzerine çalışma yapmış, çalışmasında kenevir lifinin yanı sıra yün, pamuk ve keten lifleri kullanmıştır. Doğal liflerin yanı sıra iplik haline getirilmiş lifleri de kullanmıştır. İplik haline getirilen kenevir lifinin tekerlek izi oluşumuna karşı karışımın direncini arttırdığını göstermiştir [78].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Kullanılan Malzemeler ve Deney Sonuçları

Çalışmada Yakupabdal Taş ocağından elde edilen (0-5 mm), (5-10 mm), (10-19 mm), bazalt agregası, Hisarlıkaya Taşocağından elde edilen kalker filler, 50/70 penetresyon sınıfında bitümlü bağlayıcı, Viatop Premium ticari isimli selülozik fiber, Narlısaray dişi ve erkek doğal kenet lifi kullanılmıştır.

4.1.1. Agregası Deney Sonuçları

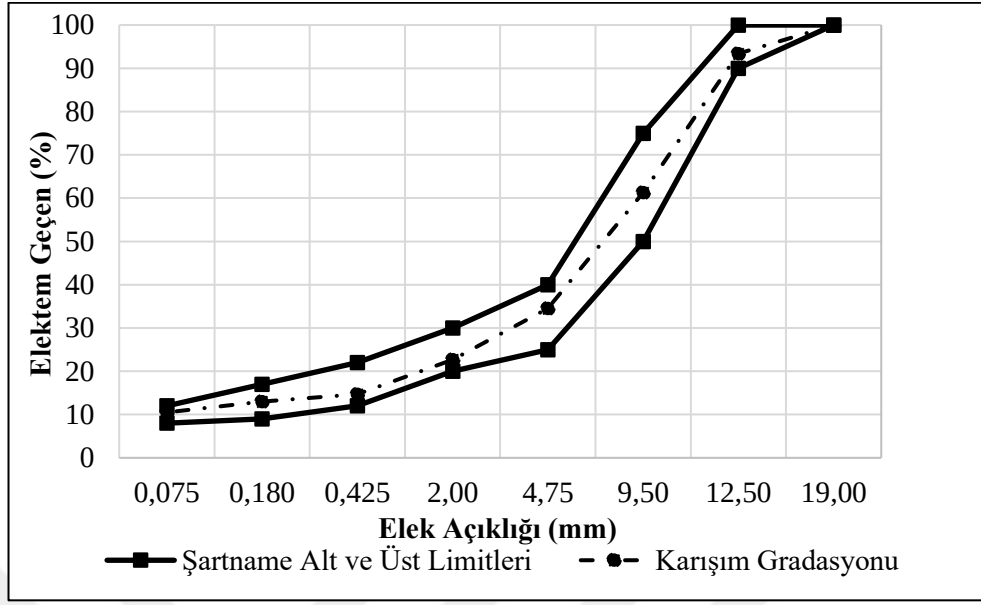
4.1.1.1. Elek Analizi

Yapılan çalışmada kullanılan (0-5 mm), (5-10 mm), (10-19 mm), dane boyutu bazalt agregaları Yakupabdal Taşocağından, Kalker filler Hisarlıkaya Taşocağından temin edilmiştir. Seçilen agregası KGM şartnamesinde TMA Tip-1 için belirtilen elek serisi kullanılarak elek analizi deneyine tabi tutulmuştur.

Tablo 4.1’de TMA karışım gradasyonu ve şartname sınırları, Şekil 4.1’de agregası granülometri eğrisi verilmiştir.

Tablo 4.1. TMA karışım Gradasyonu ve Şartname Limitleri [22]

Elek Açıklığı		TMA Tip-1 A (% Geçen)	Karışım Gradasyonu (% Geçen)
mm	inç		
19,00	3/4"	100-100	100
12,50	1/2"	90-100	93,4
9,50	3/8"	50-75	61,3
4,75	No.4	25-40	34,5
2,00	No.10	20-30	22,7
0,425	No.40	12-22	14,7
0,180	No.80	9-17	13,0
0,075	No.200	8-12	10,5



Şekil 4.1. TMA Karışımlarında Kullanılan Agregat Granülometri Eğrisi

4.1.1.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi

Kaba agregat özgül ağırlık ve su emme deneyi ASTM C127 ve AASHTO T 85 deney standartlarına göre yapılmıştır. Deney için karışım gradasyonunu temsil edecek şekilde 2000 gr. kaba agregat alınarak 24 saat su içerisinde bekletilmiştir. 24 saat suda bekletilerek doymun hale gelmesi sağlanan kaba agregat karışımı kuru bir bez yardımıyla agregat üzerinde sıvı film tabakası görünmez hale gelene kadar kurularak yüzey kuru doymun hale getirilerek, havadaki ağırlık (B), 24 °C sudaki ağırlık (C) belirlenmiştir. Numune 110 °C'deki fırında tamamen kuru hale getirilerek kuru ağırlığı (A) belirlenmiştir. Şekil 4.2'de 24 saat suda bekletilen tasarım gradasyonunu temsil eden kaba agregatlar gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Su İçerisinde Bekletilen Kaba Agregat

$A/(B - C)$ formülü yardımıyla kaba agreganın hacim özgül ağırlığı,

$A/(A - C)$ formülü ile zahiri özgül ağırlığı,

$[(B - A)/A] \times 100$ formülü ile su absorpsiyonu hesaplanmıştır [79,80].

İnce agregat hacim özgül ağırlık ve su emme deneyi ASTM C 128 ve AASHTO T 84 deney standartlarına göre yapılmıştır. Deneyde karışım gradasyonunu temsil edecek şekilde alınan 500 gr. ince agregat numunesi 24 saat su içerisinde bekletilerek duya doymuş hale getirilmiştir. Deneyde 500 ml hacminde balon joje kullanılmıştır. Piknometre kalibrasyon çizgisine kadar 25 °C saf su ile doldurularak ağırlığı belirlenmiştir (B). 24 saat suda bekletilen deney numunesi yüzey kuru doymuş hale getirilerek ağırlığı belirlenmiştir (S). Numunenin yüzey kuru halde olup olmadığını tespit etmek amacıyla Abraham hunisi deneyi uygulanmıştır. Numune tanecikleri arasındaki kohezyonu kaybettiğini anda yüzey kuru hale karar verilmiştir. Yüzey kuru numune 25 °C bir miktar su ile balon joje içerisine konularak 15 – 20 dakika sarsma uygulanmıştır. Bu sarsma sayesinde numune içerisindeki hava tanecikleri uzaklaştırılmıştır. Balon joje kalibrasyon çizgisine kadar su ile doldurularak ağırlığı belirlenmiştir (C). Daha sonra numune piknometreden çıkarılarak 110 °C fırında tamamen kuru hale gelene kadar bekletilmiş ve kuru numune ağırlığı belirlenmiştir (A). Şekil 4.3'te 24 saat suda bekletilen tasarım gradasyonunu temsil edecek ince agregat gösterilmiştir.



Şekil 4.3. 24 Saat Suda Bekletilen İnce Agreg

$A/(B + S - C)$ formülü ile hacim özgül ağırlık,

$A/(B + A - C)$ formülü ile zahiri özgül ağırlık hesaplanmıştır [81,82].

Filler agrega hacim özgül ağırlığı hesabı ASTM C 128, AASHTO T 84 ve TS EN 1097 deney standartlarına göre yapılmıştır. Deneyde No.200 elekten geçirilen 100 gr. kalker filler agrega, 250 ml hacminde balon joje ve 25 °C saf su kullanılmıştır. Sırasıyla balon joje boş ağırlığı (A), kalibrasyon çizgisine kadar su ile doldurulan balon joje ağırlığı (B), balon joje ve numune ağırlığı (C), balon joje, numune ve su ağırlığı (D) belirlenmiştir. Numune balon jojeden çıkarılarak 110 °C etüvde tamamen kuruyana kadar bekletilerek ağırlığı (E) belirlenmiştir. Şekil 4.4'te 25 °C su banyosunda bekletilen balon joje içerisinde filler ve ince agrega numuneleri verilmiştir.



Şekil 4.4. 25 °C Su Banyosundaki İnce ve Filler Agrega Numuneleri

$E/((B - A) - (D - C))$ formülü ile zahiri özgül ağırlık hesaplanmıştır [81,82,83]. Elde edilen deney sonuçları ve diğer agrega özellikleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Deneylerde Kullanılan Agrega Özellikleri

	Kaba Agrega	İnce Agrega	Filler
Hacim Özgül Ağırlık	2,503	2,49	
Zahiri Özgül Ağırlık	2,562	2,555	2,618
Su Emme	0,92	1,02	
Karışımın Efektif Özgül Ağırlığı (Deneyle)			2,536
Karışımın Efektif Özgül Ağırlığı (Hesapla)			2,539
Agrega Karışımının Hacim Özgül Ağırlığı			2,511
Agrega Karışımının Zahiri Özgül Ağırlığı			2,566
Mg2SO4 Donma Kaybı			1,8
Los Angeles Deneyi (%)			11
Yassılık İndeksi (%)			12,9
Metilen Mavisi			1,75

4.1.2. Bitümlü Bağlayıcı Deney Sonuçları

Deneyisel çalışmada Karayolları Kayseri Bölge Müdürlüğü’nün Orta Anadolu Petrol rafinerisinden temin ettiği 50/70 penetrasyonlu bitüm kullanılmıştır. Bitümlü bağlayıcı özellikleri Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.3. Bitümlü Bağlayıcı Özellikleri

		Deney Standardı
Özgül Ağırlık	1,03	TS 1087
Penetrasyon	57	TS EN 1426
Yumuşama Noktası	49	TS EN 1427

4.1.2.1. Dönel Viskozimetre Deney Sonuçları

TMA karışımlarının karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını belirlemek amacıyla bitüme dönel viskozimetre deneyi uygulanmıştır. Deney yapılırken ASTM D 4402 standardından yararlanılmıştır. Sıkıştırma sıcaklığını bulmak amacıyla 135 °C’de 2 saat fırında ısıtılan yaklaşık 11 gr. numune 135 °C sıcaklıktaki ısı haznesine konularak 5 dakika bekletilmiştir. Sıcaklık dengelendikten sonra cihaz 20 dev/dk. hızda başlatılmış ve 10 dakika süreyle takip edilmiştir. 10. dakika sonunda her 1 dakika aralıklarla üç kez viskozite değeri (cP) okunarak bu üç değerin ortalaması alınmıştır. Karıştırma sıcaklığını belirlemek amacıyla aynı deney 165 °C’de tekrarlanmıştır. Şekil 4.5’te Dönel Viskozimetre deneyinin yapılışı gösterilmiştir.

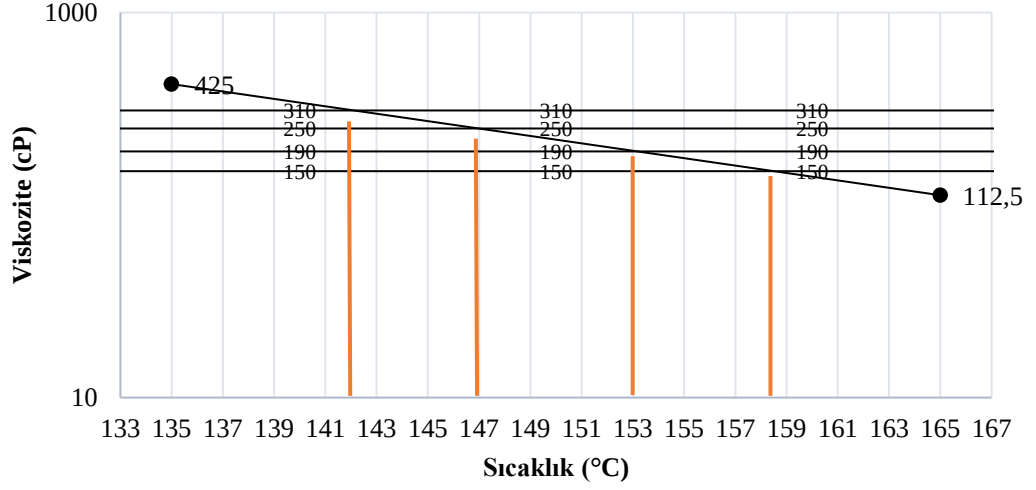
**Şekil 4.5.** Dönel Viskozimetre Deneyi Yapılışı

135 °C ve 165 °C sıcaklıklardaki bitüm viskozite değerleri Tablo 4.4’te verilmiştir.

Tablo 4.4. Bitüm Viskozimetre Deney Sonuçları

Sıcaklık (°C)	Viskozite (cP)
135	425
165	112.5

Viskozite sıcaklık grafiklerinde karıştırma için 170 ± 20 cP, sıkıştırma için 280 ± 30 cP, viskozluk olacak şekilde karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları belirlenmektedir [84].



Şekil 4.6. Viskozite – Sıcaklık Grafiği

Bitüme ait viskozite değerleri yardımıyla şekil 4.6’da verilen grafikten; karıştırma sıcaklığının 153 ve 158 °C aralığında olduğu, sıkıştırma sıcaklığının ise 142 ve 147 °C aralığında olduğu görülmektedir. Bu verilere göre karıştırma sıcaklığı 155 °C, sıkıştırma sıcaklığı ise 145 °C olarak kullanılmıştır.

4.1.3. Fiber

Çalışmada pelet formunda üretilmiş olan selülozik fiber kullanılmıştır. Fiber tedarikçinin tavsiyesi doğrultusunda %0,3 oranında karışıma katılmıştır. Çalışmada kullanılan selülozik fibere ait görsel Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. Selülozik Fiber Peletleri

4.1.3.1. Doğal Kenevir Lifi

Çalışmada Narlısaray’da yetiştirilen ve lif temini için hasat edilen dişi ve erkek doğal kenevir lifi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan doğal kenevir liflerinin hazırlık aşamasındaki ve karışıma katıldığı formlarına ait görseller Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. Doğal Kenevir Lifleri

4.2. Taş Mastik Asfalt Dizaynı ve Deney Sonuçları

4.2.1. Karışımın Hazırlanması

Karışımların üretiminde Marshall metodu kullanılmıştır. Üretilecek numune ağırlığı 1150 gr. olarak hedeflenmiştir. Karışıma katılacak malzemeler oranları doğrultusunda hazırlanarak yaklaşık 4 saat karıştırma sıcaklığındaki (155 °C) etüvde ısıtılmıştır. Isınan agregaya öncelikle fiber eklenmiş 1 dakika boyunca karıştırılarak homojen agrega fiber karışımı elde edilmiştir. Karışıma bitüm eklenerek 90 saniye tekrar karıştırılmış ve sıkıştırılmaya hazır hale gelmiştir. Karışım sıkıştırma sıcaklığında ısıtılan silindirik kaplara yerleştirilerek Marshall tokmağında her iki yönde 50 darbe uygulanarak sıkıştırılmıştır. Karıştırma ve sıkıştırma işlemi mümkün olan en kısa

sürede tamamlanmıştır. Elde edilen numuneler 30 dakika sonra kalıplardan çıkarılarak oda sıcaklığında saat bekletilmiştir. Şekil 4.9’da kalıptan çıkarılan ve su banyosundaki numuneler gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Kalıplardan Çıkarılan Numuneler(solda) ve 60 °C Suda Bekletilen Numuneler(sağda)

4.2.2. Karışımın Teorik Maksimum Özgöl Ağırlığının Belirlenmesi

Karışımın teorik maksimum özgül ağırlığını belirlemek amacıyla AASHTO T 209 ve ASTM D 2041 deney standartlarından faydalanılmıştır. Standartta belirtilen nominal agrega boyutu için üretilecek karışım ağırlığı 1500 g. olarak seçilmiştir. Bitüm oranı %6,5 olarak seçilmiştir. Karışım 155 °C’de karıştırılarak sıkıştırma yapılmadan 110 °C’ye kadar soğuması sağlanmıştır. Karışım elle mümkün olabilecek en küçük parçalara kadar ayrılmıştır (6.3 mm’den daha küçük) [85]. Şekil 4.10’da parçalara ayrılmış karışım gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Parçalara Ayrılmış TMA Karışımı

Oda sıcaklığına gelmesi sağlanan numune bir cam kaba konularak kabın $\frac{3}{4}$ 'lük kısmına kadar 25 °C saf su ilave edilmiştir. Kap sarsma tablası üzerine konularak 15 dakika boyunca vakum pompası yardımıyla numune su karışımına vakum uygulanmıştır. Hava boşlukları alındıktan sonra kap ağzına kadar su ile doldurularak 25 °C'lik su banyosunda bekletilmiştir. Şekil 4.11'de vakum uygulanan deney numunesi gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Sarsma Tablası Üzerinde Vakum Uygulaması

Kuru numune ağırlığı (A), 25 °C su ile dolu kap ve cam kapak ağırlığı (D), 25 °C su ile dolu kap, cam kapak ve numune ağırlığı (E) belirlenerek;

$A/(A + D - E)$ [86] formülü ile teorik maksimum özgül ağırlık (Dt) hesaplanmıştır.

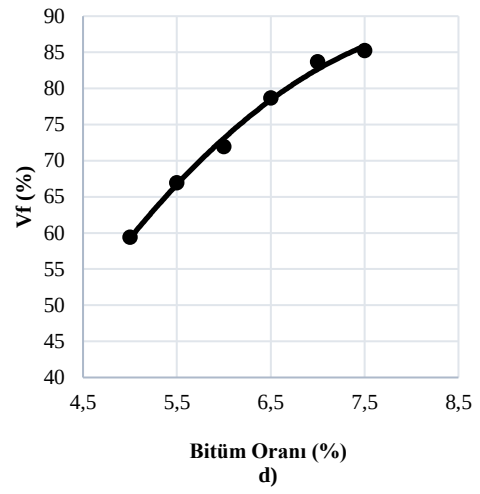
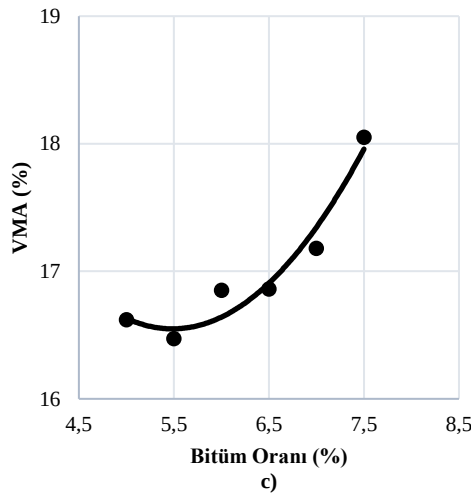
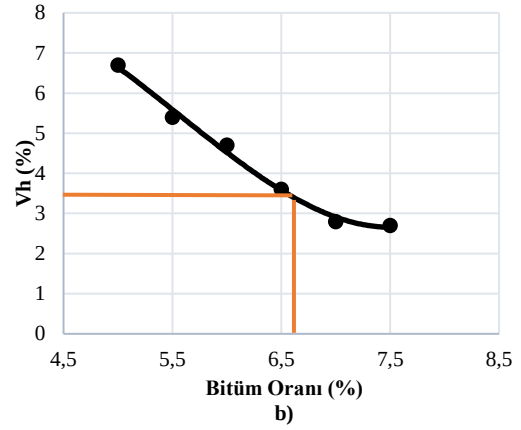
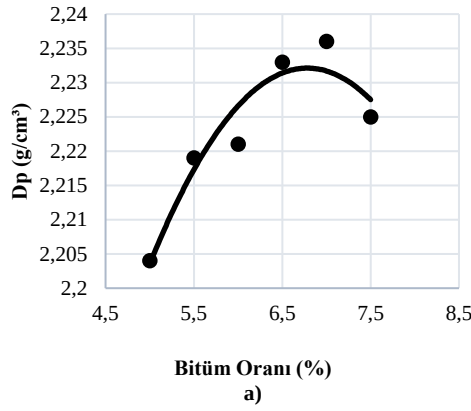
4.2.3. Tasarım Numuneleri Deney Sonuçları

Optimum bitüm oranını belirlemek amacıyla %5,0 %5,5 %6,0 %6,5 %7,0 %7,5 karışım oranlarında bitüm %0,3 oranında selülozik fiber içeren 18 adet numune üretilmiştir. Bu numunelere ait deney sonuçları Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5. TMA Tasarımı Deney Sonuçları

Karışım Özelliği	Şartname Limitleri TMA Tip-1		Bitüm Oranı (%)					
	Min.	Maks.	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
Hacim Özgül Ağırlık (Dp-g/cm ³)	-	-	2,204	2,219	2,221	2,233	2,236	2,225
Maks. Teorik Özgül Ağırlık (Dt-g/cm ³)	-	-	2,363	2,347	2,331	2,316	2,301	2,285
Hava Boşluğu (Vh-%)	2	4	6,7	5,4	4,7	3,6	2,8	2,7
Agregalar Arası Boşluk (VMA - %)	16	-	16,62	16,47	16,85	16,86	17,18	18,05
Asfalt İle Dolu Boşluk Oranı (Vf - %)	-	-	59,40	66,94	71,94	78,68	83,70	85,24

Deney sonuçlarına ait grafikler Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12. Tasarım Numuneleri Deney Sonuçları Grafiği

Elde edilen deney sonuçları neticesinde sıcak iklim bölgelerindeki TMA hava boşluğu limitleri dikkate alınmış ve %3,5 hava boşluğuna karşılık gelen bitüm oranı optimum bitüm oranı olarak belirlenmiştir. Bu değer %6,6 olarak hesaplanmıştır. %6,6 bitüm oranı baz alınarak üretilen numunelerin şartname limitlerine uygun olduğu görülmüş ve Tablo 4.6’da gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Optimum Bitüm Oranı İle Üretilen Numunelerin Uygunluk Kontrolü

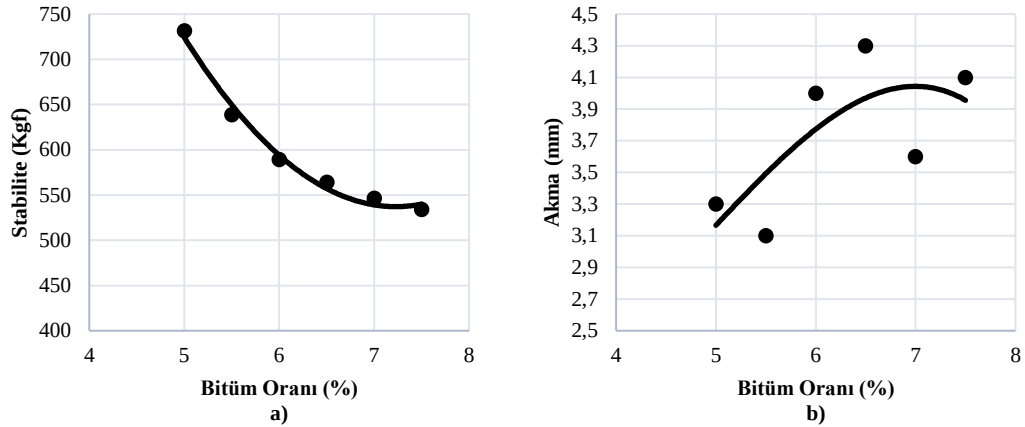
Karışım Özelliği	Şartname Limitleri TMA Tip-1		Değer	Uygunluk
	Min.	Maks.		
Hacim Özgöl Ağırlık (D_p -g/cm ³)	-	-	2,234	Uygun
Maks. Teorik Özgöl Ağırlık (D_t -g/cm ³)	-	-	2,313	Uygun
Hava Boşluğu (V_h -%) (Sıcak İklim Bölgeleri)	3	4	3,4	Uygun
Agregalar Arası Boşluk (VMA - %)	16	-	16,92	Uygun
Asfalt İle Dolu Boşluk Oranı (V_f %)	-	-	79,74	Uygun
Schellenberger (%)		0,3	0,283	Uygun
Bitüm Oranı (%)	5,8	-	6,6	Uygun

4.2.4. Tasarım Numuneleri Marshall Stabilite ve Akma Deney Sonuçları

18 adet tasarım numunesinin Marshall Stabilite deney cihazı yardımıyla stabilite ve akma değerleri belirlenmiştir. Numuneler 60 °C suda 30 dakika bekletilmiş, numune sudan çıkarıldıktan sonraki 40 saniye içerisinde deney tamamlanmıştır. Elde edilen deney sonuçları Tablo 4.7’de ve bu sonuçlara ait grafik eğrileri Şekil 4.13’te verilmiştir.

Tablo 4.7. Tasarım Numuneleri Stabilite ve Akma Deney Sonuçları

Bitüm Oranı (%)	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
Stabilite (Kgf)	731,6	638,7	589,4	564,3	546,3	534
Akma (mm)	3,3	3,1	4	4,3	3,6	4,1



Şekil 4.13. Tasarım Numuneleri Stabilite ve Akma Değerleri Grafiği

Marshall stabilite deney sonuçları göre bitüm oranının artmasının numunelerin stabilite değerlerini azalttığını göstermektedir.

4.3. Selülozik Fiber ve Doğal Kenevir Lifi Kullanılarak Üretilen Numunelerin Deney Sonuçları

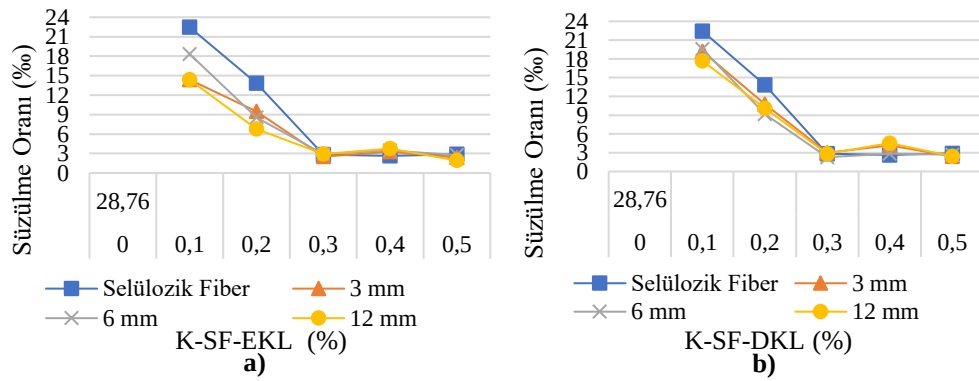
Çalışmada üretilen numuneler için %0,3EKL12, 0,3DKL12, %0,2SF, K, %0,1KL şeklindeki örnek olarak verilen kodlamalar kullanılmıştır. Verilen örnek kodlamalarda KL kenevir lifi, EKL erkek kenevir lifi, DKL dişi kenevir lifi, SF selülozik fiber, K ise karışımın katkısız olduğunu ifade etmektedir. Sol taraftaki % ifadesi katkı malzemesinin karışımdaki ağırlıkça oranını, sağ taraftaki rakam ise kenevirin lif boyunu ifade etmektedir.

4.3.1. Schellenberger Süzülme Deney Sonuçları

KGM teknik şartnamesinde Schellenberger deney sonucunun maksimum %0,3 olması şartı vardır. Bu şartın hangi fiber oranında sağlandığını ayrıca fiber katkı oranının ve doğal kenevir lifi boyunun deney sonucu etkisinin belirlenmesi amacıyla toplam 36 adet Schellenberger süzülme deneyi yapılmıştır. Bu deneylerden 1 adedi fiber içermeyen, 15 adedi 3 mm, 6 mm, 12 mm boylarındaki ve %1, 2, 3, 4, 5 oranlarında erkek kenevir lifi içeren, 5 adedi %1, 2, 3, 4, 5 oranlarında selülozik fiber içeren ve 15 adedi ise 3 mm, 6 mm, 12 mm boylarında %1, 2, 3, 4, 5 oranlarında dişi kenevir lifi içeren karışımlardan oluşmaktadır. Yapılan Schellenberger deneyleri neticesinde elde edilen sonuçlar Tablo 4.8 ve bu sonuçlara ait grafik Şekil 4.14'te verilmiştir.

Tablo 4.8. Schellenberger Süzülme Deney Sonuçları

Oran (%)	Katkısız	Selülozik Fiber	Erkek Kenevir Lifi			Dişi Kenevir Lifi		
			3 mm	6 mm	12 mm	3 mm	6 mm	12 mm
0	28,76		(%)					
0,1		22,46	14,37	18,33	14,37	19,21	19,58	17,7
0,2		13,83	9,51	8,55	6,78	10,79	9,16	10,13
0,3		2,83	2,55	2,94	2,94	2,97	2,28	2,85
0,4		2,64	3,25	3,46	3,76	4,15	2,86	4,51
0,5		2,87	2,37	2,76	1,92	2,43	2,66	2,44

**Şekil 4.14.** Schellenberger Süzülme Deney Sonuçlarına Ait Grafikler

Tablo 4.8 ve Şekil 4.14'göre %1 oranında kenevir lifi kullanımının katkısız karışıma kıyasla süzülmeyi yaklaşık %50 oranında azalttığı görülürken, bu oran %1,0 selülozik fiber katkısı ise yaklaşık %20 civarlarındadır. %2,0 fiber oranında ise kenevir lifli karışımlarda, katkısız oranla süzülme etkisi %80 daha fazlayken bu oran selülozik fiber ile yapılan deneylerde %50 civarlarındadır. %1,0 ve %2,0 oranlarında fiber kullanılarak yapılan deneylerde her iki kenevir lifi türünün de selülozik fibere kıyasla daha iyi performans gösterdiği, %3,0 %4,0 ve %5,0 oranlarında ise her üç fiber türünde de benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

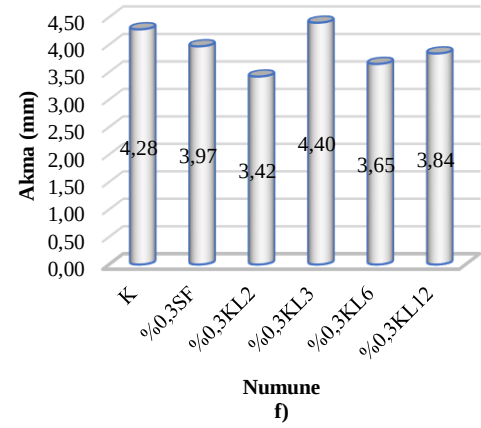
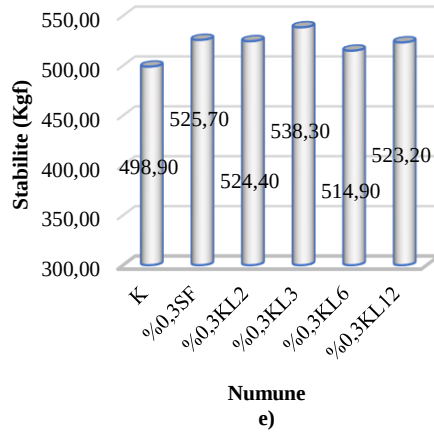
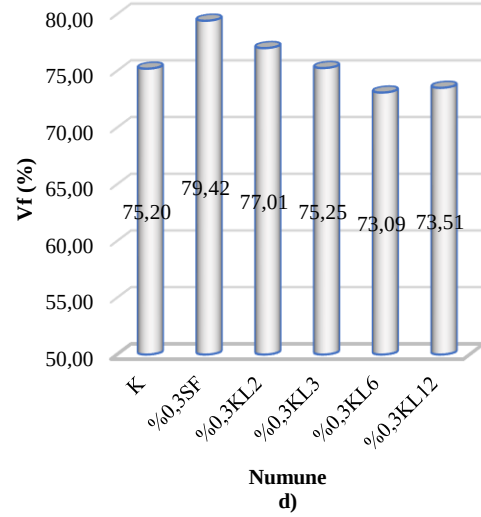
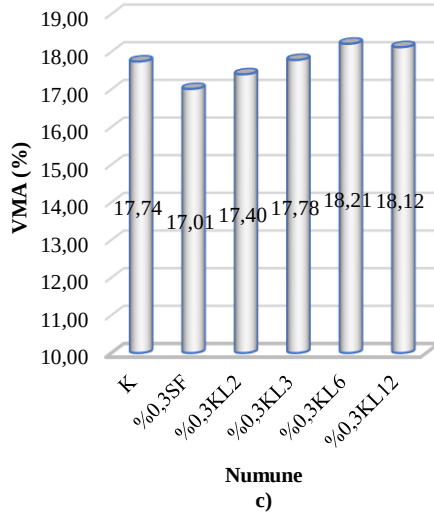
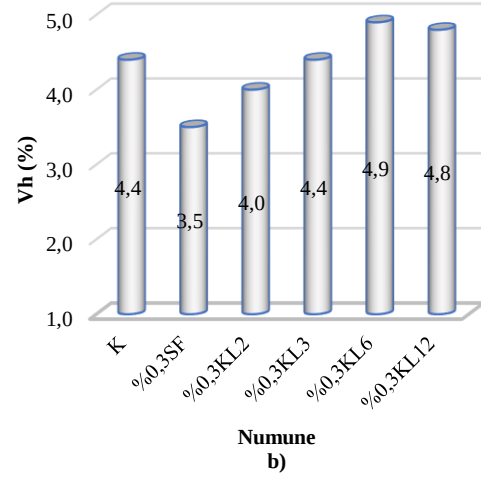
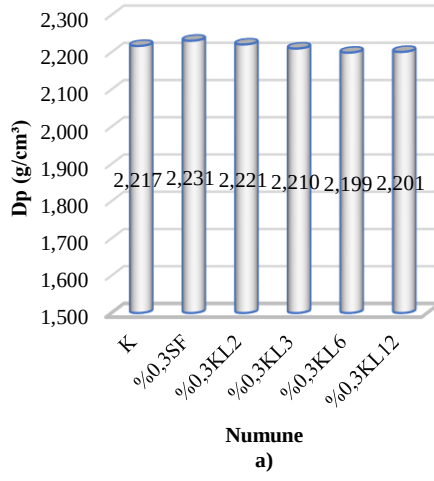
4.3.2. Kenevir Lif Boyunun Etkisini Belirlemek Amacıyla Yapılan Deney Sonuçları

Kenevir lif boyunun TMA karışımındaki etkilerini belirlemek amacıyla 18 adet numune üretilmiştir. Numuneler optimum bitüm oranı (%6,6) ile hazırlanmıştır. Üretilen bu numunelerden 12 adedi 2mm, 3 mm, 6 mm, 12 mm boylarında %0,3 oranında kenevir lifi içeren numuneler, 3 adedi %0,3 selülozik fiber içeren ve 3 adedi fiber katkısı

içermeyen numunelerdir. Numunelerin Dp, Vh, VMA, Vf değerleri belirlenmiştir. Numuneler 30 dakika süre ile 60 °C su içerisinde bekletilerek stabilite ve akma değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.9’da ve bu sonuçlara ait grafikler Şekil 4.15’te verilmiştir.

Tablo 4.9. Kenevir Lif Boyunun Etkisini Gösteren Deney Sonuçları

Numune	Hacim Özgöl Ağırlık, Dp (g/cm ³)	Hava Boşluğu, Vh (%)	VMA (%)	Vf (%)	Stabilite (Kgf)	Akma (mm)
K	2,217	4,4	17,74	75,197	498,90	4,28
%0,3SF	2,231	3,5	17,01	79,424	525,70	3,97
%0,3KL2	2,221	4,0	17,40	77,011	524,40	3,42
%0,3KL3	2,210	4,4	17,78	75,253	538,30	4,40
%0,3KL6	2,199	4,9	18,21	73,092	514,90	3,65
%0,3KL12	2,201	4,8	18,12	73,510	523,20	3,84



Şekil 4.15. Kenevir Lif Boyu Etkisini Belirlemek Amacıyla Üretilen Numunelerin Deney Sonuçları Grafikleri

Şekil 4.15' göre hacim özgül ağırlık en yüksek değerini (2,231 g/cm³) selülozik fiber katkılı numunelerde almıştır. Hacim özgül ağırlık kenevir lif boyunun artmasıyla azalmış, 6 ve 12 mm boylarında yaklaşık aynı değerler almıştır. Yine kenevir lif boyunun artması genel olarak boşluk oranı ve VMA değerini arttırmakla birlikte bu değerlerin 6 ve 12 mm lif boylarında birbirine yakın olduğu görülmektedir. Stabilitate değerlerinin ise 3 mm lif boyunda en yüksek değere sahip olduğu (538,3 Kg) ve bu değer katkısız numunelere göre yaklaşık %12,5 daha fazla olduğu görülmektedir.

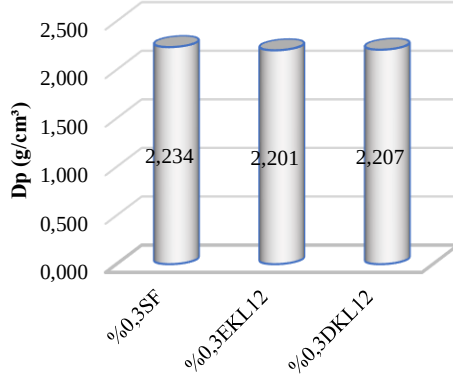
4.3.3. Dişi ve Erkek Kenevir Lifinin Suyu Karşı Hassasiyetlerini Belirlemek Amacıyla Yapılan Deney Sonuçları

Dişi ve erkek kenevir lifinin TMA karışımların özelliklerine olan etkisini ve suya hassasiyetini incelemek amacıyla; optimum bitüm oranında %0,3 selülozik fiber içeren aynı özellikte 6 adet, %0,3 12 mm boyunda erkek kenevir lifi içeren aynı özellikte 6 adet ve %0,3 dişi kenevir lifi içeren aynı özellikte 6 adet olmak üzere toplam 18 adet numune üretilmiştir. Üretilen numunelerin deney sonuçları Tablo 4.10 ve bu sonuçlara ait grafikler Şekil 4.16'da verilmiştir.

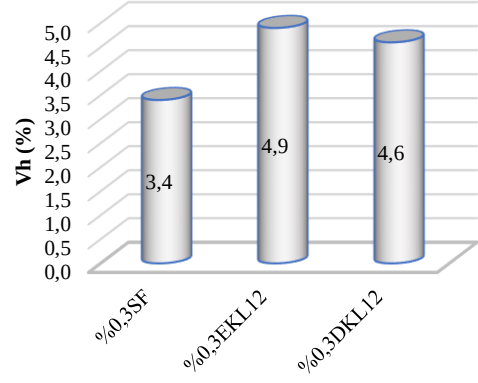
Tablo 4.10. Dişi ve Erkek Kenevir Lifinin Suyu Karşı Hassasiyetlerini Belirmek
Amacıyla Yapılan Numunelerin Dp, Vh, VMA, Vf Deney Sonuçları

Numune	Hacim Özgül Ağırlık, Dp (g/cm ³)	Hava Boşluğu, Vh (%)	VMA (%)	Vf (%)
%0,3SF	2,234	3,4	16,92	79,91
%0,3EKL12	2,201	4,9	18,16	73,29
%0,3DKL12	2,207	4,6	17,91	74,60

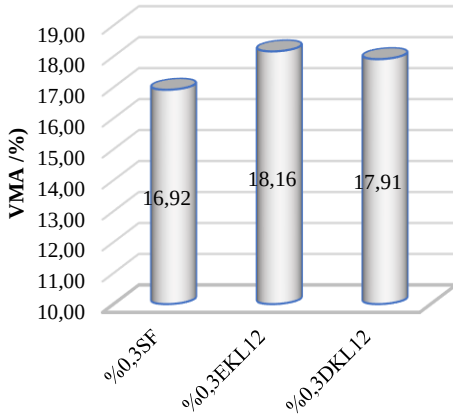
Tablo 4.10'da dişi ve erkek lif katkılı numunelerin deney sonuçlarının yaklaşık birbirine yakın olduğu görülmektedir. Selülozik fiber ile üretilen numunelerin boşluk oranı %3,4 iken 12 mm erkek kenevir lifinin bu değeri yaklaşık %45 oranında arttırdığı görülmektedir.



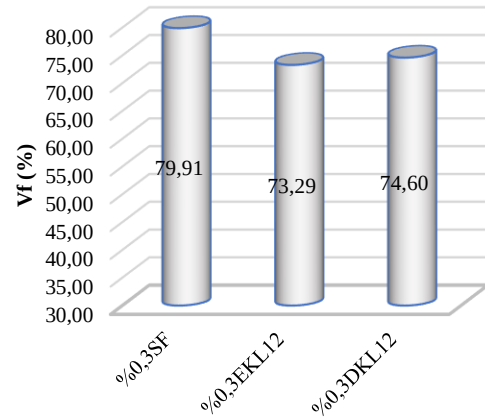
Numune
a)



Numune
b)



Numune
c)



Numune
d)

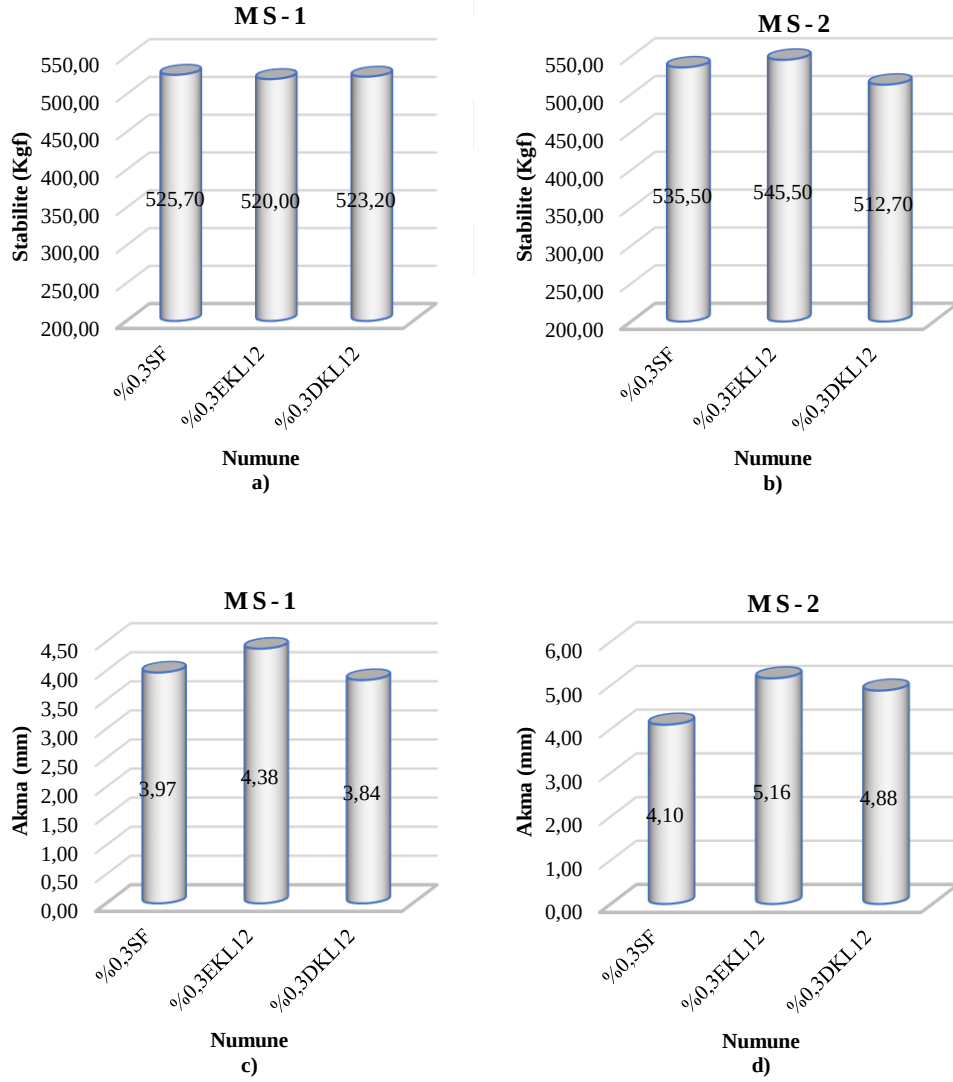
Şekil 4.16. Dişi ve Erkek Kenevir Lifinin Suya Karşı Hassasiyetlerini Belirlemek Amacıyla Üretilen Numunelerin Deney Sonuçları Grafikleri

Üretilen bu üç tipteki numunelerin her birinden üçer adet ayrılarak iki farklı Marshall Stabilite deney grubu oluşturulmuştur. Birinci grup MS-1(koşullandırılmamış) olarak isimlendirilmiş ve numuneler 30 dakika 60 °C suda bekletilerek Marshall Stabilite deneyine tabi tutulmuştur. İkinci grup MS-2 (koşullandırılmış) olarak isimlendirilmiş ve numuneler 48 saat 60 °C suda bekletilerek Marshall Stabilite deneyine tabi tutularak stabilite ve akma değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca koşullandırılmış numunelerin koşullandırılmamış numunelere oranı olan MSR değerleri hesaplanmıştır. MSR değerinin yüksek olması neme karşı direncin yüksek olduğunu ifade etmektedir. Elde

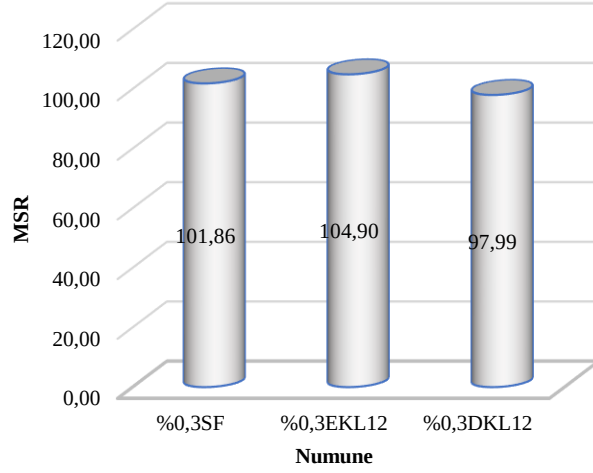
edilen stabilite ve akma ve MSR değerleri Tablo 4.11 ve bu sonuçlara ait grafikler Şekil 4.17 ve 4.18’de verilmiştir.

Tablo 4.11. MS-1 ve MS-2 Numuneleri Stabilite, Akma ve MSR Değerleri

Numune	Koşullandırılmamış		Koşullandırılmış		$MS_R = (MS-2/MS-1) \times 100$
	MS-1	Akma	MS-2	Akma	
%0,3SF	525,7	3,97	535,5	4,10	101,86
%0,3EKL12	520,0	4,38	545,5	5,16	104,90
%0,3DKL12	523,2	3,84	512,7	4,88	97,99



Şekil 4.17. MS-1 ve MS-2 Numuneleri Stabilite ve Akma Değerleri Grafığı



Şekil 4.18. MSR Değerleri Grafiği

Şekil 4.17 ve 4.18'e göre koşullandırılmamış numunelerin stabilite değerlerinin selülozik fiber ve her iki tür kenevir lifi ile üretilen numunelerde 520,0-526,0 Kgf aralığında olduğu görülmektedir. 12 mm erkek kenevir lifi ile üretilen koşullandırılmış numunelerin stabilite değerlerinde ise yaklaşık %5,0'lik artış söz konusudur ve erkek kenevir lifinin su tesirlerine karşı daha dirençli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca koşullandırılmış numunelerin akma değerleri koşullandırılmamış numunelerin akma değerlerine kıyasla artmıştır.

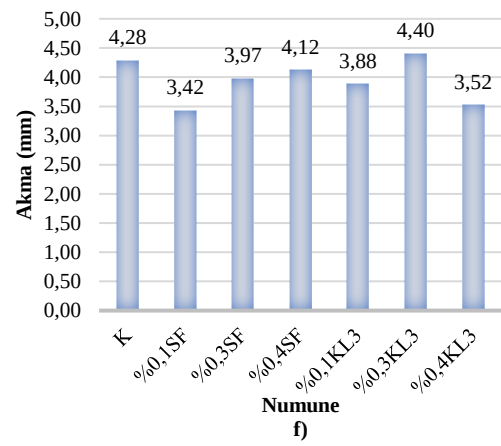
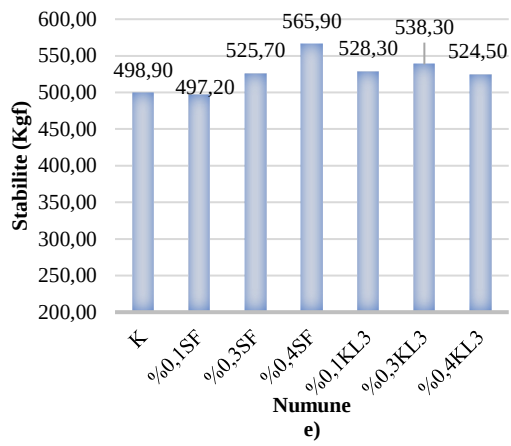
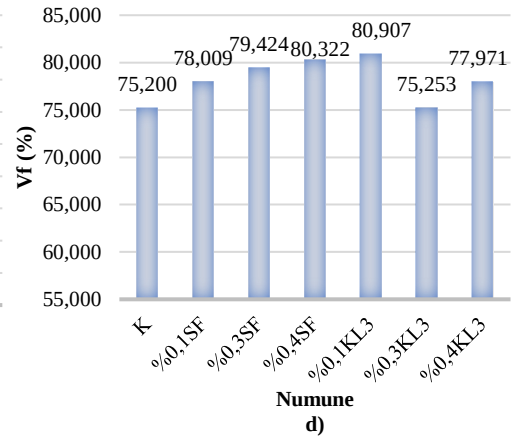
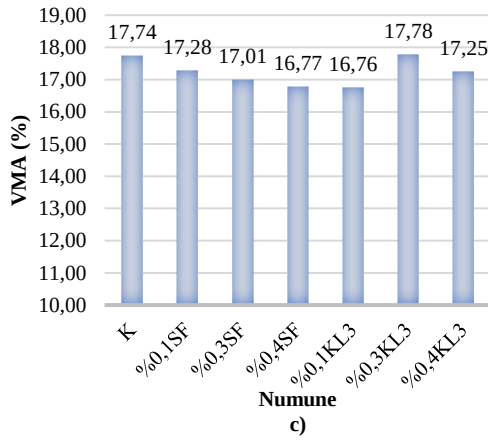
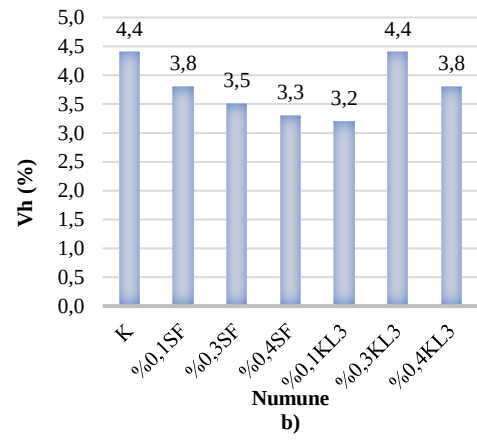
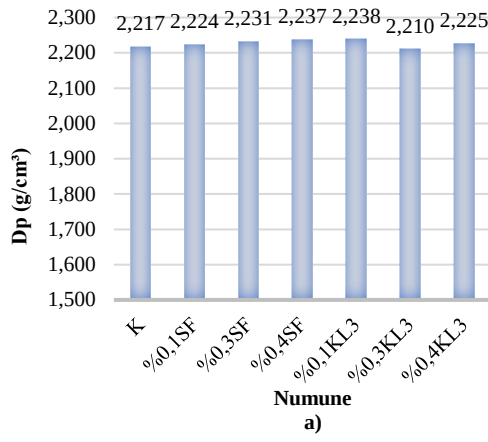
4.3.4. Fiber Karışım Oranının Etkisini Belirlemek Amacıyla Yapılan Deney Sonuçları

Fiber karışım miktarının TMA karışımına etkilerinin belirlenmesi amacıyla katkısız 3 adet, %0,1 %0,3 ve %0,4 karışım oranlarında selülozik fiber içeren 9 adet, %0,1 %0,3 ve %0,4 karışım oranlarında 3 mm kenevir lifi içeren 9 adet olmak üzere toplam 21 adet numune üretilmiştir. Elde edilen numunelerin deney sonuçları Tablo 4.12 ve bu sonuçlara ait grafikler Şekil 4.19'da verilmiştir.

Tablo 4.12. Farklı Oranlarda Fiber Kullanılarak Üretilen Numunelerin Deney Sonuçları

Numune	Hacim Özgöl Ağırlık, Dp (g/cm ³)	Hava Boşluğu, Vh (%)	VMA (%)	Vf (%)	Stabilite (Kgf)	Akma (mm)
K	2,217	4,4	17,74	75,197	498,90	4,28
%0,1SF	2,224	3,8	17,28	78,009	497,20	3,42
%0,3SF	2,231	3,5	17,01	79,424	525,70	3,97
%0,4SF	2,237	3,3	16,77	80,322	565,90	4,12
%0,1KL3	2,238	3,2	16,76	80,907	528,30	3,88
%0,3KL3	2,210	4,4	17,78	75,253	538,30	4,40
%0,4KL3	2,225	3,8	17,25	77,971	524,50	3,52

Tablo 4.12’de görüldüğü üzere hava boşluğunun minimum olduğu değer %3,2’dir ve bu değer %0,1 oranındaki 3 mm erkek kenevir tarafından sağlanmıştır. Şekil 4.19 a), b), c), ve d) grafikleri incelendiğinde selülozik fiber katkı oranının değişimiyle daha kararlı (uniform) grafikler elde edilirken kenevir lifi katkı oranları değişiminde düzensizlik söz konusudur. Ayrıca %0,4 oranındaki selülozik fiber katkılı numunelerin en yüksek stabilite (565,9 Kgf) değerine sahip olduğu %0,1 selülozik fiber katkılı numunelerin ise katkısız numunelerin stabilite değeri ile aynı olduğu görülmektedir. Buradan hareketle %0,1 selülozik fiber katkısının stabilite açısından kayda değer etkiye sahip olmadığı görülmektedir. Kenevir lifi kullanılan karışımlarda en iyi stabilite sonuçlarının %0,3 oranında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.19. Farklı Oranlarda Fiber Kullanılarak Üretilen Numunelerin Deney Sonuçlarına Ait Grafikler

5. SONUÇLAR

Çalışmada öncelikle TMA karışım tasarımının optimum bitüm oranını belirlemek amacıyla %5,0 %5,5 %6,0 %6,5 %7,0 %7,5 oranlarında bitüm kullanılarak karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışımlarda; agrega üzerinden bitümün akmasını önlemek amacıyla kullanılan, tedarikçi tavsiyesi doğrultusunda %3 oranında selülozik fiber katkısı kullanılmıştır. Üretilen numunelerinde deney sonuçlarına göre optimum bitüm oranı %6,6 olarak belirlenmiştir. Daha sonra üretilen numunelerde selülozik fiber katkısı ve selülozik fiber yerine fiber olarak kullanılabilirliğini araştırdığımız doğal kenevir lifleri kullanılmıştır. Üretilen bu numunelere yapılan deneyler neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Fiber karışım oranlarının ve kenevir lifi boyunun bitümün süzülmesine etkisini belirlemek amacıyla; katkısız, %1, 2, 3, 4, 5 oranlarında selülozik fiber, dişi ve erkek kenevir lifi (3, 6, 12 mm boylarında) kullanılarak Schellenberger süzülme deneyleri yapılmıştır. Erkek kenevir lifinin dişi kenevir lifine kıyasla daha iyi performans gösterdiği ayrıca %3 karışım oranına kadar tüm boylardaki kenevir liflerinin selülozik fibere kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği saptanmıştır. %3, 4, 5 karışım oranlarındaki fiber kullanılan deney sonuçlarının birbirine yakın değerler aldığı görülmektedir. Fiber kullanım oranında şartname alt sınırın olan %3 kenevir lifi kullanılarak yapılan deneylerde süzülmenin şartname limitleri içerisinde olduğu sonucuna varılmıştır. Kenevir lifinin karışım içerisinde iyi derecede karışıp karışmadığının deney sonuçlarını önemli ölçüde etkileyebileceği saptanmıştır.
2. Doğal kenevir lif boyunun TMA karışımların özelliklerine etkisi belirlemek amacıyla katkısız, %0,3 oranında selülozik fiber ve 2 mm, 3 mm, 6 mm, 12 mm boylarında hazırladığımız kenevir lifleri kullanılarak numuneler üretilmiştir. Deney sonuçlarına göre kenevir lifi boyundaki artışın TMA karışımının boşluk oranını ve VMA'sını arttırdığı, kenevir lifinin katkısız numunenin stabilitesine (498,9 Kgf) kıyasla stabiliteye az da olsa (yaklaşık %12,5) katkı sağladığı görülmektedir. Ayrıca en yüksek stabilite değerinin 3 mm boyundaki kenevir lifi katkısına ait olduğu görülmektedir.
3. Erkek ve dişi kenevir lifinin suya karşı hassasiyetini ve TMA karışımların özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla; aynı genotip özelliklere sahip %0,3

oranında 12 mm erkek ve dişi kenevir lifi ve selülozik fiber katkılı olmak üzere 3 farklı türde numuneler üretilmiş ve bu numunelerin Marshall stabilite, Akma değerleri ve neme karşı hassasiyetleri belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre kenevir lifi katkılı numunelerin hava boşluğu ve VMA değerlerinin daha büyük değerler aldığı görülmektedir. Koşullandırılmamış stabilite değerlerinin her üç türde de yaklaşık aynı olduğu koşullandırılmış stabilite değerlerinde ise erkek lif en yüksek değer alırken dişi lifin en düşük değer aldığı görülmektedir. Erkek kenevir lifinin suya karşı direncinin selülozik fibere göre yaklaşık %3,0 ve dişi kenevir lifine göre ise yaklaşık %7,0 oranlarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

4. Fiber karışım oranının TMA karışımların özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla; katkısız, %0,1 %0,3 %0,4 oranlarında selülozik fiber ve 3 mm boyunda kenevir lifi ile numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelerin Marshall ve Akma değerleri belirlenmiştir. Deney sonuçları selülozik fiber oranındaki artışın stabiliteye katkı sağladığını gösterirken kenevir lifi oranındaki artışa rağmen stabilitenin yaklaşık aynı seviyede kaldığı fakat katkısız numunelerin stabilitesinden daha yüksek değerler aldığı görülmektedir.

Deney sonuçları değerlendirildiğinde doğal kenevir lifinin selülozik fiber yerine kullanılabileceğinin, kenevir liflerinin uygun karıştırma yöntemlerinin ve uygun karışım formlarının geliştirilmesiyle çok daha verimli neticeler elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Çalışmadaki sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda stabilite değerlerinin birbirine yakın olması TMA karışımların performansını belirlemede Marshall stabilite yönteminin yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu nedenle doğal kenevir lifi katkılı TMA karışımların performans testleri ile ayrıntılı olarak incelenmesinde yarar vardır.

KAYNAKLAR

1. Aydın, F., Oral, M., Türkiye’de Karayolu Ulaşımının Tarihsel Gelişimi, *Journal of Awareness*, 3(5), 257-266, 2019.
2. Deniz, T., Türkiye’de Ulaşım Sektöründe Yaşanan Değişimler ve Mevcut Durum, *Eastern Geographical Review*, 20(36), 2016.
3. Erdoğan, E., Uluslararası Karayolu Taşımacılığı ve Türkiye, *Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7(2), 221-240.
4. DPT, Karayolu Ulaşımı Özel İhtisas Raporu No: 33, Ankara, 2005.
5. UAB, Ulaşan ve Gelişen Türkiye 2019, Bakanlık Yayınları, <https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/bakanlik-yayinlari/ulasan-ve-erisen-turkiye-2019.pdf>
6. TÜİK, Motorlu Kara Taşıt Sayısı, <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>
7. Fındık, F. S., Saltan, M., Hafif Agregaların Esnek Üstyapı Alttemelinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması.
8. KGM, Yol Ağı Uzunluğu, <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Istatistikler/DevletIIYolEnvanter/SatihYolAgiUzunlugu.pdf>
9. KGM, Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü, Ankara, 2008.
10. Yılmaz, B., Bor İçerikli Organik Katkıyla Modifiye Edilen Asfaltın Performans Özelliklerinin Araştırılması (Doctoral Dissertation, Karadeniz Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü), 2016.
11. Ahmedzade, P., Yılmaz, M., Uzun Ömürlü Esnek Üstyapıların Tasarımı. Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 354-363, 2016.
12. Newcomb, D. E., Buncher, M., Huddleston, I. J., Transportation Research Circular 503: Perpetual Bituminous Pavements, Transport. Research Board, pp. 4-11, 2001.
13. Brown, E.R., Cooley, Jr. L.A., Designing Stone Matrix Asphalt Mixtures for Rut-Resistant Pavements, Report No. 425, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, DC, 1999.
14. Fitzgerald, R. L., Novel Applications of Carbon Fiber Hot Mix Asphalt Reinforcement and Carbon-carbon Pre-forms (Master's thesis, Michigan Technological University), 2000.

15. Yılmaz, M., Kök, B. V., Kuloğlu, N., Effects of Using Asphaltite as Filler on Mechanical properties of Hot Mix Asphalt. Construction and Building Materials, 25(11), 4279-4286, 2011.
16. KGM, Bitümlü Karışımlar Laboratuvar Çalışmaları. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü, Ankara, 2012.
17. Kandhal, P. S., Designing and Constructing SMA Mixtures: State-of-the-Practice. NAPA, 2002.
18. Cooley Jr. L.A., Brown, E.R., Potential of Using Stone Matrix Asphalt for Thin Overlays, Transportation Research Record, 1749(1), 46-52, 2001.
19. Yardım, M. S., Arslan, F., Türkiye’de Taş Mastik Asfalt Kaplama Kullanımı ve Literatür Üzerine Bir Değerlendirme, 6. Ulusal Asfalt Sempozyumu ve Sergisi, Ankara, 2013.
20. ASMÜD, Asfalt Uygulamaları ve Bitüm Tüketimi, <http://www.asmud.org.tr/asfalt.php?sayfa=25>
21. Akpolat M., İlk Karışım Katkısının Bitüm ve Taş Mastik Asfalt Kaplamaya Etkisinin, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2014.
22. Şartnamesi, K. T., KGM Yayını, 2015.
23. Önal, M. A., Kahramangil, M., Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı. KGM Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 136-137, 1993.
24. Tunç, A., Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Nobel Kitap Dağıtım A.Ş., Ankara, 2007.
25. Karakaş, A. S., Bitümlü Sıcak Karışımların Trafik Etkisi Altında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi/Investigation of Mechanical Properties of Hot Mix Asphalts Under the Traffic Effect, 2014.
26. Tunç, A., Esnek Kaplama Malzemeleri El Kitabı, Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara, 352 s, 2004.
27. Çolak, H., Atık Lastik Kauçukla Modifiye Edilmiş Bitüm ve Sıcak Asfalt Karışımların Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ, p.80, 2011.
28. Utest, <http://www.utest.com.tr/tr/>.
29. Uluçaylı, M., Yavuz, A., Asfalt El Kitabı, Asfalt Enstitüsü El Kitabı, Serisi No. 4, İSFALT, s. 35-36, 1989.
30. Bayazıt, M., Bitümlü İlk Karışımların Neme Karşı Hassasiyetlerinin Belirlenmesi (Doctoral Dissertation, Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü), 2012.

31. Ahmedzade, P., Yılmaz, P., Geçkil, T., Superpave Sisteminde Bulunan Bağlayıcı Deneylerinin Ülkemizde Kullanılan Geleneksel Yöntemlerle Karşılaştırılması, İzmir Ulaşım Sempozyumu, 2009.
32. Dinç, E., Yazıcı, A., Superpave Bitüm Deneyleri ve Agrega Gradasyonu, Asfalt 2000-3. Ulusal Asfalt Sempozyumu ve Sergisi, Ankara, 2010.
33. Button, J. W., Epps, J. A., Mechanical Characterization of Fiber-reinforced Bituminous Concrete. Texas Transportation Institute, College Station, Texas, Report, 4061-1, 1981.
34. Serfass, J. P., Samanos, J., Fiber-modified Asphalt Concrete Characteristics, Applications and Behavior. Asphalt Paving Technology, 65, 193-230, 1996.
35. Busching, H.W., Elliott, E.H., Reyneveld, N.G., "A State-of-the-Art Survey of Reinforced Asphalt Paving," Proceedings of the Annual Meeting of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 39, pp. 766–798, 1970.
36. Freeman, R. D., Burati, J. L., Amirkhanian, S. N., Bridges, W. C., Polyester Fibers in Asphalt Paving Mixtures. In Association of Asphalt Paving Technologists Proc (Vol. 58), 1989.
37. Peltonen, P., Wear and Deformation Characteristics of Fibre Reinforced Asphalt Pavements. Construction and Building Materials, 5(1), 18-22, 1991.
38. McDaniel, R. S., NCHRP Synthesis 475: Fiber Additives in Asphalt Mixtures. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC, 2015.
39. Cleven, M. A., Investigation of the Properties of Carbon Fiber Modified Asphalt Mixtures (Master's Thesis, Michigan Technological University), 2000.
40. Oda, S., Fernandes Jr, J. L., Ildefonso, J. S., Analysis of Use of Natural Fibers and Asphalt Rubber Binder in Discontinuous Asphalt Mixtures. Construction and Building Materials, 26(1), 13-20, 2012.
41. Das, B.R., Banerjee P.K., "Interface Bond and Compatibility of Jute with Asphalt," Composites, Part B, Vol. 53, pp. 69–75, 2013.
42. Qiang, X., Lei, L., Yi-Jun, C., "Study on the Action Effect of Pavement Straw Composite Fiber Material in Asphalt Mixtures," Construction and Building Materials, Vol. 43, pp. 293–299, 2013.
43. Abiola, O. S., Kupolati, W. K., Sadiku, E. R., Ndambuki, J. M., Utilisation of Natural Fibre as Modifier in Bituminous Mixes: A Review. Construction and Building Materials, 54, 305-312, 2014.
44. Vale, A. C. D., Casagrande, M. D. T., Soares, J. B., Behavior of Natural Fiber in Stone Matrix Asphalt Mixtures Using Two Design Methods. Journal of Materials in Civil Engineering, 26(3), 457-465, 2014.

45. Muniandy, R., Akhir, N. A. B. C. M., Hassim, S., Moazami, D., Laboratory Fatigue Evaluation of Modified and Unmodified Asphalt Binders in Stone Mastic Asphalt Mixtures Using a Newly Developed Crack Meander Technique. *International Journal of Fatigue*, 59, 1-8, 2014.
46. Kumar, P., Sikdar, P. K., Bose, S., Chandra, S., Use of Jute Fibre in Stone Matrix Asphalt, *Road Materials and Pavement Design*, 5(2), 239-249, 2004.
47. Sheng, Y., Li, H. Guo, P., Zhao, G., Chen, H., Xiong, R., Effect of Fibers on Mixture Design of Stone Matrix Asphalt. *Applied Sciences*, 7(3), 297, 2017.
48. Ferreira da Costa, L., Grangeiro de Barros, A., Lucena, L. C. D. F. L., Elisio de Figueirêdo Lopes Lucena, A., Asphalt Mixture Reinforced With Banana Fibres. *Road Materials and Pavement Design*, 1-13, 2020.
49. Köfteci, S., "Investigation on the Usability of Pumice as Mineral Fibre in Stone Mastic Asphalt." *Gravevinar* 70.08., 695-701, 2018.
50. Atmaca, M., Çorbacıoğlu, Ş., *Yapı Malzemeleri El Kitabı 2. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası*, 1998.
51. Harris, B. M., Stuart, K. D., Analysis of Mineral Fillers and Mastics Used in Stone Matrix Asphalt, *Asphalt Paving Technology*, 64, 54-95, 1995.
52. Acar, M., Dönmez, A., Kenevire Farklı Bir Bakış. 2. Ulusal Biyoyakıtlar Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 27-30 Eylül, 2016, Samsun, Türkiye, 265-270, 2016.
53. Kaya, S., Öner E., Kenevir Liflerinin Eldesi, Karakteristik Özellikleri ve Tekstil Endüstrisindeki Uygulamaları. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(1), 108-123.
54. Ulaş, E., Gerçek Köye Dönüş Projesi: Kenevir. Hatice Bahtiyar (Editör), Hiperlink Yayınları, İstanbul, 2018.
55. Aydoğan, M., Terzi, Y. E., Gizlenci, Ş., Acar, M., Esen, A., Meral, H., Türkiye’de Kenevir Yetiştiriciliğinin Ekonomik Olarak Yapılabilirliği: Samsun İli Vezirköprü İlçesi Örneği. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35(1), 35-50, 2020.
56. Johnson, R., Hemp as an Agricultural Commodity. Library of Congress Washington DC Congressional Research Service, 2014. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a599368.pdf> [01.08.2019]
57. Başer, İ., Doğal Lifler. Lif Bilgisi 2. Bölüm, Marmara Üniversitesi Döner Sermaye İşletmesi Teknik Eğitim Fakültesi Matbaa Birimi, 53-54, 2002.
58. Gedik, G., Avinç, O. O., Yavaş, A., Kenevir Lifinin Özellikleri ve Tekstil Endüstrisinde Kullanımıyla Sağladığı Avantajlar. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(3), 39-48, 2010.

59. Onay A., Yıldırım H., Ekinci R., Kenevir (Cannabis Sativa L.), Palme Yayınevi, Ankara, 2020.
60. Gizlenci, Ş., et al., "Kenevir Tarımı." Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) Yayınları. s 66, 2019.
61. Dölen, E., Tekstil Tarihi: Dünya’da ve Türkiye’de Tekstil Teknolojisinin ve Sanayiinin Tarihsel Gelişimi. Vol. 92. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, 1992.
62. Mert, M., Lif Bitkileri. Nobel Yayın Dağıtım, 2009.
63. Fazlıoğlu, İ., Eskiçağda Dokuma. İstanbul Üniversitesi Eski Çağ Bilimleri Enstitüsü Yayınları, 1997.
64. Gün, M., Türkiye Kenevir (Cannabis Sativa L.) Genotiplerinin Morfolojik Karakterizasyonu (Master's thesis, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü), 2019.
65. Aksoy D. ve ark, Endüstriyel Kenevir Gerçeği, 2. Uluslararası 19 Mayıs Yenilikçi Bilimsel Yaklaşımlar Kongresi, Samsun, 850-858, 27-29 Aralık, 2019.
66. FAOSTOAT, <http://www.fao.org/faostat/en/#home>.
67. Tarhan, N. (2019). <https://www.sozcu.com.tr/2019/ekonomi/19-ile-kenevir-piyangosuvurdu3092401/>, Erişim tarihi: 26.01.2019.
68. Kurtuldu, E., İşmal, Ö. E., Sürdürülebilir Tekstil Üretim ve Tasarımında Yeniden Değer Kazan Lif: Kenevir, Art-E, 12(24), 2019.
69. Burke, S. (2014). <https://greenerideal.com/news/vehicles/0926-worlds-eco-friendly-carmadehemp/> Erişim tarihi: 23.04.2019.
70. Ulaş, E., Mucize Bitki Kenevir: Gerçek Köye Dönüş Projesi, İstanbul: Hiper Yayınları, 2019.
71. Perçin O., Ertekin M., Muslu M. S., “İç Mimari Mobilya Üretimi için Sürdürülebilir ve Ekolojik Malzemeler”, Türk İslam Dünyası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 5(18), 2018.
72. Pietruszka, B., Gołębiewski M., Lisowski P., "Characterization of Hemp-Lime Bio-composite." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 290. No. 1. IOP Publishing, 2019.
73. Hussain, A., ve ark., Effect of Compaction on Mechanical and Thermal Properties of Hemp Concrete, Construction and Building Materials, 212, 561-568, 2019.
74. Karahançer, Ş., Erişkin, E., Armağan K., Morova, N., Saltan, M., Terzi, S., “Usability of Hemp Fiber in Dense Graded Hot Mix Asphalt Mixture”, 5th

International Conference on Road and Rail Infrastructure, Zadar (Croatia), May 2018.

75. Serin, S., Macit M.E., Çınar E.C., Çelik, S., “Doğal Kenevir Lifi Kullanımının Asfalt Beton Karışımlara Etkisi”, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6, 732-744, 2018
76. Delgado, H., Arnaud, L., “Investigation of the Fatigue Properties of Asphalt Mixtures Reinforced with Natural Fibers”, 5th International Conference Bituminous Mixtures and Pavements, Thessaloniki, Greece, June 2011.
77. Shanbara, H.K., Ruddock, F., Atherton, W., “A Laboratory Study of High-Performance Cold Mix Asphalt Mixtures Reinforced with Natural and Synthetic Fibres”, Construction and Building Materials, Vol 172, 166-175, 2018.
78. Gallo P., “Asphalt mix reinforced with vegetable fibers”, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017.
79. ASTM C 127, Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate, 2001.
80. AASHTO T 85, Standard Method of Test for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate, 2014.
81. ASTM C 128, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate, 2018.
82. AASHTO T 84, Standard Method of Test for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate, 2012.
83. TS EN 1097, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler, 2013.
84. Öcal, A., Gürü, M., Karacasu, M., Improvement of Bitumen Performance Properties With Nano Magnesium Spinel and Colemanite. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 33(3), 939-951, 2018.
85. AASHTO T 209, Standart Method of Test for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Hot Mix Asphalt, 2019.
86. ASTM D 2041, Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures.

ÖZGEÇMİŞ

İbrahim ASLAN 1992 yılında Yozgat'ta dünyaya gelmiştir. İlk ve ortaöğrenimlerini sırasıyla Sakarya İlköğretim Okulu ve Şehit Fuat Bahadır Buharalıoğlu Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır.

2011 yılında Yozgat Bozok Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitime başlayarak 2016 yılında buradan mezun olmuştur. 2016-2018 yılları arasında demiryolu sektöründe İnşaat Mühendisi olarak görev yapmıştır. 2018-2019 yılları arasında Yedek Subay olarak Şırnak 23. Piyade Tümen Komutanlığında vatani hizmetini tamamlamıştır. 2019 yılında Bozok Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ulaştırma Anabilim Dalında lisansüstü eğitime başlamıştır.