



**SICAK ASFALT KARIŞIMLARININ MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARTIRILMASINDA ARAMİD
POLİOLEFİN LİFLERİNİN ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Arsala Khan İSSAZOY

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ATALAY
2021**

(Her hakkı saklıdır.)

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SICAK ASFALT KARIŞIMLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
ARTIRILMASINDA ARAMİD POLİOLEFİN LİFLERİNİN ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

(Investigation of The Effect Of Aramid Polyolefine Lifs On Increasing The Mechanical
Properties of Hot Asphalt Mixture)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Arsala Khan İSSAZOY

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ATALAY

**Erzurum
Haziran, 2021**

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Arsala Khan İSSAZOY tarafından hazırlanan “**Sıcak Asfalt Karışımlarının Durabilitesinin Artırılmasında Aramid Poliolefin Liflerinin Etkisinin İncelenmesi**” başlıklı çalışması .. / .. /20..tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından **İnşaat Mühendisliği** Ana Bilim Dalı, **Ulaştırma Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: *Prof. Dr. Ahmet*
TORTUM
Atatürk
Üniversitesi
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi
Ahmet ATALAY
Atatürk
Üniversitesi
Jüri Üyesi: Doç. Dr. Cahit
GÜNER Afyon
Kocatepe
Üniversitesi

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Unvan Ad SOYAD

Enstitü Müdürü

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Öğrencinin Adı ve Soyadı	Arsala Khan ISSAZOY
Öğrencinin Numarası	18041208012
Ana Bilim Dalı	İnşaat Mühendisliği
Bilim Dalı	Ulaştırma
Öğrencinin Kayıtlı Olduğu Program Türü	Yüksek Lisans

Yukarıda bilgileri verilen tezin intihal tespit yazılımıyla (Turnitin) yapılan tarama sonucunda elde edilen benzerlik oranları aşağıdaki gibidir. Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	%15	30
Kuramsal Temeller	%18	30
Materyal ve Yöntem	%9	35
Bulgular	%9	20
Tartışma	%9	20
Tezin Geneli	%17	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Arsala Khan ISSAZOY	Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ATALAY
23.6.2021	23.6.2021
İmza:	İmza:

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SICAK ASFALT KARIŞIMLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARTIRILMASINDA ARAMİD POLİOLEFİN LİFLERİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Arsala Khan İSSAZOY

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ATALAY

Asfalt kaplamalarda, yüksek sıcaklık ve uzun yükleme sürelerinin etkisiyle deformasyonlara karşı direnç azalmakta ve başta tekerlek izi, düşük sıcaklık çatlakları ve yorulma çatlakları gibi bozulmaların artmasına sebep olmaktadır. Özellikle ağır trafik yüklerinin oluşturduğu tekerlek izi deformasyonları yolun geometrik şartlarını olumsuz etkiler ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bitümlü sıcak karışımlarda tekerlek izi oluşumuna karşı direnci arttırmak amacıyla birçok katkı maddesi kullanılmaktadır.

Bu araştırmanın amacı, Poliiolefin lif takviyeli sıcak karışım asfaltın mekanik özelliklerini incelemektir. Çalışmada mekanik özelliklerini belirlemek için Marshall Stabilite testi ve dolaylı çekme deneyi uygulanmıştır. Marshall stabilite deneyi için %1, %2, %3 oranlarında, dolaylı çekme deneyi için %0,3 %0,5 %0,75 ve %1 oranlarında Poliiolefin lif kullanılarak sıcak karışım asfalt beton numuneleri üretilmiştir. Numunelere Marshall stabilite testine göre akmaya karşı direnci, dolaylı çekme deneyi ile AASHTO TP9-02 uygun olarak gerilme mukavemeti belirlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda en uygun karışım oranı Marshall stabilite testine göre % 1ve dolaylı çekme deneyine göre %0,3 poliiolefin lif katkılı karışımlar olduğu belirlenmiştir. Bu karışımların sayısal değerlerini Marshall stabilite maksimum değer 1632,19 ve dolaylı çekme gerilme deneyi için maksimum değer 1598.32 belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: sıcak karışım asfalt, poliiolefin lif, dolaylı çekme, Marshall stabilite.

Haziran 2021, 65 sayfa

ABSTRACT

MS Theises

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ARAMID POLYOLEFINE FIBERS ON INCREASING THE MECHANICAL PROPERTIES OF HOT ASPHALT MIXTURE

Arsala Khan İSSAZOY

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ahmet ATALAY

In asphalt pavements, the resistance to deformations decreases with the effect of high temperature and long loading times, leading to an increase in deterioration such as rutting, low temperature cracks and fatigue cracks. In particular, rut deformations caused by heavy traffic loads adversely affect the geometric conditions of the road and cause economic losses. Many additives are used in bituminous hot mixes to increase the resistance against rutting.

The aim of this research is to examine the mechanical properties of polyolefin fiber reinforced hot mix asphalt. In the study, Marshall Stability test and indirect tensile test were applied to determine the mechanical properties. Hot mix asphalt concrete samples were produced by using Polyolefin fiber at the rates of 1%, 2%, 3% for the Marshal stability test, and 0,3%, 0,5%, 0,75% and 1% for the indirect tensile test. The resistance to flow of the samples was determined according to Marshall stability test, and the tensile strength was determined by indirect tensile test in accordance with AASHTO TP9-02.

As a result of this study, it was determined that the most suitable mixture ratio was 1% according to Marshall stability test and 0,3% polyelefin fiber added mixtures according to tensile test. The numerical values of these mixtures were determined as the maximum value of 1632,19 in Marshall stability and the maximum value of 1598,32 for the indirect tensile stress test.

Keywords: hot mix asphalt, polyolefin fiber, indirect shrinkage, Marshall stability

June, 2021, 65 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU.....	ii
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
TABLolar DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ.....	viii
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER	4
Esnek Üstyapı	4
Yarı Rijit Üstyapılar.....	6
Rijit (Beton) Üstyapı.....	6
Derzli Donatısız Beton Üstyapı	8
Derzli Donatılı Beton Üstyapı	8
Sürekli Donatılı Beton Üstyapı.....	8
Esnek Üst Yapılarda Bozulma Türleri.....	9
a) Servis Kabiliyeti İndeksi	10
b) Tekerlek İzi Derinliği	11
c) Çatlak.....	12
Bitümlü Sıcak Karışımlar (BSK)	16
BSK'ların Özellikleri	16
Bitümlü Sıcak Karışımların Stabilitesi	16
Bitümlü Sıcak Karışımların Dayanıklı (Durabilite).....	17
Bitümlü Sıcak Karışımların Rijitlik	18
Bitümlü Sıcak Karışımların Yorulma Mukavemeti.....	18
Bitümlü Sıcak Karışımların Geçirimsizliği (Permeabilitesi).....	18
Bitümlü Sıcak Karışımların Esneklik (Fleksibilite).....	19
Bitümlü Sıcak Karışımların Kayma Direnci.....	19
Bitümlü Sıcak Karışımda Oluşan Bozulmalar	20
BSK'larda Kullanılan Agregalar	21

Agregaların Fiziksel Özelliklerin Sınıflandırma.....	21
Mineralojik Sınıflandırma.....	21
Boyut Sınıflandırması	22
Gradasyon Sınıflandırması	23
Biçim Sınıflandırması	23
Yüzey Yapısı Sınıflandırması	25
Porozite Sınıflandırması	26
Yüzey Alanı ve Boşluk Sınıflandırması	26
Bitümlü Karışımlara Katkı Maddesi Eklenmesi ve Önceki Çalışmalar	27
MATERYAL VE METOT	29
Materyal	29
Aramid lif.....	29
Poliolefin lif	30
METOT.....	32
Elek analiz deneyi	34
Kullanılan Deney Aletleri	34
Numune Hazırlama	34
Deneyi Yapılışı	34
Marshall Stabilite Testi	35
Marshall Stabilite Deney Numunelerin Hazırlanması	36
Dolaylı Çekme Mukavemeti (ITS) Deneyi.....	39
Koşullandırılmış Dolaylı Çekme Mukavemeti ve Elastisite Modülü	40
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	42
Tez Kapsamında Yapılan Elek Analizi.....	42
Marshall Deneyi ile Optimum Bitüm Oranlarının Bulunması.....	43
Poliolefin Lif Marshall Stabilite Deney Numunelerin Hazırlanması	50
Marshall Stabilitesi ve Akma.....	51
Dolaylı Çekme Deney Numunelerin Hazırlanması	55
Karışım Tasarımı	55
Koşullandırılmış Dolaylı Çekme Deney Numunelerin Hazırlanması	57
Elastisite Modülü	58
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	59
KAYNAKÇA.....	61
ÖZGEÇMİŞ	65

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Agrega Yüzey Dokusu Sınıflaması ve Örnekleri	25
Tablo 2. Poliolefin /Aramid Liflerinin Fiziksel Özellikleri	31
Tablo 3. Agrega özellikler	32
Tablo 4. Agrega karışımı verileri.....	42
Tablo 5. Marshall Deneyi Sonuçlar	46
Tablo 6. Marshall Tasarım Kriterleri	50
Tablo 7. Çalışmada kullanılan numune takımları Poliolefin lif miktarları.....	51
Tablo 8. Marshalla stabilite ve Akma sonuçları	51
Tablo 9. Dolaylı çekme için Poliolefin lif matrisi	55
Tablo 10. Dolaylı çekme deney sonuçları.....	56
Tablo 11. ITS kuru ve ITS ıslak Deney sonuçları	58
Tablo 12. TSR Deney sonuçlar	58
Tablo 13. Elastisite modülü deney sonuçları	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Tekrar Tekrar Doldurulduğunda Kaplama Malzemelerinin Tipik Kalıcı Deformasyon Davranışı.	1
Şekil 2. Tekerlek yükü gerilme dağılışı	5
Şekil 3. Tipik Esnek Üstyapı En kesiti.....	5
Şekil 4. Karayolu Üstyapısını Oluşturan Elemanlar ve Sınıfları.....	6
Şekil 5. Orta Siddette Timsah Sırtı Çatlak	13
Şekil 6. Enine Çatlak.....	14
Şekil 7. Boyuna Çatlak.....	14
Şekil 8. Kenar çatlağı	15
Şekil 9. Blok çatlaklar.	15
Şekil 10. Agregada Dane Biçim Sınıflandırılması	24
Şekil 11. Agregada Dane Biçim Sınıflandırması	24
Şekil 12. Yüzey Yapısı Sınıflandırması	25
Şekil 13. Porozite Sınıflandırması	26
Şekil 14. Dane Çapı-Yüzey Alanı ve Dane Çapı- Boşluk Oranı ilişkisi.....	26
Şekil 15. Poliolefin lif	31
Şekil 16. Çalışmanın akış diyagramı.....	33
Şekil 17. Marshall stabilite testi cihazı.....	36
Şekil 18. Deneysel çalışma aşamaları	39
Şekil 19. Dolaylı Çekme Deney Aleti	41
Şekil 20. Agregada granülometrisi.....	42
Şekil 21. Karışımın Marshall stabilite-Bitüm İlişkisi.....	47
Şekil 22. Patrik özgül ağırlık (gr/cm^3)-Bitüm İlişkisi	48
Şekil 23. Agregada Arasında Boşluk (%)	48
Şekil 24. Asfalt dolu boşluk oran (%) -Bitüm İlişkisi.....	49
Şekil 25. Boşluk Hacmi Oranı-Bitüm İlişkisi	49
Şekil 26. Marshalla Stabilite Deney Numuneleri	51
Şekil 27. Poliolefin lif içeriği ve Marshall Stabilite değerleri değişimi.....	52
Şekil 28. Poliolefin lif içeriği ve Akma değerleri değişimi.....	53
Şekil 29. Poliolefin lif içeriği ve Asfalt dolu boşluk oranı değerleri değişimi.....	54
Şekil 30. Poliolefin lif içeriği ve Agregada arasındaki boşluk değerleri değişimi	54
Şekil 31. Poliolefin lif içeriği ve Pratik özgül ağırlığı değerleri değişimi	55

Şekil 32. Poliolefin lif içeriği ve Dolaylı çekme deneyi değerleri değişimi	56
--	----



KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Official (Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma Birliği)
AC	: Asfalt Çimentosu
ANN	: Artificial Neural Networks
BBR	: Eğilme Kiriş Rheometres
CBR	: California Bearing Ratio
Cm	: Santimetre
cm²	: Santimetrekare
dk	: Dakika
dk	: dakika
dm³	: Desimetreküp
Dp	: Numunenin Pratik Hacim Özgöl Ağırlığı
Dport	: Numunelerin Ortalama Pratik Hacim Özgöl Ağırlığı
DSR	: Dinamik Kesme Rheometres
EBA	: Etilen Butil Akrilat
EVE	: Etilen Vinil Asetat
Gr	: Gram
Gt	: Agregat Hacim Özgöl Ağırlığı
HDPE	: High-Density Polyethylene (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)
HMA	: Sıcak Karışım Asfalt
ITS	: Indirect Tensile Strength (İndirekt Çekme Mukavemeti)
İn	: İnç
İTR	: Indirect Tensile Ratio (İndirekt Çekme Oranı)
Kg	: Kilogram
Kg/m³	: Kilogram/Metreküp
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
kN/cm³	: Kilonewton/Santimetre Küp
KTŞ	: Karayollar Teknik Şartname
LDPE	: Low-Density Polyethylene (Düşük Yoğunluklu Polietilen)
LLDPE	: Linear Low-Density Polyethylene (Doğrusal Düşük Yoğunluklu Polietilen)
mm	: Milimetre

MPa	: Megapascal
PAV	: Basınçlı Yaşlandırma Kabı
PE	: Polietilen
PP	: Polipropilen
PVC	: Polivinil Klorür
Sn	: Saniye
V	: Numunenin Hacmi
Vb	: Numunedeki Efektif Bitüm Hacmi %'Si
VFB	: Asfalt Dolu Boşluk Oranı (%)
VMA	: Agregalar Arasındaki Boşluk %'Si
V_v	: Numunedeki Boşluk Yüzdesi
%	: Yüzde
%w₁	: Karışımdaki Kaba Agregat %'Si
%w₂	: Karışımdaki İnce Agregat %'Si
%w₃	: Karışımdaki Filler %'Si
°C	: Santigrad Derece

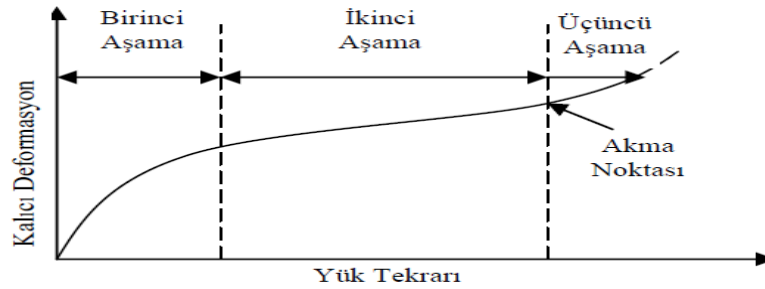
GİRİŞ

Ulaşım canlıların veya eşyaların bir yerden başka bir yere taşınma işlemine veya ekonomik ve kültürel iletişimi aktaran bir unsur olarak tanımlanır. Bir ülkenin kalkınmasında ve ilerlemesinde önemli bir yere sahip olan ulaşım sistemleri; karayolu, demiryolu, havayolu, deniz ulaşımı ve boru hatları olarak beş gruba ayrılır.

Türkiye'de dünyada karayolu taşımacılığı en büyük paya sahiptir. Artan trafik yükü, çevre ve iklim koşullarının bir sonucu olarak yol üstyapısının tabakalarında bozulmalar meydana gelmekte ve yol üst yapıları büyük onarımlara ihtiyaç duymaktadır.

Zaman içinde bozulan yol üstyapısı bakım ve onarım faaliyetleri konularında birtakım uygulamalar geliştirilmektedir. Örneğin mevcut bir yol kaplamasının hasarlı bölümlerinden çıkarılan malzemenin modifiye edilmiş bitümlü sıcak karışımın üretiminde kullanılması, kaynaklarımızın daha ekonomik kullanılması açısından kritik öneme sahiptir. Türkiye'de otoyollarının ve önemli devlet yollarının trafiğe açılış tarihleri göz önünde bulundurulduğunda, halen ve önümüzdeki yıllarda üstyapı iyileştirme faaliyetlerinin yoğun bir şekilde artacağı öngörülmektedir (Yılmaz 2011).

Ağır araçların sayısındaki artış, taşıma ağırlıklarındaki değişiklikler, dingil yüklerindeki artışlar ve lastik iç basınçları nedeniyle yol bozulması giderek artmaktadır. Yollarda bozulma üç gruba ayrılır; kalıcı deformasyonlar (tekerlek izi, çökme, kabarma, yığılma, ondülasyon), çatlamlar (yorulma ve termal) ve ayrılmalar (sökülme, soyulma)'dır. Düşük ısılarda asfalt hassas bir davranış sergileyerek trafik yüklerinden son yıllarda, bitümdeki bozulmalar arasında tekerlek izi oluşumu en önemli sorunlardan biridir. Bitümlü kaplama malzemelerinin yükleme ve çevre koşulları altında kalıcı deformasyon davranışı üç aşamaya ayrılmaktadır Şekil (Kutluhan 2008).



Şekil 1. Tekrar Tekrar Doldurulduğunda Kaplama Malzemelerinin Tipik Kalıcı Deformasyon Davranışı.

Birinci aşama, hacimsel değişimin yüksek bir başlangıç deformasyonuna neden olur. Yükün tekrar sayısı arttıkça kalıcı deformasyon artmaktadır. Ancak bu artış, her bir yük tekrarında oluşan plastik deformasyonun azalması nedeniyle azalan bir artıştır. İkinci aşama, hacimsel kaymaya bağlı olarak istikrarlı bir yükselişi gösterir. Bunun sonucu olarak kayma deformasyonları da artar. Yalnızca hacimsel kayma olmaksızın plastik kayma deformasyonları üçüncü aşamada yüksek oranda kalıcı deformasyona neden olur (Kutluhan ve Açar, 2009).

Bitümlü sıcak karışımlar (BSK) yüksek sıcaklıklarda ve uzun süre viskoz davranışa sahip olduklarından kalıcı deformasyonlara karşı düşük dirençlidirler. BSK hem teknik hem de maliyet açısından daha faydalı olduğu gösterilen tekerlek izindeki gerilmeleri absorbe edemez ve çatlaklar oluşturmaktadır. Bitümlü sıcak karışımların düşük sıcaklıkta daha fazla esnek ve yüksek sıcaklıklarda daha sert bir davranışa sahip olabilmesi için farklı katkı maddeleri kullanılmaktadır (Geçkil 2013).

Termoplastik olarak da bilinen Poliolefin plastomerler, kategorisi şunları içerir: Polietilen (PE), polipropilen (PP), etilen vinil asetat (EVA), etilen butil akrilat (EBA) ve polivinil klorür (PVC). Üç şekilde bulunabilen polietilen; düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), (low-density polyethylene) yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), (high-density polyethylene) ve doğrusal düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE), (linear low-density polyethylene). Poliolefin polimer ilavesi genellikle bitüm sertliğini ve iyi bir tekerlek izi direncini artırır (port et al 2019). Polyester ve selüloz lif takviyeli asfalt betonlarının tekerlek izi direncini Hamburg Tekerlek İzleyen Dairesel yol İzi testi kullanarak araştırmış ve tekerlek izi derinlik indeksinin yukarıda belirtilen liflerin eklenmesiyle iyileştirildiği sonucuna varmıştır (Aliha et 2017).

Bitüm sıcak karışımlara reolojik özellikler açısından polyester lifleri ve selüloz lifleri gibi farklı liflerin eklenmektedir (Khasawneh 2018).

Özgül bir polimerin fiziksel özellikleri, yapıldığı monomerlerin dizisi ve kimyasal yapısı, moleküler ağırlığı ve moleküler ağırlık dağılımı ile belirlenmiştir. Asfalta polimerler eklendiğinde, modifiye edilmiş asfalt çimentosunun özellikleri farklı şekle bağlıdır:

- Polimer özellikleri
- Asfalt özellikleri
- Karıştırma koşulları
- Polimerin asfaltla uyumluluğu.

Tekerlek izi direncinde iyileşme, termal kırma, yorgunluk hasarı, aşındırma ve sıcaklığa duyarlılık, polimer modifiyeli bağlayıcıların birçok kaplama ve bakım uygulamasında asfaltın

yerini almasına neden olmuştur. Örnek olarak sıcak karışım, soğuk karışım, talaş mühürleri, sıcak ve soğuk çatlak doldurma, yama, geri dönüşüm ve bulamaç mühürleme verilebilir. Daha fazla performans ve dayanıklılık istenen her yerde kullanılmaktadırlar. Asfalt karışımına dahil edilen liflerin ana işlevi, kırılma özelliklerinden sorumlu olan daha yüksek gerinim enerjisi ile sonuçlanabilen çekme mukavemetini arttırmaktır. Çoğu durumda, yaşam döngüsü maliyetlerini düşürmek için seçilmiştirler (Becker et al 2001; Jaskuła et al 2017).

Asfaltları polimerlerle modifiye etmenin ana nedenleri şunlar olabilir:

- 1) Düşük servis sıcaklığında yumuşatma karışım sıcaklıkları elde edin ve çatlamayı azaltın.
- 2) Yüksek sıcaklıkta daha sert karışım elde edin ve tekerlek izini azaltın.
- 3) İnşaat sıcaklığında viskoziteyi düşürmektir.
- 4) Karışımların mukavemetini ve stabilitesini arttırmaktır.
- 5) Karışımların aşınma direncini iyileştirmektir.
- 6) Çatlama azaltmaktır.
- 7) Kaplamanın düşük sıcaklıkta çatlamasını azaltmaktır.
- 8) Karışımların yorulma direncini iyileştirir.
- 9) Yaşlanmış asfalt bağlayıcıyı tekrar gençleştirmek
- 10) Marjinal agregat kullanımına izin vermek
- 11) Agregat üzerinde daha kalın asfalt filmlerine izin verir
- 12) Üstyapı tabakalarının yapısal kalınlığını azaltır.
- 13) Üstyapı yaşam döngü maliyetlerini azaltır.

Bu inceleme esas olarak, yoğun dereceli sıcak karışım asfalt beton kaplama uygulamalarında polimer değiştiricilerin kullanımına değinmektedir (Lewandowski 1994).

Bu araştırmanın amacı, sıcak karışım asfalt içerisine lif katkı malzemeleri kullanarak asfalt karışımının performansını artırmaktır. Bu çalışmada karışım asfalta aramid poliolefin lifi ilave ederek sıcak karışım asfaltın mekanik özellikleri incelenmiştir.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde çalışmanın amacı ve önemi, ikinci bölümde konunun kuramsal temelleri ele alınmıştır. Üçüncü bölümde bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntem açıklanmıştır. Dördüncü bölümde elde edilen bulgular belirtilmiştir. Beşinci bölümde sonuç ve öneriler sunulmuştur.

KURAMSAL TEMELLER

Bir yol kesiti altyapı ve üst yapı olmak üzere iki ana gruptan oluşmaktadır. Altyapı yarma ve dolgulardan oluşurken, üstyapı trafik yükünü taşıyan altyapıya gerilmeleri ve yükü aktaran bölümdür. Kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin formlarına, özelliklerine ve yapım yöntemlerine göre üst yapılar, rijit ve esnek olmak üzere iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Zemin durumuna, trafiğe, çevre koşullarına ve ekonomik hususlara bağlı olarak en uygun üstyapı türü seçilir.

Karayolu üstyapıları;

a) Esnek Üstyapı

b)Yarı Rijit Üstyapı

c) Rijit Üstyapı

olmak üzere üç'e ayrılır.

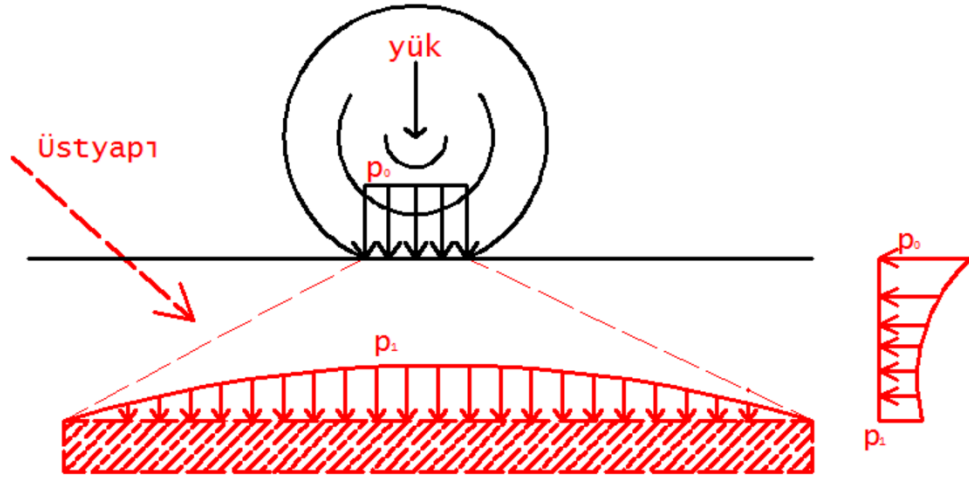
Esnek Üstyapı

Asfalt içeren veya içermeyen üst yapı tabakalarının dinamik ve statik yüklerin çoğunu taşıdığı, geri kalanını zeminin taşıdığı bir üst yapı biçimidir. Asfalt agrega kenetlenmesi, tane sürtünmesi ve kohezyonu karışımın stabilitesinde rol oynamaktadır.

Esnek kaplama örtüleri, farklı özelliklere sahip birçok farklı malzeme tabakasından oluşur. Zeminin taşıma gücü, gerilmeleri ve trafik yükleri, tabaka kalınlıklarını ölçmek ve projelendirmek için kullanılmaktadır.

Esnek üstyapılar; düşük standart kaplamalar (yüzeysel veya koruyucu tabakalar) ve yüksek standart kaplamalar (bitümlü sıcak karışımlar), mevcut iki tür esnek üstyapı türü olarak yapılmaktadır (Alp 2018).

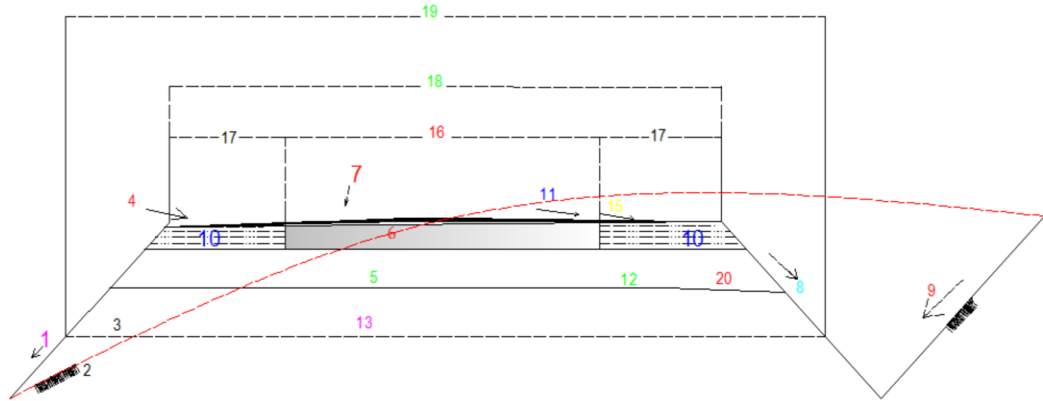
Bir esnek üstyapı, proje ömrünü, trafik hacmini, mevcut malzeme durumunu ve taban zemini mukavemetini hesaba katan çok yönlü bir kaplamadır. Tabakalı bir şekilde planlanmıştır. Bu tabakalar; tabakalarda kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri, üst yapının üst kısmı taban zeminine doğru trafik yüklerinde azalmaya başlar (Şekil 2).



Şekil 2. Tekerlek yükü gerilme dağılışı

Şekil. 2 ‘de görüldüğü gibi esnek üstyapıda trafik yüklerinden dolayı oluşacak gerilme yayılımı en üst tabakadan başlayarak aşağı tabakalara inildikçe azalmaktadır.

Esnek kaplamalar platform genişlikleri, banket genişlikleri, hendekler ve eğimler göz önünde bulundurularak inşa etmektedir (Şekil 3) (Geçkil 2013).



Şekil 3. Tipik Esnek Üstyapı En kesiti

- | | |
|--------------------------|---------------------------------------|
| 1-Dolgu şevi | 11-Yolun enine eğimi |
| 2-Doğal zemin | 12-Taban tüzeyi |
| 3-Seçme malzeme tabakası | 13-Yol gövdesi (taba zemini) |
| 4-Banket kaplama | 14-Üst yapı proje kalınlığı |
| 5-Altı temel | 15-Taket genişliği |
| 6-Temel tabakası | 16-Trafik şeritleri genişliği |
| 7-Kaplama tabakası | 17-Banket genişliği |
| 8-Hendek şevi | 18-Yol genişliği (platform genişliği) |

9-Yarma şevi

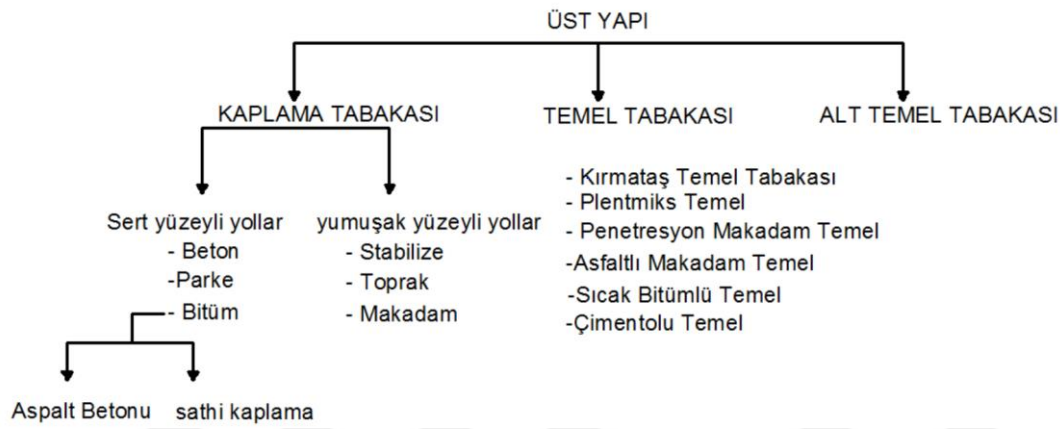
19-Üst yapı taban genişliği

10-Banket temeli

20-Taban yüzeyinin enine eğimi (Kozak 2011).

Bütün yapılarda olduğu gibi karayolu üstyapıları da taban zemini üzerine inşa edilmektedir. Taban zemini oluşturmak için doğal toprak sıkıştırılmıştır. Taban zeminin taşıma kabiliyeti doğrudan esnek bir kaplamanın hareketiyle ilişkili olduğundan, yapısal olarak en önemli tabakadır. Son olarak üst yapıdan gelen yük bu taban zeminine aktarılmaktadır (Karaşahin 1991).

Üstyapı tabakaları kaplama tabakası, temel tabakası, alt temel tabakası olarak adlandırılır (Şekil 4).



Şekil 4. Karayolu Üstyapısını Oluşturan Elemanlar ve Sınıfları (Kozak 2011).

Yarı Rijit Üstyapılar

Esnek üst yapıların aksine, yarı rijit kaplamalarda granüller temel veya alt temel yerine çimento bağlayıcı granül temel veya çimento ile stabilize edilmiş alt temel tabakası kullanılır. Bu tabakaların üzerine asfalt bir taban, bağlayıcı ve aşınma tabakası uygulanır. Türkiye'de trafiği devlet yollarında ve karayollarında daha fazla taşımak için bu tür üst yapılar kullanılmaktadır (Önal ve Kahramangil 1993).

Rijit (Beton) Üstyapı

Rijit üstyapılar beton yol olarak adlandırılmaktadır. "Beton yollar", çimento betondan yapılmış kaplamalardır. Orta ve yoğun trafiğe sahip şehir yollarında kullanılan yüksek kaliteli bir kaplamadır. Betonun yol yüzeyi olarak görevi, ağır tekil yükleri trafikten zemine aktarırken deformasyonu da önlemektir.

Yol yapım betonundaki su / çimento oranı, 28 gün sonra minimum 375 kg / m³ çimento hacmi, minimum %3 hava miktarı ve betonun karakteristik minimum basınç dayanımı 30 MPa olacak şekilde 0,20-0,45 arasında olmalıdır.

Yol yapımında kullanılan beton malzemelerden beklenen temel özellikler şunlardır:

- ✓ Kullanılacak kimyasal katkı maddelerinin birbirleri ve bağlayıcı malzemeler ile etkileşimini değerlendirmek için ön deneyler yapılmalıdır.
- ✓ Kullanılacak agregalar çeşitli kaynaklardan temin edilmeli, kalite kontrol deneyleri yapılmalı ve alkali-silika reaktivite testleri yapılmalıdır.
- ✓ Çimentonun kimyasal özelliklerinin ve inceliğinin betonun özelliklerine etkisi belirlenmelidir.
- ✓ Kullanılacak malzeme karışım oranları betonun dayanıklılığı veya donma-çözülme hasarına neden olmamalıdır.
- ✓ Farklı beton karıştırma süreleri, üretim sahaları ve konumlandırma stratejilerinin tümü planlanmalıdır. Çökmüş betondaki hava boşluklarını belirleme yöntemleri oluşturulmalıdır.

Üst yapı tabanına monte edilen alt taban tabakası, zayıf bir beton tabaka veya bitümlü bir tabaka üzerine serilmiş bir beton plakadan oluşur ve üzerinden geçen dingil yüklerini tabana ileten çimento betondan yapılan bir kaplama biçimidir (Kozak 2011).

Alt taban ve bunun üzerindeki beton tabaka, rijit üst yapıyı oluşturur. Tipik dingil yükü 60 -75x10⁶ 'dan fazla olan yollar ve yıllık 5000 'den fazla büyük yolcu uçağı kalkışına sahip havalimanları, projenin 20 yıllık ömrü boyunca sabit olmalıdır.

Birçok kurum, yolun trafiğe açıldığında tek yöndeki günlük ticari taşıt sayısının 5000'den fazla olması halinde beton kaplama yapılmasını öngörmektedir.

Rijit üstyapılar,

- a. Derzli donatısız,
- b. Derzli donatılı
- c. Sürekli donatılı

olmak üzere üç farklı şekilde inşa edilmektedirler ve bunlar aşağıda kısaca açıklanmıştır (Kozak 2011).

Derzli Donatısız Beton Üstyapı

Yakın zamandaki beton üst yapıların çoğu, maliyet etkinliği ve dayanıklılığı nedeniyle derzsiz olarak tasarlanmaktadır. Donatı içermeyen bu üstyapı tipi genellikle açıklıkları 5-6,5 metreden az olan enine derzler içerir. Bu üstyapılar trafik yüklerini döşemelere aktarmak için enine derzler boyunca; kayma çubukları, döşemeler arasında agrega kenetlenmesini sağlamak için de boyuna derzler boyunca bağ demirleri içerirler (Akar 2019).

Derzli Donatılı Beton Üstyapı

Bu üst yapı biçimine derzler ve takviye dahildir. Hem enine hem de uzunlamasına derzlerde, kayma ve bağlantı çubukları değişerek daha uzun bağlantı uzunluklarına (tipik olarak 9 ila 12 m) neden olur. Kesit alanının yüzde 0,15 ila 0,25'ini oluşturan döşemenin takviyesi, levhanın enine çatlaklarını sıkıca korumak için tasarlanmıştır. Güçlendirmenin süreksiz olduğu yerlerde derzlerin kesilmesini sağlamak zor olduğundan, bu tasarım devlet karayollarında eskisi kadar yaygın olmamakla birlikte, bazı belediyeler tarafından hala bir dereceye kadar kullanılmaktadır (Akar 2019).

Sürekli Donatılı Beton Üstyapı

Sürekli donatılı beton bir üst yapıda enine derzler yoktur, ancak çok sayıda uzunlamasına donatı vardır. Genel olarak, boyuna donatı, kesit alanının yüzde 0,6 ila 0,8'ini oluşturur. Enine donatı da sıklıkla kullanılmaktadır.

Yüksek oranda donatı kullanımının hem enine çatlakların büyümesi hem de uygun bir açıklıkta (0.9-2.5m) çatlak genişliği üzerinde etkisi vardır. Bu imalat yaklaşımı, yoğun şehiriçi yollarının tasarımında kullanılır, çünkü bu üstyapı ağır trafik yükleri için uygundur (Akar 2019).

Rijit kaplamaların avantaj ve dezavantajları

Rijit kaplamaların esnek kaplamalara göre avantajları aşağıdaki gibidir.

- ✓ Daha ince yapılabilir ve mekanik özellikleri (mukavemet, yorulma mukavemeti vb.) Daha güçlü olduğu için daha uzun ömürlüdür.
- ✓ Bakım ve onarım gereksinimleri minimum düzeydedir.
- ✓ Çimento, Amerika Birleşik Devletleri'nde üretilbildiği için yabancı ülkelere bağımlı değildir.
- ✓ İnşaat sezonu uzatılır, böylece -5°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda ve nemli koşullarda inşa edilebilirler.

- ✓ Yağışlı havalarda kayma direnci yüksektir.
- ✓ Gece görüşleri daha basittir.
- ✓ Islak koşullarda kayma sürtünme katsayıları çok yüksektir. (Enine sürtünme katsayısı: 0.65, boyuna sürtünme katsayısı: 0.70). Sonuç olarak, bu yöntemler rahatlatıcıdır. Frenleme esnasında karşı direnci yüksek olduğu için, daha kısa sürede ne kadar çok enerji tüketilebilirse, fren mesafesi o kadar kısa olur.

Rijit kaplamaların esnek kaplamalara göre bazı dezavantajları mevcuttur;

- ✓ İnşaat maliyetleri çok yüksek olabilir. Genel olarak katın mimarisi fiyata etki etmektedir. Beton yollar, düşük CBR (California Bearing Ratio) değerlerine sahip kötü arazilerde daha etkili olma eğilimindedir.
- ✓ Onarım süreleri çok uzun olduğundan ve onarım sırasında trafiğe kapatılması gerektiğinden servis yollarının yapımını gerektirir ve onarım maliyetini artırır.
- ✓ Azaltılmış sürüş konforu ve artan lastik gürültüsü, beton plakalar arasındaki bağlantılardan kaynaklanır. Kesintisiz bir yapıda beton kaplama ise bu sorunu hafifletmeye yardımcı olabilir.
- ✓ Aşamalar halinde inşa etmek için ideal değildir. Beton yapısından dolayı döküldükten sonra 7 gün doldurulmamalıdır. Fakat priz hızlandırıcı katkıları ile bu süre azaltılabilir.
- ✓ Derz dolgularının çok fazla bakım ihtiyacı vardır ve çok fiyatları vardır (Mutylmaz 2014).

Esnek Üst Yapılarda Bozulma Türleri

Mühendislik açısından üstyapı bozulması, “Üstyapının özgün fiziksel durumundan herhangi bir şekilde sapması” olarak düşünülebilir. Üst yapının doğasında bulunan özelliklerin bir sonucu olarak bozulma meydana gelebilir veya tasarım yöntemi ve malzemeleri yanlış seçildiğinde bozulma meydana gelebilir. Bozulma ayrıca, trafik ve hava durumu gibi bölgesel faktörlerin yanı sıra kalite kontrol eksikliğinden de kaynaklanabilir (İyınam 1997).

Esnek bir üstyapının proje ömrü boyunca yeterli stabiliteye sahip olması, hava şartlarına dayanıklı olması, alt tabakalara çökmeye karşı esnek olması, stabil olması ve kaygan olmaması gerekmektedir. Bununla birlikte, çok yönlü üstyapı, çeşitli nedenlerle belirtilen gereksinimlerin bazılarını karşılayamamaktadır.

Yanlış karışım hesaplamaları veya inşaat kontrolünün olmaması nedeniyle, esnek üstyapılar inşa edildikten sonra hızla bozulabilir. Ayrıca hem iklimin hem de tekrarlanan dingil yüklerinin etkileri sonucu, esnek üstyapılar kademeli olarak bozulmaktadır (Keçeciler 1990).

Yol sonsuz uzunlukta bir yapı olduğundan, şartnamelere göre yapılmış olsa da bozulmasına neden olan faktörler her zaman değişmektedir. Mevcut zemin yapısı, iklim, nem oranı, sıcaklık, trafik yoğunluğu ve farklı dingil yükleri gibi faktörlerin hepsinin yol üzerinde etkisi vardır. Genel olarak, yolüst yapısında iki tür bozulma vardır. Bunlar işlevsel ve yapısal bozulma olarak adlandırılır. Bozulma kriterleri üç kategoriye ayrılmıştır (Hanlı 2009).

a) Servis Kabiliyeti İndeksi

Bir kaplamanın dayanıklılığı, araçların uzun süre güvenli ve konforlu bir şekilde seyahat edebileceklerinin bir göstergesidir. "Servis kapasitesi" tanımı, kaplamanın performansını tanımlamak için AASHTO-1986 tasarım yöntemi kullanılmaktadır. AASHTO yol testinde, kaplamanın çıkışının kaplamanın ilk servis kabiliyetine göre nasıl değiştiği ve belirli bir kullanımdan sonra nasıl azaldığı tespit edilmeye çalışılmış ve buna göre tasarım formülasyonları oluşturulmuştur.

Mevcut servis kabiliyeti indeksi (PSI) eşitlik (3) ile hesaplanmıştır.

$$PSI = 5,03 - 1,91 \log(1 + SV) - 1,38RD^2 - 0,01 (C + P)^{1/2} \quad (3)$$

RD : Her iki tekerlek izindeki ortalama derinliği (inç).

SV : Ortalama eğim değişimi (10°).

C : Çatlak alanı (her 90 m² 'de çatlakların alanı).

P : Yama alanı (her 0,09 m² 'de yapılan yamaların alanı) göstermektedir.

Servis kabiliyeti indeksi 0 ile 5 arasında değişen bir sayı olup, kaplama tasarımcısı değil yolu kullanan kişilerin verdiği değerler, ölçüm sonuçları ile kullanıcılar tarafından sağlanan değerler ve sonuçlar arasında yapılan korelasyon sonuçlarına göre hesaplanır. mekanik sistem ölçümleri. Yol kullanıldıkça ve zaman geçtikçe, PSI değeri azalmaktadır. PSI = 1.5 olduğunda, yapılan gözlemlere göre kaplamanın kullanılamaz olduğu kabul edilmektedir.

Sonuç olarak, kaplamanın trafik nedeniyle servis edilebilirlik kaybı $\Delta PSI_T = P_0 - P_t$ 'dir. P_0 , kaplama trafiğe ilk maruz kaldığında PSI değerini belirtir ve P_t , kaplamanın iyileştirildiği sırada en son PSI değerini belirtir. Zeminin şişme ve donma özelliklerinin etkisinden kaynaklanan servis kolaylığı kaybı da AASHTO-86 işleminde dikkate alınmaktadır. Şişirilebilir duyarlı zeminler, su içeriği arttıkça şişen kaplamaya ek yük getirmektedir. Bu ek

gerilimler nedeniyle kaplamanın hizmet potansiyelindeki PSIT düşüşü, Eşitlik (4) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\Delta PSI_T = 0,00335 * V_R * P_S * (1 + e)^{-\theta * t} \quad (4)$$

V_R : Potansiyel düşey yükleme.

P_S : şişme olasılığı (şişmeye elverişli zeminlerin yol boyunca sahip oldukları uzunlukların toplam yol uzunluğuna oranının yüzde cinsinden değeridir).

t : Zaman (yıl).

θ : şişme oranı sabiti olup 0-0,2 arasında değişir.

Donma kabarmalarından ötürü servis yetenegindeki azalma ΔPSI_D , Eşitlik (5) ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta PSI_D = 0,01 * P_{DK} * \Delta PSI_{max} * (1 + e)^{-0.02\theta t} \quad (5)$$

P_{DK} : Donma kabarma olasılığı.

ΔPSI_{max} : Kabarmadan dolayı maksimum hizmet kabiliyeti kaybı.

θ : Donma kabarması oranı (mm/gün).

Trafik, zeminde sisme ve donma kabarmasından ötürü servis yetenegindeki toplam kayıp Eşitlik (6) ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta PSI = \Delta PSI_T + \Delta PSI_S + \Delta PSI_D \quad (6)$$

Üstyapı sayısı (SN) Eşitlik (7) ile hesaplanmaktadır.

$$SN = a_1.D_1 + a_2.D_2.m_2 + a_3.D_3.m_3 \quad (7)$$

a : Her bir tabakanın mukavemet katsayısı.

D : Kaplama, temel ve alt temel tabaka kalınlıkları.

m : Drenaj faktörü (AASHTO) .

b) Tekerlek İzi Derinliği

Tekerlek izi derinliği belirli bir miktara ulaştığında, yolun bozulmuş olduğu kabul edilmektedir. Tekerlek izi derinliğinin boyutu, bakım veya onarımın gerekli olup olmadığını belirlenmelidir. Düşey yönde genel kriter 1.0-2.5 cm olarak kabul edilir.

c) Çatlak

Yol kaplamasındaki basınç ve çekme gerilmeleri nedeniyle, bu yarılmalar yol eksenine paralel veya düşey yönde meydana gelmektedir. Yolun çatlama derecesi çatlama / birim alan oranına göre belirlenmektedir. Bu değer belirli bir eşiğin üzerine çıktıkça uygun bakım yapılmaktadır.

Çatlaklar; sürekli dingil yüklerinden ve bunların en yaygın tekrarından oluşurlar. Kaplama katmanındaki dingil yükünün oluşturduğu gerilmeler kaplama malzemesinin mukavemetini aştığında çatlaklar oluşmaktadır. Aracın ani hızlanmasından veya yavaşlamasından kaynaklanan yatay kuvvetler de bir sorun olabilmektedir. Bu etkilerin yanı sıra, trafik gibi bazı dış etkenler de kendi başlarına veya bunlarla birlikte çatlaklara neden olabilmektedir. Özellikle;

1. Yüksek sayıda yük tekrarı (yorulma).
2. Kaplama (yüzey) tabakası yeterince kalın değil.
3. Kaplamanın altındaki katmanlar yeterince yoğun değil.
4. Kaplama altındaki tabakaların yüksek deformasyonu nedeniyle malzeme ayrışması ve dağılımı.
5. Yeterli drenaj yok.
6. Donmaya duyarlı temel ve alt temel malzemeler
7. Yüzeyler ve banketlerlerdeki arasındaki nem değişiklikleri.
8. Yetersiz yanal destek (banketlerin).
9. Araçta ani hızlanma veya yavaşlamadan kaynaklanan yatay kuvvetler.
10. Karışım tipi kaplamaların imalatı sırasında, finişer bazen durur.
11. Uygun olmayan yolu kaplayan derz yapımı (derzler) (Hanlı 2009).

Çatlaklar, timsah sırtı çatlakları, kenar çatlakları, enine çatlaklar, boyuna çatlaklar ve blok çatlaklar olarak sınıflandırılmaktadır.

1) Timsah Sırtı Çatlaklar

Bu çatlamlar sadece trafik yükünün tekrarlandığı bölgelerde fark edilmektedir.

Timsah çatlama ana yapısal sorunlardan biri olarak kabul edilmektedir.

Timsahlardaki sırt çatlakları çeşitli faktörlerden kaynaklanmaktadır;

- a) Taban zeminin, alt temelin ve / veya temel tabakalarının yetersiz sıkıştırılması ve / veya drenajı nedeniyle yetersiz taşıma kapasitesi,
- b) Aşırı trafik yükleri altında kaplama yorgunluğu,
- c) Uygunsuz malzeme kullanımı ve kötü inşaat teknikleri,
- d) Çevre ve iklim koşullarında donma etkisi ve nem değişiklikleri.

Timsah sırtı çatlakları hafif, orta veya yüksek şiddette timsah sırtı çatlakları olarak sınıflandırılmaktadır.

Timsah sırtı deseni, ancak hafif derecede aşırı timsah sırtı çatlaklarında oluşmaya başladı ve desen oluşumu sınırlı sayıda çatlaktan oluşmaktadır. Kılcal aşamada çatlaklar bulunabilir. Koşulların ilerlemesi her zaman yakından kontrol edilmelidir (Asfalt 2002).

Orta şiddetteki timsah sırtı çatlaklarında, timsah sırtı gelişimi daha yaygın hale gelmiş ve poligon köşelerde kırılmalar başlamıştır. Çatlaklar genişledi ve daha görünür hale gelmektedir. Etkilenen yüzey, geçici bir çözüm olarak (bakım için) harç tipi bir kaplama tabakası veya yüzeysel bir kaplama ile kaplanmalıdır. Onarım yöntemlerinden biri de kırılan alanı dikkatlice kesip sıcak veya soğuk karışım içeriği ile kapatmaktır.

Poligon bloklar, yüksek yoğunluklu timsah sırtı çatlaklarından oluşmaktadır. Bazı çukurlar ve lokal oturmalar vardır ve kırılmalar ileri derecedir (Asfalt 2002; Alkasah 2020).



Şekil 5. Orta Siddette Timsah Sırtı Çatlak (Asfalt 2002)

2) Enine Çatlaklar

Bu çatlama türü bir yorulma çatlağıdır. Böylece trafik akış yönünde çatlaklar meydana gelmektedir. Enine çatlama, kaplama yönüne dik olarak meydana gelmektedir. Bu, termal çatlamaya neden olur.

Enine çatlaklara çeşitli faktörler neden olur.

- ✓ Çok düşük sıcaklıklarda oluşan asfalt kaplamada meydana gelen bozulma,

- ✓ Tabanda don etkisi ve su içeriği değişikliği,
- ✓ Yüzeyin alt katmanlarında önceden oluşmuş çatlakların kırılmasıdır (Sağlık ve Güngör 2008; Alkasah 2020)



Şekil 6. Enine Çatlak (Asfalt 2002; Alkasah 2020).

3) Boyuna Çatlaklar

Boyuna çatlaklar, kaplama hizasına veya orta kaplama hattına paralel olarak oluşmaktadır. Bu bozulma türü ya çevresel ya da yapısal kaynaklıdır.

Boyuna çatlaklara çeşitli faktörler neden olur.

- ✓ Yetersiz sıkıştırma ve drenaj nedeniyle dolguların çökmesi,
- ✓ Dolgunun yanal hareketi
- ✓ Doğru yapılmamış boyuna ekleme.
- ✓ Üstyapının trafik yükü ile birlikte yetersiz taşıma kapasitesi olması sonucu gelişen yerleşim yerleridir (Sağlık ve Güngör 2008; Alkasah 2020).



Şekil 7. Boyuna Çatlak

4) Kenar Çatlakları

Kenar çatlaklara çeşitli faktörler neden olur.

- ✓ Donma etkisi,

- ✓ Kaplama kenarında yetersiz yük kapasitesi ve üstyapı kenarında aşırı trafik yükü,
- ✓ Üstyapı kenarında ve bankette yetersiz drenaj,
- ✓ Üstyapının yetersiz genişliğinden dolayı trafik banket kenarına yakın (Sağlık ve Güngör 2008).



Şekil 8. Kenar çatlağı

5) Blok (Harita) Çatlaklar

Blok (harita) çatlaklara çeşitli faktörler neden olur;

- ✓ Şişme ve büzülme etkisi,
- ✓ Donma etkisi,
- ✓ Asfalt kaplamanın yasanmasından dolayı sertleşmesi ve kırılması sonucu oluşan çatlaklardır (Sağlık ve Güngör 2008).



Şekil 9. Blok çatlaklar.

Bitümlü Sıcak Karışımlar (BSK)

Bitüm ve agreganın her ikisinin de ısıtılıp karıştırılmasıyla elde edilen karışımlara bitümlü sıcak karışımlar (BSK) denilmektedir. BSK ile yapılan, yoğun gradasyonlu ve bağlayıcı olarak asfalt çimentosu (Asphalt cement) (AC) ile yapılan kaplamalar arasında en iyi performans gösteren beton asfalt kaplamalardır.

BSK'ların Özellikleri

Uygulandıkları bölgenin iklim koşullarına bağlı olarak, BSK, hizmet ömürleri boyunca iyi performans göstermesi için yeterli stabiliteye, rijitlik, durabilite, yorulma mukavemetine, esnekliğe (fleksibilite), geçirgenlik (permeabilite) ve kayma direncine sahip olmalıdır(Yılmaz 2013 ve Seloğlu 2015).

Bitümlü Sıcak Karışımların Stabilitesi

Asfalt kaplamanın stabilitesi "mukavemet" ile yakından ilgilidir ve asfalt kaplamanın trafikten kaynaklanan deformasyonlara karşı direnci gösterme yeteneğidir. Artan rijitlik, düşük sıcaklıklarda çatlama olasılığını artırırken yüksek sıcaklıklarda deformasyon olasılığını azaltır. Yüksek stabilite yüksek sıcaklıklarda deformasyon olasılığını azaltır ve düşük sıcaklıklarda çatlama olasılığını artırmaktadır (Seloğlu 2015).

Sıcak asfalt karışımların kayma mukavemeti (τ) aşağıdaki Eşitlik (8) bağıntısı ile tanımlanır.

$$\tau = c + \delta \tan \emptyset \quad (8)$$

Burada $\emptyset$, agrega daneleri arasındaki sürtünme ve kilitlenmeden kaynaklanan içsel sürtünme açısını, C agrega ile asfalt arasındaki bağ (adezyon) kuvvetini yani kohezyonu, σ ise normal gerilmeyi anlama gelmektedir. Sonuç olarak bitümlü bağlayıcı stabilite sağlarken, agrega iç gerilimi de sağlanmaktadır. İçsel sürtünme açısı Kullanılan asfaltın miktarı ve türü, yüzey dokusu, derecelendirme, tane formu, karışımın yoğunluğu ve kullanılan asfalt miktarı ve türüne göre belirlenmiştir.

Asfalt viskozitesinin etkisi ile doğrudan değişiklik göstermektedir.

Agregaların pürüzlülüğü, açısallığı ve yoğunluğu, artan pürüzlülük, açısallık ve yoğunluk ile artmaktadır.

Karışımın boşluk oranı azaldıkça ve yoğunluğu büyüdükçe,

Asfaltın viskozitesi yükselir veya katılaşırsa,

Yükleme hızı arttıkça dosya boyutu da artmaktadır.

Sıcak asfalt karışımlarının stabilitesi, asfalt tabakasının kalınlığı arttıkça artmaktadır (Yılmaz 2013).

Bitümlü Sıcak Karışımların Dayanıklı (Durabilite)

Asfalt kaplamalarının durabilitesi (çevresel dayanıklılığı) BSK'nın trafik ve çevresel faktörlerin aşındırma etkisine karşı direnci, dayanıklılıklarının bir ölçüsüdür. Diğer bir deyişle, durabilite, kaplamanın aşınmaya, şişmeye, soyulmaya ve oksidasyona dayanma kabiliyetini ifade etmektedir. Agreganın aşınma direnci ise kaplamanın aşınma direnci olarak tanımlanır. Agregası sert ve sağlam olduğu sürece kaplama dayanım daha iyi performans göstermektedir (Yılmaz 2013).

Bitümlü sıcak karışımlar, özelliklerdeki değişikliklere, agregası kırılmasına ve çatlamasına ve bağlayıcı soyulmasına dayanabilen bir bağlayıcı gerekmektedir. Yüksek asfalt malzemesi, yoğun veya iyi derecelendirilmiş agregası gradasyonu ve iyi sıkıştırılmış geçirimsiz karışımların tümü dayanıklılığı artırmaktadır.

Film kalınlığını artırın, yüksek viskoziteli bir bağlayıcı kullanın, güçlü sıkıştırma sağlayın ve bağlayıcı oranını artırmak ve dayanıklılığı artırmak için yoğun dereceli ve katı agregalar kullanılmaktadır. Durabilite yüke karşı direnç şu durumlarda bozulabilir.

1. Asfalt sertleşir ve kırılğan hale gelir ve bu nedenle kırılmadan gerilmelere dayanamaz.

2. Asfalt, agregadan (gerçekten şeritler) ayrılarak yüzeyin mukavemetini kaybetmesine ve ardından çatlamasına ve parçalanmasına neden olur.

Durabilite, aynı zamanda, su ile birleşen lastiklerin sıyırma etkisinden dolayı karışımın yüzeyin aşınmasına direnme kabiliyetini de ifade etmektedir. Aşağıdaki durumlarda yüzey aşınmaya daha duyarlıdır:

1. Boşluk içeriği yüksektir ve hava ve suyun asfaltı zamanından önce sertleştirmesine izin vermektedir.

2. Asfalt ve agregası kimyasal olarak uyumlu değildir, bu da asfaltın agregadan "soyulmasını" kolaylaştırmaktadır.

3. Asfalt film kalınlığı, karışımı lastiklerin ve suyun aşındırıcı etkisinden korumak için yeterli değildir.

Belirli bir asfalt ve agreg a karışımı için yeterli film kalınlığı elde edilirse durabilite artarmaktadır. Belirli bir etkin asfalt içeriğı için, agreg a gradasyonu daha kalınsa film kalınlığı daha büyük olacaktır (Seloğlu 2015; Chadbourn A et al 2000).

Bitümlü Sıcak Karışımların Rijitlik

BSK'lar viskoelastik ve termoplastik malzemeler olduğundan, özellikleri "Rijitlik Modülü" kullanılarak belirlenmektedir. Sıcak bitümlü karışımların yükleme süresi ile ısının neden olduğu gerilme ve deformasyon arasındaki ilişki sertlik olarak ifade edilmektedir. Sonuç olarak, yükleme süresi, sıcaklık, karışım yoğunluğu ve asfalt sertliği düştükçe karışımın sertliği artmaktadır (Seloğlu 2015).

Sertlik modülü (S_m), elastik malzemelerin elastik modülüne benzer, ancak ısıya ve yükleme hızına bağı olan aşağıdaki Eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$S_m(t, T) = \frac{\delta}{\epsilon} \quad (9)$$

σ : Gerilme, ϵ : Şekil değiştirme (deformasyon). Sıcaklık T , yükleme süresi veya hız t ve karışıma giren malzemelerin temel özellikleri ikincildir. Sertlik, çeşitli yükleme sürelerinde, hızlarda ve sıcaklıklarda sıcak bitümlü karışımlarda gerilme ve deformasyon arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. Yani yükleme süresi azaldıkça veya yükleme hızı arttıkça, karışımın yoğunluğu ve asfaltın viskozitesi arttıkça yükleme süresi ve sıcaklık artmaktadır (Yılmaz 2013).

Bitümlü Sıcak Karışımların Yorulma Mukavemeti

Yorulma mukavemeti, bir karışımın taşıyabileceğı maksimum çekme mukavemetini vermeden yorulma çatlakları ortaya çıkmadan önce dayanabileceğı maksimum yük tekrar sayısıdır. Bitümlü sıcak karışımların yoğun derecelendirilmiş agreg a kullanılması ve kaplama kalınlığının arttırılması rijitliğin artmasına yardımcı olabilmektedir (Seloğlu 2015).

Yüksek rijitlikteki karışımlarda yer değiştirme daha düşük olacağından yorulma direnci artacaktır. Ayrıca düşük kıvamlı bir bağlayıcı kullanılarak karışımda elastikiyet sağlayan bağlayıcı miktarı artırılarak daha esnek bir karışım elde edilmekte ve yorulma mukavemeti artırılmaktadır (Yılmaz 2013).

Bitümlü Sıcak Karışımların Geçirimsizliği (Permeabilitesi)

Asfalt betonunun içine hava ve suyun nüfuzuna, karşı gösterdiği direnç geçirimsizlikle ölçülmektedir. Geçirimsizlik arttıkça, hava ve suyun etkisi ile bağlayıcının yaşlanması

hızlanmaktadır. Donma-çözülme tekrarı sonucu soyulma yoğunluğu azalır ve agreganın parçalanması artmaktadır. Bunun sonucu olarak, kaplama bozulmakta, servis ömrü ve konfor azalmaktadır (Seloğlu 2015).

Bunlara ilaveten karışımın iç sürtünme açısını düşürmekten ve kaplamanın geçirgenliğini düşürerek asfaltın yaşlanmasını geciktirmekten kaçınmak için boşluk miktarı azaltılır. Boşluk oranı yüzdesi %3-5 olduğunda karışımın geçirimsiz olduğu kabul edilmektedir. Geçirgenlik, boşluk hacminden ziyade gözenek boyutuyla ilgilidir. İşlenebilirlik en çok iri agreganın miktarı ve derecesinden etkilenir. Son olarak, kritik karışımlar (bitüm içeriğine karşı çok hassas olanlar) yüksek oranlarda ince tanelerle ilişkilidir. (Yılmaz 2013; Fred 2020).

Bitümlü Sıcak Karışımların Esneklik (Fleksibilite)

Esneklik, sıcak bitümlü karışımların trafik ve çevresel etkilerle çatlama olmaksızın bükülme ve aynı zamanda temel ve alt temel katmanı yerleşimine uyum sağlama kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir ifadeyle, esneklik, BSK'larda yüksek sıcaklıklar için rijitlik ne kadar önemliyse düşük sıcaklıklar için de esneklik o kadar önemlidir. Yüksek asfalt içeriği ve nispeten açık veya içi boş gradasyonlar, tipik olarak bitümlü sıcak karışımların çok yönlülüğünü geliştirmektedir. Ayrıca, yol ekseni yarma ve dolgulardan geçtiği için, farklı dolgu oturumlarının neden olduğu gerilmeler, yeterince çok yönlülüğe sahip karışımlar tarafından karşılanabilmektedir. İstenmeyen ve farklı oturma sonucu kaplamada çatlaklar oluşacaktır (Yılmaz 2013; Kuloğlu 2006; Güngör vd 2008).

Bitümlü Sıcak Karışımların Kayma Direnci

Kayma direnci, Araçların frenleme sırasında güvenli bir şekilde durması ve kurplarda savrulmaması için gereken tekerlek ile kaldırım arasındaki sürtünme miktarını ifade etmektedir.

Pürüzsüz yüzeyleri sayesinde sıcak bitümlü karışımlarda özellikle yağmurlu havalarda, keskin kurplarda ve eğimin dik olduğu yerlerde sürüş güvenliği azalmaktadır. Bu yerler için aşınma direnci yüksek tek boyutlu kırma taş kaplama üzerine serilir ve kaplamanın içine gömülür veya yüzey kaplaması yeterli olmaktadır (Kuloğlu 2006).

Kayma direnci genel olarak; düşük asfalt miktarı, cilalanma direnci yüksek olan kırmataş ve pürüzlü yüzeyli agreganın kullanımı ile ayrıca açık ve kaba gradasyonlu karışım kullanılmasıyla daha fazla olmaktadır. Yavaş ancak çok sayıda tekrarlayan yüklerin etkisi, bitümlü kaplamalarda yorgunluk çatlaklarının oluşmasına neden olmaktadır. Yetersiz kalınlık ve alttaki katmanların zayıflığı nedeniyle deformasyon ve yorgunluktan kaynaklanan çatlaklar kaçınılmazdır.

Mikro pürüzlülük, agregaların yüzey yapısı ile belirlenirken, makro pürüzlülük asfalt karışımında kullanılan agreganın nominal ölçeği ile belirlenmektedir. Kullanılan bitümün yumuşaklığı, rijitliği, yoğunluk oranı, dolgu hacmi ve bitüm miktarı, yorulma çatlaklarının önlenmesinde rol oynamaktadır (Yılmaz 2013).

Bitümlü Sıcak Karışımında Oluşan Bozulmalar

Asfalt beton kaplamaların bozulmasının üç ana kategorisi deformasyon, çatlama (kırılma) ve hava etkisidir. Temelin, alt temelin ve doğal arazinin taşıma kapasitesinin olmaması, trafiğin aşındırıcı etkileri, iklim koşulları ve asfalt betonunun malzeme özellikleri bu bozulmaların ortak nedenleridir.

Asfalt betonunda oluşan bozulmaları ise aşağıdaki nedenlere bağlamak mümkündür.

a) Uygunsuz malzeme kullanmak;

- Kötü granülometrisi seçimi ve kontrol edilmemiş
- Karışımında yüksek oranda yuvarlak içerik kullanmak
- Çürük agregası kullanılması
- Kirli agregası kullanılması
- Düşük cilalanma direncine sahip agregası kullanılması

b) Yanlış asfalt beton karışımı hazırlığı;

- Granülometri, mevcut standartlarda belirtilen değerlere uymuyor;
- Bitüm yüzdesinin yanlış belirlenmesi;
- Fil yüzdesinin yanlış belirlenmesi
- Yetersiz karıştırma
- Sıcaklık izleme yetersiz.

c) Bitüm kaplamalarda imalat kusurları

- İnşaat sırasında meydana gelen ayrışma (segregasyon)
- Yetersiz sıkıştırma
- Aşırı sıkıştırma
- Düşük döşeme ve sıkıştırma sıcaklığı (Ağar ve Umar 1991)

BSK’larda Kullanılan Agregalar

Bitüm kaplamalarda meydana gelen sıkıntıların ana nedenlerinden biri, asfalt bağlayıcı ile agrega yüzeyi arasındaki bağlantı hatasıdır. Yapıştırma hatası, iki tür hatanın birleşiminden kaynaklanır: kohezyon ve adezyon hatasıdır. Asfalt filmdeki moleküller arasındaki bağlar koptuğunda kohezif bozulma meydana gelmektedir. Öte yandan, farklı fazdaki moleküller (yani agrega ve asfalt) arasındaki bağlar koptuğunda yapıştırıcı arızası meydana gelmiştir. Agregası, yol kaplamasının hem miktarında hem de stabilitesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bağlayıcısız temel ve alt temel katmanlarının tamamı ağırlıkça yüzde 90-95 ve hacimce yüzde 80-85 bitümlü sıcak karışımlardan, ağırlıkça yüzde 70 beton (rijit) kaplamalar ve yüzde 60-75 agregadan oluştuğundan hacimce, agregaların ve agrega-bağlayıcı karışımlarının özellikleri, kaplamanın ömrü, mukavemeti ve kıvamı üzerinde doğrudan etkiye sahip olmaktadır (Tunç 2001; Kuloğlu 2006; Valdés et al 2014).

Agregaların Fiziksel Özelliklerin Sınıflandırma

- Mineralojik
- Boyut
- Gradasyon
- Biçim
- Yüzey yapısı
- Porozite
- Yüzey alanı ve boşluk oranı
- Özgül ağırlık olarak sınıflandırılabilir.

Mineralojik Sınıflandırma

Agrega, mineralojik bileşimine bağlı olarak bir silika minerali, bir karbonat minerali veya bir mika minerali olarak kategorize edilmektedir.

Agregalar genel olarak;

- Dere malzemesi
- Kırmataş
- Yapay taşlar olarak elde edilir.

Dere malzemesinin (kum-çakıl) olumsuz özelliklerinden dolayı sadece yollar için alt temel olarak kullanılmaktadır. Kırma çakıl ve kırılmış kum ise, dere malzemesi kırıcılarda kırıldıktan sonra kaplama üretiminde kullanılmaktadır. Yüksek fırın cürufaları en yaygın yapay taş kaynağıdır. Cürufalar genellikle gevrek ve gözenekli oldukları için yol kaplamalarında kullanılmazlar ve üretilenler çimento endüstrisine giderken yeterince büyük miktarlarda üretilmemektedir. Kayaların kırılmasıyla elde edilen kırma taş mineral agregaları, yol kaplamalarında kullanım için mükemmel agregadır (Tunç 2001; Şeşmik 2020).

Boyut Sınıflandırması

Maksimum boyut, boyut aralığı ve derecelendirmenin tümü agrega boyutunda dikkate alınmaktadır. Tabaka karışımları olarak bilinen en eski bitümlü karışımlar, daha ince parçacık boyutlarıyla yapılmıştır. İnce agrega-bitüm karışımına mütevazı hacimlerde daha iri agregalar eklenerek taş dolgulu tabaka karışımları oluşturulmuştur. İnce agrega-bitüm karışımına az miktarda iri agrega eklendiğinde, karışımlar taş dolgulu tabaka karışımları olarak bilinmektedir. Dengeli kaba ve ince agrega karışımları, yoğun radyasyonlu karışımlar veya bitümlü betonlar olarak adlandırılır, maksimum boyut 1/2 inç (3/4 inç) veya daha az agrega için ince dereceli ve daha büyük maksimum boyutlar için kaba dereceli. Agregalar aşağıda boyutlara göre sınıflandırılmış.

- Kaba Agrega: No. 4 (4,76 mm) eleğin üzerinde kalan kısım
- İnce Agrega (kum): doğal kum, ezilmiş kum (ince çakıl) veya ikisinin kombinasyonu ve No. 4 elekten geçen ve No. 200 elek (0,075 mm) üzerinde kalan kısım
- Filler: No. 200 elekten geçen kısım (en az %65'i No. 200 elekten geçen mineral taş tozu veya taş unu) Mineral filler, toplam agreganın küçük bir yüzdesini oluştururken, karışımın özelliklerinin kontrolünde önemli bir rol oynamaktadır.

Mineral filler, 0,075 mm incelikte elenmiş agregalı malzemedir. Bununla birlikte, kalınlığı 0,075 mm'den az olan tüm malzemeler filler gibi davranamazlar. Bitümlü karışımlarda ince agrega oranını artıran filler, karışım miktarını azaltmak ve yüksek sıcaklıklarda karışımın deformasyona karşı direncini artırmak için kullanılmaktadır. Boşluk doldurma işlevi olduğu için stabilite üzerinde etkisi vardır. Mineral filler köşeli olmalı, karışımdaki boşlukları doldurmak için doğru derecelendirmeye sahip ve 0,001 mm kalınlığında olmalıdır. Ayrıca içinde ince taneler de olmalıdır. Tanenin şekli mineral fillerin etkisi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İnce, düz ve uzun parçacıklar, açısallara göre daha az çekicidir. Dolgu içerisindeki istenmeyen oluşmuş partikül oranı arttıkça mineral dolgu içeriği azalmaktadır. Mineral filler içindeki istenmeyen şekilli parçacıkların oranı artarsa mineral fillerin kalitesi

düŖer. Toprak, kil, organik ve zararlı maddeler ihtiva etmemeli ve kolayca akacak kadar da kuru olmalıdır. Taş tozu, mermer tozu, kalker tozu, portland imentosu ve snmüş kireç çok sık kullanılan mineral filler malzemeleridir. Fillerin karışımındaki oranları iyi dengelenmelidir. Genellikle bitümlü karışımlarda %3 ila 9 oranında olmalıdır. Kimyasal olarak inert dolgular, bitümlü malzemelerle etkileşime girmeyen dolgulardır (Tunç 2001; elik ve Fred 1967).

Gradasyon Sınıflandırması

Karışımın stabilite ve işlenebilirliği, agrega derecelendirmesine göre belirlenmektedir. Karışımındaki maksimum boyut (25,4 mm) büyük olduğunda işlenebilirlik zorlaşır ve yoğunluk ve tutarlılık yükselmektedir. Dereceli agrega karışımını oluşturan tanelerin boyutlarına göre nasıl dağıldığını açıklanmaktadır.

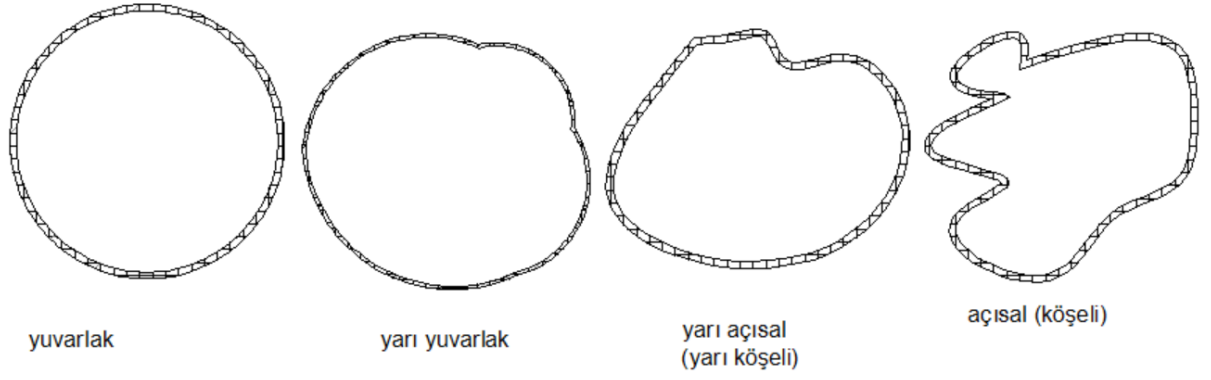
Belirli bir karışım için maksimum tane boyutu ve belirli boyuttaki tanelerin ağırlık miktarları spesifikasyonlarda tanımlanmıştır. Genel tane boyutu arttıkça, segregasyon arttıkça, boşluklar azaldığında, agrega tanelerinin toplam yüzeyi azaldığında, yoğunluk ve stabilite arttıkça ve bağlayıcılara olan ihtiyaç azaldıkça işlenebilirlik ve sıkıştırma daha karmaşık hale gelmektedir.

Biçim Sınıflandırması

Agrega danelerinin biçimleri yol kaplamalarında kullanılan karışımların;

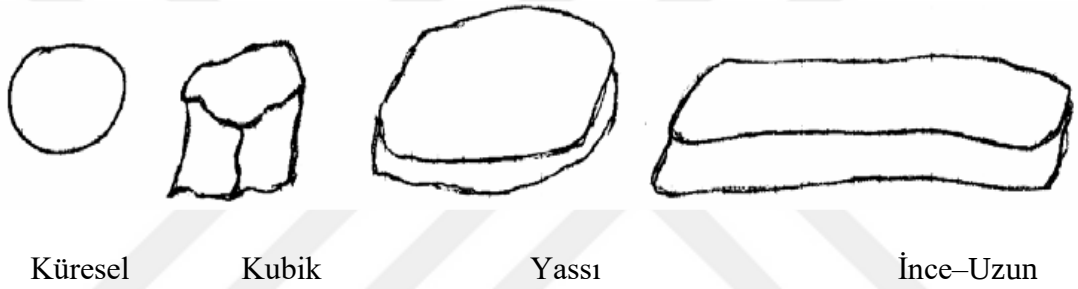
- Sıkışma direnci
- İşlenebilirlik
- Yoğunluk
- Stabilite
- İçsel kilitlenme (kenetlenme) ve içsel sürtünme açısı

• Kayma mukavemeti ve CBR özelliklerine etki etmektedir. Agregada daneleri biçim olarak Şekil. 10'de görüldüğü gibi sınıflandırmaktadır.



Şekil 10. Agrega Dane Biçim Sınıflandırılması (2 boyutlu) (Tunç 2001)

Şekil 3.'de gösterilen iki boyutlu form sınıflandırmasına ek olarak agrega tanelerinin üç boyutlu bir form sınıflandırması yapılmıştır. Şekil 11' de bu gruplama biçimini tasvir etmektedir.



Şekil 11. Agrega Dane Biçim Sınıflandırması (3 Boyutlu) (Tunç 2001)

Doğal agrega ocakları düz, uzun ve keskin kenarlı malzemeler üretirler. Tahıl sınıflandırması, nesnelerin geometrik özelliklerine göre sınıflandırılmasıdır. Yuvarlak şekilli agregalara karşı köşeli biçimli agregalar açısallı şekilli agregalar, daha yüksek bir işlenebilirlik fonksiyonuna (deformasyona karşı direnç) sahip olmalarına rağmen, stabilite açısından yuvarlak şekil agregalardan üstündür. İç sürtünme açıları, kenetlenme (birbirine kenetlenme) ve tane stabilitesi, açısallı şekilli agrega taneciklerinde daha yüksektir çünkü temas noktalarının sayısı daha yüksektir.

Aynı ocaktan yuvarlak taneli agregalar kırılarak elde edilen köşeli agregalar aynı boşluk oranında sıkıştırıldığında daha yüksek CBR ve stabilite değerleri elde edilmektedir.

Daha etkin sıkıştırılabilen ve daha yüksek işlenebilirliğe sahip yuvarlak şekilli agregalar ve beton yapılarda basma direnci yüksek ancak sıkıştırıldığında yüksek stabiliteye sahip köşeli biçimli agregalar, agrega tanecik şekillerinin bu özelliklerinden dolayı yol kaplamalarında kullanılabilirler. Ayrıca işlenebilirlik ve stabiliteye sahiptirler. Ancak yüksek mukavemetli betonlarda (B30 üzeri) çimento mukavemetine ek olarak agrega stabilitesi de gereklidir. Bu nedenle köşeli şekilli kırma taş agrega kullanılmalıdır. Ayrıca kırma taş agrega, kırma agrega

ile elde edilen betonların eğilme-çekme dayanımı daha yüksek olduğu için beton kaplamalarda kullanılmalıdır (Tunç 2001).

Yüzey Yapısı Sınıflandırması

Tanelerin pürüzlülüğü veya cilalanmış hali, agrega yüzey yapısı olarak adlandırılmaktadır. Agrega tanecik yüzey pürüzlülüğü arttıkça işlenebilirlik azalmaktadır, ancak asfaltla iç sürtünme açısı, stabilite, kesme mukavemeti ve yapışma mukavemeti yükselmektedir.

Bununla birlikte, agreganın boşluk hacmi, sıkıştırma direnci ve diğradasyon gibi olumsuz özellikleri de yükselmektedir. Sonuçta, agrega yüzey yapısı, agrega özellikleri üzerinde büyük etki olmaktadır. Şekil 12’de yüzey yapısını göstermektedir.



Şekil 12. Yüzey Yapısı Sınıflandırması(Tunç 2001)

Çok pürüzlü yüzeylere sahip kırma taş agregalar, yüksek kesme mukavemeti, güçlü yapışma ve yüksek kilitlenme (birbirine geçme) nedeniyle bağlayıcı veya bağlayıcı olmayan üst yapı katmanlarında mutlak bir gerekliliktir, ancak bağlayıcı veya bağlayıcı olmayan üst yapı katmanlarında mutlak bir zorunluluktur (Tunç 2001; Şemşik 2020).

Tablo 1. Agrega Yüzey Dokusu Sınıflaması ve Örnekleri (Şimşek 2020).

Yüzey dokusu	Özellikler	Örnekler
Camsı	Konkoidal(mıdye kabuğu) kırılması sonucu yüzeyler camsı	Siyah çekmekteşi , obsidiyen camsı, cuüruf
Pürüzsüz (düzgün)	Sürtünmeden kaynaklanan suda pürüzsüz kırılma veya düzleşme, granül veya lamine kayalarla sonuçlanır.	Çakıl, çört, sleyt, mermer ve bazı riyolitleri
Taneli	Kırılma sonucunda bir yüzeydeki keskinlik eşit şekilde yuvarlandığında oluşan yüzeylerdir.	Kumtaşı,oolit
Pürüzlü	Orta ve ince taneli kayaların zar zor görülebilen bir yapıya sahip olmasıyla oluşan yüzeylerdir.	Bazalt, fesit, profir, kireçteşi
Kristanlin (kristalli)	Yapısında kolaylıkla görülebilen kristal partiküllere sahiptir.	Granit, gabro, gnasys
Peteksi	Yüzeyde görülebilen boşlukları ve oyuklar vardır.	Tüğla ,sürgen taş, köpük çüruf,klinken.

Porozite Sınıflandırması

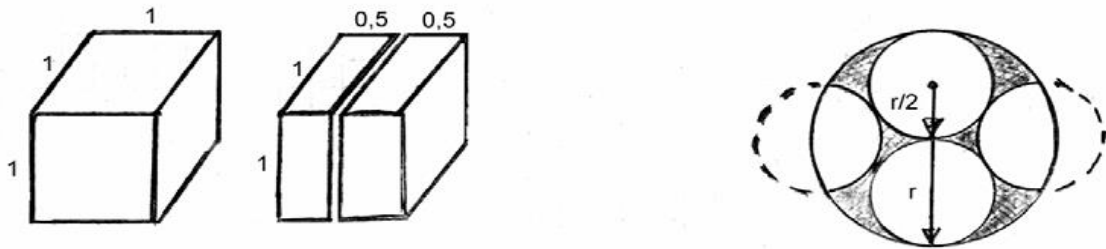
Agrega tanelerinde (veya suyu emebilen boşlukların miktarında) belirli bir miktar gözeneklilik gereklidir. Yeterli gözenekliliğe sahip agrega taneleri, bitümün emilmesine izin verdiğinden, agrega ve bağlayıcı film tabakası arasında güçlü bir yapışma oluşur, bu da artan stabilite ve sudan dolayı film tabakasının soyulmasının azalmasına neden olur. Öte yandan, fazla gözenekli agregaların düşük özgül ağırlığı, düşük yoğunluk ve stabilite ile sonuçlanır. Ayrıca sıcak havalarda yanlışı asfalt kullanımı kusma ve terlemeye neden olur. Sonuç olarak, sıcak bitümlü karışımlarda dere taşı, mermer ve benzeri malzemeler kullanılır. Gözenekli olmayan veya aşırı miktarda gözenekli agregalar kullanılmamalıdır. Şekil 13'de görüldüğü gibi kategorize edilmiştir (Tunç 2001).



Şekil 13. Porozite Sınıflandırması (Tunç 2001)

Yüzey Alanı ve Boşluk Sınıflandırması

Bağlayıcı içermeyen veya stabilize (bağlayıcı) karışımların her iki özelliği de, agrega tanelerinin yüzey alanlarının toplamından ve agrega taneleri arasındaki boşlukların toplamından doğrudan etkilenir. Toplam yüzey alanı ve toplam boşluk hacminin derecelendirilmesi, maksimum tane çapı, tane şekli vb. Belirli özelliklere bağlıdır. Toplam yüzey alanı ve boşluk hacmi, agrega tane çapı azaldıkça önemli ölçüde artmaktadır. Şekil 14'de görülebilir.



Şekil 14. Dane Çapı-Yüzey Alanı ve Dane Çapı- Boşluk Oranı ilişkisi(Tunç 2001)

Minimum bağlayıcı gereksinimi, toplam boşluk hacmi ve toplam yüzey alanı arttıkça artar, ancak toplam boşluk hacmi arttıkça karışımın yoğunluğu azalır. Agregatın toplam tane çapı arttıkça, işlenebilirlik sorunu artar, karışımın yoğunluğu artar, ancak gerekli bağlayıcı

miktarı azalır ve karışımın kohezyonu, stabilite ve dayanıklılığı azalır. Karışımın bu özelliklerini maksimize etmek için çok yönlü kaplama katmanlarında kullanılacak agregaların maksimum tane çapı seçilmelidir (Tunç 2001).

Bitümlü Karışımlara Katkı Maddesi Eklenmesi ve Önceki Çalışmalar

Bir bağlayıcıya çeşitli miktarlarda ve koşullarda çeşitli katkı maddelerinin eklenmesi yol kaplamalarında kullanılan bağlayıcı veya karışımın performansını, stabilitesi ve durabilitesinin iyileştirmek amacıyla uygulanmaktadır (Malkoç 2002).

Literatürde son yıllarda bitümlü sıcak karışımlarda poliolefin lif kullanılmıştır (Carlos et al. 2020; Ziari et al. 2020; Ziari ve Moniri 2019; Mutaş et al. 2017; Kaloush et al 2010).

Bitümlü karışımlarda kullanılan lif çeşitleri;

- Aramid lif
- Selüloz lif
- Çelik lif
- Polipropilen lif
- Alüminyum lif
- Mikro çelik lif pirinç kaplamalı
- Cam lif
- Akrilik lif
- Aramid lifi
- Karbon lif
- Naylon lif
- Poliolefin lif
- Polyester lif
- Polietilen lif (Patel et al 2015).

Demirkaya ve Terzi (2017) üç farklı uzunlukta (3, 6 ve 12 mm) doğranmış karbon lif, çeşitli oranlarda (0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50) bitüm karışımlarına ilave etmişler ve karışımın mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Tapkin (2007) yaptığı çalışmada Polipropilen lif katkılı sıcak asfalt karışımlarının mekanik özelliklerini incelemiştir. Chen et al (2008) polyester lif dört farklı oranda %0, %0,2 %0,35 ve %0,5 kullanmışlardır. Su ve Chen (2002)

asfalt karışımlarına 0, %50, %10 ve %15 cam atığı ilave ederek bitümlü sıcak karışımların stabilite, nem ve kayma özellikleri incelenmişlerdir. Ahmedzade vd (2008) siyah karbonun lifi ve kalker lifi katkı olarak kullanmışlardır.

Carlos et al (2020) yaptıkları çalışmada, poliolefin-aramid (POA) lifleri ve poliakrilonitril (PAN) Lif takviyeli asfalt karışım (Lif-Reinforced Asphalt Mortar) (FRAM) numuneleri farklı lif oranları kullanarak (%0,1 %0,2 ve %0,3) hazırlamış ve üç farklı sıcaklıkta (15 C°, 0 C°, -15 C°) test etmişlerdir. Ziari et al (2020) asfalt karışımlarına üç farklı oranda poliolefin-aramid lifleri (%0,025 %0,05 ve %0,075) ilave etmişlerdir. Ziari ve Moniri (2019) toplam karışım ağırlığına göre %0,06 %0,12 ve %0,18 oranında poliolefin-cam lifi karışımlara ilave etmiş ve dolaylı çekme mukavemeti testi yapmışlardır. Muftah et al (2017) çalışmalarında sıcak asfalt karışımında katkı olarak aramid poliolefin lif kullanmışlardır. Kaloush et al (2010) asfalt karışımlarında FORTA-FI liflerinin kullanılmasının sağladığı faydalar incelenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Bu çalışmada mekanik özelliklerini belirlemek için Marshall Stabilite testi ve dolaylı çekme testi uygulanmıştır. Marshall stabilite deneyi için %1, %2, %3 oranlarında, dolaylı çekme deneyi için %0,3 %0,5 %0,75 ve %1 oranlarında Poliolefin lif kullanılarak bitüm sıcak karışım beton mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla numuneleri üretilmiştir.

Aramid lif

Bir tür naylon olan poliamid, aramid kelimesinin kaynağıdır. Aromatik poliamid lif ailesine "aramid" adı verilir. Genellikle yüksek teknoloji malzemeler olarak bilinen aramid lif, son yirmi yılda uzay, denizcilik, spor malzemeleri, eğlence, otomotiv ve silah gibi geleneksel kompozit pazarlarına hizmet vererek çok yol kat etmektedir.

Bu polimer yüksek bir mukavemet / ağırlık oranına sahiptir. Aynı zamanda düşük yoğunluk ve yüksek elastisite modülüne sahip olup iyi yapışmayı sağlamaktadır. Mukavemet ve modül niteliklerinin yanı sıra, liflerin kolay ıslatılması ve ürünün durabilite dayanımı özelliklerinden dolayı en yaygın reçinelerle kullanılabilir.

Aramid lifin özellikleri;

- Düşük maliyetli, yüksek dayanımlı bitüm kaplama üretir.
- Bitüm tabaka kalınlığı %35'e kadar düşürülebilir ve diğer tabakaların kalınlıklarını azaltma imkânı vardır.
- Durabilitesi artırır.
- Tekerlek izi ve çatlama olasılığını azaltır.
- Yüksek elastikiyet modülüne sahip bir bitüm karışımı üretir.
- Marshall stabilite değerini ve akma sayısını artırır.
- Lif takviyesi, bitüm karışımlarının sürünme davranışını iyileştirir ve kalıcı deformasyona karşı direnci artırır.
- Genellikle sarı renktedir.
- Yoğunluğu düşüktür.
- Ömrü uzundur.

- Darbe direnci yüksektir.
- Aşınma direnci yüksektir.
- Yorulma direnci yüksektir.
- Kimyasal direnci yüksektir (Agwuncha et al 2017).

Poliolefin lif

Poliolefinler, bir çift karbon çift bağı ($C=C$), yani (olefinler) ile polimerizasyon hidrokarbonlarının oluşturduğu bir sentetik polimer türüdür. Poliolefinler yüksek moleküler ağırlıklı hidrokarbonlardır. Poliolefinlerin en önemli üyeleri polietilen ve polipropilendir. Poliolefinler, tekstil, otomobil, havacılık, vb. dahil olmak üzere birçok endüstride uygulamaları olan hafif, esnek, termoplastik malzemelerdir. Poliolefin bir polimerin belirli bir uygulamada kullanılabileceği sıcaklık aralığı veya maksimum sıcaklık, termal stabilite ve bozulması ile tanımlanmaktadır. Poliolefin polimerlerin termal özellikleri, işleme ve fiili uygulama sırasında dikkate alınan çok önemli ve kritik bir konudur.

İşleme sırasında, erime ve istenen işlem sıcaklığına ulaşmak için önemli miktarda ısı malzemeye aktarmaktadır. Bu işlemler çok yavaş ve pahalı olarak tanımlanmıştır. Genel olarak, polimerler ve lifler, alternatif modifikasyonlar olarak başarıyla kullanılmıştır (Takaikaew et al 2018).

Bu nedenle polimer malzemeler için işleme adımlarının ve ekipmanın tasarımı, termal özelliklerin iyi anlaşılmasını gerektirmektedir. Ayrıca, tasarım ve işleme aşamalarında malzeme bilimcileri, amaçlanan uygulamalara göre farklı termal özellik gereksinimlerini dikkate allanmaktadır.

Poliolefinler, uygulama ömürleri boyunca değişen sıcaklıklara maruz kalacakları için, malzemenin uygulama sırasında beklenen ısı değişimlere uygun olarak tasarlanması gerekmektedir (Şekil 15) (Agwuncha et al 2017; Williams, k et al 2017).



Şekil 15. Poliolefin lif

Üreticilere göre poliolefin/aramid liflerin (PO/A) fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Poliolefin /Aramid Liflerinin Fiziksel Özellikleri (Slebi j et al)

Lif	Aramid	Poliolefin
Form	Monofilament	Tırtıklı
Renk	Sarı	Beyaz
Yoğunluk (g/cm ³)	1.44	0.91
Uzunluk (mm)	19	19
Çekme Dayanımı (MPa)	2758	483
Bozunma sıcaklığı (C°)	157	>450
Asit / Alkali Direnci	Hareketsiz	Hareketsiz
Narinlik (19000/20 µm)	-	950

Çalışmada kullanılan agregalar Erzurum'da hazır beton santralinden elde edilmiştir. Bu çalışmada hazırlanan numuneler binder tabakasına uygun olarak hazırlandığı için en büyük agregata tane boyutu 12,5 mm olarak (KTŞ 2006) standardına uygun olarak belirlenmiştir.

Tablo. 3'te Agregata özellikler göstermiştir.

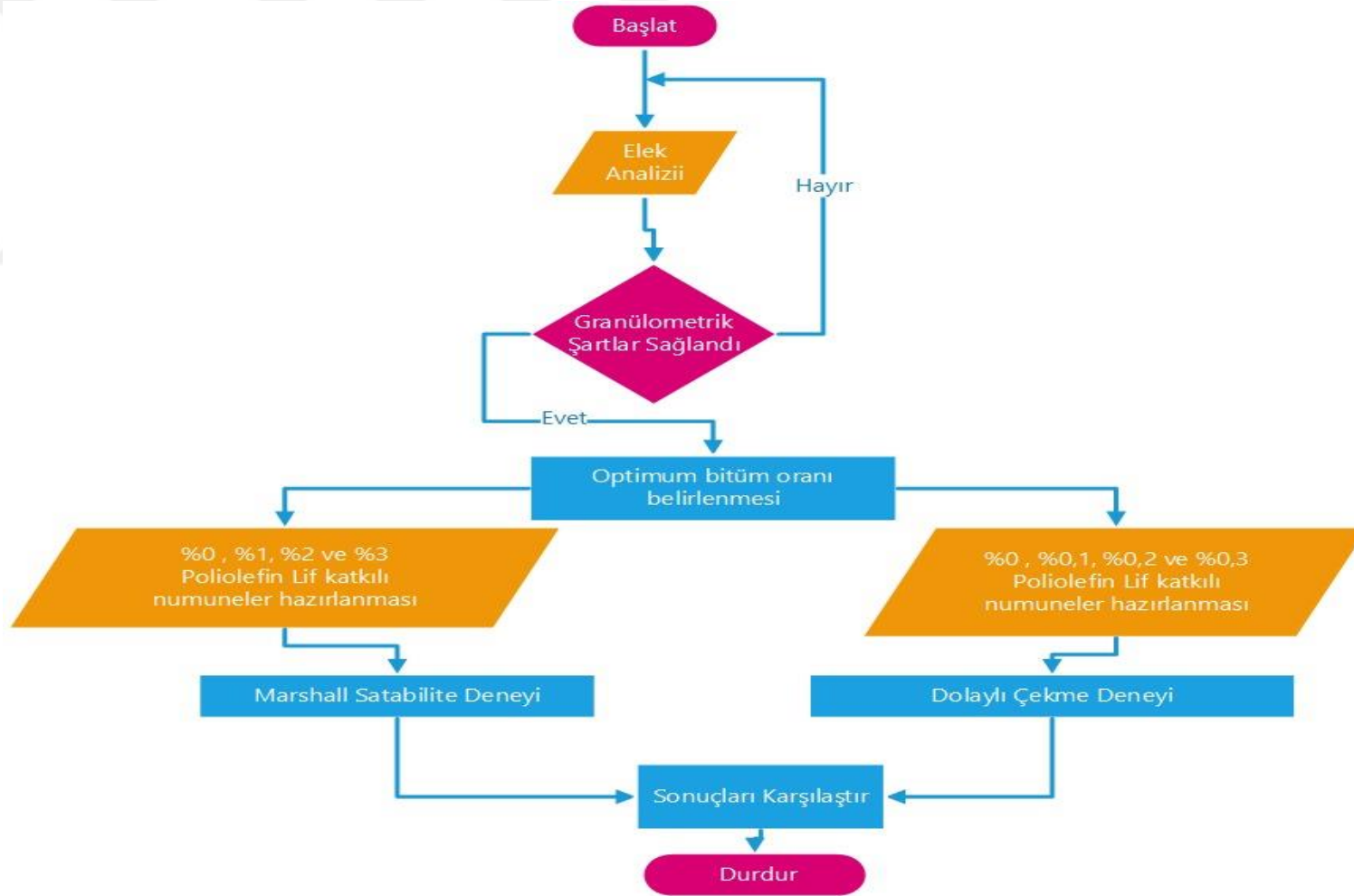
Tablo 3. Agrega özellikler

Elek çapı	Özellikleri	Standart	Kırma taş
0,075-4,75 mm	Özgöl Ağırlık (gr / cm ³)	ST 702	2,65-2,64
	Doymuş Özgöl Ağırlık	ST 702	2,68
	Su Emme (%)	ST 702	0,90
4,75-12 mm	Özgöl Ağırlık (gr / cm ³)	ST 702	2,75
	Doymuş Özgöl Ağırlık	ST 702	2,69
	Su Emme (%)	ST 702	0,34

Ayrıca çalışmada kullanılan bitüm Erzurum karayolu 12 bölgesinden temin edilmiştir. Bitümün Penetrasyon değeri 50/70'dir. Aynı zamanda çalışmada poliolefin lif İstanbul'da özel bir şirketten temin edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan poliolefin lif uzunluğu 12 mm'dir.

METOT

Bu çalışmada polielefin liflerinin sıcak asfalt karışımlarının mekanik özelliklerine etkileri belirlenmesi amaçlamıştır. Bu çalışmada öncelikle karışımda kullanılacak agregaların elek analizi ile gradasyonu belirlenmiştir. Daha sonra optimum bitüm oranı belirlenmiştir. Daha sonra farklı oranlarda lifler kullanılarak sıcak asfalt karışımları elde edilmiştir. Elde edilen numunelere marshal stabilite ve dolaylı çekme deneyleri uygulanmıştır. Çalışmanın akış diyagramı Şekil 16'de belirtilmiştir.



Şekil 16. Çalışmanın akış diyagramı

Elek analiz deneyi

Elek analiz deneyi; En büyük deneyi çapı bağlamında, bir agrega karışımının standart eleklerden elenmesi sonucu, söz konusu elekten geçen kısım tüm agrega miktarına oranının yüzde (%) cinsinden bulunması amacı ile yapılmaktadır.

Kullanılan Deney Aletleri

- Elek analizi deneyi (TS EN 933-10): uygun elek serisi kullanılmalıdır. Elek serisi altında elek altı kabı üstünde de bir kapak bulunur.
- Terazi: deneyi numunelerin en az 0.01 hassasiyetle tarabilmelidir.
- Etüv: deneyi araç-agregaları için uygun büyüklükte ve 110 ± 1 C°'ye ayarlanabilir olmalıdır.

Numune Hazırlama

- Agraga numunesi iyice karıştırılarak homojen duruma getirilir.
- Yeterli miktarda numune hazırlamak için 'eyrekleme yöntem' veya bölge (numune ayırıcı) kullanılır.
- eyrekleme yönteminde agrega numuneleri dairesel olarak yığın haline getirilir. Male yardımı ile 4 eşit parçaya ayrılır . Karışımılık iki numune yığını gerekli deney numunesi miktarı kadar alınır.

Deneyi Yapılışı

- Numune 110 C°'ye ayarlanmış etüde 24 saat bekletilir ve daha sonra tartılır.
- Elekler, göz açıklıkları giderek küçülecek şekilde yukarıdan aşağıya doğru sıralanır ve elek sarsma makinasına yerleştirilir. Eleme işlemi sarsma makinesi kullanmadan, doğrudan elle de gerçekleştirilebilir.
- Numune en üstteki eleğın içerisinde konulur ve elek sarsma makinesi çalıştırılıp eleme işleme başlanır. Eleme işlemi her bir elek için yaklaşık 2 dakika olmalıdır.
- İki dakikalık sarsma süresi sonucunda, herhangi bir elek için elek üstünde kalan malzeme miktarlarının, elekten geçen malzeme miktarının, elekten geçen malzeme

miktarlarının yaklaşık %1'inden daha az olması elemanın yeterli olduğunu gösterir.

- Eleme işlemi sonunda her bir elekte kalan malzeme terazi ile tartılır.
- Elek üzerinde kalan malzemelerin oranları % cinsinden aşağıdaki Eşitlik (9) yardımı ile hesaplanır.

$$P_s = \frac{W_s}{W_i} * 100 \quad (9)$$

P_s = herhangi bir elek için elek üstünde kalan malzeme oranı (%)

W_s = herhangi bir elek için elek üstünde kalan malzeme miktarı (gr)

W_i = Deney numunesinin ağırlığı (gr)

Marshall Stabilite Testi

BSK numunelerinde Marshall stabilite testi TS EN 12697-34 standardına uygun olarak yapılmaktadır. Stabilite, numunenin deformasyona maksimum direnci olarak bilinir, akma ise maksimum yüke ulaşıldığında meydana gelen düşey deformasyondur. Sıkıştırılmış ve soğutulmuş numunelerin yükseklikleri standara uygun olarak ölçülür ve kayde edilmektedir.

Marshall stabilite testi, 100 mm çapa ve yaklaşık 63,5 mm yüksekliğe sahip silindirik sıkıştırılmış numunelerin 60°C' de 30-40 dk boyunca suya banyosunda yerleştirilmektedir. Daha sonra sabit bir oranda bir çap boyunca kavisli çelik yükleme plakaları kullanılarak arızaya yüklendiği ampirik bir deneyidir. 51 mm / dak sıkıştırma. Marshall stabilite değeri (kN cinsinden) sıkıştırma sırasında kaydedilen maksimum kuvvet iken, akma (mm cinsinden) maksimum kuvvette kaydedilen deformasyondur. Marshall deney düzeneği Şekilde görülmektedir.



Şekil 17. Marshall stabilite testi cihazı

Deneyde, maksimum yük ve maksimum yüke ulaşıldığında, deney sırasında deformasyon değerleri kaydedilmektedir. Numune banyodan çıkarıldıktan sonra 40 saniye içerisinde deney yapılmalıdır. Deneyinde 63,5 mm standart numune yüksekliği onaylanmıştır. Denklem, çeşitli yüksekliklerdeki numuneler için stabilite düzeltme katsayılarını hesaplamak için aşağıdaki Eşitlik (10) kullanılmaktadır (Geçkil, T 2008).

$$C = 5,24 * e^{(-0,0258*h)} \quad (10)$$

Burada, düzeltme katsayısı C' dir ve numune yüksekliği (mm) cinsinden h' dir. Elde edilen stabilite ve akma değerlerinin ortalaması alınmaktadır (Zoorob 2000).

Marshall Stabilite Deney Numunelerin Hazırlanması

- Granülometrik şartlara uygun 1200 gr kırılmıştaşı - agrega karışımı (Şekil 18-a).
- Gradasyonu ayarlanmış 1200 gr agrega numunesi 160 °C derecelik ısıtma ayarlanmış Etüvede bir gün önceden konulur. Bitümün 160 °C derecelik etüvede 2-3 saat beklemesi yeterlidir, maksimum sıcaklık şartname göre uygulanır (KTŞ 2006). Hassas bir terazide tartım yapılarak istenilen miktarda eklenmiştir (Şekil 18-b).
- Marshall tasarım deneyin den kullanılan kalıp, şişleme çubuğu, kürek gibi aletler deneyi esnasında ısı kaybı olmaması için 10 dk 160 °C derecelik etüvede bekletilmelidir (Şekil 18-c).

- d) Etüvden çıkarılarak agega karışım mikser kabına konular, ortasına bir çukur açılır. Terazide tartım yapılarak istenilen miktarda bitüm agraga ağırlığının 5,8 % bitüm oranı için üçer numune hazırlanır (Şekil 18-d).
- e) Agraga ve bitüm karışım mikserde 1,5-2 dk süre ile karıştırılır (Şekil 18-e).
- f) Numune karıştırıldığı sırada 10 saniyelik kısımda numune kalıpları etüvden çıkarılır ve çok ince flim halinde yağlanır. Kalıp tamanın kalıba uygun boyutta dairesel kesilmiş yağlı veya geçirsiz kağıt yerleştirilir (Şekil 18-f).
- g) Numune kalıp, marshall tolmağı altında yerleştirilir ve her iki yüzeyine 75 vuruş yapılarak sıkıştırma tamamlanır. Marshall tokmağı genelde yaklaşık 4536 gr ağırlığında üretilen silindirik tokmağın, 45,7 cm yükseklikten, sıkışacak malzeme üzerine serbest düşme yapmasını sağlayan düzenektir (Şekil 18-g).
- h) Tokmaktan çıkarın kalıp içersinde yer alan numunenin alt ve üst yüzeydeki kağıtlar alındıktan sonra soğuması amacıyla uygun bir yüzey üzerine bırakılır (Şekil 18-h).
- i) Numuneler, soğuyan kalıptan bir kriko yardımıyla çıkarılır ve üzerleri tabaşır ile uygun bir sistematikte işaretlenir (Şekil 18-i).
- j) İşaretlenen numuneler oda sıcaklığında bir gün bekletilir (Şekil 18-j).
- k) Numune havadaki ve suaki ağırlıkları tespit edililerek not alınır (Şekil 18-k).
- l) TS EN 12697-34 standatına göre bu numuneler 60 °C dereceklik sıcakılıktaki su banyosunda içersinde yaklaşık 30 – 40 dk bekletir (Şekil 18-l).
- m) Marshall dayanım aletine yerleştirilir. Bu aletı numune için dayanım ve akma değerleri elde edilir. Bunun için 51mm/dk hızla yük uygulanmaktadır (Şekil 18-m).



a



b



c



d



e



f



g



h



i



j



k



l



m

Şekil 18. Deneysel çalışma aşamaları

Dolaylı Çekme Mukavemeti (ITS) Deneyi

Bir bitüm karışımının kırılma direncini tahmin etmek veya nemin etkilerini ölçmek için düzenli olarak kullanılan bir kriterdir. AASHTO TP9-02 ile uyumlu olarak gerçekleştirilen dolaylı çekme mukavemeti deneyi ile test edilen numunenin çekme mukavemeti belirlenmektedir.

Yükleme konfigürasyonu, dik ve dikey çap düzleminde oldukça muntazam bir gerilme oluşturmaktadır. Bu numuneye uygulanan yük yönüne dik olarak bölerek başarısız olmasına neden olur. Dolaylı çekme dayanımı (Indirect Tensile Strength – ITS) mukavemet deneyinin tutarlı bir şekilde yapılmasını sağlamak için bir deney prosedürü geliştirilmiştir (Tran ve Loon 2008).

Kalıplar tekniğe göre ölçülür ve deneyden önce 45 ° C 'de 30-40 dk su banyosunda bekletilir. Deney sıcaklığı, bitüm yumuşama sıcaklığının altında asfalt mukavemetini temsil etmek için 45 °C derece olarak seçilmiştir.

Levha, numunelerin bir esneklik modülü yükleme aparatının (jiginin) içine yerleştirilmesiyle dakikada 50 mm'lik bir hızda hareket ettirilmektedir. Bu yükleme jigi yükün sabit hızda başlaması için MS (Marshall Satalite) makinesine yerleştirilmiştir (Tran ve Loon 2000).

Koşullandırılmış Dolaylı Çekme Mukavemeti ve Elastisite Modülü

Marshall cihazı, dk 51 mm'lik bir hızda bir dolaylı gerilme mukavemeti (ITS) deneyi gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. ITS deneyi, düşey olarak uygulanan, çap düzlemine paralel hareket eden yüklerin sıkıştırılmasını ve silindirik deney numunesinin parçalanmasını içermektedir.

Bu deneyden elde edilen dolaylı çekme mukavemeti değeri ve bozulma deformasyonu, bitümlü karışımlarda yorulma çatlağı oluşma olasılığının yanı sıra karışımın ideal bitüm konsantrasyonunu tahmin etmek için kullanılmaktadır. Ayrıca bu değer, yol yüzeyi kırılma nitelikleri ile daha güçlü bir ilişki sağlamaktadır. ITS değerini hesaplamak için kırılmış olan deney numunesine uygulanan maksimum yüke göre Eşitlik (11) kullanılmaktadır.

$$ITS = \frac{2P_{max}}{\pi * d * t} \quad (11)$$

P_{max}: Uygulanmış maksimum yük (kN),

t: Numunenin kalınlığı (mm),

d: Numunenin çapı (mm).

Elastisite modülü, bir malzemenin mukavemetinin bir ölçüsüdür. Birim uzama başına gerilim olarak tanımlanır ve şekil değiştirme ile normal gerilim arasındaki doğrusal bir ilişkinin sonucudur. Elastisite modülü aşağıdaki Eşitlik (12) kullanılarak hesaplanır.

$$E(\text{Mpa}) = (2,2 * St) + 168 \quad (12)$$

İlk olarak elde edilen karışımdan altı adet Marshall numunesi hazırlanmıştır. Bu numuneler, sabit bir ağırlığa ulaşmak için ilk önce 72 saat boyunca 40 °C derece sıcaklıkta bekletilir. Altı numune tümü 72 saat sonra etüvden çıkarılmıştır. Daha sonra üçü 24 saat 25 ° C' de su banyosunda bekletilmektedir.

ITS_{KURU} değerini belirlemek için diğer üç numune ITS cihazı ile kırılır. Bu işlem bitikten sonra ITS_{ISLAK} değerini belirlemek için su banyosundaki üç numune 24 saat sonra su banyosundan çıkarılıp, ITS cihazı ile kırılır.

Bu işlemler esnasında karışıma ilave edilecek poliolefin lif belirlenir ve sırasıyla mevcut karışıma dahil edilmektedir. Her yeni karışımdan üç adet daha Marshall numunesi hazırlanarak

ITS_{KURU} ve ITS_{ISLAK} değerleri elde edilir. Poliolefin lif çekme mukavemeti oranı (Tensile Strength Ratio–TSR) değerlerinin hesaplanmasında aşağıdaki Eşitlik (13) kullanılmaktadır.

TSR değerleri tipik olarak 0,70-0,90 aralığındadır. Karışım türüne bağlı olarak, 0.70 kadar düşük veya 0.90 kadar yüksek BSK değerleri yaygındır. Spesifikasyonda, gerilme mukavemeti oranı % 80 olarak ayarlanmıştır (Demerkaya ve Terzi 2017).

$$TSR = \frac{ITS_{ISLAK}}{ITS_{KURU}} * 100 \quad (13)$$

TSR değeri, Bu şartnameye göre (ASTM D6931 2012) yapılmaktadır. ITS_{yaş} ve ITS_{kuru} değerlerin oranının hesaplanmasıdır. Dolaylı çekme deney aleti (Şekil 19)'de verilmiştir.



Şekil 19. Dolaylı Çekme Deney Aleti

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

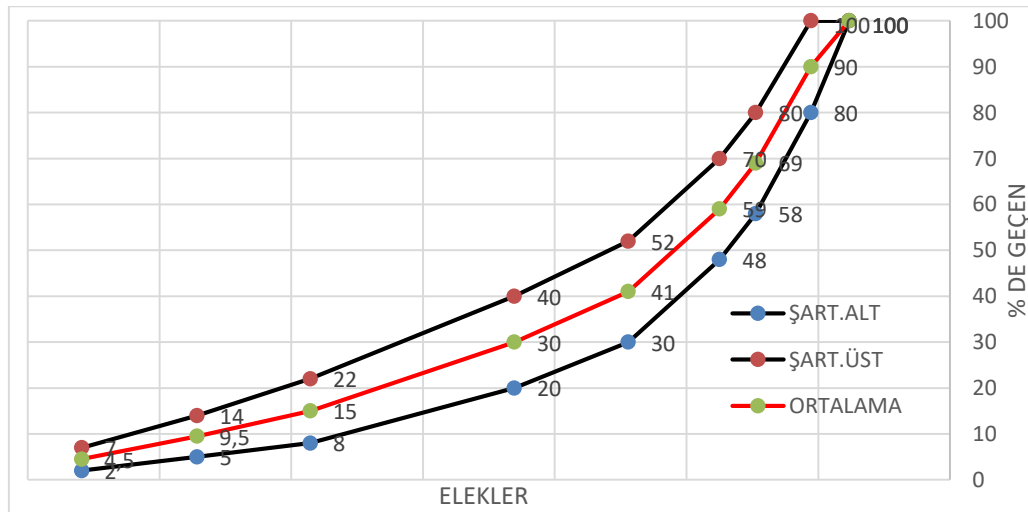
Tez Kapsamında Yapılan Elek Analizi

Numuneler binder tabakasına hazırlandığı için en büyük agrega tane boyutu 12,5 mm olarak seçilmiştir. Kırılmıştaş agrega için 1200 gr numuneler kullanılarak teknik şartnamedeki alt ve üst limitlerin ortalaması kullanılmıştır (Tablo 3). Laboratuvarında agregalar TC. Karayolları Teknik Şartnamesinde(KTŞ) 2006, binder tabakası derecelendirmesine göre seçilmiştir.

Tablo 4. Agrega karışımı verileri

Agrega	Elek çapı (mm)	Yüzde kalan	Ağırlık(gr)
1	12,5	10	120
2	9,5	10	120
3	4,75	33	396
4	2	15	180
5	0,425	15	180
6	0,180	7	84
7	0,075	5	60
8	Filer	5	60
Toplama		100	1200 (gr)

Asfalt karışım örnekleri için agrega tane dağılımı eğrileri KTŞ binder tabakası TİP-1'e uygun olarak seçilmiştir. Mevcut elek analizi sonuçları ve deneyler için seçilen agrega granülometrisi Şekil 20'de verilmiştir.



Şekil 20. Agrega granülometrisi

Çalışmada kullanılan bitümlü sıcak karışım numunelerinin hazırlanmasında Marshall yöntemi kullanılmıştır. İlk olarak ve en önemlisi, katkı maddesi içermeyen kontrol numuneleri için optimum bağlayıcı oranı hesaplanmıştır.

Marshall Deneyi ile Optimum Bitüm Oranlarının Bulunması

Bu amaçla 101.6 mm çapındaki kalıplarda her iki yüzüne 75 darbe farklı bitüm oranlarda sırasıyla %4 %4,37 %4,5 %5 %5,5 %6 üçer adet Marshall numunesi yapılmıştır. Başlangıç olarak, numunelerin yükseklikleri, havadaki kuru ağırlıklarının (W_{kuru}), sudaki ağırlıklarının (W_{suda}), havadaki doymuş ağırlıklarının ($W_{doymuş}$), Agregat karışımın özgül ağırlıklarının (G_t), numunelerin pratik özgül ağırlıklarının (D_p) yanı sıra üç yerde hesaplanmıştır. Asfalt dolu boşluk oranları (V_{FB}), boşluk oranları (V_v) ve agregatlar arasındaki boşluk oranları (V_{MA}) tespit edilmiştir.

Marshall stabilite değerini maksimize eden asfalt çimentosunun değeri, tam birim ağırlığı veren asfalt çimentosu oranı, şartnameye uygun olarak bağlayıcıyla doldurulan yüzde 60-75 agregat boşluk yüzdesini sağlayan bağlayıcı oranı ve %4 boşluk sağlayan asfalt oranı (şartnamede binder tabakası için yüzde 4-6 sınırı içinde kalan) oranının tümü Marshall stabilite değeri ile belirlenmektedir. Optimum asfalt çimentosu oranı, bulduktan sonra altı asfalt oranının ortalaması olacaktır. Bu orana karşılık gelen akma değeri, akma-bitüm grafiğinde kontrol edilir ve şartnamede tanımlanan değerler, şartnamede (2-4) belirtilen değerler arasında olup olmadıklarına bakılmaktadır. Şartnamelerde aranan özellikler bu şekilde hesaplanan bağlayıcı oranına göre üretilmiş bir beton asfalt karışımında bulunacaktır (Umar ve Ağar 1991).

Tablo 5'te ve hesaplamalarda kullanılan eşitlikler ve bağıntılar (Eşitliler 14-22) ise aşağıda gösterilmiştir.

$$W_a = \frac{WB}{WA} * 100 \quad (14)$$

$$V = B - C \quad (15)$$

$$D_p = \frac{A}{V} \quad (16)$$

$$D_{port} = \frac{D_{p1} + D_{p2} + D_{p3}}{3} \quad (17)$$

$$G_t = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + W_b}{\frac{W_1}{G_1} + \frac{W_2}{G_2} + \frac{W_3}{G_3} + \frac{W_b}{G_b}} \quad (18)$$

$$V_v = \frac{G_t - D_{port}}{G_t} * 100 \quad (19)$$

$$V_b = \frac{\frac{W_b}{G_b}}{\frac{W_1 + W_2 + W_3 + W_b}{D_{port}}} \quad (20)$$

$$VMA = V_v + V_b \quad (21)$$

$$VFB = \frac{V_b * 100}{VMA} \quad (22)$$

V: Numunenin hacmi

Dp: Numunenin pratik hacim özgül ağırlığı

D_{port}: Numunelerin ortalama pratik hacim özgül ağırlığı

G_t: Agregat hacim özgül ağırlığı

%W₁: Karışımdaki kaba agregat %'si

%W₂: Karışımdaki ince agregat %'si

%W₃: Karışımdaki filler %'si

V_v: Numunedeki boşluk yüzdesi

V_b: Numunedeki efektif bitüm hacmi %'si

VMA: Agregalar arasındaki boşluk %'si

VFB: Asfalt Dolu Boşluk Oranı (%)

Hazırlanan test numunelerinin gerekli ölçümlerinden ve hesaplamalarından elde edilen %4 bitüm içeren ilk test numunesi için hesaplamalar aşağıda detaylandırılmıştır.

Kaba agregat=%42, G₁ =2,648 gr/cm³

İnce agregat=%53, G₂ =2,664 gr/cm³

Filler=%5, G₃ =2,751 gr/cm³

Bitüm oranı=%4, G_b=1,032 gr/cm³

$$W_a = \left(\frac{48}{1200} \right) * 100 = 4,0$$

$$V = 1238,2 - 708 = 530,2 \text{ cm}^3$$

$$Dp = 1230/530,2 = 2,32gr/cm^3$$

$$Dport = (2,31 + 2,31 + 2,32)/3 = 2,31gr/cm^3$$

$$Gt = \frac{42 + 53 + 5 + 4}{\frac{42}{2.648} + \frac{53}{2.664} + \frac{5}{2.751} + \frac{4}{1.032}} = 2,51gr/cm^3$$

$$Vv = \frac{2.51 - 2.31}{Gt2.51} * 100 = 7,96$$

$$Vb = \frac{\frac{4}{\frac{1.032}{42+53+5+4}}}{2.31} * 100 = 8,61$$

$$VMA = 7,96 + 8,61 = 16,5$$

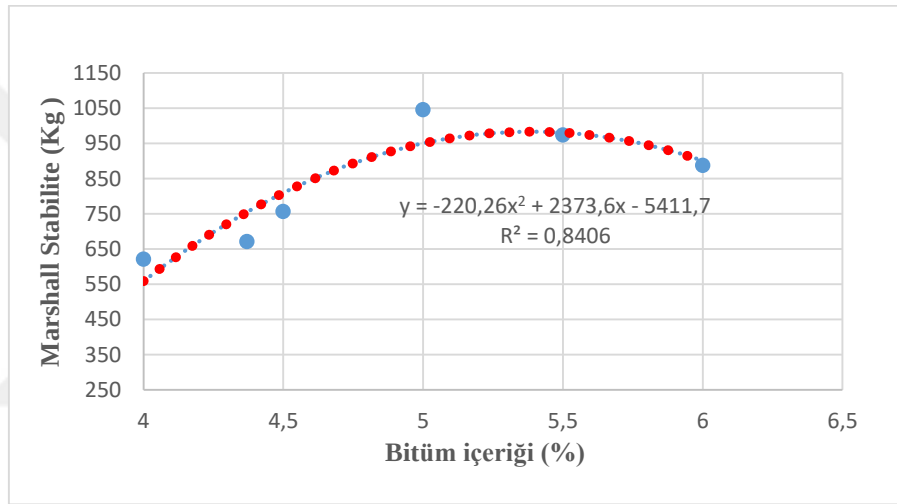
$$VFB = \frac{8.61*100}{16.57} = 51,5\%$$

Tablo 5. Marshall Deneyi Sonuçlar

Wa	No	Numune yükseklikleri				Havada ağırlık(g)	Suda ağırlık (g)	Doy.yüz. Ağırlık (g)	Dp gr/cm3	Gt gr/cm3	Vv (%)	VMA (%)	VFB (%)	Stabilite (Kg)	Dz FAKT	Dz Stb	Akma (mm)
		1	2	3	ort												
4%	1	65	64	65	64,67	1230	708	1238,3	2,32	2,51	7,56	16,2	53,08	614	0,987	606,12	1,84
	2	64	65	66	64,67	1227,4	703,4	1235,3	2,31	2,51	7,96	16,5	35,15	621	0,987	612,93	1,92
	3	65	66	64	65	1222,3	705,1	1234,4	2,31	2,51	7,96	16,5	16,5	627	0,979	613,83	2
	ort								2,31	2,51	7,83	16,4	34,91	620,67			1,92
4.37%	1	65	66	64	65	1245,2	715,2	1243,5	2,4	2,48	3,22	13,56	57,75	660	0,979	646,14	2,01
	2	67	66	65	66	1233,2	709,2	1239,2	2,3	2,48	7,25	17,16	53,55	683	0,954	651,58	2,1
	3	64	65	66	65	1234,5	714,1	1243,2	2,4	2,48	4,44	14,35	64,04	671	0,979	656,91	2
	ort								2,4	2,48	4,49	15	58,44	671,33			2
4.50%	1	66	67	64	65,67	1245,4	726,2	1250,2	2,36	2,49	5,22	17,07	69,42	750	0,963	722,25	2,4
	2	64	65	67	65,33	1240,3	719,4	1244,1	2,36	2,49	5,22	17,07	69,42	763	0,971	740,87	2,6
	3	66	64	66	65,33	1239,2	722	1246	2,36	2,49	5,22	17,07	69,42	755	0,971	733,11	2,5
	ort								2,36	2,49	5,22	17,07	69,42	756			2,5
5%	1	60	62,5	63,4	62	1248,1	728	1250,2	2,39	2,47	3,36	14,97	87,42	1078	1,05	1131,9	3,9
	2	61	62	60	61	1246,3	727	1250,4	2,38	2,47	3,36	14,97	87,42	1027	1,05	1078,3	3,8
	3	63	62	60	61,67	1246,3	727,3	1248,3	2,39	2,47	3,36	14,97	87,42	1032	1,06	1093,9	3,6
	ort								2,39	2,47	3,36	14,97	87,42	1045,67			3,77
5.5	1	58	62	61	60,33	1251,2	735,2	1251,2	2,42	2,54	4,72	14,19	63,53	998	1	998	3,7
	2	58	57	60	58,33	1249,3	723,3	1254,3	2,35	2,54	7,48	16,96	51,62	987	1,16	1144,9	3,8
	3	59	61	58	59	1255,5	734,8	1255,9	2,41	2,54	7,48	14,59	61,53	935	1,14	1065,9	3,2
	ort								2,39	2,54	6,45	15,25	58,89	973,33			3,5
6%	1	64	65	63	64	1260,7	739,4	1261,2	2,41	2,44	1,23	17,63	75,83	775	1,01	778,87	3
	2	66	65	65	65,33	1262,2	740,8	1236,8	2,54	2,44	2,87	17,63	79,92	890	0,98	871	3,5
	3	60	61	59	60	1241,1	742,2	1264,8	2,37	2,44	2,87	16,41	76,35	996	1,11	1109,5	3,7
	ort								2,44	2,44	2,33	17,22	77,37	887			3,5

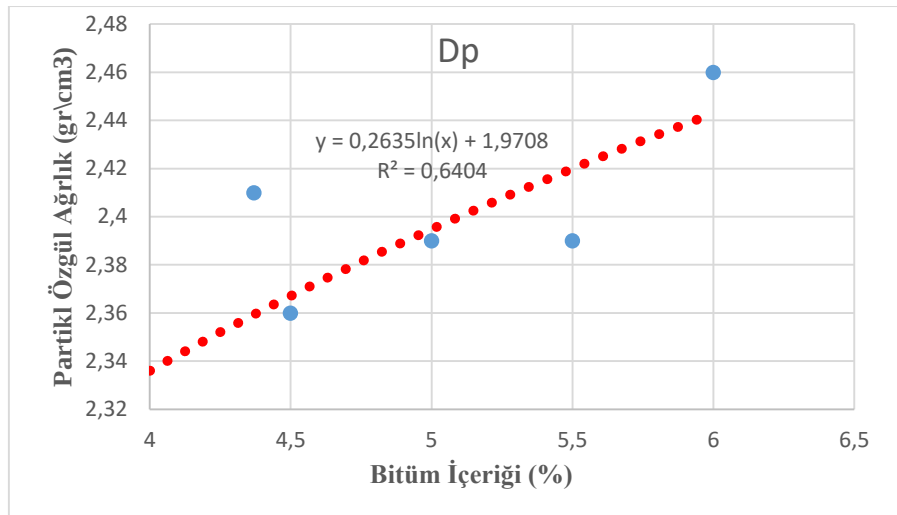
Daha sonra numuneler, Marshall stabilitesini ve akma değerlerini belirlemek için Marshall stabilite test cihazında kırılmıştır. Deney sonuçlarına ilişkin grafikler Şekil 21, 22, 23, 24, 25' de gösterilmektedir. Deneyi sonuçlarından sonra bitüm özellikleri Tablo 5 'de verilmiştir.

Marshall stabilite ile bitüm içeriği yüzdesi arasında en uygun ve maksimum korelasyon katsayısını veren polinom fonksiyon elde edilmiştir. Bitüm içeriği arttıkça Marshall stabilite değerlerinde genel olarak bir artış meydana gelmiştir (Şekil 21). Deneyi sonucunda en iyi Marshall stabilite değeri, % 5 bitüm oranı olarak ölçülmüştür. Bu sonucu destekler nitelikte önceki çalışmalardan Saltan ve Uysal (2017) maksimum stabilite değerini veren karışımın bitüm oranı %4,5 olduğunu belirlemişlerdir.



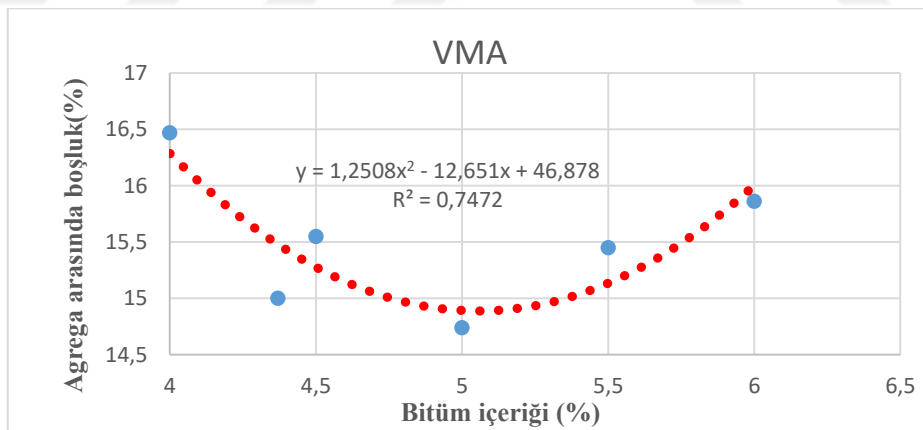
Şekil 21. Karışımın Marshall stabilite-Bitüm ilişkisi

Deney sonunda sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı en yüksek grafikte görüldüğü gibi kırılma olmadığı için yapılan ölçümler sonucunda toplam birim ağırlık %6 olarak belirlenmiş ve pratik özgül ağırlık ile bitüm içeriği yüzdesi arasında en uygun ve maksimum korelasyon katsayısını veren logaritmik fonksiyon elde edilmiştir (Şekil 22). Literatürde Akar (2019) yaptığı çalışmada maksimum hacim özgül ağırlıklarına %5,15 olarak belirlemiştir.



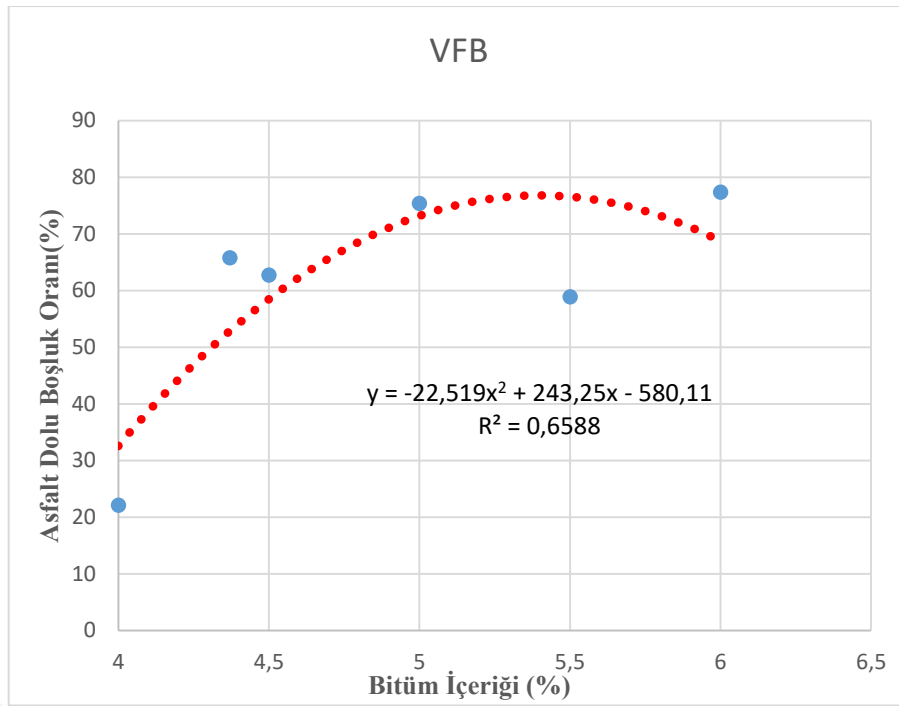
Şekil 22. Patrik özgül ağırlık (gr/cm³)-Bitüm İlişkisi

Agregalar arasında boşluk oranı, bitüm, karışımdaki ince agrega miktarı fazla olduğunda ince agregalar bitümü emmektedir. Kaba agregalar oranı fazla olduğu zaman bitümle tamamen kaplanamaz, bu da durabilite azalmasına neden olmaktadır. Agregalar arasındaki boşluk yüzdesi ile bitüm içeriği yüzdesi arasında en uygun ve maksimum korelasyon katsayısını veren polinom fonksiyon elde edilmiştir (Şekil 23). Bitümlü bir filmin durabilitesi, kalınlığı arttıkça artmaktadır. Bununla birlikte, bitümlü karışımın sızmasına izin vermeden yeterli bir bitüm film kalınlığı sağlamak için mineral agregalar arasında uygun bir boşluk değeri (VMA) gereklidir.



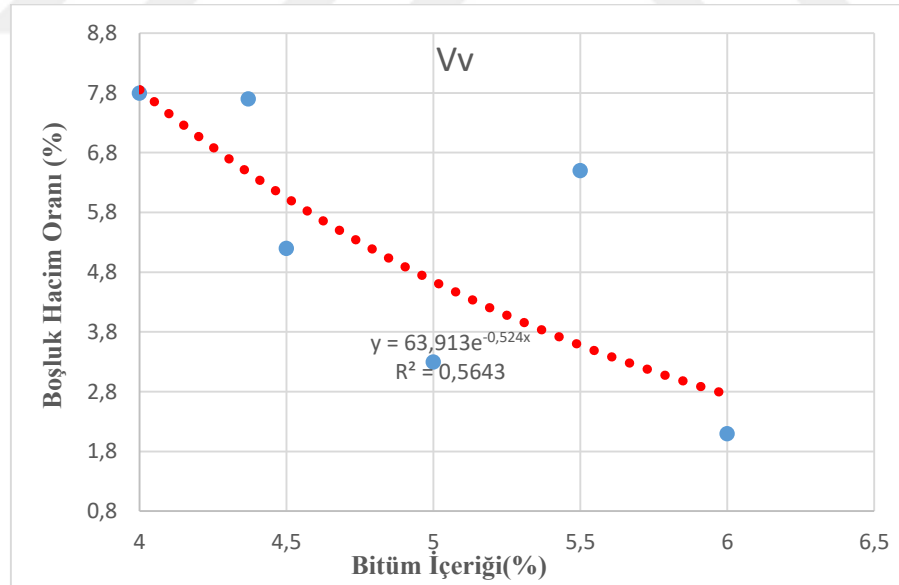
Şekil 23. Agregalar Arasında Boşluk (%)

Şartnameye uygun olarak bağlayıcı ile doldurulmuş agregalar boşluğunun % 60-75'ini sağlayan bağlayıcı oranı % 6 olarak belirlenmiştir. Asfalt dolu boşluk oranı ile bitüm içeriği yüzdesi arasında en uygun ve maksimum korelasyon katsayısını veren polinom fonksiyon elde edilmiştir (Şekil 24).



Şekil 24. Asfalt dolu boşluk oran (%) -Bitüm ilişkisi

Boşluk hacim oranı ile bitüm içeriği yüzdesi arasında en uygun ve maksimum korelasyon katsayısını veren üstel fonksiyon elde edilmiştir (Şekil 25). Deney sonunda % 4-6 şatname aralığında olan boşluk oranı % 6 olarak belirlenmiştir.



Şekil 25. Boşluk Hacmi Oranı-Bitüm ilişkisi

Yoğunluk ve Marshall stabilite eğrilerinin maksimum değerine karşılık gelen bitüm yüzdeleri ile şartnamede tanımlanan hava boşluk yüzdesine (% 4-6) ve asfalt dolu boşluk yüzdesine (% 60-75) karşılık gelen bitüm yüzdeleri birbirine eklenir ve optimum bitüm içeriği aritmetik ortalamaları kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu değer, akma eğrisinde kontrol edilir ve karşılık gelen akma değeri, şartnameye eşleşip eşleşmediğini görmek için kontrol

edilmektedir (Asfalt 2000; Keçeciler 1990; Tunç 2001). Şekil 21, 22, 23, 24, 25’de bulunan dört asfalt oranının ortalaması optimum asfalt çimentosu oranını vermektedir. Optimum asfalt oranı Eşitlik (21)’deki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Optimum Bağlayıcı Oranı} = \frac{5+6+6+6+6}{5} = 5,8 \quad (21)$$

Eşitlik (21)’den optimum bağlayıcı oranı %5,8 olarak bulunmuştur. Marshall Tasarım Kriterleri Tablo 6 ’da belirtilmiştir.

Tablo 6. Marshall Tasarım Kriterleri (KTŞ 2006).

ÖZELLİKLER	BİNDER	
	Min.	Maks.
Briket Yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı	75	
Marshall Stabilesi, Kg.	750	-
Boşluk, %	4	6
Asfaltla Dolu Boşluk, %	60	75
Agregalar Arası Boşluk, (Vma) %	13	-
Akma, mm (10-2 İnç)	2 (8)	4 (16)
Filler/Bitüm Oranı	-	1,4
Bitüm (Ağırlıkça, 100’ E)	3,5	6,5

Poliolefin Lif Marshall Stabillite Deney Numunelerin Hazırlanması

Bu araştırmanın amacı, Poliolefin lifinin bitüm davranışını nasıl etkilediğini incelemektir. Poliolefin lifin asfalt karışımlarındaki mekanik özelliklerini daha iyi anlamak için üç farklı orana sahip deney numuneleri analiz edilmiştir. Üç ayrı oranda poliolefin lif kullanılarak Marshall stabillite deneyi numuneleri hazırlanmıştır. Her oran için üç adet numune hazırlanmıştır. Lif oranı, toplam ağırlık yüzdesi (1200 gr) kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışmada poliolefin lif oranlar sırasıyla %1, %2, %3 olarak uygulanmıştır.

Deney sınıflarında aynı agrega ve aynı bağlayıcı (%5,8) yüzdeleri kullanılmıştır. Poliolefin lif içeren bitüm fiziksel özelliklere etkisini araştırmak için deney grubu sonuçları kontrol grubu sonuçlarıyla istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Tablo 7. Çalışmada kullanılan numune takımları Poliolefin lif miktarları

Numune takımı numarası	Lif oranı (%)	Lif ağırlığı (gr) olarak	Adet
1	0	0	3
2	1	12	3
3	2	24	3
4	3	36	3

Marshall Stabilitesi ve Akma

Asfalt beton karışımları yapmak için kullanılan agregaya yüzde 5,8 bitüm ilave edilmiştir. Her bir agregaya karışım formülasyonunun optimum bitüm içeriği, sıkıştırılmış silindirik numuneler kullanılarak belirlenmiştir. Marshall Stabilite değerleri, her bir poliolefin lif asfalt karışım grubundan üç test numunesinin ortalaması kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 26’de marshall stabilite deney numuneleri belirtilmiştir.

**Şekil 26.** Marshalla Stabilite Deney Numuneleri .**Tablo 8.** Marshalla stabilite ve Akma sonuçları

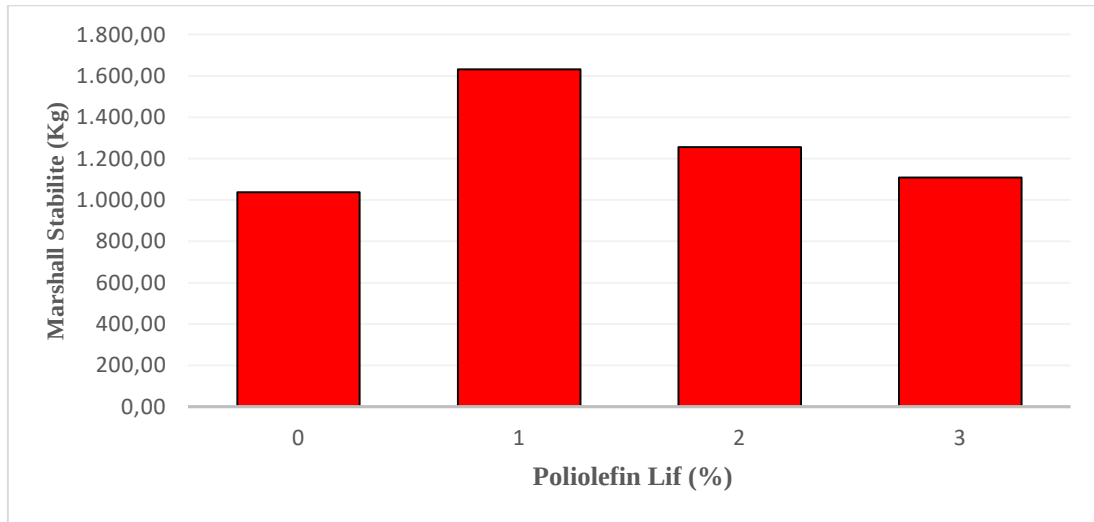
Numunedeki Poliolefin Lif Oranı (%)	Marshall stabilite (Kg)	Akma (mm)
0	1038,2	2,3
1	1632,2	3,0
2	1255,9	3,1
3	1107,9	3,4

Poliolefin lifinin Marshall stabilite değerleri Şekil 27'deki oranlarla karşılaştırıldığında oluşturulan kombinasyonların en düşük değeri %3 maksimum değeri ise %1 olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuç literatürde yapılmış olan bazı çalışma sonuçları tarafından desteklenmektedir. Demirkaya ve Terzi (2017) çalışma sonucunda en iyi mekanik değeri %0,5 oranındaki 12 mm uzunluğundaki karbon lifli asfalt karışımının verdiği belirlenmiştir. Tapkin (2007) yaptığı çalışmada Polipropilen lif içeriği arttığında %1 polipropilen lif ile takviye edilmiş numunelerde Marshall stabilite indeksinde %58'e ulaşan bir artış gözlenmiştir. Deney sonuçlarına göre %1 polipropilen lif ilavesi yorulma ömrünü %27 oranında uzattığı belirlenmiştir. Chen et al (2008) çalışma sonucunda, asfalt karışımının (Marshall stabilite) MS'sinin başlangıçta arttığını ve artan lif içeriği ile azaldığını belirlemişlerdir. Çalışmada %0,35'lik lif içeriğinde maksimum MS değerine (10,42 KN) ulaşıldığı belirtilmiştir.

Su ve Chen (2002) çalışma sonucunda %5-15 ile yapılan asfalt betonunun stabilite değerleri, cam katkısı olmadan yapılan asfalt betonunda dayanım daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Marshall stabilite testi sonucunda uygun oranda cam atığını kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

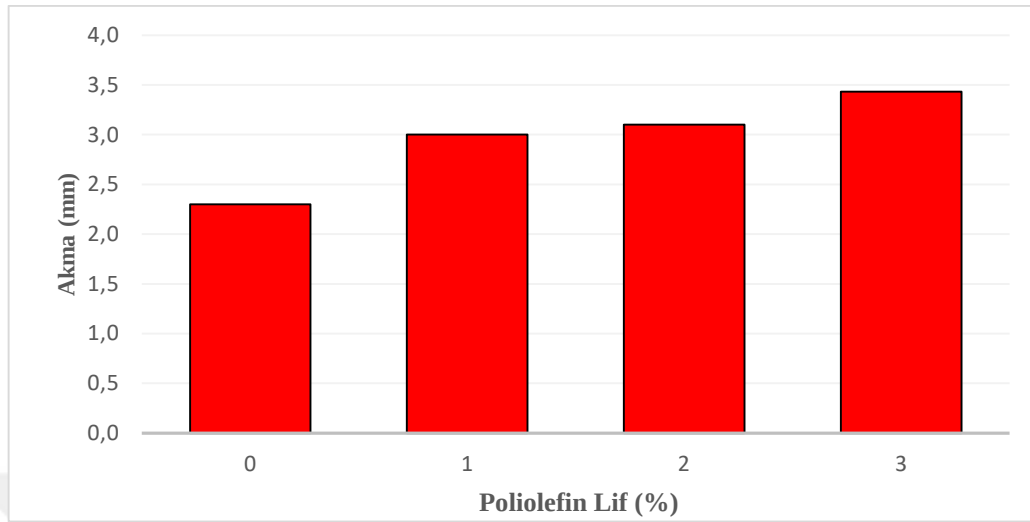
Bulgulara dayanarak, poliolefin katkı maddesi miktarı arttıkça Marshall stabilite etkilerinin azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 27. Poliolefin lif içeriği ve Marshall Stabilite değerleri değişimi

Poliolefin lif numunelerinin akma değerleri ve karışimdaki oranlarının değişimleri Şekil 28'daki gibi belirlenmiştir. Maksimum akma değer %3 poliolefin lif içeriğine sahip

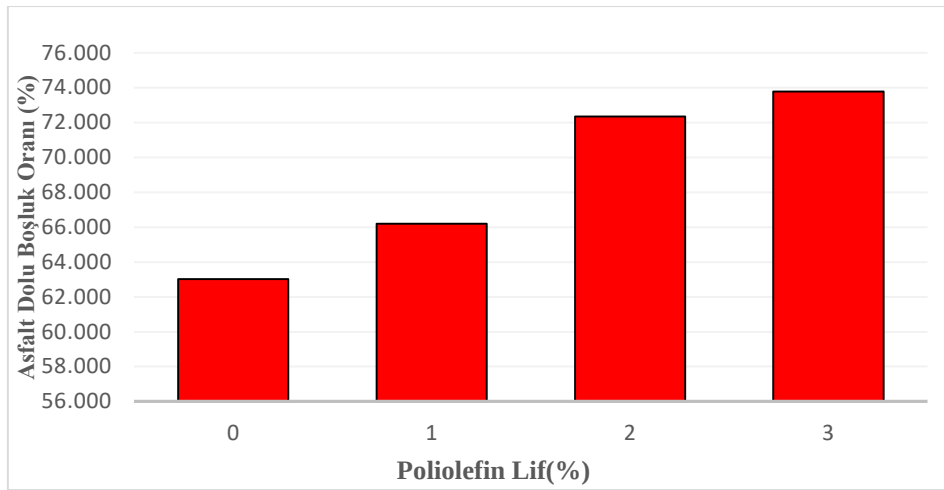
numunelerde görülmüştür. Sonuç olarak Marshall stabilite değerleri azalmış ve dolayısı ile akma değerleri de yükselmiştir.



Şekil 28. Poliolefin lif içeriği ve Akma değerleri değişimi

Bitüm oranı yükseldikçe asfalt dolu boşluk oranı azalır ve poliolefin lif ilavesi arttıkça bu rakam yükselmektedir (Şekil 29). Teknik şartnamede asfalt dolu boşluk oranı değeri en az %60-75 olmalıdır. Asfalt dolu boşluk oranı spesifikasyon sınır değerlerinin altına düştüğünde, agregaları çevreleyen bitüm film tabakasının ince olduğu görülür. Bitüm film tabakası yeterince kalın olmadığı için kaplama kırılındır ve hava koşullarına karşı performansı düşer. Asfalt dolu boşluk oranı limiti üstünde, BSK'nın durabilitesi için gereken boşluklar bitüm ile doldurulmakta ve BSK'nın sıcak mevsimlerde bitüm kusmasına ve trafik yüklerinin neden olduğu deformasyonlara karşı gösterdiği direnci kırılmasına sebep olmaktadır (Kara 2012).

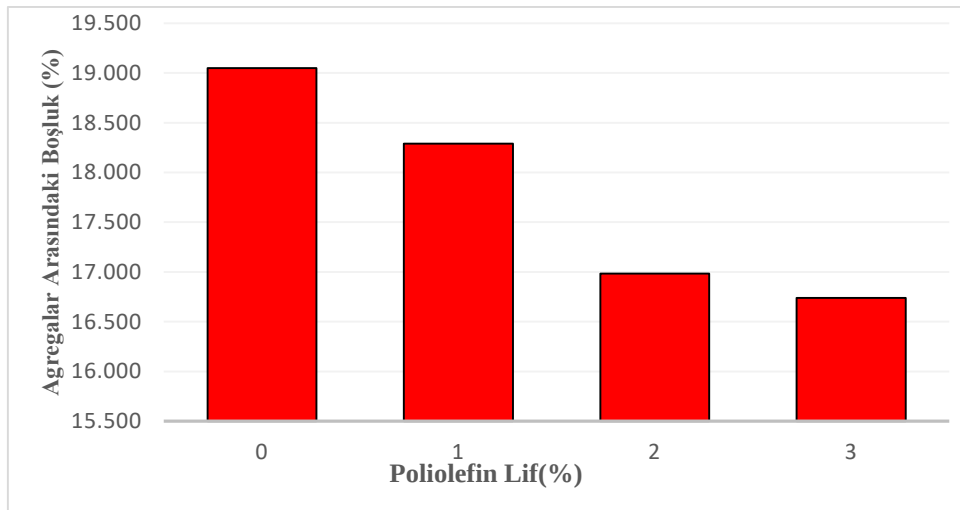
Bitüm sıcak karışımında polipropilen ve aramid liflerini ilave ederek bitüm karışımının mekanik özelliklerini inceleme ve çekme mukavemeti değerleri her iki durumda da (nem koşullandırmasından önce ve sonra) yaklaşık %20 arttığı belirlenmiştir (Klinsky 2018). Ahmedzade vd (2008) yaptıkları çalışmada Marshall stabilite ve akma deneyi sonuçlarında, siyah karbon lifleri içeren BSK'ların, kalker lifleri içeren BSK'lardan daha iyi sonuçlara sahip olduğunu belirlemişlerdir.



Şekil 29. Poliiolefin lif içeriği ve Asfalt dolu boşluk oranı değerleri değişimi

Agrega arasındaki boşluk oranı ve karışımdaki lif oranı arasındaki değişim Şekil 28'deki gibi belirlenmiştir. Agregalar arasındaki boşluk oranı, karışımdaki poliiolefin lif oranı arttıkça azaldığı belirlenmiştir (Şekil 30).

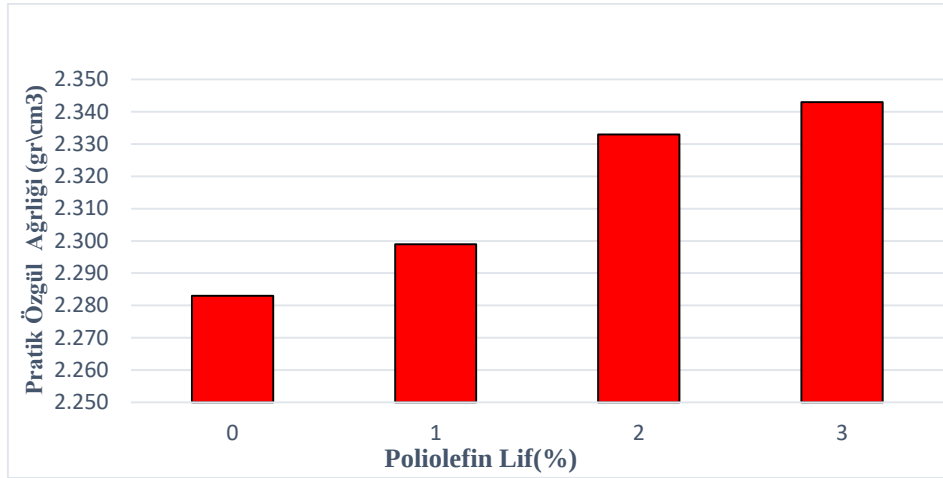
Efektif bitüm içeriği ve hava boşlukları içeren sıkıştırılmış bir üstyapı karışımındaki toplam hacmin yüzdesi olarak ifade edilen, etkin asfalt içeriği ve hava boşlukları içeren sıkıştırılmış bir üstyapı karışımındaki agregalar arasındaki taneler arası boşluklar olarak tanımlanır. Agreganın hacim özgül ağırlığı, sıkıştırılmış kaplama karışımının yığın hacminin yüzdesi olarak temsil edilen VMA'yı hesaplamak için kullanılır. Sonuç olarak VMA, hacme özgül ağırlık tarafından verilen sıkıştırılmış üstyapı karışımının yığın hacminden agregalar hacminin çıkarılmasıyla tahmin edilebilir (Asfalt 2002).



Şekil 30. Poliiolefin lif içeriği ve Agregalar arasındaki boşluk değerleri değişimi

Pratik özgül ağırlık değerlerinin karışımdaki poliiolefin lif oranlarına göre değişimleri Şekil 31'deki gibi belirlenmiştir. Yüzde sıfır numuneler en yüksek özgül ağırlığa sahipken,

poliolefin lif ilavesi miktarı arttıkça özgül ağırlık değerleri de artmaktadır. Pratik özgül ağırlık, agregaya göre daha boşluklu bir yapıya sahip olması nedeniyle fayans ilavesinin artmasıyla özgül ağırlık oranı azalmaktadır (Kara 2012).



Şekil 31. Poliolefin lif içeriği ve Pratik özgül ağırlığı değerleri değişimi

Dolaylı Çekme Deney Numunelerin Hazırlanması

Karışım Tasarımı

Marshall Stabilite deneyde olduğu gibi, değişen oranlarda poliolefin lif kullanılarak numuneler üretilmiştir. Her lif grubu için kendi belirlediğimiz optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Çalışmada en iyi sonuçları elde etmek için ayrı ayrı 4 farklı lif oranı kullanılmıştır. Her uygulanan oran için 3'er numune hazırlanmıştır. Lif oranları agreg ağırlığı yüzdesi (1200 gr) baz alınarak hesaplanmıştır. Marshall stabilite çalışmasında 1% ve %2 oranları en iyi sonuçları verdiği için, lif katkı oranları %0,3, %0,5, %0,75 ve %1 olarak belirlenmiştir. Deney gruplarında aynı agreg ağırlığı ve bağlayıcı (%5,8) yüzdesi kullanılmıştır. Poliolefin lif katkılı bitüm fiziksel özellikleri etkisini incelemek için, deney grubu sonuçları kontrol grubu ile karşılaştırılmıştır.

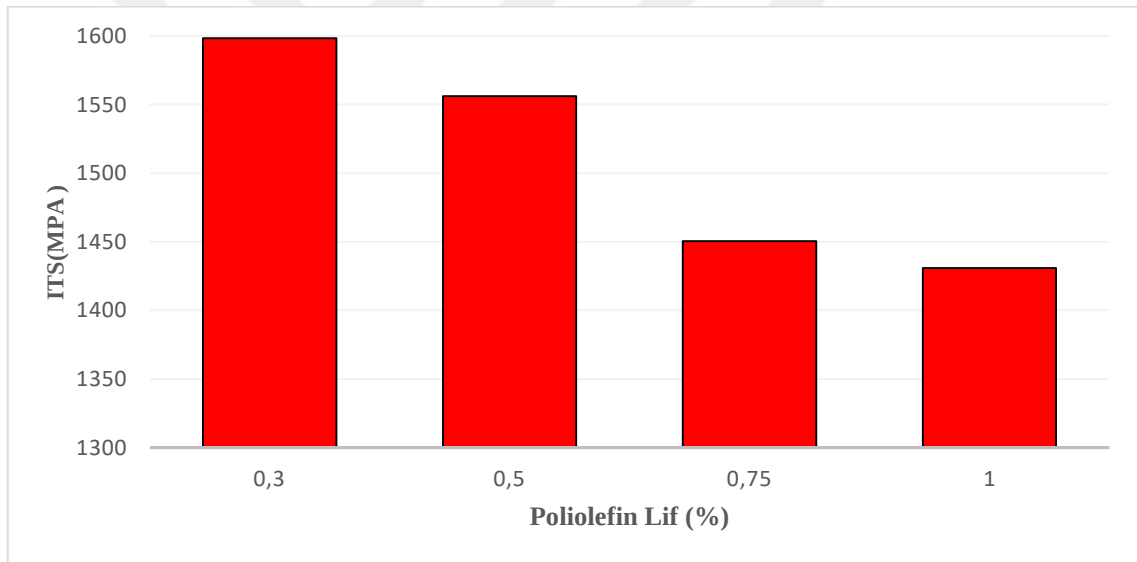
Tablo 9. Dolaylı çekme için Poliolefin lif matrisi

Tekrar	Oranı (%)	Ağırlığı
3	0,3	3,6
3	0,5	6,0
3	0,75	9,0
3	1,0	12,0

Tablo 10. Dolaylı çekme deney sonuçları

Numune takım numarası	Karışımındaki Poliolefin Lif Oranı (%)	Gerilme mukavemeti (St)	Numune adedi
1	0,3	1598,3	3
2	0,5	1556,3	3
3	0,75	1450,5	3
4	1,0	1430,8	3

Bu çalışmadaki numunelerin dolaylı çekme deneyi sonuçları Şekil 32'deki gibi belirlenmiştir.



Şekil 32. Poliolefin lif içeriği ve Dolaylı çekme deneyi değerleri değişimi

Dolaylı çekme deneyi sonuçlarından en yüksek dolaylı çekme değeri 0,3 % numunelerde elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuç literatürde yapılmış olan çalışma sonuçları tarafından desteklenmektedir. Carlos et al (2020) dolaylı çekme mukavemeti deney sonuçlarına göre, %0,3 POA veya PAN lif ilavesinde, düşük sıcaklıkta (15 C°) mukavemette önemli bir gelişme gözlemlenmiştir. Ziari et al (2020) tekerlek izi ve çatlama direncinin lif içeriğinin artmasıyla kademeli olarak arttığını, %0,05'e kadar lif eklenmesiyle yorulma performansının arttığı belirtmişlerdir. Ziari ve Moniri (2019) poliolefin cam lif çekme mukavemetini iyileştirdiğini, toplam karışımın ağırlığına göre %0,12 lif katkılı karışımların en iyi performans gösterdiğini belirlemişlerdir. Muftah et al (2017) karışımların özelliklerini karşılaştırmak için

dolaylı çekme deney sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Çalışma sonuçlarında %0,2 %0,3 ve %0,4 oranlarında poliolefin lifli karışımların %0,3 daha iyi tekerlek izi direncine sahip olduğu belirlenmiştir. Kaloush et al (2010) forta-fi lif kullanılmasının dolaylı çekme mukavemeti deney sonuçlarında %25-50 ve kırılma enerjisinde %50-75 performans artışı olduğunu, ayrıca tekerlek izi ve yorulma çatlağına karşı direncin arttığı belirlenmiştir.

Sentetik lifin eklenmesinin daha düşük gerilme seviyelerinde daha etkili olduğu sonuçlardan da çıkarılabilir. Bu davranış, poliolefin partiküllerinin bitümün reolojik özellikleri üzerindeki etkisine bağlanabilir, bu da özellikle yüksek gerilme seviyelerinde bağlayıcıların ve bunlara karşılık gelen karışımların yorgunluk potansiyelinde bir azalmaya yol açabilmektedir. Bununla birlikte, liflerin olumlu etkisinin Poliolefinin olumsuz etkisine üstün geldiği ve lif içeriği %1'den fazla olmadığında genel yorulma ömrünün her iki gerilme seviyesinde de arttığı görülmektedir. Karışımların yorulma ömürleri, lif içeriğini %0,3 'den %1'e çıkararak azalma eğilimindedir (Zaire ve Moniri 2019).

Koşullandırılmış Dolaylı Çekme Deney Numunelerin Hazırlanması

Amaç, bitümlü dolaylı gerilme davranışını etkilemek için kesilmiş poliolefin lif kullanmaktır. Marshall stabilite deneyisinde ve dolaylı çekme deneyisinde, %1, 2% poliolefin lifi en iyi sonuçları vermiştir. Bunu akılda tutarak, koşullandırılmış ve koşulsuz dolaylı gerilme testleri için numuneler 0,3 %0,5 % %0,75 %1 poliolefin lif ile oluşturulmuştur. Her orandan üç tane numune yapılmıştır. Lif oranı, toplam ağırlık yüzdesi (1200 gr) kullanılarak hazırlanmaktadır.

İlk ve en önemlisi, elde edilen kombinasyondan üç Marshall stabilite numunesi yapılmaktadır. Bu numuneler, tutarlı bir ağırlığa ulaşmak için ilk önce 72 saat boyunca 40 °C derecede saklandı. Dört örneğin tümü, 72 saat sonra fırından çıkarıldı ve ikisi, 24 saat boyunca 25 °C 'de bir su banyosuna yerleştirildi.

Poliolefin lifinin Dolaylı çekme ITSkuru ve ITSıslak değerleri Tablo 11'deki oranlarla karşılaştırıldığında oluşturulan kombinasyonların ITSkuru en düşük değeri %0,3 maksimum değeri ise %0,5 olduğu belirlenmiş ve ITSıslak değerlerinde en düşük %0,1 maksimum değeri ise %0,5 olduğu belirlenmiştir. Seloğlu (2015) üç farklı oranda Elvaloy Ret katkı (%0,5, %0,75 ve %1) bitüm karışımlarına ilave etmiş ve karışımın çekme dayanım incelemiştir. Koşullandırılmamış modifiye karışım numunelerinde en iyi sonuç %0.5 Elvaloy Ret içeren karışımlarda, koşullandırılmış numunelerde ise en iyi sonuç %0.75 Elvaloy Ret katkılı karışımlarda elde edilmiştir.

Tablo 11. ITS kuru ve ITS ıslak Deney sonuçları

Lif	0,3	0,50	0,75	1,00
ITSkuru	1100,1	1634,5	1100,1	1112,9
ITSıslak	1257,3	1665,9	1288,7	1099,9

TSR, Eşitlik (13) de kullanılarak hesaplanmış. Tüm numuneler % 80 TSR'nin üzerindedir ve Tablo 12 'de gösterildiği gibi standardı karşılar.

Tablo 12. TSR Deney sonuçlar

Lif	0,3	0,5	0,75	1,0
TSR (%)	114,3	124,0	117,1	101,2

Elastisite Modülü

Elastisite modülünü için eşitlik (12) de kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 13. Elastisite modülü deney sonuçları

Lif	0,3	0,5	0,75	1,0
Ekuru	1298,7	1222,4	1267,3	1119,9
Eıslak	1155,1	1042,9	975,6	989,9

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada poliolefin lif katkılı asfalt karışımının mekanik davranışı incelenmiştir. Bitüm karışımının mekanik özellikleri olarak Marshall stabilitesi, akma ve dolaylı çekme değerlerine odaklanılmıştır.

Başlangıç olarak, karışımında kullanılmak üzere aynı granülometri eğrisine sahip agregalar hazırlanmıştır. Optimum bitüm oranını bulmak için farklı bitüm oranlarında 18 adet numune hazırlandı. Bu numunelere Marshall stabilite deneyi uygulandı. Marshall stabilite deneyi sonucunda optimum bitüm oranı %5,8 olarak belirlendi.

Daha sonra farklı lif oranlarında asfalt karışım numuneleri hazırlandı. Lif oranları agrega ağırlığı yüzdesi (1200 gr) baz alınmıştır. Bu çalışmada numunelerde sırasıyla %0, %1, %2 ve %3 oranlarında poliolefin lif kullanılmıştır.

Marshall stabilite deney sonuçlarına göre, %1 poliolefin lif içeren numuneler en iyi performans değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. %1 poliolefin lif oranından sonra en iyi performansı %2 poliolefin lif oranına sahip numuneler göstermiştir. %0 ile %3 poliolefin lif oranına sahip numuneler hemen hemen aynı sonucu vermişlerdir.

Poliolefin lif oranı artıkça karışımında bağlayıcı Marshall tokmağı ile yüksek darbe sayılarında sıkıştırılan numunelerin hava boşluğu ve asfalt dolu oranları üzerinde sıcaklığın önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Yetersiz sıkışma yüksek boşluk yüzdesi, kırılma ve ayrışma olacaktır. Bundan dolayı sıcak karışım asfaltta erken yaşlanma gözlenecektir.

Poliolefin lif oranı fazla olduğunda karıştırma işlemi zorlaştığı ve homojen yapıya sahip olmadığı gözlemlenmiştir. Bu durumdaki numunelerde Marshall stabilite deney tokmağı ile sıkıştırma işlemi tam olarak gerçekleşmedi gözlenmiştir. Bu nedenlerden dolayı poliolefin lif oranı yüksek olan numunelerde daha iyi Marshall stabilite değeri elde edilmemiştir.

Bu çalışmada ikinci olarak dolaylı çekme deneyi kullanılmıştır. Dolaylı çekme deneyinde (ITS) kullanılan lif oranları Marshall stabilite testi bulgularında maksimum stabilite değerini veren aralık dikkate alınarak %0,3 %0,5 %0,75 ve %1 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada %0,3 oranında poliolefin lifi içeren numuneler en yüksek dolaylı çekme değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Dolaylı çekme deneyi değerleri sırasıyla 1598.32, 1556.27, 1450.54 ve 1430,81Mpa olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada kaba agrega ve poliolefin lif oranı fazla olduğu zaman İşlenebilirlik ve karışım zorlaştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca bağlayıcı miktar az olduğu zaman adezyon, Marshall

stabilite, Dolaylı çekme mukavemet değerleri ve durabilite azaldığı gözlemlenmiştir. Karışımındaki poliolefin lif oranları azaldıkça karışımın adezyon ve kohezyon özellikleri iyileşmektedir. Ayrıca karışımların sertliği ve durabilitesi arttığı ve suyun neden olduğu bozulmaya karşı direncin önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada sonuç olarak Marshall stabilite için %1 ve dolaylı çekme deneyi için %0,3 oranında poliolefin lifli karışımlar daha iyi performans göstermiştir. Bu çalışmanın sonucunda %1 oranında poliolefin lifi kullanılarak üretilen sıcak asfalt karışımlarının daha iyi mekanik özellik göstereceği belirlenmiştir.

İleride yapılacak çalışmalarda, poliolefin lifin bitümdeki etkisini görmek için, süperpave deneylerinden Dinamik Kesme Reometresi (DSR), Eğilme kırışı Reometresi (BBR) ve Basınçlı Yaşlandırma Kapları (PAV) yapılmalı ve sonuçlar karşılaştırılmalıdır. Ayrıca, poliolefin liflerin düşük oranı da yol üstyapı davranışı üzerindeki uzun vadeli etkisi de incelenmelidir.

KAYNAKÇA

- AASHTO TP9-02, 2002. Standard Test Method for Determining Creep Compliance and Strength of Hot Mix Asphalt (HMA) Using the Indirect Tensile Test Device (Draft Test Protocol). American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- AASHTO, 2001. 429 N. Capital Street, N.W., Suite 249 Washington, D.C.
- Ağar, E., ve Umar, F., 1991. Yol üstyapısı. İTÜ İnş.Fak.Matbaası, İstanbul.
- Ahmedzade, P., Alataş, T., Geçkil, T., 2008. Asfalt Betonunda Siyah Karbonun Filler Olarak Kullanımı. İMO Teknik Dergi, 2008 4493-4507, Yazı 297.
- Ahmedzade, P., Alataş, T., Geçkil, T., 2008. Asfalt Betonunda Siyah Karbonun Filler Olarak
- Akar, O., 2019. Polipropilen Lif Liflerin Asfalt Betonunun Eğilme Dayanımı Üzerindeki Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Mühendisliği Programı.
- Aksoy, A., Samlıoğlu, K., Tayfur, S., Özen, H., 2005. Effects of Various Additives on the Moisture Damage Sensitivity of Asphalt Mixtures. Construction and Building Materials, 19 (1), 11-18.
- Aliha, M.R.M., Razmi, A., Razavi, M., Mansourian, A., 2017. The influence of natural and synthetic lfs on low temperature mixed mode I+II fracture behavior of warm mix asphalt (WMA) materials, Engineering Fracture Mechanics (2017), Engineering Fracture Mechanics 182 (2017), 322–336. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfracmech.2017.06.003>.
- Alkasah, İ., 2020. Hybrid Pavement: Assessment Of Rigid And Flexible Pavements Together, Department Of Civil Engineering, Karabük University Institute of Graduate Programs Department of Civil Engineering Prepared as Master Degree.
- Alp, B., 2018. Aşınma asfalt betonu ve taş mastik asfalt tekniğinin köprü uygulamalarında kullanılması ve karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçeşehir Üniversitesi, Kentsel Sistemler Ve Ulaştırma Yönetimi.
- Asfalt El Kitabı, 2002., Asfalt Bilimsel Yayınları. İstanbul.
- Asltan, M. Uysal, F., 2017. Vermikülin bitümlü sıcak karışımlarda kullanabilirliğinin Marshall stabilite deney yöntemi ile araştırması. DOI: 10.19113/sdufbed.35525.
- ASTM D6931-12, 2012. Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixtures. ASTM International, West Conshohocken.
- Bakış, A., Hattatoğlu, F., 2016. Asfalt yol kaplaması ile sanayi atık lifli reaktif pudra beton yol kaplamasının maliyet karşılaştırması. 1 Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis 2 Atatürk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum.
- Becker, Y., Méndez, M., Rodríguez, Y., 2001. Polymer Modified Asphalt. VISION Tecnológica, 9 N° 1.
- Çelik, N., Yonar, F., Ceylan, S., Bitümlü Sıcak Karışımların Performansına Filler Etkisi. İnşaat Mühendisliği Bölümü, 42075, Konya.
- Chadborn A., Skok., B., Crow., E., 2000. The Effect of Voids in Mineral Aggregate (VMA) on Hot-Mix Asphalt Pavements, Samantha Spindler University of Minnesota Department of Civil Engineering.
- Chen, H., Xu, Q., Chen, SH., Zhang, Z., 2009. Evaluation and design of lif-reinforced asphalt mixtures. Materials and Design, 30 (2009), 2595–2603.
- Demirkaya, Ö., Terzi, S., 2017. Karbon Liflerin Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanımının Araştırılması. 21(2), 542-548.
- Erkan, H., 2009. Esnek yol üstyapısında oluşan bozulmalar ve değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi .

- Fazaali, F., Samin, Y., Pirnoun, A., Dabiri, A., 2016. Laboratory and field evaluation of the warm lif reinforced high performance asphalt mixtures (case study Karaj – Chaloos Road). *Construction and Building Materials*, 122 (2016), 273–283.
- FRED, J., 1967. Effects of Aggregate Size, Shape, and Surface Texture on the Properties of Bituminous Mixtures, A Literature Survey J. FRED J. BENSON, Texas A&M University.
- Geçkil, A., 2013. Öğütülmüş Araç Lastiğinin Bitüm Ve Bitümlü Sıcak Karışımların Düşük Sıcaklık Ve Elastik Özelliklerine Etkisi.yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hanlı, E., 2009. esnek yol üstyapisinde oluşan bozulmalar ve değerlendirmesi, yüksek lisans tezi, fen bilimleri enstitüsü, İstanbul teknik üniversitesi .
- <https://www.forta.com.tr/brand-detail/forta-fi>
- İsfalt A.Ş., 2002. Asfalt El Kitabı, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul.
- İyınam, S., 1997. Karayollarında Üstyapı Bakım Çalışmalarını Planlama Metodolojisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Jaskuła, P., Stienss, M. Szydlowski., C., 2017. Effect of polymer fibres reinforcement on selected properties of asphalt mixtures. *Procedia Engineering*, 172 (2017), 441 – 448.
- Kaloush, K., Biligiri, K., Zeiada, W., Rodezno, M. Reed, C., 2010. Evaluation of Lif-Reinforced Asphalt Mixtures Using Advanced Material Characterization Tests. *Journal of Testing and Evaluation*, 38(4).
- Kara., Ç., 2012. Fayans Atıklarının Bitümlü Sıcak Karışımların Performans Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi .
- Karashaşin, M., 1993. Resilient behaviour of granular materials for analysis of highway pavements. PhD thesis, Department of Civil Engineering University of Nottingham, England, 312 .
- Keçeciler, AF., Akkol, G., Gümrükçüoğlu, A., Gökçe, AF., 1990. Bitümlü Malzemeler Laboratuar El Kitabı. K.G.M. Tek. Arşt. D. Bşk., Ankara.
- Khasawneh, M., Taamneh, M., Albatayneh, O., 2018. Evaluation of static creep of FORTA-FI strengthened asphalt mixtures using experimental, statistical and feed-forward back-propagation ANN techniques. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42947-019-0006-3>.
- Klinsky, L.M.G., Kaloush, K.E., Faria, V.C., Bardini, V.S.S., 2018. Performance characteristics of lif modified hot mix asphalt. *Construction and Building Materials*, 176 (2018), 747–752.
- Kozak, M., 2011. Beton Yollar ve Beton Yol Yapımının Araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(1), (82-99).
- KTŞ., 2006. Karayolu Teknik Şartnamesi.Yayın (267).
- Kullanımı, İMO Teknik Dergi, 2008 4493-4507, Yazı 297.
- Kuloğlu, M., 2006. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Bitüm Film Kalınlığının Stabilite Ve Rijitliğe Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi.
- Kutluhan, S., Açar, E., 2009. Bitümlü sıcak karışımlarda tekerlek izi oluşumunu etkileyen faktörler ve azaltmaya yönelik öneriler. 8(6), 179-191.
- Kutluhan.S., 2008. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Tekerlek İzi Olusumunun Modellenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Lewandowski., 1994. Polymer Modification of Faving Asphalt Binders.
- Malkoç, G., 2002. Yol üst yapılarında kullanılan modifiye asfaltlar ve modifiye bitüm şartnamesi. KGM Teknik Araştırma Dairesi Teknik Not.
- Muftah, A., Bahador, A., Bayomy, F., 2017. Lif-Reinforced Hot-Mix Asphalt. 2633(2017), 98–107.
- Mutyılmaz, S., 2014. Lifli Kendiliğinden Yerlesen Betonların Yol Betonu Olarak Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, inaat Muhendisliği Anabilim Dalı.
- Önal, M., Karamangil, M., 1993, Bitümlü karışımlar laboratuar el kitabı, KGM Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.

- Patel, V., Parma, A., Kotak, B., Patel, D., 2015. Enhancement into bituminous properties using forta lif in SMA, IJIRST –International Journal for Innovative Research in Science & Technology| Volume 1 | Issue 8 | January 2015 ISSN (online): 2349-6010.
- Porto, M., Caputo, P., Loise, V., Eskandarsefat, SH., Teltayev, B., Rossi, C., 2019. Bitumen and Bitumen Modification: A Review on Latest Advances. Appl. Sci. 2019, 9, 742.
- Sağlık, A., Güngör, A.G., 2008. Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi. KGM, Ankara.
- Seloğlu, M., 2015. Reaktif Terpolimerin Bitümlü Sıcak Karışım Üzerindeki Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şimşek, O., 2020. Beton ve beton teknolojisi-çeşitleri-özellikleri-deneyleri. Ankara.
- Slan, D., 2019, Diyarbakır Yöresinde Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Bazalt, Kalker, Dere Malzemelerinin Karakteristik Özelliklerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi Fen Bilimleri Enstitüsü, Harran Üniversitesi.
- Slebi-Acevedo, J., González, P., González, D., Bueno, M., 2020, An experimental laboratory study of lif-reinforced asphalt mortars with polyolefin-aramid and polyacrylonitrile lifts. Construction and Building Materials, 248 (2020), 118622.
- Stephen., C., Agwuncha., Idowu D. Ibrahim ve Emmanuel R. Sadiku., 2017. Improving the Su, Nan. Chen, J.S., 2002. Engineering Properties of Asphalt Concrete Made with Recycled Glass, National Yunlin University of Science and Technology, 259.
- Takaikarw, TH., Tepsriha, P., Horpibulsuk, S., Holy, M., 2018. Performance of Lif-Reinforced Asphalt Concretes with Various Asphalt Binders in Thailand. 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002433. © 2018 American Society of Civil Engineers.
- Tapkın.S., 2008. The effect of polypropylene lifts on asphalt performance. Building and Environment, 43 (2008) ,1065–107.
- thermal and flame resistance properties of polyolefins. Ibrahim Badamasi Babangida University.
- Tran, J., Van L, H., 2009, Indirect Tensile Strength of Asphalt Mixes in South Australia, Australian Asphalt Paving Association, Thirteenth International Flexible Pavements Conference. Surfers Paradise, Queensland, Australia, 1-3.
- Tunç, A., 2001. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Umar., F., Açar., E., 1991. Yol Üst Yapısı. İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 339s.
- Valdés A, G., Miró b , R., Martínez b , A., 2014. Effect of the physical properties of aggregates on aggregate-asphalt bond measured using the method, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.098>.
- Williams K., Kupolati., Emmanuel R., Sadiku., Idowu D., Ibrahim., Adeyemi O., Adeboje., Chew Kambole., Olukayode O.S. Ojo.,Azunna A. Eze., Philip Paige-Green., Julius M. Ndambuki., 2017. The use of polyolefins in geotextiles and engineering applications, Tshwane University of Technology, Pretoria, South Africa, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-101132-4.00016-3>.
- Yılmaz, M., 2011, Asfaltlı Bitümlü Sıcak Karışımların Mekandk Özelliklerd Üzerdndekd Etkdndndn Araştırılması. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, M., 2013. polimer katkılı bitümlü bağlayıcılarla hazırlanan sıcak karışımların kırılma mekaniği ve yorulma bakımından incelenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi.
- Yousefia, A., Pirmohammadb, S., Sobhi, S., 2020. Fracture Toughness of Warm Mix Asphalts Containing Reclaimed Asphalt Pavement, Spring –Summer 2020, 5 (1), 85-98.
- Ziari, H., Monari, A., 2019. Laboratory evaluation of the effect of synthetic Polyolefin-glass lifts on performance properties of hot mix asphalt. Construction and Building Materials, 213 (2019), 459–468.

- Ziari, H., Saghafi, Y., Moniri, A., 2020. The Effect of Polyolefin-aramid fibers on performance of hot mix asphalt. *Petroleum Science and Technology*, 38(3), 170-176, DOI: 10.1080/10916466.2019.1697286.
- Zoorob, S.E., Suparna, L.B., 2000. Laboratory Design and Investigation of the Properties of Continuously Graded Asphaltic Concrete Containing Recycled Plastics Aggregate Replacement (Plastiphalt), *Cement&Concrete Composites*, (22), 233-242.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı: Doğum tarihi: Doğum Yeri: Uyruğu: Adres: E-mail:	Arsala KHAN
Eğitim	
Lise: Lisans: Yüksek lisans: Doktora:	Kabul /Afganistan Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı (2021)
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce: Almanca: Farsça: Diğer	C1 C2
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
Tezden Üretilmiş Yayınlar	