



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKER BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KROM CEVHERİ ZENGİNLEŞTİRME İŞLEMİ ATIKLARINDAN
OLAN OLİVİN MİNERALİNİN ASFALT BETONUNDA FİLLER
OLARAK KULLANIMI

MURAT CANPOLAT
YÜKSEK LİSANS



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKER BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KROM CEVHERİ ZENGİNLEŞTİRME İŞLEMİ ATIKLARINDAN
OLAN OLİVİN MİNERALİNİN ASFALT BETONUNDA FİLLER
OLARAK KULLANIMI

MURAT CANPOLAT
YÜKSEK LİSANS

DANIŞMAN
DOÇ. DR. AHMET BEYÇİOĞLU

ADANA 2021



Bu tezde yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik davranışa uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bu kuralların ve davranışların gerektirdiği şekilde bu çalışmaya özgün olmayan tüm bilgiler için atıf verdiğimi ve kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

[İmza]

Murat CANPOLAT

ÖZET

KROM CEVHERİ ZENGİNLEŞTİRME İŞLEMİ ATIKLARINDAN OLAN OLİVİN MİNERALİNİN ASFALT BETONUNDA FİLLER OLARAK KULLANIMI

Murat CANPOLAT

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ahmet BEYÇİÖĞLU Şubat 2021, 74 sayfa

Dünyadaki doğal kaynaklar; nüfusun hızla çoğalması, kentleşme ve hızlı sanayileşme nedeniyle azalırken, doğal kaynakların gereklilikleri gün geçtikçe artmaktadır. Bununla beraber atık malzeme oluşumundaki yükseliş çevre problemlerinde de artışı meydana getirmektedir. Atık malzemelerin yeniden değerlendirilmesi ile çevreye verilen zarar en aza indirgenmiş olacaktır. Doğal kaynakların verimli kullanılmasıyla enerji tasarrufu sağlanıp, uzun sürede ekonomiye büyük faydalar sağlanması mümkün olacaktır.

Bu çalışmada Eti Krom tesislerinde kromit cevherinin zenginleştirilmesi sonucu ortaya çıkan atık olivin malzemesinin esnek üstyapılarda filler olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. İlk aşamada geleneksel kırmataş tozu kullanılarak elde edilen gradasyonda sabit filler oranı %4.7 olarak alınmış ve bitüm oranı %3,5, %4,0, %4,5, %5,0, %5,5 alınarak optimum bitüm yüzdesi elde edilmiştir. İkinci aşamada, ilk aşamada bulunan optimum bitüm yüzdesi ile geleneksel kırmataş tozuna %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında olivin ikame edilerek oluşturulan biriketlere stabilite, akma, pratik özgül ağırlık, boşluk yüzdesi, asfalt dolu boşluk yüzdesi ve agregalar arası boşluk yüzdesi deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre geleneksel kırmataş filler malzemesiyle ikame edilen olivin yüzdelerine göre asfalt betonunun mühendislik özelliklerinin değişimi karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Olivin, Atık, Bitümlü Sıcak Karışımlar , Mineral filler

ABSTRACT

THE USE OF OLIVINE MINERAL FROM CHROME ORE ENRICHMENT PROCESS WASTES AS FILES IN ASPHALT CONCRETE

Murat CANPOLAT

M.Sc., Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU

February 2021, 73 pages

While the natural resources in the world are decreasing due to the rapid increase of the population, urbanization and rapid industrialization, the requirements of natural resources are increasing day by day. However, increasing waste material generation increases environmental problems. Recycling of waste materials minimizes the damage to the environment. By using natural resources efficiently, it will be possible to save energy and provide great benefits to the economy in a long time.

In this study, the usability of the waste olivine material obtained as a result of enrichment of chromite ore in Eti Krom plants as fillers in flexible superstructures was investigated. In the first stage, the rate of fixed fillers in the gradation obtained by using traditional crushed stone powder was taken as 4.7% and the optimum bitumen percentage was obtained by taking the bitumen rate as 3.5%, 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%. In the second stage, stability, flow, practical specific gravity, percentage of voids, percentage of asphalt filled voids and aggregates to the deposits created by replacing olivine in the ratio of 0%, 25%, 50%, 75% and 100% to the traditional crushed stone powder with the optimum percentage of bitumen found in the first stage. Percentage of gap was tested. According to the results, the changes in the engineering properties of asphalt concrete were compared according to the olivine percentages substituted with traditional crushed stone filler material.

Keywords: Olivine, Waste, Bituminous Hot Mixes, Mineral filler



Sevgili Eşim ve Aileme

TEŞEKKÜR

Çalışmamın konusunu belirleyen, bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren danışman hocam sayın Doç.Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU'na

Çalışmalarım esnasında, destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli vaktini ayıran sayın Doç.Dr. Nihat MOROVA 'ya, ve saygıdeğer Dr. Öğr. Üyesi Suna ÇETİN'e

Laboratuvar çalışmalarım için malzeme temininde yardımlarını esirgemeyen Eti Krom Ar-Ge Müdürü sayın Dr. Ali KESKİN Bey'e

Deneyleri yapmam için imkan sağlayan Karayolları 5. Bölge Müdürlüğü Ar-Ge Başmühendisi Sayın Ergun YALÇIN Bey'e ve çalışmalarda yardımcı olan Karayolları 5. Bölge Müdürlüğü Ar-Ge laboratuvarı çalışanlarına,

Tez çalışmamda desteğini her zaman yanımda hissettiğim, çalışmamı da ithaf ettiğim eşim Şeymanur CANPOLAT'a

Eğitim hayatımda beni sürekli teşvik eden, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, tezimi ithaf ettiğim babam Kenan CANPOLAT'a, annem Gülendamlar CANPOLAT'a, kardeşlerim Semra KOÇ, Kübra YILDIRIM ve Elif Nisa ERDEM'e,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Murat CANPOLAT

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ	xiii
KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	15
1.1. Esnek üstyapı tanımı.....	15
1.2. Esnek üstyapı kaplamalarında kullanılan malzeme özellikleri.....	16
1.2.1. Agregalar	16
1.2.2. Asfalt çimentosu (Bitüm)	17
1.3. Esnek üstyapılarda gözlemlenen problemler	17
1.3.1. Çatlak oluşumu	17
1.3.2. Soyulma ve sökölme	18
1.3.3. Tekerlek izi oluşumu	19
2. LİTERATÜR ÖZETİ	21
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	29
3.1. Malzemeler	29
3.1.1. Agrega	29
3.1.2. Filler agregaları	30
3.1.2.1. Kırmataş tozu filleri	30
3.1.2.2. Eti Krom olivin atığı	30
3.1.3. Asfalt çimentosu (AC).....	31
3.2. Kullanılan yöntem	31
3.2.1. Parçalanma direnci deneyi.....	32
3.2.2. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık (MgSO ₄).....	33
3.2.3. Yassılık indeksi deneyi.....	34
3.2.4. Soyulma mukavemeti deneyi.....	35
3.2.5. İri agrega için özgül ağırlık deneyi	36

3.2.6.	İnce agrega için özgül ağırlık deneyi	37
3.2.7.	Mineral filler özgül ağırlık deneyi	39
3.2.8.	Metilen mavisi deneyi	40
3.2.9.	Asfalt çimentosunun (AC) fiziksel özelliklerinin belirlenmesi	42
3.2.9.1.	Penetrasyon deneyi.....	42
3.2.9.2.	Yumuşama noktası deneyi.....	42
3.2.9.3.	İnce film halinde ısıtma kaybı deneyi	43
3.2.9.4.	Parlama noktası deneyi.....	44
3.2.9.5.	Çözünürlük deneyi	45
3.2.9.6.	Asfalt çimentosu (Bitüm) özgül ağırlık deneyi.....	45
3.2.10.	Deneylerde kullanılan agregada gradasyonunun belirlenmesi	47
3.3.	Marshall yöntemiyle bitümlü karışımların tasarımı	47
3.3.1.	Deney numunelerinin hazırlanması.....	48
3.3.2.	Marshall stabilite ve akma deneyi.....	50
3.4.	Karışım hesapları için gerekli bağıntılar	51
3.4.1.	Agrega hacim özgül ağırlığı ve zahiri özgül ağırlığı.....	51
3.4.2.	Agrega efektif özgül ağırlığının tayini	52
3.4.3.	Marshall briketlerine ait agregalar arası boşluk (VMA) yüzdesi hesabı	53
3.4.4.	Sıkıştırılan kaplama karışımındaki hava boşluğunun ve asfaltla dolu boşluk yüzdesinin hesaplanması	53
3.5.	Optimum bitüm yüzdesi tayini.....	54
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	55
4.1.	Agreganın fiziksel ve mekanik özellikleriyle ilgili deney sonuçları	55
4.2.	Filler malzemelerin zahiri özgül ağırlıklarının belirlenmesi	56
4.3.	Kullanılan agregada gradasyonu.....	56
4.4.	Asfalt çimentosu özgül ağırlık deneyi ve özellikleri.....	57
4.5.	Marshall briketi numunelerine uygulanan deneyler	58
4.5.1.	Optimum bitüm yüzdelерinin marshall yöntemi ile tespit edilmesi	58
4.5.1.1.	Kırmataş tozunun filler olarak kullanıldığı numunelere ait grafikler	59

4.5.1.2. Kırmataş filler ile farklı oranlarda yerdeğİştirilen olivinin kullanıldığı numunelere ait grafikler	63
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	72



ŞEKİLLER LİSTESİ

1. GİRİŞ	15
Şekil 1.1. Esnek üstyapı.....	16
Şekil 1.2. Üstyapı tabakası çatlak oluşumu	18
Şekil 1.3. Soyulma ve Sökülme Problemi	19
Şekil 1.4. Tekerlek izi oluşumundan bir görsel.....	20
Şekil 1.5. Tekerlek izi tipleri (Anonim).....	20
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	29
Şekil 3.1. Sipahili taş ocağının konumu (a) ve agregadan numune alınması (b)	29
Şekil 3.2. Eti Krom tesislerinde atık olarak depolanan olivinden görüntü.....	30
Şekil 3.3. Eti Krom olivin filler agregası.....	31
Şekil 3.4. Parçalanma dayanımı deney aleti	33
Şekil 3.5. Magneztum sülfat deneyi cihazı	34
Şekil 3.6. Yassılık deney şablonu.....	35
Şekil 3.7. Soyulma deney numunesi örneği.....	36
Şekil 3.8. İnce agreganın özgül ağırlık deneyi.....	38
Şekil 3.9. Piknometre ile filler malzemenin özgül ağırlığı tayini	39
Şekil 3.10. Metilen mavisi ile karışımın hazırlanması	40
Şekil 3.11. Metilen mavisi deneyi.....	41
Şekil 3.12. Penetrasyon deney aleti.....	42
Şekil 3.13. Yumuşama noktası deneyi.....	43
Şekil 3.14. İnce film deneyi dönel tablalı etüv	44
Şekil 3.15. Parlama noktası deney aleti.....	45
Şekil 3.16. Bitüm özgül ağırlık deneyi	46
Şekil 3.17. Etüvde karışım için önceden ısıtılan deney numuneleri	48
Şekil 3.18. Mekanik karıştırıcıyla karışımın hazırlanması	49
Şekil 3.19. Marshall briketi numuneleri	50
Şekil 3.20. Marshall stabilite ve akma deney aleti.....	51
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	55
Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan agrega gradasyonu grafiği	57
Şekil 4.2. Kırmataş tozu kullanılan biriketlerin Marshall stabilitesinin bitüm yüzdesi ile değişimi.....	59
Şekil 4.3. Kırmataş tozu kullanılan biriketlerin akma değerinin bitüm yüzdesi ile değişimi ...	60

Şekil 4.4. Kırmataş tozu kullanılan biriketlerin pratik özgül ağırlık değerinin bitüm yüzdesi ile değişimi.....	60
Şekil 4.5. Kırmataş tozu kullanılan biriketlerin asfalt dolu boşluk yüzdesi değerinin bitüm yüzdesi ile değişimi	61
Şekil 4.6. Kırmataş boşluk yüzdesi değerinin bitüm yüzdesi ile değişimi	62
Şekil 4.7. Kırmataş tozu kullanılan briketlerin VMA değerinin bitüm yüzdesi ile değişimi ...	62
Şekil 4.8. % Olivin fillere göre stabilite değişim grafiği.....	63
Şekil 4.9. % Olivin filler oranına göre akma grafiği	64
Şekil 4.10. % Olivin fillere göre pratik özgül ağırlık grafiği.....	65
Şekil 4.11. % Olivin filler oranına göre VMA değeri grafiği.....	65
Şekil 4.12. % Olivin filler oranına göre boşluk yüzdesi değeri grafiği	66
Şekil 4.13. % Olivin filler oranına göre asfalt dolu boşluk yüzdesi değeri grafiği	67
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	68

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Olivin analiz sonuçları (Anonim)	31
Tablo 3.2. Deney prosesinde kullanılan yöntemler	31
Tablo 3.3. Aşınma tabakası için Tip-1 gradasyon limitleri [40]	47
Tablo 4.1. İri ve İnce agregaya yapılan deneyler	55
Tablo 4.2. Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri	56
Tablo 4.3. Kullanılan filler malzemelerinin özgül ağırlık değerleri.....	56
Tablo 4.4. Çalışmada kullanılan agreganın gradasyonu.....	57
Tablo 4.5. 50/70 Penetrasyon sınıfındaki bitümün özellikleri	58
Tablo 4.6. Marshall yöntemiyle aşınma tabakası dizayn kriterleri [40]	59

KISALTMALAR

KTŞ	: Karayolları Teknik Şartnamesi
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
A	: Numunenin Havadaki Ağırlığı (gr)
B	: Numunenin Doygun Kuru Yüzey Ağırlığı (gr)
C	: Numunenin Sudaki Ağırlığı (gr)
A_i	: Piknometre Boş Ağırlığı (gr)
B_i	: Piknometre Su Dolu Ağırlığı (gr)
C_i	: Piknometre Numune İle Dolu Ağırlığı (gr)
D_i	: Piknometrenin Su Ve Numune İle Dolu Ağırlığı (gr)
E_i	: Numunenin Doygun Kuru Yüzey Durumundaki Ağırlığı (gr)
d	: Numunenin Çapı (mm)
Gef	: Agregaların Efektif Ağırlığı
Wa	: Agregaya yüzdesi olarak bitüm miktarı
Dt	: Maksimum teorik özgül ağırlık
Gb	: Bitüm Özgül Ağırlık Değeri
V	: Briketin Hacmi
B	: Briketin Havadaki Ağırlığı
C	: Briketin Sudaki Ağırlığını İfade Etmektedir.
VMA	: Agregaya Arası Boşluk Yüzdesi (%)
Gsb	: Agregaya Hacim Özgül Ağırlığı (kN/cm ³)
Wa	: Agregaya Ağırlığının Yüzdesi Olarak Bitüm Ağırlığı (gr)
Vh	: Toplam hacim yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımdaki agregaya boşluğu %
Vf	: Asfaltla Dolu Boşluk (%)
Gsa	: Agregalı karışımın zahiri özgül ağırlık değeri
%K	: İri agreganın ağırlıkça yüzdesi
%İ	: İnce agreganın ağırlıkça yüzdesi
%F	: Filler agregasının ağırlıkça yüzdesi
Gkh, Gih	: Agregaların hacim özgül ağırlıkları
G_{kz}, G_{iz}, G_{fz}	: Agregaların zahiri özgül ağırlıkları

1. GİRİŞ

Dünyadaki doğal kaynaklar; nüfusun hızla çoğalması, kentleşme ve hızlı sanayileşme nedeniyle azalırken, gereklilikleri gün geçtikçe artmaktadır. Bununla beraber, atık malzeme oluşumundaki yükseliş çevre problemlerini de artırmaktadır. Doğal kaynakları tüketmek yerine, atık malzemelerin yeniden değerlendirilmesi ile çevreye verilen zarar en aza indirgenmiş olmaktadır. Doğal kaynakların verimli kullanılmasıyla enerji tasarrufu sağlanıp, uzun sürede ekonomiye büyük faydalar sağlanması mümkün olacaktır.

Endüstriyel atıkların, inşaatlarda kullanım alanı gün geçtikçe çoğalmaktadır. Bu atıklar, karayolu inşaatında da değerlendirilebilmektedir. Karayollarında, esnek üstyapı tabakaları olan kaplama, temel ve alttemel tabakalarında kullanılarak bertaraf edilebilmektedir.

Bu tez çalışmasında, Eti Krom atıklarının sıcak karışım asfalt betonda filler agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda, Eti Krom Maden işletmesinde kullanılan kromit cevherinin zenginleştirilmesi sırasında oluşan kullanılmayan atık olivinin asfalt betonunda kullanılarak hem esnek üstyapı dayanımına olan etkileri araştırılacak hem de çevreye verdiği zarar üretime yönlendirilerek ülke ekonomisine katkı sağlanmış olacaktır.

1.1. Esnek üstyapı tanımı

Taşıtlara düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlayan, trafik yüklerinden dolayı oluşan gerilmeleri taban zeminini deformasyona uğratmadan taşıyabileceği sınır değerlere indirgeyen, altyapıyı su, iklim koşulları vb. etmenlerden koruyan, taban zemini üzerine inşa edilen, kaplama, temel ve alttemel tabakalarından oluşan tabakalı sisteme üstyapı denir.

Üstyapılar, bitümlü bağlayıcılarla üretilen esnek üstyapılar ve çimento esaslı bağlayıcılarla üretilen rijit (beton) üstyapılar olmak üzere iki temel sınıflandırmayla kategorize edilebilir. Bunlardan esnek üstyapılar taşıtların tekrarlı yükleri sonucu geçici deformasyona uğrayıp elasto-plastik davranış göstererek tekrar eski haline gelebilen kaplamalar olarak adlandırılırlar.



Şekil 1.1. Esnek üstyapı

Esnek üstyapı davranışının, taban zemininin taşıma gücüyle de ilişkisi vardır. Gelen trafik yüklerini üstyapı zemine iletir. Drenajın iyi olması esnek üstyapının görevini etkili yapabilmesinin önemli bir şartıdır [1].

Kaplama tabakaları, tabaka kalınlığının artmasıyla trafik yüklerine karşı daha dirençli hale gelir. Gerekğinde aşınma ve binder olarak iki tabakadan oluşturulabilirler. Üstündeki trafiğin akışını emniyetli şekilde sağlayabilmesi için pürüzlülüğü yeterli, yuvarlanma yüzeyi üniform olmalıdır [2].

1.2. Esnek üstyapı kaplamalarında kullanılan malzeme özellikleri

Esnek üstyapıda trafiğin yükü bilinen yük dağılımı ile aynıdır. Gelen yük doğrudan asfalt kaplamaya etki eder ve bir alttaki tabakaya iletilen yük daha geniş açılarla iletilir. Esnek üstyapılarda oluşan gerilme değerleri, üst tabakalardan alt katmanlara inildikçe azaldığından, mekanik özellik olarak uygun malzeme seçimi bu gerilme davranışının karşılanması için önemlidir. Asfalt betonu , çevre koşulları ve trafiğin olumsuz etkilerine direkt olarak maruz kaldığından, kayma direnci ve iyi bir elastisite modülünün yanısıra geçirimsiz de olması gereklidir [3].

1.2.1. Agregalar

Agregalar 100 mm 'ye kadar olan sert taştan kırılıp elenerek elde edilmiş, tane büyüklüğü tarif edilebilen kaya parçalarıdır. Asfalt ve beton üretiminin hammaddesidir. Sıcak asfalt karışımının yaklaşık olarak ağırlıkça % 95-96'lık kısmını, hacimce ise %85'lik bölümünü agrega oluşturmaktadır. Agreganın tipi, yassılık durumu, yüzey pürüzlülüğü, , gradasyonu

gibi fonksiyonları bitümlü sıcak karışımın yorulma ve tekerlek izi performansları üstünde çok büyük bir öneme sahiptir. Bu sebeple kullanılacak olan agregalarda aranan temel özellikler vardır. Yapılan dizaynın özelliklerine göre agregalarda aranan özellikler de farklı olacaktır. Yol tabakası, çeşitli kalınlıkta ve farklı görevleri olan birden çok katmandan meydana gelmektedir. En üst kısmı oluşturan ve en önemli katmanlardan bir tanesi olan aşınma tabakası, yol güvenliği bakımından önemli parametrelerden birini meydana getirir. Yolun servis süresini güvenli bir biçimde tamamlaması ve beklenen özellikleri uzun süre koruması için kullanılacak olan agregaların sürtünme katsayılarının yüksek olması ve servis ömrü boyunca cilalanmaya karşı yüksek dayanıklılık sağlaması istenir [4].

1.2.2. Asfalt çimentosu (Bitüm)

Hidrokarbon kökenli olan bitüm, asfalt tabakasında bağlayıcı olarak kullanılan en önemli materyaldir. Agregaya ile iyi bir adezyona sahip olan bitüm aynı zamanda su ve hava geçirimsizliğine sebep olduğundan üstyapılar için iyi bir bağlayıcıdır.

1.3. Esnek üstyapılarda gözlemlenen problemler

1.3.1. Çatlak oluşumu

Dingil tekerrür yüklerinin üstyapıda meydana getirdiği gerilmelerin, malzemenin mukavemetinin üstüne çıktığı noktada üstyapıda çatlak oluşumu meydana gelir. Araçların ani hızlanma ve yavaşlamalarının meydana geldiği düşey eğimin yüksek olduğu noktalarda da çatlak oluşumu gözlemlenebilir. Bu tür çatlak oluşumu imalatın sonuna da imalat sırasında fazla silindiraj, yeni serilmiş tabaka üzerinde gerilmelere neden olarak, tabakada ötelenmeye yol açarak çatlak oluşuma sebep olur. Aynı zamanda serin bir günde ve rüzgârlı havalarda karışım sıcaklığı, tabakanın alt ve üst yüzeylerinde hızla azalırken tabakanın ortasında sıcaklık yüksektir. Bu durum sıkıştırma sırasında çatlak oluşumuna neden olur.



Şekil 1.2. Üstyapı tabakası çatlak oluşumu

1.3.2. Soyulma ve sökülme

Trafik ve çevresel etkilere direkt olarak maruz kalan ve aşınma tabakasında sıklıkla parçalanma, çukur, tabakalar halinde sökülmeler gibi görünen bozulmalardır. Ayrışma-soyulma bozulmasının bazı nedenleri; soyulma ve sökülme problemi, bitüm miktarının yetersiz kullanılması, serim sonrası yapılan sıkıştırmanın yetersiz yapılması, boşluk miktarının fazla olması, uygun olmayan ekipman ve yapım tekniklerinin kullanılması, çok fazla trafik ve çevresel yüklere maruz kalıp gerekli drenajın yapılmaması, kullanılan agrega yüzeyinin kirli olması, bitüm ve agrega arasında yeterli adezyonu sağlanmamasıdır [5].



Şekil 1.3. Soyulma ve Sökülme Problemi

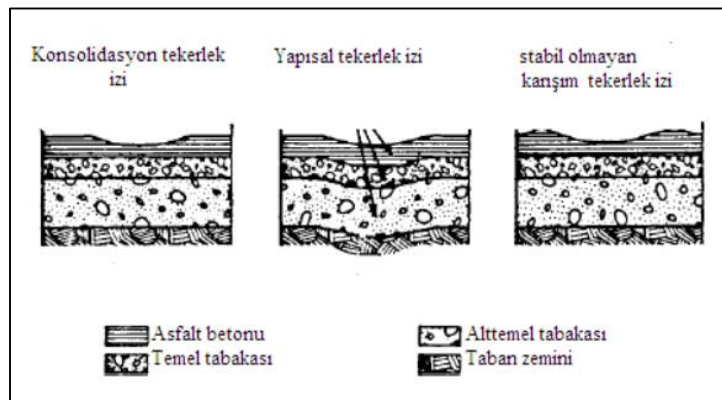
1.3.3. Tekerlek izi oluşumu

Bir sıcak karışım asfalt tabakasının ötelenmesi, karışımın boyuna yer değiştirmesi anlamına gelmektedir. Bu yer değiştirme silindiraj sırasında olabildiği gibi, trafik altında da olabilir. Tekerlek izi oluşumunda etki eden faktörlerden olan trafik yükü, tabakaların sıkışması diğer bir deyişle birim hacim ağırlığının artması olarak gösterilse bile en önemli faktör, kesme gerilmesi altında meydana gelen tekerlek izi oluşumudur. Tekerlek izine etki eden faktörler; bitüm cinsi ve karışımdaki yüzdesi, agrega mekanik ve fiziksel özellikleri, ağır taşıt trafik hacmi, asfalt kaplaması üzerinde tekerlek basıncı büyüklüğü ve sıcaklıktır [6].



Şekil 1.4. Tekerlek izi oluşumundan bir görsel

Tekerlek izi oluşumu üç şekilde meydana gelebilir. (Şekil 1.5'te) ilk görsel asfalt betonunun yeterli sıkışmamasından kaynaklanan ve trafik yüküne maruz kalan kaplamanın sıkışması olarak anlandırılan konsolidasyon şeklindeki tekerlek izidir. İkinci olarak üstyapı taban zemininin yeterli taşıma gücüne sahip olmaması sonucu erken dönemde karşılaşılan yapısal tekerlek izidir. Üçüncü ve son olarak meydana gelen tekerlek izi oluşum türü, stabilite düşüklüğü, hava sıcaklığı veya ağır taşıt yükünden kaynaklanan, tekerlek temas yüzeyinin dış ve iç kısımlarında küçük kabarmalar meydana getiren stabil olmayan karışım tekerlek izidir.



Şekil 1.5. Tekerlek izi tipleri (Anonim)

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Nano hidratlı kireç fillerinin (NHL) asfalt mastiğinin yorulma çatlaması potansiyeli üzerindeki etkilerini ve hidratlı kireç filler (HL) ile karşılaştırmalı bir analizini değerlendirmişlerdir. Çalışmada, mastik asfalt numunesi üretimi için bazalt (B), HL ve NHL filler içeren bir kontrol sınıfı ile bitüm olarak AC-30 bağlayıcı kullanılmıştır. HL ve NHL fillerinin miktarları kütlece %0, %5, %10, %15 ve %20 seçilmiş ve B filler miktarı belirli bir filler/bitüm (f/b) oranına göre hesaplanmıştır (0.6, 0.8, 1.0, 1.2, Superpave'e göre). Tüm f/b oranları (0.6 ila 1.2) için toplam 36 farklı dolgu kombinasyonu (B, B-HL ve B-NHL) üretilmiştir. Mastik asfaltın ara sıcaklıktaki (25°C) yorulma davranışı, sıcaklık taraması ve doğrusal genlik taraması (Linear amplitude sweep-LAS) testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Genel araştırma sonuçları, HL (NHL) dolgu maddelerinin boyutundaki azalmanın, mastik asfaltın yorulma hasarı potansiyeline yararlı bir katkısı olduğunu ortaya koymuştur. Superpave yorulma faktörü ve yorulma döngüsü parametresi, hem HL hem de NHL dolgunun, mastik asfaltın yorulma hasarına dayanma direncini artırabileceği ortaya çıkmıştır. Ayrıca, B-NHL dolgudan oluşan mastik asfaltın, daha yüksek derecede gerilmeye karşı daha az duyarlı olabildiği ve bu nedenle, B-HL dolgudan daha gelişmiş elastik özellikler sergileyebildiği gözlenmiştir. Ek olarak, daha düşük oranda NHL dolgudan oluşan mastik asfalt, daha yüksek bir HL dolgudan oluşan mastike göre orta sıcaklıkta yorulmaya karşı daha iyi direnç göstermiştir. Aksine, 0.6-0.9 f/b oranının, sertleştirme etkisi ve yorulma hasarı özellikleri dikkate alındığında daha iyi mastik asfalt performansı elde etmek için uygun olduğu bulunmuştur [7].

Çinko ekstraksiyonu ile bertarafı zor, endüstriyel bir atık olarak ortaya çıkan ve biyolojik olarak parçalanamayan Jarosit'in (JS) ortaya çıkmasına sebep olur. Bu çalışma, JS'yi asfalt karışımlarında filler olarak kullanmasını irdelemiştir. JS içeren asfalt karışımları, Marshall karışım tasarımına göre tasarlanmış ve mühendislik özellikleri, iki geleneksel filler agregası (taş tozu (SD) ve sulu kireç (HL)) ve yaygın olarak kullanılan bir atık filler aynı kütle oranında (uçucu kömür külü (FA)) içeren karışımlarla karşılaştırılmıştır. Asfalt karışımlarının performansı; dolaylı çekme dayanımı testi, dört noktalı kırış bükme testi, tekerlek izi testi, Cantabro testi, esneklik modülü ve modifiye Lottman testleri gibi yöntemler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Geleneksel SD'nin yerine JS'nin kullanılması, asfalt karışımlarının Marshall kararlılığını, dolaylı gerilme mukavemetini ve tekerlek izi direncini sırasıyla %17,25 ve 27 artırmıştır. Bu, büyük ölçüde JS'nin yüksek gözenekliliği, daha ince doğası, daha yüksek özgül

yüzey alanı ve yüksek asfalt-filler etkileşimine bağlanmıştır. JS karışımlarının nem direncinin de sırasıyla FA ve SD karışımlarından %3,5 ve %10 daha iyi olduğu bulunmuştur. JS karışımları, yüksek sertliklerinden dolayı diğer karışımlara göre nispeten daha düşük yorulma ömrü göstermelerine rağmen; bununla birlikte, yorulma ömrünün, daha düşük gerilim seviyelerinde test edilen geleneksel HL karışımları ile karşılaştırılabilir olduğu bulunmuştur. Bu çalışmanın genel sonuçları, JS'nin alternatif bir filler olarak kullanılabilirliği ve aynı zamanda güvenli bir şekilde bertaraf edilmesinin yolunu açmıştır [8].

Kendi kendini iyileştirmeyi teşvik etmek, mikrodalga ısıtma oranını hızlandırmak için asfalt betonunda dolgu maddesi olarak çevreyi kirleten uçucu külün (FA) kullanılabilirliğini araştırılmıştır. Çalışmada, uçucu kül (FA) kullanılarak üretilen asfalt beton numuneleri ile FA kullanılmadan üretilen asfalt numunelerini mikrodalga ısıtma hızları termografik görüntüleme ile karşılaştırması yapılmıştır. Daha sonra numunelere mikrodalga iyileştirme işleminden önce ve sonra, üç noktalı eğme testi uygulanmıştır. Hasar seviyelerinin mikrodalga iyileştirme performansı üzerindeki etkisini belirlemek için, hasar görmüş numunelerin çatlak boyutu da bir çatlak mikroskobu ile ölçülmüştür. Test sonuçları, iyileşmeden önce ve sonra çatlak boyutlarının numunenin kendi kendini iyileştirme performansının bir göstergesi olarak yorumlanabileceğini göstermiştir. Mikrodalga ısıtma sıcaklığı, kendi kendini iyileştirmenin temel faktörüdür ve FA, asfalt betonunun mikrodalga ısıtma oranını iyileştirmiştir. FA ayrıca bazı hasar seviyelerinde örneklerin iyileştirme kapasitesini geliştirmiştir. Uçucu külün kendi kendini iyileştiren asfalt betonunda dolgu maddesi olarak büyük bir potansiyele sahip olduğu, çünkü asfalt betonunun kendi kendini iyileştirme ve mekanik özelliklerini iyileştirebileceği ve FA'nın bu yolla geri kazanılabileceği sonucuna varılmıştır [9].

Asfalt karışımlarında dolgu maddesi olarak kullanılacak dört tip çinko üretim atığı ve kireçtaşı tozu değerlendirilmiştir. Atık dolgu maddelerinin, yani kobalt keki, süzdürme keki, nikel keki ve çinko külü ile kontrol dolgu maddesi olarak kireçtaşı tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri ve morfolojisi incelenmiştir. Dolgu maddelerinin nem içeriği, partikül ve yığın yoğunluğu, metilen mavisi değeri (MBV), Rigden boşlukları (RV), pH, kimyasal bileşimler, morfoloji, hidrofobiklik, boyut dağılımı, suda çözünürlük ve spesifik yüzey alanı değerlendirilmiştir. Ayrıca sabit bir hacimsel dolgu / bağlayıcı oranı kullanılarak asfalt mastikleri yapılmış ve yumuşama noktaları, süneklik, penetrasyon derecesi ve reolojik özellikleri ölçülmüş ve saf bağlayıcı ile karşılaştırılmıştır. Dolgu maddelerinin özelliklerinin değerlendirilmesi, dolgu

maddelerinin potansiyel olarak asfalt karışımlarında kullanılabileceğini göstermiştir. Çinko külü, kontrol dolgusuyla karşılaştırılabilir ve hatta daha iyi özelliklere sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Hidrofobiklik, suda çözünürlük ve nem içeriği açısından en iyi performans çinko külüne ait olup bunu sırasıyla kireçtaşı, nikel, kobalt ve süzdürme keki izlemiştir. Sızıntı ve kobalt kekinin hidrofilik dolgu maddeleri olduğu görülmüştür. En düşük MBV değerinin çinko külünde olduğu bulunmuş, ardından sırasıyla kireçtaşı, nikel, süzdürme ve kobalt keki gelmiştir. En yüksek RV, süzme keki için ve en düşük RV çinko kül dolgusu kullanıldığında bulunmuştur. Dolgu maddeleri, mastik üzerinde farklı seviyelerde sertleştirdiği ortaya çıkmıştır. Yumuşama noktası testi sonuçlarına göre sıcaklık duyarlılığı açısından en düşük duyarlılık çinko külü için elde edilmiş, ardından kobalt keki, süzdürme keki, kireçtaşı ve nikel keki gelmiştir. Bununla birlikte, penetrasyon ve DSR testi sonuçları, en yüksek sertleştirme etkisinin çinko külü kullanılarak elde edildiğini, ardından kobalt keki, nikel keki, kireçtaşı ve süzdürme keki kullanıldığını ortaya koymuştur. Dolgu maddelerinin sertleştirici etkisi dolgu partiküllerinin morfolojisi ile açıklanabilir; bununla birlikte RV, dolgu maddelerinin sertleştirici etkisiyle doğrudan ilişkili olmadığı ortaya çıkmıştır [10].

Hem çevresel sorunların hem de inşaat maliyetlerinin azaltılması, asfalt kaplama endüstrisini yol kaplaması yapımında alternatif hammaddeler olarak artan şekilde atık malzemeleri kullanmaya yöneltmiştir. Bu araştırma, çeşitli oranlarda geleneksel kireçtaşı dolgu maddesini ikame ederek, sıcak karışım asfaltta (HMA) dolgu olarak atık kalsiyum karbür kalıntısının (CCR) kullanım potansiyelini araştırmayı amaçlamaktadır. Asfalt karışımları, agrega kuru ağırlıklarına göre farklı CCR oranları (%0, %3 ve %6) kullanılarak hazırlanmış, dayanımları, özellikleri ve dolaylı gerilme sertlik modülü, tekerlek izi, çatlak başlangıcı, çatlak yayılması ve nem hasarına karşı performansları değerlendirilmiştir. Sonuçlar, sertlik modülünün ve kalıcı deformasyona ve çatlaklara karşı direncin, CCR ilavesinden dolayı arttığını göstermiştir. CCR ile modifiye edilen HMA'nın ayrıca kireçtaşı dolgulu geleneksel HMA'ya göre su hasarına daha az duyarlı olduğu bulunmuştur. Bir toksisite karakteristik süzdürme prosedürü (TCLP) testi, HMA üretiminde kullanılan CCR'nin çevresel etkisinin olmadığını ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle, bu çalışmaya dayanarak, CCR, HMA'daki geleneksel dolgu maddesine makul bir alternatif olarak düşünülebilir; bunun anlamı, büyük miktarlarda atık karbür kirecin depolama alanından çıkarılabileceği ve böylece çevresel zararı önemli ölçüde azaltacağıdır [11].

Asfalt betonunda filler agregası olarak siyah karbon da kullanılmıştır. Gradasyonları aynı olan siyah karbon ve kalker filleri içeren agregalarla hazırlanan asfalt betonu karışımlarına, Marshall stabilite deneyi ile optimum bitüm oranları tayini yapılmıştır. Siyah karbon ve kontrol karışımlarının mekanik özellikleri Marshall stabilitesi, indirek çekme rijitlik modülü, sünme sertliği ve indirek çekme direnci testleri yapılarak değerlendirilmiştir. Siyah karbonun asfalt betonu karışımların mekanik özelliklerini geliştirdiği test sonuçlarıyla belirlenmiş ve kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır [12].

Bitümlü sıcak karışımlarda, sudan kaynaklanan bozulmalar önemli bir sorun olarak kabul edildiğinden ve suyun verdiği zararların en aza indirilmesi amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Suyun kohezyona etkisini belirlemek amacıyla yapılan koşullandırılmış Marshall deneyinde % 0 taş tozu - % 7 endüstriyel atık filler kullanılarak stabilite ve akma değerleri açısından en elverişsiz durum incelenmeye çalışılmıştır. Deney sonuçlarına göre, kullanılan endüstriyel atık filler malzemelerin yüksek sıcaklıklarda ve değişen kür şartlarında, asfalt betonu kaplamalarda taş tozu filler yerine kullanılabileceği görülmüştür [13].

Lastik atıkların en önemli mühendislik özelliklerinden birinin, servis sıcaklıklarının altındaki sıcaklıklarda yorulma direnci olduğunu belirtilmiştir. Bu atık haldeki otomobil lastiklerinin, bitümlü sıcak karışımların performansı üzerindeki etkisi, geleneksel karışımlarla karşılaştırılmak üzere, granül hale getirilmiş olan lastik parçacıkları farklı oranlarda (%2,0, %1,0, %0,7 ve %0,5) bitümlü sıcak karışıma katılmış, farklı sıcaklıklarda dolaylı çekme, statik sünme, tekrarlı sünme ve Marshall stabilite deneylerine tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmalar sonucu, kullanılan atık otomobil lastiklerinin belirli oranlarda bitümlü sıcak karışımlara (BSK) katılması halinde, soğuk iklimlerin hakim olduğu bölgelerde kalıcı deformasyonlara karşı olumlu etki yapacağı ortaya konulmuştur. [14]

Atık mermer agregasının asfalt betonunda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmalarında Afyon-İscehisar yöresinde mermer ocağı atıklarından agrega temin edilmiş ve karşılaştırılması için geleneksel asfalt karışımlarda kullanılan şahit agrega numunesi alınmıştır. Bu agrega numunelerine standart agrega, Marshall stabilite, akma ve dolaylı çekme deneyleri yapılmıştır. Sonuçta mermer kökenli agregaların mekanik özelliklerinin ve asfalt karışımındaki stabilite ve akma değerlerinin sınır şartlar içinde kaldığını ve bu malzemelerin orta ve düşük trafik hacimli

asfalt kaplamaların binder tabakalarında agrega olarak değerlendirilebileceği ortaya konulmuştur [15].

İzmir Çimstone fabrikasına ait kuvars kökenli granit arıtma çamuru malzemesinin BSK'da kullanılabilirliğini araştırılmıştır. Temin edilen malzeme etüvde kurutulmuş ve elekten elenmiş filler inceliğine indirgenmiştir. Elde edilmiş filler ile Marshall briketleri hazırlanmıştır. Daha önceden kontrol grubuna yapılan deneylerle kırmataş agregasına ait mekanik ve fiziksel özellikleri belirlemek amacıyla agrega deneyleri yapılmış ve % 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5 oranında bağlayıcı ve % 0, 2, 4, 6, 8 oranında filler kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler Marshall stabilite-akma deneyine tabi tutulmuş ve belirlenen optimum bitüm oranına göre mekanik batırma ve dolaylı çekme deneyleri yapılmıştır. Çalışma sonunda; granit arıtma çamurunun karayolu esnek üstyapısı aşınma tabakasında kullanılan asfalt betonunda filler malzeme olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır [16].

Şırnak (Silopi) bölgesinden temin edilen asfaltit B160/220 bitümüne ağırlıkça %2, %4, %6 ve %8 oranlarında ilave edilmiştir. Asfaltit katkılı modifiye bitüm hazırlanmış ve mevcut katkısız bitüm ile mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Asfaltit içeren bitümün standart penetrasyon değerinin düştüğü, kompleks ve viskozite modülünün arttığı, faz açısı değeri ve yumuşama noktası değerinde değişim olmadığı görülmüştür. Asfaltit içeren katkılı bitüm ile vurulan Marshall numunelerine yapılan deney sonuçlarında Marshall stabilitesi, indirekt çekme oranı, 15°C, 25°C ve 35°C sıcaklıklardaki rijitlik modülü değeri ve yorulma ömründe artışlar olduğunu görülmüştür. Çalışma sonucunda bitüme değişken oranlarda asfaltit katılması, karışımın neme karşı direncinde ve mekanik özelliklerinde iyileşmelere sebep olmuştur. Optimum asfaltit oranının ise %4 olduğu ortaya konulmuştur [17].

Sıcak karışım asfaltta filler malzemesi olarak kömür atık tozunun etkisi incelenmiştir. Kömür yıkama tesisinden kömür atık malzemesi elde edilmiş ve kömür atık tozunun 750 °C de yakılmasından sonra kömür atık külü üretilmiştir. X ışını kırınım testi sonuçları, bu malzemelerin sıcak karışım asfaltta aktif dolgu maddesi olarak uygulanmasını puzolanik bileşikler olan bir malzeme olması ile de ortaya çıkarmıştır. Marshall stabilitesi, dolaylı çekme dayanımı ve esneklik modülü test serilerinden oluşan deneyler uygulanmıştır. Referans karışımına (yani kireçtaşı tozu içeren bir karışım) kıyasla elde edilen sonuçlara göre kömür atığı ve külü daha yüksek stabilite ve esneklik modülü sonucu vermiştir. Kömür atığı ve kireçtaşı

tozlarının eşit oranda kombinasyonu ile yüksek su direncine sahip numuneler elde edilmiştir. Ayrıca karışımların suya duyarlılığı da kömür atık tozu ve özellikle külü ile artırılmıştır. Dolaylı çekme mukavemetinden elde edilen gerilme-uzama eğrisi dikkate alınarak, enerji emiciliği veya malzeme esnekliğinin bir göstergesi olan tokluk indeksi parametresi belirlenmiştir. Sonuçlar, kömür atığı tozu içeren sıcak karışım asfaltın referans karışımdan daha esnek davranış sergilediğini göstermiştir [18].

Sıcak karışım asfaltta (HMA) geleneksel kireçtaşı mineral fillere alternatif olarak by pass çimento tozu önerilmiştir. Atık çimento tozunun mineral filler olarak kullanılmasının etkisinin sıcak karışım asfaltın mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Başlangıçta optimum çimento tozu içeriği belirlenmiştir. İncelenen mekanik özellikler arasında Marshall stabilite özellikleri, dolaylı çekme mukavemeti ve sınırsız basınç dayanımı değerleri bulunmaktadır. Farklı çimento tozu içeriklerine sahip beş asfalt betonu karışımı; Kireçtaşı mineral filler oranı ağırlıkça %0, %25, %50, %75 ve %100 alınmıştır. Laboratuvar testleri, çimento tozu kullanıldığında asfalt beton karışımlarının mekanik özelliklerinde bir gelişme olduğunu ortaya koymuştur. Marshall test sonuçları, çimento tozu içeriğinin yüzdesi arttığında stabilitede, birim ağırlıkta, akmada, boşluk oranında ve mineral agregalarda boşluklarda bir azalma olduğunu göstermiştir. Dolaylı çekme dayanımı ve sınırlandırılmamış basınç dayanımı da çimento tozu oranı arttıkça artmıştır. Optimum çimento tozu oranı, kullanılan mineral fillerin %100'ü olarak bulunmuştur. Dolayısıyla, çimento tozu, asfalt kaplama karışımlarında kireç taşı mineral fillerin yerine kullanılabilirliği ortaya konulmuştur [19].

Mineral filler olarak pirinç kabuğu külünün (RHA) sıcak karışım asfaltta kullanılması araştırılmıştır. Çalışmada mineral filler olarak farklı oranlarda (%4, %5, %6 ve %7) kalker (LS) kullanılarak dört farklı asfalt beton numunesi üretilmiştir. Numuneler için optimum bitüm miktarı ve Marshall Stabilite (MS) değeri Marshall stabilite testi ile belirlenmiştir. En yüksek stabiliteyi veren %5 dolgulu asfalt serisinin seçimi %25, %50, %75 ve %100 oranında LS dolgu ile değiştirilmiştir. Daha sonra üretilen örnekler üzerinde Marshall stabilite testi yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuçta RHA'nın asfalt betonunda mineral filler maddesi olarak kullanılabileceği ortaya çıkmıştır [20].

Atık istiridye kabuklarının sıcak karışım asfalt (HMA) kaplama uygulamaları için yeni bir biyo dolgu maddesi olarak kullanımı araştırılmıştır. İstiridye kabuğu tozunun (OSP) farklı

fraksiyonlarda ağırlıkça %0, 5, 10, 15 asfalt karışıma katılarak bitüm performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Dolgusuz ve OSP ile doldurulmuş asfaltların kimyasal özellikleri, ince tabaka kromatografi-iyonizasyon tespiti (TLC-FID), Fourier dönüşüm-kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile karakterize edilmiştir. Termal özellikler termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ile incelenmiştir. Fiziksel ve reolojik özellikler penetrasyon, yumuşama noktası, süneklik ve dinamik kayma reometre (DSR) testleri ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, OSP ilavesinin reçine içeriğini ve karışımların sertliğini artırdığını göstermiştir. Dolgu maddesi ile asfalt arasında hiçbir belirgin reaksiyon meydana gelmemiştir. Daha yüksek OSP dozu, bağlayıcının morfolojisini değiştirirken, daha düşük ve orta dozlar, termal stabilitesini iyileştirdi ve katkısız asfalta göre düşük sıcaklık, tekerlek izi ve yorgunluk performanslarını arttırmıştır. Genel olarak, atık istiridye kabukları, sadece yol kaplamalarının kalitesini iyileştirmek için değil, aynı zamanda inşaat maliyetlerini düşürmek ve atık bertaraf sorunlarını çözmek için dolgu malzemesi olarak kullanılabileceği ortaya konulmuştur [21].

Sıcak karışım asfaltın bir bileşeni olan filler agregası, asfaltın mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde ve ömrünün uzatılmasında önemli bir role sahiptir. Bu araştırma seramik atığın filler olarak kullanımını ve asfaltın mekanik özelliklerine etkisini değerlendirmek için yapılmıştır. Bu amaçla seramik atık tozu %25, %50, %75 ve %100 oranlarında geleneksel kireçtaşı dolgu ile değiştirilmiştir. Seramik atığın asfalt performansı üzerindeki etkisini araştırmak için Marshall stabilitesi, nem hassasiyeti, dört noktalı eğilme yorgunluğu ve tekerlek izi deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar, Marshall stabilitesinin seramiğin tüm değiştirme oranlarında arttığını göstermiştir (maksimum ikame oranı için % 23 artış). Ayrıca, %100 seramik atık tozu kullanıldıktan sonra asfaltın neme karşı direncinin yaklaşık %5 arttığı gözlenmiştir. Ek olarak, sonuçlar, HMA'nın dolgu maddesi olarak bu ikame oranının, yorgunluk ömrünü (kontrol örneklerinden yaklaşık 600 döngü daha fazla) ve tekerlek izi direncini (iz derinliğinin neredeyse %31 azalma) arttırdığını göstermiştir. Bu nedenle, bu atık malzeme ilk önce HMA'nın mekanik özelliklerini geliştirmiştir ve atık malzemenin geri dönüşümü için uygun bir yaklaşım olarak da kullanılabilirliği ortaya çıkmıştır [22].

Gıda endüstrisinden atık yağ geri dönüşümü için kullanılan ağartma killeri, Sıcak Karışım Asfalt (HMA) üretimi için yaygın kireçtaşı mineral dolgusuna bir alternatif olarak önerilmiştir. Burada kullanılan ağartma killeri, bitkisel yağların rengini gidermek ve atık kilden biyogaz

üretmek için endüstriyel işlemin iki ardışık aşamasından gelmektedir. Bu araştırmada, geleneksel filler agregası yerine alternatif olarak atık ağartma killeri kullanıldığında, asfalt karışımının performansının fiziksel ve mekanik özellikler açısından nasıl değiştiği değerlendirilmiştir. Bu amaçla, geleneksel kireçtaşı dolgu maddesiyle üretilen bir kontrol sıcak karışım asfaltından elde edilen veriler, kireçtaşı dolgu maddesi yerine yukarıdaki birinci veya ikinci aşamadan atık ağartma kili içeren bitümlü numuneler için kaydedilenlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, ağartma killerin iki aşamada ürettiği etkiler arasında, asfalt betonunun performansı üzerinde önemli bir fark olduğunu göstermektedir; ikinci aşama, hem dolaylı çekme mukavemeti ve sertliği hem de bitümlü karışımın kalıcı deformasyonlara direnci üzerinde daha olumlu etkiler göstermektedir [23].

Olivin atık malzemesinin betonun içindeki donatının korozyon oluşumunu engelleyici özelliği araştırılmıştır. C30 olarak seçilen beton sınıfı referans seçilmiştir. Referans beton ile karşılaştırılması için çimento inceliğine kadar öğütülen olivin atık malzemesi ile atıklı betonlar elde edilmiştir. Olivin atıkları betonda çimento ile, hacimce %5, %10, %20 ve %40 oranlarında yer değiştirilmiş 15x15x15 cm'lik küp numuneler üretilmiştir, 7 ve 28 gün $21\pm1^\circ$ 'de küre tabi tutulmuştur. Kür sonunda olivin atıklı beton numunelerine sertleşmiş betonun yoğunluğu ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Basınç dayanımı ve sertleşmiş beton yoğunluğunda belirli oranlarda düşüş meydana gelmiştir. Fakat %5, %10 ve %20 oranlarında atık olivin içeren numuneler basınç dayanımı beklenilenin üzerinde olmuştur. Yeterli basınç dayanımına sahip %5, %10 ve %20 oranlarında olivin atığı içeren beton karışımları ile Ø5x10 cm boyutlarındaki kalıplara demir donatılı (Ø10) betonarme numuneleri üretilmiştir. Bu numunelere, 14 gün normal kür uygulandıktan sonra betonarme donatısı korozyon dirençlerinin belirlenmesi amacı ile %5'lik NaCl içeren çözelti ortamına alınmış ve bu çözeltide 17 hafta (yaklaşık 120 gün) boyunca her hafta Lineer Polarizasyon metodu uygulanarak Korozyon hızı, R_p , Ecor ve Icor değerleri ölçülmüştür. Deney sonuçlarına göre betonda %5 ve %10 olivin atığı kullanımının korozyon hızında, referans numunelere göre azalma olduğu görülmüştür [24].

Antalya Ferrokrom İşletmesinin elektrik-ark fırınlarından temin edilen cüruf atıkları No.200 elekten elenerek, uygun gradasyona getirilmiş daha sonra malzemelerin fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Asfalt betonu kaplama tabakasını temsilen, ferrokrom cürufu içeren bitümlü sıcak karışımlar hazırlanmış, Marshall karışım tasarımı uygulanarak optimum bitüm oranları belirlenmiştir. Daha sonra optimum bitüm oranı ve artan filler oranları ile (% 0-10) üretilen

numuneler üzerinde stabilite ve akma deneyleri uygulanmıştır. Bulunan sonuçlar doğal taş tozu ile üretilen şahit numunelerle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda FeCr cürufu'nun bitümlü sıcak karışımlarda filler olarak %5-10 arasındaki oranlarda kullanılabileceğini belirlemişlerdir. [25].

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Malzemeler

Bu çalışmada bağlayıcı olarak bitüm, agregata olarak kalker diye de bilinen kireçtaşı mineral agregası ve mineral filler olarak kırmataş tozu ve olivin filleri kullanılmıştır.

3.1.1. Agregata

Bu çalışmada Mersin İli Aydınçık İlçesine bağlı Sipahili mevkisi taş ocağından getirilen kırmataş agregası mineral agregata olarak kullanılmıştır. Kullanılan agregata ocağının konumu Şekil 3.1(a)'da ve agregaların taşocağından alınmasına ait bir görsel ise Şekil 3.1(b)'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Sipahili taş ocağının konumu (a) ve agregadan numune alınması (b)

3.1.2. Filler agregaları

Bu çalışmada Elazığ-Bingöl Karayolu 55. Km.sinde bulunan Eti Krom işletmesinin kromit cevheri zenginleştirmesi sonucu atık olarak depoladığı olivin mineralinin filleri (Şekil 3.2) ve Mersin İli Aydınçık İlçesine bağlı Sipahili taş ocağından temin edilen kırmataş tozu filler olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Eti Krom tesislerinde atık olarak depolanan olivinden görüntü

3.1.2.1. Kırmataş tozu filleri

Kireçtaşı kökenli malzemenin konkasörlerde kırılmasıyla oluşan ve No:200 (75 mikron açıklıklı) elekten geçen agrega tozudur. Bu çalışmada ihtiyaç duyulan kırmataş tozu Mersin İli Aydınçık İlçesine bağlı Sipahili taş ocağından temin edilen 0-5 mm aralığındaki agreganın elenmesi sonucunda elde edilmiştir.

3.1.2.2. Eti Krom olivin atığı

Asfalt betonunda kırmataş tozu ile yer değiştirilerek kullanılacak olan, kromit cevherinin zenginleştirilmesi sonucu ortaya çıkan olivin atıkları Elazığ-Bingöl Karayolu 55.km.sinde bulunan Eti Krom atık sahasından temin edilmiştir. Olivin atıklarının kimyasal özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Kullanılan olivin’e ait bir görsel Şekil 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Olivin analiz sonuçları (Anonim)

Numune Cinsi	Cr ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	TiO ₂ (%)	NiO (%)
Olivin	1.68	6.76	33.20	1.29	44.99	0.29	0.039	1.20



Şekil 3.3. Eti Krom olivin filler agregası

3.1.3. Asfalt çimentosu (AC)

Çalışmada bağlayıcı malzeme olarak kullanılan bitüm, Batman rafinerisinde üretilmiş olan Karayolları 5. Bölge Müdürlüğünden temin edilen 50-70 penetrasyon sınıfındadır.

3.2. Kullanılan yöntem

Bu çalışmada deney prosesi uygulanırken aşağıdaki tabloda belirlenen standart yöntemler izlenmiştir.

Tablo 3.2. Deney prosesinde kullanılan yöntemler

Sıra	Testler	Standartlar
1	Parçalanma direnci deneyi	TS EN 1097-2

2	Hava tesirlerine karşı dayanıklılık (MgSO ₄)	TS EN 1367-2
3	Yassılık İndeksi deneyi	BS 812
4	Soyulma mukavemeti deneyi	TS EN 12697-11
5	İri agregalar için özgül ağırlık deneyi	ASTM C 127
6	İnce agregalar için özgül ağırlık deneyi	ASTM C 128
7	Mineral filler için özgül ağırlık deneyi	ASTM C854
8	Metilen mavisi deneyi	TS EN 933-9
9	Penetrasyon deneyi	TS EN 1426
10	Yumuşama noktası deneyi	TS EN 1427
11	İnce film halinde ısıtma kaybı deneyi	TS EN 12607-1
12	Parlama noktası deneyi	TS EN ISO 2592
13	Çözünürlük deneyi	TS EN 12592
14	Asfalt çimentosu için özgül ağırlık deneyi	TS 1087

3.2.1. Parçalanma direnci deneyi

Parçalanma direnci deneyi, darbelenme ve aşındırma etkisiyle agrega danelerinde oluşan aşınmanın bulunmasını sağlar. Bu deneyle dane boyutu 75 mm'den küçük olan iri agregaların Los Angeles aşınma makinesi ile aşınmaya karşı mukavemeti bulunur. Deneyde içi boş, iki ucu kapalı bir silindir şeklinde olan makine içerisine deney numunesi ve toplam ağırlığı 4690 g ile 4860 g arasında olan 11 adet çelik küre Los Angeles deney makinasının içerisine yerleştirildikten sonra, dakikada 31-33 devir olacak şekilde makinaya 500 devir yaptırılmıştır. Gerekli sayıda devir tamamlandıktan sonra numune çıkarılmış 1,60 mm elekten elenmiştir. 1,60 mm elek üstünde kalan malzeme yıkanmış ve 110±5 °C 'lık fırında sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuştur ve 1 g hassasiyetle tartılmıştır. Sonuçta, tambur içerisinde metal kürelerle çarpışan ve aşınan malzemenin deney başında alınan malzemeye göre ağırlıkça yüzdesi aşınma kaybı olarak verilir [26]

$$\%AK = \frac{A - B}{A} \times 100 \quad (1)$$

Burada;

AK = Aşınma Kaybı (%)

A = Baştaki numune miktarı (gr)

B = Son numune miktarı (gr)



Şekil 3.4. Parçalanma dayanımı deney aleti

3.2.2. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık (MgSO₄)

Bu deneyde tane büyüklüğü 10 mm ile 14 mm arasında olan agregalardan oluşan deney numunesi doymuş magnezyum sülfat çözeltisine 5 kere daldırılmış ve takiben (110±5)°C ‘de etüvde kurutulmuştur. Magnezyum sülfatın tekrar su alması ve agregada numunesinde tekrarlanan kristalizasyon ile agregada boşluklarında zararlı etkiler ortaya çıkar. Tane büyüklüğü 10mm’den daha küçük malzemelerin oluşmasına neden olan zararlı etkilerin neden olduğu ufalanma ölçülmüştür [27]. Deneyde kullanılan Magnezyum sülfat deney aleti Şekil 3.5’te görülmektedir.

$$MS = \frac{100(M_1 - M_2)}{M_1} \quad (2)$$

M₁ : Deney numunesinin ilk kütlesi, ±0.1 gram doğrulukla.

M₂ : Deneyden sonra 10 mm.lik elekte kalan agreganın nihai kütlesi, ±0,1 gram doğrulukla



Şekil 3.5. Magneztum sülfat deneyi cihazı

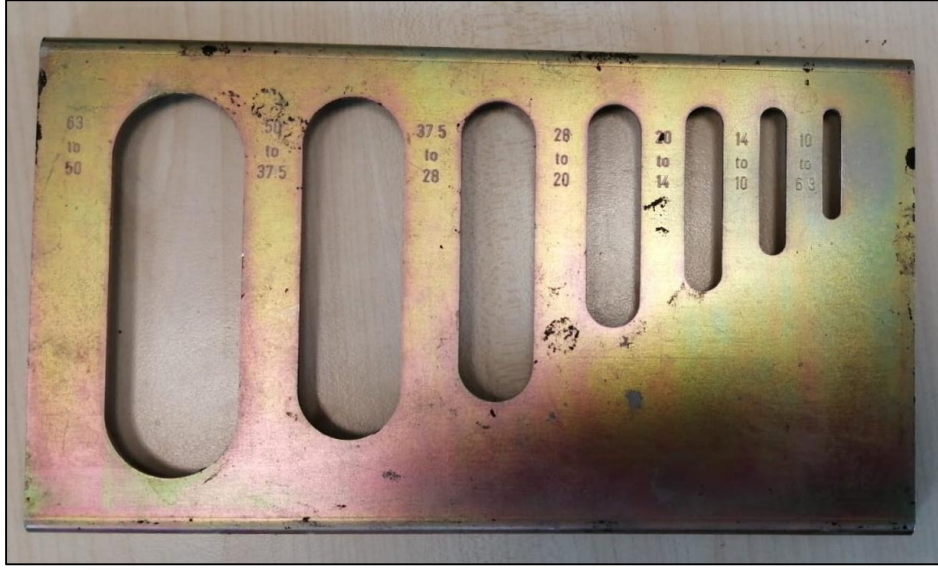
3.2.3. Yassılık indeksi deneyi

Kalınlığı, nominal boyutunun 0,6'sından daha küçük olan agregada danelerinin yassı olarak tanımlanmasına dayanan bir metottur. Agregada numunelerinin yassılık indeksi, belirli açıklıkları olan bir şablon kullanarak ayrılan yassı danelerin ağırlığının, toplam numune ağırlığına oranının yüzdesi olarak ifade edilir [28]. Yassılık indeksinin belirlenmesinde kullanılan ve BS 802'de tanımlanan şablon Şekil 3.6'da görülmektedir.

$$Yassı Dane Yüzdesi = \frac{M_2 - 100}{M_1} \quad (3)$$

M_1 : Deneye alınan malzeme ağırlığı, gr.

M_2 : Deneyde bulunan yassı malzeme ağırlığı, gr.



Şekil 3.6. Yassılık deney şablonu

3.2.4. Soyulma mukavemeti deneyi

Kırılmış agrega numunesinin 10-6.3 mm.lik elekler arasında kalan kısmından 200 gram alınarak iyice yıkanmıştır, saf su ile birkaç kere çalkalandıktan sonra 110° C'lik etüvde kurutulmuştur. Yıkanmış kurumuş malzemeden 150 adet numune beher içine tartılmış ve ısıtılmak üzere 1 saat etüvde bekletilmiştir. Kaplamada kullanılacak bitümlü bağlayıcıdan 5.0 ± 0.1 gram 250 cm³'lük bir beher içinde tartılmıştır. Beher bir kum banyosuna yerleştirilmiş ve ısıtılmıştır. Bitümlü bağlayıcı eriyince etüvde ısıtılmış mıcır derhal behere dökülmüş ve bir cam bagetle, bütün mıcır tanelerinin üzeri homojen bir bitüm filmi ile kaplanıncaya kadar, kum banyosu üzerinde iyice karıştırılmıştır. Beherdeki karışım, 10 cm çapındaki iki petri kabına eşit miktarda aktarılmış ve kaplanmış mıcırların üzeri bagetle çok hafif darbelerle düzeltilerek 10 dakika laboratuvar sıcaklığında bekletilmiştir. Sonra petri kapları, saf su ile dolu derin bir tepsi içerisine batacak ve petri kaplarının üzerinde en az 3 cm su olacak şekilde yerleştirilmiştir. 24 saat süreyle bekletilmek üzere 60 °C'lik etüve konulmuştur. Bu sürenin sonunda petri kabı dışarı alınmış, suyu değiştirilmiş ve yandan gelen bir ışık altında bilhassa karışımın üst yüzü gözle incelenmiştir (Şekil 3.7) . Soyulma yüzdesi değeri, agregaların bitümle kaplı olan soyulmayan yüzeylerinin, bitümle kaplı olmayan agrega yüzeylerine oranı olarak belirlenmiştir [29].



Şekil 3.7. Soyulma deney numunesi örneği

3.2.5. İri agrega için özgül ağırlık deneyi

Agreganın özgül ağırlığını tespit etmek için yaklaşık 1000 gram temsili numune alınmıştır. Numune evvela yıkanmış ve içi su dolu kapta 24 saat bekletilmiştir. Suyun içinden çıkarılan agregalar iki havlu arasına konularak agregaların yüzeyi kurulanmıştır. Yüzeyi kuru ancak suya doygun hale gelen agregalar tartılmıştır (M_2). Tel sepet içerisine konulan agregalar $25 \pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklıkta sudaki tartımı yapılmıştır (M_3). Agregalar tel sepetin içerisinden tepsi içerisine alınarak 24 saat süreyle kurutulmuştur. Etüv kurusu malzeme yaklaşık 3 saat soğutulmuş ve oda sıcaklığına ulaşınca tartılıp kaydedilmiştir (M_1) [30].

$$\text{Hacim özgül ağırlık} = \frac{M_1}{M_2 - M_3} \quad (4)$$

$$\text{Zahiri özgül ağırlık} = \frac{M_1}{M_1 - M_3} \quad (5)$$

$$\text{Su emme yüzdesi (\%)} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \quad (6)$$

Burada:

M_1 = Kuru ağırlık (gr)

M_2 =Doygun yüzey kuru ağırlık (gr)

M_3 =Sudaki ağırlık (gr)

3.2.6. İnce agreganın özgül ağırlık deneyi

İnce agreganın su emme miktarı ve özgül ağırlığı ASTM C 128 yöntemi kullanılarak belirlenir. Karışımı temsil eden 1000 gr agreganın kullanılmasıdır. 200 no.lu (75 mikron açıklıklı) elekten geçen yıkanan malzeme bir kap içine alınarak üzeri su ile kaplanacak şekilde doldurulmuş ve 24 saat su içinde bekletilmiştir. Bekletilen numune malzeme kaybına sebep olunmadan süzdürülmüştür ve içeriğindeki suyu kaybetmemesi için emme özelliği olmayan bir yüzeye serilmiştir. Daha sonra numuneye, yüzeyi kuru ancak doymuş özelliği kaybettirilmeden kurutma işlemi uygulanmıştır. Yapılan işlem malzeme serbest bir halde dökülecek kıvama gelene kadar devam ettirilmiştir. Bu durumun kontrolünü sağlayabilmek için koni yöntemi kullanılmıştır. Numune istenildiği gibi yüzey kuru doymuş hale geldiğinde 500 gr agreganın numunesi piknometre içerisine konulmuş ve tartılmıştır (C_i). Piknometre içerisine numune yüzeyinin üzerini geçecek kadar su doldurulmuştur. Piknometre her iki yönde yaklaşık 15-20 dakika kadar çalkalanmış ve içerisindeki hava kabarcıklarının çıkması sağlanmıştır. Hava kabarcıkları çıktıktan sonra piknometre işaretli yere kadar su ile doldurulmuştur. Piknometre 25 ± 1 °C sıcaklığında sabit tutulan su banyosuna konulmuştur. Malzeme ile dolu piknometre 25 °C'ye ulaştığında su banyosundan çıkartılmış, havlu ile dış yüzeyi kurutulan piknometre tartılmıştır (D_i). Tartımı yapılan piknometreden çıkarılan numune bir tepsiye dökülmüş ve tepsi içindeki ince agreganın 110 ± 5 °C'lik etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Son olarak etüvden çıkarılan numune oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulduktan sonra tartım yapılmıştır (E_i). Aşağıdaki bağıntılar kullanılarak ince agreganın su emme ve özgül ağırlık sonuçları elde edilmiştir [31].

$$\text{Hacim özgül ağırlık} = \left(\frac{E_i}{(B_i - C_i) - (A_i - B_i)} \right) \quad (7)$$

$$\text{Zahiri özgül ağırlık} = \left(\frac{E_i}{B_i + E_i - D_i} \right) \quad (8)$$

$$\text{Su emme yüzdesi}(\%) = \left(\frac{C_i - A_i - E_i}{E_i} \right) \times 100 \quad (9)$$

Burada;

Ai: Piknometrenin boş ağırlığı (gr)

Bi: 25°C'de piknometre su dolu ağırlığı (gr)

Ci: Doygun kuru yüzey numune ile piknometre ağırlığı (gr)

Di: 25°C'de toplam numune, piknometre ve su ağırlığı (gr)

Ei: Kuru numunenin miktarı (gr)



Şekil 3.8. İnce agreganın özgül ağırlık deneyi

3.2.7. Mineral filler özgül ağırlık deneyi

Filler malzemesinin zahiri özgül ağırlığı ise ASTM C 854 yöntemi ile bulunmuştur. Etüvde 110 ± 5 °C’de kurutulan numune, piknometre şişesinin üçte bir oranında olacak şekilde doldurulup ve tartılmıştır(M_3). Piknometre yarı seviyesine kadar su ile doldurulmuş, havasının alınması için minimum beş dakika elli mbar vakumlanan desikatöre bırakılmıştır. Piknometre daha sonra tamamen suyla doldurulmuş ve 25 ± 1 °C’ lik suyun içerisinde banyo ettirilerek 60 dakika boyunca bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda su banyosundan çıkarılmış, kurutularak tartılmıştır(M_4). Filler malzemesinin zahiri özgül ağırlığı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır [32].

$$A \left(\frac{kN}{cm^3} \right) = \frac{M_3 - M_1}{(M_2 - M_1) - (M_4 - M_3)} \quad (10)$$

Burada:

M_1 ; etüvde kurutulmuş numune ağırlığını (gr),

M_2 ; su ile dolu piknometre ağırlığını (gr),

M_3 ; üçte biri numune ile dolu piknometre ağırlığını (gr),

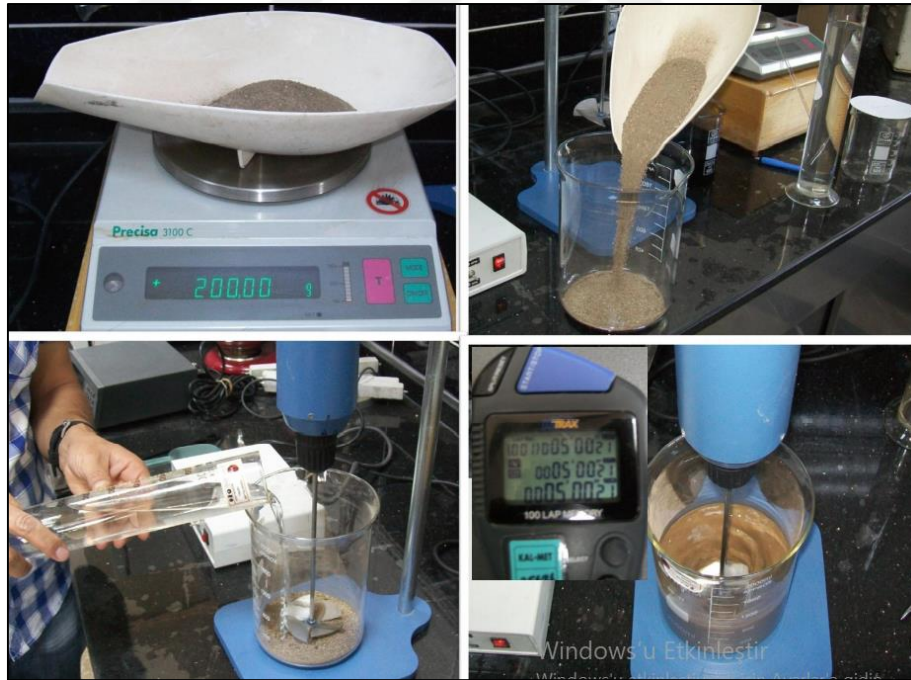
M_4 ; su banyosundan çıkarılan ve kurulan piknometre ağırlığını (gr) ifade etmektedir.



Şekil 3.9. Piknometre ile filler malzemenin özgül ağırlığı tayini

3.2.8. Metilen mavisi deneyi

İnce agregalarda (0-2 mm aralığındaki) metilen mavisi değerin tayinini kapsar. Boya çözeltisinin deney numunesi kısmı tarafından absorpsiyonu, çözeltinin her ilave edilişinden sonra süzgeç kağıdında bir leke deneyi yapılarak serbest boyanın varlığının belirlenmesi suretiyle kontrol edilir. Hazırlanan deney numunesi etüvde (110 ± 5 °C) kurutulmuştur. İnce agregada daha sonra 2mm elekten elenmiştir. Bölgeç yardımıyla deneye tabi olacak numuneden 200 gr tartılmış ve behere konulmuştur. 500 ± 5 ml'lik saf su behere ilave edilmiştir. 600 devir 5 dakika karıştırılmıştır (Şekil 3.10). Karışıma boya çözeltisinden 5 ml eklenmiş ve 400 devir/dakika tekrar karıştırılmıştır. Leke deneyi, her 5 ml'lik boya ilavesinden sonra cam çubuk ile süspansiyondan bir damla alınması ve damlanın süzgeç kağıdı üzerine bırakılmasından ibarettir. Islak bölgede yaklaşık 1mm'lik açık mavi bir halka içeren bir halenin merkezi birikinti etrafında oluşumu görülünceye kadar deneye devam edilmiştir. Şekil 3.11'de görüldüğü gibi hale ikinci 5 ml'lik çözeltiden sonra oluşmuş ve bu halka varlığını 5 dk koruduğu için deneye son verilmiştir [33].



Şekil 3.10. Metilen mavisi ile karışımın hazırlanması



Şekil 3.11. Metilen mavisi deneyi

Metilen mavisi deney sonucu aşağıda verilen eşitlik (11) ile hesaplanmıştır;

$$M_{metilen} = \frac{M_n \times M_g}{M_m} \times 100 \quad (11)$$

M_n :Metilen mavisi kaç defa eklenmiş

M_g :Metilen mavisinin kaç gram eklendiği

M_m :Malzeme miktarı'dır

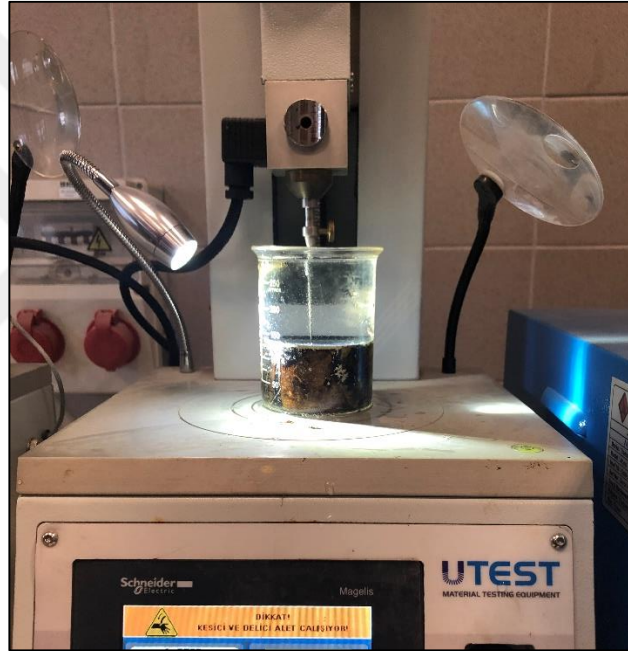
Kil minerallerinin miktarı arttıkça, emilen boya miktarı artmakta ve metilen mavisi değerini artırmaktadır. Metilen mavisi değerinin artması malzeme içerisindeki kil ve silt miktarının fazla, mavi metilen değerinin azalması kil ve silt miktarının azalması olarak yorumlanabilir.

3.2.9. Asfalt çimentosunun (AC) fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

3.2.9.1. Penetrasyon deneyi

Penetrasyon deneyi, asfalt çimentosunun sertlik veya kıvamını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Standart penetrasyon deneyi, 100 gr. ağırlığındaki bir iğnenin 25 °C sıcaklıkta ve 5 saniye süreyle bitüm içerisinde kat ettiği düşey mesafe olarak tanımlanmaktadır. Numunenin yüzeyinden 1 cm'lik aralıkla 3 adet ölçüm yapılır. Penetrasyonun birimi 1/100 cm dir [34]. Asfalt çimentolarının penetrasyon değeri kıvamla ters orantılıdır.

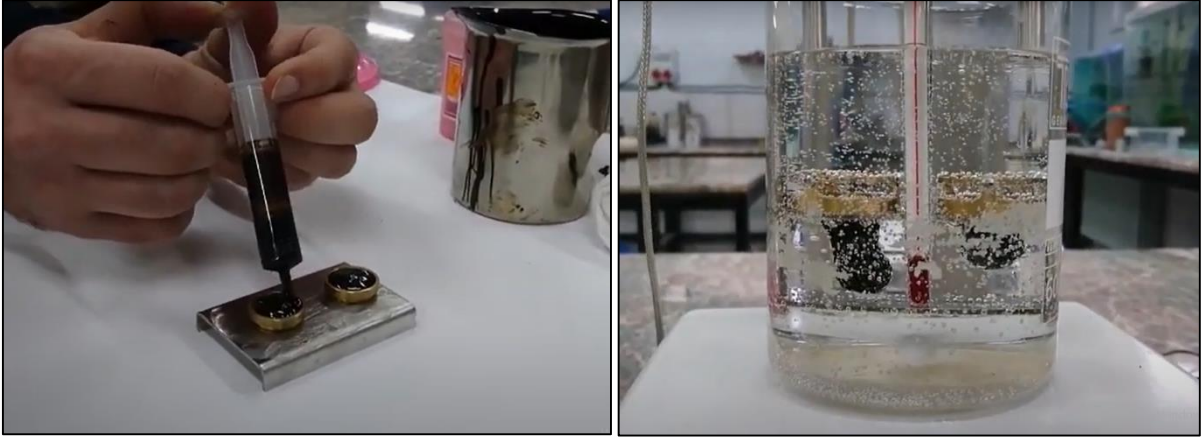
Bu çalışmada 50-70 penetrasyon sınıfında olduğu düşünülen bitüme penetrasyon deneyi yapılmıştır.



Şekil 3.12. Penetrasyon deney aleti

3.2.9.2. Yumuşama noktası deneyi

Asfalt çimentosunun yumuşama sıcaklığının tespiti amacıyla yapılan bir deneydir. Bu deneyde bitüm doldurulmuş standart iki halka düzenek üzerine standart birer bilye konularak düzenek su dolu beher içerisine konulmuştur. Deney başlangıç sıcaklığı 5°C'dir ve sıcaklık dakikada 5°C arttırılmıştır. Yumuşama noktası değeri, bitümlü maddenin beherin tabanına değdiği anda ki sıcaklık değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır [35].



Şekil 3.13. Yumuşama noktası deneyi

3.2.9.3. İnce film halinde ısıtma kaybı deneyi

1 cm yüksekliğinde ve 14 cm çapındaki deney kaplarına 48-50 gr aralığında sıcak bitüm konularak kaba düzgün bir şekilde yayılması sağlanmıştır. Daha sonra 1 saat boyunca soğuyup dinlendirildikten sonra ağırlıkları tartılarak kaydedilmiştir. Bitümü temsilen 3 kap numune hazırlanmıştır. Numuneler daha sonra 163 °C’de ki döner etüve yerleştirilmiştir. Burada 5 saat boyunca bekleyen numuneler etüvden çıkarılıp oda sıcaklığına düşünceye kadar bekletilmiştir ve 0,01 gr hassasiyetli tartıyla tartılmış ve not edilmiştir. Daha sonra bu numuneler tekrar 163 °C’lik etüvde ısıtılarak karıştırılmıştır. Etüvden çıkarılan numune için istenen penetrasyon ve yumuşama deneyleri tekrar yapılmış ve böylece numunelerin kalıcı penetrasyon ve yumuşama noktası yükselmeleri belirlenmiştir [36].

Bu deney ile ısıнын ve havanın yarı katı asfaltik malzemeler üzerindeki etkileri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar beton asfalt tesislerinde karışım hazırlanırken asfaltta meydana gelecek sertleşmenin derecesi hakkında bilgi verir.



Şekil 3.14. İnce film deneyi dönel tablalı etüv

3.2.9.4. Parlama noktası deneyi

Parlama noktası, deney numunesinin buharının alev temasında geçici olarak parladığı fakat yanmaya devam etmediği en düşük sıcaklıktır. Bir malzemenin parlama noktasının bilinmesi, o malzemenin uygulanması sırasında ısıtılırken oluşabilecek herhangi bir tutuşma ve yangın tehlikesinin önlenmesi bakımından son derece önemlidir.

Deneyi yapılacak olan bitüm dizayn sıcaklığına gelinceye kadar (130-140°C) ısıtılmış ve yüzeyde hava kabarcığı kalmayacak şekilde deney kabına doldurulmuştur.

Parlama noktasına yaklaşıncaya kadar numunenin dakikada 5-17 °C sıcaklığı arttırılmıştır. Parlama noktasına yaklaşıldığında (yaklaşık 280 °C olduğu düşünülür) ise sıcaklık dakikada 5-6 °C artacak şekilde ayarlanmıştır. Numune yüzeyinden deneyin alevi geçirilmiştir. Alev çapının 4mm olması gerekir. Numunenin parladığı en düşük sıcaklık parlama noktası değeri olarak kaydedilmiştir [37].



Şekil 3.15. Parlama noktası deney aleti

3.2.9.5. Çözünürlük deneyi

Asfalt çimentosu bünyesindeki mineral madde tayini için yapılan deneyde asfalt numunesi, içinde trikloretilen bulunan çözücü içerisine konulmuştur. İçeriğinde mineral madde bulundurmayan veya az bulunduran asfalt çimentosunun organik çözücüyle çözünürlüğünü belirlemek için yapılmıştır ve sonuçta %99 çözülmüş olması gerekir [38].

3.2.9.6. Asfalt çimentosu (Bitüm) özgül ağırlık deneyi

Bitümlü malzemenin özgül ağırlığı 25 °C sıcaklıktaki, hacminin havadaki ağırlığının aynı sıcaklık ve aynı hacimdeki havası alınmış destile suyun ağırlığına oranıdır. Genellikle piknometre yöntemi ile özgül ağırlık belirlenir.

Bu çalışmada asfalt çimentosunun özgül ağırlığı piknometre yöntemiyle bulunmuştur. Piknometre, deneyden önce temizlenip kurutulduktan sonra cam kapala beraber 0,1 g'a duyarlı terazide tartılmıştır (M_1). Sonra saf su ile tamamen doldurularak tartılmıştır (M_2). Piknometre içerisindeki su tamamen boşaltılmış ve 110 °C lik etüvde kurutulmuştur. Etüvde kurutulduktan sonra piknometrenin içerisine makul miktarda (piknometrenin yaklaşık 2/3'ü kadar olacak şekilde) ısıtılıp akıcı hale getirilmiş asfalt çimentosu konulmuş ve tartılmıştır (M_3). Bundan sonra numunenin üzeri saf su ile doldurularak yaklaşık 40 dakika 25 °C'lik su banyosunda

bekletildikten sonra tartılmıştır (M_4). Asfalt çimentosunun özgül ağırlığı aşağıdaki formülle belirlenmiştir [39].

$$\frac{M_3 - M_1}{(M_2 - M_1) - (M_4 - M_3)} \quad (12)$$

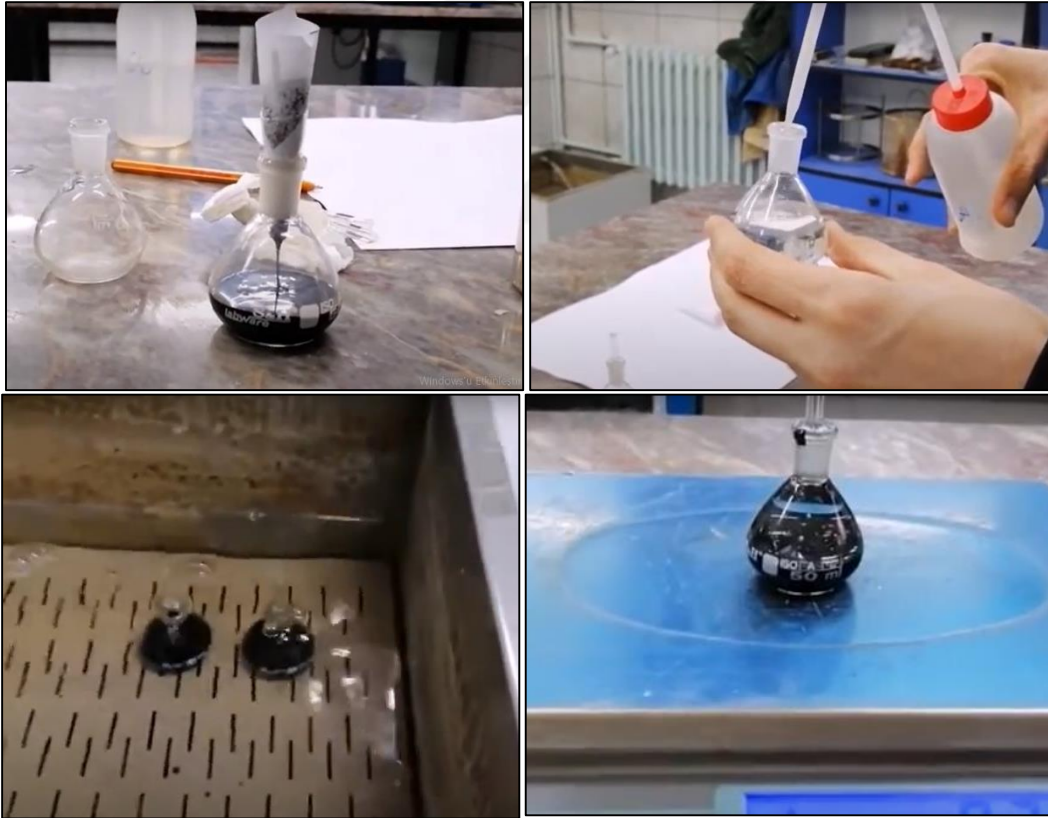
Burada:

M_1 = Piknometrenin boş ağırlığı, gr

M_2 = Su dolu piknometre ağırlığı, gr

M_3 = Doygun kuru yüzey numune ile piknometre ağırlığı, gr

M_4 = toplam numune,piknometre ve su ağırlığı, gr



Şekil 3.16. Bitüm özgül ağırlık deneyi

3.2.10. Deneylerde kullanılan agregada gradasyonunun belirlenmesi

Karışımında kullanılacak farklı boyutlardaki agregaların elek analizi yapılarak karışımın granülometrisi belirlendikten sonra agregada karışımının granülometri eğrisi çizilmiştir. Tolerans sınırları belirlenerek tolerans eğrileri ve şartname sınır eğrileri çizilmiştir. Karışım granülometri eğrisinin, şartname ideal eğrisiyle çakışması istenilen en ideal durumdur. İdeal granülometri eğrisi ile çakışacak veya ona çok yakın bir granülometri sağlayacak karışım oranlarını belirlemek amacıyla analitik yöntem, grafik yöntem ve deneme-yanılma yöntemi olmak üzere üç değişik yöntem kullanılmaktadır. Agregada granülometrisi, bu çalışma için Karayolları Teknik Şartnamesi Aşınma Tabakası Tip-1 olarak belirtilen alt ve üst sınır değerlerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Tablo 3.3. Aşınma tabakası için Tip-1 gradasyon limitleri [40]

Elek Boyu (mm)	Tip-1
19,1	100
12,7	88-100
9,52	72-90
4,76	42-52
2,00	25-35
0,42	10-20
0,177	7-14
0,075	3-8

3.3. Marshall yöntemiyle bitümlü karışımların tasarımı

Ülkemizde bitümlü karışım dizaynı olarak en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu çalışmada da karışım dizaynı olarak Marshall yöntemi kullanılmıştır. Yöntem prensip olarak bitümlü kaplama karışımlarından elde edilen biriketlerin Marshall stabilite deney aleti yardımıyla briket yan yüzeyine yükleme yapılarak akma direncinin ölçülmesini sağlar. Maksimum agregada dane boyutu 25 mm ya da daha küçük olan, viskozitesi, penetrasyonu belirlenmiş olan bitüm kullanılarak hazırlanan sıcak karışım asfalt kaplamalarına uygulanan bir yöntemdir.

3.3.1. Deney numunelerinin hazırlanması

Deney tasarımında kullanılan agregalar, gradasyon eğrisinde belirlenen elek üzerinde kalan malzeme yüzdelere göre toplamda 1150 gr olacak şekilde tartılarak kaselere konulmuş ve etüvde karışım sıcaklığı olan 130–140°C'ye kadar ısıtılmıştır. Bitüm kombinasyonları %3,5 %4, %4,5, %5, %5,5 şeklinde oluşturulmuştur. Her bir bitüm yüzdesi için 3 adet biriket numune hazırlanmıştır ve toplamda 15 briket vurulmuştur. Briketler oluşturulmadan önce bitüm ve agregalar deney sıcaklığına kadar etüvde ısıtılmasının yanısıra, karıştırma kabı, numune kalıpları, spatula, metal numune küreği ve tokmak başlığı da son yarım saat etüvde ısıtılmıştır (Şekil 3.17). Agregalar ve bitüm numuneleri karışım sıcaklığı olan 140 ± 20 °C kadar ısıtıldıktan sonra, mekanik karıştırıcıda homojen bir şekilde agrega yüzeyleri asfalt filmiyle kaplanana kadar yaklaşık 3-5 dakika karıştırılmıştır. Şekil 3.18'de Mekanik asfalt karıştırıcısı görülmektedir.



Şekil 3.17. Etüvde karışım için önceden ısıtılan deney numuneleri



Şekil 3.18. Mekanik karıştırıcıyla karışımın hazırlanması

Hazırlanan sıcak asfalt karışımı, kalıbın tabanına filtre kağıdı ölçülü bir şekilde kesilip konulduktan sonra kalıbın içine yerleştirilmiştir. Numuneler 45.7 cm düşen 4.536 kg ağırlığına sahip tokmak ile 101,6 mm çapında ve 76,2 mm yüksekliğindeki standart numune kalıbında sıkıştırılmıştır. Şekil 3.19’da elde edilen Marshall biriketleri görülmektedir.



Şekil 3.19. Marshall briketi numuneleri

3.3.2. Marshall stabilite ve akma deneyi

Briketler üstünde stabilite deneyi uygulanmadan önce briket numuneleri yaklaşık 40 dakika 60°C'lik su banyosunda bekletilmiştir. Sudan çıkartılan numuneye yaklaşık 30 sn içinde bezle suyu alınıp stabilite aletinin çelik segmanları arasına yerleştirilmiş akma ölçer (flowmeter) yerleştirilerek sıfırlanmıştır ve numuneye yük uygulanmaya başlanmıştır. Maksimum yüke erişinceye kadar, dakikada 50.8 mm lik (2 inç) bir hızla yükleme yapılmıştır. Maksimum yük olduğu anda kırılma gerçekleşmiş ve maksimum yük kaydedilmiştir. Bu değer birikete ait “Marshall Stabilite” değeridir. Akmaölçer boşaltılır ve akma değeri ölçülmüştür. Her briket için aynı işlemler tekrarlanmıştır. Bu işlemlerin bir hayli hızlı olması gerekmektedir. Su banyosundan ilk alınan numune ile son alınan numune arasında zaman farkı fazla olması, sonradan alınan numunelerin 60°C deki su içinde daha fazla kalması demektir. Bu durumda numuneler için eşit şartlar oluşmaz. Bunu önlemek için numuneler su banyosuna yaklaşık 30 sn aralıklarla konulmuştur.



Şekil 3.20. Marshall stabilite ve akma deney aleti

3.4. Karışım hesapları için gerekli bağıntılar

3.4.1. Agreg a hacim özgül ağırlığı ve zahiri özgül ağırlığı

Deney sel çalışmada kullanılmış olan agregalar iri agregalar, ince agregalar ve mineral filler agregalarından oluştuğu için, karışım agregasının hacim özgül ağırlığı (G_{sb}) veya zahiri özgül ağırlığı (G_{sa}) verilen bağıntılarla hesaplanmıştır.

$$G_{sb} = \frac{\%K + \%İ + \%F}{\frac{\%K}{G_{kh}} + \frac{\%İ}{G_{ih}} + \frac{\%F}{G_{fz}}} \quad (13)$$

$$G_{sa} = \frac{\%K + \%İ + \%F}{\frac{\%K}{G_{kz}} + \frac{\%İ}{G_{iz}} + \frac{\%F}{G_{fz}}} \quad (14)$$

Burada:

G_{sb} : Agregakarışımı hacim özgül ağırlığı

G_{sa} : Agregakarışımı zahiri özgül ağırlığı

$\%K$: Kaba agreganın ağırlıkça yüzdesi

$\%İ$: İnce agreganın ağırlıkça yüzdesi

$\%F$: Fillerin ağırlıkça yüzdesi

G_{kb}, G_{ih} : Agregaların hacim özgül ağırlıkları

G_{kz}, G_{iz}, G_{fz} : Agregaların zahiri özgül ağırlıkları

3.4.2. Agregaeftif özgül ağırlığının tayini

Belirli bir sıcaklıkta agreganın asfalt geçirimli boşlukları hariç geçirimli ve geçirimsiz boşluklarını içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklık ve hacimdeki havası alınmış destile suyun ağırlığına oranıdır. Agreganın eftif özgül ağırlığı, ASTM D 2041 standardına göre yapılan maksimum teorik özgül ağırlık deneyiyle elde edilen D_t değerin denklemdede yerine yazılması ile bulunmuştur (15). D_t deneyinin yapılamadığı durumlarda eftif özgül ağırlık agreganın hacim özgül ağırlık değeri ile zahiri özgül ağırlık değerin ortalaması olarak alınabilir (16).

Bu çalışmada 2 (iki) adet eftif özgül ağırlık deneyi yapılmış ve (15) e göre hesaplanmıştır.

Deneyle bulunan eftif özgül ağırlık:

$$G_{ef} = \frac{100}{\frac{100 + W_a}{D_t} - \frac{W_a}{G_b}} \quad (15)$$

Hesapla bulunan eftif özgül ağırlık:

$$G_{ef} = \left(\frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \right) \quad (16)$$

G_{sb} : Agregâ karışımının hacim özgül ağırlığı

G_{sa} : Agregâ karışımının zahiri özgül ağırlığı

D_t = Karışımın maksimum teorik özgül ağırlığı

W_a = Agreganın yüzdesi olarak bitüm miktarı

G_b = Bitüm özgül ağırlığı

3.4.3. Marshall briketlerine ait agregalar arası boşluk (VMA) yüzdesi hesabı

Agregalar arası boşluk yüzdesi (VMA), efektif bitüm miktarını ve hava boşluğu içeren, sıkıştırılmış asfalt betonu kaplaması karışımının agregâ taneleri arasındaki boşluk olarak tanımlanır ve toplam hacmin yüzdesi olarak hesaplanır. Agregalar arası boşluk yüzdesi (VMA) hesabı aşağıdaki denklemlle yapılmıştır.

$$VMA = \left(100 - \frac{D_P}{G_{sb}}\right) \left(\frac{100}{100 + W_a}\right) \times 100 \quad (17)$$

VMA : Agregalar arası boşluk yüzdesi

D_P : Sıkıştırılan karışımın hacim özgül ağırlığı (kN/cm³)

G_{sb} : Bitümün hacim özgül ağırlığı (kN/cm³)

W_a : Agregâ ağırlığının yüzdesi olarak bitüm ağırlığı (gr)

3.4.4. Sıkıştırılan kaplama karışımındaki hava boşluğunun ve asfaltla dolu boşluk yüzdesinin hesaplanması.

Hava Boşluğu %(V_h), sıkıştırılan kaplamanın içindeki hava boşluğu yani bitümle kaplanmış agregâ daneleri arasındaki küçük hava boşluklarıdır. Asfaltla Dolu Boşluk %(V_f) ise bitümle dolu boşlukların yüzdesidir. Aşağıdaki eşitlikler kullanılarak toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımındaki hava boşluğu V_h ve asfalt dolu boşluk yüzdesi V_f hesaplanmıştır.

$$V_h = \left(\frac{D_T - D_P}{D_T}\right) \times 100 \quad (18)$$

Burada:

V_h : Sıkıştırılan karışımın hava boşluğu (%).

D_p : Briket hacim özgül ağırlığı (kN/cm^3)

D_T : Asfalt betonu maksimum özgül ağırlığı (kN/cm^3)

$$V_f = \left(\frac{VMA - V_h}{VMA} \right) \times 100 \quad (19)$$

Burada:

V_f : Asfalt dolu boşluk (%)

VMA: Agregalar arası boşluk yüzdesi (%)

V_h : Sıkıştırılan karışımın hava boşluğu (%)

3.5. Optimum bitüm yüzdesi tayini

Karışımın kullanılacağı bölgenin iklim koşullarında göz önünde bulundurularak bitüm miktarı belirlenir. Soğuk bölgelerde, durabilite ve düşük sıcaklık çatlaklarına karşı dayanıklı bir tabaka oluşturmak için bitümü daha zengin fakat kuma meydana getirmeyecek karışımlar, sıcak bölgeler için plastik deformasyonu azaltacak ancak yeterli durabiliteyi sağlayacak karışımlar oluşturulmalıdır.

Boşluk yüzdesi değeri, optimum bitüm yüzdesinin belirlenmesinde önemli bir kriterdir. Bu çalışmada aşınma tabakası baz alındığı şartname değeri olan % 4 boşluk alınarak optimum bitüm tayini yapılmıştır.

Hazırlanan numunelere ait stabilite, akma, pratik özgül ağırlık, asfaltla dolu boşluk yüzdesi, agregalar arası boşluk yüzdesi ve boşluk yüzdesi grafikleri çizilmiştir. Yoğunluğun ve stabilitenin optimum noktalarına denk gelen bitüm yüzdesi, asfalt dolu boşluk değerinin %65-75 arasına denk gelen bitüm yüzdesi, boşluk oranı değerinin %3-5 arasına denk geldiği bitüm yüzdeleri değerleri grafiklerden elde edilmiş ve bu değerlere ait aritmetik ortalama alınarak optimum bitüm yüzdeleri belirlenmiştir. Bulunan optimum bitüm oranına göre VMA ve akma değerleri grafikten kontrol edilerek şartnameye uygunluğuna bakılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Agreganın fiziksel ve mekanik özellikleriyle ilgili deney sonuçları

Çalışmada kullanılmış olan No.4 üstü iri ve No.4 altı ince agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri Karayolları Teknik Şartnamesine uygun olarak belirlenmiş olup özgül ağırlık ve su emme sonuçları Tablo 4.1 fiziksel ve mekanik özellikleri deney sonuçları ise Tablo 4.2’de sunulmuştur.

Tablo 4.1. İri ve İnce agregaya yapılan deneyler

Deney	Sonuç	Standart
İri agrega zahiri özgül ağırlığı (gr/cm^3)	2,730	ASTM C 127
İri agreganın hacim özgül ağırlığı (gr/cm^3)	2,696	ASTM C 127
İri agreganın su absorpsiyonu (%)	0,47	ASTM C 127
İnce agreganın zahiri özgül ağırlığı (gr/cm^3)	2,742	ASTM C 128
İnce agreganın hacim özgül ağırlığı (gr/cm^3)	2,700	ASTM C 128
İnce agreganın su absorpsiyonu (%)	0,57	ASTM C 128

Bilindiği gibi agregalar hafif, normal ve ağır agregalar olarak üç sınıfa ayrılırlar. Özgül ağırlığı $2,400 \text{ gr}/\text{cm}^3$ e kadar hafif, $2,400\text{-}2,800 \text{ gr}/\text{cm}^3$ arası normal ve $3,500 \text{ gr}/\text{cm}^3$ ağır agregalar olarak sınıflandırılmıştır. Genellikle karayolu tasarımında normal ağırlıkta agregalar tercih edilir. Elde edilen bulgular incelendiğinde çalışmada kullanılan agreganın normal agregalar olarak değerlendirilebileceği görülmektedir. Su emme deney sonuçlarında ise kullanılan agregalardan iri agreganın % 0.47 ve ince agreganın ise % 0.57 değerini aldığı görülmektedir. Bu değerlerin KTŞ de aşınma tabakasında kullanılacak agregalar için verilen üst limit olan % 2.0 nin oldukça altında kaldığı görülmüştür.

Tablo 4.2. Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri

Agrega Deneyleri	Sonuç	Şartname Değeri (KTŞ-2013) (Aşınma tabakası için)	Standart
Parçalanma Dayanımı Değeri, % Kayıp	24,9	≤ 27	TS EN 1097-2
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, %	2,1	16	TS EN 1097-1
Yassılık İndeksi, %	14,4	≤ 20	BS 812
Soyulma Mukavemeti, %	75	≥ 60	TS EN12697-11
Metilen mavisi, g/kg (ince agreganın 0/2 mm kısmına)	0,5	$\leq 1,5$	TS EN 933-9

4.2. Filler malzemelerin zahiri özgül ağırlıklarının belirlenmesi

Gerçekleştirilen ön deneylerde maksimum stabilite değerini veren optimum filler oranı %4.7 olarak belirlenmiştir. Olivin katkılı karışımlarda da %4.7 toplam filler oranı ile deneylere devam edilmiştir. Kırmataş tozu ve %0, %25, %50, %75, %100 oranlarında kırmataş tozu ile yer değiştirilen olivine ait özgül ağırlık değeri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Kullanılan filler malzemelerinin özgül ağırlık değerleri

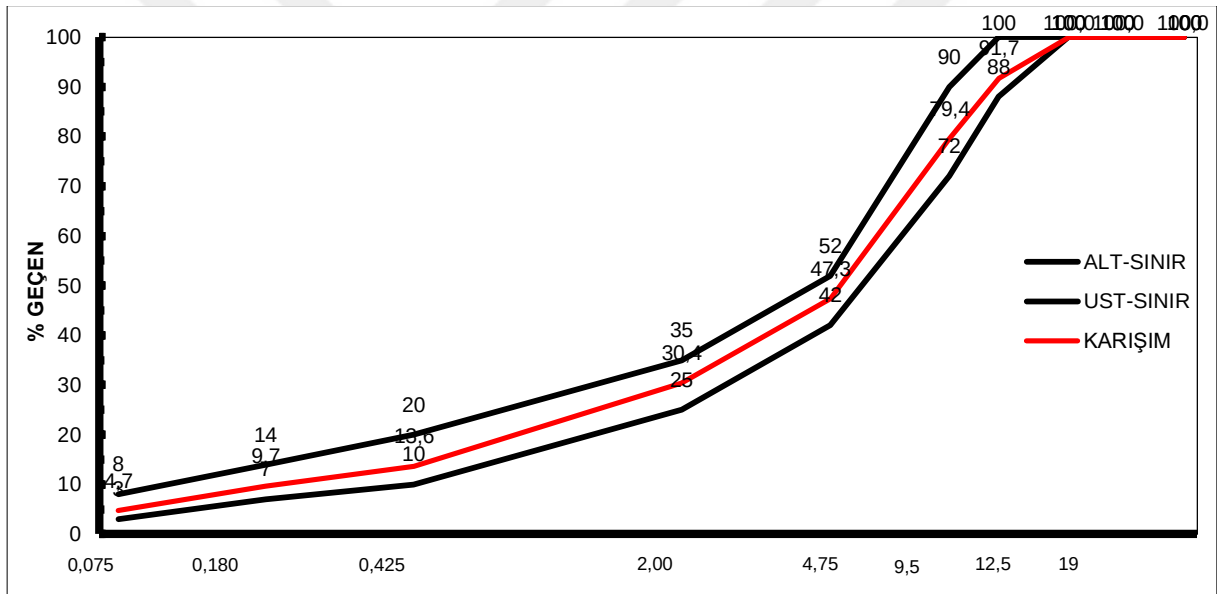
Filler Cinsi	Özgül Ağırlık Değeri (gr/cm ³)	Standart
Kırmataş filler (Taş tozu)	2,770	ASTM C 854
Olivin filleri	2,770	ASTM C 854

4.3. Kullanılan agregada gradasyonu

Deneyisel çalışmada kullanılmış olan agregada gradasyonu Karayolları Teknik Şartnamesi aşınma tip-1 limitine göre seçilmiştir. Kullanılan gradasyon değerleri Tablo 4.4 ve Şekil 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Çalışmada kullanılan agreganın gradasyonu

Elek Boyu (mm)	Aşınma Tip-1 (KTŞ-2013)	Karışım Gradasyonu
19 (3/4")	100	100
12,5 (1/2")	88-100	91,7
9,5 (3/8")	72-90	79,4
4,75 (No.4)	42-52	47,3
2,00 (No.10)	25-35	30,4
0,425 (No.40)	10-20	13,6
0,180 (No.80)	7-14	9,7
0,075 (No.200)	3-8	4,7



Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan agrega gradasyonu grafiği

Tabloda ve grafikte görüldüğü gibi referans karışım için kullanılan agreganın gradasyonu tüm elek setlerinde KTŞ'deki limitler arasında kalmıştır.

4.4. Asfalt çimentosu özgül ağırlık deneyi ve özellikleri

Batman rafinerisinden alınan ve Karayolları 5. Bölge Müdürlüğünden temin edilen 50-70 penetrasyon sınıfında, özgül ağırlığı 1,040 gr/cm³ olan bitüm kullanılmıştır. Tablo 4.5'de bitümün özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.5. 50/70 Penetrasyon sınıfındaki bitümün özellikleri

Deney Adı	Deney Sonucu	Şartname Değeri (KTŞ-2013)	Standart
Penetrasyon Deneyi, (25 °C) 0,1mm	55	50-70	TS EN 1426
Yumuşama Noktası, °C	50,5	46-54	TS EN 1427
Kalıcı Penetrasyon, %	52,7	≥50	TS EN 1426
Yumuşama Noktası Yükselmesi, °C	7,4	≤9	TS EN 1427
Parlama Noktası, °C	245	≥230	TS EN ISO 2592
Çözünürlük, %	99,5	≥99,0	TS EN 12592

Asfalt çimentosuna yapılan deneyler sonucunda bitümün, dizaynda kullanılabilirliğinin olduğu KTŞ 2013'ün belirlediği limit değerlere uygunluğuyla anlaşılmıştır.

4.5. Marshall briketi numunelerine uygulanan deneyler

Kırmataş filleri %0, %25, %50, %75, %100 oranlarında olivin ile yer değiştirilerek her oranda 3 adet biriket olmak üzere 15 adet Marshall biriketi elde edilmiştir. Elde edilen biriketlere Marshall stabilite ve akma deneyi yapılmış, briketlerin sudaki, havadaki ve yüzey kuru suya doymun ağırlıkları hesaplanarak stabilite – bitüm %, pratik özgül ağırlık – bitüm %, asfaltla dolu boşluk % - bitüm %, boşluk - bitüm % grafikleri çizilmiştir.

4.5.1. Optimum bitüm yüzdelerinin marshall yöntemi ile tespit edilmesi

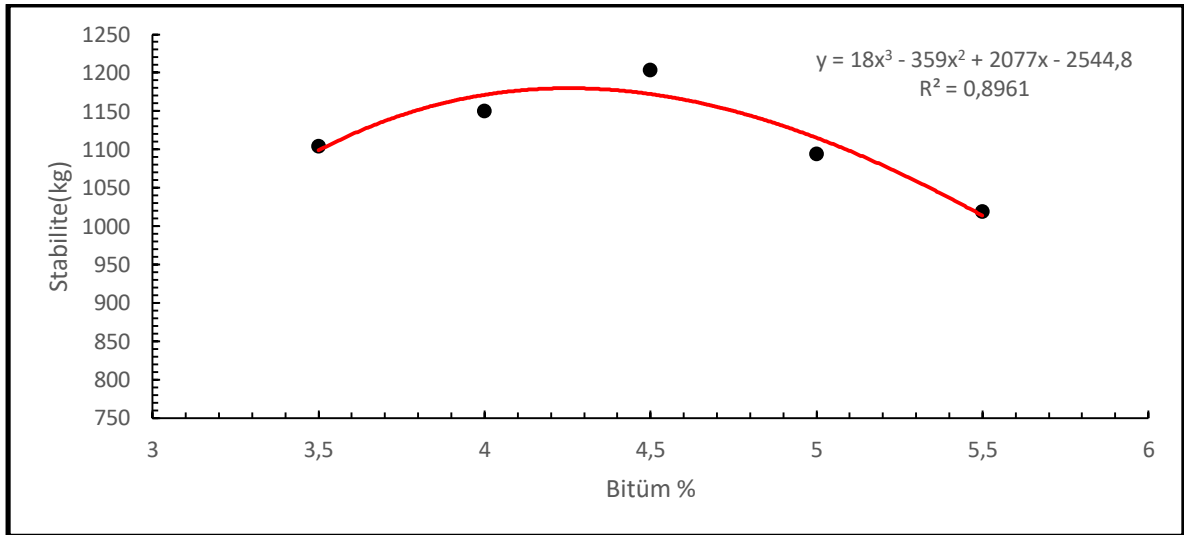
Agrega gradasyonu sabit tutulup %3,5- 4,0- 4,5- 5,0- 5,5 değerlerinde bitüm oranı kullanılarak numuneler hazırlanmış olup optimum bitüm yüzdesini belirlemek amacıyla stabilite, akma, pratik özgül ağırlık, boşluk yüzdesi, asfalt dolu boşluk yüzdesi ve agregalar arası boşluk yüzdesi grafikleri elde edilmiştir. Optimum bitüm yüzdesi tayin edilirken maksimum birim ağırlığa karşılık gelen bitüm yüzdesi %5.1 boşluk yüzdesi şartname sınırlarının ortalaması olan %4 e karşılık gelen bitüm yüzdesi %4.6, asfalt dolu boşluk yüzdesi %70 e denk gelen bitüm yüzdesi %4,5 ve maksimum stabilitesini veren bitüm yüzdesi %4.2 değerlerinin ortalaması alınarak optimum bitüm yüzdesi %4,6 olarak hesaplanmıştır. Marshall stabilite deney sonuçları EK-1 de sunulmuştur. Ayrıca asfalt betonu aşınma tabakası dizayn kriterleri Tablo 4.6 da verilmiştir.

Tablo 4.6. Marshall yöntemiyle aşınma tabakası dizayn kriterleri [40]

Özellikler	Aşınma Tip-1		Deney Standardı
	min	max	
Briket yapımında uygulanacak darbe sayısı	75		TS EN 12697-30
Marshall Stabilitesi (kg)	900	-	TS EN 12697-34
Boşluk %	3	5	TS EN 12697-8
Asfaltla dolu boşluk %	65	75	TS EN 12697-8
Agregalar arası boşluk, (VMA) %	14	16	TS EN 12697-8
Akma (mm)	2	4	TS EN 12697-34
Filler/bitüm oranı	-	1,5	TS EN 12697-30
Bitüm (ağırlıkça, 100'e)	4,0	7,0	TS EN 12697-1

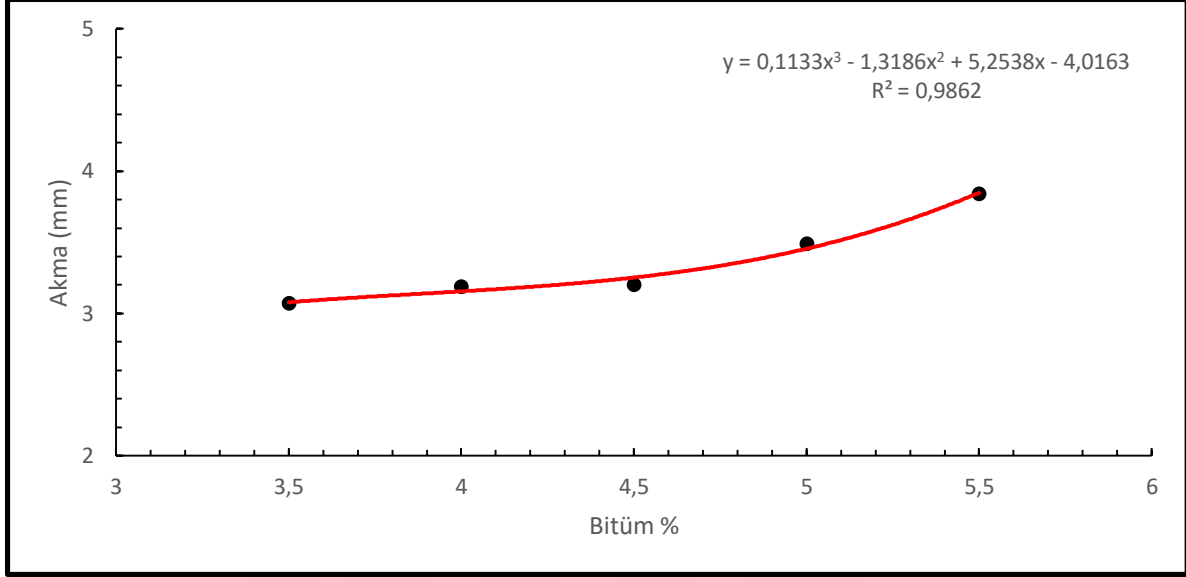
4.5.1.1. Kırmataş tozunun filler olarak kullanıldığı numunelere ait grafikler

Kırmataş tozu ile yapılan Marshall stabilite sonuçlarına göre yatay eksen de değişen bitüm oranının yer aldığı, düşey eksen de ise stabilite, akma, pratik özgül ağırlık, asfalt dolu boşluk yüzdesi, boşluk yüzdesi ve agregalar arası boşluk yüzdesi (VMA) değerlerinin değişiminin verildiği Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 aşağıda görülmektedir.



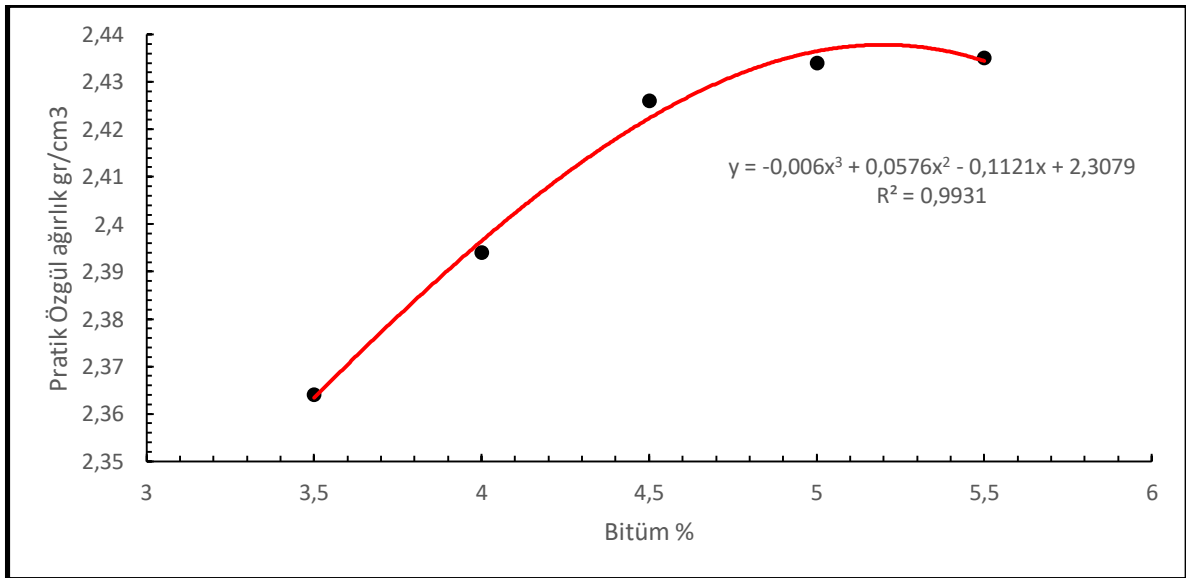
Şekil 4.2. Kırmataş tozu kullanılan biriketlerin Marshall stabilitesinin bitüm yüzdesi ile değişimi

Şekil 4.2 de ki grafikte görüldüğü gibi stabilite değeri bitüm yüzdesi arttıkça bir noktaya kadar artmış fakat daha sonra azalmıştır.



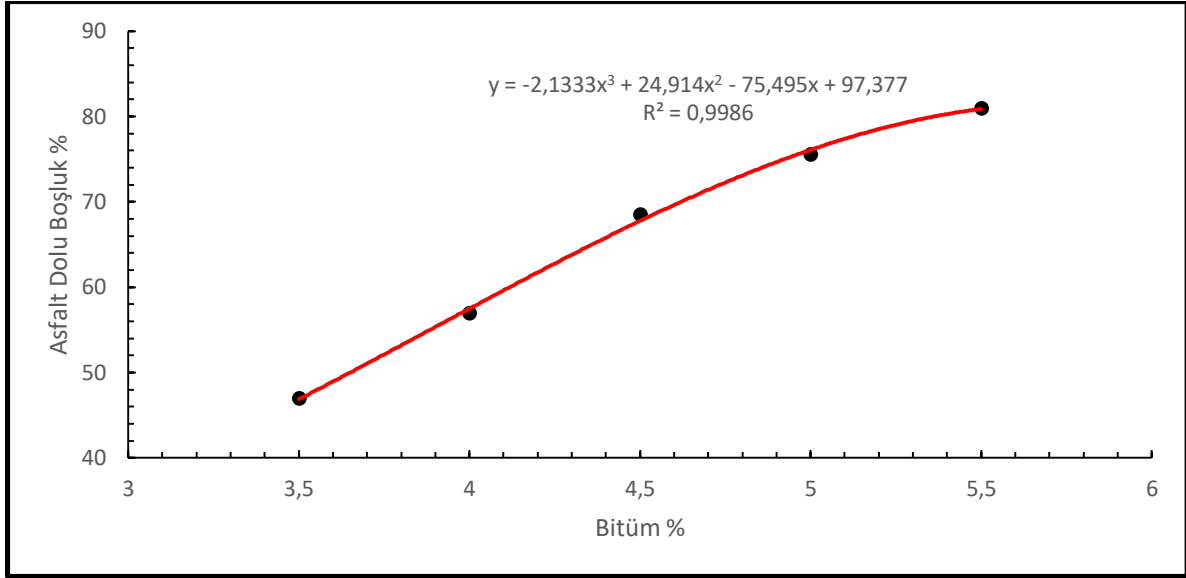
Şekil 4.3. Kırmataş tozu kullanılan biriketlerin akma değerinin bitüm yüzdesi ile değişimi

Bitüm yüzdesinin artması akma değerini arttırmıştır. Fakat deney yapılan bütün briketlerde akma değeri aşınma tabakası limit değerleri (2- 4mm) arasında kalmıştır.



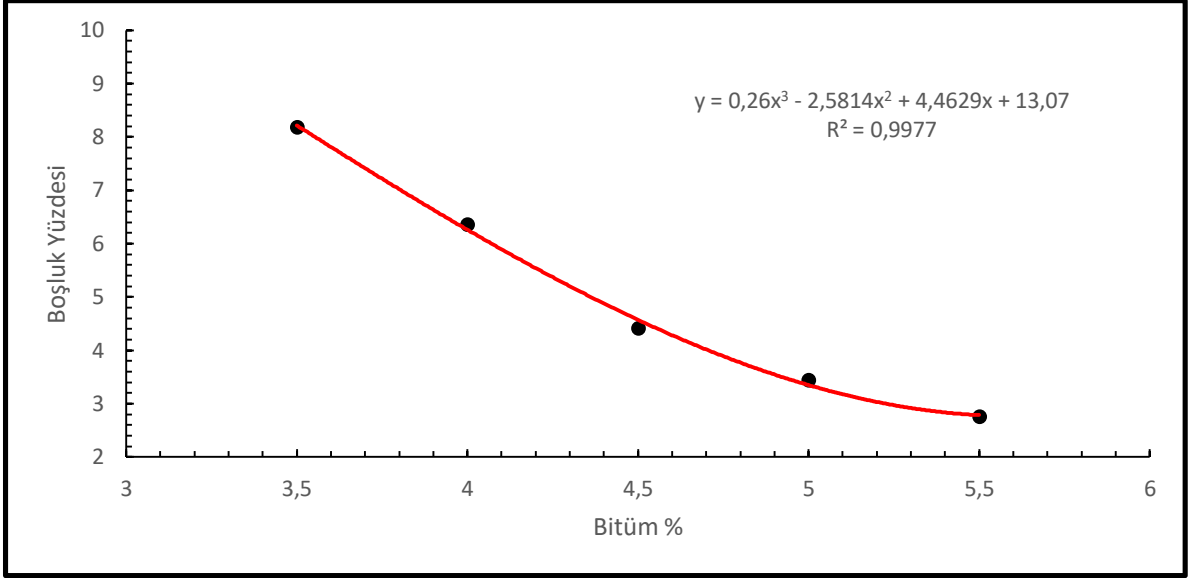
Şekil 4.4. Kırmataş tozu kullanılan biriketlerin pratik özgül ağırlık değerinin bitüm yüzdesi ile değişimi

Şekil 4.4 de görüldüğü üzere pratik özgül ağırlık değeri bitüm miktarının artmasıyla artmıştır. Maksimum birim ağırlık bitüm yüzdesinin %5,1 olduğu yerde elde edilmiş daha sonra pratik özgül ağırlık değeri düşüş göstermiştir.



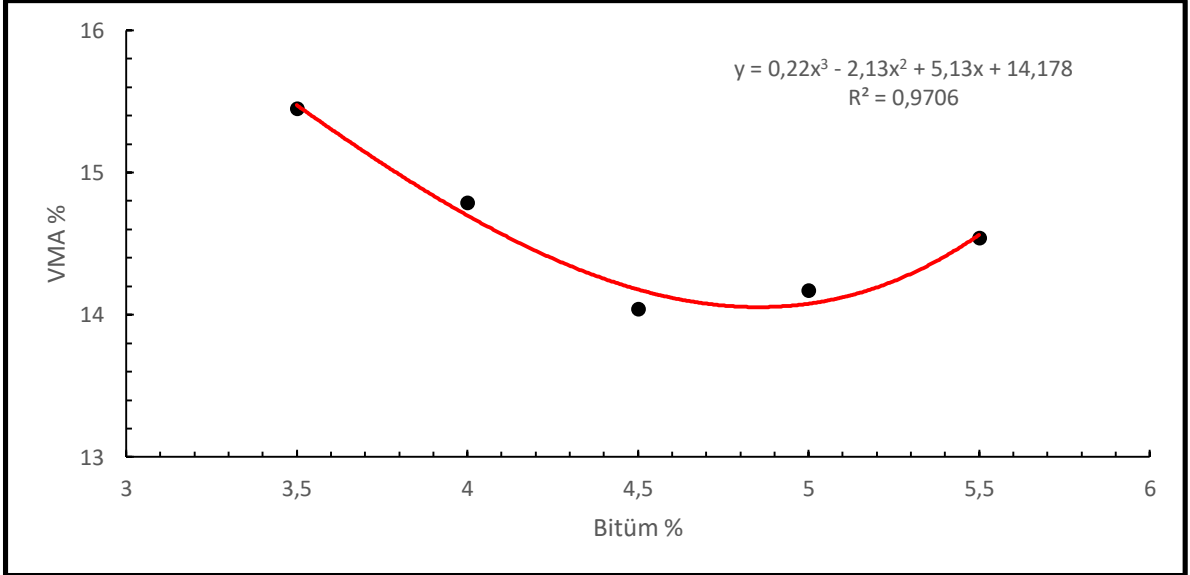
Şekil 4.5. Kırmataş tozu kullanılan biriketlerin asfalt dolu boşluk yüzdesi değerinin bitüm yüzdesi ile değişimi

%3,5- 4,0- 4,5- 5,0- 5,5 değerlerinde bitüm oranı kullanılarak elde edilen briketlerin asfalt dolu boşluk yüzdesi değerinin sürekli olarak arttığı gözlenmiştir. Ancak alt sınır olan % 65 değerine % 4,2 bitüm yüzdesinde ulaşmış, üst sınır olan %75 A.D.B değerini ise % 5,0 lik bitümden sonra geçmiştir.



Şekil 4.6. Kırmataş boşluk yüzdesi değerinin bitüm yüzdesi ile değişimi

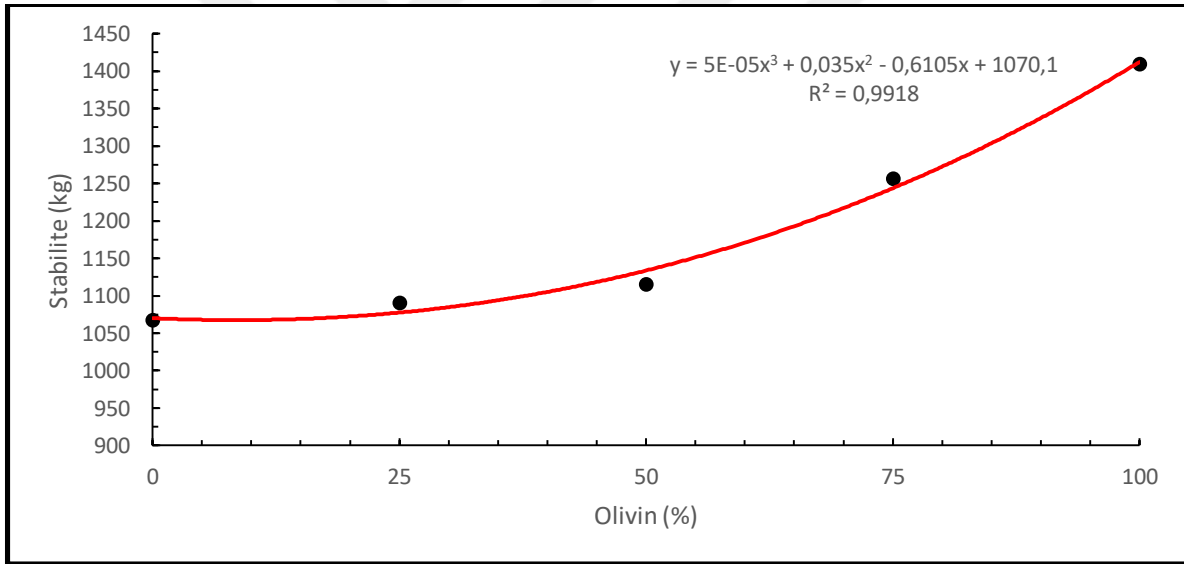
Aşınma Tip-1 gradasyon kullanılarak yapılan asfalt betonlarında bir diğer faktör boşluk yüzdesi değeri olmakla birlikte, % 4 olarak alınan boşluk yüzdesi değeri asfalt betonunda istenen boşluk yüzdesidir. Grafikte de görüldüğü gibi % 4'e karşılık gelen bitüm yüzdesi % 4.6 dır.



Şekil 4.7. Kırmataş tozu kullanılan briketlerin VMA değerinin bitüm yüzdesi ile değişimi

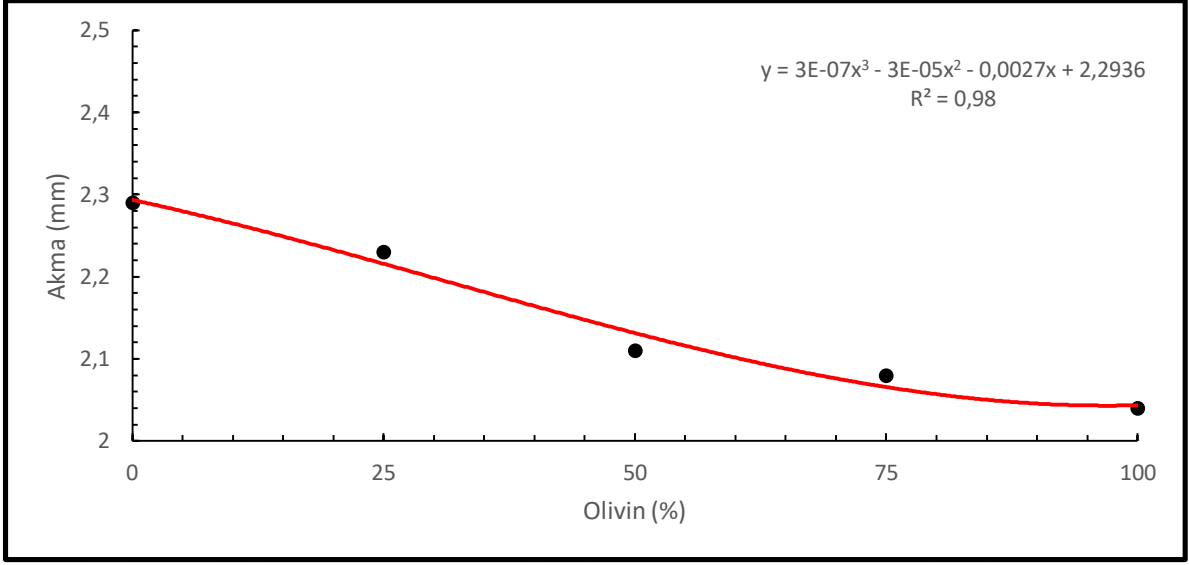
4.5.1.2. Kırmataş filler ile farklı oranlarda yerdeğiştirilen olivinin kullanıldığı numunelere ait grafikler

Optimum bitüm yüzdesi, filler olarak % 4.7 kırmataş tozu içeren referans karışımlarda belirlendikten sonra filler yerine olivin ikamesinin stabilite, akma, pratik özgül ağırlık (D_p), agregalar arası boşluk (VMA), boşluk yüzdesi (V_h) ve asfalt dolu boşluk (ADB) değerlerini nasıl etkilediğini belirlemek amacıyla fillere ağırlıkça %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında olivin ikame edilerek marshall briketleri hazırlanmıştır. Olivin ikame oranına bağlı olarak asfalt betonunun mühendislik özelliklerindeki değişimler %olivin fillere göre stabilite değişim grafiği Şekil 4.8, %olivin fillere göre akma değişim grafiği Şekil 4.9, % olivin fillere göre pratik özgül ağırlık değişim grafiği Şekil 4.10, % olivin fillere göre % (VMA) değişim grafiği Şekil 4.11, % olivin fillere göre boşluk yüzdesi (V_h) değişim grafiği Şekil 4.12 ve % olivin fillere göre asfalt dolu boşluk (ADB) değişim grafiği Şekil 4.13’de verilmiştir.



Şekil 4.8. % Olivin fillere göre stabilite değişim grafiği

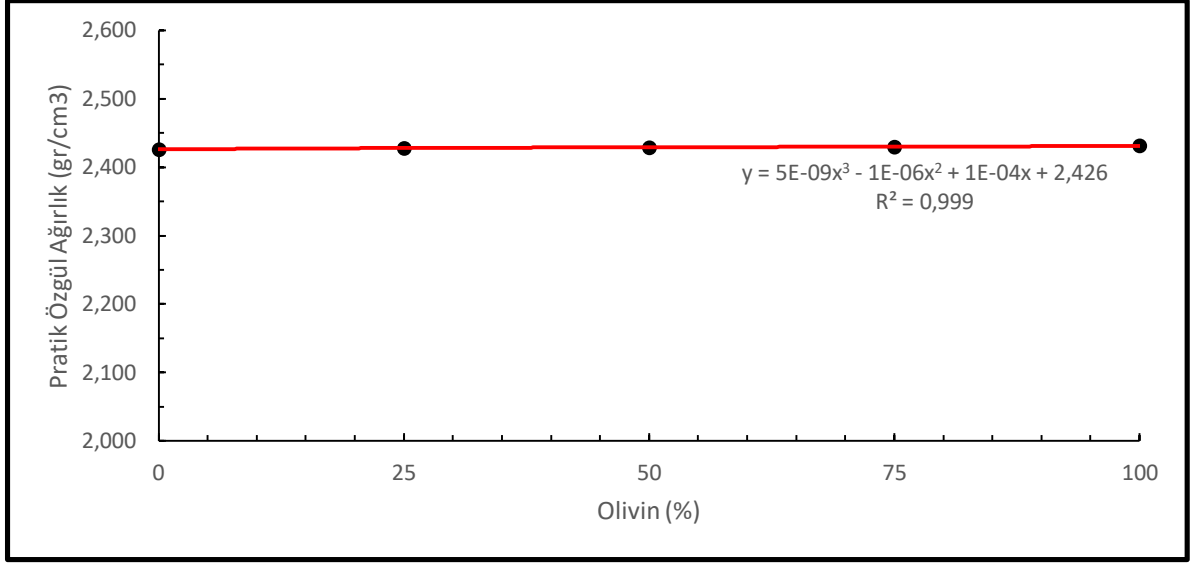
Şekil 4.8’deki stabilite değerlerine göre referans karışımında 1067 kg olan stabilite %0, %25, %50, %75 ve %100 olivin ikame oranlarında referansa göre sırasıyla %2.2, %4,5, %17 ve %32 oranlarında bir artış göstererek 1090kg, 1115kg, 1256 kg ve 1409 kg değerlerini almıştır. Bu artışlar dikkate alındığında olivin ikamesinin marshall stabilite değerlerini önemli derecede arttırdığı görülmektedir.



Şekil 4.9. % Olivin filler oranına göre akma grafiği

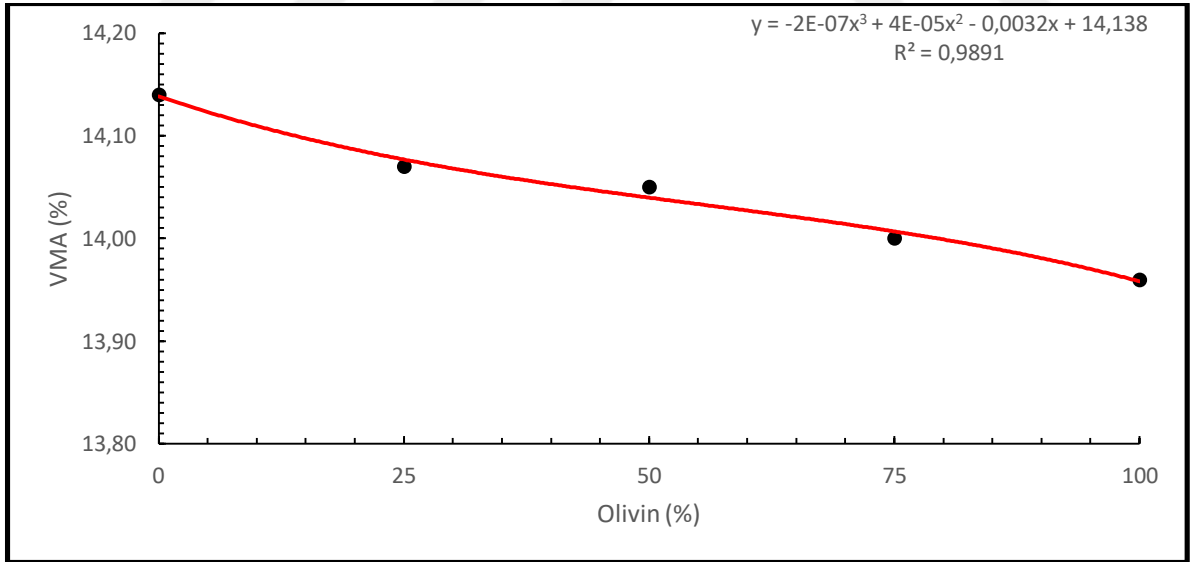
Şekil 4.9 deki akma sonuçları incelendiğinde olivin ikamesiyle akma davranışının ters orantılı olduğu görülmektedir. Olivin ikame miktarı %100 e çıkartıldığında bitümlü sıcak karışımın akma değeri 2.04 mm ye kadar düştüğü görülmüştür.

Elde edilen bu deneysel bulgular olivin ikamesinin akma değerlerinde %11'lere varan azalma ile asfalt betonunu daha gevrek bir malzeme formuna dönüştürdüğü görülmektedir. Buradaki sonuçlara göre tüm değerler KTŞ de belirtilen sınırlar arasında (2-4 mm) arasında kalmıştır. Burada dikkat çekici olan, fillerin tamamen olivin olarak kullanılması akma değerini KTŞ alt sınır değerine yaklaştırmıştır.



Şekil 4.10. % Olivin fillere göre pratik özgül ağırlık grafiği

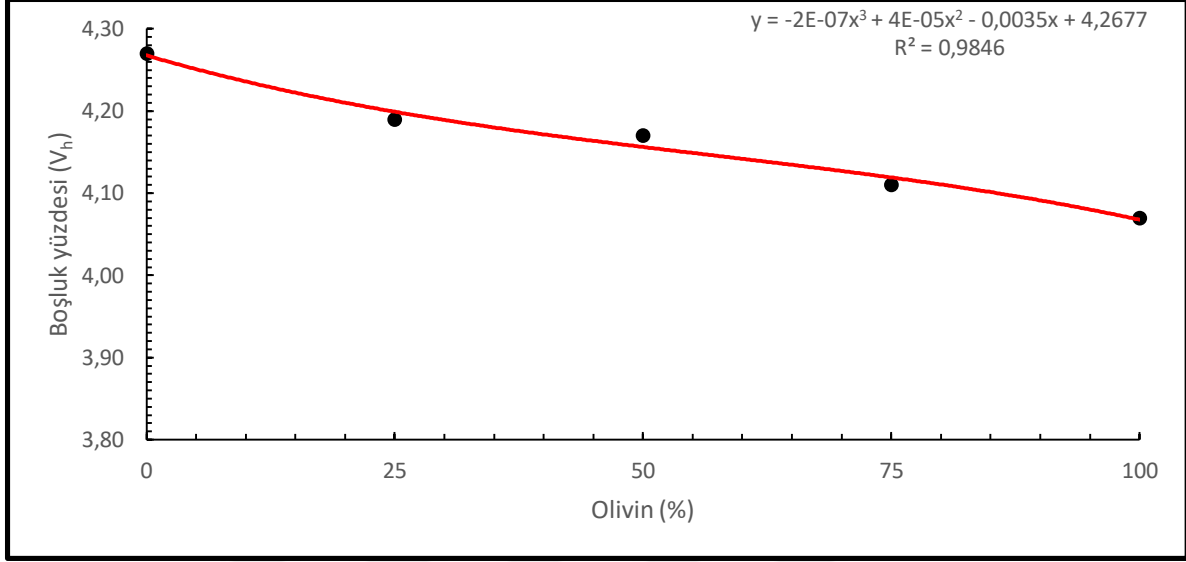
Olivin ikamesinin pratik özgül ağırlık değeri üzerindeki etkisi incelendiğinde, olivin ikameli tüm numuneler ile referans numune arasında anlamlı bir farkın oluşmadığı görülmektedir. Bu da olivin ve kırmataş tozunun özgül ağırlıklarının aynı olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.11. % Olivin filler oranına göre VMA değeri grafiği

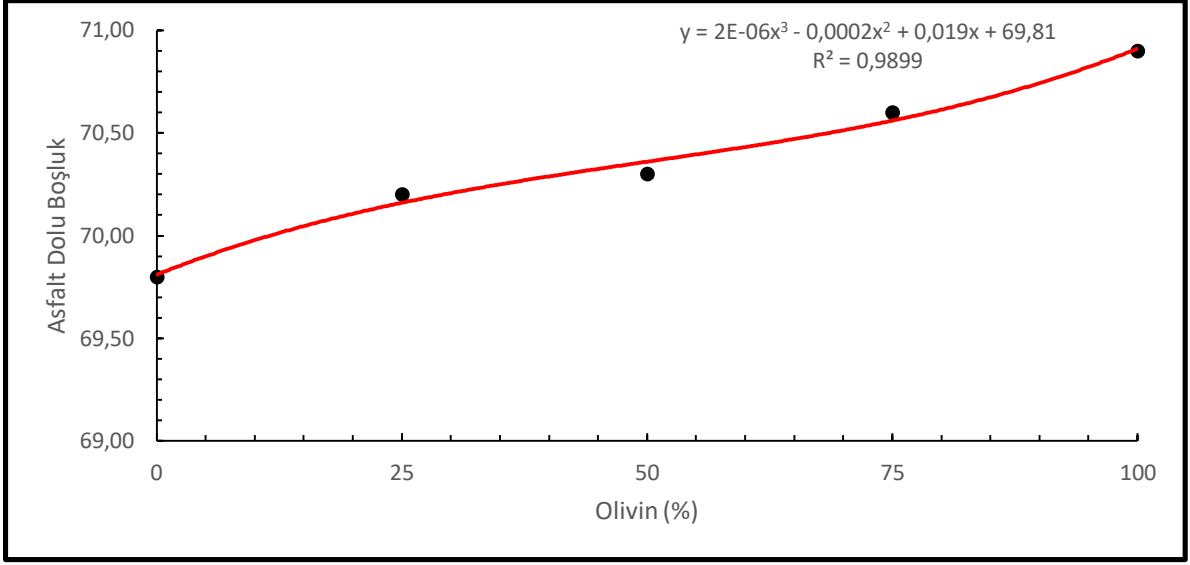
Asfalt karışımlarda agreg a etrafındaki bitümle kaplı hacim ile boşluk hacminin toplamı bize agregalar arası boşluk hacmi olan (VMA) değeri verir [41]. Agregaların bitüme daha iyi kenetlenmesi sonucu durabilite olumlu etkilenmekte ve bu durum agregalar arası boşluk

değerinin önemini ortaya koymaktadır [42]. Şekil 4.11’deki VMA (%) değerlerine bakıldığında agregalar arası boşluk yüzdesi değerleri olivin ikame yüzdesi arttıkça azalmaktadır.



Şekil 4.12. % Olivin filler oranına göre boşluk yüzdesi değeri grafiği

Uygun hava boşluğu yüzdesi, sıcak asfalt kaplamaların tekrarlı yüklere maruz kaldığı durumlarda sıkışmanın sağlanabilmesi için önemli bir faktördür. Boşluk yüzdesinin eksik olması, sıcaklığın yükselmesi durumunda, asfalt betonunda kusmalara ve stabilite kaybına neden olur. Şekil 4.12 de görüldüğü üzere artan olivin ikamesi yüzdelerinde boşluk yüzdesi (V_h) değerinin azaldığı gözlenmiş olsada sonuçlar KTŞ limit değerleri içerisinde kalmaktadır. Ayrıca olivin ikamesi, boşluk yüzdesinin azalması, birim ağırlığın artmasına ve geçirimsizliğin azalmasına neden olacağından asfalt betonunda kaydadeğer iyileşmelere sebep olacağı görülmektedir. Buna ek olarak olivin ikameli asfalt betonlarının sertleşme ve sökölme problemlerini azaltacağı da söylenebilir. Buradaki en önemli bulgu ise olivin ikameli asfalt betonlarının boşluk yüzdesinin KTŞ’de tanımlanan %2-4 aralığında kalmasıdır.



Şekil 4.13. % Olivin filler oranına göre asfalt dolu boşluk yüzdesi değeri grafiği

Bu çalışmada kırmataş tozu filleri yerine %0, %25, %50, %75 ve %100 olivin ikamesi yapılmış ve asfalt dolu boşluk oranlarının sırasıyla %69.8, %70.2, %70.3, %70.6, %70.9 değerlerini aldığı gözlenmiştir. Olivin ikamesine bağlı olarak asfalt dolu boşluk oranındaki artışlar durabilite açısından yorumlanacak olursa, olivin ikamesi ve buna bağlı asfalt dolu boşluk oranının artması asfalt film kalınlığının artmasına neden olmakla birlikte, asfaltın hava boşluğunun azalmasına ve özellikle sıcak havalarda kusmasına sebep olacaktır. Asfalt film tabakasının gereğinden fazla kalın olmasına bağlı olarak da stabilite değerinin düşme ihtimali bulunmakta ve kaplama tabakasında plastik deformasyonların gözlenmesi riski ortaya çıkmaktadır. Ayrıca olivin ikamesine bağlı olarak ortaya çıkan bu artışlar asfalt film kalınlığını arttırabileceği için tekerlek izinde oturma vb. deformasyonların oluşma riski mutlaka göz önünde bulundurulmalı ve bu konuda deneysel çalışmalar yapılmalıdır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen bulgulara göre ulaşılan sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Stabilite değerlerine göre referans karışımda 1067 kg olan stabilite %0, %25, %50, %75 ve %100 olivin ikame oranlarında referansa göre sırasıyla %2.2, %4.5, %17 ve %32 oranlarında bir artış göstererek 1090kg, 1115kg, 1256 kg ve 1409 kg değerlerini almıştır. Bu artışlar dikkate alındığında olivin ikamesinin marshall stabilite değerlerini önemli derecede arttırdığı görülmüştür.
- Akma sonuçları incelendiğinde ise olivin ikamesiyle akma davranışının ters orantılı olduğu görülmüştür. Olivin ikame miktarı %100'e çıkartıldığında bitümlü sıcak karışımın akma değeri 2.04 mm ye kadar düştüğü görülmüştür. Ancak bütün sonuçlarda akma değeri şartname limitleri içerisinde kalmıştır.
- Olivin ikamesinin pratik özgül ağırlık değeri üzerindeki etkisi incelendiğinde, olivin ikameli tüm numuneler ile referans numune arasında anlamlı bir farkın oluşmadığı görülmüştür. Bu da olivin ve kırmataş tozunun özgül ağırlıklarının aynı olmasından kaynaklanmıştır.
- Agregalar arası boşluk (VMA) değerlerine bakıldığında tıpkı akma değerindeki gibi ters orantılı olarak olivin ikame yüzdesi arttıkça VMA değeri azalmıştır. Sonuçlar bütün briketlerde şartnamede istenen değer olan 14-16 arasındadır.
- Kırmataş tozu filleri yerine %0, %25, %50, %75 ve %100 olivin ikamesi yapılmış ve asfalt dolu boşluk oranlarının sırasıyla %69.8, %70.2, %70.3, %70.6, %70.9 değerlerini aldığı gözlenmiştir.
- Bu çalışmada, asfalt betonunda filler yüzdesi daha önce yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sabit filler yüzdesi % 4.7 olarak alındı. Atık olivin geleneksel kırmataş filler ile yer değiştirilerek çalışma tamamlandı. Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda asfalt betonunda optimum atık olivin filleri tespit edildikten sonra, geleneksel kırmataş tozu yerine atık olivin filleri ikame edilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Karaşahin, M., (1993). Resilient Behavior of Granular Materials of Analysis of Highway Pavements. Department of Civil Engineering University of Nottingham. PhD Thesis, 312p, England.
- [2] Umar, F., Ağar, E., (1991). Yol Üstyapısı İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, 339s. İstanbul.
- [3] Saltan, M., Fındık, S., (2005). Geniş tabanlı ve çift tekerlekli ağır taşıtların karayolu esnek üstyapıları üzerindeki etkilerinin incelenmesi. Antalya yöresinin inşaat mühendisliği sorunları kongresi, Cilt 2, 429-438.
- [4] Avcı, E., (2009). Sıcak iklimli bölgelerde kullanılan asfalt betonu karışım değişkenlerinin kaplama tabakası performansına etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi.
- [5] Arık, A. (1998). Balıkesir ili çevresindeki karayollarında esnek üstyapı bozulmalarının araştırılması üzerine bir çalışma (Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [6] Susa, J.B., Craus, J. & Monismith, C.L. (1991) “Summary Report on Plastic Deformation in Asphalt Concrete”, SHRP-A/IR-91-104, SHRP National Research Council, Washington.
- [7] Das, A. K., & Singh, D. Evaluation of fatigue performance of asphalt mastics composed of nano hydrated lime filler. Construction and Building Materials, 269, 121322.
- [8] Islam, S. S., Ransinchung, G. D., & Choudhary, J. (2020). Analyzing the effect of waste jarosite as an alternative filler on the engineering properties of asphalt mixes. Construction and Building Materials, 121466.
- [9] Yıldız, K., & Atakan, M. (2020). Improving microwave healing characteristic of asphalt concrete by using fly ash as a filler. Construction and Building Materials, 262, 120448.
- [10] Taherkhani, H., & Kamsari, S. V. (2020). Evaluating the properties of zinc production wastes as filler and their effects on asphalt mastic. Construction and Building Materials, 265, 120748.
- [11] Dulaimi, A., Shanbara, H. K., Jafer, H., & Sadique, M. (2020). An evaluation of the performance of hot mix asphalt containing calcium carbide residue as a filler. Construction and Building Materials, 261, 119918.

- [12] Ahmedzade, P., Alataş, T., & Geçkil, T. (2008). Asfalt Betonunda Siyah Karbonun Filler Olarak Kullanımı. *Teknik Dergi*, 19(94), 4493-4507.
- [13] Üstünkol, F. N., & Turabi, A. (2010). Endüstriyel atık filler malzemelerin kullanılabilirliğinin araştırılması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1), 3-18.
- [14] Deniz, M. T., Sönmez, İ., Yıldırım, S. A., & Eren, B. K. (2005). Kullanılmış otomobil lastiklerinin bitümlü sıcak karışım performansına etkisi, 6. Ulaştırma Kongresi, İstanbul, 349.
- [15] Akbulut, H., & Gürer, C. (2006). Atık mermerlerin asfalt kaplamalarda agrega olarak değerlendirilmesi. *Teknik Dergi*, 17(84), 3943-3960.
- [16] Elmacı, A. (2011). Asfalt Betonunda Granit Arıtma Çamurunun Filler Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması (Master's Thesis).
- [17] Yılmaz, M., Kuloğlu, N., & Kök, B. V. (2012). Asfaltitin bitüm ve bitümlü sıcak karışımların mekanik özelliklerine etkisi.
- [18] Modarres, A., & Rahmanzadeh, M. (2014). Application of coal waste powder as filler in hot mix asphalt. *Construction and Building Materials*, 66, 476-483.
- [19] Ahmed, H. Y., Othman, A. M., & Mahmoud, A. A. (2006). Effect of using waste cement dust as a mineral filler on the mechanical properties of hot mix asphalt. *Ass. Univ. Bull. Environ. Res*, 9(1), 51-60.
- [20] Sargın, Ş., Saltan, M., Morova, N., Serin, S., & Terzi, S. (2013). Evaluation of rice husk ash as filler in hot mix asphalt concrete. *Construction and Building Materials*, 48, 390-397.
- [21] Nciri, N., Shin, T., Lee, H., & Cho, N. (2018). Potential of waste oyster shells as a novel biofiller for hot-mix asphalt. *Applied Sciences*, 8(3), 415.
- [22] Shamsaei, M., Khafajeh, R., Tehrani, H. G., & Aghayan, I. (2020). Experimental evaluation of ceramic waste as filler in hot mix asphalt. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22(2), 535-543.
- [23] Sangiorgi, C., Tataranni, P., Simone, A., Vignali, V., Lantieri, C., & Dondi, G. (2014). Waste bleaching clays as fillers in hot bituminous mixtures. *Construction and Building Materials*, 73, 320-325.
- [24] Sancak, E., & Çoban, Ö. (2015). Olivin Atıklarının Betonda Kullanımının Betonarme Donatısının Korozyon Özelliklerine Etkisi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 2(4), 26-41.
- [25] Yılmaz, A., & Süttaş, İ. (2005) Ferrokrom Cürufu Kullanılarak Hazırlanan Asfalt Betonu Numunelerinin Mühendislik Özellikleri.

- [26] Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 2 : Parçalanma direncinin tayini için metotlar, TS EN 1097-2
- [27] Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler bölüm 2: Magnezyum sülfat deneyi, TS EN 1367-2
- [28] BS 812-110 (1990). Testing Aggregates. Method for determination of aggregate crushing value. British Standards Institution.
- [29] Bitümlü karışımlar - Deney metotları - Sıcak karışimli asfalt için - Bölüm 11: Agrega ve bitüm arasındaki bağlanmanın tayini, TS EN 12697-11
- [30] ASTM C127-15, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org
- [31] ASTM C128-15, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org
- [32] ASTM D854-02, Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2002, www.astm.org
- [33] Agregaların geometrik özellikleri için deneyler- Bölüm 9: İnce tanelerin tayini- Metilen mavisi deneyi, TS EN 933-9
- [34] Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-İğne batma derinliği tayini, TS EN 1426
- [35] Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-Yumuşama noktası tayini-Halka ve bilye yöntemi, TS EN 1427
- [36] Bitümler ve bitümlü bağlayıcılar-Sıcaklık ve havanın etkisiyle sertleşmeye karşı direncin tayini-Bölüm 1:Rtfort (etüvde hareket halinde ince film deneyi) yönetimi, TS EN 12607-1
- [37] Petrol ürünleri-Parlama ve yanma noktası tayini-Cleveland açık kap metodu, TS EN ISO 2592
- [38] Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-Çözünürlük tayini, TS EN 12592
- [39] Bitümlü maddelerde özgül ağırlık tayini (hidrometre, piknometre ve su içinde tartma metotları ile), TS 1087
- [40] Karayolu Teknik Şartnamesi. (2013). Ankara, Karayolları Genel Müdürlüğü.
- [41] Çetin, S. (2007). Afyonkarahisar Bölgesi Volkanik Kayaçların Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalarında Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, A.K.Ü., Afyon.