



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKER BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FINDIK KABUĞU KÜLÜ VE YÜKSEK KARBONLU FERROKROM
ÜRETİM FIRINLARINDA ORTAYA ÇIKAN BACA KÜLÜNÜN
ASFALT BETONUNDA FİLLER OLARAK KULLANIMI

HÜSEYİN GÜNDOĞAN
YÜKSEK LİSANS



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKEŞ BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FINDIK KABUĞU KÜLÜ VE YÜKSEK KARBONLU FERROKROM
ÜRETİM FIRINLARINDA ORTAYA ÇIKAN BACA KÜLÜNÜN
ASFALT BETONUNDA FİLLER OLARAK KULLANIMI

HÜSEYİN GÜNDOĞAN
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]

Hüseyin GÜNDOĞAN

ÖZET

FINDIK KABUĞU KÜLÜ VE YÜKSEK KARBONLU FERROKROM ÜRETİM FIRINLARINDA ORTAYA ÇIKAN BACA KÜLÜNÜN ASFALT BETONUNDA FİLLER OLARAK KULLANIMI

Hüseyin GÜNDOĞAN

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU

Ocak 2021, 64 sayfa

Doğadan elde edilen kaynakları daha verimli ve uzun süreli kullanmak ve bu kaynaklara alternatif malzemeler bulmak birçok araştırmanın temel konusu olmuştur. Sınırlı olan kaynakların uzun süreli olarak değerlendirilmesi ve geri dönüştürülerek tekrar kullanılması bu kaynakların daha efektif kullanılmasını sağlayacaktır. Atıkların bu doğal kaynakların yerine alternatif olarak kullanılması atık değerlendirilmesi ile birlikte enerji tasarrufu da sağlayarak ekonomik fayda sağlayacaktır.

Bu çalışmada, yanmış fındık kabuğu külü (FKK) ve Eti Krom tesislerinde kromit cevheri zenginleştirilmesi sırasında ortaya çıkan atık geri kazan (AGK) külü malzemelerinin esnek üst yapı kaplamalarında filler materyali olarak uygunluğu araştırılmış ve kalker filleri ile kıyaslaması yapılmıştır. Tez üç faktörlü deneylerden oluşmaktadır. Birinci aşamada kırmataş kalker filleri ile sabit filler oranı kullanılmış (%4.7) ve ideal asfalt çimentosu yüzdesi Marshall stabilite deneyleri ile belirlenmiştir (%4.6). İkinci ve üçüncü aşamalarda ise kalker filler malzemesini farklı oranlarda FKK ve AGK ile karıştırarak (%25-75, %50-50, %25-75, %100) oluşturulan deney numunelerine stabilite, pratik özgül ağırlık, asfalt dolu boşluk oranı, boşluk yüzdesi değişimi, akma değişimi ve agregalar arası boşluk değişimi deneyleri uygulanmış ve sonuçları karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Sonuç olarak, FKK agrega yüzeyini kapladığı için bitüm-agrega birleşmesini etkilemiş ve durabiliteyi azaltarak soyulma oluşumuna neden olmuştur. AGK kullanılan numunelerin stabilite değerlerinin arttığı boşluk oranlarının azaldığı gözlemlenmiş ve FKK külüne göre daha iyi bir alternatif olacağı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Fındık kabuğu külü, Atık geri kazan külü, Filler, Marshall Stabilite Deneyi, Aşınma Tabakası, Yol Üstyapı Kaplaması

ABSTRACT

THE USE OF HAZELNUT SHELL ASH AND CHIMNEY ASH RELEASED IN HIGH CARBON FERROCHROME PRODUCTION FURNACES AS FILLERS IN ASPHALT CONCRETE

Huseyin GUNDOGAN

M.Sc., Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet BEYCIOĞLU

January 2021, 64 pages

Using the resources obtained from nature more efficiently and for a long time and finding alternative materials to these resources have been the main subject of many studies. Long-term utilization of limited resources and their recycling and reuse will ensure that these resources are used more effectively. Using wastes as an alternative to these natural resources will provide economic benefits by providing energy savings along with waste utilization.

In this study, the usability of burned hazelnut shell ash (FKK) and waste reclaim (AGK) ash materials generated during the enrichment of chromite ore in Eti Krom plants as filler material in flexible superstructure coatings were investigated and compared with limestone fillers. The thesis consists of three stages of experiments. In the first stage, crushed limestone fillers and fixed fillers were used (4.7%) and optimum bitumen percentage was determined by Marshall stability tests (4.6%). In the second and third stages, the stability, practical specific gravity, asphalt-filled void ratio, void percentage were added to the test samples created by mixing the limestone filler material with FKK and AGK in different proportions (25-75%, 50-50%, 25-75%, 100%). Change, yield change and inter-aggregate space change tests were applied and the results were compared and interpreted.

As a result, FKK affected the interaction of bitumen-aggregate as it covered the aggregate surface and caused peeling by reducing the durability. It was observed that the stability values using AGK increased, the vacancy rates decreased and a better alternative to FKK ash was prepared.

Keywords:

Hazelnut shell ash, Waste recovery ash, Filler, Marshall Stability Test, Wearing Course, Road Pavement Coating



Sevgili Eşime ve Aileme

TEŞEKKÜR

Tez çalışması boyunca beni destekleyerek yüreklendiren ve yönlendiren, karşılaştığım zorlukları aşmamda bilgi, tecrübe ve öğütleriyle yardımcı olarak desteklerini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Ahmet BEYCİOĞLU'na (Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü) teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışması boyunca bilgi, tecrübe ve görüşleri ile çok değerli katkılarda bulunan saygıdeğer Doç. Dr. Nihat MOROVA'ya (Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü), saygıdeğer Dr. Öğr. Üyesi Suna ÇETİN'e (Çukurova Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Bölümü), tez çalışmasındaki deney malzemesinin temininde yardımcı olan saygıdeğer Dr. Öğr. Üyesi Yasemin BARAN'a (Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü), tezin hazırlanma sürecinde destek olan araştırma görevlisi Merve ÇETİN'e, tez çalışmasındaki deneyleri yapmam için Karayolları 5. Bölge laboratuvarlarını kullanmamı sağlayan ve destek olan Ar-Ge Başmühendisi Ergün YALÇIN'a, deneylerin yapımı sırasında ve sonrasına yardımcı olan ve desteğini esirgemeyen Yüksek İnşaat Mühendisi Murat CANPOLAT'a sahadaki sorunlar hakkında fikir ve bilgi veren deneylerde yardımcı olan Mehtap TEPE'ye ve Karayolları 5. Bölge Müdürlüğü Ar-Ge bitüm laboratuvarı çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan, yüksek lisans eğitimim boyunca büyük bir sabır ve anlayış ile desteklerini hiç eksik etmeyen babam Ali Gündoğan, annem Habibe Gündoğan, kardeşlerim Elif, Sümeyye, Beyza Nur ve Musa Gündoğan'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu stresli ve zorlu süreçte desteğini ve anlayışını hiç eksik etmeyen sevgili eşim Handan Gündoğan'a sonsuz sevgi, saygı ve şükranlarımı sunarım.

HÜSEYİN GÜNDOĞAN

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xii
KISALTMALAR.....	iii
1. GİRİŞ	3
2. KARAYOLU ÜSTYAPI TANIMI.....	4
2.1. Karayolu Esnek Üstyapı Tanımı	4
2.2. Esnek Üstyapılarda Görülen Problemler	5
2.2.1. Çatlak Oluşumu	5
2.2.2. Soyulma Oluşumu	6
2.2.3. Tekerlek İzi Oluşumu (Kalıcı Deformasyon).....	7
2.3. Bitümlü Sıcak Karışımların Özellikleri.....	8
2.3.1. Geçirimsizlik	9
2.3.2. Stabilité.....	9
2.3.3. Durabilite.....	9
2.3.4. Esneklik.....	10
2.3.5. Kayma Direnci	10
2.3.6. Yorulma Direnci.....	10
2.3.7. İşlenebilirlik.....	11
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	12
4. MALZEME VE YÖNTEM.....	18
4.1. Malzemeler.....	18
4.1.1. Agregá	18
4.1.2. Bitüm.....	18
4.1.3. Atık Geri Kazanım Külü (AGK) Filleri	19
4.1.4. Fındık Kabuğu Külü (FKK) Filleri.....	20
4.2. Yöntem	20
4.2.1. Agregalar Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler	22
4.2.1.1. Elek Analizi Deneyi	22
4.2.1.2. Agregá Özgöl Ağırlık Deneyi	23
4.2.1.2.1. İri Agregá İçin Özgöl Ağırlık Deneyi	23

4.2.1.2.2.	İnce Agrega İçin Özgöl Ağırlık Deneyi	24
4.2.1.2.3.	Filler Özgöl Ağırlık Tayini	24
4.2.1.3.	Deney Numunelerinin Hazırlanmasında Kullanılan Agrega Gradasyonunun Belirlenmesi.....	25
4.2.1.4.	Agreganın Los Angeles (Aşınma) Deneyi İle Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi 26	
4.2.2.	Bitümün Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi.....	27
4.2.2.1.	Yumuşama Noktası Deneyi.....	27
4.2.2.2.	Penetrasyon Deneyi.....	29
4.2.2.3.	Dönel Viskozimetre Deneyi	31
4.2.2.4.	Parlama Noktası Deneyi.....	32
4.2.2.5.	Bitüm Özgöl Ağırlık Deneyi	32
4.2.2.6.	Marshall Stabilite ve Akma Deneyi	33
4.2.3.	Bitümlü Sıcak Karışım Hesapları İçin Gerekli Bağlıntılar	34
4.2.3.1.	Agrega Efektif Özgöl Ağırlığının Belirlenmesi	34
4.2.3.2.	Karışım Numunesi Hacimlerinin Belirlenmesi	35
4.2.3.3.	Sıkıştırılmış Agregalar Arası Boşluk Hacmi Yüzdesinin Belirlenmesi	35
4.2.3.4.	Farklı Oranlarda Bitümle Hazırlanan Karışımın Maksimum Özgöl Ağırlığının Belirlenmesi.....	36
4.2.3.5.	Sıkıştırılmış Karışımındaki Hava Boşluğu Ve Asfalt Dolu Boşluk Yüzdesinin Belirlenmesi.....	36
4.2.3.6.	Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi	37
5.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	38
5.1.	Agrega Fiziksel Özellikleri	38
5.2.	Fillerin Zahiri Özgöl Ağırlığı	39
5.3.	Bağlayıcı Olarak Kullanılan Bitümün Deney Bulguları.....	39
5.4.	Deneyde Kullanılan Agrega Gradasyonu	40
5.5.	Numunelere Uygulanan Deneyler	41
5.5.1.	Marshall Metodu İle Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi	41
5.5.2.	Filler Olarak Kırmataş Kalkerin Kullanıldığı Numunelere Ait Grafikler	41
5.5.3.	Filler Olarak Fındık Kabuğu Külünün (FKK) Kullanılması	45
5.5.4.	Filler Olarak Atık Geri Kazan (AGK) Malzemesinin Kullanılması.....	46
6.	SONUÇLAR.....	51
7.	ÖNERİLER	53
8.	KAYNAKLAR	54

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Esnek Üstyapı Tabakaları.....	5
Şekil 2.2.	Esnek Üstyapı Çatlak Oluşumu.....	6
Şekil 2.3.	Soyulma Oluşumu.....	7
Şekil 2.4.	Tekerlek İzi Oluşumu.....	8
Şekil 4.1.	Sipahili Taş Ocağı Görseli	18
Şekil 4.2.	Bitüm Görseli	19
Şekil 4.3.	AGK kimyasal analizi	19
Şekil 4.4.	FKK Görseli	20
Şekil 4.5.	Çalışma Akış Şeması.....	21
Şekil 4.6.	Agrega Elek Setleri	22
Şekil 4.7.	4 °C deki numune görseli	27
Şekil 4.8.	Isınan su içerisindeki deney görseli	28
Şekil 4.9.	Yumuşama noktası deney sonuç görseli	28
Şekil 4.10.	Penetrasyon deneyi görseli.....	30
Şekil 4.11.	Brookfield viskozimetre cihazı	31
Şekil 5.1.	Agrega Gradasyonu	40
Şekil 5.2.	Kalker Marshall stabilitesinin bitüm yüzdesi ile değişimi	41
Şekil 5.3.	Pratik özgül ağırlığı	42
Şekil 5.4.	Asfalt dolu boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi	42
Şekil 5.5.	Boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi	43
Şekil 5.6.	Akmanın Bitüm yüzdesi ile değişimi	43
Şekil 5.7.	Kırmataş agregalar arası boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi	44
Şekil 5.8.	FKK filler kullanılan numune soyulması	45
Şekil 5.9.	Dağılan FKK numuneleri	46
Şekil 5.10.	AGK filler Görseli	46
Şekil 5.11.	AGK % fillere göre stabilite değişimi	47
Şekil 5.12.	AGK % filler göre akma değişimi	47
Şekil 5.13.	AGK % fillere göre pratik özgül ağırlık değişim yüzdesi	48
Şekil 5.14.	AGK % filler VMA değişimi	49
Şekil 5.15.	AGK % filler boşluk yüzdesi değişimi	49
Şekil 5.16.	AGK % filler asfalt dolu boşluk değişimi	50



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1.	AGK kimyasal analiz.....	20
Tablo 4.2.	KTŞ Aşınma Tip-1 tabakası gradasyon limitleri.....	26
Tablo 4.3.	Penetrasyon doğruluk limitleri.....	30
Tablo 5.1.	İri ve İnce agrega için yapılan deneyler ve sonuçları.....	38
Tablo 5.2.	Farklı türlerdeki fillerin özgül ağırlık değerleri.....	39
Tablo 5.3.	50/70 bitüm özellikleri.....	39
Tablo 5.4.	Deneyde kullanılan agrega granülometresi.....	40

KISALTMALAR

KTŞ	: Karayolları Teknik Şartnamesi
AGK	: Atık Geri Kazan
FKK	: Fındık Kabuğu Külü
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
İÇM	: İndirekt Çekme Mukavemeti
Pmax	: Uygulanmış Maksimum Yük (kN)
A	: Numunenin Havadaki Ağırlığı (gr)
B	: Numunenin Doygun Kuru Yüzey Ağırlığı (gr)
C	: Numunenin Sudaki Ağırlığı (gr)
Ap	: Piknometre Boş Ağırlığı (gr)
Bp	: Piknometre Su Dolu Ağırlığı (gr)
Cp	: Piknometre Numune ile Dolu Ağırlığı (gr)
Dp	: Piknometrenin Su ve Numune ile Dolu Ağırlığı (gr)
E	: Numunenin Doygun Kuru Yüzey Durumundaki Ağırlığı (gr)
F	: Numunenin Etüv Kuru Ağırlığı (gr)
Cf	: Piknometre ve Doygun-Yüzey Kuru Numune Ağırlığı (gr)
t	: Numunenin Kalınlığı (mm)
d	: Numunenin Çapı (mm)
Gef	: Agregatın Efektif Özgül Ağırlığı (asfalt absorbe eden boşluklar hariç tüm boşlukları içerir)
Wa	: Agreganın yüzdesi olarak bitüm
Dt	: Gevşek Kaplama Karışımının Boşluksuz Maksimum Özgül Ağırlığı
Gb	: Bitüm Özgül Ağırlığı
V	: Briketin Hacmi
B	: Briketin Havadaki Ağırlığı
C	: Briketin Sudaki Ağırlığını İfade Etmektedir
VMA	: Agregatın Arası Boşluk Yüzdesi (%)
Ds	: Sıkıştırılmış Karışımın Hacim Özgül Ağırlığı (kN/cm ³)
Gsb	: Agregatın Hacim Özgül Ağırlığı (kN/cm ³)
Wa	: Agregatın Ağırlığının Yüzdesi Olarak Bitüm Ağırlığı (gr)

Dtt	: Kaplama Karışımının Boşluksuz Maksimum Özgöl Ağırlığı (kN/cm ³)
Vh	: Toplam hacim yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımdaki agrega boşluğu (%)
Vf	: Asfaltla Dolu Boşluk (%)



1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki artış ve teknolojik gelişmeler, ulaşım sistemlerinin gelişmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ulaşım sistemlerinin kalitesi, ülkelerin ve toplumların ekonomik ve kültürel gelişmişliği hakkında önemli bilgiler vermektedir. Buradan yola çıkarak ulaşım sistemleri özelinde konuyu ele aldığımızda, Dünyada ve ülkemizde en sık kullanılan ulaşım sistemi karayolu ulaşımıdır.

Karayollarındaki ulaşım ağları, rijit kaplamalı yollar ve esnek kaplamalı yollar olmak üzere ikiye ayrılır. Rijit kaplamalı yollar toplam ulaşım ağının %2-3 ünü oluştururken esnek kaplamalı üstyapı yolları ise %97-98 ini oluşturmaktadır. Ülkemizdeki ulaşım ağları içinde de en sık kullanılan yöntem olan karayolu ulaşımı, yük ve insan taşımacılığında çok büyük önem arz etmektedir. Bundan dolayı ağır yük ve çevresel koşulların etkisine maruz kalan karayolu ulaşım sistemleri sık sık tadilat ve/veya yeniden inşa sürecine girmektedir. Tadilat veya yeniden yapım sürecine giren bu üstyapılarda geri kazanım ile elde edilen malzeme kullanılması hem ekonomik olarak hem de çevresel olarak birçok faydayı beraberinde getirebilmektedir. Bundan dolayı verimli ve faydalı bir tasarruf sağlamak için esnek kaplamalı üstyapı yolları üzerine çalışmalar yapmak daha etkili sonuçlar verebilmektedir.

Esnek üstyapı kaplaması olarak adlandırılan asfalt kaplamasının, içeriğindeki malzemeler bitüm ve agregadır. Esnek üstyapı kaplaması yol yüzeyinden zemine doğru; aşınma tabakası, binder tabakası, üst temel tabakası, temel tabakası ve alt temel tabakasından meydana gelmektedir. Bu tabakalardan sadece aşınma ve binder tabakalarında, bitümlü bağlayıcı ve agrega birlikte kullanılır, diğer tabakalarda bitümlü bağlayıcı kullanılmamaktadır.

Aşınma tabakasındaki agrega ve bitüm en çok dış etkiye maruz kalan bölümdür. Bu sebeple uzun süre hava ve yük ile temas halinde olan bitüm, yaşlanıp sert ve kırılgan hale gelerek bağlayıcılık ve süneklik özelliğini kaybederek ekonomik ömrünü doldururken, ağır tekerlek yüklerine maruz kalan agregalar ise yüzeylerinin aşınması sonucu oluşan cıllanma ile pürüzlülüğünü ve sürtünme direncini kaybetmektedir. Bundan dolayı aşınma tabakasında daha iyi bağlayıcı özellik sağlayan geri kazanılmış filler malzemenin kullanılması hem yol

ömrünün uzamasına hemde, atık malzemenin değerlendirilmesini sağlayarak, maliyet, enerji ve iş gücünden tasarruf yapılmasına olanak sağlayacaktır.

2. KARAYOLU ÜSTYAPI TANIMI

Trafik yükünü taşımak için taban zemini üzerine inşa edilen katmanlı yol yapısı, **üstyapı** olarak tanımlanır.

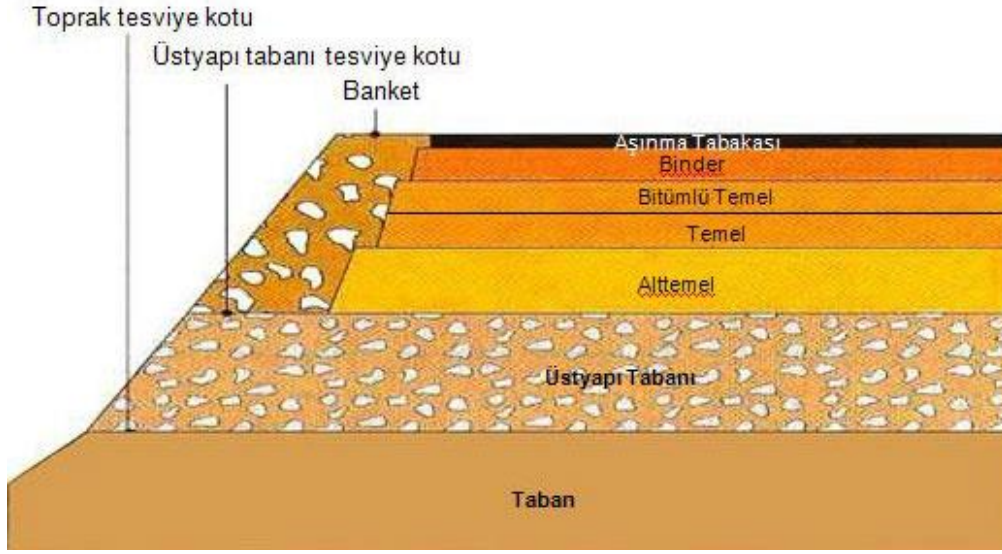
Karayolu üstyapıları trafik yüklerini zemine iletecek ve çevresel şartlara dayanaklı olacak şekilde inşa edilirler. Kaplama tabakasında kullanılan bağlayıcı malzemeye göre adlandırılan üst yapılar, kaplama tabakasında bitüm kullanılması durumunda esnek üst yapılar, beton kullanılması durumunda ise rijit üstyapılar olarak adlandırılır. Esnek üst yapılar asfalt yol olarak adlandırılır, rijit üstyapılar ise beton yol olarak adlandırılır [1].

Trafikte üstyapı katmanı konforu ve sürüş güvenliğini sağlayacak yüzeyin oluşturulmasında kullanılır. Trafik yüküne ve çevresel koşullara direkt olarak maruz kalan bu katman gerekli dayanım ve özellikte tasarlanarak uygulanmalıdır.

2.1.Karayolu Esnek Üstyapı Tanımı

Taşıtların güvenli ve konforlu olarak yol almasını sağlamak ve trafik yükleri ile çevresel etkenlerin aşındırıcı etkilerine karşı koymak için yol yüzeyine kaplama tabakası inşa edilir. Kaplama tabakasında bağlayıcı olarak bitüm kullanılan yol üstyapılarına **esnek üstyapı** denir [2].

Esnek üstyapılar sıkıştırılmış zemin üzerine yapılan ve taşıtların yüklerini doğal zemin taşıma gücünü aşmayacak şekilde ileten ve aşınma tabakası, binder tabakası, temel tabakası ve alt temel tabakasından oluşmaktadır. Esnek üstyapıların tabakaları Şekil 2.1 de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Esnek üstyapı tabakaları [32]

2.2. Esnek Üstyapılarda Görülen Problemler

Esnek üstyapılarda, kaplama tabakasının serilmesi ve sıkıştırılması aşamasında yapılan yanlışlık ve hatalardan dolayı veya hizmete başladıktan sonraki trafik yükü ve çevresel etkenlerden dolayı veya yanlış malzeme seçimi, tasarım hatası ve imalat hatası gibi teknik sebeplerden dolayı deformasyonlar meydana gelir [3].

Yol üstyapı kaplamasında oluşan bozulmalar çatlak oluşumu, soyulma-sökülme oluşumu ve tekerlek izi (deformasyon) oluşumu olarak üç sınıfa ayrılır.

2.2.1. Çatlak Oluşumu

Çatlamalar esnek üstyapı kaplamalarında basınç ve çekme gerilmelerinden dolayı yol eksenine dikey veya yatay doğrultuda oluşan bozulmalardır (Şekil 2.2). Trafik yüklerinin ve çevresel etkilerin yol açtığı bu bozulmanın başlıca sebepleri [4];

- Fazla trafik yükünden kaynaklanan yorulmalar,
- Çevre şartlarına bağlı olarak sıcaklığının değişimi,

- c. Kaplama malzemesinde neme fazla duyarlı agrega malzemesi kullanılmasından dolayı agregada termik bozulmaların oluşması,
- d. Üstyapı kaplamasının yanlış tasarlanması ve uygulamada yapılan işçilik hataları,
- e. Kaplama yüzeyi altındaki tabakaların bozularak ayrışması ve yetersiz drenaj yapılması
- f. Bitümün yaşlanarak ekonomik ömrünü tamamlaması,
- g. Kaplama agregasının bitümü fazla absorbsiyonu,
- h. Boşluk oranının olması gerekenden az olması,
- i. Soğuk hava şartlarında kaplama tabakasının inşa edilmesi.



Şekil 2.2. Esnek üstyapı çatlak oluşumu

2.2.2. Soyulma Oluşumu

Trafik ve çevresel etkilere direkt olarak maruz kalan ve Şekil 2.3. deki gibi aşınma tabakasında sıklıkla parçalanma ve çukur tabakaları halinde görünen bozulmalara denilir. Ayrışma-soyulma bozulmasının bazı nedenleri [3];

- a. Bitüm miktarının yetersiz kullanılması,
- b. Serim sonrası yapılan sıkıştırmanın yetersiz yapılması,

- c. Boşluk miktarının fazla olması,
- d. Uygun olmayan ekipman ve yapım tekniklerinin kullanılması,
- e. Çok fazla trafik ve çevresel yüklere maruz kalıp gerekli drenajın yapılmaması
- f. Kullanılan agrega yüzeyinin kirli olması,
- g. Bitüm ve agrega arasında yeterli adezyonunu sağlanmaması.



Şekil 2.3. Soyulma oluşumu [33]

2.2.3. Tekerlek İzi Oluşumu (Kalıcı Deformasyon)

Tekerlek izi oluşumun kalıcı deformasyonun en yaygın halidir. Kalıcı deformasyon ise bitümlü sıcak karışım tabakasında yüzey en kesitinin tasarım halini koruyamaması olarak tanımlanır. Bitümlü sıcak kaplama (BSK) trafik yüküne maruz kalarak yüklendiğinde çok küçük miktarlarda plastik geri dönüşsüz deformasyonlar oluşur bu deformasyonların artması ile kalıcı tekerlek izleri oluşur. Kalıcı deformasyon oluşmasının, trafik yüklerinin artması, alt temel tabakalarının zayıflaması ve aşınma gibi birçok sebebi olmasının yanında iki ana sebebi vardır. Birincisi kaplama tabakasının yanlış uygulanması ve doğru olarak tasarlanmaması ikincisi alt temel tabakalarının zayıf ve hatalı yapılmasıdır. Bunlara ek olarak bazı deformasyon sebepleri ise [6]:

- a. Kullanılan bitüm miktarının fazla olması,
- b. Kullanılan filler yüzdesinin fazla olması,
- c. Yuvarlak yüzeyli agrega miktarının fazla olması,
- d. Yol tabaklarının yetersiz sıkıştırılması,
- e. Agrega gradasyonunun yanlış yapılması,

Tekerlek izi oluşumu Şekil 2.4. deki gibi özellikle yaz aylarında artan sıcak ile oluşan BSK da meydana gelen rijitliğin bozulması ile daha fazla görülmektedir. Bunun önüne geçebilmek için sıcak yerlerde viskozitesi yüksek bağlayıcı malzeme kullanmak gerekmektedir [6].



Şekil 2.4. Tekerlek izi oluşumu [34]

2.3.Bitümlü Sıcak Karışımların Özellikleri

Üstyapı kaplamalarının yukarıda belirtilen etkilere karşı dayanıklı olması ve performansını koruyabilmesi için, geçirimsizlik, stabilite, durabilite, esneklik, kayma direnci, yorulma direnci ve işlenebilirlik gibi koşulları sağlaması gerekmektedir.

2.3.1. Geçirimsizlik

Asfalt kaplama malzemesinin hava ve suya karşı uyguladığı absorbe etmeme direncine geçirimsizlik denir. Geçirimsizlik kaplama karışımının içindeki hava boşluklarının oranı ile ilişkilidir. Kaplama içindeki hava boşlukları, kaplamanın içine hava su girmesine neden olsa da, bu boşlukların miktarından çok dağılım şekilleri geçirimsizlik için daha önemlidir. Bu dağılım şekilleri boşlukların boyutu, boşlukların birbiri ile bağlantı miktarları ve kaplama yüzeyine yakınlıkları gibi ifade edilebilir [7]. Geçirgen karışımlarda gerekenden az asfalt yüzdesi olması sökülme, yüksek hava boşluğu yüzdesi suyun ve havanın kaplamaya kolayca nüfuz ederek agregaların parçalanmasına ve oksidasyona, yetersiz sıkıştırma ise suyun kaplamaya nüfuz ederek dayanımının azalmasına neden olur.

2.3.2. Stabilité

Malzemenin dikey ve yatay trafik yükleri altında oluşan çekme, basınç ve kayma gerilmelerine karşı göstermiş olduğu dirençtir [8]. Karışımın stabilitesi bağlayıcının kohezyonuna ve agregalar arasındaki içsel sürtünmeye bağlıdır. Agregalar arasındaki kohezyon, trafik hızı (yükleme hızı) ve asfalt bağlayıcının viskozitesi arttıkça artar; kaplamanın sıcaklığı arttıkça azalır. Agregalar arasındaki içsel sürtünme ise; agregaların şekilleri ve yüzey dokuları ile ilgilidir [9].

Yüksek stabilite değerlerine sahip asfalt kaplama karışımları, esnekliklerini belirli ölçüde kaybedeceklerinden çatlamlar meydana gelebilir. Bundan dolayı asfalt karışımı hesaplanırken, karışımın uygulanacağı yerdeki trafik ve iklim koşullarına uygunluğu kontrol edilmelidir. Karışım da gerekenden fazla bitüm bulunması tekerlek izi oluşumu ve kismaya, aşırı miktarda ince agrega bulunması sıkıştırma sırasında zorluğa ve yuvarlak yüzeyli agregalarda yine tekerlek izi oluşumuna neden olabilmektedir.

2.3.3. Durabilite

Üstyapı kaplamasının, oksidasyona ve kaplama içindeki agregaların parçalanmaya karşı koyabilme davranışına **durabilite** denir. Durabilite, genellikle sıcak karışımın durabilitesi,

maksimum bitüm miktarı, karışımda uygun agrega kullanmak ve karışımı maksimum geçirimsizlik sağlayacak şekilde sıkıştırmak olarak üç durum ile sağlanmaktadır.

Karışımındaki bitüm yüzdesi arttıkça kaplama malzemesinin durabilitesi de artmaktadır çünkü; agregaların yüzeyini kaplayan bitüm miktarı ne kadar fazla ise karışımın yaşlanmaya karşı direncide o kadar fazladır. Bu durum kaplamanın orijinal halde kalma süresini uzatmaktadır. Buna ek olarak karışımındaki bitüm miktarının artırılması sonucunda, karışımındaki hava boşlukları azalacak ve sonuç olarak kaplamanın içine hava ve su girişi zorlaşacaktır [10].

2.3.4. Esneklik

Esneklik, üstyapı bitümlü tabakaların, yolun alt tabakalarındaki çökmeden kaynaklanabilecek deformasyona, çatlamadan karşı koyabilme durumuna denir. Esnekliğin yetersiz olduğu kaplamalarda çatlamalar meydana gelir. Karalı ve esnek bir bağlayıcı karışımı için, yazın kıvamını koruyabilen, kışın ise kırılğan hale gelmeyen bir bağlayıcı tercih edilmelidir [6].

2.3.5. Kayma Direnci

Kayma direnci, üstyapı kaplaması ile tekerlek yüzeyi oluşan sürtünme direncine denir. Bitüm miktarı fazla olan karışımlarda, zaman geçtikçe kuma meydana geleceğinden kayma direnci düşebilir. Bu durum trafik emniyeti açısından sakıncalı durumlar meydana getirebilir [8].

2.3.6. Yorulma Direnci

Yorulma direnci, sürekli trafik yüklerinden kaynaklanan tekrarlı eğilmelere, karşı koyabilme davranışı olarak tanımlanabilir. Gerekenden az sıkıştırılmış ve tasarım hatalarından dolayı yüksek hava boşluklarına sahip kaplamaların yorulma ömürleri çok azdır. Kaplamanın yaşlanma sonucu sertleşmesi de üstyapı kaplamasının yorulma direncini azaltmaktadır [11].

2.3.7. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, karışımın kolayca sıkıştırılabilmesi ve yerleştirilmesi durumu olarak ifade edilebilir. İşlenebilirlik, karışım dizaynı sırasında agrega gradasyonu üzerinde yapılacak değişiklikler ile kontrol edilebilir [8].

Yüksek miktarda kaba agrega içeren sıcak karışımlar, taşıma sırasında ayrılmaya eğilimlidir ve bu durumdaki karışımları sıkıştırmak oldukça zor olmaktadır. Bu karışımları işlenebilir hale getirmek için karışıma fazladan ince malzeme ve/veya bitüm ilave edilmelidir. Elde edilen yeni dizaynın gerekli olan bütün şartları sağladığı da kontrol edilmelidir [8].

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, filler; ince agrega miktarını arttırmak, yüksek sıcaklıklarda üst yapı tabakasının deformasyona karşı direnci arttırmak ve boşluk miktarını azaltmak için kullanıldığı gözlemlenmiştir. Filler genellikle %3 ile %9 oranları arasında kullanılmaktadır. Belirli bir miktardaki filler, boşluk oranlarını azalttığı için ince agrega gradasyonunu değiştirmektedir, böylece agrega tanecikleri arasında daha az boşluk oluşturarak yoğun bir karışım olmasını sağlar. Bununla birlikte, asfalt çimentosu ile birlikte ince agregaya karşı kayganlaştırıcı ve bağlayıcı etki sağlayarak harç oluşmasını sağlar.

Kırmızı çamur, alüminyum üretmek için boksitin rafine edilmesiyle ortaya çıkan bir atıktır. Ortaya çıkan ve çevreye atılan bu büyük miktarda kırmızı çamur, üretim zincirinde yeniden kullanılması için yöntemler geliştirmenin gerekliliğini kanıtlamaktadır. Bu senaryoda, uygulanabilir ve çevresel bir alternatif olarak asfalt karışımların üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Dolgu maddesi olarak kırmızı çamur farklı oranlarda dolgu maddesi olarak kullanılmıştır(% 3, 5 ve 7). Metodoloji, kırmızı çamur kimyasal analizini, asfalt karışımlarının tasarımını ve üretimini kapsıyor ve ardından, neme bağlı hasar ve Fransız Rutting Tester (FRT) trafik simülatörü ile kalıcı deformasyon gibi mekanik testler gerçekleştirilmiştir. Kırmızı çamur testleri; X-ışını kırınımı, floresans, özgül kütle, lazer granülometrisi, pH ve taramalı elektron mikroskopunu içermektedir. Brezilya yoğun derecelendirilmiş karışımı, toplam % 7 dolgu içeriğine izin verdiği için, kırmızı çamur yüzdesini değiştirmek için taş tozu dolgu maddesi (boyut 0.075 mm) de kullanılmıştır. Sonuç olarak, granülometri testi kırmızı çamurun dolgu olarak kullanılabileceğini gösterdi. Kimyasal analizde, kırmızı çamurun tehlikeli bir atık olduğunu gösteren% 0.20 vanadyum pentoksitin (V_2O_5) varlığı tespit edilmiştir. Farklı yüzdelerde kırmızı çamur kullanılarak üç asfalt karışımı üretilmiş, Karışım 2 (% 3 kırmızı çamur ve% 4 taş tozu); Karışım 3 (% 5 kırmızı çamur ve% 2 taş tozu); Karışım 4 (kırmızı çamurun% 7'si). % 7 taş tozu dolgulu geleneksel karışım referanstır kabul edilmiştir(Karışım 1). Nem kaynaklı hasar, kırmızı çamur karışımlarının, referans karışıma kıyasla çapsal sıkıştırma ile daha yüksek gerilme mukavemeti sunduğunu gösterdi. Kalıcı deformasyon direncine gelince, Karışım 3 (% 5 kırmızı çamur ve % 2 taş tozu) 30.000 döngüde % 3,50 tekerlek izi derinliği ile diğerlerinden daha iyi performans göstermiştir. Genel olarak,

geleneksel karışım söz konusu olduğunda, kırmızı çamur olanlar tekerlek izleri konusunda azalma sergilemektedir (% 42.63'ten (referans) 12.82'ye (karışım 3)). Bu çalışma, kırmızı çamurun üretim zincirine yeniden yerleştirilmesinin uygulanabilirliğini ve olası yol yapımı kullanımını gösterdi. Asfalt karışımları üretiminde dolgu maddesi olarak kırmızı çamur, bertaraf sorunlarına katkıda bulunma ve bunları hafifletme ve çevre dostu bir alternatif olarak gösterildi [15].

Atık malzemelerin sayısının ve miktarının artması ve çevreye olan olumsuz etkilerinin ardından bu araştırma, bu atık malzemelerin geri dönüştürülmesinin faydalarını incelemeyi ve dolgu maddeleri eklendiklerinde asfalt beton karışımının sünme ve yorulma gibi etkilerini kontrol etmeyi amaçlamıştır.

Atık malzemelerin sayısının ve miktarının artması ve çevreye olan olumsuz etkilerinin ardından bu araştırma, bu atık malzemelerin geri dönüştürülmesinin faydalarını incelemeyi ve dolgu maddeleri olarak eklendiğinde asfalt beton karışımının sünme ve yorulma gibi etkilerini kontrol etmeyi amaçlamıştır. Yapılan testlerde dört atık malzeme kullanılmış: atık toner, atık tıbbi kül, Atık Elektrik Ark Ocağı Tozu (EAFD) ve atık lastik kauçuğu. Kireçtaşı kontrol malzemesi olarak eklendi. Bu atık malzemelerin dolgu maddesi olarak eklenmesi Marshall Test yöntemi ile yapılmıştır. Daha sonra, sünme (dinamik ve statik) ve yorgunluk testlerini simüle etmek için Evrensel Test Makinesi (UTM) kullanıldı. İki farklı sıcaklık kullanıldı (25, 40 ° C) ve dinamik sünme için 20, 40 ve 60 mil / saatlik araç hızlarını simüle etmek için üç farklı yükleme frekansı (1, 4 ve 8 Hz) kullanılmıştır. Laboratuvar test sonuçlarına göre, her bir dolgu türü için test sıcaklığı ve yükleme sıklığı, biriken gerinim, sünme sertliği ve esneklik modülü üzerinde önemli bir etkiye sahipti. Sonuç olarak, yükleme frekansındaki 1 Hz'den 8'e artış, hız artışı ve dolayısıyla yükün gerilimi ile asfalt beton karışımı arasındaki temas süresinin azalması anlamına geliyordu. Bu durumda, yükleme sıklığı ve sıcaklığında zamanla artan eksenel mikro gerilim, atık tonerin asfalt beton karışımına eklenebilecek en iyi dolgu maddesi olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, statik sünme testinde, biriken gerinim, her tür dolgu maddesi için farklı sıcaklık seviyelerinde zamanla artmıştır. Tersine, sünme sertliği her tür dolgu maddesi için farklı sıcaklık seviyelerinde zamanla azaldı. Yorulma üzerine deneysel sonuçlar, en iyi dolgu araştırması için, logaritma gerilimi ve logaritma döngü sayısı (Nf) arasında doğrusal bir ilişki elde edildiğini gösterdi. Sonuç olarak, test edilen karışım tasarımı için en yüksek yorgunluk ömrüne sahip olduğundan, dolgu olarak atık toner en iyi dolgu maddesi olduğu ortaya çıkmıştır [16].

Kullanılmış ve atılmış ev tipi flüoresan lambalar, cıva ve diğer zararlı bileşen içeriklerinden dolayı tehlikeli maddeler olarak kabul edilmektedir. Bu elektronik atığın milyonlarca parçasının küresel çapta yıllık depolanması ve boşaltılması, ekilebilir arazi kaynakları için ciddi risklere neden olur ve ekosistem bozulmasına ve diğer çevresel sorunlara yol açar. Buna paralel bir sorun da yol yapımı için kullanılan kırı ham maddelerin yakın zamanda tükenmesinin artık karayolu yönetimlerini sürdürülebilir kaynaklar aramaya zorlamasıdır. Bu nedenle, bu makalenin temel amacı, floresan lambaları esnek kaplama katmanlarına, yani geleneksel mineral dolguya alternatif olarak asfalt aşınması ve bağlayıcı tabakasına geri dönüştürmenin fizibilitesini araştırmaktır. Bu amaçla, geri dönüştürülmüş floresan lambayı kontrol karışımları ile birleştiren karışımları karşılaştırmak ve kontrastlamak için bir dizi laboratuvar testi gerçekleştirilmiştir. Bu testler, Marshall, dolaylı çekme sertlik modülü, tekerlek izi, dolaylı çekme yorgunluğu ve dinamik süne testini içermektedir. Sonuçlar, atılan flüoresan lambaları düşük ila orta yoğunluktaki trafik yol yüzeylerine dâhil etmenin umut verici performansının ve maliyet etkinliğinin, kaplama endüstrisine yeni kaynak seçenekleri sağlayabileceğini göstermektedir [17].

Bu makale, çelik cürufunun bir asfalt karışımında mineral dolgu olarak yeniden kullanılmasının fizibilitesini tartışmaktadır. Çelik cüruf agregası önce ezilmiş ve boyutu 0.075 mm'den küçük partiküllerle dolgu malzemesi haline getirilmiştir. Daha sonra çelik cüruf agregasının hem fiziksel hem de kimyasal özellikleri karakterize edildi. Çelik cüruf dolgu maddesi (SSF) ve kireçtaşı dolgu maddesi (LF), taramalı elektron mikroskobu, toplu görüntü ölçüm sistemi, X-ışını floresanı ve X-ışını kırınımı ile karakterize edildi. Dolgu maddelerinin yüzey özellikleri, morfolojik bilgileri, kimyasal bileşimleri ve kristal yapıları tartışıldı. Son olarak, SSF'nin asfalt harcının reolojik özellikleri üzerindeki etkisi dinamik kesme reometresi (DSR) ve bükme kırış reometresi (BBR) testleri ile araştırılmıştır. Test sonuçları, SSF'nin asfalt bağlayıcıya mineral dolgu olarak eklenmesinin, bağlayıcının deformasyon direncini artırdığını, ancak düşük sıcaklıkta çatlama direncini biraz azalttığını göstermiştir. LF kısmen SSF ile değiştirildiğinde sürünme sertliğinde hafif bir düşüş meydana geldi. Hem DSR hem de BBR testlerinin sonuçları, dolgu maddesi olarak SSF ve LF kombinasyonunun kullanılmasının, çelik cürufunun bir asfalt karışımında dolgu olarak yeniden kullanılması için etkili bir yaklaşım olabileceğini gösterdi. Hacimce% 75'in altındaki bir SSF içeriği, dolgu için ideal olduğu ortaya çıkmıştır [18].

Bu çalışma, geleneksel sıcak karışım asfalt karışımının yapım sürecinde asfalt dumanı emisyonunun nasıl azaltılacağını ele almaktadır. Grafen / turmalin kompozitleri, kirleticileri absorbe etme etkisine sahip turmalin esas alınarak hazırlandı. Kompozitlerin temel özellikleri ve asfalt dumanı üzerindeki absorpsiyon etkileri incelenmiştir. Daha sonra kompozit toz, çevre dostu asfalt karışımına dolgu maddesi olarak ilave edildi. Asfalt karışımlarının kaplama performansları ve emisyon azaltma performansı incelenmiştir. Sonuçlar, kompozit tozun temel özelliklerinin, asfalt karışımlarında dolgu maddesi ile ilgili şartnamelerin gerekliliklerini karşıladığını göstermiştir. Mineral tozun bir kısmını değiştirmek için kompozit toz kullanılabilir ve optimum değiştirme içeriği ağırlıkça %17-20 idi. Çevre dostu asfalt karışımları, asfalt dumanı emisyonunu etkili bir şekilde azaltabilir. Emisyon azaltma oranı % 76.9–80.5'e ulaşabilir [19].

Bu tez çalışmasında esnek üstyapılardaki bozulmalar incelenerek değerlendirilmiş ve esnek üstyapı yönetim sistemleri hakkında gözlem ve öneriler yapılmıştır. Esnek üstyapıların taşıt yükleri ve çevresel etkenlere karşı direnci incelenerek yorumlanmıştır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda bozulmaları 3 farklı şiddet türüne göre sınıflandırmışlardır. Derinliği 6mm den küçük olan bozulmalar hafif şiddet diye adlandırılmıştır ve bunların kontrol altında tutulabileceği belirtilmiştir. Derinliği 6 mm ile 19 mm arasındaki bozulmalar ise orta şiddetli olarak sınıflandırılmış ve oluşan bozulmanın uygun bir malzeme ile doldurularak düzeltilebileceği belirtilmiştir. Derinliği 19 mm den büyük bozulmalar ise yüksek şiddetli bozulmalar adlandırılmış ve tamiri için özel olarak etüt yapılması ve daha sonra asfalt ile yeniden yapılması tavsiye edilmiştir. Esnek üstyapı bozulmalarına neden olan etkenleri ise 6 madde de sıralamışlardır. Bunlar; bitümün yaşlanması, üstyapıda yetersiz sıkıştırma, altyapıda yetersiz drenaj yapılması, yetersiz üstyapı kalınlığı, şişme – büzülme ve önceki bozulmaların etkisi olarak sıralamışlardır. Esnek üstyapı yönetim sistemleri ile hangi yollara ne zaman müdahale edileceğinin belirlenmesi, programlanması ve zamanında iyileştirmeler yapılarak bozulmaların önüne geçeceği belirtilmiştir [4].

Bu çalışmada soğuk hava şartlarında kaplama tabakası ile altındaki tabaka arasında soğuktan dolayı meydana gelen çekme kuvvetleri incelenmiş ve kaplama tabakasında filler olarak sönmüş kireç kullanımının bu büzülmeyle olan etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda filler malzemesi yerine, katkısız %2, %4, %6 sönmüş kireç katkılı 4 farklı asfalt numunesi hazırlanarak toplamda 104 briket dökülmüştür. Oluşturulan bu briketlerin hacim özgül ağırlıkları ve boşluk oranları değerlerini hesaplamışlardır. Daha sonrasında bu briketlere

Marshall stabilitesi ve çekme mukavemeti deneylerini uygulamışlardır. Sonuç olarak soğuk bölgelerdeki asfalt kaplamaların fillerinde sönmüş kireç kullanılması, kaplamanın soğuğa karşı direnci arttırmakta, su direncini arttırmakta ve çekme mukavemeti dayanıklılığını arttırdığını gözlemlemişlerdir. Optimum kireç oranının ise %4 olduğunu saptamışlardır. Soğuk bölgelerdeki kaplama tabakalarında %4 oranında filler olarak sönmüş kireç kullanılmasının bu soruna karşı etkili olacağı sonucuna varmışlardır [35].

Bu çalışmada İzmir çimstone fabrikasından elde edilen kuvars esaslı granit arıtma çamurunun bitümlü sıcak kaplamalarda filler olarak kullanımı araştırılmış. Marshall numunelerinin optimum bitüm oranları belirlenmiş ve % 0, 2, 4, 6, 8 oranlarında granit arıtma filleri eklenerek sonuçlarını incelemişlerdir. Sonuç olarak kuvars esaslı granit arıtma çamurunun filler olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır [36].

Bu çalışmada filler olarak kullanılan kalker agregasına alternatif oluşturmak için atık olan cam şişe ve muadilleri ile volkanik cüruf tozunun kullanılabilirliği araştırılmış. Buradan yola çıkarak farklı filler malzemelerin kullanıldığı numuneler için optimum bitüm oranları belirlenmiş. Daha sonrasında optimum bitüm oranı sabit kalarak %5, 6, 7, 8 ve 9 oranında filler kullanılarak yeni numunelere Marshall stabilite deneyi uygulanmıştır. İncelenen deney sonuçlarında en yüksek stabilite sonucu volkan cürufunun kullanıldığı deney numunelerinde gözlemlenmiş. Fakat bütün numuneler şartname değerlerinin karşıladıkları gözlemlenmiş. Cam içerikli filler malzemelerde akma değeri cam filler oranının artması ile azaldığı gözlemlenmiştir [37].

Esnek üstyapı kaplamalarındaki fillerin iklim şartlarına karşı sağladığı dayanıklılık etkisinin incelendiği çalışmada, Urfa bölgesinde karayolu kaplama tabakasında sıklıkla kullanılan bazalt filler malzeme ile kalker ve volkanik cüruf filler malzemenin karşılaştırılması yapılmıştır. Malzemelerin üzerinde ICP ve XRP analizleri yapılarak malzemelerin kimyasal ve mineral içerikleri belirlenmiştir. Daha sonra %6 oranında filler oranı sabit tutularak her bir filler malzemesi için Marshall stabilite deneyi ile optimum bitüm oranı belirlenmiştir. Her ne kadar bitüm oranlar birbirine yakın olsa da (%5.03 – 5.02) en düşük optimum bitüm oranı kalkerde bulunmuştur(%5.02). Test yapılan numunelerdeki en yüksek dayanım ise volkanik cürufu deney numunelerinde bulunmuştur. Kayaçların ICP verilerinin incelendiği çalışmada volkanik cürufta bozulma etkisi gösterecek olan Mg, Na ve Ca yoğun miktarda olduğu gözlenmiştir. Bundan dolayı stabilite değeri yüksek ve bitüm emme miktarı da az olsa bile volkanik cüruf fillerin kaplama tabakasında kullanılması sakıncalı bulunmuştur. Çünkü

içeriğindeki bozulmaya meyilli elementler su ile etkileşime girdiğinde bozulacak ve kaplama tabakasının daha kısa sürede bozulmasına sebep olacaktır. Bozulmaya sebep olacak elementlerin en az bazalt filler de olduğu görülmüş ve bu nedenle en az bozulmanın bazalt kullanılan numunelerde olacağı sonuca varılmıştır. Bütün sonuçlar karşılaştırıldığında en yüksek dayanım ve en az optimum bitüm oranı kalkerde görülmüştür. Bundan ötürü sanayileşmenin ilerlediği yerlerde kalker kullanılması tavsiye edilmiştir. Fakat hava şartlarına dayanıklılığının fazla olması sebebiyle kurak bölgelerde kalkerin alternatif olarak kullanılması önerilmiştir [38].

Bu çalışmada bitümlü sıcak kaplamalarda filler malzemesi olarak atık cam, mermer tozu ve ferrokrom cürufu kullanılması ve bunları kırmataş filler ile karşılaştırılması yapılmıştır. Öncelikle kırmataş kalker için optimum bitüm oranı belirlenmiş ve agregalar arası boşluk oranı, bitüm yüzdesi, stabilitesi, asfalt dolu boşluk yüzdesi, pratik özgül ağırlık ve akma gibi özellikleri incelenmiş, daha sonrasında her bir deney numunesi için optimum bitüm oranı hesaplanmış ve aynı özellikler diğer filler malzemeleri içinde hesaplanarak kırmataş ile kıyaslanmıştır. Sonuç olarak bütün deney numuneleri Marshall deneylerine tabi tutulmuş ve Marshall deney sonuçlarına göre deney numuneleri ile kırmataş filler kıyaslanmıştır. Bütün deney numuneleri için optimum bitüm oranları 5.78 ile 5.99 arasında değişmektedir. En yüksek dayanım ise ferrokrom cürufta gözlemlenmiş ve kırmataş alternatif olarak kullanılabileceği önerilmiştir [39].

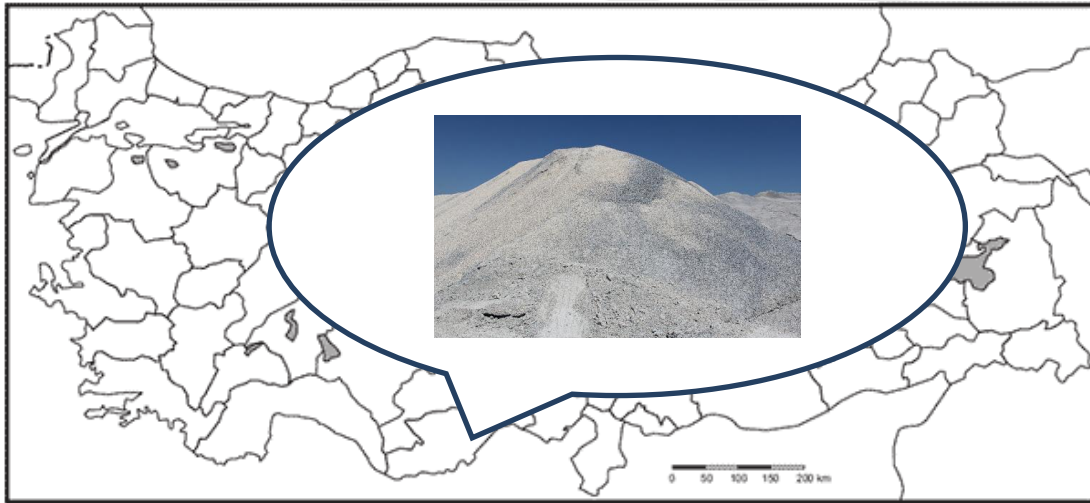
4. MALZEME VE YÖNTEM

4.1.Malzemeler

Çalışmada, bitüm, agrega, yanmış fındık kabuğu külü (FKK) ve AGK filler malzemeleri kullanılmıştır. Kullanılan malzeme özellikleri detaylı olarak aşağıdaki başlıklarda açıklanmıştır.

4.1.1. Agrega

Asfalt betonlarının üretiminde KGM 5. Bölge müdürlüğü tarafından Mersin İli Aydınçık İlçesine bağlı Şekil 4.1. deki Sipahili taş ocağından getirilen kırmataş kalker agregası kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Sipahili taş ocağı görseli [40]

4.1.2. Bitüm

Tez çalışmasında bağlayıcı olarak TS EN 12591 “Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar –Kaplama Sınıfı Bitümler” standardına uygun olacak şekilde 50/70 penetrasyonlu bitüm seçilmiştir. Bitüm görseli Şekil 4.2. de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Bitüm görseli [41]

4.1.3. Atık Geri Kazanım Külü(AGK) Filleri

Çalışmada Elazığ ETİKROM AŞ.’ de işletmenin kromit cevherinin yüksek sıcaklıkta ergitilerek zenginleştirilmesi sırasında ortaya çıkan kayalarından oluşan atık geri kazanım külü filler olarak kullanılmıştır. Asfalt betonunda kırmataş tozu ile yer değiştirilerek kullanılmış olan, kromit cevherinin zenginleştirilmesi sonucu ortaya çıkan AGK atıklarının görselleri Şekil 4.3.’de, kimyasal özellikleri Tablo 4.1. ‘de verilmiştir.



Şekil 4.3. AGK Görseli

Tablo 4.1. AGK kimyasal analizi

Numune Tanımı	Cr ₂ O ₃ (%)	Cr (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)
İnce Atık	4.68	6.83	1.95	30.08	23.93	38.17	0.85

4.1.4. Fındık Kabuğu Külü(FKK) Filleri

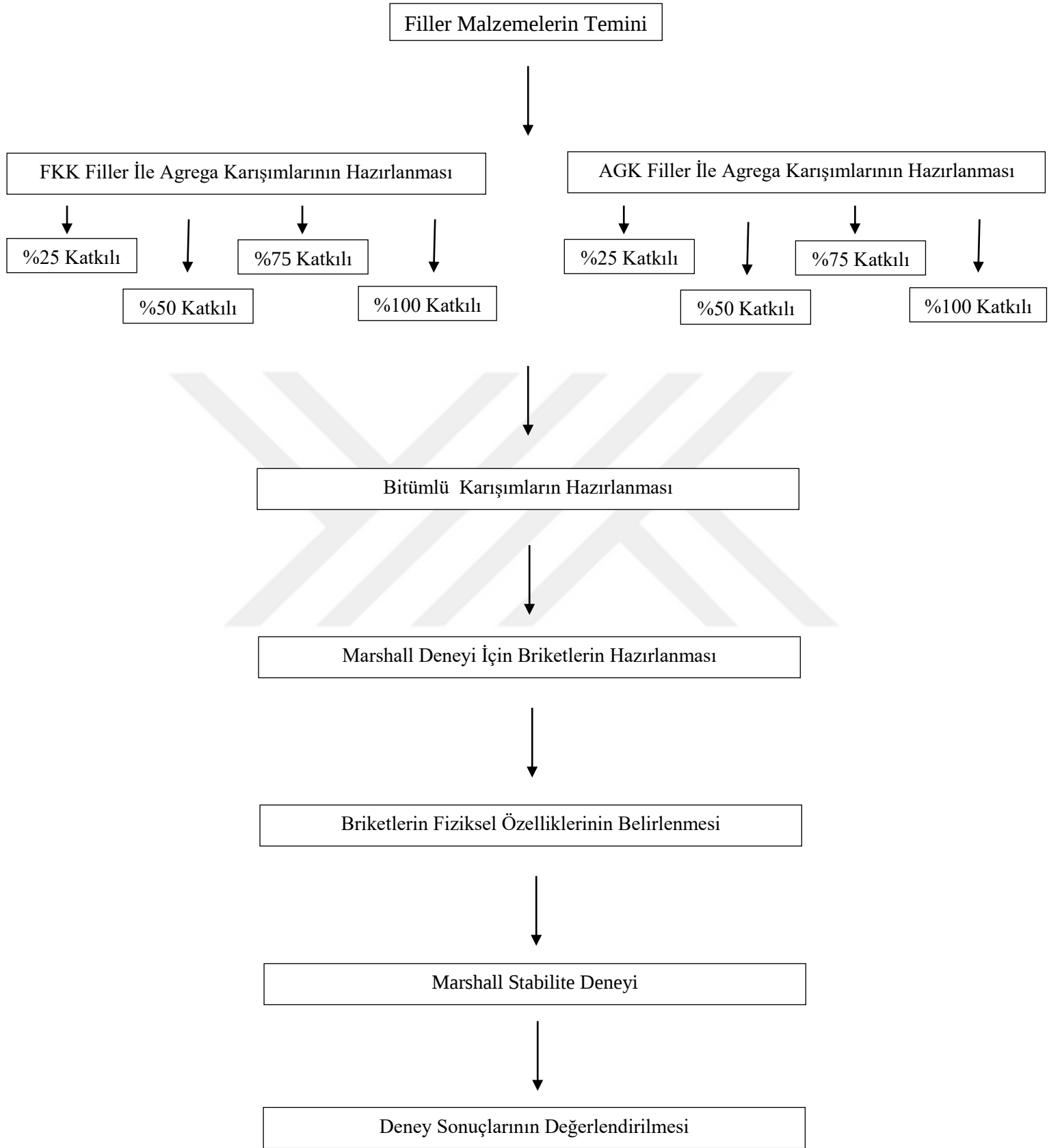
Sinop ilinden temin edilen fındık kabukları klasik yöntemler ile açık havada yakılarak öğütülmüş ve elenerek filler olarak kullanılmıştır. Malzeme Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4. FKK görseli

4.2.Yöntem

Tez çalışmasının bu kısmında agrega, bağlayıcı bitüm, filler ve asfalt betonu üzerinde gerçekleştirilen deneyler detaylı bir şekilde anlatılmış ve uygulama yöntem şeması Şekil 4.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Çalışma akış şeması

4.2.1. Agregalar Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler

4.2.1.1.Elek Analizi Deneyi

Kullanılan agregaların dane boyutlarının dağılımının Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen sınır şartlarını sağlayıp sağlamadığını kontrol etmek için elek analizi deneyi yapılmıştır. Şartnamede belirtilen aşınma tabakası gradasyonuna uygun olan elek çapları seçilmiş ve agrega daneleri en büyük elekten en küçük elek boyutuna doğru olacak şekilde elenmiştir. Çalışmada kullanılan elek setleri Şekil 4.6.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Agregaelek setleri

Elek üstünde kalan agregaların daneleri 0.1 gr hassasiyet ile bir terazide tartılarak kaydedilmiştir. Elekten geçen agrega malzemelerinin yüzde değeri, elek üstünde kalan malzemelerin yüzde değeri ve toplam agrega ağırlığının yüzde değeri Denklem 1. kullanılarak hesaplanmıştır [21].

$$\% \text{ Geçen} = \frac{\text{Elekten Geçen}}{\text{Toplam Numune Miktarı}} \times 100 \quad (1)$$

4.2.1.2. Agregat Özgül Ağırlık Deneyi

Laboratuvar deney çalışmalarında kullanılan iri ve ince agregalar ile filler olarak kullanılan fındık kabuğu külü ve AGK numuneleri üzerinde ASTM C 128-88, ASTM C 128 ve ASTM C 854'e uygun olarak özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır. Yapılan deney aşamaları aşağıda verilmiştir.

4.2.1.2.1. İri Agregat İçin Özgül Ağırlık Deneyi

İri daneli agregaların birim hacim ağırlığı ASTM C 128-88 standardına göre bulunmuştur [22]. Öncelikle numuneler 24 saat su içinde bekletilen bekletilmiş ve sudan çıkartılarak yüzeyinde kalan fazla suları arındırılmıştır (b). Daha sonra doygun haldeki numune, su dolu kovanın içindeki tel sepete su yüzeyinin 5 cm altında kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Numuneler arasındaki hava boşluklarını almak için numune su kovasının içindeyken 10 defa sağa sola ve aşağı yukarı sallanmıştır. Hava boşlukları alınan numune sepete temas etmeyecek şekilde su içinde tartılmıştır (c). Suda tartılan numune sepetten çıkartılarak etüvde kurumaya bırakılmıştır. Numuneler kurutulduktan sonra oda sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakılmış ve numune tartılarak havadaki kuru ağırlığı belirlenmiştir (a). Numunenin özgül ağırlığını bulmak için Denklem 2. 3. ve 4. kullanılmıştır.

$$\text{Hacim Özgül Ağırlık} = \frac{a}{b - c} \quad (2)$$

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlık} = \frac{a}{b - c} \quad (3)$$

$$\text{Su Absorbsiyon Yüzdesi} = \frac{b - a}{a} \quad (4)$$

4.2.1.2.2. İnce Agregalar İçin Özgöl Ağırlık Deneyi

KTŞ de belirtilen yöntemler takip edilerek ASTM C 128 standardına göre yapılan deneyde, ince agregaların su absorpsiyonu ve özgül ağırlığı belirlenmiştir. [23] Deney numunesi doğal halinde kuru olarak tartılmıştır (f). Deney numunesi su içerisinde 24 saat bekletilerek doymuş hale gelmesi için bekletilmiştir. Doymuş hale gelen ince agregalar küçük daneleri kaybolmayacak şekilde suyu süzülerek tepsi içine yerleştirilmiştir. Tepsi içerisindeki agregalar sıcak hava ile ısıtılarak yüzeyleri kurutulmuş ve yüzeyleri kurutulan daneler tartılarak doymuş kuru yüzey ağırlığı bulunmuştur (e). Numune etüve koyularak 24 saat etüvde kurumaya bırakılmıştır. Piknometre(cam ölçü kabı) tartılmış (a) ve etüvden çıkan kuru numune piknometreye koyularak tartılmıştır(c). Numuneler tartılan piknometre ağırlığından, boş piknometre ağırlığı çıkarılarak kuru numune ağırlığı bulunmuştur. Piknometre yarıya kadar su ile doldurularak vakum ile içerisindeki hava alınmıştır. Havası alınan piknometre 1000 ml işaret çizgisine kadar su ile doldurularak tartılmıştır (d). Havası alınarak tartılan numuneden, numunenin kuru ağırlığı çıkartılarak su ile dolu piknometrenin ağırlığı bulunmuştur (b). Elde edilen bulgular yardımıyla numune özgül ağırlığı ve su absorpsiyonu Denklem 5 ve 6 dan bulunmuştur.

$$\text{Hacim Özgöl Ağırlık } \left(\frac{\text{kN}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{c - a}{(b - a) - (d - c)} \quad (5)$$

$$\text{Su absorpsiyon yüzdesi (\%)} = \frac{e - f}{f} \quad (6)$$

4.2.1.2.3. Filler Özgöl Ağırlık Tayini

Filler malzemenin zahiri özgül ağırlığı ASTM C 854 standardı referans alınarak belirlenmiştir. [24] Deney de 110 +/- 5 °C'lik etüvde bütün malzemeler homojen olarak

kuruyana kadar ısıtılan filler malzemesi piknometre şişesinin üçte biri dolacak şekilde piknometrenin içerisine konularak tartılmıştır(c). Piknometre şişesi yarı hizasına kadar su ile dolduruldu ve en az 5 dk olacak şekilde, yaklaşık 50 mbar vakum sağlayan desikatör içerisinde bırakılarak havası alınmıştır. Daha sonrasında piknometre şişesi tamamen su ile doldurularak 25 ± 1 °C'lik su banyosunda en az 60 dk bekletilmiş ve su banyosundan çıkartılarak kurulanıp tartılmıştır (d). Fillerin zahiri özgül ağırlığı aşağıdaki Denklem 7. ile aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Burada;

$$\text{Filler Özgül Ağırlık } \left(\frac{\text{kN}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{c - a}{(b - a) - (d - c)} \quad (7)$$

4.2.1.3.Deney Numunelerinin Hazırlanmasında Kullanılan Agrega Gradasyonunun Belirlenmesi

Agregalar, kırma taş veya kırılmış çakıl, kum ve mineral fillerden oluşur. Karayolu inşaatlarının olduğu bölgedeki malzemeleri kullanmak hem çevresel hem de maliyet açısından en uygun çözümdür. Yolun üzerine gelen trafik yüklerini kalıcı deformasyonlara uğramadan temel tabakasına aktaracak şekilde kararlı yapıda olmalıdır. Bu da agregaların granülometrik bileşimine, danelerin şekline ve mekanik dayanımına bağlıdır [12].

Yol üst yapısında her tabakanın kendine özgü bir gradasyonu bulunmaktadır. Agrega gradasyonu karışımın stabilitesine ve yoğunluğuna etki eden en önemli etkenlerden biridir. Bundan dolayı hangi tabakada ne tür bir gradasyon kullanılacağı KTŞ de alt ve üst sınırları ile belirlenmiştir. Taş kırma makinası olan konkasörlerde agregalar, 0-5cm, 5-15cm, 15-20cm boyutlarında gruplara ayrılır. Temin edilen bu agrega gruplarının her birine elek analizi yapılmış olup, belirli oranlarda karıştırılarak KTŞ Aşınma TİP-1 (Tablo 4.2.) standardına göre nihai gradasyon elde edilmiştir.

Tablo 4.2. KTŞ Aşınma Tip-1 tabakası gradasyon limitleri

Elek açıklığı		Şartname sınırı	
Mm	inç	Alt Sınır	Üst Sınır
19,00	3/4"	100	100
12,50	1/2"	88	100
9,50	3/8"	72	90
4,75	No.4	42	52
2,00	No.10	25	35
0,425	No.40	10	20
0,180	No.80	7	14
0,075	No.200	3	8

4.2.1.4. Agreganın Los Angeles (Aşınma) Deneyi İle Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Taş ocağından temin edilen agregaların parçalanma direncinin belirlenmesi amacıyla ASTM C 131-89 [26] standardına uygun olarak Los Angeles deneyi uygulanmıştır. Bu deney ile doğal ve yapay agregaların aşınma direnci belirlenmekte ve sonuç % cinsinden kayıp olarak bulunmaktadır [25]. Esnek üst yapılarda trafik yüklerinin etkisiyle meydana gelebilecek aşınma miktarları önemli bir parametredir. Çünkü agregaların aşınma etkisiyle fazla kütle kaybına uğramaması beklenir.

Los Angeles deney aleti, alt ve üst kısmı kapalı içi boş yatay şekilde duran bir silindirden oluşur. Yatay durumda dönmesini sağlayan aks yardımıyla çalışmaktadır. Malzemeleri içine eklemek için yüzeyinde özel bir kapak bulunmaktadır. Silindirin iç yüzeyinde silindir eksenine paralel olacak şekilde 9cm genişliğinde ve silindir boyunca uzanan yeterli kalınlıkta ve deformasyon yapmayacak şekilde çelik raf bulunur. Aşınma için kullanılan bilyeler 4.68 cm çapında, 445 gr ağırlığında dökme demir veya çelik den imal edilen kürelerdir [13].

Çalışmada öncelikle tamburun içi temizlenmiştir. Bilyeler ve agrega numunesi tambur içine yerleştirildikten sonra tamburun kapağı sıkıca kapatılmıştır. Tambur 500 tam devir yaptıktan sonra agregalar tamburun altındaki tepsiye dökülmüştür. Küçük boyutlu tanelerin içinde kalmamasına özen gösterilerek tamburun içindeki bütün malzemeler çıkartılmıştır. Agregalar içerisindeki bilyeler tepside alınıp 1.6 mm’lik elek yardımıyla ıslak eleme yapılmıştır. Elek üstünde kalan malzemenin kuruması için agregalar 110±5 °C’ deki etüvde kurutulmuştur.

Daha sonra numuneler etüvden çıkartılarak Los Angeles aşınma yüzdesi katsayısı (LA) aşağıdaki Denklem 8. ile hesaplanmıştır.

$$\text{Aşınma Yüzdesi (\%)} = \frac{\text{İlk Ağırlık} - \text{Son Ağırlık}}{\text{İlk Ağırlık}} \quad (8)$$

ASTM C 131-89’a göre yol kaplamalarında kullanılacak malzemelerde aşınma oranı %30’u geçmemelidir. Her bir numune için üç adet deney yapılmış, aşınma oranları tespit edilmiştir.

4.2.2. Bitümün Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Karayolları genel müdürlüğünden (KGM) temin edilen bitümün özelliklerini belirlemek için EN 1427 standardına göre yumuşama noktası deneyi, TS EN 1426 standardına göre penetrasyon deneyi, EN 13302 standardına göre viskozimetre deneyi ve TS EN 2592 standardına göre parlama noktası deneyleri uygulanmıştır. Deneylerin detayları aşağıdaki başlıklarda anlatılmıştır.

4.2.2.1.Yumuşama Noktası Deneyi

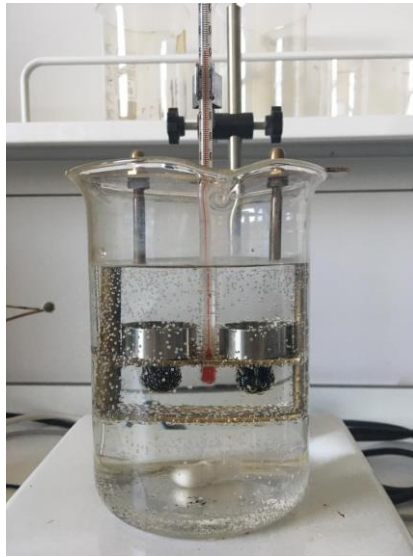
Bitüm ’ün 22°C-80°C arasındaki sıcaklıkta ısıya karşı duyarlılığını ölçmek için TSE 120, EN 1427, ASTM D36 gibi farklı yumuşama noktası deney standartları kullanılmaktadır. Bu çalışmada EN:1427 standardı referans alınmıştır [27]. Etüvde 140°C-160°C ısıtılarak akışkan hale getirilen bitüm numuneleri yüzüklerin içine boşaltılmıştır. Bitüm numuneleri oda

sıcaklığında, minimum 30 dk, maksimum 240 dk olacak şekilde soğumaya bırakılmıştır. Kullanılan metal yüzük ve bitümün eşit sıcaklığa gelmesi için numuneler 15 dk boyunca 4°C-6°C arası su banyosunda beklenmiştir. Su banyosundan çıkartılan bitüm numunesi Şekil 4.7. de görüldüğü gibi 4°C suyun içinde düzeneğe yerleştirilerek ısıtıcının üzerine koyulmuştur.



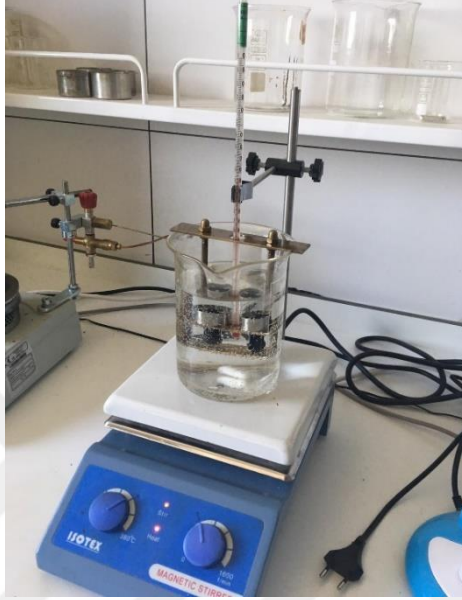
Şekil 4.7. 4°C deki numune görseli

Isıtıcı ayarı, suyun ısı artışını ilk 3 dk da 0.6°C sonrasında ise her 1 dakika da 1°C arttıracak şekilde ayarlanmıştır. Deneyin bu aşaması Şekil 4.8. de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Isınan su içerisindeki deney görseli

Bitümler plaka yüzeyine Şekil 4.9. deki gibi değdiğinde deney bitirilmiştir. Sonuçlar arasındaki fark saf bitümler için 1°C, polimer modifiyeli bitümler için 1.5°C den fazla ise deney tekrarlanmalıdır. Buna göre deneyin doğruluğu kontrol edilmiş ve sonuç 0.2 nin katı olarak yuvarlanıp kaydedilmiştir.



Şekil 4.9. Yumuşama noktası deney sonuç görseli

4.2.2.2. Penetrasyon Deneyi

Penetrasyon deneyi TS EN 1426 standardına uygun olarak oda sıcaklığında yarı katı haldeki bitümün kıvamını ölçmek için uygulanmıştır.[28] Bu ölçüm bitümün agregayı kavrayıcılığı ve ısı ya karşı duyarlılığı hakkında fikir vermekte ayrıca farklı sıcaklık değerine sahip coğrafi bölgelerde asfalt yollarda ne tarz bitüm kullanılması gerektiği hakkında fikir vermektedir.

Penetrasyon değeri yüksek bir bitüm daha akışkan olduğu için soğuk yerlerde kullanılmaya elverişli iken penetrasyon seviyesi düşük bitümler daha katı oldukları için sıcak yerlerde kullanılmaya daha uygundur. Deneyin yapımında TSE 118, EN 1416, ASTM D5-97 gibi farklı standartlar kullanılmaktadır. Tez çalışması kapsamında EN 1416 standardı referans alınmıştır.

Etüv 'de 140°C'de 1 saat ısıtılarak akışkan hale getirilen bitümler, deney kaplarına soğumadan boşaltılmış, içindeki hava kabarcıkları yüzeyine ateş tutularak ve kabı titreterek alınmıştır. Kalıplardaki bitüm numuneleri oda sıcaklığında 60 dk soğumaya bırakılmıştır. 60 dk oda sıcaklığında soğumaya bırakılan bitümler sonrasında, Şekil 4.10. daki gibi su yüzeyinden 5 - 6 cm aşağıda olacak şekilde 25°C su banyosunda 45-60 dk arası bekletilmiştir. Su banyosundan çıkartılan bitümler ortam şartlarından etkilenmemesi için aynı sıcaklıkta suyun bulunduğu kabın içerisine yerleştirilerek penetrasyon cihazında üçgen biçiminde olacak şekilde 3 nokta'dan ölçüm yapılmıştır. Ölçümlerin doğru sayılabilmesi için ölçümler arasındaki farkın Tablo 4.3.'te belirtilen değerlerden fazla olmaması beklenmektedir. Deneyin doğruluğu Tablo 4.3.'e göre kontrol edilmiş ve sonuçlar kaydedilmiştir.

Tablo 4.3. Penetrasyon doğruluk limitleri

Penetrasyon değeri	49'a kadar	50-149 arası	150-249 arası	250 ve üzeri
En yüksek ve en düşük nokta arasındaki maksimum fark	2	4	6	8

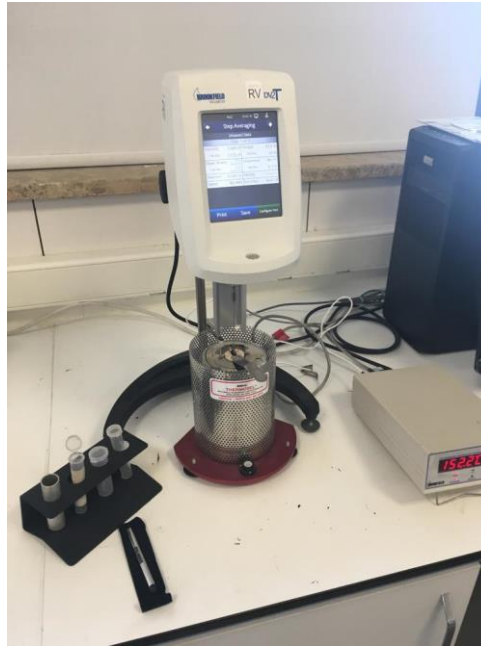


Şekil 4.10. Penetrasyon deneyi görseli

4.2.2.3.Dönel Viskozimetre Deneyi

Viskozimetre deneyi bitümün farklı sıcaklıklardaki akışkanlığını ölçmek için kullanılır. Ölçüm den elde edilen bulgular bitümün sahada uygulanması sırasında agregâ ile oluşturacağı kohezyon hakkında fikir vermektedir. Viskozimetre değeri yüksek olan bitüm'ün kıvamı yoğun olacağı için agregâ ile homojen olarak karışamaz bu sorun asfalt tabakasının serilmesinde ve sıkıştırılmasında problemler çıkartabilir. Deneyin yapımında EN 13302, ASTM 4402 gibi standartlar kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında EN 13302 standardı referans alınmıştır [29].

Brookfield viskozimetre cihazında Şekil 4.11. de gösterildiği gibi denge ayarları yapıldıktan sonra, önce 135°C sonrasında ise 165°C de ölçümler yapmak için cihazın ısısı ayarlanmıştır. İlk ölçüm olan 135°C için alüminyum tüpün içine 13-15 gr bitüm numunesi eklenerek tüp cihaz haznesinin içine yerleştirilmiştir. İlk 30 dk bitümün 135°C ye koşullanması için test numunesi ısıtıcı haznenin içinde bekletilmiştir, sonrasında spindil numune içine daldırılarak 15 dk bitüm test numunesinin içinde bekletilmiştir. Böylelikle spindil da bitüm numunesi ile aynı sıcaklık seviyesine gelmiştir. Tork seviyesi %5-95 arasında olacak şekilde her 1 dk sonunda 1 ölçüm olacak şekilde toplamda 3 ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin ortalaması kaydedilmiştir. Aynı işlem adımları 165°C için de yapılarak. Bitümün 135°C ve 165°C deki viskozimetre değeri tayin edilmiştir.



Şekil 4.11. Brookfield viskozimetre cihazı

4.2.2.4.Parlama Noktası Deneyi

Parlama noktası, yanıcı madde buharının alev ile temasında ani olarak parladığı fakat tutuşmadığı en düşük sıcaklıktır. Malzemenin parlama noktasının bilinmesi, ilgili malzemenin uygulama, taşıma veya saklama sırasında ısıtılırken meydana gelebilecek tutuşma ve yangın tehlikesinin önlenmesi bakımından çok önemlidir.

Parlama noktası deneyi, petrol ürünlerinin parlama ve yanma noktalarının açık kap cihazı ile test edilmesine denir. Genellikle açık kap parlama noktaları 79 °C ile 400 °C arasında olan petrol ürünleri için uygulanır [30]. Bu kapsamda, çalışmada kullanılan 50/70 penetrasyonlu bitümün parlama noktası TS EN 2592'ye uygun olarak tayin edilmiş ve güvenli çalışma sıcaklığı belirlenmiştir.

4.2.2.5.Bitüm Özgül Ağırlık Deneyi

Bağlayıcı bitümün özgül ağırlığı iki açıdan önemlidir. Bunlardan birincisi, bağlayıcı bitüm cinsinin belirlenmesine yardımcı olması, diğeri ise hacim ile ağırlık arasındaki bağıntının bilinmesinin önemidir. Bitümlü kaplamalara ait şartnamelerde oranlar ağırlıkça yüzde cinsinden belirtilir fakat bağlayıcılar çoğunlukla hacimce ölçülmektedir. Sıcak karışımlarda ise bağlayıcının genleşme katsayısının belirlenmesi faydalıdır. Böylece herhangi bir sıcaklıkta özgül ağırlık hesaplanabilmektedir [6].

Özgül ağırlığın belirlenmesinde piknometre metodu kullanılmıştır (Denklem 9). Deneyde öncelikle boş piknometre kuru olarak tartılmış ve daha sonra içerisine su eklenerek tekrar tartılmıştır. Piknometre kabı boşaltılarak kurutulmuş ve içerisine piknometrenin 2/3 ü yüksekliğine kadar gelecek şekilde yeterli miktarda bağlayıcı bitüm eklenmiştir. Piknometrenin içinde kalan boşluklar 25°C deki saf su ile doldurularak piknometre toplam ağırlığı ölçülmüştür.

Deneyde;

- a: Boş Piknometre ağırlığı (gr)
- b: Su ile dolu piknometre ağırlığı (gr)
- c: Piknometre ve numune ağırlığı (gr)

d: Piknometre numune ve su ağırlığı (gr)
temsil etmektedir.

$$\text{Bitüm Özgöl Ağırlığı } \left(\frac{kN}{cm^3} \right) = \frac{c - a}{(b - a) - (d - c)} \quad (9)$$

4.2.2.6.Marshall Stabilite ve Akma Deneyi

Aynı gradasyona sahip agregalar karışımlarına farklı miktarlarda(%3.5, %4, %4.5, %5,%5.5) asfalt çimentosu karıştırılarak yüksek stabilite değerini veren optimum bitüm miktarının belirlenmesinde, bitümlü karışımındaki boşluk oranlarını ve kuru agregalar karışımındaki hava boşluklarının bağlayıcı bitüm ile doldurulma oranlarını hesaplamada kullanılan serbest basınç deneyidir. Deneyin uygulanmasında ASTM 1559 standardı referans alınmıştır [31].

Deney numunelerinde yer alan agregalar, granülometrik şartlara uygun olarak 1150 gr'lık Marshall briket numuneleri şeklinde hazırlanmıştır. Karışımında kullanılacak olan filler malzemesi miktarı önceden belirlenmiştir. Hazırlanan agregalar karışımları 18 saat 160°C de etüvde bekletilmiş ve bitüm 150-155°C ısıya ulaşana kadar etüvde ısıtılmıştır. Ayrıca agregalar ağırlığının %3.5, %4.0, %4.5, %5.0 ve %5.5 üzere bitümler hazırlanmıştır. Isıtılmış agregalar ile farklı orandaki bitümler karıştırılarak 5 çeşit numune oluşturulmuş ve her numuneden üçer tane olacak şekilde diğer numuneler hazırlanmıştır. Böylece her çeşitten üçer adet olacak şekilde toplamda 15 adet numune oluşturulmuştur. Farklı bitüm oranlarına sahip olan numuneler 160-163°C karıştırma sıcaklığında karıştırılarak önceden ısıtılmış olan 101.6mm (4inç) çapında ve 63.5 mm (2.5 inç) yüksekliğinde numune kalıbı malzemesine yerleştirilerek 457.2mm'den (18 inç'ten) düşen 4536 gr (10 lb.) ağırlığındaki tokmak ile 150-155°C de 75 tokmak darbesi ile sıkıştırılmıştır. Daha sonrasında krika ile numune kalıptan çıkartılarak bir gece oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır.

Bir gece soğumaya bırakılan numuneler soğuduktan sonra kumpas ölçüm aleti ile 3 farklı yerinden boyları ölçülerek, havadaki ağırlıkları, sudaki ağırlıkları ve doygun kuru yüzey ağırlıkları tartılarak kaydedilmiş ve Marshall deneyine başlanmıştır.

Marshall deneyinde numuneler öncelikle 60°C sıcaklığa getirmek için yaklaşık 30-40 dakika su banyosunda bekletilmiştir. Deney düzeneğindeki kılavuz çubuğu ve deney başlıkları

temizlenip üst plaka numunenin kolay çıkması için yağlanmıştır. Su banyosundan çıkartılan briketler deney plakasına yerleştirilmiştir. Deney standardına göre numunenin ısı kaybına uğramaması ve dış etkenlerden etkilenmemesi için numunenin su banyosundan çıkartılıp maksimum yük saptamasına kadar geçen süre 30 saniyeden fazla olmamalıdır. Bu süreye dikkat edilerek aparata yerleştirilen briketin kırıldığı andaki maksimum yük değeri ile akma değeri ölçülmüştür.

4.2.3. Bitümlü Sıcak Karışım Hesapları İçin Gerekli Bağıntılar

4.2.3.1. Agregata Etketif Özgöl Ağırılığının Belirlenmesi

Agregata tarafından absorbe edilen su miktarı, absorbe edilen asfalt hacminden daha fazladır. Bundan dolayı agreganın etketif özgöl ağırlığı, hacim ve zahiri özgöl ağırlık değeri arasında olmalıdır. Etketif özgöl ağırlığın bu değeri dışında olması durumunda değeri hatalı olduğu varsayılır. Bu durumda yapılan teorik özgöl ağırlık deneyi yeniden gözden geçirilmelidir.

Bu deneyin yapılamadığı durumlarda, hacim özgöl ağırlığı ve zahiri özgöl ağırlığı değeri ortalaması alınarak bulunan değeri, etketif özgöl ağırlık değeri olarak kullanılabilir. Bu çalışmada kullanılan agreganın etketif özgöl ağırlık değeri aşğıdaki Denklem 10. yardımıyla hesaplanmıştır [15].

$$G_{ef} = \frac{100}{\frac{100 + W_a}{D_t} - \frac{W_a}{G_b}} \quad (10)$$

Burada;

G_{ef} : Agregata etketif özgöl ağırlığı (asfalt absorbe eden boşluklar hariç tüm boşlukları içerir)

W_a : Agreganın yüzdesi olarak bitüm

D_t : Gevşek kaplama karışımının boşluksuz maksimum özgöl ağırlığı

G_b : Bitüm özgöl ağırlığı

4.2.3.2.Karışım Numunesi Hacimlerinin Belirlenmesi

Briketlerin havadaki ve sudaki ağırlıkları tartılarak belirlenmiş ve briketin havadaki ağırlığından sudaki ağırlığı çıkartılarak briketin hacmi aşağıdaki Denklem 11. ile bulunmuştur.

$$V=Bb - Cb \quad (11)$$

Burada;

V: Briketin hacmi

Bb: Briketin havadaki ağırlığı

Cb: Briketin sudaki ağırlığını ifade etmektedir.

4.2.3.3.Sıkıştırılmış Agregalar Arası Boşluk Hacmi Yüzdesinin Belirlenmesi

Agregalar arası boşluk yüzdesi (VMA), sıkıştırılmış agregada daneleri arasındaki boşluk oranı olarak tanımlanır ve toplam hacmin yüzdesi olarak hesaplanır. Agreganın hacim özgül ağırlığı referans alınarak VMA hesaplanmış, sıkıştırılmış karışımın hacim yüzdesi olarak ifade edilmiş ve Denklem 12. İle aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$VMA (\%) = 100 - \frac{Ds}{Gsb} * \frac{100}{100 + Wa} * 100 \quad (12)$$

Denklemden;

VMA: Agregalar Arası Boşluk Yüzdesi (%)

D_s: Sıkıştırılmış Karışımın Hacim Özgül Ağırlığı (kN/cm³)

G_{sb}: Agregalar Hacim Özgül Ağırlığı (kN/cm³)

W_a: Agregalar Ağırlığının Yüzdesi Olarak Bitüm Ağırlığı (gr)

4.2.3.4.Farklı Oranlarda Bitümle Hazırlanan Karışımın Maksimum Özgöl Ağırlığının Belirlenmesi

Her bir bitüm yüzdesindeki hava boşluğu hesaplanırken farklı bitüm yüzdelerindeki maksimum özgöl ağırlığa ihtiyaç (D_{tt}) duyulur. Deney çalışması yapılırken en doğru sonuca ulaşabilmek için optimuma yakın oranda bitüm yüzdesinde hazırlanmalı ve maksimum özgöl ağırlık için iki veya üç deney yapılmaya çalışılmalıdır. Bitüm miktarının değişmesi bitüm absorpsiyonunu önemli seviyede değiştirmez. Bundan dolayı D_{tt} , aşağıdaki Denklem 13. kullanılarak her bitüm yüzdesi için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$\text{Max. Teorik Özgöl Ağırlık (Dtt)} = \frac{100 + W_a}{\frac{100}{G_{ef}} + \frac{W_a}{G_b}} \quad (13)$$

Denklemde;

D_{tt} : Boşluksuz Kaplama Karışımının Maksimum Özgöl Ağırlığı (kN/cm^3)

W_a : Agreganın Ağırlığının Yüzdesi Olarak Bitüm Ağırlığı (gr)

G_{ef} : Agreganın Efektif Özgöl Ağırlığı (kN/cm^3)

G_b : Bitüm Özgöl Ağırlığı (kN/cm)

4.2.3.5.Sıkıştırılmış Karışımındaki Hava Boşluğu Ve Asfalt Dolu Boşluk Yüzdesinin Belirlenmesi

Sıkıştırılmış numune karışımı içindeki hava boşluğu, kaplanmış agreganın daneleri arasındaki küçük hava boşluklarıdır. Bu çalışmada üretilen asfalt betonlarının hava boşluk oranı yüzdesel olarak aşağıdaki Denklem 14. yardımı ile hesaplanmıştır.

$$V_h = \frac{D_{tt} - D_p}{D_t} * 100 \quad (14)$$

Denklemdede;

V_h: toplam hacim yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımdaki agregat boşluğu (%)

D_{tt}: kaplama karışımının özgül ağırlığı (kN/cm³)

D_p: sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı (kN/cm³)

Asfaltla dolu boşluk(V_f), sıkıştırılmış kaplama karışımının bitümle dolu olan boşluklarını ifade eder. Çalışmadaki asfalt dolu yüzdesi ise aşağıda verilen Denklem 15. ile hesaplanmıştır.

$$V_f = \frac{VMA - V_h}{VMA} \quad (15)$$

Denklemdede;

V_f: Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesi

VMA: Agregatlar Arası Boşluk (%)

V_h: Toplam Hacmin Yüzdesi Olarak Sıkıştırılmış Karışımdaki Hava Boşluğu

4.2.3.6. Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi

Optimum bitüm oranının tayini için hazırlanan 5 farklı orandaki (%3,5 %4 %4,5 %5 %5,5) toplam 15 test numunesi üzerinde yukarıda yöntemleri anlatılan stabilite, asfaltla dolu boşluk oranı, pratik özgül ağırlık ve hava boşluğu deneyleri yapılmış ve sonuçlar grafik haline dönüştürülmüştür.

Stabilite-bitüm yüzdesi grafiğinde, en yüksek stabiliteyi veren bitüm yüzdesi değeri ve en büyük pratik özgül ağırlık değerini veren bitüm oranı, bitüm dolu boşluk yüzdesini %70 olarak sağlayan bitüm oranı ve %4 boşluk oranını sağlayan bitüm oranı(KTŞ Aşınma Tip-1 2013) grafiklerden tespit edilerek, bulunan bu dört sonucun ortalaması alınarak optimum bitüm oranı belirlenmiştir.

Marshall metoduyla belirlenen optimum bitüm oranı KTŞ aşınma tip-1 de istenen limit değerler (%4-7) arasında olmalıdır. Optimum bitüm miktarının şartnamede belirtilen akma limit değerini ve agregatlar arası boşluk yüzdesi limit değerlerini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiş ve sağladığı gözlemlenmiştir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1.Agrega Fiziksel Özellikleri

Deneyisel çalışmalarda kullanılan ince ve kaba agreganın özgül ağırlığının belirlenmesi için uygulanan deneyler ve sonuçları Tablo 5.1 'de gösterilmiştir. TS 3526 standardına göre kaba agreganın için özgül ağırlık limit değerinin en az 2,6 gr/cm³ olması gerekmektedir. Tez kapsamında yapılan deneyler sonucunda iri agreganın hacim özgül ağırlığı 2,696 gr/cm³ bulunmuştur ve limit değerlerinin üzerinde olduğu görülmüştür. TS 3526 standardına göre agreganın için su absorpsiyon oranının en fazla %2,5 olması gerekmektedir. Yaptığımız çalışmada agreganın su emme oranının %0,47 olduğu görülmüştür ve limit değerinin altında olduğu saptanmıştır. TS 3529 standardına göre ince agreganın malzemeleri için özgül ağırlığın en az 2.25 gr/cm³ olması gerekmektedir. İnce agreganın üzerinde yaptığımız özgül ağırlık deneyleri sonucunda malzemenin özgül ağırlığı 2.700 gr/cm³ olarak bulunmuştur ve şartname limit değerini sağladığı görülmüştür. TS 3529 standardına göre ince agreganın için su emme oranının en fazla %2,5 olması gerekmektedir. Yaptığımız deney sonuçlarında kullandığımız ince agreganın su absorpsiyon oranı %0,57 olarak bulunmuştur. Bulunan sonucun şartname sınır değerlerinin altında olduğu saptanmıştır.

Tablo 5.1 İri ve İnce agreganın için yapılan deneyler ve sonuçları

Özellik	Değer	Standart
İri agreganın hacim özgül ağırlığı	2.696 gr/cm ³	ASTM C 128-88
İri agreganın zahiri özgül ağırlığı	2.730 gr/cm ³	ASTM C 128-88
İri agreganın su emme oranı	% 0,47	ASTM C 128-88
İnce agreganın hacim özgül ağırlığı	2.700 gr/cm ³	ASTM C 128
İnce agreganın zahiri özgül ağırlığı	2.742 gr/cm ³	ASTM C 128
İnce agreganın su emme oranı	% 0,57	ASTM C 128

5.2.Fillerin Zahirî Özgöl Ağırlığı

Yapılan çalışmada filler malzemeleri için Karayolu Teknik Şartnamesinde (KTŞ Aşınma Tip-1) belirtilen %3 ve %8 sınır değerlerinin arasındaki %4.7 oranında filler miktarı kullanılmıştır. Yol üst yapısında fillerin etkisini araştırdığımız çalışmada, filler olarak yanmış fındık kabuğu(FKK) külü, atık geri kazanım(AGK) külü ve kırmataş kalker tozu filler olarak kullanılmıştır. Kullanılan fillerin özgöl ağırlık deney sonuçları Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Farklı türlerdeki fillerin özgöl ağırlık değerleri

Filler Türü	Özgöl Ağırlık Değeri	Standart
Kalker Filler	2.770 gr/cm ³	ASTM C 854
AGK Filler	2.811 gr/cm ³	ASTM C 854
Yanmış Fındık Filler	0.78 gr/cm ³	ASTM C 854

5.3.Bağlayıcı Olarak Kullanılan Bitümün Deney Bulguları

Deneyisel çalışmalarda TS EN 12591 “Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar” standardına uygun olacak şekilde 50/70 penetrasyonlu bitüm kullanılmıştır. Kullanılan bitüm Karayolları 5. Bölge Müdürlüğünden temin edilmiştir. Bitüm özellikleri Tablo 5.3 ‘de gösterilmiştir.

Tablo 5.3. 50/70 bitüm özellikleri

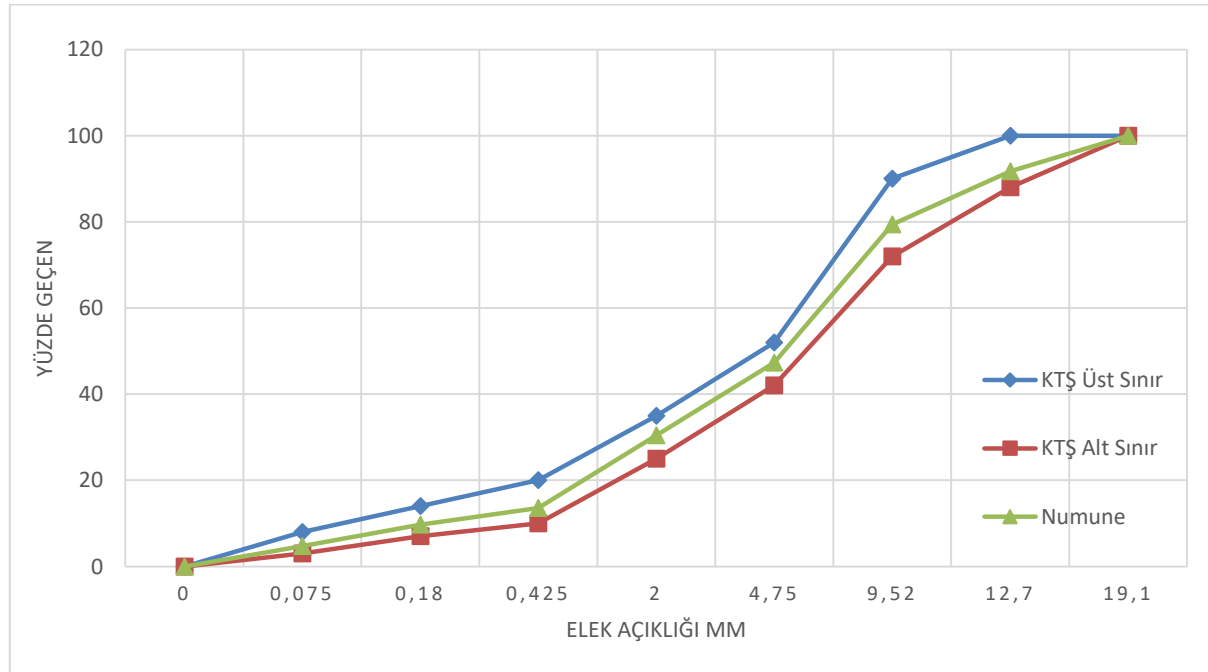
Özellik	Birim	Değer	Sınır	Standart
Penetrasyon 25 °C’ta 100 g, 5 sn.	0,1mm	54		TS EN 1426
Yumuşama Noktası	°C	46-54		TS EN 1427
Sertleşmeden Sonra Yumuşama	°C	48	En az	TS EN 1427
Parlama Noktası	°C	230	En az	TS EN ISO 2592
Çözünürlük	% ağırlık	99	En az	TS EN 12592
Özgöl Ağırlık	gr/cm ³	1.040		TS EN 12591

5.4.Deneyde Kullanılan Agrega Gradasyonu

Tez çalışmasında kullanılan agreganın gradasyonu “Karayolları Teknik Şartnamesine Aşınma Tabakası Tip-1 2013” standartlarına göre seçilmiştir. Kullanılan agreganın gradasyon değerleri ve şartname limitleri Tablo 5.4 ve Şekil 5.1 ‘de gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Deneyde kullanılan agrega granülometresi

Elek Açıklığı	KTŞ Aşınma Tip-1 Limitleri (2013)	Deneyde Kullanılan (% Geçen)
19mm (3/4")	100	100
12.5mm (1/2")	88-100	91,7
9.5mm (3/8")	72-90	79,4
4.75mm (No:4)	42-52	47,3
2.00mm (No:10)	25-35	30,4
0.425mm (No:40)	10-20	13,6
0.180mm (No: 80)	7-14	9,7
0.075mm (No:200)	3-8	4,7



Şekil 5.1. : Agrega Gradasyonu

5.5. Numunelere Uygulanan Deneyler

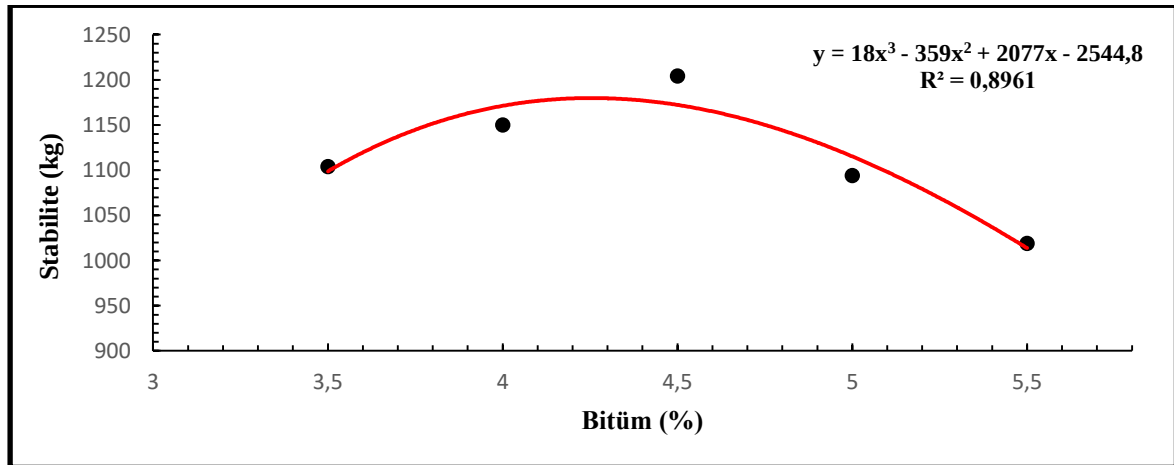
Gradasyonu belirlenen agregalar ile belirli miktardaki bitüm karıştırılarak hazırlanan numunelere ‘Marshall’ ve ‘İndirekt Çekme’ deneyleri uygulanmıştır. Deney numuneleri 2 farklı inceleme grubunda yapılmıştır. 1. Grup deney numunelerindeki filler dağılımı %25 Fındık Kabuğu Külü (FKK) filler ve %75 Kalker Filler den başlayarak %50-50, %75-25 ve %100 FKK filler olacak şekilde hazırlanmıştır. 2. Grup deney numunelerinde ise FKK filler yerine aynı karışım oranlarında AGK filler kullanılmıştır. Numuneler hazırlanırken her farklı filler oranı için, daha önce belirlenen optimum bitüm yüzdeleri sabit tutularak karışım hazırlandı ve filler karışımının numune üzerindeki etkisi incelenmiştir.

5.5.1. Marshall Metodu İle Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi

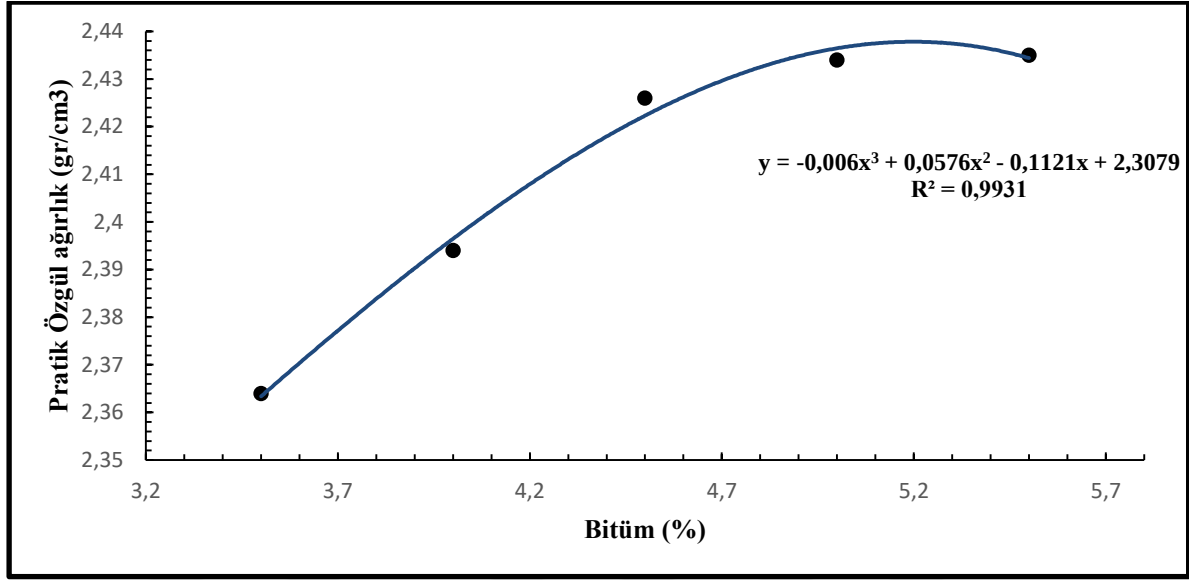
Agrega gradasyonundaki filler karışım oranları ayarlanarak (%25-75, %50-50, %75-25, %100) numuneler hazırlandıktan sonra, hazırlanan numunelere 5 farklı oranda (%3,5 - 4 - 4,5 - 5 ve 5,5) bitüm ilave edilmiştir.

5.5.2. Filler Olarak Kırmataş Kalkerin Kullanıldığı Numunelere Ait Grafikler

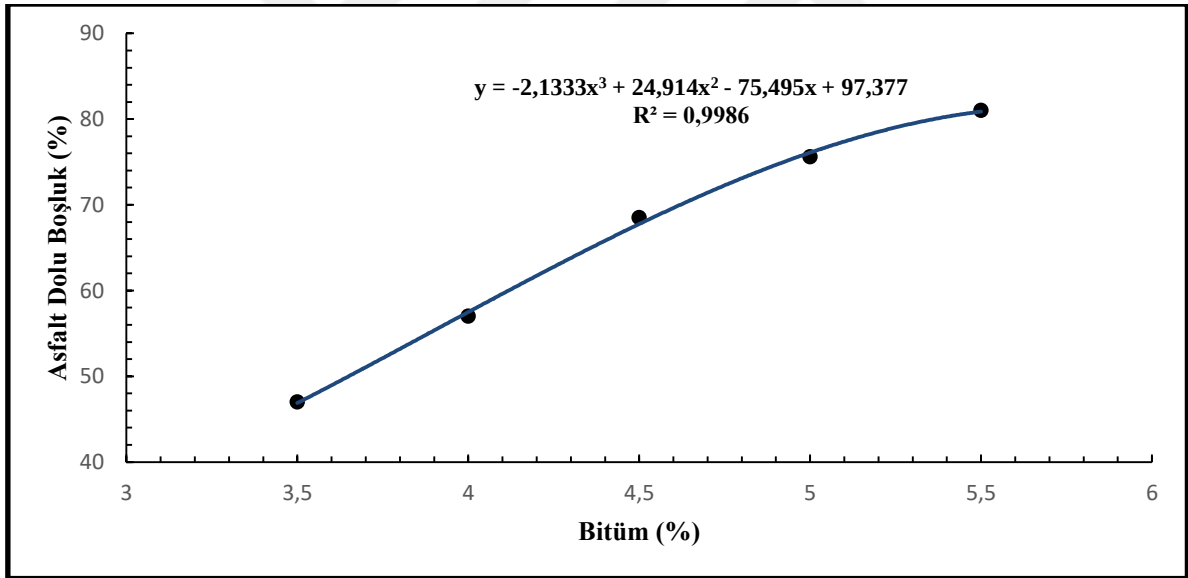
Kalker kırmataş tozu ile farklı bitüm yüzdelerinde yapılan stabilite deney sonuçlarına göre stabilite, asfalt dolu boşluk yüzdesi, boşluk yüzdesi, pratik özgül ağırlık, akma ve VMA % değerlerinin değişimi Şekil 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, ve 5.7.’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Marshall stabilitesinin bitüm yüzdesi ile değişimi



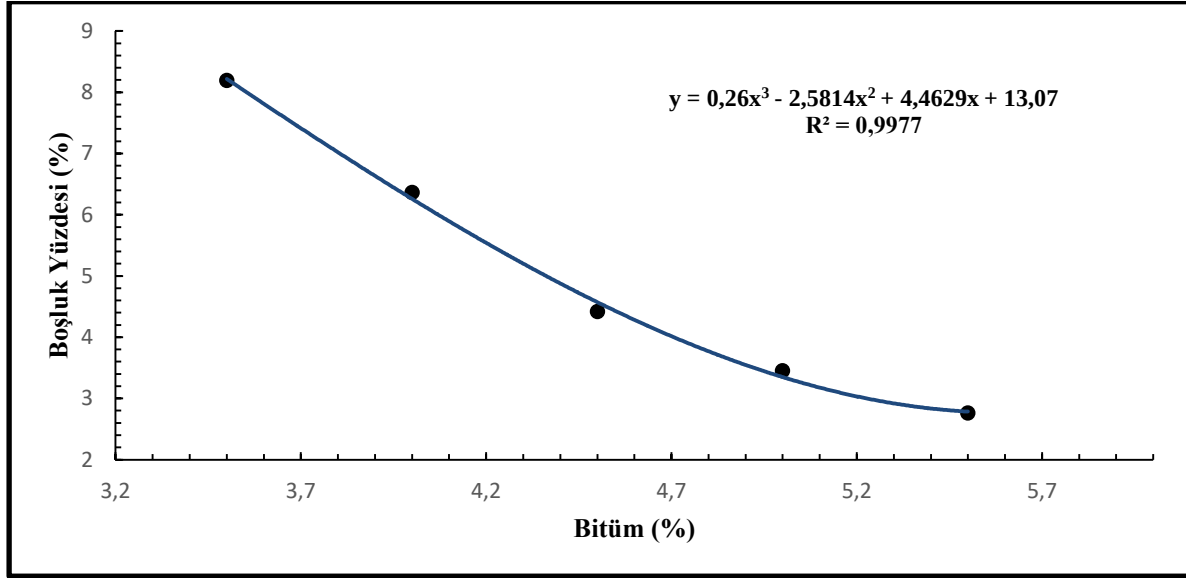
Şekil 5.3. Pratik özgül ağırlığı



Şekil 5.4. Asfalt dolu boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi

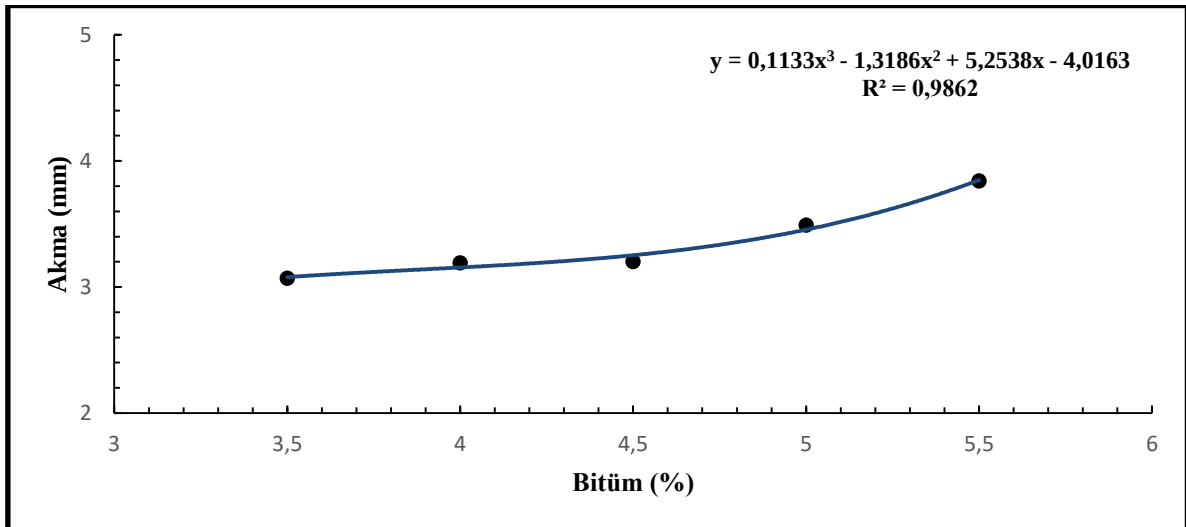
Karayolu üstyapı kaplamalarında, asfalt dolu boşluk yüzdesi KTŞ 'de belirtilen sınır değerinin altında olması durumunda agrega daneleri yüzeyindeki asfalt film kalınlığı azalacaktır. Dane yüzeyindeki asfalt film kalınlığının azalması agregaların, dış çevre etkenlerine karşı direncinin düşmesine ve yüzey kaplamasının kırılabilirliğinin artmasına neden olur. Agrega yüzeyindeki bitüm kaplamasının sınır değerlerin üzerinde olduğu durumlarda ise durabilite için gerekli olan boşluklar asfalt ile dolu olacağından, bu durum asfaltın yaz aylarında ve

sıcak havalarda trafik yükü altında kusmasına ve agrega deformasyon direncini azalmasına neden olacaktır.



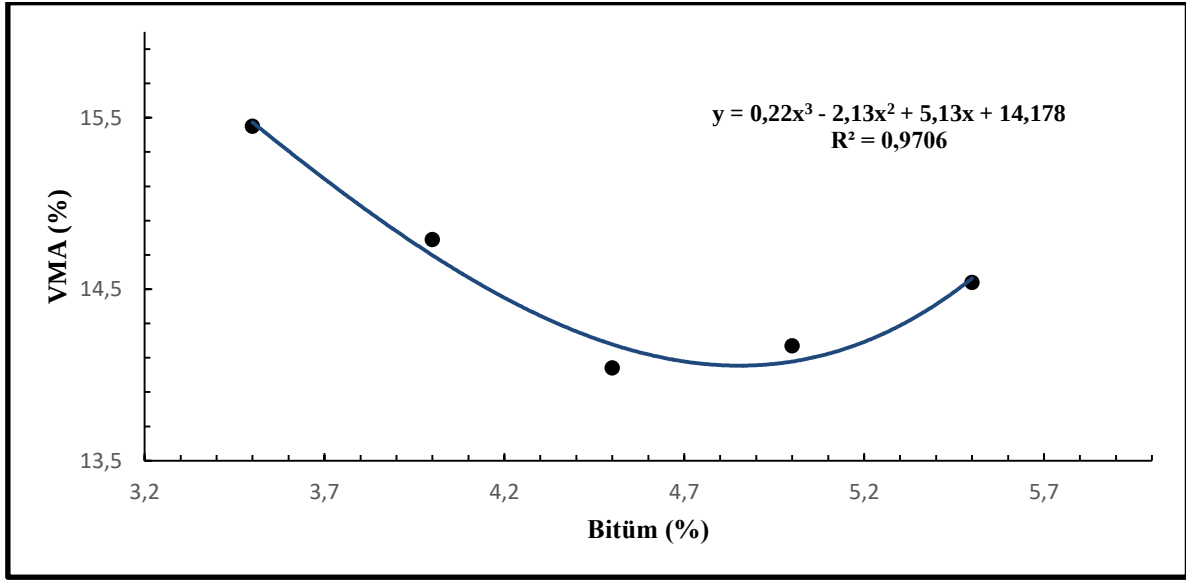
Şekil 5.5. Boşluğun bitüm yüzdesi ile değişimi

Asfalt kaplamalarda trafik yüklerinin altında sıkışmayı sağlamak için uygun miktarda hava boşluğu yüzdesi olmalıdır. Hava boşluğu yüzdesinin sınır değerlerin altında olması, kaplamanın artan sıcaklıkla birlikte kusmasına ve stabilitesinin kaybolmasına neden olur.



Şekil 5.6. Akmanın Bitüm yüzdesi ile değişimi

Akma değeri beton asfalt kaplamalarının trafik yükleri altında plastiklik ve esneklik davranışları hakkında fikir veren değerdir. Marshall stabilite deneyinde kırıldığı yüke denk gelen deformasyonu gösteren akmanın değeri, sıkışmış karışımın iç sürtünmesinin bir ölçüsüdür ve akma değeri ile iç sürtünme arasında ters ilişki vardır. KTŞ de belirtilen en yüksek akma değeri karışımın plastikliğini ve kullanılabilecek en yüksek bağlayıcı yüzdesini, en alt değeri ise karışımın gevrekliğini ve dayanıklılığını kontrol eder [6].



Şekil 5.7. VMA %'sinin bitüm yüzdesi ile değişimi

Marshall stabilite değeri bitüm yüzdesi miktarının artmasıyla ters orantılı olarak azalmaktadır (Şekil 5.2.). Pratik özgül ağırlık değeri bitüm oranı arttıkça artmaktadır (Şekil 5.3.). Bunun yanında, asfalt çimentosu ile dolu agrega boşluğu yüzdesi değerleri de asfalt çimentosu yüzdesinin artması ile doğru orantılı olarak artmaktadır (Şekil 5.4.). Benzer olarak, boşluk oranı da bitüm oranının artmasıyla azalmaktadır (Şekil 5.5.). Akma değerleri bitüm oranının artması ile artmaktadır (Şekil 5.6.).

Marshall stabilite değeri bitüm oranının %4,27 olduğu karışım numunesinde maksimum stabilite değerine ulaşmıştır(Şekil 5.2.). Maksimum birim ağırlık değeri %5,07 bitüm oranı karşılık gelmiştir(Şekil 5.3.). Karayolu Teknik Şartnamesine (KTŞ) uygun olarak, asfaltla dolu boşluk yüzdesini %70 olarak sağlayan bağlayıcı oranı karışım grafiklerinden ve sonuçlarından %4,53 olarak tespit edilmiştir(Şekil 5.4.). %4 boşluk oranını (şartnamede

belirtilen %3-5 arasındaki sınır içinde kalan) sağlayan asfalt oranının karışımlarda %4,62 olduğu görülmektedir(Şekil 5.5.). Bu şekilde bulunan dört farklı parametreye bağlı olarak belirlenen bitüm yüzdelерinin ortalaması alınarak optimum bitüm oranı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Kalker için optimum bitüm oranı} = \frac{4,27 + 5,07 + 4,53 + 4,62}{4} = 4,62$$

Bu orana karşılık gelen akma değeri şekil 5.6.'da 3,48 olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu değeri KTŞ de verilen sınır değerler(%3-5) arasında kaldığı gözlemlenmiştir.

5.5.3. Filler Olarak Fındık Kabuğu Külünün (FKK) Kullanılması

Tez çalışmasında, filler tabakasındaki etkisini incelenmek istenen FKK, Marshall deney numunelerinin hazırlanması sırasında sıcak agregaların yüzeyine yapışarak dış yüzeyini film tabakası halinde kaplamış ve bitümün agrega ile bütünlük oluşturmasını ve durabilitesini engellemiştir. FKK nedeni ile bitüm agrega yapışması sağlanamayan numune örnekleri Şekil 5.8.'de gösterilmiştir. Bu sorun deney numunelerinde soyulma oluşumuna neden olmuştur.



Şekil 5.8.FKK filler kullanılan numune soyulması

Soyulan ve bütünlük oluşturmamayan deney numuneleri Marshall test aşamalarını bile geçemedi Şekil 5.9.'daki gibi parçalanmış ve dağılmıştır.



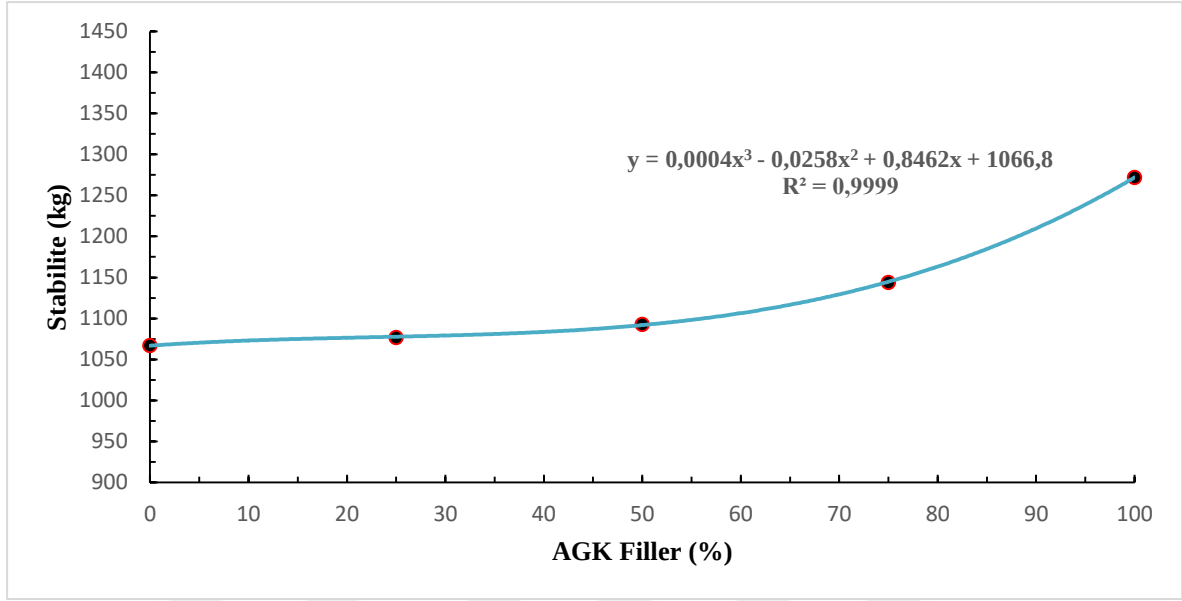
Şekil 5.9. Dağılan FKK numuneleri

5.5.4. Filler Olarak Atık Geri Kazan (AGK) Malzemesinin Kullanılması

AGK filler malzemesi için (Şekil 5.10.) optimum bitüm yüzdesi, %100 kalker tozu filler içeren karışım numunelerindeki oran ile aynı alınarak %4.7 olarak kullanılmıştır. Kalker filler yerine sırasıyla belirli oranlarda (%25-75, %50-50, %75-25, %100) AGK filler ilave edilerek yeni numuneler oluşturulmuştur. Bu numuneler üzerinde; stabilite, akma, pratik özgül ağırlık (D_p), agregalar arası boşluk (VMA), boşluk yüzdesi (V_h) ve asfalt dolu boşluk (ADB) değerleri hesaplanarak grafikleri oluşturulmuş ve AGK filler oranına bağlı olarak numuneler üzerindeki değişimleri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

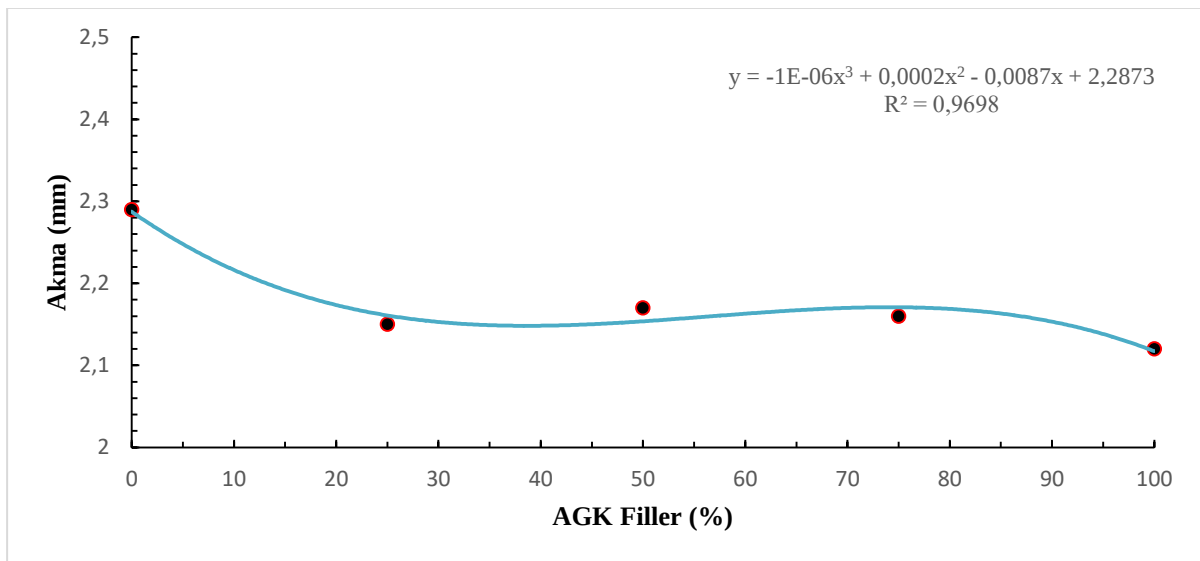


Şekil 5.10. AGK numunesi



Şekil 5.11. AGK % Fillere göre stabilite değişimi

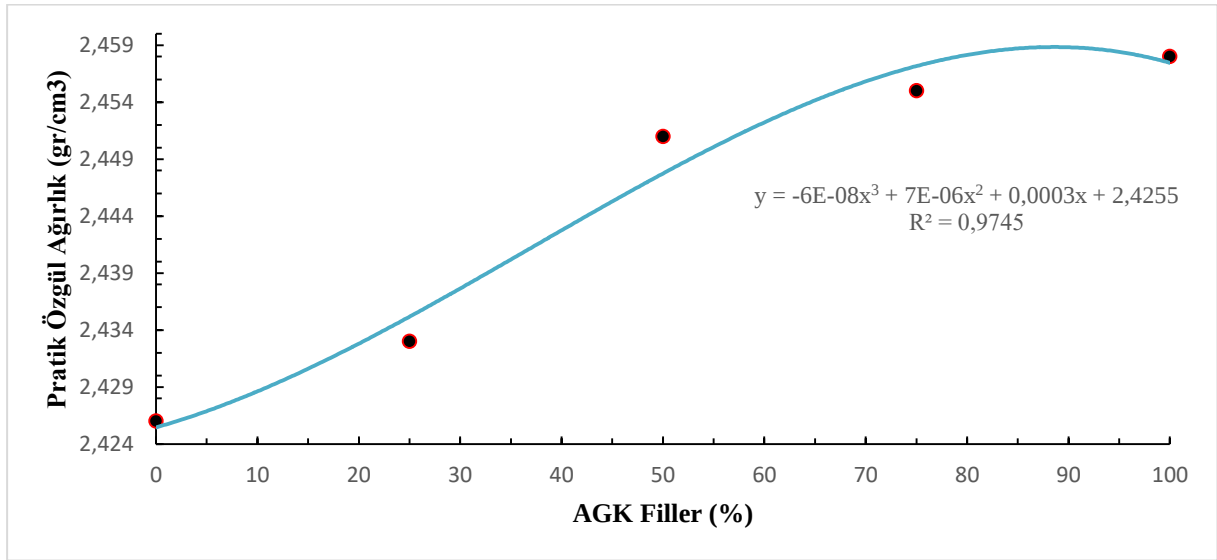
Şekil 5.11. deki stabilite değerleri referans alınarak. Kontrol numunesi olan karışımda(%100 kalker filler) 1067 kg olan stabilite, %25, %50, %75 ve %100 AGK filler eklenmesi durumunda kontrol numunesine göre sırasıyla %0.94, %2.44, %7.22 ve %19.21 oranlarında bir artış göstererek 1077 kg, 1093 kg, 1144 kg ve 1272 kg değerlerini almıştır. Bu artışlar dikkate alındığında, AGK filler % miktarı artırıldığında marshall stabilite değerlerinin önemli ölçüde yükseldiği görülmektedir.



Şekil 5.12. AGK % Filler göre akma değişimi

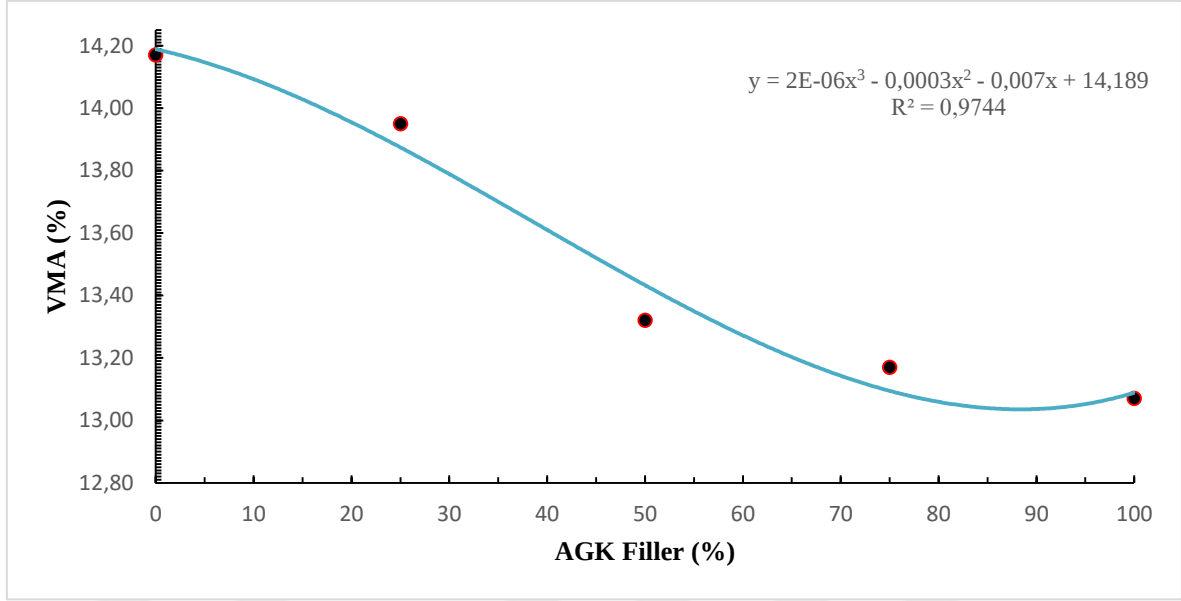
Şekil 5.12. deki akma sonuçları incelendiğinde AGK ilavesiyle akma davranışı arasında kısmen ters orantılı bir bağıntı olduğu gözlemlenmiştir. AGK miktarı %100 olduğunda, bitümlü karışım numunesinin 2.12 mm ye kadar düştüğü, %25 AGK ilave edilmesi durumunda ise 2.15 mm olduğu görülmüştür.

Elde edilen bu deneysel bulgular AGK ikamesinin akma değerlerinde %7,5'lara varan azalma ile asfalt çimentosunu daha gevrek bir malzemeye dönüştürdüğü görülmektedir. Buradaki sonuçlara göre tüm değerler KTŞ de belirtilen sınırlar arasında (2-4 mm) arasında kalmıştır.



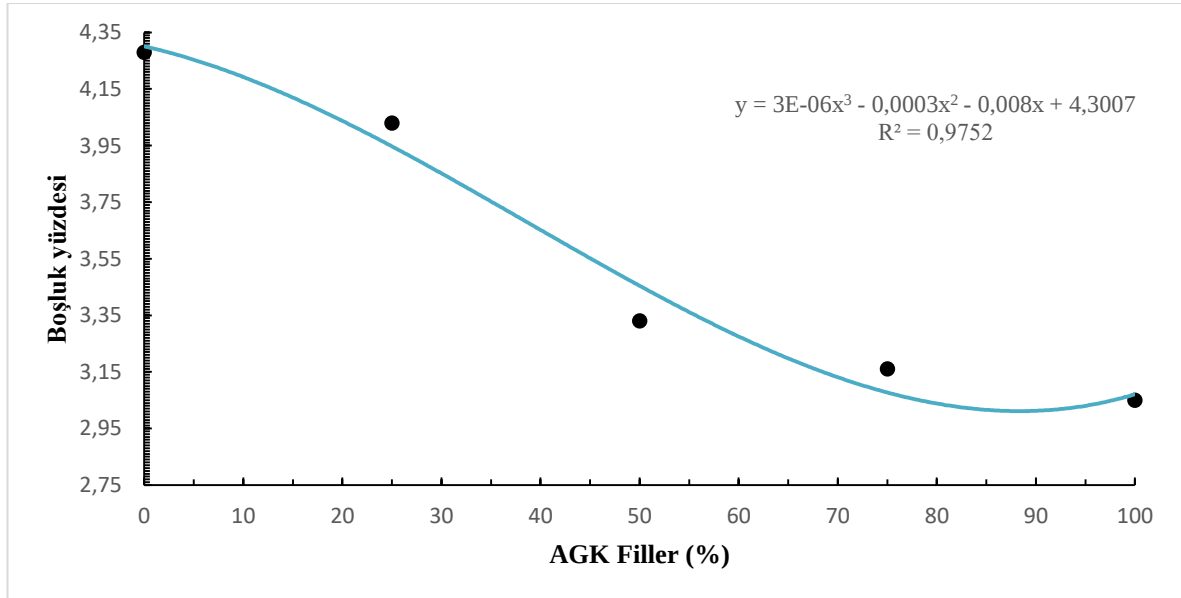
Şekil 5.13. AGK % fillere göre pratik özgül ağırlık değişim yüzdesi

Şekil 5.13. de kalker fillere AGK ilave edilmesi durumunda numunelerin pratik özgül ağırlık değeri ile referans numune arasında %1 lik gibi çok küçük bir farkın olduğu görülmektedir. Bu da AGK (2.811 gr/cm³) ve kırmataş tozunun özgül ağırlıklarının birbirine yakın olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.14. AGK % filler VMA değişimi

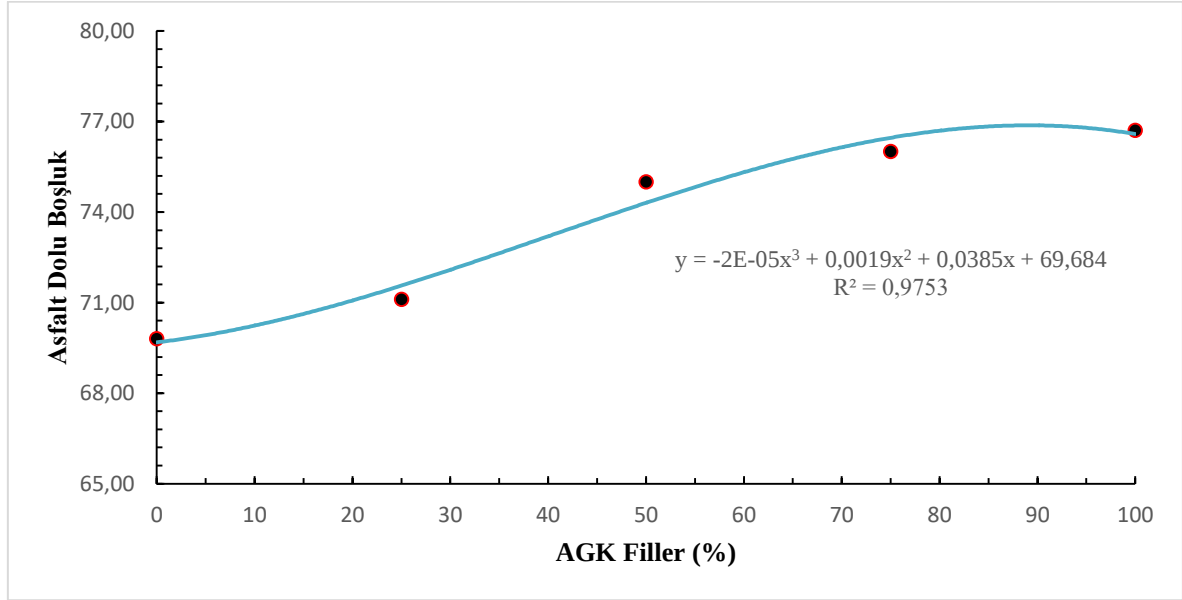
Şekil 5.14.'teki VMA (%) değerlerine bakıldığında agregalar arası boşluk yüzdesi değerleri AGK miktarı arttıkça azalmaktadır. Buradan AGK ile boşluk yüzdesi arasında ters bağıntı olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.15. AGK % Filler boşluk yüzdesi değişimi

Şekil 5.15.'te görüldüğü gibi artan AGK miktarı, boşluk yüzdesi (V_h) değerinin azalmasını sağlamıştır. Uygun hava boşluğu yüzdesi bitümlü sıcak kaplamaların tekrarlı yüklere maruz

kaldığı durumlarda sıkışmanın sağlana bilmesi için önemli bir parametredir. AGK filler katkılı numuneler KTŞ’de tanımlanan %2-4 aralığında kalmıştır.



Şekil 5.16. AGK %filler asfalt dolu boşluk değişimi

Şekil 5.16’te kırmataş tozu filleri yerine %25, %50, %75 ve %100 AGK filler ilave edilmiş ve asfalt dolu boşluk oranlarının sırasıyla %71,1 %75,0, %76,0, %76,7 değerlerini aldığı gözlenmiştir. Bitümlü sıcak karışımlarda plastisite, durabilite ve kaplamanın sürtünme katsayısı üstünde etkili bir özellik olan asfalt dolu boşluk (ADB) oranı, aynı zamanda agrega daneleri çevresinde bitüm filmi oluşumunu sağlar. AGK miktarına bağlı olarak asfalt dolu boşluk oranındaki artışlar yorumlanacak olursa, AGK miktarı ve buna bağlı asfalt dolu boşluk oranının artması asfalt film kalınlığının artmasına neden olmuştur. Asfalt karışımın hava boşluğunun azalması özellikle sıcak havalarda kaplamanın kusmasına neden olacaktır. Ayrıca AGK miktarına bağlı olarak ortaya çıkan bu artışlar asfalt film kalınlığını arttıracığından dolayı tekerlek izinde oturma vb. deformasyonların oluşma riski mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

6. SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuç ve bulgular aşağıdaki gibidir;

- Fındık kabuğu külü (FKK) ile yapılan çalışmalarda, fındık kabuğu filler malzemenin aynı sıcaklıkta olmasına rağmen agregaya yüzeyine yapışarak agregaya yüzeyini kapladığı görülmüştür.
- Fındık kabuğu külü ile kaplı olan agregalar bitüm ile etkileşime giremediği için segregasyona uğrayarak ayrıştığı görülmüştür.
- Fındık kabuğu filler ile yapılan çalışmalarda bitüm ile etkileşime giremeyen malzemelerde soyulma olduğu gözlemlenmiştir.
- FKK filler kullanılan numunelerin dayanımları çok düşük çıkmış olup %75 ve %100 FKK filler kullanılan malzemelere Marshall deneyi bile yapılamamıştır.
- Atık geri kazanım (AGK) filleri kullanılan deney numunelerinde bitüm oranını değiştirmeden sadece AGK filler yüzdesi arttırarak deney numunelerinin stabilite değerlerinde referans kalker numunesine göre %20 lere yakın artış sağlamıştır. AGK filleri bitüm miktarını arttırmadan stabiliteyi arttırmayı sağlamıştır.
- AGK filler deney numuneleri, kalker numunelerine oranla daha düşük akma değerleri göstermiştir, bu durum AGK fillerinin kaplamayı daha gevrek yapacağı söylenebilir.
- AGK filler yüzdesi arttıkça, deney numunelerinin pratik özgül ağırlık değerleri artmıştır. Fakat bu artış önemli ölçüde değildir. (maks: %1)
- AGK filler yüzdesi arttıkça deney numunelerinin agregalar arası boşluk oranı (VMA) yüzdesinin azaldığı gözlemlenmiştir. Agregadaki boşluk, bitümün agregaya kenetlenmesi ve durabilite açısından önemlidir.
- AGK filler boşluk yüzdesinin(Vh) azalmasını sağlamıştır. Uygun hava boşluğu yüzdesi bitümlü sıcak kaplamaların tekrarlı yüklere maruz kaldığı durumlarda sıkışmanın sağlanabilmesi için önemli bir parametredir.
- AGK filler miktarının deney numunelerinde artışı asfalt dolu boşluk oranının artmasını sağlamıştır. Asfalt dolu boşluk oranının artması asfalt film kalınlığının

artmasına neden olacaktır bu durum asfalt karışımın hava boşluğunun azalması neden olacak ve özellikle sıcak havalarda kaplamanın kusmasına neden olacaktır.



7. ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuç ve bulgular göz önüne alındığında aşağıdaki çalışmaların araştırılması fayda sağlayacaktır;

- Deney çalışmasında FKK külünün klasik yöntemler ile yakılan formu kullanılmıştır. FKK'nin endüstriyel fırınlarda yüksek sıcaklıklarda yakılarak karbonlaştırılarak kullanılması durumunda agrega yüzeyine yapışma sorununun ortadan kalkıp kalkmayacağı çalışma yapılması önerilmektedir.
- AGK filler malzemesinin temini, taşınması ve stoklanması hakkında ekonomik çalışma yapılması önerilmektedir.
- AGK'nin filler olarak kullanılması durumunda çevresel faydaları hakkında çalışma yapılması önerilmektedir.

8. KAYNAKLAR

- [1] Tunç, A. (2001). Yol malzemeleri (agrega, asfalt, bitümlü karışımlar, beton, zemin) ve uygulamaları (kaplamalar ve zemin ıslahı-dizayn ve yapım metotları). Atlas-Nobel yayın dağıtım.
- [2] Karayolu Teknik Şartnamesi (2013). Yol Altyapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üst Yapı ve Çeşitli İşler. Ankara, Türkiye.
- [3] Doğan, O. (2006). Esnek üstyapılı devlet yollarındaki bozulmaların bulanık mantık ile tahmini (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [4] Hanlı, E. (2009). Esnek Yol Üstyapısında Oluşan Bozulmalar Ve Değerlendirmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [5] Arık, A. (1998). Balıkesir ili çevresindeki karayollarında esnek üstyapı bozulmalarının araştırılması üzerine bir çalışma (Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [6] Umar, F., & Açar, E. (1991). Pavement structure. İstanbul Technical University Civil Engineering Faculty Press, İstanbul.
- [7] Kurtis, K. (2003). Asphalt and Asphalt Concrete. School of Civil Engineering Georgia Institute of Technology Atlanta, Georgia.
- [8] Ilıcalı, M. (2001). Asfalt Kaplamalar. İstanbul Asfalt Sanayi ve Ticaret AŞ Yayınları, Yayın, (1).
- [9] Asphalt Institute. (1996). Superpave mix design (No. 2). Asphalt Institute.
- [10] The American Society for Testing and Materials, D 1559
- [11] Harold, R., Paul, P. E., & Chris, P. E. (1995). Pavement Distress. Technical Assistance.
- [12] Umar, F., & Açar, E. (1991). Pavement structure. İstanbul Technical University Civil Engineering Faculty Press, İstanbul.
- [13] Akbulut, H., Çetin, S., & Gürer, C. Andezit Agregasının Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması Investigation The Usability Of Andesite Aggregate In Hot Mix Asphalt Pavements.
- [14] Ahmedzade, P., & Sengoz, B. (2009). Evaluation of steel slag coarse aggregate in hot mix asphalt concrete. Journal of hazardous materials, 165(1-3), 300-305
- [15] Lima, M. S., & Thives, L. P. (2020). Evaluation of red mud as filler in Brazilian dense graded asphalt mixtures. Construction and Building Materials, 260, 119894.

- [16] Khadaywi, T. S., & Hussein, A. K. (2020). Investigating the Effects on Creep and Fatigue Behavior of Asphalt Mixtures with Recycled Materials as Fillers. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*.
- [17] Gedik, A., Selcuk, S., & Lav, A. H. (2020). Investigation of recycled fluorescent lamps waste as mineral filler in highway construction: A case of asphaltic pavement layers. *Resources, Conservation and Recycling*, 105290.
- [18] Tao, G., Xiao, Y., Yang, L., Cui, P., Kong, D., & Xue, Y. (2019). Characteristics of steel slag filler and its influence on rheological properties of asphalt mortar. *Construction and building materials*, 201, 439-446.
- [19] Chen, Q., Wang, C., Qiao, Z., & Guo, T. (2020). Graphene/tourmaline composites as a filler of hot mix asphalt mixture: Preparation and properties. *Construction and Building Materials*, 239, 117859.
- [20] Şartnamesi, K. T. (2013). *Yol Altyapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üst Yapı ve Çeşitli İşler*. Ankara, Türkiye.
- [21] ASTM C136 / C136M-19, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, www.astm.org
- [22] 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
- [23] ASTM C128, Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2001, www.astm.org
- [24] The American Society for Testing and Materials, C 854
- [25] ASTM C131 / C131M-20, Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, www.astm.org
- [26] ASTM, C. 131-89, ". Test Method for Resistance to Degradation of Small Size Coarse.
- [27] Türk Standartları Enstitüsü ve Europeane Norm Standart 1427
- [28] Türk Standartları Enstitüsü ve Europeane Norm Standart 1426
- [29] Europeane Norm Standart 13302
- [30] Türk Standartları Enstitüsü ve Europeane Norm Standart 2592
- [31] The American Society for Testing and Materials, 1559
- [32] URL-1 < <http://www.asmud.org.tr/> >, alındığı tarih 31.01.2021.

- [33] URL-2 < <https://www.uludagsozluk.com/> > , alındığı tarih 01.02.2021
- [34] URL-3 < <https://insapedia.com/> > , alındığı tarih 01.02.2021
- [35] Seçginli, M. (2007). Kara yolu esnek üst yapılarında sönmüş kireç katkısının düşük sıcaklık çatlama direncine etkisi.
- [36] Elmacı, A. (2011). Asfalt Betonunda Granit Arıtma Çamurunun Filler Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması (Master's Thesis).
- [37] Öksüz, B. (2011). Asfalt betonu kaplamalarda volkanik cüruf ve cam atıklarının filler olarak kullanılabilirliğinin araştırılması (Doctoral dissertation, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [38] ŞEKER, N. E. A., & SARIŞIK, A. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kireçtaşı ve Volkanik Cüruf Filler Kullanımının Dayanıma Etkisinin Araştırılması.
- [39] Topaloğlu, S. (2019). Ferrokrom cüruf agregasının geçirimli bitümlü karışımların performansına etkilerinin araştırılması (Master's thesis, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [40] URL-4 < <http://www.bucakticaret.com> > , alındığı tarih 07.02.2021
- [41] URL-5 < <https://silo.tips> > , alındığı tarih 07.02.2021

EKLER

Filler Yüzdesi	AGK FİLLER BRİKETİ AKMA VE STABİLİTE SONUÇLARI										Düzltn.	Düzeltn
		BİTÜM		Sıcaklık	YÜKSEKLİKLER,mm				Akma	Stabilite	Faktörü	Stabilite
	No	Wa,%	gr	°C	1	2	3	ortlm	mm	kg		kg
100%	1	4.6	53	135	62.4	62.1	62.4	62.30	2.17	1236	1.0305	1273.66
	2	4.6	53	134	62	61.8	61.9	61.90	2.10	1302	1.0417	1356.32
	3	4.6	53	135	62.3	62.1	62.4	62.27	2.08	1151	1.0314	1187.14
									2.12	Ortalama		1272.37
50%	4	4.6	53	135	61.8	61.8	61.8	61.80	2.10	1125	1.0446	1175.17
	5	4.6	53	135	61.7	61.9	61.7	61.77	2.16	1039	1.0456	1086.33
	6	4.6	53	1354	61.4	62.1	62.2	61.90	2.22	1124	1.0417	1170.90
									2.19	Ortalama		1128.61
25%	7	4.6	53	136	62.1	62.9	62.3	62.43	2.10	971	1.0268	997.03
	8	4.6	53	135	61.9	62	62.1	62.00	2.16	1074	1.0389	1115.75
	9	4.6	53	135	62.5	62.4	62.5	62.47	2.25	1137	1.0259	1166.44
									2.17	Ortalama		1093.07
0%	10	4.6	53	133	62.21	62	62.1	62.10	2.20	1057	1.0360	1095.05
	11	4.6	53	135	62.4	62.3	62.1	62.27	2.14	1025	1.0314	1057.18
	12	4.6	53	134	61.7	61.7	61.8	61.73	2.10	1031	1.0465	1078.96
									2.12	Ortalama		1068.07

Filler Yüzdesi	AGK FİLLER BRİKET ÖZELLİKLERİ								Havada	Sudaki	Doy.Yüz.	Hacim	Hacim
		BİTÜM		Sıcaklık	YÜKSEKLİKLER,mm				Ağırlık,g	Ağırlık,g	Ağırlık,g	cm³	Özg.Ağırl
	No	Wa,%	gr	°C	1	2	3	ortlm	A	C	B	V	Dp
100%	1	4.6	53	135	62.4	62.1	62.4	62.30	1209.1	770.2	1210.8	490	2.468
	2	4.6	53	134	62	61.8	61.9	61.90	1200.8	715.5	1202.9	487.4	2.464
	3	4.6	53	135	62.3	62.1	62.4	62.27	1198	709.7	1199.7	490	2.445
													2.459
50%	4	4.6	53	136	62.1	62.9	62.3	62.43	1200.9	714	1202.7	488.7	2.457
	5	4.6	53	135	61.9	62	62.1	62.00	1184.7	700.8	1188.2	487.4	2.431
	6	4.6	53	135	62.5	62.4	62.5	62.47	1216.9	723.4	1218.3	494.9	2.459
													2.449
25%	7	4.6	53	135	61.8	61.8	61.8	61.80	1201.3	715.1	1202.6	487.5	2.464
	8	4.6	53	135	61.7	61.9	61.7	61.77	1199.8	714.4	1202.4	488	2.459
	9	4.6	53	1354	61.4	62.1	62.2	61.90	1196.4	710.7	1199.7	489	2.447
													2.453
0%	10	4.6	53	133	62.21	62	62.1	62.10	1197.7	708.7	1200.7	492	2.434
	11	4.6	53	135	62.4	62.3	62.1	62.27	1202.2	705.1	1208.7	503.6	2.387
	12	4.6	53	134	61.7	61.7	61.8	61.73	1204.2	719.4	1205.6	486.2	2.477
											Ortalama		2.432