

**ASFALT BETONUNDA GRANİT ARITMA
ÇAMURUNUN FİLLER MALZEMESİ
OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayfer ELMACI

DANIŞMAN

Doç.Dr. Hüseyin AKBULUT

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Temmuz,2011

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ASFALT BETONUNDA GRANİT ARITMA ÇAMURUNUN FİLLER
MALZEMESİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI

Ayfer ELMACI

DANIŞMAN

Doç.Dr. Hüseyin AKBULUT

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Temmuz , 2011

TEZ ONAY SAYFASI

Ayfer ELMACI tarafından hazırlanan “ASFALT BETONUNDA GRANİT ARITMA ÇAMURUNUN FİLLER MALZEMESİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 09/06/201 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Yapı Eğitimi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

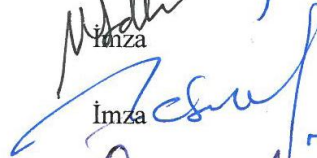
Danışman : Doç.Dr. Hüseyin AKBULUT


Başkan : Prof.Dr. Mehmet SALTAN
SDÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi,

Üye : Doç.Dr. Hüseyin AKBULUT
AKÜ Teknik Eğitim Fakültesi,

Üye : Yrd.Doç.Dr. Osman ÜNAL
AKÜ Teknik Eğitim Fakültesi,


İmza


İmza


İmza

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

.....
Enstitü Müdürü
Prof.Dr. Mevlüt DOĞAN

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

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

beyan ederim.

21/07/2011

Ayfer ELMACI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ASFALT BETONUNDA GRANİT ARITMA ÇAMURUNUN FİLLER MALZEMESİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Ayfer ELMACI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Hüseyin AKBULUT

Atık olarak elde edilen çeşitli ürünlerin depolanması veya doğaya terk edilmesi hızla nüfusu artan ve teknolojik olarak gelişen dünyamız için, çevre kirliliği dahil topluma büyük sorunlar getirmektedir. Atıklar, yeni ürünlerin elde edilmesinde veya mevcut ürünlerde katkı maddesi olarak kullanılabilirlerdir. Atık malzeme ve yan ürünlerin değerlendirilmesi, hem çok kısıtlı olan doğal malzemelerin kullanımını azaltarak doğanın tahrip edilmesini önlemekte, hem de malzemelerin atılmak üzere depolanması durumunda çevrede oluşacak problemleri en aza indirmektedir. Bu nedenle; yeni ürünün değerlendirilerek ülke ekonomisine kazandırılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, İzmir ÇİMSTONE fabrikasının kuvars esaslı granit arıtma çamurunun bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirliği araştırılmıştır. İzmir bölgesinden temin edilen malzeme kurutulup, öğütülerek 200 nolu elekten elenmiştir ve elde edilen filler malzeme ile Marshall numuneleri hazırlanmıştır. Bu numunelerde fiziksel ve mekanik özellikleri yapılan deneylerle belirlenmiş kırmataş agregası, % 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 kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

2011, xii + 75 sayfa

Anahtar Kelimeler: Mineral Filler, Atıkların değerlendirilmesi, Sıcak Asfalt Karışımı, Marshall Stabilite Deneyi

ABSTRACT

M.Sc Thesis

INVESTIGATION OF USING THE GRANITE PURIFICATION MUD IN ASPHALT CONCRETE AS FILLER MATERIAL

Ayfer ELMACI

Afyon Kocatepe University

Natural Science Institute

Construction Education Main Science

Supervisor: Doç.Dr. Hüseyin AKBULUT

In A lot problems has been occurred such as environmental pollution, because of the storing and discharge of variety of waste products on the nature for the our developing and day to day crowded world. Wastes can be used to manufacture new products or additive materials in available products. Because of the using waste material and by-products, both using natural materials are decreased so prevent the destruction of nature and problems due to waste materials are minimized. So, waste materials should be recycle.

In this study using of granite purification muds of İzmir ÇİMSTONE fabricate with besed on quartz were invetstigated in hot mix asphalt pavements. The waste materials were dry and milled and sieved from the number 200 sieve thus into filler materials. Marshall samples were preapered with using the filler materials. Five differenet, wearing course hot mix asphalt designs were performed with using different filler rate as %, 0, 2, 4, 6 and 8 respectively. Marshall stability and flow tets were performed on the samples and also Mechanical Immertion and indirek tests were performed on the samples that was produced with optimum bitumen rate. The results show that the granite purification mud can be used in asphalt concrete as filler materials.

2011, xii + 75 pages

Key Words: Mineral Filler, Wastes, Hot Mix Asphalt , Marshall Stability and Flow Test.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamın konusunu belirleyen, destek ve görüşlerini esirgemeyen, bana her konuda yol gösteren değerli danışman hocam Doç.Dr. Hüseyin AKBULUT' a,

Tez çalışmamın hem laboratuvar hem araştırma aşamasında benden daha fazla emek sarf eden, sorun ve sıkıntılarında etkin tecrübeleriyle bana destek olan, yapıcı eleştirileriyle beni çalışmaya teşvik eden, her konuda örnek aldığım değerli hocalarım Yrd.Doç.Dr. Cahit GÜRER ve Araş.Gör. Sedat ÇETİN' e ,

Laboratuvar çalışmamı gerçekleştirdiğim Afyonkarahisar Belediyesi Asfalt Laboratuvarı Şube Müdürü Sayın Güven KAYHAN' a ve tüm asfalt şantiyesi personeline, İSFALT Genel Müdürü İbrahim SÖNMEZ' e ve İSFALT Laboratuvar Şefi Seyid Ali YILDIRIM' a, zorlu laboratuvar çalışmalarında birlikte çalıştığım, çoğu zaman öfkeme maruz kalan, tez arkadaşım Hasan DOĞAN' a,

Tez çalışmam esnasında tüm sıkıntı ve yorgunluğumu paylaşan, çekilmez olduğum zamanlarda bile yanımdan ayrılmayıp destek olan, tez konum hakkında bilgisi olmamasına rağmen benden yardımlarını esirgemeyen, Afyon'daki tek kişilik ailem Özlem ZEYBEK' e,

Her konuda yanımda olan, eğitim hayatım boyunca beni teşvik eden, her yıldığımda tekrar canlanmamı sağlayan, benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, tezimi ithaf ettiğim babam Muammer ELMACI 'ya, annem Hatice ELMACI' ya, ablam Aygül TUNÇ' a ve varlığıyla dünyamı aydınlatan yeğenim Nihal Ecrin TUNÇ' a

Teşekkür ederim

Ayfer ELMACI

AFYONKARAHİSAR, 2011

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 İnşaat Sektörü Açısından Geri Dönüşüm	3
1.2 Granit Atık Çamurunun Oluşumu ve Mineral Fillere Dönüşümü.....	4
2. GENEL BİLGİLER.....	7
2.1 Bitümlü Sıcak Karışımlar.....	9
2.2 Asfalt Betonunda Mineral Filler.....	10
3. MATERYAL ve METOD.....	21
3.1 Materyal.....	21
3.1.1 Agregalar.....	21
3.1.2 Mineral Filler.....	21
3.1.3 Bitüm (AC)	21
3.2 Metot.....	21
3.2.1 Mineral Agrega Numunelerinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi... ..	21
3.2.1.1 Elek Analizi Deneyi.....	22
3.2.1.2 Agreganın Özgül Ağırlığının Tayin.....	23
3.2.1.3 Agregalarda Birim Ağırlık Deneyi.....	26
3.2.1.4 İri Agregaların Aşınma Deneyi.....	29
3.2.1.5 Donma - Çözünme Deneyi.....	32
3.2.2 Mineral Filler Deneyleri.....	36
3.2.2.1 Filler Malzemenin Özgül Ağırlık Deneyi.....	36
3.2.2.2 Hidrometre Deneyi.....	37
3.2.3 Asfalt Karışım Deneyleri.....	38
3.2.2.1 Penetrasyon Deneyi.....	38
3.2.2.2 Marshall Deneyi.....	39
3.2.2.3 Marshall Stabilite ve Akma Deneyi.....	42

3.2.2.4 Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi.....	43
3.2.2.5 Dolaylı Çekme Deneyi Penetrasyon Deneyi.....	44
3.2.2.6 Mekanik Batırma Deneyi Penetrasyon Deneyi.....	46
4. BULGULAR.....	47
4.1 Mineral Agreganın Fiziksel Özellikleri ile İlgili Deney Sonuçları.....	47
4.1.1 Karışımlarda Kullanılacak Agregada Gradasyonu.....	48
4.1.2 Özgül Ağırlık ve Su Emme Deney Sonuçları.....	48
4.1.3 Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları.....	48
4.1.4 Aşınma Deney Sonuçları.....	48
4.1.5 Agregalar İçin Donma-Çözülme ve Donma Çözülme Sonrası Direnç Kaybı Deneyleri Sonuçları.....	50
4.2 Mineral Fillerin Fiziksel Özellikleri ile İlgili Deney Sonuçları.....	51
4.2.1 Özgül Ağırlık Deney Sonucu.....	51
4.2.2 Mineral Fillerin Kimyasal Analizi.....	51
4.3 Asfalt Karışım Deneyleri.....	52
4.3.1 Bitüm Özellikleri.....	52
4.3.2 Marshall Metodu ile Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi.....	53
4.3.3 Dolaylı Çekme Deney Sonuçları.....	59
4.3.4 Mekanik Batırma Deneyi Sonuçları.....	63
4.3.5 Optimum Filler Yüzdesi.....	64
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	66
6. KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	75

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Cm	Santimetre
Dm	Desimetre
Kg	Kilogram
G	Gram
L	Litre
M	Metre
ml	Mililitre
Mm	Milimetre
MPa	Megapascal
Ms	Milisaniye
N	Newton
Sn	Saniye
°C	Santigrat
ms	Mikrosaniye

Kısaltmalar

AC	Asfalt Çimentosu
ASTM	American Society for Testing And Materials (Amerikan Deney ve Malzeme Kurumu)
AASHTO	Amerikan Devlet Karayolları ve Ulaştırma Birliği İdaresi
A ₁	Yüzde Olarak Aşınma Değeri
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
DKY	Doygun Kuru Yüzey
ITSM	İndirekt Çekme Rijitlik Modülü
K	İnce Malzeme Yüzdesi
Mc	Su Emme Oranı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Tipik Bir Yol Üstyapı Kesiti ve Gerilme Dağılımı.....	9
Şekil 2.2 Bitümlü sıcak karışımın yapısı.....	10
Şekil 3.1 Deneysel Çalışma	22
Şekil 3.2 Standartlarda Verilmiş A16 – B16 – C16 Eğrileri	23
Şekil 4.1 Agregaya Ait Granülometri Eğrisi Bitümlü sıcak karışımın yapısı	47
Şekil 4.2 Los Angeles Deney Sonuçları	49
Şekil 4.3 Darbelenme Deney Sonuçları	49
Şekil 4.4 Agregaların Donma-Çözülme Sonrası LA Aşınma Direnç Kaybı.....	50
Şekil 4.5 Granit Atığının Hidrometre Deney Sonucu	51
Şekil 4.6 Farklı Filler Yüzdeleri İçin Pratik Özgül Ağırlık – Bitüm % İlişkisine Ait Sonuçlar.....	54
Şekil 4.7 En Yüksek Pratik Özgül Ağırlık – Filler % İlişkisi	54
Şekil 4.8 Farklı Filler Yüzdeleri İçin Stabilite – Bitüm % İlişkisine Ait Sonuçlar.....	55
Şekil 4.9 En Yüksek Stabilite - Filler % İlişkisi.....	55
Şekil 4.10 Farklı Filler Yüzdeleri İçin Bitümle Dolu Boşluk – Bitüm % İlişkisine Ait Sonuçlar.....	56
Şekil 4.11 Farklı Filler Yüzdeleri İçin Boşluk – Bitüm % İlişkisine Ait Sonuçlar	57
Şekil 4.12 Farklı Filler Yüzdeleri İçin Akma– Bitüm % İlişkisine Ait Sonuçlar	57
Şekil 4.13 Akma - Filler % İlişkisi.....	58
Şekil 4.14 Farklı Filler Yüzdeleri İçin Mineral Agregalar Arasındaki Boşluk – Bitüm % İlişkisine Ait Sonuçlar.....	58

Şekil 4.15 Mineral Agregalar Arasındaki Boşluk (%) ve Filler (%) İlişkisine Ait Sonuçlar.....	59
Şekil 4.16 Filler % - Dolaylı Çekme Mukavemeti – Sıcaklık İlişkisi	61
Şekil 4.17 Farklı Sıcaklık, Yükleme Periyodu ve Süresi Altında Farklı Yüzdelerde Filler İlaveli Numunelerin Rijitlik Modülü Değişimleri	61
Şekil 4.18 40 °C’de En Uzun Yükleme Süresinde Filler % - Rijitlik Modülü	63
Şekil 4.19 40 °C’de En Uzun Yükleme Süresinde Filler % -Deformasyon	63
Şekil 4.20 Mekanik Batırma Deney Sonuçları	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 İri Agrega Birim Hacim Ağırlık İçin Numune Miktarı	24
Çizelge 3.2 Özgül Ağırlık Tayini İçin Gerekli Numune Miktarı	25
Çizelge 3.3 Ölçü Kaplarının Dik İç Boyutlar	28
Çizelge 3.4 Donma-Çözülme Döngü Deneyi İçin Gereken Deney Numunesi Kısımlarının Miktarlar.....	33
Çizelge 3.5 Trafik Durumuna Göre Eşdeğer Dingil Yükleri.....	42
Çizelge 3.6 Marshall Metodu ile Aşınma Tabakası Dizayn Kriterleri.....	44
Çizelge 3.7 Minimum VMA Değerleri	44
Çizelge 4.1 Zahiri Özgül Ağırlık Deney Sonucu	47
Çizelge 4.2 Hacim Özgül Ağırlık Deney Sonucu	47
Çizelge 4.3 Su Emme Deney Sonucu.....	48
Çizelge 4.4 İri ve İnce Agregalarda Mevcut Nem Durumu Deney Sonuçları	48
Çizelge 4.5 Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları	48
Çizelge 4.6 Agrega Numunelerinin Donma-Çözülme Kayıpları	50
Çizelge 4.7 Mineral fillerin Özgül Ağırlığı.....	51
Çizelge 4.8 Arıtma Çamurunun Kimyasal İçeriği	52
Çizelge 4.9 AC'ye Ait Özellikler Birim.....	52

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 1.1 Granit Arıtma Çamuru	5
Resim 1.2 Granit atık Çamurunun Güneş Enerjisi ile Kurutulması.....	6
Resim 1.3 Toz Halindeki Granit Atığı	6
Resim 3.1 Sıkışık Birim Ağırlık Tayini Deney Yapımı.....	27
Resim 3.2 Gevşek Birim Ağırlık Tayini Deney Yapımı.....	28
Resim 3.3 Los Angeles Aleti	31
Resim 3.4 Agregada Darbelenme Değeri Tayini İçin Deney Cihazı	32
Resim 3.5 Agregada Donma-Çözülme Test Aleti	35
Resim 3.6 Fillerin Özgül Ağırlık Ölçümü	36
Resim 3.7 Penetrometre Cihaz	39
Resim 3.8 Karışım Tartımı, Aparat ve Karışımların Isıtılması.....	40
Resim 3.9 Çalışmalarda Kullanılan Isıtıcı Mekanik Asfalt Karıştırıcısı ve Bir Karıştırma İşlemi.....	41
Resim 3.10 Çalışmada Marshall Deney Numunelerini Hazırlamak İçin Kullanılan Otomatik Tokmak.....	41
Resim 3.11 Hidrolik Numune Çıkarıcı ve Su Banyosu	42
Resim 3.12 Deney Numuneleri ve Bir Marshall Deney Cihazı	43
Resim 3.13 Marshall Deneyi Sonrası Numuneler.....	43
Resim 3.14 Dolaylı Çekme Aletine Numunelerin Yerleştirilmesi	45

1. GİRİŞ

Canlıların, üretilen çeşitli ham ve işlenmiş maddelerin, haberlerin vb. bir yerden başka bir yere nakledilmesine ulaşım veya ulaştırma, nakil sırasında kullanılan sisteme de ulaştırma sistemi denilmektedir. Ulaşım sistemleri kara ulaştırma (karayolu ve demiryolu), denizyolu ve havayolu olarak sınıflandırılabilir. Pek çok ülkede en yaygın kullanılan ulaşım sistemi karayoludur. Ülkemizde yük taşımacılığının %70'i, yolcu taşımacılığının da %90'ı karayolu ile yapılmaktadır. Özellikle 1950'li yıllardan sonra, karayolu yapımı artmış ve ulaşım araçları çoğalmıştır. Bu nedenle karayolları mevcut durumda, birkaç yıl öncekinden hem trafik hacmi hem de dingil yükleri bakımından tahmin edilenin çok üzerinde bir zorlamaya maruz bulunmaktadır. Trafik hacmi ve dingil yüklerindeki bu aşırı artış, yol üst yapısını tahrip etmesi sebebiyle daha çok ve ağır araç taşıyabilen yeni yolların yapımını sürekli olarak zorunlu kılmaktadır. Yeni yapılacak yolların güvenlik, estetik, konfor gibi faktörlere uygun inşa edilmesi kaliteli yapı malzemesiyle mümkündür. Bu durumdan, yaşam standartlarının yükselmesinin, ekonomiyi olumsuz etkileyebileceği sonucunu çıkarabiliriz.

Teknolojik gelişmeler ve sanayileşme ile paralel olarak yaşanan hızlı kentleşme ve nüfus artışı, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki baskısını hızla artırmaktadır. Bu süreçte üretim ve pazarlama faaliyetlerindeki genişleme, doğal kaynakların daha yoğun kullanımını kaçınılmaz kılarken, sürekli artan tüketim eğilimi ile birlikte oluşan atıklar da, hem miktar ve hem de zararlı içerikleri nedeniyle çevre ve insan sağlığını tehdit eder boyutlara ulaşmıştır (Sayıştay Dergisi 2007).

Dünyanın doğal kaynaklarının tükenmesine ilişkin endişeler, 1992'de Rio de Janeiro'da yapılan BM Çevre ve Kalkınma Konferansında tarihte görülmüş en büyük devlet başkanları toplantısının yapılmasına yol açtı. Bu ve bunu izleyen diğer zirvelerin ardından, sürdürülebilir kalkınma ilkesi AB'nin Amsterdam Anlaşması'na da dahil edilmiştir (Akbulut ve Gürer 2003).

Atık yönetimi, ülkemizde 1930'lardan itibaren çok sayıda yasal düzenlemeye konu olmuş ancak o yıllarda yeterli düzeye ulaşamamıştır. Bu yıllardan itibaren çevre alanında işlev üstlenen kurumların sayısı da sürekli artmıştır. ISO 14001:2004 Çevre Yönetim Sistemini etkin olarak uygulayan firmalarda atık yönetimi başarılı bir şekilde sonuçlanmaktadır. 2008 yılında yayınlanan Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik ile, atıkların değerlendirilmesi alanında önemli ölçüde ilerleme kaydetmiş durumdadır. AB mevzuatındaki

“Atık Yönetim Planı Hazırlanması-Metodolojik Kılavuzu” çerçevesinde, Ulusal Atık Yönetimi Planı kabul edilmesi sayesinde, Türkiye'nin daha organize, entegre ve kurumsal yapısı oturmuş bir atık yönetim sistemine sahip olması hedefleniyor. Düzenli Depolama Direktifi'ne uyum ise, Mart 2010'da yürürlüğe giren Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik ile büyük ölçüde sağlanmış bulunuyor. Türkiye'nin Katılım Süreci için AB Stratejisi Eylem Planı'nda, 2010-2011 döneminde Direktif'e tam uyum amaçlanmıştır.

Atık Yönetim Sisteminde, ilk aşama atığın oluşmasının önlenmek olmalı, eğer bu sağlanamıyorsa atığın en aza indirilmesi amaçlanmalı. Daha sonra atığın tekrar kullanımı, eğer bu da mümkün olmuyorsa önce geri dönüşüm ve sonra enerji geri kazanımı amaçlanmalı. Bu uygulanan yöntemlerden elimizde kalan atığa yada bu yöntemleri uygulayamadığımız atığa yapılacak en son işlem bertaraf etmektir. Bu da düzenli depolama, yakma gibi yöntemlerle mümkündür.

Türkiye İstatistik Kurumunun (TÜİK) 2004 verilerine göre ülkemizde 34 milyon ton belediye atığı ve 17,5 milyon ton imalat sanayi atığı üretilmektedir. Gelişmiş ülkelere, atıkların %35-45 civarındaki kısmı hariç, kalan kısmının tümüyle geri dönüştürülerek ekonomiye kazandırıldığı görülmektedir. Ülkemizde üretilen atıkların da yarısından fazlası geri kazanılabilir özelliklere sahip olmasına rağmen geri dönüş oranları çok düşük düzeydedir.

Ülke kaynaklarının verimli olarak kullanılması ancak atıkların geri dönüşümünün sağlanmasıyla mümkündür. Bu şekilde ekonomiye de büyük bir katkı sağlanacaktır. Bir maddenin hammaddelerden yola çıkarak üretilmesinin, geri dönüşümü sağlamış maddelerden üretilmesinde daha ekonomik olduğu zaten bilinmektedir. Atıkların yeniden kullanımı yalnız hammadde kaynaklarının verimli kullanılması açısından değil, ülkemizde sıkıntısı çekilen enerji kaynaklarının da verimli kullanılmasını sağlayacaktır (Özata 2009).

Çeşitli ürünlerin üretilmesi sırasında fazla miktarda yan ürün veya atık oluşmaktadır. Oluşan atıkların ilave ya da ikame edilerek diğer sektörlerin hammadde ihtiyacını karşılaması hususunda günümüzde yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Asfalt betonunda boşlukların doldurulması için filler malzemesi kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda doğal güzelliklerin tahrip olmasıyla yeni düzenlemeler getirilmiş ve yerel yönetimlerin daha bilinçli davranması neticesinde taş ocaklarının açılması ve işletilmesi

giderek daha sıkı kurallara tabi olmaktadır. Bir çok taş ocağı kapatılmış ve belediyeler ve karayolları filler bulmakta güçlük çekmiştir. Bu durum atıkların değerlendirilmesini bir kez daha gündeme getirmiştir.

Bu çalışmada bitümlü sıcak karışımlarda filler malzeme olarak kullanılan taş tozunun yerine alternatif malzemenin etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla İzmir ÇİMSTONE Fabrikasından getirilen granit atık çamurunun filler, 50-70 penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı ve sürekli derecelenmiş granülometriye sahip kırmataş agregası ile bitümlü sıcak karışım hazırlanmış ve laboratuvar ortamında deneylere tabi tutulmuştur. Laboratuarda standartlara uygun olarak farklı oranlarda bitümlü bağlayıcı ve filler kullanılmıştır. Marshall deneyi uygulanarak fillerin bitümlü sıcak karışımlara etkisi incelenmiştir. Çalışmada granit çamuru kurutulup, öğütüldükten sonra 200 nolu elek altında kalan malzemenin bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma sonuçları bu atık maddenin filler malzemesi olarak bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabileceğini göstermiştir.

1.1 İnşaat Sektörü Açısından Geri Dönüşüm

Hammaddenin en çok tüketildiği sektörlerden birisi inşaat sektörüdür. İnşaat sektöründe; hammadde, enerji ve mekan kullanımı mümkün olduğunca en aza indirgenmeye çalışılmaktadır. Ayrıca ekonominin yanı sıra güvenlik ve estetik kuralları da göz ardı edilmemelidir, yani inşaat sektöründe az maliyetle en yüksek fayda sağlamak önemlidir. Bu nedenlerden dolayı inşaat sektöründeki en önemli sorunlardan birisi hammaddedir. Özellikle inşaat atıklarının geri dönüşüm sağlanarak tekrar inşaatta kullanılması ekonomik olarak yarar sağlayacaktır.

Mimari ve peyzaj amaçlı yapılarda çok geniş şekil, renk, doku ve kaplama seçeneklerini uygulayabilmek için betonun sağladığı olanaklardan yararlanır. Avrupa hazır beton sektörü, 12.000'ı aşkın faal tesiste yılda yaklaşık 300 milyon metreküp beton üretmektedir. Yıllık hazır beton tüketimi 0.3-1.40 metreküp/kişi seviyesindedir. Yaklaşık 720 milyon ton malzemenin ve buna tekabül eden enerjinin kullanımı kuşkusuz çevre bakımından çok önemli sonuçlar yaratmaktadır (Gürer vd. 2004). Yapıların yıkılması durumunda ortaya çıkan eski beton kırılarak yine beton agregası olarak kullanılabilir. Ayrıca oluşan çok ince malzeme katkı maddesi olarak beton ve asfaltta, zemin iyileştirilmesi için inşaat alt yapısında kullanılabilir.

Mermer atıklarının değerlendirilmesi konusundaki araştırmalara bakıldığında %60'lara ulaşan oranda atık ürünleri inşat sektöründeki hammadde ihtiyacını karşıladığını görürüz. Literatüre bakıldığında mermer parçalarının yol agregası olarak (Gürer 2005), mermer tozlarının asfalt betonunda filler malzeme olarak (Terzi 2000), yine zeminde iyileştirme amaçlı (Zorluer vd. 2003) ve betonda filler katkı maddesinin %10 oranında (Ünal vd. 2003) kullanılabilirliğinin araştırıldığı ve sonuçların olumlu olduğu görölmüştür. Mermer parçaları yine agrega olarak betonda, baraj ve yol zemininde dolgu malzemesi olarak kullanılabilmektedir.

Geri dönüşümü mümkün olan diğer inşaat malzemesi ise ahşaptır. Günümüzde ahşap yapılar özelliğini yitirse bile, betonarme yapılarda kalıp malzemesi olarak çok sık kullanılan yapı malzemelerinden birisidir. Ahşap atıklarının yeniden kullanılması sadece inşaat sektörü açısından değil, aynı zamanda kağıt ihtiyacını karşılamada da önemlidir. Ahşabın geri dönüştürülerek kağıt sanayinde kullanılması ormanların da koruma altına alınmasını sağlayacaktır.

Bir diğer yapı malzemesi asfalt kaplamaların da geri dönüşümü önemlidir. Petrol ürünlerindeki artış ve kaliteli agrega teminindeki zorluk göz önüne alınırsa bozulmuş kopmuş asfalt parçalarının tekrar işlenerek yine yol üst yapısında kullanılması ekonomik olarak büyük yarar sağlamaktadır. Geri dönüşüm işlemleri kaplamanın kazınıp santrale götüröldükten sonra, yeniden işlemden geçirilip tekrar kaplama malzemesi haline dönüştürölmesiyle veya aynı sıcak veya soğuk karışım asfalttaki gibi özel ekipmanlar kullanmak suretiyle, yerinde kaplamayı kazıma, gençleştirme ve yeniden kaplamanın serilmesi şeklinde gerçekleştirilir.

1.2 Granit Atık Çamurunun Oluşumu ve Mineral Fillere Dönüşümü

Granit, yerkürenin milyonlarca yıl süren jeolojik oluşum dönemlerinde kuvars, feldispat ve mika gibi çeşitli minerallerin birleşmesiyle oluşmuş doğal magma kayalarıdır. Yapısının %92-95'ini elmas, safir ve topazdan sonra doğadaki en sert mineral taşlardan biri olan kuvars (7 Mohs sertlik derecesin sahip), %5'ini bağlayıcı ve pigmentler oluşturur. Granit işlenerek daha çok dekoratif amaçlı yapı malzemesi olarak kullanılır. Ancak çoğu yapı malzemesinde olduğu gibi granitin işlenmesi sırasında da ortaya atık ürün çıkmaktadır. Estetik görünüm amacıyla üretilen granitten meydana gelen atık, arka planda pek estetik olmayan görüntülerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

Granitin işlenerek satışa sunulduğu fabrikalardan biri olan İzmir Çimstone Fabrikasının Çevre Mühendisinden edinilen bilgiye göre, granitten üretilen yapı malzemesinin üretimi, işlenmesi ve atık ürünün ortaya çıkışı şu şekilde oluşur:

1. Farklı boyutlardaki kuvars tanecikleri polyester reçine ve pigmentlerle karıştırılıp vibrasyon, vakum ve basınç uygulamasına maruz kalacağı vibropres sistemiyle kompakt ve sert levha şeklinde yüzey malzemesi üretilir.
2. Estetik görünüm sağlamak amacıyla, karışıma aynı zamanda ayna kırıkları, renkli taş, deniz çakılları gibi katkı maddeleri de eklenir.
3. Levhaların yüzeyinin pürüzlüğü amaç edinildiği için yüzeye makinelerle parlaklık sağlanır.
4. Yüzey parlatma işlemi, levha yüzeyinin tahribatını önlemek amacıyla, levhaların makineyle temas eden yüzeyine kağıt serilerek gerçekleştirilir.
5. Atık ürün, makinenin levha yüzeyinde gezinerek parlaklığın sağlandığı sırada oluşur.
6. Granitin sert yapısından dolayı parlatma işlemi, mermer kesilmesinde olduğu gibi sulu çalışan mekanizmayla yapılır.
7. Oluşan atıklar, mekanizmadaki su yardımıyla yüzeyden atık haznesine, oradan suyun süzülmesi için başka mekanizmaya aktarılır.
8. İçerisindeki suyun tamamı süzülemediği için atık, çamur halinde depolanır.

Atık granit çamuru Resim 1.1'deki gibi çamur halinde Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi atelyesine getirilmiştir.



Resim 1.1 Granit Arıtma Çamuru

Çamur halindeki atık malzeme enerji tasarrufu ve hava şartlarının uygun olması sebebiyle güneş enerjisi ile kurutulmuştur (Resim 1.2).



Resim 1.2 Granit atık Çamurunun Güneş Enerjisi ile Kurutulması

Kuru haldeki granit atığı öğütücü ile öğütülerek toz haline getirilmiştir. 200 nolu elekten elenerek elek altı malzeme asfalt betonunda filler olarak kullanılmıştır (Resim 1.3).



Resim 1.3 Toz Halindeki Granit Atığı

2. GENEL BİLGİLER

Karayolunun tarihine bakıldığında, ilk yol izlerine Mısır'da rastlanılmaktadır. Piramitlere ve diğer anıtlara gerekli yapı malzemesinin taşınması işinin kolaylıkla yapılabilmesi için, malzeme taşımaya yarayan yollar yapılmıştır. Yol konusundaki gelişmeler, 18. yüzyılda Fransız mühendis Tresaguet'in taş ve kırma taş yolların yapımı ile bakım konularında getirdiği yeniliklerle başlamıştır. 1775 yılında yazdığı Memoire adlı eseri ile yol mühendisliğinde ilk ciddi etütleri yapmıştır. Bu eser, temel kalınlıklarının seçiminde araba ağırlıklarının göz önüne alınması açısından önemlidir. Ayrıca yol yüzeyindeki taşların aşınması az olan sert taşlardan seçilmesi hususunda titizlik gösterilmesi gerektiği de belirtilmiştir. Yüzeğe yakın tabakalarda kullanılan taşların, yolun dayanıklılığına ve uzun ömürlülüğüne etkisi fazla olduğundan, ortaya atılan bu fikir yol yapım tekniğinde önemli bir aşama sağlamıştır. İlk modern asfalt yol 1852 yılında Paris ile Perpignan arasında yapılmıştır. 1836 yılında İngiltere' de yaya kaldırımlarında (Londra), 1838'de ABD Philadelphia şehrinde yol yapımında asfalt kullanılmıştır. Bu yolların kaplamasında silindirleme yapılmamış olup, 1854 yılında ilk defa asfalt kaplama yolların silindirlenmesine başlanmıştır. Ülkemizde ise karayolu yapımına Cumhuriyetin ilk yıllarından önem vermeye başlanmıştır. Bu nedenle 1929 yılında Nafia Vekaletine bağlı "Şose ve Köprüler Reisliği" kurulmuş ve yol kanunu çıkarılarak yol çalışmalarına hız verilmiştir. Ancak uzun bir savaş döneminin yarattığı kaynak yetersizliği daha sonra gelen II. Dünya Savaşı, çalışmaların istenen düzeye çıkmasını engellemiştir. İkinci Dünya Savaşı'nın bitiminden hemen sonra motorlu taşıt sayılarında önemli artışlar olmuştur. İşte motorlu taşıt sayılarındaki ani artışlar ülkemizde karayolu çalışmalarının yeni bir biçimde ele alınmasını gerekli kılmış ve 01.03.1950' de Karayolları Genel Müdürlüğü kurularak, karayolları ile ilgili tüm çalışmalar bu kuruluşa devredilmiştir. Bu dönemde Marshall yardımıyla gerekli makine parkı sağlanmış ve yeni teknolojik uygulamalara imkan verecek yol çalışmaları hızla başlatılmıştır. Ancak Karayolları Genel Müdürlüğü ülkemizdeki ilk yol çalışmalarına, yol standartlarından ziyade, "tekerlek dönsün" sloganı ile başlamış ve daha sonra açılan bu yollarda standart yükseltme ve iyileştirme çalışmalarına geçilmiştir (İlçalı 1988).

Karayolları yapısı, önceden belirlenen geometrik standartlara uygun olarak saptanmış olan bir güzergah boyunca, doğal zeminin istenilen yükseltilere getirilebilmesi ve üzerinde motorlu taşıtların istenilen hız, güvenlik ve konfor koşullarında hareketlerinin sağlanabilmesi amacıyla inşa edilen yapıların tümüdür. Karayolu yapısı, görevi, yapım sırası ve özellikleri açısından

alt ve üst yapı olarak iki ayrı bölümde incelenebilir.

Karayolunda tesviye yüzeyi ile doğal zemin çizgisi arasındaki bölgeye “Karayolu Altyapısı” adı verilir. Altyapı, yolun dolgu kesimlerinde dışarıdan getirilen toprak ile oluşturulmuş bir toprak gövde, yarma kesimlerinde ise doğal zemindir. Altyapının görevleri; istenilen kotta düzgün bir yüzey sağlamak, üstyapı tarafından istenilen yükleri daha geniş bir alana yaymak ve az da olsa, yolu dış etkilerden korumaktır. Bu görevleri yerine getirebilmesi için, trafik yükleri, don ve su etkilerine karşı dayanıklı olması gerekir. Altyapının oluşturulmasında, bitkisel toprak, çürük zemin ve sıkıştırılmaya elverişli olmayan zeminlerin kullanılmaması gerekir. Bu nedenle altyapıyı oluşturan zemin özelliklerinin çok iyi etüt edilmeleri gerekmektedir.

Altyapıyı korumak taşıtlardan kaynaklanan dingil yüklerini altyapının taşıyabileceği değere indirmek, ve düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak amacıyla altyapı üzerine yerleştirilen çoğunlukla alttemel, temel ve kaplamadan oluşan tabakalı yol yapısına “Karayolu Üstyapısı” adı verilir.

Üstyapılar, kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin türlerine, özelliklerine ve yapım yöntemlerine göre rijit ve esnek üstyapı olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Ülkemizdeki yolların neredeyse tamamı esnek üstyapıdan oluşmaktadır.

Esnek kaplamalar, taşıtlar için gerekli performansa ve taşıtların yarattığı gerilmelere karşı yeterince stabiliteye sahip olacak şekilde farklı özelliklere sahip farklı tabakalardan yapılan çok tabakalı esnek bir yapıdır. Tabakaların tipleri ve kalınlıkları yolun sahip olduğu trafiğin hacmi, zeminin taşıma gücü, çevresel faktörler, kullanılan malzemenin mekanik özellikleri, v.b. hususlar göz önüne alınarak saptanır.

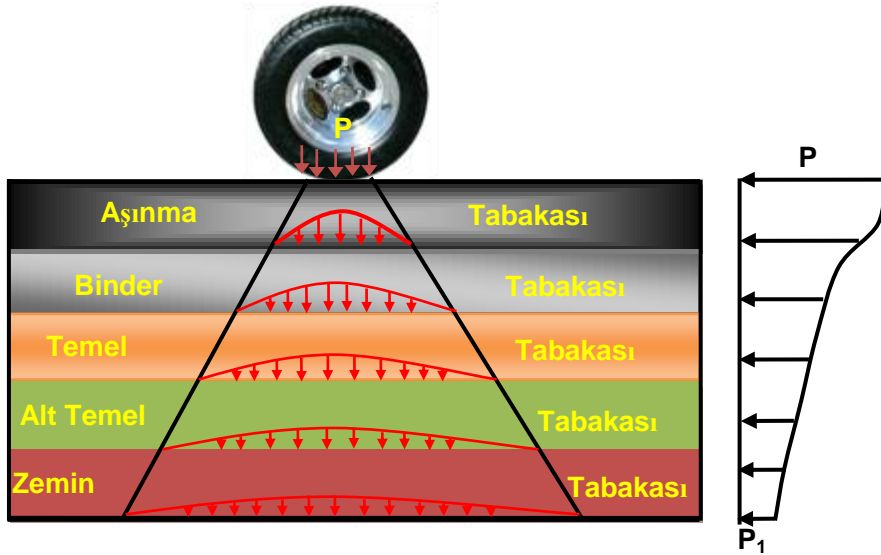
Alttemel Tabakası, tesviye (sıkıştırılmış taban zemini) yüzeyi üzerine serilen ve genellikle kum, çakıl, taş kırığı, yüksek fırın cürufu gibi taneli malzemedan inşa edilen tabakadır. Zeminlerin don kabarması veya şişme ve büzülme gibi hacim değişimlerine karşı koymak, kaplama altında gerekli drenajı sağlamak, kaplamanın taşıma gücünü artırmak, vb. nedenlerden ötürü kaplamaların en altında alttemel tabakası yapılır.

Temel Tabakası, alttemel tabakası ile kaplama tabakası arasına yerleştirilen, kaplamaya ve

banketlere temel teşkil etmek üzere granüler malzemelerden bağlayıcılı ve bağlayıcısız olarak farklı kalınlıklarda ve farklı tabakalar halinde yapılan tabakadır. Bu tabakanın başlıca görevi kaplamadan gelen trafik yükünü taban zeminine yaymak, kaplamalar için gerekli stabiliteyi ve drenajı sağlamaktır.

Kaplama Tabakası, taşıtlara uygun bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafiğin aşındırma etkilerine karşı koymak ve yapıya sızan yüzeysel su miktarlarını ve temel tabakasına iletilen kayma gerilimlerini azaltmak amacı ile temel tabakası üzerine inşa edilen bir tabakadır.

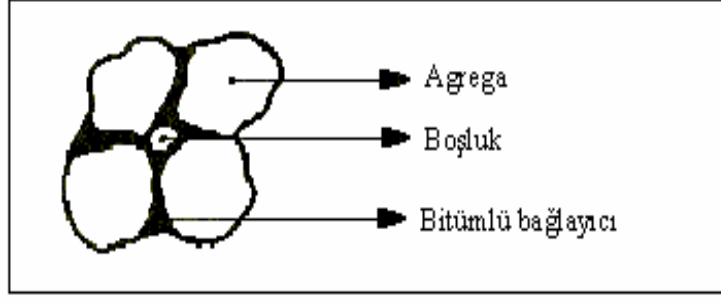
Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, yol üstyapılarında en yüksek gerilmeye maruz kalan tabaka en üst tabakası olan aşınma tabakasıdır. Bu sebeple aşınma tabakasında kullanılacak olan malzeme diğer tabakalara göre daha üstün fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olmalıdır.



Şekil 2.1 Tipik Bir Yol Üstyapı Kesiti ve Gerilme Dağılımı (Çetin 2007)

2.1 Bitümlü Sıcak Karışımlar

Karayolu kaplamalarının yaklaşık %13’ü Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) olarak yapılmıştır. Bitümlü sıcak karışım, oranları belirlenmiş bitümlü bağlayıcı, agrega ve fillerin sıcaklık, nem faktörlerine dikkat edilerek karıştırılmasıyla elde edilen yol kaplama malzemesidir. Bitümlü sıcak karışım, Şekil 2.2’deki gibi üç fazdan oluşmuş bir sistem gibidir.



Şekil 2.2 Bitümlü sıcak karışımın yapısı (Ceylan, 2006)

Bitümlü sıcak karışımların başlıca hammaddesi agregadır. Bağlayıcısız temel ve alttemel tabakalarının tamamı, bitümlü sıcak karışımların ağırlıkça %90-95'i ve hacimce %80-85'i agregadır. Çalışmada kullanılan tek tip agregaya boyutuna göre 4.76 mm'lik elek üstünde kalan iri agregaya ve 4.76 mm-0.074mm elekler arasında kalan ince agregaya olarak ikiye ayrılır.

Mineral filler, tamamı 0.425 mm elekten geçip, ağırlıkça en az %70'i 0.075 mm elekten geçen malzeme olarak tanımlanmaktadır. Filler malzemesi, asfalt karışımların ana bileşenlerinden biri olarak dikkate alınır.

Bitümlü karışımlar, agregaya ve uygun oranda katılan bitümlü bağlayıcılar ile elde edilir. Bitümlü karışımların kohezyonu bitümlü malzemeler tarafından sağlanırken agregaya ise karışımın içsel sürtünme direncinden ve stabilitesinden sorumludur (Tunç 2001).

2.2 Asfalt Betonunda Mineral Filler

Mineral filler, 0,075 mm'lik elekten geçen agregaya malzemesi olarak tanımlanır. Ancak 0,075 mm'den daha ince olan malzemelerin hepsi filler görevi görmeyebilirler. Filler malzeme mineral agreganın bir elemanı gibidir ve bu durum mineral fillerinin bitümlü sıcak karışımın yük taşıma ve stabilize özelliklerinden direk olarak sorumludur.

Agregaların konkasör tesislerinde (aynı zamanda araştırma laboratuvarlarında) kırımı esnasında üretilen taştuzu asfalt karışımlarda kullanılan filler malzemesi yerine kullanılmaktadır. Ayrıca sönmüş kireç (soyulma önleyici olarak da kullanılır) portland çimentosu, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, ve lős yeterli taş tozu olmadığı durumlarda filler malzeme olarak kullanılmaktadır (Tapkın 2008).

Mineral fillerin karışımdaki önemi, aslında toplam agreganın çok küçük yüzdesini oluşturmasına karşı, yüzey alanın çok büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Bazı durumlarda, asfalt kaplamada mineral fillerin eklenmesiyle bitüm ihtiyacında bir azalma görülebileceği gibi (agrega kütleindeki boşlukların daha verimli bir şekilde doldurulmasından dolayı) başka durumlarda efektif yüzey alanındaki artıştan dolayı daha fazla bitüm gereksinimi gözlemlenebilir (Tapkın 2008).

Filler, karışımlarda ince agrega oranını artırmak, boşluk miktarını azaltmak, asfalt betonunun dayanımını artırmak ve yüksek sıcaklıklarda asfalt betonunun deformasyona karşı dayanımını artırmak için kullanılmaktadır. Boşluk doldurucu bir özelliğinden dolayı stabiliteyi etkiler. Asfalt-agrega karışımlarında agreganın belirli bir miktar filler ihtiva etmesi, arzu edilen karışım özelliklerini ve performansını sağlamak için şarttır (Acar ve Tapkın 1998).

Mineral filler malzemesinin özellikleri, onun asfalt betonunun performansını geliştirmedeki potansiyelini tespit etmek, özellikle de sıcak karışımın stabilitesini ve durabilitesini artırarak ötelenme ve tekerlek izi oluşumu ile ilgili sorunları azaltmakta da rol oynamaktadır. Belirli mineral filler malzemelerinin kullanımı, asfalt betonundaki tekerlek izi derinliği, rijitlik ve gerilme artışı üzerinde olumlu bir değer artışı sağlar (Suhaibani et al. 1992). Ayrıca kalıcı deformasyon, yorulma çatlağı ve nem hasarına karşı olumlu bir etkiye sahiptir.

Bitümlü sıcak karışımlardaki filler kaba kum ile agrega parçacıkları arasında oluşan boşlukları doldurur nitelikte görev üstlenmektedir. Bu kavram kaba fraksiyonun dane boyutunu tanımlamaya çalışana kadar kulağa hoş gelmektedir. Ancak boşlukları dolduran ya da oluşturan tek bir dane boyutundan söz etmek imkansız gibidir (Tapkın 1998).

Agregaları saran bitüm film kalınlığından daha kalın olan filler kısmı agregaların birbirine kenetlenmesinde önemli rol oynar. Bitüm film kalınlığından ince olan filler kısmı da bitüm içinde asılı kalır ve karışımın bağlayıcılık özelliğinde rol oynar. Filler bitümü genişletir ve böylece karışımdaki efektif asfalt miktarını artırır. Bitüm içerisindeki fillerin iki tip sertleştirici etkisi vardır:

- 1) Fillerin hacmi kaplamadan kaynaklanan ve göreceli olarak küçük olan etki
- 2) Bitüm ve fillerin yüzeyi arasındaki fiziko-kimyasal etkileşimden kaynaklanan ve göreceli olarak büyük etki (Tapkın 1998).

Mineral filler köşeli olmalı, asfalt betonu içerisindeki boşlukları doldurabilmesi için uygun gradasyona sahip olmalı ve aynı zamanda 0,001 mm'den ince boyutlu daneler de içermelidir. Dane şekli mineral fillerin etkisi üzerinde önemli rol oynar. Köşeli şekiller, ince, düz ve uzun parçacıklardan daha çok arzu edilir. Mineral filler içindeki istenmeyen şekilli parçacıkların oranı artarsa mineral fillerin kalitesi düşer. Toprak, kil, organik ve zararlı maddeler ihtiva etmemeli ve kolayca akacak kadar da kuru olmalıdır. (Ağar ve Umar 1991).

Filler kimyasal bakımdan atıl olmalı, yani bitümlü malzeme ile reaksiyona girmemelidir. Ayrıca, bitümlü karışımın yapıldığı sıcaklıkta bir değişikliğe uğramamalı, bağlayıcıya karşı iyi bir yüzey adezyonu göstermelidir (Ağar ve Umar 1991).

Filler, bitümlü sıcak karışımın yorulma süresi ve plastik davranışını da etkilemektedir. Karışımındaki bitümlü bağlayıcı ve agreganın seçiminde ve karışımın hazırlanıp yola serilmesi süresinde yeterli özen gösterilmesi, şekil değiştirmelere karşı dayanıklı bir bitümlü kaplama elde edebilmek için oldukça önemlidir.

Fillerin, karışım içerisindeki oranı iyi ayarlanmalıdır. Genellikle bitümlü karışım içinde % 3 ile % 9 oranları arasında kullanılır. Belli bir orana kadar filler, boşlukları doldurduğu için, ince agrega gradasyonunu değiştirir ve böylece agrega danecikleri arasında daha fazla temas noktası sağlayarak daha yoğun karışımların elde edilmesinde rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra, bitüm ile birlikte ince agregaya karşı kayganlaştırma ve bağlayıcı etkisi göstererek harç elde etmeyi sağlar (Ağar ve Umar 1991).

Filler (doğal ya da suni) bitümlü sıcak karışımların özelliklerini şöyle etkilemektedir. Filler ;

- asfalt betonunu sertleştirebilir
- asfalt betonunu genleştirebilir
- asfalt karışımın neme dayanıklılığını etkiler
- asfalt karışımın yaşlanma özelliklerini etkiler
- asfalt karışımın işlenebilirlik ve sıkıştırılabilirlik özelliklerini etkiler (Tapkın 1998).

Birçok bölgede yaygın bulunmasından dolayı Türkiye'de yol üst yapısında agrega ve filler

olarak Kalker (kireçtaşı) kullanılmaktadır. Taş tozu, mermer tozu, kalker tozu, portland çimentosu, cüruf tozu , uçucu kül, lős ve sönmüş kireç çok sık kullanılan mineral filler malzemeleridir (ASTM D 242 1992).

Asfalt kaplamalarda filler yerine alternatif filler malzeme kullanılması günümüze kadar bir çok çalışmada incelenmiştir. Bu çalışmalardan bazıları aşağıdaki gibidir.

“Fillerin önemini tanımlayan ve farkına ilk varan 1893’lerde Clifford Richardson’dur. Birbiriyle değiştirilebilen filler ve toz terimlerini kullanmış ve ‘gerçek toz’ un önemini vurgulamıştır. Richardson tarafından filler olarak önerilen performansı yeterli malzemeler: Portland çimentosu, kireçtaşı, killi şist ve kildir. Tatmin edici olmayan veya değeri sorgulanabilen malzemeler ise: Şeker pancarı fabrikaları kireci, marn (yüksek kalsiyumlu kil), silika, kostik veya sönmüş kireç ve doğal hidrolik çimentodur (Tunncliff 1962)” (Terzi 2000).

“Dukat and Anderson (1970), iki farklı kaynaktan elde edilen asfaltın mekanik özelliklerinde sekiz farklı mineral fillerin etkilerini incelemiştir. Asfalt-mineral filler karışımları, iki farklı filler-asfalt oranında hazırlanmıştır. Bu karışımlar üzerinde dört sıcaklıkta plaka viskozimetresi deneyleri yapılmıştır. Farklı mineral filler malzemeleri, asfalt çimentosuna karıştırıldığında farklı rijitlik etkileri gösterdiğini, karışımlara eklenen mineral fillerin Marshall stabilite ve hava boşluğunu etkilemediğini bulmuşlardır (Terzi 2000)”.

“Ishai et al. (1980), optimum mekanik davranış ve optimum bitüm içeriği gibi bitümlü karışımların optimal davranışlarını belirlemede mastik ve fillerin temel özelliklerini incelemiştir. Sonuçta, karışımların davranışında diğer etkiler ile ilgili olarak fillerin sınıflandırılması için temel nicel kriter önerilmiştir. Altı çeşit filler araştırmada kullanılmıştır. Bunlar cam parçacıkları, dolomit, kumtaşı, bazalt, kireçtaşı ve hidrate kireçtir (Terzi 2000).”

“Puzinauskas (1983), filler-asfalt karışımının özellikleri, yol karışımlarının davranışı ve özellikleri üzerine mineral fillerin etkilerini araştırmıştır. Bu amaçla dört farklı mineral filler (kireçtaşı tozu, kaolin kili, fuller toprağı ve kısa-lif asbest) kullanmıştır. Bitüm malzemesini sabit tutmuş, üç ayrı agrega (kum, volkanik kaya ve kireçtaşı), kullanmıştır. Dört farklı mineral fillerin etkilerinin değerinin ölçülmesi için yaygın olarak kullanılan Marshall karışım tasarımı, asfalt yol karışımının fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu testler

için her bir numunenin hazırlanmasında Marshall tokmağı ile 50 düşüş kullanılarak numuneler sıkıştırılmıştır. Araştırmacı bu çalışmada, aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır.

1. Çoğu kez, yolun yoğunluk ve dayanıklılık gibi özelliklerini iyileştirmek için mineral fillere ihtiyaç duyulur.
2. Mineral filler asfalt karışımlarında iki rol oynar. Birincisi, mineral agregaların bir parçasıdır. İkincisi ise, büyük agrega parçaları arasında temas sağlar ve boşlukları doldurur.
3. Bitüm içerisine normalden daha az mineral filler karıştırıldığı zaman, asfaltın duktilite, penetrasyon ve viskozite özellikleri önemli düzeyde değişiklik gösterir.
4. Gerçek asfalt karışımlarda genellikle kullanılan filler miktarı, çevre sıcaklıklarında filler asfalt karışımlarının duktilitesi sıfır değerine yaklaşır.
5. Viskozite ölçümleri, yol kaplama malzemesi inşası ve kullanımında fillerin güvenilebilirliğinin belirlenmesini sağlar. Filler tipi ve miktarına bağlı olarak, yüksek sıcaklıklarda filler asfalt karışımlarının viskozite değerleri, çok geniş bir alanda değişebilir.
6. Deneyle, yoğun asfalt karışımları elde etmek için ihtiyaç duyulan sıkıştırma enerjisi ve binder viskozitesi arasında önemli ve iyi bir korelasyonun varlığını göstermiştir. Bu testler, yüksek viskoziteli filler asfalt karışımları içeren binder tabakasının sıkıştırılabilmesi için aynı zamanda yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir” (Terzi 2000).

“Akili and Courval (1987), üç farklı mineral filler (çimento, hidrate kireç ve ezilmiş kireçtaşı tozu) kullanmışlardır. Yükleme süresi, sıcaklık ve kükürt/asfaltın (K/A) ağırlık oranı değişkenler olarak seçilmiştir. K/A binderleri ile hidrate kireç fillerinin, kireçtaşı tozu veya çimento ile hazırlanan binderlerden daha yüksek dayanım ve viskozite özelliği gösterdiğini bulmuşlardır (Terzi 2000).”

Anderson et al. (1992), çalışmada asfalt betonunda ve filler katkılı asfaltta yedi farklı kaynaktan aldığı toz numunelerini, farklı oranlarda mineral filler olarak kullanmıştır. Asfaltın davranışının yorulma deneyi ile değerlendirildiğini belirttiği için bu deneyin eğilme yorulması nedeniyle kırılma meydana gelmesine neden olduğundan başarısız olduğunu düşünmüştür.

Suhaibani et al. (1992), asfalt betonunda oluşan tekerlek izi derinliğinde filler tipi ve içeriğinin etkisini araştırmışlardır. Tekerlek İzi Deneyi (Whell Tracking Test) tekerlek izi derinliğinde bu karışımların etkilerinin araştırılmasında kullanılmıştır. Karışımların mekanik

özelliklerinin incelenmesinde, Hveem stabilite ve Marshall stabilite, esneklik modülü, indirekt çekme dayanımı, deneyleri kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, tekerlek izi derinliği üzerinde, deneyde kullanılan karışımların portlant çimentosu, hidrate kireç ve kireçtaşı tozunun etkisi olduğunu göstermiştir.

Shahrour and Saloukeh (1992), çimento, hidrate kireç ve sodyum silikatı asfalt karışımında filler olarak kullanmıştır. Değişik filler malzemeleri, bitüme ağırlıkça 0,5 ve 1,5 oranlarında ilave ederek asfalt karışımı hazırlamış ve yaptığı deneyler sonucunda bitümlü karışımlarda filler miktarı ve farklı tiplerinin performansını değerlendirmede kullanılmıştır. Değişik filler malzemelerinden farklı sonuçlar elde etmişlerdir.

“Tyson (1993), kömür tozunun kullanım alanları hakkında bilgi vermiş ve kömür tozunun bitümlü karışımlarda mineral filler olarak kullanılabileceğini göstermiştir” (Terzi 2000).

Lav and Süttaş (1993), çalışmalarında, bitümlü karışımlarda filler malzemesi olarak kullanılan taş tozu ve Portlant çimentosunun yanı sıra sülfürik asit üreten fabrikaların yan ürünü olan Pirit kalsinesinin de yer alabileceği düşünerek, şartnamelere uygun Marshall numuneleri hazırlamıştır. Marshall stabilite-şekilde deneyi sonucunda Pirit kalsinesinin diğer filler malzemesi gibi esnek yol kaplamalarında kullanılabileceği kanısına varılmıştır.

“Sayed et al. (1995), Bahreyn' de kullanılan bitümlü yol karışımlarında mineral filler olarak pis su atığı külünün kullanılmasını araştırmışlardır. Atıkların kimyasal ve fiziksel özellikleri araştırılmış, atık içeren asfalt betonu karışımlar hazırlanmıştır. Marshall deney metodu asfalt betonunda filler olarak atığın uygunluğunun değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Değerlendirme parametreleri, sıkışmış karışım yoğunluğu, karışımda hava katkılarının yüzdesi, mineral agregalarda boşluk yüzdesi, bitüm ile dolu boşluk yüzdesi, Marshall Stabilitesi ve akmadır. Optimum bitüm oranı ile hazırlanan numuneler, Bahreyn'de hakim olan yüksek sıcaklıklarda karışımın çevre sıcaklığından etkilenme durumunun belirlenmesinde kullanılmış, 70 °C ve 80 °C'de akma ve stabilite değeri belirlenmiştir. Atık madde içeren numunelerin Bahreyn standart şartnamesinin minimum stabilite değerini sağladığı görülmüştür (Terzi 2000).”

Önal vd. (1996), çalışmalarında karışımda kil malzemesini filler malzemesi olarak kullanmış

ve bitümlü karışımın kohezyonuna etkisini incelemişlerdir. Sonuçta, TS - 1900'e uygun olarak No.40 (0.42 mm) eleği geçen kısmına uygulanan Likit Limit ve Plastik Limit deneyleri ile bulunamayan düşük plastisiteelerin, malzemenin No.200 (0.075 mm) eleği geçen kısmına uygulanması ile belirlenebileceği, karışımında kil bulunması durumunda suyla yeterli bir süre temas etmeyen (koşullandırılmamış) numunelerle kilin olumsuz etkisinin gözlenmediği, suyla daha uzun bir süre (çalışmada 60 °C'de, 72 saat) temas eden karışımlarda ise yüksek plastisiteelerde Marshall stabilitesi ve indirekt çekme mukavemetinde azalmalar olduğu görülmüştür.

Mogawer and Stuart (1996), çalışmalarında asfalt betonunda üç Avrupa ülkesinden elde edilen sekiz farklı mineral filler kullanmışlardır. Karışımlar için, mastiklerin akması akma deneyi kullanılarak, tekerlek izi deneyleri Fransız yol tekerlek izi deneyi kullanılarak, düşük sıcaklık çatlağı indirekt çekme deneyi kullanılarak, uygulanabilirlik ASTM D 4867 metodu kullanılarak denenmiştir. Yaptığı deneyler kaliteli ve kalitesiz mineral fillerin stone asfalt karışımların performansını etkilemediği ortaya çıkmıştır.

Güngör (1996), esnek yol üst kaplamalarında Afşin Elbistan uçucu külünün filler malzemesi olarak kullanılmasını araştırmıştır. Filler olarak taş tozu, portlant çimentosu ve uçucu kül kullanılmıştır. Marshall deneyi yapılmış, optimum bitüm yüzdesi, bağlayıcı ile dolu boşluk yüzdesi, boşluk yüzdesi, akma ve stabilite değerleri elde edilmiş ve sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçta uçucu külün esnek üst yapılarda filler malzemesi olarak kullanılabilmesi kanısına varılmıştır.

Karavaşin vd. (1997), Isparta Belediyesi'nin asfalt betonu üretiminde kullandığı kaba agregalar, ince agregalar ve filler malzemeleri kullanarak Marshall numuneleri hazırlamış, Marshall stabilite deney aletinde kırmışlardır. Benzer olarak ISBAS şirketinden pomza numunesi alınmış ve Isparta Belediyesi'nin kullandığı normal filler yerine pomzadan elde edilen filler kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre, pomza filler olarak kullanıldığında bağlayıcı olarak daha fazla bitüm kullanılması gerektiği halde, normal fillere göre daha büyük stabilite değeri elde edilmiştir.

Çetin (1997), endüstriyel atıkların değerlendirilmesini incelemiş ve asfalt betonunda kül, petrolü sondaj atıkları, mermer tozu, lastik parçaları portland çimentosu ve kireci mineral filler olarak kullanılarak Marshall stabilite-akma, indirekt çekme, serbest basınç ve su hasarı

deneyleri yapılmıştır. Sonuçta bütün atıklar için farklı sonuçlar bulmuş, kül ve mermer tozunun asfalt betonunda kullanımında hiçbir sakınca olmadığını savunmuştur.

Chen et al. (1998), mastik asfalt karışımlar üzerinde deneyler yapmışlardır. Direkt çekme testi deney sonuçlarına göre, karışımda filler içeriği arttığında, çekme dayanımının da arttığını göstermiştir. Buna bağlı olarak, asfalt ile mineral filler arasında iyi bir adezyon oluştuğunu belirtmiştir. Bununla beraber asfalt-mineral filler mastik karışımlarının çekme dayanımı, filler parçacıklarının boyutunun artması ile azaldığını göstermişlerdir.

Acar vd. (1998) aşınma tabakasında kullanılan standart karışımlardaki filler yerine çeşitli oranlarda portland çimentosu kullanılarak hazırlanan numuneleri test ederek, stabilite ve akma özellikleri açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca indirek yorulma testi yaparak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçta Marshall ve indirek çekme deneylerine göre portland çimentosunun doğal fillerden daha üstün özellik gösterdiğini savunmuştur. Ancak bu uygulamanın tavsiye edilmesi için daha kapsamlı araştırmalar ve ekonomik değerlendirmelere ihtiyaç duyulduğunu belirtmiştir.

Vassiladau (1999) araştırmasında kömür küllerinin asfalt betonu karışımlarda filler agrega olarak kullanıldığı zaman ortaya çıkan etkileri göstermektedir. Değişen oranlarda kömür külü karışımlarda kullanılmıştır (0, %6, %8). Çekme mukavemeti gibi fiziksel özellikler ölçülmüş ve statik analizleri yapılmıştır. Sonuçta gözlenmiştir ki filler olarak kömür kullanılması stabilite üzerinde olumlu etkiler yapmaktadır.

Terzi (2000), çalışmasında mermer toz atıklarının asfalt betonunda filler malzemesi olarak kullanılmasını araştırmıştır. Tas tozu yerine mermer tozu kullanılması hem Marshall deney sonuçları hem de plastik deformasyon deney sonuçları dikkate alındığında önemli bir farklılık göstermemektedir. Dolayısıyla, mermer tozunun filler malzemesi olarak bitümlü karışımlarda değerlendirilebileceği kanaati oluşmuştur. Terzi; çalışmasında mermer toz atıklarının asfalt betonunda filler malzemesi olarak kullanılmasını araştırmıştır. Tas tozu yerine mermer tozu kullanılması hem Marshall deney sonuçları hem de plastik deformasyon deney sonuçları dikkate alındığında önemli bir farklılık göstermemektedir. Dolayısıyla, mermer tozunun filler malzemesi olarak bitümlü karışımlarda değerlendirilebileceği kanaati oluşmuştur.

Şengöz vd. (2000), kirecin asfalt karışımları üzerinde etkisini incelemek üzere bazalt

kullanarak soyulma ve Marshall stabilite deneyleri uygulamıştır. Sonuçta kirecin mineral filler gibi davranarak asfalt çimentosunu ve karışımın sertliğini artırdığı, soyulma deneyindeki olumlu sonuca göre kirecin, sıcak karışımlarda suya karşı hassasiyetini azalttığı, farklı oranlarda akma ve stabiliteyi farklı etkilediği ancak bütün oranlarda şartnamedeki değeri sağladığı, sık bakım ve onarım dolayı ülke ekonomisine katkısının olabileceğini belirtmiştir. Ancak soyulma üzerine etkisinin kesinliği için farklı tip agregalarda denenmesi gerektiğini söylemiştir.

Şengöz vd. (2002), shingle (çatı örtüsü) atığının yol üst yapısında filler olarak kullanımını araştırmıştır. Karışımlarda bitüm miktarını değiştirmeden %1-5 oranlarında filler olarak shingle atığı kullanmıştır. Marshall stabilite deneyi sonucunda shingle atığının asfaltta kullanımının ekonomik açıdan da uygunluğunu bildirmiştir.

Ahmed vd. (2006) atık kullanarak mineral fillerin asfalt karışın mekanik özellikleri üzerinde etkilerini araştırmıştır, ve sonuçta çimento tozu yerine kireç tozunun kullanılabilceğini belirtmiştir.

Ekşioğlu (2006), mermer tozu, uçucu kül, fosfojips ve cam tozu gibi endüstriyel atıkların yol üst yapısındaki etkisini araştırmak için asfalt betonunda %0-7 arasında filler malzeme olarak endüstriyel atıkları kullanmıştır. Hazırlanan numunelere uygulanan Marshall stabilite-akma ve koşullandırılmış Marshall deneyleri sonunda endüstriyel atıkların filler malzemesi olarak yüksek sıcaklık ve değişen kür şartlarında asfalt betonunda kullanılabilceğini savunmudur.

Ceylan (2006), çalışmasında bitümlü sıcak karışımlarda filler olarak kullanılan Carboniferous-Triassic kayaç tozlarının (mor filler) etkisi incelenmiştir. % 3,5, 4,0, 4,5 ve 5,0 bağlayıcı oranına karşılık % 4, 6 ve 8 filler oranında numuneler hazırlanmış ve bu numuneler Marshall deneyine tabi tutularak mor fillerin karışıma etkisi incelenmiştir. Sonuçta kontrol karışımlarla kıyaslandığında düşük stabilite göstermesine karşın şartnamedeki değere uyduğu, düşmenin istenilen durumda olduğu, karışım sırasında bitümü daha çabuk absorbe ettiği kanaatine varılmıştır. Ancak kimyasal reaksiyon, farklı bitüm oranı ve dayanıklılığına etkisi açısından geniş kapsamlı araştırma yapılması gerektiğini belirtmiştir.

Ahmedzade vd. (2007), filler yerine kullanılan siyah karbonun asfalt karışımların mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Sonuç olarak asfalt betonunda filler olarak siyah

karbonun kullanılmasının, karışımların mekanik özelliklerini geliştirdiği ve siyah karbonun bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirliği tespit edilmiştir.

Çağlar (2007), çalışmayı endüstriyel katı atık malzemelerin performansları bakımından teknik avantajlarını tanıtmak ve yalnızca bir atık maddesi olarak bilinen bu malzemelerin aslında yol malzemeleri olarak değerlendirildiğinde elde edilecek çevresel, ekonomik ve teknik faydaları belirtmek için yapmıştır ve sonuçların olumlu olduğunu belirtmiştir.

Tapkın (2008), asfalt karışımında mineral fillerin yerine uçucu kül kullanarak çalışma yaptı. Yaptığı deneyler sonucunda uçucu külün asfalt betonunun mekanik özelliklerini olumlu etkilediğini saptadı ve filler yerine uçucu külün kullanılabilirliğini savundu.

Hwang et al. (2008) asfalt karışımında mineral filler malzemesi olarak atık kirecin potansiyel kullanımı araştırılmıştır ve sonuçta atık kirecin filler olarak kullanılması sonucu asfaltta deformasyon özellikleri, sertlik ve yorgunluk dayanıklılığı olumlu etkilediğini belirtmiştir.

Eren (2008), çalışmada, asfaltiti asfalt betonunda filler malzemesi olarak kullanılması durumunda karışım performansına etkisi araştırılmıştır ve üretilen Marshall numunelerinin optimum bitüm oranları Marshall deneyi ile belirlemiş ve karışımların mekanik özellikleri Marshall stabilite, dolaylı çekme ve su hasarı deneyleri yapılarak değerlendirmiştir. Bununla birlikte karışımların yoğunluk-boşluk özellikleri karşılaştırmalı olarak irdelemiştir. Kalkerli numunelerle karşılaştırılması sonucu asfaltitin bünyesindeki bitüm nedeniyle karışımdaki bitüm oranı düştüğü gözlenmiştir. Stabilite değeri kalkerli numunelere nazaran düşük fakat şartnamedeki kritik değerinin üstündedir. Akma değerinde büyük çaplı değişme gözlenmemiştir.

Kuloğlu vd. (2009), yaptığı çalışmada asfalt betonunda filler miktarının ağırlıkça %50'si oranında Silopi asfaltiti kullanmış ve karışımın nem hasarına karşı dayanımını incelemiştir. Kontrol numuneleri ve asfaltitli numuneleri karşılaştırarak şu sonuçlara varmıştır. Alfaltitin içeriğindeki bitüm miktarından kaynaklandığı düşünülen optimum bitüm miktarını düşürdüğü kanısına varılmıştır. Yüksek stabilite ve düşük akma değerine sahip olduğu, nem hasarına karşı dayanımın daha yüksek olduğu bulgularını bulmuşlardır.

Tapkın (2009), yaptığı çalışmasında asfalt karışımlarda mineral filler yerine değişik tip uçucu

kül, çimento, kireç kullanmış ve bunların asfaltın mineral fillere etkisini araştırmıştır. Soma tipi uçucu külün kalker bazlı filler malzemesine göre daha yüksek stabilite, düşük akma değerine sahip olduğu görülmüştür. Değişik tip uçucu küller elastik birim deformasyon, elastik modül ve kalıcı birim deformasyon gibi mekanik özelliklerde pozitif iyileşmeler saptanmıştır. Atık malzeme olduğu için ekonomik olarak kullanılabilirliğini savunmuştur. Tapkın yine incelmenin mikro düzeyde yapılması gerektiğini savunmuştur.

Chen et al. (2010), asfalt karışımında mineral filler yerine yapıların yıkılmasıyla elde edilen atık tuğla tozunun kullanılabilirliği çeşitli testlerle -dolaylı çekme dayanımı ve modülü, statik ve dinamik dahil sürünme ve yorulma testleri- araştırılmış. Bu deney sonuçlarını kontrol karışımı olan kireçtaşı ile karşılaştırılarak değerlendirilmiş ve sonucun olumlu olduğu görülmüştür.

Chen et al. (2010), asfalt betonunda yine inşaat yıkımları sonucu oluşan toz haline gelmiş agregaların asfaltta mineral filler olarak kullanımını değerlendirmiştir. Dolaylı çekme testi, üç nokta eğilme dinamik, sürünme testleri, su duyarlılık testleri ve yorulma testleri yapılmıştır. Mineral filler malzemesi olarak agrega tozlarının kullanımı, su duyarlılığı artırabilir, yüksek sıcaklıkta yorulmaya karşı direnci artırabilir, ancak düşük sıcaklık yorulma performansında bir düşüş olduğu kanısına varmıştır.

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Materyal

Yapılan çalışmada materyal olarak mineral agrega, mineral filler ve bitüm (AC) kullanılmıştır. Kullanılan materyallere ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.1.1 Agregalar

Çalışmada kullanılan agrega Afyonkarahisar ili İncehisar bölgesinden sağlanmıştır. Kullanılan bu agrega Sağlamlar firması ocağından alınmıştır.

3.1.2 Mineral Filler

Çalışmada kullanılan mineral filler İzmir ÇİMSTONE fabrikasından temin edilmiştir. Kuvars esaslı granit arıtma çamuru, hava şartlarının uygun olmasından dolayı güneşte kurutulmuş, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Atölyesinde öğütülmüş ve 200 nolu elekten elenerek filler malzeme elde edilmiştir.

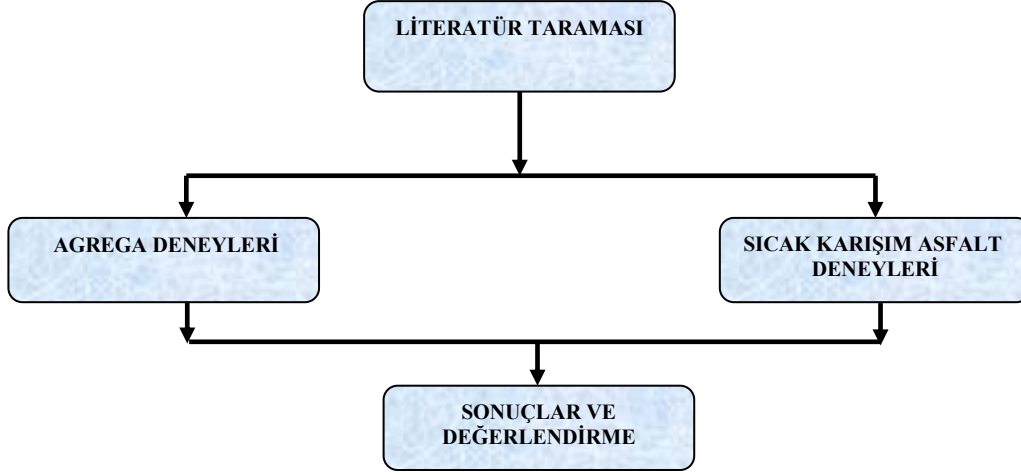
3.1.3 Bitüm (AC)

Çalışmada bağlayıcı olarak, Afyonkarahisar Belediyesi asfalt şantiyesinden elde edilen, Aliğa rafinerisinde üretilmiş penetrasyon bitümü cinsi bağlayıcı kullanılmıştır. Söz konusu bitümlü bağlayıcı 50–70 penetrasyonludur.

3.2 Metot

3.2.1 Mineral Agrega Numunelerinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışmada kullandığımız malzemelerin fiziksel özelliklerini tespit etmek amacıyla yapılan deneysel çalışma yöntemi Şekil 3.1’de verilmiştir. Çalışmada öncelikle literatür taraması yapılmış, ardından agrega ve sıcak karışım asfalt deneyleri yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.



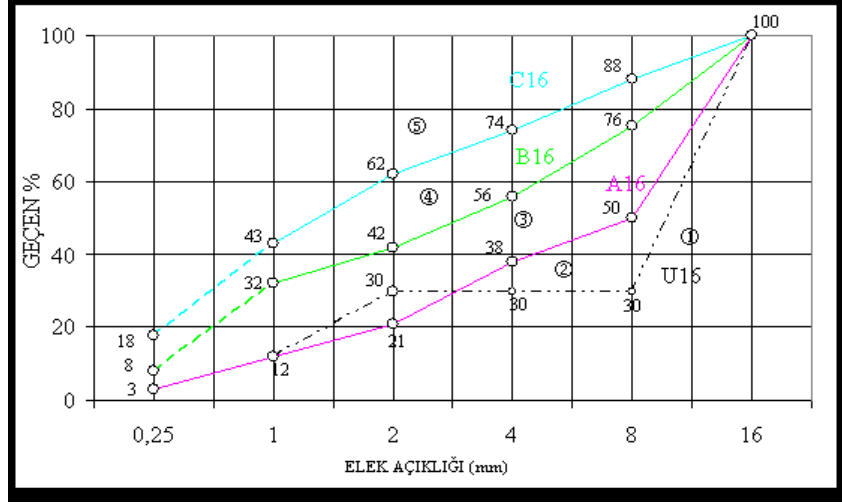
Şekil 3.1 Deneysel Çalışma

3.2.1.1 Elek Analizi Deneyi

Kaplamanın stabilitesine ve yoğunluğuna etki eden önemli özelliklerden birisi de agrega gradasyonudur. Dolayısıyla, değişik boyutlardaki agrega danelerinin hangi oranlarda bulunması gerektiği şartnamelerde alt ve üst limitlerle belirtilmiştir. Agregalar konkasörlerde 0-5, 5-10, 10-20 ve 20-25 üstü olmak üzere değişik boyutlarda üretilir. Bu agrega gruplarından her birinde ayrı ayrı elek analizi yapılmak ve belirli oranlarda karıştırılmak suretiyle nihai gradasyonu elde edilir.

Elek analizi için ASTM C 702'ye göre numune alınır. Numune şantiyede agrega yığımından veya konkasör bandından alınabilir. Fakat bunlardan en doğru sonucu konkasör bandından alınan numuneler verir. Şayet yığımından numune alınacaksa bir boru yardımıyla yığının değişik noktalarından numune alınarak, ayrı bir alanda karıştırılmak suretiyle dörtleme işlemine tabi tutulmalıdır.

Ülkemizde karayolu kırma taşlarında 1", 3/4", 1/2", 3/8", No:4, No:10, No:40, No:80, No:200 standart elekleri kullanılır. Elekler büyükten küçüğe doğru sıralanır ve malzeme en üst elekten başlanarak elenir. Elek üstü kalan malzemeler yığışımli olarak 0,1 gr hassasiyetinde bir terazi ile tartılır. Daha sonra yüzde geçenler, toplam yüzde kalanlar ve belli boyutlardaki yüzdeler toplam ağırlığın % 0,1'i yakınlığında hesaplanarak Şekil 3.2'deki gibi grafikte eğrilerle gösterilir.



Şekil 3.2 Standartlarda Verilmiş A16 – B16 – C16 Eğrisi

3.2.1.2 Agreganın Özgül Ağırlığının Tayini

Belli hacim ve sıcaklıktaki bir malzemenin, havadaki ağırlığının aynı hacim ve sıcaklıktaki damıtık suyun havadaki ağırlığına oranıdır. Bu özellik agrega kökeni hakkında bilgi verir ve Marshall karışım dizaynında kullanılır.

Özgül ağırlık, agreganın uygunluğunu belirtir. Düşük özgül ağırlık sağlam olmayan malzemeyi, yüksek özgül ağırlık ise kaliteli asfalta uygun agregayı tanımlar. Düşük özgül ağırlık agreganın boşluklu ve zayıf olmasına bir işarettir. Asfalta kullanılacak agreganın özgül ağırlığının 2,4-2,8 arasında olması istenir.

Agregaların üç tane özgül ağırlığı vardır. Bunlar;

- Yüzeysel kuru suya doymuş haldeki özgül ağırlığı,
- Hava kuru özgül ağırlığı,
- Etüv kuru halindeki kuru özgül ağırlığıdır.

İri Agregaların Özgül Ağırlık Deneyi ve Su Absorpsiyonu:

Bu deney metodu, iri malzemenin absorpsiyonunun ve özgül ağırlığının bulunmasını kapsar. Özgül ağırlık, hacim özgül ağırlığı, doymuş yüzeysel kuru hacim özgül ağırlığı veya zahiri özgül ağırlık olarak verilebilir. Bu metod, hafif agregalar için kullanılmaz (TS 3526 2003).

ASTM C 127-88 metodu kullanılarak kaba agreganın özgül ağırlığı aşağıdaki gibi belirlenir.

Numune çeyrekleme yöntemiyle Çizelge 3.1’de tane boyutuna bağlı olarak önerilen miktarda tartılarak alınır. Alınan numune su içinde 24 saat bekletilir.

Çizelge 3.1 İri agrega birim hacim ağırlık için numune miktarı

En Büyük Tane Büyüklüğü (mm)	4	8	16	32	63
Deney Numunesi Miktarı (Kg)	0,8	1,5	2	3	3

1. İnce taneleri kaybolmayacak şekilde suyu süzülerek tava içine yayılır.
2. Tavadaki numune taneleri üzerinde görülebilen su tabakası kalmayıncaya kadar havlu vb. ile DKY haline getirilmek için kurutulur.
3. İri agreganın özgül ağırlığı bulunmak istendiğinde malzeme önce kuru yüzey doygun hale getirilerek tartılır. (W_1)
4. Malzeme özgül sepetine konulan su içinde tartılır. (W_3)
5. Etüve konulan malzeme kurutulduktan sonra tartılır. (W_2)

Hesaplama;

- İri Agreganın Kuru Özgül Ağırlığı

$$\delta_k = \frac{W_1}{W_2 - W_3} \quad (3.1)$$

- İri Agreganın Doygun Yüzey Kuru Özgül Ağırlığı

$$\delta_d = \frac{W_2}{W_2 - W_3} \quad (3.2)$$

- İri Agreganın Görünen Özgül Ağırlığı

$$\delta_g = \frac{W_1}{W_1 - W_3} \quad (3.3)$$

- Su Emme Oranı (onda bir hanesine yuvarlatılarak)

$$M_c = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \quad (3.4)$$

İnce Agregaların Özgül Ağırlık Deneyi ve Su Asorpsiyonu

4.75 mm elek altında kalan malzeme ince malzeme olarak nitelendirilen ince agreganın özgül ağırlığı ASTM C 128-88 metodu ile şu şekilde bulunur.

Deneyde kullanılacak numune miktarı, en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Gerekli deney numunesi miktarı Çizelge 3.2’de verilmiştir

Çizelge 3.2 Özgül ağırlık tayini için gerekli numune miktarı

En Büyük Tane Büyüklüğü (mm)	0,25	0,5	1	2
Deney Numunesi Miktarı (kg)	0,8	0,8	0,8	0,8

1. Malzemeyi tam temsil eden deney numunesi bölgeç veya çeyrekleme yöntemiyle Çizelge 3.2’ de belirtilen miktar kadar alınır.
2. Tane büyüklüğüne bağlı olarak alınan numuneler, tam doygun hale gelinceye kadar (en az 24 saat) su içinde bekletilir.
3. Suyu doygun hale gelmiş numune ince taneleri kaybolmayacak şekilde suyu süzülerek tava içine yayılır.
4. Tavadaki numune tablalı ısıtıcı veya hava akımı oluşturan ısıtıcı ile sürekli karıştırılarak DKY (Doygun Kuru Yüzey) haline gelmesi çabuklaştırılır.
5. DKY durumuna gelip gelmediği gözle muayene de anlaşılammış ise bunu tespit etmek için kesik huni yöntemi veya kesme yöntemlerinden biri uygulanır.
6. İnce Agreganın özgül ağırlığı bulunmak istendiğinde malzeme önce kuru yüzey doygun hale getirilerek tartılır.
7. Deneyde kullanılacak piknometre işaretli seviyeye kadar su doldurulup tartılır.
8. Deneyde kullanılacak kum piknometreye katılarak işaretli seviyeye kadar su doldurulup tartılır.
9. Kum ve su karışımı sallanarak hava kabarcıkların su ve kum karışımından uzaklaşması sağlanır.

10. istenirse vakum uygulanarak havanın tamamının çıkması sağlanır.
11. Etüve konulan malzeme kuruduktan sonra tartılır.
12. Özgül ağırlık değerleri ve su absorpsiyon yüzdesi aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır.

Hesaplama;

$$\delta = \frac{W_1}{(W_1 + W_2) - W_3} \quad (3.5)$$

δ : Deney numunesinin özgül ağırlığı

W_1 : Numunenin yüzey kuru suya doymuş (YKSD) ağırlığı

W_2 : Su ile dolu cam kabın ağırlığı

W_3 : İçine numune konmuş ve su ile doldurulmuş cam kabın ağırlığı

$$\text{Su Emme Kapasitesi \%} = \frac{(W_{dyk} - W_k)}{W_k} \quad (3.6)$$

W_{dyk} : Yüzeyi kuru suya doymuş ağırlığı

W_k : Etüv kurusu ağırlığı

3.2.1.3 Agregalarda Birim Ağırlık Deneyi

TS 3529 (1980)'a göre agregaların birim ağırlık deneyi iki şekilde bulunur.

*Gevşek Birim Ağırlık Deneyi.

*Sıkışık Birim Ağırlık Deneyi

Sıkışık Birim Ağırlık Tayini

Sıkışık Birim Hacim Ağırlık Deneyi TS 3529 (1980)'ye göre şu şekilde yapılır.

1. Agregayı tam temsil eden agrega numunesi tane çapına bağlı olarak önerilen miktar tablo-5'e göre alınır.
2. Etüvde 105 ± 5 °C de değişmez ağırlığa kadar kurutulur.
3. Bu yöntemde gerekli olacak kapların boş ağırlığı tartılır ve (M₁) olarak kaydedilir.

4. Deney numunesi kabın 1/3 yüksekliğine kadar doldurulur ve şişleme çubuğu ile 25 kez şişlenir. Numune; şişleme çubuğu ile yüzeyin her tarafına yayılacak şekilde, fakat kabın tabanına şişleme çubuğu değmeyecek şekilde 25 vuruş yapılarak sıkıştırılır.
5. Daha sonra kap 2/3' üne kadar doldurulur şişleme çubuğu ile yüzeyin her tarafına eşit olacak şekilde 25 vuruş yapılarak sıkıştırılır.
6. En son kap taşarcasına Resim 3.1'deki gibi doldurulur yine aynı şişleme yapılır. Her tabakanın şişlenmesi sırasında bir evvelki tabakaya kadar şişin girmesi gereklidir. Ölçü kabı üst yüzü sıyrılarak düzeltilir.
7. Ölçü kabı ile sıkışmış haldeki agrega birlikte tartılır (M₁).
8. Deney 2. ve 3. kez ve her seferinde yeni agrega ile tekrar edilir. Sıkışık birim hacim ağırlık (B_s) aşağıdaki formülle hesaplanır.



Resim 3.1 Sıkışık Birim Ağırlık Tayini Deney Yapımı

Hesaplama;

$$u = \frac{(W_a)}{V} = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (3.7)$$

U : Agrega birim ağırlığı (gr/dm³)

Wa: Agrega ağırlığı (gr)

W1: Ölçü kabı boş ağırlığı (gr)

W2: Sıkışık agrega ile dolu ölçü kabı ağırlığı (gr)

V : Ölçü kabının iç hacmi (dm³)

Gevşek Birim Ağırlık Tayini

Gevşek Birim Hacim Ağırlık Deneyi TS 3529 (1980)'ye göre şu şekilde yapılmıştır:

1. Malzemeyi tam temsil eden malzeme Çizelge 3.3'e göre alınır. Etüvde 105 ± 5 °C de değişmez ağırlığa kadar kurutulur.

Çizelge 3.3 Ölçü Kaplarının Dik İç Boyutlar

En Büyük Tane Büyüklüğü(mm)	İç Çap(mm)	Yükseklik(mm)	Kalınlık (mm)	Yaklaşık Hacim (dm ³)
16	155	155	3,5	3
32	250	280	3,5	14
125	350	290	3,5	28

2. Deney numunesi tane çapına bağlı olarak çizelge 3.3'de önerilen miktar kadar alınır.
3. Deney ölçü kabı tane boyutuna göre seçilir.
4. Bu yöntemde gerekli olacak kapların boş ağırlığı tartılır ve (M_1) olarak kaydedilir.
5. Agregaya el küreği ile kap kenarından çevresinde dönmeli olarak (ölçü kabı üst yüzeyinden en fazla 5 cm yükseklikten dökülmelidir) bir miktar taşacak şekilde doldurulur (Resim 3.2).
6. Ölçü kabı, yüzeyindeki fazla agregaya çelik cetvel ile dikkatlice sıyırılarak üst yüzey düzlenir. 16 mm'den daha büyük tane sınıflı agregaya da sıyırma, el ile dikkatlice yapılır, taşan iri agregaya varsa yerine daha küçük boyutlu ince agregaya ile yer değiştirilir.
7. Gevşek agregaya ile dolu ölçü kabı beraberce tartılır ve (M_2) olarak kaydedilir.
8. Deney 2. 3. kez ve her seferinde yeni agregaya ile tekrar edilir, aritmetik ortalamaları alınır.
9. Gevşek birim ağırlık aşağıdaki formülden hesaplanır ve kayda geçirilir.



Resim 3.2 Gevşek Birim Ağırlık Tayini Deney Yapımı

Hesaplama;

$$u = \frac{(W_a)}{V} = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (3.8)$$

U : Agregada birim ağırlığı (kg/m³)

Wa: Agregada ağırlığı (gr)

W1: Ölçü kabı boş ağırlığı (gr)

W2: Sıkışık agregada ile dolu ölçü kabı ağırlığı (gr)

V : Ölçü kabının iç hacmi (dm³)

3.2.1.4 İri Agregaların Aşınma Deneyi

Bu deney, iri agregaların parçalanma direncinin tayini için yapılacak işlemleri kapsar. Bu amaç için iki metot vardır:

- Los Angeles deneyi
- Darbe deneyi (Alternatif metot)

Los Angeles Aşınma Dayanımı

Agreganın aşınmaya dayanıklılığının belirlenmesinde kullanılan deney yöntemlerinden biri olan Los Angeles Deneyi ASTM C 131-89 (1992)'a göre şu şekilde yapılmıştır:

1. Deney için numunenin hazırlanması; laboratuara gönderilen numunede malzemenin tane büyüklüğü 10 mm ile 14 mm arasında, kütlesi en az 15 kg olmalıdır.
2. Deney, 14 mm deney eleğinden geçen ve 10 mm deney eleğinde kalan agregalara uygulanır. ilave olarak, deney kısmının tane büyüklüğü dağılımı aşağıdaki şartlardan birine uygun olmalıdır :
 - a) 12,5 mm deney eleğinden geçen agregada miktarı, %60 ile %70 arasında
 - b) 11,2 mm deney eleğinden geçen agregada miktarı, %30 ile %40 arasında olmalıdır.
3. Laboratuar numunesi 10 mm 11,2 mm (veya 12,5 mm) ve 11,2 mm (veya 12,5 mm) - 14 mm arasındaki fraksiyanları elde etmek için 10 mm, 11,2 mm (veya 12,5 mm) ve

14 mm'lik deney elekleriyle elenir. Her bir fraksiyon uygun olarak yıkanır ve sabit kütleye (Numunenin kurutmadan sonra en azından bir saat zaman aralıkları ile birbirini takip eden tartımları arasındaki farkın %0, 1'den daha fazla olmadığı durumdaki kütlesidir) ulaşmaya kadar $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde kurutulur.

4. Fraksiyonlar oda sıcaklığına soğutulur. Yukarıda verilen tane büyüklüğü dağılımı ilave özelliklere uygun 10mm - 14 mm aralığında laboratuvar numunesi elde etmek için her iki fraksiyon karıştırılır.
5. Karıştırılmış fraksiyonlardan hazırlanmış laboratuvar numuneleri uygun miktarda deney numunesi parçasına azaltılır. Deney kısmının kütlesi (5000 ± 5) g olmalıdır.
6. Numuneyi yüklemeye önce tamburun temiz olup olmadığı kontrol edilir. Resim 3.3' deki Los Angeles aletinin içine önce dikkatlice bilyeler (Resim 3.3), sonra deney kısmı konulur.
7. Kapak kapatılır ve makine 31 devir/dakika ila 33 devir/dakika arasında sabit hızda 500 devir döndürülür.
8. Agregaya kaybını önlemek için açıklık tepsinin tam üstüne getirilerek, agregalar tepsiye dökülür. Tambur temizlenir, ince tanelerin raf etrafında kalmamasına dikkat edilir.
9. Agregaya kaybının olmamasına dikkat edilerek bilyeleri tepside alınır.
10. Tepsiden malzeme, 1,6 mm'lik elek kullanılarak yıkanır ve elenir. 1,6 mm elekten kalan kısım, $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 'da ki etüvde sabit kütleye gelinceye kadar kurutulur.
11. Los Angeles katsayısı (LA) (Deney tamamlandıktan sonra 1,6 mm'lik elekten geçen deney kısmının yüzdesi hesaplanır.
12. Sonuç en yakın tamsayıya yuvarlatılarak verilir ve numunenin kaynağı, deney kısmının elde edildiği tane büyüklüğü fraksiyonları ve Los Angeles katsayısı, LA tanımlanır.

Hesaplama;

$$A_1 = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (3.9)$$

W₁ : Eleme işlemi yapılan etüv kurusu halindeki numune.

W₂: Deney sonrası Los Angelesdan çıkıp eleme işlemi yapılan etüv kurusu halindeki numune.

A₁: % olarak aşınma değeri.



Resim 3.3 Los Angeles Aleti

Darbelenme Deneyi

Agreganın ani şok ve çarpma etkilerine karşı dayanımının belirlenmesini sağlayan diğer bir deney türü de agrega darbelenme deneyidir. Darbe deneyi, Los Angeles deneyine alternatif olarak kullanılabilir. Bu deney 14 mm BS eleğinden geçip 10 mm BS eleğinde kalan agregalara uygulanır. BS 812' ye göre deney şu şekilde yapılır.

1. Darbelenme deneyinde kullanılacak agrega miktarı iç çapı 75 mm ve iç yüksekliği 50 mm olan bir metal mezür yardımıyla belirlenir.
2. Mezür, en fazla 50 mm yükseklikten dökülecek şekilde 1/3'üne kadar doldurulur ve şişleme çubuğu ile 25 defa şişlenir.
3. Mezür daha sonra 2/3'üne kadar sonra da tamamen doldurulur.
4. Doldurma işleminden sonra şişleme çubuğu mezürün üzerinde gezdirilerek çubuğa temas eden agregalar alınacak ve varsa yüzeydeki boşluklar ele alınan uygun agregalarla tamamlanır.
5. Mezüre giren agrega ağırlığı(A) tartılarak kaydedilir ve aynı numuneye ait diğer deneyler için aynı miktarda malzeme kullanılır. (TS EN 1097-2 1998).
6. Darbelenme deney aleti düzgün ve sağlam bir yüzey üzerine konularak sabitlenir, mezürle ölçülen miktarda agrega kalıp içerisine konulur ve kalıp sabitlenir.
7. Daha sonra tokmak ayarlanarak 380 ± 5 mm yükseklikten 15 defa 1 sn'den daha kısa aralıklarla agrega üzerine 13,5 kg'lık bir ağırlık düşürülür.
8. Resim 3.4'de darbelenme deney cihazı görülmektedir.



Resim 3.4 Agregada Darbelenme Değeri Tayini İçin Deney Cihazı

9. Bu işlemden sonra deneye tabi tutulmuş agregaya kalıp içerisinden çıkarılarak bir tepsiye alınır ve 8 nolu elekten elenir.

10. Daha sonra No:8 eleği geçen (B) ve kalan (C), malzemeleri 0,1 gr hassasiyetle tartılır. nce malzeme yüzdesi (K) şu şekilde hesaplanır:

Hesaplama;

$$K = \frac{B}{A} \times 100 \quad (3.10)$$

3.2.1.5 Donma - znme Deneyi

Agregaların hava etkileriyle donarak ufalanmaya karşı olan dirençleri hakkında laboratuarda kısa süre içinde karar verebilmek amacıyla uygulanan hızlandırılmış bir deneydir. Agregalar donma-zlme etkisi altında hacim değişikliği göstermektedirler. Gözenekleri su ile dolan agregaya taneleri, suyun donması sonucunda hacmi genleşir. Oluşan bu hacim genleşmesi sonucunda agregaya tanelerinde çok büyük içsel gerilmeler meydana gelir, fakat buzun erimesi sonucunda bu gerilmeler ortadan kalkar. Donma-zlme olaylarının çok sayıda olması durumunda agregaya taneleri çatlayıp ufalanabilir(Akbulut v.d. 2009).

TS EN 932-5 standardında göre şu şekilde yapılır.

1. Numune alma işlemi, agregaya numune alma uygun olarak yapılmalıdır.
2. Deney numuneleri üç adet deney numunesi olarak kullanılacak miktarda alınmalıdır.

3. Deney numuneleri, içerisindeki üst ve alt büyüklük sınırları dışında kalan agregalar ayıklanmış olan, tek tane büyüklüğüne sahip agregalar kullanılmak suretiyle azaltılarak elde edilmelidir.
4. Direnç deneyinin, donma-çözülme döngüsel yüklemesinden sonra yapılması düşünülüyorsa, bu deney, laboratuvar numunesinden elenerek elde edilen uygun bir agregaya büyüklük sınıfı üzerinde yapılmalıdır.
5. Bu amaçla, yedek dahil, direnç deneyi için gerekli olan kütlenin iki katı miktarda (Çizelge 3.4) laboratuvar numunesi alınmalıdır.
6. Alınan bu laboratuvar numunesi, iki eşit kısma ayrılmalıdır.
7. Birinci kısım, donma-çözülme döngüsüne tabi tutulmaksızın parçalanma ve yoğunluk deneyleri, ikinci kısım ise, donma-çözülme döngü deneyleri için kullanılmalıdır.
8. Deney numunelerinin tane büyüklüğü, 8 mm ila 16 mm aralığında olmalıdır, ancak gerek duyulması halinde, çizelge 3.4'de verilen tane büyüklüklerinden herhangi biri kullanılabilir.
9. Üç deney numunesi kısmının her birine ait miktarlar, Çizelge 3.4'de belirtildiği gibi olup, izin verilebilir sapma $\pm 5\%$ 'tir

Çizelge 3.4 Donma-Çözülme Döngü Deneyi İçin Gereken Deney Numunesi Kısımlarının Miktarları

En Büyük Agregaya Tane Büyüklüğü (mm)	Agrega Kütlesi veya Hacmi	
	Normal Agregaya (gr)	Hafif Agregaya (dm ³)
4-8	1000	500
8-16	2000	1000
16 - 32	4000	1500
32- 63	6000	-

- 1) Deney numuneleri yıkanmalı ve birbirine yapışık taneler ayıklanmalıdır.
- 2) Numuneler, (110 \pm 5) °C'de sabit kütleye kadar kurutulmalı, ortam sıcaklığına kadar soğumaya bırakılmalı ve hemen tartılmalıdır. (M₁)
- 3) Hafif agregalar için, sadece sabit küllüye kadar kurutma yapılır.
- 4) Tartma işlemi, aşağıda belirtilen doğruluk seviyelerinde yapılmalıdır
- 5) Büyüklüğü 16 mm'ye kadar olan agregalar: $\pm 0,2$ g
- 6) Büyüklüğü 16 mm'nin üzerinde olan agregalar: $\pm 0,5$ g

- 7) Hazırlanan deney numuneleri, damıtık su içerisinde bulunan ve metal kutularda (20 ± 3) °C'de, (24 ± 1) saat süreyle atmosfer basıncında tutulur.
- 8) Su seviyesi, 24 saatlik tüm ıslatma süresi boyunca deney numunesi kısımlarının en az 10mm üstünde olmalıdır.
- 9) Her bir metal kutudaki su seviyesinin, deney numunesinin en az 10 mm üzerinde olup olmadığı kontrol edilir ve kutu kapakları kapatılarak Resim 3.5'deki donma-çözülme test aletinin içine yerleştirilir.
- 10) Isının mümkün mertebe her taraftan eşit şekilde alınmasını sağlayan, metal kutular ile dolabın yan duvarları arasındaki mesafenin 50 mm'den az olmamasına ve kutuların birbirine değmemesine dikkat edilerek, deney numunelerini ihtiva eden metal kutular dolaba yerleştirilir.
- 11) Soğutulan alanın ortasında bulunan kapalı metal kutunun merkezindeki sıcaklık, referans sıcaklık ölçme noktası olarak kullanılır ve sıcaklığın Şekil-8'de gösterilen soğutma eğrisinin sınırları içerisinde kalması sağlanacak şekilde dolap ayarı yapılır.
- 12) Dolaptaki numuneler, aşağıda belirtilen şekilde, 10 defa donma-çözülme döngüsüne tabi tutulur.
 - a) Sıcaklık, (150 ± 30) dakikada (20 ± 3) °C'den 0 (sıfır) °C'ye düşürülür ve (210 ± 30) dakika süreyle 0 (sıfır) °C'de tutulur.
 - b) Sıcaklık, (180 ± 30) dakikada ° (sıfır) °C'den ($-17,5 \pm 2,5$) °C'ye düşürülür ve en az 240 dakika süreyle ($-17,5 \pm 2,5$) °C'de tutulur. Tatil gibi nedenlerle, donma döngüsü sırasında veya elle kontrol sırasında deneye ara verilmesi gerekirse, metal kutular ($-17,5 \pm 2,5$) °C'de muhafaza edilmelidir. Deneye ara verilebilecek azami süre 72 saattir.
 - c) Hiç bir aşamada, hava sıcaklığının, -22 °C'nin altına düşmesine izin verilmemelidir.
 - d) Her bir donma döngüsü tamamlandıktan sonra, kutu muhtevası, yaklaşık 20 °C' deki suya batırılmak suretiyle çözünür. Sıcaklık, (20 ± 3) °C' ye ulaştığında, çözme işlemi tamamlanmış olmalıdır.
 - e) Her bir çözme aşaması tamamlandıktan sonra, kutular (20 ± 3) OC' deki suda en fazla 10saat süreyle tutulur. Her bir donma-çözülme döngüsü, 24 saat içinde tamamlanmalıdır.
- 13) Onuncu döngünün tamamlanmasından sonra her iki kutunun içindeki malzeme, deney numunesini hazırlamak için kullanılan alt elek büyüklüğünün yarısı kadar göz açıklığına sahip bir deney eleğinin üzerine boşaltılır (mesela, 8 mm ila 16 mm aralığı için 4 mm göz açıklıklı bir deney eleği üzerine boşaltma yapılır).

- 14) Numune, belirtilen elek üzerinde elle yıkanır ve elenir.
- 15) Elek üzerinde kalan agrega (110 ±5) °C'de sabit kütleye kadar kurutulur, daha sonra olan sıcaklığına kadar soğutulur ve hemen tartılır (M₁)



Resim 3.5 Agregada Donma-Çözülme Test Aleti

$$F = \frac{(M_1 - M_2)}{M_1} \cdot 100 \quad (3.11)$$

Burada M₁ üç deney numunesinin toplam ilk kuru kütlesidir.

Donma-çözülme sonrası direnç kaybı, donma çözülme döngülü ve donma-çözülme döngüsüz olarak elde edilen direnç deneyi sonuçları arasındaki yüzde fark aşağıdaki eşitlikten hesaplanarak bulunur.

$$\Delta S_{LA} = \frac{(S_{LA1} - S_{LA0})}{S_{LA0}} \cdot 100 \quad (3.12)$$

ΔS_{LA} : Yüzdece direnç kaybı.

S_{LA0} : Donma-çözülme döngüsü olmaksızın deney numunesi kısmının Los Angeles Katsayısı.

S_{LA1} : Donma-çözülme döngüsünden sonra deney numunesi kısmının Los Angeles Katsayısı (Gürer 2005)

3.2.2 Mineral Filler Deneyleri

3.2.2.1 Filler Malzemenin Özgül Ağırlık Deneyi

Bir bağlayıcının özgül ağırlığı, bunun belli bir hacminin ağırlığının aynı hacimde su ağırlığına oranıdır. Bir bağlayıcının özgül ağırlığı başlıca iki bakımdan önemlidir. Birincisi; ağırlıkla hacim arasındaki bağıntının bilinmesi faydalıdır. Bitümlü kaplamalara ait şartnamelerde oranlar ağırlıkça yüzde cinsinden belirtilir. Buna karşılık bağlayıcılar genellikle hacimce ölçülür. Sıcak karışımlarda ise bağlayıcının genleşme katsayısının belirlenmesi faydalıdır. Böylece herhangi bir sıcaklıktaki özgül ağırlık hesaplanabilir. İkincisi; hidrokarbonlu bağlayıcının cinsinin bilinmesi açısından özgül ağırlık yararlıdır.

Filler malzemelerinin zahiri özgül ağırlıkları ASTM C 854 metodu kullanılarak şu şekilde belirlenir:

1. 110 ± 5 °C'lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulan filler malzemesi şişenin üçte biri dolacak şekilde piknometrenin içerisine konularak tartılır (C_f).
2. Piknometre yarısına kadar su doldurulur ve en az 5 dk, yaklaşık 50 mbar vakum sağlama desikatör ile Resim 3.6'da görüldüğü gibi havası alınır.
3. Daha sonra piknometre tamamen su ile doldurularak 25 ± 1 °C'lik su banyosunda en az 60 dk bekletilir.
4. Su banyosundan çıkarılır ve kurularak tartılır (D_f)



Resim 3.6 Fillerin Özgül Ağırlık Ölçümü

Hesaplama;

$$\delta = \frac{(C - A)}{[(B - A) - (D - C)]} \quad (3.13)$$

A : Numune ağırlığı (gr)

B : Piknometre ağırlığı (gr)

C : Piknometre + Kuru numune (gr)

D : Piknometre + Su + Numune ağırlığı (gr)

3.2.2.2 Hidrometre Deneyi

Arazi dane büyüklüğü analizinde, 200 nolu elek çapından geçen 0,075 mm'den daha küçük boyuttaki danelerin dane çapı dağılımının bulunması ile ilgilidir. Hidrometre ile ölçülür, deneylerinde ASTM E 100 2001'de tanımlanmış olan 151 H ve 152 H tipi hidrometreler kullanılmaktadır.

Bu metodun amacı, süspansiyonun özgül ağırlığının çökelme başladıktan sonra, değişik zamanlarda, bir hidrometre vasıtası ile ölçülmesidir. Burada, hidrometre gövdesinin hacim merkezinin, sıvının hakiki yüzü altındaki derinliği, özgül ağırlığın ölçüldüğü seviye olarak kabul edilir.

Hidrometre analizi American Society of Testing Materials (ASTM) D 422-63 (2003) standardına göre yapılmıştır. Deneyin yapılışı kısaca aşağıdaki gibidir:

1. 50gr etüvde kurutulmuş filler mazlemesi alınır.
2. Numunenin üstünü örtecek kadar sodyum hegza metafosfatlı saf su (1000 ml'lik saf suya 40gr sodyum hegza metafosfat eklenerek oluşturulan çözeltiden) eklenir, cam çubuk yardımıyla karıştırılır ve numune bu şekilde 24 saat bekletilir.
3. Numune saf su kullanılarak karıştırıcı kabı içerisine aktarılır.
4. Karışım saf su kullanılarak mezüre aktarılır ve mezürün 1000 ml çizgisine kadar saf su eklenir.
5. Okumalara başlamadan önce, süspansiyonun bulunduğu mezürün açık ağzı kapatılarak birkaç kez baş aşağı getirilir. Böylece karışımın homojen duruma gelmesi sağlanır. Yaklaşık 60 saniye süreyle bu işlem yapılır ve 0,25., 0,50., 1., 2., dakikalarda hidrometre süspansiyondan çıkarılmadan okumalar alınır. Daha sonra hidrometre

süspansiyondan çıkartılarak karışım yukarıda belirtildiği üzere tekrar çalkalama işleminden geçirilerek karışımın homojen hale gelmesi sağlanır ve ilk 2 dakika için yeni okumalar alınır. Aynı zamanlar için birbirine çok yakın son iki okuma dizileri alınıncaya kadar bu işlem sürdürülür (Duygun, 2008).

6. Hidrometre okumaları 4,8,15,30 dakikaları ile 1,2,4,8,24 saatlerde tekrar yapılır.

Hidrometre deneyi sonrası alınan okumalara göre dane büyüklüğü aşağıdaki gibi hesaplanır.

Hesaplama;

$$D = k \frac{\sqrt{R_h}}{t} \quad (3.14)$$

D : Dane boyutu (mm)

k : 0.0134

R_h : Menisküsün üst seviyesinde hidrometre okuması (Okuma alınırken tamsayı okumaları ihmal edilir ve ondalık noktası üçüncü ve dördüncü ondalıklar arasına koyulur, yani yoğunluk 1.0325 okuması 32.5 olarak kaydedilmelidir.)

t : Okuma süresi (dakika)

Alınan numuneye göre geçen dane yüzdesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P = \frac{R_h}{50} \quad (3.15)$$

P : Alınan numuneye göre geçen tane yüzdesi (%)

3.2.3 Asfalt Karışım Deneyleri

3.2.3.1 Penetrasyon Deneyi

Yarı katı veya akıcı olmayan bağlayıcıların kıvamlarının viskozimetre ile ölçülmesi mümkün değildir. Bu durumda penetrasyon deneyi yapılır. Penetrasyon ölçmek için kullanılan alete penetrometre denir (Resim 3.7).



Resim 3.7 Penetrometre Cihazı

Deney yapılışı ise, penetrasyon cihazı düzgün bir yere yerleştirilir ve gösterge sıfıra getirilir. Numune istenen sıcaklıkta olmalıdır (genellikle 25 °C’de). İstenen ağırlıkta (genellikle 100 gr) numune yüzeyine ancak degecek şekilde ayarlanır. İğne belirli bir zaman aralığında serbest bırakılır. Genellikle 5 sn’lik zaman bitiminde penetrasyon değeri okunur. Kabın kenarından ve birbirinden 1’er cm’lik uzaklıkta en az 3 okuma yapılır. Bu okumalar en kısa zamanda yapılmalıdır. İğne, her seferinde uygun bir çözücü ile (Karbon tetra klorür, tri klor etilen, benzin) ısıtılmış bezle silinir. Sonra kuru bezle temizlenir (ASTM D5-97 2003).

3.2.3.2 Marshall Deneyi

Bu metot ile dizayn kavramı, Birleşik Devletler, Mississippi Devlet Otoyolları Departmanında çalışan Bruce Marshall tarafından geliştirilip formüle edilmiştir. Birleşik Devletler Mühendislik şirketinin ileri araştırma ve korelasyon çalışmalarıyla, Marshall Deney Yöntemi geliştirilerek bugün kullanılan son halini almıştır. Daha sonra bu dizayn yöntemi, “American Society for Testing and Materials” tarafından standartlaştırılmıştır. Bu yöntem penetrasyon veya viskozite derecesi belli asfalt çimentolarına ve maksimum boyutu 25 mm (1 inç) veya daha az olan agregalar kullanarak yalnızca sıcak karışım asfalt kaplamalara uygulanır (ASTM D 1559-89 1992). Ülkemiz karayolları karışım dizaynlarında da bu yöntem kullanılmaktadır.

Marshall Metodu için işlem deney numunelerin hazırlanması ile başlar. Bütün bu işlemlerin başlangıcı için şunlar takip edilir:

1. Kullanım için önerilen malzemeler proje şartnamelerini sağlamalıdır.

2. Agregasınıflarının proje şartnamelerinin istekleri doğrultusunda oranlandırması
3. yapılır.
4. Kullanılacak malzemelerin yoğunluk ve boşluk analizleri, karışımda kullanılacak agregaların hacim özgül ağırlıkları ve asfalt çimentosunun özgül ağırlıkları tespit edilir.

Marshall Metodunda standart, silindirik 64 mm yükseklik 102 mm çapında deney numuneleri kullanılır. Bu numuneler ısıtma-karıştırma ve sıkıştırma işlemlerinden oluşan özel bir prosedürle hazırlanır. Marshall Metodu ile karışım dizaynının en önemli özelliği, sıkıştırılmış deney numunelerinde yoğunluk-boşluk analizi ve stabilite-akma deneyleridir (Uluçaylı 2002).

Deney numuneleri hazırlanırken ilk olarak agregalar 105-110 °C'de sabit ağırlığa gelene kadar kurutulur. İstenen fraksiyonlarda elenip, kurutulan agregalardan, ayrı ayrı kaplarda 1200 gr'lık karışım tartımları yapılır. Her Agregas ve bitüm kombinasyonlarından en az üç adet numune hazırlanır. Hazırlanan kuru karışımlar ve bitüm etüve konularak sıcaklıklarının 3-4 saat süre boyunca 150-160 °C'ye gelmesi beklenilir. Sıkıştırma işlemine başlamadan yarım saat öncesinde numune kalıpları, tokmak başlığı, mikser karıştırma kabı ve ucu, spatula, metal numune küreği gibi metal aparatlar da etüv içerisine yerleştirilerek ısıtılır. Isıtma işleminden sonra agregas ve asfalt çimentosu tamamıyla üniform bir asfalt dağılımına sahip karışımı meydana getirmek için mekanik karıştırıcı ile homojen bir dağılım elde edilene kadar 3-5 dakika karıştırılır. Resim 3.8 ve 3.9'da karışım için hazırlanan malzeme ve karıştırma işleminde kullanılan ısıtıcı mekanik karıştırıcı görülmektedir



Resim 3.8 Karışım Tartımı, Aparat ve Karışımların Isıtılması



Resim 3.9 Çalışmalarda Kullanılan Isıtıcı Mekanik Asfalt Karıştırıcısı ve Bir Karıştırma İşlemi

Asfalt çimentosu ve sıvı petrol asfaltın 170 ± 20 °C viskozite oluşacak şekilde ısıtılacağı sıcaklık, karıştırma sıcaklığıdır. Karışım kalıbın içine yerleştirilmeden önce kalıbın tabanına, ölçüsüne göre kesilmiş filtre kâğıdı yerleştirilir. Numuneler 101,6 mm (4 inç) çapında ve 76,2 mm (3 inç) yüksekliğindeki numune kalıbında, 457,2 mm (18 inç) den düşen 4536 g (10 lb) ağırlığındaki özel bir tokmakla sıkıştırılır. Resim 3.10'de numuneleri sıkıştırma işleminde kullanılan otomatik tokmak görülmektedir.



Resim 3.10 Çalışmada Marshall Deney Numunelerini Hazırlamak İçin Kullanılan Otomatik Tokmak

Dizayn trafik yüküne bağlı olarak (hafif-orta-ağır), sıkıştırma uygulanacak numunelerin her iki yüzeyine 35-50 veya 75 darbe uygulanır. Bu çalışmada ağır trafik şartlarına göre dizayn yapıldığından 75 darbe uygulanmıştır. Çizelge 3.5'de trafik durumuna göre eşdeğer dingil yükleri görülmektedir. Sıkıştırmadan sonra numuneler oda sıcaklığında hareket esnasında deformasyon yapamayacak duruma gelene kadar soğumaya bırakılır (O'Flaherty 2002).

Çizelge 3.5 Trafik Durumuna Göre Eşdeğer Dingil Yükleri

Trafik Durumu	Eşdeğer Dingil Yüğü (EAL)
Hafif	$<10^4$
Orta	$10^4\sim10^6$
Ağır	$>10^6$

3.2.3.3 Marshall Stabilite ve Akma Deneyi

Oda sıcaklığına kadar soğumuş olan briket numune kalıptan bir numune çıkarma krikosu yardımı ile çıkarılarak, 24 saat laboratuar sıcaklığında bekletilir. Bir kumpas yardımıyla üç ayrı yerden yükseklikleri ölçülen numunelerin havada, 25 °C suda ve yüzey kuru suya doymun durumdaki tartımları yapılır.

Stabilite ve akma deneylerine geçmeden önce numuneler 60±1 °C'lik su banyosunda 30 ila 40 dakika bekletilir. Resim 3.11'de numune çıkarmaya yarayan hidrolik numune çıkarıcı ve su banyosunda deney için beklemeye alınmış numuneler görülmektedir.



Resim 3.11 Hidrolik Numune Çıkarıcı ve Su Banyosu

Numune çelik bir halkanın iki segmanı arasına yerleştirilir. Akma ölçer yerleştirilerek sıfırlanır. Deneyde; üst segman sabittir. Maksimum yüke erişinceye kadar, alt segmanın hareket etmesiyle dakikada 50,8 mm'lik (2 inç) bir hızla yükleme yapılır. Numune kırılıncaya kadar yüklemeye devam edilir ve Marshall Stabilite değeri kaydedilir. "Marshall Stabilitesi" adı verilen bu değeri numunenin kırılmasını sağlayan kg cinsinden toplam yük miktarıdır. Ayrıca numunenin çökme ya da hareket miktarı olan akma değeri ölçülür. Bu esnada deney

numunesinin su banyosundan çıkarılıp, maksimum yük saptamasına kadar geçen süre 30 saniyeden fazla olmamalıdır. Numune yüksekliği 63,5 mm'den (2 1/2 inç) farklıysa Marshall Stabilite düzeltme katsayıları kullanılarak yüke düzeltme faktörü uygulanır. Ayrıca bu deneyle karışımın birim ağırlığı, boşluk oranı ve bağlayıcı ile dolu bulunan agrega boşluğu yüzdesi de saptanır (ASTM D 1559–89 1992, Önal ve Karaca 1984). Resim 3.12’de deneyde kullanılan numuneler ve Marshall deney cihazı, Resim 3.13’de ise Marshall deneyi sonrasında kırılan numuneler görülmektedir.



Resim 3.12 Deney Numuneleri ve Bir Marshall Deney Cihazı



Resim 3.13 Marshall Deneyi Sonrası Numuneler

3.2.3.4 Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi

Optimum bitüm yüzdesinin hesaplamak için farklı bitüm yüzdelerinde hazırlanmış olan numunelere ait pratik özgül ağırlık, stabilite, akma, boşluk, bitüm ile dolu boşluk, mineral agregalar içindeki boşluk grafikleri çizilir. Daha sonra yoğunluk ve stabilite eğrilerinin en büyük değerlerine karşı gelen bitüm yüzdeleri, asfaltla dolu boşluğu % 65–78 arasına karşılık gelen, boşluk oranı % 3–5 arasına karşılık gelen bitüm yüzdeleri grafiklerden okunarak bulunan değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak optimum bitüm yüzdeleri tayin edilir. Bu şekilde belirlenen bitüm oranına göre üretilen sıcak asfalt karışımı, şartnamelerde belirtilen

özellikleri taşıyacaktır. Daha sonra kontrol için optimum bitüm miktarlarının şartnamelerde (Çizelge 3.6) belirtilen akma ve % VMA'ları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir.

Çizelge 3.6 Marshall metodu ile aşınma tabakası dizayn kriterleri

ÖZELLİKLER	AŞINMA TABAKASI	
	MİN.	MAK.
Darbe Sayısı	75	-
Marshall Stabilite (kg)	900	-
Boşluk (%)	3	5
Asfaltla Dolu Boşluk (%)	65	75
Akma (mm)	2	4
Filler/Bitüm Oranı	-	1,5
Asfalt Çimentosu	4	7
Agregalar Arası Boşluk (VMA), (%)	14	-

Agregalar arası boşluk değerleri (VMA) çizelge 3.7'de belirtilen değerlerden fazla olmamalıdır (Çetin 2007).

Çizelge 3.7 Minimum VMA değerleri

Nominal Dmax	Min VMA %
2 ^{''}	11,5
1 ½ ^{''}	12,0
1 ^{''}	13,0
¾ ^{''}	14,0
½ ^{''}	15,0
3/8 ^{''}	16,0

3.2.3.5 Dolaylı Çekme Deneyi

Dolaylı çekme mukavemeti ve bozulma deformasyonu değerleri, üstyapı tasarımında ve bitümlü karışımın kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılır. Bu deneyden elde edilen değerler karışımın sıcaklık, nem ve farklı dingil yükleri karşısında göstermiş olduğu davranış hakkında bilgi edinmek amacıyla kullanılır. Deney bitümlü sıcak karışımı oluşturan

malzemelerin bir yol üstyapı malzemesi olarak kullanılabilirliği hakkında bilgi verir. Ayrıca elastisite modülü, elastik sınırı, elastikiyet, akma dayanımı, çekme dayanımı, tokluk, % uzama, kesit daralması gibi malzeme özellikleri de öğrenilebilir.



Resim 3.14 İndirekt Çekme Aletine Numunelerin Yerleştirilmesi

ASTM D 4123'e uygun olarak yapılan deneyde taşıt hızları göz önünde bulundurularak yük artış süresi belirlenmektedir. Karışımın tahmini poisson oranı, hedef deformasyon ve yük artış süreleri bilgisayardan girilmekte ve deney başlatılmaktadır. Deneyde önce 5 defa ön yükleme yapılmakta, daha sonra 3000 ms. boyunca 5 defa yük etki ettirilmektedir. Burada yük artış süresi ve hedef deformasyon olmak üzere iki önemli etken bulunmaktadır. Deney aleti, yük etki süresi sonunda hedef deformasyon sağlanacak şekilde numuneye otomatik olarak yük etki ettirmektedir. Uygulanan bu yük değeri kullanılarak rijitlik modülü tespit edilmektedir. Deneylerde yük artış süresi 124 ± 2 ms. ve hedef deformasyon $6 \mu\text{m}$. olarak alınmıştır (TS 3526 1980).

Hesaplama;

$$S_m = \frac{L * (v + 0,27)}{D * t} \quad (3.16)$$

S_m: Rijitlik modülü (MPa)

L : Uygulanan düşey yükün en büyük değeri (N)

D : Yatay deformasyon (mm).

t : Deney numunesinin ortalama kalınlığı (mm)

v : Poisson oranı (Ahmedzade, 2007).

3.2.3.6 Mekanik Batırma Deneyi

Mekanik batırma deneyleri, genellikle çeşitli şekillerde sıkıştırılmış (Marshall kompaktörü vb.) bitümlü karışımların suya batırılmasından sonra mekanik özelliklerindeki değişimin ölçülmesini içermektedir. Dolayısıyla, batırma işlemlerinden sonra belirlenen malzeme yapısındaki değişikliğin başlangıçtakine oranlanması soyulmanın dolaylı bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Batırma öncesi ve sonrasındaki Marshall stabilitesi oranı, korunan Marshall stabilitesi olarak adlandırılır ve genellikle yüzde olarak belirtilir (Çetin 2007).

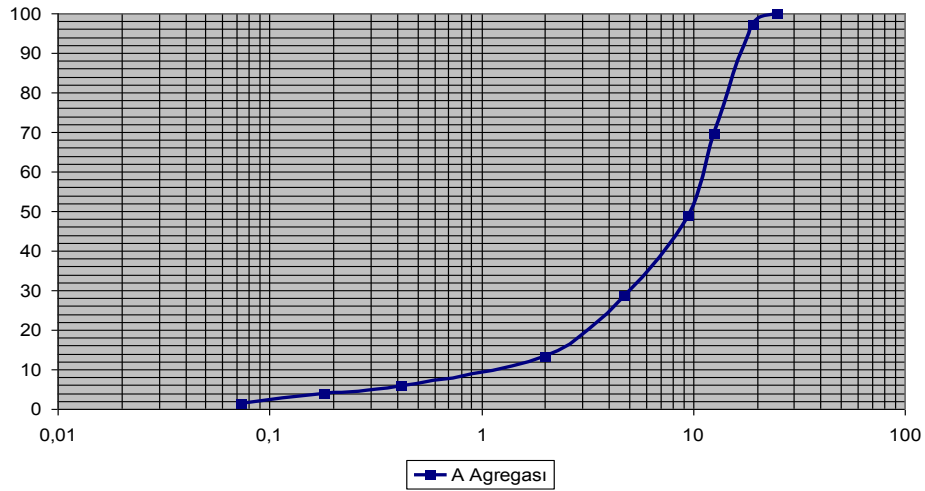
Belirli bir agrega tipi ve gradasyonu için daha önceden yapılmış Marshall deneyine ait maksimum stabiliteye karşılık gelen bitüm miktarı tespit edilir ve belirlenen bitüm miktarınca 6 adet Marshall numunesi üretilir. Üretilen Marshall numuneleri bünyelerindeki boşlukların su ile dolması amacıyla 0-1 °C arasındaki sıcaklıktaki su altında vakum uygulanır ve ardından 48 saat süreyle 60 °C'lik su banyosunda tutulur. Son olarak bu numunelerin de Marshall stabiliteyi saptanarak, diğer numunelerin standart Marshall stabilitesine oranı korunan Marshall stabilitesi olarak adlandırılır(AASTHO T 165-2).

4. BULGULAR

4.1 Mineral Agreganın Fiziksel Özellikleri İlgili Deney Sonuçları

4.1.1 Karışımlarda Kullanılacak Agregada Gradasyonu

Çalışmada kullanılan agregada numunesinin elek analizleri ASTM C 136-84 a'ya göre yapılmıştır ve granülometri eğrileri Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Agregada Ait Granülometri Eğrisi

4.1.2 Özgül Ağırlık ve Su Emme Deney Sonuçları

Çalışmada kullanılan agregada numunesine ait özgül ağırlık ve su emme deneyi iri agregada ASTM C 127-88'e, ince agregada ASTM C 128-88'e göre yapılmıştır ve sonuçları Çizelge 4.1-2 ve 3'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Zahiri Özgül Ağırlık Deney Sonucu

Numune	Zahiri Özgül Ağırlık					Ortalama
	1	2	3	4	5	
Agregada (No 4 Üstü)	2,84	2,90	2,86	2,84	2,84	2,84
Agregada (No 4 – No 200)	2,78	2,81	2,81	2,82	2,81	2,81

Çizelge 4.2 Hacim Özgül Ağırlık Deney Sonucu

Numune	Hacim Özgül Ağırlık (gr/cm ³)					Ortalama
	1	2	3	4	5	
Agregada (No 4 Üstü)	2,83	2,88	2,84	2,82	2,82	2,84
Agregada (No 4 – No 200)	2,78	2,73	2,76	2,75	2,75	2,75

Çizelge 4.3 Su Emme Deney Sonucu

Numune	Hacim Özgül Ağırlık (gr/cm ³)					Ortalama
	Agrega (No 4 Üstü)	0,24	0,32	0,40	0,34	
Agrega No 4 – No 200 Arası)	0,36	0,72	0,66	0,98	0,67	0,68

İri ve İnce Agregalarda Mevcut Nem Durumu

İri ve ince agregaların mevcut nem durumu deney sonuçları Çizelge 4.4’de görülmektedir.

Çizelge 4.4 İri ve İnce Agregalarda Mevcut Nem Durumu Deney Sonuçları

Numuneler	Nem Oranı (%)					Ortalama
	Agrega	0,3	0,2	0,1	0,2	

4.1.3 Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları

Gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık deney sonuçları Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5 Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları

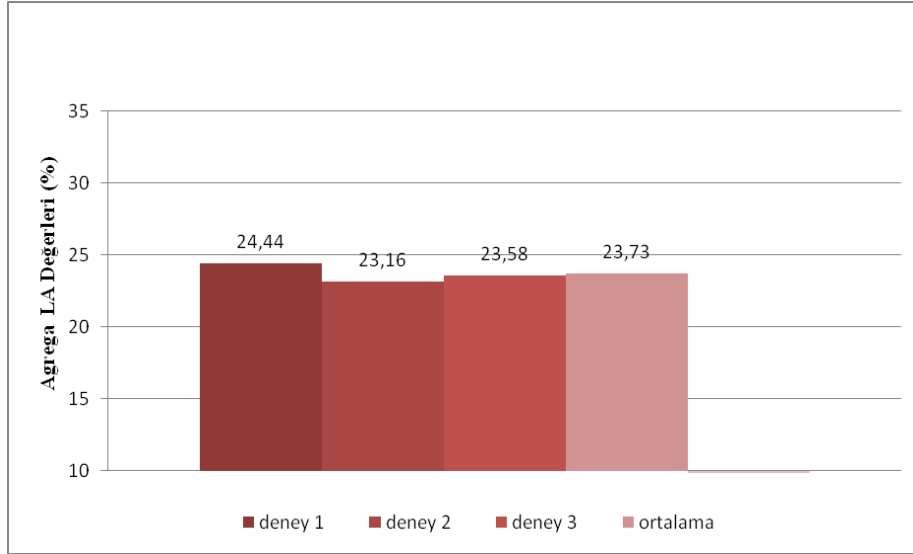
	No 4 Üstü Deney 1	No 4 Üstü Deney 2	No 4 Üstü Deney 3	No 4 Altı Deney 1	No 4 Altı Deney 2	No 4 Altı Deney 3
	GevşekBHA (gr/cm ³)	1,57	1,51	1,58	1,62	1,63
Ortalama	1,55			1,62		
SıkışıkBHA (gr/cm ³)	1,62	1,63	1,62	1,69	1,70	1,69
Ortalama	1,62			1,69		

4.1.4 Aşınma Deney Sonuçları

Los Angeles Aşınma deneyi sonucu

Kaplamalarda kullanılacak agregaların kompaksiyon ve trafik yükleri altında kırılma ve aşınmaya karşı direncini tespit etmek maksadıyla ASTM C 131-89 (1992)’a göre yapılan Los

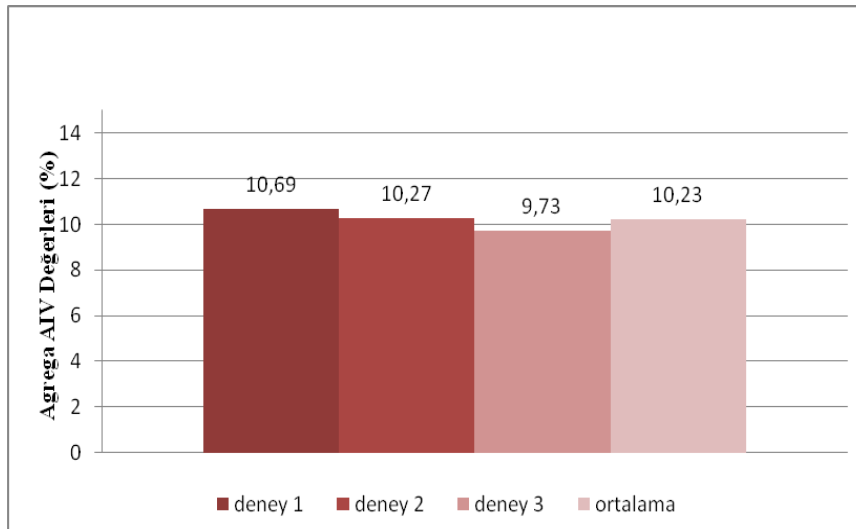
Angeles aşınma deneyi sonuçları Şekil 4.2’de görülmektedir. Üç tane yapılan deney sonucuna göre ortalama Los Angeles aşınma kaybı % 23,73 bulunmuştur. Sonuç şartnamenin belirttiği % 35 kritik değerinin altındadır ve olumludur.



4.2 Los Angeles Deney Sonuçları

Agrega Darbelenme Deney Sonuçları

Agregaların kırılmalara ve parçalanmalara karşı fiziksel dayanımını belirlemede kullanılan önemli deneylerden bir diğeri de agrega darbelenme deneyidir. Üç adet yapılan deney sonucuna göre ortalama agrega darbelenme kaybı % 10,23 olarak bulunmuştur ve sonuç şartnamenin belirttiği % 18 kritik değerinin altındadır. Agrega Darbelenme deney sonuçları Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.3 Darbelenme Deney Sonuçları

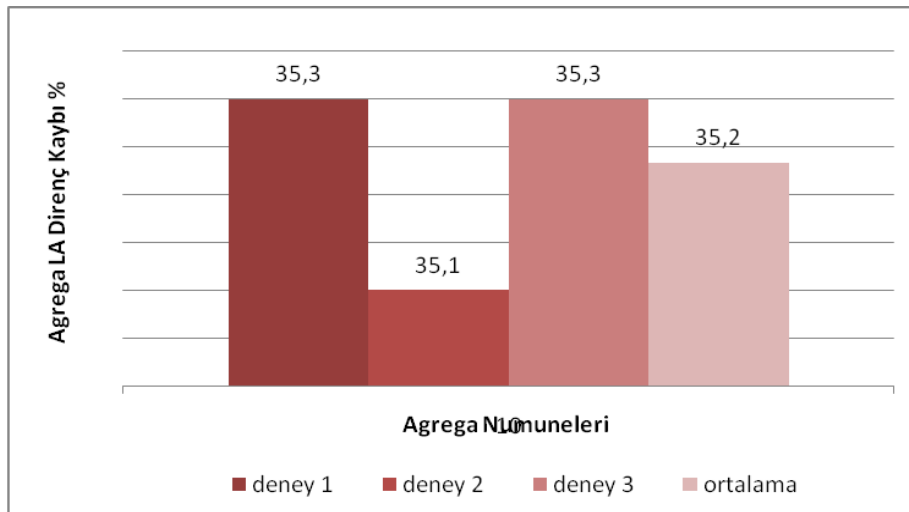
4.1.5 Agregalar İçin Donma-Çözülme ve Donma Çözülme Sonrası Direnç Kaybı Deneyleri Sonuçları

Agregaların donma çözülme etkisine dayanımları ve donma çözülme etkisinden sonraki fiziksel dayanımları da yol inşaatında kullanılacak agregalar için tespit edilmesi gereken önemli özelliklerden birisidir. TS EN 1097-2'ye göre yapılan donma-çözülme deney sonuçlarına göre ortalama agrega kaybı % 1,25 bulunmuştur. Sonuç şartnamenin belirttiği %12 kritik değerinin altındadır. Agrega Donma - Çözülme deney sonuçları Çizelge 4.6'da görülmektedir.

Çizelge 4.6 Agrega Numunelerinin Donma-Çözülme Kayıpları

Numune İsmi	M1(gr)	M2 (gr)	Donma Kaybı %
Deney 1	2000	1992	0,40
Deney 2	2000	1991	0,45
Deney 3	2000	1992	0,40
		Toplam	1,25

Agregalarda donma-çözülme etkisinden sonra fiziksel etkilerinde azalma olabilir. Yol kaplamalarında kullanılacak agregalar için bu azalmanın mümkün olduğunca düşük seviyede olması istenir. Agrega numunesine ait donma-çözülme sonrası Los Angeles Aşınma Direnç kaybı değerleri Şekil 4.4' de görülmektedir.



Şekil 4.4 Agregaların Donma-Çözülme Sonrası LA Aşınma Direnç Kaybı

4.2 Mineral Fillerin Fiziksel Özellikleri İlgili Deney Sonuçları

4.2.1 Özgül Ağırlık Deney Sonucu

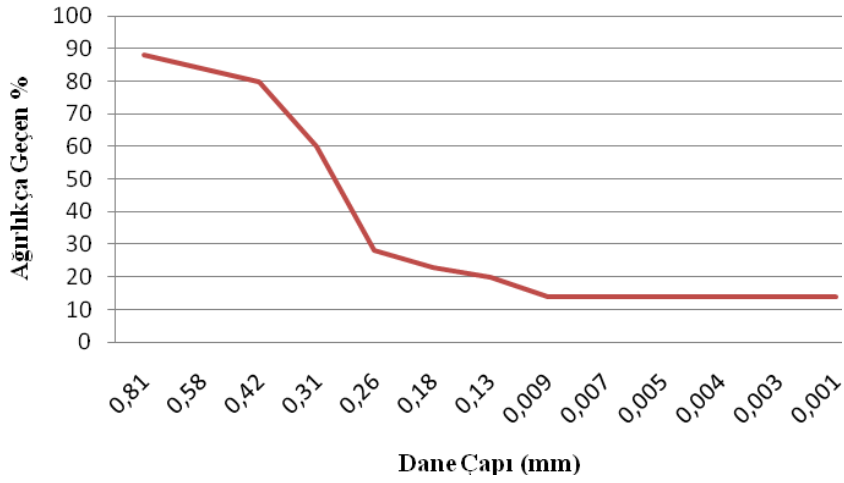
Mineral fillerin özgül ağırlık deney sonucu Çizelge 4.7’ de görüldüğü gibidir.

Çizelge 4.7 Mineral fillerin Özgül Ağırlığı

Numune	Zahiri Özgül Ağırlık (gr/cm ³)			Ortalama
Granit arıtma çamuru	2,58	2,53	2,67	2,60

4.2.2 Hidrometre Deney Sonucu

Çalışmada mineral filler olarak kullanılan granit atığının hidrometre deney sonucu Şekil 4.5’de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.5 Granit Atığının Hidrometre Deney Sonucu

4.2.3 Mineral Fillerin Kimyasal Analizi

Granit arıtma çamurunun üretildiği firma tarafından XRF/ DM 0.1 ve DM 0.2 analiz metotları ile atık malzemenin kimyasal analizi yapılmıştır. Malzemenin kimyasal yapısı Çizelge 4.8’ deki gibidir.

Çizelge 4.8 Arıtma Çamurunun Kimyasal İçeriği

Kimyasal İçerik	Yaş Atık Çamuru %	Kuru Atık Malzeme %
Rutubet	23.11	3.83
Kızdırma Kaybı	9.45	8.26
CaO	1.01	0.58
SiO ₂	86.12	89.30
Al ₂ O ₃	0.59	0.19
Fe ₂ O ₃	0.17	0.23
MgO	0.9	0.46
SO ₃	0.05	0.06
Na ₂ O	1.14	0.37
K ₂ O	0.06	0.06
İçerdiği mineral (XRD)	kuvars	kuvars

4.3 Asfalt Karışım Deneyleri

4.3.1 Bitüm Özellikleri

Çalışmada kullanılan bitümlü bağlayıcıya ait mühendislik özellikleri Çizelge 4.9’da verilmiştir.

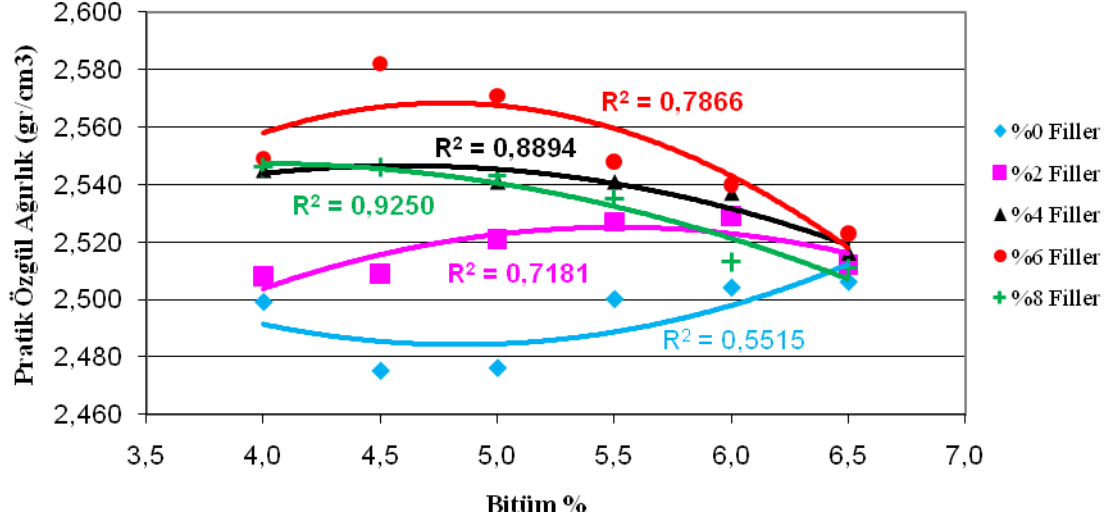
Çizelge 4.9 AC’ye Ait Özellikler

Özellikler	Değerler	Kullanılan Standartlar
Kaynak	Aliğa/Türkiye	
Penetrasyon Derecesi	50/70	
Penetrasyon Derecesi (25 °C Derecede)	63	ASTM D 5
Özgül Ağırlık	1,060	ASTM D 70
Yumuşama Noktası (°C)	49	ASTM D 36
Isıtma Kaybı (%)	2	ASTM D 6
Parlama Noktası (°C)	296	ASTM D 92
Düktilite (5 cm/dk)	>100 cm	ASTM D 113
Viskozite (135 °C’de)	0,420 Pa s	ASTM D 4402
Viskozite (165 °C’de)	0,114 Pa s	ASTM D 4402

4.3.2 Marshall Metodu ile Optimum Bitüm Yüzdelerinin Belirlenmesi

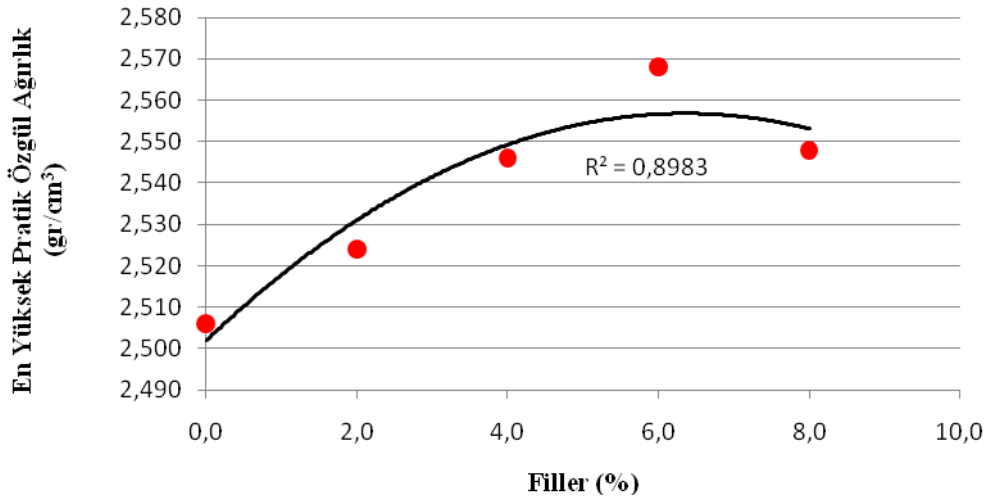
Kullanılan agregaya numunesi için beş farklı filler miktarı (%0, %2, %4, %6, %8) kullanılmış ve her bir filler miktarı için Marshall yöntemiyle dizayn yapılarak optimum bitüm oranları belirlenmiştir. Marshall dizaynı için tüm numunelere TCK 2006 asfalt betonu, aşınma tabakası şartname gradasyon eğrisi arasında kalan bir gradasyon için karışım hazırlanmış ve karışım sabit tutularak % 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5 oranlarında bitüm verilerek bitümlü sıcak karışım briketleri üretilmiştir. Her bir bitüm miktarı için üç adet sıcak karışım briketi üretilmiştir. Tüm briket numuneleri için Marshall Stabilite ve Akma deneyi yapılmış, briketlerin sudaki, havadaki ve yüzey kuru suya doygun ağırlıkları hesaplanarak Stabilite-bitüm %, pratik özgül ağırlık- bitüm%, asfaltla dolu boşluk % - bitüm %, boşluk - bitüm % grafikleri çizilmiştir. Stabilite ve pratik özgül ağırlık grafiklerinde maksimum değere karşılık gelen bitüm %'leri, asfaltla dolu boşluğu (VFA) % 71,5'e karşılık gelen bitüm yüzdesi ve boşluğu % 4'e karşılık gelen bitüm yüzdeleri toplamının aritmetik ortalaması alınarak optimum bitüm %'leri hesaplanmıştır. Çizilen akma – bitüm % ve mineral agregalar arasındaki boşluk (VMA) % - bitüm % grafikleri çizilerek kontrol amaçlı olarak kullanılmıştır. Optimum bitüm miktarı her bir dizayn grubu için ayrı ayrı hesaplanarak belirlenmiştir. Buna göre ağırlıkça % 0, % 2, % 4, % 6 ve % 8 filler kullanımı için yapılan her bir dizayn sonunda optimum bitüm yüzdeleri sırasıyla; % 5.11, % 4.76, % 4.10, % 4.04, % 3.83 olarak hesaplanmıştır. Her bir karışım için belirlenen optimum bitüm yüzdeleri ekonomik sınırlar içerisindedir.

Filler'in bitümlü sıcak karışımlardaki en önemli yararlarından bir tanesi ince agreganın gradasyonunu iyileştirmek ve agregaya parçacıkları arasında daha fazla temas noktası oluşturarak karışımın yoğunluğunu artırmaktır (Umar ve Ağar 1994, Gürer 2005). İzmir ÇİMSTONE fabrikasından temin edilen kuvars esaslı granit atık çamurunun kurutulup öğütülmesiyle elde edilen filler malzemesinin, bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla yapılan Marshall dizayn çalışması sonucunda elde edilen farklı filler yüzdelerinde, pratik özgül ağırlık-bitüm yüzdesi değişim grafikleri Şekil 4.6'da görülmektedir. % 0, % 2, % 4, % 6 ve %8 filler ilavelerinde karışımların en yüksek pratik özgül ağırlığı sırasıyla: 2.506, 2.524, 2.546, 2.568, 2.548 gr/cm³ olarak elde edilmiştir. En yüksek yoğunluk değeri % 6'ya karşılık gelen bitüm miktarında elde edilmiştir.



Şekil 4.6 Farklı Filler Yüzdeleri İçin Pratik Özgül Ağırlık – Bitüm % İlişisine Ait Sonuçlar

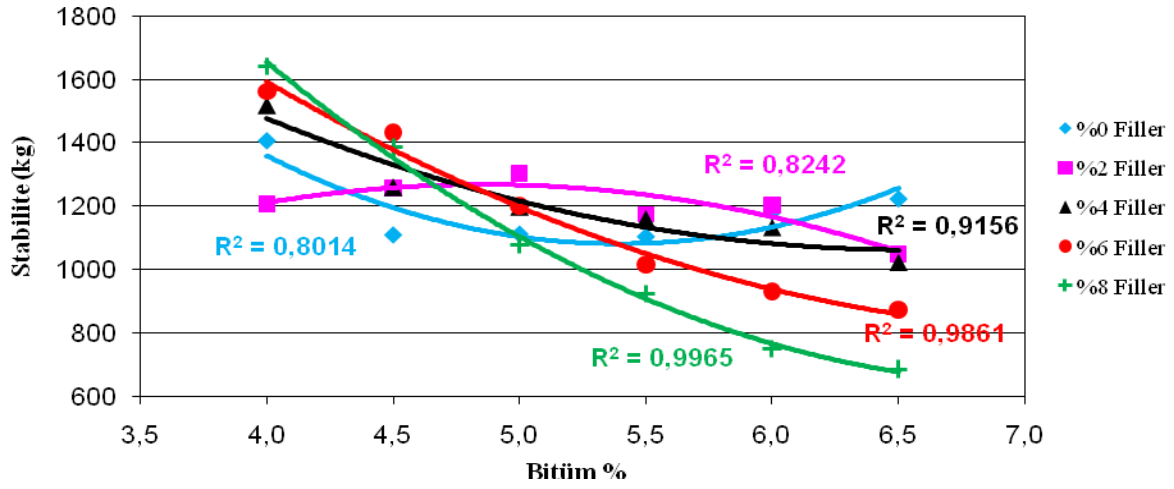
En yüksek pratik özgül ağırlığa karşılık gelen filler yüzdeleri ile korelasyon yapılmış ikinci dereceden güçlü ($R^2=0,89$) bir ilişki elde edilmiştir. Elde edilen korelasyona göre % 6,4 filler kullanıldığında $2,556 \text{ gr/cm}^3$ olarak en yüksek pratik özgül ağırlık değeri elde edilmektedir (Şekil 4.7). En yüksek pratik özgül ağırlık esas alındığında % 6,4 filler ilavesinde geçirimsizliğin ve yaşlanma, soyulma sökülme bozulmalarına karşı dayanımın daha iyi olacağı düşünülmektedir.



Şekil 4.7 En Yüksek Pratik Özgül Ağırlık – Filler % İlişkisi

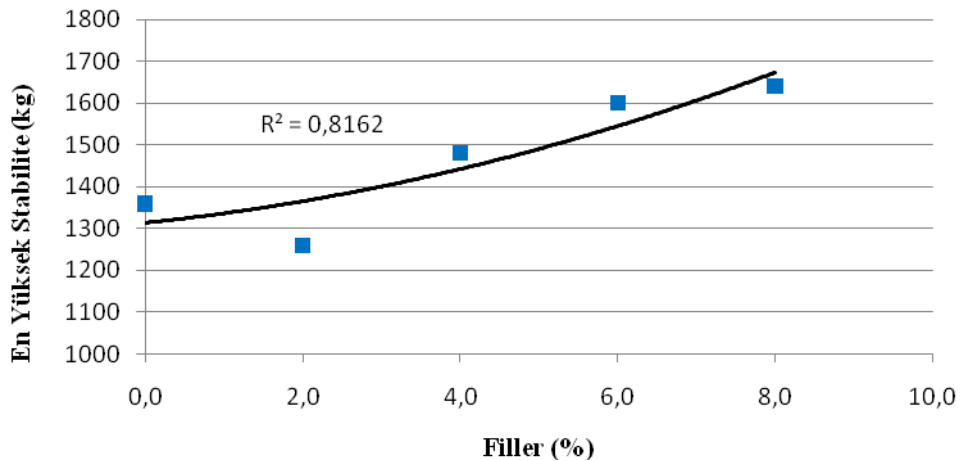
Stabilite bitümlü sıcak karışımın trafiğin etkisiyle oluşan basınç, kayma ve yatay gerilmelere

karşı dayanımını belirleyen en önemli özelliklerden birisidir. Karışımlardaki farklı filler yüzdeleri için stabilite – bitüm % değişim grafikleri Şekil 4.8’ de görülmektedir.



Şekil 4.8 Farklı Filler Yüzdeleri İçin Stabilite – Bitüm % İlişisine Ait Sonuçlar

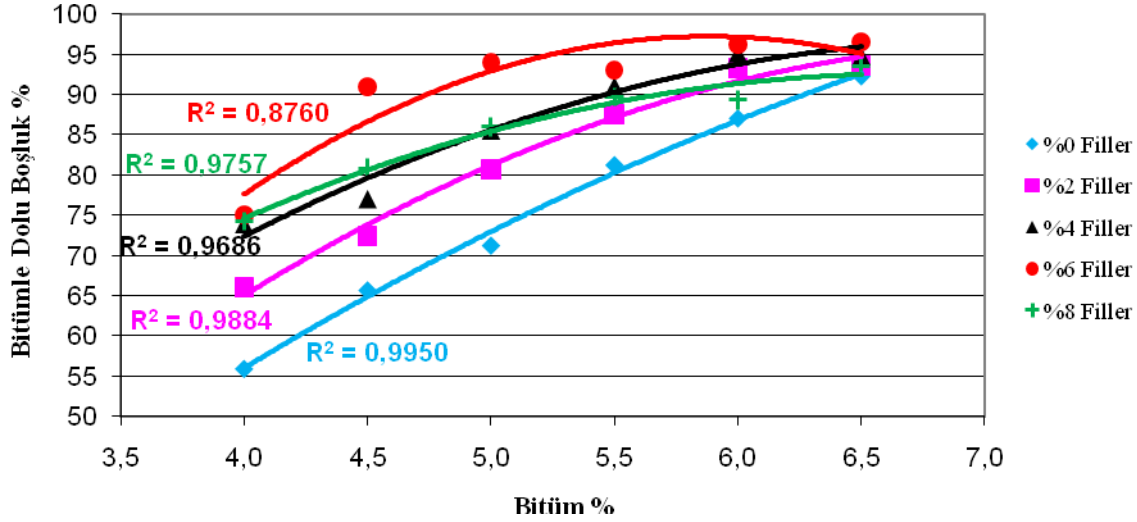
% 0, % 2, % 4, % 6 ve % 8 filler ilavelerinde karışımların en yüksek stabilite değerleri sırasıyla: 1360, 1260, 1480, 1600 ve 1640 kg olarak elde edilmiştir. En yüksek stabilite değeri ile filler yüzdeleri ilişkilendirilmiş ve güçlü bir ilişki elde edilmiştir. Buna % 8 filler ilavesi olan karışımda 1680 kg’lık en yüksek stabilite değeri elde edilmektedir. Stabilite göz önüne alındığında granit atığı fillerinin ağırlıkça % 8 oranında kullanılması daha uygun olmaktadır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 En Yüksek Stabilite - Filler % İlişkisi

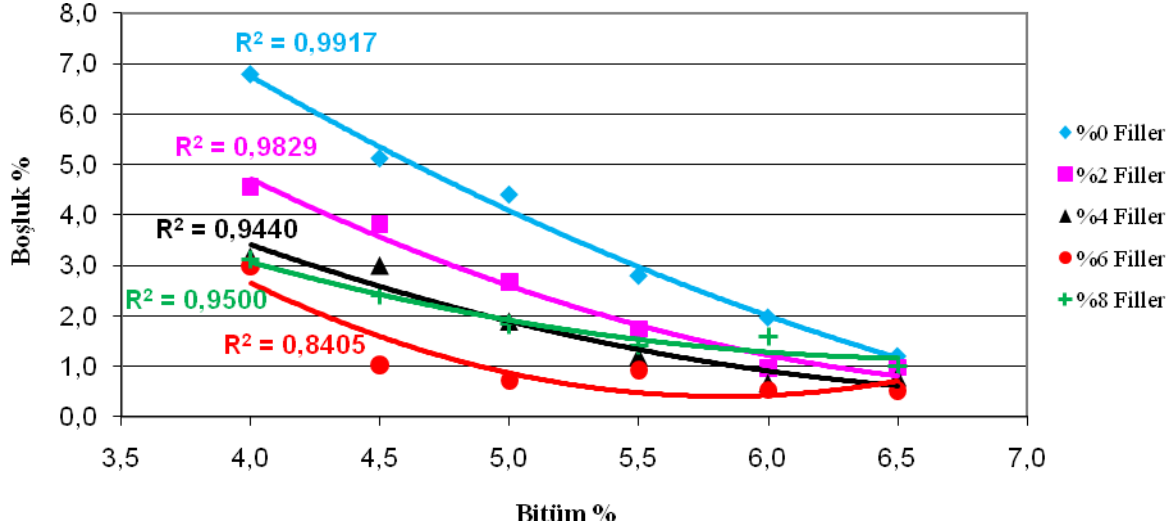
Bitümlü dolu boşluk, karışımların plastisite, durabilite ve sürtünme katsayısı gibi özellikleri kontrol etmekle birlikte agrega taneleri etrafında da katı bir bitüm filmi teşekkülü sağlar. Bu da soyulma, sökülme ve çevresel etkilere karşı dayanım açısından oldukça önemli bir

özelliğidir (Akbulut vd. 2011). % 0, % 2, % 4, % 6 ve % 8 filler ilavelerinde karışımlarda optimum bitüm yüzdelere karşılık gelen bitümle dolu boşluk yüzdeleri sırasıyla: % 74.5, % 78.0, % 74.0, % 75.0, % 78.0 olarak elde edilmiştir. TCK Teknik Şartnamesine (2006) göre aşınma tabakası için bitümle dolu boşluk yüzdesi en yüksek % 75 olmalıdır. Bitümle dolu boşluk - bitüm yüzdesi değişim grafikleri Şekil 4.10'da görülmektedir.



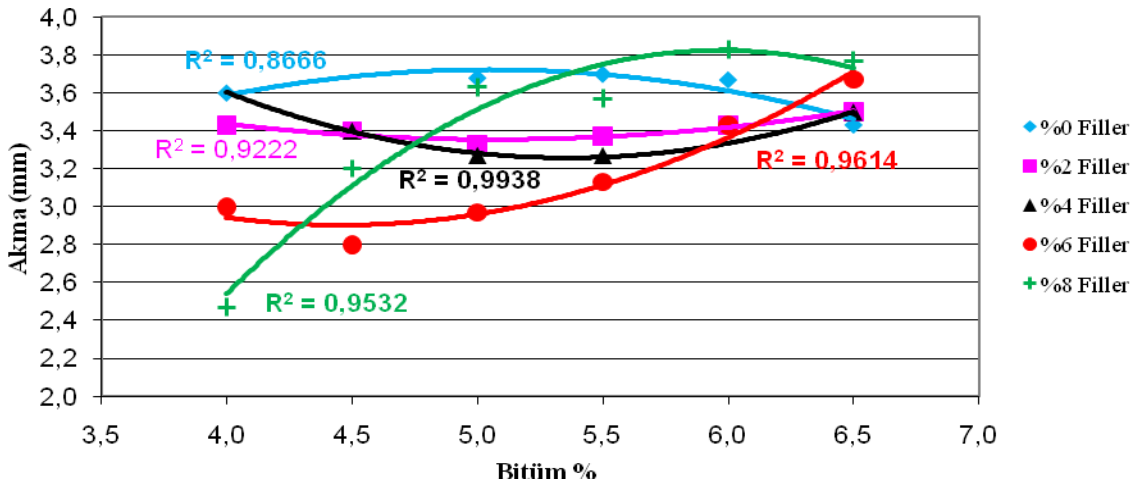
Şekil 4.10 Farklı Filler Yüzdeleri İçin Bitümle Dolu Boşluk – Bitüm % İlişkisine Ait Sonuçlar

Önemli bir diğer bitümlü sıcak karışım özelliği de boşluktur. Bitümlü sıcak karışımlarda şartnamelerde boşluk için bir alt bir de üst sınır tanımlanmıştır (Gürer 2005, TCK 2006). Boşluk şartnamede belirtilen sınırlarının üstüne çıkarsa stabilite de düşme ve kaplama da erken bozulma görülebilir. Bununla birlikte sıcak iklimlerde kuma bozulması kontrolünün sağlanabilmesi için karışımda bir miktar boşluk olmalıdır (Akbulut ve Gürer 2007, Akbulut vd. 2011). % 0, % 2, % 4, % 6 ve % 8 filler ilaveli karışımlarda optimum bitüm yüzdelere karşılık gelen boşluk yüzdeleri sırasıyla: % 3.8, % 3.0, % 3.2, % 2.5, % 3.2 olarak elde edilmiştir. TCK Teknik Şartnamesine göre (2006) aşınma tabakasında kullanılacak bitümlü sıcak karışımlarda boşluk % 3 ile % 5 arasında olmalıdır. Filler ilavesi bitümlü sıcak karışımlarda ince agregaların yerleşmesini kolaylaştırdığından filler ilavesi arttıkça boşluk azalmaktadır. Bununla birlikte tüm farklı serilerde şartname değerleri sağlanmıştır. Boşluk - bitüm yüzdesi değişim grafikleri Şekil 4.11'de görülmektedir.

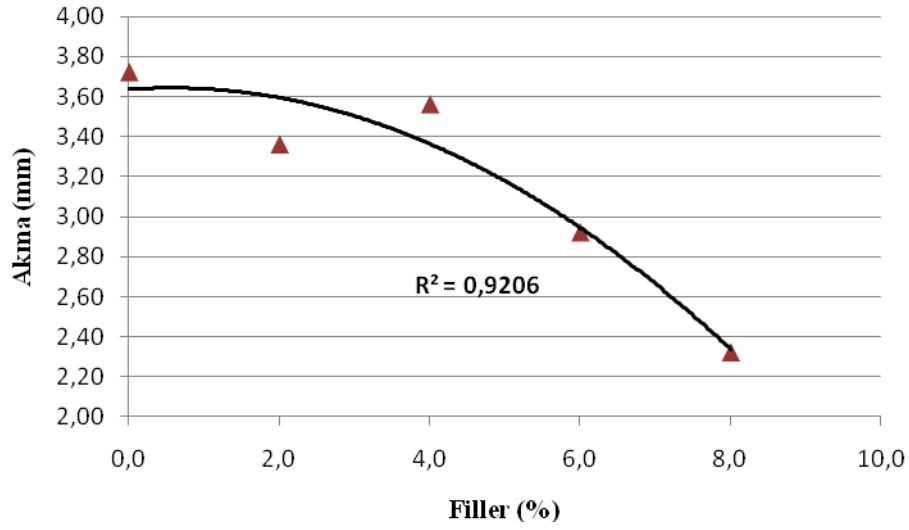


Şekil 4.11 Farklı Filler Yüzdeleri İçin Boşluk – Bitüm % İlişisine Ait Sonuçlar

Marshall yöntemiyle bitümlü sıcak karışım dizaynlarında kontrol amaçlı olarak akma – bitüm % ve mineral agrega içerisindeki boşluk % - bitüm % grafiklerinden faydalanılır (Umar ve Açar 1994). Bitümlü sıcak karışımlar için önemli bir özellik de akmadır. Karışımın plastiklik ve esneklik özellikleri hakkında fikir verir (Gürer 2005). % 0, % 2, % 4, % 6 ve % 8 filler ilaveli karışımlarda optimum bitüm yüzdelere karşılık gelen akma değerleri sırasıyla: 3.72, 3.36, 3.56, 2.92, 2.32 mm olarak elde edilmiştir. Akma - bitüm yüzdesi değişim grafikleri şekil 11’de görülmektedir. TCK Teknik Şartnamelerine (2006) göre aşınma tabakasında kullanılacak bitümlü sıcak karışımlarda akma 2 ile 4 mm arasında olmalıdır. Buna göre 3 mm’lik akmaya karşılık gelen ağırlıkça filler yüzdesi % 6’dır (Şekil 4.12).

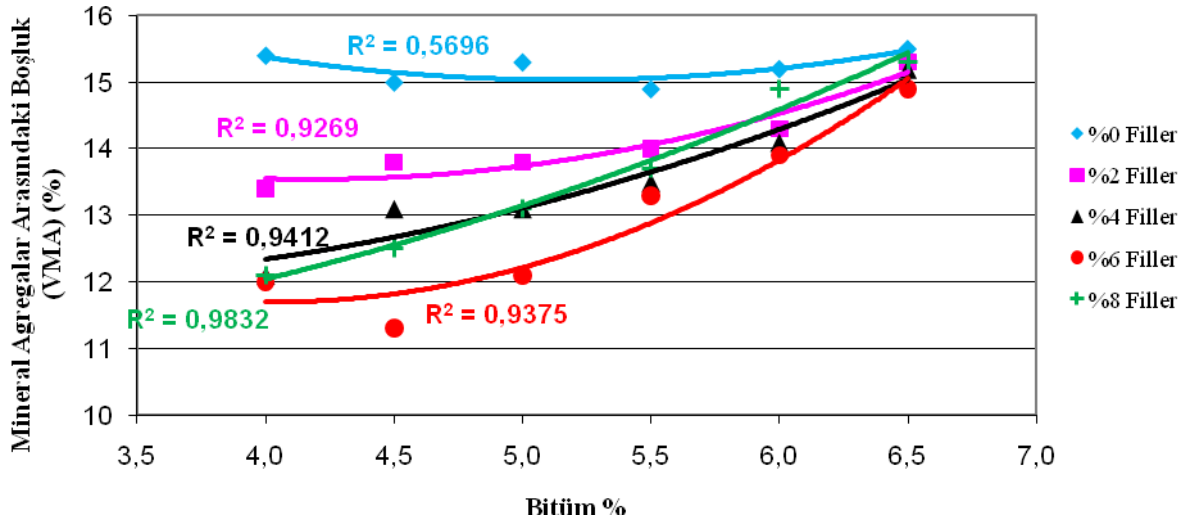


Şekil 4.12 Farklı Filler Yüzdeleri İçin Akma– Bitüm % İlişisine Ait Sonuçlar



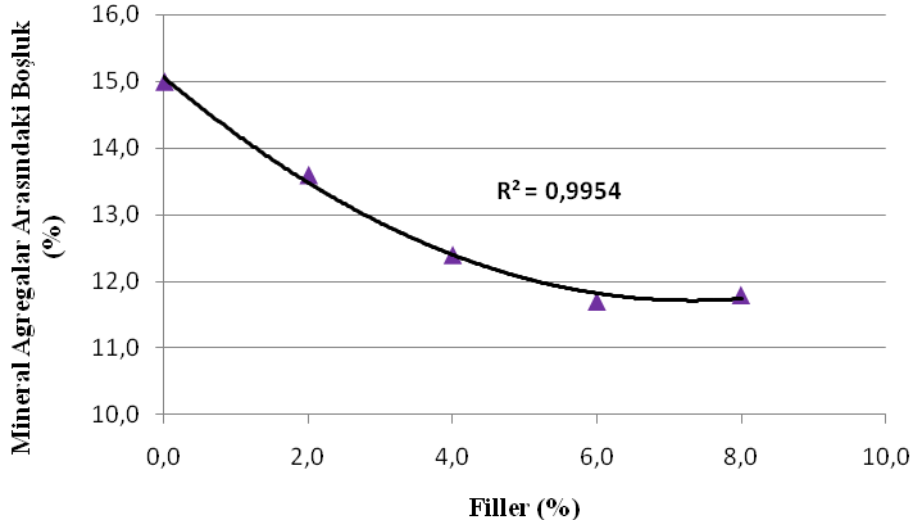
Şekil 4.13 Akma - Filler % İlişkisi

Bitümlü sıcak karışım içerisindeki agregalar arasındaki asfalt filmi hacmi ile boşluk hacminin toplamı mineral agregalar arasındaki boşluğu oluşturur (Çetin 2007). Mineral agregalar arasındaki boşluk agreganın bitüme kenetlenmesi ve durabilite açısından önemli bir özelliktir (Gürer 2005). % 0, % 2, % 4, % 6 ve % 8 filler ilaveli karışımlarda optimum bitüm yüzdelere karşılık gelen mineral agregalar arasındaki boşluk yüzdeleri sırasıyla: % 15,0, % 13,6, % 12,4, % 11,7, % 11,8 olarak elde edilmiştir. Farklı filler ilaveli karışımlarda mineral agregalar arasındaki boşluk ve bitüm arasındaki ilişki Şekil 4.14’de görülmektedir.



Şekil 4.14 Farklı Filler Yüzdeleri İçin Mineral Agregalar Arasındaki Boşluk – Bitüm % İlişkisine Ait Sonuçlar

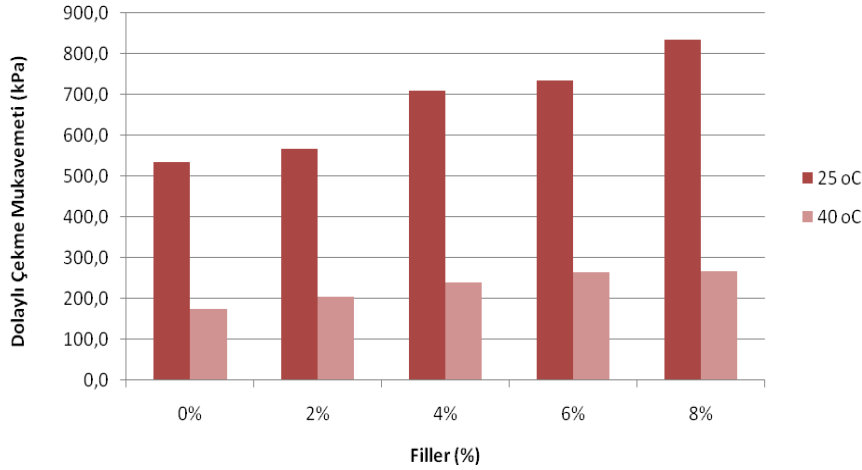
Agregalar arasındaki filler miktarının artışına paralel olarak mineral agregalar arasındaki boşluk da azalmaktadır. Şekil 4.15'te mineral agregalar arasındaki boşluk (%) ve filler (%) arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 4.15 Mineral Agregalar Arasındaki Boşluk (%) ve Filler (%) İlişkisine Ait Sonuçlar

4.3.3 Dolaylı Çekme Deney Sonuçları

Bitümlü sıcak karışımların, farklı sıcaklık koşulları altında, plastik deformasyona karşı olan dayanımlarının belirlenmesi açısından önemli bir deneysel yöntemde dolaylı çekme deneyidir. Bu deney kapsamında beş farklı (% 0, 2, 4, 6, 8) filler yüzdesindeki briketler için farklı sıcaklık (5, 25, 40 °C) rejimleri altında dolaylı çekme deneyleri gerçekleştirilerek karşım içerisindeki ağırlıkça filler değişimine göre dolaylı çekme mukavemeti, % değişim ve rijitlik modülü değişimleri belirlenmiştir. Dolaylı çekme mukavemeti değişimleri Şekil 4.16'de görülmektedir.



Şekil 4.16 Filler % - Dolaylı Çekme Mukavemeti – Sıcaklık İlişkisi

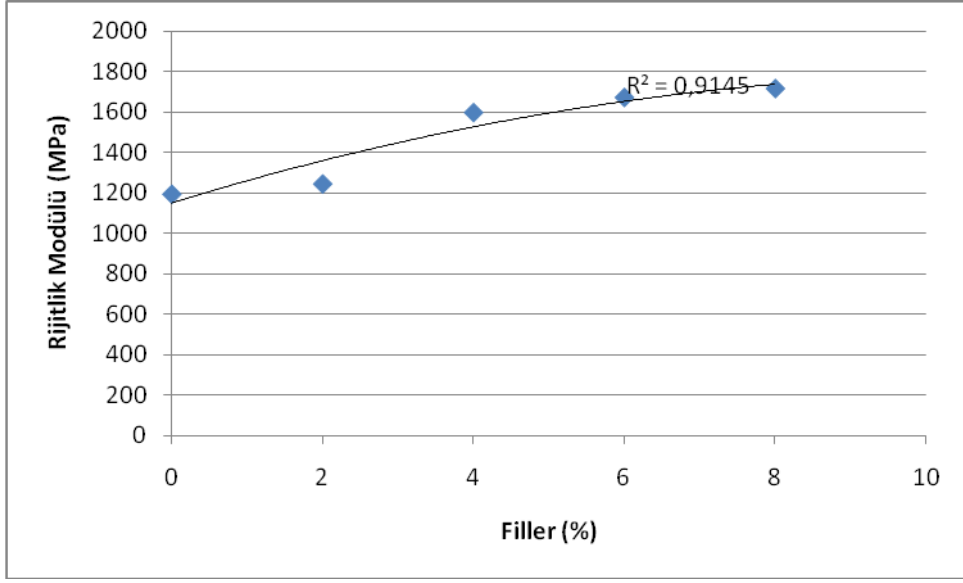
Bitümlü sıcak karışım malzemeler için sıcaklık artışı en zorlayıcı faktörlerden biri olduğu için 40 °C’deki dolaylı çekme mukavemetlerinin 25 °C’deki dolaylı çekme mukavemetlerine göre oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bununla birlikte 40 °C’de karışıma % 6 filler ilavesinde dolaylı çekme mukavemeti 264,0 kPa iken % 8 filler ilavesinde ise bu değer 268,4 kPa olduğu değişimin ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür. Dolayısıyla diğer sıcak karışım deneylerinde de görüldüğü gibi % 6 filler ilavesinde en iyi davranışın sergilendiği görülmektedir.

Benzer şekilde farklı filler ilaveli karışımların farklı sıcaklık, yükleme periyodu altındaki rijitlik modülü değişimleri incelendiğinde sıcaklık ve yükleme süresinin artışına paralel olarak tüm rijitlik modüllerinde belirgin bir azalmanın olduğu görülmüştür (Şekil 4.17). 5 °C’de gerçekleştirilen deneyden en yüksek rijitlik modülünün % 8 filler ilaveli numunelerde görüldüğü, 25 °C’de gerçekleştirilen deneylerde ise % 6 filler ilaveli numunelerde rijitlik modülünün daha yüksek olduğu görülmüştür. 40 °C ‘de gerçekleştirilen deneylerde % 6 ve % 8 filler ilaveli numuneler arasındaki rijitlik modülü değişimi çok azdır. Yapılan dolaylı çekme deney sonuçlarına göre % 8 filler ilaveli numunelerin yorulma ömrünün diğer numunelere göre daha uzun olacağı söylenebilir. Şekil 4.18 ve 4.19’da 40 °C’de en uzun yükleme süresinde filler % -deformasyon ve filler % - rijitlik modülü ilişkileri görülmektedir.

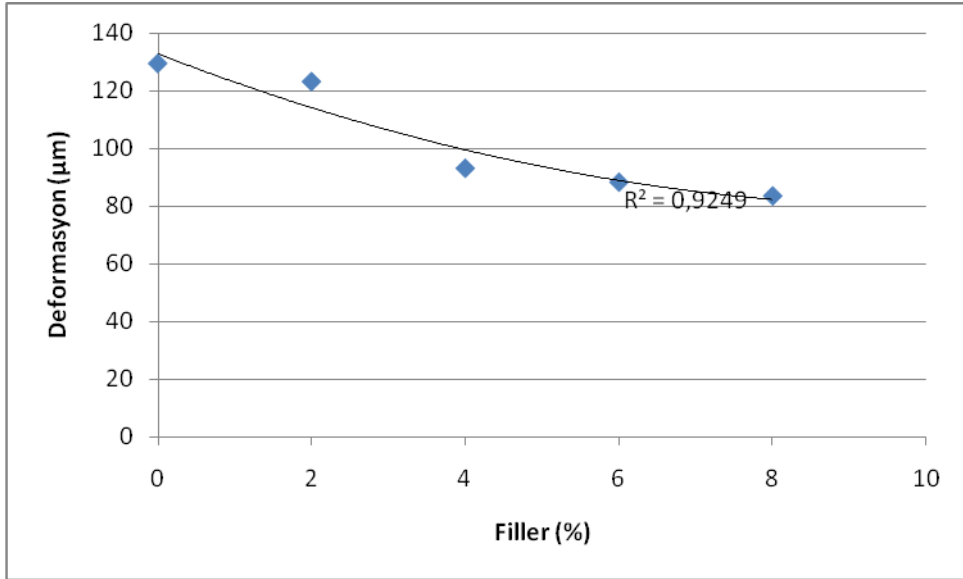


- 1.Grup: %0 Filler, 2. Grup %2 Filler, 3.Grup %4 Filler, 4. Grup %6 Filler, 5. Grup %8 Filler

Şekil 4.17 Farklı Sıcaklık, Yükleme Periyodu ve Süresi Altında Farklı Yüzdelerde Filler İlaveli Numunelerin Rijitlik Modülü Değişimleri



Şekil 4.18 40 °C'de En Uzun Yükleme Süresinde Filler % - Rijitlik Modülü

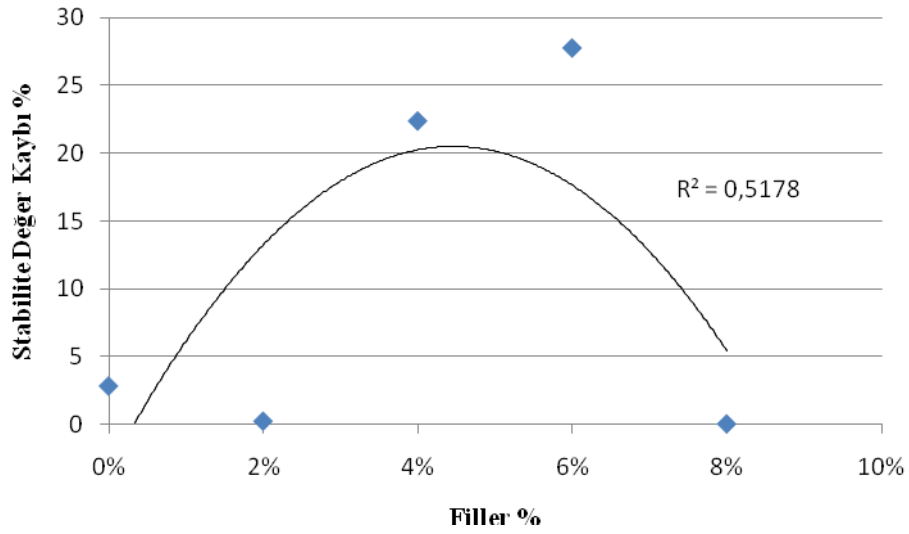


Şekil 4.19 40 °C'de En Uzun Yükleme Süresinde Filler % -Deformasyon

4.3.4 Mekanik Batırma Deney Sonuçları

Bitümlü karışımın suya batırılmasından sonra mekanik özelliklerindeki değişimini incelemek amacıyla yapılan mekanik batırma deney için, her bir filler yüzdesinden (% 0, % 2, % 4, % 6 ve % 8) optimum bitüm oranında numuneler üretilmiş ve bu numuneler 60 °C'lik su banyosunda 48 saat bekletilmiştir. ve Marshall stabilite deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre (Şekil 4.20) % 8 filler ilaveli

karışımlar stabilite kaybının diğerlerine göre daha az olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 4.20 Mekanik Batırma Deney Sonuçları

4.3.5 Optimum Filler Yüzdesi

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, karışımdaki filler oranının artmasıyla adezyon kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Filler miktarının fazla olması ya da uygun olmayan filler kullanılması sonucu ortaya çıkan zayıf adezyonlu yol kaplamalarının, su veya nem gibi çevresel etkilere maruz kalması, karışımda mineral agrega ile bitüm filmi arasındaki bağın zayıflaması, hatta kopmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı karışımda kullanılacak filler malzemesinin optimum miktarının tayin edilmesi oldukça önemlidir.

Tutarlı ve yüksek performansa sahip yol kaplamaları için karışımdaki optimum fillerleri seçerken yapılan çalışmalardaki sonuçlara göre, kritik mühendislik özellikleri olan en yüksek stabilite, mekanik batırma deneyi sonucundaki en düşük stabilite kaybı, en yüksek özgül ağırlık, en düşük boşluk oranı ve 40 °C'de ki en yüksek rijitlik modülü değerlerine karşılık gelen filler yüzdeleri baz alınmıştır. Bu filler yüzdelerinin aritmetik ortalamaları alınarak, aşağıda belirtilen 4.1 eşitliğinden karışımda kullanılan granit atığı filler için optimum filler oranı % 7,3 olarak bulunmuştur.

Hesaplama;

$$\text{Optimum Filler, \%} = \frac{F_s + F_{mb} + F_{\text{ö}} + F_b + F_r}{5} \quad (4.1)$$

F_s : En yüksek stabiliteye karşılık gelen filler yüzdesi

F_{mb} : Mekanik batırma deneyi sonucundaki en düşük stabilite kaybına karşılık gelen filler yüzdesi

F_ö : En yüksek özgül ağırlığa karşılık gelen filler yüzdesi

F_b : En düşük boşluk oranına karşılık gelen filler yüzdesi

F_r : 40 °C'de en yüksek rijitlik modülüne karşılık gelen filler yüzdesi

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Granit atık çamurunun değerlendirilerek bertaraf edilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada, İzmir Çimstone fabrikasından temin edilen granit atığı malzemenin bitümlü sıcak karışımların aşınma tabakası içerisinde filler malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırılmıştır. Deneysel çalışma bulgularından şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Deneysel çalışmaya öncelikli olarak agregaya deneyleri ile başlanmış ve agregaya numunesi üzerinde sıkışık ve gevşek birim ağırlık, özgül ağırlık ve su emme, agregaya deneyleri, ayrıca aşınma özelliklerini belirlemek amacıyla agregaya darbelenme ve Los Angeles aşınma kaybı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılmış olan bu deneylerde agregaya numunesinin özgül ağırlık değeri iri agregaya için $2,84 \text{ gr/cm}^3$ ince agregaya için $2,81 \text{ gr/cm}^3$, granit filler atığı için $2,64 \text{ gr/cm}^3$ olarak bulunmuştur. Deneyde kullanılan agregaya numunesinin ortalama su emme değeri iri malzeme için %0,34, ince malzeme için %0,68, mevcut nem durumu tayininde de agregaya numunesinin ortalama mevcut nem değeri %0,2 olarak bulunmuştur. Yapılmış olan Los Angeles deney sonuçlarına göre agregaya numunesi ortalama aşınma değeri % 23,73 ve şartnamede belirtilen %30'luk sınır değerinin altında bir kayıp göstermiştir. Ayrıca diğer bir aşınma değeri kaybını belirlemek amacıyla yapılan darbelenme deneyinde agregaya numunesinin ortalama aşınma değer kaybı %10,23 ve standartta verilen %18'lik sınır değerinin altında bir kayıp göstermiştir. Donma-Çözülme ve donma-çözülme sonrası Los Angeles direnç kaybı deneylerinin sonuçlarına göre agregaya numunesindeki kayıp %12 değerinden düşüktür.
- Deneysel çalışmanın ikinci kısmında laboratuvar ortamında, beş farklı filler oranında (%0, %2, %4, %6, %8) üretilen numunelerden Marshall yöntemiyle ağır trafik şartları için sıcak karışım aşınma tabakası dizaynı yapılmış, Marshall Stabilite ve Akma değerleri belirlenmiş, yoğunluk ölçümleri yapılarak grafikleri çizilmiş, standartların belirttiği koşullarda optimum bitüm oranları hesaplanmıştır. Buna göre ağırlıkça % 0, % 2, % 4, % 6 ve % 8 filler kullanımı için yapılan her bir dizayn sonunda optimum bitüm yüzdeleri sırasıyla; % 5.11,

% 4.76, % 4.10, % 4.04, % 3.83 olarak hesaplanmıştır. Her bir karışım için belirlenen optimum bitüm yüzdeleri ekonomik sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür.

- Filler malzemesinin en önemli özelliklerinden bir tanesi bitümlü sıcak karışım içerisindeki mikro boşlukları doldurarak yoğunluğu artırmaktır. Buna göre % 6,4 filler oranında en yoğun bitümlü sıcak karışım numuneleri elde edileceği belirlenmiştir. Bununla birlikte en yoğun karışımda en yüksek stabilite beklenirken en yüksek stabilite % 8 filler kullanılan numunelerde görülmüştür. Bunun en önemli nedenlerinden birisi % 8 filler oranında mikro boşlukların daha iyi dolması olabilir.
- Bitümlü sıcak karışımların esneklik özelliklerini belirleyen akma değerinin 3 mm olması istenmektedir. 3 mm lik akmaya karşılık gelen optimum bitüm yüzdesi % 6 filler kullanılan numunelerde elde edilmiştir.
- Bitümlü sıcak karışımlar için kritik özellikler olan Marshall stabilitesi, mekanik batırma deneyi sonrası Marshall stabilite kaybı, en yüksek yoğunluk, şartname boşluk oranı ve 40 °C’de ki en yüksek rijitlik modülü değerlerine karşılık gelen filler yüzdelerinin aritmetik ortalaması alındığında, bitümlü sıcak karışım dizaynı için optimum filler miktarı % 7,3 olarak hesaplanmıştır. Yani %7,3 filler ilavesiyle karışımdaki bitüm filmi ve agrega arasındaki adezyonun çok kuvvetli olabileceği söylenebilir.

Atık malzemelerin değerlendirilmesi bakımından yol üst yapıları önemli bir inşaat uygulaması alanıdır. Çünkü büyük miktarlarda atık malzeme, hammadde ihtiyacı oldukça fazla olan yol üst yapılarında kullanılmak suretiyle hem bertaraf edilmiş hem de ekonomiye kazandırılmış olur. Yapılan çalışmalar granit atığı malzeme bitümlü sıcak karışımlarda filler malzemesi olarak kullanılabilceğini ve bitümlü sıcak karışım kaplamaların aşınma tabakası mühendislik özelliklerine olumlu olarak etki ettiğini göstermiştir.

Bu çalışmada, Karayolu Teknik Şartnamesinin aşınma tabakası için belirlediği %4.0, 4,5, 5.0, 5,5, 6.0, 6.5 oranlarında bitüm kullanılarak bitümlü sıcak karışım numuneleri hazırlanmıştır. Bu briketlere yapılan deney sonucuna göre çizilen grafiklerin pek çoğunda grafik eğrilerinde kırılma olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla bundan sonraki çalışmalarda eğrilerdeki kırılmanın hangi bitüm oranında olduğunu görmek amacıyla %4'den düşük ya da % 6,5' den yüksek bitüm oranlarında benzer şekilde % 8,0'dan daha yüksek filler oranları kullanılarak çalışmanın sonuçları daha da genişletilebilir.

6. KAYNAKLAR

- AASHTO T 165-02 Standard Method of Test for Effect of Water on Cohesion of Compacted Bituminous Mixtures, Annual Book of AASTHO Standarts USA.
- Acar, S.O., Tapkin, S. (1998). Portland Çimentosu Kullanılarak Hazırlanan Marshall Numunelerinin Özelliklerinin İncelenmesi, 2. Asfalt Sempozyumu, Ankara, 10-11 Aralık, 95-104.
- Ahmed, H.Y., Othman, A.M. (2006). Effect of Using Waste Cement Dust as Mineral Filler on the Mechanical Properties of Hot Mix Asphalt. Assoc Univ Bull Environ Res, 9(1):51-9
- Ahmedzade, P., Alatas, T. ve Geçkil, T. (2007). The Effect of Carbon Black on the Mechanical Properties of Asphalt Mixtures, Journal of Engineering and Natural Sciences, 25, 179-189.
- Akbulut, H., Gürer, C., Çetin, S. (2009) Andezit Agregasının Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, 13-15 Mayıs.
- Akbulut, H., Gürer, C. (2007). Use Of Aggregates Produced From Marble Quarry Waste in Asphalt Pavements Building and Environment.
- Akbulut, H., Gürer, C., Çetin, S. (2011). Use of Volcanic Aggregates in Asphalt Pavement Mixes, ICE Transport, 164-TR2, 111-123.
- Anderson, D.A., Dongre, R., Christensen, D,W III, and Dukatz, E.L. (1992). Effect of Minus No. 200-sized Aggregate on Fracture Behavior of Dense- Graded Hot-Mix Asphalt, Effects of Aggregates and Mineral Fillers on Asphalt Mixture Performance: ASTM STP 1147, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 154-158.
- ASTM D 5-97 (2003). Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials. Annual Book of ASTM Standards USA.

- ASTM C 127-88 (1992). Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Coarse Aggregate. American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards US.
- ASTM C 128-88. (1992). Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Fine Aggregate, Annual Book of ASTM Standards USA.
- ASTM C 131-89. (1992). Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregates by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine, Annual Book of ASTM Standards USA.
- ASTM D 1559-89. (1992). Standard Test Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus, Annual Book of ASTM Standards USA.
- ASTM D 242 (1992). Standard Specification for Mineral Filler For Bituminous Paving Mixtures, Annual Book of ASTM Standards, USA.
- ASTM E 100-95 (2001). Standard Specification for ASTM Hydrometers.
- ASTM E8M (1992), Tension Test Annual Book of ASTM Standards USA.
- British Standards Institution, Method for The Determination Of The Indirect Tensile Stiffness Modulus Of Bituminous Mixtures. Draft For Development DD-213, 1993.
- Ceylan, S. (2006). Bitümlü Sıcak Karışımlarda Filler Olarak Carboniferous-Triassic Kayaç Tozlarının Kullanılması Ve Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, S.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Chen, J.S., Shih, P. ve Chun. H. (1998). Analyses of Tensile Failure Properties of Asphalt-Mineral Filler Mastics, Journal of Materials in Civil Engineering, Natl Cheng-Kung Univ, Tainan, Taiwan.
- Chen, M., Lin, J., Wu, S. (2010). Potential of Recycled Fine Aggregates Powder as Filler in Asphalt Mixture, Construction and Building Materials.

- Çağlar, G. A. (2007). Endüstriyel Atık Malzemelerinin Karayolunda Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çetin, A. (1997). Endüstriyel Atıkların Asfalt Beton Kaplama Karışımında Değerlendirilmesi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- 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.
- Duygun, F. (2008). Dikilitaş Göleti (Niğde) Islah Çalışması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Eren, Ü. (2008). Asfaltitin Asfalt Betonunda Mineral Filler Olarak Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü.,Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Güngör, M.M. (1996). Afşin Elbistan Uçucu Külünün Esnek Yol Kaplamalarında Filler Olarak Kullanımı Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi Elazığ.
- Gürer, C. (2005). Atık Mermer Parçalarının Bitümlü Yol Kaplamalarında Değerlendirilmesi Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Gürer, C., Akbulut, H., Kürklü, G. (2004). İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 13-14 Mayıs.
- Hwang, S.D., Park, H.M. (2008). Rhee Sk. A study on engineering characteristics of asphalt concrete using filler with recycled waste lime. Waste Manage 28(1),191–9.
- Ilıcalı, M. (1988). Karayolu Üstyapısında Erdemir Cürufunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

- Karasahin, M., Tıgdemir, M., Fincanoglu, A. ve Saltan, M. (1997). Asfalt Betonu Karışımında Pomzanın Filler Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi, I. Isparta Pomza Sempozyumu, Isparta, 26-28 Haziran.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (1994). Yollar Fenni Şartnamesi, No:170/2, Ankara.
- KÖK, B., Vural, YILMAZ, M. (2009). Sivas Divriği Çelik Cürufunun Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılabilirliği, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 30, Sayı 1.
- Kuloğlu, N., Yılmaz, M., Vural, B., Geçkil, T. (2009). Silopi Asfaltiti Kullanımının Bitümlü Sıcak Karışımların Nem Hasarına Karşı Dayanımına Etkisi, 5. Asfalt Sempozyumu, Ankara, 18-19 Kasım, 309-317.
- Lav, A.H. ve Sütas (1993). Pirit Kalsinesinin Esnek Yol Kaplamalarında Filler Olarak Değerlendirilmesi, Teknik Dergi, 4, 1.
- Mogawer, W. S., Stuart, K.D. (1996). Effect of Mineral Fillers on Properties of Stone Matrix Asphalt Mixtures, Transportation-Research-Record. N 1530, P 86-94.
- O'flaherty, C.A. (2002). Highways, Tordon Hill, Oxford, ISBN:0 7506 50907.
- Önal, M. E. ve Karaca, S. (1984). Asfalt Betonu ve Diğer Sıcak Karışım Tipleri için Karışım Dizayn Metotları, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- Önal, M.A., Aray, S. Ve Aşık, İ. (1996). Yüksek Plastisiteli Fillerin Bitümlü Sıcak Karışımların Kohezyonuna Etkisi, I. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, 19-20 Aralık, 90-102.
- Özata, G. (2003). Mermer ve Polietilentrftalat atıklarının Yapı Malzemesi Olarak Geri Dönüşümü, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, A.K.Ü., Afyon.
- Sayıştay Raporları (2007). Türkiye' de Atık Yönetimi, Ulusal Düzenlemeler ve Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi, Sayıştay Dergisi.
- Shahrour, A. M. ve Saloukeh, G, B. (1992). Effect of Quality and Quantity of Locally

Produced Filler (Passing Sieve No. 200) on Asphalt Mixtures in Dubai, Effects of Aggregates and Mineral Fillers on Asphalt Mixture Performance: ASTM STP 1147, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 187-208.

Suhaibani, A., Mudaiheem, J., Fozan, F. (1992). Effect of Filler Type and Content on Properties of Asphalt Concrete, Effect of Aggregates and Mineral Fillers on Asphalt Mixture Performance, ASTM STP 1147, American Society for Testing and Materials, 107-130, Philadelphia.

Şengöz, B., Topal, A., Tanyel, S. (2000). Kirecin Asfalt Karışımlarda Kullanımı, 3. Asfalt Sempozyumu, Ankara, 16-17 Kasım, 82-90.

Tapkın, S. (2008). Mechanical evaluation of asphalt-aggregate mixtures prepared with fly ash as a filler replacement. Can J Civ Eng, 35,27–40.

Tapkın, S. 2009. Değişik Uçucu Küllerin Filler Olarak Kullanımının Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerine Olan Etkisi, 5. Asfalt Sempozyumu, Ankara, 18-19 Kasım, 329-338.

TCK (2006). Karayolu Şartnamesi, Ankara.

Terzi, S. (2000). Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonunda Filler Malzemesi olarak Kullanılmasının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, S.D.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

TS 3526 (2003). Agregalarda Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 3529 (1980). Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1097-2 (2003). Beton Agregalarında Aşınmaya Dayanıklılık, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN 932-5 (2010). Agregaların Genel Özellikleri İçin Deneyler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tunç, A., (2001). Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Tunç, A., (2004). Esnek Kaplama Malzeme El Kitabı, Asil Yayın Dağıtım, Ankara.
- Tyson, S. S. PE. (1993). Present and Future Use of Coal Ash in Construction, Utilization of Industrial By Products for Construction Materials Proc. ASCE Natl. Conc. Expo., Publbe ASCE, New York, NY, USA 1-14.
- Uluçaylı, M. (2002). Asfalt El Kitabı, İsfalt, İstanbul, 500.
- Umar, F., Açar, E. (1991). Yol Üstyapısı, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.y of Civil Engineering.
- Ünal, O., Demir, İ., Ergün, A. (2003). Mermer Tozu (Havuz Çökeltisi) Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması, AKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri, Afyon.
- Vassiliadau, E. ve Amirkhanion, S.N. (1999). Coal Ash Utilizaion in Asphalt Concrete Mixtures, Journal of Materials in Civil Engineering.
- Zorluer, İ., Usta, M. (2003). Zemimlerin Atık Mermer Tozu ile iyileştirilmesi, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu, Afyon, 3-4 Aralık.
- Üstüncöl, F.N. (2006). Endüstriyel Atıkları Esnek Yol Üst Yapısında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir.
- Şengöz, B., Topal, A. (2002). Bitümlü Çatı Örtüsü Atıklarının Bitümlü Sıcak Karışımlarda Değerlendirilmesi, 4. Mühendislik Mimarlık Sempozyumu, Balıkesir, 11-13 Eylül.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ayfer ELMACI
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul – 22.08.1984
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : istanbulay_@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Hasan POLATKAN Lisesi (YDA), 1999-2003
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2005-2009
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2009-2011