



**ATIK POLİSTİREN KÖPÜĞÜNÜN ASFALT ÇİMENTOSUNUN BAZI
MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Sarvat RAMAZANOV

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2019

Sarvat RAMAZANOV tarafından hazırlanan “ATIK POLİSTİREN KÖPÜĞÜNÜN ASFALT ÇİMENTOSUNUN BAZI MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Kürşat YILDIZ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Hanifi TOKGÖZ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye : Prof. Dr. Yılmaz KOÇAK

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Düzce Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 18/06/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Sarvat RAMAZANOV

18/06/2019

ATIK POLİSTİREN KÖPÜĞÜNÜN BİTÜMÜN BAZI MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Sarvat RAMAZANOV

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

Doğal kaynakların hızla yok olması, çevrenin hızla kirlenmesi canlılar için hayati önem taşıırken öte yandan çevrenin korunması konusunda da kaygıları artırmaktadır. Hemen hemen hayatımızın her safhasında kullanılan polimer malzemelerin nüfus artışıyla doğru orantılı olarak artması insanoğlunu geri dönüşüm arayışlarına itmiştir. Günümüzde geri dönüşüm çalışmaları atık kaynağının önlenmesi veya azaltılması, geri dönüştürülerek yeniden kullanılması, geri dönüştürülemeyenlerin yok edilmesi şeklindedir. Bu bilgiler ışığında, atık polistiren köpüğünün yol üst yapısında bağlayıcı olarak kullanılan bitüm “asfalt çimentosu” içerisinde kullanılabilirliği çalışmamıza temel teşkil etmiştir. Çalışma kapsamında bitümün penetrasyon, yumuşama noktası, parlama noktası, özgül ağırlığı ve duktilitesi gibi fiziksel özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Ayrıca bu çalışma atık polistiren köpüğünün bitümün kimyasına, reolojisine, mekanik özelliklerine etkisinin de araştırılabileceği birçok çalışma konusuna temel teşkil edebileceği öngörülmektedir. Söz konusu çalışmada, atık polistiren köpüğü, katkı maddesi olarak, 50/70 penetrasyon değerine sahip olan asfalt çimentosu ile 150° C derecede karıştırılarak homojen hale getirilmiştir. Katkı maddesinin, asfalt çimentosunda kullanım oranı (bitümün ağırlığına göre) literatüre dayanarak %2; %4; %6 ve %8 olarak belirlenmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde asfalt çimentosu deneylerine tabi tutulmuştur. Daha sonra ise elde edilen veriler TS, ASTM ve KGM şartnamelerine göre analiz edilerek deney sonuçları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, atık polistiren köpüğünün asfalt çimentosunun üzerinde olumlu etki gösterdiği ve sıcak bölgelerdeki yol üst yapısı tasarımı Karayolları teknik şartnamesine (KTŞ) uygunluğu tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 91124

Anahtar Kelimeler : Asfalt çimentosu, Penetrasyon, Polistiren, Düktilite, Yumuşama noktası

Sayfa Adedi : 55

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Kürşat YILDIZ

RESEARCH ON THE EFFECT OF WASTE POLYSTYRENE FOAM ON SOME
ENGINEERING PROPERTIES OF ASPHAL CONCRETE

(M. Sc. Thesis Thesis)

Sarvat RAMAZANOV

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

The rapid disappearance of natural resources, the rapid pollution of the environment is vital for the living while raising concerns about the protection of the environment. Almost every step of our life, the increase in the proportion of polymer materials used in the direct proportion of the increase in the search for the recycling of human beings. Today, recycling efforts are the prevention or reduction of waste resources, recycling, and re-use, destruction of non-recyclables. The information that usability of waste polystyrene foam in the light in the bitumen "Asphalt cement" used as a binder on the road pavement was the basis for our study. In the study, the effects of bitumen on physical properties such as penetration, softening point, flash point and durability were investigated. It is also anticipated that this study may be able to underpin many studies on the effects of waste polystyrene foam on the chemistry, rheology, and mechanical properties of bitumen. In this study, waste polystyrene foam was homogenized as an additive by mixing with asphalt concrete having penetration value of 50/70 at 150 °C. The rate of use of the additive in asphalt concrete (based on the weight of the bitumen) was 2%; 4%; 6% and 8%. The samples were subjected to the above-mentioned experiments on the prepared samples. Then, the obtained data were analyzed according to TS, ASTM and HTS specifications and the test results were evaluated. As a result, it was determined that the waste polystyrene foam had a positive effect on the asphalt concrete and the features required for the design of the road superstructure in the hot zones were determined to conform to the Highway Technical Specification (HTS).

Science Code : 91124

Key Words : Asphalt concrete, Penetration, Polystyrene, Ductility, Softening point

Page Number : 55

Supervisor : Dr. Lecturer Kürşat YILDIZ

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanma aşamasında engin bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren ve yol gösteren çok değerli Hocam Dr. Öğr. Üyesi Kürşat YILDIZ'a teşekkür ederim. Ayrıca, laboratuvar çalışmaları konusunda bana destek veren Şef Adem KAYADELEN, Muhammed Fatih KÜTÜK ve ekipteki diğer kişilere teşekkürü bir borç bilirim.

Bunların yanı sıra yüksek lisans öğrenimim boyunca üzerimde emeği olan, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalındaki tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Tüm bunlara ek olarak yüksek lisan eğitimim sürecinde maddi ve manevi destekleri ile hep yanımda olan arkadaşlarım Mammad İSMAYILOV, Azar BAGHİROV ve Arş. Gör. Mert ATAKAN'a minnettarlığımı ifade ederim.

Hayatım boyunca hep yanımda olan, bana güven veren ve desteklerini her zaman hissettiren aileme en kalbi duygularıyla teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	3
2.1. Asfalt Çimentosu	3
2.1.1. Bitümün kimyasal özellikleri.....	3
2.1.2. Bitümün fiziksel özellikleri	6
2.1.3. Bitümün yapısı.....	6
2.1.4. Bitümün reolojisi.....	9
2.1.5. Yaşlanmış bitümün özellikleri.....	9
2.1.6. Doğal asfaltlar	10
2.1.7. Petrol (yapay) asfaltlar	10
2.1.8. Sıvı asfalt	11
2.1.9. Modifiye asfaltlar	11
2.2. Karayolları Kaplamaları.....	13
2.2.1. Esnek kaplamalar	13
2.2.2. Rijit kaplamalar.....	14
2.3. Polimerler	15

	Sayfa
2.3.1. Plastikler	16
2.3.2. Polistiren polimerler	18
2.4. Daha önce yapılmış çalışmalar	20
3. MALZEME VE YÖNTEM	29
3.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler.....	29
3.1.1. Asfalt çimentosu	29
3.1.2. Polistiren köpük	30
3.2. Yöntem.....	31
3.2.1. Penetrasyon deneyi.....	31
3.2.2. Yumuşama noktası deneyi.....	33
3.2.3. Duktilite deneyi.....	36
3.2.4. Parlama noktası deneyi.....	38
3.2.5. Özgül ağırlık deneyi	39
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	41
4.1. Modifiye (AC50/70) Penetrasyon değişimi	42
4.2. Modifiye (AC50/70) Duktilite Değişimi.....	43
4.3. Modifiye (AC50/70) Yumuşama Noktası Değişimi.....	44
4.4. Modifiye (AC50/70) Parlama Noktası Değişimi.....	45
4.5. Modifiye (AC50/70) Özgül Ağırlık Değişimi.....	46
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	49
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ.....	55

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Bitümlü bağlayıcıların kimyasal özellikleri	4
Çizelge 2.2. Sıvı asfalt türleri	11
Çizelge 2.3. Modifiye asfaltın katkı malzemeleri ve performansları	12
Çizelge 3.1. AC 50/70 Pen asfalt çimento özellikleri	29
Çizelge 4.1. TS ve ASTM'nin sınırına göre asfalt çimentosu değerleri	41
Çizelge 4.2. Modifiye asfaltın penetrasyon değerleri	42
Çizelge 4.3. Modifiye asfaltın duktilite değerleri.....	43
Çizelge 4.4. Modifiye asfaltın yumuşama noktası değerleri	44
Çizelge 4.5. Modifiye asfaltın parlama noktası değerleri	46
Çizelge 4.6. Modifiye asfaltın özgül ağırlık değerleri.....	47

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Bitümün üretim aşamaları.....	3
Şekil 2.2. Asfaltın kimyasal yapısı.....	5
Şekil 2.3. Aromatiklerin kimyasal yapısı	6
Şekil 2.4. SOL tipi bitüm yapısı.....	7
Şekil 2.5. JEL tipi bitüm yapısı.....	8
Şekil 2.6. Esnek kaplamanın genel yapısı	13
Şekil 2.7. Rijit kaplamanın genel yapısı.....	14
Şekil 2.8. Polimerlerin sınıflandırılması.....	16
Şekil 2.9. Stiren polimerizasyon reaksiyon	18
Şekil 2.10. EPS'nin kimyasal yapısı	19
Şekil 4.1. Katkısız asfalt çimentosunun standart limitlerine göre farkı.	42
Şekil 4.2. Modifiye asfaltın penetrasyonu	43
Şekil 4.3. Modifiye asfaltın duktilitesi	44
Şekil 4.4. Modifiye asfaltın yumuşama noktası	45
Şekil 4.5. Modifiye asfaltın parlama noktası	46
Şekil 4.4. Modifiye asfaltın özgül ağırlığı	47

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. PS köpüğünün asfalt çimentosu ile karıştırılması	27
Resim 3.2. Etüvde ısıtılan asfalt karışımı	28
Resim 3.3. Karışımın maksimum ısıtılma sıcaklığı	28
Resim 3.4. Penetrasyon deney cihazı	29
Resim 3.5. Penetrasyon deney numuneler	30
Resim 3.6. Penetrasyon deney uygulaması	30
Resim 3.7. Yumuşama noktası deney aletleri	32
Resim 3.8. Yumuşama noktası deney numuneleri	32
Resim 3.9. Yumuşama noktası-kalıpların cihaza yerleştirilmesi	33
Resim 3.10. Yumuşama noktası deneyinin başlanması	33
Resim 3.11. Yumuşama noktası deneyi-suyun ısıtılma işlemi	34
Resim 3.12. Yumuşama noktası-deneyin bitiş aşaması	34
Resim 3.13. Yumuşama noktası-numunelerin en son aldığı şekiller	35
Resim 3.14. Duktilite cihazı	36
Resim 3.15. Duktilite kalıpları	36
Resim 3.16. Numunelerin kalıplara yerleştirilmesi	37
Resim 3.17. Duktilite deneyi- uygulama aşaması	37
Resim 3.18. Duktilite deney sonrası numunelerin şekilleri	38
Resim 3.19. Parlama noktası deney cihazı	38
Resim 3.20. Piknometre aleti	39

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

Fe

Demir

g/cm³

Yoğunluk birimi (gram / santimetreküp)

Ni

Nikel

V

Vanadyum

Kısaltmalar

Açıklamalar

AASHTO

American Association of State Highway and Transportation Officials (Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma Birliği)

AC

Asfalt Çimentosu

ASTM

Amerikan Test ve Materyalleri Birliği

BSK

Bitümlü Sıcak Karışım

EPS

Genleştirilmiş Polistiren Köpüğü

KGM

Karayolları Genel Müdürlüğü

KTŞ

Karayolları tekni şartnamesi

LDPS

Low-density polyethylene

MC

Orta Hızda Kür Olan Asfalt

PAV

Pressure Aging Vessel (Basınçlı Yaşlandırma Aleti)

PE

Polietilen

PET

Polietilen Tereftalat

PI

Penetrasyon İndeksi

PP

Polipropilen

PS

Polistiren

PVC

Poli Vinil Klorid

RC

Çabuk Kür Olan Asfalt

Kısaltmalar	Açıklamalar
RTFOT	Rolling Thin Film Oven Test (Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi)
RV	Rotational Viscometer (Dönel Vizkozimetre)
SBR	Stiren Butadien Kauçuk
SBS	Stiren Butadien Stiren
SC	Yavaş Kür Olan Asfalt
SHRP	Strategic Highway Research Program (Stratejik Karayolu Araştırma Programı)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TÜPRAŞ	Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi
XPS	Sıkıştırılmış Polistiren Köpüğü

1. GİRİŞ

Her geçen gün polimer atıkların birincil kullanımdan sonra çevreye atılarak canlılara ve doğaya verdiği zararları bertaraf etmek için milyonlarca para harcanmaktadır. Polimer içerikli atıklar 500-10000 sene aralığında doğaya geri dönüştüğü bilinen bir gerçektir. Yirminci yüzyılın ortalarında başlayarak günümüze kadar polimer içerikli atıkların farklı alanlarda geri dönüşüm politikası akademisyenler tarafından konu alınmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Fakat her sene, polimerik malzemelerin kullanım alanlarının çoğalmasından dolayı akademik çalışmalarda sunulan alternatifler yetersiz kalmıştır. Dolayısıyla daha güncel çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır [1].

Günümüzde yaygın olarak kullanılan polistiren köpüğü EPS olarak da bilinmektedir. Bu malzemenin suyun ve ısıyı geçirimsizliğini gereken şekilde sağlayabilmesinden dolayı elektronik ve gıda maddeleri, yalıtım ve benzer cihazların üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca EPS'den hazırlanan kaseler, tabaklar ve kahve fincanları da toplumun günlük kullanımında yaygın olarak yer almaktadırlar. Polistiren malzemesi piyasada ün kazandıktan sonra hemen hemen her alanda özellikle sanayi firmaları tarafından talep edilen bir malzemeye dönüşmüştür. "GBI Research" tarafından yapılan araştırmaya göre polistiren köpüklere duyulan küresel ihtiyaç oranı hızlı şekilde artarak, 2010'da atık miktarı 14.9 milyon tona ulaştığı görülmüştür. 2020 yılı kadar bu miktarın 23.5 tona ulaşacağı ve %1.7 oranının Orta Doğu ülkelerinden çıkması beklenmektedir [2, 3, 4].

Bitüm sanayisi, yirminci yüzyılın ortalarından günümüze kadar hızla gelişerek insanlık adına büyük kolaylıklar sağlamıştır. Bitümlü bağlayıcılar, türlerine göre farklı alanlarda kullanılmaktadırlar, fakat bitümün en çok talep edildiği alan yol üst yapısıdır. Bitümlü bağlayıcıların viskoelastik ve termoplastik davranışlar sergileyerek, taşıt yüklerinin zemine uygun şekilde dağılmasına önemli ölçüde etki etmektedir. Fakat saf bitümlerin bu misyonu kusursuz yapabilmeleri oldukça zordur. Özellikle, kış ve yaz mevsimlerinde sıcaklığın hızla düşmesi veya artması, esnek kaplamalarda hasarların oluşmasına sebebiyet vermektedir. Bu nedenle, esnek kaplamaların servis ömrünü, stabilitesini, reolojik ve termal özelliklerini güçlendirmek ve çatlakların oluşmasını, yol bozulmalarına yol açan diğer faktörlerin önlemini almak amacı ile bitüm bağlayıcılarının modifiye edilmesi gündeme gelmiştir. Son yıllarda asfalt çimentosunun modifiye edilmesi üzerinde araştırmaların ve çalışmaların sayısı çoğalmaktadır [3].

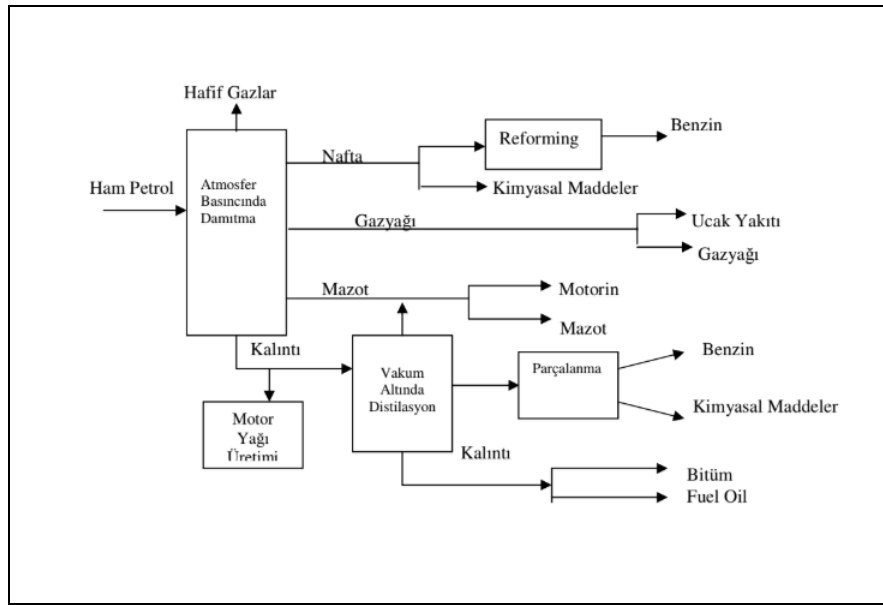
Asfalt çimentosunun modifikasyonu, bağlayıcının fiziksel davranışların olumlu yönde etkilemek ve esnek kaplamaların performanslarını iyileştirmek amacıyla yapılmaktadır. Bu yönde ilerleyen çalışmanın genel amacı, asfalt kaplamaların düşük hava sıcaklıklarında yeterli seviyede esnek davranışlar göstererek kırılmalara ve çatlamalara karşı dirençli ve yüksek hava sıcaklıklarında ise kalıcı deformasyonlara karşı mukavemeti sağlayarak gereken rijitliyi korumaktır. Bu ise, ağır taşıt yüklerinin oluşturabileceği çatlakların önlemine alarak, daha stabil bir üstyapının oluşmasına sebebiyet verecektir. Modifikasyon prosedürü, her tür amaca uygun, çeşitli katkı malzemelerin optimum oranlarda ve standartlar takip edilerek yapılmaktadır. Modifiye asfalt çimentosunun hazırlanması için genelde polimer katkı malzemeleri kullanılmaktadır. Polimer katkı malzemeleri arasında yaygın olarak kullanılan malzeme, elastomer sınıfına ait olan stiren-butadien-stiren (SBS) polimerdir [4].

Bu tezde, atık polistiren köpüğünün asfalt çimentosunda kullanmak üzere üç ana problem kapsayan bir deneysel çalışma ele alınmıştır. Bu problemlerden birincisi, günümüzde yaygın olarak karşımıza çıkan polistiren köpük atıklarının yok edilmesi, ikincisi esnek kaplamaların temel malzemesi olan asfalt çimentosunun özelliklerinin iyileştirilmesi, üçüncüsü ise Türkiye’de pahalı (dışa bağımlılık sonucunda) olan asfalt malzemesinin kullanım miktarın ve maliyetin düşürülmesidir. Çalışmanın ilk aşamasında, Türkiye iklim koşullarına uygun ve en yaygın olan asfalt çimentosu belirlenmiştir. Daha sonra ise asfalt çimentosunun özelliklerinin Türkiye ve uluslararası standartlarına uyum sağladığını belirlemek için üzerinde temel asfalt çimentosu deneyleri yapılmıştır. Elde edilen verilerin KGM şartnamesinin ve ASTM standardın minimum sınırların üzerinde olduğuna emin olduktan sonra modifikasyon işlemi başlatılmıştır. Asfalt çimentosunun modifiye edilmesi için, asfaltın ağırlığına göre %2, %4, %6 ve %8 oranlarda atık polistiren köpük ilave olunarak 150°C derecede ısıtılmıştır. Sıvı hale getirilmiş modifiye karışım kalıplara dökülerek laboratuvar ortamında bitüm deneyleri uygulanmış ve her numune için üçer tane deney yapıldıktan sonra elde edilen veriler karayolları şartnamelerine göre değerlendirilerek analiz edilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Asfalt Çimentosu

Asfalt çimentosu veya bitüm siyah renkli, son derece viskoz, yapışkan, hidrokarbonlardan oluşan, yüksek moleküler ağırlığa sahip, katı yarı katı organik bir maddedir. Bitüm doğal ortamlarda bulunmakla birlikte, yapay yöntemlerle üretilerek elde edilmektedir. Genellikle bitüm penetrasyona göre sınıflandırılmakla beraber, bazı ülkelerde viskoziteye göre de sınıflandırılmaktadır. Asfalt çimentoları yaygın olarak esnek kaplama yapımında kullanılmaktadırlar. Çoğunlukla asfaltlar doğal ortamlardan elde edilirler. En zengin üretim kaynağı ham petrol olmaktadır. Şekil 2.1’ de bitümün üretim aşamalar gösterilmiştir [4, 6, 7]



Şekil 2.1. Bitümün üretim aşamaları [7]

2.1.1. Bitümün kimyasal özellikleri

%90-95 karbon ve hidrojen molekülleri içeren bitüm malzemesi asırlarca toprağın altında kalan organik maddelerden meydana gelmiştir. %1-5 kısmı ise heteroatomlardan ve metallerden oluşmaktadır. Heteroatom molekülleri kısmına nitrojen, oksijen ve sülfür maddeleri dahildir. Heteroatomların yapısı genelde, bitümün üretildiği petrol türüne göre değişmektedir. Heteroatomlar asfalt çimentosunun oksitleşmesine sebebiyet vermektedirler ve bundan dolayı asfalt çimentosunun yaşlanma süresi düşecektir [8].

Asfalt çimentosu yaklaşık %1 oranda içerisinde üç metal türü bulunmaktadır. Nikel (Ni), Vanadyum (V) ve Demir (Fe) atomları içerisinde bulunduran asfaltın hangi tür petrolden hazırlandığını öğrenmeye yardımcı olmaktadır. Çizelge 2.1’de bitümler kimyasal özellikleri sıralanmaktadır.

Çizelge 2.1. Bitümlü bağlayıcıların kimyasal özellikleri [4]

Bitüm bağlayıcısı (%)	Tipler			
	A	B	C	D
Karbon	83,77	85,78	82,90	86,77
Hidrojen	9,91	10,19	10,45	10,93
Nitrojen	0,28	0,26	0,78	1,10
Sülfür	5,25	3,41	5,43	0,99
Oksijen	0,77	0,36	0,29	0,2
Vanadyum, ppm	180	7	1380	4
Nikel, ppm	22	0,4	109	6

Bitümün kimyasal yapısını belirlemek için kullanılan yöntemler;

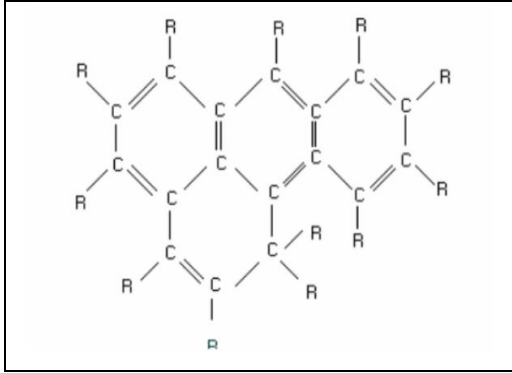
1. Solvent ekstraksiyonu
2. Destilasyon
3. Kromatografi
4. Kolon kromatografisi ve absorbe edilmeyen çözeltinin filtreyle ayrılması.

Bu yöntemler vasıtasıyla bitümün kimyasal yapılarını belirlemek mümkündür [9].

Asfalt çimentosunun kimyasal içeriği oldukça karmaşık yapıya sahiptir, dolayısıyla kimyasal analizlerin yapılması için yoğun incelemeler yapılması gerekmektedir. Ancak asfalt çimentosunu iki geniş kimyasal gruba ayrılmaktadır. İsimleri asfaltenler ve maltenler olarak bilinen bu kimyasal gruplar üretim aşamalarında kolaylık sağlamaktadırlar [7,9].

Asfaltenler

Büyük kısmı karbon ve hidrojenlerden oluşan asfaltenlerin, az kısmı da azot, kükürt ve oksijen gibi maddelerden oluşmaktadır. Moleküler ağırlıkları yüksek olan asfaltenterin renkleri genelde siyah olmaktadır ve elektriksel yüklere sahiptirler.



Şekil 2.2. Asfaltenlerin kimyasal yapısı [9]

Asfalten molekülleri bitümün içerisinde %5-25 oranda bulunmaktadır ve esas fonksiyonları bitümün reolojik ve elastik özelliklerine etkileridir. Düşük penetrasyonlu ve düşük viskoziteli asfaltlarda, asfalten moleküllerinin yüksek oranlarında bulunmalarına işaret etmektedir. Fakat asfaltinin davranışları sınırlıdır ve bitümün içerisinde fazla veya düşük oranda asfaltinin bulunması taktirde istenilmeyen sonuçlara yol açmaktadır [9, 10].

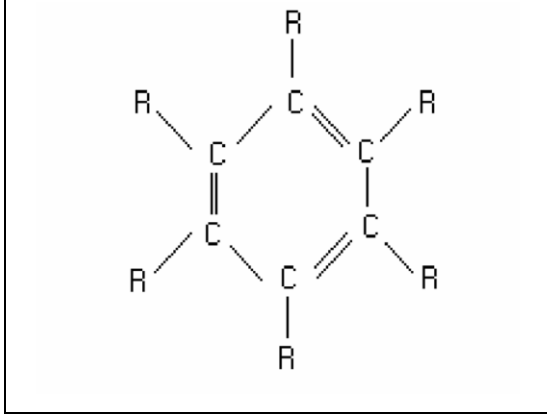
Reçineler

Reçineler de asfaltenler gibi hemen hemen aynı yapılara ve özelliklere sahiptirler ve benzer oranda hidrojen-karbon ilişkisi bulunmaktadır. Katı ve/veya yarı katılar ve koyu kahverengi renkte oluyolar. Reçineler oldukça yapışkandır, yapışkan olmaların sebebi ise elektriksel yüklükten kaynaklanmaktadır. Reçinelerin esas fonksiyonu, asfaltenleri bir birinden ayıran jelatin tipi katların doğru oranda dağılmasını sağlamaktır [11].

Aromatikler

Aromatikler, naftanik-aromatik bileşenlerden meydana gelerek, asfalt çimentosunun içerisinde dağılmış asfaltenlerin yayılması prosedüründe büyük katkı sağlayabilen aromatiklerdir. Asfalt çimentosunun yaklaşık %40-60 oranını kapsayan aromatikler koyu

kahverengine sahip, viskoz sıvı şeklinde olmaktadır. Elektrisel yüklere sahip olmayan aromatikler, doymamış halka sistemlerinden oluşmaktadırlar [11].



Şekil 2.3. Aromatiklerin kimyasal yapısı [6]

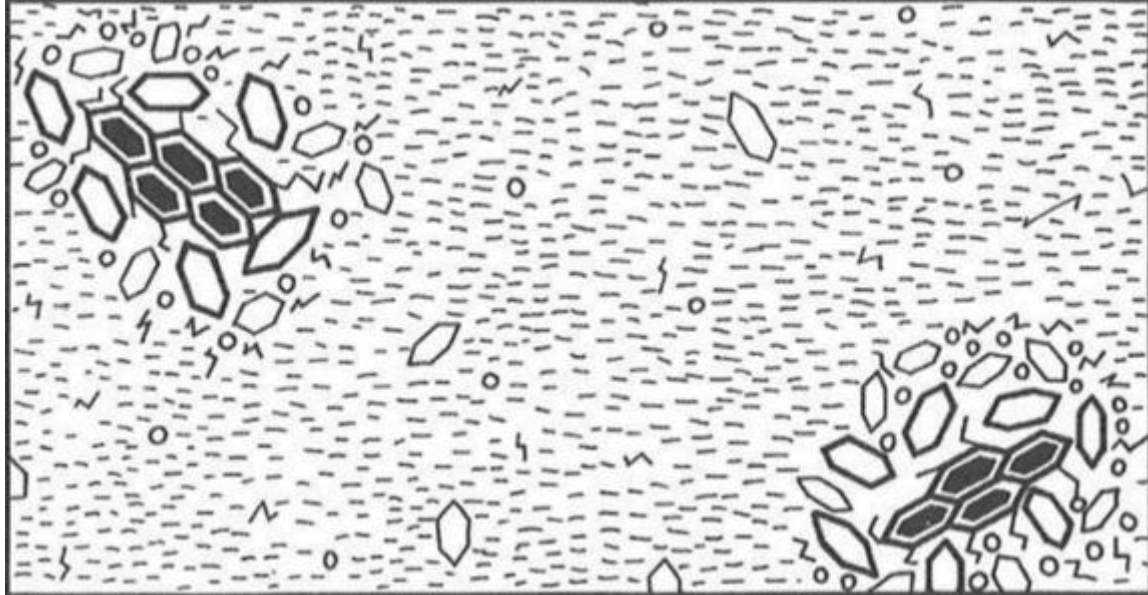
2.1.2. Bitümün fiziksel özellikleri

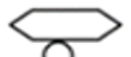
Bitümlerin hava sıcaklığı, taşıt yükleri ve/veya deformasyonların oluşmasına sebebiyet veren faktörlerinin etkisi ile viskoelastik davranışlar sergilemektedir. Uzun süre yüksek sıcaklık ve yükler altında bulunan standart bitüm, viskoz-sıvı hale dönüşmektedir, düşük hava sıcaklıkları ve yüklerin etkisi ile elastik (kırılgan) katı malzemeye dönüşmektedir. Belirli aralıklardaki sıcaklıklarda yüklemeler yapıldığında asfalt çimentosu visko-elastik davranışlar görülecektir, yani malzeme üzerine uygulanan yük geri götürüldüğü takdirde bitüm eski şekline dönecektir. Ancak bitüm üzerine uygulanılacak yük malzemenin kapasitesini aşarsa asfalt çimentosu kırılabilir. Bu durum daha çok düşük sıcaklıklarda görülmektedir [12].

2.1.3. Bitümün yapısı

Bitümler, süspansiyon sistemi olarak bilinmektedir ve asfaltenlerin maltenler içerisinde çözülmesiyle meydana gelmektedirler. Yüksek molekül ağırlığına sahip aromatik reçineler asfaltenlerin etrafında toplanarak bir yapı meydana getirmektedirler. Asfalten damlacıkları yapının merkezinden koptuğunda, daha az elektrisel yüklü aromatik reçineler görülmektedir.

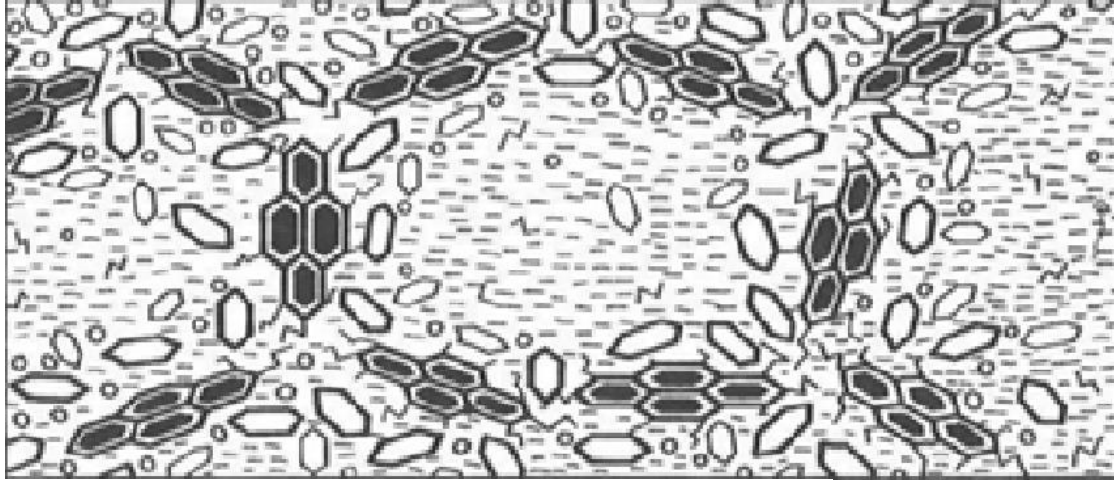
Yeterli oranda reçinelerin ve aromatiklerin bulunduğu yapılarda asfaltlenler çözülmekte ve meydana gelen damlaların bitüm içerisinde davranışları oldukça olumlu olacaktır. Bu çözüm prosedürü SOL tipi bitüm bağlayıcıları olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.4'te SOL tipi bitümlerin mikroskobik düzelüşü görülmektedir [7].

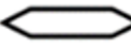


-  Asfaltlenler
-  Yüksek molekül ağırlıklı hidrokarbonlar
-  Düşük molekül ağırlıklı hidrokarbonlar
Aromatik petrol karbonları
-  Alifatik hidrokarbonlar
Doymuş hidrokarbonlar

Şekil 2.4. SOL tipi bitümün yapısı [7]

Yeterli oranda reçine ve aromatik bileşenleri bulunmuyor ise veya bu bileşenler gereken çözücü güce sahip değiller ise bu durumda asfaltlen molekülleri birbirleriyle daha da ilişkili olmaktadır. Dolayısıyla damlaların birbiriyle bağlantılı olduğu durumda ve içlerindeki boşluklarda diğer maddelerden meydana gelen sıvıyla dolmuş bir yapı oluşmaktadır. Bu tür bitümlü bağlayıcılar ise JEL tipli veya jelatin bitümleri olarak sınıflandırılıyorlar. Genelde JEL tipi bitümler çatılarda kullanılmış oksitlendirilmiş bitümlerdir. Şekil 2.5' de JEL tipi bitümün yapısı gösterilmiştir [7].



-  Asfaltenler
-  Yüksek molekül ağırlıklı hidrokarbonlar
-  Düşük molekül ağırlıklı hidrokarbonlar
Aromatik petrol karbonları
-  Alifatik hidrokarbonlar
Doymuş hidrokarbonlar

Şekil 2.5. JEL tipi bitümün yapısı

Bitümlerin içlerindeki kümeleşme prosedürü asfaltenlerin kolloidal davranışlarına bağlı olarak değişmektedir. Bu prosedürün içerisindeki genişleme dereceleri bitümün viskozitesini büyük ölçüde etkilemektedir. Bu tür prosedürler belirli bitümlerin jel özelliklerini yüksek sıcaklıklara kadar ısıtıldığında yok olmaktadır [7, 9].

Aromatiklerin, reçinelerin ve doymuşların viskoziteleri bitümün moleküler ağırlığa bağlı olmaktadır ve moleküler ağırlığının artması sonucunda viskozite değeri de artmaktadır [9].

Asfaltenlerin bitümün yapısında bulunmuş olması, maltemlerin viskozitesinde artış göstermekte ve bitümün daha yapışkan olmasını sağlamaktadır. Maltemlerin asfaltenleri çözme prosedürü doymuş kısımların asfaltenlerin belirli oranda kümelenmelerine sebebiyet vermektedirler. Dolayısıyla, asfalt çimentolarının JEL özelliklerindeki çoğalma hem asfalten içerisinde, hem de doymuş kompozisyonundan kaynaklanmaktadır [7].

2.1.4. Bitümün reolojisi.

Reoloji cisimlerin gerilme altında zamana bağlı şekil değişimini (deformasyon) inceleyen bilim dalıdır. Genelde sıvıların akış ve katı maddelerin deformasyon özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bitüm reolojik ve termoplastik bir malzemedir, üzerine her hangi bir yük uygulandığı zaman ve bu yükün uygulanma süresine göre reolojik davranışları değişecektir. Bitümün termoplastik davranışları ise malzemenin sıcaklığına göre değişmektedir. Dolayısıyla, bu özellikler bitümün ısıtılarak karıştırıldığı esnada malzeme viskoelastik ve termoplastik davranışlar sergilemektedir. Her mevsimde farklı reolojik davranışlar gösteren bitümler, kış aylarında ve/veya soğuk günlerde sert ve kırılğan olurlar. Bu olay malzemenin termoplastik davranışlarını gösterir. Sıcak mevsimlerde ise, asfalt örtüğünün üzerinden geçen taşıtlar zaman zaman bitümün akmasına sebebiyet vererek viskoelastik davranışlar sergiler. Hava sıcaklığının yüksek olduğu bölgelerde ve esnek kaplamaların maruz kaldığı taşıt yükleri kaplama yüzeyinde tekerlek izleri oluşmasına sebep olabilir [9].

Asfalt çimentosunun viskozitesi reolojik bir özelliktir. Bitümlü karışımların reolojisi, bitümün yapısına göre değişmektedir ve bu faktörleri belirlemek için bitümün viskozite-sıcaklık ilişkisini gözlemlemek gerekir.

2.1.5. Yaşlanmış bitümün özellikleri

Asfalt çimentosunun asfalt üst yapısında sergilediği performansın esas faktörlerinden biri dayanıklılığdır. Asfalt çimentosunda dayanıklılık terimi, sertleşmeye ve çatlakların oluşmasına karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Zaman içinde asfalt kaplamasının kırılğan hale gelmesi veya sertleşmesi “yaşlanma” olarak adlandırılır. Asfalt çimentosunun farklı yaşlanma nedenleri vardır. Bunlar:

- Oksitleşme
- Kendiliğinden veya ısıtıcı vasıtaların etkisiyle, bitümün içerisinde bulunan gazların ve uçucu maddelerin kaybı;
- Işığa bağlı polimerizasyon;
- Isıya bağlı polimerizasyon;

Yukarıda sıralanan yorulma türlerinden en sık karşılaşılan oksitleşmedir. Oksitleşme, bitümün içerisindeki organik moleküllerin havada bulunan oksijen molekülleri ile reaksiyonudur. Oksitleşme, bitüm moleküllerinin yapısını değiştirdiğinden dolayı asfalt çimentosunu kırılgan hale gelmesine neden olur. Yaz mevsimlerinde sıcaklık oranı yüksek olan bölgelerde oksitleşme durumu sık görülmektedir. Sıcak asfalt karışımların uygulamasında dikkat çekilmesi gereken esas unsurlardan bir tanesi de taze asfaltın iyi sıkıştırılmasıdır. Çünkü düzgün sıkıştırılmış asfalt karışımında hava boşlukları daha az olmaktadır. Böylece oksitleşme olasılığı azalmaktadır. Oksitleşme tehlikesi, daha çok yol yapımı zamanı açıkta kalan asfalt karışımının hava ile temas ettiğinde meydana gelmektedir.

Yorulmanın diğer türü de gazların ve uçucu maddelerin buharlaşması ile meydana gelmektedir. Bitümlü sıcak karışımın imalatı sırasında uçucu maddeler buharlaşarak kaybolmakta ve asfaltta sertleşme görülmektedir. Fiziksel yorulma ise karayolu kaplamasının, uzun süreler boyunca düşük sıcaklığa maruz kalması ile oluşmaktadır. Düşük hava sıcaklığına devamlı maruz kalan asfalt çimentosunda büzülme ve sertleşmeler görülebilir. Hava sıcaklığı 0°C' den aşağı düştüğünde fiziksel sertleşme olayı daha etkin olmaktadır [8].

2.1.6. Doğal asfaltlar

Doğal asfaltlar göl ve kaya asfaltlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Göl asfaltlarının en çok bulunduğu yer Trinidad ve Bermuda bölgeleri olarak bilinmekte ve rezervleri 10-15 milyon ton olarak tahmin edilmektedir. Kaya asfaltlar, genellikle mineral maddelerde yaklaşık %10 oranında bulunmaktadır. Bu malzeme daha çok kum taşının ve kalkerin bünyesinden ayrıldıktan sonra rafine edilerek saf bitüm ortaya çıkar [6].

2.1.7. Petrol (yapay) asfaltlar

Petrolün rafine edilmesi sonucunda ortaya çıkan bitümler, petrol asfaltlar olarak adlandırılmaktadır. Petrol asfaltları, ham petrolden tuzlu suyun ayrıştırılması sonucunda depolanmakta ve belirli süre içerisinde boru içerisinde pompalamaya tabi tutulmaktadır. Daha sonra petrolün cinsine göre rafine işlemi sürdürülür. Farklı sıcaklık derecelere göre

ısıtılan petrolünden çeşitli malzemelerin ve bitüm türlerinin oluşmasına sebep olmaktadır [4].

Distilasyon işleminden çıkan ham malzemelerden hava üfleme yöntemiyle Air-blow asfaltlar elde edilir. Air-blow asfaltlar izolasyon yöntemlerinde sık kullanılmaktadırlar. Isıtılan asfaltlar vakum ve buhar işlemlerine tabi tutulduktan sonra AC simgesiyle işaretlenen asfalt çimentosu elde edilir. Asfalt çimentosu karayolları yapımında çeşitli karışımlarda kullanılır. Ancak kalitesi düşük yolların yapımında daha düşük özelliklere sahip olan sıvı asfaltlar kullanılmaktadır [4, 6].

2.1.8. Sıvı asfalt

Genelde 70/100, 100/150 penetrasyonlu asfaltlara benzin, gazyağı ve/veya bakiye yağı eklenerek üretilmektedir. Sıvı asfaltlar yol yapımında astar ve yapıştırma tabakalarına sıvılaştırılarak püskürtme yöntemiyle kullanılan asfaltlar olarak tanımlanmaktadır. Asfalt çimentosuna benzin katılarak çabuk kür olan asfaltlar RC, gazyağı katılarak orta hızda kür olan asfaltlar MC, bakiye yağ katılarak yavaş kür olan asfaltlar SC simgeleri ile işaretlenmektedirler [4, 6].

Çizelge 2.2. Sıvı asfalt türleri [6]

Çabuk Kür Olan (RC)	Orta Hızda Kür Olan (MC)	Yavaş Kür Olan (SC)
-	MC-30	-
RC-70	MC-70	SC-70
RC-250	MC-250	SC-250
RC-800	MC-800	SC-800
RC-3000	MC-3000	SC-3000

2.1.9. Modifiye asfaltlar

Modifiye asfaltlar, geleneksel asfaltlara çeşitli kimyasal maddeler veya malzemeler eklenilerek, bitümün veya bitümlü karışımların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla hazırlanmaktadırlar. Esnek kaplamalarda yorulma ve termal çatlakların, kalıcı deformasyonların, suyun etkisiyle asfalt kaplamasında oluşan hasarların minimuma indirilmesinde yüksek performans sergiledikleri görülmüştür. Modifikasyon

işlemi belirli şartlar takip edilerek yapılmaktadır. Eğer bitüme veya karışıma katılan maddenin oranları hatalı veya gereken standartlara göre şartlar yerine getirilmemiş ise, asfaltta istenen performans görülmeyecektir. Modifikasyon için kullanılacak katkı malzemelerinin bağlayıcılarda veya karışımlarda stabilite, durabilite, yorulma mukavemeti, kalıcı deformasyonlara karşı davranışlar gibi iyileşme sağladığı özellikler tek başına yeterli görülmemektedir. Diğer faktörlerden, katkı malzemesinin kolay elde edilebilir olması, maliyetinin düşük olması, karışım hazırlanırken yüksek sıcaklıklarda bağlayıcılığını ve diğer özelliklerini kaybetmemesi, yol yapımından sonra asfalt kaplamasının uzun süre kullanışlı olması da göz önünde bulundurulmalıdır. Günümüzde asfaltın kimyasal ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla çok çeşitli katkı malzemeleri kullanılmakta ve bu katkı malzemelerinin sayısının da günden güne artacağı düşünülmektedir. Aşağıdaki tabloda en yaygın olarak kullanılan modifiyer maddeler gösterilmiştir. Günümüz itibarı ile SBS ve EVA modifiyerleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Modifiye asfaltlarda kullanılacak olan katkı malzemeleri, çeşitli asfalt türlerine göre farklı davranışlar sergilemektedirler [4, 5].

Çizelge 2.3. Modifiye asfaltın katkı malzemeleri ve performansları [5]

KATKI TÜRÜ	PERFORMANS
Kauçuk	Viskozluk değerinin artırılması
Termoplastik Polimerler	İşlenebilirliğin ve viskozluğun artırılması, deformasyon direncinin güçlendirilmesi
Organo-Manganez Bileşikler	Karışımın deformasyon direncinin iyileştirilmesi ve ısı duyarlılığının optimize edilmesi, mukavemetin çoğalması
Termoset Polimerler	Kalıcı yüklerin direncinin ve adezyonun artırılması
Doğal Asfaltlar	Isı duyarlılığının optimize edilmesi ve aşınma değerinin düşürülmesi
Epoksi Reçinesi	Deformasyon değerlerinin minimuma düşürülmesi
Katran	Yakıt hasarlarının azalması ve aşınma direncinin değerinin düşürülmesi
Elyaflar	Çatlamaların önleminin alınması
EVA ve APP	Penetrasyon, yumuşama noktası değerlerinin artırılması ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi
SBS	Kaplamanın elastikliğinin korunması, penetrasyon, yumuşama noktası ve diğer değerlerin iyileştirilmesi
Çözücüler	Viskozitenin azaltılması

2.2. Karayolları Kaplamaları

Yol kaplamaları farklı iklim koşullarında hizmet göstermek ve araçların sürüş konforunu ve emniyetli kullanılmasını sağlamak amacıyla değişik malzemelerden inşa edilmektedir. Yol kaplamaları esnek ve rijit kaplamalar olarak sınıflandırılmaktadır [5,8].

2.2.1. Esnek kaplamalar

Asfalt çimentosu kullanılan tabakalardan meydana gelen kaplamalar “esnek kaplama” olarak tanımlanmaktadır. Bitümlü kaplama tabakalarıyla oluşturulan üstyapılara “esnek üstyapı” denir. Esnek kaplamalar araçlar için emniyet ve sürüş konforunu sağlamak için önemli bir kaplama sistemidir. Taşıtların oluşturduğu deformasyonlara ve gerilmelere karşı yüksek performans göstermektedirler [4].



Şekil 2.6. Esnek kaplamanın genel yapısı [13]

Esnek kaplamaların avantajları:

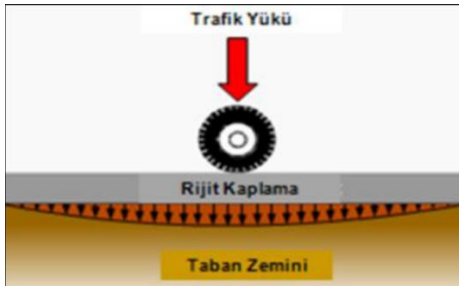
- Kaplama yüzeyinin pürüzsüz ve sürüş konforunun yüksek olması;
- Taşıtlar hareket ettiği zaman kalıcı deformasyonlara karşı toleranslı olması
- Kayma direncinin yüksek olması;
- Yazın sıcak ve kışın soğuk havalara karşı durabil olması;
- Ağır taşıt yüklerinin, zeminin taşıma gücünü aşmayacak şekilde, dağılmasını sağlamak.

Esnek kaplamaların dezavantajları:

- Bakım ve onarım harçlarının pahalı olması;
- Asfalt (petrol ürünü olduğu için) fiyatının yüksek olması;
- Yorulma direncinin düşük olması;
- Esnek kaplamaların zamanla stabilite özelliklerini yitirmesi sonucunda çatlakların oluşması;
- Yol yapımında sıcak asfalt karışımlarının hava koşullarına karşı hassas olmasından dolayı, inşaat sürecinin daha kısıtlı olması;
- Asfaltın betonunun yağmurlu havalarda sürtünme direncinin düşük olması [4].

2.2.2. Rijit kaplamalar

Rijit kaplamalar portland çimentosundan hazırlanmış ve yüksek eğilme dayanımına sahip bir üstyapı türüdür. Genelde tek tabakalı plakalardan oluşan, taşıt yüklerini taban zeminine dağıtma özelliğine sahiptirler. Yüksek trafik hacmine sahip olan beton yollar, genelde otoban ve havaalanları yapımında kullanılmaktadır ve taşıtların sürüş konforu bakımından yüksek seviyede değerlendirilmektedir [4,13].



Şekil 2.7. Rijit kaplamanın genel yapısı [13]

Rijit kaplamaların avantajları:

- Bakım ve onarım masrafların çok düşük olması;
- Çimentonun Türkiye’de üretildiği için fiyatları daha düşük olması ve dışa bağımlı olmaması;
- Mukavemet değerleri yüksek olduğundan fazla kalınlığa ihtiyaç duyulmamaktadır;
- Soğuk ve rutubetli havalarda yapım ve onarım işleri sürdürülebilmektedir;

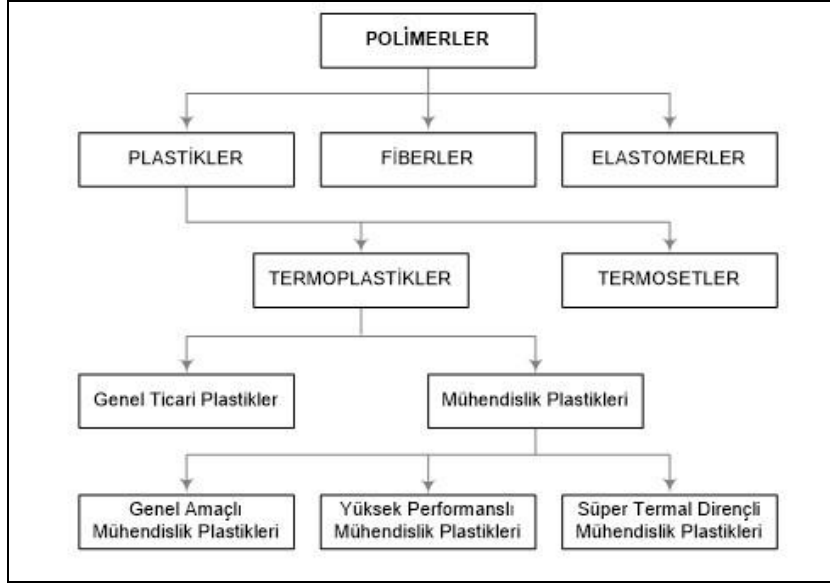
- Portland çimento ile çalışmak kolaydır ve fazla hassasiyet gerekmemektedir;
- Rijit kaplamalar gece saatlerinde kolay ayırt edilmektedir;
- Yağmurlu havalarda esnek kaplamalara göre daha yüksek kayma direncine sahiptirler;
- Çimentonun, her mevsimde inşaat işlemlerinin gerçekleştirilmesi mümkündür, dolayısıyla yol yapımı için belirli mevsimin beklenilmesi gerekmemektedir.

Rijit kaplamaların dezavantajları:

- Onarım süresinin çok uzun olması;
- Onarım yapıldığı sürede trafiğin kapatılması ve alternatif yolların kullanma zorunluluğu;
- Derz dolgularının onarım masraflarının yüksek olması;
- Plaklar arasındaki derzlerin, taşıtların teker gürültülerin oluşması ve sürücülerin konforuna olumsuz etkisine neden olması;
- Beton plağın, alt ve üst kısımlarında sıcaklık dereceleri farklı olduğu için, plakta gerilmelerin oluşmasına sebebiyet vermektedir;
- Yolun kenarından diğer kenarına su ve doğalgaz boruların ve diğer tesislerin geçirilmesinde ve tamirlerinde zorluklar ile karşılaşılır [4,13];

2.3. Polimerler

Polimerik maddeler içerisinde tekrar eden molekül monomer olarak adlandırılmaktadır. Polimerlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri monomer bağları belirler. Monomerlerin 100'den fazla kimyasal bağdan oluşturduğu maddelere polimer adı verilmektedir. Monomerlerin uzun zincirlerin oluşmasına sebebiyet veren bir kimyasal işlem “polimerizasyon” olarak bilinmektedir. Şekil 2.8. de polimerlerin sınıfları gösterilmiştir. Vinil polimerlerinden bir tanesi de polistiren maddesidir. 1851 yılında etilen ve benzen'den meydana getirilmiştir. Stiren oda sıcaklığında kolaylıkla polimerizasyona yol açabilen bir monomerdir. Genellikle stirenin polimerize işlemi 120-150 °C derecede yapılmaktadır. Ancak inisiyator ilave edilerek sıcaklık derecesi yükseldiğinde reaksiyon daha çabuk sürer [16].



Şekil 2.8. Polimerlerin sınıflandırılması [16].

2.3.1. Plastikler

Plastikler, polimerin modifiye edilmesi sonucunda veya farklı katkı maddeler ile donatılarak ortaya çıkan malzemelerdir. Farklı gazların (O_2 , N, H), organik ve inorganik elementlerin karbonla bir araya getirilerek kompleks bileşeni sonucunda ortaya çıkan maddeler polimer olarak adlandırılmaktadır. Genel olarak plastiklerin farklı çeşitlerine göre, kauçuklar, fiberler ve yapıştırıcılar gibi malzemeler üretilmektedir. Çoğu zaman plastiklerin isimleri de ürünün yapısının içerdiği monomerlere göre isim verilmektedir [16].

Plastiklerin sınıflandırılması

Plastikler ısı özelliklerine göre termoplastikler ve termoset olarak sınıflandırılmaktadır.

Termoplastikler

Termoplastik polimerler günümüzde çok yaygın (yaklaşık %87) olarak üretilmektedir. Bunun başlıca sebeplerinden biri de geri dönüşüm işlemlerinde kolaylık sağlamaktadırlar. Çünkü termoplastikler birincil üretimden sonra yumuşama noktasının üzerinde bir sıcaklığa kadar ısıtılarak kalıp içinde şekillendirildikten sonra aynı özellikleri kaybetmemektedirler. Lineer yapıya sahip malzemelerdir, fiyatı düşük olduğundan dolayı

daha çok tercih edilmektedirler. Termoplastikler kullanım oranına göre aşağıdaki şekilde sıralanarak sınıflandırılmaktadır [25,26];

- 1) Polietilenler(PE)
- 2) Polipropilen (PP)
- 3) Polistiren (PS)
- 4) Polivinilklorür (PVC)
- 5) Polietilen Tereftalat (PET)
- 6) Polibütilen Tereftalat (PBT)
- 7) Stiren Akrilonitril (SAN)
- 8) Naylon
- 9) Akrilonitrin Butadien Stiren (ABS),
- 10) Diğer termoplastikler [25,26].

Termoset plastikler

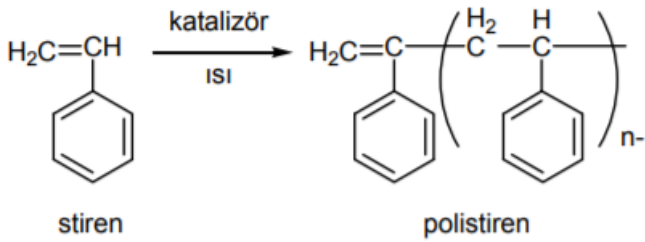
Termoset plastiklerin ağ yapısında çapraz bağ olduğundan dolayı erime noktasına kadar ısıtıldığında şekil değiştirmemektedir. Termoplastiklerden farklı olarak, termoset plastikler eridiğinde zincirlerde oluşan bağlar arasındaki güçlerini kaybetmekte, soğutulduğunda yumuşamakta ve kırılğan malzemeye dönüşürler. Polimerizasyon yöntemiyle üretilen bu malzemeler genelde lineer yapıya sahip olmaktadır. Polimerizasyonun ilk aşamasında önpolimer olarak adlandırılan bir işlem takip edilmektedir. Bu aşamada 500-5000 mol arasında kütleye sahip lineer polimer hazırlanarak karışıma boya ve benzer maddeler katıldıktan sonra reçine denilen malzeme oluşmaktadır. Daha sonra ise malzemeyi çapraz yapıya geçirmek için radikalik başlatıcı ve ısı işlemler uygulanarak kalıplara yerleştirilmektedir [14].

Bitüm, atık plastiklerle modifiye edildiğinde genelde yol kaplamalarında performansın yükselmesine ve hasarların önlenmesine katkı sağlamaktadır. Yüksek sıcaklıklarda bu tür kaplamalar kendilerine özgü elastik davranışlar sergileyerek çatlamların oluşmamasında fayda sağlamaktadır [14].

Plastik atıkların modifiye bitümler üzerinde yapılan literatüre bakıldığında en çok PVC, LDPE, EVA, HDPE, PP, PS ve ABS türlerinden olan bileşenlerin kullanımı önerilmektedir. [12]

2.3.2. Polistiren polimerler

Polistiren üretiminde genellikle kütle polimerizasyonu reaksiyonu uygulanmaktadır. Kütle polimerizasyonu vasıtası ile stirenakrilonitil reçineler, kristal dereceli polistirenler, yüksek-darbe polistiren, gerilmeye dayanıklı çeşitli polistirenler üretilmektedir. Polistiren polimerizasyonu sürekli ve kesikli olarak sınıflandırılıyor. İlk aşamada stiren ön-polimerizasyon reaktöründe kısmen polimerleştirilerek sürekli karıştırılan reaktörde işlem görmekte ve bu işlemin hızı reaktörlerin sıcaklıklarına göre değişmektedir. Reaksiyonun sonunda 260 °C’de polimerler eritilmekte ve malzeme küçük delikler olan kalıplara yerleştirilerek basınç uygulanmaktadır. Şekil 2.9’ da stirenin polimerizasyon reaksiyonu gösterilmiştir [10].



Şekil 2.9. Stirenin polimerizasyon reaksiyonu [10]

Günümüzde polistiren polimerlerin kendine özgü fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı, çok geniş kullanım alanlarına sahiptirler. Şeffaflık, işlenebilirlik ve düşük fiyat gibi avantajlara sahip polistiren, hemen hemen tüm alanlarda ihtiyaç duyulan bir malzeme türüdür. Oldukça kırılgan ve kolayca çözülmetedirler. Tüm malzemelerde olduğu gibi polistirenin de, doğaya bırakıldığında yüzyıllarca çözülme özelliği vardır. Günümüzde polimer atıkların doğaya bırakılmaması için çeşitli projeler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır, lakin geri dönüştürülen malzemelerin kullanım alanları kısıtlı olmaktadır. Mevcut tez çalışmada atık polistiren köpüklerinin asfalt çimentosunda karıştırılarak sergiledikleri davranışlar incelenecektir [17].

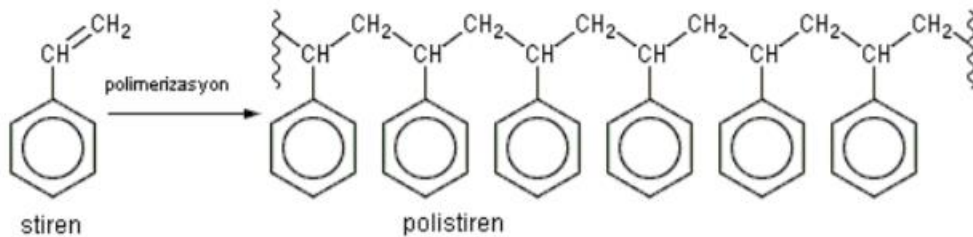
Polistiren köpükleri iki tür olmak üzere Sıkıştırılmış Polistiren ve Genleştirilmiş Polistiren köpükler olarak adlandırılmaktadır. Kimyasal özellikleri hemen hemen aynı olan bu köpükler, yoğunluğa göre sınıflandırılıyorlar. Sıkıştırılmış Polistiren Köpüklerden genel olarak tabaklar, kahve fincanlar, tepsiler ve b. ürünler üretilmektedir. Sıkıştırılmış Polistiren atıklarının geri dönüştürüldükten sonra ofis aletleri ve benzeri eşyalar üretilir [17].

Genleştirilmiş polistiren ise geri dönüştürölüp hammadde haline geldikten sonra köpük özelliklerini kaybetmektedir. Geri dönüşüm halindeyken polistirenin gazı çıkartılıyor. Ortaya çıkan madde önceki malzemeden daha pahalı olmaktadır [17].

Polistiren köpüklerin esas kullanım alanları yalıtım malzemeleri ve paketlenme endüstride işletilmektedirler. Dünyanın nerdeyse her ülkesinde PS köpük atıkları şehir ve bölge belediyeleri tarafından toplanarak ikincil üretime teslim ediliyorlar. Her yıl çoğalmakta olan PS köpükleri gelecekte çevre için büyük tehdit olarak görülmektedir [16,17].

Expanded polystyrene foam (EPS)

Genleştirilmiş PS köpüğü termoplastik malzeme olarak bilinmektedir. Pentan gazının polistiren tanecikleri ile reaksiyonu sonucunda köpük elde olunmaktadır. Kısa süre sonra köpüğün içindeki pentan gazı boşalarak, yerine hava dolmaktadır. ESP ambalaj ve yalıtım malzemesi fonksiyonunda kullanılıyorlar [17].



Şekil 2.10. EPS'nin kimyasal yapısı [17]

ESP üretimi genel olarak 5 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, 100°C derecede pentan gazı ve buhar ile açık şekilde reaksiyona tabi tutulmaktadır. İkinci aşamada, şişirilmiş granülleri pentan gazı terk ederek yerine hava dolmaya başlamaktadır. Üçüncü aşamada, hava ile dolmuş ESP tanecikleri kalıplara yerleştirilmekte, mevcut granül şeklini

kaybetmemeleri için buhar kullanılıyor. Dördüncü aşamada, kalıplardaki malzeme soğutularak şekillendirilmektedirler. En son aşamada ise, folyolanma prosedürü yapılarak kullanıma çıkartılmaktadırlar [17].

Extruded polystyrene foam(XPS)

Genelde ısı yalıtımı işlemlerinde kullanılan XPS homojen yapıya sahiptir. Polistren maddesinin ekstrüzyon işlemine tabi tutularak farklı kalınlıklarda üretilebilmektedirler. Ortaya çıkan XPS malzemesi içerisinde, hava ile dolu, hücre yapısı oluşturmaktadır. Ekstrüzyon işlemi amacı; polistren hammaddesinin şişirilerek XPN'ne dönüşmesi süresinde malzemeni sürekli standart basınç altında bekletilmesidir. En sonda ortaya çıkan XPS malzemesi kullanım alanına göre şekillendirilerek işlemini tamamlamaktadır [18].

2.4. Daha önce yapılmış çalışmalar

Nassar ve d. (2012) tarafından yapıldığı çalışmada atık genleştirilmiş polistiren sert köpük (EPS) Bitümlü Sıcak Asfalt Karışım da kullanılarak karışımın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada bağlayıcı olarak 60/70 penetrasyona sahip asfalt çimentosu ve %(2, 3, 4, 5 ve 6) oranlarda atık polistiren köpüğü kullanılmıştır. Saf bitümün ve modifiye bitümün bağlayıcı özelliklerinin değerlerini belirlemek için Penetrasyon, Yumuşama Noktası, Viskozite deneyleri vasıtasıyla ölçülmüştür. Daha sonra ise BSK hazırlanarak Marshall deneyleri uygulanmıştır. Genel analiz yapıldıktan sonra atık polistiren köpüğünün asfalt karışımında kullanılması için optim oran %5 (asfalt ağırlığına göre) değerinde bulunmuştur. Atık EPS' nin asfalt karışımında kullanılması yolun işlenebilirliğinin artırması ve taşıtların oluşturduğu deformasyonların önlemine alınmasında olumlu etki göstereceği sonucuna varılmıştır [18].

İbrahim (2018) asfalt kaplamalarının fiziksel ve mekanik davranışlarını iyileştirmek amacıyla, BSK'da toz haline getirilmiş cam ve polistiren polimerleri kullanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında 40/50 penetrasyon asfalt çimentosundan ve elek değeri 12,4 mm'den az olan agrega kullanılarak standart karışım hazırlanmıştır ve Marshall Stabilesi, Marshall Oranı, karışımın özgül ağırlığı ve hava boşlukları gibi deneylere tabi tutularak karışımın değerleri incelenmiştir. Standart karışımın optimum bitüm değerini belirlemek için %(4.5, 4.75, 5.0, 5.25, 5.5) oranlarda numuneler hazırlanarak optimum bitüm değer

%4.75 uygun görülmüştür. Daha sonra ise modifiye karışım hazırlamak için %(5, 7, 9) oranlarda öğütülmüş cam ve % (1, 2, 3, 4, 5) oranlarda polistiren karıştırılmıştır. Sonuç olarak %5-%7 oranlarda kullanılan öğütülmüş cam stabilite ve özgül ağırlık değerleri yükseltmiştir, hava boşluk oranında ise düşük değer gözlemlenmiştir. Ancak % 7 ve %9 oranlarındaki öğütülmüş cam stabilitenin ve özgül ağırlık değerlerinin düştüğü görülmüştür. Modifiye Polistiren Karışımında ise %4 polistiren oranı optimum değer olarak alınmıştır [34].

Abdul-Mawjoud ve Thanoon (2015) hazırladıkları çalışmada Sıcak Mastik Asfaltın performansını yükseltmek için stiren-butadiyen-lastiği ve polistiren polimeri malzemeler katmışlardır. 40/50 penetrasyon içeren asfalt karışımın modifiyesi için %(1, 3, 5 ve 7) oranlarda her iki malzemede eklenilmiştir. Üç tür modifiye edilmiş bitümler için Penetrasyon, Duktilit, Yumuşama Noktası, Sıcaklık Duyarlılığı deneyleri uygulanmıştır. Asfalt karışımlar için de Marshall Stabilitesi, Marshall Oranı, Çekme Direnci, Sıkıştırma Direnci ve Esneklik deneyleri uygulanmıştır. Deney sonuçları stiren-butadiyen-lastiği ve polistiren polimerin karışımlarının standart karışımlardan daha olumlu netice gösterdiği görülmüştür. Modifiye karışımlarının su geçirimsizlik oranının yükseldiği ve sıcaklık duyarlılığının düştüğü sonucuna varılmıştır. Sıcak Asfalt Mastik için her iki katkı malzemesinin optimum değeri %5 olarak bulunmuştur [35].

Asmael ve Waheed (2018) asfalt kaplamaların ömürlerini uzatmak ve taşıt yüklerinin oluşturduğu hasarların önlemini almak amacıyla bir çalışma hayata geçirilmiştir. Bu çalışmada 40/50 penetrasyona sahip bitümlü sıcak karışım Polivinil klorid, Phenol lastik ve Polistiren polimer malzemeleri ile modifiye edilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında standart karışım hazırlanarak numuneler çekme direnci ve kalıcı izlerin stabilitesi deneylere tabi tutulmuştur. Daha sonra ise her modifiyeri %(2, 4 ve 6) oranlarda karışıma eklenerek numuneler hazırlanmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre, düşük oranda kullanılan modifiyerler indirekt çekme direncin yükselmesini etkilediği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu karışımların soğuk havalarda kullanılması uygun olacağı gösterilmiştir. Phenol lastiğin kullanıldığı numunelerin deney sonuçları, karışımın kalıcı deformasyon direncinin yükseldiği belirlenmiştir [37].

Abinaya ve d (2016) tarafından yapıldığı bir çalışmada atık polistiren tabaklarını bitümlü karışımda kullanılmıştır. Çalışmanın esas amacı atık polistiren atıkların doğaya zarar

verilmemesi için yol kaplamalarında kullanılması ve laboratuvar koşullarında karışımın fiziksel özellikleri araştırılması olarak belirlenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında 2-3 cm elekten geçecek boyutta kesilmiş polistiren tabakları ısıtılmış bitüm (60/70 Pen.) ile % (5, 10 ve 15) oranlarda karıştırılmıştır. Daha sonra ise Penetrasyon, Yumuşama Noktası, Özgül Ağırlık, Duktinite ve Viskozite deneyleri uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda modifiye bitümün optimum oranı %10-15 arasında olduğu hesaplanmıştır. Polistiren Modifiye Bitümün yol kaplamalarına olumlu etki göstereceği gözlemlenmiştir, dolayısıyla taşıt yüklerinden oluşan çatlamalara karşı uygun bir malzeme olduğu belirlenmiştir [38].

Fatma Nur Üstümkol ve Ayşe Turabi (2009) tarafından yapıldığı çalışmada %3.5 ; 4.0; 4.5; 5.0; 6.0; ve 6.5 oranlarda bitüm bağlayıcısı kullanılarak optimum bitüm değeri %4.9 olarak hesapladıktan sonra mermer tozu, uçucu kül, fosfoalçı ve cam tozu gibi atıkları %7-%0 oranında filler kullanılmıştır. Farklı yüzdelerde atık filler ve taş tozu içeren numuneler Marshall stabilitesi testi ve akma değerlerinin araştırılması yapılmıştır [1].

Selcuk Torun (2015) tarafından yapılan tez çalışmasında rejenere polimerden elde edilmiş Pr Plast S maddesi ile bitümlü sıcak karışımda modifiye edilmiştir. Deneylerin ilk aşamasında %3.0; 3.5; 4.0; 4.5; 5.5; 6.0; oranlarında katkısız bağlayıcı , %0.4 ve %0.8 Pr Plast S katkılı briketler hazırlanılmıştır. Marshall Design yöntemi ile 84 adet numunelerin 3 grup için optimum bitüm oranlarını hesaplayarak fiziksel ve mekaniksel özellikleri karşılaştırılmıştır. Pr Plast S maddesi optimum oranında çoğaldıkça karışımın olumlu sonuçlar gösterdiği görülmüştür. İkinci aşamada ise optimum bitüm oranlarında katkılı ve katkısız numuneleri Hamburg Tekerlek İzi Deneylerinden geçirilmiştir. Hamburg Tekerlek İzi Deneyleri sonucunda Pr Plast S katkısız karışıma göre daha düşük deformasyon değeri gözlemlenmiştir. Pr Plast S ile modifiye edilmiş bitümlü sıcak karışımda tekerlek izi oluşumuna karşı daha yüksek direnç göstermiştir [2].

Deniz Arslan ve d. Hazırladıkları çalışmada 50/70 penetrasyonlu bitüme organik esaslı sentetik çinkofosfat bileşimini (OEÇFB) katarak karışımın özelliklerin iyileştirilmesi amaçlamışlar. OEÇFB kullanılmış bitüm ve modifiye bitümlü karışımlar üzerinde yumuşama noktası, duktinite, Nicholson Soyulma, Marshall dönel viskozite, eğilme kırışi reometrisi, dinamik kayma reometrisi testleri yapılmıştır. Diğer aşamada bitüme ağırlıkça % 1; 2; 3; 5 ve %10 oranlarda karıştırıldıktan sonra OEÇFB'nin optimum oranı %3 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak OEÇFB ile modifiye edilmiş bitümün reolojik davranışlarına

olumlu etkilemiştir ve optimum OEÇFB değerindeki bitümlü karışımlarda Marshall stabilitesinin %6.1, soyulma direncinin %30 ‘dan %95’e arttığı görülmüştür [3].

Ün Uşar(2007) tarafından yapıldığı çalışmaya göre Marshall Stabilite ve akma deneyi için saf bitümden ve polipropilen modifiye bitüm karışımlarından numuneler hazırlanmıştır. Yapılan deney sonucunda geleneksel bitüm karışımı için optimum bitüm oranı, polipropilen modifiye bitüm için optimum polipropilen muhtevası ve optimum bitüm oranı belirlenmiştir. Diğer aşamada ise optimum değerlerde hazırlanan geleneksel ve polipropilen modifiye bitüm karışımlar üzerinde tekrarlı sünme deneyi yapılmıştır. Marshall stabilite deneylere esaslanarak geleneksel karışımda kullanılan optimum bitüm oranı %5, polipropilen modifiye bitüm karışımının optimum propilen oranı %3 ve optimum bitüm oranı ise %5 olarak hesaplanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda polipropilen modifiye bitüm karışımının stabilitesi katkısız karışımlara göre %12 ile %40 oranda arttığı ve numunelerin ömürlerinin üzerinde olumlu etki olduğu görülmüştür [22].

Sinan Hınışlıoğlu ve d.tarafından hazırlandığı çalışmada toz halinde olan HDPE’ nin bitümlü karışımlarla modifiye ederek asfaltın kalıcı deformasyonunu hesaplamak amacıyla, Marshall Tasarım parametrelerini ve sünme davranışları üzerinde araştırma yapılmıştır. Deneylerin parametreler sonucunda, sıkıştırılmış karışım yoğunluğu, karışımın hava boşluk yüzdesi, Marshall Stabilitesi, akma değeri, Marshall oranı, eksenel gerilme ve rijitlik modülü değerleri incelenmiştir. Daha sonra ise HDPE’nin penetrasyon, yumuşama noktası ve duktilite gibi değerlerde incelenmiştir. Çalışma kapsamında 185°C derecede olan karışıma %1-4 oranda (bitümün ağırlığına göre) HDPE karıştırıldıktan sonra sonra 60 dakika içinde karışım hazırlanmıştır. %3 oranında kullanılan HDPE Marshall oranının %57 değerinde arttığı görülmüştür, %2 oranında karıştırılan HDPE ise kalıcı deformasyon değerinin %34 oranında azaldığı ve sünme sertliğinin %52 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Geleneksel karışıma göre HDPE modifiye karışımın sünme değeri 15 dakika sonra fazla olduğu belirlenmiştir [23].

Mustafa (2014) tarafından yapıldığı bir çalışmada atık araba lastiklerinden meydana gelen kauçuk kırıntılarını %2, %4, %6,%8 ve %10 oranlarda 50/70 penetrasyon bitüm ile karıştırılarak bir modifiye karışım elde edilmiştir. Daha sonra duktilite, yumuşama noktası, elastik geri dönüş deneyleri modifiye bitüm üzerinde uygulanarak fiziksel ve mekanik özelliklerine bakılmıştır. Ayrıca Marshall Design yöntemi ile bitümlü karışımın optimum

bitüm oranı hesaplanarak sünme, tekerlek izi ve neme hassasiyet deneylerine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak modifiye edilmiş karışımın optimum bitüm oranı %4 olduğu ve dinamik değerinin standart numunelere göre daha yüksek olduğu gösterilmiştir [19].

Çubuk (2007) tarafından yapıldığı çalışmada bitüm ve bitümlü karışımları epoksi reçinesi, fenolformaldehit, politetrafloretilen ve Mg abietat katkı malzemeleri kullanılarak modifiye edilmiştir. Modifiye bitüm üzerinde, bitümün reolojik özelliklerini belirlemek için, penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası, dinamik kesme reometrisi, döner ince film halinde ısıtma deneyi, fark taramalı kalorimetre, oksidasyon deneyi, asfalt çubuk eğilme deneyi ve yüzey enerjisi deneyi uygulanmıştır. Daha sonra katkı malzemesi kullanılan bitümün agrega ile karışımın üzerinde Nicholson soyulma deneyi uygulanmıştır. Saf ve modifiye bitümlü karışımların stabiletisini Marshall yöntemiyle hesaplanmıştır. Sonuç olarak modifiye bitümün reoloji özelliklerinde olumlu davranışlar gösterdiği belirlenmiştir. Epoksi reçinesi %2 oranda fenolformaldehid reçine %2 oranda, %3 oranda PTFE bitümde kullanıldığında karışımın performansının yükseldiği tespit edilmiştir [20].

Yıldırım (2006) tarafından hazırlandığı çalışmada bitüm ile, %7-20 oranında Polietilen(PE), Polipropilen (PP) ve Polietilen/Polipropilen PE/PP plastik malzemeler kullanılmıştır. Modifiye bitüm karışımının hazırlanması için 2 saat süre içerisinde 200°C’ de karıştırıldıktan sonra %30-35 oranında dolgu ilavesi yapılmıştır. Karışım hazırlandıktan sonra, modifiye bitümün fiziksel performansını belirlemek için; penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası ve soğukta kırılma testleri uygulanmıştır. Sonuç olarak bitümde kullanılması için en uygun plastik malzeme Polietilen/Polipropilen ve optimum polimer oranı ise %17-18 olarak belirlenmiştir [21].

Dilay Uncu (2017) tarafından yapılan doktora tezi çalışmasında polimer esaslı malzemelerin modifiye bitüm üzerinde olumlu etki gösterdiğini, ancak bitümün ve polimerin farklı yoğunluklarda olduğundan dolayı en çok depolama stabilitesi değeri bakımından eksiklerin olduğunu belirtmiştir. Bu problemi aradan kaldırmak amacıyla bitümlü bağlayıcıları nanomalzemeler ile modifiye edilmesinde karışımda olumlu etki gösterileceği düşünülmüştür. Çalışmada halloysit ve sepiyolit kil esaslı nanomalzemelerin SBS modifiye bitümün bağlayıcı etkilerinin yükselmesi amaçlanmıştır. Üstelik modifiye prosedüründe fiziksel karıştırma ve eriyik harmanlama yöntemleri kullanılmıştır. Daha sonra ise geleneksel ve modifiye bitüm numuneleri üzerinde yumuşama noktası,

penetrasyon, dönel viskozite, dinamik kesme reometrisi, depolama stabilitesi, dönel ince film ısıtma etv deneyleri yapıldıktan sonra yaşlandırılmış ve kısa dönem yaşlandırılmış örnekleri yüksek sıcaklık performans sınıfları (beş sıcaklık değerinde) yavaş ve hızlı yüklemeleri temsil eden düşük ve yüksek frekanslardaki reolojik davranışları Superpave şartnamesine göre hesaplanmıştı. SBS polimer modifiye bitüme kil esaslı nanomalzemelerin kullanılması olumlu grlmştr. Sonuç olarak elde edilen bulguların farklı katkı oranları ve karıştırma değerleri ile hazırlanan modifiye bitümlerin fiziksel ve reolojik özelliklerin yararlı olduğu grlmştr [24].

Mehmet Yılmaz ve d. (2015) tarafından yapıldığı çalışmada modifiye bitümlerin depolama stabilitesini üç farklı madde ile (stiren-butadiyen-stiren (SBS), İran Gilsoniti ve Amerikan Gilsoniti) B 160/220 bitümü ile üç farklı oranlarda karıştırılmıştır. Daha sonra ise depolanabilirlik açısından en yararlı katkı maddesini belirlemek için numuneler üzerinde yumuşama noktası, penetrasyon ve dönel viskozimetre testleri uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda stiren-butadien-stiren modifiye bitüm değerleri diğer modifiye bitüm numunelerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir ve SBS'nin depolama stabilitesinin daha uygun olduğu grlmştr [41].

Baha Vural Kök ve d.(2012) tarafından yapıldığı çalışmada B 160/220 penetrasyon asfalt çimentosuna asfaltit malzemesini %2, %4, %6 ve %8 oranlarda ilave ederek modifiye etmiştir. Saf as ve asfaltit katkılı modifiye bitümün mekanik özellikleri araştırılmıştır. Asfalt katkılı modifiye bitümün orijinal bitüme göre penetrasyon değerinin azaldığı, viskozite ve kompleks modülünün arttığı, faz açısı değeri ve yumuşama noktası değerlerinde fark oluşmadığı grlmştr. Marshall rnekleri hazırlanarak yapılan stabilite, indirekt çekme oranı rijitlik modülü (15°C,25°C ve 35°C) ve yorulma değerlerinde yükselmeler olduğu grlmştr. Optimum asfalt oranı %4 olarak belirlenmiştir. Yapılan deneylerden sonra asfaltit ile modifiye edilmiş bitümlü sıcak karışımlarının neme karşı direncinin artmasının ve mekanik özelliklerine olumlu etki edildiği sonucuna varılmıştır [32].

Aladdin Geçkil (2013) yaptığı tez çalışmasının ilk aşamasında atık araç lastiğini önce bitümde daha sonra ise bitümlü karışımda kullanmıştır. İkinci aşamada ise bitümü ve bitümlü karışımı stiren-butadien-stiren (SBS) polietilen esaslı malzemeyle modifiye etmiştir. Hazırlanan numuneler kiriş eğilme deneyi, dinamik kesme reometrisi, indirekt

çekme rijitlik modülü, yorulma, yarım daire eğilme, tokluk indeksi testleri yapıldıktan sonra atık araç lastiği ve SBS ile modifiye edilmiş bitüm ve bitümlü karışımlar arasında kıyaslama yapılmıştır. Sonuç olarak öğütülmüş araç lastiği modifiye SBS modifiyesinden daha elastik yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Araç lastiği modifiye karışımında lastiğin oranı çoğaldıkça çatlak basıncına karşı dirençte artmaktadır, fakat yarım daire deneylerine göre yüksek derecede azalmıştır [20].

Hınıslıoğlu ve Ağar(2004) tarafından yapıldığı çalışmada asfalt çimentosunda HDPE'nin farklı plastik türleri kullanılarak araştırma yapılmıştır. HDPE'ni Marshall Stabilitesi, akma değeri ve Marshall Oranını bitümün kütlesine göre %4, %6, ve %8 oranlarda, sıcaklığı 145° C, 150°C ve 165°C derece olmak üzere ve 5,15,30 dakika içerisinde hazırlanan karışımın özellikleri analiz edilmiştir. Deneyler sonucunda optimum karışım değerleri 165°C derecede, %4 oran HDPE muhtevasında 30 dakika içerisinde hazırlanan karışım olarak bulunmuştur. Optimum karışım değerleri %50 kadar da çok performans göstermiştir. Sonuç olarak HDPE'nin bitümlü bağlayıcılarda kullanıldığında kalıcı deformasyonlara karşı daha yüksek mukavemet gösterdiği görülmüştür [40].

Esmacil Ahmedinia ve d. (2011) tarafından yapıldığı çalışmada atık PET şişelerini parça-parça keserek %0, %2, %4, %6, %8 ve %10 bitümün kütlesine göre taş asfalt mastik karışımına ilava edildikten sonra polimerin karışımdaki optimum oranı %6 olarak belirlenmiştir. Numunelerin üzerinde farklı statistik deneyler analiz edilmiştir. Yapılan deney sonuçlarına esaslanarak atık PET şişelerin taş asfalt mastikte kullanılması faydalı olacağı ve çevre kirliliğine karşı olumlu etki edeceği belirlenmiştir [38].

Marjus Hoxha (2014) hazırladığı çalışmada atık polietilen tereflat (PET) malzemesini %2, %4, %6, %8 ve 10% oranlarda 170°C dereceye getirilmiş 50/70 penetrasyon bitüm ile 30 dakika içinde karıştırıldıktan sonra Yumuşama noktası, Penetrasyon, Duktilite ve Elastik Geri Dönme gibi bitüm deneyleri yapılmıştır. Diğer aşamada ise Marshall Stabilite ve Akma, Nem Duyarlılık ve Dinamik Sünme deneyleri uygulandıktan sonra optimum bitüm muhtevası %5.2 oranında olduğu görülmüştür. Sonuç olarak PET oranının artmasıyla Penetrasyon değerinin düştüğü ve Yumuşama Noktası değerini ise arttığı belirtilmiştir. Marshall Stabilite, Akma deneyi ve Nem Duyarlılık deneyine göre PET modifiye asfaltın şartnamelere uygun olan rakamlar vererek ve neme karşı olumlu etki gösterildiği sonucuna varılmıştır. Dinamik sünme değeri için %2 oranı PET istisna, diğer oranlardaki PET

malzemesinin değerleri kalıcı deformasyona ve tekerlek izine karşı mukavemet gösterildiği görölmüştür [33].

Monika Mohanty (2013) tarafından hazırlandığı çalışmada Hindistan'da bulunan süt firmasının kullandığı OMFED adlı bir plastik kutuyu asfalt çimentosunda kullanarak farklı özellikleri araştırılmıştır. Polietilen malzeme BC, SMA ve DBM gibi üç farklı karışımda kullanılmıştır. Marshall Stabilesi parametrelerine göre optimum bitüm oranları ve optimum polimer oranları belirlendikten sonra karışımda ince agrega yerine granüle cüruf ve uçucu kül ilave edilmiştir. Daha sonra ise Kalıcı Deformasyon Stabilesi, Bitümle Dolu Boşluk, Özgöl ağırlık, Hava Boşluğu, Sünme oranı, Çekme mukavemeti deneyleri yapılmıştır [30].

Moghaddam ve d. (2014) tarafından hazırlandığı çalışmada atık PET malzemesi asfalt çimentosunda kullanılarak karışımın olumlu yönde değiştirilmesi amaçlanmıştır. Hazırlanan karışım numuneleri üzerinde üç aşamalı deneysel analiz yapılmıştır. İlk aşamada farklı PET oranları içeren modifiye asfalt üzerinde; özgöl ağırlık testi, Marshall testi, dolaylı çekme rijitlik modülü testi ve dolaylı çekme direnci testi uygulanmıştır. İkinciğ aşamada ise PET modifiye asfalt karışımın kalıcı deformasyonun statik ve dinamik değerleri hesaplanmıştır. En son aşamada ise birinci ve ikinci aşamaların sonuçları karşılaştırılıp değerlendirilmiştir. Sonuçlar PET malzemesinin asfalt karışımın özelliklerinde değişikler gösterdiği ve asfaltın araç yüklerin etkisiyle yolun bozulmasının önlemini alabileceği görölmüştür [25].

Mohd Ezree Abdullah ve d. (2017) tarafından hazırlandığı bir çalışmada asfalt çimentosunun mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla bitümlü sıcak karışıma %4, %6, %8 ve %10 oranlarda plastik atık ilave edilmiştir. Numuneler üzerinde stabilite, gerilme direnci, esneklik modülü ve dinamik sünme deneyleri uygulanmıştır. Plastik atığın artması durumunda stabilite değerini düştüğü görölmüştür. Diğer taraftan ise atık plastiğin %8 oranda kullanılan karışımın çekme direncinin yüksek olduğı gözlemlenmiştir. Sünme modülünün yüksek olarak gösterdiği değer plastik oranın %8 olması sonucunda belirlenmiştir. Dolayısıyla modifiye bitüm karışımın optimum plastik oranı %8 olduğunun sonucuna varılmıştır [26].

Yücel (2007) tarafından hazırlanmış çalışmada %0,3, %0,6 ve %1 oranda 50/70 penetrasyonlu bitümlü sıcak karışımına polifiber malzemesi ilave edilerek bağlayıcı özellikleri analiz edilmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde; Marshall stabilitesi ve akma deneyleri, özgül ağırlık ve boşluk analizleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen değerlere göre geleneksel karışımlara göre, polifiber ile modifiye edilmiş bitümlü karışımlarının stabilite ve akma performansları daha olumlu etkiler gösterdiği sonucuna varılmıştır [16].

Yaşmun (2009) tarafından yapıldığı bir çalışmada bitümlü karışımda, modifiye etmek amacıyla atık PET ve avtomobil lastiği kullanılmıştır. Modifiye karışımın mekanik ve fiziksel özelliklerin analiz edilmesi için ilk önce bağlayıcı olarak 70/100 penetrasyon bitüm, agrega olarak mıcı ve doğal agrega kullanılarak standart numuneler hazırlanmıştır, daha sonra atık PET malzemesini bağlayıcı olarak ve otomobil lastiğini ise kaba agrega yerine ilave edilerek modifiye karışımın numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde Marshall stabilite ve akma deneyleri uygulanarak karşılaştırma yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre modifiye PET ve otomobil lastiği karışımın stabilizeye ve akma değerine olumlu etki gösterdiği görülmüştür [31].

Çolak (2010) tarafından hazırlandığı bir çalışmada öğütülmüş araç lastikleri bitüm ve bitümlü karışımı modifiye ederek araştırma yapılmıştır. İlk aşamada saf bitüme öğütülmüş kauçuk ilave edilerek dinamik kesme reometrisi, dönel viskozimetre ve diğer bitüm deneyleri uygulanmıştır. Diğer aşamada ise kauçuk ile modifiye edilen karışımın numuneleri üzerinde kalıcı deformasyon, rijitlik modülü ve yorulma özelliklerinin deneyleri yapılmıştır. Daha sonra ise elde edilen verileri SBS ile modifiye edilmiş bitüm ve bitümlü karışımları üzerinde yapılan deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Sonuç olarak kauçuk modifiye bağlayıcıları SBS modifiye bitüm bitüm bağlayıcısına göre işlenebilirlik, elastik davranış değerleri daha yüksek olduğu, ancak sıcaklık hassasiyeti değerinin düşük olduğu görülmüştür. %8 kauçuk içeren modifiye karışımın %2, %3 ve %4 SBS modifiye karışıma göre yorulma değerleri daha olumlu performans sergilemiştir ve geleneksel karışımdan rijitlik değerinin %50 daha fazla olduğu görülmüştür [36].

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, modifiye asfalt çimentosu elde etmek amacıyla bitüm ve atık polistiren köpüğü olmak üzere iki tür malzeme kullanılmıştır.

3.1.1. Asfalt çimentosu

Çalışma kapsamında İzmit TÜPRAŞ (Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş) Rafinerisine ait 50/70 penetrasyon değerinde olan asfalt çimentosu kullanılmıştır. Bu bağlayıcının belirli özellikleri Tablo.3.1’de gösterilmiştir. 50/70 penetrasyonu olan asfaltın tercih sebebi, KGM tarafından Türkiye’deki iklim koşullarına uygun olmasıdır [6].

Çizelge 3.1. AC 50/70 Pen. asfalt çimentosu özellikleri

Özellikler	Birimler	Deney Standartları	Değerler
Penetrasyon 25°C’ta, 100 g, 5 saniye	x 0.1 mm	TS EN 1426	66.33
Yumuşama Noktası (ring and ball metod)	°C	TS EN 1427	50.4
Parlama Noktası	°C	TS EN ISO 2592	314
Çözünürlük		TS EN 12592	99 (En az)
Yumuşama noktası yükselmesi	°C	TS EN 1427	9 (En çok)
Sertleşmeye karşı direnç (a) 163°C’ta		TS EN 12607-1 veya TS EN 12607-2;	0.5 (En çok)
- Kütle değişimi (Isıtmadaki kayıp)	%	TS 121 veya TS EN 12607-1 veya TS EN 12607-2;	50 (En az)
- Kalıcı penetrasyon	%		
- Sertleştirmeden sonra yumuşama noktası	°C	TS EN 1426; TS EN 1427;	48 (En az)

3.1.2. Polistiren köpük

Çalışmada katkı malzemesi olarak kullanılan genleştirilmiş PS köpüğü 0.032 gr/cm^3 yoğunluk değerine sahiptir. PS köpüklerin yoğunlukları $0.028\text{-}0.045 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmektedir, fakat PS köpüğü, yoğunluğa bağlı olmaksızın sıcak karışımlarda benzer davranışlar sergilemektedir. PS köpüğünün, karışımda yoğunluk etkisinin olmaması, malzemede bulunan havadan dolayıdır. Çünkü köpüğün erimesi sonucunda, içerisinde hapis olunan havanın çıkması ile malzeme ham polistirene dönüşerek daha yoğun bir yapıya sahip olmaktadır.

Çalışmadaki modifiye asfalt çimentosu “kuru” yöntemi ile hazırlanmıştır. Kuru yöntem gereği saf asfalt ile atık PS köpüğü eritilmeden önce çelik kap içerisinde karıştırılmıştır (Resim 3.1). Kap içerisinde bulunan bitümün, ağırlığına göre %(2, 4, 6 ve 8) oranlarda katkı malzemesi ilave edilmiştir. Daha sonra ise çelik kaplar etüv içerisine alınarak $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ derecede 1.5- 2 saat zaman içerisinde ısıtılarak eritilmiştir (Resim 3.1, Resim3.2 ve Resim 3.3). Her bir kapın içerisinde bulunan modifiye asfaltın homojen hale gelmesinden emin olduktan sonra, sıvı haldeki karışım bitüm deney kalıplarına dökülmüştür. Kalıpların içerisinde bulunan numunelerin laboratuvar sıcaklığına ($23\text{-}25 \text{ }^{\circ}\text{C}$) gelmesine beklenildikten sonra penetrasyon, duktilite, yumuşama noktası, parlama noktası ve özgül ağırlık gibi geleneksel bitüm deneylerine tabi tutulmuştur. Penetrasyon ve duktilite deneyleri her bir numune için üçer defa, yumuşama noktası numuneleri için ise ikişer defa deney yapılmıştır. Elde edilen verileri ortalama değeri hesaplanarak analiz edilmiştir.



Resim 3.1. PS köpüğünün asfalt çimentosu ile karıştırılması



Resim 3.2. Etüvde ısıtılan modifiye asfalt karışımı



Resim 3.3. Karışımın maksimum ısıtılma sıcaklığı

3.2. Yöntem

3.2.1. Penetrasyon deneyi

Penetrasyon, bitümlü bağlayıcılarının yumuşaklık ve sertlik oranını ölçmesi amacıyla uygulanan bir deneydir. Bu deneyde, bir iğnenin 25°C derecede olan numuneye 100 g ağırlıkla 5 saniyede düşey yönde batarak malzemenin sertlik değeri ölçülmektedir. Asfaltın penetrasyon değerini hesaplamak için 0,1 mm batmış olan iğnenin derinliği 1 penetrasyon olarak değerlendiriliyor, yani iğnenin batma miktarı 10 mm ise penetrasyon 100 olarak saptanır. Penetrasyon değerini çoğalması durumunda adezyon değeri artmakta, katılık ve viskozluk değerleri ise düşmektedir [9, 23, 42, 48].

Mevcut çalışma için Resim 3.4.'de görüldüğü manuel penetrasyon deney cihazı kullanılmıştır. Deneye başlamada önce tüm cihazların kullanıma uygun olduğuna emin olmak için kontrol deneyleri yapılmıştır. Penetrasyon deneyinin ilk aşamasında boş kalıplara, sıcaklıktan sıvı hale gelen asfalt çimentosu, numuneleri dökülmüştür (Resim 3.5). Kalıp içerisindeki malzemenin 25 °C dereceye getirilmesi için oda sıcaklığına sahip suyun içerisine koyulmuştur 1.5 saat bekletilmiştir. Numuneler istenilen sıcaklığa sahip olduktan sonra penetrasyon deneyine tabi tutulmuştur.



Resim 3.4. Penetrasyon deney cihazı



Resim 3.5. Penetrasyon deney numuneleri



Resim 3.6. Penetrasyon deney uygulaması

3.2.2. Yumuşama noktası deneyi

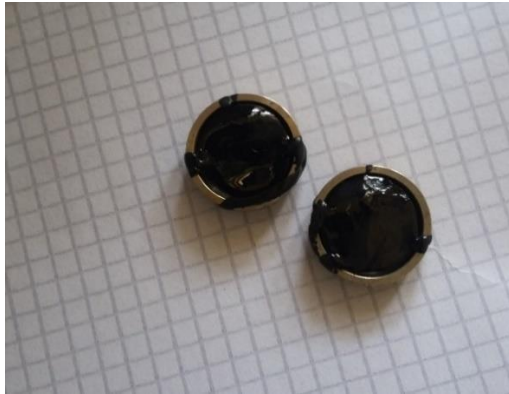
Asfalt çimentosunun belli bir derecede erimeye ve akmasına sebep olan sıcaklık değişimini belirlemek amacıyla uygulanan bir deneydir. Yumuşama noktası, standart bir yüzük içerisine asfalt çimentosu numunesi konularak ve üzerinde standart ağırlıkta bir bilye yerleştiriliyor. Daha sonra ise banyo içerisindeki su ısıtılarak üzerinde bilye yerleşen numunenin suya çökmesi sağlanarak gerçekleştirilen bir deneydir. Penetrasyon değerleri eşit olan iki asfalt çimentosundan birisinin yumuşama noktası değerleri diğerinden farklı ise, o zaman yumuşama noktası fazla olan malzeme sıcaklık değişimine daha dayanıklıdır. Dolayısıyla yüksek yumuşama noktasına sahip asfalt çimentolarının deformasyona karşı direnci de daha yüksek olacaktır [9, 43, 44, 49].

Yumuşama noktası deneyi basit, fakat çok önemli bir deneydir. Bu deneyin kalıplar yüzük şeklinde olduğu için çok düşük hacimde malzeme tüketilmektedir. Resim 3.7’de modifiye asfalt çimentosunun numunelerin yüzüklere (kalıplara) yerleştirilmesi gösterilmiştir. Daha sonra ise (Resim 3.8.) numunelerin cihaza yerleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Resim 3.9’de görülen cihaz ayarlandıktan sonra bir cam kabın 2/3 kadar su eklenilmiştir (-5°C). Yüzükler suyun içerisine yerleştirildikten sonra her numunenin üzerine 2 tane bilye koyularak suyun ısıtılma işlemi başlatılmıştır (Resim 3.9 ve 3.10). Diğer aşamada ise, cam kapın içerisindeki suyun ısıtılması gerçekleştirilmiştir. Suyun sıcaklık derecesi artarak

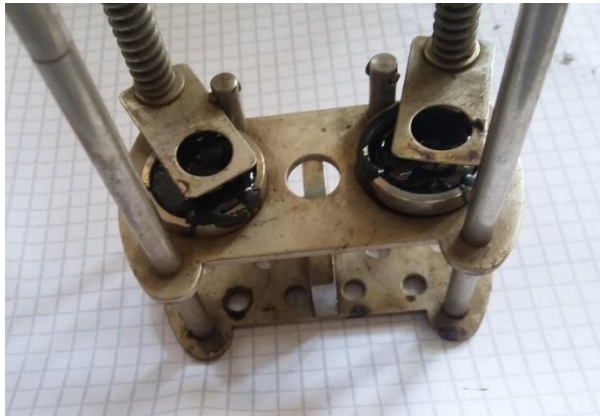
numuneleri yumuşatmış ve yüzüklerin üzerindeki bilyeler bitmn delerek kapın dibine çökmüştür (Resim 3.11). Deney sonrası numunelerin değişme şekli Resim3.12’ de gösterilmiştir.



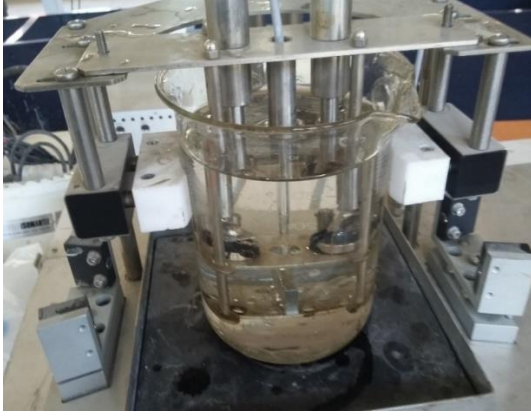
Resim 3.7. Yumuşama noktası deney aletleri



Resim 3.8. Yumuşama noktası deney numuneleri



Resim 3.9. Yumuşama noktası-kalıpların cihaza yerleştirilmesi



Resim 3.10. Yumuşama noktası deneyinin başlanması



Resim 3.11. Yumuşama noktası deneyi- suyun ısıtılma işlemi



Resim 3.12. Yumuşama noktası-deney bitiş aşaması



Resim 3.13. Yumuşama noktası-numunelerin en son aldığı şekiller

3.2.3. Duktilité deneyi

Asfalt çimentosunun uzama yeteneğini ölçmek amacıyla kullanılan bir deneydir. Standart bir kalıbın içerisine yerleştirilerek şekillendirilen asfalt çimentosu numunesinin belirli hızda ve ısıda kopmadan çekilerek uzunluk değeri ölçülmektedir. Duktilité deneyinin yapılması için asfaltın 90°C'dan fazla olmaksızın etüvde ısıtılıyor, ancak asfalt çimentosunun akmasını sağlamak amacıyla sıcaklık değerinin fazla düşmemesi gerekiyor. Daha sonra ise etüvden numuneni çıkartarak bağdaşık hale gelinceye kadar karıştırılır ve kalıbın üst seviyesine kadar ısıtılmış numune dökülür (Resim 3.14. ve Resim 3.15.). Kalıbın içindeki sıcak numuneni 30-40 dakika içerisinde soğutulduktan sonra 30 dakika da su banyosunda saklanır. Sudan çıkartıldıktan sonra kesici bir alet ile asfaltın kalıp dışına çıkmış kısımlar kesilerek alınır. En son kısımda ise duktilité cihazın içerisini 25°C derecesinde olan su ile doldurularak bitümle dolu kalıplar yerleştiriliyor ve her dakikada 5 cm çekilecek şekilde uzatılıyor (Resim 3.16.). Asfalt çimentosu numunesinin kırıldığı an kalıpların arasındaki mesafe hesaplanır. Duktilité değerinin atması durumunda adezyon yeteneği, çekme dayanımı ve deformasyon artar, ısıya duyarlılık ise azalır [23, 28].



Şekil 3.14. Duktilité cihazı



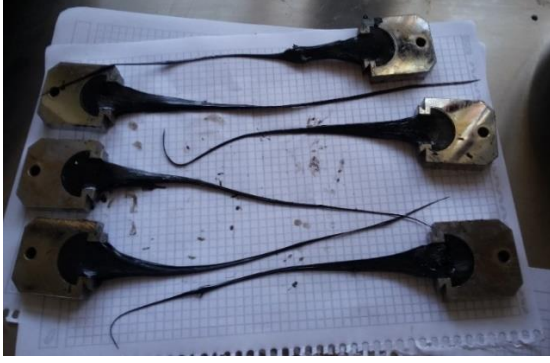
Şekil 3.15. Duktilite kalıpları



Resim 3.16. Numunelerin kalıplara yerleştirilmesi



Resim 3.17. Duktilite deneyi -uygulama aşaması



Resim 3.18. Duktinite deney sonrası numunelerin şekilleri

3.2.4. Parlama noktası deneyi

Parlama noktası asfalt çimentosunun ısıtıldığı zaman, buharın alev temasında geçici olarak parladığı, ancak yanmadığı en düşük sıcaklıktır. Parlama noktası deneyi genelde, yol inşaatı uygulama zamanında asfaltın hangi ısıda alevlenme ve yanma tehlikesinin oluşacağını belirlemektedir. Parlama noktası tayini için asfalt çimentosu küçük bir kaba doldurulmaktadır. İlk aşamada numune dakikada 14-17°C olarak belirli sıcaklığa kadar ısıtılıyor, ikinci aşamada ise ısıtma hızı dakikada 5-6 °C kadar düşürülerek numune alev asfaltın üzerine geçirilir. Dolayısıyla numunenin buharlandığı ve ateşin tuttuğu an parlama noktası değeri olarak belirlenir [22].



Resim 3.19. Parlama noktası deney cihazı

3.2.5. Özgöl ağırlık deneyi

Piknometre Yöntemi

Özgöl ağırlık karışım hesapları için önemli bir deneydir. Asfalt çimentosunun özgöl ağırlığı 25°C sıcaklıktaki bir hacmin, aynı hacimdeki ve sıcaklıktaki suyun farklılık oranıdır. Genelde piknometre yöntemiyle yapılan bu deney yarı-katı asfalt çimentoları ve asfalt emülsiyonları için kullanılmaktadır.



Resim 3.20. Piknometre aleti

Cam kapağın üzerinde hava kabarcıkların çıkışını sağlamak amacıyla 2 mm çapında çıkış borusu bulunmaktadır. Deneyi başlamadan önce piknometre temizlenmelidir daha sonra terazide tartılarak ağırlık değeri ölçülmelidir. Diğer aşamada piknometre saf su ile doldurularak kapağı sıkıca kapanır ve 25°C sıcaklığında olan su banyosunda 40 dakika süresinde saklanır. Banyodan çıkartılan piknometre iyice kurutularak yeniden tartılır. Daha sonra ise asfalt çimentosunun numunesi 25°C dereceye getirilerek piknometrenin ağzına kadar doldurulur ve sıkıca kapatılır. Eğer numune fazla bulunmuş ise, bitüm kapak üzerindeki deliklerden boşaltılıyor ve piknometre temizlenerek tartılır [22,28].

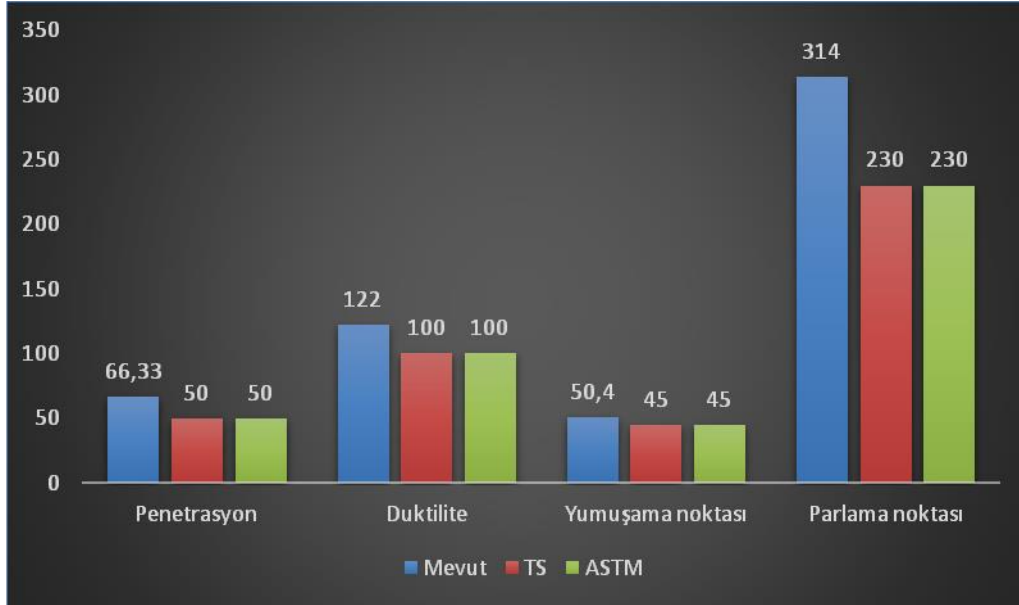
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışmanın bu bölümünde 50/70 penetrasyon değerine sahip asfalt çimentosu, daha sonra ise %2, %4, %6, %8 oranda modifiye edilen asfalt çimentosu üzerinde uygulanan deneylerin analizleri yapılarak genel sonuca varılmıştır. Tüm oranlarda hazırlanan numunelerin deney sonuçları kontrol numunesi deney sonuçları ile karşılaştırılarak her deneyin sonuçları grafik şeklinde ele alınarak yorumlanmıştır.

Bu çalışmada, deney işlemi yapılmadan önce katkısız asfalt çimentosu için laboratuvar verileri değerlendirilmiştir. Çizelge 4.1. ve Şekil 4.1.'de mevcut, yani katkısız 50/70 Pen. asfalt çimentosunun laboratuvar deney değerleri Türkiye (TS) ve Uluslararası (ASTM) standartların minimum değerleri ile karşılaştırılarak, malzemenin deney için uygun olduğu görülmüştür. Çizelge 4.1.' de görüldüğü üzere referans asfalt çimentosunun tüm değerleri standart minimumlarını geçmiştir ve modifiye işlemi için hazır olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.1. TS ve ASTM'nin minimum sınırına göre asfalt çimentosu değerleri

DENEY ADI	STANDARTLAR		
	Mevcut	TS	ASTM
Penetrasyon (x 0.1 mm)	66.33	50	50
Duktilite (cm)	122	100	100
Yumuşama noktası (°C)	50.4	45	45
Parlama noktası (°C)	314	230	230



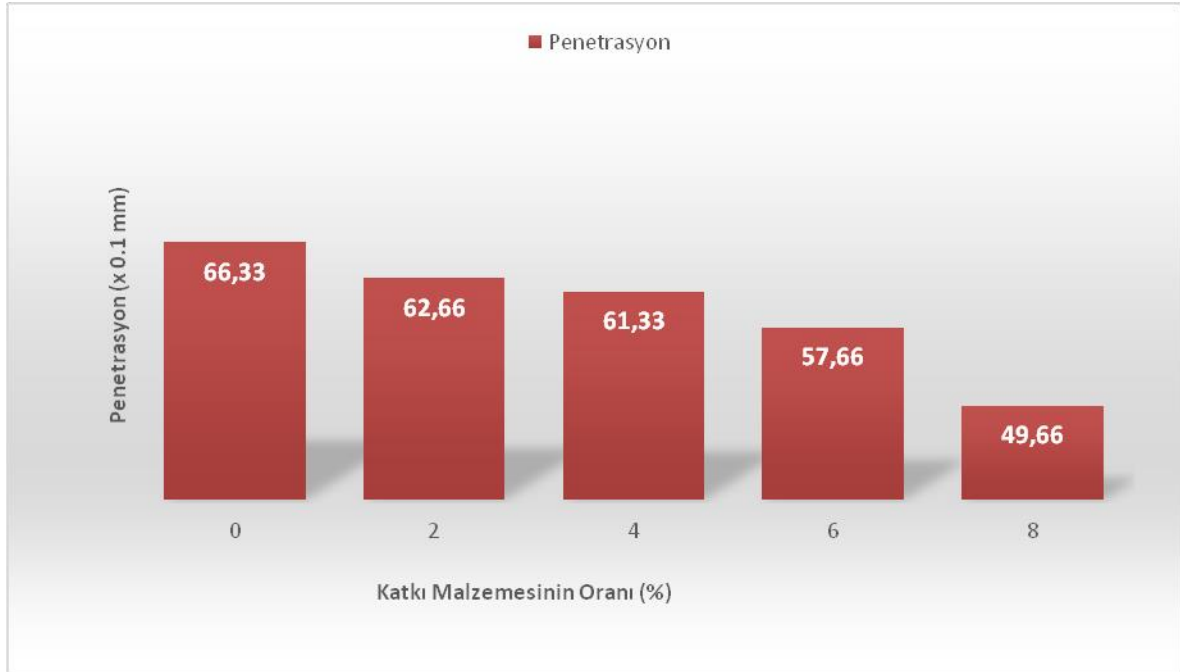
Şekil 4.1. Katkısız asfalt çimentosunun standart limitlerine göre farkı

4.1. Modifiye (AC50/70) Penetrasyon değişimi

Penetrasyon deney sonuçları incelendikten sonra, katkı malzemesinin değeri arttıkça penetrasyon değeri önemli ölçüde düşmüştür. Şekil 4.1.' de görüldüğü üzere %2 oranda modifiye edilen asfalt çimentosunun penetrasyon değeri saf asfalta göre %7.14 oranda düşmüştür. %4 oranda katkı malzemesine sahip asfalt çimentosunun penetrasyon değeri ise daha önceki karışıma göre nispeten daha az düşmüştür (%10.38). Katkı malzemesin kullanım oranı %6'a getirildikten sonra penetrasyon değeri %18.17 oranda düşerek %4 katkı oranı arasında 7.79 kadar fark oluşmuştur. En son aşamada ise, %8 oranında ilave edilen polistiren köpüğünün etkisi 49.66 penetrasyona ulaştırarak katkısız asfalt çimentosu ile farkı %22.07 kadar düşürmüştür.

Çizelge4.2. Modifiye asfaltın penetrasyon değerleri

Polistiren köpük oranı (%)	%0	%2	%4	%6	%8
Penetrasyon (x 0.1 mm),	66.33	62.66	61.33	57.66	49.66



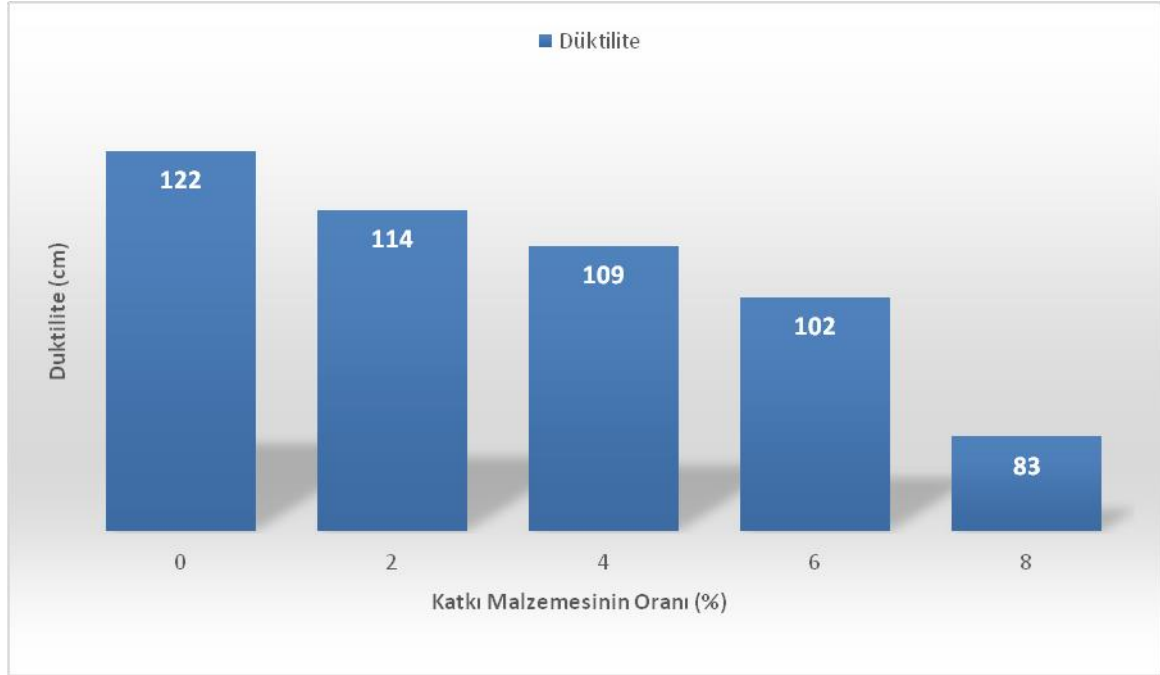
Şekil 4.2. Modifiye asfaltın penetrasyonu

4.2. Modifiye (AC50/70) Duktilité Değişimi

Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere saf asfaltın duktilité değeri 122 cm’ e ulaşılmıştır. Ancak atık PS köpüğün etkisi ile bu değer düşmüştür. İçerisinde %2 katkı malzemesini bulunduran modifiye asfalt çimentosunun duktilitesi 114 cm’e düşerek referans bitüm ile aralarındaki fark da %6.56 olarak hesaplanmıştır. Katkı malzemesinin oranı %4’e yükseldiğinde ise asfaltın duktilité değeri düşmeye devam etmiştir ve bu düşüş oranı katkısız asfalt çimentosuna göre %10.66 olarak görülmüştür. %6 oranda atık PS içeren modifiye bitümde ise düşme oranı %16.39 olarak belirlenmiştir. En son değerde ise, yani %8 oranda katkı malzemesi bulunan bitümün saf bitüm ile kıyaslandığında aradaki fark %22.13 ulaştığı görülmektedir.

Çizelge4.3. Modifiye asfaltın duktilité değerleri

Polistiren köpük oranı, (%)	%0	%2	%4	%6	%8
Duktilité, (cm)	122	114	109	102	83



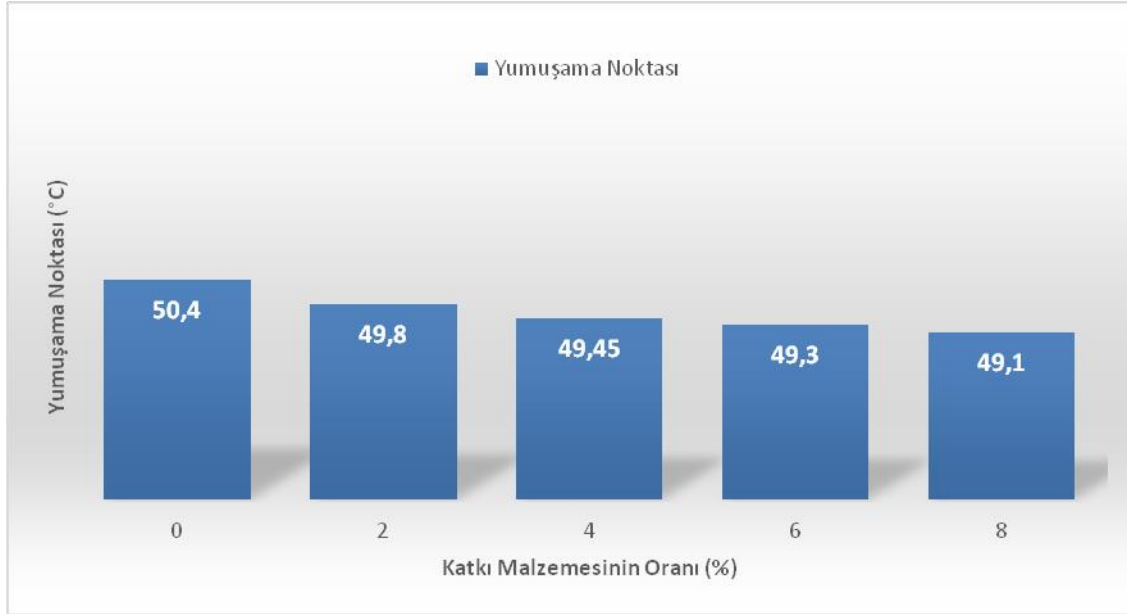
Şekil 4.3. Modifiye asfaltın duktilitesi

4.3. Modifiye (AC50/70) Yumuşama Noktası Değişimi

Asfalt çimentosunun yumuşama derecesi, esnek yol üstyapısının tayini için önemli bir faktördür. Yumuşama noktası deneyinin sonuçları, asfalt çimentosunun hangi iklim koşullarına uygun olduğunu belirler. Mevcut çalışmada, referans bitümün yumuşama noktası 50.4 °C olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3.). Ancak asfaltın ağırlığına göre %2 oranda ilave edilen katkı malzemesinin etkisiyle bu değer %1.19 kadar düşmüştür. %4 katkı malzemesi kullanılan asfalt çimentosunda ise 0.6 °C azalma görülmektedir. Atık PS köpüğünün oranı %6 oranında yükseldiğinde de asfalt çimentosuna yumuşama değeri %2.18 kadar düşerek 43.3°C değeri elde edilmiştir. Asfalt çimentosuna %8 oranında ilave edilen katkı malzemesinin etkisi de çok yüksek derecede değişiklik görülmemiştir, dolayısıyla %8 oranda modifiye bitümün katkısız bitüme göre düşüş oranı % 2.58'e ulaşmıştır.

Çizelge4.4. Modifiye asfaltın yumuşama noktası değerleri

Polistiren köpük oranı, (%)	%0	%2	%4	%6	%8
Yumuşama noktası, (°C)	50.4	49.8	49.45	49.3	49.1



Şekil 4.4. Modifiye asfaltın yumuşama noktası

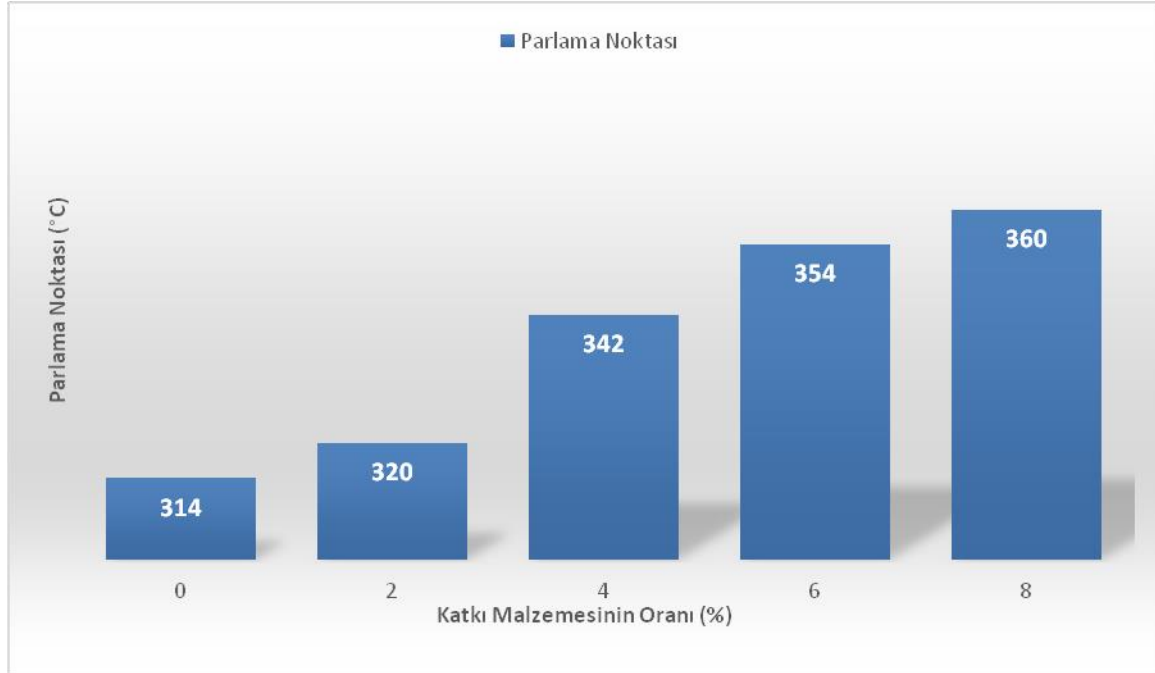
4.4. Modifiye (AC50/70) Parlama Noktası Değişimi

Esnek yol üst yapısının yapımında kullanılan ana malzeme asfalt çimentosudur. Asfaltın yol yapım arazisine getirilmesi, plentmiks temel (PMT) vasıtası ile gerçekleştirilmektedir. PMT'nin uygulama sırasında sıcaklık değerleri yüksek olmaktadır (140-160 °C), dolayısıyla asfalt çimentosunun parlama noktası değerinin de yüksek olması istenilmektedir. Parlama noktası, bitüm bağlayıcısının alev temasından parladığı ancak alevin kalıcı olmaması durumunda gözlemlenen sıcaklık olarak tanımlanır.

Mevcut deneyin sonuçları asfalt çimentosunun uygulama sırasında ısıtılırken ortaya çıkabilecek bir tutuşma ve alev alma olasılığının önlemini almak bakımından önemlidir. Katkı malzemesi atık PS köpüğü olan modifiye bitümün de parlama davranışlarına etki gösterdiği Şekil 5.4. de açıkça görülmektedir. Önceki deneylerin analizlerde de yapıldığı gibi modifiye bitümün parlama değerleri de saf bitümün değerleri ile karıştırılmıştır. Çizelge 5.4' de görüldüğü üzere geleneksel bitüm ile %2 oranda katkı maddesi içeren bitümün farkı 6 °C derecede olmaktadır, bu ise %1.9 oranda modifiye bitümün artışı göstermektedir. %4 oranda ise bitümün parlama noktası değerinin 342 °C dereceye ulaştığı görülmektedir. Saf bitüm ile değer farkı %8.9 oranda olduğu hesaplanmıştır. %6 ve %8 oranda katkı malzemesinin değerleri çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu iki değerle sırayla %12.7 ve %14.7 fark ile yükselmesi görülmüştür.

Çizelge4.5. Modifiye asfaltın parlama noktası değerleri

Polistiren köpük oranı, (%)	%0	%2	%4	%6	%8
Parlama noktası, (°C)	314	320	342	354	360



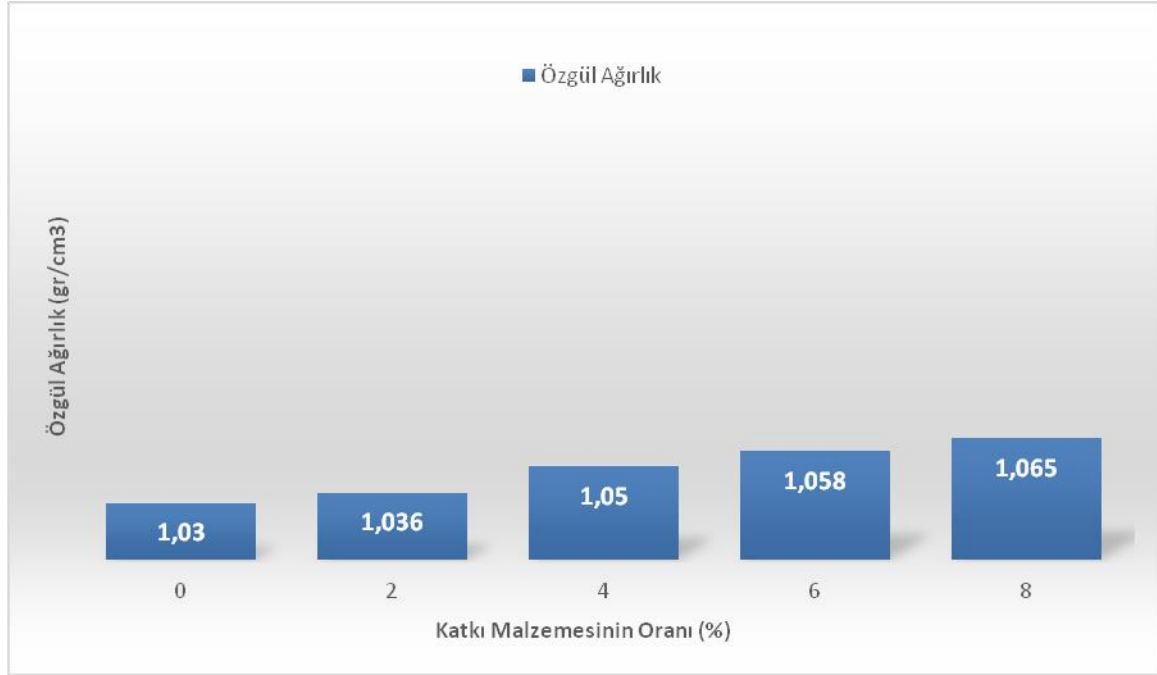
Şekil 4.5. Modifiye asfaltın parlama noktası

4.5. Modifiye (AC50/70) Özgöl Ağırlık Değişimi

Piknometre vasıtasıyla yapılan özgül ağırlık deneyinin sonuçları, modifiye asfaltın özgül ağırlık değerinin katkı malzemesinin oranına göre paralel artış göstermiştir. Buna sebep ise, ergime derecesinde ısıtılan polistiren köpüğünün, içerisinde hapis olunmuş havanın dışarı çıkması sonucunda malzemeni hacminin düşmesidir. Eğer ısıtılmadan önce PS köpüğünün yoğunluk değeri 0.032 gr/cm^3 ise, ısıtıldıktan sonra PS'nin yoğunluğu 1.09 gr/cm^3 ulaşacaktır. Dolayısıyla katkı malzemesi içeren bitümün özgül ağırlık değerinin yükselmesi beklenen bir sonuçtur. Çalışmada, %2 oranda katkı malzemesi içeren bitümün özgül ağırlığı %0.58 oranda yükseldiği hesaplanmıştır. %4 oranda katkı malzemesi içeren bağlayıcının özgül ağırlığı saf bitüme göre 0.02 gr/cm^3 kadar fark oluşturduğu gözlemlenmiştir. %6 ve %8 PS köpüğünü içeren bitümlerin özgül ağırlıkları sırayla %2.71 ve %3.4 oranlarda normal bitüme göre fark göstermişlerdi.

Çizelge4.6. Modifiye asfaltın özgül ağırlık değerleri

Polistiren köpük oranı, (%)	%0	%2	%4	%6	%8
Özgöl ağırlık, (gr/cm ³)	1,030	1,036	1,050	1,058	1,065



Şekil 4.6. Modifiye asfaltın özgül ağırlığı

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye’de ve dünyada atık yönetimi konusunda katkıda bulunmak ve esnek yol üst yapısının ana malzemesi olan, asfalt çimentosunun mühendislik davranışlarını geliştirmek amacıyla deneysel analizler yapılmıştır. Çalışmanın deney gidişatı olumlu sonuçlanarak, atık PS köpüğünün esnek yol üstyapısına hangi yönde katkıda bulunduğu değerlendirilmiştir.

- 1) Penetrasyon deneyinin sonuçlarına göre, %2, %4 ve %6 katkı malzemesinin etkisi, sıcak bölgeler için istenilen bir sonuç olduğu görülmüştür. Fakat %8 oranda katkı malzemesi içeren modifiye bitüm TS, ASTM ve EN standartlarının dışında kalmıştır (TS 118, EN 1426 ve ASTM D1586/1586M).
- 2) Atık PS köpüğünün etkisi modifiye bitümün duktilite değerinin düşmesine sebep olmuştur. Duktilitenin fazla düşmesi istenilmeyen bir davranıştır, ancak bu çalışmada %8 katkı malzemesinin dışında tüm sonuçlar karayolları standartlarına uygun görülmüştür (TS 119, TS EN 22592 ve).
- 3) Yumuşama noktası deneyinde elde edilen verilerin çok az değişiklik gösterdiği ve 4 tür katkı oranı için uygun sonuçlar elde edildiği görülmüştür (TS 120, EN 1427 ve ASTM D 36).
- 4) Bitümün parlama noktasının yüksek olması, sıcak bölgeler için istenilen bir değerdir. Şekil 4.5’te görüldüğü üzere modifiye asfaltın çimentosunun parlama derecesi 360°C kadar yükselmiştir. Dolayısıyla parlama noktasının sonuçları tüm standartlar için uygun olmaktadır (TS 123, EN 1427 ve ASTM D 92-90).
- 5) Polistiren malzemesinin yoğunluğunun yüksek olması, modifiye bitümün de özgül ağırlık değerinin artmasına yol açmıştır. Bu da daha yoğun ve stabil bir üst yapı tasarımı için faydalı olabileceği düşünülmektedir(TS EN 1097-6 ve ASTM C127).

Bu çalışmada, elde edilen sonuçlar atık polistiren köpüğünün asfalt çimentosu üzerindeki etkilerin hangi yönde değişmekte olduğunu göstermiştir. Çalışmada görüldüğü üzere katkı malzemesinin sıcak bölgeler için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmanın devamı olarak, Türkiye’nin ve dünyanın karayolları üstyapılarında karşımıza çıkan tekerlek izi, yorulma çatlamları ve üstyapılardaki yüksek deformasyonları gidermek amacıyla modifiye asfaltın BSK’da mekanik özelliklerinin hangi yönde değişiklik göstermesi ile ilgili çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Üstunkol F. N., ve Turabi, A, (2009, Temmuz). Endüstriyel Atıkların Karayolu Üstyapısında Değerlendirilmesi. *BAÜFBE Dergisi*, 11(1). 15-27.
2. Torun, S., (2015, Haziran). *Bitümlü Sıcak Karışımlarda Katkı Maddesi Olarak PR Plast S Kullanımının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya,45-48.
3. Arslan, D., Gürü, M., ve Çubuk, M. K., (2012, Mayıs). Bitüm ve Bitümlü Karışımların Performans Özelliklerinin Organik Esaslı Çinkofosfat Bileşiği İle Geliştirilmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*. 27(2), 459-466.
4. Tunç, A., (2001, Temmuz). *Yol Malzemeleri ve Uygulamaları*. Türkiye, İstanbul: Atlas yayınevi, 57-100
5. Tunç, A., (2004, Ocak). *Esnek Kaplama Malzemeleri Elkitabı*. Türkiye, Ankara: Asil Yayın Dağıtım LTD. ŞTİ. 89- 96.
6. Orhan, F., (2012). Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları. *Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü*, 10-20.
7. Whiteoak, D., (2004) “*Shell Bitüm El Kitabı*”, Editörleri, Abdullah Hilmi Lav, M. Ayşen Lav, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, 33-34, 47, 50, 101-114, 123, 133-136, 148, 150-159.
8. Özay, O., (2011 Şubat). *Farklı Modifiye Katkılarla Hazırlanan Poroz Asfalt Karışımların Performansların İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
9. Çubuk, M., (2007, Aralık). *Katkı Maddeleri İle Bitümün Reolojik Özelliklerinin Geliştirilmesi ve Esnek Kaplama Malzeme Oluşumunda Problemlerin Giderilmesi*. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara
10. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı. (2006). *Polimerlerin Fiziksel Özellikleri*. *Plastik Teknolojisi*. MEGEP. Ankara.
11. Abinaya1, S., Clement, M., and Shanmugam., S., (2016, June). An experimental study on the properties of extruded Polystyrene waste polymer modified bitumen for flexible pavements. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. ISSN: 2395-0072. 305-308.
12. Ossa, E., A., (2004 September). *Deformation Behaviour of Bitumen and Bituminous Mixes*. Degree of Doctor. Cambridge University Engineering Department. Cambridge.
13. Yılmaz, A., (2016). *Karayolu Malzemeleri Ders Notu*. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. Antalya.

14. Kılıçkalkan, S., (2012, Ekim). Alçak Yoğunluk Polietilen Plastik Atıkları ile Önişlemli Linyitlerin Eş-Pirolizi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
15. Camann, A., Dragsbaek, K., Krol S., Sandgren J., and Song, D. (2012, June). Properties, Recycling and Alternatives to PE Bags. Degree of Bachelor. Worchester Polytechnic Institute. USA.
16. Yücel,H.E., (2007, June). The Effect of the Use Of Polyfibers on Asphalt Mixture Properties. Master Thesis. Gaziantep University , Natural & Applied Sciences.Gaziantep.
17. Maharana, T. , Negi, Y. S. and Mohanty, B. (2007). Review Article: Recycling of Polystyrene,.Polymer-Plastics Technology and Engineering, 46: 7, 729 — 736
18. Nassar, I. M., Kabel, K. I., and Ibrahim, I. M., (2012, November). Evaluation of the Effect of Waste Polystyrene on Performance of Asphalt Binder. ARPN Journal of Science and Technology. Vol. 2, No. 10, 927-935.
19. Mustafa, A. A., (2014, September). The Effect of Crumb Rubber On Asphalt Concrete. Master Thesis. Zirve University İnstitute of Natural Sciences. Gaziantep.
20. Geçkil, A., (2013, Ocak). Öğütölmüş Araç Lastiğinin Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Düşük Sıcaklık ve Elastik Özelliklerine Etkisi.Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ.
21. Yıldırım, Z., (2006, August). Utilization of Waste Plastics in Production of Polymer Modified Bitumen. Master Thesis. Ege University İnstitute of Natural Sciences. İzmir.
22. Uşar, Ü., (2007, Ağustos). Polipropilen Fiber Katkılı Yoğun Bitümlü Karışımların Tekrarlı Sünme Deneyindeki Reolojik Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
23. Hınıslıoğlu, S., Aras H.N., Bayrak O.Ü., (2005, October). Effect of High Density Polyethylene on the Permanent Deformation of Asphalt Concrete. Indian Journal of Engineering & Material Sciences, 456-460.
24. Uncu, D., (2017, Şubat). Polimer Modifiye Bitüm Özelliklerinin Nanomalzemeler Kullanılarak İyileştirilmesi. Yüksek Tisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
25. Moghaddam, T.B., Soltani, M., Karim, R.M., (2014, June). EXperimental Characterization of Rutting Performance of Polyethylene Terephthalate Modified Asphalt Mixtures Under Static and Dynamic loads. Construction and Building Materials. 487-494.
26. Abdullah, M.E., Kader, S.A., Jaja, R.P., Yaacob, H., Hassan, N.A and Wan, C.H., (2017,September). Effect of Waste Plastic as Bitumen Modified in Asphalt Mixture. MATEC Web of Conferences. 103-110.

27. Çabuk, A., (2010, Ekim). *Dünyada ve Ülkemizde Mikro Yüzey Uygulamalarının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
28. Jumaili, M.A., (2016, March). Laboratory Evaluation of Modified Porous Asphalt Mixtures. *Applied Research Journal*, 104-117.
29. Giriş, Ü., (2007, Ocak). *Esnek Üstyapıları ile Rijit Üstyapıların Teknik ve Ekonomik Yönünden Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
30. Mohanty, M., (2013, June). *A Study on Use of Waste Polyethylene In Bituminous Paving Mixes*. Master Thesis. Department of Civil Engineering National Institute of Technology. Rourkela.
31. Yaşmun, E., (2009, Ağustos). *Pet Lifi Katkılı Bitüm Kaplamaların Bazı Dayanım ve Dayanıklılık Özelliklerinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş.
32. Kök, B.V., Yılmaz, M., ve Kuloğlu, N., (2012, Mart). Asfaltitin Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerine Etkisi. *İMO Teknik Dergi*. 5813-5826.
33. Hoxha, M., (2014, June). *The Effect of Waste Polyethylene Terephthalate (PET) on Asphalt Concrete*. Master Thesis. Zirve University Institute of Natural Sciences. Gaziantep.
34. İbrahim, S. K., (2018, March) . Effect of Polystyrene Polymer Modifier and Glass Powder Filler on the Mechanical Characteristics of Hot Mix Asphalt. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 1881-1886.
35. Abdul-Mawjoud, A. A., Thanoon, L. S., (2015, November). Evaluation of SBR and PS-Modified Asphalt Binders and HMA Mixtures Containing such Binders. *Applied Research Journal*. Vol.1, Issue, 9, pp.460-469.
36. Çolak, H., (2010, Kasım). *Öğütülmüş Araç Lastiğinin Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ.
37. Asmael, N. M., and Waheed, M. Q., (2018, May). Investigation of Using Polymers to Improve Asphalt Pavement Performance. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*. ISSN 2313-4410, 38-48.
38. Ahmedinia, E., Zargar, M., Karim, M.R, Abdelaziz, Shafigh, P., (2011, June). Using Waste Plastic Bottles as Additive for Stone Mastic Asphalt. *Materials and Design*. 4844-4849.
39. Baker, M.B., Abende, R., Abu-Salem, Z., and Khedaywi, T., (2016, May). Production of Sustainable Asphalt Mixes Using Recycled Polystyrene. *International Journal of Applied Environmental Sciences*. ISSN 0973-6077. Volume 11, Number 1, pp. 183-192

40. Hınıslioğlu, S., and Açar, E., (2004, January). Use of Waste High Density Polyethylene As Bitumen Concrete Mix. *Material Letters*. 267-271.
41. Yılmaz, M., Kök, B.V., and Yamaç, Ö.E., (2015, March). Determination of Rheological Properties of Polymer and Natural Asphalts Modified Binders After Storage Stability Test. *Journal of Engineering and Natural Sciences*. 157-165.
42. ASTM D 5, Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials. USA: *American Society for Testing and Materials*.
43. AASHTO T 51, Ductility of Bituminous Materials. USA: *The American Association of State Highway and Transportation Officials*.
44. ASTM D 113, Standard Test Method for Ductility of Bituminous Materials. USA: *American Society for Testing and Materials*.
45. AASHTO T 53, Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus). USA: *The American Association of State Highway and Transportation Officials*.
46. ASTM D 36, Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and- Ball Apparatus). USA: *American Society for Testing and Materials*.
47. ASTM D 113-86, Standard Test Method for Ductility of Bituminous Materials. USA: *American Society for Testing and Materials*.
48. TS EN 1426 (Ekim 2015), Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-İğne batma derinliği tayini. TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ. Ankara, Türkiye.
49. TS EN 13589 (Nisan 2009), Bitümler ve bitümlü bağlayıcılar - İşlem görmüş bitümlerin çekme özelliklerinin duktilometre metoduyla tayini. TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ. Ankara, Türkiye.
50. TS 120 EN 1427 (Nisan 2002), Bitümler ve bitümlü bağlayıcılar-Yumuşama noktası tayini -Halka ve bilye metodu. TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ. Ankara, Türkiye.
51. TS 123 EN 22592 (Mart 1996), Petrol ETROL Ürünleri -Parlama ve Yanma Noktası Tayini -Cleveland Açık Kap Metodu. TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ. Ankara, Türkiye.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : RAMAZANOV, Sarvat
 Uyuğu : Azerbaycan
 Doğum tarihi ve yeri : 02.08.1993, Haçmaz
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (534) 854 64 09
 e-mail : servet.rmznv@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Azerbaycan Mimarlık ve İnşaat Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2014
Lise	Azerbaycan, Haçmaz ilçesi Mahmut Abilov adına ortaokul	2010

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-Halen	Erk Proje İmalat Montaj Sanayi Ticaret ve Taahhüt Ltd.şti	İnşaat Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce, Rusça

Hobiler

Satranç, futbol, kitap okumak



GAZİ GELECEKTİR..