T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ FEN

BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN PLASTİKLERİN PİROLİZ YÖNTEMİ İLE SIVILAŞTIRILARAK SICAK ASFALT KARIŞIM İÇERİSİNDE GERİ DÖNÜŞÜMÜ

Sahira Abbas Moustafa AL-OBAİDİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN PLASTİKLERİN PİROLİZ YÖNTEMİ İLE SIVILAŞTIRILARAK SICAK ASFALT KARIŞIM İÇERİSİNDE GERİ DÖNÜŞÜMÜ

Sahira Abbas Moustafa AL-OBAİDİ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK

2018, 78 Sayfa

Jüri
Prof.Dr. Osman Nuri ÇELİK
Dr.Öğr. Üyesi. Necdet ŞEN
Doç.Dr. Murat OLGUN

Dünyada yaklaşık yılda 350 milyon ton plastik üretilmektedır. Son yıllarda plastik ürünler birçok sanayiye girmiştir. Ambalaj, İnşaat, Tıp, Otomotiv gibi alanlarda günlük hayatımızın bir parçası olmuştur, çünkü plastik esnek kolay işlenen, hafif ve diğer malzmelere göre daha ucuzdur. Otomotiv sektöründe plastik kullanmak yakıt tüketimini azaltmak, üretim maliyetini düşürmek gibi önemli avantajlar getirmektedir. Plastik malzemeler aracın toplam ağırlığını yaklaşık % 15 azaltmıştır, ekonomik otomobil üretimi için plastik en uygun malzemedir.

Plastik atıkların yeniden kullanılması önemli bir çevre sorunudur. Plastik atıkları çevrede kolayca çürümez ve çözünmez. Plastiklerin geri dönüşümünün en önemli avantajı, doğal kaynakların korunması, çevrenin kirlenmesinin önlenmesidir. Dünyada yılık otomobil üretimı yaklaşık 100 milyon adettir, bundan dolayı plastik atıklar da artmaktadır. Yukarıda belirtilen nedenlerden ve en iyi şekilde plastik atıklarından faydalanma amacıyla Otomotiv endüstrisinde kullanılan plastiklerin asfalt içerisinde kullanımının geri dönüşüm konusunda yeni bir alan olacağı, geri kazanım için konulan hedeflere katkıda bulunacağı açıktır, yolların da tasarım ömrünü uzatacağını ve ayrıca çevre sorunlarını çözeceği ön görülmektedir.

Bu tez çalısması ile çeşitli otomobillerde kullanım sonrası atık hale gelen plastiklerden oluşan karışım grubu veya gruplarının pirolizi sonucu elde edilen katı ürünlerin, sıcak asfalt karışımlar içerisinde katkı maddesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması ve piroliz ürünlerinin kimyasal analizlerinin yapılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Asfalt, çevre, plastik atıkları, piroliz

ABSTRACT

MS THESIS

RECYCLING PLASTICS USED IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY BY LIQUEFYING WITH PYROLYSIS METHOD IN HOT ASPHALT MIXTURE

Sahira Abbas Moustafa AL-OBAIDI

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE
OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK

2018, 78 Pages

Jury
Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK
Dr.Öğr. Üyesi. Necdet ŞEN
Doç.Dr. Murat OLGUN

About 350 million tons of plastic is produced annually in the world. In recent years plastic products has entered many industries. Packaging, Construction, Medicine, Automotive etc. are part of our daily life, because plastic is flexible, easy to process, light and cheaper than other materials. Using plastic in the automotive sector brings important advantages such as reducing fuel consumption and lowering the cost of production. Plastic materials have reduced the total weight of the vehicleabout 15%, the most suitable material for the production of economical automobiles.

Reuse of plastic waste is an important environmental issue. Plastic waste does not easily decompose and dissolve in the environment. The most important advantage of the recycling of plastics is the protection of natural resources and the prevention of pollution of the environment. In the world, the annual production of automobiles is about 100 million, therefore plastic waste is also increasing. It is foreseen that the use of plastics used in the automotive industry in asphalt will be a new area for recycling. That will contribute to the targets set for recovery and that the ways will extend the design life and solve environmental problems as well as for the above reasons and best utilization of plastic waste.

The purpose of this thesis , it is aimed to investigate the usability of solid products obtained from the pyrolysis of mixed group or groups composed of plastics which have become waste after use in various automobiles as additives in hot asphalt mixtures and to make chemical analyzes of pyrolysis products.

Keywords: Asphalt, environment, plastic waste, pyrolysis

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanma aşamasında engin bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren çok değerli Hocam Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK'e, gerek laboratuvar çalışmalarında verdiği destek gerekse bilgi birikimiyle aktardığı deneyimleri nedeniyle kıymetli Hocam Öğr. Gör. Dr. Mehmet Ali LORASOKKAY'a, Araş. Gör. Mevlüt AKMAZ'a, kimyasal analiz sonuçların değerlenirilmesinde Prof. Dr. Halil Ismet UÇAN'a, Doktora öğrencileri Tahseen AL SHAIKHLI'ye veSaadoon Obaid Eyada'ya, Yüksek Lisans öğrencisi Mohammed Ihsan Aldakuky'a, bana destek olan bütün Hocalarıma ve Arkadaşlara. Son olarak manevi, maddi ve deneysel çalışmalarda hiçbir zaman benden desteğini esirgemeyen eşim Ali Hussein Mustafa Al-OBAİDİ'ye, Babama, Anneme ve tüm Aileme teşekkür ederim.

Sahira Abbas Moustafa AL-OBAİDİ
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
ÖNSÖZ ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**
1. GİRİŞ **1**
1.1. Polimerler 1
1.1.1. Polimer – Plastik nedir ? 2
1.1.2. Polimerlerin sınıflandırılması 2
1.2. Plastik 3
1.2. Otomotivde Plastik Kullanımı 4
1.3. Otomotiv Sanayi 6
1.4. Plastiklerin Geri Kazanımı 9
2. KAYNAK ARAŞTIRMASı **11**
2.1. Geri Kazanım ve Piroliz 11
2.2. Bitüm Modifikasyonu ile İlgili Yapılan Çalışmalar 13
3. MATERYAL VE YÖNTEM **19**
3.1. Piroliz 19
3.2. Distilasyon 23
3.3. Kimyasal Analizler 24
3.3.1. Spektrum analiz (FTIR, 1H-NMR) 24
3.3.2. Elementel analiz 25
3.4. Asfalt Kaplamalarda Kullanılan Malzemeler 25
3.4.1. Agregalar 26
3.4.1.1. Elek analiz 26
3.4.1.2.Los Angeles aşınma deneyi(ASTM C131, AASHTO T96, TS EN 1097-2) 27
3.4.1.3. Özgül ağırlık ve su absorpsiyon deneyi 27
3.4.2. Bitümlü bağlayıcılara uygulanan deney yöntemleri 28
3.4.2.2. Yumuşama noktası deneyi (yüzük-bilya deneyi) 28
3.4.2.3. Yarı katı bitümlü malzemelerin özgül ağırlığı (piknometre metodu) 28
3.5. Marshall Metodu ile Bitümlü Sıcak Karışım Dizaynı 29
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **31**
4.1. Piroliz Deneyi 31
4.2. Distilasyon Deneyi 34
4.3. Kimyasal Analizler 35
4.3.1. Spektrum analiz (FTIR, 1H-NMR) 35
4.3.2. Elementel analiz 35
4.4.1 Elek analizi 36
4.4.2. Los Angeles deneyi 37
4.4.3. Özgül ağırlık ve su absorpsiyon deneyi 39
4.5. Bitümlü Bağlayıcının Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi 40
4.5.1. Penetrasyon deneyi 41

4.5.2. Yumuşama noktası deneyi (halka-bilya deneyi) 42
4.5.3. Özgül ağırlık deneyi 43
4.5.4. Dönel viskozimetre (RV) deneyi 44
4.6. Marshall Metodu ile BSK Dızaynı 46
4.6.1. Marshall deneyi sonuçları 50
5. SONUÇLAR VE ÖNERILER 60
5.1. Sonuçlar 60
5.2. Öneriler 61
KAYNAKLAR 62
EKLER 67
ÖZGEÇMİŞ 69

SİMGELER VE KISALTMALAR

AASHTO	Amerikan Devlet Otoyolları ve Resmi Taşımacılık Birliği
ASTM	Amerikan Malzeme Test Derneği
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
Gsa	Karışımının Zahiri özgül ağırlığı
Gsb	Agrega karışımının hacim özgül ağırlığı
H	Numune Yükseklığı
KTŞ	Karayolu Teknik Şartnamesi
MWh	Megawatt saattir
N	Newton
NMR	Nükleer manyetik rezonans
OBC	Optimum Bitüm İçeriğinin
OMC	Optimum Katkı Maddesi İçeriğini
OPP	Otomobil Plastik Pirolizi
PBT	Polibütilentereftalat
PET	Polietilentereftalat
PMMA	Polimetilmetakrilat
POM	Polioksimetilen
PPE	Polifenileter
ppm	Milyonda bir kısım
R	Numunenin Çapısı
RET	Reaktif Elastomerik Terpolimer
RTFOT	Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deney
RV	Dönel Viskozimetre
$	Amerikan Dolar
SUPERPAVE	Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama
TFOT	İnce Film Halinde Isıtma Deneyi
Vb/VMA	Bitümlü Bağlayıcı ile Dolu Boşluk
Vfb	Bitüm ile Dolu Boşluklar
VMA	Agregalar Arası Boşluk

1. GİRİŞ

Polimerler yaşamımızın her alanına girmiş ve gündelik polimerlerden veya ileri mühendislik polimerlerinden mamul ürünler olarak hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Otomotiv sektöründe sürücüler arabalarında yüksek performans, üstün güvenilirlik , güvenlik, yüksek konfor, yakıt tasarrufu, güzel stil ve düşük fiyatları isterken aynı zamanda taşıtların çevre dostu olmasını da istemektedirler (Pehlivan ve ark, 2004). Bu istekleri karşılayacak en önemli malzemlerden biri de plastiklerdir.

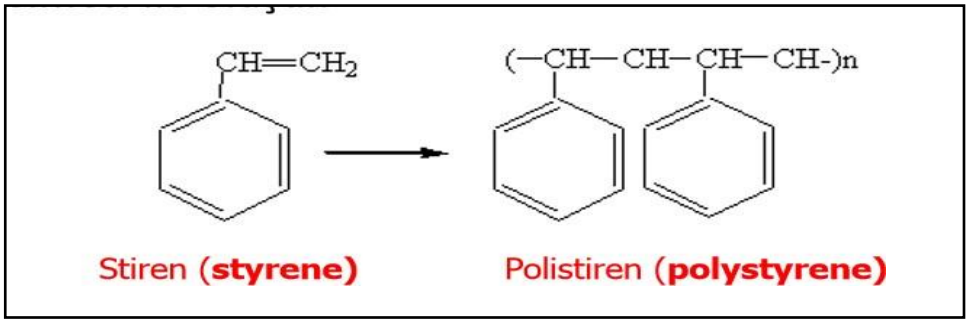
Doğada bozulmadan uzun yıllar kalabilen plastik atıklar, su kaynakların ve toprağın kirlenmesine neden olur. Plastiğin geri dönüşümü için daha az enerji harcanması (bir plastiği geri kazanım için eritirken 120 ile 200 derece arasında ısıtılırken, alüminyum için bu oran 650 derece, cam için ise tam 1400 derecedir). Daha ekonomik olması kullanımını artırmaktadır (Anonim 1, 2018).

Plastik ürünlerin piroliz yöntemi ile geri dönüşümünde 200 ^{o}C nin üzerinde sıcaklıklar gereklidir.

1.1. Polimerler

Türk Dil Kurumu Sözlüğünde Polimer; tekrarlanan yapısal kümelerin oluşturduğu yüksek molekül ağırlıklı bileşikler olarak tanımlanmıştır. Polimeri oluşturan her bir küçük molekül ise monomer olarak adlandırılır (Aydın, 2004).

Buna basit bir örnek olarak “polistiren” (polystyrene) verilebilir. Şekil.1.1 ’de gösterildiği gibi Polistiren birçok stiren monomerinin bir araya gelmesi ile oluşur.



Şekil 1.1. Polystyrene kimyasal yapısı. (Ural , 2013)

1.1.1. Polimer – Plastik nedir ?

Plastik sözcüğü, "biçimlendirme" anlamındaki Yunanca plastikos sözcüğünden gelmektedir. Plastik, karbonun (C) hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve diğer organik ya da inorganik elementler ile oluşturduğu monomer adı verilen basit yapıdaki moleküllü gruplardaki bağın koparılarak, polimer adı verilen uzun ve zincirli bir yapıya dönüştürülmesi ile elde edilen malzemelere verilen genel bir isimdir. Örneğin; Etilen bir monomerdir. En çok kullanılan plastiklerin başında gelir (Anonim2, 2018).

Polimer, birden fazla mer'in (molekülün) ısı ve basınç altında birleşerek uzun zincirlerin meydana gelmesiyle oluşur.

1.1.2. Polimerlerin sınıflandırılması

Polimerlerin sahip oldukları farklı özelliklere göre çeşitli sınıflandırmalar yapılmaktadır. Bu sınıflandırmaların birisi Kimyasal bileşimlerine göre :

a) Organik polimerler: Organik polimerler karbon, hidrojen, oksijen, azot ve halojen atomlarından oluşmaktadır. Bir atomun polimer ana zinciri üzerinde bulunabilmesi için en az iki değerlikli olması şarttır. Bu nedenle hidrojen ve halojen atomları ana zincir üzerinde bulunamazlar. Diğer bir yeterlilik şartı ise ana zincir üzerinde bulunan atomlar arasındaki bağ enerjisinin yeterli olmasıdır. C-C bağ enerjisi 80 kcal/mol , O-O bağ enerjisi 34 kcal/mol ve N-N bağ enerjisinin 37 kcal/mol olduğu göz önünde bulundurulursa en yüksek bağ enerjisine karbon atomları sahiptir. Bu nedenle organik polimerlerin çoğunda ana zinciri karbon atomları oluşturur.

b) İnorganik polimerler : İnorganik polimerlerde ana zincirde silisyum (Si) , germanyum (Ge), bor (B), fosfor (P) gibi elementlerin atomları bulunur. Ana zincirde bulunan atomların bağ enerjileri organik polimerlerde bulunan atomların bağ enerjilerinden daha yüksek değerlerdedir. Bu nedenle organik polimerlerin kullanım alanları oldukça geniş olmasına rağmen, inorganik polimerler daha iyi ısıl dayanıma ve daha yüksek mekanik dayanıklılığa sahiptirler. Doğal ve sentetik zeolitler (Alümina silikat) inorganik polimerlere örnek olarak verilebilir (Ekşi, 2007).

1.2. Plastik

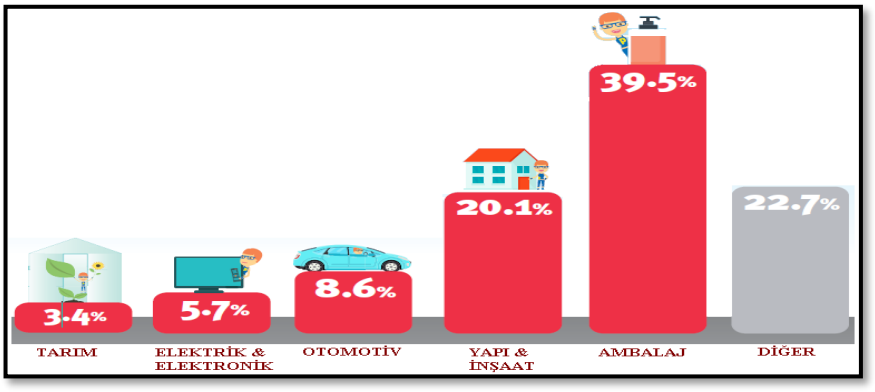
Plastiklerin çoğu fabrikalarda üretilen sentetik maddelerdir. Plastiklerin esası; ham petrol, gaz ve kömürdür. Plastik ham maddesi olarak etilen, formaldehit, karbondioksit veya üre gibi basit organik maddeler kullanılır. Bu maddeler, polimerleşme denilen kimyasal reaksiyonlarla plastiklere dönüştürülür. Ham madde olarak kullanılan maddelere monomer (tek ünite), çoklu monomerlere de polimer (çok ünite) denilir. Polimerler, metal bir zincire benzer (Ural, 2013).

Plastiğin genelde ana kaynağı petrol rafinerisinden arta kalan bakiye maddelerdir. Dünyada üretilen toplam petrolün sadece % 4'ü plastik üretimi için kullanılmaktadır. Plastiklerin diğer hammaddelere göre özellikleri:

a) Hafif olması
b) Tasarım esnekliği
c) Parçaları birleştirme kolaylığı
d) İmalat kolaylığı

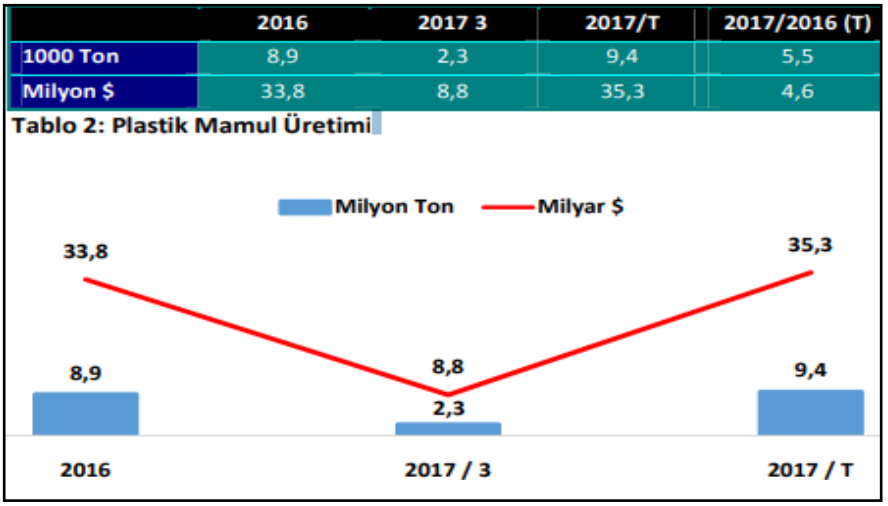
Şekil 1.2.'de Avrupa plastik üretiminin sektörel dağılımında, Otomotiv sektörü 47,8 milyon ton üretimin % 8,6'sını oluşturmaktadır (Anonymous 1, 2015).

2016 yılında üretim 49,9 milyon tona ulaşırken, otomotiv sektörü % 10 seviyesinde gerçekleşmiştir (Anonymous 2, 2017).



Şekil 1.2. Avrupa plastik üretiminin sektörel dağılımı (%) 2014

Şekil 1.3.'de 2017 yılının Mart ayı sonu itibariyle 2,3 milyon ton ve 8,8 milyar dolarlık plastik mamul üretimi gerçekleşmiş olup, aynı trendle sürmesi halinde 2017 sonunda üretimin 9,4 milyon ton ve 35,3 milyar dolara çıkması beklenmektedir.



Şekil 1.3. Yıllar itibarı ile Türkiye plastic mamul üretimi

Bu durumda 2017 yılında toplam plastik mamul üretiminin 2016 yılına kıyasla miktar olarak % 5,5 oranında, ekonomik olarak % 4,6 artabileceği tahmin edilmektedir (Anonim 3, 2017).

Ancak 2017 yılının ilk 3 aylık döneminde 2 milyon 339 bin ton ve 8 milyar 828 milyon dolar olarak gerçekleşen plastik mamul üretimi 2018 yılının eş döneminde 3 milyon 477 bin tona ve 13 milyar 641 milyon dolara çıkmıştır. Plastik mamul üretiminin 2018 yılında 2017 yılına kıyasla miktar olarak % 7,33 artarak 10,1 milyon tona ve ekonomik değer olarak % 10,1 artarak 40 milyar 522 milyon dolara çıkacağı tahmin edilmektedir (Anonim 4, 2018).

1.2. Otomotivde Plastik Kullanımı

Modern araçların yüzde 15'i artık hafifletilmiş plastik malzeme kullanarak üretilmektedir. İnovatif plastik ve kompozit malzemeler kullanılarak 100 kilogram hafifletilen bir araç, ömrü boyunca yaklaşık 750 litre yakıt tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca bu araçların hava yastıkları, emniyet kemerleri, darbelere karşı kullanılan esnek kompozit malzemeleri ile güvenilirliği de oldukça yüksektir (Anonim 5, 2016). Çizelge 1.1.'de Araçlarda kullanılan plastik parçaların hammadde türleri verilmiştir.

Çizelge 1.1. Araçların plastik parçalar üretiminde kullanılan plastik hammadde türleri (Anonim 3, 2017)

Parçlar	**Kullanılan Ana Plastik Maddeleri**
İç süslemeler	PP, ABS, PET, POM, PVC
Kontrol paneli	PP, ABS, PA, PC, PE
Koltuklar	PUR, PP, PVC, ABS, PA
Tamponlar	PP, ABS, PC
Kaput-altı parçalar	PA, PP, PBT
Döşemeler	PVC, PUR, PP, PE
Yakıt sistemleri	PE, POM, PA, PP
Elektrikli parçalar	PP, PE, PBT, PA, PVC
Karoser (Karoser panelleri dahil)	PP, PPE, UP
Işıklandırma	PP, PC, ABS, PMMA, UP
Dış süslemler	ABS, PA, PBE, ASA, PP
Diğer depoler	PP, PE, PA

2015 yılında toplam plastik üretiminin yüzde 5'ini otomotiv plastikleri oluşturmaktadır. Plastiklerin çok yönlü kullanım avantajları ve plastik teknolojisindeki gelişmelerle birlikte bir otomobilin güvenliğinden, konforundan veya sağlamlığından taviz vermeden yeni işlevler kazanabilmesi, plastikleri tasarımcılar açısından da çekici bir malzeme haline getirmiştir.

İleri seviyedeki plastik malzemelerin gücü ve dayanıklılığı otomobilleri korozyona karşı daha iyi korumakta ve ortalama ömrünü 12 yıldan fazla uzatmaktadır. Mukavemet ve darbe dayanımı özellikleri sayesinde plastikler, darbe emiciliğinden hava yastıklarına, yan darbe korumasına ve emniyet kemerlerine kadar tamponlar için temel güvenlik özellikleri sağlar. Örneğin Hindistan'da Reva firması 830 kilogramlık gövdesi tamamen plastikten bir otomobil üretmiştir. BMW, Mercedes gibi dünyanın dev markaları gövdede, camlarda ve jantlarda plastik uygulamalarını devreye sokmak üzere çalışmalar yürütmektedirler (Anonim6, 2016).

Bugün bir otomobil yapımında kullanılan temel plastik ve polimerler yaklaşık 39 farklı tiptedir. Bununla birlikte, otomobilde kullanılan plastik % 66 oranında, aşağıdaki üç polimerlerden oluşmaktadır.

Polipropilen (% 33)

Poliüretan (% 17)

Polivinil-klorür PVC (% 16) (Anonymous 3, 2016).

Otomobil üretiminde iki çeşit plastik kullanılmaktadır:

1- Termoplastikler: Bu plastikler kimyasal özelliklerinde değişme olmaksızın ısıtma ve soğutma işlemleriyle hızlı bir şekilde yumuşamaya ve sertleşmeye yeteneklidirler. Isı uygulandığında yumuşarlar ve erirler, bu özellik plastik kaynak yapabilme imkânı vermektedir.

2- Termosetler: Bu plastiklerin ısısal ve ultraviyole etmenler altında kimyasal özellikleri değişmektedir. Kalıcı bir şekil verildiklerinde oldukça dayanıklıdırlar. Termosetlere plastik kaynak uygulaması yapılamaz ancak yapıştırılabilir (Vatan, 2002).

Çizelge 1.2'de Otomobilde kullanılan plastik türleri ve kullanım yerleri gösterilmiştir.

1.3. Otomotiv Sanayi

Dünyada Otomotiv Sanayi Otomotiv sanayii ile ilgili ilk çalışmalar 1769 yılında Nicolas J. Cugnot'un buharlı otomobili ile başlamıştır. 1867 yılında ilk benzin motorunun imalinden sonra 1885 yılında Almanya'da Gottlieb Daimler ve Karl Benz ilk benzinli motorun yapımına başlamışlardır. Otomotiv sanayiinin başlangıç devrelerinde faaliyette bulunan firmalar küçük atölyelerdi ve uzun süren imal devresi gerekiyordu.

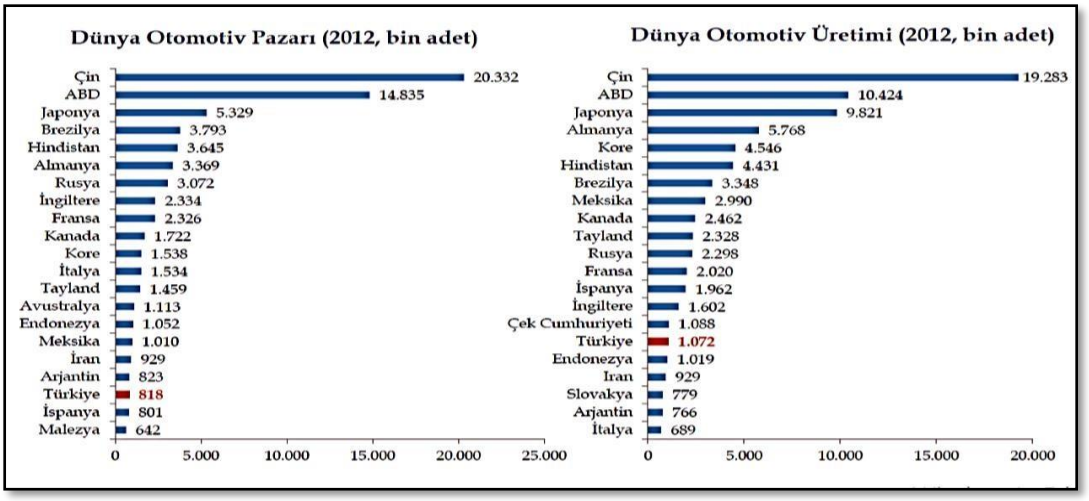
Bundan sonraki dönemde otomotiv sanayiinde farklılıklar görülmüştür. Bu dönemde; imalat için gerekli olan parçalar ve kısımlar ayrı firmalarda yapılmakta ve bu parçalar diğer bir firmada bir araya getirilerek taşıtlar oluşturulmaktaydı (Yeter, 2010).

Dünya çapında, otomobil satışları 2008-2009 ekonomik krizi sırasında önemli ölçüde düşmeye başlamıştır. 2015 yılında, dünyada 65 milyonun üzerinde otomobil üretilmiştir. Bugün, satılan otomobillerin sayısı artan talep sayesinde özellikle Asya pazarlarında, kriz öncesi sayılarına geri dönmüştür. Çin, dünyanın en büyük otomobil üreticisi olarak 2013 yılında 20 milyondan fazla otomobil üretmiş ve dünyanın araç üretiminin yüzde 22 den fazlasına sahip olmuştur (Anonymous 4, 2016). Şekil 1.4'de ve Şekil 1.5'te Dünya otomotiv pazarı ve üretimi arasında bir karşılaştırma gösterilmiştir.

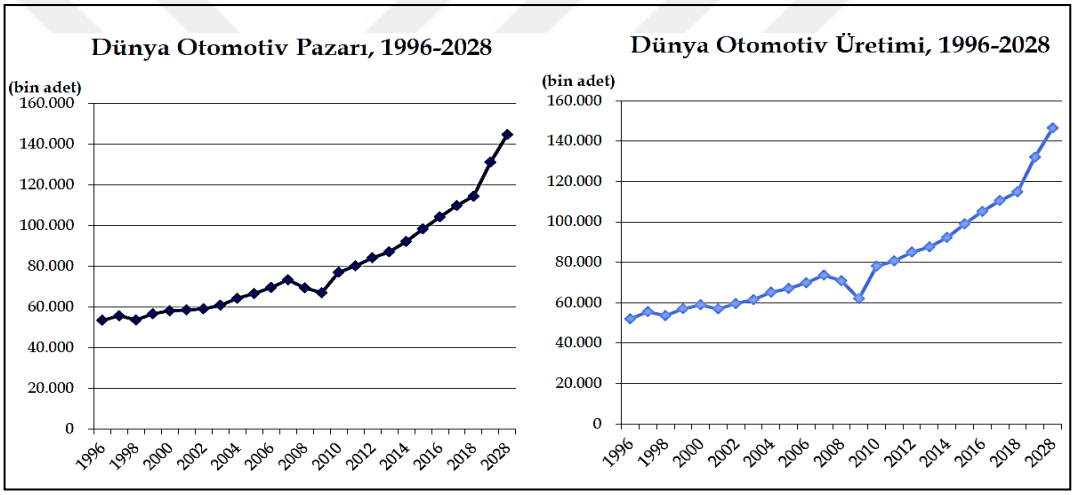
Çizelge 1.2. Otomobilde kullanılan plastik (Vatan, 2002)

Sembol	Kimyasal adı	Genel adı	Tasarım uygulamaları	Termoset/ Termoplastik
ABS	akrilonitrilbutadien-sitren	abs, sikolak, abson, lustran, kralastik, dyle	gövde panelleri, kontrolpaneli, far yuvaları, ızgaralar	Termoplastik
ABS/MAT	fiberglas ile güçlendirilmiş sert	-	gövde panelleri	
ABS/PVC	abs/polivinil klorid	abs vinil	kapıek panelleri	Termoplastik
EP	epoksi	epon, epo, epotuf, araldit	fiberglasa gövde panelleri	Termoset
EPDM	Etilenpropilen dienmonomer	epdm, nordel	tampon iç destekleri, gövde panelleri	Termoset
PA	polyamid	naylon, capron, zytel, rilsan	dış ek panelleri	Termoset
PC	polikarbonat	lexan, merion	ızgaralar, gösterge panelleri, mercekler	Termoplastik
PRO	polipilenoksit	noryl, olefo	ızgaralar, far yuvaları,süslemeler	Termoset
PE	Polietilen	Dylan, marlex, fortiflex, paxon	iç çamurluk panelleri, iç ek paneller	Termoplastik
PP	polipropilen	profax, olemer,aydel, dypro	içmekân şekilleri, iç ek parçalar, iç çamurluk, radyatör örtüsü, gösterge paneli, tampon kaplamaları	Termoplastik
PS	polistiren	lustrex, dylene, styron, fostacr	-	Termoplastik
PUR	Poliüretan	castethane, bayflex	tamponkaplamaları, ön-arka	Termoset
TPU	p poliüretan	pellethane, estane,	tampon kaplamaları, çakıl yansıtıcıları, dolgu panelleri	Termoplastik
PVC	polivinil klorid	geon, vinylete, pliovic	içmekân ek parçaları, yumuşak	Termoplastik
RIM	reaction injection molded poliüretan	-	tampon kaplamaları	Termoset
R RIM	reinforced rimpoliüretan	-	dış gövde panelleri	Termoset

2016 yılında, 2015 yılına göre küresel üretimin % 5 oranında arttığı ve üretimin yarısından fazlasının Asya-Okyanusya bölgesinde gerçekleştiği görülmektedir. Özellikle Çin, Hindistan, Brezilya, Meksika ve Türkiye gibi doymamış iç pazara sahip gelişmekte olan ülkelerdeki talebin, pazar ve üretim dinamikleri açısından itici güç olduğu görülmektedir. Küresel üretimin % 30'unu gerçekleştiren Çin, otomotiv üretimini 2015 yılına göre % 14 artırarak, 2016 yılı otomotiv üretimi sıralamasında 28 milyon 119 bin adet üretim ile ilk sırada yer almaktadır.



Şekil 1.4. Dünya otomotiv pazarı –üretimi (Lmc Automotıve) (Anonim5, 2013)



Şekil 1.5. Küresel araç satışları(Anonim5, 2013)

İkinci sırada yeralan ABD ise otomotiv üretimini 2015 yılına göre % 1 artırarak 12 milyon 198 bin olarak gerçekleştirmiş buna rağmen küresel üretim içindeki payının düşmesine engel olamamıştır. 2015 yılına göre küresel üretim içindeki payı düşen diğer ülke Japonya'da ise otomotiv üretiminin % 1 gerilediği görülmektedir. Türkiye ise otomotiv üretimini, Çizelge 1.3'de gösterildiği gibi, 2015 yılına göre % 9 artırarak 1 milyon 485 bin 927olarak gerçekleştirmiştir (Yılmaz, 2017).

Çizelge 1.3.Dünya Otomotiv üretimi

Dünya		Ülke	Toplam Üretim (Adet)		
2015	**2016**		**2015**	**2016**	**% Değişim**
1	1	Çin	24.567.250	28.118.794	14%
2	2	Amerika (ABD)	12.105.988	12.198.137	1%
3	3	Japonya	9.278.238	9.204.590	-1%
4	4	Almanya	6.033.364	6.062.562	0%
6	5	Hindistan	4.160.585	4.488.965	8%
5	6	Güney Kore	4.555.957	4.228.509	-7%
7	7	Meksika	3.565.218	3.597.462	1%
8	8	İspanya	2.733.201	2.885.922	6%
10	9	Kanada	2.283.307	2.370.271	4%
9	10	Brezilya	2.429.421	2.156.356	-11%
11	11	Fransa	1.972.000	2.082.000	6%
12	12	Tayland	1.909.398	1.944.417	2%
13	13	İngiltere	1.682.156	1.816.622	8%
15	14	Türkiye	1.358.796	1.485.927	9%
16	15	Çek Cumhuriyeti	1.246.533	1.349.896	8%
14	16	Rusya	1.378.246	1.303.989	-5%
17	17	Endonezya	1.098.780	1.177.389	7%
20	18	İran	982.337	1.164.710	19%
19	19	İtalya	1.014.223	1.103.516	9%
18	20	Slovakya	1.038.503	1.040.000	0%

Dünya otomobil pazarı 2017 'de yüzde 2,2 büyümüştür. Alman Otomotiv Sanayi Derneği (VDA) verilerine göre binek otomobil satışları 66 milyon 817 bin adetten, 68 milyon 325 bin adede yükselmiştir (Anonim 7, 2018).

1.4. Plastiklerin Geri Kazanımı

Değerlendirilebilir atıkların kaynağında ayrı toplanması, sınıflandırılması, fiziksel ve kimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye dönüştürülmesi işlemlerinin bütünü“Geri Kazanım” olarak adlandırılır. Doğal kaynakların hızla yok olması, çevrenin hızlı bir şekilde kirlenmesi ve bunların yaşam üzerindeki olumsuz etkilerinin belirginleşmesi ile çevrenin korunması ile ilgili kaygılar artmıştır. Çevre faktörü göz önüne alınmadan gerçekleştirilen endüstriyel gelişmeler bugün yaşanan olumsuzlukların temelini oluşturmaktadır. Enerji, mineraller ve diğer doğal kaynakların önlem alınmadan hızlı bir şekilde yok edilmesi, kişi başına düşen tüketimin hızlı bir şekilde artması önemli bir global sorundur. Gelişmiş ülkelerin bu pazarlarda pay kapma ve payını arttırma eylemi kendi açılarından kısa dönemde başarılı olmaktadır.

Ancak gelişmekte olan ülkelerde çevre bilincinin yetersiz oluşu ve çevreyi koruma ile ilgili yasalarında çok az veya hiç olmaması nedeni ile yeryüzünün bu bölgelerinin hızla kirlenmesi söz konusudur. Bunun da global bir çevre sorunu haline

gelip gelişmiş ülkeler de dahil tüm ülkeleri etkileyeceğinin tahmin edilmesi zor olmadığından çevrenin korunması gerekmektedir. Katı atıklar da çevre ile ilgili önemli sorunlar arasında yer almaktadırlar. Önümüzdeki yıllarda toplam yıllık plastik üretiminin 350 - 400 milyon tona ulaşacağı tahmin edilmektedir (Eker, 2009).

Bu yüksek miktarda üretim ve buna bağlı olarak tüketim polimer atık sorununu da beraberinde getirmiştir. Plastik atık sorununa çöp merkezlerine uygun depolama, geri kazanım, yakma gibi yöntemlerle çözüm aranmaktadır. Cinslerine göre ayrılan geri dönüşebilir plastik atıklar, kırma makinalarında kırılıp küçük parçalara ayrılır. İşletmeler bu parçaları direkt olarak belli oranlarda, orijinal hammadde ile karıştırarak üretim işleminde kullanabildiği gibi; tekrar eritip katkı maddeleri katarak ikinci sınıf hammadde olarak da kullanabilir. 1 ton plastik ambalaj atığının geri dönüşümü sonucunda 14.000 Kwh enerji tasarrufu sağlanmış olur. Örneğin; Türkiye genelinde tasarruf edilebilecek enerji miktarı yıllık 4 Milyon Megawatt saattir (MWh) (Anonim 8, 2011).

Ömrü biten araçların geri dönüşümünde dört adım vardır:

1. Söküm
2. Malzeme Kurtarma
3. Kırma
4. Parçalama

2. KAYNAK ARAŞTIRMASı

2.1. Geri Kazanım ve Piroliz

Vatan (2002) Plastik malzemeleri sınıflandırmıştır ve genel özellikleri ile kullanım alanlarını tanımlamıştır. Atık toplama ve geri dönüşüm için plastik atıkların, atık kaynaklarını, hazırlık aşamalarını geniş olarak açıklamıştır. Malzeme geri dönüşümü, geri dönüşüm seçenekleri, geri dönüşüm tesisleri ve karışık atık arıtımı başlıkları altında incelemiştir. Kombinasyon ve ayırma prosedürleri yurt dışından örnekler ile açıklanmıştır. Otomatik geri dönüşüm uygulamalarına, dünyanın dört bir yanından örnekler dâhil edilmiştir. Otomobillerde plastik kullanımı, tasarımın faydalarının analizi ve otomotiv bileşenlerinin üretiminde geri dönüştürülmüş plastik malzemelerin kullanımı incelenmiştir. Otomobil üreticilerinin geri dönüşüm uygulamalarını ve gelecekteki hedefleri analiz etmiştir. Elde edilen veriler, geri dönüşüm endüstrisinde Türkiye'de daha fazla tüketimin plastik olduğunu göstermiştir.

Kanari (2003) insanların kullandıkları araçlar son yıllarda hem tür hem de miktar olarak sürekli olarak artmaktadır. Ancak, yaşam döngüsü araçları çevreyi çeşitli yollarla etkiler: enerji ve kaynak tüketimi, üretim ve kullanım sırasında atık oluşumu ve kullanım ömürlerinin sonunda yok edilmeleri gereklidir. Avrupa Birliği'nde, kullanım ömürlerinin sonunda otomobillerin yaklaşık yüzde 75'i, özellikle metaller, geri dönüştürülebilmektedir. Otomobillerin kalan kısmı (~% 25) atık olarak kabul edilir ve genellikle düzenli depolama alanına gönderilmektedir. Avrupa Birliği'nin çevre konusunda aldığı kararlar doğrultusunda, bu atıkların 2015 yılına kadar en fazla yüzde 5 orana azaltılması öngörülmüştür.

Angın ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada, aspir tohumu pres küspesinin piroliz deneylerini statik Heinze retortunda (400 cm^3), 400 – 600 °C sıcaklık aralığında, 10, 30 ve 50 °C/dk ısıtma hızında gerçekleştirmişler, sıvı ürün verimini göz önüne alarak en uygun piroliz koşullarını araştırmışlardır. Deneysel çalışma sonunda, en yüksek sıvı ürün verimini (% 33,82) 50 °C/dk ısıtma hızında ve 500 °C sıcaklıkta elde etmişlerdir.

Huang (2007) İngiltere yollarının inşası ve bakımında, büyük miktarlarda taş ocaklarından doğal malzeme tüketildiğini açıklamıştır. Birincil (Hammadde) malzeme yerine ikincil (geri dönüştürülmüş) malzeme kullanımının, depolama basıncını azaltmaya ve ekstraksiyon talebini azaltmaya yardımcı olacağını ileri sürmüştür.

Bununla birlikte, yetersiz yol performansı ve ek maliyetler konusundaki endişeler, bu tür uygulamalarda ikincil agregaların yaygın kullanımını engellemiştir. Bu, özellikle geri dönüştürülmüş katı atık maddelerin asfalt kaplamaların yüzey tabakalarındaki değer uygulamasını temsil edebilecek olan bir durumdur. Bu çalışma için atık cam, çelik cürufu, lastikler ve plastikler seçilmiştir. Teknik gereklilikler için standartlar ve literatürün yanı sıra bu geri dönüştürülmüş malzemeler kullanılarak yapılan asfalt kaplamaların performanslarını da gözden geçirmiştir. Atık oluşumu ve yönetimi, ikincil malzemelerin tedariki için büyük bir potansiyel olmasına rağmen, birkaç faktörün bu geri dönüşüm faaliyetlerini etkili bir şekilde devre dışı bıraktığını göstermektedir. Bu araştırma yeniden kullanılmaların mümkün kılacaktır.

Hayta (2010) fosil enerji kaynaklarından olan Balıkesir Dursunbey linyiti ve Seyitömer bitümlü şistinin sabit yataklı bir reaktörde ayrı ayrı pirolizi ve birlikte pirolizini gerçekleştirilmiştir. Piroliz işlemlerinin ilk aşamasında Balıkesir Dursunbey linyiti ve Seyitömer bitümlü şistinin ayrı ayrı 400 °C, 500 °C, 600 °C ve 700 °C' deki sıcaklıklarda pirolizi gerçekleştirilmiştir. Piroliz işlemlerinin ikinci aşamasında ise, 1:1, 1:2 ve 2:1 ağırlık oranlarındaki linyit / bitümlü şist karışımlarının 400 °C, 500 °C, 600 °C ve 700 °C sıcaklıklarında birlikte pirolizi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde ısıtma hızı, parçacık boyutu ve inert gaz akışı sabit tutulmuştur. Deneysel çalışmalar sonucunda sıvı, katı, gaz ürün verimleri hesaplanmış, verimler üzerine piroliz sıcaklığı ve linyit bitümlü şist oranının etkileri incelenmiştir. Balıkesir Dursunbey linyiti Seyitömer bitümü şistinin 2:1 oranında 600 °C'de birlikte pirolizinde en yüksek sıvı ve gaz verimine ulaşılmıştır. Genel olarak linyit ve bitümlü şistlerin birlikte pirolizinin, linyit ve bitümlü şistin ayrı ayrı pirolizine göre daha olumlu etki yaptığı ve dönüşüm oranını artırdığı ortaya konulmuştur.

Üçgül (2014) akrilik, pamuk ve yün elyaf atıklarını piroliz işlemine tabi tutmuştur ve bu işlem sonucu oluşan katı ürünlerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan piroliz işlemi sırasında pamuk elyafının katı ürün oluşmadığı, akrilik ve yünün katı atık oluşturduğu gözlenmiştir.

Sharuddin ve ark. (2016) her bir plastik türü için piroliz işlemini ve petrol, gaz ve kömür gibi nihai son ürünü etkileyen ana işlem parametrelerini gözden geçirmişlerdir. Küresel plastik üretiminin, birçok sektörde geniş plastik uygulamaları nedeniyle yıllar geçtikçe arttığı belirtilmiştir. Sürekli plastik talebi, atık depolamadaki plastik atık birikimine neden olarak, çevre sorunlarına katkıda bulunan çok fazla alan kullanımını gerektirmektedir.

Plastik talebindeki artış, plastiklerin petrol bazlı malzeme olması nedeniyle yenilenemeyen fosil yakıtın bir parçası olarak petrolün tükenmesine neden olmaktadır. Plastik atıkların yönetilmesi için geliştirilen bazı alternatifler geri dönüşüm ve enerji geri kazanımı yöntemleri geliştirilmektedir. Ancak, ayrıştırma süreci için yüksek işgücü maliyeti gerektirdiği ve proses sürekliliğini azaltan su kirliliğine neden olduğu için geri dönüşüm yönteminin bazı dezavantajları vardır. Bu dezavantajlar nedeniyle, araştırmacılar, yüksek enerji talebini telafi etmek için enerji geri kazanım yöntemine olan dikkatlerini yoğunlaştırdılar. Kapsamlı araştırma ve teknoloji geliştirme yoluyla, plastik atıkların enerjiye dönüşümü geliştirilmiştir. Petrol, plastik üretiminin ana kaynağı olduğundan, piroliz prosesi ile plastikten sıvı yağın geri kazanımı büyük bir potansiyele sahiptir çünkü üretilen yağ ticari yakıtla kıyaslanabilir yüksek kalorifik bir ekonomik değere sahiptir. Bu araştırmada gözden geçirilen anahtar parametreler; sıcaklık, reaktörlerin tipi, kalma süresi, basınç, katalizörler, akışkanlaştırıcı gazın türü ve akış hızı olmuştur. Ayrıca, her bir plastik için sıvı yağ üretimini optimize etmek için çeşitli bakış açıları da bu makalede tartışılmıştır**.**

Punkkinen ve ark. (2017) plastiklerin pirolizi üzerine geniş bir araştırma yapmışlardır. Plastikler karmaşık ve heterojen bir atık akışı oluştururlar. Yılda 26 milyon ton atık olmaktadır. Avrupa'da üçte birinden az plastik atık geri dönüştürülmektedir. Mekanik geri dönüşüme uygun olarak toplanmaktadır. Bu zor olduğu için termal dönüşüm uygulanmaktır. Piroliz ile plastik atık monomerlere dönüştürülebilir. Son zamanlarda plastik atık geri dönüşümlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Polypropilen atık ürünlerde sıvı ürünün biraz daha düşükolduğu belirtilmiştir. Uygun piroliz koşullarını bulmak için Tekno-ekonomik analiz gerçekleştirilmişler.

2.2. Bitüm Modifikasyonu ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Çelik (2000) atık otomobil lastiği ile modifiye edilmiş bağlayıcının asfalt betonunun yorulma davranışına etkisini değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlara göre atık lastik her iki cins bağlayıcının da viskozitesini arttırarak, karışımların yorulma ömürlerini kayda değer bir şekilde uzatmıştır asfalt betonunun yorulma davranışına lastikle modifiye edilmiş bitümün ve farklı bağlayıcı oranlarının (optimum bağlayıcı oranının % 0,5 üstü ve % 0,5 altı) etkisi incelenmiştir.

Chen ve ark. (2003) modifiye bitüme katılması gereken polimer miktarının belirlenmesi için bir araştırma yapmışlar ve belirtildiği gibi optimum polimer miktarının nasıl belirlenmesi gerektiği belirtilmişlerdir. Bu çalışmada iki tip bitümlü bağlayıcıyafarklı oranlarda SBS polimer malzemesi eklenmiş ve modifiye bitümlere yapılan deneyler ışığında araştırmacılara yol gösterilmiştir. Yapılan deneyler sonunda polimer modifiyeli bitümlü bağlayıcıların reolojik özelliklerini iyileştirdiği ve bununda bitümlü bağlayıcının içerisindeki polimer ağların dizilişiyle sağlandığı belirtilmiştir. Bu ağ dizilimini iki farklı şekilde incelersek, düşük polimer oranlarında polimerlerin bitümlü bağlayıcının içinde dağıldığı ve bitümlü bağlayıcı özelliklerini çok fazla etkilemediğini ancak yüksek polimer oranlarında polimer ağının bitümlü bağlayıcı içerisinde şekillenmeye başlaması ve yoğunlaşmasıyla bitümlü bağlayıcının, kompleks modülü, yumuşama noktası ve tokluğunu arttırdığını göstermişlerdir. Oluklanmaya karşı direnç deneylerinden % 6 oranında SBS miktarının optimum şartları sağladığı bulunmuştur. Son olarak ise bütün deney sonuçlarından optimum polimer miktarının reolojik özellikler ve kritik ağ dizilimlerine göre belirlenmesi gerektiği, çok fazla polimerin bitümlü bağlayıcı ile polimerler arasında ayrışmaya yol açacağı ve optimum miktarın değişik polimer oranlarındaki bitümlü bağlayıcılarda yumuşama noktası sıcaklığının 2 °C değişime uğradığı noktanın seçilmesi gerektiğini bulmuşlardır. Bu noktanın da kritik ağ dizilimi noktası olduğunu belirtmişlerdir. Bu noktadan sonra polimer eklemenin malzemenin özelliklerini bozacağını belirtmişlerdir.

Punith ve Veeraragavan (2003) bu geri dönüştürülmüş parçalanmış atık plastik torbalar şeklinde bir bağlayıcı katkı maddesi içeren asfalt beton karışımının davranışını incelemişlerdir. Katkı maddesi 80/100 penetrasyon dereceli bitümlü bağlayıcı içine eklenmiş ve penetrasyon, süneklik ve yumuşama noktası gibi temel deneyler gerçekleştirilmiş ve modifiye bağlayıcının özellikleri incelenmiştir. Laboratuar deneyleri, plastik katkı maddesinin karışım içindeki miktarı arttıkça penetrasyon ve yumuşama noktası değerlerinin azaldığını, ancak yumuşama noktanın plastik modifiye katkı maddesinin katılmasıyla arttığını ortaya koymuştur. Asfalt beton karışımının optimum bitüm içeriğinin (OBC) ve optimum katkı maddesi içeriğinin (OMC) belirlenmesi için Marshall stabilite testleri yapılmıştır. Asfalt beton numuneleri, ASTM 1559 standart test yöntemine göre % 4,5-% 5,0-% 5,5 ve% 6,0 oranında bitümlü bağlayıcı ile hazırlanmıştır.

Plastik katkı maddesinin bitümlü bağlayıcı içerisindeki yüzdesi, bitümlü karışımın optimumkatkı maddesi içeriğini (OMC) belirlemek için değiştirilmiştir ve bağlayıcıdaki optimum katkı maddesinin % 8 (bitümlü bağlayıcı ağırlığına göre) olduğu belirlenmiştir. Hızlandırılmış yükleme ekipmanı kullanılarak Marshall numunelerinde tekrarlanan yük testleri de yapılmıştır.

Şengöz ve Topal (2004) bitümlü çatı yalıtım malzemesi atıklarının bitümlü sıcak karışım (BSK) asfalt içerisinde kullanılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Servis ömürlerinin sonunda bu malzemeler diğer birçok malzemede olduğu gibi atık hale gelmekte ve zamanla çevre kirliliği yaratmaktadır. Çalışmada, atık malzeme asfalt betonu karışımına %1, %2, %3, %4, %5 oranlarında katılarak optimum binder içeriğinde en iyi stabilite değerine %5 oranında ulaşılmıştır. Eklenen atık malzemenin optimum yüzdesi belirlendikten sonra, numuneler lastik izi deformasyon testine tabi tutulmuşlardır. Yapılan hesaplamalar neticesinde, atık malzeme içeren asfalt betonunun bağlayıcı içeriği, bu malzeme katıldığı zaman % 0,5-1 arasında azaltılabilmektedir. Deney sonuçları, bitümlü atık çatı yalıtım malzemesinin BSK'da kullanıldığı zaman, karışımın Marshall stabilitesini ve lastik izi deformasyon direncini geliştirdiğini göstermiştir.

Ceylan (2006) bitümlü sıcak karışımlarda filler olarak kullanılan Carboniferous-Triassic kayaç tozlarının (mor filler) etkisini incelemiştir. % 3,5- 4,0- 4,5 ve 5,0 bağlayıcı oranında ve % 4, % 6 ve % 8 filler oranında Marshall numuneleri hazırlamıştır. Her bir bağlayıcı ve filler oranı için 4'er tane numune hazırlanmıştır. Filler olarak kırılmış kireçtaşı tozu kullanılarak hazırlanan kontrol karışımlar 48 adet ve filler olarak Carboniferous-Triassic kayaç tozları kullanılarak 48 adet olmak üzere toplam 96 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler Marshall deneyine tabi tutularak mor fillerin karışıma etkisi incelemiştir. Farklı oranlardaki mor filler ile yapılan karışımlarda Marshall stabilitesi ve akma değerleri şartname kriterlerine uyması sebebiyle kullanılabilirliği anlaşılmıştır.

Yılmaz ve Ahmedzade (2008) bitümlü bağlayıcıların kısa dönem yaşlanmasını laboratuar ortamına yansıtmak amacıyla en çok kullanılan iki yöntem olan İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (TFOT) ve Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deney (RTFOT) yöntemleri karşılaştırmışlardır. Penetrasyonu 160/220 olan bitümlü bağlayıcıya dört farklı oranda (%1,5-3,0-4,5-6,0) Stiren-Butadiyen-Stiren (SBS) ilave edilerek modifiye bağlayıcılar hazırlamışlardır. Saf ve modifiye bağlayıcılar TFOT ve RTFOT yöntemleriyle yaşlandırılmıştır.

Yaşlandırılmamış ve TFOT ile RTFOT yöntemleri ile yaşlandırılmış bağlayıcılara penetrasyon ve yumuşama noktası deneylerini uygulamışlardır. Ayrıca bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılıkları ve yaşlandırma etkisiyle meydana gelen kütle kayıplarını belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlardan yaşlandırmadan önce ve sonra SBS içeriği arttıkça bağlayıcıların yumuşama noktası değerlerinin arttığı, penetrasyon ve ısıya karşı duyarlılıklarının azaldığını belirtmişlerdir. TFOT yönteminde RTFOT yöntemine göre daha fazla yaşlanma meydana geldiği, penetrasyon değerlerinin daha düşük, kütle kaybı ve yumuşama noktası değerlerinin ise daha yüksek olduğu, ısıya karşı duyarlılıklarının benzer olduğunu tespit etmişlerdir.

Şengöz ve ark. (2009) yaptıkları araştırma ile farklı tip modifiye edicilerle (SBS, EVA ve EBA) 50/70 penetrasyonlu saf bitümlü bağlayıcıyı karıştırmışlardır. Yapılan konvansiyonel deneyler ve elektron mikroskobu görüntüleri ertesinde, modifiye edilmiş bitümlerin ana özellikleri ve morfolojilerinin polimer tipine ve miktarına bağlı olduğunu belirtmişler, polimer modifiyesinin penetrasyon, yumuşama noktası ve sıcaklık hassasiyeti gibi konvansiyonel özelliklerini iyileştirdiğini göstermişlerdir. Son olarak ise polimer oranıyla polimerlerin yüzdece dağılma alanları arasında bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir.

Tapkın ve ark. (2009) bitümlü bağlayıcının sünme davranışı ile ilgili bir çalışma hazırlamış bu çalışmada polipropilenin bitümlü bağlayıcının içerisindeki davranışı incelenmişlerdir. Bu çalışmada 50/70 penetrasyonlu bitümlü bağlayıcıya modifiye yapıldıktan sonra Marshall stabilitesi test aleti ile stabilite ve akma değerlerine bakılmıştır. Ayrıca çalışmada 3 tip polipropilen (M-03, M-09 ve atık polipropilen) kullanılmış, modifikasyon 165 - 170 ^{o}C'deki bitümlü bağlayıcıile fiberlerin dakikada 500 devir yapan mikser ile 2 saat karıştırılmasıyla yapılmıştır. Tekrarlı sünme deneyi için numuneler 24 saat 50 ^{o}C'de bekletilmiş, numunelerin farklı yükleme şekilleriyle nasıl davrandığını anlayabilmek için 3 farklı yükleme paterni seçilmiştir (100, 207 ve 500 kPa). Asfalt karışımlara polipropilen eklenmesi numunelerin Marshall değerlerini yaklaşık % 20 oranında arttırmıştır. Numunelerin rijitliklerinde gözle görülür bir şekilde olumlu yönde bir artış yaşanmıştır. Bütün analizlerin sonucu göstermiştir ki tekrarlı yükleme altında polipropilen fiber katkısı numunelerin ömrünü arttırmıştır.

Karacas (2009) değişik şekil ve boyuttaki atık lastiklerin asfalt betonu içerisindeki etkisini araştırmıştır.Tüm dünyada evsel ve endüstriyel üretim işlemlerine bağlı olarak atık maddeler üretilmektedir. Atık maddelerin miktarı her geçen gün artmaktadır. Ayrıca atık maddelerin depo edileceği alanlar azalmakta ve tekrar kullanım alanları sınırlıdır.

Atık maddeler çeşitli yöntemler kullanılarak tüketilmeye çalışılmaktadır. Atık lastikler genelde yakılarak tüketilmektedir. Bu kolay ve ucuz bir yöntem olmasına rağmen atık lastiklerin yakılması çevre kirliliği açısından sorun oluşturmaktadır. Son 30 yılda atık maddelerin yapı üretim malzemesi olarak kullanılabilirliği ve yeniden kazanımı konusunda araştırmalar yapılmaktadır. Numuneler üzerinde Marshall Deneyleri, sünme deneyleri yapılmış ve sonuçlar ortaya konulmuştur.

Keyf (2010) yaptığı çalışmada, kent içi karayollarında uygulanmakta olan asfalttaki bitümlü bağlayıcının modifiye edilerek özelliklerinin geliştirilmesini amaçlamıştır. Bitümlü bağlayıcının sıcaklığa karşı duyarlılığını azaltmak ve üst yapının hizmet ömrünü artırmak amacıyla bitümlü bağlayıcıya katkı maddesi ilave ederek yeni asfalt bileşimi oluşturmuştur. Çalışmada, yeni bir katkı malzemesi olarak DUPONT firması tarafından geliştirilen elastomerik reaktif terpolimer olan ELVALOY RET kullanılmıştır. Elvaloy RET ve SBS'nin bitümlü bağlayıcıya ilave edilmesiyle son üründe saf bitümlü bağlayıcıya göre penetrasyon değerinin azaldığı, penetrasyon indeksinin arttığını belirtmiştir.

Alataş ve Kirizgil (2012) çalışmalarında, saf ve iki farklı oranda SBS içeren bitümlü bağlayıcıları değerlendirmişlerdir. Öncelikle saf ve modifiye bitümlü bağlayıcılara kısa dönem yaşlanmadan önce ve sonra penetrasyon ve yumuşama noktası testleri uygulamışlardır. Böylece SBS katkı maddesinin bitümlü bağlayıcının kıvamı ve ısı hassasiyeti üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Daha sonra saf ve SBS modifiyeli bağlayıcıların agregayla karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları, AASHTO TP48 standardına göre belirlenen dönel viskozimetre deney sonuçlarından faydalanılarak tespit edilmiştir. Dönel viskozimetre deneyleri sonucunda hem 135 ºC sıcaklıkta hem de 165 ºC sıcaklıkta SBS içeriği arttıkça, bağlayıcıların viskozite değerlerinin arttığı belirtilmiştir. Viskozite değerlerine bağlı olarak bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının arttığını tespit etmişlerdir.

Yılmaz ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada saf ve % 4 oranında 3 farklı polimer (iki tür stiren-butadien-stiren ve bir tür etilen-vinil-asetat) içeren bağlayıcılarla hazırlanan karışımların kalıcı deformasyonlara karşı dayanımlarını incelemişlerdir. Numuneler merdaneli sıkıştırıcı kullanılarak % 4 boşluk oranına sahip olacak şekilde hazırlanmıştır. Viskozite deney sonuçlarından özellikle etilen-vinil-asetat (EVA) kullanımı ile daha yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyulacağı belirtilmiştir.

Ayrıca tekerlek izi deneyleri neticesinde katkı kullanımı ile karışımların tekerlek izi oluşumuna karşı dayanımlarının arttığını tespit etmişlerdir. Tekerlek izi oluşumuna karşı en etkin katkı maddesinin EVA olduğunu belirtmişlerdir.

Torun (2015) katkı maddesi olarak Pr Plast S kullanmıştır. Pr Plast S katkı maddesi rejenere polyolefinden elde edilmektedir ve karışımlara doğrudan eklenebilmektedir. Çalışmanın ilk bölümünde %(3,0-3,50-4,0-4,5-5,0-5,5-6,0) bağlayıcı oranlarında orijinal katkısız, % 0,40 Pr Plast S katkılı ve % 0,80 Pr Plast S katkılı üç grup numune üretilmiştir. Toplamda 84 adet Marshall briketi üretilmiştir. Marshall Tasarım Yöntemi ile 3 grup karışım için optimum bitüm miktarları tespit edilerek mühendislik özellikleri karşılaştırılmıştır. Katkı maddesi optimum bitüm miktarını arttırmakla birlikte, karışım özelliklerini iyileştirdiği gözlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yolcu ve malların taşınması ihtiyacı, yolların yapılmasını gerektirmekdir. Şu anda yollar önemli ölçüde genişlemiş ve ülkeleri birbirine bağlayan geniş bir ağ haline gelmiştir. Ülkelerin ekonomisini daha güçlü bir hale getirmesiiçin ek yollara duyulan ihtiyaç artmaktadır.Bu nedenle ekonomik hareketlilik açısından ülkelerin geniş bir yol ağına sahip olması uygun olacaktır. Genelde yol yapımını etkileyen faktörleri, iklim faktörleri, insan ve ekonomik faktörler olarak sıralayabiliriz.

Günümüzde ABD gerek kara yolu kalitesi gerekse uzunluğu bakımından birinci sıradadır. En yoğun karayolu Japonya ve Batı Avrupa ülkelerindedir. Asya'da Çin, Pakistan'ın doğu kesimi ve Güney Hindistan yoğun kara yolu ağına sahiptir. Asya'da en önemli kavşak Türkiye'dir. Asya ile Avrupa'dan gelen yollar birbirine Türkiye'de bağlanır.Başarılı ve etkin bir ekonomik kalkınma için kara yolları ağı, tüm ülkeler açısından önemlidir. Ülkeler kara yollarını geliştirme ve genişletme noktasında büyük çabalar sarf etmektedir. Daha fazla kara yolu ihtiyacının karşılanması için takip edilen sürecin en önemli başlıkları; güvenlik, çevreye uyum ve ekonomik etmenlerdir. Kara yolları, mal ve eşya taşımacılığı açısından deniz ve demir yollarını birbirine bağlar (Anonim 9, 2018).

3.1. Piroliz

Piroliz sözcüğü Yunanca'da ortamda gaz (inert, indirgen veya yükseltgen gaz) olmaksızın gerçekleştirilen ısıl bozundurma anlamına gelmektedir. Piroliz, organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılarak gaz, katı ve sıvı ürünlere ayrılması işlemidir. Piroliz işleminde, teorik olarak gerekli ısı miktarı, organik maddenin kimyasal yapısını bozacak ve yeni kimyasal maddelerin oluşumunu sağlayacak düzeyde olmalıdır. Isıl bozundurma işlemi genellikle katı yakıt açısından değerlendirildiğinde "karbonizasyon", sıvı ve gaz yakıt açısından değerlendirildiğinde ise "piroliz" olarak adlandırılır (Üçgül, 2014).

Oksijensiz ortamda ısıl bozunma ile gerçekleşen piroliz, gazlaştırma ile karşılaştırıldığında (800–1100) °C daha düşük sıcaklıklarda (500–800) °C gerçekleşir. Uygulanan piroliz teknolojilerine bağlı olarak piroliz ürünlerinin dağılımı değişmektedir.

Hızlı veya flash pirolizde uygulanan sıcaklığa bağlı olarak gaz ve sıvı ürün verimi artarken, karbonizasyon olarak da bilinen yavaş pirolizde katı ürün (aktif karbon) verimliliği artmaktadır (Önal, 2007).

Pirolizin doğrudan yanma süreçlerine göre bazı avantajlari vardır ve bu nedenle kullanım alanı daha fazladır. Biyokütle ve atıkların yakıt olarak doğrudan kullanımında ortaya çıkan düşük enerji yoğunluğu ve yüksek depolama, taşıma maliyetleri gibi dezavantajlar, biyokütleye piroliz işlemi uygulanarak, taşıma ve depolama maliyetleri daha düşük ve yüksek enerji yoğunluğuna sahip, katı, sıvı ve gaz ürünlerin üretimi ile ortadan kaldırılabilir (Gürleyik, 2006). Çizelge 3.1'de Piroliz teknolojileri ve değişkenleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Piroliz Teknolojileri ve Değişkenleri (Bridgwater, 1990)

Teknoloji	**Alıkonma süresi**	**Isıtma hızı**	**Sıcaklık (˚C)**	**Ürünler**
Karbonizasyon	Günlerce	Çok düşük	400	Katı
Geleneksel	5-30 dk	Düşük	600	Sıvı, katı, gaz
Hızlı	0,5-5 s	Çok yüksek	650	Biyoyakıt
Flash (sıvı)	< 1 s	Yüksek	< 650	Biyoyakıt
Flash (gaz)	< 1 s	Yüksek	< 650	Kimyasallar, gaz
Ultra	< 0,5 s	Çok yüksek	1000	Kimyasallar, gaz
Vakum	2-30 s	Orta	400	Biyoyakıt
Hidropiroliz	<10 s	Yüksek	< 500	Biyoyakıt
Metanoliz	< 10 s	Yüksek	< 700	Kimyasallar

Katı atıkların pirolizi esnasında seri ve paralel olmak üzere çok çeşitli ve oldukça kompleks reaksiyonlar gerçekleşmektedir. Bu karmaşık tepkimeler, biyokütlenin ara ürünlere ayrılması ya da rafinasyonu olarak da ifade edilebilir. Ana piroliz reaksiyonu ve kısmi reaksiyonlar aşağıda verilmiştir (Iwasaki, 2003).

Ana piroliz reaksiyonu,

$$C_nH_mO_k \longrightarrow (m/2)\ H_2 + k\ CO + (n - k)\ C \qquad (3.1)$$

Kısmi reaksiyonlar,

$$C + 2H_2 \longrightarrow CH_4 \qquad (3.2)$$

$$C + H_2O \longrightarrow CO + H_2 \qquad (3.3)$$

$C + O_2 \longrightarrow CO$ (3.4)

$C + O_2 \longrightarrow CO_2$ (3.5)

$C + CO_2 \longrightarrow 2CO$ (3.6)

$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2$ (3.7)

Biyokütleden piroliz ile hidrojen üretimi süreci basit olarak (3,8) nolu eşitlik ile ifade edilmektedir. Ancak ana reaksiyonun yanında bazı kısmi reaksiyonlarda aynı anda gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonlar aşağıda verilmiştir (Demirbaş 2001).

$C_nH_m + 2nH_2O \longrightarrow nCO_2 + [\,2n + (m/2)]\,H_2$ (3.8)

$C_nH_m + nH_2O \longrightarrow nCO + [\,n + (m/2)]\,H_2$ (3.9)

$CH_4 + H_2O \longrightarrow CO + 3H_2$ (3.10)

$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2$ (3.11)

Normal yeniden şekillendirme şartlarında, yüksek hidrokarbonların (C_nH_m) buhar reaksiyonu [eşit.(3,8)]; metan yeniden şekillendirmesi [eşit.(3,10)] ve kaydırma reaksiyonunun [eşit.(3,11)] aksine tersinmezdir. Piroliz yöntemi ile büyük miktarlarda hidrokarbon buharından, H_2 gazı elde edilebilir [eşit. (3,10) ve (3,11)].

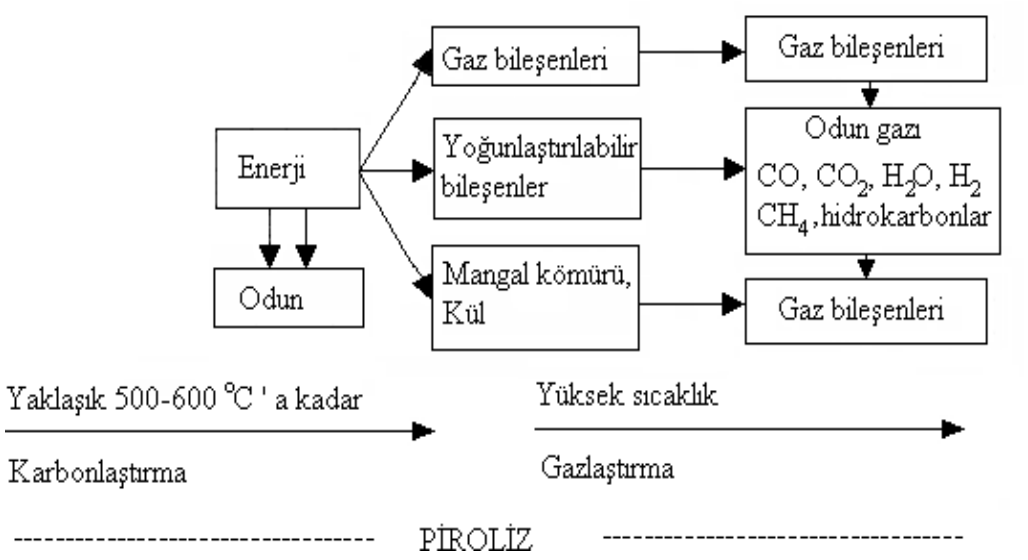
Organik atıklardan hidrojen üretimi reaksiyonları,

Katı atık pirolizi $\longrightarrow H_2+CO+CO_2+C_nH_m+Tar+Çar$ (3.12)

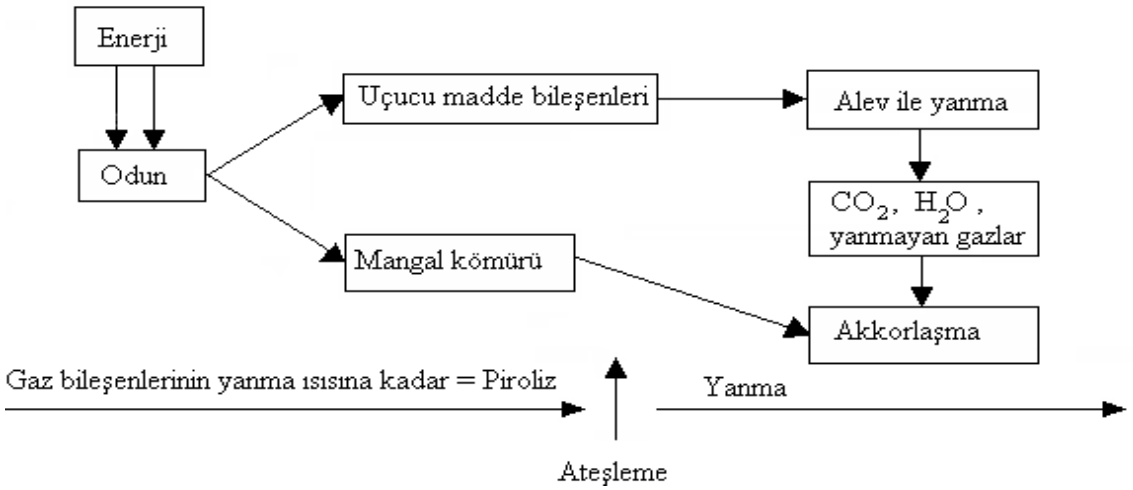
Biyokütle + H_2O + Hava $\longrightarrow H_2 + CO_2$ (3.13)

Selüloz + H_2O + Hava $\longrightarrow H_2 + CO + CH_4$ (3.14)

Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de iki farklı oksijen ortamında odunun termal parçalanması görülmektedir. Oksijensiz ortamda 500 – 600 $^{\circ}$C'a kadar yapılan ısıtmada; gaz bileşenleri, uçucu yoğuşabilir maddeler, mangal kömürü ve kül açığa çıkar. Yüksek sıcaklığa çıkıldığında ise gaz bileşenleri ve odun gazı açığa çıkar.

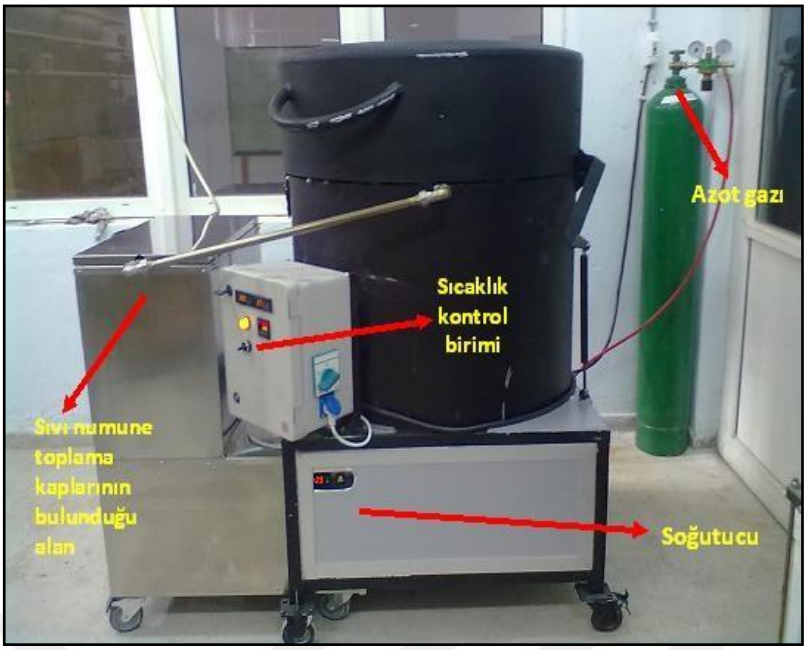


Şekil 3.1. Odunun Oksijensiz Ortamda Pirolizi



Şekil 3.2. Odunun Oksijen Ortamında Pirolizi

Lignoselülozik katı atıkların pirolizi sonucunda, sıvılaştırmaya benzer şekilde üç tane ana ürün elde edilmektedir. Bunlar yarı koklaşmış katı ürün (çar), yağ (oil) ve gazdır. Piroliz prosesi sayesinde, değerlendirilemeyen atıklar katı, sıvı ve gaz ürünlere dönüştürülebilmektedir. Bu ürünlerin bileşim ve oranları, büyük ölçüde girdi tipine ve reaksiyon koşullarına bağlıdır.



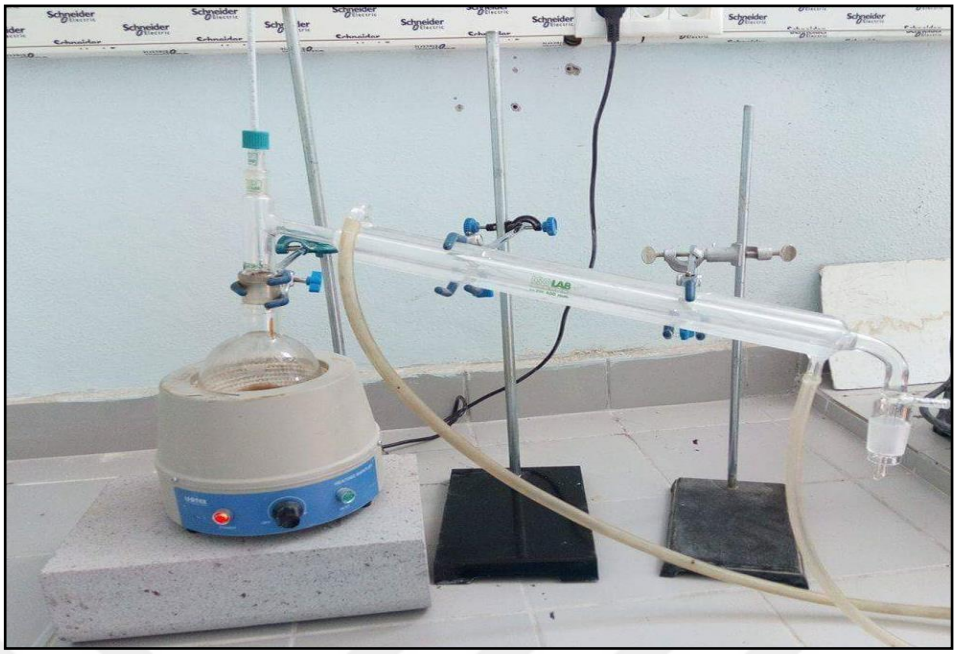
Şekil 3.3. Piroliz deney cihazı

Bu çalışmada, otomobillerde kullanılan plastiği geri dönüştürdürmek için Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ulaştırma laboratuarında bulunan piroliz cihazı kullanılmıştır. Deneylerde piroliz sonucuda elde edilen sıvı ürün destile edilerek kullanılmıştır.

3.2. Distilasyon

Distilasyon, bir sıvının ısıtılması ve buharlaştırılmasından oluşmaktadır ve buhar bir distilat ürünü oluşturmak için yatay bir ayırıcı içerisinde yoğunlaştırılır. Distilasyon, sıvıların saflaştırılması için kullanılan en eski metotlardan birisidir ve eski çağlarda kimyanın gelişmesine çok fazla katkıda bulunmuş bir yöntemdir. İçerisinde birden fazla bileşen bulunan bir sıvı karışımın basit bir distilasyon ile ayrıştırılabilmesi için;

1. Karışımı oluşturan bileşenlerin kaynama noktalarının çok farklı olması gerekir.
2. Bir bileşen içerisinde diğer bileşeni barındırıyorsa, diğer bileşenin en fazla %10 oranında bulunması gerekir (Anonim 10, 2018).



Şekil 3.4. Distilasyon cihazı

Bu çalışmada pirolizden elde edilen sıvı karışım Şekil 3.4'de verilen basit bir distilasyon sistemi ile ayrıştırılmıştır.

3.3. Kimyasal Analizler

Pirolizden elde edilen sıvı ürün ve bitüm (organik bir maddedir) temel elementlerin miktarlarını tayin etmek için iki tür kimyasal analiz edilmiştir.

3.3.1. Spektrum analiz (FTIR, 1H-NMR)

FTIR cihazları, karbonil, nitral vb. gibi aktif grupların bulunması için kullanılır , yanı iki atom arasındaki bağların türünü, ister tek ister çift, ister alifatik veya aromatik olsun. Karbon atomlarıyla ilişkili protonların türünü bildiğimizde, organik bileşikleri teşhis edebiliriz. Organik bileşiklerin tespiti sadece FTIR spektruma bağlıdır, ancak MMR, CHN, HPLC, MASS ve diğer teknikler gibi organik bileşikleri tanımlamak için diğer spektrumlardan ek kanıtlar kullanırız. ^{1}H-NMR organik bileşiklerin yapısı ayrıca inorganik kimya ve biyokimyada kullanılır ve bileşiklerin yapısı hakkında bilgi sağlar.

3.3.2. Elementel analiz

Karbon, Hidrojen, Azot, Kükürt ve Oksijen doğanın temel elementleridir. Elementel analiz cihazı, bu elementlerin miktarlarını tayin eden bir cihazdır.

Elementel analiz deneyi destilasyon sonucu elde edilen ürün için Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesinde yaptırılmıştır.

Homojen ve çok az miktar (~2 mg) organik maddelerdeki C, H, N ve S' ü bağımsız dedektörler kullanarak eşzamanlı olarak kısa sürede analiz edebilen bir cihazdır. Ayrıca Oksijen analizörü ile tek olarak Oksijen tayini de yapılabilmektedir. Numunenin yüksek sıcaklıkta çok hızlı bir şekilde yakılması sonucu elde edilen yanma ürünleri, taşıyıcı gaz Helyum kullanılarak ayrı dedektörlere gönderilir. İlaç kimyası, plastikler, reçineler, kimyasallar, lastikler, yiyecekler, etler, besinler, yağ tohumları, bitkiler, öğütülmüş ürünler, toprak ve suni gübreler gibi muhtelif organik matrikslere uygulanabilir (Anonim 11, 2012).



Şekil 3.5. Elementel analiz cihaz

3.4. Asfalt Kaplamalarda Kullanılan Malzemeler

Asfalt kaplama, oranları dikkatli bir şekilde farklı yöntemler kullanılarak belirlenmiş agrega ve bitümlü bağlayıcının yüksek sıcaklıkta (ya da düşük sıcaklıkta) karışımı ve uygun serme ve sıkıştırma ekipmanları kullanılarak yola serilmesi ve sıkıştırılması ile elde edilir.

3.4.1. Agregalar

Asfalt kaplamalarda kullanılacak olan agregalar, kökeni (tortul, magmatik, vb.) ne olursa olsun, kullanılacağı tabakanın şartnamelerde istenilen özelliklerini sağlaması gerekir. Şartname değerlerini sağlayan malzemenin kullanılması karayolu üstyapısı için aranan özelliktir. Asfalt yüzey kaplamasında kullanılan karışımın % 90'dan fazlasını agregalar teşkil eder. Yolun servis ömrü boyunca agregalara hayati rol düşmektedir. Bu nedenle kullanılan agregalar bazı temel özelliklere sahip olmalıdır. Yapılan dizaynın özelliğine göre agregalarda aranan özellikler de farklılık gösterecektir. Yol tabakası, çeşitli kalınlıkta ve farklı görevleri olan birden fazla katmandan meydana gelmektedir. En üst kısmı oluşturan ve en önemli katmanlardan biri olan aşınma tabakası, yol güvenliği açısından önemli parametrelerden birini meydana getirir. Yolun servis süresini güvenli bir şekilde tamamlaması ve arzu edilen özelliklerini uzun süre koruması için kullanılan agregaların, sürtünme katsayılarının yüksek olması ve servis ömrü boyunca cilalanmaya karşı yüksek dayanım sağlaması istenir (Avcı, 2009).

Farklı kalınlıkta da asfalt tabakalar yapıldığından dolayı farklı maksimum dane boyutu ve dolayısıyla da farklı tip gradasyonlara ihtiyaç vardır. Esnek kaplamaların tabaka kalınlığı arttıkça kullanılacak agreganın maksimum dane boyutu da artmaktadır. Zira genel bir kural olarak, bir defada serilip sıkıştırılmış tabakanın kalınlığı karışımdaki en büyük dane çapının 1,5 katından daha az ve 3 katından daha fazla olmamalıdır. Dolayısıyla maksimum dane boyutu kaplama kalınlığına bağlı olarak değişir (Tunç,2004).

Agregalara uygulanan standart deney yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

3.4.1.1. Elek analiz

Deney, agreganın dane boyutu dağılımının bulunması amacıyla yapılır. Deney sonucu bulunan gradasyon sınıflandırmada, gradasyonun şartnameye uygunluğunun kontrolunde ve agrega karışım oranlarının hesabında kullanılır. Kurutulmuş numune tartıldıktan sonra No.200 elekten yıkanır (elek yıpranmasın diye üzerine No.80 ya da No.40 elek yerleştirilir). Yıkanan numune 110 ± 5^{o}C lik etüvde kurutulur. Malzemenin % 100'ünün geçtiği eleklerden başlamak üzere alt eleklerden ayrı ayrı elenir. Her elek üzerinde kalanlar kümülatif (toplu olarak) tartılır. Tartımlar elek analizi formuna geçilir.

Rutubeti giderilmiş numune ağırlığı kullanılarak her elek üzerinde kalan miktarların yüzdesi ve daha sonra % geçen miktarları hesaplanır.

3.4.1.2. Los Angeles aşınma deneyi(ASTM C131, AASHTO T96, TS EN 1097-2)

Los Angeles Aşınma deneyi, darbelenme ve aşındırma etkisiyle agrega danelerinde oluşan aşınmanın bulunmasını sağlar. Bu deneyle dane boyutu 75 mm'den küçük olan iri agregaların Los Angeles aşınma makinesi ile aşınmaya karşı mukavemeti bulunur. Deneyde içi boş, iki ucu kapalı bir silindir şeklinde olan makine içerisine agrega ile birlikte metal aşındırıcı küreler konularak, makine belirli bir hızla, belirli bir devirde çalıştırılır. Sonuçta, metal kürelerin üzerine düşmesi sonucu aşınan malzemenin deney başında alınan malzemeye göre ağırlıkça yüzdesi aşınma kaybı olarak verilir.

3.4.1.3. Özgül ağırlık ve su absorpsiyon deneyi

Agreganın özgül ağırlığı, o agreganın birim hacimdeki ağırlığının, aynı hacimde ve 25 ^{o}C'deki suyun ağırlığına oranıdır. Danenin, hacim tanımlamasına bağlı olarak, üç tane özgül ağırlık türü vardır:-

1- Zahiri Özgül Ağırlık (Gsa): Belirli bir sıcaklıkta agreganın geçirimsiz boşluklarını içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve aynı hacimdeki havası alınmış destile suyun ağırlığına oranıdır.

2- Hacim Özgül Ağırlığı (Gsb): Belirli bir sıcaklıkta agreganın geçirgen olan ve olmayan boşluklarını içeren birim hacminin havadaki aağırlığının, aynı sıcaklık ve hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve aynı hacimdeki havası alınmış destile suyun ağırlığına oranıdır

3- Efektif Özgül Ağırlık (Gse): Belirli bir sıcaklıkta agreganın asfalt geçirimli boşlukları hariç geçirimli ve geçirimsiz boşluklarının içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklık ve hacimdeki havası alınmış destile suyun ağırlığına oranıdır.

3.4.2. Bitümlü bağlayıcılara uygulanan deney yöntemleri

Bitüm ham petrolden elde edilir. Ham petrolün genelde deniz canlıları ve bitkisel madde kalıntılarının okyanus tabanındaki çamur ve kaya parçalarıyla karışmasından kaynaklandığı kabul edilmektedir (Whiteoak, 2004).

Bitüm, siyah veya koyu kahverengi renkli, kuvvetli yapışma özelliği olan, karbondisülfürde çözülebilen, esasen hidrokarbonlar ve onların türevlerinden meydana gelen, ham petrolün damıtılmasından elde edilen veya doğal halde bulunan katı, yarı katı veya sıvı halde bulunabilen bir bağlayıcıdır. Bitüm kısaca bitümlü kaplamaların yapımında kullanılmak üzere kıvamlılık ve kalitesi bakımından özel olarak hazırlanmış olan yumuşatılmış veya yumuşatılmamış bir bağlayıcı olarak tanımlanabilir (Çelik, 2006).

3.4.2.1. Penetrasyon deneyi

Bitümlü bağlayıcının sertlik veya kıvamlıkları penetrasyon deneyi ile belirlenir. Standard bir iğnenin belirli bir yük (100 gm) altında belirli bir süre (5 sn) asfalt çimentosu içine dikey olarak battığı mesafe 0,1mm cinsinden bulunur. Penetrasyon değeri kıvamlılıkla ters orantılıdır. Penetrasyon yükseldikçe bitüm yumuşar. Kıvamlılık artıkça bitüm sertleşir (Orhan, 2012).

3.4.2.2. Yumuşama noktası deneyi (yüzük-bilya deneyi)

Bitümlü bağlayıcının sıcaklığa karşı duyarlılığını ölçmek için (hangi sıcaklıkta bitümün akmaya başladığı) yüzük - bilya yöntemi ile yumuşama noktası olarak ifade edilen sıcaklık belirlenir. Yumuşama noktası değeri çok yüksek bitümlerin viskozitesi de yüksek olduğundan, sıcak karışım yapım sıcaklıkları da yüksek olmaktadır (Orhan, 2012).

3.4.2.3. Yarı katı bitümlü malzemelerin özgül ağırlığı (piknometre metodu)

Bitümlü malzemenin özgül ağırlığı 25 ^{o}C sıcaklıktaki, hacminin havadaki ağırlığının aynı sıcaklık ve aynı hacimdeki havası alınmış destile suyun ağırlığına oranıdır. Genellikle piknometre yöntemi ile özgül ağırlık belirlenir (Orhan, 2012).

3.4.2.4. Dönel viskozimetre (RV) deneyi

Dönel viskozimetre bitümün yüksek sıcaklıklardaki vizkozitesi, ne derece pompalanabilirliği ve işlenebilirliğe sahip olduğunun tespiti için akış karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılır (Dinç 2000, Dinç ve Yazıcı 2000).

3.5. Marshall Metodu ile Bitümlü Sıcak Karışım Dizaynı

Agregaların iyi bir karıştırma ve işlenebilirlik için ısıtılması, bitümlü bağlayıcının ise uygun bir akıcılığa gelmesi amacıyla ısıtılmasından sonra, agrega ve bitümlü bağlayıcının bir tesiste karıştırılması ile hazırlanan karışımlara bitümlü sıcak karışım (BSK) denilmektedir. Asfalt kaplamaların karışım dizaynının amaçları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Sağlam (durabil) bir üstyapı elde etmek için gerekli bitüm miktarını belirlemek.
- Trafik yükleri altında deformasyon göstermeyecek yeterli dayanımı oluşturmak.
- Sıkıştırılmış tabakada, trafik altında oluşabilecek çok az miktarda sıkışmaya; kusma, akma ve stabilite düşüklüğü olmadan sağlayacak, ancak tabakanın içinde rutubet ve fazla hava barındırmayacak ölçüde boşluğu sağlamak.
- Segregasyon olmadan uygun serimi sağlayacak bir işlenebilirliğine sahip ekonomik bir karışım ve agrega gradasyonunun belirlenmesi.

Marshall Karışım tasarımının aşamaları aşağıdaki adımlarda özetlenmiştir.

1- Agrega gruplarınınyaş metoda göre elek analizinin yapılması
2- Agrega karışım oranlarının ve karışım gradasyonunun ilgili, şartname gradasyon limitleri içerisinde kalacak şekilde, hesaplanması
3- Agrega özgül ağırlıkları ve briket agregası tartımı için gerekli hesapların yapılması
4- Karışım gradasyonunda hazırlanan agregalar üzerinde kaba ve ince özgül ağırlık deneyleri ile filler zahiri özgül ağırlık deneyinin yapılması
5- Beklenen optimum bitüm ile optimum bitümün ±0.5 ve ±1.0 bitüm değerlerinde, her bitüm yüzdesi için en az 3 numune olmak üzere, şartnameye göre, 2x75 ya da 2x50 darbe uygulanarak briketlerin sıkıştırılması.
6- Karışımın maksimum teorik özgül ağırlık deneyi için, beklenen optimum bitüm yüzdesinde, iki numune hazırlanması ve deneyin yapılması.
7- Briketlerin yüksekliklerinin ölçülmesi
8- Briketlerin hacim özgül ağırlıklarının belirlenmesi

9- Briketler üzerinde Marshall stabilite ve Akma deneyinin yapılması

10- Marshall formuna işlenen tüm deney ve ölçüm sonuçlarına göre, her bitüm yüzdesi için

briketlerin ortalama yükseklikleri,

Dp'ler (pratik yogunluk) hesaplandıktan sonra,

Dt (teorik özgül ağırlık),

Vh (hava boşluğu),

VMA (agregalar arası boşluk),

Vfb (bitümlü bağlayıcı ile dolu boşluk),

briket yüksekliğine göre düzeltilmiş stabilite ve

ortalama stabilite ve akma değerleri hesaplanır.

Aşağıdaki grafikler çizilir.

- Bitüm %'si - Dp
- Bitüm %'si - Stabilite
- Bitüm %'si - Akma
- Bitüm %'si - Boşluk
- Bitüm %'si - VMA
- Bitüm %'si - Vfb

Optimum bitüm yüzdesi belirlenirken, genellikle boşluk değeri göz önünde bulundurulur.

- aşınma tabakası için %4 boşluk
- binder tabakası için %4- %5 boşluk
- bitümlü temel tabakası için %5-%6 boşluk

Boşluk esas alınarak diğer değerlerin şartname kriterlerine uygun olup olmadığına bakılır. Karışımın kullanılacağı bölgenin iklim koşullarında göz önünde bulundurularak bitüm miktarı belirlenir. Soğuk bölgelerde, durabilite ve düşük sıcaklık çatlaklarına karşı dayanıklı bir tabaka oluşturmak için bitümü daha zengin fakat kusma meydana getirmeyecek karışımlar, sıcak bölgeler için plastik deformasyonu azaltacak ancak yeterli durabiliteyi sağlayacak karışımlar oluşturulmalıdır. Ayrıca yüzey tabakası olan asfalt betonu aşınma tabakasında pürüzlülüğü artırmak ve kaplamayı kaymaya karşı dirençli hale getirmek için;

-Sert ve pürüzlü agrega kullanımı,

-Karışım gradasyonunda orta malzemeyi artırarak bir miktar kesiklilik, ekonomik koşullarda göz önünde bulundurularak, tercih edilmelidir (Orhan, 2012).

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Piroliz Deneyi

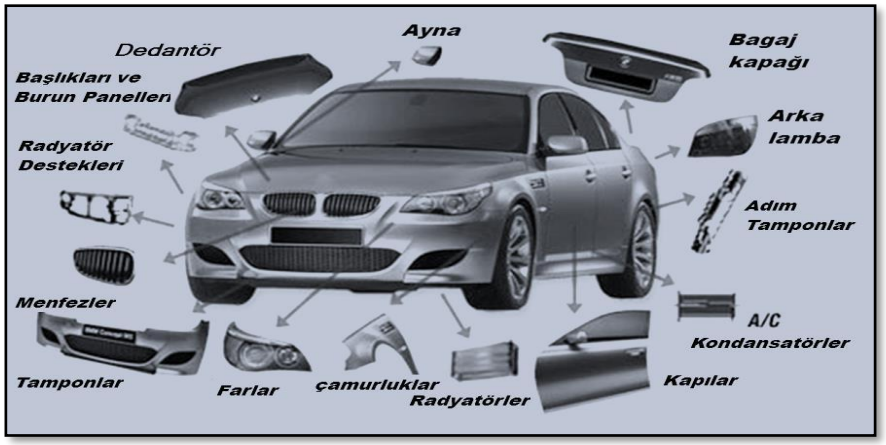
Piroliz ürünlerinin miktarı ve kalitesi, ısıtma hızına, piroliz sıcaklığına ve süresine ve hammaddenin fiziksel haline yapısına bağlıdır. Piroliz işleminde kullanılan hammadde türüne bağlı olarak farklı fraksiyonlara sahip sıvı ürün elde edilebilir. Sıvı ürün su ve katran fazından oluşmuştur. Su fazı suda çözünür alifatik ve aromatik bileşiklerin kompleks karışımları halinde bulunur. Katran fazı ise reçineler, orta molekül ağırlığındaki hidrokarbonlar, fenolik bileşikler, aromatik bileşikler, aldehitler ve bu bileşiklerin kondensazyon ürünleri olan yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerden oluşur. Elde edilen sıvı ürünler, yoğunluk, su içeriği, kül ve kükürt içeriği, karbon bakiye içeriği, viskozite, parlama noktası, kalorifik değeri, toplam asit değeri gibi özellikleri tespit edilerek değerlendirilir (Özçimen, 2004).

Piroliz işlemi sırasında H_2, CO_2, CO, CH_4, C_2-C_4 parafin ve olefinler gibi gaz ürünlerde oluşur. Bu gaz ürünlerin veriminin artması için yüksek sıcaklıkta (700-900 °C) ve düşük ısıtma hızlı piroliz sistemleri uygulanabilir (Yılmaz, 2005).

Bu çalışmada, Asfalt karışım içinde kullanılacak madde, piroliz işlemi için ilk olarak otomobillerden alınan farklı plastikler, Selçuk Üniversitesi MakineMühendisliği Bölümünde bulunan kesme makinesi ile küçük parçalara ayırılmıştır. (Şekil 4.1)



Şekil 4.1. Çalışmada kullanan plastikler



Şekil 4.2. Plastiklerin otomotivde kullanımı (Anonymous 5, 2016)

Şekil 4.2'de otomobillerde kullanılan plastikler gösterilmiştir. Otomobillerde kullanılan plastiklerin pirolizi Şekil 4.1'de gösterilen Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ulaştırma laboratuvarındaki piroliz cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Bu çalışmada, % 60 kapı plastiği, % 20 tampon plastiği, % 10 farlar, % 10 menfezler olmak üzere otomobil pilastiklerinden bir karışım seçilmiş, bu karışımın pirolizi gerçekleştirilmiştir.

Piroliz cihazının çalıştırılması:

Başlangıçta, soğutma işlemi sırasında soğutulmanın yapılabilmesi için gerekli olan soğumaya kadar soğutma cihazı çalıştırılmalıdır. Cihazın reaktörünün içerisine plastik malzemeler tartılarak yerleştirilir ve kapağı sıkıca kapatılır ve daha sonra cihaza yerleştirilir. Ardından azot gaz tüpü bağlanır. Cihazın sıcaklığı bu çalışmada 200 °C olarak belirlenmiştir. Azot gazı 10 dakika süreyle açıldıktan sonra ve sıcaklık 100 °C veya 150 °C ulaştığında gaz kesilip ısıtma işlemine son verilmiştir. Kararlılık için yaklaşık 15 dakika beklendiğinde ısı 200 °C ulaşır ve sonra inmeye (bu yaklaşık iki saat sürer) başlar sonra makine tamamen kapatılmış ve 8-10 saat soğumaya bırakılmıştır.

Ertesi gün sıvı ürün silindirleri boşaltılmıştır. Yağa benzeyen sıvı madde kötü bir kokuya sahiptir. Reaktörün altında kalan madde siyah bir toz, karbon olduğu görülmüştür. İşlem uygun bir miktarın elde edilmesi için iki kez tekrarlanmıştır**.** İlk denemede, 250 gr plastik reaktöre konulmuş ve yaklaşık 75 gr sıvı (% 30) ve 2 gr katı malzeme (% 0,8) elde edilmiştir. Geri kalanı da (% 69,2) gaza dönüşmüştür.

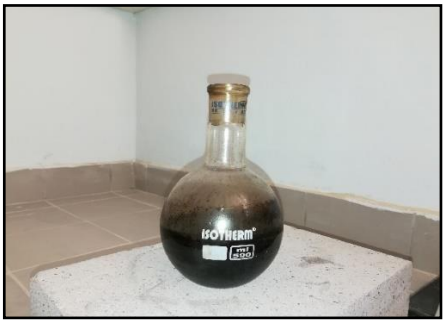
İkinci denemede, yaklaşık 700 gr plastik kullanılmış ve yaklaşık 400 gr sıvı (% 22,5) ve 90 gr katı madde (% 12,85) üretilmiştir kalanı da (% 64,65) gaza dönüşmüştür.

Her iki sonucun farklı olması deneysel hata değerlendirilmelidir.



Şekil 4.3. Piroliz cihazı

Elde edilen ürün, kapalı bir beher içine konulmuş (Şekil 4.4) ve damıtma için kullanılmıştır. Distilasyon işlemi bir sonraki aşamada açıklanmıştır.



Şekil 4.4. Pirolizin sonucu elde edilen ürün (OPP)

4.2. Distilasyon Deneyi

Bu deneyde, pirolizden elde edilen ürün, basit bir damıtma cihazı ile saflaştırılmıştır. Otomobillerde kulllanılan farklı plastiklerin pirolizi sonucu elde edilen ürün, Şekil 4.5'teki sistemde ısıtılmış ve damıtma tüpleri soğuk akan su ile doldurulmuştur. Damıtma tüpünün duvarları üzerinde bir sarımsı bir sıvı madde elde edilmiş ve geri kalanı, arındırıldıktan sonra bir katkı maddesi olarak bitümlü bağlayıcı içerisinde kullanılmıştır. Damıtma işlemiilk numune ısıtıldığında, su damlacıkları 70 °C'de damlamaya başlamıştır. Sonuçta sıvı sarı damıtma tüpünün duvarları üzerinde yapışmış ve damıtma işlemi 330 °C'de durdurulmuştur. Bu işlemde 33 gr numune kullanılmış, 14 gram damıtılmış ürün alınmıştır. Geri kalanı suya ve yağa dönüşmüştür. İkinci deneyde, işlem tekrar edilmiştir. Ancak 220 °C'de ısıtma işlemi durdurulmuştur. 400 gr üründen 180 gr damıtılmış ürün elde edilmiştir. Kalan kısım yağ ve sıvıya dönüşmüştür (Şekil 4.6).



Şekil 4.5. Distilasyon deneyi



Şekil 4.6. Distilasyon deneyinden elde edilen maddeler

4.3. Kimyasal Analizler

4.3.1. Spektrum analiz)FTIR, 1H-NMR)

Elde edilen malzeme, Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü laboratuarlarında (FTIR) yapılmıştır, (^{1}H-NMR) spektrum analizleri ILTEK'te yapılmıştır. EK1 (a-b-c-d)'de sonuçları görülmektedir.

Deneyler sonucu elde edilen OPP, FT-IR spektrofotometresi ile ölçülmüştür FT-IR (cm^{-1}): 3307(N-H), 2919(=C-H), 2851(C-H) alkan1607, 1649(C=C), 1454(C-C), 1376(C-C-H) oromatik, 1275(C-O), 1156(C-N), 966(C=C-H), 887(N-H),750(C-H) oromatik, 698(C-S-H), çalışma aralığı 4000-400 cm-1 olarak belirlenmiştir. Nükleer manyetik rezonans sonuçları ^{1}H-NMR (DMSO-d6): (ppm) = 0.12(s, 2H, HC=N), 0.50(b, 1H, -CH), 5.20(s, 2H, O-CH_2), 5.40(s, 2H, CH_2-N), 7.20 (m, 22H, arh), Deneyler sonucu bitüm ve OPP kimyasal yapılarında benzerlik var fakat saflılık derecesindeki farklılık görülmıştır.

4.3.2. Elementel analiz

Bu deney Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi'nde yapılmıştır. Sıcaklık değişimi ile bazı ozellikleri değişen ve termoplastik bir malzeme olan bitümlü bağlayıcı, farklı molekül ağırlıkarına sahip hidrokarbonlardan oluşmaktadır. Çeşitli ham petrollerden üretilen bitümlü bağlayıcıların analizi sonucunda, bitümlü bağlayıcının kimyasal bileşiminin Çizelge 4.1. deki elementleri içerdiği belirlenmiştir (Ilıcalı ve ark., 2004).

Çizelge 4.1. Bitüm ve OPP kimyasalbilşimleri

Madde	Karbon (%)	Hidrojen (%)	Nitrojen (%)
Bitüm	82 – 88	8 -11	0 – 1
OPP	75,490	10,892	0,67302

Şekil 4.6'da destilasyon işlemi öncesi (soldaki resim) ve sonrası elde edilen 3 farklı ürün (sağdaki resim) gösterilmiştir. Şekilde (sağdaki resim) en sağda görülen koyu renkli ürün Otomobil Plastiklerinden elde edilen Piroliz (OPP) ürünü, bitümlü bağlayıcı içerisinde katkı maddesi (modifeye maddesi) olarak kullanılmıştır.

4.4. Agreganın Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi Deneyleri

4.4.1 Elek analizi

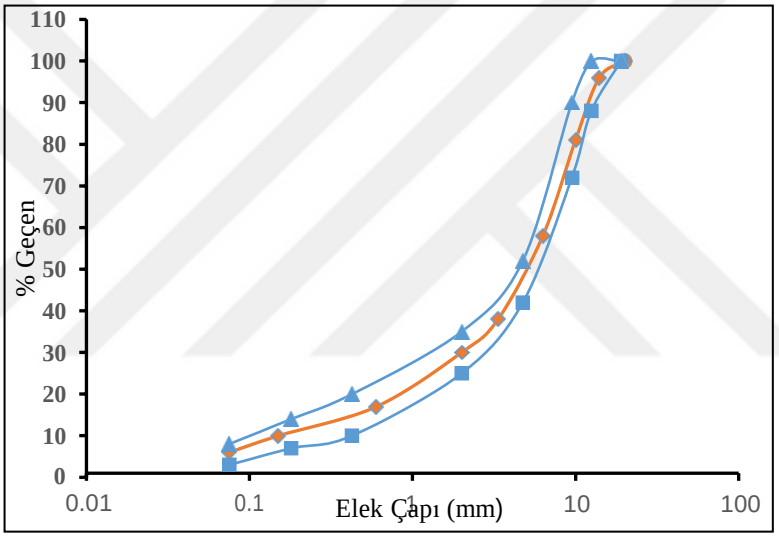
Deneysel çalışma için Tip-1 aşınma tabakası (Çizelge 4.2) 3 boyut malzemeden elde edilmiştir. 0-5 mm, 5-12 mm ve 12-19 mm olan agrega grupları Şekil 4.7'deki eleme makinesinde elenmiş, bu grupların kombinasyonu kullanılarak elde edilen elek analizi grafiği Şekil 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Elek analizi (KTŞ, 2013)

Elek Boyu (mm)	% Geçen			Elek çapı (mm)
	Alt	Üst	Ortalama	
19	100	100	100	20
12.5	88	100	94	14
9.5	72	90	81	10
6	-	-	58	6.3
4.75	42	52	47	3.35
2	25	35	30	2
0.425	10	20	15	0.6
0.18	7	14	10	0.15
0.075 (Filler)	3	8	6	0.075



Şekil 4.7. Eleme Makinası



Şekil 4.8. Agrega granülometri eğrisi

4.4.2. Los Angeles deneyi

Los Angeles Aşınma deneyi yapmak için 5000 gram iri agrega (10 -14 mm arası) suyla iyice yıkanmış, 24 saat 110 °C'de fırında kurumaya bırakılmıştır. Ertesi gün fırından çıkarılarak soğumaya bırakılmıştır. Los Angeles aşınma makinesi içerisine 5000 gram agrega ile birlikte 11 metal aşındırıcı küre konmuş, makine 33 devir/dakika, hızla döndürülmüştür (yaklaşık 17 dakika içinde 500 devir). Makineden çıkarılan agrega tekrar tartılmıştır.

Deney sonunda 1,6 mm elekten geçen kısmın deney öncesi toplam miktara oranı Los Angeles değeri olarak bulunmuştur.

Sonuçta, Los Angeles değeri hesaplanmıştır (LA= % 22,42).

Şekil 4.9'da Los Angeles deney apparatı ve Şekil 4.10'da deney öncesi ve deney sonrası agregaların durumu gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Los Angeles makinesi



Şekil 4.10. Agrega deneyden önce ve sonra

4.4.3. Özgül ağırlık ve su absorpsiyon deneyi

Bu deneyde farklı boyutlardaki agregaların su emme oranını belirlemek için, gelişi güzel alınan agregalar önce suyla iyice yıkanmıştır ve 24 saat suda bekletilmiştir. Ertesi gün, saf suyla doldurulmuş (hava kabarcığı olmayan) bir cam beher içerisine (Şekil 4.11) konmuş ve ağırlığı tartılmıştır.

Beherden çıkarılan agregaların yüzeyi kurutup tartılmıştır. 24 saat 110 °C'de fırında kurumaya bırakılmış, ertesi gün fırından çıkarılarak, desikatör içerisinde oda sıcaklığına kadar soğuduktan sonra tekrar tartılmıştır.

Özgül ağırlık ve Su emme yüzdesi bu değerler yardımıyla hesaplanmıştır

Zahiri özgül ağırlık = 2,80

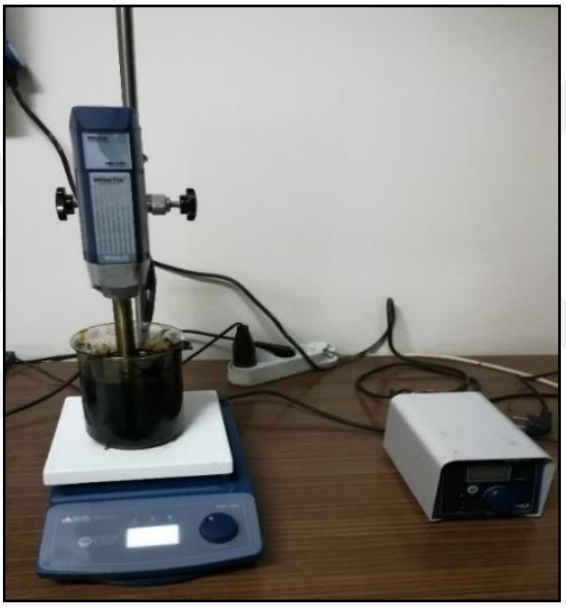
Su emme yüzdesi = % 0,57



Şekil 4.11.Özgül ağırlık deneyı

4.5. Bitümlü Bağlayıcının Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada katkısız bitümlü bağlayıcı numunelerine ve sıvılaştırılmış OPP katkılı bitümlü bağlayıcı numunelerine olmak üzere iki seri deney yapılmıştır.Yapılan bu çalışmada 50/70 sınıfı bitümlü bağlayıcı kullanılmıştır. Deney için bitüm ağırlığının % 2 ve % 4 'ü oranlarında piroliz yöntemiyle sıvılaştırılmış OPP içeren iki ayrı karışım hazırlanmış ve sonuçlar saf bitüm değerleriyle karşılaştırılmıştır. Modifiye bitümlü bağlayıcı hazırlama işinde Şekil 4.12'de gösterilen modifiye bitüm karıştırıcısı kullanılmıştır.



Şekil 4.12. Modifiye bitüm karıştırcı

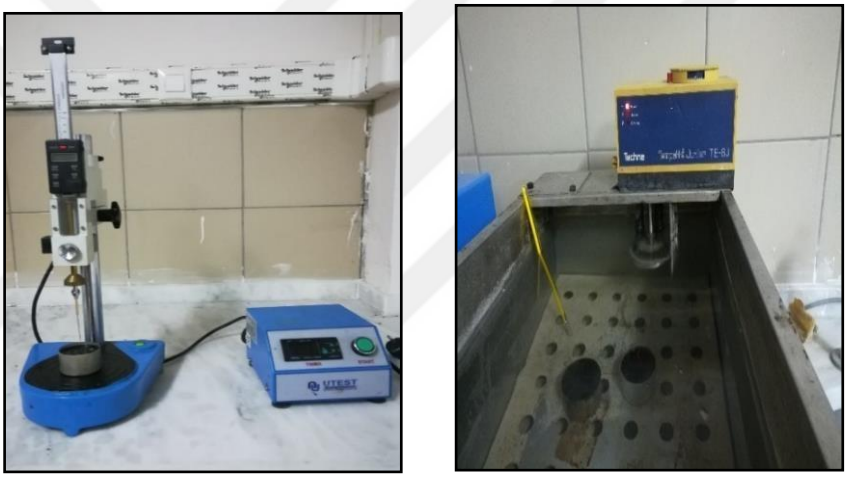
Deneysel çalışmada bağlayıcı olarak 50/70 penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı, çeşitli otomobillerde kullanılan atık plastiklerden oluşan karışım grubu veya gruplarının pirolizi sonucu elde edilen katkı maddesi ve agrega kullanılmıştır. Kullanılan agrega Biberci İnş. Nak. Pet. San. firmasından temin edilmiştir. Üretilen numuneler Karayolları Teknik Şartnamesinin Tip 1 aşınma tabakasına uygun şekilde üretilmiştir (Şekil 4.8).

Deney için 600 gr. katkısız bitüm içerisine %2 oranında katkılı bitümlü bağlayıcı elde etmek için 12 gram sıvılaştırılmış OPP, %4 için ise 24 gram sıvılaştırılmış OPP, 160 ± 5 ^{o}C de ilave edilmiş ve 30 dakika karıştırılmıştır. Karıştırma işleminin başlangıcında duman etkisi görülmüş, ancak daha sonra bu etki karışımın ilerleyen aşamalarında görülmemiştir.

Bu çalışmada bitümlü bağlayıcının ve bitümlü bağlayıcıya ileve edilen OPP ile üretilen modifiye bitümlü bağlayıcının fiziksel özellikleri aşağıdaki yöntemler kullanılarak incelenmiştir.

4.5.1. Penetrasyon deneyi

Bitümlü bağlayıcının kıvamını belirten Penetrasyon deneyi standartlara (ASTM-D5-97) uygun olarak Şekil 4.13'deki techizat kullanılarak yapılmıştır. Penetrasyon deneyi için bitüm içerisine karıştırılan farklı oranlardaki OPP miktarı yüzde cinsinden verilmiş, her bir oran için 4 okuma yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Elde edilen penetrasyon değerlerine ait sonuçlar Çizelge 4.3' de verilmiştir.



Şekil 4.13. Penetrasyon deneyi

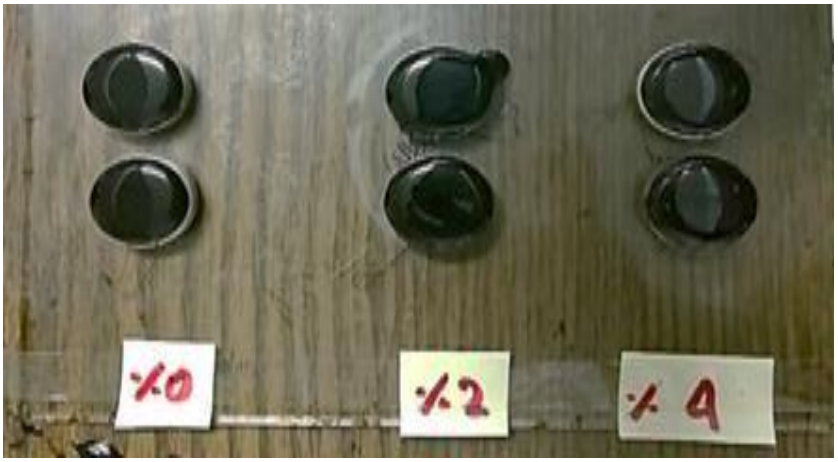
Çizelge 4.3. Penetrasyon deney sonuçları

Katkı miktarı %OPP	Penetrasyon değerleri (mm)	Ortalama penetrasyon değeri
% 0	67,2 66,9 66,0 70,0	67,5
% 2	81,5 82,3 94,1 97,3	88,8
% 4	105,9 104,0 108,9 110,6	107,4

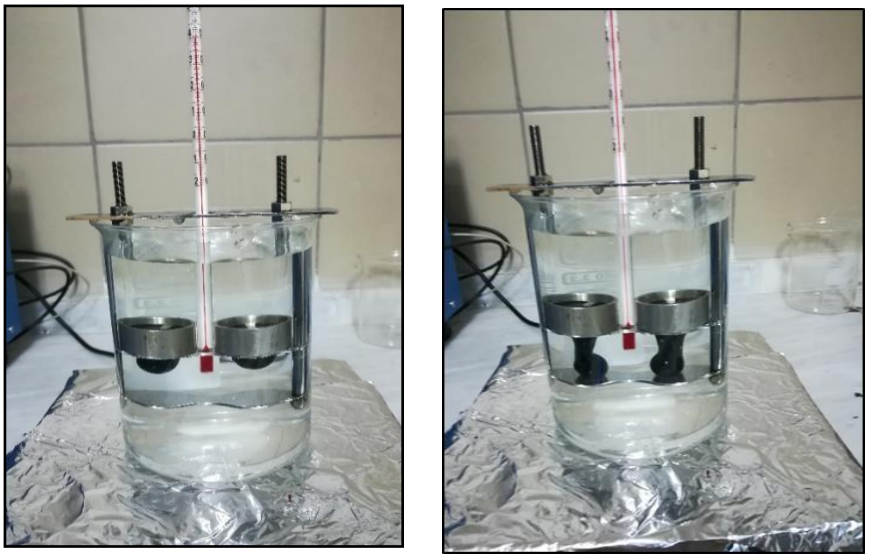
Elde edilen Penetrasyon değerleri, katkısız bitümlü bağlayıcı (50/70) ile kıyaslandığında, katkı maddesi miktarının artması ile penetrasyon değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Sonuçta katkı maddesi (OPP) bitümlü bağlayıcının esnek olmasını sağlamaktadır.

4.5.2. Yumuşama noktası deneyi (halka-bilya deneyi)

Bitümlü bağlayıcı, dökülebilir sıcaklığa kadar yani 110 °C 'ye kadar ısıtılır. Deneyde, pirinç bir halka (yüzük) içerisine bitümlü bağlayıcı numunesi Şekil 4.14'te olduğu gibi dökülür. Halkanın üzerindeki miktar ısıtılmış bir spatula yardımıyla düzeltilir. Şekil 4.15' te görüldüğü gibi üzerine çelik bir bilye (3,5 gr) yerleştirilir ve su banyosunda askıda bırakılır. Banyo sıcaklığı başlangıçta 5 °C' dir ve banyo sıcaklığı dakikada 5 °C artırılır. Halka içindeki bitümlü bağlayıcı üzerindeki bilyenin 25 mm aşağıdaki bir taban plakasına değdiği andaki suyun sıcaklığı bitümlü bağlayıcının yumuşama noktası sıcaklığıdır. İki sonuç arasındaki fark 1 ºC' den fazla ise deney tekrarlanır (ASTM-D36–95). Deney, Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ulaştırma Laboratuarında yapılmıştır.



Şekil 4.14. Pirinç bir halka içerisinde bitümlü bağlayıcı numunesi



Şekil 4.15. Yumuşama noktası deneyi

Bu deneyde, % 100 (saf bitüm) % 2 ve % 4 katkılı OPP ilave edilerek 3 deney yapıldı. Çizelge 4.4' te yumuşama noktası deneyinde elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Tüm deneylerdeelde edilen sonuçlar arasındaki en büyük fark ± 0,5 °C' dir.

Çizelge 4.4. Yumuşama noktası deney sonuçları

% OPP Oranı	% 0	% 2	% 4
Yumuşama Noktası (°C)	49 - 49,50	46 - 46,50	44,50 - 45
Ortalama	49,25	46,25	44,75

Elde edilen sonuçlara göre, katkısız bitümlü bağlayıcı (50/70) ile kıyaslandığında, katkı maddesi miktarının artması ile yumuşama noktası değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Sonuçta katkı maddesi (OPP) bitümlü bağlayıcının kıvamını yumuşatmaktadır.

4.5.3. Özgül ağırlık deneyi

Bu deneyde saf bitümlü bağlayıcı ve piroliz yontemi ile elde edilen katkı maddesi ile elde edilen modifiye bağlayıcılar dökülebilir sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. Bu arada Piknometre (Şekil 4.16) boş ve saf su ile dolu olarak tartılarak kalibre edilmiştir.

Bitümlü bağlayıcı Piknometre içersine sıvı halde dökülmüştür. 25 °C' de su banyosuna ≥ 30 dakika koyduktan sonra özgül ağırlığı bulmak için tartılmıştır. Yarı-sıvı malzemelerin özgül ağırlığı bu şekilde bulunur (ASTM-D 70-03).



Şekil 4.16. Piknometre

Bu deneyde OPP, % 0 (saf bitüm), % 2 katkı maddesi ve % 4 katkı maddesi oranı üzerinde deney gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.5' te özgül ağırlık deneyinde elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Sonuçlara göre bitümlü bağlayıcı içersindeki katkı madde oranı artıkça bağlayıcının özgül ağırlığının arttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.5. Özgül ağırlık deney sonuçları

Madde	**OPP**	**(50 -70) Bitüm**	**%2 (OPP+Bitüm)**	**%4 (OPP+Bitüm)**
Özgül ağırlık	0.0884	1.018	1.020	1.0217

4.5.4. Dönel viskozimetre (RV) deneyi

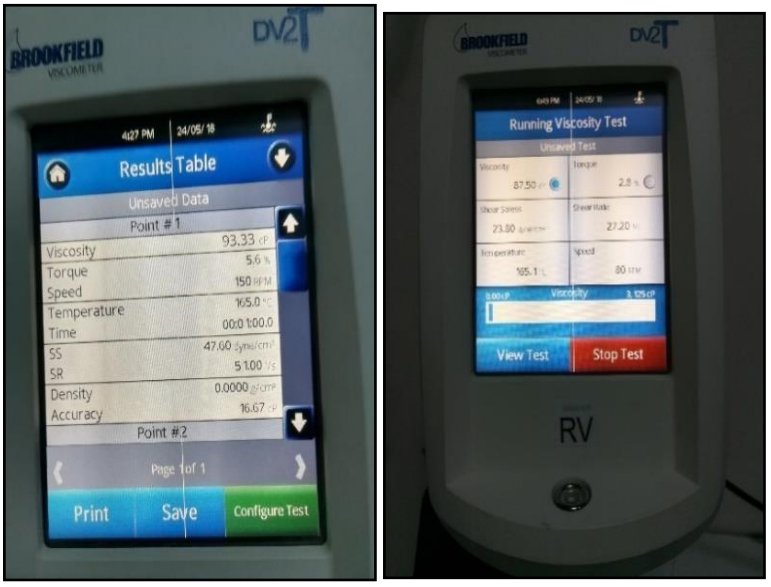
Dönel viskozitmetre cihazında silindirik bir çubuk (spindle) sabit bir sıcaklıkta bitüm numunesi içine daldırılarak, kendi etrafında dönüş hızını sabit tutucak burulma kuvvetinin ölçülmesi ile belirlenir. Bitümün agrega ile karıştırılacak kıvamda olup olmadığını anlamak amacıyla yapılan bu deney ayrıca, karışım dizaynında kullanılacak karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığının da tahmininde kullanılabilecek sıcaklık-viskozite eğrilerinin hazırlanmasını da sağlar (Dinç 2000).

Şekil 4.17’ de dönel viskozimetre cihazı gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Dönel viskozimetre cihazı

Başlangıçta, numune tüpüne dökülünceye kadar bitümlü bağlayıcı ısıtılmıştır. Cihazın kalibrasyonundan sonra, tüp içine yerleştirilmiş ve istenen sıcaklık kontrol edilmiştir. Ölçülen sıcaklığa ulaşana kadar 35 dakika beklenmiş ve hız, teknik özellikler dahilinde kesilme direncini elde etmek için cihazın en düşük hızı 20 ve en yüksek hızı olan 200 devir/dakika olarak seçilmiştir.



Şekil 4.18. Dönel viskozimetre cihazının ekranı

Deneysel çalışma Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı Laboratuvarlarında yapılmıştır. Çizelge 4.6’ da dönel viskozimetre deney sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Dönel viskozimetre deney sonuçları

% OPP Oranı	Sıcaklık ºC	Hız	% Tork	Viskozite (cP*)
% 0	135	20	3,5	437,5
		200	33,8	420
	165	20	1,10	137,5
		200	10	118,8
% 2	135	20	2,5	312,5
		200	25,2	311
	165	20	0,8	100
		200	7,4	92,25
% 4	135	20	2,3	287
		200	22,4	280
	165	20	0,7	87,5
		200	6,7	83,75

*cP= mPa s

ASTM D4402-02 standartlarna göre 135 °C ve 165 °C sıcaklık ve dönme momenti % 10’ dan az ve % 98’ den fazla olmamalıdır.

4.6. Marshall Metodu ile BSK Dızaynı

Bu çalışmada, gerekli olan aşınma tabakasının gradasyonuna göre karıştırma yapmak için gerekli agrega hazırlanmıştır. Agrega 24 saat boyunca 160-180 °C bir fırında ısıtmak amacıyla bekletilmiştir. Marshall kalıpları ve karıştırma kabı da uygun karıştırma sıcaklığında karışımın hazırlanabilmesi için ısıtılmıştır. Karıştırma işlemi 160 °C ±5 ºC’ de yapılabilmesi için bitümlü bağlayıcının da bu sıcaklığa gelmesiiçin 2 saat fırında bekletilmesi gerekir. Isıtılmış agrega karıştırma kabına boşaltıldıktan sonra uygun karışım oranı için gerekli bitümlü bağlayıcı karışıma ilave edilir ve karıştırılır. Karıştırma işlemi en fazla 2 dakika içinde tamamlanmalıdır.

Karışım, filtre kağıdı altta olmak üzere kalıba tartılarak yeterli miktarda konduktan sonra bir demir çubuk yardımıyla 15 darbe kenarlara ve 5 darbe ortaya olmak üzere, üzerine filtre kağıdı konularak yerleştirilir.

Kalıp her iki yüze 75 tokmak vuruşu yapılmak üzere Marshall sıkıştırma cihazına yerleştirilir. Birgün sonra numune kalıptan çıkarılır. Yükseklik ölçümleri yapılır. Havada ve suda ağırlıkları tartılır. Şekil 4.19' de işlem sırası resimlerle gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Marshall deneyi (Yöntemi)

Hazırlanan numunelerin Marshall stabilitesi ve Marshall akma değerlerinin belirlenebilmesi için 30 dakika süre ile 60 °C'de bir su banyosu içinde bekletilmesi gerekir (Şekil 4.22). Numuneler Şekil 4.20 ve Şekil 4.23 'te gösterilen çeneler arasına yerleştirilerek ölçümler yapılır. Marshall deneyi yapılan numuneler Şekil 4.21' de görülmektedir.



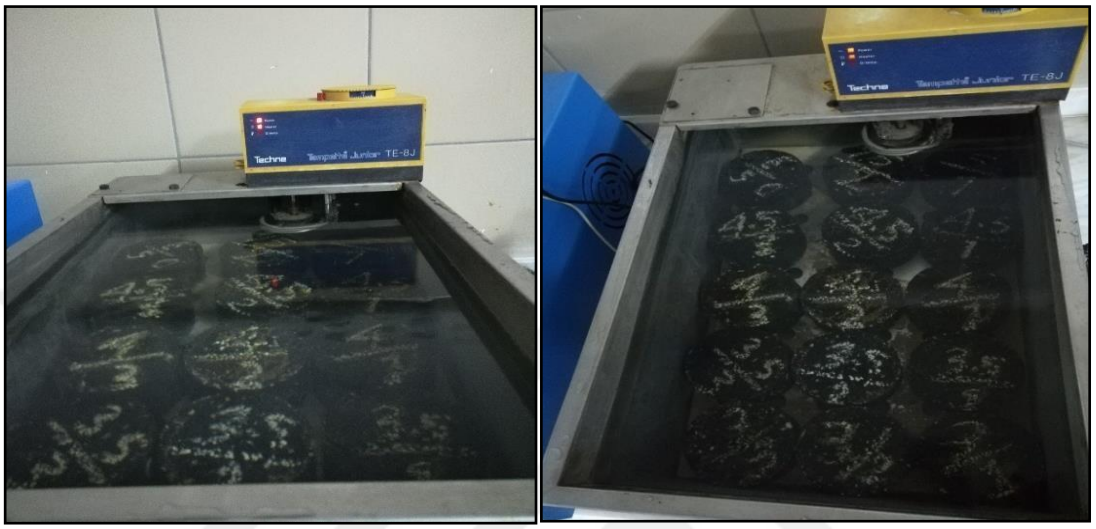
Şekil 4.20. Marshall test cihazı



Şekil 4.21. Marshall nemuneleri

Deneysel çalışmalar Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı Laboratuvarlarında yapılmıştır.

% (3,0, 3,50, 4,0, 4,50, 5,0, 5,50) bitümlü bağlayıcı oranlarında orijinal katkısız, % 0, OPP katkılı % 2 ve % 4 numuneler hazırlanmıştır. Her bitüm oranı için 3 adet, her grup için 18 adet olmak üzere toplamda 54 adet numune hazırlanmıştır (Şekil 4.21 ve Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Su banyosu içinde 60 ^{o}C de 30 dakika bekletilen numuneler



Şekil 4.23. Numunenin stabilite ve akma testi

4.6.1. Marshall deneyi sonuçları

Marshall deneyi ile elde edilen sonuçlar göz önüne alınarak katkılı ve katkısız numunelerin özellikleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.7'de katkısız (50/70 penetrasyon dereceli) bitümlü bağlayıcı ile hazırlanan Marshall numunelerinin geometrik ve fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.8'de' de katkısız (50/70 penetrasyon dereceli) bitümlü bağlayıcı ile hazırlanan Marshall numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir.

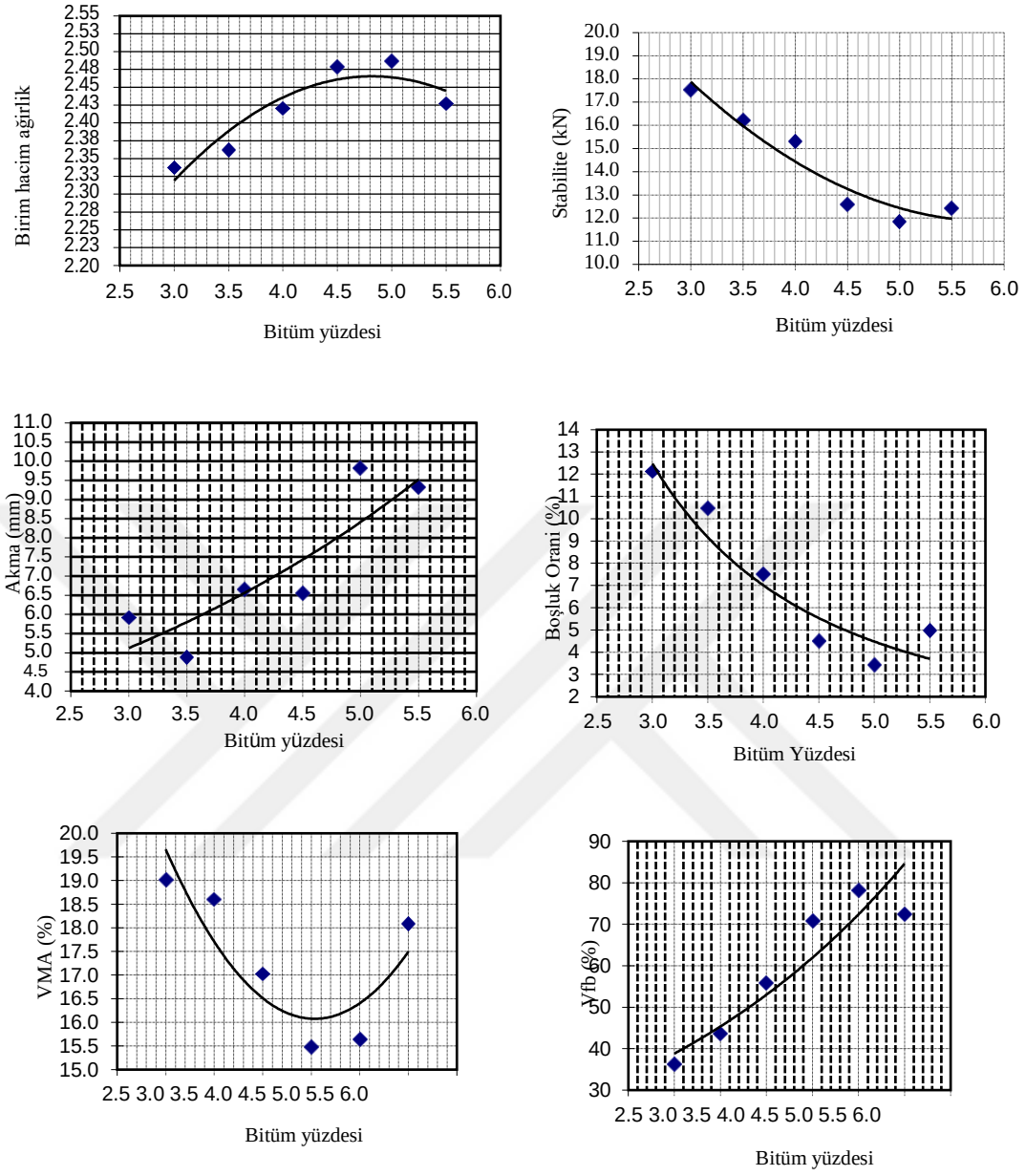
Şekil 4.24 'te (% 2 Opp) Katkılı bitümlü bağlayıcı ile hazırlanan Marshall numunelerinin deneyi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.7. Katkısız (50/70 penetrasyon dereceli) bitümlü bağlayıcı ile hazırlanan Marshall numunelerinin geometrik ve fiziksel özellikleri.

Numune No.	Bitüm oranı %	Kuru ağırlık gr	Sudaki ağırlık gr	H1 cm	H2 cm	H3 cm	R cm	H Ortalama mm	Düzeltme katsayısı	Ortalama düzeltme
1		1227.5	740.5	6,59	6,48	6,52	10,16	6,53	0,96	
2	3,0	1226.5	731.5	6,44	6,43	6,42	10,16	6,43	0,98	0,98
3		1223.5	730.0	6,41	6,36	6,32	10,16	6,36	1,00	
1		1234.5	736.5	6,44	6,46	6,48	10,16	6,46	0,97	
2	3,5	1218.5	726.0	6,41	6,40	6,44	10,16	6,42	0,98	0,98
3		1235.5	737.5	6,42	6,45	6,44	10,16	6,44	0,98	
1		1232.5	739.5	6,35	6,23	6,30	10,16	6,29	1,01	
2	4,0	1243.5	748.5	6,27	6,31	6,33	10,16	6,30	1,01	1,01
3		1246.0	747.5	6,32	6,33	6,36	10,16	6,34	1,00	
1		1250.0	755.5	6,22	6,24	6,20	10,16	6,22	1,03	
2	4,5	1254.5	754.5	6,38	6,31	6,41	10,16	6,37	1,00	1,02
3		1237.5	745.0	6,18	6,14	6,19	10,16	6,17	1,04	
1		1256.0	757.5	6,21	6,22	6,25	10,16	6,23	1,03	
2	5,0	1254.5	756.0	6,26	6,30	6,25	10,16	6,27	1,02	1,03
3		1252.5	755.5	6,20	6,24	6,25	10,16	6,23	1,03	
1		1259.5	758.0	6,38	6,33	6,35	10,16	6,35	1,00	
2	5,5	1263.0	759.5	6,32	6,30	6,33	10,16	6,32	1,00	0,99
3		1242.0	734.5	6.40	6,41	6,44	10,16	6,42	0.98	

Çizelge 4.8. Katkısız (50/70 penetrasyon dereceli) bitümlü bağlayıcı ile hazırlanan Marshall numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri.

Numune No	Bitüm Oranı %	Gerçek Hacim D2	Birim hac. Ağırlığı D1	Ort. Küçük Birim hacim Ağırlık	Teorik birim Hacim ağırlık	Stabilite (kn)	Ortalama Stabilite (kn)	Düzeltilmiş Ortalama Stabilite	Boşluk Orani (%)	Akma (mm)	Ortalama akma (mm)	VMA %	Vb	Vfb (%)
1		2,320	2,521			16,89				6,63				
2	3,0	2,354	2,478	2,337	2,660	17,28	17,527	16,214	12,135	6,47	5,923	19,02	6,89	36,21
3		2,373	2,479			18,41				4,67				
1		2,358	2,479			13,62				4,73				
2	3,5	2,343	2,474	2,362	2,638	20,20	16,220	13,211	10,482	5,33	4,890	18,60	8,12	43,65
3		2,369	2,481			14,84				4,61				
1		2,417	2,500			16,78				6,40				
2	4,0	2,435	2,512	2,420	2,617	15,86	15,297	16,948	7,516	6,47	6,657	17,03	9,51	55,85
3		2,427	2,499			13,25				7,10				
1		2,480	2,528			14,05				6,17				
2	4,5	2,432	2,509	2,478	2,596	12,30	12,603	14,472	4,512	6,35	6,547	15,47	10,96	70,83
3		2,475	2,513			11,46				7,12				
1		2,489	2,520			12,93				6,36				
2	5,0	2,469	2,517	2,487	2,575	11,35	11,857	13,318	3,422	12,77	9,823	15,64	12,21	78,11
3		2,481	2,520			11,29				10,34				
1		2,446	2,511			13,28				9,52				
2	5,5	2,468	2,508	2,427	2,554	10,80	12,417	13,280	4,968	8,71	9,327	18,08	13,11	72,52
3		2,389	2,447			13,17				9,75				



Şekil 4.24. Katkısız (50/70 penetrasyon dereceli) bitümlü bağlayıcı Marshall deneyi sonuçları

Marshall deneyi ile elde edilen sonuçlar göz önüne alınarak katkılı ve katkısız numunelerin özellikleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.9'da (% 2 Opp) Katkılı bitümlü bağlayıcı ile hazırlanan Marshall numunelerinin geometrik ve fiziksel özellikleri verilmiştir. Çizelge 4.10'da' de (% 2 Opp) Katkılı bitümlü bağlayıcı ile hazırlanan Marshall numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir.

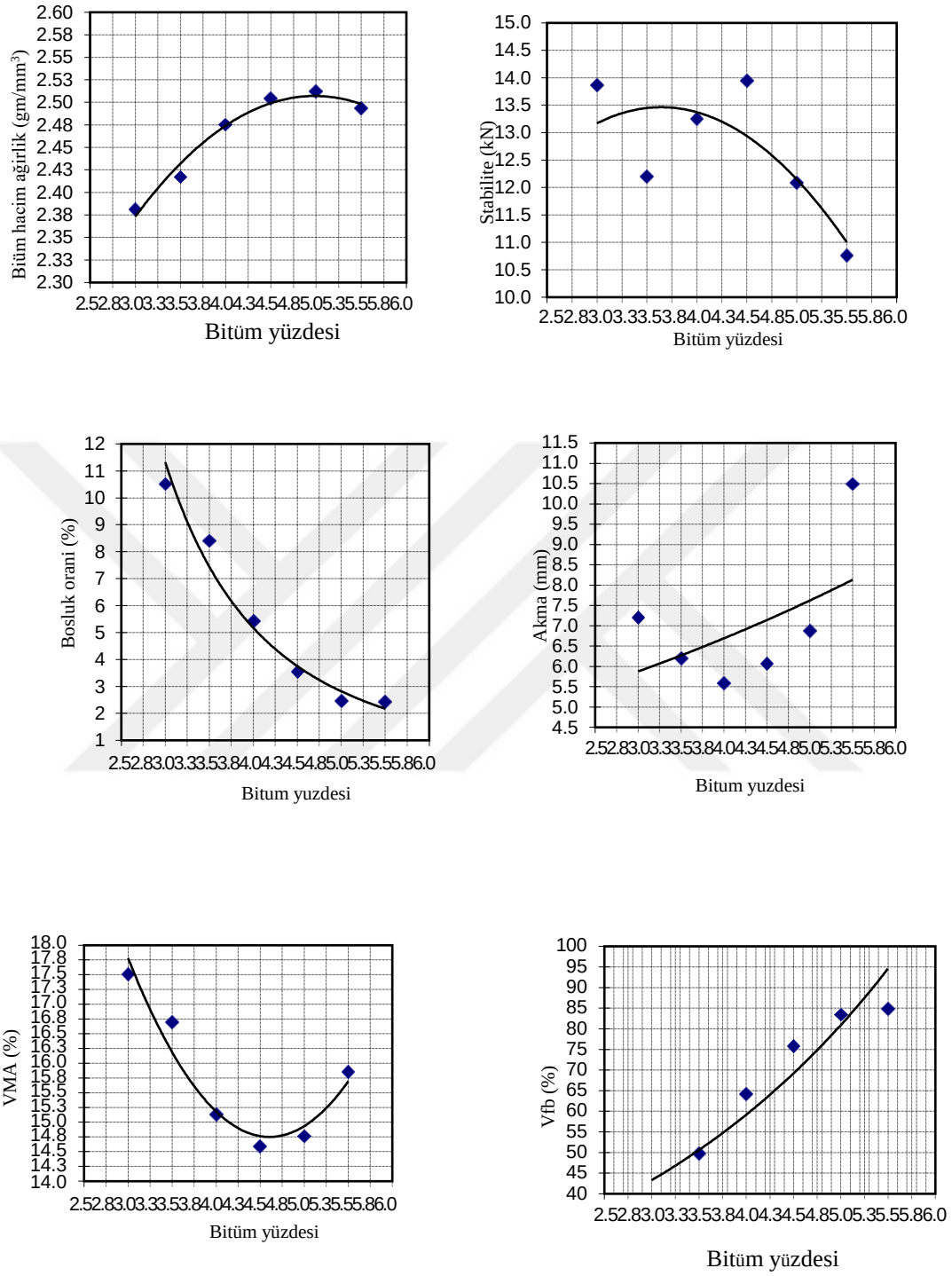
Şekil 4.25 ’te (% 2 Opp) Katkılı bitümlü bağlayıcı ile hazırlanan Marshall numunelerinin deneyi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.9. (% 2 Opp) Katkılı bitümlü bağlayıcı bitümlü bağlayıcı ile hazırlanan Marshall numunelerinin geometrik ve fiziksel özellikleri

Numune No	Bitüm oranı %	Kuru ağırlık gr	Sudaki ağırlık gr	H1 cm	H2 cm	H3 cm	R cm	H ortalam cm	Düzeltme katsayısı	Ortalama düzeltme
1	3,0	1228.5	738.0	6,40	6,38	6,35	10,16	6,38	1,00	1,00
2		1227.0	727.0	6,50	6,48	6,43	10,16	6,47	0,97	
3		1233.0	739.5	6,30	6,25	6,27	10,16	6,27	1,02	
1	3,5	1241.0	740.0	6,45	6,50	6,44	10,16	6,46	0,97	1,00
2		1246.0	752.0	6,29	6,30	6,31	10,16	6,30	1,01	
3		1241.0	748.0	6,29	6,28	6,25	10,16	6,27	1,02	
1	4,0	1248.0	754.5	6,21	6,19	6,22	10,16	6,21	1,03	1,03
2		1242.5	751.0	6,21	6,23	6,28	10,16	6,24	1,03	
3		1247.5	756.0	6,18	6,19	6,20	10,16	6,19	1,04	
1	4,5	1253.0	759.0	6,20	6,18	6,15	10,16	6,18	1,04	1,05
2		1249.5	757.0	6,12	6,14	6,20	10,16	6,15	1,05	
3		1251.0	759.0	6,18	6,19	6,13	10,16	6,17	1,06	
1	5,0	1257.5	761.5	6,19	6,20	6,15	10,16	6,18	1,04	1,05
2		1255.5	761.0	6,12	6,16	6,19	10,16	6,16	1,05	
3		1252.5	760.0	6,15	6,20	6,13	10,16	6,16	1,05	
1	5,5	1260.0	760.0	6,30	6,25	6,22	10,16	6,26	1,02	1,04
2		1255.0	760.5	6,20	6,19	6,21	10,16	6,20	1,04	
3		1244.0	752.0	6,15	6,18	6,12	10,16	6,15	1,05	

Çizelge 4.10. (% 2 Opp) Katkılı bitümlü bağlayıcı ile hazırlanan Marshall numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri.

Numune No	Bitüm oranı %	Gerçek hacim D2	Birim hac, ağırlığı D1	Ort, küçük birim hacim ağırlık	Teorik birim hacim ağırlık	Stabilite (kn)	Ortalama stabilite (kn)	Düzeltilmiş ortalama stabilite	Boşluk oranı (%)	Akma (mm)	Ortalama akma (mm)	VMA (%)	**Vb**	Vfb (%)
1		2,378	2,505			13,86				6,50				
2	3,0	2,340	2,454	2,381	2,661	16,04	15,020	13,860	10,507	7,46	7,197	17,51	7,00	40,00
3		2,426	2,498			15,16				7,63				
1		2,370	2,477			12,57				6,30				
2	3,5	2,441	2,522	2,417	2,639	15,92	12,357	12,193	8,400	6,75	6,183	16,69	8,29	49,68
3		2,441	2,517			8,58				5,50				
1		2,481	2,529			12,86				5,44				
2	4,0	2,457	2,528	2,475	2,617	11,33	12,833	13,246	5,427	5,12	5,593	15,13	9,71	64,14
3		2,487	2,538			14,31				6,22				
1		2,503	2,536			13,41				7,13				
2	4,5	2,506	2,537	2,504	2,596	13,90	13,170	13,946	3,537	5,61	6,063	14,59	11,05	75,75
3		2,504	2,543			12,20				5,45				
1		2,511	2,535			11,62				8,74				
2	5,0	2,517	2,539	2,512	2,575	12,66	12,327	12,085	2,446	6,09	6,870	14,76	12,32	83,43
3		2,509	2,543			12,70				5,78				
1		2,485	2,520			10,54				11,30				
2	5,5	2,498	2,538	2,493	2,555	11,28	10,860	10,751	2,412	10,24	10,487	15,86	13,44	84,79
3		2,496	2,528			10,76				9,92				



Şekil 4.25. (% 2 Opp) Katkılı bitümlü bağlayıcı Marshall deneyi sonuçları

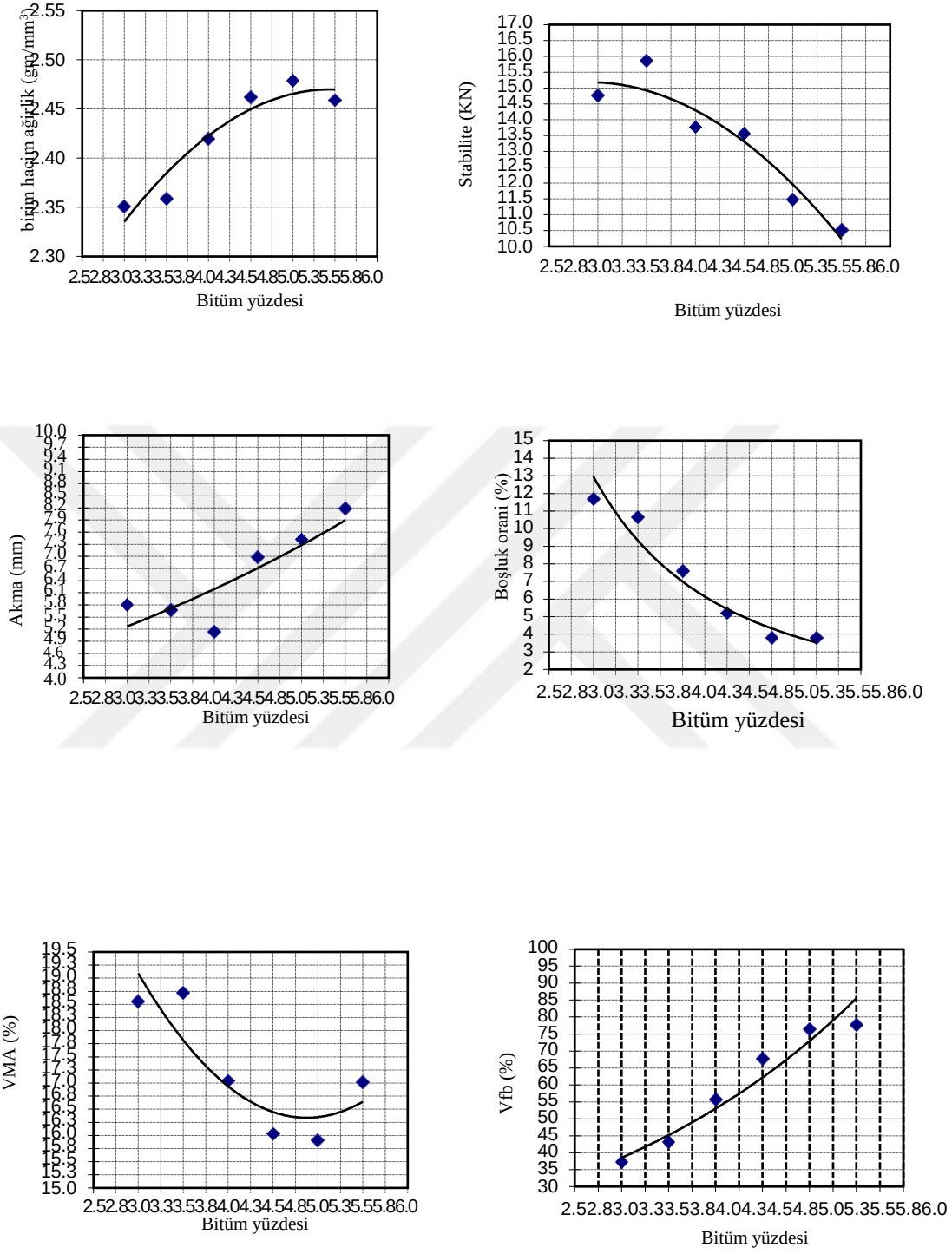
Marshall deneyi ile elde edilen sonuçlar göz önüne alınarak katkılı ve katkısız numunelerin özellikleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.11'de (% 4 Opp) Katkılı bitümlü bağlayıcı ile hazırlanan Marshall numunelerinin geometrik ve fiziksel özellikleri verilmiştir. Çizelge 4.12' de (% 4 Opp) Katkılı bitümlü bağlayıcı ile hazırlanan Marshall numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir. Şekil 4.26 'da (% 2 Opp) Katkılı bitümlü bağlayıcı ile hazırlanan Marshall numunelerinin deneyi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.11. (% 4 Opp) Katkılı Bitümlü Bağlayıcı bitümlü bağlayıcı ile hazırlanan Marshall numunelerinin geometrik ve fiziksel özellikleri

Numune No	Bitüm oranı %	Kuru ağırlık gr	Sudaki ağırlık gr	H1 cm	H2 cm	H3 cm	R cm	H Ortalama cm	Düzeltme katsayısı	Ortalama düzeltme
1		1232.5	739.0	6,30	6,35	6,38	10,16	6,34	1,00	
2	3,0	1238.5	739.5	6,35	6,38	6,32	10,16	6,35	1,00	0,99
3		1244.0	740.0	6,41	6,44	6,43	10,16	6,43	0,98	
1		1237.0	742.5	6,20	6,22	6,25	10,16	6,22	1,03	
2	3,5	1242.5	746.0	6,30	6,32	6,34	10,16	6,32	1,00	1,02
3		1236.0	737.5	6,25	6,22	6,25	10,16	6,24	1,03	
1		1248.0	755.0	6,10	6,18	6,15	10,16	6,14	1,05	
2	4,0	1248.0	751.0	6,20	6,19	6,16	10,16	6,18	1,04	1,04
3		1243.5	747.0	6,20	6,20	6,18	10,16	6,19	1,04	
1		1256.0	762.0	6,11	6,15	6,12	10,16	6,13	1,06	
2	4,5	1256.5	762.0	6,20	6,15	6,20	10,16	6,18	1,04	1,04
3		1257.5	758.0	6,30	6,29	6,25	10,16	6,28	1,02	
1		1258.0	760.5	6,22	6,25	6,24	10,16	6,24	1,03	
2	5,0	1256.0	759.0	6,19	6,20	6,17	10,16	6,19	1,04	1,03
3		1257.5	757.0	6,30	6,31	6,29	10,16	6,30	1,01	
1		1257.5	759.0	6,25	6,21	6,23	10,16	6,23	1,03	
2	5,5	1255.0	757.0	6,23	6,20	6,21	10,16	6,21	1,04	1,02
3		1260.0	757.0	6,38	6,34	6,31	10,16	6,34	1,00	

Çizelge 4.12. (% 4 Opp) Katkılı bitümlü bağlayıcı ile hazırlanan Marshall numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri

Bitüm oranı %	Gerçek hacim D2	Birim hac. ağırlığı D1	Ort. Küçük birim hacim ağırlık	Teorik birim hacim ağırlık	Stabilite (kn)	Düzeltilmiş stabilite (kn)	Düzeltilmiş ortalama stabilite	Boşluk orani (%)	Akma (mm)	Ortalama akma (mm)	Vma (%)	Vb	Vfb (%)
3,0	2,320	2,521	2,351	2,661	13,88	13,880	14,761	11,655	5,61	5,807	18,56	6,90	37,20
	2,358	2,478			14,40	14,400			5,95				
	2,375	2,479			16,33	16,003			5,86				
3,5	2,362	2,479	2,358	2,639	16,13	16,614	15,846	10,637	5,88	5,677	18,72	8,08	43,17
	2,343	2,474			13,31	13,310			5,59				
	2,370	2,481			17,10	17,613			5,56				
4,0	2,398	2,500	2,420	2,618	13,16	13,818	13,761	7,567	5,78	5,137	17,04	9,47	55,59
	2,435	2,512			11,73	12,199			3,32				
	2,427	2,499			14,68	15,267			6,31				
4,5	2,479	2,528	2,462	2,597	13,28	14,077	13,556	5,190	7,24	6,983	16,03	10,84	67,63
	2,432	2,509			13,25	13,780			7,15				
	2,475	2,513			12,56	12,811			6,56				
5,0	2,484	2,520	2,478	2,576	11,01	11,340	11,471	3,779	6,91	7,423	15,91	12,13	76,24
	2,470	2,517			11,62	12,085			7,84				
	2,481	2,520			10,88	10,989			7,52				
5,5	2,446	2,497	2,459	2,555	9,39	9,672	10,514	3,783	7,63	8,187	17,02	13,24	77,77
	2,466	2,508			10,48	10,899			8,27				
	2,464	2,496			10,97	10,970			8,66				



Şekil 4.26. (% 4 Opp) Katkılı bitümlü bağlayıcı Marshall deneyi sonuçları

Ayrıca her üç karışım grubu için optimum bitüm yüzdeleri tespit edilmiş ve optimum bitüm yüzdelerindeki karışım özellikleri kıyaslanmıştır. Çizelge 4.13' te hesaplanan Optimum bitüm yüzdeleri verilmiştir.

Çizelge 4.13. Optimum bitüm yüzdeleri

Katkı oranı	Maksimum stabilite kn	Maksimum birim hacim ağırlık gr/cm^3	% 4 Boşluk oranı	% 80 Vb/VMA	Minumum VMA %	Optimum bağlayıcı oranı %
0 % Orijinal bitüm (katkısız)	3	4,8	5,30	5,30	4,50	4,58
% 2 OPP Katkılı	3	5,5	4,75	5,35	4,50	4,62
% 4 OPP katkılı	3	5,5	5,15	5,35	4,94	4,78

AASHTO-T 245 standartlarına göre Marshall dizaynı yapılmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERILER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada otomobillerde kullanan farklı plastik parçalar kullanılmıştır. Bu parçalar Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Laboratuvarındaki piroliz cihazı ile (azot gazı basıncı altında ve yüksek sıcaklıkta (300 -360 °C) sıvılaştırılmıştır. Elde edilen malzeme kötu kokulu ve petrole benzer bir özelliktedir. Bu malzemeye basit damıtma işlemi yapılmıştır. Damıtma işlemi elde edilen malzemeye, otomobil plastiklerinin pirolizi (OPP) sonucu elde edildiği için OPP denilmiştir. Bu katkı maddesinin Bitümlü Sıcak Karışımlara (BSK) etkisi incelenmiştir.

Bunun için, farklı iki oranda (%2, %4) OPP ile elde edilen katkı malzemesi, 50/70 penetrasyon bitümlü bağlayıcı ile karıştırılmış elde edilen modifiye bitümlü bağlayıcıların özellikleri; yumuşama noktası, penetrasyon, özgül ağırlık ve dönel viskozite (RV) deneyleri ile belirlenmiştir.

Uygulanan piroliz ve bitümlü bağlayıcı deneylerinden sonra; optimum katkılı modifiye bitümlü bağlayıcı kullanılarak, Marshall yöntemine göre çeşitli bağlayıcı oranlarında BSK numuneleri üretilmiş ve optimum bitümlü bağlayıcı oranları belirlenmiştir.

Bu amaçla %3, %3,5, %4, %4,5, %5, %5,5 (6 grup) bitümlü bağlayıcı oranı için:

- Orijinal katkısız bitümlü bağlayıcı ile 3’ er adet, toplam 18 adet,
- % 2 OPP katkılı modifiye bitümlü bağlayıcı ile 3’ er adet, toplam 18 adet,
- % 4 OPP katkılı modifiye bitümlü bağlayıcı ile 3’ er adet, toplam 18 adet,

Marshall numunesi hazırlanmıştır.

Standart penetrasyon ve Yumuşama noktası deneyleri katkı maddesi kullanımı ile bitümlü bağlayıcının kıvamının yumuşadığını göstermiştir.

Dönel viskometre sonuçları da katkı maddesinin karışımın viskozitesini hem 135°C hem de 165 °C azaldığını göstermiştir.

Bu maddenin orijinal bitüm ile karşılaştırılması amacıyla elementel analizi için Bilecik Üniversitesine 5 gram katkı maddesi gönderilmiştir.

Ayrıca, agrega üzerinde deneyler yapılmış ve otomotiv plastiğinden bitume geri dönüşümlü malzemelerin eklenmesi ve daha sonra Marshall yöntemiyle bitümlü sıcak karışım tasarlanması için laboratuvar çalışmaları yapılmıştır.

Bu katkının sıcak karışım için gerekli sıcaklığı azalttığı görülmüştür. Viskozite ve bitümlü bağlayıcı kıvamı, yani bitümün olması gereken kıvama daha düşük bir sıcaklıkta ulaşması anlamına gelmektedir.

Diğer yandan, bu çalışmaile plastik malzemenin doğadan temizliğini sağlamak için kullanılan plastik atıkların geri dönüştürülmesi sağlanacaktır.

5.2. Öneriler

Bitümlü sıcak karışımların özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla katkı maddeler kullanılmaktadır. Burada amaç, karışımın özelliklerini iyileştirerek daha uzun süre kullanımını sağlamaktır yani daha ekonomik karışımlar yapılmasıdır. Son yıllarda birçok katkı maddesi kullanılmıştır. Bu çalışmada, OPP katkı maddesi kullanımının bitümlü sıcak karışımların özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Laboratuvarda farklı bitüm oranlarında sıcak karışım numuneleri hazırlanmıştır. Katkı maddesi olarak da OPP kullanılmıştır.

Elde edilen bağlayıcı ile laboratuarda hazırlanacak karışımlara tekerlek izi, sünme, dinamik sünme, üç eksenli sünme ve dinamik sünme deneyleri yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

AASHTO-T 245: Resistance to Plastic Flow of Bitumınous Mixtures Using The Marshall Apparatus, 2008.

Ahmedzade, P. ve Yilmaz, M., 2008. "Effect of polyester resin additive on the properties of asphalt binders and mixtures." *Construction and building materials*, 22(4): 481-486.

Alataş, T. ve Kirizgil, M., E., 2012, Saf ve polimer modifiyeli bitümlü bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının dönel viskozimetre deneyi ile belirlenmesi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(3) : 249-256.

Anonim 1, 2018, http://www.plasttez.com/plastik/plastik-hakkinda/neden-plastik.html (19.06.2018).

Anonim 2, 2018, Plastiklerin Kullanımı ve Etkileri pdf(22.07.2018).

Anonim 3, 2017, türkiye plastik sektör izleme raporu 2017 (19.06.2018).

Anonim 4, 2018, Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu 2018/3 Aylıkpdf(20.06.2018).

Anonim 5, 2016, http://www.kemergozcu.com/haber/13138/otomotivde-plastik-kullanımı-5-yilda-yuzde-52-artti.html (19.06.2018).

Anonim 6, 2012, Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu2012 pdf(30.10.2016).

Anonim 7, 2018, http://www. orhangazitso. org.tr / webFiles /1488897381.pdf, (19.06.2018).

Anonim 8, 2011, http://www.yesiltek.com/gdTurleri.html (19.06.2018).

Anonim 9, 2018, http://www.cografyabilimi.gen.tr/dunyada-kara-yolu-ile-ulasim-ticaret/ , (29/5/2018).

Anonim 10, 2018, kim.muhendislik.omu.edu.tr/.../kim.muhendislik/.../DİSTİLASYON (25/05/2018).

Anonim 11, 2012, https://www.erciyes.edu.tr/tr/duyuruimages/taumbrosur2012.pdf, (24.05.2018).

Anonymous 1, 2015, plasticseurope plastics the facts 2015pdf (25.05.2018).

Anonymous 2, 2017 plasticseurope plastics the facts 2017 pdf (25.05.2018).

Anonymous 3, 2016, plasticsindustry.org/files/2016-03256-SPI-PMW-Auto-Recycle-web.pdf (25.11.2016).

Anonymous 4, 2018, slideshare.net/Slidesigma/automotive-social-media-platform-market-research-street-formationcom, (1.12.2016).

Anonymous 5, 2016, google.com.tr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=eight&ved=0ahUKEwjNq_a6sMLLAhUGuhQKHawKDTcQjB0IBg&URL=httppercentage3Apercentage2Fpercentage2F, (20.03.2016).

Avcı, E., 2009, Sıcak iklimli bölgelerde kullanılan asfalt betonu karışım değişkenlerinin kaplama tabakası performansına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

ASTM-D 36-95, Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring –and- Ball Apparatus), 2000.

ASTM-D 4402-2, Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer, 2002.

ASTM-D 5-97, Standard Test Method For Penetration of Bitumınous Material, 1997.

ASTM-D 70-03, Standard Test Method for Densıty Of Semı-Solıd Bitumınous Materials (Pycnometer Method), 2003.

Aydın, H. (2004). PVC Üretimi ve Katkı Maddeleri, Osmangazi Üniv. Fen Edebiyat Fak., Kimya bölümü, (*Bitirme tezi*), Eskişehir: 59-63.

Bozoğlu, C., 2008, Bitümlü şist-plastik karışımları piroliz ürünlerinin değerlendirilmesi, Ege Üniversitesi, Izmir.

Bridgwater, A.V., 1990, Biomass pyrolysis technology, Biomass for Energy and Industry, 5th E.C. Conference, G. Grassi, G. Gosse and G. Dos Santos (eds.), Elsevier Applied. Sci., London and New York, 2: 489-496.

Chen, J.S., Liao, M.C., Lin, C.H., (2003), Determination of polymer content in modified bitumen, *Materials and Structures*, 36, 594-598.

Ceylan, S. 2006, Bitümlü sıcak karışımlarda filler olarak carboniferous-triassic kayaç tozlarının kullanılması ve etkisi, Selçuk Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Çelik, O.N., 2000, Öğütülmüş atık otomobil lastiğiyle modifiye edilmiş bitümler ile yapılan asfalt betonunun yorulma davranışı, Turk. J. Engin. Environ. Sci., *TÜBİTAK*, 25: 487-495.

Çelik, O.N. 2006, Karayolu Ders Notları. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Konya.

Demirbaş, A. 2001, "Biomass Resource Facilities and Biomass Conversion Processing for Fuels and Chemicals", *Energy Conversion and Management*, 42:1357-1378.

Dinç, E., 2000, “Superpave”, TCK 16. Bölge Müdürlüğü, *Sivas*, 11-31.

Dinç, E., Yazıcı, A., 2000, “Superpave bitüm deneyleri ve agrega gradasyonu”, 3. *Asfalt Sempozyumu*, Ankara, 161-172.

Eker, A., A., 2009, Plastik Malzemelerin Geri Kazanımı, www.yildiz.edu.tr/.../ plastikmalzeme/ Plastiklerin_Geri_Kazanimi.pdf.

Ekşi, O., 2007, Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi, Trakya Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi.

Gürleyik, E., 2006, Fosil Kaynakların Yağlı Tohumlar ile Birlikte Pirolizi ve Ürünlerin İncelenmesi. Anadolu Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, 144s, Eskişehir.

Hayta, U., 2010, Linyit – Bitümlü Şist Karişimlarinin Pirolizi , Yüksek Lisans Tezi , Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Ankara, 44-46.

Huang, Y., Bird, R., N, Heidrich, O., 2007. "A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements." *Resources, Conservation and Recycling* 52(1): 58-73.

Iwasaki, W. 2003, A consideration of the economic efficiency of hydrogen production from biomass. *International Journal of Hydrogen Energy*, 28: 939-944.

Ilacılı, M., Tayfur, S., Ozen, H., Sönmez, I., ve Eren, K., (2001), Asfalt ve Uygulamalar, İsfalt Bilimsel Yayın No:1, *İstanbul, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayın Merkezi Başkanlığı*, p.280.

Kanari, N., Pineau, J-L, Shallari, S., 2003, "End-of-life vehicle recycling in the European Union." *Jom* 55(8): 15-19.

Karacasu, M. ve Ş. Bilgiç 2009, "Atık Lastik Katkısının Sıcak Asfalt Özelliklerine Etkisi." Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University 22(2).

Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, 2013, Karayolları teknik şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.

Keyf, S., 2010, SBS ve reaktif terpolimer ile modifiye edilmiş bitümde penetrasyon ve penetrasyon indeksinin incelenmesi , Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 28: 26-34.

Kiel, M., J., Yilmaz, Ö., H., Iwashita, T., Yilmaz, O., H., Terhorst, C., Sean, J.,M., 2005, "SLAM family receptors distinguish hematopoietic stem and progenitor cells and reveal endothelial niches for stem cells." *cell*121(7): 1109-1121.

Oran, S.,Taşdelen ,M., 2014, Plastik Geri Dönüşümünde Zorluklar ve Fırsatlar.

Orhan, F. 2012, "Bitümlü karışımlar laboratuar çalışmaları." Kgm Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Önal, E., 2007, Farklı Biyokütlelerin ve Bunların Sentetik Polimerlerle Birlikte Pirolizi, Elde Edilen Ürün Özelliklerinin Belirlenmesi. Anadolu Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, 153s, Eskişehir.

Özçimen, D. ve Karaosmanoğlu, F., 2004, "Production and characterization of bio-oil and biochar from rapeseed cake." *Renewable energy* 29(5): 779-787.

Pehlivan, Ü., ve Tunçsiper, B., 2004, Plastik Ambalaj Malzemelerinin Hayatımızdaki Yeri ve Bunların Geri Kazanılması ve Azaltılmasında Çağdaş Yöntemler, Polsem 2004, *Polimer İşleme ve Geri Kazanımı Sempozyumu*, Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 114-128, ERSİN.

Punith, V. ve Veeraragavan, A., 2003, "Laboratory fatigue studies on bituminous concrete mixes utilizing waste shredded plastic modifier." *Publication of: ARRB Transport Research*, Limited.

Punkkinen, H., Lindfors, C., Oasmaa, A., Solantausta, Y., Laine-Ylijoki, J., Arpiainen, V., Laatikainen-Luntama, J., Nieminen, M., 2017, Plastic pyrolysis to liquids (PTL). *Arvoa kiertotaloudesta-materiaalien arvovirrat (ARVI)-ohjelman tulosseminaari.*

Sharuddin, S., D., A., Abnisa, F., Daud, W., M., A., W., Aroua, M.,K.,. 2016, "A review on pyrolysis of plastic wastes." *Energy conversion and management* 115: 308-326.

Şengöz, B. ve Topal, A., 2004, "Use of Asphalt Roofing Shingle Waste in HMA", Construction and Building Materials, Elsevier Science, Article in press.

Şengöz, B., Topal, A., Işıkyakar, G., (2009), Use of asphalt roofing shingle waste in HMA, Construction and Building Materials, Elsevier Science, Article in press.

Tapkın, S., Çevik, A., Uşar, Ü., 2009, "Accumulated strain prediction of polypropylene modified marshall specimens in repeated creep test using artificial neural networks." *Expert Systems with Applications* 36(8): 11186-11197.

Torun, S., 2015, Bitümlü sıcak karışımlarda katkı maddesi olarak Pr Plast S kullanımının araştırılması, Selçuk Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Tunç, A., 2004, Kaplama Mühendisliği ve Uygulamaları, Asil Yayın Dağıtım, Ankara.

Ural, A., 2013, Plastiklerin Keşfinde Sığla Yağının Rolü, Kimya Bölümü, ODTÜ Üniversitesi, Ankara.

Üçgül, İ. ve U. Elibüyük 2014, "Tekstil Atıklarının Piroliz ile Değerlendirilmesi." SDU Teknik Bilimler Dergisi 4(2).

Vatan, C., 2002, Plastik Malzemenin Geri Dönüşümü: Otomotiv Endüstrisinden Örnekler, İstanbul Teknik Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü*, 75-77.

Whiteoak, D., 2004, Shell Bıtum El Kitabı , Isfalt Bilimsel Yayın No:3, *İstanbul*., p 334.

Yeter, A., 2010, Otomotiv Sanayiinde Kullanılan Polimerik Malzemeler, Kale Oto Radyatör San. Tic. A.Ş. Mühendislik Müdürlüğü Şefi,1.

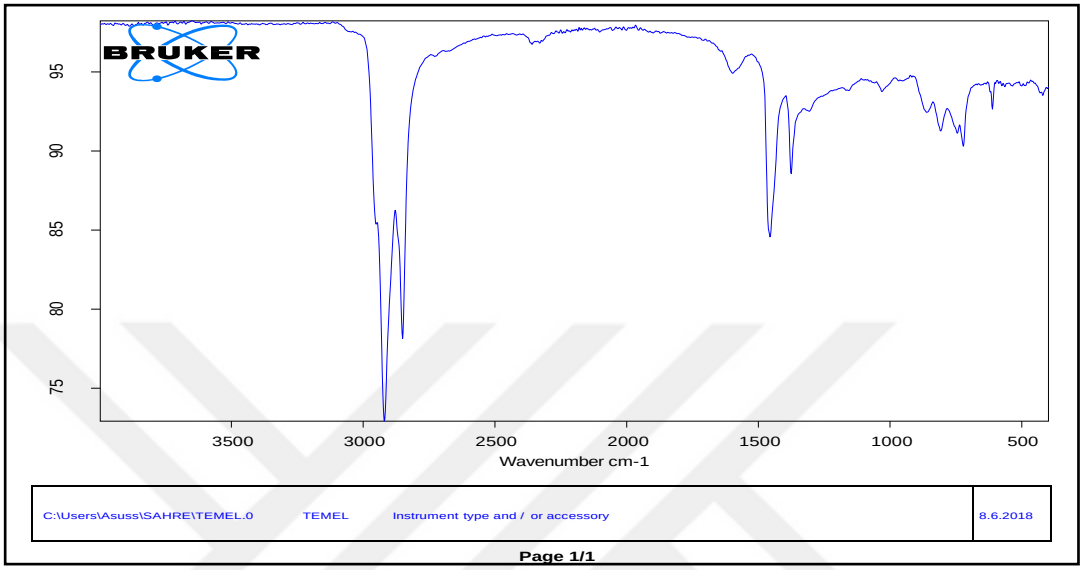
Yılmaz, M, Kök, B.,V., Kuloğlu,N., Alataş, T., 2013, Elastomer Türü Polimerler İle Modifiye Edilmiş Bitümlü Bağlayıcıların Depolama Stabilitelerinin ve Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi (Experımental Investıgatıon Of The Storage Stabılıty And Rheologıcal Propertıes Of Elastomerıc Polymer Modıfıed Bıtumınous Bınders), *Deü Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* Cilt: 15 Sayı: 1 Sh. 67-77.

Yılmaz, S., Taştan, K., Ecek, N., Çınar, E., 2017, "Otomotiv Sektörünün Dünyadaki ve Türkiye'deki Değişimi" *Sosyal Bilimler Arastirmalari Dergisi*, 7(3) : 685-695, Kasım.

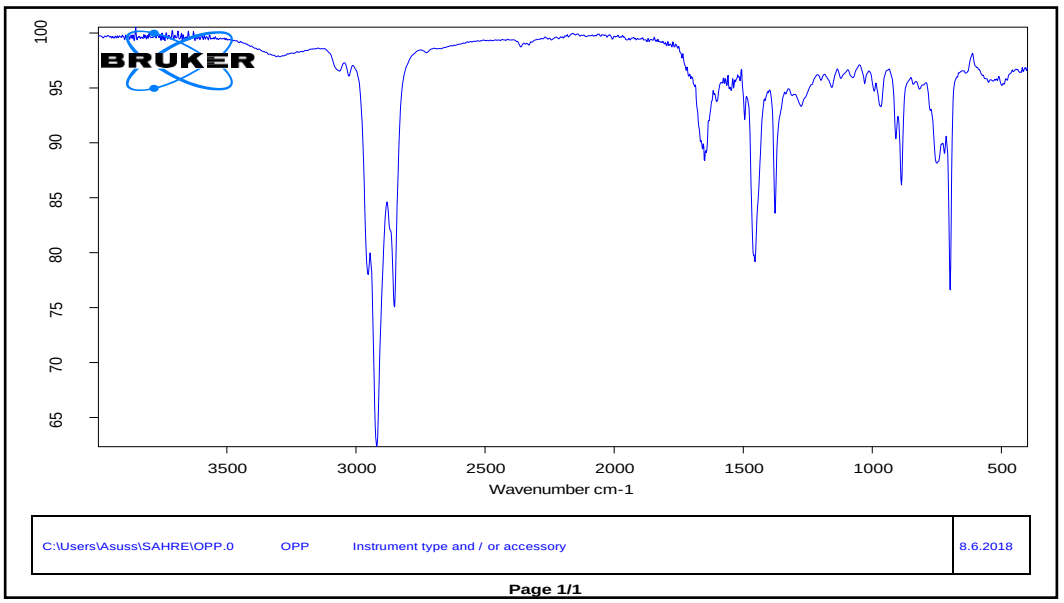
EKLER

EK-1 (**FT-IR** spektrumu ve ^{1}H NMR grafiğ)

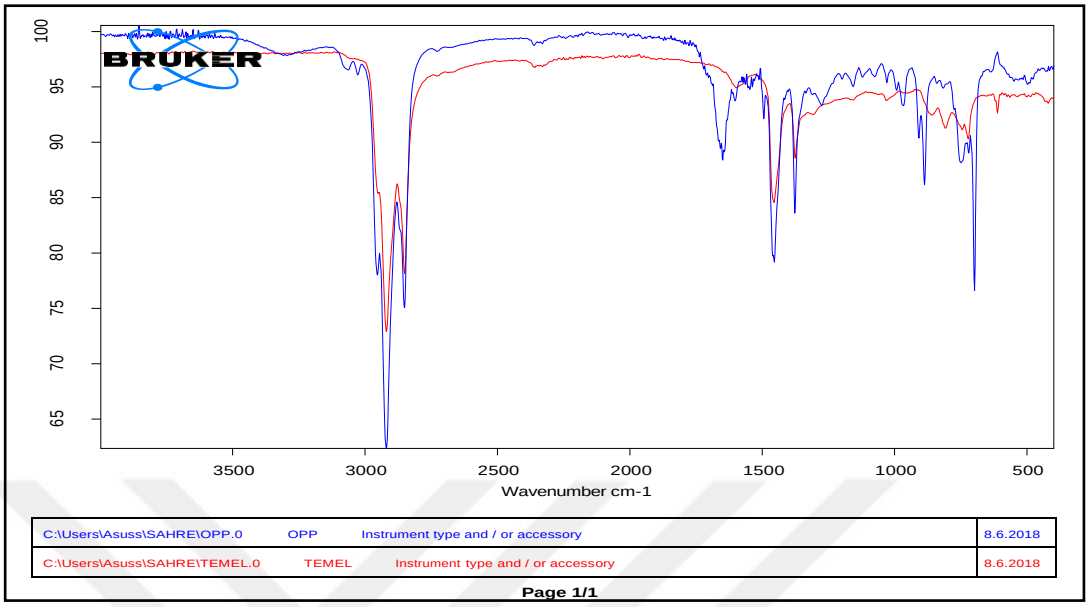
EK-1a Bitümlü bağlayıcını **FT-IR** spektrumu



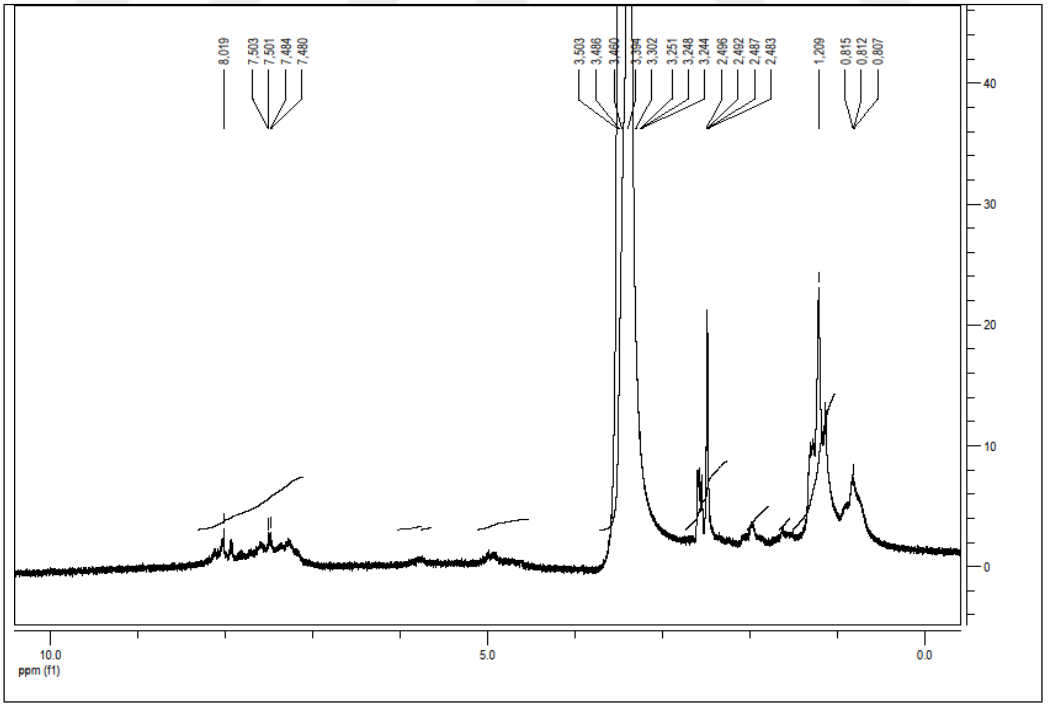
EK1-b (OPP) FT-IR spektrumu



EK1-c (OPP ve IR) FT-IR spektrumu



EK1-d OPP – ^{1}H NMR grafiğ



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Sahira Abbas Mustafa AL-OBAIDI
Uyruğu	**:**	IRAK
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	IRAK – Bağdat 7.12. 1976
Telefon	**:**	
Faks	**:**	
e-mail	**:**	Sahire 2015@Yahoo.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Sada Al- Tamim Lisesi- KARATEPE	**1994**
Üniversite	:	Bağdat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	**1999**
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği A.D	
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2001	Salahuddin Yollar ve Köprüler Müdürlüğü	Projelerin Planlaması ve Takibi

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER Arapça, inglizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

1-“Extraction of the components of crude oil from recycled plastics from car parts by pyrolysis and its use in asphalt pavements” ITPCCS 2017 Conference 26-28, 2017 in Konya, Turkey.

2- “improving the quality and specifications of asphalt by adding specific quantities to the basic mixture of asphalt from materials extracted from the plastics consumed by cars by the technique of pyrolysis”. 1st Internatıonal Balkan Chemıstry Congress , Edirne 2018.