

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MALATYA'DAKİ ATIK PLASTİKLERDEN PİROLİZ YÖNTEMİYLE
ALTERNATİF YAKIT ÜRETİLMESİ VE İÇTEN YANMALI BİR
MOTORDA YAKIT OLARAK KULLANILMASI**

ALİ EROĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

TEMMUZ 2019

Tezin Başlığı: Malatya'daki Atık Plastiklerden Piroliz Yöntemiyle Yakıt Üretilmesi
ve İçten Yanmalı Bir Motorda Yakıt Olarak Kullanılması

Tezi Hazırlayan: Ali EROĞLU

Sınav Tarihi: 22.07.2019

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Makine Mühendisliği Anabilim
Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

Tez Danışmanı: **Prof. Dr. Rasim BEHÇET**
İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Cumali İLKILIÇ
Fırat Üniversitesi

Doç. Dr. İ. Gökhan AKSOY
İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL
Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum ‘‘Malatya’deki Atık Plastiklerden Piroliz Yöntemiyle Alternatif Yakıt Üretilmesi ve İçten Yanmalı Bir Motorda Yakıt Olarak Kullanılması’’ başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Ali EROĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MALATYA'DAKİ ATIK PLASTİKLERDEN PİROLİZ YÖNTEMİYLE ALTERNATİF YAKIT ÜRETİLMESİ VE İÇTEN YANMALI BİR MOTORDA YAKIT OLARAK KULLANILMASI

Ali EROĞLU

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

67 + xii sayfa

2019

Danışman: Prof. Dr. Rasim BEHÇET

Bu tezde, Malatya ilindeki atık plastiklerden piroliz yöntemiyle alternatif yakıt elde edilmesi ve bu yakıtı dizel yakıtla karıştırarak tek silindirli dizel bir motorda analizi deneysel olarak yapılmıştır. İlk olarak alternatif yakıt elde etmek için atık plastikler piroliz reaktöründe 450 °C 'de yaklaşık 20-25 dakika ısıtılma tabi tutulmuştur. İkinci olarak ise bu sıcaklıkta elde edilen ürünler destilasyon işlemine tabi tutularak 216 °C ile 450 °C kaynama noktasına sahip olan ve atık plastik kaynaklı alternatif yakıtı oluşturan ürünler dereceli şişelerde toplanmıştır. Daha sonra atık plastik kaynaklı alternatif yakıt hacimsel olarak farklı oranlarda standart dizel yakıt (SDY) ile karıştırılarak karışım yakıtlar oluşturulmuştur. Karışım içerisindeki atık plastik kaynaklı alternatif yakıtın oranına bağlı olarak karışım yakıtları; APY10 (%90 dizel, %10 APY), APY20 (%80 dizel, %20 APY), APEY10 (%80 dizel, %10 APY, %10 etanol) şeklinde isimlendirilmiştir. Test yakıtları 1000, 1500, 2000, 2500, ve 3000 devir sayılarında ayrı ayrı tek silindirli dizel motorda test edilmiş ve motor testlerinde kullanılan karışım yakıtların motor performans (motor gücü, motor torku, özgül yakıt tüketimi) ve egzoz emisyonları (CO, CO₂, UHC) üzerindeki etkisi SDY ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Motor testlerinden elde edilen verilere göre; karışım içerisindeki atık plastik kaynaklı alternatif yakıt oranı arttıkça motor gücü ve motor torku değerlerinde azalma gerçekleşirken özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyon değerlerinde artma gözlemlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Atık plastikler, Piroliz, Alternatif yakıt, Dizel motor, Egzoz emisyonları

ABSTRACT

Master Thesis

PRODUCTION OF ALTERNATIVE FUEL WITH PYROLYSIS METHOD FROM WASTE PLASTICS IN MALATYA AND USING FUEL IN AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Ali EROĞLU

Inonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
67 + xii pages

2019

Supervisor: Prof. Dr. Rasim BEHÇET

In this thesis, it is experimentally to obtain alternative fuel from waste plastics in Malatya province by pyrolysis method and to mix this fuel with diesel fuel in a single cylinder diesel engine. First, waste plastics were heat-treated in the pyrolysis reactor at 450 ° C for about 20-25 minutes to obtain alternative fuel. Secondly, the products obtained at this temperature were subjected to distillation process and products having a boiling point of 216 ° C to 450 ° C and forming alternative fuel from waste plastic were collected in graduated bottles. Subsequently, blended fuels were formed by mixing alternate fuel from waste plastic with different proportions of standard diesel fuel (SDY). Mixture fuels depending on the ratio of alternative fuel originating from waste plastic in the mixture; APY10 (90% diesel, 10% APY), APY20 (80% diesel, 20% AY), APEY10 (80% diesel, 10% APY, 10% ethanol). Test fuels Engine performance (engine power, engine torque, specific fuel consumption) and exhaust emissions (CO, CO₂, UHC) of mixed fuels tested in separate single cylinder diesel engines at 1000, 1500, 2000, 2500, and 3000 rpm The effect of this study was compared with the ESR. According to the data obtained from engine tests; As the alternative fuel ratio originating from waste plastic in the mixture increases, engine power and engine torque values decrease while specific fuel consumption and exhaust emission values increase.

KEYWORDS: Waste plastics, Pyrolysis, Alternative fuel, Diesel engine, Exhaust emissions

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada öneri ve desteğini esirgmeden beni yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Rasim BEHÇET' e;

Alternatif yakıt üretiminde bana yardımcı olan ve yol gösteren Kimya Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Sayın Dr. Öğretim Üyesi Adil KOÇ' a;

Motor testlerinin yürütülmesinde bana yardımcı olan ve her türlü desteği sağlayan Bitlis Eren Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu öğretim üyelerinden Sayın Öğretim Görevlisi Doğan ŞİMŞEK' e

2018/1048 no'lu proje ile desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne

Teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	ÖZET.....	iv
	ABSTRACT.....	v
	TEŞEKKÜR.....	vi
	İÇİNDEKİLER.....	vii
	SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
	ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
	ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1.	GİRİŞ.....	1
2.	LİTERATÜR ÖZETLERİ VE KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1.	Literatür Özetleri.....	4
2.2.	Kuramsal Temeller.....	10
2.2.1.	İçten Yanmalı Motorlar ve Özellikleri.....	10
2.2.1.1.	Benzinli Motorlar ve Çalışma Prensibi.....	11
2.2.1.2.	Dizel Motorlar ve Çalışma Prensibi.....	13
2.3.	İçten Yanmalı Motorlarda Kullanılan Alternatif Yakıtlar.....	14
2.3.1	Hidrojen.....	15
2.3.2	Hayvansal Kaynaklı Biyoyakıt (Biyogaz).....	18
2.3.3	Bitkisel Kaynaklı Biyoyakıt (Biyodizel).....	20
2.3.4	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG).....	22
2.3.5	Sıkıştırılmış Doğalgaz (CNG).....	24
3.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
3.1.	Materyal.....	27
3.1.1	Plastik Tarihi Gelişimi ve Kullanım Alanları.....	27
3.1.2.	Plastik Malzeme Çeşitleri.....	29
3.1.2.1.	Polietilen.....	29
3.1.2.2.	Polivinilklorür (PVC).....	30
3.1.2.3.	Polistren.....	32
3.1.2.4.	Polietilentetraflar (PET).....	33
3.1.2.5.	Polipropilen.....	34
3.1.2.6.	Polyamid.....	35
3.2.	Malatya İlinin Atık Plastik Potansiyeli.....	36
3.3.	Yöntem.....	39
3.3.1.	Piroliz Proses Yöntemi.....	39
3.3.2.	Atık Plastiklerden Piroliz Sıvısı Üretimi.....	40
3.3.3.	Ana Ürünün Fraksiyonlarına Ayrılması.....	42
3.3.4.	Atık Plastik Kaynaklı Yakıtın ve Standart Dizel Yakıtın Analizinin Yapılması.....	43
3.3.5.	Atık Plastik Kaynaklı Yakıtın Dizel Motorda Test Edilmesi.....	43
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI.....	47
4.1.	Motor Performansı.....	48
4.1.1.	Motor Gücü ve Momentinin Hesaplanması.....	48
4.1.2.	Özgül Yakıt Tüketiminin Hesaplanması.....	49
4.1.3.	Motor Torku.....	49
4.1.4.	Motor Gücü.....	50
4.1.5.	Özgül Yakıt Tüketimi.....	52
4.2.	Egzoz Emisyonları.....	53

4.2.1.	Karbonmonoksit (CO).....	54
4.2.2.	Karbondioksit (CO ₂).....	55
4.2.3.	Yanmamış Hidrokarbonlar (UHC).....	56
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	59
6.	KAYNAKLAR	61
	ÖZGEÇMİŞ.....	67



SİMGELER VE KISALTMALAR

C	Karbon atomu
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
UHC	Yanmamış Hidrokarbon
O ₂	Oksijen atomu
AY	Alternatif yakıt
SDY	Standart dizel yakıt
APY10	%90 dizel, %10 alternatif yakıt karışımı
APY20	%80 dizel, %20 alternatif yakıt karışımı
APEY10	%80 dizel, %10 alternatif yakıt, %10 etanol karışımı
NO _x	Azot oksit
H ₂ S	Hidrojen sülfür
ÖYT	Özgöl yakıt tüketimi
K	Kelvin
cal	Kalori
d	Devir
kJ	Kilojoule
d	Dakika
ppm	Milyonda bir madde miktarı
Vol	Hacim
Nm	Moment
Hp	Beygir gücü
gr	Gram
kg	Kilogram
m	Metre
UHC	Yanmamış hidrokarbonlar
rpm	Devir/dakika
PM	Partikül madde
kW	Kilowatt

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Benzinli motorun ana elemanları.....	11
Şekil 2.2.	Benzinli motorun çalışma döngüsü.....	12
Şekil 2.3.	Dizel motorun ana elemanları.....	13
Şekil 2.4.	Dizel motorun çalışma döngüsü.....	14
Şekil 2.5.	Yakıt pili örneği.....	16
Şekil 2.6.	Yakıt pilli taşıtın şematik gösterilişi.....	18
Şekil 2.7.	Biyogazın kullanım alanları.....	19
Şekil 2.8.	Biyogaz saflaştırma ünitesi.....	19
Şekil 2.9.	Biyogaz ve benzin ile çalışan çift yakıtlı binek otomobili.....	20
Şekil 2.10.	Biyodizel üretim aşamaları.....	22
Şekil 2.11.	LPG'nin üretimi.....	24
Şekil 3.1.	Türkiye’de üretilen toplam plastik hammaddenin kaynaklarına göre üretimi.....	27
Şekil 3.2.	Polietilenin kullanım alanları.....	30
Şekil 3.3.	Atık hale gelen polietilen malzemeler.....	30
Şekil 3.4.	Pvc'nin kullanım alanları.....	31
Şekil 3.5.	Atık hale gelen pvc malzemeler.....	31
Şekil 3.6.	Polistren'in kullanım alanları.....	32
Şekil 3.7.	Atık hale gelen polistren malzemeler.....	32
Şekil 3.8.	Pet'in kullanım alanları.....	33
Şekil 3.9.	Atık hale gelen pet malzemeler.....	33
Şekil 3.10.	Propilenin kullanım alanları.....	34
Şekil 3.11.	Atık hale gelen propilen malzemeler.....	34
Şekil 3.12.	Polyamid'in kullanım alanları.....	36
Şekil 3.13.	Atık hale gelen polyamid malzemeler.....	36
Şekil 3.14.	Malatya ilinde oluşan ve enerji üretiminde değerlendirilebilecek atık plastik türleri.....	38
Şekil 3.15.	Piroliz proses tekniği.....	39
Şekil 3.16.	Deney düzeneği (1- azot gazı tüpü, 2-piroliz reaktörü, 3-3 silifli ana girişli balon, 4-thermocouple, 5-ayırma hunisi, 6- cam beher, 7- cam beher).....	40
Şekil 3.17.	Yakıt üretimi için kullanılan deney düzeneğinin fotoğrafı.....	41
Şekil 3.18.	Deneyden elde edilen ana ürün.....	41
Şekil 3.19.	Ana ürünün fraksiyonlarına ayrılması ile elde edilen ürünler...	42
Şekil 3.20.	Motor deney düzeneği (1-emisyon ölçüm cihazı, 2-dizel motor, 3-dinamometre, 4-yakıt deposu, 5-güç ünitesi, 6-emisyon cihazı).....	43
Şekil 3.21.	Motor deney düzeneğinin fotoğrafı.....	44
Şekil 3.22.	NF motor test sistemi.....	45
Şekil 4.1.	Farklı oranlarda atık plastik kaynaklı yakıt kullanımının motor momentine etkisi.....	50
Şekil 4.2.	Farklı oranlarda atık plastik kaynaklı yakıtın yakıt kullanımının motor gücüne etkisi.....	51
Şekil 4.3.	Farklı oranlarda atık plastik kaynaklı yakıtın yakıt kullanımının özgül yakıt tüketimine etkisi.....	53
Şekil 4.4.	Farklı oranlarda atık plastik kaynaklı yakıtın yakıt kullanımının CO emisyonuna etkisi.....	55

Şekil 4.5.	Farklı oranlarda atık plastik kaynaklı yakıtın yakıt kullanımının CO ₂ emisyonuna etkisi.....	56
Şekil 4.6.	Farklı oranlarda atık plastik kaynaklı yakıtın yakıt kullanımının UHC emisyonuna etkisi.....	58



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Hidrojen'in fiziksel özellikleri.....	15
Çizelge 2.2.	Biyodizelin fiziksel özellikleri.....	22
Çizelge 2.3.	LPG fiziksel özellikleri.....	24
Çizelge 2.4.	Doğalgaz fiziksel özellikleri.....	25
Çizelge 3.1.	Bazı termoplastiklerin kimyasal formülleri.....	28
Çizelge 3.2.	Bazı termoplasitk ve termosetting polimerler ve monomerleri.....	29
Çizelge 3.3.	Malatya merkez ilinde ve ilçelerinde oluşan yıllık atık plastik miktarları.....	38
Çizelge 3.4.	Atık plastik kaynaklı piroliz sıvısının analiz sonuçları.....	43
Çizelge 3.5.	Egzoz emisyon cihazının özellikleri otomobili.....	46
Çizelge 3.6.	Deneylerde kullanılan dizel motorun teknik özellikleri.....	46

1. GİRİŞ

Küresel ısınma, atık politikaları ve fosil yakıtların istikrarsız fiyatları, bilim adamlarını alternatif enerji kaynakları arayışına yönlendirmiştir. Günümüz dünyasında kullanılan yedi tane alternatif enerji kaynağı bulunmaktadır. Bunlar; su enerjisi, jeotermal enerji, nükleer enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyokütle ve atıklardır. Atıkların birçok çeşidi olmakla birlikte kaynaklarına ve özelliklerine göre atıklar kendi aralarında tarımsal atıklar, hayvansal atıklar, endüstriyel atıklar ve evsel atıklar olmak üzere dört kısma ayrılarak sınıflandırılabilir.

Artan nüfusun beraberinde getirdiği ihtiyaçlar doğrultusunda oluşan atık kaynaklı çevre kirliliği üzerinde durulması gereken en önemli konular arasındadır. Katı, sıvı ve gaz şeklinde çevreye atılan atıklar çevre ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Atıkların çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini minimize etmek için alınacak yöntemlerden biriside bu atıkları enerji üretiminde değerlendirmektir. Atıkların geri kazanımı ve enerji üretiminde değerlendirilmesi son zamanlarda bilim adamlarının en çok üzerinde yoğunlaştığı konular arasındadır. Çevrede oluşan birçok atık çeşidi olmakla birlikte bahçe atıkları, gıda atıkları, kâğıt, karton, tekstil, kauçuk, tahta, metal, cam, plastik vb. gibi katı atıklar enerji üretiminde değerlendirilebilecek önemli atıklar arasında yer almaktadır. Geri dönüşümü ve enerjiye dönüştürülmesi bakımından elde edilmesi kolay olan katı atıklardan biriside atık plastiklerdir. Plastiklerin geri dönüşümü yeni bir teknoloji olmamakla birlikte enerji üretiminde değerlendirilmesi ve özellikle içten yanmalı motor yakıtı üretiminde kullanılması Türkiye için yeni bir teknolojidir.

Dünya’da kendi teknolojisini geliştirerek atık plastiklerden dizel yakıt üreten yirmiden fazla işletme bulunmaktadır. Yüksek sıcaklık ve basınç altında plastik malzemeler bozunmadan parçalanarak alternatif bir yakıta dönüştürülebilmektedirler. Atık plastiklerden yakıt üretim sistemleri her gün biraz daha gelişmekte ve verimleri artmaktadır. Atık plastiklerden yakıt üretim sistemlerini tam kapasite ve en yüksek verimle çalışması halinde 5 ton atık plastikten 4 bin litre yakıt üretilmesi mümkündür. Dünya genelinde plastik üretimi yılda yaklaşık 10,2 milyon ton olduğu için uzun bir süre bu alanda atık malzeme sıkıntısı olmayacağı da söylenebilir [1].

Son 30 yıl içerisinde plastik üretiminde aşırı bir büyüme görülmüş olup, dünyadaki yıllık plastik üretim miktarı yaklaşık olarak 129 milyon tona çıkmıştır [1]. Bu plastiklerin kullanımı sonucu atık hale gelmesi çevre ve insan sağlığı açısından olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Polietilen (PE), polisitren (PS), polipropilen (PP) ve Polivinilklorür (PVC) gibi sentetik polimerlerin üretimi ise son 20 yılda önemli ölçüde artmış olup bunların kullanımı sonunda atık hale gelmesi ile çevreye olan zararlarının minimuma indirmek için hassas çalışmalar yapılmaktadır. Son yıllarda atık plastiklerin geri dönüşümü konusunda birçok yöntem geliştirilmesine rağmen, bu plastiklerin milyonlarca tonları, dönüştürülme işlemlerinden geçmeden atılmaktadırlar [2].

Atık plastikler yüksek miktarda enerji ihtiva ettiklerinden dolayı, bunların içten yanmalı motor yakıtına dönüştürülmesi umut verici bir çözüm olabilir. Atık plastiklerin dizel yakıtı dönüştürülme işlemi; piroliz, gazlaştırma ve katalitik çatlama olmak üzere üç farklı geleneksel rafineri işlemleri ile yapılmaktadır. Atık plastiklerin dizel yakıtı dönüştürülmesi için en uygun yöntem piroliz proses tekniğidir [3,4]. Piroliz işlemi, oksijensiz ortamda yani yanma olmadan gerçekleşen termal bozulma sürecidir. Atık plastikler, piroliz yöntemi ile sıvı, gaz ve katı olmak üzere üç farklı ürüne dönüştürülebilmektedir. Piroliz ürünün kalitesi atık plastik tipine, piroliz reaktörüne ve proses parametrelerine (sıcaklık, bekleme zamanı ve katalizörler gibi) bağlı olarak değişebilmektedir. Atık plastiklerden piroliz yöntemi ile elde edilen sıvı ürün petrol türevli yakıtlara benzer özelliklere sahip olduğundan dolayı içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilirler [5].

Dizel motorların, benzinli motorlara göre daha verimli olmaları, yük ve yolcu taşımacılığında önemli yer tutması gibi özellikleri dizel motorlu araçların önemini ve sayısını arttırmıştır. Her ne kadar dizel motorlar benzinli motorlara göre belirtilen üstünlükleri varsa da bu motorların atmosfere saldıkları yüksek miktardaki NO_x ve PM emisyonları dezavantaj oluşturmaktadırlar. Gerek dizel motorlardan kaynaklanan emisyonların çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkisi gerekse petrol türevi dizel yakıtların önümüzde 35 yıl içerisinde tükenme noktasına gelecek olması, dizel yakıtı alternatif yakıt arayışını zorunlu kılmıştır [6-9].

Atıklardan dizel yakıt üretimi ile ilgili son zamanlarda birçok bilimsel çalışma olmasına rağmen atık plastiklerden yakıt üretimi ile çok az sayıda çalışma olup konu ile ilgili Türkiye’de yapılan çalışma sayısı yok denecek kadar azdır. Mevcut olan

alışmalar da yalnızca üretim ile ilgili olup bu yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanımına rastlanmamıştır. Atık plastik kaynaklı yakıtlarla ilgili yapılan çalışmalarda, genellikle alternatif yakıt farklı oranlarda dizel yakıtla karıştırılarak elde edilen karışımın dizel motorda test edilerek karışım yakıtın motor performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmada ise, Malatya ilinde oluşan atık plastiklerin değerdendirilmesi amacıyla piroliz yöntemi kullanılarak dizel yakıtı benzer özellikler taşıyan yakıt üretilmiş ve üretilen yakıt farklı oranlarda standart dizel yakıt ile karıştırılmıştır. Elde edilen karışım yakıtlar tek silindirli bir dizel motorda test edilerek, karışım yakıtların motor performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.



2. LİTERATÜR ÖZETLERİ VE KURAMSAL TEMELLER

2.1. Literatür Özetleri

Son zamanlarda hem atıkları değerlendirmek hem de atıkların çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini minimize etmek amacıyla farklı tür yöntemler (Transesterifikasyon, piroliz vb) kullanılarak bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Konu ile ilgili literatür araştırması yapıldığında dizel yakıt alternatif olabilecek farklı tür atıklardan dizel yakıt benzeri motor yakıtı üretimi ve dizel motorlarda test edilmesi ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların bazıları atık yağ kaynaklı, bazıları atık lastik kaynaklı ve bazıları da atık plastik kaynaklıdır. Atıklardan yakıt üretimi ile yapılan literatür taraması sonucu değerlendirilen çalışmaların bazıları aşağıdaki şekilde özetlenmiştir:

S. Kumar vd. [9] yüksek yoğunluklu atık polietilen plastiklerden piroliz yöntemiyle alternatif yakıt ($C_{10}H_{20}$ - $C_{25}H_{52}$ arasındaki hidrokarbonlara sahip) elde etmişlerdir. Elde ettikleri alternatif yakıtları farklı oranlarda (%100 dizel, %10 ay ve %90 dizel, %20 ay ve %80 dizel, %30 ay ve %70 dizel, %40 ay ve %60 dizel) dizel yakıtla karıştırıp bir dizel motorda emisyon testi yapmışlardır. Testlerde edilen sonuçlara göre egzoz gazı sıcaklığı, özgül yakıt tüketimi, CO emisyonları ve yanmamış hidrokarbonların (UHC) emisyonlarında artış gözlenirken CO₂ emisyonlarının azaldığı görülmüştür. CO emisyon değerlerinin artmasını atık plastik yakıtın oksijenli bileşimin az olmasına ve bundan dolayı oluşan eksik yanmaya bağlamışlardır. Özgül yakıt tüketiminin artması ise atık plastiklerden elde ettikleri yakıtın ısı değeri dizel yakıtına göre daha düşük olmasındandır. Yanmamış hidrokarbon emisyon değerlerinin artması ise alternatif yakıtın viskozitesinin dizel yakıtına göre yüksek olması ve bu yüksekliğin yakıt karışımının yanma odasının derinlerine doğru homojen şekilde yayılamamasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. CO₂ emisyon değerlerinin azalmasının ise yakıt karışımının geç yanmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Atık plastiklerin dizel motor yakıtı olarak kullanıldığı Viswanath ve arkadaşlarının çalışmasında [10] atık plastik kaynaklı alternatif yakıt dizel yakıtla farklı oranlarda karıştırılarak elde edilen karışım yakıtın dizel motorun performans ve egzoz emisyonları üzerine etkilerini incelemişlerdir. Karışım içerisindeki atık plastiklerden elde edilen yakıt oranı arttıkça is emisyon değerleri artış göstermiştir. Bu

artışın sebebi olarak ise alternatif yakıt içerisindeki bileşiklerin oksijen bakımından fakir olmasıdır. NO_x emisyonları için yaptıkları deneyde, karşıdaki alternatif yakıt oranı arttıkça NO_x emisyon değerleri artmıştır. Bunun sebebi olarak, yakıt içerisindeki alternatif yakıt oranı arttıkça gecikme periyotlarının artmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Karışım içerisindeki alternatif yakıt oranı arttıkça CO emisyon değerlerinin artmasının nedenini oksijen eksikliğinden kaynaklanan eksik yanmaya bağlamışlardır.

M.Mani vd. [11] atık plastiklerden elde ettikleri alternatif yakıt üzerine yaptıkları çalışmada C_{10} - C_{30} arasındaki karbon miktarlarına sahip hidrokarbonlardan alternatif yakıt elde etmişlerdir. Elde ettikleri bu yakıtı dizel yakıtla karıştırmadan dört zamanlı, tek silindirli, direk ateşlemeli, hava soğutmalı özelliklerine sahip dizel motorda emisyon analizi yapmışlardır. Çalışmalarında NO_x emisyon değerlerinin alternatif yakıtta dizel yakıtla oranla yaklaşık %25 arttığı, aynı şekilde CO emisyonlarının arttığı, yanmamış hidrokarbon miktarının %15 arttığı sonuçlarına varmışlardır. Elde ettikleri bu sonuçlar ışığında CO emisyon değerlerinin artmasını alternatif yakıtın yoğun olmasına ve bunun da ateşleme gecikmelerine sebep olmalarına bağlamışlardır. NO_x emisyon değerlerinin artması ise yakıt içerisindeki aromatik bileşiklerin oranının fazla olmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Yanmamış hidrokarbon oranlarının artmasını ise alternatif yakıt içerisindeki oksijenli bileşiklerin az olmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Termal verim için yaptıkları deneylerde ise alternatif yakıtın ısı değeri düşük olmasından ötürü, dizel yakıtla göre karışım yakıtlarının değerlerinde %5-%8 arasında azalmalar elde ettiklerini belirtmişlerdir.

D.Damodharan vd. [12] piroliz yöntemiyle elde ettikleri alternatif yakıtla bütanol eklemişlerdir. Elde ettikleri bu yakıt karışımını farklı oranlarda dizel yakıtla karıştırarak tek silindirli dizel motorda denemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre karışım içindeki bütanol oranı arttıkça NO_x , UHC ve CO emisyon değerleri artmıştır. Bu artışların sebebini silindir içinde yanmanın kolay meydana gelmediğine, alev söndürme bölgelerinin artışına alternatif yakıtın dizel yakıtla göre daha yoğun ve viskozitesinin yüksek olmasına bağlamışlardır. Atık plastik ve dizel yakıtın karışımına ilaveten bütanol eklemişlerdir. Elde ettikleri bu karışımla yaptıkları deneylerde bütanolün daha az yoğun ve oksijenli bileşikler bakımından daha zengin olmasından dolayı NO_x , CO ve UHC emisyon değerlerinde ve özgül yakıt tüketiminde azalmalar gözlemlemişlerdir. Termal verim için yaptıkları deneylerde ise yakıt içerisindeki

alternatif yakıt oranı arttıkça termal verim azalmıştır. Bunun sebebi olarak ise alternatif yakıtın dizel yakıta göre ısı değeri ve setan sayısının düşük olmasıdır.

K. Ioannas vd. [13] atık lastiklerden proliz proses yöntemi ile elde ettikleri alternatif yakıtı 4 silindirli, 68 kW güce sahip, sıkıştırma oranı 17:1 olan dizel bir motorda testini yapmışlardır. Alternatif yakıtın çoğunlukla metan, hidrojen, nitrojen, karbonmonoksit ve karbondioksitten oluştuğunu belirtmişlerdir. Bu yakıtla 5 farklı deney (%100 dizel, %75 dizel %25 ay, %50 dizel %50 ay, %25 dizel %75 ay, %10 dizel %90 ay ve %100 ay) yapmışlardır. Bu varyasyonlara göre karışım içerisindeki alternatif yakıt oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi artmış olup sebebinin ise alternatif yakıtın ısı değeri az olmasına bağlamışlardır. Termal verim için yaptıkları deneylerde ise alternatif yakıtın ısı değeri düşük olması termal verimin azalmasına sebep olduğunu belirtmişlerdir. Emisyon değerleri testine gelindiğinde ise CO emisyon değerlerinde karışım içerisindeki alternatif yakıt oranı arttıkça artışlar görülmüştür. Bunun sebebinin ise alternatif yakıtın dizel yakıta göre setan sayısının düşük olması ve eksik yanmadan kaynaklandığını ifade etmişlerdir. NO_x emisyon değerleri için yaptıkları deneylerde alternatif yakıt oranının artmasına bağlı olarak NO_x emisyon değerleri de artış göstermiştir. Alternatif yakıtın nitrojenli bileşikler açısından dizel yakıta göre daha fazla bileşik içermesi ve egzoz gazı sıcaklığının yüksek olmasını bu durumun sebebi olabileceklerini ifade etmişlerdir. UHC emisyon değerlerinde ise alternatif yakıt oranı arttıkça bu değerlerde artış göstermiştir. Alternatif yakıtın oksijenli bileşikler açısından fakir olması ve viskozitesinin yüksek olmasına bağlamışlardır.

A. Selvaganapthy vd. [14] nano partiküllerin dizel yakıtla belirli oranlarda karıştırarak, bu karışımın emisyon, performans ve patlama testlerinin içten yanmalı dizel bir motorda yapmışlardır. Dizel yakıta 250 ve 500 ppm ZnO karıştırarak 3 farklı deney yapmışlardır. Yazarlar karışım içindeki ZnO oranı arttıkça ateşleme gecikmesinin azaldığı, NO_x emisyonlarının, özgül yakıt tüketiminin, silindir basıncının arttığı sonuçlarına varmışlardır.

C. Wongkhorsub vd. [15] piroliz ürünlerini dizel motorda kullanımı adlı çalışmalarında dizel yakıtla karıştırmadan lastik ve plastik piroliz ürünlerini dizel motorda test etmişlerdir. Yazarlar 2500 motor devrinde (d/d) her iki piroliz ürünlerinde de dizel yakıta göre özgül yakıt tüketiminin azaldığı, buna rağmen 2500 motor

devrinde dizel yakıtı göre her iki piroliz ürününde de motor performansında %45-%50 oranlarında kayıp görüldüğü sonuçlarına varmışlardır. Ancak piroliz ürünlerinin maliyeti dizel yakıtı göre %85 ucuz olduğundan bu kaybın önemli olmayacağı ve dizel motorun piroliz yakıtı göre modifiye edilebileceğinden alternatif bir yakıt olarak kullanılabilir olduğunu çalışmalarında belirtmişlerdir.

Carraretto vd. [16] biodizel yakıtın alternatif yakıt olarak kullanılması üzerine yaptıkları çalışmalarında 5 farklı yakıt oluşturup, bu yakıtın motor performans ve emisyon değerlerine olan etkilerini incelemişlerdir. Bu yakıtlar %100 biodizel, %75 biodizel-%25 dizel, %50 biodizel-%50 dizel, %25 biodizel - %75 dizel ve %100 dizeldir. Yaptıkları deneylerinin sonuçlarına göre yakıt içerisindeki biodizel oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi, %100 dizel yakıtı göre birinci karışım için %10, ikinci karışım %6, üçüncü karışım %4, dördüncü karışım ise %3 oranında artış olmuştur. Motor gücü sonuçlarında ise yakıt içerisindeki biodizel oranı arttıkça motor gücünde azalma olduğu sonuçlarına varmışlardır. Emisyon değeri olarak ise NO_x ve CO değerleri için yaptıkları deneylerde yakıt içerisindeki biodizel oranı arttıkça NO_x değerlerinin arttığı ve CO emisyon değerlerinin ise azaldığı sonucuna varmışlardır.

K. Ioannas. vd. [17] farklı sıcaklıklarda 700 °C ve 900 °C piroliz reaktöründen elde ettikleri alternatif yakıtı dizel yakıtı ile karıştırarak dizel motorda analizini yapmışlardır. NO_x emisyon değerleri için yaptıkları deneyler sonucunda 700 °C’de elde ettikleri alternatif yakıt 900 °C’de elde ettikleri yakıtı göre daha iyi sonuçlar vermiş ve bunu yakıtın yoğunluğunun artmasına bağlı olarak ateşleme gecikmesinin artmasına bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. CO₂ deneylerindeki artışları ise yakıt içerisindeki C:H oranının artmasına bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. 700 °C’lik yakıttaki oran 8.63, 900 °C’lik yakıttaki oran 10.34, dizel yakıttaki oran ise 6.46 olduğunu çalışmalarında göstermişlerdir. UHC emisyon değeri için yaptıkları deneyde ise 700 °C’deki yakıtın emisyon değeri dizel yakıtı göre %33,5 artış göstermiş olup, karışım içindeki oran arttıkça UHC emisyon değerleri de artmıştır. Bu artışın sebebinin alternatif yakıtın daha fazla aromatik bileşikler içermesine ve ateşleme gecikmesine bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. CO emisyon değerlerine gelindiğinde ise karışım içerisindeki alternatif yakıt oranı arttıkça bu değerler artış göstermiş olup, bunun sebepleri olarak ise karışımın daha düşük setan sayısına sahip olması ve karışım içerisindeki yüksek aromatik bileşik miktarlarından kaynaklanan ateşleme gecikmeleridir. Araştırmalarının sonuçlarında ise en uygun karışım oranının

%30-40 dizel, %70-60 alternatif yakıt (700 °C) olduğunu saptamışlar ve optimum motor performansını elde etmek için setan sayısı, ateşleme gecikmesi gibi verilerinde araştırılması gerektiği sonuçlarına varmışlardır.

J. Pratoomyod vd. [18] atık plastiklerden piroliz yöntemiyle elde ettikleri yakıtı 6 silindirli, 4 zamanlı su soğutmalı, 5790 cm³ hacmine sahip dizel motorda deneysel olarak test etmişlerdir. Atık plastiklerden elde ettikleri yakıtı dizel yakıtla 100:0(dizel), 75:25 (karışım%25), 50:50 (karışım%50), 25:75 (karışım%75) oranlarında karıştırmışlardır. Deneyler sonucunda ise yakıt içerisindeki karışım oranı arttıkça tüm motor deney devirlerinde motor gücü ve motor torkunda azalma olduğu, CO, CO₂, NO_x ve UHC emisyon değerlerinde ve özgül yakıt tüketimi değerlerinde artış olduğu sonuçlarına varmışlardır. Özgül yakıt tüketimi değerlerindeki artışı ise eksik yanmaya ve mekanik kayıpların artmasına bağlamışlardır.

C. İlkılıç vd. [19] hurda taşıt tekerleklerinden piroliz proses tekniği ile alternatif yakıt elde etmişlerdir. Deneylerini 400 °C – 700 °C (50 °C artış olacak şekilde) aralığında gerçekleştirmişlerdir. İlk ürünü 400 °C’de almış olup maksimum sıvı ürün miktarını ise yaklaşık 500 °C’de elde etmişlerdir. Bu yakıtla 9 varyasyonlu (birisi %100 dizel olmak üzere) deney yapmışlardır. Elde ettikleri yakıtı tek silindirli, maksimum 10 hp gücüne sahip, hava soğutmalı, direk enjeksiyonlu, sıkıştırma oranı 18:1 olan bir dizel motorda test etmişlerdir. Motor performansı için yaptıkları deneylerde motor gücü açısından en yüksek motor gücünü dizel yakıtla elde etmişlerdir. Motor gücündeki azalmayı alternatif yakıtın ısı değeri dizel yakıtla göre daha düşük olmasından kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir. Motor torku değerleri için yaptıkları deneylerde ise maksimum torku 2000 motor devrinde (d/d) elde etmişlerdir. Fakat, alternatif yakıt karışımı arttıkça tork değerlerinde azalma görülmüştür. Bu azalmayı ise artan mekanik kayıplara ve karışımın ısı değeri az olmasına bağlı olabileceğini belirtmişlerdir. Emisyon değerleri deneylerinde ise CO ve UHC emisyon değerlerinde karışım içerisindeki alternatif yakıt oranının artmasına bağlı olarak artış görülmüştür. Bu artışların en güçlü sebebinin ise eksik yanmadan kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Is emisyon değerlerinde de artışlar görülmüştür. Yazarlar bu artışı atık tekerleklerden elde ettikleri yakıtın yoğunluğunun yüksek olmasına ve yakıtın içerisinde büyük moleküllerin bulunmasına bağlı olabileceğini ifade etmişlerdir. NO_x emisyon değerleri için yaptıkları deneylerde ise karışım içerisindeki oran arttıkça 2000 motor devrinde artışlar görülmüştür. Bu artışa, silindir

içerisindeki yanmanın yavaşlamasına ve bu yavaşlamadan kaynaklanan yanma periyotlarının uzamasının sebep olabileceğini ifade etmişlerdir.

Atık yağ kaynaklı biyoyakıt üretmek amacıyla Alptekin ve Çanakçı [20], düşük maliyetli bir hammadde olan tavuk yağını kullanmışlardır. Hogue ve arkadaşlarının çalışması [21], transesterifikasyon yöntemi ile düşük maliyetli üç farklı atık yağdan ürettikleri biyoyakıtla ilgilidir. Lin ve Li [22]'nin çalışması ise balık atıkları kaynaklı balık yağının transesterifikasyon yöntemiyle biyoyakıtla dönüştürülmesi ve bir dizel motorda test edilmesi ile ilgilidir. Altun ve Öner yapmış oldukları çalışmada [23], hayvansal iç yağlardan dizel yakıt benzeri biyoyakıt elde ederek tek silindirli bir dizel motorda test etmişler. Behçet ve arkadaşları [24-26] da farklı tür atık yağları [atık kızartma yağı, atık tavuk yağı, atık balık yağı) kullanarak transesterifikasyon yöntemiyle önce biyoyakıt üretmişler. Daha sonra ürettikleri atık yağ kaynaklı biyoyakıtları hem saf halde hem de standart dizel yakıt ile belirli oranlarda karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtları tek silindirli bir dizel motorda test ederek karışım yakıtların motor performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

C. D. Rakopoulos vd. [27] ayçiçeği ve pamuk çiçeğinden elde ettikleri yakıtı, 5968 cm³ hacimli, 6 silindirli, 2600 devirde maksimum 177 kW güç üreten bir otobüs motorunda denemişlerdir. Deney sonuçlarında yakıt içerisinde biodizeli yakıt oranı arttıkça CO emisyon değerlerinin azaldığı, NO_x emisyon değerlerinin ise azaldığı sonucuna varmışlardır. 1500 motor devrinde yaptıkları özgül yakıt tüketimi deneylerinde ise yakıt içerisinde biodizeli oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi %100 dizel yakıtla göre artmıştır.

Bu çalışmanın amacı, Malatya ilinde oluşan atık plastiklerin yeniden değerlendirilerek hem çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini minimize etmek hem de dizel motor yakıtına alternatif ucuz ve yerel bir yakıt üreterek ilin ekonomisine katkı sağlamaktır.

2.2. Kuramsal Temeller

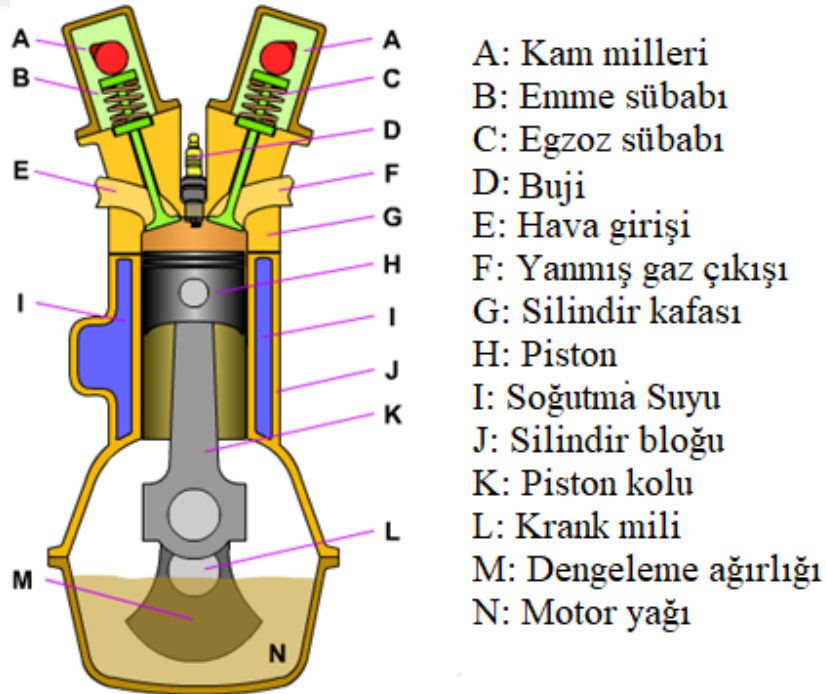
2.2.1. İçten Yanmalı Motorlar ve Özellikleri

Yapısında yanma özelliği bulunan maddelerin, yanma odasında havanın oksijeni ile reaksiyona girerek yakıtın kimyasal enerjisini önce ısı enerjisine daha sonra bu enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren makinelere termik makine veya içten yanmalı motor denir. Kullandıkları yakıt ve yanma özelliklerine göre içten yanmalı motorlar kendi arasında benzinli motorlar ve dizel motorlar olmak üzere iki kısma ayrılırlar. Teorik açıdan bakıldığında benzinli ve dizel motorlar birbirlerine çok benzemekle birlikte başta yakıt türlerinin özellikleri olmak üzere, yanma şekilleri, sıkıştırma oranları, motor güçleri gibi özellikleri bakımında farklılık arz ederler. Her iki motor türü de yakıtları vasıtasıyla elde ettikleri kimyasal enerjiyi, mekanik enerjiye çeviren içten yanmalı olarak çalışan motorlar olarak tasarlanmışlardır. Üretilmiş olan mekanik enerji pistonları, silindirlerin içerisinde yukarıya ve aşağıya doğru hareket etmektedir. Yapılan bu doğrusal hareketler, krank milinin yardımıyla dairesel harekete dönüştürülerek aracın hareket etmesini sağlayan güç tekerlere iletilmektedir.

Benzinli motorlarda benzin hava ile karışmak suretiyle silindire alınmakta ve piston ile sıkıştırılarak buji ile ateşlenip yanma olayı meydana gelmekte ve yanma ile oluşan pistonu üst ölü noktadan alt ölü noktaya doğru hareket ettirerek krank milinin dönmesi sağlanmaktadır. Dizel motorlarda ise silindir içerisine alınan hava sıkıştırılmakta ve sıkıştırılmış olan hava üzerine yakıt püskürtülerek yanma olayı gerçekleştirilmektedir [28-29].

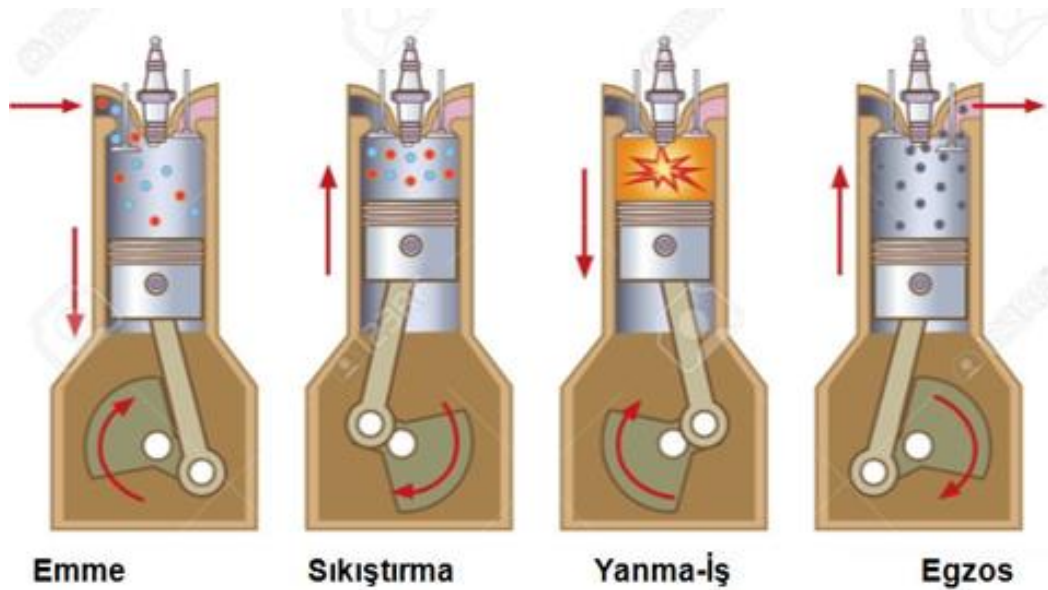
2.2.1.1. Benzinli Motorlar ve Çalışma Prensibi

Benzinli motorlar, benzin ile çalışan içten yanmalı motorların genel adıdır. 1876 yılının mayıs ayında Alman mühendis Nicolas Otto tarafından icat edilmişlerdir. 4- stroklu ve 2-stroklu olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar. Dört stroklu motorların kullanımı iki stroklu motorlara göre daha fazla olup genellikle binek otomobillerde kullanılmaktadırlar. Dört stroklu benzinli motorun ana elamanları Şekil 2.1.'de görülmektedir. Esas yapıyı oluşturan motor gövdesi, üst karterden oluşmaktadır. Piston genellikle hafif metal alaşımından yapılmış olup, silindir içerisinde öteleme hareketi yapmaktadır. Biyel kolunun büyük başı biyel yatağı ile krank muylusuna, küçükbaşı ise piston pernosu ile pistonla bağlıdır. Krank mili ise krank kolları, ana yataklar ve ana yataklardan meydana gelmektedir. Silindir kafası motor gövdesi üzerine civatalar ile bağlanmaktadır. Silindir kafasında, egzoz ve emme hatları ve buji yuvaları bulunmaktadır. Emme ve egzoz sübapları ve bu sübapların yeterli sıkılıkta kapanmasını sağlayan sübap yayları da silindir kafasına yerleştirilmiştir. Eksantrik bir mil olan kam milinin dönmesi ve külbütör manivelasının yardımıyla egzoz ve emme sübapları açılıp kapanmaktadır [30].



Şekil 2.1. Benzinli motorun ana elemanları

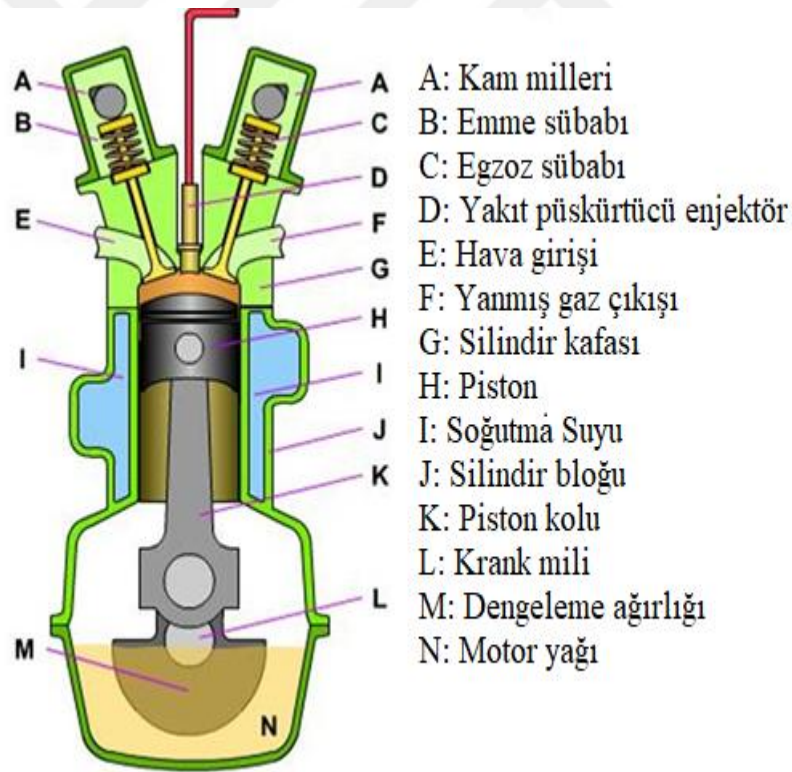
Benzinli motorları kendi arasında karbüratörlü benzinli motorlar ve enjeksiyonlu benzinli motorlar olmak üzere iki kısımda incelemek mümkündür. Karbüratörlü sistemlerde (2000 yılından önceki eski benzinli motorlarda bulunan sistem) emme havası, hava filtresinden geçerek karbüratöre gelmekte ve karbüratörde benzin ile hava belirli oranlarda karıştırılıp emme kanallarına iletilmektedir. 2000 yılından sonra imal edilen benzinli motorlu taşıtlarda kullanılan sistemde ise karışım, benzin püskürtme(enjeksiyon) yöntemiyle yapılmaktadır. Günümüzde kullanılan tüm benzinli motorlarda enjeksiyon sistemi kullanılmaktadır. Benzinli bir motorun en basit çalışma prensibi şu şekilde açıklanabilir; silindirin emme kanalına alınan temiz hava silindire tam gireceği anda (emme kanalının bitiminde) bulunan enjeksiyon sisteminden yakıtın püskürtülmesiyle silindir içine hava-yakıt karışımı alınır ve bu zaman emme zamanı olarak isimlendirilir. Silindire alınan hava yakıt karışımı sıkıştırma zamanında pistonun üst ölü nokta (ÜÖN)’ya doğru hareketiyle sıkıştırılmış karışım bujiden çıkan kıvılcım ile tutuşturulur ve yanma başlar. Yanma esnasında artan basınç ve sıcaklığın etkisi ile piston ÜÖN’den alt ölü nokta (AÖN)’ya doğru hareket ederken piston ile krank mili arasında bağlantıyı sağlayan biyel kolu yardımıyla pistonun doğrusal hareketin krank milinden dairesel harekete dönüşerek iş zamanı başlar ve aracın hareket etmesi sağlanmış olur. Silindir içerisinde yanma olayından sonra oluşan atık gazlar egzoz süpabının açılması ile dışarı atılarak benzinli motorun çalışma döngüsü tamamlanmış olur. Şekil 2.2. ‘de benzinli motorun çalışma döngüsü görülmektedir [28-30].



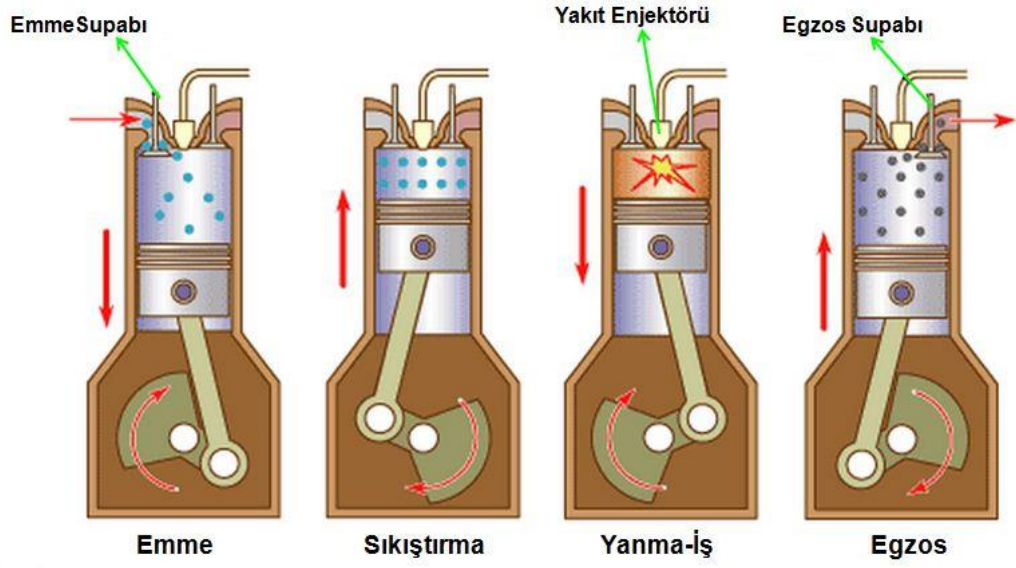
Şekil 2.2. Benzinli motorun çalışma döngüsü

2.2.2.2. Dizel Motorlar ve Çalışma Prensibi

Dizel motorlar 1893 yılında Rudolf Diesel tarafından icat edilmiştir. Temel çalışma prensibi olarak benzinli motorların çalışma prensibini kullanmıştır. Dizel motorlar 2 veya 4-stroklı olmaktadır. Dizel motorlarda yakıt olarak, benzinli motorlarda kullanılan benzin yakıtı yerine mazot (motorin) kullanılmaktadır. Dört stroklı dizel motorlar çoğunlukla lokomotiflerde, deniz taşımacılığında, yüksek tonaja sahip taşıtlarda ve jeneratör tahrikinde kullanılmaktadırlar. Dizel motorlarda, benzinli motorlarda kullanılan karbüratör ve buji yerine yakıt püskürtme pompası ve püskürtme enjektörleri bulunmaktadır. Yakıt püskürtme pompasının görevi; yakıtı, püskürtme sırası gelen silindir enjektörüne iletmektir. Yakıtın yüksek basınçla enjektör deliğinden silindir içerisine püskürtülmesiyle yanma olayı sağlanmaktadır. Şekil 2.3. 'te dizel motorun ana elemanları ve Şekil 2.4'te dizel motorun çalışma döngüsü görülmektedir [28-30].



Şekil 2.3. Dizel motorun ana elemanları



Şekil 2.4. Dizel motorun çalışma döngüsü

2.3. İçten Yanmalı Motorlarda Kullanılan Alternatif Yakıtlar

Fosil kaynaklı karayolu taşımacılığının giderek artması ve konvansiyonel yakıt kaynaklı kirletici emisyonlarındaki artışın çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkisi, fosil kaynaklı yakıt rezervlerinin giderek azalması, yakıt fiyatlarının sürekli artması ve ekonomik problemlerden dolayı alternatif yakıtları gündeme getirmiştir. 1970'lerde yaşanan büyük petrol krizinden sonra alternatif yakıtlara olan ilgi artarak devam etmiş ve 2000'li yıllardan sonra konu ile ilgili bilimsel çalışmalar artmıştır. Konu ile ilgili bilimsel çalışmalar üzerinde yoğunlaşan bilim insanları birçok farklı kaynaktan (bitkisel, hayvansal, endüstriyel ve atıklar) yakıt üretilip içten yanmalı motorlarda test edilerek yakıtların motor performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İçten yanmalı motorlarda kullanılan alternatif yakıtlar kendi aralarında hidrojen, alkoller, biyogaz, doğal gaz, LPG, bitkisel ve hayvansal kaynaklı biyoyakıtlar ve atık kaynaklı yakıtlar şeklinde sınıflandırılabilir.

2.3.1. Hidrojen

Doğadaki hafif elementlerden olan hidrojen, 18.yy'da İngiliz bilim adamı Sir Cavendish tarafından bulunmuştur. Renksiz, kokusuz, tatsız ve saydam bir yapıya sahip olan hidrojen atomu periyodik tabloda "H" sembolü ile gösterilmektedir. Atom ağırlığı yaklaşık olarak 1,00788 kg/kmol ve atom sayısı 1 olan elementtir. Atmosfer şartlarında 1 litre hidrojen yaklaşık 0,0899 gr olduğu için yerkürede serbest halde çok az miktarda bulunmaktadır. Hidrojen, 293°C sıcaklıkta ve yaklaşık 2,1 bar basınçta sıvı faza geçtiğinden sıvılaştırılması çok zor olan bir elementtir [31]. İyi bir ısı iletkenlik özelliğine sahiptir. Çizelge 2.1.'de hidrojenin fiziksel özellikleri görülmektedir [32].

Çizelge 2.1. Hidrojenin fiziksel özellikleri

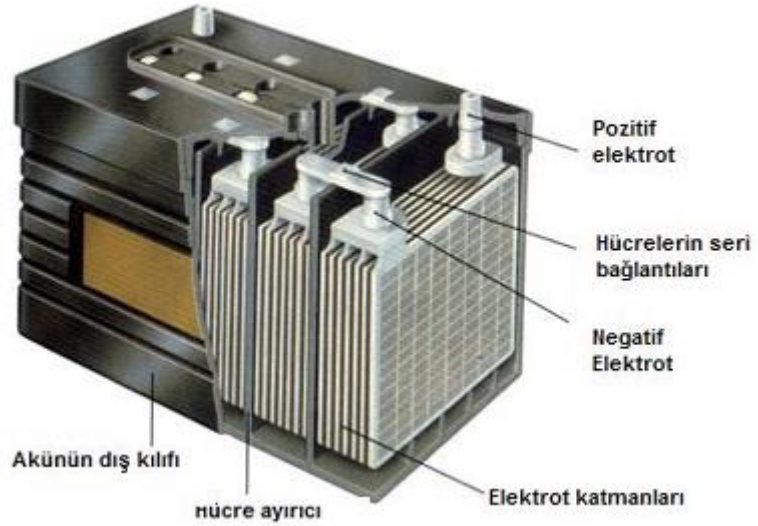
Hidrojenin Fiziksel Özellikleri	
Molekül ağırlığı, kg/kmol	2,016
Yoğunluğu, kg/m ³	0,0838
Kaynama sıcaklığı, K	20,3
Üst ısı değeri, kJ/kg.K	11.890
Alt ısı değeri, kJ/kg.K	10.050
Sıvı yoğunluğu, kg/ m ³	70,8
Havada tutuşma limitleri, % hacimsel	4-75
Havada stokiometrik karışım, % hacimsel	29,53
Havadaki alev sıcaklığı, K	2318
Difüzyon katsayısı, cm ² /s	0,61
Özgül ısı, kJ/kg.K	14,89

Hidrojen yakıtlı motorlar, taşıtlardaki kullanımı açısından 2 kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar; hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorlar ve hidrojen yakıt pilli motorlardır.

- **Hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorlar:** Benzin, motorin, LPG ve doğalgaz gibi içten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtlar gibi hidrojen de standart içten yanmalı motorlarda da kullanılabilir. Hidrojenin sahip olduğu kimyasal bağ enerjisi, yanma reaksiyonu sonrasında ısıya ve

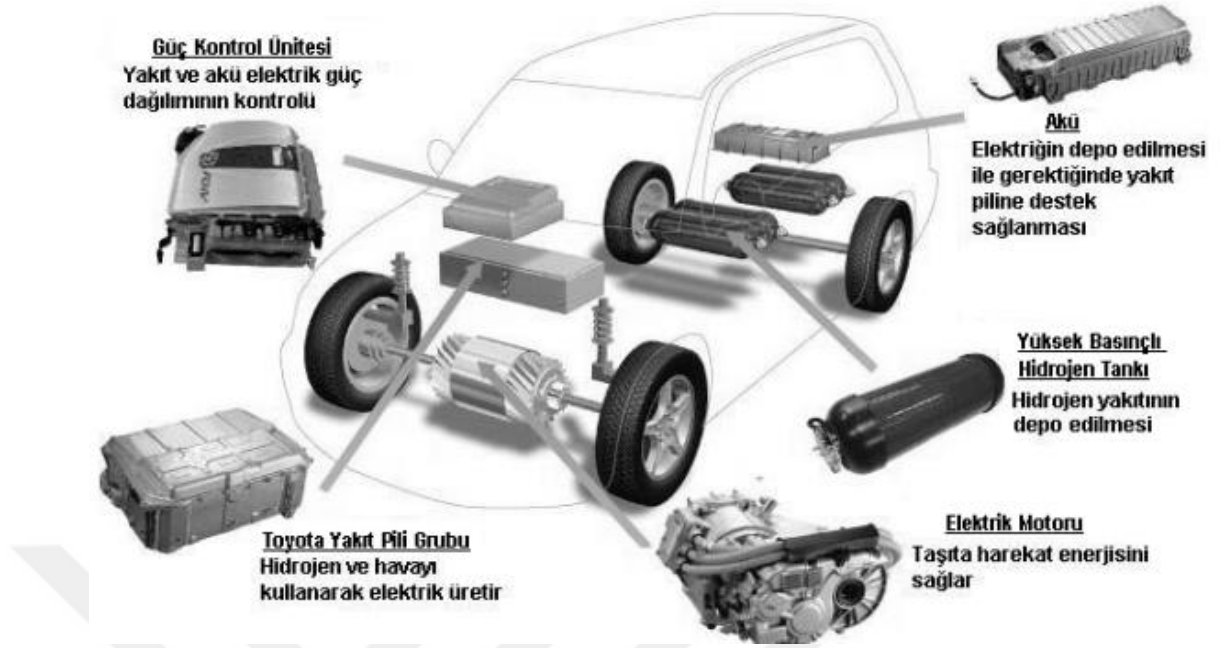
elde edilen bu termal enerjide mekanik enerjiye dönüştürülmektedir. Hidrojenin kendiliğinden tutuşma sıcaklığının yüksek oluşu (1 atm basınçta yaklaşık olarak 846-868 K) ve oktan sayısının yüksekliği, hidrojenin benzinli motorlarda kullanımını daha uygun kılmaktadır [32-33]. Fosil yakıtlarda görülen buhar tıkaçı, yetersiz karışım, soğuk yüzeylerde yoğuşma, yeterince buharlaşamama, gibi sorunlar hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorlarda görülmemektedir. Hidrojen-hava karışımının ateşlenmesi için gereken enerji miktarı, diğer yakıtlarla kıyaslandığında çok düşüktür. Bu özellik, benzinli motorlarda tutuşma olayının eksiksiz gerçekleşmesini sağladığı için benzinli motorlarda önemli bir avantaja sahip olmaktadır. Yanma işlemi sonrasında fosil yakıtlarda çevre kirleticisi olarak atmosfere salınan CO, CO₂, UHC, NO_x vb. zararlı atıklardan sadece NO_x oluşmaktadır. NO_x emisyon değerlerinin azaltılması karışım oranının ayarlanması ile mümkün olmaktadır. Aynı zamanda hidrojenin silindir içerisinde yanma olayından sonra partikül madde oluşturmaması, bujilerin kirlenmesini engellemektedir. Bu yüzden bir çevrim sonrasında NO_x ve su oluşmaktadır. Bu da atmosfere zararlı emisyon salınımını minimum seviyede olmasını sağlayarak, çevreye uyumluluğunu da göstermektedir [32,34].

- **Hidrojen yakıt pilli motorlar:** Yakıt pili (yakıt hücresi), enerji üretiminde kullanılan verimli, sessiz, çevre ile uyumlu ve elektrokimyasal prensipte yakıt enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren güç üretim elemanıdır. Şekil 2.5’ te yakıt pili örneği görülmektedir [32].



Şekil 2.5. Yakıt pili örneği

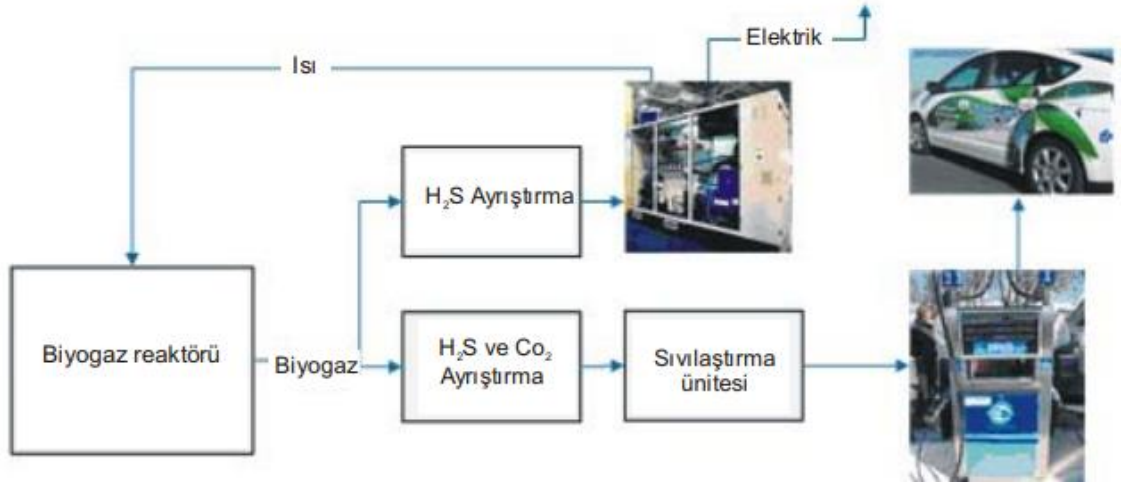
Yakıt pilleri, daha az zararlı ve zehirli atıklar açığa çıkararak yüksek verimle çalışabilmektedirler. Hidrojen kullanımında ise tek yan ürünleri saf su olmaktadır. Yakıt pilli motor teknolojisi, hidrojenin ya da yeniden şekillendirilerek hidrokarbon yakıtların kullanıldığı, yakıt pili sistemleriyle üretilen ve doğru akımdan alternatif akıma dönüşümü gerçekleştirilen elektrik akımının kullanılarak, alternatif akım elektrik motorları ile güç üretimi ilkesine dayanmaktadır. Yani standart taşıt teknolojisinde görülen, yanma sonrası kimyasal enerjinin mekanik enerjiye dönüşümü yerine elektro kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüşümüyle güç üretimini yapılmaktadır. Böylece, yüksek gürültü, sıcaklık ve basınç seviyelerinde çalışan, büyük titreşimlerin meydana geldiği fazla ve kompleks parçalara sahip olan bir mekanizma ortadan kalkmaktadır. Bunun yerine daha düşük sıcaklık ve gürültü seviyelerinde çalışan, kompleks ve hareketli parçalar ihtiva etmeyen, düşük titreşim seviyeli bir mekanizma ile güç üretilmektedir. Üretilen bu güç ile de taşıtın tahriği gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.6’te yakıt pilli taşıt sistemi görülmektedir [33-36].



Şekil 2.6. Yakıt pilli taşıtın şematik gösterilişi

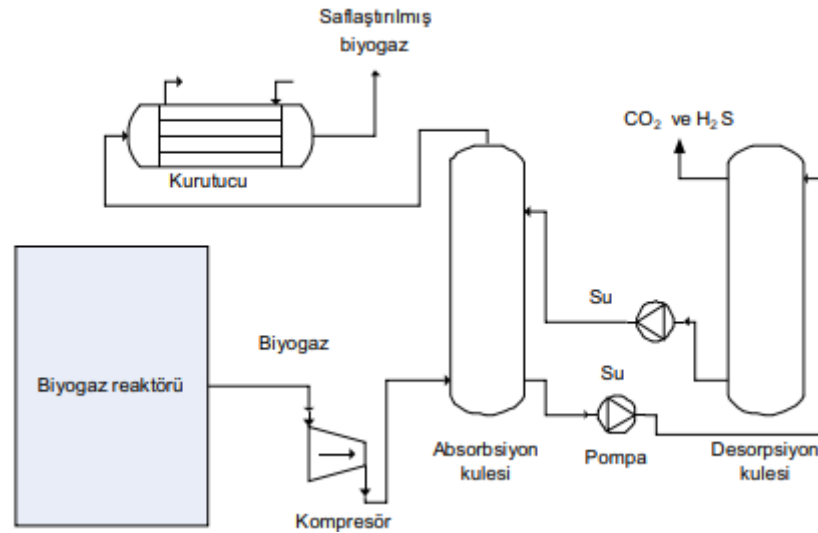
2.3.2 Hayvansal Atık Kaynaklı Biyoyakıt (Biyogaz)

Biyogaz, kırsal kesimde kolaylıkla ve çok miktarda temin edilip kullanılabilecek alternatif bir enerji kaynağı olup, benzin, dizel, LPG ve doğal gazın yerine kullanılabilecek alternatif bir yakıttır. Biyogazın doğrudan gaz motorlarında kullanılabilmesi için ihtiva ettiği H_2S (hidrojen sülfür) bileşiğinin biyogazdan ayrıştırılması gerekmektedir. Çünkü H_2S bileşiği mekanik parçalarda korozyona sebep olmaktadır ve bu da asla istenmeyen bir durumdur. Buna ek olarak biyogazın motorlu taşıtlarda kullanılması ve doğal gaz hatlarına verilebilmesi için içeriğindeki H_2S 'e ek olarak CO_2 'inde ayrıştırılması (metan zenginleştirme) gerekmektedir. Şekil 2.7.'da biyogazın kullanım alanları verilmiştir.



Şekil 2.7. Biyogazın kullanım alanları

Biyogaza metan zenginleştirme yapılması ise ihtiva ettiği CO_2 'nin ayrıştırılmasıyla mümkün olmaktadır. Metan oranını arttırdığımızda ise biyogazın ısı değeri artmakta ve hacmi küçüldüğü için daha düşük kapasiteli depolama tanklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Biyogaz içerisindeki CO_2 'nin ayrıştırılması için ise birçok farklı metot kullanılmaktadır. Kullanılan başlıca metotlar ise suda çözme, polietilen glikol ve membran ile ayrıştırma'dır. Şekil 2.8.'de biyogaz saflaştırma ünitesinin görülmektedir [37].



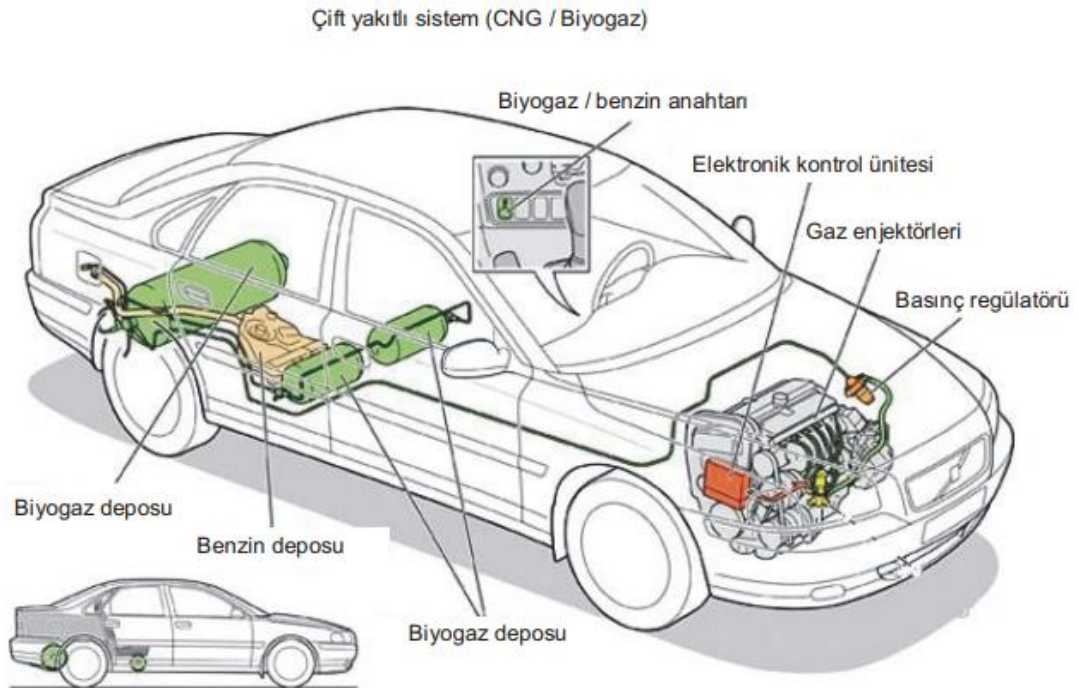
Şekil 2.8. Biyogaz saflaştırma ünitesi

Biyogaz, birçok taşıt tiplerinde alternatif bir yakıt olarak kullanılabilir. Biyogazın motorlu taşıtlarda alternatif bir yakıt olarak kullanılabilmesi için, biyogaz

içerisindeki metan oranının yaklaşık olarak %97-98'e kadar arttırılması gerekmektedir. Yaklaşık olarak %97 metan ihtiva eden 1 m³ biyogaz, yaklaşık olarak 1 litre benzine eşdeğer enerjiye sahiptir [35-36].

Saflaştırılarak metan oranı yükseltilen ve H₂S 'i ayrıştırılan biyogaz, 200-250 bar basınç altında sıkıştırılarak, benzin-biyogaz veya benzin-sıkıştırılmış doğal gazla (CNG) çalışabilen çift yakıtlı motorlu taşıtlarda hiçbir değişikliğe gerek duyulmadan kullanılabilir. Taşıtlarda biyogaz kullanılması durumunda NO_x, UHC emisyonu ve partikül miktarı azalmaktadır. Bu özelliğinden dolayı biyogaz çevre dostu bir yakıt olarak da nitelendirilmektedir [37].

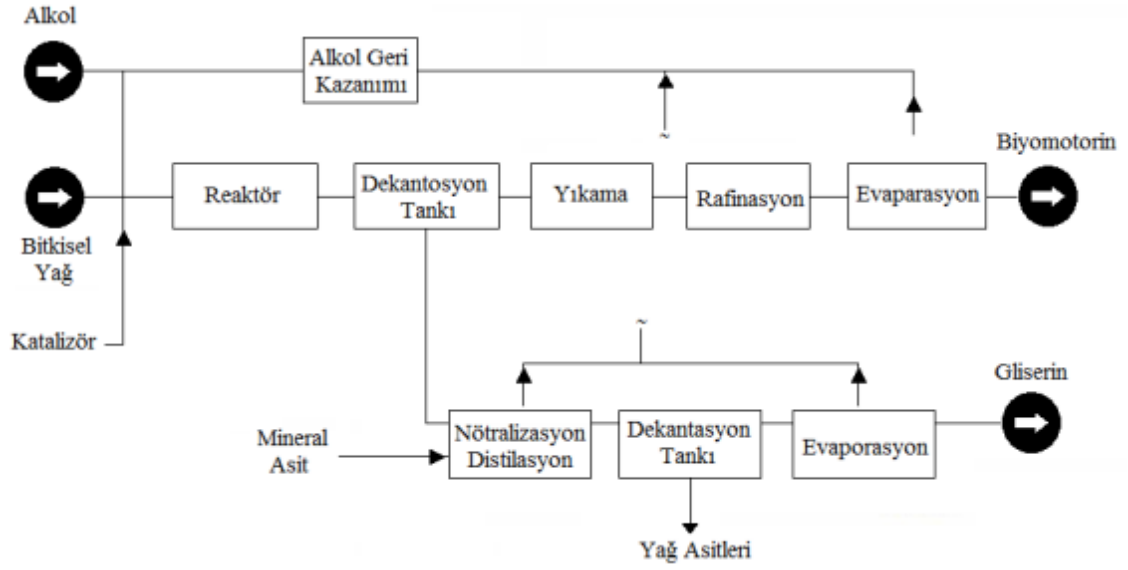
Biyogaz partikül madde (PM), NO ve CO emisyonları bakımından dizel, benzin ve LPG gibi geleneksel motorlu taşıt yakıtlarıyla karşılaştırıldığında, bu yakıtlara nazaran daha düşük miktarda emisyon açığa çıkarmaktadır. Biyogaz içerisinde çok büyük oranda metan bulunmakta, metan ise benzin ve motorin gibi sıvı yakıtlara nazaran daha az karbon içermektedir. Metanın daha az karbon içermesi neticesinde motorlu taşıttan çıkan CO₂ emisyonu önemli ölçüde azalmaktadır. Şekil 2.9.' da biyogaz ve benzin ile çalışan çift yakıtlı binek otomobili görülmektedir [38].



2.3.3 Bitkisel, Hayvansal ve Atık Yağ Kaynaklı Biyoyakıt (Biyodizel)

Biyodizel, organik yağların baz ve alkolle karıştırılarak dizel benzeri bir yakıtı çevrilmesi sonucu elde edilen sıvı bir üründür. Başka bir ifade ile bitkisel, hayvansal ve atık yağlardan üretilebilen, kanserojenik madde ve kükürt içermeyen, yağlayıcılık özelliği mükemmel olan, motor ömrünü arttıran, kara ve deniz taşımacılığında yakıt olarak kullanılabilen, ısıtma sistemlerinde ve jeneratörlerde kullanıma uygun alternatif yeşil bir yakıttır. Biyodizel petrol ihtiva etmez; ancak saf olarak veya her oranda petrol kökenli dizelle karıştırılarak alternatif yakıt olarak kullanılmaktadır. Motor üzerinde herhangi bir modifikasyon yapılmadan veya bazı gerekli ön görülen değişiklikler yapılarak saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları herhangi bir dizel motorda kullanılabilir [39].

Biyodizel üretimine gelindiğinde bitkisel yağ olarak kolza, ayçiçeği, soya veya kullanılmış kızartma yağları, alkol olarak metanol ve katalizör olarak alkali katalizörler başlıca kullanılan hammaddelerdir. Burada dikkat edilmesi gereken ilk nokta yağların viskozitelerinin düşürülmesidir. Yağların viskozitesi ise bir takım kimyasal ve ısıl yöntemler ile olmaktadır. Isıl yöntemde yapılan ön ısıtma ile yağların viskozitesinin düşürülmesi hedeflenmektedir. Fakat ısıl yöntem metodunu çalışan bir araç motorunda uygulaması sırasında çeşitli problemler açığa çıkmakta olup bu nedenle kimyasal yöntem daha çok tercih edilmektedir. Üretimdeki en önemli nokta ise biyodizelin saflık derecesidir. Bu nedenle rafinasyon basamağı ciddi öneme sahiptir. Biyodizel yaklaşık olarak %98-99 değeri üzerinde saf üretilmelidir. Biyodizelin diğer yakıtlara alternatif olabilmesi ise, kalite değerlerinin fosil türevli yakıtlar ile rekabet edebilir olmasıdır. Etkin bir üretim prosesi ile biyodizel, fosil türevli yakıtlara yakın değerler göstermektedir. Biyodizel üretiminde dört yöntem mevcuttur. Bunlar; seyreltme, mikroemüsyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon'dur. Şekil 2.10.'da biyodizelin üretim aşamaları görülmektedir [40].



Şekil 2.10. Biyodizel üretim aşamaları

Çizelge 2.2. Biyodizelin fiziksel özellikleri

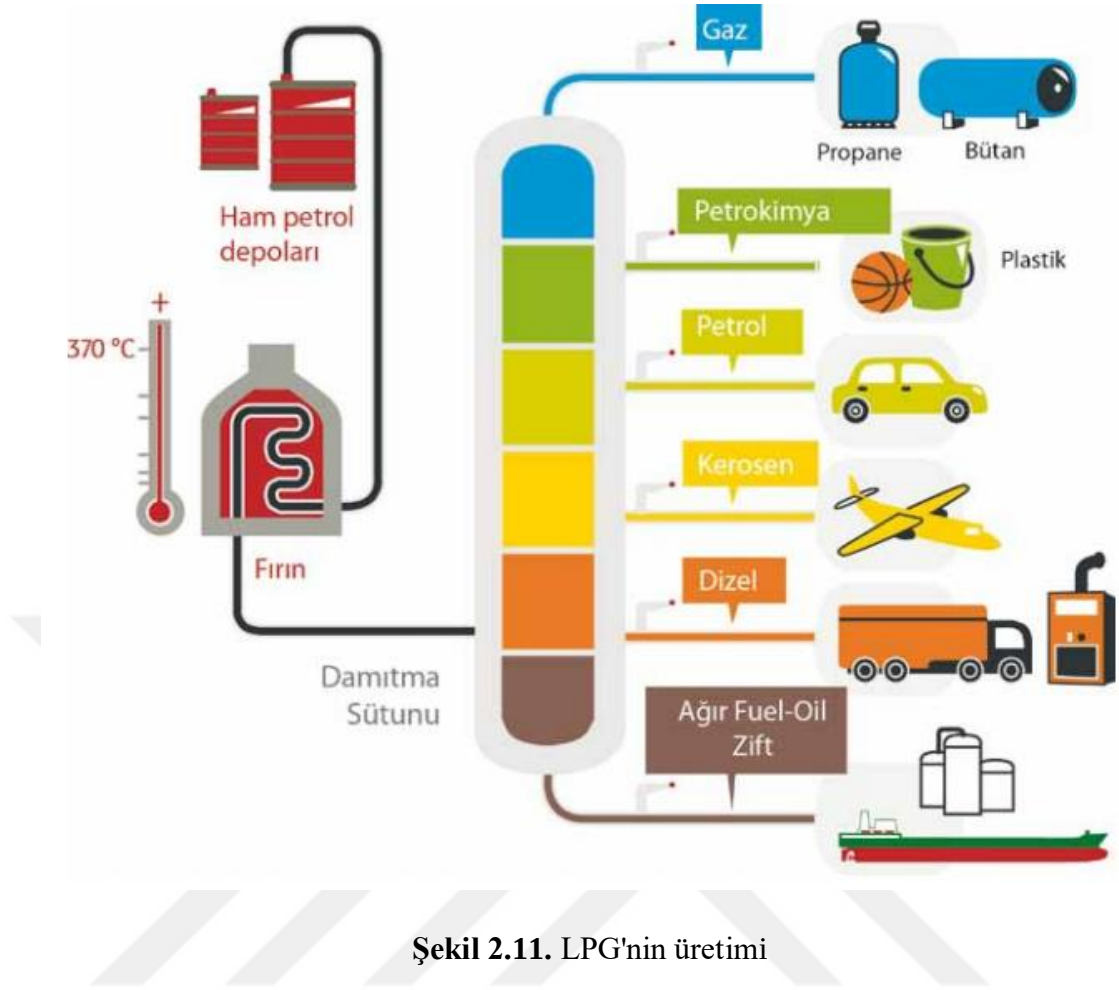
Biyodizelin Fiziksel Özellikleri	
Özgül ağırlık	0,88
40 °C’de kinematik viskozite mm ² /sn	4-6
Setan sayısı	48-65
Yüksek ısı değeri, kJ/kg.K	37.100
Alt ısı değeri, kJ/kg.K	32.600
15,5 °C’de özgül ağırlık kg/l	0,875
Karbon, wt %	77
Oksijen, wt %	12
Hidrojen, wt %	11
Kaynama noktası, °C	315-350
Parlama noktası, °C	100-170
Kükürt, wt %	0,0-0,0024
Akma noktası, °C	-5 ile 10

Biyodizel, tarımsal bitkilerden temin edilmesi sebebiyle, biyolojik karbon döngüsü içinde, fotosentez ile CO₂ ‘e dönüştürüp karbon döngüsünü hızlandırdığı için

sera etkisini artırıcı yönde etki göstermemektedir. Başka bir ifadeyle, biyodizel atmosfere oldukça zarar veren CO₂ emisyonu için doğal bir yutak olarak düşünülebilmektedir. Ayrıca diğer emisyon değerleri açısından değerlendirildiğinde CO, SO_x, partikül madde ve UHC emisyon değerinde önemli azalmalar meydana geldiği yapılan bilimsel çalışmalarda ifade edilmiştir. Çizelge 2.2. de biyodizelin fiziksel özellikleri görülmektedir [41-47].

2.3.4 Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)

LPG; propan, bütan, izobütan ve az miktarda propilen ve bütilen gazlarının karışımından oluşan, ham petrolün damıtılması sırasında elde edilen petrol türevli alternatif bir yakıttır. LPG'yi oluşturan bu gazlar, sahip oldukları kritik sıcaklık noktalarında basınç altında sıvılaştırılmaktadırlar. Sıvılaştırılma işlemindeki amaç gaz karışımlarının kolay depolanabilmesi ve istenilen noktalara daha çok miktarda sevk edilebilmesidir. LPG'nin kolay taşınabilmesi ve yüksek ısı değere sahip olması özelliği LPG'yi endüstriden konutlarda kullanımına kadar birçok alanda ihtiyaca cevap verebilen yakıt konumuna getirmiştir. LPG'nin Otogaz, Tüpgaz ve dökme sıvılaştırılmış petrol gazı olmak üzere 3 kullanım alanı bulunmaktadır [48,49]. Şekil 2.11.'de sıvılaştırılmış petrol gazının üretimi görülmektedir [50]. LPG; kokusuz, renksiz, yanıcı ve parlayıcı gibi kimyasal özelliklere sahip olup normal şartlar altında atmosferde gaz fazında bulunan organik bir maddedir. Basınç altından belirli sıcaklıklarda likit halinde bulunmaktadır. Atmosferde buharlaşarak gaz haline dönüşmektedir. Buharlaşan LPG'nin hava ile karışımı patlayıcı özelliğe sahip olmaktadır ve suda çok az çözünmektedir. Çizelge 2.3.'te LPG'nin fiziksel özellikleri verilmiştir [51].



Çizelge 2.3. LPG'nin fiziksel özellikleri

LPG Fiziksel Özellikleri		
	Propan (C_3H_8)	Bütan (C_4H_{10})
Kaynama noktası, °C	-42	-0,5
Erime noktası, °C	-190	-138
Parlama noktası, °C	-105	-60
Donma noktası, °C	-188	-138
Üst ısı değeri, kJ/kg	49.9301	47,375
Alt ısı değeri, kJ/kg	46.2726	45.6456
İzafi yoğunluk (hava=1)	1,56	2,09
Özgül ağırlık, kg/m ³	504	582

LPG'nin sahip olduğu bu fiziksel özellikler, kendisinin içten yanmalı motorlarda kullanılan benzin ve dizel yakıtı alternatif bir yakıt olabileceğini gündeme

getirmiştir. Tabi LPG yakıtını direkt olarak benzinli ya da dizel motora direkt uygulamak mümkün değildir. Esasen benzinle çalışan motorlara uygulanmakta olup, motor üzerinde modifikasyonlar yapmadan kullanımı mümkün olmamaktadır.

Yapılan araştırmalara göre, alternatif bir yakıt olan LPG, özgül yakıt tüketimi değerlerinde dizel ve benzin yakıtı değerlerine göre daha az tüketim değerleri elde etmiştir. Fakat motor torku ve motor gücü deneylerinde ise LPG değerleri, dizel ve benzin yakıtları değerlerinin gerisinde kalmıştır [52,53]. Egzoz emisyon değerlerinde ise UHC, CO, CO₂ ve NO_x emisyon değerlerinde azalmalar görülmüştür [54]. Hatta bazı çalışmalarda motor düzeneğinde modifikasyonlar yapıp sıkıştırma oranını arttırılmasıyla bu değerlerin daha da azaldığını ifade etmişlerdir [55].

2.3.5 Sıkıştırılmış Doğalgaz (CNG)

Doğal gaz, yaklaşık olarak 200 milyon yıl önce kara ve deniz canlılarının çürümüş artıklarından oluşan fosil kaynaklı bir çeşit yanıcı gazdır [56]. %94-%95 oranlarında metan az miktarda da bütan, etan, propan gazlarının karışımından oluşan renksiz, kokusuz bir gazdır. Doğal gazın yüzeye çıkarılma işlemi ise yerin derinliklerinden kayalara kuyular açılıp borularla yüzeye taşınması ile yapılmaktadır. Gazın basıncı, çoğu kuyularda kendiliğinden yüzeye çıkaracak ve merkezi toplama noktalarına ulaştıracak kadar yüksek olmaktadır.

Çizelge 2.4. Doğalgazın fiziksel özellikleri

Doğalgazın Fiziksel Özellikleri	
Kimyasal sembolü	CH ₄
Özgül kütle, kg/ m ³	0,7172
Havaya göre izafi yoğunluk	0,5546
Üst ısıl değer, kJ/kg.K	39.820
Alt ısıl değer, kJ/kg.K	35.890
Üst tutuşma limiti	%15
Alt tutuşma limiti	%5

Doğalgazın kullanım alanı oldukça geniştir. Elektrik üretiminden konutların ve fabrikaların ısıtılmasına kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Havadan hafif ve sahip

olduğu kimyasal yapısının basit olması birçok alanda kullanılmasının başlıca nedenlerindendir. Yanması en kolay ayarlanabilen ve yanma verimliliği oldukça yüksek olan bir yakıttır. Bunlara ek olarak tam yanma gerçekleştirdiğinden; is, kurum, kül gibi çevreye zararlı maddeleri oluşturmadiğundan çevre dostu bir yakıttır. Doğal gazın fiziksel özellikleri Çizelge 2.4.'te görülmektedir [56,57].

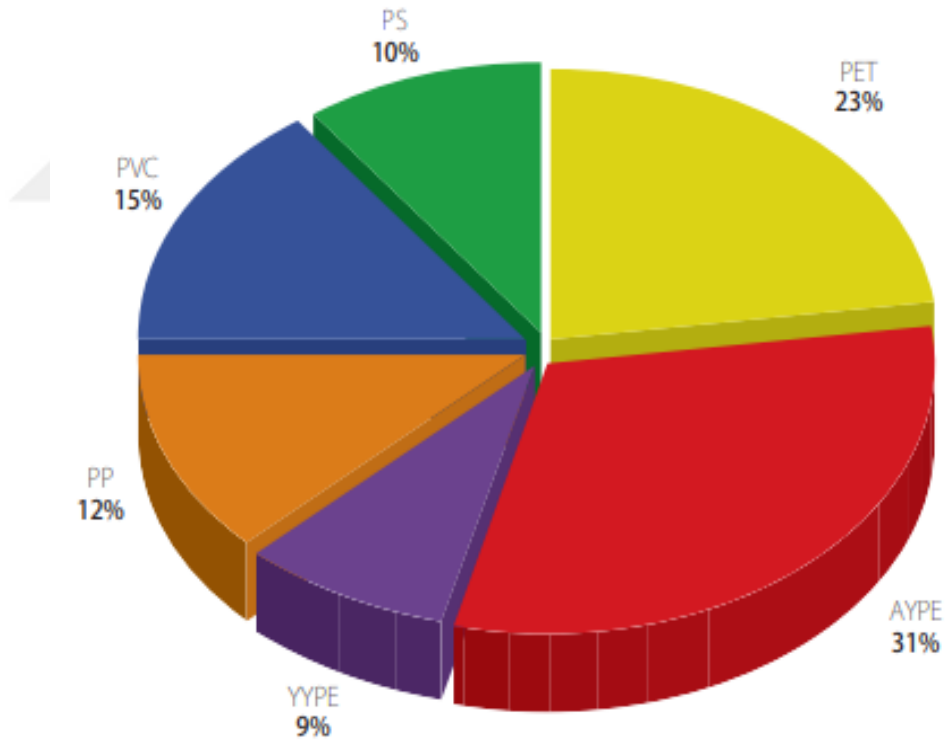
Doğalgazın araçlarda kullanımıyla ilgili araştırmalar ve çalışmalar ise büyük hızla devam etmektedir. Bu konuda, dünyada en fazla taşıt kullanımına sahip olan ABD'yi ele almak gerekmektedir. Dünyada mevcut yaklaşık 500 milyon taşıtın 180 milyonu bu ülkededir. Hava kirliliğinin ortalama %50'sinin bu araçların egzozlarından ortaya çıktığı ABD'de, CNG'li araçların üretildiği ve mevcut araçların bir kısmının da CNG'ye dönüştürüldüğü bilinmektedir. Ülkemizde de hava kirliliğini minimize etmek için doğal gazla dönüşümleri tamamlanan otobüslerin kullanımına başlanmıştır. Türkiye'de doğal gazla çalışan taşıtların sayısı yaklaşık olarak 3338 dolum istasyonu sayısı ise sadece 12'dir. Literatürde, doğal gazın hem benzinli hem de dizel motorlarda motor üzerinde önemli modifikasyonlar yapmaksızın kullanılabilceği belirtilmiştir. Yapılan bir deneysel çalışmada, benzin motorunun doğal gazla çalıştırılmasının tork ve güç değerlerini bir miktar azalttığı, ancak özgül enerji maliyetinin düşük olması nedeniyle hem benzin motorunda hem de dizel motorundaki çift yakıtlı kullanımında, benzinli ve dizel çalışmalarına göre daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir. Düşük egzoz emisyon ve yüksek motor performans değerlerine sahip bir doğal gaz motoru yapmak için sıkıştırma oranının değeri oldukça önem arz etmektedir. Çünkü sıkıştırma oranında ki artış beraberinde motor vuruntusunu sınırlayacaktır. Bu yönde doğalgazın yüksek oktan sayına sahip olması doğalgazlı motorlu araçlar için önemli bir avantajdır. Çünkü yüksek oktan sayısı, sıkıştırma oranının arttırılmasını sağlayan parametrelerdendir. Çoğunlukla benzinli motorlu araçların sıkıştırma oranı 11:1 olup ve benzinin oktan sayısı 90'dır. Fakat ortalama olarak doğal gaz motorunda sıkıştırma oranı 12:1 ve doğal gazın oktan sayısı RON (araştırılan oktan sayısı) 130, MOS (motor oktan sayısı) 105'tir. Oktan sayısının niceliği, buji ömrünün artmasını, vuruntunun ortadan kalkmasını ve motorun soğuk havalarda daha iyi çalışmasını sağlayan önemli bir parametredir. Doğalgaz yakıtı ile çalışan motorlarda sıkıştırma oranının mümkün olduğunca yüksek tutulması yakıt sarfiyatı hususunda önemlidir. Çünkü sıkıştırma oranının arttırılması ısı verimin yükselmesini sağlayacak ve bu artış yakıt sarfiyatında azalmaya neden olacaktır [59].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Plastiklerin Tarihi Gelişimi ve Kullanım Alanları

Geçmiş 1860'lı yıllara dayanan plastikler saksı, kavanoz, leğen, kova, boru, pencere malzemesi, paketlenme, oyuncak, halı ve mobilya gibi birçok alanda plastikler kullanılabilmektedir. 1868 yılında Amerikalı bilim adamı John Hyatt tarafından, selüloz nitratin kafur ile karıştırılmasından elde edilen plastikten düğme, tarak ve bilardo topları üretilmiş olup günümüzde de plastiklerin ucuz, hafif, dayanıklı ve kolayca kırılmaz gibi özellikleri dikkate alınarak ambalajlama ve paketlenme başta olmak üzere oyuncak yapımı, ev eşyası imalatı, şişe vb. gibi birçok malzemenin üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.1. Türkiye’de üretilen toplam plastik hammaddenin kaynaklarına göre üretimi

Her yıl dünyada 98 milyon ton plastik ürünü kullanılarak atık hale gelmektedir. Günümüzde Türkiye plastik pazarının üretim kapasitesi bakımından dünyada yedinci

ve Avrupa’da ise 10 milyon tonu aşan toplam üretim kapasitesi ile ikinci sırada bulunmaktadır. Plastik malzemelerin metal, ağaç, cam, kumaş, kâğıt, karton vb. gibi birçok maddenin yerine kullanılabilme özelliği son zamanlarda popülaritesini artırmıştır. 2018 yılının ilk 6 aylık döneminde Türkiye’de üretilen toplam plastik hammaddenin kaynaklarına göre üretimi Şekil 3.1.’de görülmektedir [60,61]. Plastikler, ısıya karşı gösterdikleri davranışa göre iki grupta ele alınmaktadırlar. Bunlar; termoplastik ve termosetting-plastiklerdir. Termoplastikler, termosetting plastiklere göre daha yumuşaktırlar. Termoplastikler, fiziksel olarak zincirleri arasında çapraz bağlar bulunmayan düz ve dallanmış zincir yapısına sahip olan polimerlerdir. Bu özellikleri nedeniyle kopmaya ve çözücüye karşı dirençleri zayıftır ve uygun çözücülerde çözünürler, ısıtıldıklarında önce yumuşarlar sonra kıvamlı akışkan haline gelirler. Bunun yanında esneklik, kolay şekil alma gibi özellikleri vardır. Termoplastik polimerlerin en önemli özelliği bir kez kalıplandıktan sonra tekrar eritilerek defalarca kalıplanabilmeleridir. Bazı termoplastiklerin kimyasal formülleri ve erime noktaları Çizelge 3.1.’de verilmiştir [62].

Çizelge 3.1. Bazı termoplastiklerin kimyasal formülleri

Adı	Kimyasal Formülü	Erime Sıcaklığı (°C)
Polietilen	$[-CH_2-CH_2]_n$	110-132
Polipropilen	$[-CH_2-CHCH_3]_n$	160-170
Polistren	$[-CH_2-CHC_6H_5-]_n$	70-115
Polivinilklorür	$[-CH_2-CHCl_3]_n$	75-95
Polietilentetraf	$[-CO-C_6H_4-COO(CH_2)_2O-]_n$	250-260
Polyamid	$[C_6H_{11}ON]$	256

Termosetting plastikler ise zincirleri arasında yoğun çapraz bağ bulunan (ağ-yapı) polimerlerdir. Çapraz bağlardan dolayı ısıya veya çözücüye karşı daha dirençlidirler. Termosetting plastikler hiçbir çözücüde çözünmezler, ısı ile eritilemezler, ısıtıldıkça sertlikleri artar ve kopma çekme gibi fiziksel dayanıklılıkları daha yüksektir. Yüksek sıcaklıklara ısıtıldıklarında bozunmaktadırlar. Bu özelliklerinden dolayı termosetting malzemelerden yapılmış ürünler toplanıp yeniden eritilerek başka ürünler yapılamamaktadır [63]. İki gruba ayırdığımız plastik türlerinden sadece termoplastiklerin geri kazanımı mümkündür. Buna ek olarak atık

plastiklerin tekrar işlenmesi safhasında plastiklerin sınıflarına göre ayrılıp toplanması hem ekonomi ve kolaylık hem de kaliteli malzeme temini sağlamaktadır. Bazı termoplastik ve termosetting polimerler ve monomerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir [63].

Çizelge 3.2. Bazı termoplastik ve termosetting polimerler ve monomerleri

Termoplastik	Monomerler	Termosetting Plastik	Monomerler
Polietilen	Etilen	Alkidler	Değişik
Polistren	Stren	Dioller	Değişik
Polipropilen	Propilen	Epoksiler	BisfenilA- piklorhidrin
Polivinilklorür	Vinil klorür	Poliesterler	Poliasit ve polialkoller
Polyamid	Değişik monomerler	Bakalitler	Fenol-formaldehit

3.1.2. Plastik Malzeme Çeşitleri

3.1.2.1. Polietilen (PE)

En çok kullanılan plastik çeşididir. Isıtıldıkları zaman kalıcı değişimlere girmeyen termoplastik malzemedir. Çift bağ ile bağlanmış CH_2 bileşiğinden oluşur. Plastik endüstrisinde genel olarak ismi kısaca ‘PE’ olarak yazılır. Polietilenin üretim şekli, etilenin polimerizasyonu (monomer birimlerden başlayarak polimer birimlerinin elde edilmesini sağlayan reaksiyonlar zinciri) ile olmaktadır. Kendi içinde alçak yoğunluklu polietilen ve yüksek yoğunluklu polietilen olmak üzere iki gruba ayrılır [62].

Özellikleri çeşitlerine göre değişiklik gösterse de neme karşı iyi direnç, esneklik başlıca özelliklerindendir. Kaplar, oyuncaklar, ambalaj filmleri, boru ve tüp gibi yaygın kullanım alanlarına sahiptirler. Şekil 3.2.’de polietilenin kullanım alanları ve Şekil 3.3.’ de atık hale gelen polietilen malzemeler görülmektedir [63].



Şekil 3.2. Polietilenin kullanım alanları



Şekil 3.3. Atık hale gelen polietilen malzemeler

3.1.2.2. Polivinilklorür (PVC)

Polivinilklorür iki ana maddeden oluşur. Bunların birincisi; chlorine (tuz), ikincisi ise etilendir. Bu bileşim etilendikloride, çok yüksek ısılarda ise vinilkloridmonomeri (VCM) gazına dönüşür. Polimerizasyon denilen kimyasal reaksiyonla vinilkloridmonomeri toza dönüşür. İşte, elde edilen bu ürüne polivinilklorür denir. PVC sert bir plastiktir. [62].

Poliviniklorür'ün başlıca kullanım alanları olarak tesisat malzemeleri, kapı profilleri, elektrik hatlarının dış muhafazaları örnek olarak verilebilir. Şekil 3.4.' de

PVC'nin kullanım alanları ve Şekil 3.5.'te atık hale gelen PVC malzemeler görülmektedir. [62-64].



Şekil 3.4. PVC'nin kullanım alanları



Şekil 3.5. Atık hale gelen PVC malzemeler

3.1.2.3. Polistren (PS)

Monomer haldeki stirenden polimerizasyon ile üretilen polimerdir. Petrol türevlidir, plastik endüstrisinde ‘‘PS’’ kısaltması ile bilinir. Yoğunluğu 1-1.06 gr/ml arasında değişir. Saydam, sert ve termal özellikleri iyi olan bir malzemedir. Polistren’in çabuk yanması, aşırı miktarda kurum üretmesi ve gaz kokusu yayması dezavantajlarındandır. Soğutma kulelerinde, elektronik aletlerin plastik aksamalarında ve ince cidarlı kaplarda soğutma malzemesi olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.6.’ de Polistren’in kullanım alanları ve Şekil 3.7.’de atık hale gelen polistren malzemeler görülmektedir [64-66].



Şekil 3.6. Polistrenin kullanım alanları



Şekil 3.7. Atık hale gelen polistren malzemeler

3.1.2.4. Polietilentetraflar (PET)

Polietilentetraflar (PET), poliester familyasına ait bir termoplastik malzemedir. Tamamen geri dönüşebilmesi, çok hafif olması, sert ve darbelere karşı dayanıklı olması başlıca özelliklerindendir. PET kalınlığına bağlı olarak rijit ya da yarı-rijit olabilir. Başlıca kullanım alanları olarak yiyecek ve içecek kapları, sentetik fiber üretimidir. Şekil 3.8.'de Polietilentetraflar'ın kullanım alanları ve Şekil 3.9.'da atık hale gelen PET malzemeler görülmektedir [62-64].



Şekil 3.8. PET'in kullanım alanları



Şekil 3.9. Atık hale gelen PET malzemeler

3.1.2.5. Polipropilen

Monomer propilenin, polimer hale dönüştürülmesi ile üretilen termoplastik bir malzemedir. Kimyasal solventlere karşı oldukça dayanıklıdır. Erime sıcaklığı yaklaşık 160 °C'dir. Darbe dayanımı oldukça iyidir. Bu avantajlara karşın ultraviyole ışını dayanımı az, boya ve kaplaması ise zordur. Sıklıkla otomotiv endüstrisinde, şişe ve kavanoz etiketlerinde, elyaf türü ile örme ve dokuma sanayinde kullanılmaktadır. Şekil 3.10.'da Polipropilen'in kullanım alanları ve Şekil 3.11.'da atık hale gelen polipropilen malzemeler görülmektedir [62-66].



Şekil 3.10. Propilenin kullanım alanları



Şekil 3.11. Atık hale gelen propilen malzemeler

3.1.2.6. Poliamid

Poliamid, dünyada üretilen ilk sentetik lif olup halk arasında naylon sözcüğü ifade edilmektedir. Mekanik dayanımı çok iyi olmasına rağmen kimyasal dayanımı pekiyi olmayan fakat seyreltik bazı asit ve bazlara karşı dirençli olan bir malzeme türüdür Poliamid. Yüksek mukavemet ve hafiflik özellikleri ile öne çıkan ve termoplastik bir malzeme türü olan poliamidin naylon 6, naylon 6.6, naylon 6.10 ve naylon 6.8 gibi birçok çeşidi bulunmaktadır [64]. Birçok farklı amaç için üretilen poliamid çeşitleri arasında naylon 6.6 ve naylon 6 poliamid lifleri en çok üretilen ve tüketilen iki türdür Başlıca kullanım alanları; gıda endüstrisi, darbeye karşı dayanıklı mobilyaların kaplanması, yatak ve dişli yapımı, ortopedik malzemelerin yapımı ve elektrik tellerinin yalıtılması, inşaat ve bina donanımında, otomotiv ve tekstil sektöründe, makine parçalarının üretilmesinde, ve her türlü yedek parça imalatında rahatlıkla kullanılabilen poliamid, her geçen gün insan yaşamında kullanımı yaygınlaşmaktadır. Döküm poliamid, yüksek molekül ağırlığı, kristalize yapısı, polimerleşme sürecinde sahip olduğu uzun çapraz bağları ve türevi olan diğer poliamid türlerine göre daha yüksek korozyon ve aşınma dayanımı gibi teknik özelliklere sahip mühendislik bir polimer türüdür. Üretim aşamasında çeşitli ebat ve ölçülerdeki kalıplara dökümü yapılarak katılaştırılarak ve talaş kaldırılarak işlenmesi ile şekillendirilmektedir. Her türlü talaşlı imalat yöntemi ile kolaylıkla işlenebilir. Serbest döküm ve soğuma tekniği ile üretilmesinden dolayı ihtiyaca göre büyük ebatlar elde edilmesi kolaydır. Şekil 3.12.'de de görüldüğü gibi Poliamidler'in dişli, yatak, burç, kasnak, metal göbekli makara, halı-kumaş dokuma mekikleri, aşınma plakaları, çekiç başları, hadde yatak ve kızakları, makine parçalarının yapımı gibi birçok kullanım alanı vardır. Şekil 3.13.' de atık hale gelen poliamid malzemeler görülmektedir [65,66,84].



Şekil 3.12. Poliamidin kullanım alanları



Şekil 3.13. Atık hale gelen poliamid malzemeler

3.2. Malatya İlinin Atık Plastik Potansiyeli

Bilindiği gibi kullanıldıktan sonra atık hale gelen ve doğada uzun süre yok olmayan plastiklerin çevreye atılması çevrede görüntü kirliliğine sebep olmaktadır. Doğada yüzlerce yıl bozulmadan kalma özelliğine sahip plastiklerin yakılarak bertaraf edilmesi hava kirliliğine sebep olmaktadır. Bu tür kirliliklerin önüne geçmek için atık plastiklerin geri dönüşüm yoluyla yeniden değerlendirilerek ekonomiye katkı sağlanabilmektedir. Geri dönüşümü yapılan atık plastiklerin yeniden değerlendirilmesi için birçok kullanım alanı vardır. Atık plastiklerin yeniden değerlendirilerek kullanılan alanlardan biri de içten yanmalı motor yakıtına dönüştürmektir. Bir ton atık plastik ile yaklaşık olarak 5,7 MWh enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Malatya ilinde 2014

yılında başlatılan ve 43 noktada hizmet veren ‘Geri Dönüşüm Evleri’ ile gezici faaliyetlerde bulunan üç adet ‘Mobil Geri Dönüşüm Evi’ bulunmaktadır. Bu geri dönüşüm noktaları kitap, bayat ekmek, pil, kıyafet, atık yağ, oyuncak ve ambalaj gibi atıkları toplayıp, bunların yeniden değerlendirilmesini sağlamaktadır. İlin farklı noktalarına yerleştirilen ‘Geri Dönüşüm Sepet Şişeleri’ sayesinde teneke kutu, cam şişe ve plastik pet şişeler ayrıştırılmakta ve bunların yeniden değerlendirilmesi sağlanabilmektedir. Ayrıca Malatya ilinde yakın bir zamanda hizmete sunulacak olan ‘Ambalaj Atığı Toplama ve Ayırma’ tesisi ile atıklar kaynağında ayrıştırılarak geri kazanılması ile çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi ve ilin ekonomisine katkı sağlama çalışmaları devam etmektedir. Malatya ilinde atık plastiklerin geri dönüşümü ile ilgili bir proje kapsamında toplanan plastik kapaklar, bedensel engelliler için akülü tekerlekli sandalye alımında değerlendirilmiştir. 3 tona yakın plastik kapak hem akülü tekerlekli sandalye alımında engelliler için umut kaynağı olmuş hem de toplanan plastik kapaklar farklı işlemlerden geçirilerek ayrıştırılmakta ve yeterli sıcaklıkta yumuşatılarak işlenebilir hale getirilmektedir. Ayrıca bu kapakların bazıları da yaklaşık 200 °C üzerindeki bir sıcaklıkta tamamen eritilerek, yumuşak dokulu örgüler şekline getirildikten sonra üretimde değerlendirilebilecek maddeye dönüştürülmektedir. Daha sonra geri dönüşümden elde edilen atık plastik kapak kaynaklı hammadde; tesisat borularında, plastik dolapların yapımında, hasta hane araç ve gereçlerin yapımında ve mobilya endüstrisinde kullanılmaktadır [67].

Malatya ilinde her yıl yaklaşık olarak 610 ton atık plastik olduğu göz önüne alındığında toplam atık plastik miktarının kişi başı üretimi 1997 yılında 1 kg iken 2018 yılında 1,5 kg olmuştur. Malatya Yeşilyurt Belediyesi tarafından toplanan yaklaşık 2 bin 430 ton atık plastikten 13.958 MWh enerji tasarrufu sağlanmıştır. Çizelge 3.3.’de 2018 yılının Malatya merkez ve ilçelerinde oluşan yıllık atık plastik miktarları ve Şekil 3.14.’ de ise Malatya ilinde oluşan atık plastik türlerinden örnekler görülmektedir [68].



Şekil 3.14. Malatya ilinde oluşan ve enerji üretiminde değerlendirilebilecek atık plastik türleri

Çizelge 3.3. Malatya merkez ve ilçelerinde oluşan yıllık atık plastik miktarları

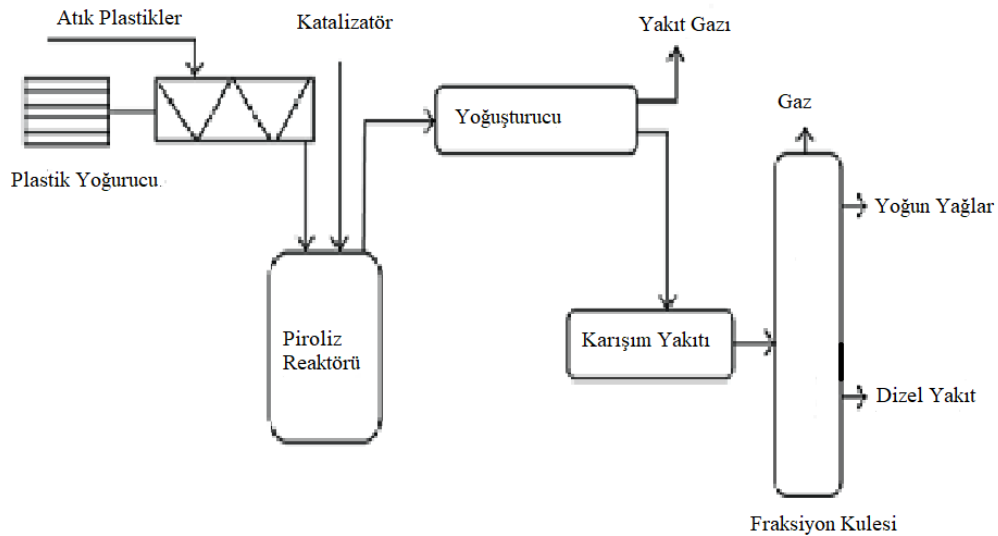
İlçe	Nüfus	Kat Sayı	Atık Miktarı (Nüfus x 0,8)	Ton
Akçadağ	32260	0,8	25808	26
Arapgir	11041	0,8	8832,8	9
Arguvan	9038	0,8	7230,4	7
Battalgazi	397806	0,8	238244,8	240
Darende	28978	0,8	23182,4	23
Doğanşehir	41006	0,8	32804,8	33
Doğanyol	4720	0,8	3776	4
Hekimhan	22181	0,8	17744,8	18
Kale	5975	0,8	4780	5
Kuluncak	8885	0,8	7108	7
Pütürge	17986	0,8	14388,8	15
Yazıhan	15297	0,8	12237,6	12
Yeşilyurt	267365	0,8	213892	125
Toplam	762538	0,8	610.030.4	610

3.3. Yöntem

3.3.1. Piroliz Proses Yöntemi

Şekil 3.15’de belirtildiği gibi atık plastiklerin piroliz yöntemiyle sıvı yakıtıya dönüştürülmesi oldukça basit bir işlem olup bu işlemde; plastikler önce kurutulur, daha sonra bu plastikler küçük parçalara ayrılarak termal bir odada ısıtılır ve erimiş plastik kaynarak buharlaşmaya kadar sürekli ısıtılma işlemi devam eder ve en sonunda ise buhar şeklindeki plastik soğutma borularında geçirilmek suretiyle dizel benzeri yakıtı kimyasal olarak eşdeğer olan bir sıvı şeklinde damıtılma işleminden ibarettir.

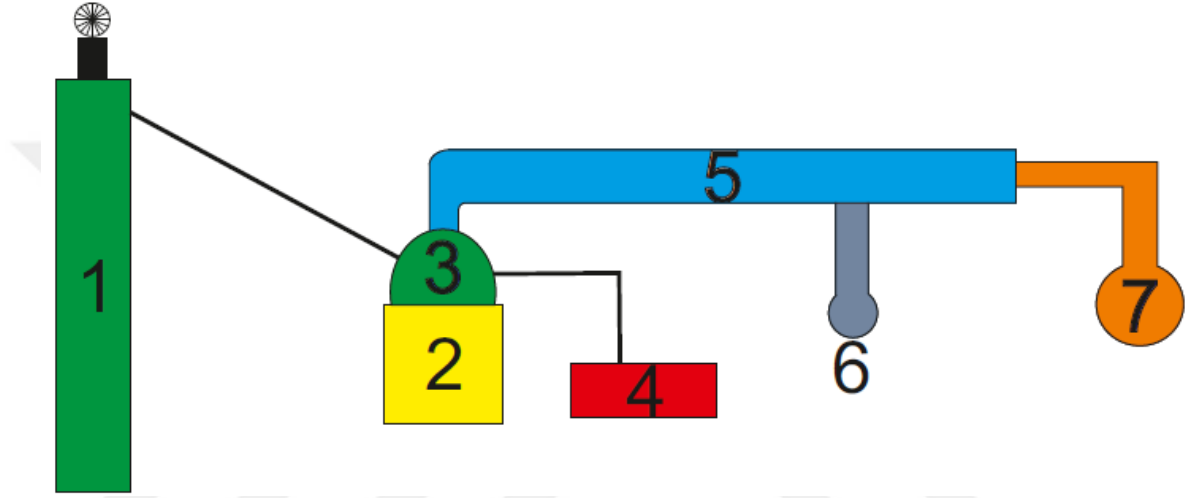
Piroliz proses tekniğinde çoğunlukla belli sıcaklık noktalarına kadar gaz ve sıvı faz dönüşümleri artarken belli sıcaklık noktalarından sonra sıvı dönüşüm veriminde azalma meydana gelmekte ve gaz fazındaki ürünlere dönüşüm artmaktadır. Atık plastiklerin geri yakıtıya dönüştürülmesi için kullanılan bir yöntem olan piroliz proses tekniği kullanılarak büyük moleküllü polimerler, inert, vakum, indirgen veya yükseltgen ortamlarda katalizörlü veya katalizörsüz halde sıcaklık etkisi ile bozundurulmakta ve bu bozunma sırasında polimerin yapısında bağ kopmaları veya zincir kırılmaları meydana gelerek çok sayıda oldukça reaktif radikaller oluşturulmaktadır. Oluşturulan radikaller kararlı hale geçmek için bir seri tepkimeye girerek gaz, sıvı ve katı ürünlere dönüştürülebilmekte ve kullanım amacına bağlı olarak bu ürünler değerlendirilmektedir [69,70].



Şekil 3.15. Piroliz proses tekniği

3.3.2. Atık Plastiklerden Piroliz Sıvısı Üretimi

Atık plastik kaynaklı yakıt elde etmek için gerekli ekipmanlar seçilip deney düzeneği kurulmuştur. Bu düzende ekipman olarak 1 adet azot gazı tüpü, 1 adet mantolu ısıtıcı, 1 adet termocouple, 2 adet cam beher, 2 adet ayırma hunisi, yaklaşık 250 gr cam yünü, 2 adet 3 silifli 29/32 ana girişli balon, 1 adet termometre, 350 gr buz kullanılmıştır. Deney düzeneği aşağıdaki Şekil 3.16’de deney düzeneğinin şematik resmi ve Şekil 3.17’de de deney düzeneğinin fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 3.16. Deney düzeneği (1- Azot gazı tüpü, 2-Piroliz reaktörü, 3-3 Silifli ana girişli balon, 4-Thermocouple, 5-Ayırma hunisi, 6- Cam beher, 7- Cam beher)

Atık plastiklerin hem daha kolay parçalanmasını gerçekleştirebilmek hem de cam beherin içine rahat girebilmesini sağlamak amacıyla atık plastikler, 1-2 cm²'lik parçalar haline getirildi. Plastikler küçük parçalara ayrıldıktan sonra reaktörün içindeki 3 silifli beher cama konuldu. Beher camın bir girişinden azot gazı hortumu takılıp, diğer girişine termocouplerin uç kısmı, diğer girişine ise otoklavlanabilir silikat şişe takıldı. Azot gazı hortumundan reaktörün içerisine azot gazı verildi. Buradaki amaç inert bir ortam oluşturup oksijeni ortamdan atarak yanma reaksiyonunun önüne geçilmesidir. Reaktörden dışarıya olan ısı kaybını azaltmak için ise reaktörün etrafı cam yünüyle sarıldı. Reaktör 450 C° 'ye gelene kadar elde edilen ürünler ikinci kaptaki toplandı. Diğer kaba kör tapa takılarak buraya ürün toplanması engellendi. 450 C° 'de yaklaşık olarak 30 dk beklendi. Bu zamanda elde edilen ürünler ana toplama kabında toplandı. Toplanan bu ürün standart dizel yakıtı benzer alternatif bir yakıt elde edebilmek için daha sonra fraksiyonlarına ayrılmış ve elde edilen atık plastik kaynaklı

piroliz sıvısının bir numunesi Şekil 3.18’ de verilmiş olup dizel motorda test edilmek amacıyla atık plastik kaynaklı dizel benzeri piroliz sıvısı cam şişelere doldurularak muhafaza altına alınmıştır.



Şekil 3.17. Yakıt üretimi için kullanılan deney düzeneğinin fotoğrafı

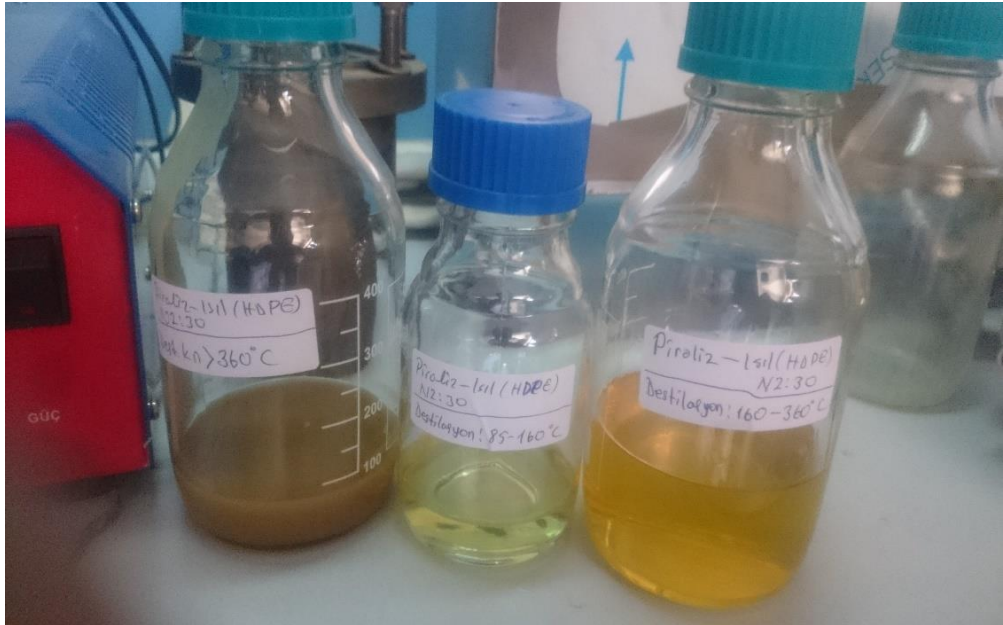


Şekil 3.18. Deneyden elde edilen ana ürün

3.3.3. Ana Ürünün Fraksiyonlarına Ayrılması

Fraksiyon işlemi, kaynama noktaları arasında fark olan maddelerin birbirinden ayrıştırılması için yapılan fiziksel bir işlemdir. Diğer bir deyişle fraksiyon işlemini damıtma işlemi olarak da tanımlanabilmektedir [71].

Piroliz proses yöntemiyle elde edilen ana ürün tekrardan 3 silifli cam behere konuldu. Burada ilk deneyden farklı olarak 3 silifli cam behere azot gazı verilmedi. Çünkü yapılan işlem kimyasal olmayıp sadece istenilen kaynama noktaları aralığında ürünleri elde etmektir. Ancak reaktör içi sıcaklıkla reaktör sıcaklık panelindeki değer farklı oldukları için 400°C'ye kadar ölçüm yapabilen cıvalı termometre kullanıldı. Burada termometre kullanılmasıdaki amaç istenilen kaynama noktalarındaki ürünleri elde etmektir. Standart dizel yakıt, ham petrolün 200-300 °C'ler arasında damıtılmasından elde edildiği için bu çalışmada ana ürün 160-360 °C'ler arasında damıtılarak atık plastik kaynaklı yakıt elde edilmiştir [72]. Deneyde ana üründen toplamda 3 yan ürün elde edilmiştir. Bunlardan birincisi 160 °C sıcaklık değeri altında elde edilen ürünlerdir. İkinci olarak ise atık plastik yakıt ürünleri elde edilmiştir. Son olarak elde edilen ürünler 360 °C sıcaklık değeri üzerindeki ürünler olup bu ürünlerin viskozitesi, yoğunluğu ve ihtiva ettiği karbon ve hidrojen atom sayıları standart dizel yakıttan oldukça fazladır. Elde edilen farklı özellikteki ürünler Şekil 3.19.'da verilmiştir. Elde edilen atık plastik kaynaklı yakıtların bozulmaması için bu yakıtlar buzdolabında saklanmıştır.



Şekil 3.19. Ana ürünün fraksiyonlarına ayrılması ile elde edilen ürünler

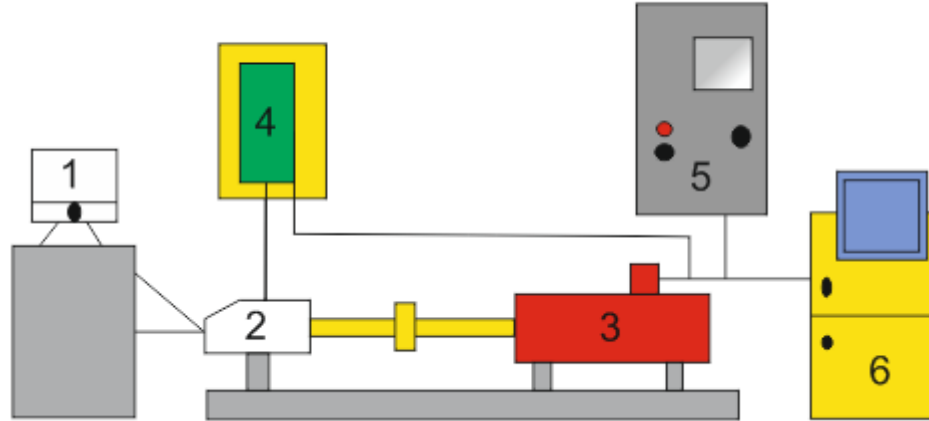
3.3.4. Atık Plastik Kaynaklı Yakıtın ve Standart Dizel Yakıtın Analizinin Yapılması

Atık plastik kaynaklı yakıtın analizi İnönü Üniversitesi Akaryakıt/Petrol Analiz Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Çizelge 3.4.' de atık plastik kaynaklı yakıtın analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.4. Atık plastik kaynaklı yakıtın analiz sonuçları

Analizler	Atık Plastik Kaynaklı Yakıt	Dizel Yakıt
Yoğunluk (kg/m ³)	871,9	834,5
Viskozite 40 °C (mm ² /sn)	2,78	2,45
Isıl Değer (kJ/kg.K)	41.8010	45.1420
Parlama Noktası (°C)	20 °C'de ilk ateşlemede alev aldı	55 °C'de ilk ateşlemede alev aldı
Yanma (°C)	10	15
Görünüş	Koyu sarı, al	Sarı

3.3.5. Atık Plastik Kaynaklı Yakıtın Dizel Motorda Test Edilmesi



Şekil 3.20. Motor deney düzeneği (1-Emisyon ölçüm cihazı, 2-Dizel motor, 3-Dinamometre, 4-Yakıt deposu, 5-Güç ünitesi, 6-Emisyon cihazı)

Atık plastiklerden elde edilen dizel benzeri atık plastik kaynaklı yakıt farklı oranlarda SDY ile karıştırılmak suretiyle karışım yakıtlar oluşturulmuş ve önce %100 SDY olmak üzere 4 farklı test yakıtı ayrı ayrı Bitlis Eren Üniversitesi Teknik Bilimler Yüksekokulu Otomotiv laboratuvarında bulunan ve şematik resmi Şekil 3.20.'de

görülen motor test düzeneğinde test edilmiştir. Yakıtların test edildiği motor test düzeneği Emisyon ölçüm cihazı, dizel motor, dinamometre, yakıt deposu, güç ünitesi ve emisyon cihazı olmak üzere 6 kısımdan oluşmaktadır. Gücü 9 kW, torku 60 Nm ve devir hızı max 3000 d/d olan dizel motorda elde edilen motor performans verileri anlık olarak ara yüz programı ile bilgisayara kaydedilmiş ve karşılaştırma yapabilmek için grafiklere aktarılmıştır. Motor testleri Şekil 3.21 de gösterilen T-T Elektrik marka bir elektrikli dinamometre kullanılarak 1000, 1500, 2000, 2500 ve 3000 olmak üzere 5 farklı motor devrinde (d/d) ve 4 çeşit yakıt ile tam gaz durumunda yapılmıştır. Yapılan deneylerde sensörler aracılığı ile motor momenti, motor gücü, egzoz gazı sıcaklığı, yakıt sarfiyatı ve özgül yakıt tüketimi hesaplanarak elde edilen veriler kontrol panelinden bilgisayara port bağlantısı Şekil 3.22’de gösterilen NF motor test sistemi programında anlık olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.21. Motor deney düzeneğinin fotoğrafı



Şekil 3.22. NF motor test sistemi

Deneylerde elde oluşan egzoz gazları emisyon değerlerinin ölçülmesi için TS ISO 3930 standardında Mobydic marka 5000 model egzoz emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Egzoz emisyon cihazını teknik özellikleri Çizelge 3.5.' de belirtilmiştir. Deney motorunun egzoz çıkışı ile egzoz tahliye bağlantı arasında egzoz gazı sıcaklığının ölçülebilmesi için ısı çiftin bağlandığı sistem kullanılmış ve egzoz gazlarının açık alanda tahliye olabilmesi için de egzoz gazı tahliye hattı kurulmuştur. Çizelge 3.5.' de belirtildiği gibi egzoz emisyon cihazının ölçümleri özellikleri ve %vol ve ppm türünde ölçülmektedir. Test düzeneğinde kullanılan dizel motorun teknik özellikleri de Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.5. Egzoz emisyon cihazının özellikleri

Mobydick 5000 Gaz Emisyon Cihazı		
CO	%Vol	0-10
CO ₂	%Vol	0-20
UHC	ppm	0-20000
O ₂	%Vol	0-21
NO _x	ppm	0-5000
Lamda		0-5
N	%	0-100
K	1/m	0-20
Partikül	mg/m ³	0-1000

Çizelge 3.6. Deneylerde kullanılan dizel motorun teknik özellikleri

Motor Tipi	Antor 3LD 510
Silindir Sayısı	1
Silindir Hacmi	510 cm ³
Silindir Çapı x Strok	85 x 90 mm
Sıkıştırma Oranı	17:1
Maksimum Motor Gücü	9 kW
Maksimum Motor Devri	3000 d/d
Makismum Motor Momenti	3,5 kg.m 1800 d/d

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, atık plastiklerden elde edilen dizel benzeri yakıt standart dizel yakıtla hacimsel olarak farklı oranlarda karıştırılarak farklı motor devir (d/d) sayılarında (1000, 1500, 2000, 2500, 3000) bir dizel motorda test edilerek karışım yakıtların motor performans (motor torku, motor gücü ve özgül yakıt tüketimi) ve egzoz emisyon değerleri (CO, CO₂ ve UHC) analizi yapılmıştır.

4.1. Motor Performansı

Motor deneylerinde meydana gelen motor performansının değerlendirilebilmesi için motor tarafından üretilen döndürme momenti (motor torku) ve motor milinden alınan etkili motor gücünün dinamometre yardımı ile ölçülmesinden elde edilmektedir. Deneylerin kontrol edildiği panelde motor gücü beygir gücü şeklinde kaydedilip hesaplandığı için; kW yerine BG birimi kullanılmıştır. Yakıt deposunun tabanında bulunan yük hücresi yardımıyla yakıt tüketim verilerinden motorun tükettiği yakıt miktarına göre özgül yakıt tüketimi ölçülmüş olup bilgisayarlı kontrol paneline aktarılan değerlere göre ölçümler değerlendirilmiş ve motorun karakteristik yapısının avantajlı bir düzende çalışmasını incelemek için motor performansının hesaplanmasında elde edilen gerekli parametreler kullanılarak verilen ölçümlere göre de hesaplamalar yapılmıştır.

4.1.1. Motor Gücü ve Momentinin Hesaplanması

Bir motorun döndürme momenti ile iş yapabilme yeteneği belirlenebilmektedir [82]. Motor momentinin hesaplanması için sırasıyla aşağıda verilen denklemlere göre hesaplanmaktadır.

$$F = m \times g \quad (4.1)$$

F : Fren kuvveti (N- kgm/s²)

m : Load Cell'den okunan kuvvet (kg)

g : Yerçekimi ivmesi (m/s²)

$$Md = F \times L \quad (4.2)$$

Md : Döndürme momenti (Nm)

F : Fren kuvveti (N - kgm/s²)

L : Moment kolu uzunluğu (m)

$$P_e = \frac{Md \times n}{9549} \quad (4.3)$$

P_e : Efektif motor gücü (kW)

Md : Döndürme momenti (Nm)

n : Motor devri (d/d)

4.1.2. Özgöl Yakıt Tüketiminin Hesaplanması

Motorun çalışma anında tükettiği birim değerindeki yakıt miktarının oluşan motor gücüne oranının g/kW.h biriminden değeri özgöl yakıt tüketimini vermektedir. Özgöl yakıt tüketimi aşağıda verilen formüle göre hesaplanmaktadır[82].

$$b_e = \frac{3600.b}{P_e} \quad (4.4.)$$

b_e : Özgöl yakıt tüketimi (g/kW.h)

b : Yakıt tüketimi (g/s)

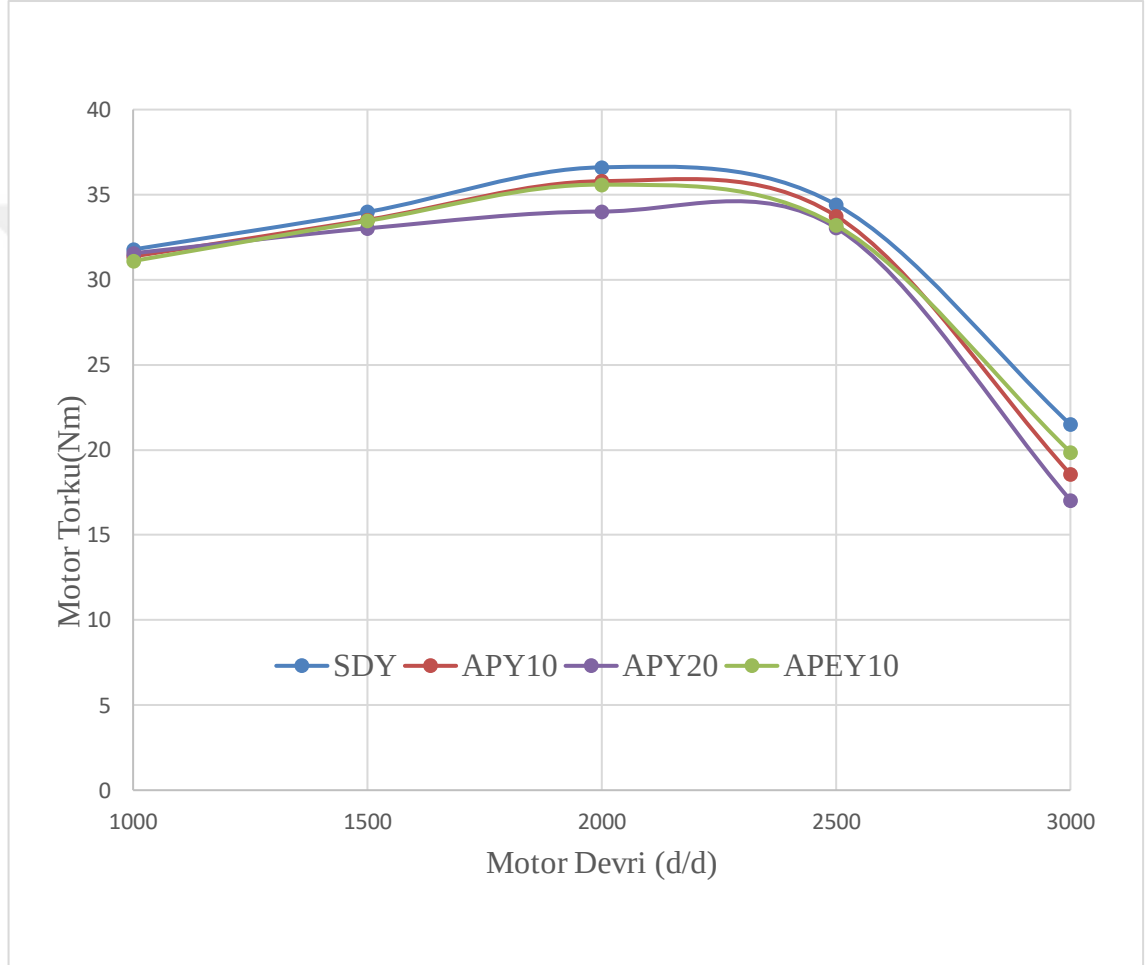
P_e : Efektif motor gücü (kW)

4.1.3. Motor Torku (Momenti)

Döndürme momenti olarak da ifade edilen motor torku, krank miline etki eden kuvvetin krankın dönmesine sebep olduğu ölçüsüdür şeklinde tanımlanabilmektedir. Krank milinin dönüş sayısının niceliği taşıt için oldukça önemli olup, bu sayı taşıtın çekiş gücünü ve hızını belirlemektedir. Tork, motorun dönme kuvvetinin tekerlekleri itme kuvvetine dönüştürülmesini sağlayıp aracın çekiş gücü ve özellikle yokuş yukarı çıkarken gösterdiği performansı belirleyen bir parametredir. Motor devri arttıkça motor torkunun arttığı ve maksimum motor torku seviyesine ulaştıktan sonraki devirlerde motor torku tekrar azalmaktadır [73].

Şekil 4.1.'de farklı oranlardaki yakıt kullanımının motor torkuna olan etkisi görülmektedir. Tüm deneylerde maksimum motor momenti 2000 motor devrinde (d/d) elde edilmiştir. Test sonuçlarına göre ise yakıt karışımı içerisindeki atık plastik kaynaklı yakıt oranı arttıkça motor momenti değerlerinde azalma görülmüştür. Bu değerler sırasıyla; %100 dizel yakıtta 36,605, APY10 karışımında 35,79, APY20 karışımında 34, APEY10 karışımında ise 35,58 Nm'dir. Bu azalmaların sebebi olarak ise atık plastik kaynaklı yakıtın viskozitesinin dizel yakıtı göre %20 daha fazla olmasıdır. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise APY20 ve APEY10

karışımlarıdır. APEY10 karışımları ile yapılan bu deneyde APY20 karışımına göre daha fazla motor momentini elde edilmiştir. Bu artışın nedeni ise APEY10 karışımında bulunan %10 etanol miktarından dolayı yakıt içerisinde daha fazla oksijen olmasıdır. Bu fazlalık eksik yanmadan kaynaklanan termal verim kayıplarını azaltmıştır. Bu sonuç ise diğer çalışmalarla paralellik göstermektedir. Ayrıca 2500 motor devrinden (d/d) sonra motor torkunda azalma olmuştur. Bunun sebebi sürtünmelerin artması ve silindirin içerisinde eksik yanma durumunun meydana gelmesidir [10,83].

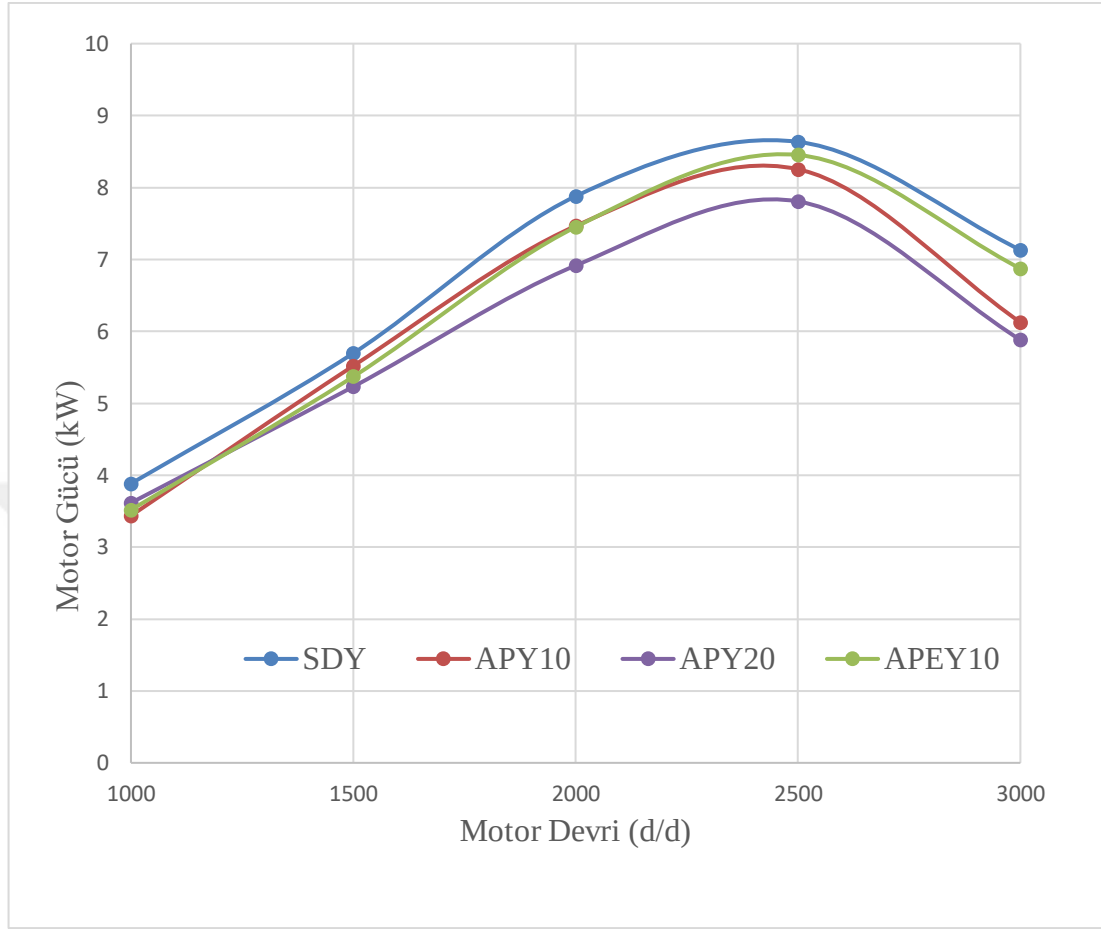


Şekil 4.1. Farklı oranlarda atık plastik kaynaklı yakıt kullanımının motor momentine etkisi

4.1.4. Motor Gücü

Standart dizel yakıt ve atık plastik kaynaklı yakıtın motor gücü değerlerini belirlemek amacıyla Bitlis piyasasında temin edilen dizel yakıtı belirli oranlarda atık plastik kaynaklı yakıt ilave edilerek oluşturulan karışım yakıtları, dizel motorda test edilerek elde edilen değerler grafik haline getirilmiş ve gerekli değerlendirmeler

yapılmıştır. Şekil 4.2.'de farklı oranlarda kullanılan atık plastik kaynaklı yakıtın motor devri arttıkça motor gücüne olan etkisi görülmektedir.



Şekil 4.2. Farklı oranlarda atık plastik kaynaklı yakıt kullanımının motor gücüne etkisi

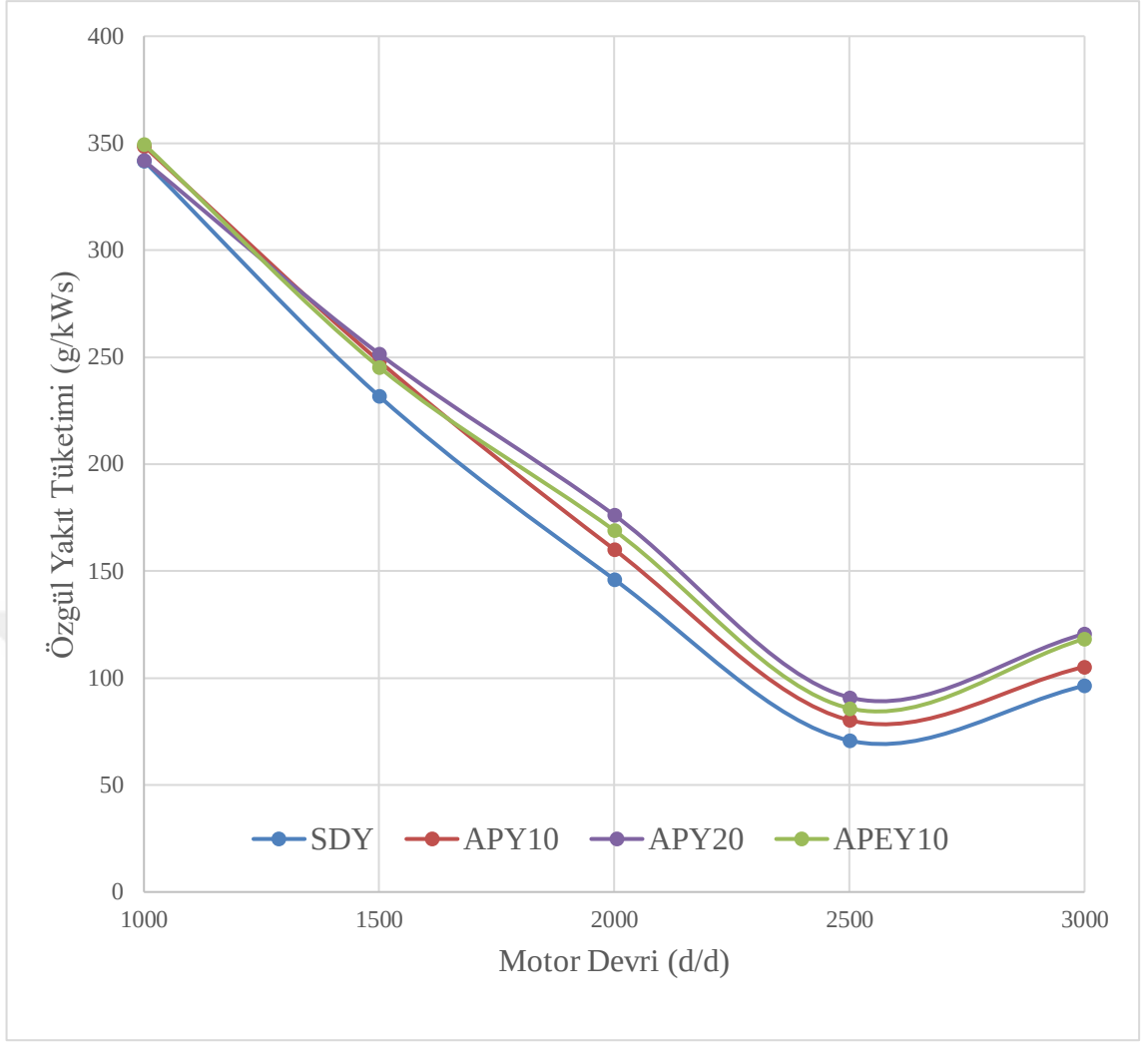
Bu deney sonucunda atık plastik kaynaklı yakıt oranı arttıkça motor gücünün azaldığı sonucunu varılmıştır. Bu azalma maksimum motor gücünün elde edildiği devirde (2500 d/d) %10 atık plastik kaynaklı yakıt, %90 dizel yakıt karışımında motor gücünde %4 azalma görülmüştür. Bir diğer karışım olan %10 APY, %10 etanol ve %80 dizel yakıt karışımında ise %5 oranında azalma görülmüştür. Son olarak ise %20 APY, %80 dizel yakıt karışımında %6,3 oranında azalma görülmüştür. Bu güç kaybının sebebi olarak atık plastik kaynaklı yakıtın dizel yakıtla daha düşük ısı değeri, atık plastik kaynaklı yakıtın hem viskozitesinin hem de yoğunluğunun dizel yakıtla daha yüksek olması literatürde açıklanmaktadır [18,19]. Kullanılan yakıtın viskozitesinin yüksek olması silindirlere püskürtülen yakıtın atomizasyon çapını etkilemektedir. Atomizasyon çapının ise optimum değerden büyük olması silindir içerisindeki hava/yakıt karışımını etkilemekte olup

bunun sonucunda da yanma kötüleşmektedir. Bu da motor gücünde azalmaya sebep olan etkenlerden birisidir [25,83].

4.1.5. Özgöl Yakıt Tüketimi

Aslında “fren özgöl yakıt tüketimi” (BSFC) olan bu ifade genelde “özgöl yakıt tüketimi” şeklinde telaffuz edilmektedir. İçten yanmalı bir motorun tüketmiş olduğu yakıtı karşılık krank mili üzerinde ürettiği gücün verimini ifade etmektedir. Özgöl yakıt tüketiminin “fren” kelimesi ile kullanılmasının temel nedeni ise, dinamometre üzerinde içten yanmalı bir motorun karakteristik özelliklerinin belirleyen parametreler belirlenirken frenleme gücünün kullanılmasıdır.

Şekil 4.3.’ de farklı oranlardaki atık plastik kaynaklı yakıt kullanımının özgöl yakıt tüketimine olan etkisi görülmektedir. Grafik incelendiğinde karışımdaki atık plastik kaynaklı yakıt oranı arttıkça özgöl yakıt tüketiminin de arttığı gözlenmektedir. Minimum özgöl yakıt tüketimi değeri 2500 motor devrinde (d/d) görülmüştür. 2500 motor devrindeki (d/d) özgöl yakıt tüketimi değerleri sırasıyla %100 dizel 70,797, APY10 karışımı için 80,332, APY20 karışımı için 90,954, APEY10 karışımı için ise 85,86 g/kWh ‘dır. Karışım içerisindeki atık plastik kaynaklı yakıt oranı arttıkça özgöl yakıt tüketim değerlerinin artması, atık plastik kaynaklı yakıtın dizel yakıtı göre daha az ısı değere sahip olmasındandır [9,12,17,].



Şekil 4.3. Farklı oranlarda atık plastik kaynaklı yakıt kullanımının özgül yakıt tüketimine etkisi

4.2. Egzoz Emisyonları

Dizel motorlarda kaynaklanan CO, yanmamış hidrokarbon (UHC), NO_x ve duman koyuluğu kirleticileri emisyon standartlarının temel parametrelerindendir. CO ve yanmamış hidrokarbon emisyonu motorda kullanılmayan kayıp kimyasal enerjiyi ifade ettiği için, bu emisyonlardaki artış motor performansını olumsuz yönde etkilemektedir [74]. Burada dizel motordan kaynaklan emisyonlardan CO, CO₂ ve UHC emisyonları incelenmiştir.

4.2.1. Karbonmonoksit (CO)

Karbonmonoksit, içten yanmalı motorlarda eksik yanma sonucu oluşan, çevre ve insan sağlığı üzerinde zararlı etkiye sahip olan bir egzoz gazı emisyon ürünüdür. CO emisyonu, yapısında karbon ve hidrojen bulunan yakıtların oksijenle oksidasyonu sonucu yanma için yeteri oksijenin olmaması sonucunda meydana gelmekle birlikte kötü hava sürüklenmesinden ve eksik yanmadan dolayı oluşmaktadır. CO zehirli bir gaz olup kontrol altında tutulması gerekmektedir [75].

Karbonmonoksit gazının oluşmasında etkili olan bir başka unsur hava /yakıt karışımının oranı olarak bilinen hava fazlalık katsayısıdır. Hava fazlalık katsayısı (HFK) 1'den küçük olduğu durumda, yani zengin karışımda yanma sırasında yeterli miktarda oksijen bulunmadığından yakıtın yapısında bulunan karbonun CO₂'e dönüşüm süresinin kısa olmasından dolayı yanma tamamlanamadığı için CO olarak oksitlenmektedir. Tüm silindir içi hava-yakıt karışımının yeterince homojen olmaması durumunda ya da kısmi yanmayı tetikleyecek bölgesel farklılıklar CO oluşumunun önemli nedeni olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte fakir karışimli yanmalarda CO miktarı az olmakta ve genellikle dizel motorlar fakir karışım oranlarında çalışmaktadır [76-79].

Şekil 4.4.' de atık plastik kaynaklı yakıtın motor devri arttıkça CO emisyon değerlerine olan etkisi görülmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde motor devri 2500 d/d'da iken en düşük CO salınımı gerçekleşmiştir. Fakat yakıt karışımı içerisindeki atık plastik kaynaklı yakıt oranı arttıkça salınan CO oranında artış olmuştur. 2500 motor devrinde (d/d) CO emisyonlarında dizel yakıta göre APY10, APY20, APEY10 yakıtlarının kullanımının sırası ile %9,73, %18,58 ve %17,25 oranlarında artmıştır. Bu durumun sebebe ise atık plastik kaynaklı yakıtın oksijenli bileşikler olarak dizel yakıta göre daha az bileşik ihtiva etmesi ve bundan dolayı eksik yanma oluşumunun gerçekleşmesidir [9,13,83].



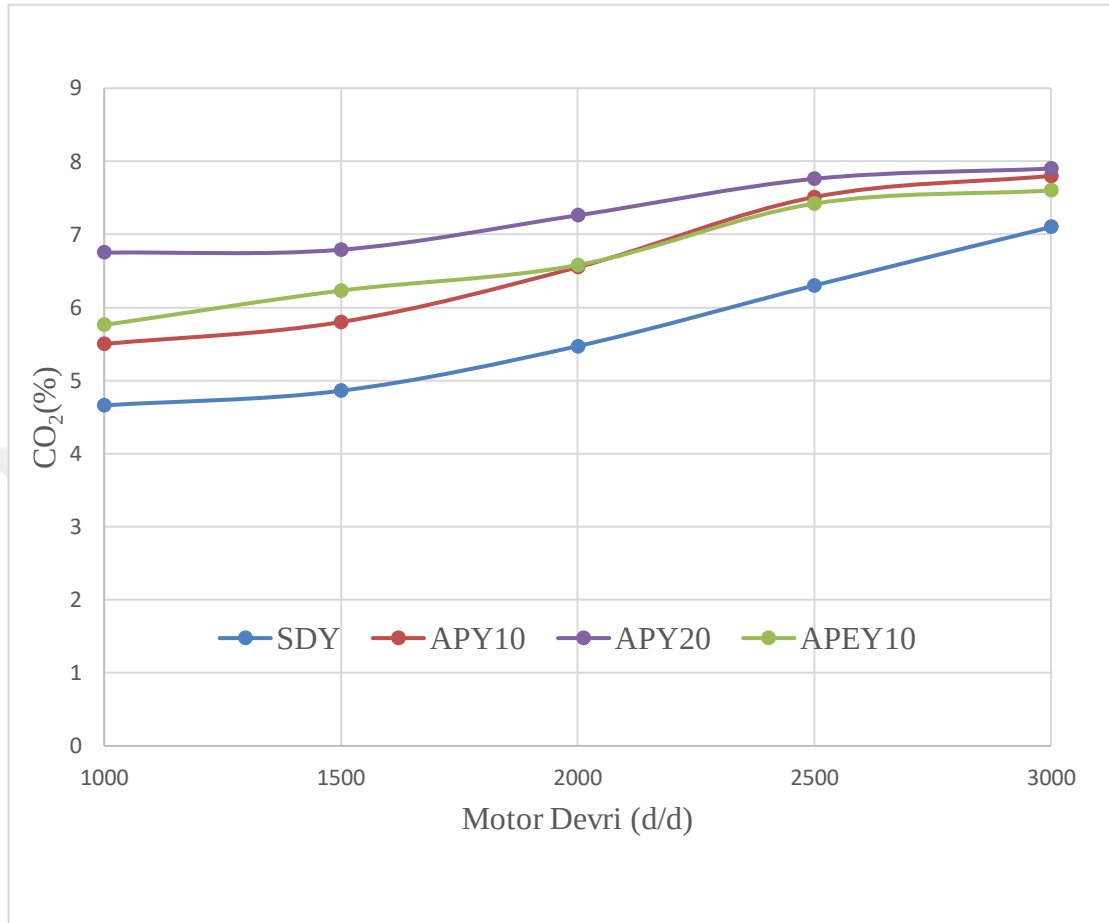
Şekil 4.4 Farklı oranlarda atık plastik kaynaklı yakıt kullanımının CO emisyonuna etkisi

4.2.2. Karbondioksit (CO₂)

CO₂ yakıtta bulunan karbon atomlarının tam oksidasyonundan oluşmaktadır. Çevresel bir bakış açısıyla bakıldığında CO₂ emisyon değerlerinin azaltılmasına dair ciddi bir talep vardır. Bunun nedeni ise CO₂ bileşiğinin sera etkisine önemli ölçüde sebep olmasıdır [17].

Atık plastik kaynaklı yakıtın karışım içindeki oranı arttıkça CO₂ emisyonlarına olan etkisi Şekil 4.5.'de görülmektedir. Grafik incelendiğinde motor devri arttığında tüm deneylerde CO₂ emisyon değerleri artmıştır. 2500 motor devrinde kullanılan APY10, APY20, APEY10 karışımlarında CO₂ emisyon değerlerinde sırası ile %16, %20,2, %15 oranlarında artış görülmüştür. Bu durumun sebebi olarak ise atık plastik kaynaklı yakıtın dizel yakıtı göre daha fazla C:H oranı içerip, silindir içerisindeki

karbon atomlarının tam oksidasyon reaksiyonlarının artmasıdır. Elde edilen bu değerler ise diğer çalışmalarla da benzerlik göstermektedir [13,17,83].



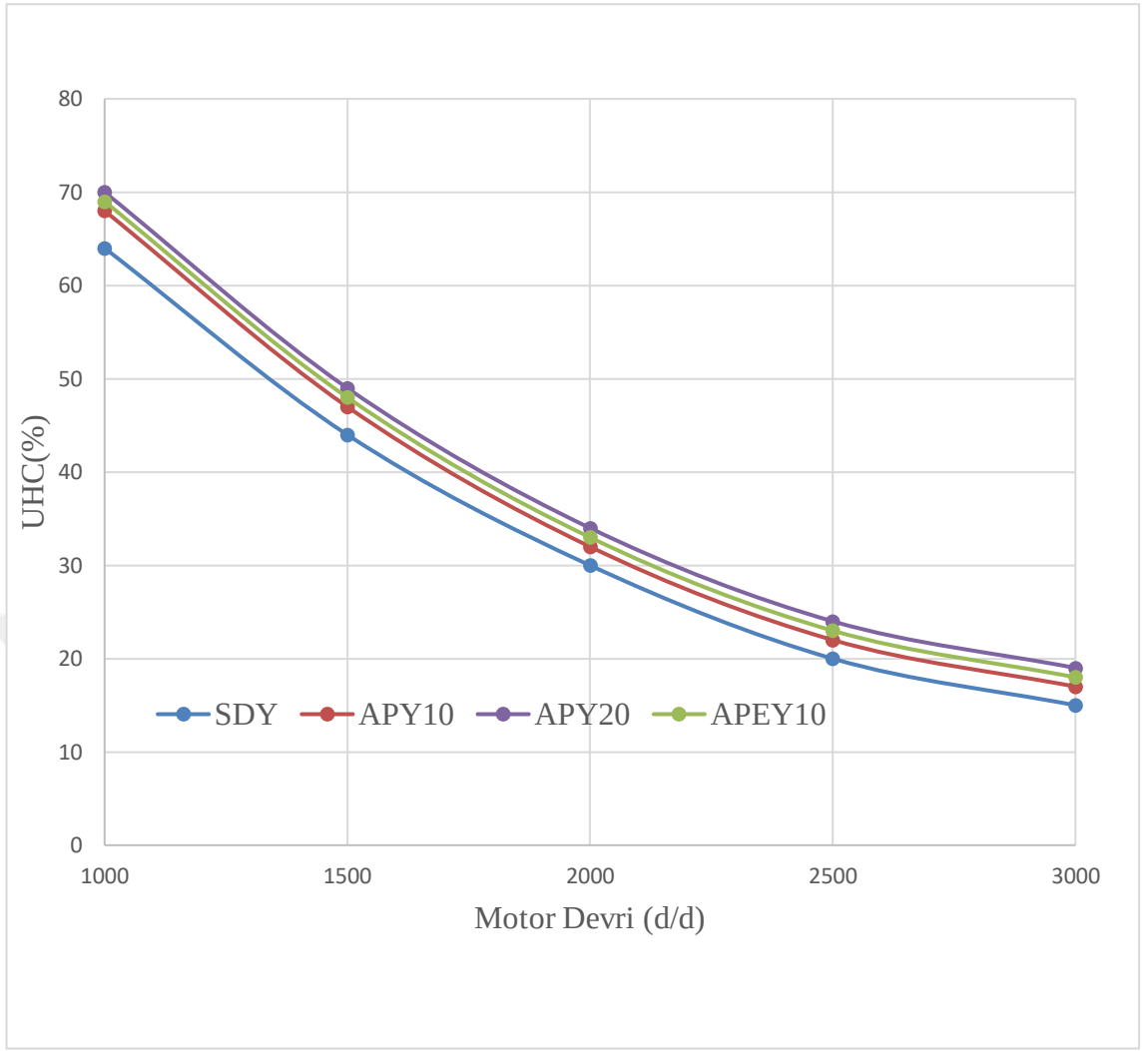
Şekil 4.5. Farklı oranlarda atık plastik kaynaklı yakıt kullanımının CO₂ emisyonuna etkisi

4.2.3. Yanmamış Hidrokarbonlar (UHC)

Yanmamış hidrokarbon emisyonların meydana gelmesinin sebeplerinden biri, yakıt içerisindeki oksijenin eksikliği ve düşük ortam sıcaklığından dolayı yakıtın tam olarak yanmaması veya eksik yanması sonucu oluşan hava fazlalık katsayısının 1'den küçük olduğu zengin karışımların oluşmasıdır [80]. İkinci bir sebebi ise, silindir içerisindeki kısmi bölgelerdeki hava/yakıt oranının zengin ve fakir olmasından kaynaklanan oksidasyon reaksiyonunun yavaşlaması ve yanmanın tamamlanmaması ile piston ve silindir arasında alevin ilerlemeyerek aniden sönmesi ve silindir içi ısı kayıplarının oluşmasıdır [81].

Yanmamış hidrokarbon emisyonları, aşırı fakir bölgelerden kaynaklanan tutuşma gecikmesi süresince enjektörden püskürtülen yakıt miktarı ve bu zamanlamada hava ile gerçekleşen karışım oranına ve silindir içindeki şartlara bağlı olarak değişebilmektedir. Aynı zamanda motor yükü, hızı, tasarımı ve çalışma prensipleri ile iyileştirmeler yapılarak azaltılabilmektedir [82].

Yanmamış hidrokarbon emisyon değerleri, silindir içerisindeki yakıtın tamamen yanmamasıyla oluşmakta olup ve ayrıca yakıtın uçuculuğu, viskozitesi ve içerdiği oksijenli bileşiklerle ilgilidir. Yanmamış hidrokarbonlar, verimsiz yanmanın etkili bir ölçümüdür [83]. Şekil 4.6.'da atık plastik kaynaklı yakıt farklı oranlarda dizel yakıtla karıştırılarak kullanımının UHC emisyonlarına olan etkisi görülmektedir. Grafik incelendiğinde motor devri arttıkça UHC emisyon değerlerinde azalma olmuştur. Minimum UHC emisyon değerleri 3000 motor devrinde elde edilmiştir. Bu değerler sırasıyla %100 dizel yakıt için 15, APY10 karışımı için 17, APY20 karışımı için 19, APEY10 karışımı için ise 18 ppm'dir. Bu değerlere göre, karışım içerisindeki atık plastik kaynaklı yakıt oranı arttıkça UHC emisyon değerlerinde artış görülmüştür. Bu artışın sebebi olarak ise atık plastik kaynaklı yakıtın dizel yakıtı göre içerisinde daha az oksijenli bileşikler ihtiva etmesi ve viskozitesinin yüksek olmasıdır. [8-10,13,17,33].



Şekil 4.6 Farklı oranlarda atık plastik kaynaklı yakıt kullanımının UHC emisyonuna etkisi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Malatya ilindeki atık plastikler kullanılarak piroliz proses tekniği ile atık plastik kaynaklı dizel benzeri dizel yakıt üretildi. Daha sonra elde edilen yakıt hacimsel olarak farklı oranlarda standart dizel yakıt ile karıştırılarak karışım yakıtlar oluşturuldu. En sonunda ise karışım yakıtlar; sıkıştırma oranı 17:1, maksimum motor devri 3000 d/d ve maksimum motor gücü 9 kW olan tek silindirli bir dizel motorda test edilerek karışım yakıtların motor performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri incelenerek elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Atık plastik kaynaklı dizel benzeri atık plastik kaynaklı yakıt standart dizel yakıt ile hacimsel olarak APY10(%10APY ve %90 SDY), APY20(%20APY ve %80 SDY) ve APEY10(%10 APY, %10 EA ve %80 SDY) olmak üzere üç tip karışım yakıt oluşturularak bir dizel motorda test edildi.
2. Motor testleri önce %100 SDY olmak üzere sırasıyla APY10, APY20 ve APEY10 yakıtları ile gerçekleştirildi. Karışım yakıtların içerisinde bulunan alternatif yakıtların ısı değerlerinin standart dizel yakıtı göre düşük olmasından dolayı karışım yakıtlı motor testlerinin elde edilen sonuçlara göre motor gücü ve motor torku değerleri dizel yakıtın değerlerinden daha düşük bulundu. Standart dizel yakıt içerisindeki atık plastik kaynaklı alternatif yakıt oranı arttıkça motor gücü ve motor torku değerlerinde azalma meydana geldi. Maksimum momentin elde edildiği motor devrinde karışım yakıtların motor yakıtı olarak kullanımı ile standart dizel yakıtı göre motor momenti değerlerinde %8 ile %11 arasında ve aynı şartlarda motor gücü değerlerinde de %6 ile %10 arasında düşme gözlemlendi.
3. Atık plastik kaynaklı dizel benzeri karışım yakıtların yüksek viskozitesinden dolayı karışım yakıtlı motor testlerinin özgül yakıt tüketimi standart dizel yakıtlı motorun özgül yakıt tüketiminde daha fazla bulundu. Standart dizel yakıtı göre özgül yakıt tüketimi değerlerinde ortalama olarak %10 ile %20 arasında değişen artışlar gerçekleşti.
4. Atık plastik kaynaklı karışım yakıtların CO emisyonları ile standart dizel yakıt CO emisyonları karşılaştırıldığında, karışım yakıt içerisindeki oksijenli bileşiklerin dizel yakıtı göre daha az olması sebebiyle CO emisyonunda dizel

yakıta göre artma meydana gelmiş olup karışım içerisindeki atık plastik kaynaklı yakıt oranının artması ile artış devam etmiş ve 2500 motor devrinde (d/d) standart dizel yakıta göre %10 ile %15 arasında değişen oranlarda artış görülmüştür.

5. Atık plastik kaynaklı dizel benzeri karışım yakıtlar içerisinde düşük oksijenli bileşiklerin olması ve karışım yakıtların viskozitelerinin yüksek olmasından dolayı karışım yakıtların UHC emisyonları dizel yakıtın UHC emisyonlarına göre daha fazla olmuş ve motor devri arttıkça her iki yakıtın UHC emisyon değerlerinde azalma olmuş ve CO emisyonlarında olduğu gibi 2500 motor devrinde (d/d) standart dizel yakıta göre UHC emisyon değerlerinde artış meydana gelmiş olup bu artış miktarı %10 ile %20 arasında olduğu görülmüştür.
6. Atık plastik kaynaklı karışım yakıtların CO₂ emisyonları dizel yakıtın CO₂ emisyonlarına göre tüm devir sayılarında daha yüksek olup 2500 motor devrinde (d/d) karışım yakıtların CO₂ emisyon değerleri dizel yakıta göre %15 ile %20 arasında değişen oranlarda artış gerçekleşmiştir.

Netice olarak; atık plastik kaynaklı karışım yakıtlar ile standart dizel yakıtın motor performans ve egzoz emisyon değerlerinin karşılaştırılması standart dizel yakıta göre karışım yakıtların motor gücü ile motor torku, değerlerinde azalma ve özgül yakıt sarfiyatı, CO, UHC, CO₂ değerlerinde artma olmuştur. Motor performans değerindeki azalmalar, atık plastik kaynaklı yakıtın dizel yakıta göre ısı değerinin düşük ve viskozitesinin yüksek olmasına bağlanabilir. Egzoz emisyon değerlerindeki artışlar ise atık plastik kaynaklı yakıtın standart dizel yakıta göre daha yoğun ve oksijenli bileşikler açısından yoksun olması ile ilgili olabilir. Ancak atık plastik kaynaklı yakıtı fraksiyonlarına ayırma işlemini yaparken standart dizel yakıtın minimum ve maksimum kaynama sıcaklık noktalarına göre işlem yapılması ile daha iyi sonuçlar elde edilebileceği söylenebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 2018/1048 nolu Yüksek Lisans projesi kapsamında İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- [1] Anonymous.(2014).<http://www.sektorel.com/sektor-haberleri/plastikkaucuk/atik-plastiklerden-dizel-yakit-uretimi-yayginlasiyor> (on-line access on 18 March, 2019)
- [2] P. Williams and E. Williams, *Interaction of plastics in mixed-plastics pyrolysis*, **Energ Fuel**, 13:1 (1999) 188-196.
- [3] M. Mani, C. Subash, and G. Nagarajan, *Performance, emission and combustion characteristics of a DI diesel engine using waste plastic oil*, **APPL Therm ENG**, 29:13 (2009) 2738-2744.
- [4] S. Murugan, C. Ramaswamy and G. Nagarajan, *The use of tyre pyrolysis oil in diesel engines*, **Was Manage**, 28:12 (2008) 2743-2749.
- [5] S. Wong and N. Ngadi, *Current state and future prospects of plastic waste as source of fuel: A review*, **Renew Sust Energ Rev**, 50:2 (2015) 1167-1180.
- [6] S. Murugan, C. Ramaswamy and G. Nagarajan, *Assessment of pyrolysis oil as an energy source for diesel engines*, **Fuel Proces Technol**, 90:1 (2009) 67-74.
- [7] S. Mochamad and H. Saptoadi, *Fuel oil production from municipal plastic wastes in sequential pyrolysis and catalytic reforming reactors*, **Energy Procedia**, 47:3 (2014) 180-188.
- [8] M. Mani, G. Nagarajan and S. Sampath, *Characterisation and effect of using waste plastic oil and diesel fuel blends in compression ignition engine*, **Energy**, 36:1 (2011) 212-219.
- [9] S. Kumar, et al. *Performance and emission analysis of blends of waste plastic oil obtained by catalytic pyrolysis of waste HDPE with diesel in a CI engine*, **Energy Convers. Manag.**, 74 (2013) 323-331.
- [10] V. Kaimal and P. Vijayabalan, *An investigation on the effects of using DEE additive in a DI diesel engine fuelled with waste plastic oil*, **Fuel**, 180 (2016) 90-96.
- [11] M. Mani, G. Nagarajan, and S. Sampath, *An experimental investigation on a DI diesel engine using waste plastic oil with exhaust gas recirculation*, **Fuel** 89:8 (2010): 1826-1832.
- [12] D. Damodharan, et al. *Extraction and characterization of waste plastic oil (WPO) with the effect of n-butanol addition on the performance and emissions of a DI diesel engine fueled with WPO/diesel blends*, **Energy Convers. Manag.**, 131 (2017) 117-126.
- [13] K. Ioannis, G. Tian and S. Gu, *Combustion, performance and emission analysis of a DI diesel engine using plastic pyrolysis oil*, **Fuel Proces Technol**, 157 (2017) 108-115.
- [14] A. Selvaganapthy, et al. *An experimental investigation to study the effects of various nano particles with diesel on DI diesel engine*, **ARNP Jeas** 3:1 (2013) 112-115.
- [15] C. Wongkhorsub and N. Chindaprasert. *A comparison of the use of pyrolysis oils in diesel engine*, **Jepe**, 5:04 (2013) 350.

- [16] C. Carraretto, *Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations*, **Energy**, 29:12-15 (2004) 2195-2211.
- [17] K. Ioannis, G. Tian, and S. Gu, *The utilisation of oils produced from plastic waste at different pyrolysis temperatures in a DI diesel engine*, **Energy**, 131 (2017): 179-185.
- [18] Pratoomyod, Jane, and Krongkaew Laohalidanond. "Performance and emission evaluation of blends of diesel fuel with waste plastic oil in a diesel engine." **Carbon**, 79 (2013) 75-99.
- [19] C. İlkılıç and H. Aydın, *Fuel production from waste vehicle tires by catalytic pyrolysis and its application in a diesel engine*, **Fuel Proces Technol**, 92:5 (2011) 1129-1135.
- [20] E. Alptekin and M. Canakci, *Optimization of pretreatment reaction for methyl ester production from chicken fat*, **Fuel**, 89 (2010) 4035–4039.
- [21] ME. Hoque, A. Singh and YL. Chuan, *Biodiesel from low cost feedstocks: The effects of process parameters on the biodiesel yield*, **Biomass and Bioenerg**, 35 (2011) 1582-1587.
- [22] C.Y. Lin, R.J Li, *Engine performance and emission characteristics of marine fish-oil biodiesel produced from the discarded parts of marine fish*, **Fuel Proces Technol**, 90 (2009) 883-888.
- [23] Ş. Altun ve C., Öner, *Hayvansal yağların dizel motor yakıtı olarak değerlendirilmesi*, **Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)** 2:3 (2010) 1-11.
- [24] R. Behçet, *Performance and emission study of waste anchovy fish biodiesel in a diesel engine*, **Fuel Proces Technol**, 92:6 (2011) 1187-1194, 2011.
- [25] R. Behçet, R. Yumrutas and H. Oktay, *Effects of fuels produced from fish and cooking oils on performance and emissions of a diesel engine*, **Energy**, 71 (2014) 645-655.
- [26] R. Behçet, H. Oktay, A. Çakmak and H. Aydın, *Comparison of exhaust emissions of biodiesel-diesel fuel blends produced from animal fats*, **Renew Sust Energ Rev**, 46 (2015) 157–165.
- [27] C. Rakopoulos, et al. *Performance and emissions of bus engine using blends of diesel fuel with bio-diesel of sunflower or cottonseed oils derived from Greek feedstock*, **Fuel**, 87:2 (2008) 147-157.
- [28] O. Deniz, *Internal Combustion Engines*, Lecture Notes, Istanbul, 2008, 22-28.
- [29] Anonymous (2009). <https://www.neoldu.com/benzinli-motor-nasil-calisir-1516h.htm> (online access on 12 April, 2019).
- [30] Anonymous.(2019).<https://www.messmatic.com/dizel-motorlar-nasil-calisir/>(online access on 12 April, 2019).
- [31] Süleyman Aydemir. *Enerji kaynağı olarak hidrojen üretim yöntemlerinin incelenmesi*” PhD Thesis, Trakya University Turkey, 1998.

- [32] Anonymous.(2005).<http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosyaekler/b16ebc056e61302> (on-line access on 15 April,2019).
- [33] İbrahim Dipçioğlu. *Hidrojenin taşıt üzerinde üretimi ve petrol kökenli yakıtlarla birlikte içten yanmalı motorlarda kullanımının incelenmesi*” PhD Thesis, Selçuk University Turkey, 1998.
- [34] O. Kirk, *Encyclopedia of Chemical Technology*, Wiley, USA, 1971, 183-215.
- [35] Fatih Emre Temelci. *Taşıtlarda alternatif yakıt olarak hidrojen kullanımı*, PhD ThesisYıldız Teknik University Turkey, 2000.
- [36] M. Eyidoğan, *Biyogazın saflaştırılması ve motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılması*, **Makine ve Mühendis**, 584:49 (2008) 18-24.
- [37] M. Gustavsson. *Biogas technology-solution in search of its problem.*” PhD Thesis Goteberg University Swedish, 2000.
- [38] A. Petersson and A. Wellinger, *Biogas upgrading technologies–developments and innovations*, **IEA Bioenerg**, 20 (2009) 1-19.
- [39] Anonymous. (2006). http://www.emo.org.tr/ekler/04f2c31e6703464_ek.pdf (on-line access on 15 April,2019).
- [40] M.S. Fidan and E.Alkan, *Bitkisel hammaddelerden elde edilen biyodizelin alternatif enerji kaynağı olarak kullanılması*, **Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi** 4:2 (2014) 144-160.
- [41] B. Sugözü, *Influence of diesel fuel and soybean oil ethyl ester blends on the performance and emission characteristics of a diesel engine*, **IJAET** 5:1 (2016) 1-7.
- [42] Ö. Öztürk. *Dizel motorlarında karışimsız olarak kullanılan biyodizellerin motor performansına olan etkilerinin araştırılması*. PhD Thesis, Yıldız Teknik University Turkey, 2007.
- [43] S. Kemon, Z. Yan, and Z. Zhu, *Analysis of calcium petroleum sulphanates used as detergent–dispersant additive for lubricating oil*, *Journal of East China University of Science and Technology* 19:6 (1993) 753-759.
- [44] H. Yücesu, R.Altın, and S.Cetinkaya. *Experimental investigation of vegetable oil usage as alternative fuel in diesel engines*, **Turkish J Eng Env Sci** 25:1 (2001) 39-49.
- [45] Y. Sekmen, *Karpuz çekirdeği ve keten tohumu yağı metil esterlerinin dizel motorda yakıt olarak kullanılması*, **Teknoloji**, 10:4 (2007) 20-38.
- [46] A. N. Ozsezen, *Performance and combustion characteristics of a DI diesel engine fueled with waste palm oil and canola oil methyl esters*, **Fuel**, 88.4 (2009): 629-636.
- [47] N. Usta, *Use of tobacco seed oil methyl ester in a turbocharged indirect injection diesel engine*, **Biomass Bioenerg**, 28:1 (2005) 77-86.
- [48] M.B. Çelik, A.Aktaş, and B. Özdalyan, *Gerçek yol şartlarında lpg ve benzinle çalışan iki taşıtın emisyon bakımından karşılaştırılması*, **Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering** 11:1 (2006) 45-53.

- [49] Y. İçingür and R. Haksever, *Benzinli motorlarda sıvılaştırılmış petrol gazının performans ve emisyonlara etkisinin deneysel analizi*, **Politeknik Dergisi** 3 (1998) 67-76.
- [50] Anonymus.(2008). <http://www.marees-noires.com/medias/pdf/versionturque.pdf> (on-line access on 25 March, 2019).
- [51] Anonymus.(2013).http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/7f959f119f4f23_ek.pdf?dergi=203(on-line access on 25 March, 2019).
- [52] H.Bayraktar and O. Durgun, *Investigating the effects of LPG on spark ignition engine combustion and performance*, **Energy Convers Manag**, 46:13-14 (2005) 2317-2333.
- [53] C. Kim, and C. S. Bae, *Speciated hydrocarbon emissions from a gas-fuelled spark-ignition engine with various operating parameters*, **Proc. Inst. Mech. Eng.**, 214:7 (2000) 795-808.
- [54] N. Dinler and N. Yücel, *Alternatif Yakıt Olarak LPG Kullanan İki Motorun Performansının Deneysel İncelenmesi, LPG ve CNG Uygulamaları Symposium*, Feb, Ankara, (2003) 93-100.
- [55] M. Çelik and M. Kemal Balki, *Düşük güçlü bir motorda farklı sıkıştırma oranlarında LPG kullanımının performans ve emisyonlara etkisi*, **Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 22:1 (2007) 81-86.
- [56] S. Polat. *Doğalgaz yakıtlı hccı bir motorda hidrojen ilavesinin yanma karakteristikleri üzerindeki etkilerinin nümerik olarak incelenmesi.* **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi** 12:2 (2015) 15-26.
- [57] M. Karabektaş. *Doğalgaz ile çalışan içten yanmalı motorların enerji ekonomisi ve egzoz emisyonları yönünden incelenmesi*, Kocaeli University Turkey, 1996.
- [58] Ramazan Altın, *Dizel motorlarda yakıt olarak doğal gazın kullanılması üzerine bir araştırma*, PhD Thesis, Gazi University Turkey, 1991.
- [59] S. Çetinkaya, *Benzin ve diesel motorların doğal gaz motoruna dönüştürülmesi*, **Tesisat Mühendisliği Dergisi**, 81 (2004) 14-31.
- [60] Anonymous.(2018).<https://www.pagev.org/upload/files/Hammadde%20Yeni%20Tebli%C4%9F%20Bilg.%203/turkiye%20plastik%20sektor%20TR%202018-6.pdf>(on-line access on 20 March, 2019).
- [61] Anonymous.(2018).<https://www.enerjigunlugu.net/plastik-sektoru-2018in-ilk-yarisinda-194-milyar-dolarlik-buyukluge-ulasti-29322h.htm> (on-line access on 06 April, 2019).
- [62] Sezen Kılıçkalkan. *Alçak yoğunluk polietilen plastik atıklar ile ön işlemlili linyitlerin eş-pirolizi* ‘ ‘ Phd Thesis, Ankara University Turkey, 2012.
- [63] A. Uğur, *Plastik Teknolojisine Giriş*, Mazhar Zorlu Plastik EML Yayını, İstanbul, 2015, 45-62.
- [64] P. Anderson, M. Ruthe, R. Pires and L. Rodrigo., *Evaluation of the effect of reprocessing on the structure and properties of low density polyethylene/thermoplastic starch blends*, **Carbohydr polym** 136 (2016) 210-215.

- [65] Anonymus.(2006).http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Geri%20D%C3%B6n%C3%BC%C5%9F%C3%BCm%20Makinelerinde%20%C3%9Cretim%202.pdf (on-line access on 2 April, 2019).
- [66] Anonymus.(2008).www.yildiz.edu.tr/.../plastikmalzeme/Plastiklerin_Geri_Kazanimi.pdf (on-line access on 21 April, 2019).
- [67] Anonymous. (2018). <http://www.malatyaengelliler.org> (on-line access on 25 February, 2019).
- [68] H. Evin and B. Demiral, *Malatya’da katı atık yönetimi: kentleşmenin yerel çevre politikaları üzerine etkisi*, **Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi** 7:2 (2018) 277-295.
- [69] A. Tayyar and S. Üstün, *Geri kazanılmış pet’in kullanımı*, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 2010, 53-62.
- [70] Anonymous. (2016).<https://eodev.com/gorev/567130> (on-line access on 22 March 2019).
- [71] Anonymous. (2012).<https://tr.wikipedia.org/wiki/Mazot> (on-line access on 10 May, 2019).
- [72] Anonymous. (2015).http://arabahakkinda.com/listings_portfolio/nedir-bu/ (on-line access on 12 May, 2019).
- [73] L. Cherng-Yuan, and R. Li., *Fuel properties of biodiesel produced from the crude fish oil from the soapstock of marine fish*, **Fuel proces technol** 90:1 (2009) 130-136.
- [74] TS EN 14214 (2014) *Otomotiv yakıtları, yağ asidi metil esterleri (yame/biyodizel), dizel motorlar için özellikler ve deney yöntemleri*, Türk Standartları Enstitüsü Turkey
- [75] Alp Kerim Küleri. *Fakir yanmalı buji ateşlemeli motorlarda hidrojen ilavesinin çevrimsel farklar ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri*, Phd Thesis, Atatürk University Turkey, 2011.
- [76] M. Ergeneman, M. Mutlu and O. Kutlar, *Taşıtlardan Kaynaklanan Egzoz Kirleticileri*, Birsan Yayınevi, İstanbul, 1998, 125-140.
- [77] Ş. Altun, ve C. Öner, *Tek silindirli bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak susam yağı kullanımının deneysel incelenmesi*, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, Fırat University Turkey, 2004.
- [78] C. İlkılıç ve C. Öner, *Bir Dizel Motorunda Ayçiçek Yağı Metil Esteri İle Motorin Karışımı Kullanarak Egzoz Emisyonlarının İncelenmesi*, **Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 15 (2003) 579-588.
- [79] F. Payri, V. Bermudez, B. Tormos and W. Linares, *Hydrocarbon emissions speciation in diesel and biodiesel exhausts*, **Atmos Environ**, 43:6 (2009) 1273-1279
- [80] Ayhan Vezir. *Metanol-benzin karışımlarının mgo – zro₂ termal bariyer çemberli bir motorda performans ve emisyonlara etkisi*, Phd Thesis, Sakarya University Turkey, 2006.
- [81] A. Keskin and A. K. Ekşi, *Dizel motorlarda mısır yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanımının motor performans ve emisyonuna etkisi*, **Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi** 2:1 (2006) 49-55.

[82] İbrahim Aslan Reşitoğlu. *Atık yağlardan üretilmiş biyodizelin dizel motor performans ve emisyonuna etkisinin deneysel olarak araştırılması*, Phd Thesis, Mersin University Turkey, 2010.

[83] M. Mani and G. Nagarajan. *Influence of injection timing on performance, emission and combustion characteristics of a DI diesel engine running on waste plastic oil*, **Energy** 34:10 (2009) 1617-1623

[84] Anonymous. (2015). <http://www.plamekplastik.com.tr/> (on-line access on 15 July, 2019).



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Ali EROĞLU

Doğum Yeri ve Tarihi: DOĞANŞEHİR/MALATYA 06.08.1992

Adres: Fahri Kayahan Bulvarı Karakavak Mah. Bahçesaray Evleri-2 Defne Blok
Yeşilyurt/MALATYA

E-posta: alieroglu44@hotmail.com

EĞİTİM

(Yüksek Lisans) İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği
Bölümü Termodinamik Anabilimdalı (2016-)

(Lisans) Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği (2011-
2015)