T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ATIK SANAYİ YAĞLARI VE ATIK PLASTİKLERDEN ELDE EDİLMİŞ YAKITIN BİR DİZEL MOTORUNUN FARKLI ÇALIŞMA PARAMETRELERİNDEKİ PERFORMANS, EMİSYON VE YANMA KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL ANALİZİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU

DOKTORA TEZİ

Abdulkerim YILDIZ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Selman AYDIN

ARALIK-2023
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır.

TEZ KABUL VE ONAYI

Abdulkerim YILDIZ tarafından hazırlanan **"Atık Sanayi Yağları ve Atık Plastiklerden Elde Edilmiş Yakıtın Bir Dizel Motorunun Farklı Çalışma Parametrelerindeki Performans, Emisyon ve Yanma Karakteristiklerinin Deneysel Analizi ve Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Optimizasyonu"** adlı tez çalışması 27/12/2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Prof. Dr. Cenk SAYIN	……..
Danışman Doç. Dr. Selman AYDIN	……..
Üye Prof. Dr. Hüseyin AYDIN	……..
Üye Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zerrakki IŞIK	……..
Üye Doç. Dr. Ramazan ŞENER	……..

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

ABDULKERİM YILDIZ

Tarih: 27.12.2023

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ATIK SANAYİ YAĞLARI VE ATIK PLASTİKLERDEN ELDE EDİLMİŞ YAKITIN BİR DİZEL MOTORUNUN FARKLI ÇALIŞMA PARAMETRELERİNDEKİ PERFORMANS, EMİSYON VE YANMA KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL ANALİZİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU

Abdulkerim YILDIZ

BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Doç. Dr. Selman AYDIN

2023, 205 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Cenk SAYIN
Prof. Dr. Hüseyin AYDIN
Doç. Dr. Selman AYDIN
Doç. Dr. Ramazan ŞENER
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zerrakki IŞIK

Bu çalışmada, artan enerji talebi ile birlikte alternatif enerji kaynaklarına olan yönelim çevre ve doğaya uzun yıllar kalıcı zararlar veren, geri dönüşümle tekrar enerjiye kazanımı sağlayan atık sanayi yağları ve atık plastiklerin pirolitik sıvılarından distilasyon yöntemi ile dizel benzeri yakıt üretmek ve farklı oranlarda dizel yakıt karışımları ile performans, yanma ve emisyon parametrelerini inceleyip yapay sinir ağları (YSA) ile modellemektir. Üretilen her iki yakıtta yapılan testler sonucunda özellikle dizel benzeri plastik (DB-PY) yakıtında yüksek oranda kükürt içeriğinden dolayı iki aşamalı kükürt giderme işlemine gidilmiştir. İlk aşamada bazik kükürtsüzleştirme işlemini her iki yakıtta %10 Perlit, %10 Kalsiyum Oksit ve %10 Zeolit uygulama sonucunda dizel benzeri sanayi (DB-SY) yakıtında herhangi bir değişim gözlemlenmediği, DB-PY'ında %10 Perlit uygulamasında kükürt içeriğini %25,3 oranında giderimi yapılıp bu yakıtta katalizör olarak kullanılmıştır. Dizel benzeri sanayi yakıtın kükürt değeri standart dizel yakıtın sınır değerleri içerisinde iken DB-PY sınır değerlerin çok üstünde olduğundan bu her iki yakıta ikinci aşama olarak asidik kükürtsüzleştirme işlemine gidilmiştir. Üretilen her iki yakıta 1/2 Asetik Asit-H_2O_2, 1/2 Formik Asit- H_2O_2, Sülfürik Asit (5gr-7,5gr-10gr) farklı oranlarda uygulanan kükürt giderme işleminde kükürt oranında bir düşüşün gerçekleşmediği aksine her iki yakıtta artışlara neden olduğu tespit edilmiştir. Ön testler sonunda düşük setan indisine sahip olan DB-PY yakıtında iyileştirici katkı maddesi olarak kullanılan Ethylhexyl Nitrat, DB-SY yakıtına da katılarak yanma ve emisyonlara vereceği tepkimeleri ölçmek için aynı oranlarda bu yakıta da uygulanmıştır. Dizel benzeri bu yakıtların içten yanmalı yakıtlarda kullanılan dizel yakıt standartları içerisinde ve yakın değerlerde olduğu için karışımlı olarak direk püskürtmeli, tek silindirli, su soğutmalı bir dizel motorunda testler gerçekleştirilmiştir. Test yakıtlarının motor performans karakteristikleri, yanma ve emisyon değerleri, dizel yakıtın (DY) değerleri ile

karşılaştırılmıştır. Farklı oranlarda DY ile DB-SY, DB-PY, DB-SY(EN) ve DB-PY(EN) yakıt karışımlarının performans analizinde; DY yakıtın diğer sanayi-plastik karışımlı test yakıtlarına göre özgül yakıt tüketimleri (ÖYT) yüksek, Ethylhexyl Nitrate (EN) katkılı karışımlı deney yakıtlarına göre ortalama olarak düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Yanma parametrelerinde karışımlı yakıtların ve (EN) katkılı deney yakıtlarını DY yakıtı ile karşılaştırarak farklı yükler altında yanma ve emisyon verileri ayrıntılı olarak incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Karışımlı yakıtların DY yakıtına benzer ve yakın değerler sunarken, katkılı (EN) karışımlı yakıtların (Silindir Gaz Basıncı, Net Isı Salınımı, Basınç Artış Oranı) parametrelerinde azalmaların olduğu tespit edilmiştir. NOx emisyonları yük durumuna göre karışımlı test yakıtlarına göre bir miktar yüksek ama tüm katkılı test yakıtlarına göre düşük, HC emisyonu karışımlı test yakıtlarına göre düşük katkılı yakıtlara göre yüksek, CO_2 emisyonu yüksek yükler (7,5 bar OEB) hariç diğer karışımlı ve katkılı test yakıtlarında yüksek olduğu ve duman koyuluğu ise ortalama tüm test yakıtlarına göre DY yakıtından daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Bu deneysel çalışmalarda alınan verileri Matlab programı kullanılarak YSA modellemesiyle optimum sonuçlar tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Piroliz, Kükürt Giderme, Dizel yakıt, Dizel benzeri sanayi yakıtı, Dizel benzeri plastik yakıtı, Yapay sinir ağları

ABSTRACT

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF PERFORMANCE, EMISSION AND COMBUSTION CHARACTERISTICS OF A DIESEL ENGINE AT DIFFERENT OPERATING PARAMETERS OF FUEL OBTAINED FROM WASTE INDUSTRIAL OILS AND WASTE PLASTICS AND OPTIMISATION WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORK METHOD

Abdulkerim YILDIZ

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Selman AYDIN

2023, 205 Pages

Jury
Prof. Dr. Cenk SAYIN
Prof. Dr. Hüseyin AYDIN
Assoc. Prof. Dr. Selman AYDIN
Assoc. Prof. Dr. Ramazan ŞENER
Assist. Prof. Dr. Mehmet Zerrakki IŞIK

In this study, the aim is to produce diesel-like fuel by pyrolytic distillation method from waste industrial and waste plastic oils, which cause permanent damage to the environment and nature for many years and which can be recycled back to energy by recycling, and to examine the performance, combustion, and emission parameters of diesel fuel mixtures at different ratios and to model them with artificial neural networks (ANN). As a result of the tests performed on both fuels produced, a two-stage desulfurization process was carried out due to the high sulfur content, especially in diesel-like plastic (DL-PF) fuel. In the first stage, no change was observed in diesel-like industrial (DL-IF) fuel as a result of the application of 10% perlite, 10% calcium oxide, and 10% zeolite in both fuels in the basic desulphurization process, while in DL-PF, 25%. 3% of the sulfur content was removed in the 10% perlite application and used as a catalyst in this fuel. While the sulfur value of diesel-like industrial fuel is within the limit values of standard diesel fuel, since DL-PF is much higher than the limit values, the acidic desulfurization process was applied to both fuels as the second stage. In the desulphurization process applied at different ratios of 1/2 Acetic Acid-H_2O_2, 1/2 Formic Acid-H_2O_2, and Sulfuric Acid (5 gr–7, 5 g–10 g) to both fuels produced, it was determined that there was no decrease in the sulfur ratio; on the contrary, it was determined that it caused increases in both fuels. At the end of the preliminary tests, ethylhexyl nitrate, which was used as an improving additive in DL-PF, which has a low cetane index, was added to DL-IF and applied to this fuel at the same rates to measure its reactions to combustion and emissions. Since these diesel-like fuels are within and close to the diesel fuel standards used in internal combustion fuels, tests were carried out in a direct injection, single-cylinder, water-cooled diesel engine. The engine performance characteristics, combustion, and emission values of the test fuels were compared with those of diesel fuel (DF). In the performance analysis of DL-

IF, DL-PF, DL-IF (EN), and DL-PF (EN) fuel blends with DF at different ratios, it was observed that the specific fuel consumption (SFC) of DF fuel was higher than the other industrial-plastic blended test fuels and lower on average than the Ethylhexyl Nitrate (EN) blended test fuels. The combustion and emission data under different loads were analyzed in detail by comparing the blended fuels and EN-doped experimental fuels with DF fuel in combustion parameters, and the results are given comparatively. While the blended fuels presented similar and close values to DF fuel, it was found that there were decreases in the parameters (cylinder gas pressure, net heat release, pressure increase rate) of blended fuels with the additive (EN). It was observed that NOx emissions were slightly higher than blended test fuels but lower than all blended test fuels, HC emissions were lower than blended test fuels and higher than blended fuels, CO_2 emissions were higher in blended and blended test fuels except for high loads (7.5 bar Bmep), and smoke darkness was higher than DF fuel on average for all test fuels. The optimum results were predicted by ANN modeling using the data obtained in these experimental studies using the Matlab program.

Keywords: Pyrolysis, Desulphurisation, Diesel fuel, Diesel-like industrial fuel, Diesel-like plastic fuel, Artificial neural network

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, günümüz dünyasında teknoloji ile hayatımıza giren makine araç gereçlerin maksimum verimlerde çalışması için döngüsel kullandığımız atık sanayi ve plastiklerden elde edilmiş yağları, ülke enerjisine geri kazanımını sağlayarak çevre ve insan sağlığını tehdit eden bir unsur olmaktan çıkarmaktır. Bu atıklardan dizel yakıt olarak üretip içten yanmalı bir motorda kullanmak katma değeri çok yüksek bir enerji kazanımı aynı zamanda çevreye verilen zararları minimize edilmiş olacaktır. Piroliz yöntemiyle üretilen bu yakıtların motorlarda performans, yanma ve emisyonlar açısından ilgili motorlarda kullanabilirliği ve yapay sinir ağları ile modellenmesi araştırılmıştır.

Tez çalışmasının her aşamasında, bana güvenen, rehberlik eden, bilgi birikimini benimle paylaşan, çalışmalarımda motivasyonumu diri tutan değerli danışman hocam Doç. Dr. Selman AYDIN'a, saygılarımı ve sevgilerimi sunar teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca yakıt üretim sürecinde bilgi birikiminden sürekli faydalandığım her aşamasında bilgisini ve desteğini benimle paylaşan Siirt Üniversitesi'nden Dr. Öğr. Üyesi Mahmut UYAR hocama, verilerin YSA ile programlamada desteğini ve birikimini benimle paylaşan Doç. Dr. Şehmus BADAY hocama ve çalışma arkadaşım Mahmut ACAR'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez izleme sürecinde beni dinleyen ve yönlendiren jüri üyelerine teşekkürü bir borç bilirim.

Maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan başta eşim İlknur YILDIZ hanıma ve aile üyelerime ayrıca teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **vi**

ÖNSÖZ ..... **viii**

İÇİNDEKİLER ..... **ix**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **xii**

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xvi**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **xvii**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Dünya Petrol Rezervlerine Genel Bakış 3
1.2. Türkiye petrol rezervlerine genel bakış 6
1.3. Dünyada ve Türkiye'de Atık Plastik ve Atık Sanayi Yağların Genel Durumu 8
1.3.1. Dünyadaki atık plastik genel durumu 8
1.3.2. Türkiye'de atık plastiklerin genel durumu 9
1.3.3. Dünyadaki atık sanayi yağların genel durumu 12
1.3.4. Türkiye'de atık sanayi yağların genel durumu 13
1.4. Atık Plastiklerin Yapıları ve Değerlendirme Alanları 15
1.4.1. Atık plastiklerin değerlendirme alanları 18
1.4.1.1. Atık plastiklerin çimento fabrikalarında değerlendirmesi 18
1.4.1.2. Atık plastiklerin asfalt olarak değerlendirmesi 19
1.4.1.3. Atık plastiklerin granür haline getirerek değerlendirmesi 19
1.4.1.4. Atık plastiklerin granür haline getirilerek değerlendirmesi 20
1.4.1.5. Atık plastiklerin enerjiye dönüşümü olarak değerlendirilmesi 21
1.4.2. Atık plastiklerden elastomerler (kauçuk) 24
1.4.2.1. Elastomer (kauçuk) atıkların geri dönüşüm yöntemleri 25
1.4.2.2. Elastomerlerin (kauçuk) piroliz yöntemi ile geri kazanımı 26
1.4.3. Atık sanayi yağların genel yapıları 28
1.4.3.1. Atık sanayi yağların elde edilmesi 28
1.4.3.2. Atık sanayi yağların geri dönüşümü 29
1.4.3.3. Atık sanayi yağların kullanım alanları 29
1.5. Atık Plastiklerin ve Atık Sanayi Yağların Çevre Üzerine Etkileri 31

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **35**

2.1. Atık Plastikler ile İlgili Yapılan Araştırmalar 35
2.2. Atık Sanayi Yağlarla İlgili Literatür Araştırmalar 44

3. MATERYAL VE YÖNTEM **48**

3.1. Materyal 48
3.1.1. Deney yakıtlarının hazırlanması ve özelliklerinin belirlenmesi 48

3.1.2. Deney yakıtlarının test analiz cihazları 49
3.1.2.1. Kinematik vizkozite tayini 49
3.1.2.2. Distilasyon test cihazı 50
3.1.2.3. Parlama noktası test cihazı 50
3.1.2.4. Yoğunluk tayini test cihazı 51
3.1.2.5. Manyetik karıştırıcı ve hassas terazi 51
3.1.3. Deney yakıtların kimyasal özelliklerinin belirlenmesi 52
3.1.4. Deney düzeneği ve deneysel metot 53
3.1.4.1. Hidrolik dinamometre ve kontrol ünitesi 55
3.1.4.2. Deneyde kullanılan ICEnginesoft_9.0 programı 56
3.1.4.3. Yakıt tüketim ölçüm düzeneği 56
3.1.4.4. Deneyde kullanılan gaz analiz cihazı 57
3.2. Metot 58
3.2.1. Test yakıtların üretimi 58
3.2.2. Atık sanayi ve plastik yağın temini 58
3.2.3. Atık sanayi yağları ve atık plastiklerden yakıt üretimi 61
3.2.4. Atık sanayi yağından piroliz yöntemiyle yakıt üretimi 63
3.2.5. Atık plastiklerden yakıt üretimi 65
3.2.6. Standart dizel yakıtının sınır değerlerinin incelenmesi 67
3.2.7. Elde edilen yakıtların teknik özelliklerinin incelenmesi 68
3.2.8. Kükürt giderme reaksiyonları 72
3.2.8.1. Bazik katkı maddeleri kullanılarak kükürt giderme işlemi 72
3.2.8.2. Dizel benzeri sanayi yakıt numunelerinin bazik kükürt giderme işlemi 73
3.2.8.3. Dizel benzeri plastik yakıt numunelerin bazik kükürt giderme işlemi .. 74
3.2.8.4. Asidik kükürt giderme işlemleri 76
3.2.8.5. Kükürtsüzleştirme işlemleri ile yakıtların değerlendirmesi 77
3.2.9. Maliyetlerin analizi 78
3.2.9.1. Reaktörde DB-SY yakıtın işlem adeti ile ürün tespiti 78
3.2.9.2. DB-PY yakıt üretiminde işlem adeti ile ürün tespiti 79
3.2.9.3. Elektrik tüketimine ait maliyetlerin hesaplanması 80
3.2.9.4. Harcanan azot gazına ait maliyetlerin hesaplanması 81
3.2.9.5. Kullanılan kimyasal ürünlerin maliyet hesapları 81

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 83

4.1. Yanma Parametreleri 83
4.1.1. Silindir gaz basıncı ve net ısı salınımı 83
4.1.2. Net ısı salınımı parametresi 86
4.1.3. Kümülatif ısı salınımı parametresi 91
4.1.4. Ortalama gaz sıcaklığı 96
4.1.5. Basınç artış oranı parametresi 98
4.2. Katkılı (EN) Yakıtların Yanma Parametreleri 103
4.2.1. Silindir gaz basıncı 104
4.2.2. Net ısı salınımı 106
4.2.3. Ortalama gaz sıcaklığı parametresi 109
4.2.4. Basınç artış oranı parametresi 111
4.2.5. Kümülatif ısı salınımı 115
4.3. Motor Performans Parametreleri 119
4.3.1. Özgül yakıt tüketimi 119
4.3.2. Efektif verim 123

4.4. Emisyon Parametreleri 127
4.4.1. Hidrokarbon (HC) emisyonların analizi 127
4.4.2. Azotoksit (NOx) emisyonların analizi 129
4.4.3. Karbondioksit (CO_2) emisyonların analizi 132
4.4.4. Duman koyuluğu (%) 134
4.5. Yapay Sinir Ağları (YSA) 137
4.5.1. Yapay sinir ağları uygulaması 139
4.5.2. Yanma parametrelerin YSA ile tahmin uygulamaları 140
4.5.2.1. Basınç artış oranının YSA ile tahmini 140
4.5.2.2. Net ısı salınımının YSA ile tahmini 148
4.5.2.3. Ortalama gaz sıcaklığının YSA ile tahmini 157
4.5.2.4. Kümülatif ısı salınımının YSA ile tahmini 165
4.5.2.5. Silindir gaz basıncının YSA ile tahmini 173

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 182

5.1 Sonuçlar 182
5.2 Öneriler 189

KAYNAKLAR 191

ÖZGEÇMİŞ 204

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. 2020 Bölgesel bazda petrol rezerv miktarları 5
Şekil 1.2. 2010-2019 Bölgelere göre dünya petrol tüketimi 5
Şekil 1.3. 2011-2020 Yılları Türkiye'nin petrol tüketimi ve yerli üretim 7
Şekil 1.4. 2020 Yılı Türkiye'nin ithal ettiği petrolün kaynak ülkelere göre dağılımı 7
Şekil 1.5. Yıllara göre artan plastik üretimi ve cirosu 10
Şekil 1.6. Türkiye'de 2017-2021 yılları arasında plastik atık ithalatı 11
Şekil 1.7. Türkiye sanayi yağ tüketim miktarları (bin ton) 13
Şekil 1.8. Türkiye'de 2021 yılında sanayi yağ tüketim miktarları % dağılımı 14
Şekil 1.9. 2020 ve 2021 Yılları endüstriyel yağlar tüketim miktarları (bin ton) 14
Şekil 1.10. Plastiklerin çevre üzerinde görüntü kirliliği etkileri 33
Şekil 3.1(a). Deneylerde kullanılan karışımlı yakıtlar 49
Şekil 3.1(b). Deneylerde kullanılan ethylhexyl nitrate katkılı karışımlı yakıtlar 49
Şekil.3.2. Vizkozite test cihazı 49
Şekil 3.3. Distilasyon test cihazı 50
Şekil 3.4. Parlama noktası tayin cihazı 50
Şekil 3.5. Parlama noktası tayin cihazı 51
Şekil 3.6. Isıtıcılı manyetik karıştırıcı 51
Şekil 3.7. Hassas terazi 51
Şekil 3.8. Deney düzeneğinin genel görüntüsü 54
Şekil 3.9. Deney setinin şematik görünümü 54
Şekil 3.10. Testlerde kullanılan hidrolik dinamometre 55
Şekil 3.11. ICEngineSoft_9.0 uygulaması ile bilgisayar ekran görüntüsü 56
Şekil 3.12. Yakıtların testlerinde kullanılan test düzeneğinin genel görünümü 56
Şekil 3.13. Egzoz gazı analiz cihazı 57
Şekil 3.14(a). Atık plastiklerden yağ üretim prosesinin şematik görüntüsü 59
Şekil 3.14(b). Atık plastiklerden yağ üretim prosesinin genel görünümü 60
Şekil 3.15. Piroliz reaktörünün kontrol sisteminin elektriksel hat şeması 61
Şekil 3.16. Yakıt üretim prosesinin şematik görüntüsü 62
Şekil 3.17. Yakıt üretiminin yapıldığı piroliz düzeneği 62
Şekil 3.18. Atık plastik ve sanayi yağlardan elde edilen dizel benzeri test yakıtları 63
Şekil 3.19. Sıcaklığın BB-SY üretimindeki ürün miktarına(ml) etkisi 64
Şekil 3.20. Sıcaklığın DB-SY üretimindeki ürün miktarına(ml) etkisi 65
Şekil 3.21. Sıcaklığın BB-PY üretimindeki ürün miktarına(ml) etkisi 66
Şekil 3.22. Sıcaklığın DB-PY üretimindeki ürün miktarına(ml) etkisi 66
Şekil 3.23. Üretilen yakıtlar ile DY distilasyonunda sıcaklık değişimleri 70
Şekil 3.24. Kükürtsüzleştirilmiş yakıtlar ile DY distilasyonunda sıcaklık değişimleri 71
Şekil 3.25. Kükürtsüzleştirilmiş dizel benzeri sanayi yakıt numuneleri 73
Şekil 3.26. Katkı maddesi miktarının DB-SY için kükürtsüzleştirmeye etkisi 74
Şekil 3.27. Kükürtsüzleştirilmiş dizel benzeri plastik yakıt numuneleri 75
Şekil 3.28. Katkı maddesi miktarının DB-PY yakıtı için kükürtsüzleştirmeye etkisi 75
Şekil 4.1. Karışımlı test yakıtların (10-20) SGB ve NIS'larının değişimi (0,3 bar) 89
Şekil 4.2. Karışımlı test yakıtların (10-20) SGB ve NIS'larının değişimi (2,5 bar) 89
Şekil 4.3. Karışımlı test yakıtların (10-20) SGB ve NIS'larının değişimi (5 bar) 89
Şekil 4.4. Karışımlı test yakıtların (10-20) SGB ve NIS'larının değişimi (7,5 bar) 90
Şekil 4.5. Karışımlı test yakıtların (30) SGB ve NIS'larının değişimi (0,3 bar) 90
Şekil 4.6. Karışımlı test yakıtların (30) SGB ve NIS'larının değişimi (2,5 bar) 90
Şekil 4.7. Karışımlı test yakıtların (30) SGB ve NIS'larının değişimi (5 bar) 91

Şekil 4.8. Karışımlı test yakıtların (30) SGB ve NIS'larının değişimi (7,5 bar) 91
Şekil 4.9. Karışımlı test yakıtların (10-20) KIS'larının değişimi (0,3 bar) 92
Şekil 4.10. Karışımlı test yakıtların (30) KIS'larının değişimi (0,3 bar)..... 92
Şekil 4.11. Karışımlı test yakıtların (10-20) KIS'larının değişimi (2,5 bar) 93
Şekil 4.12. Karışımlı test yakıtların (30) KIS'larının değişimi (2,5 bar)..... 93
Şekil 4.13. Karışımlı test yakıtların (10-20) KIS'larının değişimi (5 bar) 94
Şekil 4.14. Karışımlı test yakıtların (30) KIS'larının değişimi (5 bar)..... 94
Şekil 4.15. Karışımlı test yakıtların (10-20) KIS'larının değişimi (7,5 bar) 95
Şekil 4.16. Karışımlı test yakıtların (30) KIS'larının değişimi (7,5 bar)..... 95
Şekil 4.17. Karışımlı test yakıtların (10-20) OGS ve BAO'larının değişimi (0,3 bar) 100
Şekil 4.18. Karışımlı test yakıtların (10-20) OGS ve BAO'larının değişimi (2,5 bar) 101
Şekil 4.19. Karışımlı test yakıtların (10-20) OGS ve BAO'larının değişimi (5 bar) ... 101
Şekil 4.20. Karışımlı test yakıtların (10-20) OGS ve BAO'larının değişimi (7,5 bar) 101
Şekil 4.21. Karışımlı test yakıtların (30) OGS ve BAO'larının değişimi (0,3 bar)..... 102
Şekil 4.22. Karışımlı test yakıtların (30) OGS ve BAO'larının değişimi (2,5 bar)..... 102
Şekil 4.23. Karışımlı test yakıtların (30) OGS ve BAO'larının değişimi (5 bar)..... 102
Şekil 4.24. Karışımlı test yakıtların (30) OGS ve BAO'larının değişimi (7,5 bar)..... 103
Şekil 4.25. Katkılı (EN) test yakıtların (20) SGB ve NIS'larının değişimi (0,3 bar)... 108
Şekil 4.26. Katkılı (EN) test yakıtların (20) SGB ve NIS'larının değişimi (2,5 bar)... 108
Şekil 4.27. Katkılı (EN) test yakıtların (20) SGB ve NIS'larının değişimi (5 bar)..... 109
Şekil 4.28. Katkılı (EN) test yakıtların (20) SGB ve NIS'larının değişimi (7,5 bar)... 109
Şekil 4.29. Katkılı (EN) test yakıtların (20) OGS ve BAO'larının değişimi (0,3 bar). 113
Şekil 4.30. Katkılı (EN) test yakıtların (20) OGS ve BAO'larının değişimi (2,5 bar). 114
Şekil 4.31. Katkılı (EN) test yakıtların (20) OGS ve BAO'larının değişimi (5 bar).... 114
Şekil 4.32. Katkılı (EN) test yakıtların (20) OGS ve BAO'larının değişimi (7,5 bar). 114
Şekil 4.33. Katkılı (EN) test yakıtların (20) KIS'larının değişimi (0,3 bar)..... 115
Şekil 4.34. Katkılı (EN) test yakıtların (20) KIS'larının değişimi (2,5 bar)..... 116
Şekil 4.35. Katkılı (EN) test yakıtların (20) KIS'larının değişimi (5 bar)..... 117
Şekil 4.36. Katkılı (EN) test yakıtların (20) KIS'larının değişimi (bar)..... 117
Şekil 4.37. Özgül yakıt tüketimin 0,3 bar OEB göre değişimi..... 120
Şekil 4.38. Özgül yakıt tüketimin 2,5 bar OEB göre değişimi..... 121
Şekil 4.39. Özgül yakıt tüketimin 5 bar OEB göre değişimi..... 121
Şekil 4.40. Özgül yakıt tüketimin 7,5 bar OEB göre değişimi..... 122
Şekil 4.41. Test yakıtların yüksüz 0,3 bar OEB göre efektif verim değişimi..... 124
Şekil 4.42. Test yakıtların 2,5 bar OEB efektif verim değişimi 125
Şekil 4.43. Test yakıtların 5 bar OEB efektif verim değişimi 125
Şekil 4.44. Test yakıtların 7,5 bar OEB efektif verim değişimi 126
Şekil 4.45. Test yakıtların değişken yüklerdeki HC emisyon değerleri 128
Şekil 4.46. Test yakıtların değişken yüklerdeki NOx emisyon değerleri..... 130
Şekil 4.47. Test yakıtların değişken yükteki CO_2 emisyonu değerleri..... 133
Şekil 4.48. Test yakıtların yüksüz 0,3 bar OEB göre duman koyuluğu değişimi 135
Şekil 4.49. Test yakıtların duman koyuluğunun (%) 2,5 bar OEB göre değişimi..... 135
Şekil 4.50. Test yakıtların duman koyuluğunun (%) 5 bar OEB göre değişimi..... 136
Şekil 4.51. Test yakıtların duman koyuluğunun (%) 7,5 bar OEB göre değişimi..... 136
Şekil 4.52. Yapay sinir ağı mimarisi 138
Şekil 4.53. YSA uygulama sonuçlarında regresyon çıktısının örnek görüntüsü 139
Şekil 4.54. DB-PSY30 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini 140
Şekil 4.55. DB-PY10 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 141
Şekil 4.56. DB-PY20 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 142
Şekil 4.57. DB-PY20EN5 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini 142

Şekil 4.58. DB-PY20EN10 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini 143
Şekil 4.60. DB-SY10 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 144
Şekil 4.61. DB-SY20 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 145
Şekil 4.62. DB-SY20EN5 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini 146
Şekil 4.63. DB-PY20EN10 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini 146
Şekil 4.64. DB-SY30 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 147
Şekil 4.65. DY yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 148
Şekil 4.66. DB-PSY30 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini 149
Şekil 4.67. DB-PY10 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 149
Şekil 4.68. DB-PY20 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 150
Şekil 4.69. DB-PY20EN5 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini 151
Şekil 4.70. DB-PY20EN10 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini 151
Şekil 4.71. DB-PY30 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 152
Şekil 4.72. DB-SY10 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 153
Şekil 4.73. DB-SY20 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 153
Şekil 4.74. DB-SY20EN5 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini 154
Şekil 4.75. DB-SY20EN10 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini 155
Şekil 4.76. DB-SY30 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 155
Şekil 4.77. DY yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 156
Şekil 4.78. DB-PSY30 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 157
Şekil 4.79. DB-PY10 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini 158
Şekil 4.80. DB-PY20 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini 158
Şekil 4.81. DB-PY20EN5 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 159
Şekil 4.82. DB-PY20EN10 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 160
Şekil 4.83. DB-PY30 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini 160
Şekil 4.84. DB-SY10 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini 161
Şekil 4.85. DB-SY20 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini 162
Şekil 4.86. DB-SY20EN5 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 162
Şekil 4.87. DB-SY20EN10 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 163
Şekil 4.88. DB-SY30 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini 164
Şekil 4.89. DY yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini 164
Şekil 4.90. DB-PSY30 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini 165
Şekil 4.91. DB-PY10 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 166
Şekil 4.92. DB-PY20 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 167
Şekil 4.93. DB-PY20EN5 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini 167
Şekil 4.94. DB-PY20EN10 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini 168
Şekil 4.95. DB-PY30 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 169
Şekil 4.96. DB-SY10 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 169
Şekil 4.97. DB-SY20 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 170
Şekil 4.98. DB-SY20EN5 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini 171
Şekil 4.99. DB-SY20EN10 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini 171
Şekil 4.100. DB-SY30 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 172
Şekil 4.101. DY Yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 173
Şekil 4.102. DB-PSY30 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini 174
Şekil 4.103. DB-PY10 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini 174
Şekil 4.104. DB-PY20 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini 175
Şekil 4.105. DB-PY20EN5 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 176
Şekil 4.106. DB-PY20EN10 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini..... 176
Şekil 4.107. DB-PY30 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini 177
Şekil 4.108. DB-SY10 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini 178

Şekil 4.109. DB-SY20 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini 178
Şekil 4.110. DB-SY20EN5 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini 179
Şekil 4.111. DB-SY20EN10 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini 180
Şekil 4.112. DB-SY30 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini 180
Şekil 4.113. DY yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini 181

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Atık otomobil plastiklerin (lastik) ortalama bileşimi 25
Çizelge 1.2. Atık plastik malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri 27
Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan yakıtların kimyasal analizleri 52
Çizelge 3.2. Deney motorunun teknik özellikleri 55
Çizelge 3.3. Egzoz gazı cihazının teknik özellikleri 57
Çizelge 3.4. Tesis makine ekipmanın teknik özellikleri 60
Çizelge 3.5. Plastik tesisinde geri dönüşüm sonrası elde edilen ürünler 60
Çizelge 3.6. Sıcaklığın atık sanayi yağı (80 ^{o}C -180^{o}C) ürün miktarı(ml) eldesi 64
Çizelge 3.7. Atık sanayi yağı (200 ^{o}C -300^{o}C) arasında ürün miktarı(ml) eldesi 64
Çizelge 3.8. Atık plastik yağı (80 ^{o}C -180 ^{o}C) arasında ürün miktarı(ml) 65
Çizelge 3.9. Atık plastik yağı (200 ^{o}C- 325 ^{o}C) arasında ürün miktarı(ml) 66
Çizelge 3.10. Motorin ürün ve özellikleri (TS EN 590) 67
Çizelge 3.11. Elde edilen dizel benzeri sanayi ve plastik yakıtların kimyasal analizleri 68
Çizelge 3.12. Test yakıtları ve DY'ın distilasyon sıcaklık (^{o}C) değerleri 70
Çizelge 3.13. Kükürtsüzleştirmiş yakıtlar ile DY'ın distilasyon sıcaklık (^{o}C) değerleri 71
Çizelge 3.14. Bazik katalizörlerin DB-SY'da kükürtsüzleştirmeye etkisi 73
Çizelge 3.15. Bazik katalizörlerin DB-PY'da kükürtsüzleştirmeye etkisi 75
Çizelge 3.16. Bir reaksiyonda ürün eldesinde harcanan elektrik enerji miktarı 80
Çizelge 3.17. Bir (1) litre DB-PY yakıt üretimi için maliyet durumu 82
Çizelge 3.18. Bir (1) litre DB-SY yakıt üretimi için maliyet durumu 82
Çizelge 3.19. Dizel benzeri sanayi- plastik yakıtlarının toplam üretim maliyeti 82
Çizelge 4.1. Farklı yüklerdeki yakıtların maksimum SGB değerleri (bar/^{o}KMA) 85
Çizelge 4.2. Farklı yüklerdeki yakıtların maksimum NIS değerleri (j/^{o}KMA) 88
Çizelge 4.3. Farklı yüklerdeki yakıtların maksimum KIS değerleri (kJ/^{o}KMA) 95
Çizelge 4.4. Farklı yüklerdeki yakıtların maksimum OGS değerleri (^{o}C/^{o}KMA) 97
Çizelge 4.5. Farklı yüklerdeki yakıtların maksimum BAO değerleri (bar/^{o}KMA) 100
Çizelge 4.6. Ethylhexyl nitrite (EN) katkısının kimyasal özellikleri 104
Çizelge 4.7. Farklı yüklerdeki katkılı (EN) yakıtların mak. SGB değerleri 105
Çizelge 4.8. Farklı yüklerdeki katkılı (EN) yakıtların mak. NIS değerleri 107
Çizelge 4.9. Farklı yüklerdeki katkılı (EN) yakıtların mak. OGS değerleri 111
Çizelge 4.10. Farklı yüklerdeki katkılı (EN) yakıtların mak. BAO değerleri 113
Çizelge 4.11. Farklı yüklerdeki katkılı (EN) yakıtların mak. KIS değerleri 118
Çizelge 4.12. Test yakıtların değişken yüklerdeki HC emisyon değerleri 128
Çizelge 4.13. Test yakıtların değişken yüklerdeki NOx (ppm) emisyon değerleri 130
Çizelge 4.14. Test yakıtlarının değişken yüklerdeki CO_2 emisyonu değerleri 132
Çizelge 4.15. Tüm test yakıtların duman koyuluğunun (%) yüklere göre değişimi 134

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

be : Özgül Yakıt Tüketimi
ºC : Santigrat Derece
CO : Karbon Monoksit
CO_2 : Karbondioksit
cm : Santimetre
d/dak : Dakikadaki Devir Sayısı
F : Kuvvet
gr : Gram
HC : Hidrokarbon
H_2SO_4 : Sülfürik Asit
J : Joule
kg : Kilogram
kpa : Kilo pascal
kJ : Kilo joule
kmol : Kilomol
kW : Kilo-Watt
K : Kelvin Sıcaklık Değeri
MPa : Mega Paskal
mm : Milimetre
m : Metre
n : Motor Devri
N_2 : Azot Gazı
NaOH : Sodyum Hidroksit
NOx : Azot Oksit
P : Güç
rpm : Dakikadaki devir sayısı
SO_2 : Kükürt Dioksit
SOx : Kükürt Oksit
s : Saniye
T : Sıcaklık
V : Hacim
ρ : Yoğunluk
% : Yüzde
$: Dolar

Kısaltmalar

ASTM : Amerikan Test ve Materyalleri Birliği
API : Amerikan Petrol Enstitüsü
ABD : Amerika Birleşik Devleti
AÖN : Alt Ölü Nokta
BMEP : Fren Ortalama Efektif Basıncı
BAO : Basınç Artış Oranı
BB-SY : Benzin Benzeri Sanayi Yakıt
BB-PY : Benzin Benzeri Plastik Yakıt
CPU : Merkezi İşlem Birimi (Central Processing Unit)

CO : Karbon monoksit
CO_2 : Karbon dioksit
CaO : Kalsiyum oksit
$Ca(OH)_2$: Kalsiyum hidroksit
CH_3COOH : Asetik asit
CH_2O_2 : Formik asit
DK : Duman Koyuluğu
DY : Dizel Yakıtı
DB : Dizel Benzeri
DBY : Dizel Benzeri Yakıt
DB-PY : Dizel Benzeri plastik Yakıtı
DB-SY : Dizel Benzeri Sanayi Yakıt
DB-SPY : Dizel Benzeri Sanayi ve Plastik Yakıt
DB-KSY : Dizel Benzeri Kükürtsüzleştirilmiş Sanayi Yakıt
DB-KPY : Dizel Benzeri Kükürtsüzleştirilmiş Plastik Yakıt
EPDK : Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EIA : Enerji Bilgi Yönetimi (Energy Information Administration)
EN : Avrupa Standardı (Europeane Norm)
EV : Efektif Verim
FTV : Fren Termal Verimi
FT-IR : Fourier Dönüşümlü İnfrared
ÖYT : Özgül Yakıt Tüketimi
HC : Hidrokarbon
H_2 : Hidrojen
H_2O_2 : Hidrojen peroksit
H_2SO_4 : Sülfürik asit
İKN : İlk Kaynama Noktası
ISO : Uluslararası Standartlar Örgütü
İYM : İçten Yanmalı Motorlar
KIS : Kümülatif Isı Salınımı
^oKMA : Krank Mili Açısı
NIS : Net Isı Salımı
NO : Azot monoksit
NOx : Azot oksitler
N_2 : Azot Gazı
PETKİM : Petrokimya Holding A.Ş
OGS : Ortalama Gaz Sıcaklığı
FÖYT : Fren Özgül yakıt tüketimi
PM : Partikül Madde
R : Ortalama Korelasyon Katsayısı
R^2 : Korelasyon Katsayısı
SKN : Son Kaynama Noktası
SGB : Silindir Gaz Basıncı
S : Kükürt
SO_2 : Kükürtdioksit
TL : Türk Lirası
TSE : Türk Standartları Enstitüsü
TG : Tutuşma Gecikmesi
ÜÖN : Üst Ölü Nokta
YSA : Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Ülkelerin gelişmişliği o ülkenin kişi başına düşen enerji tüketimiyle orantılıdır. Enerji, günümüzde insanlık tarihi için önemli bir yer edinmiş ve yeraltı kaynağı olarak petrol temel enerji kaynakları arasında kullanımı en yaygın olan enerji çeşididir. Gelişmişlik enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği ile belirlenmektedir. Bundan dolayı ülkeler enerji kaynaklarını milli refahın anahtarı olarak görmekte ve bu enerjinin ekonomik, yenilenebilir, çevre ve insan sağlığına duyarlı olması istenmektedir (Korkmaz ve ark., 2011).

Dünyadaki Petrol rezervlerinin sınırlı olması dünya ekonomisi için kırılgan bir yapı oluşturmaktadır. Bu kırılgan yapıdan kurtulmak için dünya ülkeleri farklı alternatif yakıtlar konusunda bilimsel çalışmalara ağırlık vermiştir. Özellikle insanoğlunun tüketimi ile açığa çıkan atıkların geri dönüşümü üzerine yapılan araştırmalara yoğunluk vermişlerdir. Çünkü gün geçtikçe insan nüfusu artmakta ve artan bu nüfusa paralel olarak oluşan atıkların çevre ve insan sağlığına etkileri ortaya çıktıkça, her atık için çeşitli yönetim biçimlerinin oluşturulması zorunlu hale gelmiştir. (Şimşek, 2020). Yıllara göre dünya enerji tüketimi farklılık gösterse da fosil yakıtlardan petrol, doğal gaz ve kömür %85'ini oluşturmaktadır (Özalp, 2018). Dünyadaki enerji tüketim hızı ise, fosil yakıtların oluşum hızının 300 bin katı kadardır. Bir başka ifade ile, bir günde bin yıllık bir fosil yakıt oluşumu tüketilmektedir (Yılmaz ve ark., 2003). Fosil yakıt rezervlerinin tükenmesi ve sürekli artan enerji talebini karşılayamaması kaçınılmaz olacaktır. Yeni dünya düzeni politikalarında ülkeler için iki konu önem kazanmıştır: İlki teknoloji, diğeri ise enerjidir. Teknolojik yönden geri kalmış ülkeler, bol ve ucuz enerji kaynaklarına sahip olmak zorundadırlar (Önder, 2001). Ülkemizin kendi kaynak potansiyelini doğru saptamak için üç anayolu izlemesi gerekmektedir. İlki kendi kaynak potansiyelini belirlemesi ve bunu geliştirerek en uygun biçimde enerjiye dönüştürmektir. İkincisi, yurt dışındaki kaynakların aranması ve üretilmesi sürecine, kendi şirketlerimizle katılarak ve bu kaynaklarda hisse sahibi olarak, enerji üretimimiz için gerek duyulan kaynaklar ve bunların taşınma yolları üzerinde kontrol elde edebilmektir. Üçüncü yol da ilk iki yolun yetersiz kaldığı durumlarda, ya da stratejik-ekonomik amaçlarla, kısa-orta ya da uzun vadeli olarak, ithalata yönelmektir (Pamir, 2003). Türkiye'de toplam birincil enerji tüketiminin %87'si petrol, doğal gaz ve kömür gibi yenilenemez enerji kaynaklarından oluşmaktadır. Burada yenilenebilir enerji kaynakları olarak rüzgar, güneş, jeotermal ve biyokütle enerjisi dikkate alınmıştır. (Kaya ve ark., 2018). Yenilenemez enerji

kaynaklarına baktığımızda kullanımı en eski enerji kaynaklarından biri olan kömür, 1860'lı yıllardan başlayarak, özellikle buharlı makinelerin yaygınlaşmasıyla daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Sanayi devrimi ve sonrasındaki gelişmeler, kömürün ekonomik ve stratejik değerini artırmıştır. Fabrikalarda ve ulaşım araçlarında kullanılmasının yanı sıra kömürden elektrik elde edebilmek için termik santraller kurulmuştur. Türkiye için kömür, petrol ve doğal gazın daha geniş çapta kullanılmasına rağmen, hala en önemli enerji kaynaklarından birini teşkil etmektedir (Bekar, 2020).

İnsanoğlunu gelecekteki en önemli sorunlarından biri olarak görülen ve dünyamızı tehdit eden atıkların başında evsel ve sanayi atıkları gelmektedir. Kontrolsüz ve düzensiz olarak çevreye salınan bu ağır metal toksinleri toprak ve sulara karışarak kirliliğin boyutunu arttırmanın yanında insan sağlığına da büyük zararlar vermektedir. Atıklar teknolojik ve sosyal gelişmişliğe bağlı olarak insani gelişme ile ilişkilidir. Endüstriyel gelişmelerde kullanılan malzemeler zaman içerisinde gelen değişmelere bağlı olarak değişkenlik göstermekte ve atıl duruma düşmektedir. Dünya genelinde üretim ve pazarlamadaki genişleme, doğal kaynakların daha yoğun kullanımını kaçınılmaz kılarken, sürekli artan tüketim eğilimi ile birlikte oluşan atıklar da hem miktar hem de zararlı içerikleri nedeniyle çevre ve insan sağlığını tehdit eder boyutlara ulaşmıştır (Kaçtıoğlu ve ark., 2010).

Bu çalışmada, atık plastiklerden ve atık sanayi yağlardan elde edilen dizel benzeri yakıtların kükürt içeriğinin dizel yakıt standartlarına göre yüksek olduğundan üç farklı katkı madde ile bazik ve asidik kükürtsüzleştirme işlemi uygulanmıştır. Bu uygulama ile atık plastiklerden elde edilen dizel benzeri plastik yakıtına kükürtsüzleştirme işlemi uygulanmış (DB-KPY), atık sanayi yağlardan elde edilerek kükürtsüzleştirme işlemi uygulanmış olan (DB-KSY) yakıtlar hazırlanmıştır. Üretilen test yakıtları hacimsel olarak farklı oranlarda dizel yakıtla karıştırılarak DB-PY -DB-SY [%10, %20, %30 ve (DB-PY%15+DB-SY%15)] test yakıtları hazırlandıktan sonra tek silindirli, su ile soğutmalı, sabit 1500 dev/dk ve değişik yüklerde bir dizel araştırma motorunun performans, yanma ve emisyon değerleri alınarak dizel yakıt değerleri ile grafiksel olarak karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Aynı zamanda elde edilen yanma değerlerine yapay sinir ağları metodu uygulayarak modelleme yapılmıştır. Yapılan literatür araştırmasında böyle kapsamlı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışma ile literatürdeki bu eksikliğin giderileceği düşünülmektedir.

1.1. Dünya Petrol Rezervlerine Genel Bakış

Enerji üretimi dünyanın en önemli endişelerinden biridir. Sanayileşmiş olan dünyanın enerjiye bağımlılığı kaçınılmaz, enerjinin olmuştur. Ülkeler kendi çıkarları doğrultusunda enerji politikalarında mevcut ihtiyaçları karşılamak hem de gelecekteki beklentileri karşılamak için birçok açıdan düşünmek zorundadırlar. Bu yönleri ile verimli kullanım için farklı teknikleri kullanmak zorunda kalmışlardır. Bunlar kaynak kullanımı, yeni yatakların araştırılması, potansiyelin değerlendirilmesi ve farklı alternatif kaynaklar tüm bu yönlerin ortak noktasıdır. Fizibilite ve çevresel kaygılar açısından mevcut ve olası kaynaklar. Gelişmekte olan ülkelerin enerji taleplerinin karşılaştırılması sanayileşmiş ülkeler, ABD gibi ülkelerin enerji talebi, Kanada, Almanya'nın istikrarlı bir seviyede artması beklenirken, gelişmekte olan ülkelerin talebinin üç kat artması bekleniyor. Gelişmekte olan ülkelerin çoğu, enerji ihtiyaçlarını karşılamak için ithalata güvenmektedir. Alternatif enerji kaynakları bulma ve kullanma ihtiyacı, gelişmekte olan ülkelerin sanayileşmeyi sürdürmeleri için çok daha kritiktir. Halihazırda petrol, doğal gaz ve bunların türevleri, dünyanın birincil enerji talebinin %33,1'ini ham petrol ve %21,9'unu sağlayan doğal gaz ile modern insan enerji arzının en önemli kaynaklarıdır (Abbaszadeh ve ark., 2013). Bu nedenle petrol ve gaz, dünyanın en önemli enerji kaynaklarından biri olduğu için siyasi ve ekonomik ilişkilerde özel bir stratejik rol oynamaktadır (Ariga, 2002). Gelecek yıllar içinde dünya petrol ve gaz endüstrisinde birçok hedeften bahsedilmiştir, bunlardan bazıları ihracat ve üretim trendini belirlemek, diğerleri ise talep yönlü yaklaşımı dikkate almak ve tüketim kalıplarını değiştirmek olarak kabul edilmektedir (Bahrami ve ark., 2013). Petrol ekonomisi görüşündeki ana hedeflerden biri, enerji talebini karşılamak ve pazar payını korumak için petrolün muadillerine ayak uydurmaktır. Petrol önümüzdeki on yıllar boyunca o kadar şanslı değil. Senaryoların ve öngörü çalışmalarının çoğu, petrol zirvesinin önümüzdeki otuz yıl içinde gerçekleşeceğini tahmin ediyor (Cornish, 2004). Petrol arzının 2015–2030 yılına kadar yavaş yavaş artacağı, petrol arzının teknolojik ve ekonomik olarak petrole göre avantaj sağlayan alternatif enerji kaynakları nedeniyle hızla azalacağı düşünülmektedir (Dasgupta ve ark., 2004). Petrol arzı önümüzdeki otuz yılda zirveye ulaşacak ve daha sonra alternatif ve muadil kaynaklara karşı avantajını ve pazar payını yavaş yavaş kaybedecektir (Di Maria ve ark., 2008).

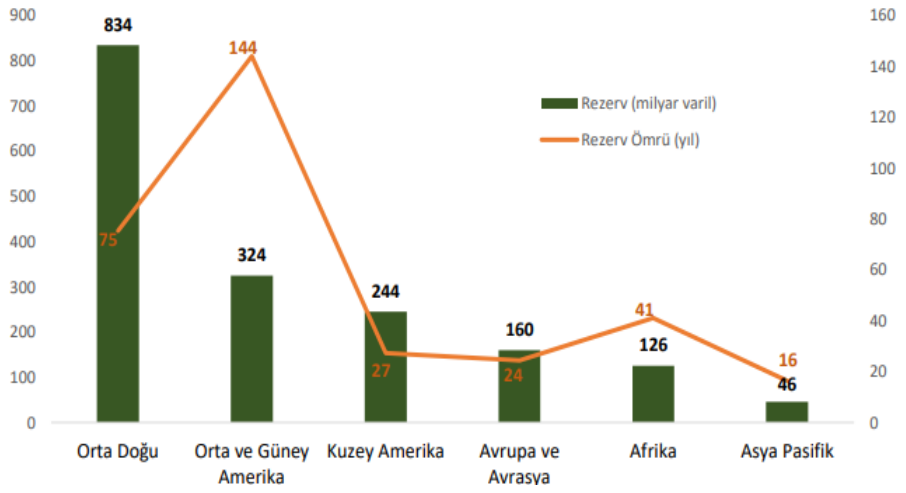
Geniş teknolojik ve ekonomik sorunlarına rağmen, petrol kaynakları dünyada normal bir şekilde dağılmamakta ve büyük petrol kaynaklarına sahip ülkeler genellikle

istikrarsızlık ve siyasi gerilimlerle karşı karşıya kalmaktadır. Petrol tedarikçileri ile talep tarafı olan ülkeler arasındaki bu sorunlar, petrol ekonomisindeki krizin en önemli faktörlerindendir.

BP'nin Haziran 2020 Petrol Rezervleri tarihli raporuna göre, 2019 yılı dünyadaki petrol rezervi, 1,73 trilyon varil olarak açıklanmıştır. Petrol küresel rezervi 2018 yılına göre, %0,1 azalmıştır. 2019'da Venezuela %17,5'lik payı ile petrol rezervine en çok sahip ülke; Orta Doğu da %48,1 oranıyla petrol rezervine en çok sahip bölge olmaya devam etmiştir. 2018 ile 2019 yılları arasında geçen sürede toplam petrol rezervinde hiçbir bölgede kayda değer bir artış görülmemiştir. Doğal gaz ve küresel petrol arama faaliyetleri genel olarak farklı coğrafi bölgelerde yoğunlaşmaya devam etmektedir. Bu kapsamda Orta Doğu, Avrasya, Güney Hazar ve Kuzey Amerika'da önemi arttıran ve dikkat çeken bölgelerdir. Bölgesel olarak petrol rezervlerine bakıldığında; Orta Doğu'yu %18,7'lik rezerv miktarı ile Orta ve Güney Amerika ve devamında %14,1'lik rezerv ile Kuzey Amerika gelmektedir. Avrasya %8,4, Afrika %7,2, Asya Pasifik %2,6 ve Avrupa %0,8'lik rezerv payına sahiptir.

Dünya nüfus miktarını 2050'den önce %50 artacağı varsayıldığında enerjiye şimdiye göre iki kat daha fazla gereksinim duyacaktır. Çünkü 21.yy. girerken dünya yılda yaklaşık olarak 8.8 milyar ton petrol ve eşdeğerinde enerji tüketmiştir. Bunun da yaklaşık olarak % 40'ı petrol, % 25'i kömür, % 24,7'si doğalgaz, % 7,6'sı ise nükleer enerjiden ve % 2,6'sı ise hidroelektrik santrallerinin ürettiği enerjiden karşılanmıştır. Burada açık olarak görünen şu ki; petrol, alternatif enerji kaynakları bulma ve arama çabalarına rağmen halen enerji kaynağı olma konusunda liderliğini sürdürmekte ve dünya birincil enerji kaynağı gereksiniminde %90'lara varan oranda belirleyici olma konumundadır (Pamir, 2003).

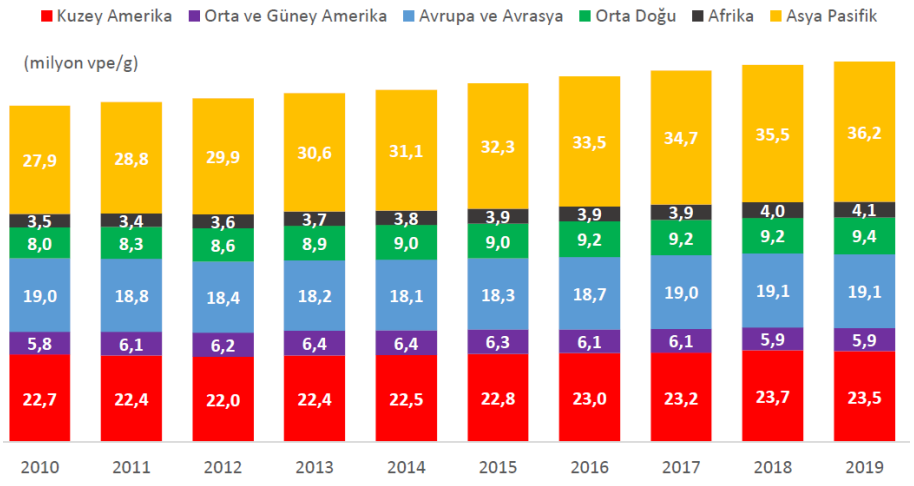
Mevcut teknolojilerle "Petrol Rezerv Ömrü" ekonomik olarak üretilebilen rezervlerin, mevcut üretime bölünmesiyle (Rezerv/Üretim) ortaya çıkan bir değerdir. Dünya petrol rezerv miktarı, sürekli yükselmesinin sebebi teknolojik gelişmeler olarak karşımıza çıkmaktadır. 2019 yılında, dünya ham petrol rezerv miktarı 1,73 trilyon varil, ham petrol üretimi de 95,2 milyon varil olarak kaydedilirken, 2019 yılı sonunda küresel rezerv ömrü petrol için yaklaşık olarak 50 yıl olarak hesaplanmaktadır. Rezerv miktarında bölgesel rezerv ömrü olarak Orta Doğu birinci sırada yer alırken, 144 yıl rezerv ömrü ile Orta ve Güney Amerika ön plana çıkan petrol rezervleri Şekil 1.1'de verilmiştir (https://www.tpao.gov.tr., 2020).



Şekil 1.1. 2020 Bölgesel bazda petrol rezerv miktarları

Yukarıdaki Şekil 1.1.'de ortaya çıkan sonuca göre 50 yıllık "petrol rezerv ömrü" ifadesinde, söz konusu "ömür" bugün için ispatlanmış olan rezervlerin, ekonomik bazda günümüz teknolojileri üretimi esas alınarak hesaplanmıştır. Fakat yeni araştırmalarla gelişen teknoloji sayesinde farklı rezervlerin devreye girmesi ile daha ekonomik olarak üretilebilecek olan rezervler, kömür, gazdan sıvı yakıt elde edilmesi ve alternatif enerji kaynaklardan (biyodizel vb.) sıvı yakıt elde edilmesi gibi yöntemlerle bu ömrün ihtiyaca bağlı olarak değişebileceği göz önüne alınmalıdır (https://www.tpao.gov.tr., 2020).

Küresel bazda 2018 yılında Petrol Tüketimi, 97,3 milyon v/g iken, 2019 yılındaki bu tüketim %0,9'luk bir artışla 98,3 milyon v/g seviyesine yükselmiş olup Şekil 1.2'de gösterilmiştir (https://www.tpao.gov.tr., 2020). Bölgesel olarak 2019 yılında en önemli artışlar, Afrika, Asya Pasifik, Avrasya ve Orta Doğu bölgelerinde görülmüştür.



Şekil 1.2. 2010-2019 Bölgelere göre dünya petrol tüketimi

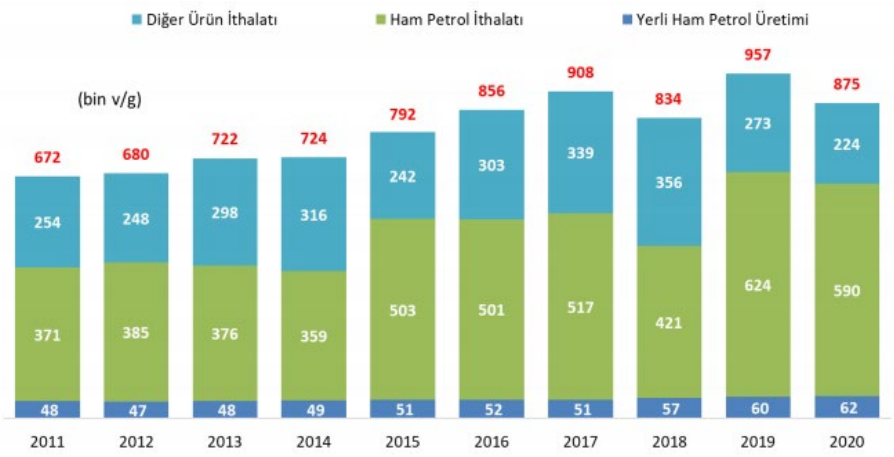
2019–2030'a kadarki süreçte petrol talebinin küresel düzeyde 106,8 milyon v/g seviyesine yükselmesi beklenirken, 4,6 milyon v/g talep artışı ile Asya Pasifik bölgesinin petrol talebinin en fazla artacağı bölge olması, Afrika'nın 1,3 milyon v/g'lik talep artışı ile Asya Pasifik bölgesini takip etmesi beklenmektedir (https://www.tpao.gov.tr., 2020).

1.2. Türkiye petrol rezervlerine genel bakış

Coğrafik olarak ispatlanmış petrol ve doğalgaz bakımında zengin olan Orta Doğu, Hazar, Rusya ve Orta Asya bölgeleri, ithalata bağımlı olan başta AB ülkeleri olmak üzere birçok ülke coğrafi konumundan dolayı Türkiye taşımacılıkta stratejik bir öneme sahiptir. Özellikle Orta Asya ve Rusya'daki gazı TANAP (Trans Anadolu Doğal Gaz Boru Projesi) ve mavi akım projelerinin hayata geçmesiyle Türkiye üzerinden Avrupa'ya taşıyan TANAP ve Rusya gazını ülkemiz kanalı ile Türkiye'nin stratejik önemi daha da ön plana çıkmıştır. Türkiye geçmişten günümüze kadar enerji ithalatında dışa bağımlı olmuştur. Petrol ve doğalgaz temini açısından dışa bağımlı bir 40 konumdadır. Türkiye'nin yurt içi enerji talebinin yaklaşık olarak % 29'u kömürden, % 33'ü petrolden % 30'u doğalgazdan ve % 32'si hidrolik kaynaklardan karşılanmaktadır (Arı, 2007).

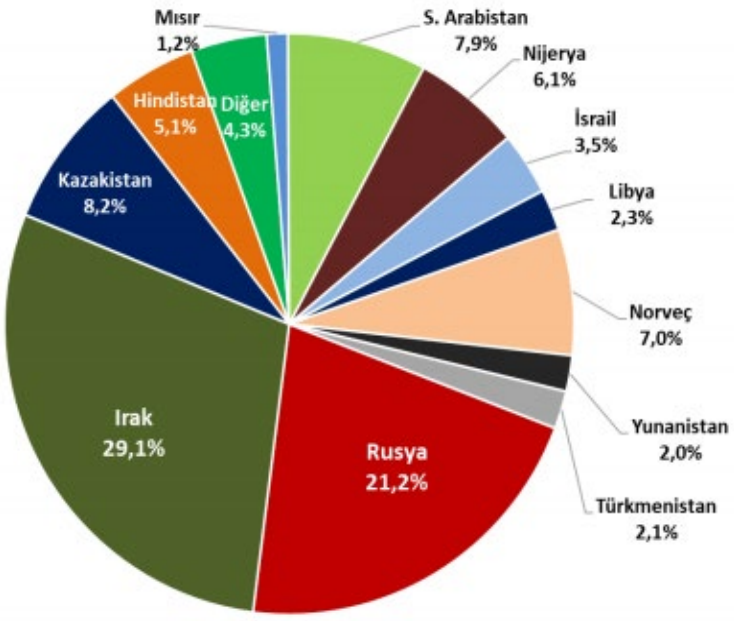
Ülkemizin milli petrol şirketi TPAO ve diğer enerji şirketleri enerji arzındaki dışa bağımlılığı azaltmak için çeşitli projelerle yerli arzın karşılanması ve kaynakların değerlendirilmesi için çalışmalar yürütmektedirler. Nihayetinde 2020 yılında Karadeniz'de TPAO tarafında Sakarya doğal gaz sahasının keşfiyle petrol ve doğalgaz sektörü açışından dışa olan bağımlılıkta önemli bir değer değişikliğine yol açtığından büyük bir gelişme olarak öne çıkmıştır. Türkiye diğer çoğu dünya ülkelerinde olduğu gibi enerji tüketicileri arasında yer almaktadır. Makine mühendisleri odası (MMO)'nın 2019 raporuna göre; ülkemizde birincil enerji arzı 144,2 milyon ton petrol eşdeğeri (tpe) içerisinde doğalgazın payı %28,7, kömürün payı %28,4, petrolün payı %29,2, hidroelektrik enerjinin payı %3,6 diğer enerji kaynaklarının payı %12,2 olmuştur (https://www.tpao.gov.tr., 2020).

Türkiye 2020 yılında günlük ortalama 62 bin v/g ham petrol üretimi yapılmış olup 590 bin v/g ham petrol ithalatı gerçekleştirmiştir. Aynı zamanda 224 bin v/g ise işlenmiş ürün ithalatı gerçekleştirilmiştir. Diğer bir deyişle, 2020 yılında ülkemizin petrolde ithalata bağımlılığı %92,9 oranında gerçekleşmiş olup Şekil 1.3'te gösterilmiştir (https://www.tpao.gov.tr., 2020).



Şekil 1.3. 2011-2020 Yılları Türkiye'nin petrol tüketimi ve yerli üretim

Türkiye'nin 2020 yılında ithal ettiği petrolün yaklaşık %29,1'i Irak'tan, %21,2'si Rusya'dan, %8,2'si ise Kazakistan'dan gelirken, bunu %7,9 ile Suudi Arabistan takip etmiştir. Norveç (%7), Nijerya (%6,1), Hindistan (%5,1) ve İsrail (%3,5) ithalde öne çıkan ülkeler Şekil 1.4'te gösterilmiştir (https://www.tpao.gov.tr., 2020).



Şekil 1.4. 2020 Yılı Türkiye'nin ithal ettiği petrolün kaynak ülkelere göre dağılımı

1.3. Dünyada ve Türkiye'de Atık Plastik ve Atık Sanayi Yağların Genel Durumu

1.3.1. Dünyadaki atık plastik genel durumu

Dünyada plastikler, gıda, hayvan gübresi, odunsu biyokütle ve bunların karışımları dâhil olmak üzere çok miktarda katı atık bulunmaktadır. Bu katı atıklar arasındaki plastikler, üretim ölçeği ve çevresel etkilerden dolayı artan bir öneme sahip olmuştur (Celik ve ark., 2019). Plastiklerin düşük maliyetli, hafif, işlene bilirlikleri ve yüksek performansları nedeniyle ambalajlama için yaygın olarak kullanılmaktadır (Sangroniz ve ark., 2019). Günlük hayatta en yaygın kullanılan plastiklerden bazıları polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), polietilen tereftalat (PET) ve polivinil klorürdür (PVC). Diğer taraftan Su, süt, içecek, deterjan ve başka sıvıların paketlenmesinde kullanılan plastik şişeler genellikle PE, PET ve PP'den üretilir. Köpük bardak ve tabaklar ile özellikle elektronik cihazların darbelerden korunması amacıyla paketlemede kullanılan köpük malzemeler ise polistirenden yapılır. Plastiklerin yüksek dayanıklılığı, çöplüklerde ve okyanuslarda büyük miktarlarda atık birikmesine neden olmaktadır. Çünkü çoğu sentetik polimerler, geri dönüştürüle bilirlik ve bozunabilirlikten ziyade uzun ömür ve performans için tasarlandıklarından doğada çok uzun süre kalabilmektedirler (Li ve ark., 2019). Plastiklerin steril paketleme, depolama, nakliye ve tek kullanımlık tıbbi parçalar için tek kullanımlık uygulamaları, küresel atıklara katkısında önemli bir rol oynamaktadır. Avrupa'daki plastik kullanımı sektörler bazda çoğunlukta ambalaj (%38), inşaat (%21), otomotiv (%7), elektrik ve elektronik (%6) geri kalan diğer sektörler ise toplamda (%28) hakimdir. Toplumlarda plastiklerin kullanımı, insan sağlığı ve çevre için bir dizi faydaları göz ardı edilemez. Örneğin;

1- Plastik ambalaj, gıda ve ürünlerin israf edilmesini ve/veya kirlenmesini önleyerek kaynak tasarrufu sağlar.

2- Plastik ambalajın diğer malzemelere göre hafif olması, nakliye sırasında yakıt tasarrufu sağlar ve emisyonları azaltır.

3- Plastik su tedarik sistemleri ve saklama kapları/tankları temiz su sağlayabilir.

4-Otomobillerde ve uçaklarda metal veya seramik yerine kullanılan düşük yoğunluklu plastik malzemeler yakıt tasarrufu sağlar ve emisyonları azaltır.

5- Plastik koruyucu giysiler ve güvenlik ekipmanları (ör. yangına dayanıklı malzemeler, kasklar, hava yastıkları) yaralanmaları önler.

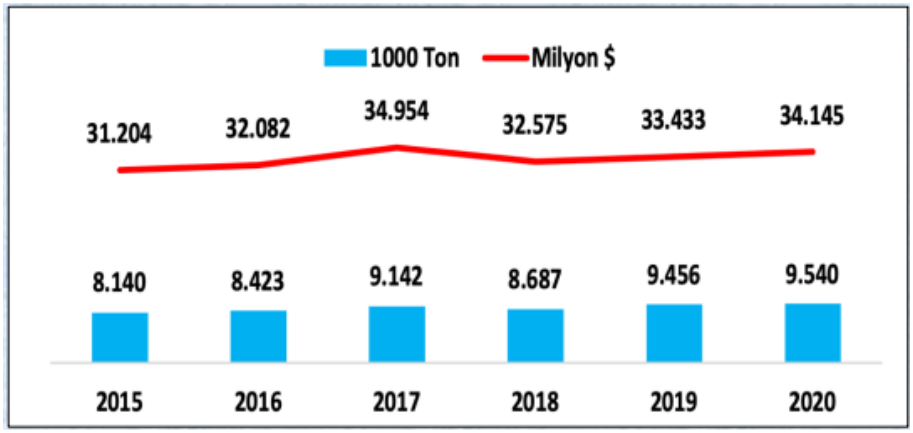
6-Tıbbi uygulamalara yönelik plastik ürünler, sağlığın iyileştirilmesine katkıda bulunur (Andrady ve ark., 2009). Bu tür farklı tüketimler beraberinde çeşitli atık akışlarına yol açmaktadır. Birçok plastik ürünün kısa ömürlü olması nedeniyle büyük hacimlerde yer kaplamalarına neden olunduğu bilinmektedir. Plastik ürünlerin yaklaşık %40'ının hizmet ömrünün bir aydan daha kısa olduğu tahmin edilmektedir. Bu büyük atık, ciddi çevre ve yönetim sorunlarını da beraberinde getirmektedir (Achilias ve ark., 2007). Dünya çapında yılda yaklaşık 380 milyon ton plastik üretilmekte ve bunun yaklaşık olarak sadece %20'si geri dönüştürülmekte olup bu da küresel atık ve çevre kirliliğine çok büyük zararlar vermektedir. Şimdiye kadar üretilen tüm plastiklerin yarısı son 15 yılda yapılmıştır. Geri dönüşüm genellikle zor ve maliyetli bir işlemdir. Çünkü tüketici sonrası plastik atıklar genellikle bileşimi bilinmeyen karışık plastiklerden oluşur ve sıklıkla organik ve inorganik maddeler dahil olmak üzere çeşitli kirleticiler içerir. Bu plastik atıkların çoğu enerji santrallerinde yakılıyor ya da çöplüklere, okyanuslara atılıyor, bu da hem çevre kirliliği hem de enerji olarak büyük bir kayıpla sonuçlanabiliyor (Çelik ve ark., 2019). Tek kullanımlık çok katmanlı esnek ambalajlı geri dönüştürülemeyen plastikler, çöplüklere ve nihayetinde doğal yaşam alanlarına ulaşıp çevre ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Yılda yaklaşık 8 milyon ton plastik okyanuslara giriyor ve okyanuslardaki plastik kirliliğinin 2050 yılına kadar deniz balıklarından daha ağır basacağı tahmin ediliyor. Dünya çapında üretilen tüm plastiğin üçte biri çok karmaşık olan polimerlerden oluşmaktadır. Bununda pratik ve uygun maliyetli bir şekilde geri kazanılması veya geri dönüştürülmesi gerekmektedir (Uekert ve ark., 2018). Plastik atık büyük ölçüde kimyasal olarak inert (hiçbir madde ile reaksiyon vermeyen) olduğundan, tahminler mevcut malzemenin tamamen bozulmasının yaklaşık 250-500 yıl alacağını gösteriyor. Ayrıca, plastik atıkların bileşenleri, ekinler ve hayvanlar yoluyla insan besin zincirine girip ciddi bir sağlık tehdidi oluşturmaktadır (Guo ve ark., 2020; Rillig ve ark., 2019).

1.3.2. Türkiye'de atık plastiklerin genel durumu

Plastik hammadde üretiminin ana girdisi petrol ve doğal gaz olduğundan, üretimde tamamen dışa bağımlıdır. Türkiye'de sadece ana girdisi yurt dışından sağlanmak koşulu ile PETKİM'de bazı plastikler (PS, PVC, PE, vb.) üretilmektedir. Bunlar; ambalaj, inşaat ve tarımda kullanılan plastik hammaddelerdir. Özellikle otomotiv sanayinde kullanılan mühendislik plastikleri Türkiye'de üretilmemekte, tamamı yurt dışından ithal edilmektedir. Fakat natürel olarak alınan bazı plastikler yerli ve yabancı

üreticiler tarafından müşterilerin beklentilerini karşılayacak şekilde içerisine dolgu (talk), takviye (cam-elyaf) ve diğer UV, kaydırıcılar, anti-statik, yanmazlık katkıları, vb. katılarak granüle edilerek üreticilere sunulur. Dünya toplam plastik hammadde ithalatının ilk beş ülkesi sırası ile Çin, Almanya, ABD, İtalya ve Türkiye'dir. Son edinilen bilgilere göre de Türkiye, Avrupa ülkeleri içinde Almanya'dan sonra ikinci sıraya yükselmiştir. 2018 yılında dünya toplam ithalatı yaklaşık 364 milyon tondur. Türkiye ise yaklaşık 10,9 milyon ton ile küresel üretim içerisinde %3 paya sahiptir (Barrowclough ve ark.,2020).

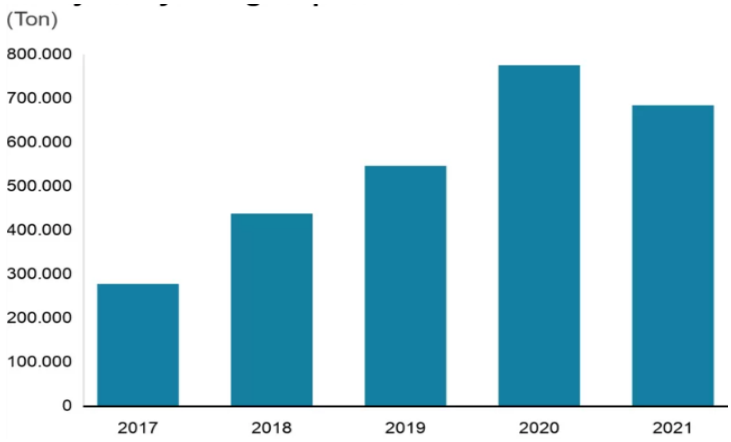
Türkiye'de plastik endüstrisi, şekil 1.5'de görülebileceği gibi 10 milyon tona yaklaşan toplam üretimi ile 33 milyar dolar civarındaki cirosu, 5 milyar dolara yaklaşan direkt ihracatı ve son 10 senede, Gayri Safi Milli Hasıla büyümesini aşan yıllık büyümeye sahip olup Şekil 1.5'te gösterilmiştir (https://pagev.org., 2019).



Şekil 1.5. Yıllara göre artan plastik üretimi ve cirosu

Türkiye Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Atık Yönetimi Daire Başkanlığı'nın 2019 verilerine göre Türkiye'de yıllık bazda üretilen 31 milyon evsel atığın %12 sini plastik atıklardan oluşmaktadır. Son 3 yıl içerisinde Türkiye'de kişi başı plastik tüketimi oranı yaklaşık %10 artarak 90 kg seviyelere ulaşmıştır. Türkiye'de yıllık bazda üretilen 25,8 milyon atığın %20 sini ambalaj atıkları oluştururken bunların geri dönüşüm oranı ise sadece %20 olmuştur. Ülkemizde tek petrokimya entegre tesisi PETKİM (Petrokimya Endüstrisi genel Müdürlüğü) olması bu endüstriyi besleyecek yeterli miktarda hammadde olmadığı için sektörel olarak ithale bağlı bir ülke konumunda büyüme göstermiştir. PETKİM entegre tesisinde başta LDPE (Düşük Yoğunluklu Polietilen) olmak üzere HDPE (Yüksek Yoğunluklu Polietilen), PVC (Polivinil klorür), PP (Profil görseli) üretmekte olup diğer üreten tesislerle PET (Pozitron Emisyon Tomografisi) ve PS (Polistiren) birlikte toplam üretim yaklaşık 1 milyon tonun biraz üzerindedir. Kimya

mühendisleri odasının 2021 raporunda; Türkiye 2016 yılında 261.864 ton plastik atık ithal ederken son dört yılda 5 kattan fazla artarak 773 bin tona ulaşmıştır. Buda ülkemizde aşağıdaki Şekil 1.6'da görülebileceği gibi küresel plastik atıkların önemli bir ithalatçısı olduğumuzu göstermektedir (https://www.kmo.org.tr).



Şekil 1.6. Türkiye'de 2017-2021 yılları arasında plastik atık ithalatı

Türkiye, yakın zamanda plastik ithalatına getirmiş olduğu kısıtlamalarla, yasaklı karışık plastik atık ithalatı %1 kontaminasyon sınırı koydu. Ancak yasa dışı boşaltma ve yakma yaygın olarak rapor edilmektedir. Türkiye, plastik üretiminde Avrupa'da ikinci, dünya çapında yedinci sırada yer alıyor, ancak mevcut evsel atık yönetimi ve geri dönüşüm programları, evsel plastik atık üretimini kaldıramıyor. Türkiye'de üretilen belediye katı atıklarının yaklaşık %90'ı çöplüklere gidiyor . Plastik atıkların yanlış yönetimi plastik sızıntısına neden oluyor. Avrupa deniz plastik kirliliğinin en yüksek payına sahip %16.8 olup Türkiye'de buna katkı sağlamaktadır. Bu son ithalat kısıtlaması ile Türkiye plastik deniz kirliliğini azaltmak için kendi evsel atık yönetimi altyapısını güçlendirme ve iyileştirme fırsatına sahip olmuştur (Gündoğdu ve ark., 2021). Türkiye, 1 Ocak 2021'de yürürlüğe giren Basel Sözleşmesi Plastik Değişikliğini henüz kabul etmemiş olsa da kendi ulusal mevzuatı çerçevesinde yeni kısıtlamalar getirmiş ve plastik atık ithalatına önemli kısıtlamalar getirmiştir. Türkiye ilk olarak %80 kota uygulamasını yani firmalar kapasitelerinin ancak %80'ini ithal edebildikleri ve %20'sini yerli kaynaklardan almak zorunluluğu getirmiş olup, ardından 3 Eylül 2020'de %50 kota uygulamasını uygulamıştır. Firmalar kapasitelerini her yıl çevre bakanlığına bildirmekle yükümlüdürler. Bu kapasite çalışan sayısı, çalışma saatleri, sahip olunan makineler, geri dönüşüm tesislerinin çalışma alanı gibi bilgiler ışığında belirlenir. %50 kota uygulamasının yanı sıra, karıştırılmış plastik malzemeler içermesi nedeniyle geri

dönüşümü zor olan karışık plastik atıkların ithalatını da yasakladı (Brooks ve ark., 2018). Ticaret Bakanlığı, 18 Mayıs 2021'de yaptığı bir değişiklikle etilen polimer plastikleri ithalatı yasak olan atık maddeler listesine ekledi 45 gün sonra 2 Temmuz 2021'de uygulandı (www.resmigazete.gov.tr., 2021). Bu kodla ithal edilen plastik atıklar, toplam plastik atık ithalatının yaklaşık %70'ine tekabül ediyor. Türkiye'de son zamanlarda plastik atık ithalat yasağının uygulanmasının ardından, Ticaret Bakanlığı, plastik ve geri dönüşüm endüstrisinden gelen güçlü geri bildirim ve lobi faaliyetleri sonrasında yasağı kaldırmayı kabul etti (https://pagev.org., 2021).

1.3.3. Dünyadaki atık sanayi yağların genel durumu

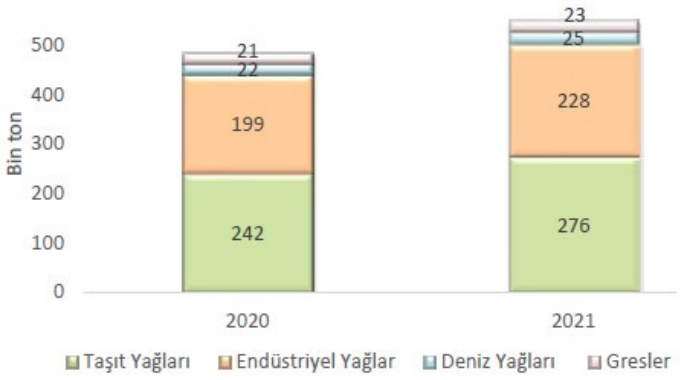
Değişik viskozitedeki baz yağlara katılan fiziksel ve kimyasal özellikleri kazandırıcı katkılarla paslanmayı, köpüklenmeyi, oksitlenmeyi, aşınmayı vb. ile harmanlanması ile imal edilen yağlara sanayi yağlar denilir. Aynı zamanda kimyasal sentezlerle elde edilen sentetik yağlar petrol kökenli olmayan yağlara göre üstün kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeniyle çokça tercih edilen yağlardır. Yağlar çeşitli amaçlarla, baz yağlar ve katıkların endüstri ve otomotiv standardına uygun geliştirilen özel formülasyonlar ile yağ üretim tesislerinde, bir seri fiziksel birleştirme işlemleri sonucu üretilirler. Baz yağlar, yağ üretiminin temelidir. Sanayi ve sentetik olmak üzere iki gruptan oluşur. Sanayi yağlar solvent ve hidrojen işlemleri ile, sentetikler ise özel sentezleme işlemleri ile üretilirler (Mert, 2020).

Her yıl dünyanın dört bir yanındaki araç motorlarında on milyonlarca varil yağ değişimi çevrimini uygulamaktadır. Yalnızca ABD'li sürücüler yılda ortalama yaklaşık 1,3 milyar galon atık motor yağı üretmiş. ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA), her yıl 200 milyon galon (757.082 litre) olduğunu tahmin ediyor. Bazıları "geri dönüştürülür", ancak genellikle endüstriyel bir yakıt kaynağı olarak yakılıyor. AB'de tüketilen tüm baz yağların yaklaşık %13'ü yeniden rafine edilmiş atık yağlardan gelmektedir. Diğer %87'lik kısım, çoğunlukla ham petrol rafinasyonundan üretilen natürel baz yağlardır. Bazı Amerikan şirketlerinin araştırmalarına göre; Kuzey Amerika'da atık motor yağlarının sadece %10 ile %15'i yeniden rafine edildiği, "Asya'da kağıt üzerinde düzenlemelerin var olduğu ancak bunlar genellikle uygulanmadığı ve çoğu zaman bu atık yağların toplanmasını sağlayacak altyapı olmadığı belirtiliyor. Bu pazarların çoğunda kullanılmış yağlara ne olduğunu hakkında tam net bir bilgiye ulaşılamıyor. Amerika şirketli Kline'ın tahminlerine göre, 2009 yılında dünya çapında araç sayısı

yaklaşık 1 milyar yüz milyon civarında iken araçlar yaklaşık olarak 3,7 milyar galon (14 milyar litre) kullanılmış atık motor yağı üretti ve daha kirli diğer endüstriyel yağların dahil edilmesi bu hacmi neredeyse iki katına (18 milyar litre) çıkabileceği yıllık olarak artan araç sayısına paralel olarak düşündüğümüzde bu oranın Taşıt Araçları Tedarik Sanayicileri Derneği (TAYSAD) rakamlarına göre, 2018 yılında dünyada 1,3 milyar motorlu taşıt olduğu açıklandı. 2020 yılında ise bu rakamın 2 milyara araca doğru yaklaşacağını tahmin ediliyor. Atık bu sanayi yağların çevresel etkilerini azaltmak ve insan sağlığı için tüm dünya çapında tekrardan enerjiye katmak ayrı bir katma değerdir. Bir başka kullanım alanı da yeniden yağa dönüştürülebilmesidir. Örneğin 2,5 litre yeniden rafine edilmiş motor yağı yapmak için yaklaşık olarak 3,8 litre kullanılmış yağ gerekir ve baz yağ, otomatik şanzıman yağı veya hidrolik sıvısı gibi diğer yağlayıcıları üretmek için de kullanılabilir. Bu, ham motor yağı üretmekten çok daha verimlidir; EPA istatistiklerine göre , aynı miktarı üretmek için bir 159 litre gerekiyor.

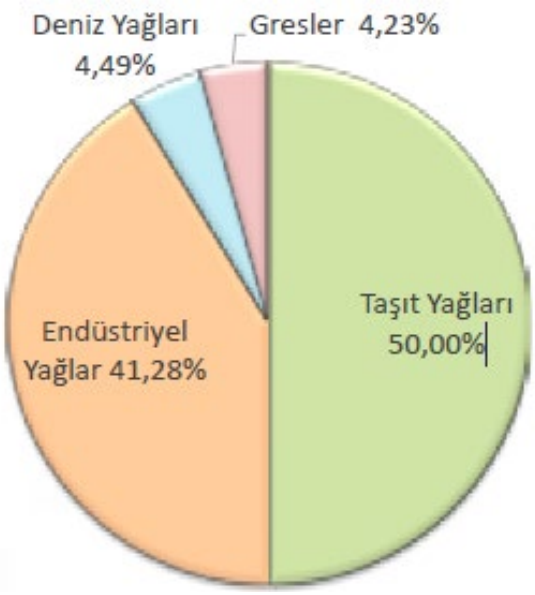
1.3.4. Türkiye'de atık sanayi yağların genel durumu

Türkiye'deki gönüllü pazarlama firmalarının katılımıyla (AKPET- LUKOIL, ATAK, BP, MOIL, OPET, POAŞ, SHELL ve TOTAL) sağlanan verilerle birlikte TÜİK tarafından yayınlanan Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na sunulan beyanlar üzerine veriler tahmini olarak hesaplanmıştır. Türkiye'de 2020 yılında 484.026 ton olarak gerçekleşen sanayi yağ tüketimi 2021 yılında %13,87 bir artışla 551.179 ton olarak gerçekleşmiş olup Şekil 1.7'de gösterilmiştir (https://www.petder.org.tr., 2021).



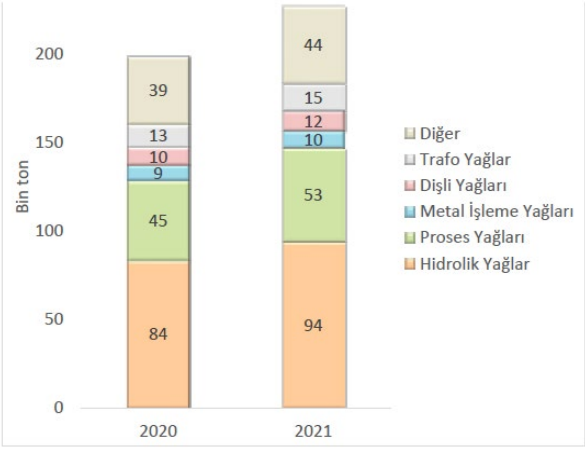
Şekil 1.7. Türkiye sanayi yağ tüketim miktarları (bin ton)

2021 yılında tüketilen sanayi yağların %50'sini taşıt yağları, %41,28'ini ise endüstriyel yağlarlardan oluştuğunu Şekil 1.8'de gösterilmiştir (https://www.petder.org.tr., 2021).



Şekil 1.8. Türkiye'de 2021 yılında sanayi yağ tüketim miktarları % dağılımı

Türkiye'de 2021 yılında tüketilen 275.570 ton taşıt yağının ortalama %59,10 motor yağı olarak ticari araçlarda kullanılmıştır. Motor yağı tüketiminde 2021 yılında 2020 yılına göre %14,09 artış meydana gelmiştir. Bu taşıt yağının rodaj sonrası %60 oranında atık taşıt yağı olarak geri kazanımında ortalama 124.000 ton ortaya çıkması bekleniyor. Fakat PETDER kayıtlarında toplanan atık taşıt yağ toplamı 21.000 ton olarak belirtilmiştir. Geri kalan 103.000 ton taşıt yağı hakkında herhangi bir veriye rastlanmadığı Şekil 1.9. gösterilmiştir (https://www.petder.org.tr., 2021).



Şekil 1.9. 2020 ve 2021 Yılları endüstriyel yağlar tüketim miktarları (bin ton)

Ülkemizde, şekil 1.9'da görüldüğü gibi endüstriyel yağ kullanımının 2021 yılında 2020 yılına kıyasla %14,23 artışla toplam 227.536 ton olarak gerçekleştiği hesaplanmıştır. 2019 yılında piyasaya sunulan toplam motor ve şanzıman yağ miktarı 206.000 ton iken bu miktarın %60'nı atık motor yağı düşünüldüğünde yaklaşık olarak 123.600 ton atık toplanması gerekmektedir. Fakat ülkemizde 2019 yılında kayıt altına alınarak toplanan atık motor ve şanzıman yağ miktarı ortalama 20.946 ton, buda yaklaşık toplam atık ve şanzıman yağının %17 sini oluşturmaktadır (https://www.petder.org.tr., 2021). Geri kalan ve kayıt altına alınamayan 102.654 ton atık sanayi yağın durumu hakkında herhangi bir kayıtsal veriye rastlanılmaması ve bu verilerin 2021 yılına göre bir miktar daha artışa neden olması hem ülke için bir enerji kaybı hem de çevresel faktörler açısından endişe verici durumların ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

1.4. Atık Plastiklerin Yapıları ve Değerlendirme Alanları

Yunancada poli "çok'', mono "tek'' ve meros "parça'' anlamına gelmektedir. Polimerler, monomer adı verilen basit yapıdaki küçük moleküllerin tekrarlanması ile oluşan, uzun ve zincirli bileşikler olarak tanımlanır. Monomerler kimyasal bağlar ile birbirine bağlanarak polimerleri oluştururlar ve polimerler, monomerlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden farklı özellikler sergilerler. Polimerler, doğal kauçuk, yün, pamuk ve ipek gibi doğal olanlar ve polipropilen (PP) ve polietilen (PE) gibi sentetik polimerler olmak üzere ikiye ayrılır. Plastiklerin ana girdisi petrol ve doğal gazdır. Dünya'da üretilen petrol ve doğal gazın belli bir miktarı plastiğe dönüştürülmektedir. Plastikler, genellikle petrol rafinerilerinde ham petrolün işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerin belirli sıcaklık ve basınç altında, katalizör madde eşliğinde kimyasal reaksiyonu sonucu elde edilir. Plastiklerin günümüzün her alanında kullanılması, atık miktarının da her geçen gün kaçınılmaz olarak artması anlamına gelmektedir (Kayılı ve ark., 2020).

Polietilen (PE): Evlerimizde en çok kullandığımız plastik türüdür. Çamaşır suyu, deterjan ve şampuan kutuları, motor yağı kutuları, çöp torbaları gibi birçok kullanım alanı vardır. Geri dönüştürülmüş PE'den deterjan şişeleri, çöp kutuları ve benzeri ürünler, poliolefin polimer ailesine aittir. Yoğunluğa ve dallanmasına göre sınıflandırılır (Arıkan, 2007). 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 oluşmaktadır. Kendi içinde alçak yoğunluklu polietilen ve yüksek yoğunluklu polietilen olmak üzere iki gruba ayrılır (Kılıçkalkan, 2012).

Polietilentetraflar (PET): Kulanım alanları hafif ve dayanıklı olmaları nedeniyle genellikle su, meşrubat ve yağ şişelerinin ambalajlanmasında kullanılır. Atık Polietilentetraftalat'lardan sentetik elyaf ve dolgu malzemesi olarak değerlendirilir.

Uygulama alanı olarak daha çok gazlı içecek şişelerin ambalajlanmasında PET ideal bir malzemedir. Çünkü bu şişeler gerdirme ve şişirme kalıplama süreci ile üretilirler. Özellikle diğer plastiklerle kıyaslandığında tercih edilmesinin en önemli sebebi ısıya dayanıklı ve gaz bariyer özelliği çok daha iyi olmasındandır. Yüksek derecede sıcaklıklarda hızla soğutulduğunda katılaşma özelliğine sahip olmasının yanı sıra, eritilmiş PET 'inin soğuma işlemini yavaş gerçekleştirildiğinde ise kristal hale geçer. Kristalleşme sıcaklığına kadar PET ısıtılırsa sertleşerek mat beyaz bir renk alır. Bu Kristal PET'leri yaklaşık 255 °C'de eritmek mümkündür. Mutfak fırınına girebilen kapların üretiminde kullanılan Kristal PET (CPET) termoform süreci sırasında "ısı ile sabitleme" adı verilen bir süreç uygulanır. CPET'ten üretilen plastik levha kristalleşmeyi engellemek üzere hızlı biçimde soğutulur ve daha sonra levha yeniden ısıtılarak proses yöntemi ile şekillendirilir. İşlem sonucunda ürün, beyaz ve ısıya dayanıklı bir yapıya dönüşerek 220 °C'ye kadar çıkan sıcaklıklara dayanabilmektedir (Arıkan, 2007; Kılıçkalkan, 2012).

Polivinilklorür (PVC): Sağlık ve kozmetik ürünlerindeki bazı kimyasal maddelerin ambalajlarında kullanılır. Kullanılmış ve atık durumdaki bu PVC'lerden kirli su boruları, marley ve çeşitli dolgu malzemeleri üretilmektedir.

PVC dünyada polietilen ve polipropilenden sonra en yaygın kullanılan üçüncü plastik hammaddesidir. Geçmişte inşaatlarda kullanılan klasik demir ve ahşap yerine, boru ve pencere profilleri olarak kullanılmaktadır. Çünkü PVC'ler maliyet avantajı, kolay işlene bilirlik, yangın ve aleve dayanıklılık, suya dayanıklılık, uzun ömürlülük, geri dönüştürüle bilirlik, kolay tamir edilebilirlik, hafiflik, esneklik, şeffaflık ve sağlamlık tercih edilme nedenlerindendir. Temel olarak iki gruba ayrılır; bunlar polivinil klorür (PVC), Vinil klorür monomerin (VCM) polimerizasyonu olarak ifade edilir. PVC'ler genel olarak teknik üstünlükleri ve ucuz olması nedeniyle inşaat sektöründe (sulama ve pis su boruları, pencere profili, panjur, kapı, duvar, çatı kaplama malzemeleri, zemin vb.) demir, bakır, ahşap gibi geleneksel yapı ürünlerinin yerini almaktadır. Ayrıca elektrik kablo yalıtımlarında kullanılan kauçuğun yerine geçen birçok uygulamada kullanılmaktadır. Farklı boru bağlantı parçaları, yer döşemesi, kenar bandı vb. alanlarda

S-Pvc (Süspansiyon Pvc) kullanılırken, suni deri, deri tabakası ve köpük tabakası, yer döşemesi, kumaş kaplama branda oyuncak bebek, top, trafik konileri plastizol ve matbaa mürekkep gibi alanlarda ise E-PVC (Emülsiyon PVC) kullanılır (Yüce ve Kılıç, 2014).

Polikarbonat (PC): Termoplastiklerin özel bir grubunu oluşturan polikarbonatlar işlenmesi, kalıplanması, ısıl olarak şekillendirilmesi ve işlenmesi kolay olduğundan modern imalat sektöründe çok geniş kullanım alanına sahiptirler. Polikarbonatlar'ın ışık geçirgenliği, şeffaf yapıda olması ve dayanıklılıklarından dolayı, endüstri ve laboratuvarlarda olduğu kadar ev eşyalarında da yaygın olarak kullanılırlar. Koruma amaçlı parçaların yapımında (Bankalar ve bazı binalarda kırılmayan veya ışığı yansıtan pencereler gibi), gözlük ve güneş gözlüğü camları, CD (kompakt disk), otomobil far camları ve kurşungeçirmez cam yapımı gibi güvenlik amaçlı birçok yerlerde kullanılırlar (Arıkan, 2007). Darbe dayanımı yüksek olmasına rağmen çizilme direnci düşüktür. Bu nedenle polikarbonata sert bir kaplama uygulanır. Aşırı sıcaklığa daha uzun süre dayanmaları, oldukça şeffaf olması, birçok cam türünden daha iyi ışık geçirgenliğinin olması diğer termoplastik gruplardan farklı kılmaktadır. Sert kaliteli malzemeler genel olarak yüksek moleküllü kütleye sahiptirler ve işlenmesi çok daha zordur. Çoğu termo plastikten farklı olarak polikarbonatlar, çatlama veya kırılma olmaksızın büyük plastik deformasyonlara maruz kalabilir. Yani düşük sıcaklıklarda metal levha teknikleri ile eğilme ve bükülme işlemleri daha kolay şekillendirilebilir. Dar yarıçaplı keskin açılı kompozelerde bile ısıtma gerekli olmayabilir. Bu, onu metal levhadan yapılamayan şeffaf veya elektriksel olarak iletken olmayan parçalara ihtiyaç duyulan prototipleme uygulamalarında değerli kılar (Arıkan, 2007).

Polipropilen (PP): Deterjan kutularının kapakları, margarin kapları gibi ambalaj malzemeleri için üretilir. Ayrıca dayanıklı olması ve geri dönüştürüle bilirliği sayesinde otomotiv sektöründe de önemli bir kullanım alanı bulmaktadır. Geri dönüştürülmüş PP'den sentetik halı tabanı, çeşitli plastik banyo mutfak ve kırtasiye malzemeleri üretilir. Polipropilen (PP) hammaddesi kimyasallara karşı direnç ve bariyer özellikleri bakımından yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) hammaddesine benzerdir. Fakat PP'nin fiziksel özellikleri, kopolimerleştirme süreci sayesinde geliştirilmiştir. Üç farklı PP grubu vardır. Bunlar; homopolimer, blok kopolimer ve random kopolimer PP'dir (Arıkan, 2007).

1.4.1. Atık plastiklerin değerlendirme alanları

1.4.1.1. Atık plastiklerin çimento fabrikalarında değerlendirmesi

Çevre bilincinin artması ve ekonomik faydalar nedeniyle son yıllarda ülkeler geri dönüşüm ile ilgili yeni stratejiler geliştirmeye başlamıştır. Endüstriyelin hızlı bir şekilde büyümesi ve kentleşme ile birlikte her yıl üretilen atık plastik miktarında kontrol edilemez bir artış yaşanmaktadır. Bu plastik atıkların çevre ve insan sağlığı üzerinde çok olumsuz etkilerini tüm dünya görmeye başlamıştır. Bu krizi aşmak için dünya ülkeleri plastik atıkların geri dönüşümü tesislerini kurarak gerçekleştirmektedir. Ancak üretime kıyasla çok küçük bir kısmı geri dönüştürülebilir geri kalanı çöplüklere atılmaktadır (Hopewell ve ark., 2009).

Çöplüklerdeki bu plastiklerin topraktan ayrışması yaklaşık 1000 yıl sürer, ayrıca yakarak kurtulmaya çalışırsak kükürt dioksit ve karbondioksit gibi zehirli gazları da açığa çıkar (Awuchi ve ark., 2019). İnsanların günlük hayatta kullandığı her türlü plastik zamanla çöpe dönüşüyor. Bu plastik atıkların birkaç tonu, depolamak için geniş alanlara ihtiyaç duyar ve bir kerede tamamen geri dönüştürülemez. Sadece çok küçük bir kısmı geri dönüştürülür. İnşaat sektöründe plastik atıkların kullanılması, atık yakmada kullanılan düzenli depolama alanlarının oranını en aza indirmek için çevresel bir çözümdür. Halihazırda plastiğin inşaat sektöründe kullanılmasına yönelik bir yaklaşımın ortaya çıkması büyük avantaj sağlayacaktır. İnşaat sektörünün en önemli girdisi betondur. Son yıllarda yoğun talep nedeniyle beton üretiminde kullanılan hammadde kıtlığı görülmektedir. Dolayısıyla plastik atıkların betonda hammadde olarak kullanılması her iki sorunu da bir ölçüde çözebilir. Plastik, sürdürülebilir kalkınmayı desteklemek için betonda ince agrega veya sıradan Portland çimentosunun yerine kullanılmak üzere öğütülebilir. Doğal agrega kıtlığı ve plastik atık depolama sorunu çözülebilir. Plastik, plastiğin geri dönüştürülememesi, kum talebini karşılama ve CO_2 emisyonlarını düşürme gibi sorunları çözmemize yardımcı olabilecek bazı inşaat alanlarında kullanım için umut verici bir malzemedir (Tao ve ark., 2021). Geri dönüşümün yenilikçi yollarından biri, mevcut inşaat malzemeleriyle birlikte (çimento yerine) yapıştırıcı olarak atık plastiğin kullanılmasıdır (Van ve ark.,2003; Hanle ve ark., 2004). Karbondioksit emisyonunun önemli bir kaynağı olan çimentonun alternatif malzeme türleri ile ikame edilmesi, çevre dostu bir yaklaşımın önünü açmaktadır (Sharma ve ark., 2016; Rai ve ark., 2012). Atık plastikler yol inşaatı uygulamaları ile birlikte beton

yapılarda dolgu maddesi olarak; Gana, Cezayir ve Hindistan gibi gelişmekte olan ülkelerde uygulanmaktadır. Düşük ve yüksek yoğunluklu polietilen gibi farklı plastik türleri ise çeşitli inşaat malzemelerinde kullanıma başlanmıştır (Nouali ve ark.,2020; Mohan ve ark., 2021).

1.4.1.2. Atık plastiklerin asfalt olarak değerlendirmesi

Plastiğin esnek özellikleri dayanıklılığın artma nedeni olduğu düşünülüyor. Ağırlık altında ezildikten sonra geri tepme yeteneği, plastiğe kendi kendini onarma özelliğine benzer bir özellik kazandırıyor. Fakat asfalt yolların böyle bir özelliği olmadığı gibi, asfaltın hava koşullarına dayanıklı olma, çatlamayı ve çukur oluşumunu azaltma gibi temel özellikleri plastikte de var. Plastik gibi alternatif malzemelerin kullanıldığı geri dönüşümlü yollar, genelde %5 ile %20 veya daha fazla granüle geri dönüştürülmüş plastik içerir, karışımın kaya agrega bileşenini tamamlayan veya değiştiren malzeme, yapısal olarak üstün bir kaplama malzemesi ve daha uzun ömürlü yol yatağı üretir. Bu aynı anda iki soruna çözüm üretiyor; hem atık maddeleri çevreye zarar vermek yerine yeniden kullanıma sokuyorlar, hem de asfalt yol yapımında kullanılan bitüm miktarını azaltıyorlar (Yay, 2017).

1.4.1.3. Atık plastiklerin granür haline getirerek değerlendirmesi

Mevcut geri dönüştürülmüş atık plastik uygulamalarında asfaltın viskozitesi ve tekerlek izi, yorulma çatlaması, termal çatlama ve asfalt karışımlarının nem direnci gibi uygun mühendislik performans parametrelerine dayalı olarak optimum atık plastik dozajı belirlenmelidir. Uygun plastik miktarı belirlenmemişse, kaplamanın performansı üzerinde olumsuz etkiler meydana gelebilir. Plastik atıklar, kuru (agrega ikamesi) veya ıslak (bağlayıcı değiştirici, genişletici veya ikame) yöntemlerle asfalt karışımlarına dahil edilir. Genel olarak, plastik atıkların asfalt karışımlarına dâhil edilmesi, sertlik, tekerlek izi ve yorulma direnci gibi performans parametrelerinde iyileştirmeler göstermiştir. Genel olarak, atık plastikleri asfalt karışımlarına geri dönüştürme kapasitesi, depolamayı en aza indirecek, yenilenemeyen kaynaklara bağımlılığı azaltacak ve asfalt kaplama inşa seçeneklerini çeşitlendirecektir. (Wu ve ark., 2021).

Kauçukları granül haline getirmek için öğütme işlemlerinden geçirilerek uygun boyutlalara getirilip içerisindeki lif ve çelikler ayrıştırılarak granül elde edilir (Zhang ve

ark., 2009). Mekanik ve kriyojenik olarak öğütme işlemini iki şekilde yapılmaktadır. Mekanik öğütmede öncelikle yaşlarına ve bileşimlerine göre ayırdıktan sonra kesme, ayırma, öğütme adımları ile yaklaşık 5cmx5cm boyutlara getirilir. Bu parçalar ön doğrayıcı ve öğütücü arasına yerleştirilen mıknatıslarla daha küçük parçacıklara ayrıştırılmış olan granülün içerisindeki çeliklerin %90-95'ini, granülün içerisindeki tekstil lifleri özel tasarlanmış dönen bıçaklarla ayıklanarak ayrıştırır. İşlemin sonunda öğütücüden geçen lif ve çeliklerden ayrıştırılan granüller yaklaşık olarak 1,7 mm'lik kırıntı haline gelmiştir. Yapılan bu son işlemde granülün içerisindeki kirleticilerin yaklaşık %98-%99'u uzaklaştırılmış olup, yüksek kaliteli kauçuk parçacıkları elde edilmiştir (Wu ve ark., 2009). Kriyojenik öğütme işleminde ise lastiği bir bütün olarak sıvı azot kullanılarak -80ºC'nin altında dondurulması işleminden sonra çekiçli değirmende içindeki kauçuk öğütülerek içerisindeki çelik ve tekstil kirleticileri ayrıştırılır. Bu yöntem mekanik öğütmeye göre çok daha az enerji ve makine ve donanım gerektirdiğinden daha ekonomiktir (Scaffaro ve ark., 2005; Yoon ve ark., 2008). Plastik üretiminde aşınma dayanımını artırmak için işlenmemiş kauçuğa, kauçuk kırıntısı %5-%15 oranlarında eklendiğinde karışım özelliklerinin iyileşmesine, kompozitlerin ısıl ve mekanik dayanımını arttırdığı saptanmıştır (Zhang ve ark., 2008). Geri dönüşüm ile öğütülmüş kırıntı halinde atık araç plastikleri (lastikleri) kullanıldığında ikincil malzemelerde düşük çözeltilerde dahi karışımın özelliklerinin iyileştiği görülmüştür (Scaffaro ve ark., 2005).

1.4.1.4. Atık plastiklerin granür haline getirilerek değerlendirmesi

Motorlu araçlarda yakıt olarak kullanabilecek atıklardan biri de günlük hayatta kullanmış olduğumuz atık plastiklerin geri dönüşümü ile değerlendirilebilir. Birçok endüstriyel alanlarda kullanılan plastikler; ağırlıklarının hafif, verimliliklerinin yüksek, ömürlerinin uzun olmalarından dolayı tercih edilmektedir. Petrol türevlerinden üretilen plastikler temel olarak hidrokarbonlardan oluşmalarının yanında antioksidan ve boyar madde içermektedirler. Çevre için çok ciddi tehlikeler oluşturmakta olan bu atık plastiklerin etkili bir ve faydalı bir şekilde bertaraf etme yöntemleri henüz tam uygulanmamaktadır. Biyolojik olarak parçalanmayan karbon, hidrojen ve nitrojen gibi diğer farklı elementli ürünler içerirler. Biyolojik olarak doğada parçalanamamalarından dolayı ciddi atık problemlerine sebep olduğunda birçok araştırmacı tarafından çeşitli

araştırmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir (Williams ve ark., 1999; Murugan ve ark., 2008; Mani ve ark., 2009).

Günümüz dünyasında piroliz yöntemiyle atık plastiklerden üretilen yakıtlar, mevcut yakıtlar arasında ilgi odağı haline gelmiştir. Çünkü atık plastikler piroliz tekniği ile sıvı veya gaz içerisindeki enerji içeriğini geri kazandığı için teknik olarak en ideal atık geri dönüşüm olarak düşünülmektedir (Wongkhorsubve ark., 2013). Piroliz tekniği enerji kazanmada kullanılmakta ve ana ürün olarak petrol türevi yakıtlara benzer sıvı yakıtlar verebilmektedir (Murugan ve ark., 2009; Syamsirove ark., 2014). Yapılan araştırmalarda atık plastiklerden elde edilen yakıtı dizel motorlarda herhangi bir modifikasyon olmadan kullanılabileceğini göstermektedir (Mani ve ark., 2011).

1.4.1.5. Atık plastiklerin enerjiye dönüşümü olarak değerlendirilmesi

Enerji üretmek amacıyla atık plastiklerin geri dönüşümünün değerlendirmesi konularında araştırma ve geliştirme çalışmaları hız kazanmış olup çeşitli yöntemler geliştirilmiş olup bunlar;

Atık plastikleri yakma yöntemi ile enerjiye dönüşümü; Atık plastik miktarının azaltılması ve daha verimli bir hale getirilmesi için gelişmiş ülkeler başta Almanya ve Japonya olmak üzere birçok ülkede atık yakma tesisleri kurulmuştur. Yüksek sıcaklıklardaki fırınlarda enerji olarak kullanılan kok kömürü, gaz ve fuel oil tüketimini azaltılmaya çalışılmıştır. Redükleyici bu elemanlar yerine plastik atıkların konulması çalışmaları 10-15 yıllık bir geçmişe sahiptir (Tukker ve ark.,1999). 1995 ve 1996 yılında Almanya ve Japonya'daki ticari firmalar yüksek fırında atık plastik kullanım sistemini faaliyete geçirmişlerdir. Plastikler yapı olarak karbon ve hidrojenden oluştuklarından kok yerine redükleyici eleman olarak fırına verilerek, gazlar ($CO+H_2$) üretecek şekilde parçalanır ve bunlar fırın içinde yukarı doğru yükseltgenerek demir cevheriyle reaksiyona girerler. Redüksiyon reaksiyonlarını takiben çelik fabrikası içinde ısıtma fırınları ve güç üreteçlerinde gaz yakıtı (yaklaşık 800 kcal/Nm^3) olarak yeniden kullanılırlar. Termik santrallerde yakarak hem atıklar ortadan kaldırılmakta hem de elektrik enerjisi üretilmektedir (Ogaki ve ark., 2001).

Atık plastikleri gazlaştırma yöntemi ile enerjiye dönüşümü; Elektriksel bozunuma olarak kabul edilen plazma teknolojisi, elektrik akımını bir gaz içerisinden geçirerek aralıksız bir elektrik arkı oluşturma prosesini kapsar. Plazma fazının oluşması için sistemdeki elektriksel özdirençten dolayı gaz molekülleri iyonlarına ayrışarak bir gaz

akışının oluşmasını sağlar ve yüksek seviyede ısı açığa çıkar. Gaz molekülleri 2000 ºC'de atomlarına ayrışmaya başlar ve sıcaklık 3000 ºC'ye yükseldiğinde ise gaz molekülleri elektron kaybederek iyonlaşırlar. Bu proses sonucunda oluşan gaz, serbest elektrik yükleri ile metallerinkine yakın bir elektriksel iletkenlik verir (Topal, 2015). Plazma teknolojisi diğer bertaraf ve yakma yöntemlerine göre açığa çıkardığı ürünleri sayesinde çevreci bir teknolojidir. Plazma yakma teknolojisindeki gazlaştırma prosesinde açığa çıkan ağır metaller reaktörün en alt bölümünde çamur haline gelmekte ve dışarıya herhangi bir ağır metal çıkışı olmamaktadır. Enerji üretiminde plazma teknolojisi ile yapılan pek çok teorik ve uygulamalı araştırmalarda katı atık plastiklerinden elde edilen elektrik enerjisinin maliyeti yüksek olduğu göstermektedir (Gomez ve ark., 2009). Kömür kullanan termik santrallerde enerji üretimindeki maliyetleri düşürmek için plazma teknolojisi ile birlikte uygulanmasında fayda vardır. Bununla ek yakıt kullanımının önüne geçirilmekle birlikte alev stabilizasyonunun garanti altında tutulması sağlanarak enerjinin hızlı ve yüksek seviyede sağlanması bakımından çeşitli avantajlar sağlamaktadır (Topal, 2014; Messerle ve ark., 2014).

Atık plastikleri sıvılaştırma yöntemi ile enerjiye dönüşümü; Atık plastiklikler ilk olarak 1996 yılında Japonya'da Niigata şehrinde atık plastikleri sıvılaştırma prosesi ile yağ ve yakıta dönüştüren ilk ticari işletmedir. Nüfusu yaklaşık 500.000 olan Niigata şehrindeki Niigata plastik Sıvılaştırma Merkezi evsel atıklardaki plastikleri sıvılaştırır. Tesis yıllık 6000 ton plastiği işleme kapasitesine sahip olup diğer işletmelerdeki tesislerde yakıt olarak kullanılmıştır (Yanık ve ark., 2010)

Atık plastikleri piroliz yöntemi ile enerjiye dönüşümü sağlamak; Piroliz, organik maddenin, inert bir ortamda (yani oksijen yokluğunda) yoğunlaşmayan gazlar, yoğunlaşabilir sıvılar ve katı bir artık yan ürün, biyokömür veya odun kömürüne termokimyasal ayrışmasıdır. Plastik atıkların piroliz yöntemiyle farklı sıcaklıklarda (300–900°C) oksijensiz ortamda üretilen sıvı yağın termal bozunmasıdır (Rehan ve ark., 2017). Piroliz sürecini iyileştirmek ve süreç verimliliğini artırmak için farklı türlerdeki katalizörler kullanılır. Bu katalizörler proses verimliliğini arttırmada, spesifik reaksiyonu hedeflemede ve proses sıcaklığını ve süresini azaltmada çok kritik bir role sahiptirler. Plastik piroliz işlemlerinde çok çeşitli katalizörler kullanılmıştır, ancak en yaygın kullanılan katalizörler ZSM-5, zeolit, Y-zeolit, FCC ve MCM-41'dir plastik atıkların katı asit katalizörler üzerinde pirolizi sırasında katalitik reaksiyon, kraking, oligomerizasyon, siklizasyon, aromatizasyon ve izomerizasyon reaksiyonlarını içerebilir. Piroliz metotlarından bazıları; (Serrano ve ark., 2012; Ratnasari ve ark., 2017).

Analitik piroliz*:* Termal enerji tarafından indüklenen bir kimyasal bozunuma reaksiyonu/reaksiyonları ile bir malzemenin veya kimyasal işlemin inert bir atmosferdeki karakterizasyonudur.

Filament(şerit) pirolizörü*:* Numunenin pirolize olmak için dirençli bir şekilde ısıtılan bir metal filament (şerit) üzerine yerleştirildiği bir pirolizör metodudur.

İzotermal: piroliz*:* Sıcaklığın esasen sabit olduğu bir piroliz. En basit analiz izotermal pirolizdir. Birçok uygulamadaki numuneler için belirli bir süre boyunca belirlenen sıcaklığa hızla ısıtılır ve piroliz ürünleri analiz edilir.

Fraksiyonlu piroliz: Numunenin özel fraksiyonlarını incelemek için aynı numunenin farklı sıcaklıklarda farklı zamanlarda piroliz edildiği bir metottur. Fraksiyonlu pirolizde, aynı numune parçası, ara periyotlarla oda sıcaklığından 175ºC 'ye kadar farklı sıcaklıklarda tekrar tekrar pirolizlenir. Piroliz ürünlerinin oluşum hızları büyük ölçüde sıcaklığa bağlı olduğundan, ilk etapta daha düşük sıcaklıkta kolayca oluşan ürünlerin baskın olacağı anlamına gelir. Bu ürünler daha sonraki piroliz işlemlerinde daha yüksek bir sıcaklıkta gerçekleştiğinde numuneyi terk etmiş olacaktır. Daha sonra diğer piroliz ürünlerinde çıkmaya başlayacaktır. Bu İşlem birkaç farklı sıcaklıklarda tekrar edilerek numunenin özel fraksiyonlarını ortaya çıkarılabilir.

Sıralı piroliz*:* Aynı başlangıç ve aynı koşullar altında (nihai piroliz sıcaklığı, sıcaklık yükselme süresi ve toplam ısıtma süresi) tekrarlı olarak yapılan bir piroliz metodudur. Sıralı piroliz, oluşum hızlarının belirlenmesini mümkün olduğunca basit ve doğru hale getirmek için özel olarak hazırlanmış bir yöntemdir. Aynı numune parçası tekrar tekrar aynı sıcaklığa kadar pirolize edilir, ancak o kadar kısa bir süre içinde maddenin tamamı tek bir piroliz adımında bozunmaz. Zaman sabiti, toplam piroliz süresine karşı sonraki tüm adımların toplam piroliz ürünlerinin miktarı ile belirlenir. Formasyon oranları, örnek numunelerdeki farklılıklardan kaynaklanan yanlışlıklar tamamen ortadan kaldırılarak analizleri doğru bir şekilde belirlenmiş olur.

Sıcaklık yükselme süresi (SYS): Bir pirolizör sıcaklığının başlangıç sıcaklığından son sıcaklığına yükseltilmesi için gereken süre

Sıcaklık zaman profili (SZP): Belirli bir piroliz deneyi veya pirolizör için zamana karşı sıcaklığın grafiksel bir temsilidir (Serrano ve ark., 2012; Ratnasari ve ark., 2017).

1.4.2. Atık plastiklerden elastomerler (kauçuk)

Günlük hayatımızın her alanında yer edinmiş ve özellikle otomobil sektörü başta olmak üzere polimerlerin bir alt grubu arasında moleküllerin dizilişleri ve göstermiş olduğu mekanik davranış açısından bir yapıya sahip olan elastomerler grubunda yer almaktadırlar (Rosen, 1993). Petrol türevli olarak üretilen ve birçok kullanım alanına sahip olan elastomerler günümüz otomotiv sektöründe araç lastiği olarak kullanımı oldukça yüksek bir potansiyele sahiptir. Dünya otomotiv sanayindeki üretim artışına paralel olarak her yıl atık plastik miktarında artmaktadır. Dünyada yıllık bazda yaklaşık 1,5 milyar kadar atık araç lastiği çıkmakta ve buda ağırlıkça 17 milyon tona ulaşmaktadır (Rowhanive ark., 2016). Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 2018 yılı Ömrünü tamamlamış araç lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği ve Uygulama verilerine göre Türkiye'de her yıl yaklaşık 180.000-300.000 ton atık taşıt lastik olduğu rapor edilmiştir (Yakaboylu, 2010; Karabörk, 2012). Otomotiv Oluşan bu atık araç lastiklerinin dünyada olduğu gibi Türkiye'de kontrol altında tutulması, değerlendirilerek geri dönüşümünün sağlanması büyük bir çaba gerektirmektedir. Geri dönüşümleri için bu atık plastiklerin farklı endüstriyel işlemlerinden geçirilerek değerlendirilebilir (Koçak ve ark., 2011).

Küçük binek araçlardaki lastiklerden büyük dev makinalarda kullanılan araç lastiklerine kadar ki lastiklerin içerisinde tüm lastiklerde çeşitli inorganik maddeler, aktif karbon, katalizörler, çelik teller, plastik, naylon bezler vb. sentetiklerle birlikte yüksek sıcaklık ve basınç altında, farklı büyüklüklerdeki kalıplarda eritilerek imal edilir. Değersiz atık durumuna düşen bu plastikler çevre ve insan sağlığı için oldukça tehlikeli hale geldiklerinden bu atıkların değerlendirilmesi hem ekonomik olarak hem de bu tehlikeyi bertaraf edecektir. Farklı birçok fiziksel ve kimyasal metotlar geliştirilerek %30'a kadar karbon, %60 'a kadar sitiren-butadien-isopren kauçuk polimer içeriği ile yüksek kalorifik değerlerinden (7000-8000kcal/kg) dolayı bir yakıttırlar. Aşınma, kopmaya karşı dayanıklı olduklarından yol yapımında asfalta karıştırılarak kullanımının yanı sıra enerji santralleri, çimento fabrikalarında 1300-1400 ^{o}C' de yakılarak ısı ve elektrik üretiminde faydalanılmaktadır. Ayrıca inşaat sektöründe, park bahçelerdeki yürüyüş koridorlarında, yol direncini esnek ve yumuşak döşemelerin imalatlarında kullanılmakta olup yeni kullanım alanları içinde araştırmalar yapılmaktadır (Sugözü ve ark., 2009).

1.4.2.1. Elastomer (kauçuk) atıkların geri dönüşüm yöntemleri

İçeriğinde petrol ürünlerini barındıran bu plastik atıkların yeniden kullanımı veya doğal kaynakların kazanımı konusunda oldukça önemlidir. Çünkü elastomer zincirler arasındaki çapraz bağlanma nedeni ile termoset malzemeler olduğundan yeniden üretilemezler (Karaağaç ve ark., 2007; Yang ve ark., 2004). Atık durumunda bulunan bu elastomer grubunda bulunan plastiklerin geri kazanımı ile enerji tasarrufu sağlanarak ülke ekonomisine bir katkı sağlamanın yanında atıktan kurtulma ve depolama sürecinde ortaya çıkacak sorunlar da önlenebilir. Geri dönüşüm, yalnızca sınırlı petrol kaynaklarımızın korunmasının yanında çevre korumaya yönelik açısından da önemlidir (De ve ark., 2006). Yaklaşık olarak %35'i doğal, %65'i sentetik olan bu atık araç lastiklerinin geri kazanımını sağlayabilmek ve en uygun olan yöntemi kullanmak için plastik içeriğindeki hammaddenin fiziksel ve kimyasal bileşimlerinin bilinmesi gerekmektedir (Sugözü ve ark., 2009). Elastomer grubunda atık olarak en fazla atık araç lastikleri bulunmaktadır. Atık araç lastiklerinin ortalama bileşimi Çizelge 1.1'de verilmiştir **(**Batır, 2002).

Çizelge 1.1. Atık otomobil plastiklerin (lastik) ortalama bileşimi

Bileşen	**Miktar, % (Kütlece)**
Kauçuk	47
Karbon siyahı	21,5
Metal	16,5
Katkı maddeleri	7,5
Tekstil elyaf	5,5
Çinko oksit	1,0
Kükürt	1,0

Ekonomik bir yöntem olan ve hiçbir işlem görmeden yığma binalardaki duvarların düzlem dışı dayanımını artırmak için atık araç lastikleri yardımıyla iyileştirilmesi hedeflenmiştir (Türer ve ark., 2005). Atık lastiklerin oluşturan malzemeler (kauçuk, çelik ve lifleri) ayrıştırarak yeniden bir malzeme olarak çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar; kimyasal ayrıştırma, mekanik öğütme, termomekanik işlemler, ultrasonik ve mikrobiyal teknikler kullanılmaktadır (Karaağaç ve ark., 2007; Deve ark., 2006).

Atık lastik yığınlarını azaltmak için yeniden kaplama yöntemi kullanılarak yeni lastiklere göre daha ucuz olmakla birlikte, güvenlik ve performans standartlarında yeni

lastiklere benzer özellikler göstermektedir. Kaplama yöntemi ile hammaddeyi yeniden değerlendirerek ülke ekonomisine katkı sağlamakta ve çevre açısından oluşacak lastik yığınlarını azaltmaktadır.

Atık lastikleri öğütme işlemiyle içerisindeki çelik ve tekstil liflerinden konveyör yardımıyla parçalayıcıya göndererek yaklaşık olarak 4cmx4cm boyutlarında parçacıklar halinde kesilir. Daha sonra öğütücüye yerleştirilmiş olan mıknatıslarla içerisindeki çelikleri %95'i kadar uzaklaştırılır. Doğrayıcı bu granülleri daha küçük parçalara yaklaşık 5mm kadar öğütmeye devam eder. Granülün içerisindeki tekstil liflerini özel tasarlanmış dönen bıçaklarla ayırarak, öğütme işlemi sonunda yaklaşık 1,5 mm' lik kırıntı haline getirilmiş içerisindeki kirleticilerden ayrışmış kaliteli kauçuk parçacıkları elde edilmiş olur. Bir diğer öğütme yöntemi ise kriyojenik öğütme; sıvı azot kullanarak malzemeyi -80 ^{o}C'nin altında dondurularak çekiçli değirmende parçalanmasıyla kauçuk üretilip içerisindeki çelik ve liflerden ayrılıştırılmasıdır. Bu yöntem mekanik öğütmeye göre az ekipman ve az enerji gerektirdiğinden daha ekonomiktir (Wu ve ark., 2009; Scaffaro ve ark., 2005; Yoon ve ark., 2008). Atık lastiklerin enerjilerinden yararlanmak için ısıl değerlendirme ile yakma işlemi yöntemidir (Islam ve ark., 2009; Huang ve ark., 2009; Xiao ve ark., 2008). Yüksek ısıl değere sahip ve yaklaşık %90'dan fazlası organik olan araç lastikleri çimento fabrikalarında, enerji santralleri ve çeşitli tesislerde yakıt olarak kullanılmaktadır. Fakat yanma sonucunda oluşan gazların çevreye verdiği zararlardan dolayı kullanımları sınırlandırılmıştır (Wu ve ark., 2009).

1.4.2.2. Elastomerlerin (kauçuk) piroliz yöntemi ile geri kazanımı

Atık plastiklerin hammadde olarak değerlendirilmesi için kullanılan piroliz yöntemi, ısı etkisi ile organik kimyasal bağların kırılması prosesidir. İkincil yakıtların üretiminde kullanılmak üzere tanımlanan piroliz yöntemi; biyokütle olarak saklanması, depolanması zor ve pahalı olan bu atıkların daha kolay bir şekilde taşınabilmesi, depolanması ve yakılması için sıvı ürünlere piroliz yoluyla dönüştürülebilirler (Apaydın Varol, 2007). Piroliz yöntemi ile atık plastiklerden elde edilen katran, pirolitik yağ sıvısı ve yüksek ısıl değere sahip gaz elde edilir. Karbonca düşük olan bu sıvılar yakıt olarak kullanılabildiği gibi çeşitli katkı maddeleri ile iyileştirmeler yapılarak aktif karbon haline getirilebilir. Ürün prosesini elde etmek ve gerekli olan enerjiyi karşılamak için ısıl değere sahip olan gaz ürününü kullanılabilir. Farklı çalışma koşullarında piroliz prosesi sonucunda elde edilen pirolitik yağ verimi kütlesel olarak %58'e kadar çıkabilmektedir.

Üst ısıl değeri 42 MJ/kg'lık enerjiye sahip olan pirolitik yağı başarılı bir şekilde yakılabilir ve kimya endüstrisinde kullanılabilir. Modern bir araç lastiğinde ortalama 25 varan sayıda bileşenden ve 12 farklı plastik hamuru bileşimi içermektedir. Her bir bileşende farklı malzeme kullanılmaktadır. Yol yüzeyinden başlanıp içeriye doğru incelendiğinde; (https://www.continental-tires.com).

- Sırt – doğal ve sentetik kauçuk.
- Eksiz üst sırt katları – kauçuk kaplama naylon.
- Kuşak katları için çelik kord – yüksek mukavemetli çelik kordalar.
- Tekstil kord katı – kauçuk katkılı rayon veya polyester.
- İç astar – bütil kauçuk.
- Yanak – doğal kauçuk.
- Topuk takviyesi – naylon veya aramid.
- Topuk profili – sentetik kauçuk
- Topuk teli demeti – kauçuk kaplı çelik tel

Pirolizi reaksiyonunu etkileyen en önemli parametreler sıcaklık, ısıtma hızı, reaksiyon süresi, basınç, parçacık boyutu, piroliz ortamı, katalizör tipi ve katalizör/hammadde oranı olduğu için Çizelge 1.2'de bu parametrelerin atık lastik pirolizi üzerine etkileri incelenmiştir (Uzun, 2005).

Çizelge 1.2. Atık plastik malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Plastik (Lastik) Malzemelerin Özellikleri			
Cinsi	**Simge**	**Isıya Karşı Direnci**	**Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri**
Nitril Kauçuk	Ni	$-40^0C + 110\ ^0C$	Keçe yapımında en çok kullanılan malzeme olup benzin mazot çeşitli gres ve sanayi yağlarına karşı dayanıklıdır.
Silikon Kauçuk	Si	$-60^0C + 200\ ^0C$	Oksijen ve ozonun etkilerine karşı direnci yüksektir yırtılmaya karşı direnci zayıftır.
Fluorelostomer (Viton)	Ri	$-30^0C + 400\ ^0C$	Sanayi yağlara greslere ve bunların katkı maddeleri olanlarına uçak motor yağlarına çeşitli organik solventlere ve yüksek sıcaklığa dayanıklıdır.
Poliüretan	Ur	$30^0C + 90\ ^0C$	Su, yağ ve karışımlarına hava ve ozona karşı dirençli yüksek basınç kopma yırtılma ve aşınmaya dayanıklılığı mükemmeldir.
Neopren Kauçuk	Ka	$-20^0C + 120\ ^0C$	Atmosfer şartlarına ozona suya ve tuzlu suya sıvı gaz halindeki petrol ürünlerine dayanıklıdır.
Etilen Propilen Kauçuk	Epdm	$-45^0C + 150\ ^0C$	Dış etkenlere, ozona hidrolik fren yağlarına soğuk ve sıcak suya dayanıklılığı iyidir. Tuzlu suya dayanıklılığında vardır.
Tabii Kauçuk (Rst)	T	$-60^0C + 90\ ^0C$	Asit ve bazlara alkole soğuk ve sıcak suya dirençlidir.
Genel Özellikler		Lastik kalınlığındaki 1000 mm'lik boyda kalınlık toleransı±0.5 mm	
		40 Shore ve üstündeki lastik sertliklerinde ±0.5 shore tolerans vermek gerekir.	
		40 Shore un altındaki lastikler süngerimsi bir görünüm alırlar.	

1.4.3. Atık sanayi yağların genel yapıları

Farklı çalışma koşulları nedeniyle ulusal ve uluslararası standartlardaki bir sanayi yağda kullanım sonrasında yoğunluk ve viskoziteleri artmakta, yüzey kayganlaştırması ve yüzeylerdeki asılı kalıcılığı azalmakta, renkleri koyulaşmakta, kokuları keskinleşmekte, köpüklenme artmakta, asit oranı ve içeriğindeki yabancı madde miktarı (metal, toz, karbon, kükürt birikintileri) artmaktadır. Tez araştırmasında atık yağın filtrelenmesinin ardından motorda kullanılmak için hazır duruma getirilip, sonraki aşamada atık sanayi yağ için kritik özellikler incelenmiştir. Atık sanayi yağın kritik özellikleri olarak viskozite ve parlama noktası, yoğunluk ve kükürt değerleri yakıtlar için önemli parametre olduğundan, bu özelliklerin sınırları içerisinde atık sanayi yağına uygun katkı maddeleri katılarak iyileştirmeler yapılıp motor deney setinde kullanılmıştır (Orman, 2019).

1.4.3.1. Atık sanayi yağların elde edilmesi

Atık sanayi yağların oluşumuna iki büyük kaynak göstermek mümkündür. Bunlardan birincisi atık motor (otomotiv) yağları ikincisi ise endüstriyel yağlardır. Her iki grubun kesin olmamakla birlikte kendi aralarında avantaj ve dezavantajlara sahiptirler (Fingas ve ark., 2014).

Bunlar;

- Çalışma ve kullanım periyotlarını göz önüne alındığında atık motor yağlarının değişimi atık endüstriyel yağlara göre daha kısa olduğundan, atık motor yağları atık endüstriyel yağlardan çok daha kolay elde edilebilir.
- Genel olarak motor yağlarını hareketli sistemlerde kullanılırken, endüstriyel yağlar ise daha çok durağan sistemlerde kullanılmaktadır. Bundan dolayı atık motor yağları servis ve sanayi gibi yerlerde değiştirilip toplanırken, atık endüstriyel yağlar ise sistemlerin bulundukları yerlerde değiştirilmektedir.
-Yüksek basınç ve sıcaklıklara maruz kalan motor yağları rengi koyulaştığından bu yağlara siyah atık yağ olarak tanımlanırken, daha rahat koşullarda çalışan endüstriyel yağlara ise temiz atık yağ adı verilmektedir. Diğer bir ifadeyle atık motor yağları atık endüstriyel yağlara göre fazla yıpranmakta ve daha fazla kirlenmektedir.

- Farklı çalışma koşullarına sahip olan bir taşıt motorundaki atık yağlar yol, yük ve ortama göre farklılık gösterirken, atık endüstriyel yağlar ile çalışan makinalar değişken olmayan şartlar altında çalışmaktadır.

Petrol kökenli olan bu iki atık yağlar çok önemli ekonomik ve çevresel değerlere sahiptirler. Bu yağların geri kazanımında kendi içsel döngülerinde birbirlerine bir üstünlüğü veya önceliği yoktur. Bu tez çalışmasında miktar olarak fazla atığa sahip, atık yağ haline gelmiş 10000-15000 km bir değişime gelmiş rodaj yağı olarak adlandırılan atık motor yağı tercih edilmiştir (Orman, 2019).

1.4.3.2. Atık sanayi yağların geri dönüşümü

Atık sanayi yağlar genellikle iki gruba ayrılır: atık sanayi motor (otomotiv) yağ ve atık sanayi endüstriyel yağ, atık motor yağları atık endüstriyel yağlardan kullanım koşullarından dolayı farklı olarak kabul edilir. Çünkü atık motor yağları yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve yanma gibi koşullarda çalışırken, endüstriyel atık sanayi yağlar daha az zorlu şartlarda çalışmaktadırlar. Bu atık endüstriyel yağlar yanmanın olmadığı bir ortamda sadece sıcaklık ve basınca maruz kalmadan kaynaklı bozunumalar meydana gelmektedir. Bu yağlara temiz yağlar (siyahlık olmaması) olarak ifade edilir (www.petder.org.tr., 2018). Sanayi yağlar kullanım sonrası atık yağ olarak toplanır. Bu toplanan yağlar, farklı baz malzemelerden üretilen, farklı katkı maddeleri ile üretilen ve farklı çalışma koşullardaki karakteristiklere sahip olan yağlardır. Atık yağların bu şekilde ayrıştırılması zor ve maliyetli bir iştir. Bu nedenle atık yağları genellikle tek bir özellikte nitelendirilerek geri dönüştürülür (Fingas ve ark., 2014).

1.4.3.3. Atık sanayi yağların kullanım alanları

Atık sanayi yağlarını diğer uygulamalar için yeniden kullanmanın birçok alanları mevcuttur. Atık sanayi yağların popüler bir kullanımı, yağın içerdiği doğal enerjiden yararlanmaktır. Atık sanayi yağı yakılarak kullanabilir bu sadece ısı için değil, bazı durumlarda güç üretimi için de bir yakıt kaynağı olarak kullanılabilir. Atık sanayi yağların yeniden kullanılabilir bir yağ kaynağına dönüşmesi yeniden rafine edilmesi hem giderek daha popüler hem de ekonomik hale gelmiştir. Bu yağlar kirletici maddelerden arındırılır, çeşitli katkı maddeleri eklenir ve yeni yağ olarak kabul edilir. Piyasadaki birçok otomotiv yağı yeniden rafine edilmiş yağlardır. Endüstri daha çevre dostu olmaya

devam ettikçe, yakın gelecekte atık yağ bertarafı ve ıslahına daha fazla önem verilecek olup kullanım alanları;

Atık sanayi yağların yakıt olarak kullanımı; Son yıllarda atıkların geri dönüşümü yağlayıcı yağlar ve ürünlerin yakıt olarak kullanılması araştırmacılar için önemli konular haline gelmiştir. Yağlayıcı yağların çoğu genellikle petrolden elde edilir. Petrol türevli baz yağlar şu anda toplam sanayi yağ üretiminin yaklaşık %97'sini oluşturmaktadır (Bhaskar ve ark., 2004). Ancak bu yağlar belirli bir süre sonra çevreye zararlı atık yağlar haline gelmektedir. Atık sanayi yağların arıtılarak geri kazanılarak yakıta dönüştürülmesi çevrenin korunması açısından oldukça önemlidir. Atık sanayi yağlar yakıta dönüştürüldükten sonra içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilirler. Geri dönüşüm sürecinde atık yağlayıcı yağlar çeşitli işlemlere tabi tutularak bu atıkların zararlı etkilerini en aza indirmek için yakıt olarak kullanılmakta veya çeşitli kimyasallara dönüştürülmektedir (Bhaskar ve ark., 2004). Kullanılmış atık yağlar, yakıt veya yağlama yağı baz stoğu üretmek için rafine edilebilir ve işlenebilir. Öte yandan atık yağlar hem metal içerikleri hem de diğer kirleticiler nedeniyle çevresel bir tehlike oluşturmaktadır (Nerin ve ark., 2000). Yüksek hacimli atık sanayi yağlar rafine ederek ve işlemden geçirerek değerli yakıta dönüştürülebilir. Atık yağların bertaraf edilmeden motorlarda kullanılmak üzere dizel ve benzin benzeri yakıtlara dönüştürülmesi çok önemlidir. Ayrıca döviz tasarrufu sağlar, sera gazı emisyonlarını azaltır ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde bölgesel kalkınmayı artırır (Demirbas ve ark., 2007).

Atık sanayi yağların dönüşümle yeniden yağ olarak kullanımı; atık sanayi yağların yeniden kullanımını sağlamak için atığın içerisindeki her türlü kirleticilerden, oksidasyon ürünlerinin, partiküllerden arındırıp yağda bozunmuş olan katkı eksikliklerini tamamlayarak ulusal ve uluslararası standartlara uygun baz yağ olarak aynı amaç doğrultusunda ve niteliğine uygun bir şekilde kullanılabilir (Bolat ve ark., 2016).

Biyolojik olarak çözünebilir özelliklerde olmayan düşük miktarda kirletici (su, yakıt, kum, oksidasyon ürünleri vb.) içeren atık sanayi yağlardan baz yağ elde etmek, yeniden rafinasyon işlemi teknolojik bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Yeniden rafinasyon sonunda elde edilen baz yağlar kirlilik düzeyine göre ve kullanılan prosese bağlı olarak farklı özellikler taşıyabilir. Ham petrolden elde edilene yağla, bu proses sürecinde elde edilen yağa kıyasla %67 oranında daha az enerji gerektirmesi büyük bir avantajdır. Petder 2012 veri raporuna göre atık sanayi yağların yeniden rafinasyonunda yaklaşık olarak 1,5 kg atık sanayi yağdan diğer yan ürünlerin çıkarttığımızda 1 kg

civarında yüksek kalitede baz yağ elde edilmesi bu yöntemin geri kazanım için tercih edilmesinin en önemli nedenini oluşturmaktadır.

1.5. Atık Plastiklerin ve Atık Sanayi Yağların Çevre Üzerine Etkileri

Son yarım yüzyılda plastik kullanımındaki artış endişe verici değerlere ulaşmış olup yaklaşık olarak yaklaşık 20 kat artmıştır. 2011 yılında plastik üretimi yıllık 280 milyon tona ulaşmışken (Wright ve ark.,2013). Ülkemizde yılda yaklaşık 500.000 ton sanayi yağ kullanılmaktadır. Bir litre atık yağlama yağı 800.000 litre suyu ve 5.000.000 içme suyunu kirletebildiği için atık yağların geri dönüşümü büyük önem kazanmıştır. Geri dönüşümle çevrenin bu kirleticilerden korunması sağlanabilir. 500.000 ton kullanılabilir atık yağlama yağının 300.000 tonu motorine, 100.000 tonu benzine dönüştürülebilmektedir. Bu yağlayıcı yağın dönüştürülmesi çevrenin korunması açısından son derece önemlidir. Petrol kökenli atıklar ya çeşitli işlemlerle yakıta dönüştürülmekte ya da zehirli etkilerinin azaltılması amacıyla farklı kimyasal bileşenlere dönüştürülmektedir (Poutsma, 2000). Mevcut olmayan geri dönüşüm programları, ülke kanunlarındaki düzenlemelerin yetersiz oluşundan plastik maddelerin çevreye salınımında çarpıcı bir artış olmuştur. Çeşitli iş senaryolarına göre 2025 yılında yaklaşık 220 milyon ton atığın atılacağı öngörülmesi çevre için büyük bir tehdit olarak görülmektedir (Rochman, 2013). Bu plastik kalıntıların çoğu, polimerlerin yarı ömrünün aylardan yüzyıllara kadar değişebildiği su ekosistemlerinde son bulması ve bununda yeraltı su kaynaklarına karışması gelecek nesillerin sağlıkları için endişe vericidir. Plastiklerin ekosistem üzerindeki etkileri, bilgilerin hala çok karışık olmasına rağmen çok çeşitlidir. En dikkat çekici tarafı, plastik nesnelerin deniz canlı ve cansızları üzerindeki zararlı etkilerine dikkat çekilir. Özellikle karada kuşlar, denizlerde yaşayan yunuslar, balıklar ve kaplumbağalar atık plastikleri av olarak yanlış yorumlarlar. Buda canlıların sindirim sisteminin tıkanmasına ve bozulmasına neden olunduğu gibi hayvanlar plastiklere dolanabilirler (örneğin, hayalet ağlarda). Her iki durumda da açlığa ve sonunda ölüme neden olacaktır. Mikro plastiklerin dolaylı etkilerinin yanı sıra ekosistem üzerinde doğrudan etkileri olabilir. Çevreye atılan plastiklerin istilacı türleri ve kimyasal kirleticileri taşıyan vektörler olarak hareket edebilir. İlki ile ilgili olarak, büyük plastik nesneler üzerine yerleşen organizmalar yeni habitatlara girebilir (Gregory, 2009). Aynı durum mikro plastikler üzerinde biyofilm oluşturan çevreden farklı mikrobiyal topluluklar tarafından mesken tutulacaktır (Zettler, 2013). İkincisi ile ilgili olarak,

plastikler, antropojenik kirleticilerin karmaşık bir karışımını içerir ve biriktirir. Yeni kanıtlar, PAH'ların ve PCB'lerin mikro plastiklere emilmesi için dengenin suda 1 yıl içinde gerçekleştiğini gösteriyor. Mikro plastiklerle ilişkili kimyasalların balıklara transferiyle ilgili bazı çalışmalar vardır (Rochman ve ark., 2013).

Deniz yaşamı ve insan için potansiyel risk olan mikro plastikler; kirletici nehirlerden denizlere veya okyanuslara kadar seyahat ettiğinden deniz yaşamı için çok zararlıdır. Deniz balıkları bu tür plastik atıkları yem olarak gördüğünden tüketip ve insanlarda bilmeden bu tür deniz ürünlerini tüketmektedir. İnsanoğlu için besin zinciri olan bu balıklarda biriken toksinler tüketildiğinde kan dolaşımına girer ve insan sağlığı için potansiyel bir tehdit oluşturmaktadır. Bilim adamlarından ortak görüş olarak yayınlana bir raporda okyanuslardaki mikro plastiklerin boyutları 5 mm'den daha az olması, tüm dünyada deniz ortamına yönelik en büyük tehditlerden biri olarak kabul ediliyor. En küçük parçacık üzerinde yapılan araştırmaların şu anki aşaması 63 mikronla, yani yaklaşık olarak insan saçı boyutundadır, ancak asıl tehdittin mikro plastik boyutunun 63 mikrondan çok daha küçük olması ve herhangi bir zar yapısından kolayca geçebilmesidir. Ayrıca mikro plastiklerin uzun süre tüketilmesi insan kromozomlarımızı değiştirebilir ve kısırlığa, obeziteye ve hatta kansere neden olabilir (Shimao, 2001; Barnes ve ark., 2009). Mikro plastiklerin ana kaynağı kentsel ve banliyö alanlarında olup zamanla plastik kirliliği nehirler, göller, denizler ve okyanuslarda son bulmaktadır (Hurley ve ark., 2018). Devlet yaklaşımı ve Sivil Toplum Örgütleri aracılığıyla biyolojik olarak parçalanabilen torbalar ve plastik olmayan malzemelerin kullanılması konusunda en önemli kamu bilinci ve kamu motivasyonu sağlanmalıdır (Sharma ve ark., 2017). Yanma sonunda ortaya çıkan zehirli gazların başlıcaları; azot oksitler (NOx), kükürt oksitler (SO), karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO_2), hidrokarbon (HC), ve uçucu organik bileşikli (VOC) gazlardır. Ayrıca poliklorlu bifeniller gibi tehlikeli hava kirleticiler; 11 arsenik, kadmiyum, nikel, çinko, cıva, krom ve vanadyum gibi ve metaller içermektedir. Li ve arkadaşlarının atık plastik tozlarının suda yaşayan mikro organizmalar üzerindeki etkilerini araştırmak adına yapmış oldukları çalışmada 10 gün boyunca plastik tozunu aynı su ile teması sonucunda plastik ten oluşan sızıntının suda yaşayan mikroorganizmalara zarar verdiği gözlemlenmiştir. Bu araştırmacılar aynı zamanda araç lastiklerinden her bir kilometrede 90 mg plastik partiküllerinin yol tozuna karıştığını belirtmişlerdir (Li ve ark., 2002). Şekil 1.10. plastiklerin çevre üzerinde etkilerinin neden olduğu görüntü kirliliği gösterilmiştir. Tüketimle birlikte artan plastik üretimi beraberinde çöpleri de artırmaktadır. Tek bir plastik ürün parçalanarak milyonlarca mikro

plastik parçacıklarına dönüşebilmekte ve denizlerde pasif olarak yüzmektedir (Yurtsever, 2015).

Şekil 1.10. Plastiklerin çevre üzerinde görüntü kirliliği etkileri

Sanayileşme bir yandan verimli tarım arazilerini kuruluş yeri olarak kullanmakta, diğer yandan da bu tesislerden çıkan çeşitli atıklar hava, su, toprak vb. sorunlara neden olabilmektedir. Zararlı atıkların başında atık plastik ve atık sanayi yağları gelmekte olup, besin zincirinde alglere, balıklara ve sonunda insana geçerek önemli hastalıklara ve ani ölümlere neden olur. Sanayi çalışmaları sonucu meydana gelen ağır metaller sulara ve havaya karışır. Özellikle fenol, arsenik, siyanür, krom, kadmiyum gibi toksik maddeler içerirler (Tanrıvermiş ve ark., 1999). Bu atıkların çevreye olan zararlarını minimize etme ve ülke ekonomisine katma değer katması için geri dönüşümde değerlendirilmeleri gerekmektedir.

Yapılan bu araştırmada atık sanayi yağların ve atık plastiklerin geri dönüşümünü sağlayarak kullanılabilir enerji kaynağına dönüştürülerek, kaynakların sosyal, ekolojik ve ekonomik etkileri araştırılmıştır. Atıklardan pirolitik distilasyon yoluyla elde edilen dizel benzeri yakıtların (DBY) bazik ve asidik kükürtsüzleştirme işleminde kullanılan farklı katalizörlerin yakıtlar üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. Bu atıklardan üretilen DBY yakıtların bir dizel motorunun farklı çalışma parametrelerinde, farklı karışımlı test yakıtlarının (örneğin %10-%20-%30 dizel benzeri sanayi yakıtı + %90-%80-%70 dizel

yakıt, %10-%20-%30 dizel benzeri plastik yakıtı+ %90-%80-%70 dizel yakıtı, %15 dizel benzeri sanayi yakıtı + %15 dizel benzeri plastik yakıtı + %70 dizel yakıtı) performans, emisyon ve yanma verileri gibi önemli çalışma parametrelerindeki yanma verilerinin yapay sinir ağları (YSA) yöntemi ile optimum değerleri belirlenmiştir. Oluşturulacak YSA modeli ile deneylerden elde edilen parametrelerdeki yanma karakteristiklerindeki yüksek güvenirlik oranlarında tahmin edilmesi için kombinasyonlar denenerek en iyi ağ modeli oluşturulmuştur**.** Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde "Atık sanayi yağları ve atık plastiklerden elde edilmiş olan biyoyakıtların bir dizel motorunun farklı çalışma parametrelerindeki performans, emisyon ve yanma karakteristiklerinin deneysel ve yapay sinir ağları yöntemi ile optimizasyonu " gibi kapsamlı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle, bu çalışma ile hem literatürdeki bu eksiklik giderilmiş hem de atık sanayi yağları ve atık plastiklerler yakıt olarak değerlendirilerek dizel motorunun optimum çalışma parametreleri ve optimum performans, emisyon ve yanma karakteristikleri belirlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Atık Plastikler ile İlgili Yapılan Araştırmalar

Mani ve ark., (2009, 2011), tarafından yapılan üç çalışmada, atık plastiklerden üretilen yakıtın dizel yakıt ile benzer özellikler taşıdığı görülmüştür. Atık plastiklerden elde edilen bu pirolitik yakıt ve standart dizel yakıtını tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorda test edilerek motorda performansı, emisyonlar ve yanma karakteristikleri incelenmiştir. Birinci çalışama sonucunda elde edilen verilerde Pmax, efektif verim, Egzoz sıcaklığı, tutuşma gecikmesi, NOx, CO, HC ve is emisyonların da artış olduğunu göstermiştir. Diğer ikinci çalışmalarında ise EGR (Egzoz Gazları Geri Dönüşümü) sistemini devreye alarak atık plastiklerden elde edilen pirolitik yakıtla çalışan dizel motora olan etkisi incelenmiş olup bu uygulama sonucunda NOx, HC ve is emisyonlarını önemli ölçüde iyileştirdiği ancak CO emisyonlarını bir miktar artığı ifade edilmiştir. Üçüncü çalışmalarında atık plastiklerden elde ettikleri yakıtı, yakıt püskürtme avansının geciktirilmesi ile NOx, HC ve CO emisyonları iyileşirken is emisyonlarının ve efektif verimin de arttığı ifade edilmiştir. Yapmış oldukları bu çalışmaların sonucunda, atık plastiklerden elde edilen pirolitik yakıtı dizel motorlarda kullanılmasının uygun olduğu, EGR sisteminin devreye alınması ve püskürtme avansının geciktirilmesi ile hem emisyonlar açısından hem de performans açısından olumlu bir etki yaptığı belirtilmektedir.

İlkılıç ve Aydın (2011), atık taşıt plastiklerinden (lastiklerinden) elde edilen pirolitik yakıtı azot atmosferi altında, Kalsiyum hidroksit $Ca(OH)_2$ katalizörü kullanılması ile kükürt uzaklaştırma işleminden sonra hacimsel olarak değişik oranlarda dizel yakıtına %35 kadar karıştırılarak test edilmiştir. Hacimsel olarak %35'lik yüksek oranlardaki pirolitik yakıt/dizel karışımları içeren motor çalışmasında CO, HC, SO_2 ve is emisyonları artış gösterirken NOx emisyonlarının azaldığı vurgulanmıştır. Ayrıca motor performansı açısından ise motor torkunda ve gücünde bir miktar azalma, yakıt tüketiminde ise artış tespit edilmiştir.

Koç ve ark., (2010), atık taşıt plastiklerinden (lastiklerinden) elde edilen pirolitik yakıtı, kükürt uzaklaştırma işleminde sonra soya biyodizeli ve dizel yakıt ile düşük oranlarda %97 dizel + %3 biyodizel, %97 dizel + %3 pirolitik yakıt, %94 dizel + %3 biyodizel + %3 pirolitik yakıt olmak üzere üç farklı yakıt karışımı karıştırılarak dört silindirli bir dizel motorda test edilmiştir. Motor çalışmasında en yüksek NOx emisyonları

(dizel + biyodizel) karışımlarında ortaya çıktığı, (dizel+biyodizel+pirolitik yakıt) karışımlarında NOx emisyonu daha az ürettiği ifade edilmiştir. Ayrıca atık taşıt plastiklerinden elde edilen pirolitik yağı (dizel + biyodizel) karışımlarına ilavesinde motor performansında iyileşmeler sağlandığı ifade edilmiştir.

Kennedy ve ark., (2007), yapılan bu deneysel çalışmada atık taşıt plastiklerinden elde edilen ham pirolitik yakıt, yakıt özellikleri iyileştirilerek tek silindirli bir dizel motorda test edilmiştir. Hacimsel olarak %20, %40, %60 ve %75 oranında pirolitik yakıt içeren test yakıtlarındaki deneysel çalışmada hem performans hem de emisyonlar açısından karışımların benzer sonuçlar gösterdiği ifade edilmiştir. Aynı çalışmadaki emisyonlarda, is ve NOx'lerde önemli bir değişiklik olmazken, HC ve CO emisyonlarında kayda değer iyileşmelerin olduğu belirtilmiştir.

Doğan ve ark., (2009), atık taşıt plastiklerinden elde edilen ham pirolitik yakıtı ile dizel yakıta hacimsel olarak farklı oranlarda kullanılarak yapılan çalışmalar benzer sonuçlar elde edildiği göstermiştir. Doğan ve arkadaşları ham pirolitik yakıtını hacimsel olarak %50 oranda dizel yakıtına karıştırarak dört zamanlı-tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorda test edilmiştir. Ham pirolitik yakıt + dizel yakıt karışımlarını motordaki yakıt sistemi ile ilgili bir değişikliğe gidilmeden yapılan deneylerde standart dizel yakıtlı motor çalışmasına göre motor performansını az miktarda artırdığı, ancak emisyonları önemli ölçüde etkilemediği ifade etmişlerdir. Ham pirolitik yakıtın değişik oranlarda kullanıldığı diğer çalışmalarda yakıtın tutuşma gecikmesini önemli ölçüde artırdığı, performans açısından farklı sonuçlar göstermiştir. Motor çalışmalarında CO, HC, NOx ve is emisyonlarının artış gösterdiği ifade edilmiştir. Aynı yazarlar tarafından yakıt özellikleri iyileştirilmiş pirolitik yakıtı motor performansına, emisyonlarına ve yanma karakteristiklerine etkisini incelendiğinde efektif verimde, CO ve NOx emisyonlarında iyileşmelerin olduğunu, ancak is ve HC emisyonlarında ise artış sağlandığı ifade edilmiştir.

Kumar ve ark., (2013), piroliz yöntemiyle atık polietilen plastiklerden yüksek yoğunluklu iki farklı alternatif yakıt ürününü ($C_{10}H_{20}$-$C_{25}H_{52}$ arasındaki hidrokarbonlara sahip) elde etmişlerdir. Elde ettikleri bu alternatif yakıtları (ay) farklı hacimsel oranlarda (%100 dizel), (%10 ay / %90 dizel), (%20 ay / %80 dizel), (%30 ay/%70 dizel), (%40 ay/%60 dizel) dizel yakıtla karıştırıp bir dizel motorda emisyon testi yapmışlardır. Yapılan testlerdeki sonuçlara göre egzoz gazı sıcaklığı, özgül yakıt tüketimi, CO emisyonları ve yanmamış hidrokarbon emisyonlarında artış olurken, CO_2 emisyonlarının azaldığı görülmüştür. CO emisyon değerlerinin artmasını atık plastik yakıtın içerisindeki

oksijenli bileşimin az olmasına ve bundan dolayı oluşan eksik yanmaya bağlamışlardır. Yanmamış hidrokarbon emisyon değerlerinin artması ise alternatif yakıtın viskozitesinin dizel yakıta göre yüksek olması ve bu yüksekliğin yakıt karışımının yanma odasının içerinde homojen bir şekilde dağılmayıp yakıtın cidarlara yapışması yanma odasında derinlere yayılmamasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. CO_2 emisyon değerlerinin azalmasının ise yakıt karışımının geç yanmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Özgül yakıt tüketiminin artması ise atık polietilen plastiklerden elde ettikleri yakıtın ısıl değerinin dizel yakıta göre daha düşük olmasındandır.

Mani ve ark., (2010), atık plastiklerden alternatif yakıt elde etme üzerinde yaptıkları bir çalışmada farklı karbon miktarlarına sahip C_{10}-C_{30} hidrokarbonlardan alternatif yakıt elde etmişlerdir. Elde ettikleri bu alternatif yakıtla normal standartlardaki dizel yakıta karıştırmadan ham olarak dört zamanlı, tek silindirli, direk ateşlemeli, hava soğutmalı bir dizel araştırma motorunda deneysel olarak emisyon analizi yapmışlardır. Yapılan bu çalışmanın sonucunda emisyondaki parametrelerin en önemlilerinden bazıları olan NOx emisyon değerlerinin dizel yakıta oranla yaklaşık %25 arttığı, aynı oranda CO emisyonlarının arttığı ve yanmamış hidrokarbon miktarının da %15 arttığı sonuçlarına varmışlardır. Bu verilerin ışığında CO emisyon değerlerinin artmasını alternatif yakıtın viskozitesinin yüksek olasına ve bunun da ateşleme zamanındaki gecikmelere sebep olmasına bağlamışlardır. Aynı zamanda NOx emisyon değerlerinin yüksek olması oran olarak yakıtın içerisindeki aromatiklerin yüksek olmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Yanmamış hidrokarbonlardaki oranın yüksek olması ise kullanılan yakıtın içerisindeki oksijenli bileşiklerin az olmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Motorun en önemli parametrelerinden biri olan termal verim için yaptıkları deneyde ise %5-%8 arasında azalmalar elde ettiklerini, bunun nedeni alternatif yakıtının ısıl değerinin dizel yakıta göre düşük olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Loannis ve ark., (2017), atık taşıt plastiklerden (lastiklerden) piroliz proses yöntemi ile elde ettikleri pirolitik yakıtı 5 farklı deney (%100 dizel, %75 dizel %25 ay, %50 dizel %50 ay, %25 dizel %75 ay, %10 dizel %90 ay ve %100 ay) 4 silindirli, 68 kW güce sahip, sıkıştırma oranı 17:1 olan dizel bir motorda test etmişlerdir. Deneylerin sonuçlarına bakıldığında alternatif yakıtın yüzdelik olarak hacimsel oranı artıkça yakıt tüketiminin arttığı ve termal verimin azalmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Bunların sebebi ise alternatif yakıtının ısıl değerinin dizel yakıta göre daha düşük olasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Emisyonlardaki değerlerin sonuçlarına bakıldığında ise CO, NOx ve yanmamış hidrokarbon (UHC) emisyon değerlerinde karışım içerisindeki

alternatif yakıt oranı arttıkça artışlar görüldüğü, nedeni ise alternatif yakıtın setan sayısı dizel yakıta göre düşük olması ve eksik yanmadan kaynaklandığını ifade etmişlerdir. NOx emisyon değerleri için alternatif yakıtın içerisindeki nitrojenli bileşiklerin dizel yakıta göre daha fazla olması ve egzoz gazı sıcaklığının yüksek olmasından kaynaklı ifade etmişlerdir. Yanmamış hidrokarbon (UHC) emisyon değerlerinde ise alternatif yakıtın oksijenli bileşikler açısından fakir olması ve viskozitesinin yüksek olmasına bağlamışlardır.

Eroğlu, (2019), atık plastik kaynaklı karışım yakıtlar ile standart dizel yakıtın motor performans ve egzoz emisyon değerlerinde yapılan çalışmasında alternatif yakıtın/dizel karışımlı yakıtın standart dizel yakıtına göre performans değerlerindeki motor gücü ile motor torku, değerlerinde azalmanın olduğu, ancak özgül yakıt sarfiyatı, CO, UHC, CO_2 değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Motor performans değerindeki azalmaların sebebini ise atık plastik kaynaklı yakıtın dizel yakıta göre viskozitesinin yüksek, ısıl değerinin düşük olmasından kaynaklanabildiğini ifade etmiştir. Egzoz emisyon değerlerindeki artışların sebebi ise atık plastik kaynaklı yakıtın standart dizel yakıta göre daha yoğun ve oksijenli bileşikler açısından eksik olması ile ilgili olabilir. Atık plastik kaynaklı yakıttan daha verimli sonuçlar alabilmek için ayırma işlemini yapılırken standart dizel yakıtın minimum ve maksimum kaynama sıcaklık noktalarına göre yakıtları fraksiyonlarına ayrılıp ona göre işlem yapılması daha iyi sonuçlar elde edilebileceği söylenebilir.

Mohanraj ve ark., (2017), fosil yakıtların kullanımını en aza indirmek için pirolizden elde edilmiş olan atık lastik / plastikler ile standart dizel yakıt karışımı ile deneysel bir çalışma yapılmıştır. Standart dizel yakıtının yoğunluk, setan sayısı , akma noktası, parlama noktası ve viskozitesi gibi yakıt özellikleri belirlenmiş olup motor performansı, yanma ve egzoz emisyonları açısından karşılaştırılmıştır. Ele alınan yakıtlar, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), polipropilen (PP), polistiren (PS), polivinil klorür (PVC) , polietilen (PE) elde edilmiş ve damıtılmış atık plastik yağı ile karıştırılmıştır. Elde edilmiş olan alternatif yakıtı farklı oranlarda standart dizel bir yakıtla karıştırarak bir dizel motorunda (CI) kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, yakıt karışımlarının yakıt özelliklerinin EN 590 Dizel Yakıt Standardına yakın olduğu görülmüştür. Motor, farklı oranlarda %100 atık plastik / plastik karışımları ile çalışabildiği, yakıt karışımlarındaki yanmamış hidrokarbonlar (UHC), NOx, duman kirliliği ve CO emisyonlarının dizel yakıta

kıyasla daha yüksek olduğu, fren termal verimliliği ise daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Şimşek, (2020), atık plastik (lastik) prosesinin sonucunda elde edilen alternatif yakıtı deneysel uygulamada atık lastik yakıtı (ALY)'ını dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği tespit edilmeye çalışılmıştır. Deney motorunda ilk olarak referans yakıtımız olan ED100 ile çalıştırılıp sonuçlar alındıktan sonra, farklı karışımlardaki üç temel yakıt ile oluşturulan; EALY10 ve EALY20 yakıtları kullanılarak motor performans ve emisyon (CO, HC, NOx ve is) testleri yapılmıştır. Karışımlardaki atık lastik yakıt oranının armasıyla yakıt sarfiyatında artış olduğu, bu artışın sebebi ise ALY'deki yakıtlara ait yoğunluk ve kalorifik değerlerinin özgül yakıt tüketimine doğrudan etki etmesidir. Bu yüksek yakıt sarfiyatının karışımlardaki EALY20 test yakıtı ile yapılan deneylerde ortalama tüm yüklerde %12,8732 gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Karışımlardaki CO emisyonu EALY10 ve EALY20 yakıtlarına ait yakıt özelliklerinden ve silindir içi sıcaklıkların düşük çıkması sonucunda oksidasyon reaksiyonunun yavaşlatması ile CO emisyonunda artış gözlemlenmiştir. HC emisyon verilerine bakıldığında, ALY karışım oranının artışı ile yakıtın yoğunluğuna paralel olarak tüm motor yüklerinde artış olarak kendini göstermiştir. NO_X emisyonları motordaki yük artışına bağlı olarak yükselen silindir içi sıcaklığına paralel bir şekilde arttığı ve NOx emisyonlarının tüm test yakıtlarında motor yükünün 1500 W seviyelerinde iken en yüksek NOx emisyonları ölçülmüştür. ALY içeriğindeki yüksek kükürt oranı is parçacıklarının boyutlarını artırmasına ve buda is emisyonlarında artışa neden olmaktadır. Egzoz gazı çıkış sıcaklığı tüm test verileri incelendiğinde motor yükünün artışına paralel olarak bir artış olduğu görülmüştür. Çünkü silindir içerisine giren yakıt miktarı motor yükündeki artışa paralel olarak artacağından ve bunun sonucunda da silindir iç basıncının artmasına neden olacaktır. En yüksek egzoz gazı sıcaklığı motor 1500 W yükte ve ED100 yakıtının 167 ^{o}C de ölçülmüştür. Buda ALY yakıtının %10 ve %20 oranlarındaki ED100 yakıtına eklenmesi motor performans ve emisyon değerlerinde çok yüksek oranlarda kötüleşmeye neden olmadığı sonucuna varılmıştır.

Uzun, (2020), yapılan deneysel araştırmada; atık taşıt lastiklerden elde edilmiş olan pirolitik yakıtın özellikleri iyileştirilmesi ile saf dizel yakıta benzer özellikler gösterdiği ve motor üzerinde herhangi bir değişikliğe gidilmeden dizel yakıtı içerisinde farklı oranlardaki karışımlarda bir dizel motorda kullanılabileceği bildirmiştir. Özgül yakıt tüketimi (ÖYT) ve tutuşma gecikmeleri, karışımlardaki atık plastik yakıt oranı (pirolitik yakıt) yüzdesindeki artışa bağlı olarak hem ÖYT hem de tutuşma gecikmesinde

bir artışın olduğu tespit edilmiştir. Silindir iç basınçlarında motor yükünün ve karışımlardaki hacimsel olarak pirolitik yakıtın artmasına paralel olarak arttığı, bunun temel sebebinin ise pirolitik yakıtın içerisindeki setan sayısının standart dizel yakıtına göre daha düşük olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Deneysel verilere göre silindir iç basıncının en yüksek olduğu karışım %45 PY / %55 DY ve 1250 W motor yükünde dizel yakıtı ile elde edilmiş olan silindir iç basıncından %4,64 daha fazla silindir iç basıncı elde edilmiştir. CO emisyonlarında ciddi bir farklılık elde edilmemiştir. Çünkü standart dizel yakıtı ile pirolitik yakıttaki oksijen birleşikleri içeriği bakımından birbirine yakın olduğu belirtilmiştir. HC emisyonları ise karışımdaki pirolitik yakıt içeriğinin artmasıyla HC emisyonlarında önemli ölçüde azalmanın meydana geldiği bunun sebebi ise pirolitik yakıtının içeriğindeki hidrojen içeriğinin standart dizel yakıtına göre daha yüksek olmasıyla açıklanmıştır. NOx emisyonlarında karışımlardaki pirolitik yakıt oranının artması ile birlikte NOx'lerde artış meydana gelmiştir. Bunun sebebi ise pirolitik yakıt içeriğindeki aromatik birleşikler ve pirolitik yakıt yoğunluğunun standart dizel yakıta göre yüksek olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Karagöz ve ark., (2020), atık taşıt lastiğini (ATL) piroliz prosesi sonucunda sıvı yağ formlarına ulaştırıldıktan sonra hacimsel olarak farklı yüzdelerde (%0, %10, %30 ve %50) saf dizel yakıta (DY) eklenmiştir. Deneysel testler tek silindirli, sabit motor devrinde (2000 rpm) ve dört farklı motor yükünde (3, 6, 9 ve 12 Nm) bir dizel motorunda gerçekleştirilmiştir. Deneylerde dizel yakıt içerisine atık taşıt lastik sıvılarının (ATL) eklenmesi ile performans, yanma ve egzoz emisyonları (CO, NO ve HC) ve motordaki titreşim ve gürültü karakteristikleri incelenmiştir. Tüm motor yüklerinde atık taşıt lastik Sıvısının (ATL)'nin ısıl değeri standart dizel yakıtına göre daha düşük olduğundan, karışımın ATL içeriğindeki artışla birlikte özgül yakıt tüketimi (ÖYT) kademeli olarak artmış ancak performansta azalma olduğu gözlemlenmiştir. Diğer taraftan ATL içeriğindeki setan sayısı standart dizele (DY) göre daha düşük olduğundan ATL-DY yakıt karışımlarının, standart dizele (DY) göre tutuşma gecikmesinin daha uzun olduğu belirtilmiştir. ATL/DY yakıt karışımlardaki bu tutuşma gecikmesinin daha uzun olması beraberinde maksimum ısı yayma oranı (NIS_{max}) ve maksimum silindir içi basıncın (SB_{max}) tepe noktaları daha yüksek çıkmasına neden olduğu belirtilmiştir. NIS_{max} ve SB_{max} bu ek yükselişler hem titreşimi hem de gürültü seviyelerini artırmıştır. CO emisyonlarında karbon ve oksijen içeriği kısmen saf dizel yakıta yakın olduğundan önemli bir CO emisyon farkı gözlemlenmemiştir. HC emisyonları karışım oranlardaki miktarın artışına paralel olarak bir miktar artışın gözlemlendiği belirtilmiştir. Deneysel

sonuçlara bakıldığında motorda herhangi bir modifikasyona gidilmeden hacimsel olarak %50 kadar karışımlı yakıtları bir dizel motorunda alternatif bir yakıt olarak, tükenen fosil yakıtların çözümü için kullanılabileceğini belirtilmektedir.

Agbulut ve ark., (2021), tarafında yapılan çalışmada atık lastik piroliz yağı- dizel yakıt karışımları ile çalışan bir CI motorunun kötüleşen yanma, emisyon ve performans özelliklerini araştırmışlardır. Deneylerde dört farklı karışımlı yakıt test edilmiştir. Bunlar; (%100 dizel yakıt), (%20 atık lastik piroliz yağı + %80 dizel yakıt), (%10 piroliz yağı ve %10 atık biyodizel içeren %80 dizel yakıt) ve son olarak (%10 lastik piroliz yağı %10 atık fuzel yağı ve %80 dizel yakıt) test yakıtlarıdır. Bu yakıtlar 2400 rpm sabit motor devrinde ve (3-6-9-12 Nm) arasında değişen motor yüklerinde gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarında, atık lastik piroliz yağı- dizel yakıt karışımı kullanımının, atık lastik piroliz yağı- dizel yakıt karışımları için fren ısıl verimini %9,13'e kadar azalttığı, ancak, bu azalma, dizel yakıtına göre atık biyodizel ve fuzel yağı ilavesiyle sırasıyla %7,51 ve %3,82 oranında azalmaktadır. Öte yandan, atık lastik piroliz yağı- dizel yakıt karışımı, fren özgül yakıt tüketimini %21,78 oranında artırırken, bu artış atık biyodizelde %8,89, fuzel yağında ise %12,57 oranında geri çekilmektedir. Atık lastik piroliz yağ-dizel yakıtı için karbon monoksit (CO) artışı dizel yakıtına göre %7,09'dur. Ancak biyoyakıtların eklenmesiyle atık biyoyakıtların yüksek oksijen içeriği nedeniyle karbon monoksit atık biyodizelde %7,69, fuzel yağında %19,23 oranında düşmektedir. Ayrıca atık lastik piroliz yağ-dizel yakıt karışımı nitrojen oksidi (NO_x) %7,09 oranında artırırken, atık biyodizel ilavesi ile bu oran %4,64 oranında artmaktadır. Öte yandan, fuzel yağı ilavesi, nitrojen oksitteki (NO_x) artış eğilimini, fuzel yağının su içeriğinden dolayı %3,09'luk bir azalmaya çevirmektedir. Sonuç olarak, bu araştırma atık biyoyakıtların ikili atık lastik piroliz yağının – atık biyoyakıtların katkılı dizel karışımının zayıf yanma, emisyon ve performans özelliklerini iyileştirebildiğini kanıtlıyor ve atık lastik piroliz yağı yerine üçlü karışımları öneriyor. Ayrıca atık ürünlerin yakılmasının hem atık yönetimi için çok etkili bir araç olduğu hem de fosil yakıtlara alternatif olduğu görülmektedir. Bu araştırma, atık biyoyakıtların, ikili atık lastik piroliz yağının atık biyoyakıtların katkılanmasıyla dizel karışımının kötü yanmasını, emisyonunu ve performans özelliklerini iyileştirebildiğini kanıtlıyor ve dizel motorlar için tek başına atık lastik piroliz yağı yerine üçlü karışımlar öneriyor. Ayrıca atık ürünlerin yakılmasının hem atık yönetimi için çok etkili bir araç olduğu hem de fosil yakıtlara alternatif olduğu görülmektedir. Bu araştırma, atık biyoyakıtların, ikili atık lastik piroliz yağının atık biyoyakıtların katkılanmasıyla dizel karışımının kötü yanmasını, emisyonunu ve performans özelliklerini iyileştirebildiğini

kanıtlıyor ve dizel motorlar için tek başına atık lastik piroliz yağı yerine üçlü karışımlar öneriyor. Ayrıca atık ürünlerin yakılmasının hem atık yönetimi için çok etkili bir araç olduğu hem de fosil yakıtlara alternatif olduğu görülmektedir.

İlkılıç ve ark., (2011), fiziksel ve kimyasal yakıt özellikleri ile petrol dizel yakıtına benzer bir yakıt üretmek için araçların atık lastiklerin katalitik pirolizi gerçekleştirilmiştir. Piroliz reaksiyonu inert ortamda N_2 ve katalizör olarak Ca $(OH)_2$ ile gerçekleştirilmiştir. En yüksek sıvı ürün veriminin reaksiyon sıcaklığının 500 °C olduğu koşullarda, 200 cm^3/dk N_2 akış hızı ve %5 Ca $(OH)_2$ ilavesi ile elde edildiği sonucuna varılmıştır. Ca $(OH)_2$ kullanmanın amacı, lastik pirolizinin sıvı yağındaki kükürt içeriğini azaltmaktı. Böylece sıvı ürünün kükürt içeriği %34 miktarına düşürülmüştür. Lastik piroliz sıvısı (LPS) ve dizel yakıtların bazı önemli fiziksel ve kimyasal yakıt özellikleri tespit edildikten sonra damıtma sonrasında elde edilen Lastik piroliz sıvısı (LPS) 'nin yakıt özellikleri ve damıtma özellikleri de dizel yakıtına benzer ve kabul edilebilir sınırlar içinde bulunmuştur. Lastik pirolizinin nihai ürünleri bir dizel motorda şu şekilde kullanılmıştır: yakıtların saf halde LPS100 ve dizel yakıtı ile karışımlı olan LPS75, LPS50, LPS35, LPS25, LPS15, LPS10 ve LPS5 ile karıştırılarak motor performansı ve egzoz emisyon parametreleri üzerindeki etkilerinin araştırılması yapılmıştır. LPS ve LPS-dizel karışımlarının kullanıldığı test motorunun torku ve gücü dizel yakıta göre azalmıştır. Her iki parametredeki düşüşlerin karışımda bulunan LPS miktarındaki artışa paralel olduğu bulunmuştur. Yani en düşük tork ve güç değerleri dizel yakıta göre %11,86 ortalama tork azalması ve %16,5 ortalama güç azalması ile saf LPS100 yakıtı için bulunmuştur. Ayrıca LPS100 yakıtının ÖYT dizel yakıtından %12 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Dizel yakıt ve LPS performans değerleri arasındaki bu farklar, karışımların içerdiği dizel yakıt miktarı ile orantılı olarak azaltılmıştır. LPS karışımlı yakıtlardan elde edilen CO ve HC emisyonları dizel yakıttan daha yüksek çıkmıştır. En yüksek HC ve CO emisyonları LPS100, LPS75 ve LPS50 yakıtlarında olduğu tespit edilmiştir. Daha yüksek motor çalıştırma hızlarında LPS100 yakıtı, diğer test yakıtlarına kıyasla daha yüksek NOx emisyonları ile sonuçlanmıştır. Bununla birlikte, standart dizel yakıtının düşük ve orta hızlarda ve daha düşük konsantrasyonda LPS karışımları ile yapılan çalışmada daha büyük NOx oluşumuna neden olduğu tespit edilmiştir. Motor egzozunda bulunan SO_2 emisyon miktarları, karışımın içerdiği LPS miktarı ile hemen hemen lineerdi ve LPS, dizel yakıttan 4,5 kat daha fazla kükürt içerdiğinden, dizel yakıttan oldukça yüksektir. Bu nedenle LPS yakıtının kükürt miktarının azaltılması önerilebilir. LPS ve karışım yakıtların duman opaklık seviyeleri dizel yakıta göre daha

yüksek bulunmuş ve karışımlarda bulunan LPS ile lineer bir artış göstermiştir. LPS100, LPS75 ve LPS50 yakıtları en yüksek duman opaklık seviyelerine sahipti. Bu çalışma sonucunda LPS100, LPS75 ve LPS50 yakıtları, CO, HC, SO_2 ve duman emisyonlarındaki önemli artışlardan dolayı dizel motorlarda doğrudan kullanıma uygun değil. Ancak LPS5, LPS10, LPS15, LPS25 ve LPS35 karışım yakıtları herhangi bir değişiklik yapılmadan doğrudan dizel motorda kullanılabilir.

Güngör, (2011), bu çalışmada granül polietilen, karışık granül, katalizli atık polietilen, hafif propilen, hafif faz ve ağır faz karışımları ile standart dizel yakıtına farklı oranlarda (%5, %10, %15, %20) ve her bir karışımın dizelin yakıt özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Yakıt özelliklerine ek olarak motor performansı ve egzoz emisyonu deneysel çalışmaları yapılmıştır. Granül polietilen (GPE) ve ağır faz (AF) karışımlarının setan sayıları yüksek nedeniyle artarken, diğer atık plastik yakıt karışımlarının setan sayıların düşüklüğü nedeniyle azalmaktadır. Setan sayıları için en iyi setan geliştirici granül polietilendir. Atık plastik yakıt karışımlarının kinematik viskozitesindeki değişim, atık plastik yakıt karışımlarının yoğunluk değerlerine bağlıdır. Hafif polipropilen (HPP) karışımları HPP ilavesi ile artarken, diğer atık plastik yakıt karışımlarının kinematik viskoziteleri azalmaktadır. Numunelerin akma noktası özelliklerini ölçmek önemlidir. Atık plastik yakıtların en büyük dezavantajlarından biri, yüksek akma noktalarıdır. Diğer atık plastik yakıt karışımları için akma noktası sonuçları EN 590 dizel standartlarına göre kabul edilebilirdi. Test yakıtları için parlama noktası özelliği için gözle görülür bir fark gözlemlenmemiştir. Karışık granül ve atık polietilen karışımlarının kalori değerleri yüksek olduğundan kalori değerleri yükselir. Elde edilen sonuçlar, %15 ve %20 oranında atık polietilen (APE) ve %15 ve %20 oranında hafif propilen (HPP) ilavesinin dizel motorda kullanılamayacağını, ancak diğer atık plastik yakıt karışımlarının dizel motorda kullanılabileceğini göstermiştir. Karışımlı motorun güç çıkışı, dizel yakıta kıyasla APE5 karışımı ile maksimum %1,63 arttığı belirtilmiştir. Özellikle daha yüksek motor devirlerinde dizel yakıta kıyasla APE5 ile karışımların tork çıkışı %2,73 azaldı. APE5 karışımı ile CO emisyonu %20,63 oranında azalırken, APE5 karışımı ile CO_2 emisyonu %3,34 oranında artırılmıştır. NOx emisyonu, dizel yakıta kıyasla WPE5 ile %9,17 artar. Son olarak, motorları sadece performans özellikleri için değil aynı zamanda çevresel yönler için de APE5 karışımı dizel için en iyi alternatif yakıt karışımı olabilir.

Zhang ve ark., (2013), deneysel yakıt (D40)'a %2 Ethylhexyl Nitrate (EN) ilavesiyle tutuşma gecikmesinin kısaldığını, maksimum basınç artış oranı EN ilavesi ile lineer olarak azaldığını, NOx emisyonunu artırdığını tespit etmişlerdir. Ayrıca EN'nin

D40'a eklenmesi ile yanma sesi ve kurum emisyonu arasındaki ödünleşim sorununu çözdüğü belirtilmiştir.

Ickes ve ark., (2009), bir dizel yakıtın setan sayısını artırmak için direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda düşük sıcaklıklardaki çalışma modunda yapmış oldukları deneysel çalışmada Ethylhexyl Nitrat (EN) ile katılımı NOx emisyonlarını arttırdığı tespit etmişlerdir.

Ciniviz ve ark., (2017), bu çalışmada, setan iyileştirici olarak dizel-etanol karışımlarına Ethylhexyl Nitrat (EN) ilavesinin fren torku, fren gücü, yakıt tüketimi, fren özgül yakıt tüketimi gibi performans parametreleri ve NOx, CO, CO_2 gibi egzoz emisyonları açısından etkisi incelenmiştir. Dört silindirli, su soğutmalı dizel motor. İlk olarak hacim olarak %90 dizel yakıtı ile %10 etanol karıştırılarak E10 olarak temsil edilen bir etanol-dizel karışımı hazırlanmıştır. Daha sonra E10EN2 (%10 etanol, %2 EN ve %88 dizel), E10EN4 (%10 etanol, %4 EN ve %86 dizel) ve E10EN6 (%10 etanol, %6 EN ve %84 dizel) olarak sembolize edilen diğer karışımlar kullanılmıştır. EN'nin davranışı hakkında bilgi almak için etanol-dizel-EN karıştırılarak oluşturulmuştur. Bu karışımlar için beş farklı motor devrinde tam yükte elde edilen sonuçlar E10 ve %100 dizel yakıt ile karşılaştırılmıştır. EN ilavesinin setan sayısını E10EN2, E10EN4 ve E10EN6 için E10'a göre %5, %11, %16 yükselttiği, EN'nin ise kinematik viskozitede hafif bir düşüşe, daha düşük ısıtma değerine ve yoğunlukta hafif bir artışa neden olduğu bulunmuştur. Ayrıca EN ilavesinin NOx, CO emisyonları ve fren gücünü azaltıcı, CO_2 emisyonu ve fren özgül yakıt tüketimini ise artırıcı etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

2.2. Atık Sanayi Yağlarla İlgili Literatür Araştırmalar

Demir, (2018), pirolitik distilasyon yöntemi ile elde edilen dizel yakıt benzeri yakıtları hacimsel olarak standart dizel yakıtına %20, %40, %60 atık yağlama yağı (AYY) yapılan deneysel çalışmada hacimce %40 oranlı olanının özgül yakıt tüketimi azalırken, AYY D80/DBY20 karışımının özgül yakıt tüketiminde bir artış gözlemlenmiştir. Yanmada verimleri incelendiğinde D80/DBY20 ve D60/DBY40 yakıt karışımlarının egzozdan attığı oksijen miktarının motor hızı artışıyla ters olduğu tespit edilmiş, ancak D40/DBY60 yakıt karışımında bu durumun farklı olduğu ve motor hızı artırıldıkça egzoz ile atılan oksijen miktarının da arttığı görülmüştür. Dolayısıyla ilk iki karışımdaki DBY20, DB40 yakıtlı karışımların verimli bir yanmanın gerçekleştiği söylenebilmektedir. Fakat DBY60 yakıt karışımının yanma verimi iyi gerçekleşmediği

söylenebilir. Yanma verimi artırmak içinde çeşitli katkı maddeleri ile yakıtta iyileştirmeler yapılarak daha iyi bir yanma tepkimesi oluşturulup verim arttırılabilir. Egzoz çıkış emisyonlarına bakıldığında motor hızının artırılması ile CO emisyonu tüm yakıt karışımları için azaldığı tespit edilmiştir. Fakat D60/DBY40 karışımı 1000 dev/dk-2000 dev/dk hızlarında motorine göre emisyon değerlerinde hafif bir artış gözlemlenmiş olup buda standartlara göre kabul edilebilir düzeydedir. CO_2 emisyonları motor devrinin artırılmasıyla standart dizel yakıta kıyasla D/DBY yakıt karışımlarında arttığını verilerden anlaşılmaktadır. NO_X emisyonlarının 2500 dev/dk motor devrindeki D80/DBY20 yakıtının emisyonu hariç, diğer karışımlarda dizel yakıta göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Yanma ortamında oksijen birleşiklerin eksikliği ve DY/DBY karışımlardaki yoğunluğun fazla olmasından dolayı Hidrokarbonların (HC) istenilen düzeylerde yanma tepkimesine girmediği için HC miktarı dizel yakıtlara göre yüksek çıktığı düşünülmektedir. Egzoz gazı sıcaklığı dizel yakıt ile kıyaslandığında yeni yakıt karışım örneklerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Arpa ve ark., (2010), pirolitik damıtma incelemiş ve filtrelenmiş atık yağda sodyum karbonat, zeolit ve kireç katkı maddelerini (katalizörleri) belirli oranlarda karıştırdıktan sonra yakıtların termal ve fiziksel özelliklerini araştırmıştır. Bu amaç doğrultusunda atık motor yağı bir tankta toplayarak toz, ağır karbon kurumları, metal partikülleri, zamk malzemesi ve diğer kirleticilerden arındırmışlardır. Sodyum karbonat, zeolit ve kireç olarak bilinen katkı maddelerinin yoğunluk, viskozite, kül noktası, sülfür içeriği, ısıtma değeri ve damıtma sıcaklığı üzerindeki etkilerini araştırmak için, saflaştırılmış yağ örnekleri kütle bazında katkı maddeleri ile ayrı ayrı karıştırılmıştır. Karışık örnekler, motorlarda kullanılacak yakıtların üretilmesi için pirolitik damıtma işlemine maruz bırakılmıştır. Üretilen yakıtların yoğunluk, kül noktası, viskozite, kükürt içeriği, ısınma değeri ve damıtma sıcaklıkları gibi termal ve fiziksel incelenmiştir. Bu sonuçlardan, %2 oranındaki kireç, atık motor yağının sülfür içeriğinin azaltılması ve dizel yakıtın değerlerine yakın olan en uygun damıtma sıcaklıklarının elde edilmesinde en yüksek etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, atık yağlama motor yağlarının dizel benzeri bir yakıt olarak kullanılmasının uygulanabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Bu kapsamda pirolitik distilasyon yöntemi uygulanarak dizel benzeri yakıt (DBY) olarak adlandırılan bir yakıt üretilmiştir. Üretim sürecinde atık motor yağı, 20 ml'lik kalitatif bir filtre kullanılarak süzülerek saflaştırıldı. Na_2CO_3, Zeolit ve CaO olarak bilinen %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında üç katkı maddesi saflaştırılmış atık motor yağı ile harmanlanmıştır. Karıştırılan numunelerin pirolitik damıtılmasından sonra

aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. DBY'nin yoğunluk, parlama noktası, viskozite, kükürt içeriği ve ısıtma değeri gibi özellikleri test edilmiş ve bu çalışmada kullanılan dizel yakıt değerlerine yakın olduğu bulunmuştur. Katkı miktarlarının artmasıyla parlama noktası ve yoğunluk artarken kükürt miktarında azalma görülmüştür. Yakıt numunelerinin içerisine katılan katkı maddelerinden CaO kullanılarak en düşük parlama noktası, yoğunluğu ve kükürdü elde edilmiştir. En uygun distilasyon eğrisi, örneğin %30 miktarından sonra %2 oranında katkı maddesi olarak CaO kullanıldığında elde edilmiştir. Damıtma eğrisi kademeli olarak artırıldığında elde edilen yakıt dizel motorlarda kullanılan dizel yakıtlara benzer özellikler gösterir.

Balat, (2008), çalışmasında, pirolitik damıtma için süzülerek filtrelenmiş yağ içinde perlit ve odun külü harmanlamıştır. Balat, atık motor yağlarının benzinli motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabileceğini ifade etmiştir. Bu çalışmadaki amaç, içten yanmalı motorlarda kullanılabilen katalitik piroliz ile atık motor yağından yakıt gibi benzini elde etmektir. Atık motor yağı işlenmesinin amaçları, petrol bazlı atıkların geri dönüşüm ve yeniden rafine edilmesi yoluyla, benzin ve ağır yağ gibi yeniden kullanılabilir ürünlere dönüştürülerek iyileştirilmektedir. Muhtemel kabul edilebilir süreçler damıtma, kreking ve pirolizdir. Atık yağlayıcı yağın piroliz sıvı ürünleri alternatif motor yakıtı olarak kullanılabilir. Sıvı ürünlerin verimleri "atık yağ benzini" olarak adlandırılmıştır ve artan sıcaklık ve katalizör miktarını artırmıştır. Katalizörlerin damıtma verimleri üzerindeki etkilerini araştırmak için, saflaştırılmış yağ numuneleri, perlit ve ağaç külü olarak bilinen katalizörler ile %2,5, %5,0 ve %10,0'lık kütle bazında harmanlanmıştır. En yüksek sıvı ürün verimi %92,5 olduğu gözlenmiştir. Perlitin varlığında atık yağlayıcı yağın pirolizinden elde edilen sıvı ürünlerin verimleri, odun külü katalitik işlemlerinden daha yüksek olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

Ogbeide, (2010), yapmış olduğu çalışmada, atık motor yağının çevreye zararlarını minimize etmek için atık motor yağılarının geri dönüşümü üzerine bir araştırma yürütmüştür. Çalışmasında atık yağın yeniden kullanılmak üzere uygun bir şekilde geri dönüştürüldüğünde benzersiz bir yöntem tanımlanmıştır; geri dönüşüm maliyetleri, arıtma aşamalarının sayısı azaldıkça ham yağdan elde edilen üretime kıyasla nispeten düşüktür. Yapılan araştırmadan 25 litre harcanan yağın uygun bir şekilde geri dönüştürülmesi durumunda, işlemden 10 litre yağlama yağı elde edildiği, aynı 10 litre yağın üretilmesi için 220 litre ham petrolün gerekli olduğu tespit etmiştir.

Orman, (2019), bu çalışmada atık sanayi yağlarını filtre işlemi uygulandıktan sonra katkı maddesi olarak organik esaslı mangan ile iyileştirme yapılarak bir dizel

motorunda yakıt olarak kullanabilirliği araştırılmıştır. Sanayi yağ kâğıt filtreden geçirdikten sonra katkı maddesi olan organik mangan kullanarak katkının yakıta olan viskozite, parlama noktası ve yoğunluk değişimi incelenmiştir Buna göre parlama noktası ve kinematik viskozitede katkı maddesi miktarı arttıkça azaldığı, yoğunlukta ise herhangi bir değişim gözlemlenmediği tespit edilmiştir. Genel anlamda Mn katkı maddesinin atık sanayi yağlara eklenmesi ile iyileştirici bir etkisi olduğunu ve literatür deki verilerle karşılaştırıldığında değerlerin paralel olması bir göstergedir. Kaynaklarda bu tür katkı maddelerin yoğunluğu azaltıcı özelliğinden bahsederken atık sanayi yağların kullanılan yağlardan farklı özellikler sergilemesinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Çünkü kaynaklarda normal yakıtların viskozite değerleri 2-5 cst aralığında iken bu çalışmadaki atık yağın viskozitesi yaklaşık 70 cst seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneyde standart dizel ile katkılı atık yağı ve katkısız atık yağ kullanılmış olup motorda performans ve emisyon değerleri incelenmiştir. Deneyler için sabit devirde ve farklı yüklerde bir dizel jeneratör kullanılmıştır. Enjeksiyon basıncında üç farklı basınç değişikliğine gidilerek motor performansına etkileri için deneyler tekrar edilmiştir. Deneyler sabit çalışma sıcaklığında egzoz sıcaklığı, yakıt tüketimi, özgül yakıt tüketimi, ışık absorpsiyon katsayısı ve emisyon (NOx, CO, CO_2 ve HC) değerleri ölçülmüştür. Sonuç olarak yüke bağlı olarak çalışma sıcaklığının arttığı, katkı maddesinin çalışma sıcaklığını arttırdığı, sabit çalışma sıcaklığında katkı maddesinin yakıt tüketimini ve özgül yakıt tüketimini azalttığını, enjeksiyon basıncı artmasıyla egzoz gaz sıcaklığı arttığı ve yakıt tüketiminin azaldığı tespit edilmiştir.

Yapılan literatür araştırmasında, atık plastiklerden ve atık sanayi yağlardan elde edilen dizel benzeri yakıtların kükürt içeriği, dizel yakıt standartlarına göre yüksek olduğundan üç farklı katkı madde ile bazik ve asidik kükürtsüzleştirme işlemi ve aynı zamanda üretilen test yakıtların hacimsel olarak farklı oranlarda karıştırılarak DB-PY - DB-SY test yakıtları hazırlandıktan sonra bir dizel araştırma motorunda performans, yanma ve emisyon değerlerinin YSA modellemesi ile beraber kapsamlı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışma ile literatürdeki bu eksikliğin giderileceği düşünülmektedir.

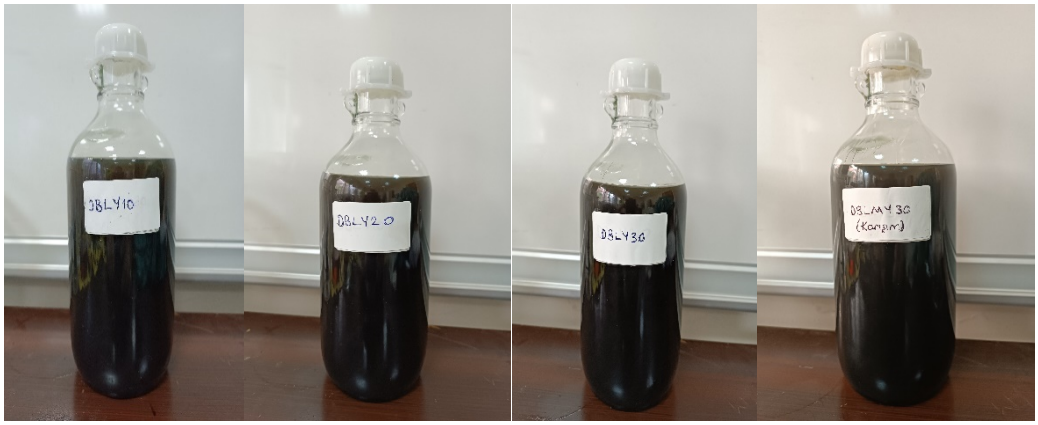
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, araştırma için üretilen yakıtların üretim prosesi, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan materyal ve metotlar verilmiştir. Daha sonra deneylerin gerçekleştirdiği deney test düzeneği, egzoz emisyon cihazları, test düzeneği ekipmanları verilmiştir.

3.1. Materyal

3.1.1. Deney yakıtlarının hazırlanması ve özelliklerinin belirlenmesi

Yapılan bu çalışmada, deneyler için standart dizel yakıtı Batman'da bulunan özel bir akaryakıt istasyonundan temin edilmiştir. Atık sanayi ve plastik yağlarından piroliz yöntemiyle elde edilen dizel benzeri iki farklı yakıtı hacimsel olarak %10, %20 ve %30 olacak şekilde standart dizel yakıtına karıştırılarak hazırlanmıştır. Ayrıca dizel benzeri sanayi ve plastik yakıtlarında DB-SPY30 (%15 DB-SY +%15 DB-PY) karışımlı yakıtı standart dizel yakıtına karıştırılarak deneyde kullanılan yakıt numuneleri hazırlanmıştır. Deney için hazırlanan tüm karışımlı yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri, egzoz emisyon ve yanma parametreleri testleri için standart dizel yakıtı baz alınarak değerlendirilmiştir. Deneyde kullanılmak üzere hazırlanan D100, DB-SY10, DB-SY20, DB-SY30, DB-PY10, DB-PY20, DB-PY30, DB-SPY30, DB-SY20EN5, DB-SY20EN10, DB-PY20EN5, DB-PY20EN10, olmak üzere oniki farklı yakıt üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Hazırlanan bu iki farklı yakıt karışımlarının kimyasal ve fiziksel özelliklerinin tespiti için Batman Üniversitesi Petrokimya bölümü laboratuvarı ve TÜBİTAK MAM'a gönderilerek analizleri yapılmış olup Şekil 3.1(a), Şekil 3.1(b), ve Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1(a). Deneylerde kullanılan karışımlı yakıtlar

Yapılan analizler sonucunda test yakıtlarından olan DB-PY yakıtındaki setan indisinin standart dizel yakıttaki değerinin altında olduğu tespit edilmiş olup, yakıtlardaki fiziksel ve kimyasal parametreleri iyileştirmesinin yanı sıra yanma ve emisyonlar üzerindeki etkisini araştırmak üzere her iki deney yakıtlarına Şekil 3.1(b)'de görülen Ethylhexyl Nitrate **(**$C_8H_{17}NO_3$) katkısı ile hazırlanmış deney yakıtları gösterilmiştir.

Şekil 3.1(b). Deneylerde kullanılan ethylhexyl nitrate katkılı karışımlı yakıtlar

3.1.2. Deney yakıtlarının test analiz cihazları

3.1.2.1. Kinematik vizkozite tayini

Test yakıtlarının petrol ürünleri -saydam ve opak sıvıların kinematik vizkozite tayini ölçmek için TS EN ISO 3104 test cihazının görünümü Şekil 3.2 gösterilmiştir

Şekil.3.2. Vizkozite test cihazı

3.1.2.2. Distilasyon test cihazı

Yanma parametrelerine etki eden en önemli parametrelerden biri olan test yakıtların distilasyon sıcaklıkları ile ilk ve son kaynama sıcaklıklarının tayininde ASDM 86 için hafif ve orta distilatlar, TS EN ISO 3405 hafif ve orta distilatları kapsayan PAC marka distilasyon cihazının görüntüsü Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

Şekil 3.3. Distilasyon test cihazı

3.1.2.3. Parlama noktası test cihazı

ASTM' ye göre parlama noktası, bir tutuşma kaynağının belirli koşullar altında numunenin buharlarının tutuşmasına neden olduğu en düşük sıcaklıktır. Test yakıtların parlama noktalarının tayini için Pensky Martens /HFP 339 test cihazı Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

Şekil 3.4. Parlama noktası tayin cihazı

3.1.2.4. Yoğunluk tayini test cihazı

Test yakıt numunelerinin yoğunluk tayinin tespitini yapmak için Anton Paar/DMA 38 test cihazı Şekil.3.5'te gösterilmiştir.

Şekil 3.5. Parlama noktası tayin cihazı

3.1.2.5. Manyetik karıştırıcı ve hassas terazi

Test yakıtlarının hacimsel olarak ve kullanılan katkı maddelerini yakıtla birlikte homojen karışımını sağlamak için 100-1500 rpm dijital kontrol sıcaklık 340 ^{o}C olan manyetik karıştırıcı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Şekil 3.6. Isıtıcılı manyetik karıştırıcı

Yakıt numunelerinin tartımları ve kükürtsüzleştirme işleminde kullanılan katalizör ve asit oranlarını kütlesel olarak ayarlamak için 185 ±0.0001 gr. hassasiyetli ve 0.01 gr. okunabilirlik özelliklerine sahip Denver Instrument marka TP-1502 model Şekil 3.7'de hassas terazi kullanılmıştır.

Şekil 3.7. Hassas terazi

3.1.3. Deney yakıtların kimyasal özelliklerinin belirlenmesi

Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan yakıtların kimyasal analizleri

Yakıt /Özellik	**DY**	**DB-SY10**	**DB-SY20**	**DB-SY30**	**DB-PY10**	**DB-PY20**	**DB-PY30**	**DB-PSY30**	**DB-SY20EN5**	**DB-SY20EN10**	**DB-PY20EN5**	**DB-PY20EN10**
Vizkozite 40 □C (mm^2 /s)	2,0-4,5	2,79	3,19	3,17	2,96	2,91	3,29	3,14	2,9	3,37	3,21	2,91
Setan İndeksi	46-51	56,8	56,49	56,71	51,67	49,39	46,29	50,62	58,11	49,49	43,47	41,83
Yoğunluk (kg/m^3)	820-845	0,825	0,829	0,826	0,838	0,844	0,857	0,841	0,830	0,850	0,860	0,864
Isıl Değer (kJ/kg)	42705	42731	42757	42784	42731	42360	42188	42486	42424	41985	42081	41884
Parlama Noktası (□C)	55 ≤	58	54	48	58	56	60	52	56	62	68	60
Damıtılan Miktar	**Distilasyon Sıcaklıkları (°C)**											
İKN		164,4	163,7	161,3	162,3	167,6	159,1	164,4	166,4	166,8	165,7	166
5%		185,3	187,7	182,9	186	187,3	191,9	185,3	199,4	200	194,4	194,9
10%		197,9	201,9	196,9	199,8	200,3	206,6	197,8	211,9	209,5	205,4	203,4
15%		208	214,2	208,2	211,5	210,6	219,6	208,3	-	-	-	-
20%		218,2	224,9	218,4	221,9	221,5	231,4	219	232,7	229	223,6	220,9
30%		236,3	245,2	239,1	270,7	239,4	251,1	239,5	251,6	247,3	239,9	236,9
40%		255,7	264,1	260,4	258,3	257,6	268,5	258,8	-	-	-	-
50%		273,3	282,1	282,2	274,2	274,3	283,8	277,4	288,5	285,8	271,4	270
60%		291,2	299,6	305,2	289,4	290,3	298,5	296,1	-	-	-	-
70%		309,7	317,6	321,1	305	306,5	313,6	316	325,6	323,1	302,3	301,2
80%		331,2	339,1	347,6	322,4	324,8	330,6	339,6	346,1	343,7	319,1	318,4
85%		344,3	352,4	365,4	332,3	335,5	339,7	353,7	-	-	-	-
90%		360,9	370,1	383,9	345	348,9	352,2	371,2	370,9	368,7	339,6	339,2
95%		388,3	396,1	394,1	364,3	369,8	374,8	394,5	390,5	388,7	355,8	355,6
SKN		396,2	398,6	399,2	374,4	381,3	392,6	402,2	405,4	403,9	371,1	371

Kullanılan deney yakıtların hacimsel olarak %10, %50, %90 'larda elde edilen yakıt miktarlarının buharlaştığı andaki sıcaklıkları (°C) ile yakıtın 15 °C'deki yoğunluğa (kg/m^3) bağlı olarak setan indeksleri hesaplanmıştır. Deney yakıtlarından kullanılan ethylhexyl nitrate katkılı yakıtlarda katkı miktarının artışına bağlı olarak yoğunlukların arttığı gözlemlenmiştir. DB-PY'ların buharlaşma sonucu hacimsel olarak elde edilen yakıt miktarlarındaki sıcaklıklarda bir miktar artış gözlemlenmekle beraber yoğunluklarda ciddi oranda artışa neden olduğundan setan indisinin iyileşmesinde çok az miktarda katkı sağladığı görülmüştür. DB-SY'larda ise katkı maddesinin yoğunluğu çok az miktarda etki etmesi setan indeksinde bir miktar artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Sonuç itibariyle katkı maddesini yüzdelik olarak düşük değerlerde yakıtların içerisine katılması setan indekslerini iyileştirmelerde daha etkin olduğu, yüksek oranlarda kullanılan katkı maddesi yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliklerine zarar vermesinin yanı sıra yakıtın stabilizesini bozabildiği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda her iki yakıtta katkı maddesi oranı arttıkça az miktarda ısıl değerlerde düşüş olduğu tespit edilmiştir.

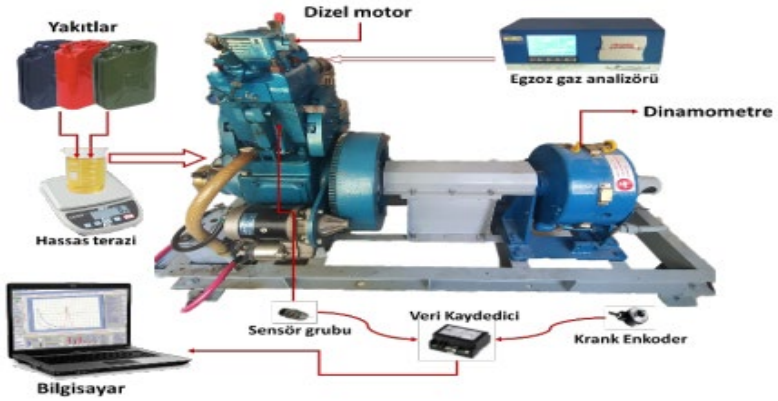
3.1.4. Deney düzeneği ve deneysel metot

Deneysel çalışmalar Batman Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği bölümüne bağlı Motor Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney çalışmalarında yanma ve emisyon değerleri için dizel yakıt baz alınarak DY, DB-SY10, DB-SY20, DB-SY30, DB-PY10, DB-PY20, DB-PY30 ve DB-SPY30 (%15 DB-SY+ %15 DB-PY) yakıt karışımlarının silindir gaz basıncı, basınç artış oranı, ortalama gaz sıcaklığı, kümülatif ısı salınımı ve net ısı salınımı değerleri Şekil 3.8'de görülen deney motor düzeneğinde tespiti yapılarak, grafiksel olarak değişimleri gösterilmiştir.

Yapılan deneysel çalışma Batman Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü Motor Laboratuvarında tek silindirli, dört zamanlı, değişken sıkıştırma oranlı, su soğutmalı ve direkt enjeksiyonlu dizel motor (Kirloskar TV1) ile gerçekleştirilmiştir. Deneyler Eddy Current dinamometrenin farklı yüklerinde (0,3 bar OEB, 2,5 bar OEB, 5 bar OEB, 7,5 bar OEB) dizel motorun sabit 1500 dev/dk hızında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında motorun egzoz emisyonları CAPALEC CAP 3200 gaz analiz cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Silindir içi basınç ölçümleri Optrand D33294-Q basınç transdüseri ile 1,35 mV/PSI hassasiyetinde yapılmıştır. Deneylere başlamadan önce motor yağı, yağlayıcı ve hava filtrasyonu kontrol edilmiştir. Egzoz sıcaklıkları stabil koşullara ulaştıktan sonra motor ölçümlerine başlandı. Deneyler ilk önce dizel yakıtla

(DY100) ön veriler alındıktan sonra sırası ile DB-SY10, DB-SY20, DB-SY30, DB-PY10, DB-PY20, DB-PY30, DB-PSY30 (%15 DB-PY+ %15 DB-SY) ve EN katkılı DB-PY20EN5, DB-PY20EN10, DB-SY20EN5, DB-SY20EN10 test yakıtları ile sabit deney şartlarında yanma ve emisyon parametre değerleri alınmıştır. Deney sırasında silindir basınç, ortalama gaz sıcaklığı, basınç artış oranı, net ısı salınımı ve kümülatif ısı salınımı verileri ICEEngineSoft_9.0 yazılımı kullanılarak her parametre için 10 çevrimin ortalaması olacak şekilde alınmıştır. Aynı deney şartlarında her yakıt numunesi için ayrı emisyon değerleri ölçülmüş olup deney düzeneğinin görüntü ve şematiği Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'te gösterilmiştir.

Şekil 3.8. Deney düzeneğinin genel görüntüsü



Şekil 3.9. Deney setinin şematik görünümü

Yanma ve emisyon değerlerinin tespitinde kullanılan dizel motorunun teknik özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Test yakıtlarının dizel araştırma motorunda yanma

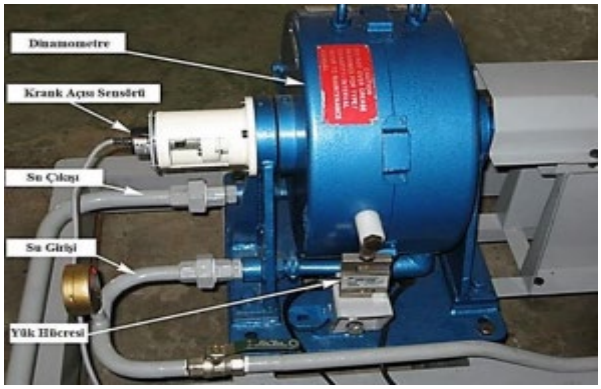
ve emisyon değerleri 0,3 bar OEB, 2,5 bar OEB, 5 bar OEB ve 7,5 bar OEB parametrelerinde ve aynı deney koşullarında alınmıştır.

Çizelge 3.2. Deney motorunun teknik özellikleri

Motor modeli	**Kirloskar TV-1**
Efektif Motor Gücü (kw)	5,2
Motor Hacmi (cc)	661
Silindir Sayısı	1
Sıkıştırma Oranı	17:01
Silindir Çapı (mm)	87
Strok Sayısı	4
Strok Uzunluğu (mm)	110
Yük Göstergesi (Dijital)	0-50 kg
Püskürtme Avansı (ÜÖN'den önce)	0-25
Soğutma Tipi	Su soğutmalı
Dinamometre Soğutma tipi	Su soğutmalı
Dinamometre Tipi	Eddy Current

3.1.4.1. Hidrolik dinamometre ve kontrol ünitesi

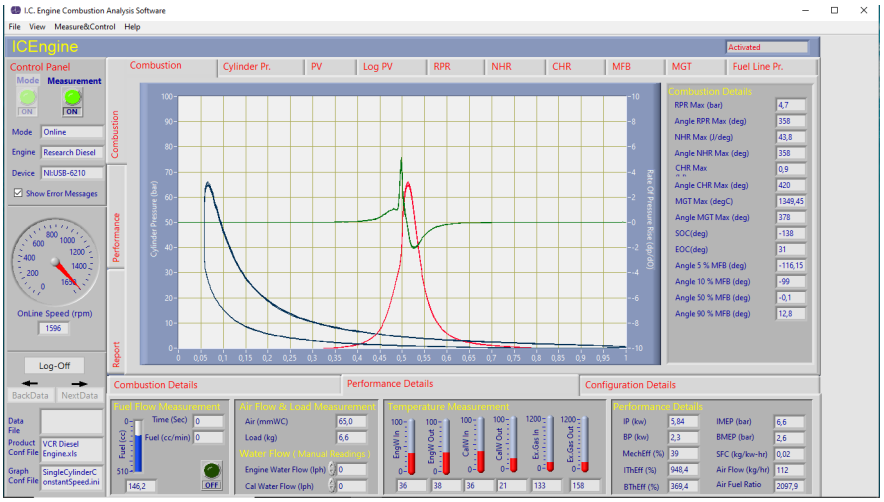
Motor performansı, emisyon ve yanma parametreleri denemelerinde motorun yüklenmesi için Şekil 3.10'te görüldüğü gibi Technomech marka TMEC10 model hidrolik dinamometre test sistemine monte edilmiştir. Hidrolik dinamometrenin devir 202 ölçüm aralığı 1500-5000 rpm ve tork ölçüm aralığı 0-10 BHP'dir. Motorun yüklenmesi ile değerler, ±1 g hassasiyetinde ve 0-50 kg aralığında ölçüm yapabilen Sensotronics Sanmar marka 60001 Model S sinyal tipli yük hücresi kullanılarak okunmuştur.



Şekil 3.10. Testlerde kullanılan hidrolik dinamometre

3.1.4.2. Deneyde kullanılan ICEnginesoft_9.0 programı

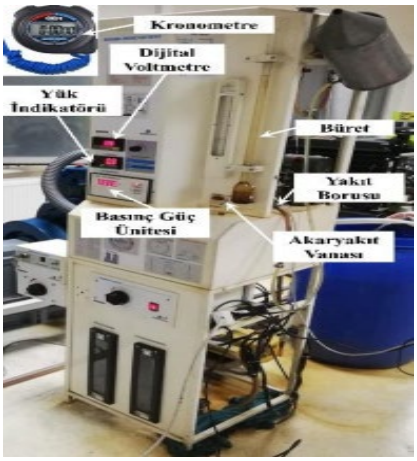
Yapılan testlerde motor yanma ve performans verileri için ICEngineSoft_9.0 bilgisayar programı kullanılmıştır. ICEngineSoft_9.0 uygulaması eş zamanlı olarak motordan aldığı verileri bilgisayara aktarmakta olup, ekran görüntüsü Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. ICEngineSoft_9.0 uygulaması ile bilgisayar ekran görüntüsü

3.1.4.3. Yakıt tüketim ölçüm düzeneği

Yakıt tüketiminin ölçümü için Şekil 3.12'de görüldüğü gibi test motoru düzeneğinde bulunan bir büret düzeneği ve kronometre 20 cc yakıt tüketimi için gereken süreyi kaydetmek amacı ile kullanılmıştır.



Şekil 3.12. Yakıtların testlerinde kullanılan test düzeneğinin genel görünümü

3.1.4.4. Deneyde kullanılan gaz analiz cihazı

Deney çalışmalarında CAPELEC marka CAP 3200 model cihaz kullanılmıştır. Egzoz gazı cihazıyla DY, DB-SY10, DB-SY20, DB-SY30, DB-PY10, DB-PY20, DB-PY30 ve DB-SPY30 (%15DB-SY+ %15DB-PY) yakıt karışımları ile EN katkılı DB-PY20EN5, DB-PY20EN10, DB-SY20EN5, DB-SY20EN10 yakıtlar test edilmiştir. Tüm test yakıtların CO_2, HC, NOx ve O_2 emisyonları ve duman değerleri ölçülmüştür. Egzoz gazı emisyon ve duman ölçüm cihazı Şekil 3.13'da gösterilmektedir.

Şekil 3.13. Egzoz gazı analiz cihazı

Çalışmalarda egzoz emisyon cihazı olarak CAPELEC marka CAP 3200 model dizel ve benzinli emisyon cihazının teknik özellikleri Çizelge 3.3'de görülmektedir.

Çizelge 3.3. Egzoz gazı cihazının teknik özellikleri

Araç Tipi	**Dizel + Benzin**
O_2 ölçüm aralığı	0-%21,7
CO_2 ölçüm aralığı	0-%20
HC ölçüm aralığı	20000 ppm
CO ölçüm aralığı	0-%15
N duman koyuluğu	0-%100
K opasite	0-%9,99
NOx ölçüm aralığı	0-5000 ppm
Motor devri	0-10000 rpm
Yağ sıcaklığı	0-150 ^oC
Cihazın ağırlığı	7 kg
Çalışma voltajı	220 V AC

3.2. Metot

Yapılan deneysel çalışmalarda dizel yakıtı ile atık sanayi ve atık plastik yağlarından piroliz yöntemiyle yakıtlar elde edildikten sonra kükürtsüzleştirme işlemi uygulanmış iki farklı yakıtı hacimsel olarak (DY, DB-SY10, DB-SY20, DB-SY30, DB-PY10, DB-PY20, DB-PY30 ve DB-SPY30) hazırlanarak birinci aşama olarak deney motorunda kullanılıp performans, yanma ve emisyon değerleri alınmıştır. İkinci aşamada DB-SY20 ve DB-PY20 karışımlarına katkı maddesi olarak %5 ile %10 oranında Ethylhexyl Nitrat katılarak elde edilen yakıtları aynı deney motorunda tüm test yakıtları için sabit devirde (1500 dev/dk) ve Eddy Current dinamometresinin farklı yüklerinde 0,3 bar OEB, 2,5 bar OEB 5 bar OEB ve 7,5 bar OEB testlerde performans, yanma ve emisyon değerleri karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Ardından yapay sinir ağları ile test yakıtlarının yanma parametreleri optimize edilmiştir.

3.2.1. Test yakıtların üretimi

Bu bölümde atık sanayi yağlar ile atık plastiklerden elde edilen dizel benzeri yakıta dönüştürüp deneysel bir çalışmada izlenen yöntem ve kullanılan materyallere yer verilmiştir.

3.2.2. Atık sanayi ve plastik yağın temini

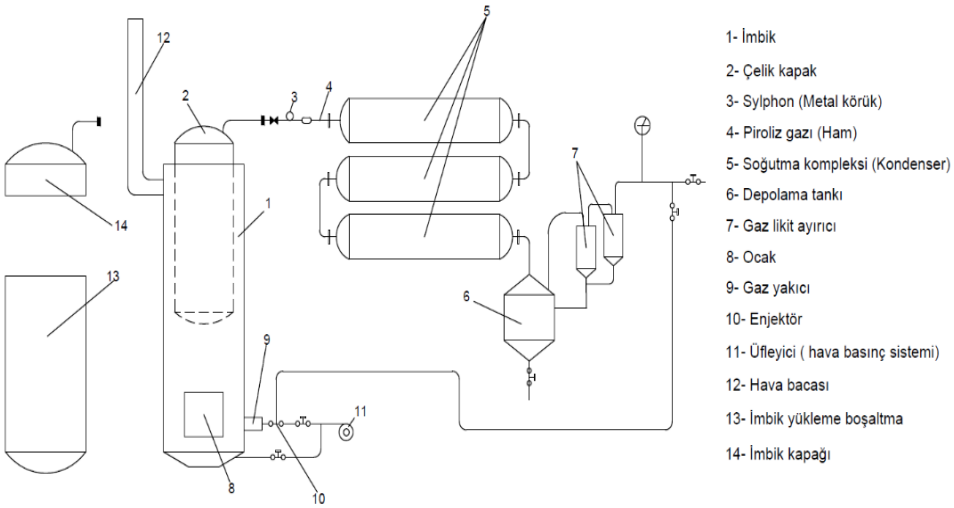
Sanayi yağlarının kullanımını özellikle içten yanmalı motorlu araçlarda teknolojik olarak elektrikli araçlara olan yönelimden dolayı azaltılmaya çalışılmaktadır. Bunun en büyük nedeni araçlardan kaynaklanan emisyonlardır. Bu eğilimin azalması içten yanmalı motorların tamamen ortadan kalkacağı anlamına gelmiyor. Çünkü içten yanmalı binek otomobillerin yanında iş makinaları, jeneratörler, çimento fabrikaları ve sanayi sektöründe uzun yıllar kullanılmaya devam edeceğinden, atık durumda olup ta dizel ve benzeri ürünlere dönüştürülebilen tüm sanayi ve evsel atıkları çevreye olan etkilerini azaltmak ve enerjiye dönüşümünü sağlamak çok büyük önem arz etmektedir.

Atık sanayi yağlar çalışma koşullarından dolayı zamanla kimyasal özellikleri bozulmaktadır. Yağların çalışma parametrelerine en çok etki eden faktörlerin başında viskozite ve yoğunluk gelmekte olup bu iki parametrede artışlar olmakta, kokular keskinleşmekte, renkleri koyulaşmaktadır. Aynı zamanda atık sanayi yağların

içeriğindeki yabancı maddeler (toz, metal çapaklar, karbon, kükürt miktarı) artmaktadır. Bu çalışmada atık sanayi yağlardan, rodaj yağı olarak adlandırılan 10000-15000 km kullanımından sonra atık yağ haline gelmiş farklı motor yağı, şanzıman yağı ve sanayide kullanılan atık makine yağları karışımlı tercih edilmiştir. Bu atık yağlarını otomotiv yetkili servisinden, sanayi makineleri kullanımında sonra atık yağ olarak alınarak herhangi bir işleme tabi tutulmadan piroliz yöntemi ile kademeli sıcaklık artışına bağlı olarak dizel ve benzeri yakıtların elde edilişini yakıt üretim bölümünde daha detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Atık plastikler petrol ürünleri yanında takviye malzemeli tekstil ürünleri ile vulkanize olmuş farklı doğal ve sentetik kauçuklar, yumuşak kauçuk formülasyonları ve elastomer zincirler arasında çapraz bağlanma bileşenleri (karbon siyahı, yağ, sülfür, hızlandırıcı organik sülfür bileşikleri, çinko oksit ve stearik asit) gibi takviye malzemeleri bulunur (Sadaka ve ark., 2012; Zhang ve ark., 2009). İçerisinde otomotiv sektörünün bir parçası olan, dünyada yıllık bazda yaklaşık olarak 1 milyar adedin üstünde üretilen ve her yıl yaklaşık olarak %2 oranında artışla taşıt lastikleri (Lo ve ark., 2013) plastik yağ üretimin başında gelmektedir.

Atık plastiklerden piroliz yöntemi ile yağ üretimini yapan özel bir firmadan izin alınarak temin edilmiştir. Şu an aktif olarak üretimini durdurmuş olan bu firmanın yağ üretim tesisinin şematik ve genel görünümü şekil 3.14(a), şekil 3.14(b)'de ve Çizelge 3.4. ile teknik özellikleri birlikte verilmiştir.



Şekil 3.14(a). Atık plastiklerden yağ üretim prosesinin şematik görüntüsü

Şekil 3.14(b). Atık plastiklerden yağ üretim prosesinin genel görünümü

Çizelge 3.4. Tesis makine ekipmanın teknik özellikleri

Tesisin Bileşenleri	**ADET**
Fırın Modülü	2
İmbikler	4
Refrigatör (Soğutucu)	2
Depolama Tankı (10 Ton)	2
Bakım İskelesi	2
İmbik Refrigatör Boru Hattı (Çapı 160)	2
Refrigatör- Manometre Boru Hattı (Çapı 34)	2
Refrigatör -Depolama Tankı Boru Hattı (Çapı 34)	2
Depolama Tankı-Piroliz Fırın Boru Hattı (Çapı 34)	2
Zemin Boru	2
Baca	4

Atık plastik tesisinde geri dönüşüm sonrasında elde edilen ürünlerin çıktı ve son ürün olarak Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Plastik tesisinde geri dönüşüm sonrası elde edilen ürünler

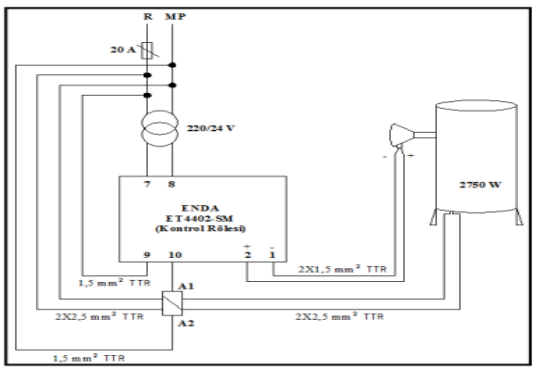
Kapasite	Günde 6 Ton
İşlenmiş Miktar	180 Ton/ay
Son Ürün	%41 Atık Yağ
	%8 Çelik Tel
	%40 Karbon
	%11 Gaz
Çıktılar	Atık Yağ:73,8 Ton/ay
	Çelik:14,4 Ton/ay
	Karbon:72 Ton/ay

Piroliz tesisindeki atık plastikleri 350-450 ºC oksijensiz bir ortamda bir termal ayrıştırma ile çelikten yapılmış imbik içerisine yerleştirilmiştir. Atıklar imbiğin duvarlarından yapılan ısı transferi ile ısıtılarak termal ayrıştırma yöntemi ile buhar, gaz ve karbon elde edilmektedir. Buhar ve gaz karışımı, yanıcı buhar ve yoğunlaştırılamayan yanıcı gaz içerir. Gaz fraksiyonu, piroliz işlemi sonucunda ortaya çıkan farklı gazları içerir. Buhar-gaz karışımı imbiğin içinden boru hattı vasıtası ile kondenser ile soğutularak sıvı halde depolama tankına gönderilerek toplanır. Yoğunlaştırılamayan yanıcı gaz, kısmen veya tamamen piroliz sisteminde veya başka yerlerin ısıtılmasında kullanılır. Piroliz prosesi sonucunda karbon imbiğin içinden boşaltılır ve diğer imbik dolu bir şekilde fırının içine konularak işlem sonlandırılır. Atık plastik tesisinin uygulama esasları aşağıda sıralanmıştır.

- ✓ Piroliz tesisi 350 ºC-400 ºC sıcaklıkta plastikleri termik ayrıştırmaya uygundur.
- ✓ Piroliz tesisi içerisinde 2 adet 3 ton/gün kapasiteli reaktörler yer almaktadır.
- ✓ Reaktörlere plastiklerin yüklemesi prosesi mobil kazanlar ile yapılmaktadır.
- ✓ Her bir reaktör için 2 adet mobil kazan kullanılmaktadır.
- ✓ Her bir kazan 1 ton plastik yükleme kapasitesine sahiptir.
- ✓ Plastiklere piroliz işlemi süresince indirerek ısı verilmektedir.
- ✓ Tesis + 40 ºC ile -30 ºC hava koşullarında çalışabilmektedir.

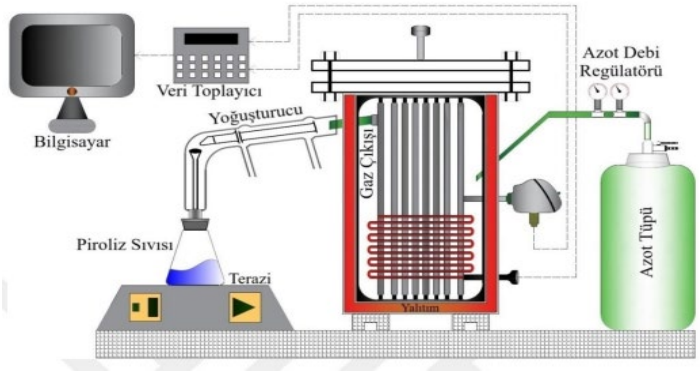
3.2.3. Atık sanayi yağları ve atık plastiklerden yakıt üretimi

Tesislerden alınan atık motor yağı ile atık plastik yağlarını Siirt Üniversitesi Teknik Bilimler M.Y.O. Makine Atölyesi'nde bulunan piroliz reaktöründe gerçekleştirilmiştir. Piroliz reaktörünün elektrik kontrollü sisteminin bağlantı hat şeması ve şematik Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'de sunulmuştur.



- Elektronik kontrol rölesi
- J tipi termokupl
- 220/15 V'luk trasformatör
- 20 Amperlik sigorta
- 2x1,5mm^2 ve 2x2.5 mm^2 ölçülerinde kablo
- 2750 W gücünde gömlek tipi rezistans

Şekil 3.15. Piroliz reaktörünün kontrol sisteminin elektriksel hat şeması



Şekil 3.16. Yakıt üretim prosesinin şematik görüntüsü

İç Hazne

- Yükseklik 250 mm
- Çap 140 mm
- Et Kalınlığı TSE 6476 demir boru 5 mm
- Boru alt plazma çapı 140 mm
- Boru alt et kalınlığı 5 mm
- Üst kapak yüzey dış çap 250 mm, iç çap 140 mm
- Ürün çıkış hattı boru dış çap 10 mm, iç çap 6 mm
- Gömlek yükseklik 160 mm çap 140 mm
- Üst kapak yüzey klingrit conta

Tüm ekipmanlar iç hazne üzerine monte edilmiş olup, kapağın oturacağı yüzeye dış çapı 200 mm, iç çapı 150 mm olan ısıya dayanıklı klingrit conta kesilmiştir. Bu conta ısıya dayanıklı sıvı conta ile iç haznenin kapakla öpüşeceği yüzeye yapıştırılmıştır (Uyar, 2020). Atık sanayi ve atık plastik yağlarının otomotiv deney setinde kullanılmak üzere yakıt üretiminin yapılacağı piroliz düzeneği Şekil 3.17'de verilmiştir.

Şekil 3.17. Yakıt üretiminin yapıldığı piroliz düzeneği

Piroliz reaksiyonu düzeneğinde elde edilen ürünler; kademeli olarak sıcaklık artışı yapılarak ve her bir sıcaklık kademesinde ortalama 20 dk. işlem görülerek elde edilmiştir. Sıcaklığa bağlı pirolizle elde edilen ürünler her bir atık yağları (sanayi, plastik) dört kategoride değerlendirilmiştir. Çünkü piroliz yöntemi ile dizel ve benzeri yakıtların elde edilme sıcaklıkları ortalama 180 ^{o}C ile 300 ^{o}C arasında olduğu literatür çalışmalarında belirtilmektedir. Yapılan piroliz çalışmasında 80 ^{o}C -180 ^{o}C arasında elde edilen ürünler 1. Kategoriye (Benzin ve benzeri yakıt), 180 ^{o}C -300 ^{o}C arasında elde edilen ürünler 2. kategoriye (Dizel ve benzeri yakıt), 300 ^{o}C -375 ^{o}C arasında elde edilen ürünleri 3. kategori (Ağır fraksiyonlu yağlar) 4. kategori ise katı ürün olarak ayrıştırılmıştır. Ortam sıcaklığı -1 ^{o}C'de gerçekleştirilen piroliz düzeneği haznesine her seferinde 1 lt atık yağ konularak aynı kademedeki sıcaklık ve sürelerde (20 dk.) tutularak elde edilmiştir. Tekrar edilen yakıt üretim işlemlerinde aynı miktarlarda ürün elde edildiği tespit edilmiş, referans olarak 1lt'lik yağdan elde edilen ürünler Şekil 3.18'de gösterilmiştir.

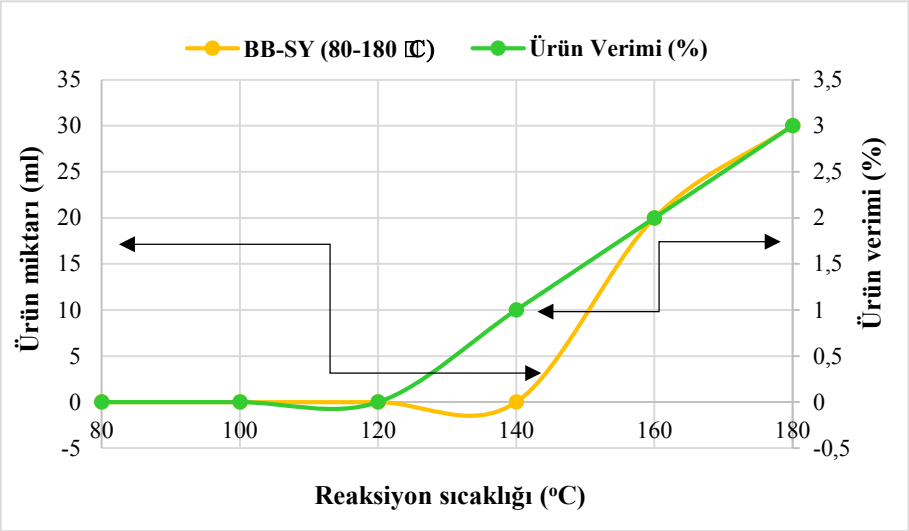
Şekil 3.18. Atık plastik ve sanayi yağlardan elde edilen dizel benzeri test yakıtları

3.2.4. Atık sanayi yağından piroliz yöntemiyle yakıt üretimi

Özel servisten rodaj halde temin edilen atık sanayi yağı piroliz düzeneğine konularak üretim gerçekleştirilmiştir. Üretim için pirolitik düzeneğine her işlemde 1 lt rodaj haldeki yağı konularak kademeli olarak sıcaklık artışına gidilmiştir. Atık sanayi yağını 80 ^{o}C - 400 ^{o}C sıcaklıklarda üretilmiş olup her yirmi dakikada bir 20 ^{o}C sıcaklığı artırılarak buhar fazdaki molekülleri kondenser yardımıyla soğutularak sıvı ürünler elde edilmiştir. Haznede geri kalan katı ürünü hassas bir terazi ile ölçülmüştür. Elde edilen bu veriler her bir yakıt için beş ayrı reaksiyonun ortalaması baz alınarak Çizelge 3.6 ve Şekil 3.19 gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Sıcaklığın atık sanayi yağı (80 ºC -180ºC) ürün miktarı(ml) eldesi

Sıcaklık (□C)	80	100	120	140	160	180
Ürün Miktarı (ml)	0	0	0	0	20	30

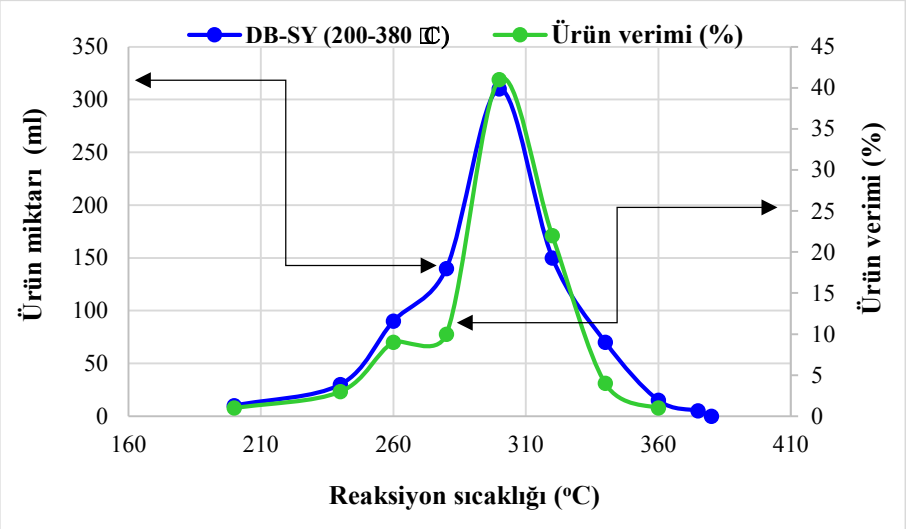


Şekil 3.19. Sıcaklığın BB-SY üretimindeki ürün miktarına(ml) etkisi

Atık sanayi yağlarından piroliz yöntemiyle elde edilen ürünler Çizelge 3.6 ve Şekil 3.19'te görüldüğü gibi 80 ºC – 180 ºC arasında elde edilen ürün miktarlarına bakıldığında 140 ºC 'ye kadar herhangi bir ürün elde edilmediği 160 ºC -180 ºC arasında elde edilen ürün miktarının toplamda 50 ml olduğu, bu da toplam 1 litrelik ürünün %5'ini oluşturduğu tespit edilmiştir. Kademeli sıcaklık artışının devamında 2. kategoride sınıflandırılan DB-SY Çizelge 3.7. ve Şekil 3.20'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Atık sanayi yağı (200 ºC -300ºC) arasında ürün miktarı(ml) eldesi

Sıcaklık (□C)	200	240	260	280	300	320	340	360
Ürün Miktarı (ml)	10	30	90	140	310	160	80	10



Şekil 3.20. Sıcaklığın DB-SY üretimindeki ürün miktarına(ml) etkisi

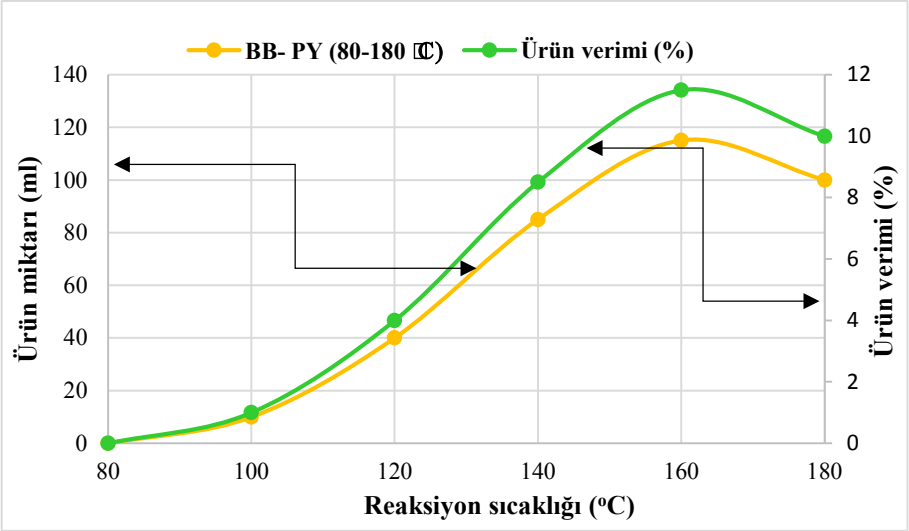
Çizelge 3.7 ve Şekil 3.20'deki sıcaklık miktarındaki artışa parelel olarak elde edilen ürün miktarları ve ürün verimi gösterilmiştir. Sıcaklığın 200 ºC - 300 ºC'deki aralıklarda artışa bağlı olarak ürün miktarının (ml) arttığı ve maksimum ürün artışının 300 ºC'de 310 ml sıvı ürün elde edildiği görülmüştür. 300 ºC ve üzerinde sıcaklık artışında elde edilen ürün miktarlarında düşüşlerin meydana geldiği görülmektedir. Dizel ve benzeri yakıt ürünlerinin elde edildiği sıcaklık olarak kabul edilen (200 ºC - 300 ºC)'de elde edilen ürün miktarı, toplam 1 litrelik ürünün %58 'ini oluşturmuştur. Ayrıca 3. kategoride kademeli sıcaklık artışına devam edilerek 320 ºC - 360 ºC arasında ağır fraksiyonlu yağ ve zift olarak 250 gr. ürün açığa çıkmıştır. 360 ºC – 400 ºC arasında ise 10 gr. katı ürün elde edildiği tespit edilmiştir.

3.2.5. Atık plastiklerden yakıt üretimi

Piroliz düzenek haznesine konulan 1lt atık plastik yağını kademeli sıcaklık artışlarında elde edilen ürünler dört farklı kategoride değerlendirilerek Çizelge 3.8 ve Şekil 3.21'de belirtilmiştir. Sıcaklık artışını kademeli olarak 20 ºC artırıp her bir derecede ürün eldesi için 20 dk'lık zaman sürecinde elde edilmiştir. 1.kategorideki (80 ºC -180 ºC) ürün miktarlarını incelendiğinde 80 ºC'de herhangi bir ürün elde edilmeği tespit edilmiştir.

Çizelge 3.8. Atık plastik yağı (80 ºC -180 ºC) arasında ürün miktarı(ml)

Sıcaklık (□C)	80	100	120	140	160	180
Ürün Miktarı(ml)	0	10	40	85	115	100



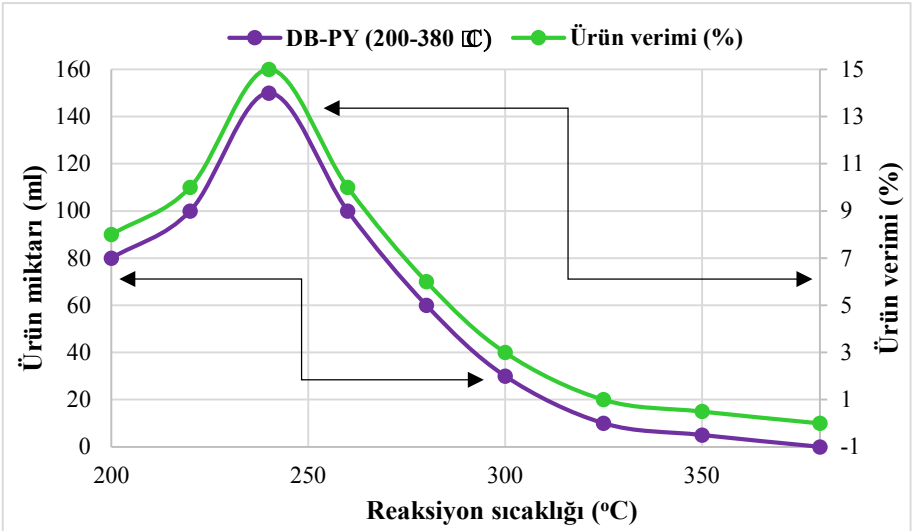
Şekil 3.21. Sıcaklığın BB-PY üretimindeki ürün miktarına(ml) etkisi

Ürün miktarının sıcaklık artışına bağlı olarak 100 ºC -180ºC arası incelendiğinde maksimum ürün eldesinin 160 ºC'de 115 ml olduğu tespit edilmiştir. Bu iki aralıktaki (80 ºC -180 ºC) elde edilen benzin ve benzeri yakıtın ürün miktarı, toplam 1 litrelik ürünün %35'ini oluşturduğu tespit edilmiştir.

Kademeli sıcaklık artışının devamında 2. kategoride sınıflandırılan DB-PY Çizelge 3.9. ve Şekil 3.22'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Atık plastik yağı (200 ºC- 325 ºC) arasında ürün miktarı(ml)

Sıcaklık (□C)	200	220	240	260	280	300	325
Ürün Miktarı (ml)	80	100	150	110	60	20	0



Şekil 3.22. Sıcaklığın DB-PY üretimindeki ürün miktarına(ml) etkisi

Çizelge 3.9 ve Şekil 3.22'de atık plastik yağının 2. kategorideki sıcaklık (200 ºC -300 ºC) artışına bağlı olarak elde edilen ürünlere bakıldığında en yüksek ürün eldesinin 240 ºC'de 150 ml olduğu tespit edilmiştir. Ortalama elde edilen dizel ve benzeri yakıtın ürün miktarı, toplam 1 litrelik ürünün %52'sini oluşturduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 3. kategoride kademeli sıcaklık artışına devam edilerek 325 ºC -375 ºC arasında ağır fraksiyonlu yağ ve zift olarak 100 gr. ürün eldesi görülmüş olup, 375 ºC -400 ºC arasında ise 10 gr. katı ürün elde edildiği tespit edilmiştir.

3.2.6. Standart dizel yakıtının sınır değerlerinin incelenmesi

Atık sanayi ve plastik yağlarından elde edilen dizel benzeri yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlendikten sonra TSE EN 590 standartına ve EPDK tarafından belirlenen teknik düzenlemelere uygun olan Türkiye'de üretilen veya ithali yapılan üründür. Üretim sonrasında eklenen herhangi bir katkı içermez. Avrupa'da kullanılan kaliteli ve çevreci bir üründür**.** Standart dizel TS EN 590 yakıt için belirlenen sınır değerleri Çizelge 3.10'da verilen değerler ile kıyaslanmıştır.

Çizelge 3.10. Motorin ürün ve özellikleri (TS EN 590)

Özellik	Birim	Değer	Sınır	Deney Yöntemi
Yoğunluk (15 ºC'de)	Kg/m^3	820-845		TS 1013 EN ISO 3675 TS EN ISO 12185
Viskozite (40 ºC'de)	cst	2,0-4,5		TS 1451 EN ISO 3104
Parlama Noktası	ºC	55	En az	
Damıtma				TS 1232 EN ISO 3405
250 ºC'de elde edilen	% Hacim	65	En az	
350 ºC 'de elde edilen	% Hacim	85	En az	
%95'in elde edildiği sıcaklık	ºC	360	En çok	
Kükürt	%	0,1	En çok	TS 6838 EN ISO 8754
Setan sayısı		51		TS 10317 EN ISO 5165

3.2.7. Elde edilen yakıtların teknik özelliklerinin incelenmesi

Yakıtların kimyasal özelliklerinin tespiti yapılırken literatürdeki çalışmalarda, izlenmesi gereken prosedür ve kullanılan parametreler göz önüne alınmıştır. Hazırlanan dizel benzeri sanayi yakıt ve dizel benzeri plastik yakıtların analizi için TÜBİTAK (MAM) ve Batman Üniversitesi Rafineri ve Petrokimya Bölümü laboratuvarında yapılmış olup sonuçlar Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Elde edilen dizel benzeri sanayi ve plastik yakıtların kimyasal analizleri

	DY	**DB-SY**	**DB-KMY**	**DB-PY**	**DB-KLY**
Setan Index	46(TS 2883 EN ISO 4264)	56,71	52,64	28,82	28,46
API	-	38,2	28,4	22,5	21,8
Yoğunluk (gr./cm^3) 15 °C'de)	820-845(TS EN ISO 12185)	0,833	0,832	0,918	0,922
Parlama Noktası (°C)	55 (En az)	39	39	70	64
Vizkozite 40 □C'de (mm^2 /s)	2,0-4,5(TS 1451 EN ISO 3104)	2,751	2,543	2,532	2,521
Donma Noktası (□C)	-	-16	-	-12	-
Kükürt İçeriği (%)	0,1(TS 6838 EN ISO 8754)	0,108	0,108	0,901	0,673
Alt Isıl Değer (kJ / kg)	42705	42969	-	40984	-
IKN		123 °C	128 °C	160,5 °C	147,9 °C
5%		163 °C	158 °C	194,4 °C	193,7 °C
10%		185 °C	175 °C	206,7 °C	207,3 °C
20%		223 °C	206 °C	228,3 °C	227,1 °C
30%		255 °C	233 °C	247,2 °C	245,8 °C
40%		279 °C	256 °C	263,3 °C	263,8 °C
50%		301 °C	275 °C	277,5 °C	277,7 °C
60%		321 °C	293 °C	291,8 °C	293,8 °C
70%		340 °C	310 °C	307,7 °C	310,9 °C
80%		360 °C	328 °C	327,3 °C	331,6 °C
90%		383 °C	353 °C	354,8 °C	359,4 °C
95%		390 °C	373 °C	383 °C	386,7 °C
SKN		398 °C	381 °C	387,8 °C	389,9 °C

Dizel yakıtların önemli parametrelerinin başında viskozite, yoğunluk, parlama noktası ve distilasyon gibi kritik özelliklerin sınırları standartlarla belirlendiğinden karşılaştırmalar bu doğrultuda yapılmıştır. Yüksek viskoziteye sahip bir yakıtta, yakıtın pompalanması ve püskürtme sonrası taneciklerin iri olmasından kaynaklı tutuşma gecikmesi ve is miktarını artırmaktadır. Düşük viskoziteye sahip bir yakıtta ise iyi bir

atomizasyon sağlamakla birlikte, sızdırmazlık sorunlarına ve pompa elemanlarının aşıntısına neden olmaktadır (Park ve ark., 2013). Dizel benzeri atık sanayi yakıtı ve dizel benzeri plastik yakıtlarının viskozite değerleri (2,751 mm^2 /s 2,543 mm^2 /s), (2,532 mm^2 /s 2,521 mm^2 /s) değerler arasında olduğu tespit edilmiştir. Bu da standart dizel yakıtının viskozite (2 mm^2 /s <DY<4,5 mm^2 /s) değerleri arasında olduğu tespit edilmiştir.

Parlama noktası; bir tutuşma kaynağından yakıtları ısıya ve belirli koşullar altında numune buharlarının tutuşmasına neden olduğu en düşük sıcaklıktır. Diğer bir ifadeyle hava ile karışımın alev oluşturma eğiliminin bir ifadesidir. Çizelge 3.11'deki dizel benzeri sanayi yakıtı 39 □C değerleri ile standart dizel yakıtının en düşük parlama noktası 55< çok daha düşük olması yakıt güvenirliği ve motorlarda erken tutuşma sonucu vuruntulara neden olacağı düşünülmektedir. Aynı şekilde dizel benzeri plastik yakıtı (70 □C -64 □C) standart dizel yakıtının değerlerinde olması taşınmada daha güvenli olacağı, fakat motorlarda tutuşma gecikmesinin uzamasına neden olacağından kötü emisyon ve fazla yakıt sarfiyatına neden olacağı düşünülmektedir.

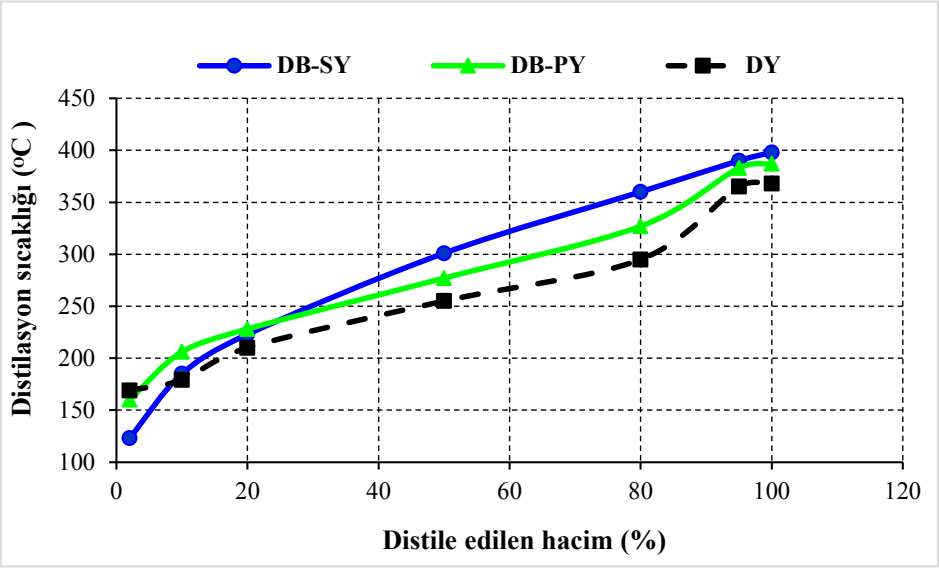
Yoğunluk yakıtın ne kadar katılaşmaya ve donmaya maruz kalacağını karakterize etmekle kalmaz aynı zamanda genel enerji verimliliğini ve yakıtın birim hacimde ağırlığın bir göstergesidir. Yoğunluk yakıtların temel bir parametresi olduğundan, yakıtlarda yoğunluk arttıkça, birim hacim başına enerji miktarı artar ve bu da motor performansına paralel zengin karışımdan dolayı emisyonlarda artırır (İçingür ve ark., 2012; Şimşek, 2020). Diğer taraftan yoğunluk azaldıkça hacimsel yakıt tüketimi artar. Çizelge 3.11'deki dizel benzeri atık sanayi yakıtının yoğunlukları (0,833 gr/cm^3-0,832 gr/cm^3) standart dizel yakıtının (0,840 gr/cm^3) değerleri arasında olduğu tespit edilirken, dizel benzeri atık plastik yakıtlarının yoğunlukları (0,918 gr/cm^3 - 0,922 gr./cm^3) standart dizel yakıtının üstünde olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 3.10'da EN 590 dizel yakıt standartlarına göre dizel benzeri atık sanayi yakıtı ve dizel benzeri atık plastik yakıtların özellikleri incelendiğinde; viskozitelerinin dizel yakıtları standart değerlerde olduğundan dolayı saf halde yakıt olarak kullanımını kolaylaştırmaktadır. Bunun yanında parlama noktaları dizel benzeri atık sanayi yakıtı düşük olduğundan taşıma ve depolama sırasında güvensiz bir yakıt yapmaktadır. Dizel benzeri atık sanayi ve plastik yakıtlarındaki yüksek kükürt içeriği emisyonlar açısından olumsuz bir durum oluşturduğundan kükürtsüzleştirme işleminin yapılması ile bu olumsuzluğu minimize edilebileceği; dizel yakıtlara nazaran daha iyi yağlayıcılık özelliğine sahip olması beklenmektedir. Setan indeksinin dizel benzeri atık sanayi yakıtının standart dizel yakıt değerinde olması motorda yanma açısından olumlu bir

özellik olarak karşımıza çıkarken dizel benzeri atık plastik yakıtının düşük olması olumsuz bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü setan sayısı yakıtın ateşlemesinin ne kadar kolay gerçekleşmesi yanında yanmanın düzgünlüğünü ölçen bir parametredir. Setan sayısı yüksek olması tutuşma özelliklerini iyileştirmenin yanında yanma, beyaz duman, stabilite, motor verimliliğini artırma, güç çıkışını artırma gürültü ve emisyonlar gibi birçok motor performans parametrelerini etkiler (Karakuş, 2000). Her iki yakıtın viskozite değerleri standart dizel yakıtın değerleri arasında olduğundan direk olarak kullanılabileceği, fakat yakıtlardaki diğer parametrelerden dolayı direk kullanımının güç olmasından dolayı karışım halinde belirli oranlarda dizel yakıtı eklenerek kullanılması daha uygun görülmüştür. Bir sıvının buhar basıncı sıvı faz ile buhar fazın denge basıncını ifade eder ve sıvı sabit bir sıcaklıkta ısıtıldığında buhar basıncı artar. Artan buhar basıncı atmosfer basıncına eşit olduğunda sıvı kaynamaya başlar. Bu sıcaklık sıvının kaynama noktası olarak tanımlanır. Denge pozisyonuna erişmiş buhar- sıvı sisteminde buhar fazın sıvı fazdan değişik bileşene sahip olmasıdır. Buhar ve sıvı gaz bileşimleri aynı olursa distilasyonda yeterli bir ayırma gerçekleşmez. Elde edilen dizel benzeri yakıtların piroliz işlemi sonunda ve bazik kükürtsüzleştirmenin distilasyon üzerindeki etkileri Çizelge 3.12, Çizelge 3.13 ve Şekil 3.23 ile Şekil 3.24'de verilmiştir.

Çizelge 3.12. Test yakıtları ve DY'ın distilasyon sıcaklık (°C) değerleri

Yakıt Cinsi	İKN	10%	20%	50%	80%	95%	SKN
DB-SY	123	185	223	301	360	390	398
DB-PY	160	206	228	277	327	383	387
DY	169	179	210	255	295	365	368

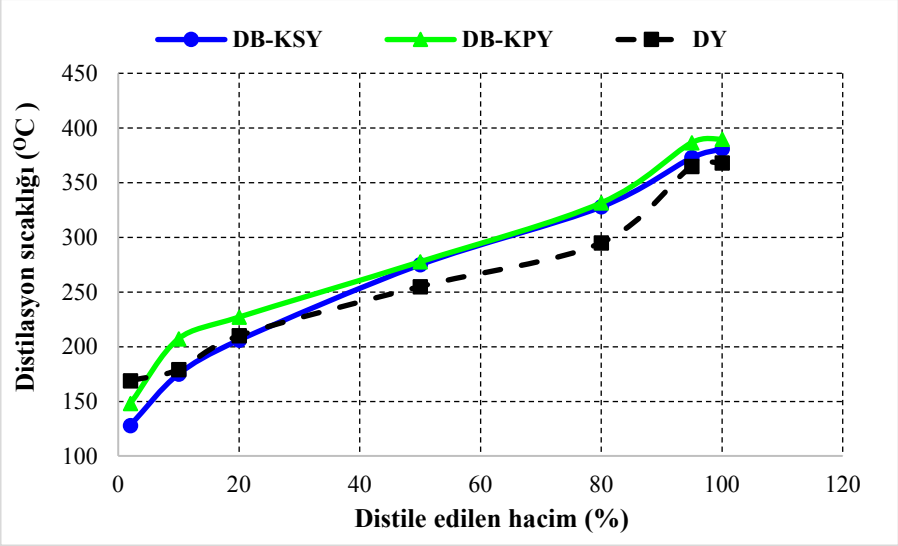


Şekil 3.23. Üretilen yakıtlar ile DY distilasyonunda sıcaklık değişimleri

Çizelge 3.12'da görüldüğü gibi her iki dizel benzeri yakıtların (sanayi- plastik) ve DY distilasyon sıcaklıkları verilmiştir. DBY ilk kaynama noktalarına bakıldığında, her iki yakıtının DY'ına göre düşük olduğu görülmektedir. DY 169 ºC'de kaynamaya başlarken DB-PY'ında 160 ºC ve DB-SY 123 ºC olmuştur. %10, %50 ve %95'inin buharlaştığı sıcaklıklar ise DB-PY 206 ºC, 277 ºC ve 383 ºC iken DB-SY yakıtı 185 ºC, 301 ºC ve 390 ºC bunun yanında DY için 179 ºC, 255 ºC ve 365 ºC olmuştur. Her üç yakıtın son kaynama noktaları incelendiğinde ise DB-PY ile 387 ºC, DB-SY ile 398 ºC ve DY için 368 ºC olmuştur. Test yakıtların son kaynama noktaları dizel yakıtına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Her iki yakıtın ilk kaynama noktalarının DY göre daha düşük olması motorun ilk harekete geçişinin konvansiyonel DY göre daha kolay olacağını göstermektedir. Bununla yanında her iki yakıtın distilasyon eğrilerinde yanma sonucunda oluşan yanmamış HC'ların konvansiyonel dizel yakıtı kullanımına göre daha az oluşu beklenmektedir.

Çizelge 3.13. Kükürtsüzleştirmiş yakıtlar ile DY'ın distilasyon sıcaklık (ºC) değerleri

Yakıt Cinsi	İKN	10%	20%	50%	80%	95%	SKN
DB-KSY	128	175	206	275	328	373	381
DB-KPY	148	207	227	278	332	386	390
DY	169	179	210	255	295	365	368



Şekil 3.24. Kükürtsüzleştirilmiş yakıtlar ile DY distilasyonunda sıcaklık değişimleri

Bazik olarak piroliz işlemi ile yapılan kükürtsüzleştirme işlemi Çizelge 3.13 ve Şekil 3.24'deki veriler incelendiğinde, DB-KSY ile kükürtsüzleştirme işlemine tabi olmamış DB-SY ilk kaynama noktasında % 4,06 'lık bir artış olduğu, sonraki damıtma

sıcaklıkların tümünde son kaynama sıcaklığı dâhil hepsinde %4 -%8 oranlarında bir azalmanın olduğu tespit edilmiştir. İlk kaynama noktası hariç diğer sıcaklıklardaki damıtmalarda kükürtsüzleştirme işleminden tabi olmuş olan dizel benzeri sanayi yakıtın, standart dizel yakıttaki distilasyon sıcaklığına daha da yaklaştığı tespit edilmiştir. DB-KPY işlemine tabi olmuş plastik yakıtı ise ilk kaynama noktasının DB-PY yakıtına oranla %7,5'luk bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Ancak distile edilmiş hacimsel veriler ve son kaynama noktası dâhil hepsinde çok az miktarda artış ve azalışlar gerçekleştiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak kükürtsüzleştirmenin distilasyon sıcaklıkları üzerine ciddi anlamda bir iyileştirme yapamadığı çok az miktarda düşüş ve yükselişlere neden olduğu tespit edilmiştir. Yakıt analizlerin genel bir değerlendirmesi yapıldığında; yoğunluk, viskozite, alevlenme noktası ve ısıl değer, distilasyon sıcaklıkları standartlara yakın ve uygun değerlerde iken her iki yakıttaki (sanayi- plastik) kükürt içeriğinin standartların üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bunun içinde her iki yakıt için ayrı ayrı kükürt giderme işlemine gidilmiştir.

3.2.8. Kükürt giderme reaksiyonları

Deneylerde kullanılan yakıtların kimyasal özelliklerinin tespitinden sonra dizel benzeri sanayi ve plastik yakıtlarının kükürt içerikleri piroliz reaksiyonu sıcaklığına ve elde edilen ürünün bir sonraki tekrar eden piroliz işlemlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Piroliz işleminde elde edilen dizel benzeri atık sanayi yakıtın kükürt içeriği %0,108 iken, dizel benzeri atık plastik numunesinin kükürt içeriği ise %0,901 olduğu tespit edilmiştir. Atık sanayi yağlarda elde edilmiş olan dizel benzeri sanayi yakıtının standart dizel yakıttaki kükürt oranları TS 6838 EN ve ISO 8754 standart değerlerinde olduğu için herhangi bir kükürt işlemine tabii tutulmadan kullanılabildiği, ancak dizel benzeri atık plastik yakıtının kükürt oranının standartların çok üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Araç motorlarında uygun olmayan yüksek kükürt değerlere sahip bu yakıtları kullandığımızda çevreye yüksek miktarda SO_2 salınımı olacağından çeşitli kükürt giderme işlemleri yapılmıştır (Arpa ve ark., 2019).

3.2.8.1. Bazik katkı maddeleri kullanılarak kükürt giderme işlemi

Piroliz işlemi ile elde edilen dizel benzeri sanayi ve plastik yakıtların numunelerin kükürt içeriğinin azaltılması amacıyla çeşitli katkı maddeleri kullanılmıştır. Bu uygulama

hem DB-SY yakıt numunesi için hem de DB-PY yakıt numunesi için gerçekleştirilmiştir. DB-SY numunesi kükürt oranı %0,108 değeri düşürülmeye çalışılırken, DB-PY yakıt numunesinde ise %0,901 değerindeki kükürt oranı düşürülmeye çalışılmıştır. Bu çalışma kapsamında yakıt numunelerine kütlesel olarak yapılan literatür çalışmalarda en uygun azaltma yöntemi, piroliz işlemi ile kütlesel olarak %10 oranlarında kullanılan CaO-Kireçtaşı, Perlit ve Zeolit katalizörleri olduğu gözlemlenmiş olup, bu oranlarda her iki dizel benzeri yakıta uygulanmasına karar kılınmıştır.

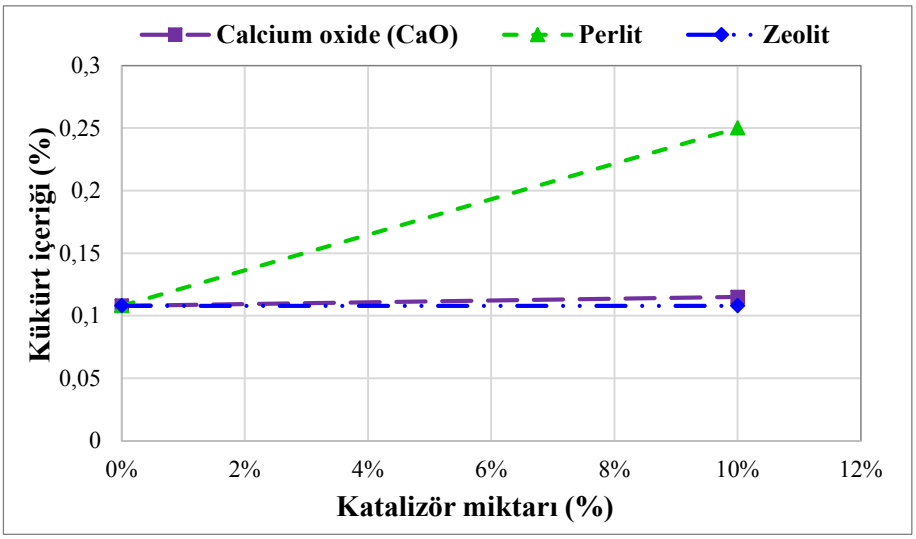
3.2.8.2. Dizel benzeri sanayi yakıt numunelerinin bazik kükürt giderme işlemi

Dizel benzeri sanayi yakıt numunesinin kükürt oranı standart dizel yakıt değerlerinde kabul görmesine rağmen daha da azaltılması kapsamındaki yapılan çalışmada, 500 ml yakıt numunesi içerisine kütlesel olarak kalsiyum oksit (CaO-Kireçtaşı), Perlit ve Zeolit katalizörleri kütlesel olarak %10 oranında ilave edilerek piroliz reaksiyonuna tabi tutulmuştur. Piroliz reaksiyon sonunda elde edilen numunelerinin her birini 100 ml şeklinde numuneler hazırlanarak kükürt analizine gönderilmiştir. Bazik kükürtsüzleştirme reaksiyonuna tabi tutulan dizel benzeri sanayi yakıt numunelerinin kükürt analizleri sonuçları, Çizelge 3.14 ve Şekil 3.25, Şekil 3.26'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.14. Bazik katalizörlerin DB-SY'da kükürtsüzleştirmeye etkisi

Yakıt Türü	**Katkı Oranları**	**Kalsiyum Oksit (CaO)**	**Perlit**	**Zeolit**
		Kükürt İçeriği %	Kükürt İçeriği %	Kükürt İçeriği %
DB-KSY	0%	0,108	0,108	0,108
	10%	0,115	0,250	0,108

Şekil 3.25. Kükürtsüzleştirilmiş dizel benzeri sanayi yakıt numuneleri



Şekil 3.26. Katkı maddesi miktarının DB-SY için kükürtsüzleştirmeye etkisi

Kullanılan katkı maddeleri piroliz işlemi uygulanan yakıt numunelerindeki kükürt ile kimyasal bir bağ yapısını kurmadığı tespit edilmiştir. Diğer bir ifade ile içerisinde kükürt miktarı standart dizel yakıtları değerinde olduğu kabul gören DB-SY yakıtın katkı maddelerindeki gözenekler yakıtın içerisindeki kükürdü absorbe edemediği gözlemlenmiştir. Ayrıca diğer bir nedende saf haldeki DB-SY yakıtın içerisindeki kükürt oranı ile piroliz işleminden geçen sanayi yakıtlardaki hidrokarbon (HC) bileşikleri ile bağ kurmuş olan kükürt bileşimlerini sıcaklığa bağlı olarak parçalayıp ayrıştırmasına neden olabildiği düşünülmektedir. Katalizör maddeleri kullanımının bir miktar olsa da kükürt oranının düşmesi beklenirken tam tersi yönde hiç değişmediği %10 perlit kullanımında %131,4, kalsiyum oksit (CaO) %6,4 artış olduğu, zeolit kullanımında ise herhangi bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Muhtemelen yakıtın içerisindeki bir miktar kükürt ile katkı maddelerinin içerisindeki bileşiklerin piroliz sürecinde zıt bir reaksiyon tepkimesi sonucu kükürt bileşimlerini artırabildiği düşünülmektedir. Bu tespit ışığında DB-SY yakıtın kükürtsüzleştirmesinde normal dizel yakıtının kükürt standartları içerisinde olduğu için, herhangi bir katkı maddesinin kullanımına ihtiyaç olmadığına karar verilmiştir.

3.2.8.3. Dizel benzeri plastik yakıt numunelerin bazik kükürt giderme işlemi

Dizel benzeri plastik yakıt numunesinin kükürt oranının azaltması için yapılan bu çalışmada, 500 ml yakıt numunesi içerisine kütlesel olarak %10 oranlarında; Kalsiyum Oksit (CaO-Kireçtaşı), Zeolit ve Perlit isimli katalizörleri yakıtın içerisine ilave edilerek

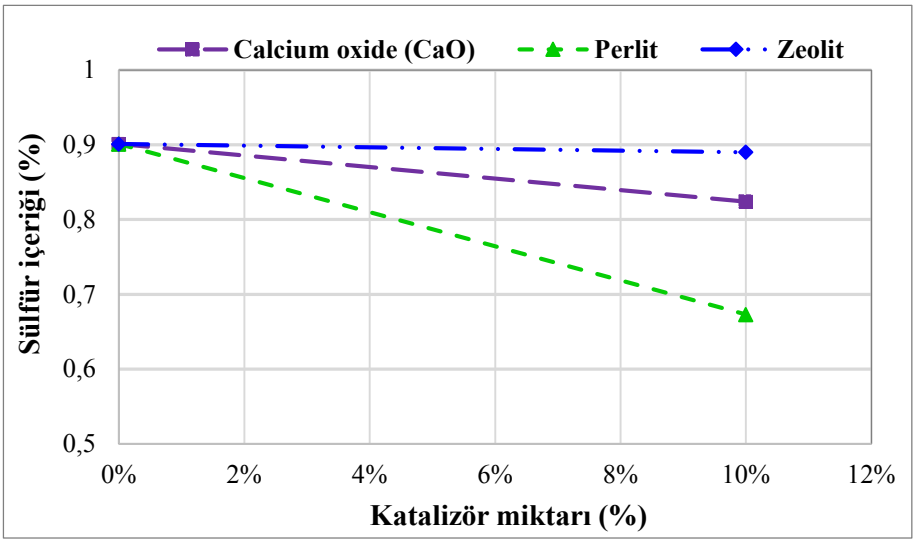
her biri için ayrı piroliz reaksiyonuna tabi tutulmuştur. Reaksiyon sonunda elde edilen ürünler, 100 ml şeklinde kükürt analizi için hazırlanmıştır. Bu numunelere ait görüntü Şekil 3.27'deki gösterilmiştir.

Şekil 3.27. Kükürtsüzleştirilmiş dizel benzeri plastik yakıt numuneleri

Bazik kükürtsüzleştirme reaksiyonuna sonunda DB-PY yakıt numunelerinin kükürt analizleri sonuçları, Çizelge 3.15 ve Şekil 3.28'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.15. Bazik katalizörlerin DB-PY'da kükürtsüzleştirmeye etkisi

Yakıt Türü	**Katkı Oranları**	**Kalsiyum Oksit (CaO)**	**Perlit**	**Zeolit**
		Kükürt İçeriği %	Kükürt İçeriği %	Kükürt İçeriği %
DB-KPY	**0%**	0,901	0,901	0,901
	10%	0,824	0,673	0,890



Şekil 3.28. Katkı maddesi miktarının DB-PY yakıtı için kükürtsüzleştirmeye etkisi

Kullanılan bu katkı maddeleri yakıt içeriğindeki kükürt ile fiziksel ve kimyasal özellikleri nispetinde bir bağ yapısı kurmuştur. Kullanılan bu katkı maddeleri az miktarda da olsa gözenek yapıları nispetinde yakıttaki kükürdü absorbe edebilmektedir (Uyar,

2020). Katkı maddelerinin kütlesel olarak %10 oranındaki kullanımında; Perlit için %25,3, Zeolit için %0,9 ve Kalsiyum Oksit için ise %8,5 oranlarında bir kükürt gidermenin gerçekleştiği tespit edilmiştir. Her üç katkı maddesinin içerisinde en iyi kükürt giderme oranının birinci aşaması olan bazik katalizör ile piroliz reaksiyonlarında kütlesel olarak %10 perlit kullanımında olduğu tespit edilmiştir. Bu tespitler doğrultusunda DB-PY yakıtının tümüne %10 Perlit uygulanarak kükürt içeriğini %25,3 oranında giderimi yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada %25,3 kükürtsüzleştirilmiş DB-PY yakıttan numuneler hazırlanarak testlere başlanmıştır.

3.2.8.4. Asidik kükürt giderme işlemleri

Baz katalizörle yapılan kükürtsüzleştirme işleminde DB-SY yakıtta herhangi bir değişimin olmadığı, DB-PY yakıtında ise 1/4 oranında kükürt bertaraf edilmiştir. Kimyasal analizler sonunda baz katalizörlerin DB-SY yakıtta kükürt oranını düşüremediği, DB-PY yakıtlarında ise %0,25,3 oranında kükürt oranını düşürdüğü gözlemlenmiştir. Piroliz yöntemiyle elde ettiğimiz bu iki farklı numunenin motor deneylerinde kullanılacak olması özellikle DB-PY yakıtının içerisindeki kükürt oranının emisyonlarda ve diğer motor parametrelerinde olumsuz sonuçların çıkmasına neden olacağı bildirilmektedir. Bu olumsuzlukları gidermek amacıyla kükürt giderme işleminin ikinci aşaması olan asidik kükürt giderme reaksiyonları işlemine gidilmiştir. Yapılan literatür çalışmalarında kullanılan çeşitli asit ve bu asitlerin içerikleri araştırılmıştır. Bu araştırmaların neticesinde her iki yakıt için kimyasal içerikleri bakımından asidik kükürtsüzleştirme reaksiyonlarında daha etkin olacağı düşüncesiyle, Sülfürik Asit (H_2SO_4), Asetik Asit (CH_3COOH) ve Formik Asit (CH_2O_2) tercih edilmiştir. Çözelti olarak Hidrojen Peroksit (H_2O_2) kullanılmıştır. Hidrojen Peroksit (H_2O_2) çözücüsü Formik ve Asetik Asitlere 1/2 oranında çözeltiler hazırlanarak yakıtlara kütlesel olarak ilave edilmek üzere asidik katalizör olarak kullanılmıştır. Çözücüye ihtiyaç duyulmayan sülfürik asit ise yakıt ilavesinde direk kullanılmıştır. Hazırlanan bu çözeltiler daha sonra 5 gr, 7,5 gr ve 10 gr olarak herhangi bir reaksiyona tabi tutulmamış olan DB-SY yakıta, %10 perlit reaksiyonuna tabi tutulmuş olan DB-PY yakıt numunelerine uygulanmıştır. Hazırlanan 200 ml 'lik yakıt numunelerine asit çözeltileri eklenerek manyetik karıştırıcıda 1 saat süre ile 50^{o}C'lik sıcaklıkta asidik reaksiyona tabi tutulmuştur. Reaksiyon sonunda ayırma hunisine alınan ürün 18 saat süre ile bekletildikten sonra net olarak faz ayrışması gözükmese de yoğunluk farkı sebebiyle alt kısımda tortu şeklinde gerçekleşmiştir. İki

farklı faz ayrışmasına ayrılan yakıt ayırma hunisinin alt kısmında kalanı boşaltıp bertaraf ederek üst fazdaki yakıtı başka bir kaba alındı. Daha sonra bu yakıtın içerisinde de reaksiyon yan ürünler olduğu tespit edildikten sonra 1/1 oranında saf su ile manyetik karıştırıcıda 1 saat ve 50 ^{o}C'lik sıcaklıkta karıştırdıktan sonra tekrar ayırma hunisine alınarak 24 saat beklemeye alınmıştır. Suda çözünen bu maddeler alt faza alınarak yakıt numunesinden ayrıştırılmıştır. Son işlem olarak alınan bu yakıt numunelerinin içerisinde bir miktar su çözeltisi olma ihtimaline karşın buharlaştırma işlemine tabi tutulup filtrelenerek 100 ml cam şişelere konularak kükürt analizi için hazırlanmıştır.

Analiz sonuçlarına göre her iki yakıta uygulanan asidik kükürtsüzleştirme işleminde yakıtların kükürt gideriminde etkin olmadığı tam tersi yönde artırdığı tespit edilmiştir.

3.2.8.5. Kükürtsüzleştirme işlemleri ile yakıtların değerlendirmesi

Piroliz süreci ile elde edilmiş olan yakıtların herhangi bir katalizör kullanımı uygulamadan önce elde edilen kimyasal analizler doğrultusunda DB-SY yakıt numunesinin %0,10 oranında, DB-PY yakıt numunesinde %0,90 oranında kükürt içeriğinin olduğu tespit edilmiştir. DB-SY yakıttaki kükürt oranı normal dizel yakıt standartları içerisinde olduğu, ancak DB-PY yakıtında kükürt içeriğinin yüksek olması sebebiyle her iki yakıt için baz katalizörü reaksiyon çalışmalarına geçilmiştir. Katalizör olarak, Kalsiyum Oksit, Zeolit ve Perlitin kullanıldığı reaksiyonlar gerçekleştirilmiştir. Yapılan literatür çalışmaların genelinde kükürtsüzleştirme işleminde en iyi performansın %10 oranlarında katkı maddesi kullanılarak piroliz işlemine tabi tutulduğunda gerçekleştiğinden bu oranın uygulanması uygun görülmüştür. DB-SY yakıtta bazik olarak uygulanan katalizörlerin kükürt oranını düşürmede etkin olmadığı saptanmıştır. Sonuç itibariyle DB-SY yakıtın piroliz işleminden sonra uygulanan bazik ve asidik kükürtsüzleştirmelerin yakıt içerisindeki kükürt oranında etkin olmadığı saptanmıştır. DB-PY yakıtında ise bazik kükürtsüzleştirme de düşüşün olduğu, ancak asidik kükürtsüzleştirme reaksiyonunda düşüşün aksine zıt yönde artış olduğu tespit edilmiştir. Asidik kükürtsüzleştirme de her iki yakıtın ısıl değerlerinin yüksek olması; hidrokarbon (HC) bağlarının uzun zincirli oluşundan dolayı kükürdü sökemediği değerlendirilmektedir.

Aynı zamanda plastik ve sanayi-sentetik yağların dayanım, mukavemet, aşınma, ses, gürültü, direnç vb. özelliklerini iyileştirmek için plastiklerden polimer yapısına sahip

olan elastomer grubunda bulunan araç lastikleri on iki farklı hamur, yirmi dört farklı bileşik oluştuğunu bildirilmektedir. Asidik giderme işleminde kullanılan asitlerin DB-SY ve DB-PY yakıtların içerisindeki hidrokarbon bileşiklerle tepkimeye girerek kükürt oranlarını arttırdığı değerlendirilmektedir.

3.2.9. Maliyetlerin analizi

Atık sanayi ve atık plastik yağlarından elde edilen dizel benzeri yakıtların bir dizel motorunda kullanılabilecek düzeye getirilirken üretim sürecinde harcanan kalemlerin maliyet analizleri yapılmıştır. Yakıtların üretimi esnasında harcanan bu kalemler; Yağların distile edilebilmesi için reaktöre verilen enerji maliyeti, reaktör içerisinde oksijensiz bir ortamı sağlamak için kullanılan N_2 gazı, elde edilen dizel benzeri bu yakıtların kükürtsüzleştirmesinde kullanılan bazik ve asidik katalizörler ile laboratuvar analiz maliyetleri şeklinde sıralanabilir. Piroliz yöntemindeki reaktörün iç haznesine atık sanayi ve plastik yağları bir litrelik küçük ölçeklerde kullanılarak 2750 Watt gücünde dizayn edilmiş kelepçeli rezistans monte edilerek bir röle ve kontaktör yardımıyla istenilen sıcaklık aralığında çalıştırılmıştır. İstenilen değerde sıcaklığı ayarlayabildiğimiz ve bu değere geldiğinde otomatik olarak rezistansı devre dışı bırakarak reaktörün dış yüzeyindeki ısı yalıtımı sayesinde enerjiyi mümkün olduğu kadar verimli bir şekilde kullanması sağlanmıştır. Reaktör içerisindeki oksijensiz ortamı sağlamak içinde N_2 gazı kullanılmıştır. Kükürtsüzleştirme işlemleri içinse bazik ve asidik olarak yapılan numune analizlerinde asidik kükürtsüzleştirmenin iki yakıtta etkin olmadığı, bazik olarak dizel benzeri plastik yakıtında etkin olduğundan içerisindeki kükürt bileşenlerinin ayrıştırılması amacıyla perlit kullanılması uygun görülmüştür. DB-SY ve DB-PY yakıtlarının maliyet analizleri ayrı ayrı hesaplanmış olup kullanılan enerji ve sarf malzemeler miktar ve birim fiyatları kullanılarak hesaplama yapılmıştır.

3.2.9.1. Reaktörde DB-SY yakıtın işlem adeti ile ürün tespiti

1 litre DB-SY yakıt üretebilmek için, reaktöre konulan sanayi yağdan ne kadar miktarda DB-SY yakıtının elde edildiğinin tespitini yapabilmek için verim analiz formülü kullanılarak yapılmıştır. Tespiti yapılmış olan bu verileri (3.1) 'deki denklemde yerine konulup yakıtın üretim verimine eşitlenmesi ile hesaplama yapılmıştır.

Üretim verimi "η" harfi
1 litrelik yakıt "V" harfi
Atık sanayi yağı "V_m" harfi
Dizel benzeri sanayi yakıtın yoğunluğu ise "d" harfi

$$\mu = \frac{V(lt)\ x\ d(kg/lt)}{Vm(lt)} \qquad (3.1)$$

Atık sanayi yağlardan elde edilen DB-SY yakıtın yoğunluğunun 0,833 kg/lt olduğu yakıt analiz sonuçları üzerinden tespit edilmiştir. Reaksiyon sonundaki DB-SY yakıtın için ürün verimi %58 olarak tespit edilmiştir. Tespiti yapılan bu veriler ile (3.1) deki denklem ile 1,43 lt atık sanayi yağın kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. 2,5 lt kapasiteye sahip olan reaktöre konulan atık sanayi yağdan 1,75 lt DB-SY yakıtının elde edildiği tespit edilmiştir.

3.2.9.2. DB-PY yakıt üretiminde işlem adeti ile ürün tespiti

1 litre DB-PY yakıtı üretebilmek için, reaktöre konulan plastik yağdan ne kadar miktarda DB-PY yakıtının elde edildiğinin tespitini yapabilmek için verim analiz formülü kullanılarak yapılmıştır. Tespiti yapılmış olan bu verileri (3.2) 'deki denklemde yerine konulup yakıtın üretim verimine eşitlenmesi ile hesaplama yapılmıştır.
Üretim verimi "η" harfi
1 litrelik yakıt "V" harfi
Atık plastik yağı "V_L" harfi
Dizel benzeri sanayi yakıtın yoğunluğu ise "d" harfi

$$\mu = \frac{\mathrm{V(lt)\ x\ d(kg/lt)}}{\mathrm{VL(lt)}} \qquad (3.2)$$

Atık plastik yağlardan elde edilen DB-PY yakıtın yoğunluğunun 0,918 kg/lt olduğu yakıt analiz sonuçları üzerinden tespit edilmiştir. Reaksiyon sonundaki DB-PY için ürün verimi %52 olarak tespit edilmiştir. Tespiti yapılan bu veriler ile (3.2) deki denklem ile 1,75 lt DB-SY yakıtının kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. 2,5 lt kapasiteye sahip olan reaktöre konulan atık plastik yağdan 1,42 lt DB-PY yakıtının elde edildiği tespit edilmiştir.

3.2.9.3. Elektrik tüketimine ait maliyetlerin hesaplanması

Yapılan her bir piroliz reaksiyonunda iki farklı sıvı (dizel benzeri sanayi – plastik yakıt) ağır fraksiyonlu yağ ve katı atık ürünler elde edilmiş olması sebebiyle kullanılan elektrik enerjisinin maliyet analizi bir bütün halinde incelenmiştir. 1 litre dizel ve benzeri ürün elde edilebilmesi için tek bir reaksiyon yeterli olmuştur. Gerçekleştirilen reaksiyonlarda, 180 ^{o}C'ye kadar olan sıcaklıkta benzin benzeri yakıt, 180 ^{o}C' nin üzerindeki sıcaklık değerlerinde ise dizel benzeri yakıt elde edilmiştir. Hesaplama yapılırken dizel benzeri yakıtların en yakın ortak katı üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. İşlemsel bir değerlendirme yapmak gerekirse; 1 adet reaksiyon işleminin neticesinde 1,75 litre DB-SY yakıt, 1,42 litre DB-PY yakıt elde edilmiştir. Isı enerjisinin maksimum düzeyde kullanılabilmesi için reaktörün iç ve dış ünitesi arasına yerleştirilmiş olan izolasyonla kaplanmıştır. Sistemdeki reaktör istenilen sıcaklığa gelindiğinde rezistansı devre dışı bırakacak bir termokupl yardımı ile devre dışı bırakılmıştır. Bir piroliz reaksiyonun gerçekleşme süresi ortalama 100 dakika zarfında gerçekleşmiştir. 10 dakikalık rezistansın çalışma süresinde 1,5 dk. çalışmış ve 8,5 dk. devre dışı kalmıştır. Diğer bir ifadeyle bir çalışma reaksiyonunda rezistans 15 dk. çalışmıştır. Bu süre zarfı içerisinde dizel benzeri sanayi- plastik yağlardan 1,75-1,42 lt sıvı ürün elde edilmiştir. Çizelge 3.16 'de görüldüğü gibi, 2750 watt gücündeki rezistans her bir reaksiyonda 15 dk. süre ile açık kalmıştır.

Çizelge 3.16. Bir reaksiyonda ürün eldesinde harcanan elektrik enerji miktarı

Rezistansın Gücü (kW/h)	Açık kalma süresi (dk)	Reaksiyon işlemi (Adet)	Harcanan Güç Toplamı (kWh)
2,75kW	15	1	2,75kW

Elektrik enerjisinin güncel birim fiyatı 1,54 TL'den hesaplanmıştır. Bir reaksiyon sonucunda sıvı yakıt üretebilmek için gerekli olan enerji miktarının maliyeti (2,75 x 1,54) = 4,23 TL olduğu tespit edilmiş olup her bir reaksiyonda DB-PY 1,42 lt yakıt elde edildiğinden, 1 litre için harcanan elektrik miktarı 4,23/ 1,42=2,97 TL olarak tespit edilmiştir. DB-SY yakıttaki bir reaksiyonda elde edilen yakıt miktarı 1,75 lt olduğuna göre 1 litre DB-SY yakıt için harcanan elektrik bedeli 10.07.2022 tarihi itibari 4,23/1,75 = 2,41 TL olarak tespit edilmiştir.

3.2.9.4. Harcanan azot gazına ait maliyetlerin hesaplanması

Piroliz işleminde reaksiyonun oksijensiz bir ortamda gerçekleşebilmesi için N_2 gazı kullanılmıştır. Her bir reaksiyonda dört farklı ürün eldesi olsa da azot gazının maliyeti bir reaksiyon bütünü olarak ele alınmıştır. Bu ölçümü yapabilmek için Piroliz reaktörü ile azot tankı arasına monte edilen bir regülatör üzerinden alınan bilgiye göre hesaplanmıştır. Bir reaksiyonun 100 dakikada gerçekleştiği ve dakikada 100 cm^3 azot akışı olduğu tespit edilmiştir. 100 dakikalık bir reaksiyon için 100×100 = 10000 cm^3 azot akışı olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir ifade ile 1,75 lt veya 1,42 lt DB-SY, DB-PY yakıtlarını elde etmek için reaksiyon başına 0,01 m^3 N_2 gazı kullanılmış olup, yıl içerisinde 15.05.2022 tarihi itibari ile azot gazının (N_2) m^3 10 TL alındığında reaksiyon başına tüketilen N_2 gazı için 0,01×10 = 0,1 TL olduğu tespit edilmiştir

3.2.9.5. Kullanılan kimyasal ürünlerin maliyet hesapları

DB-SY ve DB-PY yakıtların kükürtsüzleştirme aşamasında kullanılan kimyasal ürünlerin miktarları farklı olduğundan, her bir yakıt türü için ayrı ayrı hesaplama yapılması uygun görülmüştür. Bu işlemleri iki kademede ele alındığında 1. kademe bazik kükürtsüzleştirme 2. kademe ise asidik kükürtsüzleştirme olarak ele alınmıştır. Ancak hazırlanan deney yakıt numunelerine uygulanan bazik ve asidik kükürtsüzleştirme işlemlerinin analiz sonuçlarına göre asidik kükürtsüzleştirmenin her iki yakıtta etkin olmadığı tespit edilmiştir. Bazik kükürtsüzleştirme işleminde ise dizel benzeri yakıtta kükürt oranını düşürmediği, DB-PY yakıtında %10 perlit kullanımında kükürt oranını düşürdüğü tespit edilmiştir. 1 litre yakıt için kullanılan perlit oranı 0,1 kg olup parkende olarak temin edilen perlitin 10 kg çuvalı 80 TL'den satın alınmıştır. 1 litre DB-PY yakıtı için kullanılan perlit miktarı 0,1×80/10=0,8 TL ye karşılık gelmektedir.

Yukarıdaki yapılan hesaplamalar doğrultusunda 1 litre DB-PY yakıtı için yapılan maliyet analizine ilişkin genel Çizelge 3.17. ve 3.18'de özetlenmiştir. 1 litre DB-PY yakıt üretimi için harcanan kalemlerin 10.04.2022 tarihi itibarı ile toplamı 3,87 TL tutarında maliyet teşkil etmektedir. Aynı durum DB-SY yakıt üretimindeki kalemlerde de geçerli olup sadece perlit kalemini çıkarttığımızda 1 litre DB-SY yakıt üretimi için 2,51 TL maliyet teşkil etmiştir. Maliyetin yüksek çıkmasının temel nedeni günümüz dünyasında yaşanan enerji krizlerindeki elektrik birim fiyatlarının yüksek olmasıdır. Diğer etkenler ise araştırma amaçlı küçük bir reaktörde üretimin yapılması ve alınan malzemelerin

parkende olarak satın alınmasından kaynaklandığı söylenebilir. Sonuç olarak üretilen bu yakıtlardan DB-SY yakıtının maliyeti DB-PY yakıtına göre daha ucuza mal olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 3.17. Bir (1) litre DB-PY yakıt üretimi için maliyet durumu

No	Harcama Kalemleri	Maliyet (TL)
1	1lt Atık Plastik Pirolitik Yağ	1,80
2	Elektrik Enerjisi	2,97
3	Azot Gazı (N_2)	0,10
4	Perlit	0,80
	Maliyet Toplamı	5,67

Çizelge 3.18. Bir (1) litre DB-SY yakıt üretimi için maliyet durumu

No	Harcama Kalemleri	Maliyet (TL)
1	1 lt Atık Sanayi Yağı	2,0
2	Elektrik Enerjisi	2,41
3	Azot Gazı (N_2)	0,10
Maliyet Toplamı		4,51

Dizel benzeri plastik -sanayi yakıtların üretim sürecindeki kullanılan enerjinin ve sarf malzemelerin miktar ve birim fiyatları dikkate alınarak, yakıtların litre başına üretim maliyetleri 25.08.2022 tarihi itibari ile hesaplanmış olup Çizelge 3.19'da sunulmuştur.

Çizelge 3.19. Dizel benzeri sanayi- plastik yakıtlarının toplam üretim maliyeti

Yakıt Türü	Miktar (litre)	Maliyet (TL)
DB-SY	1 (Bir)	4,51
DB-PY	1 (Bir)	5,67

Genel bir değerlendirme yapıldığında maliyet girdilerinin ürün çıktısına göre elde edilen faydalı enerji oranın satış maliyeti ülke ekonomisi adına olumlu bir gelişme olduğu düşünülmektedir. Ülke ekonomisine kattığı katma değerle birlikte çevreye verdiği olumsuzlukları minimize etmesi adına olumlu bir gelişme olduğu düşünülmektedir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Kükürtsüzleştirme işlemi uygulanmış DB-SY ve DB-PY yakıtlarının motor deney setindeki sabit devir ve değişik yüklerdeki yanma, performans ve emisyon parametrelerin sonuçları bu bölümde değerlendirilmiştir.

4.1. Yanma Parametreleri

4.1.1. Silindir gaz basıncı ve net ısı salınımı

Yanma karakteristiğini belirleyen en önemli parametrelerden biri silindir içerisindeki gaz basıncı (SGB) değişimleri ve yanma sonunda açığa çıkan ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüşümü sağlayan net ısı salınımıdır (NIS) deneylerde kullanılmak üzere hazırlanan test yakıtları sabit motor devrinde 1500 dev/dk ve farklı yüklerde 0,3 bar OEB, 2,5 bar OEB, 5 bar OEB ve 7,5 bar OEB krank mili açısına bağlı olarak elde edilen SGB ve NIS verileri Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Her bir test yakıtının silindir gaz basınçları motor yüklerinin artışına bağlı olarak arttığını görmekteyiz. Bunun temel nedeni motor yükü attıkça yakıt tüketimindeki artışa bağlı olarak artmasıdır. Test yakıtlarındaki yanma parametrelerini daha iyi analiz edebilmek için grafikler iki kategoride şekillendirilmiş olup; 1.kategoriye DY, DB-PY (10-20), DB-SY (10-20), 2.kategoriye DY, DB-PY30, DB-SY30, DB-PSY30 karışımları alınmıştır. Değerlendirmeler yapılırken tüm test yakıtları yük durumlarına göre yapılmış olup silindir içi basıncı aşağıdaki istatistiki denklemler (4.1), (4.2) ile hesaplanmıştır.

$$\overline{P} = \frac{\sum_i^n P_1}{N} \qquad (4.1)$$

Burada;

$\overline{P}$: Ortalama Basınç (bar)
Pi: i çevrimindeki basınç değeri (bar)
N: Çevrim Sayısı

Standart Sapma

$$Q = \sqrt{\frac{\sum_{i}^{n} P_{1} - P_{2})}{(N-1)}} \qquad (4.2)$$

Formülünden hesaplanır.

Burada;

σ : Standart sapma
Pi: i çevrimin basıncı (bar)

Varyant katsayısı ise;

$$\delta\rho = \frac{Q}{\overline{P_i}}$$

Formülünden bulunur.

Düşük yük (0,3 bar OEB) durumundaki maksimum silindir gaz basıncı (SGB) değerleri; dizel yakıtı (DY) 54,69 bar, DB-PY10 ile 52,42 bar, DB-PY20 ile 51,44 bar, DB-SY20 ile 50,54 bar ve DB-SY10 ile 49,94 bar, DB-PY30 ile 50,66 bar, DB-SY30 ile 51,12 bar, DB-PSY30 ile 49,35 bar ölçülmüştür. Test yakıtlarından DY, DB-PY (10-20), DB-SY (10-20) için üst ölü noktadan sonra (ÜÖN) 9 ^{o}KMA'da, DB-PY30, DB-SY30, DB-PSY30 10 ^{o}KMA'dan sonra elde edilmiştir. Maksimum basınç 54,69 bar ile DY kullanımında gerçekleşmiştir. Devamında DB-PY10 ile 52,42 bar, DB-PY20 ile 51,44 bar, DB-SY30 ile 51,12 bar, DB-PY30 ile 50,66 bar, DB-SY20 ile 50,54 bar ve DB-SY10 ile 49,94 bar DB-PSY30 ile 49,35 bar sıralamasıyla devam etmiştir.

2,5 bar OEB maksimum (SGB) değerleri; DY ile 67,36 bar, DB-PY10 ile 67,91 bar, DB-PY20 ile 63,13 bar, DB-SY20 ile 62,56 bar, DB-SY30 ile 62,21 bar ve DB-SY10 ile 62 bar ölçülmüş olup yakıtlar için üst ölü noktadan 10^{o} KMA'dan sonra elde edilmiş olup, DB-PY30 ile 62,96 bar, DB-PSY30 ile 61,16 bar olarak üst ölü noktadan sonra 9^{o} KMA olarak ölçülmüştür. Maksimum silindir gaz basıncının 67,91 bar ile DB-PY10 ile gerçekleşmiştir. Devamın dada DY ile 67.36 bar, DB-PY20 ile 63,13 bar, DB-SY20 ile 62,56 bar, DB-PY30 ile 62,96 bar, DB-SY30 ile 62,21, DB-SY10 ile 62 bar, DB-PSY30 ile 61,16 bar sıralamasıyla devam etmektedir.

5 bar OEB silindir gaz basıncı (SGB) değerleri tüm yakıtlar için üst ölü noktadan sonra 11^{o} KMA'da elde edilmiş olup; DY 72,26 bar, DB-PY10 ile 73,50 bar, DB-PY20 ile 71,62 bar, DB-SY20 ile 70,89 bar ve DB-SY10 ile 67,16 bar, DB-PY30 ile 70,93 bar, DB-SY30 ile 70,98 bar, DB-PSY30 ile 69,86 bar olarak ölçülmüştür. Maksimum silindir gaz basıncı 73,50 bar ile DB-PY10 yakıtı ile gerçekleşmiştir. Devamın da DY ile 72,26 bar, DB-PY20 ile 71,62 bar, DB-SY30 ile 70,98 bar, DB-PY30 ile 70,93 bar, DB-SY20

ile 70,89 bar, DB-PSY30 ile 69,86 bar, DB-SY10 ile 67,16 bar, sıralamasıyla devam etmektedir.

7,5 bar OEB silindir gaz basıncı (SGB) değerleri tüm yakıtlar için üst ölü noktadan sonra 11^{o} KMA'da elde edilmiş olup; DY 76,53 bar, DB-PY10 ile 79,43 bar, DB-PY20 ile 77,37 bar, DB-SY20 ile 77,21 bar ve DB-SY10 ile 69,64 bar, DB-PY30 ile77,22 bar, DB-SY30 ile 77,49 bar. DB-PSY30 ile 77,95 bar olarak ölçülmüştür. Maksimum silindir gaz basıncının 79,43 bar ile DB-PY10 ile gerçekleşmiştir. Devamın dada DB-PSY30 ile 77,95 bar, DB-SY30 ile 77,49 bar, DB-PY30 ile77,22 bar, DB-SY20 ile 77,21 bar, DY 76,53 bar, DB-SY10 ile 69,64 bar sıralamasıyla devam etmektedir. Tüm test yakıtların maksimum silindir gaz basınçlarını yük ve ^{o}KMA göre elde edildiği değerler Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı yüklerdeki yakıtların maksimum SGB değerleri (bar/^{o}KMA)

Yakıt Türü	0,3 bar OEB	2,5 bar OEB	5 bar OEB	7,5 bar OEB
DY	54,69/369^{o}	67,36/370^{o}	72,26/371^{o}	76,53/371^{o}
DB-PY10	52,42/369^{o}	67,91/370^{o}	73,50/371^{o}	79,43/371^{o}
DB-PY20	51,44/369^{o}	63,13/370^{o}	7162/371^{o}	77,37/371^{o}
DB-SY10	49,94/369^{o}	62,00/370^{o}	67,16/371^{o}	69,64/371^{o}
DB-SY20	50,54/369^{o}	62,56/370^{o}	70,89/371^{o}	77,21/371^{o}
DB-PY30	50,66/369^{o}	62,96/369^{o}	70,93/371^{o}	77,22/371^{o}
DB-SY30	51,12/369^{o}	62,21/370^{o}	70,98/371^{o}	77,49/371^{o}
DB-PSY30	49,35/369^{o}	61,16/369^{o}	69,86/371^{o}	77,95/371^{o}

Tüm test yakıtlarındaki SGB değerleri DB-PY (10-20-30), DB-SY (10-20-30) ve DB-PSY30 karışımlı yakıtlar ile kendi aralarında genel bir değerlendirme-yapıldığında; (yüksüz) DY yakıtının silindir gaz basıcı, en düşük karışımlı yakıta (DB-SY10) göre %9,25'lik bar artışı olduğu, diğer tüm yüklerdeki (2,5 bar OEB, 5 bar OEB, 7,5 bar OEB) yakıt karışımların da ise DB-PY10 karışımı en yüksek silindir gaz basıncına sahip olduğu tespit edilmiştir. Maksimum basıncı artıran etkenlerden birisi yakıtın kimyasal özelliklerinden biri olan setan indisidir. DB-PY10 yakıtın kimyasal özelliklerinden setan indisinin düşük olmasından kaynaklı tutuşma gecikmesinin uzamasına ve silindir hacminde biriken yakıtın ani olarak yanması sonucu ile açıklanabilir. Silindir içi gaz basıncının yüksek olması hava/yakıt karışımının daha iyi şekilde atomize olması, yanmanın iyi bir şekilde gerçekleşmesi ve buna bağlı emisyonların azalması olumlu bir sonuç olarak değerlendirilebilir. Öte yandan teste tabi tutulan DY ve diğer yakıt

karışımlarındaki silindir içi basınç değişim değerleri incelendiğinde, minimum basınç değerinin, bütün yüklerde DB-SY10 karışımlı yakıt deneyinde olduğu görülmektedir. Yüksüz durumda karışımlı yakıtların DB-PY (10-20-30) ve DB-SY (10-20-30) göre silindir içi gaz basıncı DY'ına göre bir miktar düştüğü görülmüştür. Elde edilen DB-SY ve DB-PY yakıtların ısıl değerleri bir miktar düşük olması, silindir içi basınca az da olsa etkisinin olduğu deneylerle ortaya çıkmıştır.

4.1.2. Net ısı salınımı parametresi

Yanma sırasında, silindir içindeki gazlar bağlamında gerçekleşen ısı salımı silindir içi basıncı ve hacmi kullanılarak hesaplanabilir. Termodinamiğin birinci yasası yardımı ile ısı salınımı oranı denklem (4.3) ile bulunabilir (Heywood, 1988; Brunt ve Platts, 1999; Leung, 2001; Canakci ve ark., 2006; Banapurmath ve ark., 2008).

$$\frac{dQ}{d\theta} = \frac{\gamma}{\gamma-1} p \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{y-1} V \frac{dp}{d\theta} \qquad (4.3)$$

Hesaplamada,

$$\int dQ = \int \left(\frac{\gamma}{\gamma-1}\right) P_i(dV_i) + \int \left(\frac{1}{\gamma-1}\right) V_i(dP_i)$$

γ özgül ısıları oranı
θ krank açısı,
P silindir basıncı,
V silindir hacmini belirtir.

Burada, basınç sensörü verileri Gama (γ) ile alınır, karışımın sıcaklığına ve bileşimine göre değişir. İlgili çalışmalar, gamanın sıcaklığın bir fonksiyonu olduğunu belirtir (Brunt ve Platts, 1999) ve V ve dV / dθ terimler aşağıdaki denklem (4.4) ile hesaplanarak elde edilir.

$$V = Vc + A.r\left\{1 - \cos\left(\frac{\pi A}{180}\right) + \frac{1}{\lambda}\left(1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2\left(\frac{\pi\theta}{180}\right)}\right)\right\} \qquad (4.4)$$

$$\frac{dV}{d\theta} = \left(\frac{\pi A}{180}\right) x\, r \left\{\sin\left(\frac{\pi\theta}{180}\right) + \frac{\lambda^2 \sin^2\left(\frac{\pi\theta}{180}\right)}{2x\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2\left(\frac{\pi\theta}{180}\right)}}\right\}$$

$$\frac{dV}{d\theta} = \left(\frac{\pi A}{180}\right) x\ r \left\{\sin\left(\frac{\pi\theta}{180}\right) + \frac{\lambda^2 \sin^2\left(\frac{\pi\theta}{180}\right)}{2x\sqrt{1-\lambda^2\sin^2\left(\frac{\pi\theta}{180}\right)}}\right\}$$

$$\lambda = \frac{l}{r} \text{ ve } A = \frac{\pi D^2}{4}$$

elde edilmiştir. Burada;

r =H/2= krank yarıçapı

l= biyel kolu uzunluğu

D= silindir çapı

A= piston tepe alanı

Net ısı salınımı (NIS) Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8'de test yakıtları için sabit 1500 d/dk ve farklı yüklerdeki ortalama efektif basınca göre (0,3 bar OEB, 2,5 bar OEB, 5 bar OEB, 7,5 bar OEB) ve krank açısına göre değişimi gösterilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi test edilen yakıtlar her bir yük altında net ısı salınımının başlangıçta bir miktar negatif değere doğru seyrettiği görülmektedir. Bunun temel nedeni yakıtın buharlaşması için silindir içerisindeki ortamdan bir miktar ısı çekmesinden kaynaklanmaktadır. Tüm test edilen yakıtlar için net ısı salınımı değerleri motor yükünün artması ile artmadığından kendi içlerinde yüklere göre değerlendirme yapıldığında;

Yüksüz (0,3 bar OEB) durumda maksimum ısı salınımının (NIS) krank mili açısı üst ölü noktadan sonra 360-362 ^{o}KMA'da dizel yakıtında (DY) 33,23 J/^{o}KMA, karışımlı yakıtlarda ise maksimum ısı salınımının DB-PY10 ile 32,91/361^{o} olduğu tespit edilmiştir. Bunu DB-SY10, DB-PY20, DB-PSY30, DB-SY30, DB-PY30, DB-SY20 test yakıtları takip etmektedir.

Motor yükü sırasıyla 2,5 bar OEB çıkarıldığında ise maksimum ısı salınımının (NIS) üst ölü noktadan önce 1 ^{o}KMA'da dizel yakıtında (DY) 51,32 J/^{o}KMA, karışım yakıtlarında ise DB-PSY30 ile 49,11/360^{o} olduğu tespit edilmiş olup, devamında sırayla DB-PY30, DB-PY10, DB-PY20, DB-SY20, DB-SY10, DB-SY30 olan test yakıtları (360-357) ^{o}KMA'da takip etmektedir.

5 bar OEB yük altındaki şartlarda ise maksimum ısı salınımı (NIS) üst ölü noktadan 3 ^{o}KMA önce 49,06 J/^{o}KMA ile DB-PY20 karışımlı yakıtta olduğu tespit

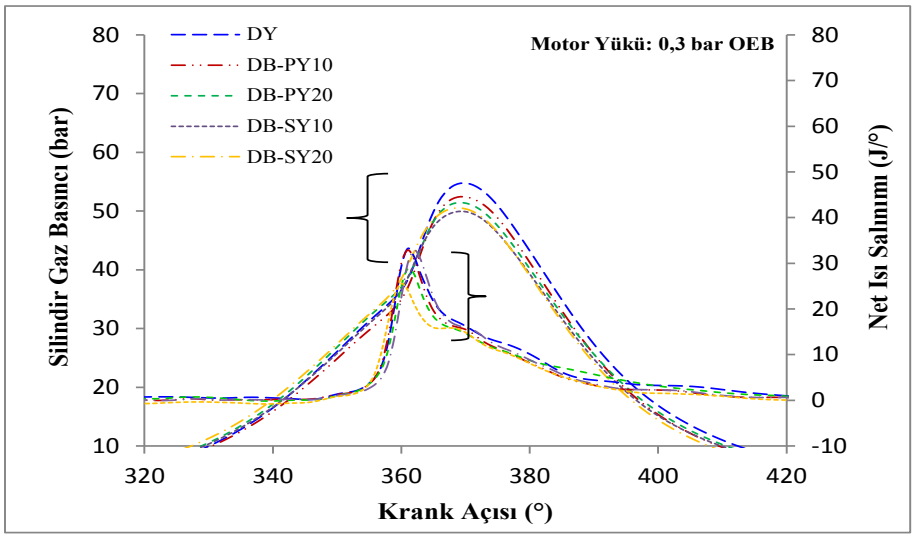
edilmiştir. Bunu devamında tüm yakıtlar üst ölü noktadan 3-4 ^{o}KMA önce sırasıyla DB-PSY30, DB-PY30, DY, DB-PY10, DB-SY30, DB-SY20, DB-SY10 takip etmiştir.

7,5 bar OEB altındaki yükte ise maksimum ısı salınımı üst ölü noktadan 3 ^{o}KMA önce 52,46 J/^{o}KMA ile DB-SY30 karışımlı yakıt olduğu tespit edilmiş olup, devamında sırasıyla tüm yakıtlar üst ölü noktadan 3-4 ^{o}KMA önce sırasıyla DB-PY30, DY, DB-SY10, DB-PY10, DB-PSY30, DB-PY20, DB-SY20 takip etmiştir. Tüm test yakıtların maksimum ısı salınımların yük ve ^{o}KMA göre elde edildiği değerler Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

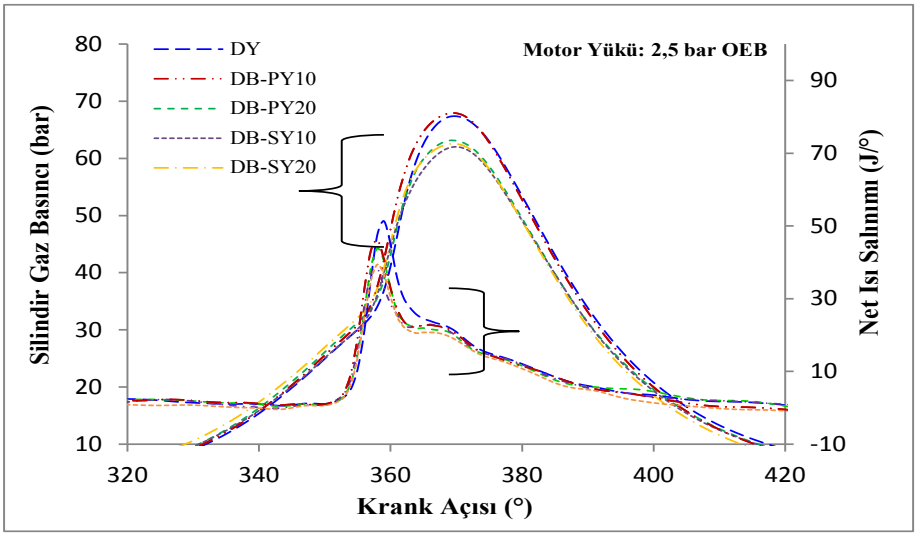
Çizelge 4.2. Farklı yüklerdeki yakıtların maksimum NIS değerleri (j/^{o}KMA)

Yakıt Türü	0,3 bar OEB	2,5 bar OEB	5 bar OEB	7,5 bar OEB
DY	33,23/361^{o}	51,32/359^{o}	47,94/357^{o}	48,07/357^{o}
DB-PY10	32,91/361^{o}	46,16/358^{o}	42,33/356^{o}	45,32/356^{o}
DB-PY20	28,74/361^{o}	43,75/358^{o}	49,06/357^{o}	41,56/356^{o}
DB-SY10	32,91/361^{o}	38,32/358^{o}	32,67/356^{o}	47,18/357^{o}
DB-SY20	24,11/361^{o}	39,40/358^{o}	40,58/356^{o}	34,89/356^{o}
DB-PY30	30,54/362^{o}	46,35/360^{o}	48,62/357^{o}	48,07/357^{o}
DB-SY30	25,08/360^{o}	37,88/357^{o}	40,65/357^{o}	52,46/357^{o}
DB-PSY30	27,68/362^{o}	49,11/360^{o}	48,88/357^{o}	43,53/356^{o}

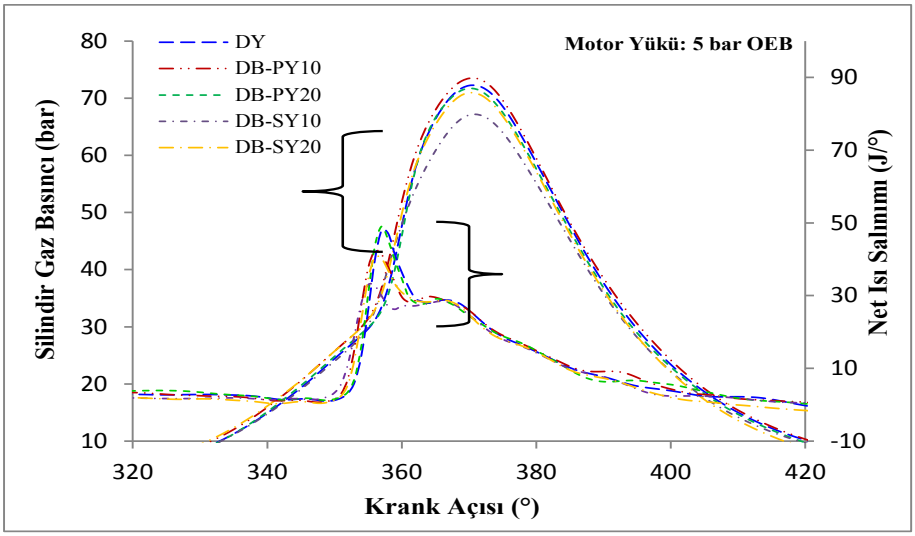
Çizelge 4.2'de anlaşılacağı üzere maksimum ısı salınımı düşük yüklerde (yüksüz-2,5 bar OEB) tüm karışımlı test yakıtlarında dizel yakıt kullanımına göre az bir düşüş seyrederken, yükün artmasıyla yakıt tüketiminin artması sonucu olarak 5 bar OEB ve 7,5 bar OEB' lardaki yüklerde az miktarda artışlar meydana gelmiştir. Yüksek yüklerdeki maksimum ısı salınımının daha çok DB-PY karışımlarında görüldüğü, bunun nedenlerinden biri dizel yakıta göre setan sayısının düşük olup tutuşma gecikmesinin uzamasına bağlı fazla yakıtın silindirlerin içerisine alınıp yanma işleminin aniden oluşması ısı salınımının daha yüksek çıkmasına neden olduğu düşünülmüştür.



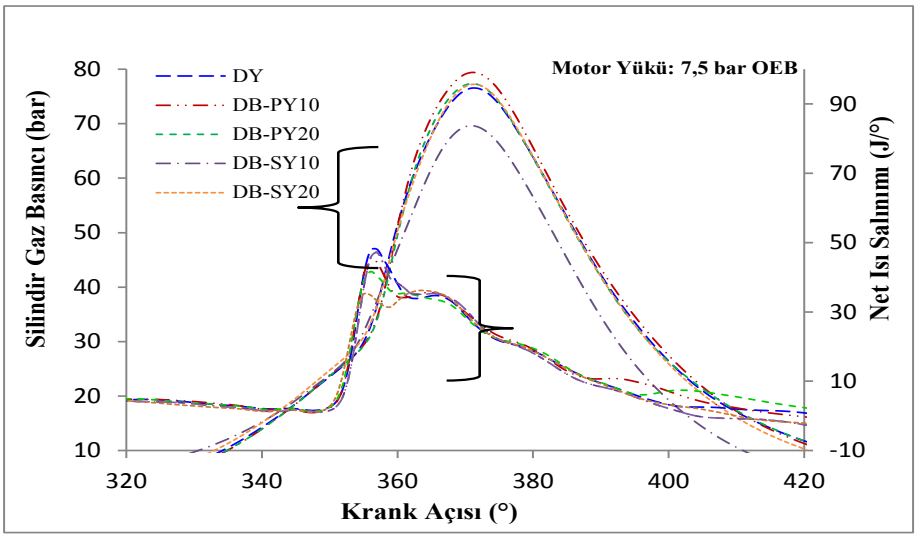
Şekil 4.1. Karışımlı test yakıtların (10-20) SGB ve NIS'larının değişimi (0,3 bar)



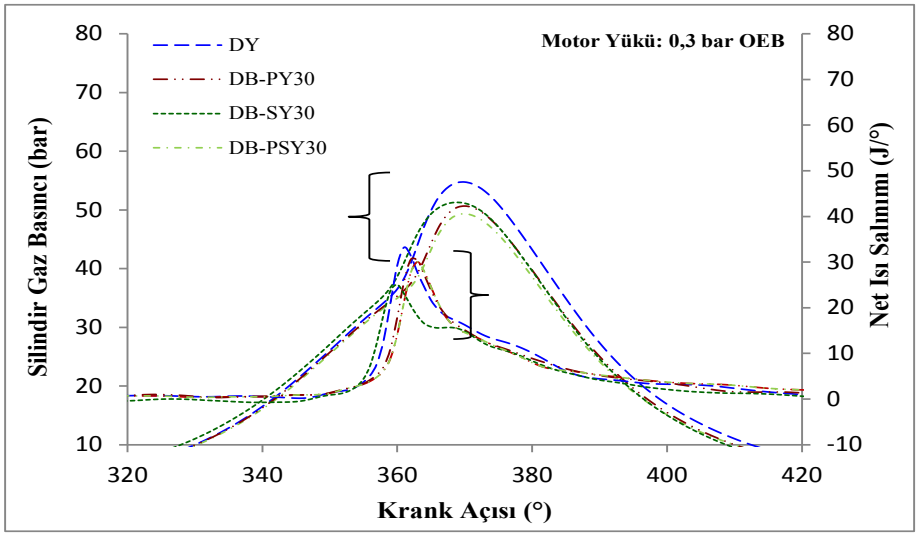
Şekil 4.2. Karışımlı test yakıtların (10-20) SGB ve NIS'larının değişimi (2,5 bar)



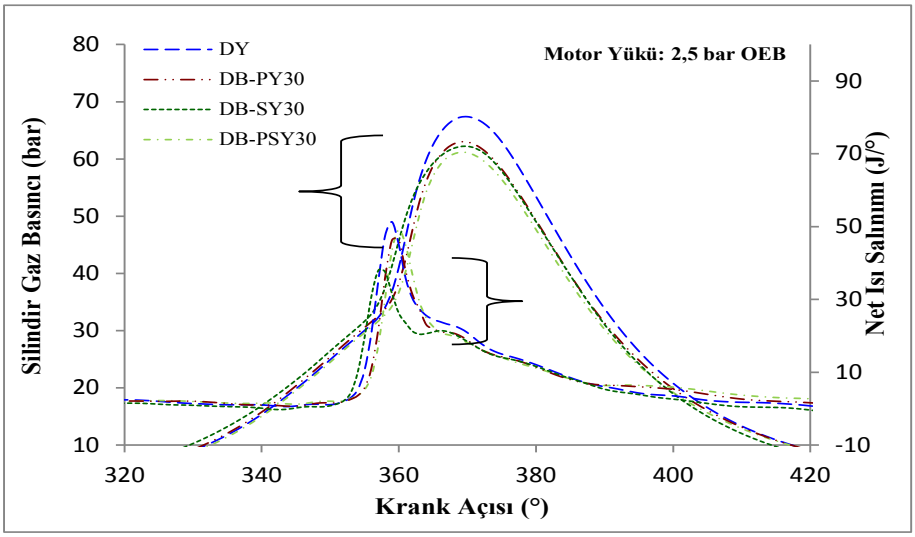
Şekil 4.3. Karışımlı test yakıtların (10-20) SGB ve NIS'larının değişimi (5 bar)



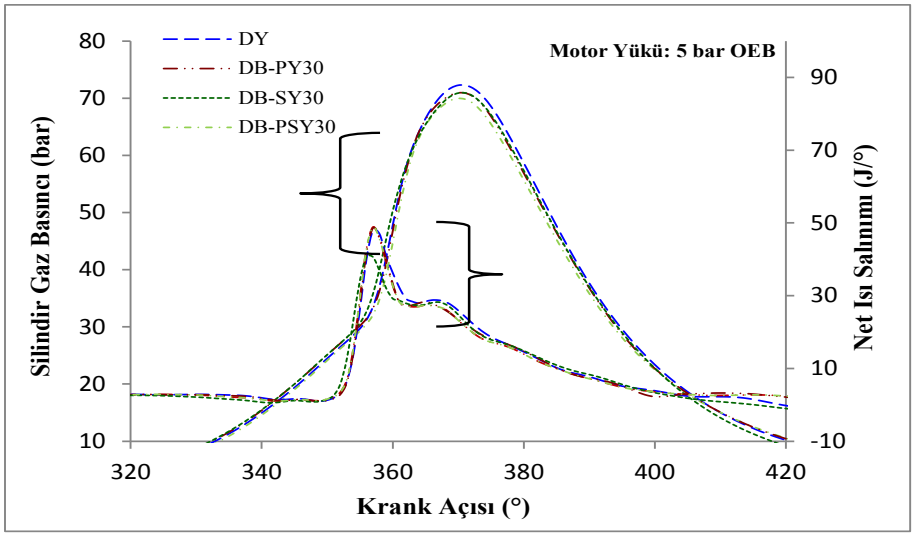
Şekil 4.4. Karışımlı test yakıtların (10-20) SGB ve NIS'larının değişimi (7,5 bar)



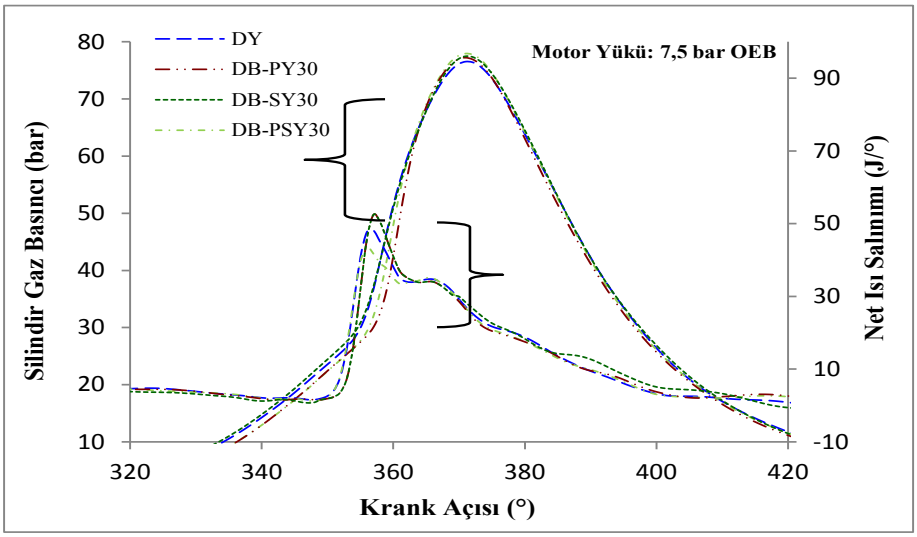
Şekil 4.5. Karışımlı test yakıtların (30) SGB ve NIS'larının değişimi (0,3 bar)



Şekil 4.6. Karışımlı test yakıtların (30) SGB ve NIS'larının değişimi (2,5 bar)



Şekil 4.7. Karışımlı test yakıtların (30) SGB ve NIS'larının değişimi (5 bar)

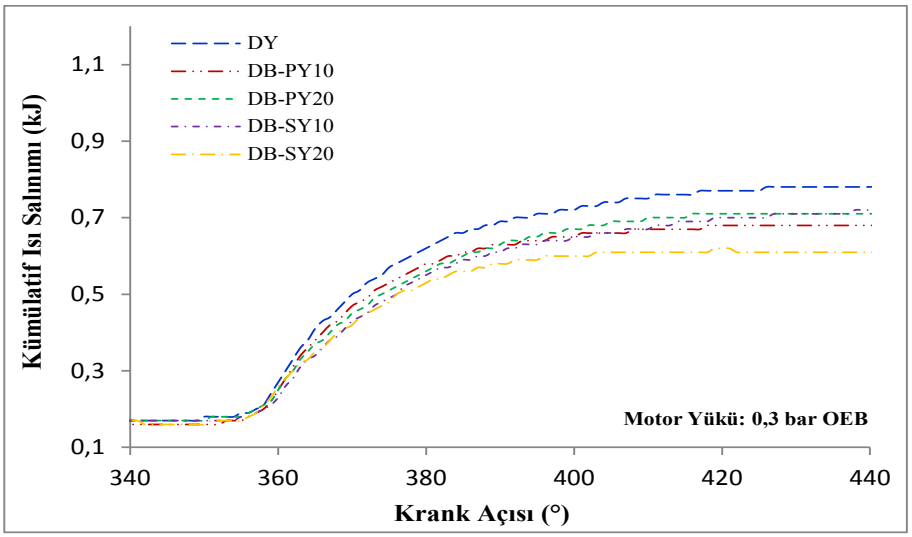


Şekil 4.8. Karışımlı test yakıtların (30) SGB ve NIS'larının değişimi (7,5 bar)

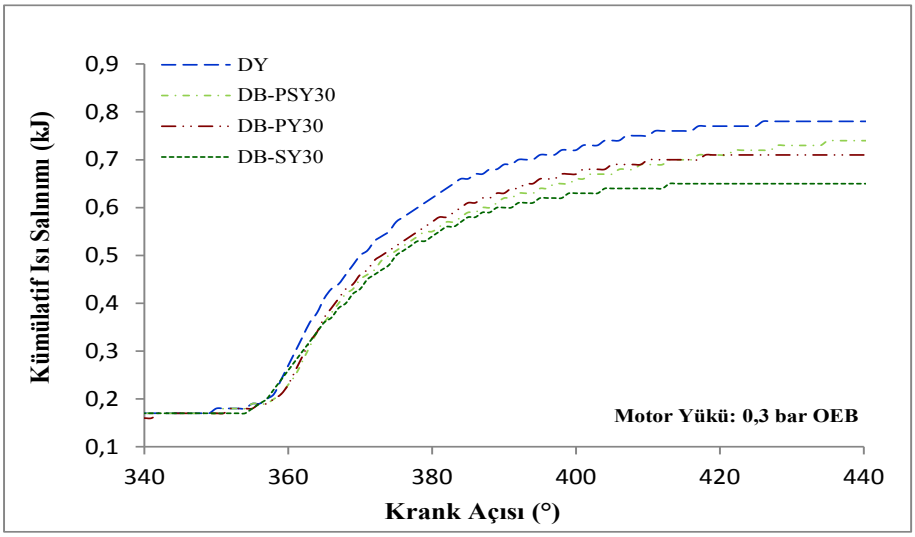
4.1.3. Kümülatif ısı salınımı parametresi

Krank mili açısına bağlı olarak silindir içerisine alınan hava/yakıt karışımının yanma odalarında yanması ile açığa çıkan toplam ısı enerjisi olarak tanımlanır. Test yakıtları için hazırlanan DY, DB-SY (10-20-30), DB-PY (10-20-30) karışımlı yakıtları farklı motor yüklerinde (0,3 bar OEB, 2,5 bar OEB, 5 bar OEB ve 7,5 bar OEB) ve sabit devir sayısında (1500 d/dk) ölçülen kümülatif ısı salınım (KIS) değerleri krank mili açısına göre değişimleri kJ/^{o}KMA cinsinden Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16'de verilmiştir.

Yüksüz (0,3 bar OEB)'ye göre maksimum kümülatif ısı salınımı (KIS) yanma başlangıcı sonrası değer ayrılmaları 452-454 ºKMA'da DY ile 0,78 kJ gerçekleşmiş olup, en düşük toplam ısı salınımı ise DB-SY20 ile 0,61 kJ test yakıtında gerçekleşmiştir. DB-SY10 ile 0,73 kJ, DB-PY20 ile 0,72 kJ, DB-PY30 ile 0,71 kJ DB-PY10 ile 0,68 kJ, DB-SY30 ile 0,65 kJ, DB-PSY30 ile 0,75 kJ sıralamasıyla devam etmektedir. Maksimum kümülatif ısı salınımındaki DY ile minimum kümülatif ısı salınımındaki DB-SY20 yakıtları arasındaki oransal fark %18,6 olarak tespit edilmiştir.



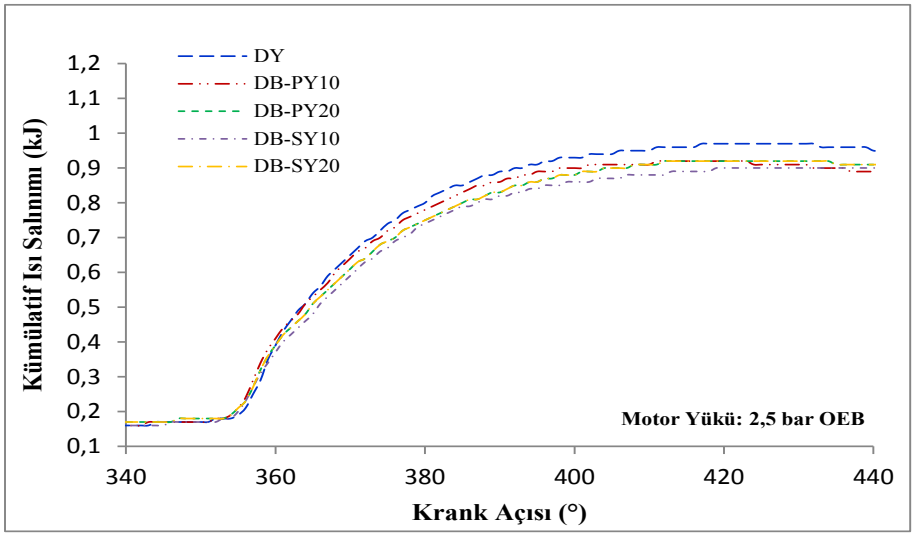
Şekil 4.9. Karışımlı test yakıtların (10-20) KIS'larının değişimi (0,3 bar)



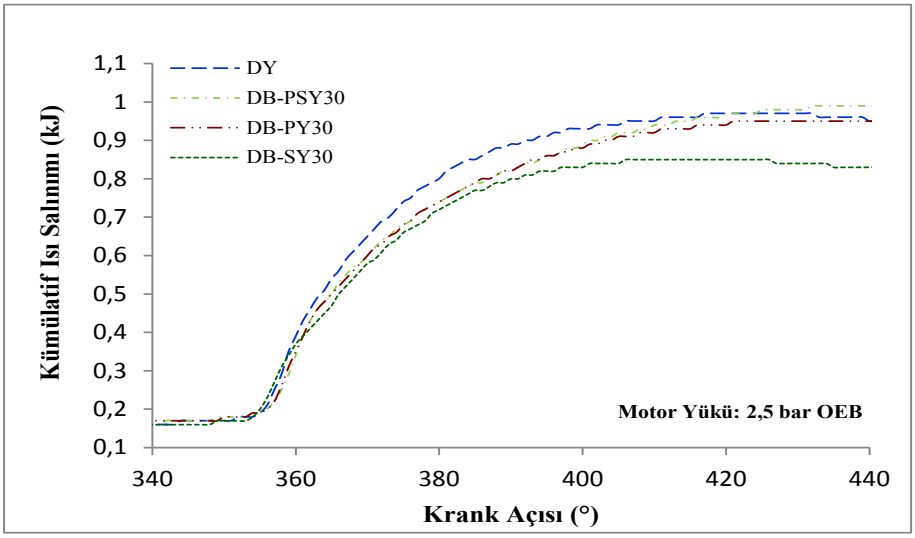
Şekil 4.10. Karışımlı test yakıtların (30) KIS'larının değişimi (0,3 bar)

2,5 bar OEB'deki yük durumuna göre maksimum kümülatif ısı salınımı (KIS) 421 ºKMA'da DY ile 0,97 kJ ile DB-PSY30 ile 0,97 kJ gerçekleşmiş olup, minimum kümülatif ısı salınımında ise DB-SY20 ile 0,82 kJ 'deki test yakıtında gerçekleşmiştir.

DB-PY30 ile 0,95 kJ, DB-PY20 ile 0,92 kJ, DB-PY10 ile 0,92 kJ, DB-SY10 ile 0,9 kJ, DB-SY30 ile 0,85 kJ sıralamasıyla devam etmektedir. Standart dizel yakıtı (DY) ile karışımlı DB-PSY30 test yakıtlarının maksimum (KIS) eşit olduğu ve minimum kümülatif ısı salınımı DB-SY20 yakıtına göre %15,4'lük oranda bir fark oluştuğu tespit edilmiştir.



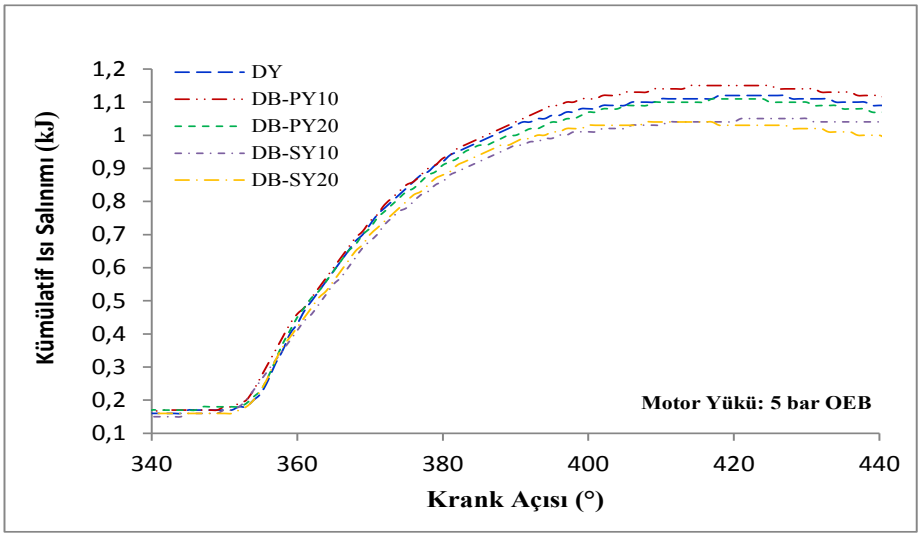
Şekil 4.11. Karışımlı test yakıtların (10-20) KIS'larının değişimi (2,5 bar)



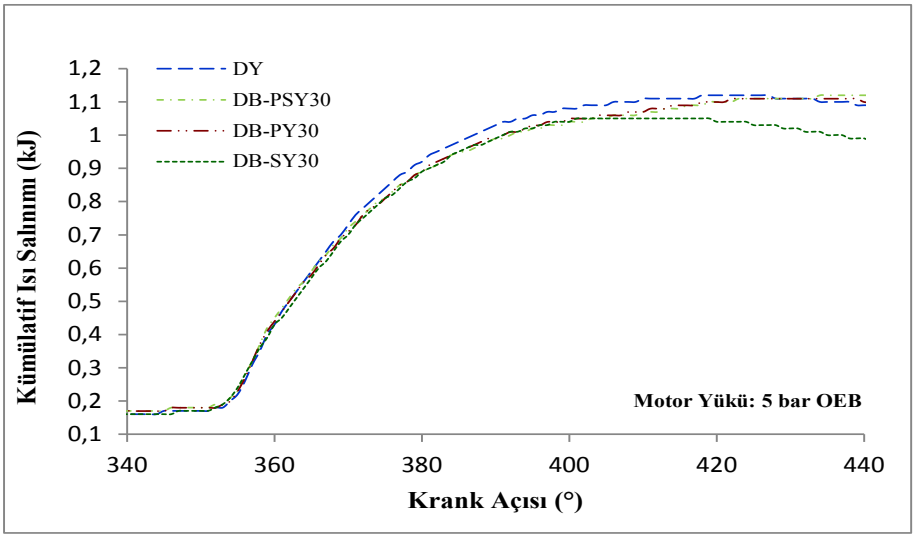
Şekil 4.12. Karışımlı test yakıtların (30) KIS'larının değişimi (2,5 bar)

5 bar OEB'deki yük durumuna göre maksimum kümülatif ısı salınımı (KIS) 419 ^{o}KMA'da DB-PY10 ile 1,15 kJ gerçekleşmiş olup, minimum kümülatif ısı salınımında ise DB-SY20 ile 1,03 kJ 'deki test yakıtında gerçekleşmiştir. DY ile 1,12 kJ, DB-PY30 ile 1,11 kJ, DB-PY20 ile 1,11 kJ, DB-SY30 ile 1,10 kJ, DB-PSY30 ile 1,05 kJ, DB-SY10 ile 1,04 kJ sıralamasıyla devam etmektedir. Maksimum kümülatif ısı salınımı DB-PY10

olan test yakıtı, minimum kümülatif ısı salınımındaki DB-SY20 yakıtına göre %10,4 oranında bir ısı farkı oluşmuştur.

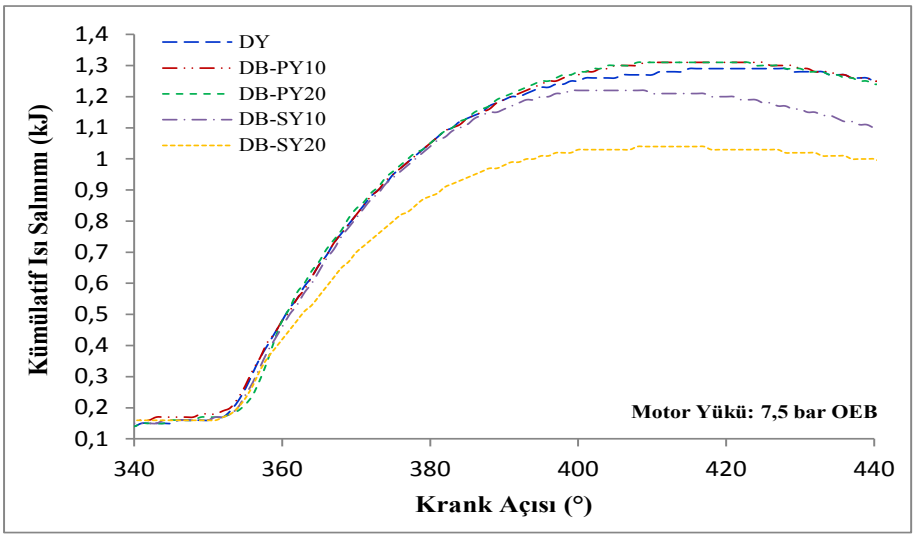


Şekil 4.13. Karışımlı test yakıtların (10-20) KIS'larının değişimi (5 bar)

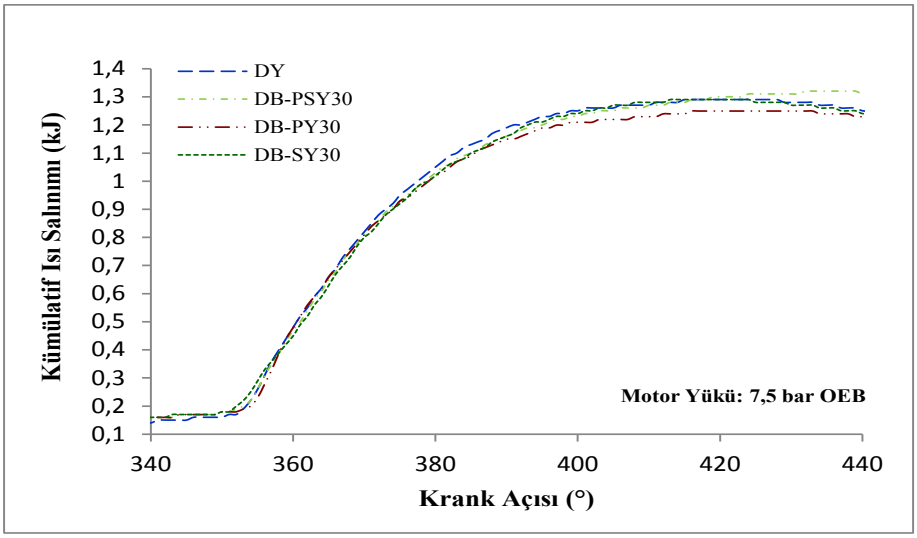


Şekil 4.14. Karışımlı test yakıtların (30) KIS'larının değişimi (5 bar)

7,5 bar OEB'deki yük durumuna göre maksimum kümülatif ısı salınımı (KIS) 415- 419 ºKMA'da 1,31 kJ ile DB-PY10, DB-PY20'deki test yakıtlarında gerçekleşmiş olup, minimum kümülatif ısı salınımında ise DB-SY10 ile 1,21 kJ 'deki test yakıtında gerçekleşmiştir. DB-PSY30 ile 1,30 kJ, DY ile 1,29 kJ, DB-SY30 ile 1,29 kJ, DB-PY30 ile 1,25 kJ, DB-SY20 ile 1,24 kJ 'deki sıralamasıyla devam etmektedir. Maksimum kümülatif ısı salınımı DB-PY10-DB-PY20 olan test yakıtları iken minimum kümülatif ısı salınımındaki DBM10 yakıtına göre %7,6 oranında bir ısı farkı oluşmuştur.



Şekil 4.15. Karışımlı test yakıtların (10-20) KIS'larının değişimi (7,5 bar)



Şekil 4.16. Karışımlı test yakıtların (30) KIS'larının değişimi (7,5 bar)

Maksimum KIS'lerin farklı yüklerdeki değerleri Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Farklı yüklerdeki yakıtların maksimum KIS değerleri (kJ/°KMA)

Yakıt Türü	0,3 bar OEB	2,5 bar OEB	5 bar OEB	7,5 bar OEB
DY	0,78/452-454°	0,97/421°	1,12/419°	1,29/415-419°
DB-PY10	0,68/452-454°	0,92/421°	1,15/419°	1,31/415-419°
DB-PY20	0,72/452-454°	0,92/421°	1,11/419°	1,31/415-419°
DB-SY10	0,73/452-454°	0,90/421°	1,04/419°	1,21/415-419°
DB-SY20	0,61/452-454°	0,82/421°	1,03/419°	1,24/415-419°
DB-PY30	0,71/452-454°	0,95/421°	1,10/419°	1,25/415-419°
DB-SY30	0,65/452-454°	0,85/421°	1,10/419°	1,29/415-419°
DB-PSY30	0,75/452-454°	0,97/421°	1,05/419°	1,30/415-419°

Çizelge 4.3 ve şekiller incelendiğinde tüm test yakıtları için motor yükünün artmasıyla kümülatif ısı salınımında artış olduğu, fakat deneysel olarak elde edilen sayısal verilerdeki fark gittikçe azaldığı gözlemlenmiştir. Tüm yüklerdeki maksimum kümülatif ısı salınımının dizel test yakıtına en yakın test yakıtı DB-PY (10-20-30) karışımlarında olduğu tespit edilmiştir. Temel neden tutuşma gecikmesine bağlı ek yakıtın silindirin içerisinde yanmaya katılması ve yoğunluğun bir miktar DY göre yüksek olmasından kaynaklanmakta olduğu değerlendirilebilir. Maksimum kümülatif ısı salınımlarının üst ölü noktadan (Ü.Ö.N) sonra 419-454 ^{o}KMA'da gerçekleşmesi yanma sonucunda açığa çıkan kümülatif ısının yanma başlangıcındaki gecikmeden kaynaklı yanma hızını yavaşlatması, ya da silindir içerisindeki cidarlarda kalan yanmamış yakıtın Ü.Ö.N'dan sonra yanmaya katılması olarak değerlendirilebilir. Yük artışı ile silindir içerisindeki basıncın artması, yoğunluğu daha yüksek olan DB-PY (10-20-30) karışımlı yakıtların havanın içerisinde daha iyi atomize olmasına ve yakıtın ısı enerjisine katılımını artırarak dizel yakıtına göre KIS değerleri bir miktar yüksek çıkmıştır.

4.1.4. Ortalama gaz sıcaklığı

Test yakıtların dizel motorun sabit devrinde (1500 d/dk) ve farklı yüklerde (0,3 bar OEB, 2,5 bar OEB, 5 bar OEB ve 7,5 bar OEB) ölçülen silindir içi gaz sıcaklığı değerlerinin krank mili açısına göre değişimleri Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24'te gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde bütün yük durumlarında DY göre DB-PY ve DB-SY karışımların egzoz gazı sıcaklıklarının motorun çıkış gücüne paralel attığı, test yakıtlarını yüklere göre kendi içerisinde ayrı bir şekilde değerlendirilmiştir.

Motor yüksüz (0,3 bar OEB) iken yanma parametrelerinde biri olan maksimum ortalama gaz sıcaklığının (OGS) DY kullanımında 378 ^{o}KMA ile 1123,45 °C gerçekleştiği, minimum ortalama gaz sıcaklığında ise 1019,39 K ile DB-SY20'deki test yakıtında olduğu tespit edilmiştir. DB-PY10 1072,25 K, DB-PY30 ile 1055,38 K, DB-PY20 ile 1049,32 K, DB-SY30 ile 1035,42 K, DB-SY10 1024,29 K, DB-PSY30 ile 1021,30 K sıralamasıyla devam etmektedir. Yüksüz durumda iken maksimum ortalama gaz sıcaklığı (DY) ile minimum olan DB-SY20 karışımlı yakıt arasında %9,26'lık oranında bir sıcaklık farkı olmuştur.

2,5 bar OEB'deki yük durumuna göre maksimum ortalama gaz sıcaklığı (OGS) 378 ^{o}KMA'da 1372,44 K ile DY olup minimum ortalama gaz sıcaklığında ise 1266,97 K ile

DB-PSY30 karışımlı test yakıtında olduğun tespit edilmiştir. DB-PY10 1355,81 K, DB-PY20 ile 1305 K, DB-PY30 ile 1290,20 K, DB-SY20 ile 1281,27 K, DB-SY10 ile 1280,60 K, DB-SY30 ile 1276,79 K sıralamasıyla devam etmektedir. 2,5 bar OEB altındaki yük durumda maksimum OGS dizel yakıtı ile minimum olan DB-PSY30 karışımlı yakıt arasında %7,68 lık oranda bir sıcaklık farkı olmuştur.

5 bar OEB'deki yük durumuna göre maksimum ortalama gaz sıcaklığı (OGS) 379 ^{o}KMA'da 1548,90 K ile DB-PY10 olup, minimum ortalama gaz sıcaklığında ise 1437,67 K ile DB-SY10 karışımlı test yakıtında olduğun tespit edilmiştir. DB-PY20 ile 1529,79 K, DY 1520,71 K, DB-SY30 ile 1517,7 K, DB-SY20 ile 1512,08 K, DB-PY30 ile 1499,47 K, DB-PSY30 ile 1466,75 K, sıralamasıyla devam etmektedir. Maksimum ortalama gaz sıcaklığı DB-PY10 test yakıtı ile minimum olan DB-SY10 karışımlı yakıt arasında %7,18 lık oranında bir sıcaklık farkı olmuştur.

7,5 bar OEB'deki yük durumuna göre maksimum (OGS) 381 ^{o}KMA'da 1721,21 K ile DB-SY10 olup, minimum OGS'da ise 1642,18 K ile DB-PY30 karışımlı test yakıtında olduğun tespit edilmiştir. DB-SY30 ile 1707,34 K, DB-PY10 ile 1705,49 K, DB-PY20 ile 1690,63 K, DB-SY20 ile 1693,44 K, DY ile 1683,54 K, DB-PSY30 ile 1650,79 K, sıralamasıyla devam etmektedir. 5 bar altındaki yük durumda iken maksimum ortalama gaz sıcaklığı DB-SY10 test yakıtı ile minimum olan DB-PY30 karışımlı yakıt arasında %7,18 lık oranında bir sıcaklık farkı olmuştur. Test yakıtların yüke göre maksimum OGS aşağıdaki Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Farklı yüklerdeki yakıtların maksimum OGS değerleri (^{o}C/^{o}KMA)

Yakıt Türü	0,3 bar OEB	2,5 bar OEB	5 bar OEB	7,5 bar OEB
DY	1123,45/378^{o}	1372,44/378^{o}	1520,71/379^{o}	1683,54/381^{o}
DB-PY10	1072,25/378^{o}	1355,81/378^{o}	1548,90/379^{o}	1705,49/381^{o}
DB-PY20	1049,32/378^{o}	1305,15/378^{o}	1529,79/379^{o}	1690,63/381^{o}
DB-SY10	1024,29/378^{o}	1280,60/378^{o}	1437,67/379^{o}	1721,21/381^{o}
DB-SY20	1019,39/378^{o}	1281,27/378^{o}	1512,08/379^{o}	1693,44/381^{o}
DB-PY30	1055,38/378^{o}	1290,20/378^{o}	1499,47/379^{o}	1642,18/381^{o}
DB-SY30	1035,42/378^{o}	1276,79/378^{o}	1517,7/379^{o}	1707,34/381^{o}
DB-PSY30	1021,30/378^{o}	1266,97/378^{o}	1466,75/379^{o}	1650,79/381^{o}

Genel olarak yüksüz ve orta yüklerde (0,3-2,5 bar OEB) dizel yakıtın maksimum ortalama gaz sıcaklıkları (OGS) diğer karışımlı tüm yakıtlardan daha yüksek olduğu Çizelge 4.4'te görülmektedir. Ancak yük artıkça (5 bar -7,5 bar OEB) karışımlı yakıtların genelinde ortalama gaz sıcaklıklarında bir miktar artış olduğu gözlemlenmiş buda elde edilen yakıtların kimyasal özellik olarak dizel yakıtına yakın değerlerde çıkması olarak değerlendirilebilir. DB-PY yakıtlı karışımın yüksek yüklerde bir miktar artış olması, yakıt içeriğindeki setan sayısının düşük, yoğunluğu ise DY'ına göre bir miktar yüksek olmasından kaynaklı tutuşma gecikmesinin uzaması ile biriken ek yakıtların bir kısmı egzoz zamanında yanması olarak açıklanabilir. Ayrıca DB-PY test yakıtının kendi içeriğinde adyabatik alev sıcaklığı yüksek olan yakıtlar olarak açıklanabilir. Çünkü yanma odaları içerisindeki sıcaklık artışları temelde etrafa yaydıkları düşük ısı transferine bağlı yükselen ortalama gaz sıcaklıklarıdır.

4.1.5. Basınç artış oranı parametresi

Silindir içerisindeki yakıtın yanma olayı safhasındaki geçiş sürecinde iç basınçlardaki artış ve azalış olaylarına bakılarak iyi veya kötü bir yanmanın analizinde önemli parametrelerden biri basınç artış oranlarıdır. Basınç artış oranı Denklem (4.5)'a göre hesaplanabilir (Basina, 2019).

$$\left(\frac{dP}{d\theta}\right)_i = \frac{P_{i+1} - P_i}{\Delta\theta} \tag{4.5}$$

Burada;

dP : Silindir basıncı artış oranı (kPa/θ),

dθ : Krank açısı (θ),

Pi+1: θ = 3590 ^{o}KMA olduğunda silindir basıncı (kPa),

Pi : θ = 3600 ^{o}KMA olduğunda silindir basıncı (kPa),

Δθ : 1 ^{o}KMA'dır, (Basınç izi 1 ^{o}KMA aralıklarla toplanır.

Sabit motor devrinde (1500 d/dk.) test yakıtları için farklı motor yüklerinde (0,3 bar OEB, 2,5 bar OEB, 5 bar OEB ve 7,5 bar OEB) krank mili açısına göre değişimleri (bar/^{o}KMA) ile silindir basıncı artış oranı Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24'te gösterilmiştir.

Yüksüz (0,3 bar OEB) durumda krank mili açısı ile maksimum basınç artış oranı (BAO) ile üst ölü noktadan sonra 361 ^{o}KMA'da 3,12 (bar/^{o}KMA) ile DB-PY10 yakıtında, minimum BAO ise 1,97 (bar/^{o}KMA) ile DB-PSY30 test yakıtı olduğu tespit edilmiştir. Ardı sıra maksimum BAO sırasıyla; DY ile 3,12 DB-PY20 ile 2,69 DB-SY10 ile 2,34 DB-PY30 ile 2,20 DB-SY30 ile 2,17 DB-SY20 ile 2,15 (bar/^{o}KMA) sıralamasıyla devam etmektedir. Maksimum basınç artış oranı DB-PY10 yakıtı ile minimum BAO sahip olan DB-PSY30 test yakıtları arasındaki fark %36,8 iken DY yakıtına göre %3,1'lik oranında bir fark oluşmuştur.

2,5 bar OEB'deki yükte maksimum BAO üst ölü noktadan önce 358 ^{o}KMA'da 5,38 (bar/^{o}KMA) ile DB-PY10, minimum BAO ise 3,52 (bar/^{o}KMA) ile DB-SY30 test yakıtı olduğu tespit edilmiştir. Maksimum BAO sırasıyla DY ile 5,36 DB-PY30 ile 5,01 DB-PY20 ile 4,89 DB-PSY30 ile 4,64 DB-SY20 ile 4,52 DB-SY10 ile 4,31 (bar/^{o}KMA) sıralamasıyla devam etmektedir. Maksimum basınç artış oranı DB-PY10 yakıtı ile minimum basınç artış oranına sahip olan DB-SY30 test yakıtları arasındaki fark %34,5 iken DY yakıtına göre %0,3'lik oranında bir fark oluşmuştur.

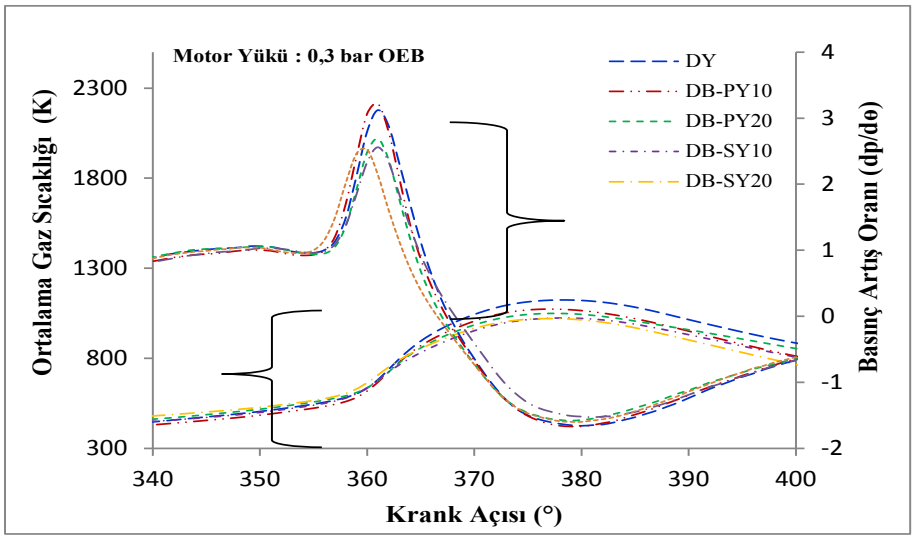
5 bar OEB'deki yükte maksimum BAO üst ölü noktadan önce 357 ^{o}KMA'da 5,54 (bar/^{o}KMA) ile DB-PY30, minimum BAO ise 3,69 (bar/^{o}KMA) ile DB-SY10 test yakıtı olduğu tespit edilmiştir. Maksimum BAO sırasıyla DB-PY20 5,53 DY 5,43 DB-PSY30 5,35 DB-PY10 5,10 DB-SY20 4,97 DB-SY30 4,94 (bar/^{o}KMA) sıralamasıyla devam etmektedir. Maksimum basınç artış oranı DB-PY30 yakıtı ile minimum basınç artış oranına sahip olan DB-SY10 test yakıtları arasındaki fark %33,3 iken DY yakıtına göre %1,9'lik oranında bir fark oluşmuştur.

7,5 bar OEB'deki yükte maksimum BAO üst ölü noktadan önce 356 ^{o}KMA'da 5,20 (bar/^{o}KMA) ile DB-PY10, minimum BAO ise 3,94 (bar/^{o}KMA) ile DB-SY10 test yakıtı olduğu tespit edilmiştir. Ardı sıra maksimum BAO sırasıyla DB-PSY30 ile 5,13 DB-PY20 ile 5,01 DY 4,91 ile DB-SY20 4,73 ile DB-SY30 4,59 ile DB-PY30 4,02 (bar/^{o}KMA) sıralamasıyla devam etmektedir. Maksimum basınç artış oranı DB-PY10 yakıtı ile minimum BAO sahip olan DB-SY10 test yakıtları arasındaki fark %24,2 iken DY yakıtına göre %5,5'lik oranında bir fark oluşmuştur. Tüm test yakıtların ortalama efektif basınç altındaki yüke göre maksimum BAO aşağıdaki Çizelge 4.5'te verilmiştir.

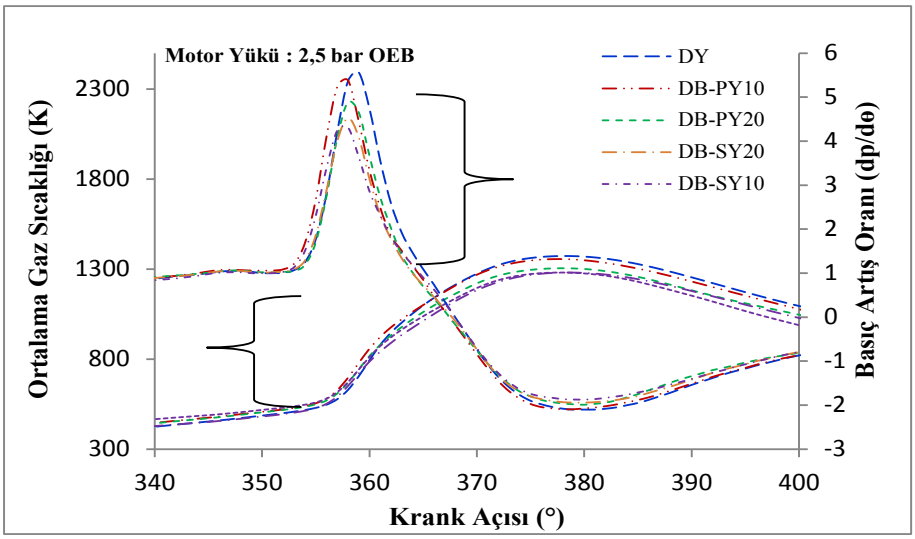
Çizelge 4.5. Farklı yüklerdeki yakıtların maksimum BAO değerleri (bar/^{o}KMA)

Yakıt Türü	0,3 bar OEB	2,5 bar OEB	5 bar OEB	7,5 bar OEB
DY	3,12/361^{o}	5,36/358^{o}	5,43/357^{o}	4,91/356^{o}
DB-PY10	3,22/361^{o}	5,38/358^{o}	5,10/357^{o}	5,20/356^{o}
DB-PY20	2,69/361^{o}	4,89/358^{o}	5,53/357^{o}	5,01/356^{o}
DB-SY10	2,34/361^{o}	4,31/358^{o}	3,69/357^{o}	3,94/356^{0}
DB-SY20	2,15/361^{o}	4,52/358^{o}	4,97/357^{o}	4,73/356^{o}
DB-PY30	2,20/361^{o}	5,01/358^{o}	5,54/357^{o}	4,02/356^{o}
DB-SY30	2,17/361^{o}	3,52/358^{o}	4,94/357^{o}	4,59/356^{o}
DB-PSY30	1,97/361^{o}	4,64/358^{o}	5,35/357^{o}	5,13/356^{o}

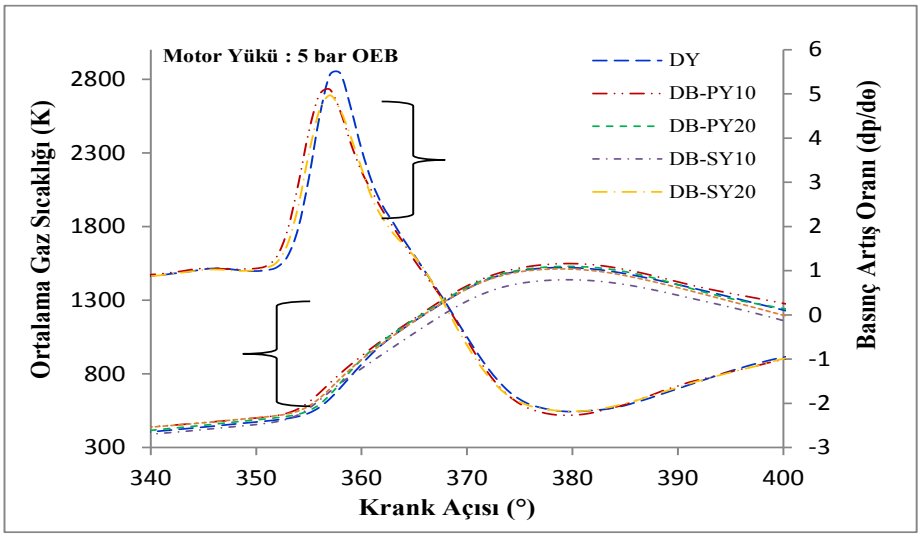
Genel bir değerlendirme yapıldığında tüm test yakıtlarındaki maksimum BAO tüm yüklerde DB-PY10 karışımlı test yakıtında olduğu gözlemlenmiştir. DY yakıtına göre karışımlı diğer tüm yakıtların BAO'ında ciddi bir artış farkı oluşmadığı, buda tutuşma ve kontrolsüz bir yanmanın olmadığı ile açıklanabilir. Tüm yüklerde karışımlı yakıtların DY'na benzer değerler göstermesi olumlu, ancak DB-SY10 test yakıtı DY'ına göre yüksek yüklerde (5 bar -7,5 bar OEB) basınç artış oranı düşük olması yakıt karışımındaki adyabatik ısı kayıpların fazla olması ile açıklanabilir.



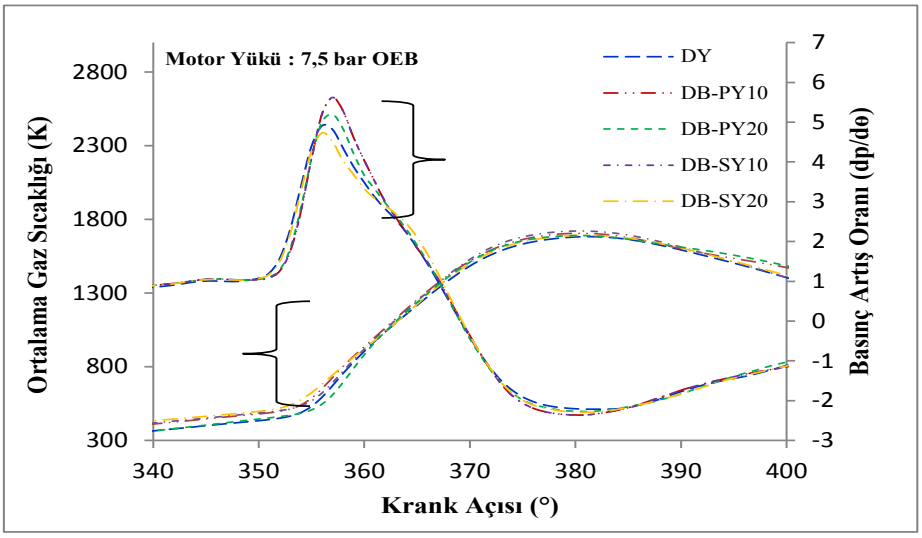
Şekil 4.17. Karışımlı test yakıtların (10-20) OGS ve BAO'larının değişimi (0,3 bar)



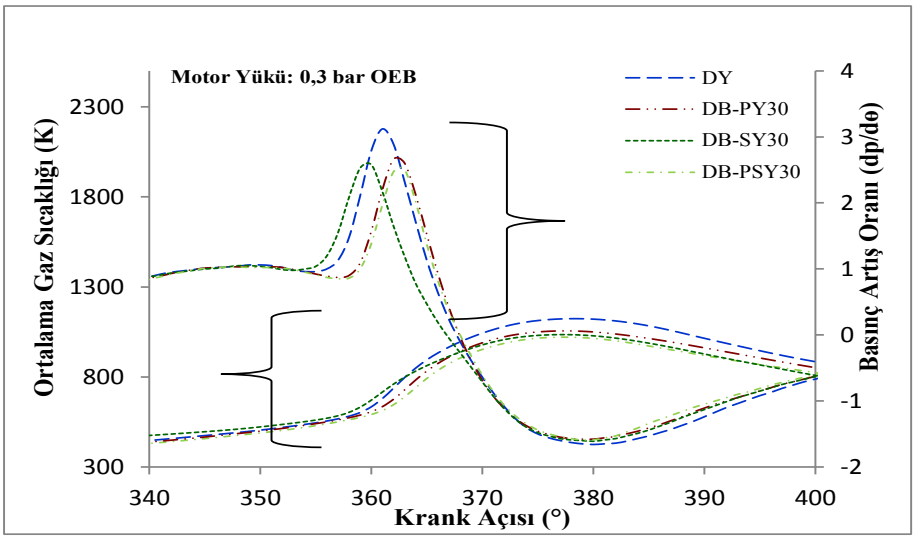
Şekil 4.18. Karışımlı test yakıtların (10-20) OGS ve BAO'larının değişimi (2,5 bar)



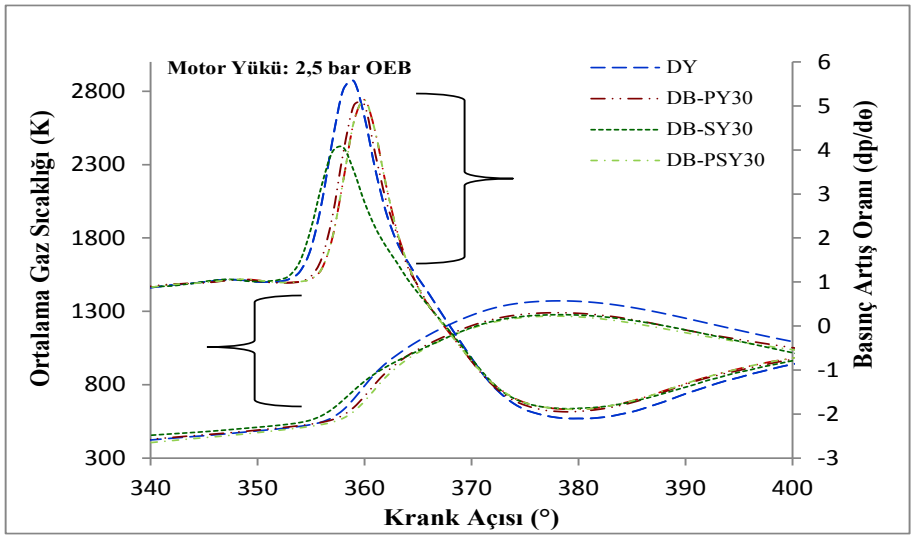
Şekil 4.19. Karışımlı test yakıtların (10-20) OGS ve BAO'larının değişimi (5 bar)



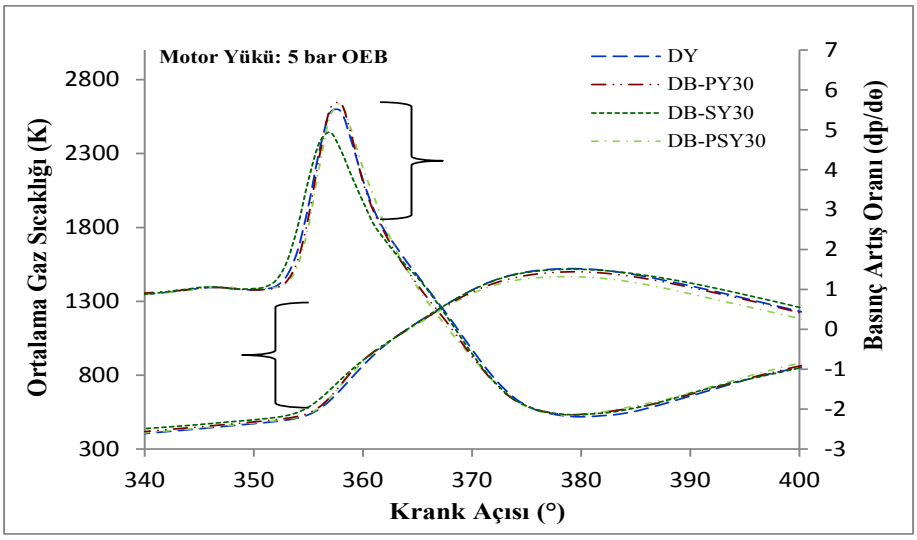
Şekil 4.20. Karışımlı test yakıtların (10-20) OGS ve BAO'larının değişimi (7,5 bar)



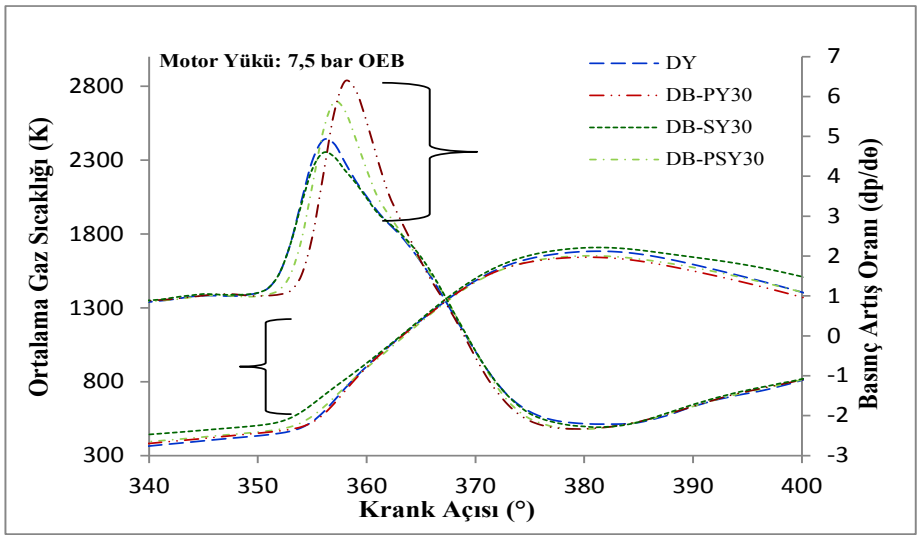
Şekil 4.21. Karışımlı test yakıtların (30) OGS ve BAO'larının değişimi (0,3 bar)



Şekil 4.22. Karışımlı test yakıtların (30) OGS ve BAO'larının değişimi (2,5 bar)



Şekil 4.23. Karışımlı test yakıtların (30) OGS ve BAO'larının değişimi (5 bar)



Şekil 4.24. Karışımlı test yakıtların (30) OGS ve BAO'larının değişimi (7,5 bar)

4.2. Katkılı (EN) Yakıtların Yanma Parametreleri

Dizel motorlarında yanma parametrelerini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Silindir içerisinde gerekli ısıyı elde etmek için yakıt basınçlı bir şekilde havanın üzerine püskürtülerek yanma olayını gerçekleştiren bu motorlarda yanma enjeksiyonun yakıtı püskürtmesi ile yakıtın tutuşmasında belirli bir süre geçmesi gerekmektedir ki bu geçen süreye tutuşma gecikmesi adı verilir (İlker ve ark., 2021). Bu tutuşma gecikmesine etki eden birçok faktör vardır. Bunlar; ortam sıcaklığı, ortam basıncı, motor devri, emme havası sıcaklığı ve basıncı, motor yükü ve oksijen konsantrasyonu gibi operasyonel faktörler, sıkıştırma oranı, motor soğutma koşulları, enjeksiyon kalitesi ve yakıt gibi yapısal faktörler dizel vuruntusu üzerinde etkisi vardır (Kasseris ve ark., 2012). Yakıtın tutuşma kabiliyetini belirleyen en önemli parametrelerinden bir tanesi yakıtın moleküler yapısından ve bileşiminden etkilenen setan sayısıdır (Vallinayagam ve ark., 2014). Yakıtın tutuşma kabiliyeti artırılmak istendiğinde, dizel vuruntusunun önlenmesi ve tutuşma gecikme süresinin kısaltılması, diğer bir ifade ile setan sayısında artışın sağlanması gerekmektedir. Yakıtın aromatik içeriğini hidro işlem yoluyla düşürerek veya katkı maddeleriyle setan sayısının arttırılması diğer yöntemlere göre daha uygun maliyetlidir (Nandi, 1996). Setan iyileştiriciler peroksitler, nitritler, nitratlar, nitrozo-karbamatlar, tetra-azoller ve tiyoaldehitler olarak sınıflandırılabilir (Srivastava ve ark., 2014). Bu katkı maddeleri tutuşma gecikmesini kısalttığını, yakıtın enjeksiyondan püskürtüp hava ile karışımına, atomizasyona, buharlaşma gibi çeşitli fiziksel ve kimyasal

reaksiyonları etkilemektedir (Yan ve ark., 2015). Bu katkı maddelerinden en yaygın olarak kullanılanı ethylhexyl nitrattır. Genellikle EHN, 2EHN veya EN olarak kısaltılır, yanma özelliklerini iyileştirir, tutuşma gecikmesini kısaltır (Zhang ve ark., 2013). Bu çalışmada katkı olarak kullanılan ethylhexyl nitratt kısaltma da (EN) kullanılmaktadır.

Üretilen dizel benzeri plastik yakıtlarındaki düşük setan indisinden dolayı yakıtın aromatik yapısındaki iyileştirmelere gidilerek setan sayısını karışımlı DB-PY20 deney yakıtına hacimsel olarak belirli oranlarda (%5, %10) ve kimyasal yapısı Çizelge 4.6'da verilen ethylhexyl nitrite (EN) eklenmiştir.

Çizelge 4.6. Ethylhexyl nitrite (EN) katkısının kimyasal özellikleri

Parametreler	Değer Aralığı
Görünüm	Soluk sarı savı
Yoğunluk (20 ^{o}C) g/cm^3	0,960-970
Parlama Noktası (^{o}C)	≥ 77
Asit Değeri (mg KOH/100 ml)	≤ 3
Su İçeriği (mg/kg)	≤ 450
Saflık (%)	≥ 99,10
Vizkozite (20 ^{o}C) mm^2/s	1,700-1,800
Cu korozyon (50 ^{o}C, 3h)	≤ 1

DB-SY yakıtın setan indisi standart dizel yakıt parametreleri arasında olmasına rağmen, yanma ve emisyonlar üzerindeki etkilerini araştırmak için DB-SY20 karışımlı deney yakıtlarına da aynı oranlarda katılarak performans, yanma ve emisyonlar üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

4.2.1. Silindir gaz basıncı

Deney yakıtlarına ethylhexyl nitrate (DB-PY20-DB-SY20) %5 EN %10 EN katılarak farklı yüklerde (0,3 bar, 2,5 bar, 5 bar, 7,5 bar OEB) alınan veriler kendi içlerinde ayrı değerlendirerek Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28'de gösterilmiştir.

Düşük yük (0,3 bar OEB) durumdaki maksimum silindir gaz basıncı değerleri; DY ile 54,69 bar, DB-PY20 ile 51,44 bar, DB-SY20 ile 50,54 bar ve DB-PY20EN5 ile 53,64 bar, DB-SY20EN5 ile 54,25 bar, DB-PY20EN10 ile 48,32 bar, DB-SY20EN10 ile

51,30 bar olarak ölçülmüştür. Test yakıtları Ü.Ö.N 9 ºKMA'dan sonra elde edilmiş olup maksimum basınç 54,69 bar ile DY kullanımında gerçekleşmiştir.

2,5 bar OEB durumdaki maksimum SGB değerleri; DY ile 67,36 bar, DB-PY20 ile 63,13 bar, DB-SY20 ile 62,56 bar ve DB-PY20EN5 ile 66,21 bar, DB-SY20EN5 ile 67,75 bar, DB-PY20EN10 ile 67,76 bar, DB-SY20EN10 ile 63,47 bar ölçülmüştür. Test yakıtları üst ölü noktada (ÜÖN) 9-10 ºKMA'dan sonra elde edilmiş olup maksimum basınç 67,76 bar ile DB-PY20EN10 kullanımında gerçekleşmiştir.

5 bar OEB durumdaki maksimum SGB değerleri; DY ile 72,26 bar, DB-PY20 ile 71,62 bar, DB-SY20 ile 70,89 bar ve DB-PY20EN5 ile 73,02 bar, DB-SY20EN5 ile 73.33 bar, DB-PY20EN10 ile 74,39 bar, DB-SY20EN10 ile 71,71 bar ölçülmüştür. Test yakıtlarından DY, DB-PY20, DB-SY20 ve DB-PY20EN5, DB-SY20EN5, DB-PY20EN10 ile DB-SY20EN10 için üst ölü noktada (ÜÖN) 11 ºKMA'dan sonra elde edilmiş olup maksimum basınç 74,39 bar ile DB-PY20EN10 kullanımında gerçekleşmiştir.

7,5 bar OEB durumdaki maksimum SGB değerleri; DY ile 76,53 bar, DB-PY20 ile 77,37 bar, DB-SY20 ile 77,21 bar ve DB-PY20EN5 ile 78,90 bar, DB-SY20EN5 ile 74,09 bar, DB-PY20EN10 ile 76,78 bar, DB-SY20EN10 ile 79,05 bar ölçülmüştür. Test yakıtları üst ölü noktada (Ü.Ö.N) 11 ºKMA'dan sonra elde edilmiş olup maksimum basınç 79,05 bar ile DB-SY20EN10 kullanımında gerçekleşmiş olup maksimum SGB değerleri Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Farklı yüklerdeki katkılı (EN) yakıtların mak. SGB değerleri

Yakıt Türü	0,3 bar OEB	2,5 bar OEB	5 bar OEB	7,5 bar OEB
DY	54,69/369º	67,36/370º	72,26/371º	76,53/371º
DB-PY20	51,44/369º	63,13/370º	7162/371º	77,37/371º
DB-SY20	50,54/369º	62,56/370º	70,89/371º	77,21/371º
DB-PY20EN5	53,64/369º	66,21/369º	73,02/371º	78,90/371º
DB-SY20EN5	54,85/369º	67,75/370º	73,33/371º	74,09/371º
DB-PY20EN10	48,32/369º	67,76/369º	74,39/371º	76,78/371º
DB-SY20EN10	51,30/369º	63,47/369º	71,71/371º	79,05/371º

Çizelge 4.7'deki yük durumlarına göre genel bir değerlendirme yapıldığında; 0,3 bar OEB görüldüğü gibi referans yakıtlarımızdan DY hariç (EN5) katkılı her iki yakıtta yüksüz durumda maksimum basınç değerlerinde bir miktar azalış görüldüğü, EN10

katkılı her iki yakıtta ise bir miktar artış söz konusu olduğu görülmektedir. 2,5 bar OEB yükte DY'ın DB-PY20EN5, DB-SY20EN10 katkılı yakıtlara göre oransal olarak biraz yüksek çıktığı, diğer katkılı yakıtların maksimum basınç değerleri oransal olarak DY'ına göre bir miktar daha düşük çıktığı gözlemlenmiştir. 5 bar OEB Yükte DY'ın DB-SY20EN10 katkılı yakıta göre oransal olarak biraz yüksek çıktığı, diğer referans yakıtların tümü katkılı (EN5-EN10) yakıtlarına göre maksimum basınç değerleri oransal olarak daha düşük çıktığı gözlemlenmiştir. 7,5 bar OEB'deki yükte ise görüldüğü gibi referans yakıtların katkılı DB-PY20EN5 ve DB-SY20EN10 göre azalış gösterirken, DB-SY20EN5 ve DB-PY20EN10 katkılı yakılara göre oransal olarak bir miktar artış olduğunu gözlemlenmiştir. Düşük yüklerde katkılı yakıtların referans yakıtlara göre benzer sonuçlar gösterirken, yüksek yüklerde katkılı yakıtların silindir içi gaz basınç oranlarında ortalama bir miktar yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.

4.2.2. Net ısı salınımı

Yüksüz (0,3 bar OEB) durumda maksimum ısı salınımının krank mili açısı üst ölü noktadan sonra 1 ^{o}KMA'da DY ile 33,23 J/^{o}KMA, DB-PY20 ile 28,74 J/^{o}KMA, DB-SY20 ile 24,11 J/^{o}KMA elde edilmiştir. Ethylhexyl nitrate katkılı DB-PY20EN5 ile 21,69/358 J/^{o}KMA, DB-SY20EN5 ile 28,38/361 J/^{o}KMA, DB-PY20EN10 ile 21,69/358 J/^{o}KMA, DB-SY20EN10 ile 15,48/358 J/^{o}KMA olduğu tespit edilmiştir. Tüm test yakıtları içerisinde krank mili açısına bağlı olarak net ısı salınımının üst ölü noktada 1 ^{o}KMA'dan sonra DY 33,23 J/^{o}KMA olduğu tespit edilmiş olup, katkılı yakıtlardan DB-SY20EN5 hariç diğer katkılı yakıtların üst ölü noktadan 2 ^{o}KMA önce maksimum net ısı salınımının gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Motor yükü sırasıyla 2,5 bar OEB çıkarıldığında referans yakıtların maksimum net ısı salınımları üst ölü noktadan önce 1-2 J/^{o}KMA, 'da gerçekleşmiş olup DY ile 51,32 J/^{o}KMA, DB-PY20 ile 43,75 J/^{o}KMA, DB-SY20 ile 39,40 J/^{o}KMA olduğu tespit edilmiştir. Ethylhexyl nitrat katkılı DB-PY20EN5 ile 25,26 J/^{o}KMA, DB-SY20EN5 ile 23,93 J/^{o}KMA, DB-PY20EN10 ile 25,09 J/^{o}KMA, DB-SY20EN10 ile 24,10 J/^{o}KMA, krank mili açısı üst ölü noktadan 5 ^{o}KMA'dan sonra gerçekleştiği tespit edilmiştir. Referans yakıtların maksimum net ısı salınımlarının katkılı yakıtlara göre yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Motor yükü sırasıyla 5 bar OEB çıkarıldığında referans yakıtların maksimum net ısı salınımları üst ölü noktadan önce 3 ^{o}KMA'da gerçekleşmiş olup DY ile 47,94 J/^{o}KMA,

DB-PY20 ile 49,06 J/^{o}KMA, DB-SY20 ile 40,13 J/^{o}KMA olduğu tespit edilmiştir. Ethylhexyl nitrat katkılı DB-PY20EN5 ile 30,60 J/^{o}KMA, DB-SY20EN5 ile 30,91 J/^{o}KMA, DB-PY20EN10 ile 32,56 J/^{o}KMA, DB-SY20EN10 ile 30,61 J/^{o}KMA, krank mili açısı üst ölü noktadan 3 ^{o}KMA'dan sonra gerçekleştiği tespit edilmiştir. Referans yakıtların ^{o}KMA üst ölü noktadan 3^{o} önce maksimum net ısı salınımları elde edilirken, katkılı test yakıtları ise maksimum net ısı salınımları krank mili açısı üst ölü noktadan 3 ^{o}KMA'dan sonra olduğu tespit edilmiştir.

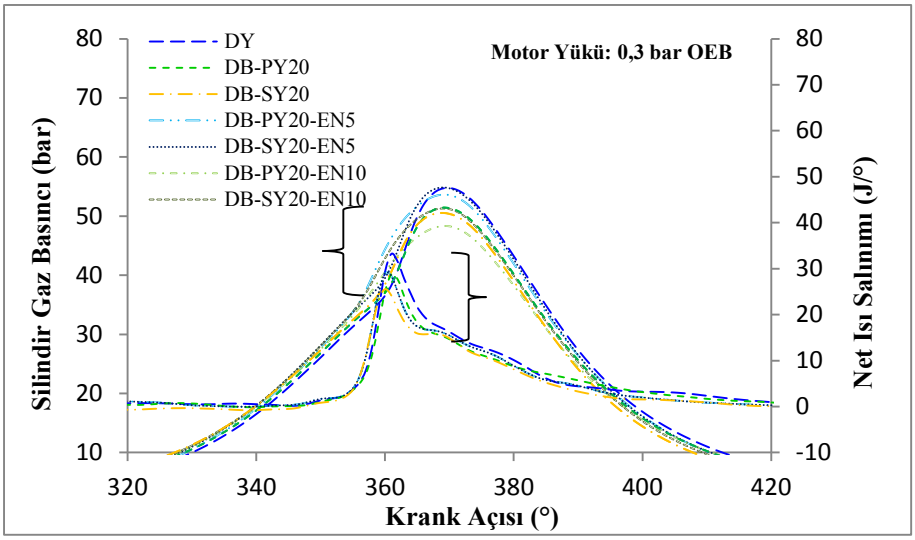
Yük 7,5 bar OEB çıkarıldığında referans yakıtların maksimum net ısı salınımları üst ölü noktadan önce 3 ^{o}KMA'da gerçekleşmiş olup DY ile 48,07 J/^{o}KMA, DB-PY20 ile 40,31 J/^{o}KMA, DB-SY20 ile 33,2 J/^{o}KMA olduğu tespit edilmiştir. Ethylhexyl nitrat katkılı DB-PY20EN5 ile 36,64 J/^{o}KMA, DB-SY20EN5 ile 31,31 J/^{o}KMA, DB-PY20EN10 ile 35,98 J/^{o}KMA, DB-SY20EN10 ile 36,66 J/^{o}KMA, krank mili açısı üst ölü noktadan 3 ^{o}KMA'dan sonra gerçekleştiği tespit edilmiştir. Referans yakıtların üst ölü noktadan 3 ^{o}KMA önce maksimum net ısı salınımları elde edilirken katkılı test yakıtları ise maksimum net ısı salınımları krank mili açısı üst ölü noktadan 3 ^{o}KMA'dan sonra olduğu tespit edilmiştir. Tüm test yakıtların maksimum net ısı salınımların yük ve ^{o}KMA göre elde edildiği değerler Çizelge 4.8 ve Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Farklı yüklerdeki katkılı (EN) yakıtların mak. NIS değerleri

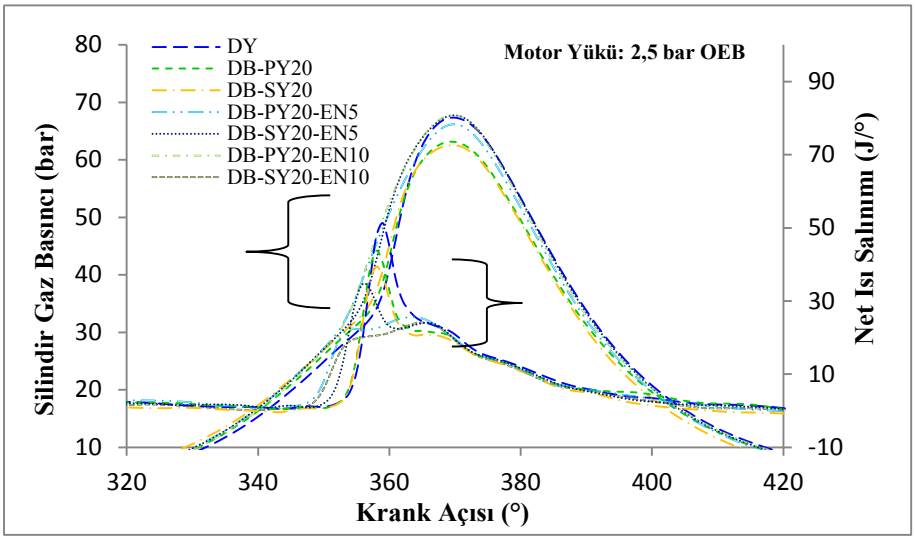
Yakıt Türü	0,3 bar OEB	2,5 bar OEB	5 bar OEB	7,5 bar OEB
DY	33,23/361^{o}	51,32/359^{o}	47,94/357^{o}	48,07/357^{o}
DB-PY20	28,74/361^{o}	43,75/358^{o}	49,06/357^{o}	41,56/357^{o}
DB-SY20	24,11/361^{o}	39,40/358^{o}	40,58/357^{o}	34,89/357^{o}
DB-PY20EN5	21,69/358^{o}	25,26/365^{o}	30,60/363^{o}	36,64/363^{o}
DB-SY20EN5	28,38/361^{o}	23,93/365^{o}	30,91/363^{o}	31,31/363^{o}
DB-PY20EN10	21,69/358^{o}	25,09/365^{o}	32,56/363^{o}	35,98/363^{o}
DB-SY20EN10	15,48/358^{o}	24,10/365^{o}	30,61/363^{o}	36,66/363^{o}

Çizelge 4.8'de görüldüğü gibi maksimum net ısı salınımları tüm karışımlı ve katkılı (EN5-EN10) test yakıtlarında dizel yakıt kullanımına göre düşüş seyrederken yükün artmasıyla yakıt tüketiminin artması sonucu olarak artışlar meydana gelmiştir. Düşük yüklerde yakıtların setan sayısındaki bir miktar artıştan dolayı erken tutuşmaya neden olduğundan maksimumdaki net ısı salınımlarının Ü.Ö.N dan önce gerçekleştiği düşünülmektedir. Yüksek yüklerdeki maksimum ısı salınımının daha çok referans

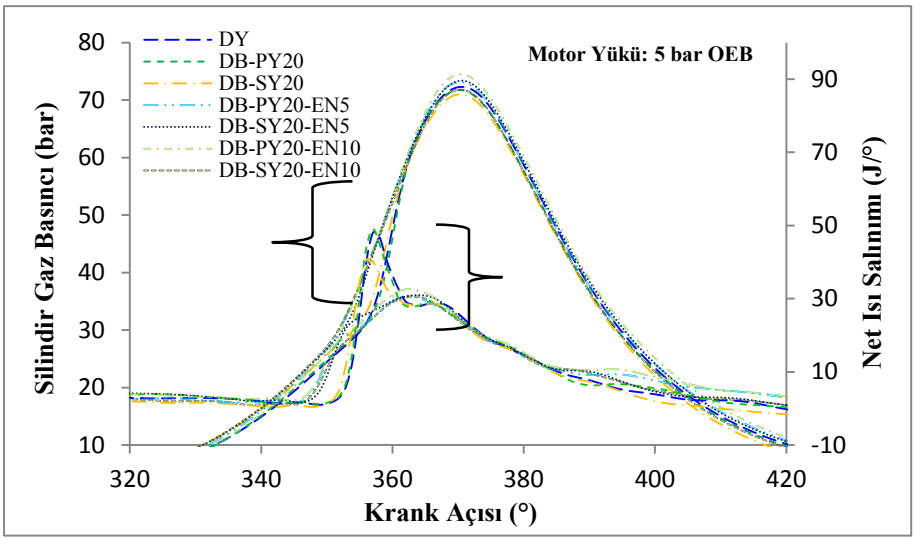
yakıtlarında görüldüğü tespit edilmiştir. Bunun nedenleri olarak; dizel yakıta göre ısıl değerin bir miktar daha düşük olması, yoğunlukların biraz daha yüksek olması sonucu silindir içi atomizasyonun tam oluşmaması olarak düşünülmektedir. Ethylhexyl nitrat katılan yakıtlarda bir miktar yoğunluk artışına neden olduğu ve bununda yaktın tutuşma gecikmesinin uzamasına bağlı fazla yakıtın silindirlerin içerisine alınıp ^{o}KMA üst ölü noktadan sonra maksimum net ısı salınımlarına neden olabileceği, net ısı salınımına dönüşebilecek yakıtların ardıl yanma fraksiyonunda görev görerek kümülatif ısıya dönüştüğü düşünülmektedir.



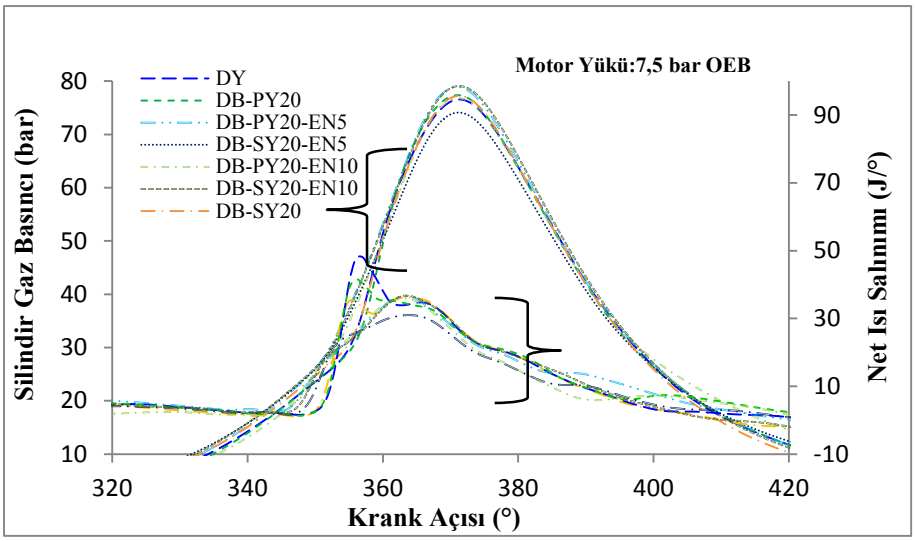
Şekil 4.25. Katkılı (EN) test yakıtların (20) SGB ve NIS'larının değişimi (0,3 bar)



Şekil 4.26. Katkılı (EN) test yakıtların (20) SGB ve NIS'larının değişimi (2,5 bar)



Şekil 4.27. Katkılı (EN) test yakıtların (20) SGB ve NIS'larının değişimi (5 bar)



Şekil 4.28. Katkılı (EN) test yakıtların (20) SGB ve NIS'larının değişimi (7,5 bar)

4.2.3. Ortalama gaz sıcaklığı parametresi

Karışımlı ve etilhexil nitrat (EN5-EN10) katkılı yakıtların farklı yüklerde (0,3 bar OEB, 2,5 bar OEB, 5 bar OEB ve 7,5 bar OEB) kullanımı ile silindir içi ortalama gaz sıcaklığı değerlerinin krank mili açısına göre değişimleri Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31, Şekil 4.32'de gösterilmiştir. Ayrıca tüm yüklerdeki parametreler kendi içlerinde ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Motor yüksüz (0,3 bar OEB) iken yanma parametrelerinde biri olan maksimum OGS tüm test yakıtlarında 378 ^{o}KMA'da DY ile 1123,45 K gerçekleştiği, DB-PY20 ile 1049,32 K ve bu yükte minimum ortalama gaz sıcaklığı ise 1019,39 K ile DB-SY20'deki test yakıtında olduğu tespit edilmiştir. Etilhexil Nitrat katkılı yakıtlarda ise DB-

PY20EN5 ile 1069,30 K, DB-SY20EN5 ile 1114,07 K, DB-PY20EN10 ile 1107,63 K, DB-SY20EN10 ile 1038,8 K olduğu tespit edilmiştir. Yüksüz durumda iken maksimum ortalama gaz sıcaklığı DY ile minimum olan DB-SY20 karışımlı yakıt arasında %9,26 lık oranında bir sıcaklık farkı oluştuğu tespit edilmiştir.

2,5 bar OEB'deki yük durumuna göre maksimum ortalama gaz sıcaklığı 378 ^{o}KMA'da 1372,44 K ile DY olup, minimum ortalama gaz sıcaklığında ise 1281,27 K ile DB-SY20 karışımlı test yakıtında olduğun tespit edilmiştir. Diğer test yakıtlarında ise DB-PY20 ile 1305,15 K, DB-PY20EN5 ile 1361,21 K, DB-SY20EN5 ile 1355,7 K, DB-PY20EN10 ile 1373,36 K, DB-SY20EN10 ile 1307,24 K devam etmektedir. Maksimum ortalama gaz sıcaklığı dizel yakıtı (DY) ile minimum olan DB-SY20 karışımlı yakıt arasında %6,43 lık oranında bir sıcaklık farkı olmuştur.

5 bar OEB'deki yük durumuna göre maksimum OGS 379 ^{o}KMA'da 1570,72 K ile DB-PY20EN10 olup, minimum OGS ise 1512,08 ile K ile DB-SY20 karışımlı test yakıtında olduğun tespit edilmiştir. DB-PY20 ile 1529,79 K, DY 1520,71 K, DB-PY20EN5 ile 1514,59 K, DB-SY20EN5 ile 1543,93 K, DB-SY20EN10 ile 1522,42 K devam etmektedir. Etilhexil nitrate katkılı (EN) yakıtlardan DB-PY20EN5 hariç diğer katkılı yakıtların ortalama gaz sıcaklıkları test yakıtlarına göre bir miktar artış olduğu tespit edilmiştir. Maksimum ortalama gaz sıcaklığı katkılı DB-PY20EN10 test yakıtı ile minimum olan DB-SY20 karışımlı test yakıtı arasında %3,73'lık oranda bir sıcaklık farkı olmuştur.

7,5 bar OEB'deki yük durumuna göre maksimum OGS 381 ^{o}KMA'da 1693,44 K ile DB-SY20 olup, minimum ortalama gaz sıcaklığında ise aynı yakıtın (EN5) katkılı 1562,67 K ile DB-SY20EN5 test yakıtında olduğun tespit edilmiştir. DB-PY20 ile 1690,63 K, DY ile 1683,54 K, DB-PY20EN5 ile 1659,93 K, DB-SY20EN10 ile 1692,49 K, DB-PY20EN10 ile 1573,84 K, devam etmektedir. Etilhexil nitrate katkılı (EN) yakıtlardan DB-PY20EN5 hariç diğer katkılı yakıtların ortalama gaz sıcaklıkları test yakıtlarına göre bir miktar artış olduğu tespit edilmiştir. Maksimum ortalama gaz sıcaklığı DB-SY20 test yakıtı ile minimum olan katkılı DB-SY20EN5 test yakıtı arasında %7,72 lık bir sıcaklık farkı olmuş olup farklı yüklerdeki maksimum ortalama gaz sıcaklığın ^{o}KMA'a göre değişimleri Çizelge 4.9'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Farklı yüklerdeki katkılı (EN) yakıtların mak. OGS değerleri

Yakıt Türü	0,3 bar OEB	2,5 bar OEB	5 bar OEB	7,5 bar OEB
DY	1123,45/378^o	1372,44/378^o	1520,71/379^o	1683,54/381^o
DB-PY20	1049,32/378^o	1305,15/378^o	1529,79/379^o	1690,63/381^o
DB-SY20	1019,39/378^o	1281,27/378^o	1512,08/379^o	1693,44/381^o
DB-PY20EN5	1069,30/378^o	1361,21/378^o	1514,59 /379^o	1659,93/381^o
DB-SY20EN5	1114,07/378^o	1355,7/378^o	1543,93/379^o	1562,67/381^o
DB-PY20EN10	1107,63/378^o	1373,36/378^o	1570,72/379^o	1573,84/381^o
DB-SY20EN10	1038,8/378^o	1307,24/378^o	1522,42/379^o	1692,49/381^o

Çizelge 4.9'de görüldüğü gibi yük miktarı artıkça 1-3 ^{o}KMA arasında değişen açılarda OGS arttığı görülmektedir. Düşük yükte (0,3 bar OEB)'erdeki dizel yakıtın maksimum OGS diğer karışımlı ve katkılı yakıtlara göre bir miktar yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak artan yükle birlikte özellikle (5-7,5 bar OEB) katkılı test yakıtların genelinde, karışımlı test yakıtlarına göre ortalama gaz sıcaklıkları bir miktar artış olduğu gözlemlenmiştir. Katkılı ve katkısız test yakıtları ile standart dizel yakıtının yanma parametreleri içerisinde ortalama gaz sıcaklıkları tüm yüklerde ve kendi içlerinde bir karşılaştırma yapıldığında çok az miktarda değişimlerin olduğu gözlemlenmiştir.

4.2.4. Basınç artış oranı parametresi

Yakıtın yanma safhasını belirleyen önemli parametrelerinden bir tanesi iç basınçlardaki artış ve azalış olaylarına bakılarak iyi veya kötü bir yanmanın analizi için önemli etkenlerden bir tanesi de basınç artış oranlarıdır. Etilhexil Nitrat (EN)'ın farklı oranlarda DB-PY20 ve DB-SY20 karışımlı yakıtlara konularak standart DY ile birlikte sabit motor devrinde (1500 d/dk.) ve farklı motor yükleri ile (0,3 bar OEB, 2,5 bar OEB, 5 bar OEB ve 7,5 bar OEB) krank mili açısına göre değişimleri (bar/^{o}KMA) Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31, Şekil 4.32'de gösterilmiştir

Yüksüz (0,3 bar OEB) durumda krank mili açısı ile BAO üst ölü noktadan sonra DY ile 361 ^{o}KMA'da 3,12 (bar/^{o}KMA), DB-PY20 ile 2,69 (bar/^{o}KMA), DB-SY20 ile 2,15 (bar/^{o}KMA) gerçekleşmiştir. Etilhexil Nitrat katkılı yakıtlarda ise BAO piston üst ölü noktadan önce 357 ^{o}KMA'da DB-PY20EN5 ile 2,26 (bar/^{o}KMA), DB-SY20EN5 ile 1,32 (bar/^{o}KMA), DB-PY20EN10 ile 1,54 (bar/^{o}KMA), DB-SY20EN10 ile 1,99 (bar/^{o}KMA) olduğu tespit edilmiştir. Maksimum basınç artış oranına sahip DY yakıtı ile

minimum basınç artış oranına sahip olan DB-SY20EN5 katkılı test yakıtları arasındaki oran %57,69 lık bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

2,5 bar OEB 'deki maksimum BAO üst ölü noktadan önce 358 ^{o}KMA'da 3,36 (bar/^{o}KMA) ile DY, DB-PY20 ile 4,89 (bar/^{o}KMA), DB-SY20 ile 4,52 (bar/^{o}KMA) gerçekleşmiştir. Katkılı EN yakıtlarda ise basınç artış oranı piston üst ölü noktadan önce 354 ^{o}KMA'da DB-PY20EN5 ile 2,98 (bar/^{o}KMA), DB-SY20EN5 ile 2,92 (bar/^{o}KMA), DB-PY20EN10 ile 3,38 (bar/^{o}KMA), DB-SY20EN10 ile 2,65 (bar/^{o}KMA) olduğu tespit edilmiştir. Maksimum BAO sahip DY yakıtı ile minimum BAO sahip olan DB-SY20EN10 katkılı test yakıtları arasındaki oran %21,13 lık bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

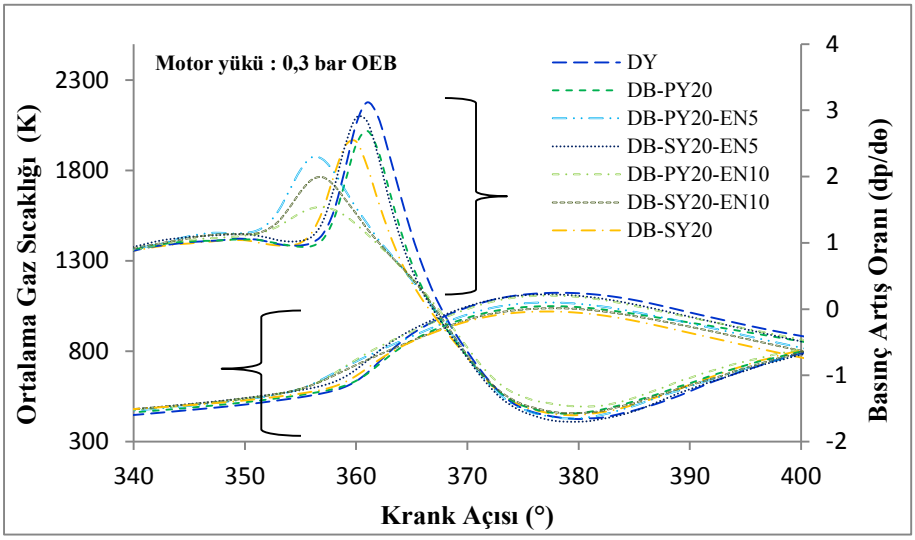
5 bar OEB 'deki maksimum BAO üst ölü noktadan önce 357 ^{o}KMA'da 5,53 (bar/^{o}KMA) ile DB-PY20, 4,97 (bar/^{o}KMA) ile DB-SY20 5,43 (bar/^{o}KMA) ile DY'de gerçekleşmiştir. Etilhexil nitrat katkılı yakıtlarda ise basınç artış oranı DB-PY20EN5 ile 3,03 (bar/^{o}KMA), DB-SY20EN5 ile 3,31 (bar/^{o}KMA), DB-PY20EN10 ile 3,24 (bar/^{o}KMA), DB-SY20EN10 ile 3,01 (bar/^{o}KMA) olduğu tespit edilmiştir. Maksimum BAO sahip DB-PY20 yakıtı ile minimum BAO sahip olan DB-SY20EN10 katkılı test yakıtları arasındaki oran %45,57 lık bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

7,5 bar OEB 'deki maksimum BAO üst ölü noktadan önce 356 ^{o}KMA'da 5,01 (bar/^{o}KMA) ile DB-PY20, 4,91 (bar/^{o}KMA) ile DY, 4,73 (bar/^{o}KMA) ile DB-SY20'de gerçekleşmiştir. Etilhexil Nitrat katkılı yakıtlarda ise BAO üst ölü noktada iken 360 ^{o}KMA'da DB-PY20EN5 ile 3,16 (bar/^{o}KMA), DB-SY20EN5 ile 2,81 (bar/^{o}KMA), DB-PY20EN10 ile 3,37 (bar/^{o}KMA), DB-SY20EN10 ile 3,11 (bar/^{o}KMA) olduğu tespit edilmiştir. Maksimum BAO sahip DB-PY20 yakıtı ile minimum BAO sahip olan DB-SY20EN5 katkılı test yakıtları arasındaki oran %43,91 lık bir fark olduğu gözlemlenmiştir. Tüm test yakıtların ortalama efektif basınç altındaki yüke göre maksimum basınç artış oranları aşağıdaki Çizelge 4.10'da verilmiştir.

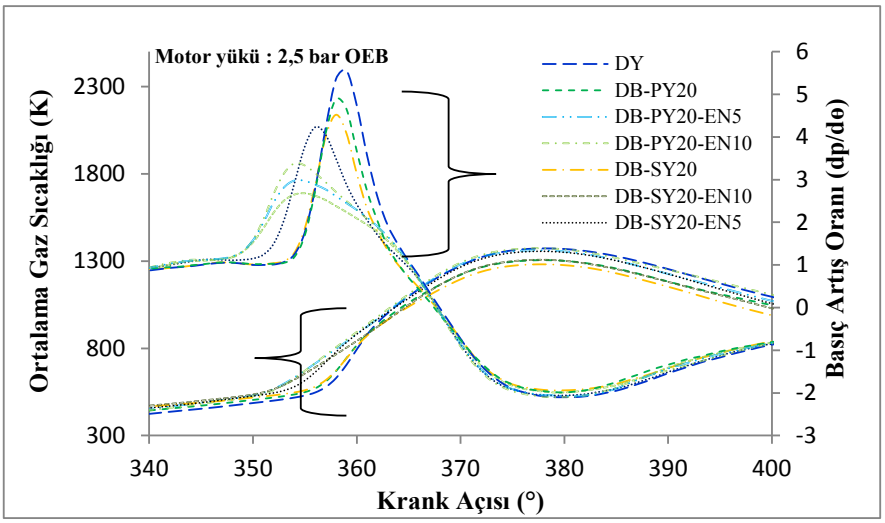
Çizelge 4.10. Farklı yüklerdeki katkılı (EN) yakıtların mak. BAO değerleri

Yakıt Türü	0,3 bar OEB	2,5 bar OEB	5 bar OEB	7,5 bar OEB
DY	3,12/361º	5,36/358º	5,43/357º	4,91/356º
DB-PY20	2,69/361º	4,89/358º	5,53/357º	5,01/356º
DB-SY20	2,15/361º	4,52/358º	4,97/357º	4,73/356º
DB-PY20EN5	2,26/357º	2,98/354º	3,03/357º	3,16/360º
DB-SY20EN5	1,32/357º	2,92/354º	3,31/357º	2,81/360º
DB-PY20EN10	1,54/357º	3,38/354º	3,24/357º	3,37/360º
DB-SY20EN10	1,99/357º	2,65/354º	3,01/357º	3,11/360º

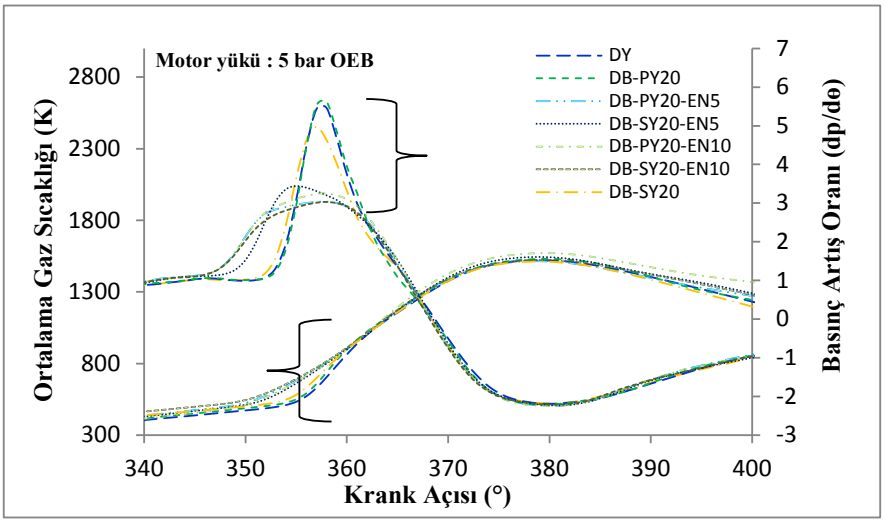
Çizelge 4.10'da görüldüğü gibi tüm yakıtların maksimum basınç artış oranlarının katkılı (EN5-EN10) yakıtlara göre ciddi bir artış oranına sahip olduğu görülüyor. Maksimum basınç artış oranı yük artışına bağlı olarak arttığı, bu da silindirlerin içerisine gönderilen yakıt miktarındaki artıştan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Etilhexil nitrat katkılı yakıtlardaki basınç artış oranlarındaki düşüklüğün en önemli nedeni; tutuşma gecikmesinin kısa sürmesine bağlı düşük setan indisine sahip olan yakıtlar ve silindirlerin içerisine alınan havanın basınç ile sıcaklığına bağlı olabileceği düşünülmektedir. Tutuşma gecikmesinin kısa sürmesi daha kontrollü bir yanma, vuruntusuz çalışma ve uygun emisyonlara neden olduğundan katkılı (EN5-EN10) yakıtlar için olumlu bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir.



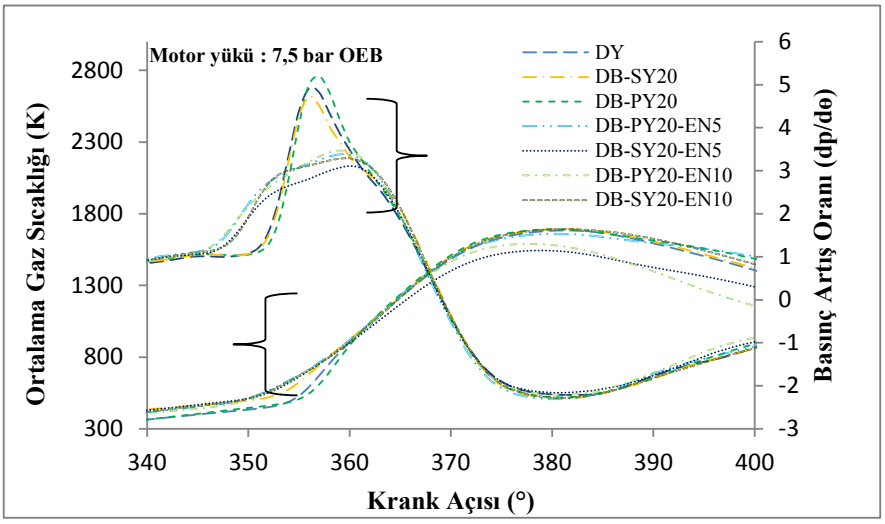
Şekil 4.29. Katkılı (EN) test yakıtların (20) OGS ve BAO'larının değişimi (0,3 bar)



Şekil 4.30. Katkılı (EN) test yakıtların (20) OGS ve BAO'larının değişimi (2,5 bar)



Şekil 4.31. Katkılı (EN) test yakıtların (20) OGS ve BAO'larının değişimi (5 bar)

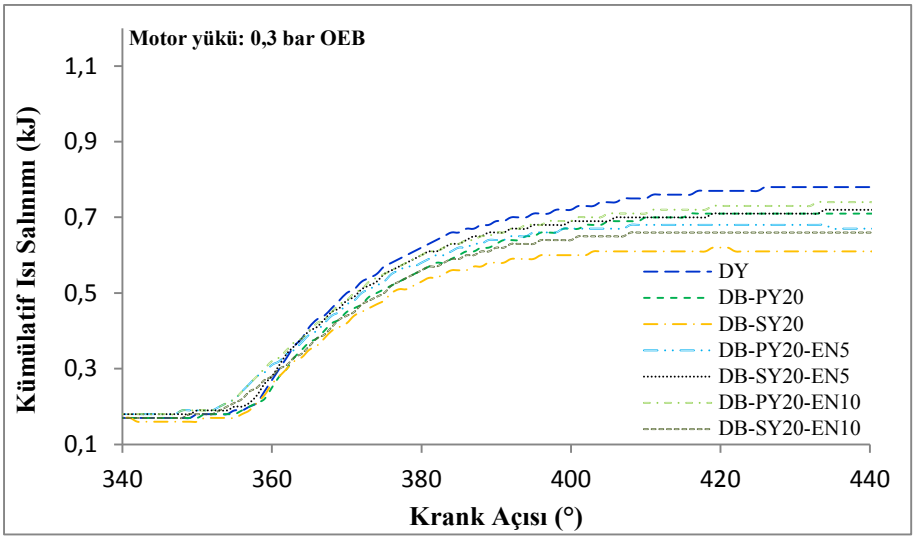


Şekil 4.32. Katkılı (EN) test yakıtların (20) OGS ve BAO'larının değişimi (7,5 bar)

4.2.5. Kümülatif ısı salınımı

Ethylhexyl nitrate katkılı yakıtın krank mili açısına bağlı olarak silindir içerisine alınan hava /yakıt karışımın yanması ile açığa çıkan toplam ısı enerjisinin öncesinde test edilmiş olan DY, DB-SY20, DB-PY20 referans karışımlı yakıtlara %5 ve %10 oranlarında katılarak farklı motor yüklerinde (0,3 bar, 2,5 bar, 5 bar ve 7,5 bar OEB) ve sabit devir sayısında (1500 d/dk) ölçülen toplam ısı salınım değerleri krank mili açısına göre değişimleri kJ/ºKMA cinsinden Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.35, Şekil 4.36 ve Çizelge 4.11'de maksimum KIS verilmiştir.

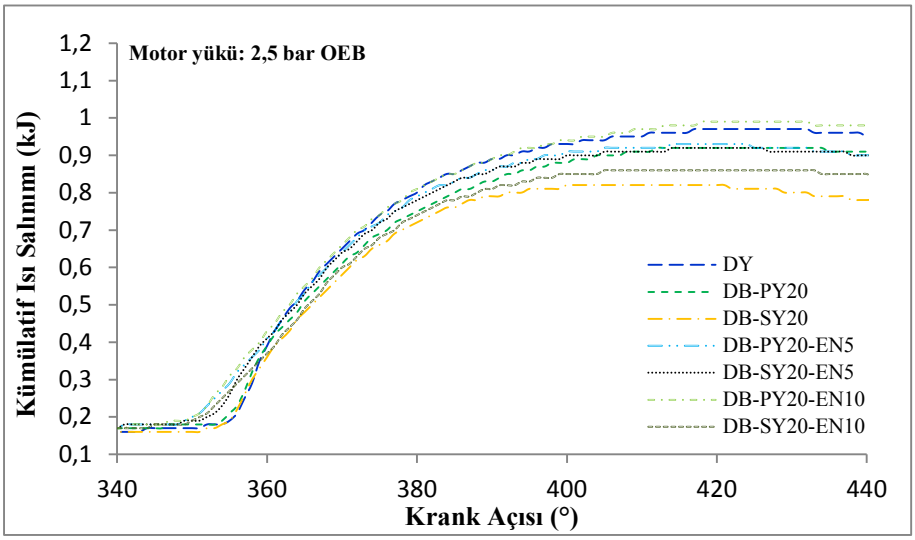
Yüksüz (0,3 bar OEB) göre maksimum KIS yanma başlangıcı 452 ºKMA'da DY ile 0.78 kJ gerçekleşmiş olup, en düşük toplam ısı salınımı ise DB-SY20 ile 0,61kJ test yakıtında gerçekleşmiştir. DB-PY20EN10 ile 0,74 kJ, DB-PY20 ile 0,72 kJ, DB-SY20EN5 ile 0,72 kJ, DB-PY20EN5 ile 0,66 kJ, DB-SY20EN10 ile 0,66 sıralamasıyla devam etmektedir. Katkılı yakıtların geneline baktığımızda referans yakıtlardan maksimum KIS sahip olan DY'na göre DB-PY20EN5 ile %15,38 DB-SY20EN5 ile %7,69, DB-PY20EN10 ile %5,12, DB-SY20EN10 ile %15,38 düşüş olduğu tespit edilmiştir. Maksimum KIS'daki DY ile minimum kümülatif ısı salınımındaki DB-SY20 yakıtı arasındaki fark ise %18,6 olduğu tespit edilmiş olup Şekil 4.33'te gösterilmiştir.



Şekil 4.33. Katkılı (EN) test yakıtların (20) KIS'larının değişimi (0,3 bar)

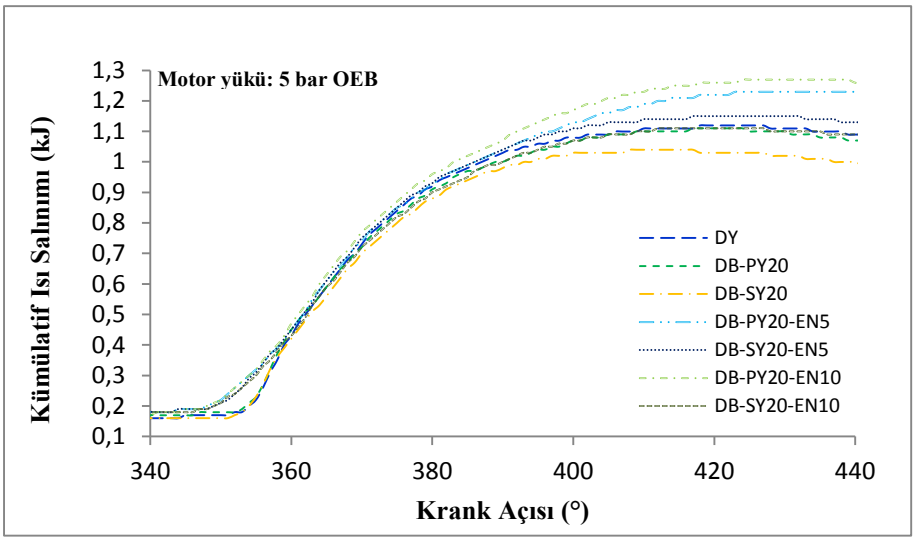
2,5 bar OEB göre maksimum KIS yanma başlangıcı 421 ºKMA'da DB-PY20EN10 ile 0,99 kJ gerçekleşmiş olup, en düşük toplam ısı salınımı ise DB-SY20 ile 0,82 kJ test yakıtında gerçekleşmiştir. DY ile 0,97 kJ, DB-PY20EN5 ile 0,93 kJ, DB-

SY20EN5 ile 0,92 kJ, DB-PY20 ile 0,92 kJ, DB-SY20EN10 ile 0,86 sıralamasıyla devam etmektedir. KIS sahip olan DB-PY20EN10 katkılı yakıtın, DY'na göre %2,02, DB-PY20EN5 ile %6,06 bir artış söz konusu iken geri kalan yakıtlara göre ise DB-SY20EN5 ile %7,07, DB-SY20EN10 ile %13,13 DB-PY20 ile %7,07 artış olduğu tespit edilmiş olup Şekil 4.34'te gösterilmiştir.



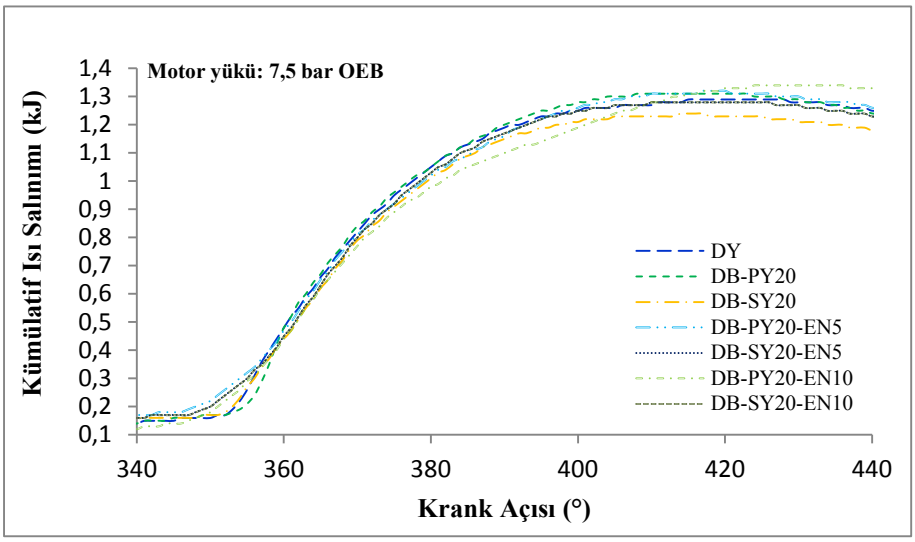
Şekil 4.34. Katkılı (EN) test yakıtların (20) KIS'larının değişimi (2,5 bar)

5 bar OEB'deki yük durumuna göre maksimum toplam ısı salınımı 419 ^{o}KMA'da DB-PY20EN10 ile 1,26 kJ gerçekleşmiş olup, minimum KIS ise DB-SY20 ile 1,03 kJ'deki test yakıtında gerçekleşmiştir. DB-PY20EN5 ile 1,22 kJ, DB-SY20EN5 ile 1,15 kJ, DY ile 1,12 kJ, DB-SY20EN10 ile 1,11 kJ, DB-PY20 ile 1,11 kJ sıralamasıyla devam etmektedir. Maksimum kümülatif ısı salınımı DB-PY20EN10 olan test yakıtı, DY ile %11,11, DB-PY20EN5 ile %3,17, DB-SY20EN5 ile %8,73, DB-SY20EN10 ile %11,90'lik bir artış oranına sahipken, minimum kümülatif ısı salınımına sahip DB-SY20 yakıtına göre %18,25'lik bir artış oranı olduğu tespit edilmiş olup Şekil 4.35'te gösterilmiştir.



Şekil 4.35. Katkılı (EN) test yakıtların (20) KIS'larının değişimi (5 bar)

7,5 bar OEB 'deki yük durumuna göre maksimum toplam ısı salınımı 415-419 ^{o}KMA'da katkılı test yakıtlarındaki DB-PY20EN5, DB-PY20EN10, DB-PY20 ile 1,31 kJ 'deki test yakıtlarında gerçekleşmiş olup, minimum toplam ısı salınımında ise DB-SY20 ile 1,24 kJ 'deki test yakıtında gerçekleşmiştir. DY ile 1,29 kJ, DB-SY20EN10 ile 1,28 kJ, DB-SY20EN5 ile 1,27 kJ, sıralamasıyla devam etmektedir. Bu yüklerdeki test yakıtları ile katkılı test yakıtları oransal olarak krank mili açısına göre maksimum kümülatif ısı salınımlarındaki değerler birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Tüm referans ve katkılı test yakıtların maksimum kümülatif ısı salınımları yüke göre değişimleri aşağıdaki Çizelge 4.10'da ve şekil 4.36'da gösterilmiştir.



Şekil 4.36. Katkılı (EN) test yakıtların (20) KIS'larının değişimi (bar)

Çizelge 4.11. Farklı yüklerdeki katkılı (EN) yakıtların mak. KIS değerleri

Yakıt Türü	0,3 bar OEB	2,5 bar OEB	5 bar OEB	7,5 bar OEB
DY	0,78/452-454^{o}	0,97/421^{o}	1,12/419^{o}	1,29/415-419^{o}
DB-PY20	0,72/452-454^{o}	0,92/421^{o}	1,11/419^{o}	1,31/415-419^{o}
DB-SY20	0,61/452-454^{o}	0,82/421^{o}	1,03/419^{o}	1,24/415-419^{o}
DB-PY20EN5	0,66/452-454^{o}	0,93/421^{o}	1,22/419^{o}	1,31/415-419^{o}
DB-SY20EN5	0,61/452-454^{o}	0,92/421^{o}	1,15/419^{o}	1,27/415-419^{o}
DB-PY20EN10	0,74/452-454^{o}	0,99/421^{o}	1,26/419^{o}	1,31/415-419^{o}
DB-SY20EN10	0,66/452-454^{o}	0,86/421^{o}	1,11/419^{o}	1,28/415-419^{o}

Kümülatif toplam ısı salınımlarının ortalama efektif basınçtaki çıkış enerjisine dönüşümü açısından çok önemli bir parametredir. Şekiller incelendiğinde tüm test yakıtları için motor yükünün artmasıyla kümülatif ısı salınımında artış olduğu, yüklere göre katkılı yakıtların referans test yakıtlarına göre kümülatif ısı salınımları daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Buda açığa çıkan ısının enerjiye dönüşümü açısından olumlu bir sonucun göstergesidir. Tüm yüklerdeki katkılı test yakıtlarının maksimum kümülatif ısı salınımının dizel test yakıtına göre yüksüz durum hariç DB-PY20EN10 katkılı test yakıtının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde katkılı (EN5-EN10) yakıtlı DB-PY20 ile DB-SY20 yakıtlarını karşılaştırıldığında katkılı plastik yakıtının katkılı sanayi yakıta göre tüm yüklerde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun temel nedeni yoğunlukları biraz daha yüksek olan katkılı DB-PY20(EN5-EN10) yakıttan kaynaklı tutuşma gecikmesine bağlı ek yakıtın silindirlerin içerine alınması olarak düşünülmektedir. Artan bu yük artışı ile silindir içerisindeki basıncın artması, yoğunluğu daha yüksek olan DB-PY20EN10 yakıtı havanın içerisinde daha iyi atomize olmasına ve yakıtın ısı enerjisine katılımını artırarak dizel yakıtına göre kümülatif ısı salınımı bir miktar yüksek çıkmasına neden olduğu düşünülmüştür. Maksimum kümülatif ısı salınımlarının üst ölü noktadan sonra gerçekleşmesi yanma sonucunda açığa çıkan kümülatif ısının yanma başlangıcındaki gecikmeden kaynaklı yanma hızını yavaşlatması, ya da silindir içerisindeki cidarlarda kalan yanmamış yakıtın üst ölü noktadan sonra yanmaya katılması olarak değerlendirilebilir.

4.3. Motor Performans Parametreleri

4.3.1. Özgül yakıt tüketimi

İçten yanmalı bir motorun tüketmiş olduğu yakıta karşılık krank şaft üzerinde ürettiği gücün verimi özgül yakıt tüketimi (ÖYT) ifade etmektedir. Diğer bir ifade ile 1 kWh enerji (iş) elde etmek için motorun tükettiği yakıt miktarına özgül yakıt tüketimi olarak tanımlanmaktadır. Farklı yüklerdeki motor testlerinde, her 20 cc'lik yakıt tüketiminde geçen süre (sn) kaydedilmiş olup, özgül yakıt tüketimi aşağıdaki (4.5) ve (4.6) denklemleri ile hesaplanmıştır.

$$\dot{m}_f = \frac{\rho_{karışım} * V_f}{\frac{t}{3600}} \tag{4.5}$$

Burada;

$\dot{m}_f$: Kütlesel Yakıt Debisi(kg/h)

$\rho_{karışım}$: Harmanlama sonucu elde edilen yakıtın yoğunluğu(kg/m^3)

V_f : Yakıt Hacmi (20 cm^3)

t : Süre(h) (20 cm^3 yakıtın tüketimi için geçen süre)

$$ÖYT = \frac{\dot{m}_f}{BP} \tag{4.6}$$

Burada;

ÖYT : Fren Özgül Yakıt Tüketimi(kg/kWh),

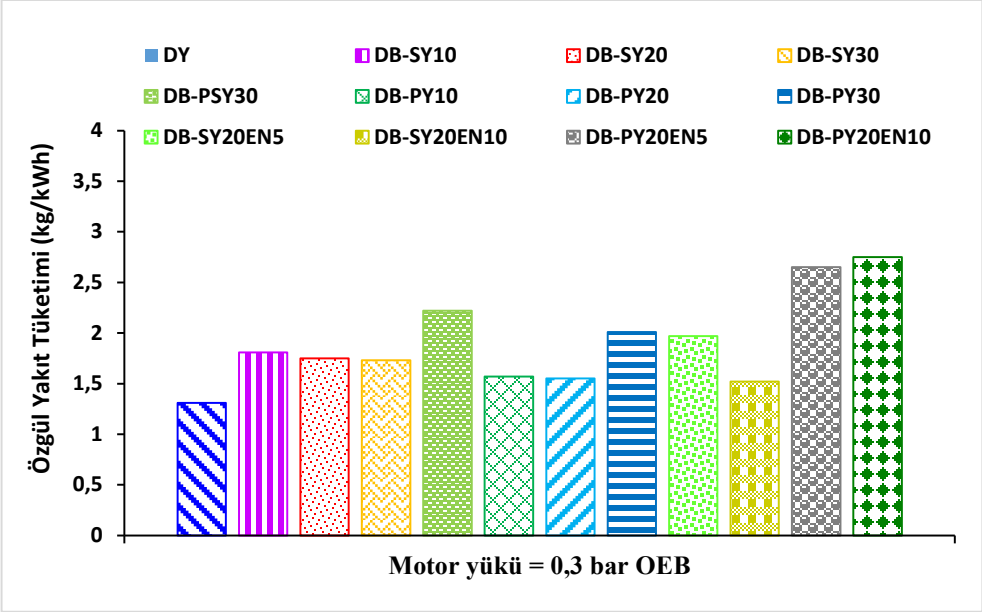
$\dot{m}_f$: Kütlesel yakıt debisi (kg/h),

BP : Motor Fren Gücü (kW)

Test yakıtların farklı motor yüklerindeki özgül yakıt tüketimlerindeki (ÖYT) değişimleri Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'ta verilmiştir. ÖYT dizel yakıt, karışım yakıtları ve katkılı test yakıtlarını kendi aralarında karşılaştırıldığında tüm test yakıtları için artan yüklerle birlikte ÖYT azalan bir eğilim göstermesi, yük artışına bağlı olarak silindir içi basınç ve sıcaklığın artması ile daha iyi bir yanmanın gerçekleşmesinden kaynaklı olması beklenen bir durumdur. Bu da hava/yakıt karışımının

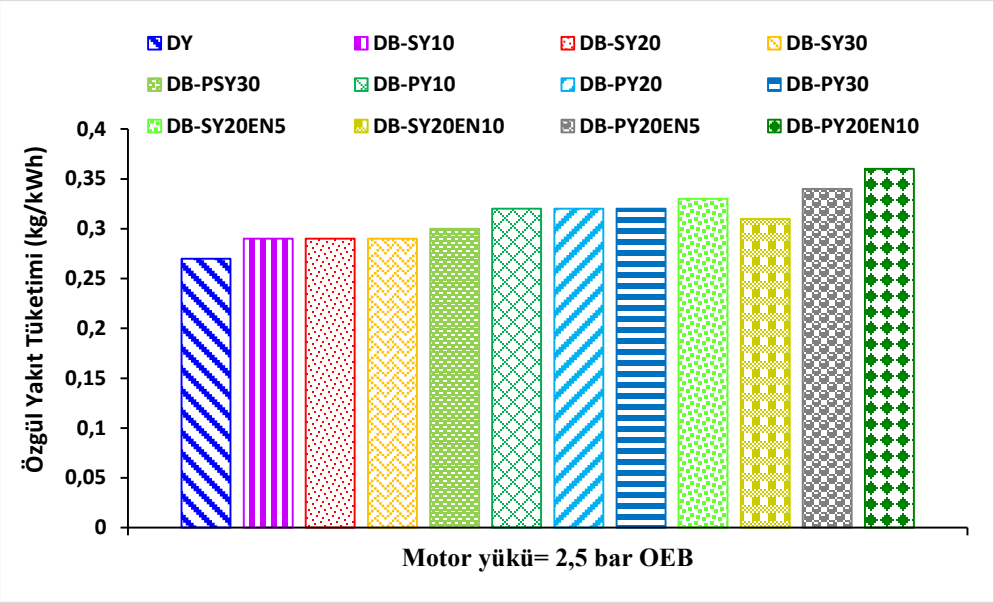
yüksek yüklerde daha iyi atomize olması ile enerji kayıpların minimize olması sonucunda ÖYT'inin azaldığı düşünülmüştür.

Yüksüz (0,3 bar OEB)'deki tüm test yakıt karışımları için ÖYT verileri dizel yakıtın; DB-SY10 için %38,16, DB-SY20 için %33,58, DB-SY30 için %32,06, DB-SPY30 için %69,46, DB-PY10 için %19,84, DB-PY20 için %18,32, DB-PY30 için %53,43, DB-SY20EN5 için %50,38, DB-SY20EN10 için %16,03, DB-PY20EN5 için %102,29, DB-PY20EN10 için %109,92, oranında düşük çıktığı tespit edilmiştir. Şekil 4.37'de özgül yakıt tüketiminin yüksüz duruma göre değişimi görülmektedir.



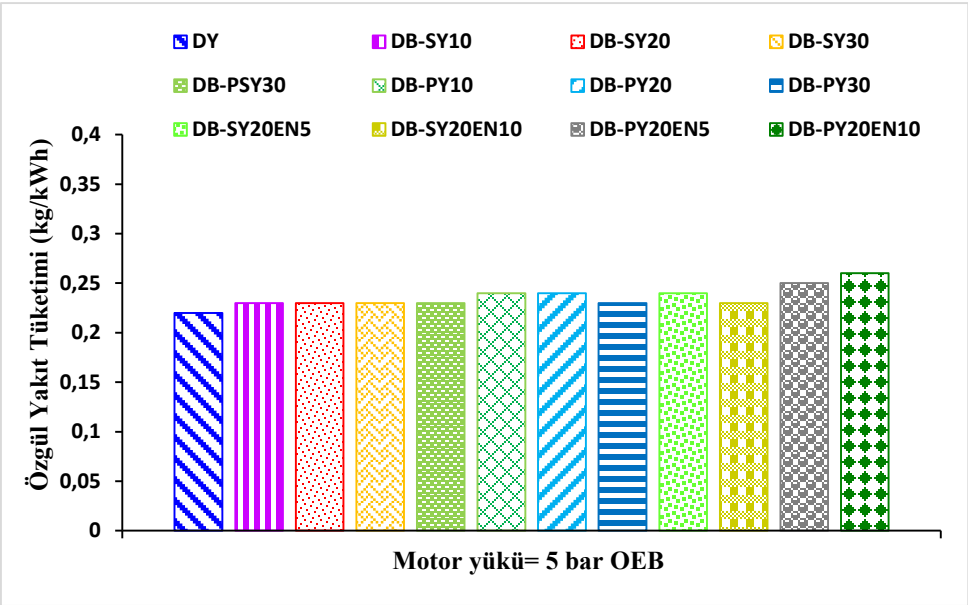
Şekil 4.37. Özgül yakıt tüketimin 0,3 bar OEB göre değişimi

2,5 bar OEB yükte tüm test yakıt karışımları için ÖYT verileri dizel yakıtın; DB-SY10 için %7,40, DB-SY20 için %7,40, DB-SY30 için %7,40, DB-SPY30 için %11,11, DB-PY10 için %18,50, DB-PY20 için %18,51, DB-PY30 için %18,52, DB-SY20EN5 için %22,22, DB-SY20EN10 için %14,81, DB-PY20EN5 için %25,92, DB-PY20EN10 için %33,33, oranında düşük çıktığı tespit edilmiştir. Şekil 4.37'de özgül yakıt tüketiminin yüksüz duruma göre değişimi görülmektedir.



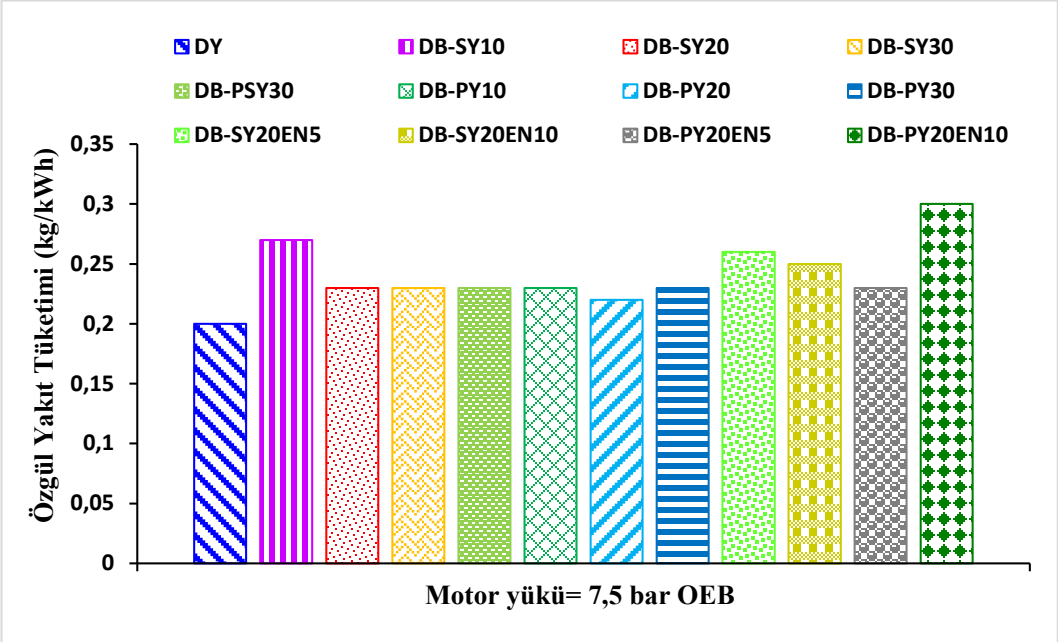
Şekil 4.38. Özgül yakıt tüketimin 2,5 bar OEB göre değişimi

5 bar OEB yükte tüm test yakıt karışımları için ÖYT verileri dizel yakıtın; DB-SY10, DB-SY20, DB-SY30, DB-SPY30 yakıtları için %4,54, DB-PY10 için %9,09, DB-PY20 için %9,09, DB-PY30 için %4,54, DB-SY20EN5 için %9,09, DB-SY20EN10 için %4,54, DB-PY20EN5 için %13,63, DB-PY20EN10 için %18,18 oranında düşük çıktığı tespit edilmiştir. Şekil 4.37'de özgül yakıt tüketiminin yüksüz duruma göre değişimi görülmektedir.



Şekil 4.39. Özgül yakıt tüketimin 5 bar OEB göre değişimi

7,5 bar OEB yükte tüm test yakıt karışımları için ÖYT verileri dizel yakıtın; DB-SY10 için %35, DB-SY20, DB-SY30, DB-SPY30, DB-PY10 yakıtları için %15, DB-PY20 için %10, DB-PY30 için %15, DB-SY20EN5 için %30, DB-SY20EN10 için %25, DB-PY20EN5 için %15, DB-PY20EN10 için %50 oranında düşük çıktığı tespit edilmiştir. Şekil 4.37'de özgül yakıt tüketiminin yüksüz duruma göre değişimi görülmektedir.



Şekil 4.40. Özgül yakıt tüketimin 7,5 bar OEB göre değişimi

Özgül yakıt tüketimi tüm test yakıtları ve yüklerde DY daha düşük oranda olduğu tespit edilmiştir. Özgül yakıt tüketimini etkileyen temel parametrelerin başında yanma verimi ve yakıt özellikleri gelmektedir. Şekiller incelendiğinde yük miktarının artışına bağlı olarak DY yakıtına göre diğer test yakıtlarındaki ÖYT'deki yüzdelik oranlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Hacimsel olarak tüm yüklerde karışım yakıtlarını kendi aralarında değerlendirildiğinde en yüksek ÖYT değeri DB-PY20EN10 ardından DB-PY20EN5 katkılı plastik karışımında elde edilmişken, en düşük ÖYT tüm yüklerde farklılık olduğu gözlemlenmiştir. Deney motorundaki dinamometreyi düşük yüklerde çalıştırıldığında yani motorun yükü az iken yakıtların ÖYT'leri en yüksek değerde olduğu, motor yüke bindikçe tüm yakıtlar için ÖYT değerlerinde azalmalar olduğu görülmüştür. Dizel yakıtına göre ÖYT çok yüksek çıkan yakıtların daha çok Ethylhexyl nitrite (EN) katkılı ve sanayi-plastik karışımlı deney yakıtlarında olduğu, bununda temel nedeni bu karışımlı yakıtlardaki yoğunluk ve vizkozitelerin DY'ına göre yüksek olmasından kaynaklı silindir içerisindeki hava/yakıt karışımının iyi bir atomizasyon

meydana getirmediği düşünülmektedir. Ayrıca düşük yüklerde özgül yakıt tüketiminin yüksek olması yanma parametrelerindeki silindir içi sıcaklıkların düşük olmasının etkili olduğu söylenebilir.

4.3.2. Efektif verim

İçten yanmalı motorların içerisindeki yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan ısı enerjisinin faydalı işe dönüştürme gücüne efektif verim (EV) veya diğer bir ifade ile Fren Termal Verimliliği (FTV), ısı enerjisine mekanik enerjiye dönüştürme gücü olarak tanımlanabilir. Motor çıkış gücünün kütlesel debi olarak yakıttan elde edilen ısının kalorifik değerine bağlı olup, Denklem (4.9)'a göre hesaplanmıştır.

$$\mathrm{EV} = \frac{\mathrm{BP} * 3600}{\dot{m}f * \mathrm{Huf}} \tag{4.9}$$

Burada;

EV : Efektif Verim (%),

BP : Motor Fren Gücü (kW),

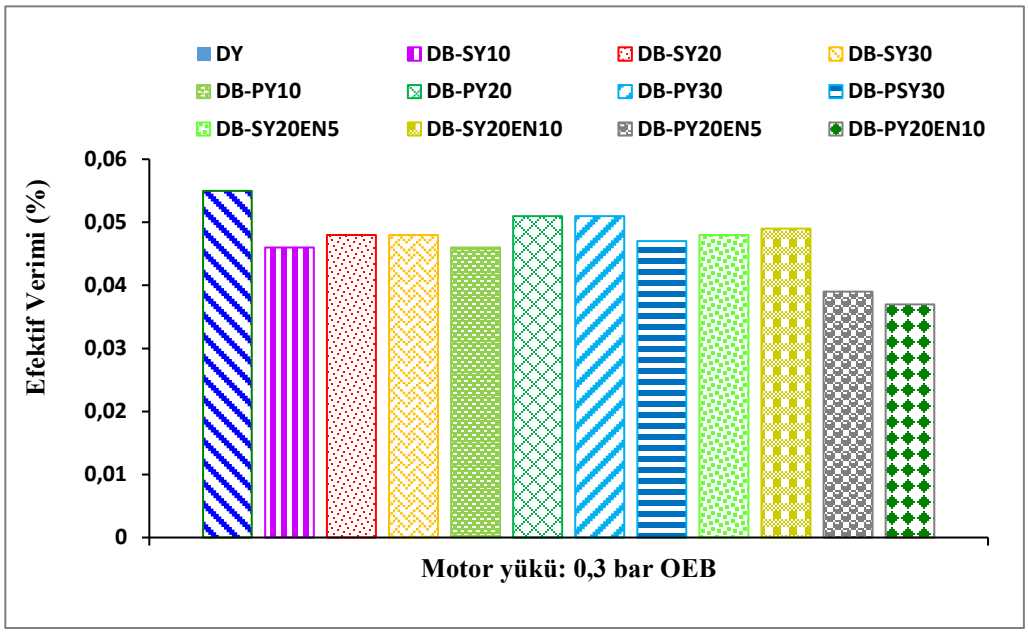
$\dot{m}f$: Kütlesel yakıt debisi(kg/h),

Huf : Testlerde kullanılan yakıtların alt ısıl değeri (kJ/kg),

Karışımlı test yakıtları kullanımında DY yakıtının değerlerine kıyasla düşük yüklerde (0,3 bar-2,5 bar OEB) efektif verim daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yük arttıkça (5 bar -7,5 bar OEB) DY efektif veriminde ortalama diğer test yakıtlara göre artış olduğu tespit edilmiştir. Efektif verimini etkileyen parametrelerin başında; kimyasal özellikleri ve özgül yakıt tüketimi, hava-yakıt oranı, enjeksiyon zamanlaması, sıkıştırma oranı ve en önemlisi yakıt karışımının kalorifik değeri gibi faktörler etkilemektedir (Damanik ve ark., 2018). Düşük yüklerdeki DY efektif verimin karışımlı yakıtlara göre düşük çıkması; yakıtın kimyasal özelliklerine bağlı yoğunluk, ortalama kalorifik değerlerindeki artış, düşük atomizasyon, yakıt sarfiyatındaki artış sonucundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Test motorunda kullanılmak üzere hazırlanan harmanlanmış olan yakıtlar farklı oranları ile sabit 1500 rpm motor devrindeki; DY, DB-SY10, DB-SY20, DB-SY30, DB-PSY30, DB-PY10, DB-PY20, DB-PY30, DB-SY20EN5, DB-SY20EN10, DB-PY20EN5, DB-PY20EN10 yakıtlardan elde edilen efektif verim performans açısından önemli bir parametre ölçüsü olarak alınmaktadır.

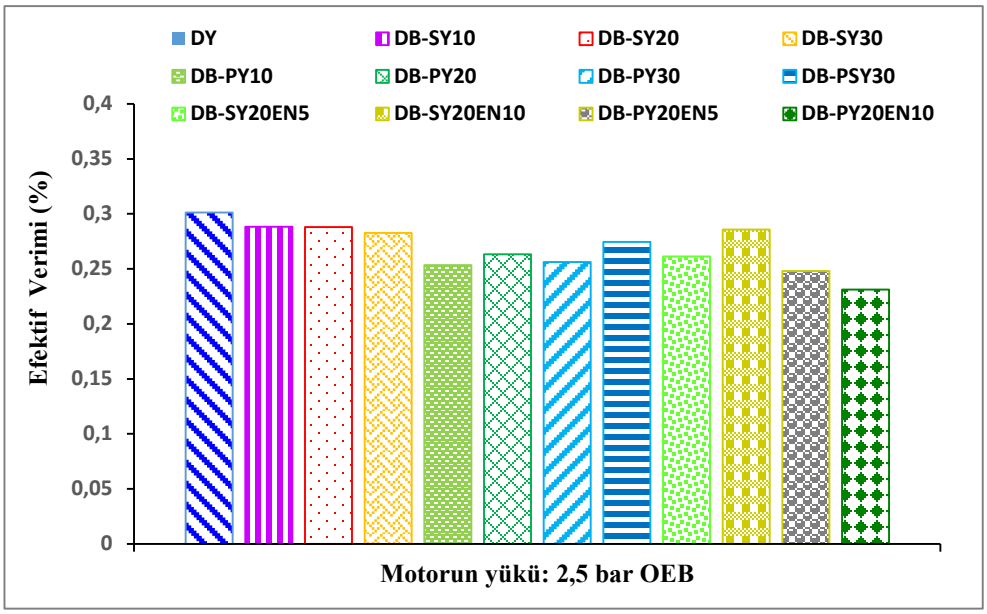
Hacimsel olarak yük durumuna göre efektif verim dizel yakıtına göre farklılık olduğu gözlemlendiğinden kendi içlerinde ayrı değerlendirme yapılmıştır.

Yüksüz (0,3 bar OEB)'deki test yakıtlarının tamamı dizel yakıtına göre efektif verim değerleri yüksek çıktığı, en yüksek oran DY ile %0,55 yakıtında olduğu tespit edilmiştir. Sırasıyla diğer yakıtlardaki; DY, DB-SY10, DB-SY20, DB-SY30, DB-PY10, DB-PY20, DB-PY30, DB-PSY30, DB-SY20EN5, DB-SY20EN10, DB-PY20EN5, DB-PY20EN10 oranlar %0,55, %0,46, %0,48, %0,48, %0,46, %0,51, %0,51, %0,47, %0,48, %0,49, %0,39, %0,37, olarak gerçekleşmiş olup Şekil 4.41'de yüksüz (0,3bar OEB) test yakıtların efektif verim değişimi gösterilmiştir.



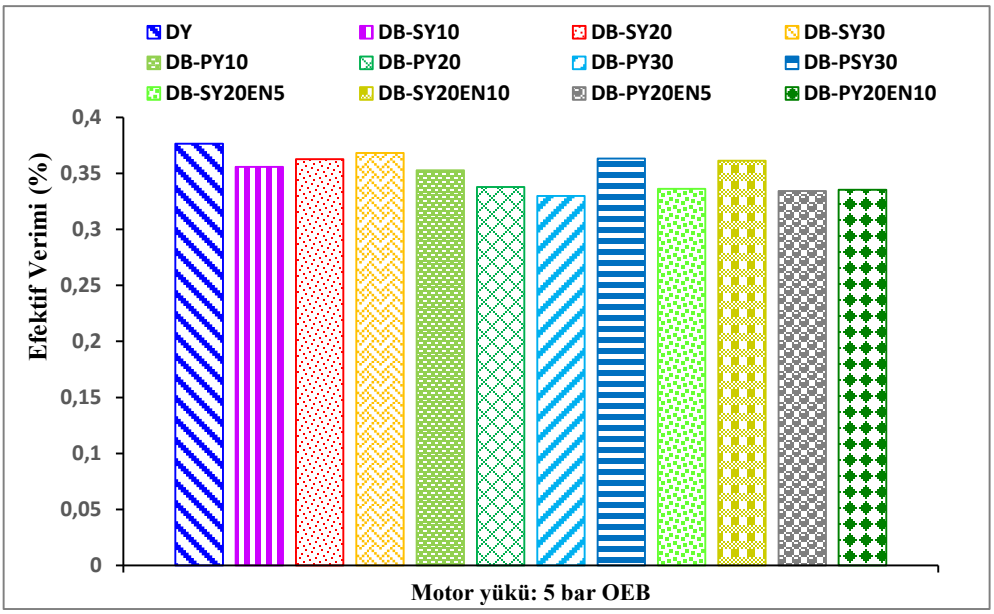
Şekil 4.41. Test yakıtların yüksüz 0,3 bar OEB göre efektif verim değişimi

2,5 bar OEB'taki test yakıtlarının dizel yakıtına göre efektif verim değerleri düşük çıktığı, en yüksek oran DY ile %30,12 yakıtında olduğu tespit edilmiştir. Sırasıyla diğer yakıtlardaki; DY, DB-SY10, DB-SY20, DB-SY30, DB-PY10, DB-PY20, DB-PY30, DB-PSY30, DB-SY20EN5, DB-SY20EN10, DB-PY20EN5, DB-PY20EN10 oranlar %30,12, %28,82, %.28,81, %28,25, %25,35, %26,32, %25,63, %27,45, %26,12, %28,56, %24,81, %23,12, olarak gerçekleşmiş olup Şekil 4.42'de 2,5 bar OEB test yakıtların efektif verim değişimi gösterilmiştir.



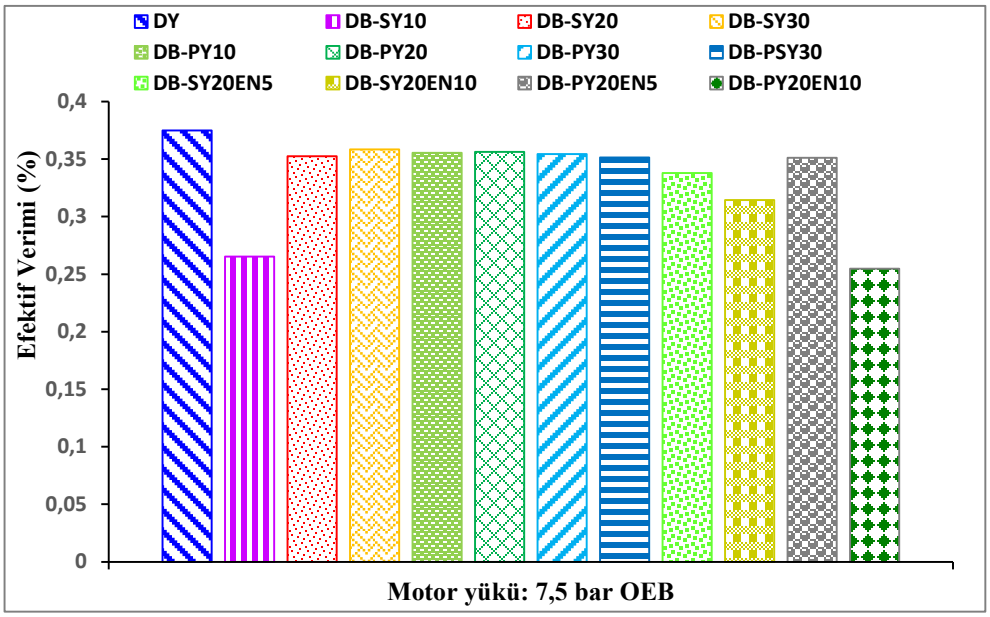
Şekil 4.42. Test yakıtların 2,5 bar OEB efektif verim değişimi

5 bar OEB'taki test yakıtlarının tamamı dizel yakıtına göre efektif verim değerleri yüksek çıktığı, en yüksek oran DB-SY30 ile %37,65 yakıtında olduğu tespit edilmiştir. Sırasıyla diğer yakıtlardaki; DY, DB-SY10, DB-SY20, DB-SY30, DB-PY10, DB-PY20, DB-PY30, DB-PSY30, DB-SY20EN5, DB-SY20EN10, DB-PY20EN5, DB-PY20EN10 oranlar %37,65, %35,56, %36,25, %36,81, %35,26, %33,78, %32,99, %36,32, %33,62, %36,12, %33,42, %33,54, olarak gerçekleşmiş olup Şekil 4.43'te 5 bar OEB test yakıtların efektif verim değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.43. Test yakıtların 5 bar OEB efektif verim değişimi

7,5 bar OEB'taki test yakıtlarının tamamı dizel yakıtına göre efektif verim değerleri yüksek çıktığı, en yüksek oran DY ile %37,48 yakıtında olduğu tespit edilmiştir. Sırasıyla diğer yakıtlardaki; DY, DB-SY10, DB-SY20, DB-SY30, DB-PY10, DB-PY20, DB-PY30, DB-PSY30, DB-SY20EN5, DB-SY20EN10, DB-PY20EN5, DB-PY20EN10 oranlar %37,48, %26,52, %35,24, %35,85, %35,56, %35,63, %35,45, %35,14, %33,78, %31,45, %35,12, %25,48, olarak gerçekleşmiş olup Şekil 4.44'te efektif verim değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.44. Test yakıtların 7,5 bar OEB efektif verim değişimi

Genel olarak bir değerlendirme yapıldığında dizel yakıtının hacimsel olarak farklı oranlardaki karışımlara göre yük miktarının artması efektif verimde artışların olduğu, tüm yüklerde DY'ın diğer karışımlı test yakıtlara göre ortalama daha yüksek bir efektif verime sahip olduğu tespit edilmiştir. Düşük yüklerde DY ile karışımlı DB-SY yakıtların diğer karışımlı DB-PY ve katkılı EN (5-10) yakıtların termal verimliliklerinden daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Buda DB-SY yoğunluklarının diğer karışımlı ve katkılı test yakıtlarına göre daha düşük olması sonucu tutuşma gecikmesinin kısalması ile yanmaya hızlı bir katılım ile açıklanabilir. Yüksek devirlerde yanmaya eklenen katkı maddesi ethylhexyl nitrate efektif verim değerinin diğer test ve DY'ına göre düşük çıkması, setan sayısına bağlı tutuşma süresinin uzaması, yüksek yoğunluk sonucu iyi bir atomizasyonun oluşmaması yanmayı iyileştirmediği sonucuna varılmaktadır. Yüksek yüklerde ise DY ile diğer karışımlı test yakıtların efektif verim değerlerinde bir miktar artış olduğu, bu da diğer yakıtlardan bir miktar daha yüksek kalorifik değere sahip olmasından kaynaklı

olduğu düşünülmektedir. Efektif verim en önemli etken parametresi yakıtların kalorifik değerleri olduğu ancak test yakıtlarında bu değer birbirine yakın olduğundan yanmaya etki eden diğer parametrelerin; kimyasal özellikleri ve özgül yakıt tüketimi, hava/yakıt oranı, enjeksiyon zamanlaması, sıkıştırma oranı gibi birçok faktör olduğu düşünülmektedir (Damanik ve ark., 2018).

4.4. Emisyon Parametreleri

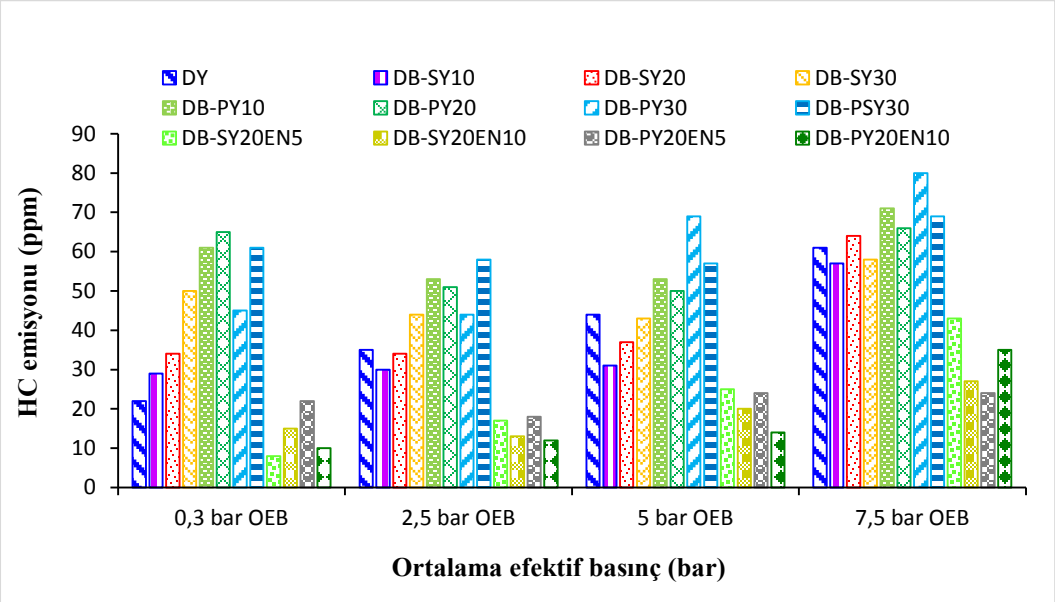
Günümüz dünyasında, yaşam kalitesinin hava kirliliğine bağlı olarak değişen en önemli kirleticilerin başında araçların egzozlarından salınan emisyonlar gelmektedir. Çünkü dünya atmosferinde yaşayan tüm canlıları etkileyerek hastalıklara ve ölümlere sebep olmaktadır. Bu nedenle ülkeler salınan emisyonlara karşı farklı önlemler almaktadır. İçten yanmalı motorlarda yanma sonucunda oluşan zararlı maddelerin farklı parametrelere bağlı olarak değişkenlik göstermesi, araştırmanın katma değeri açısından önem arz etmektedir. Yapılan çalışmada karışımlı ve (EN) katkılı tüm test yakıtları farklı OEB'deki yüklerde kendi içerisinde ayrı bir şekilde değerlendirilmiştir.

4.4.1. Hidrokarbon (HC) emisyonların analizi

Silindir içerisindeki hava /yakıt karışımının yanması sonucunda egzoz gazlarında çıkan HC emisyonlarının oluşumunun temel nedeni eksik yanmadan kaynaklanmaktadır. Bu da alevin ilerleme hızı, silindir içerisindeki sıcaklığın istenilen düzeyde olmayışı, ısı kayıpların fazla olması, silindir cidarlarında yanmaya katılmamış yakıtlar vb. nedenler sonucu HC gazlarının oluşumuna neden olmaktadır (Uyumaz, 2017). Deneysel çalışmalarda kullanılan yakıtların HC emisyonları Çizelge 4.12. ile Şekil.4.45'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Test yakıtların değişken yüklerdeki HC emisyon değerleri

Yakıt Türü	HC (ppm) Emisyon Değerleri			
	0,3 bar OEB	2,5 bar OEB	5 bar OEB	7,5 bar OEB
DY	22	35	44	61
DB-SY10	29	30	31	57
DB-SY20	34	34	37	64
DB-SY30	50	44	43	58
DB-PY10	61	53	53	71
DB-PY20	65	51	50	66
DB-PY30	45	44	69	80
DB-PSY30	61	58	57	69
DB-SY20EN5	8	17	25	43
DB-SY20EN10	15	13	20	27
DB-PY20EN5	22	18	24	24
DB-PY20EN10	10	12	14	35



Şekil 4.45. Test yakıtların değişken yüklerdeki HC emisyon değerleri

Yüksüz (0,3 bar OEB) çıkış gücü uygulamasında HC emisyonu DY kullanımı diğer karışımlı tüm test yakıtlarına (DB-PY10-20-30, DB-SY10-20-30 ve DB-PSY30) göre emisyon miktarında artış olup, tüm katkılı test yakıtlarına (DB-PY20EN5-10, DB-SY20EN5-10) göre azalış olduğu gözlemlenmiştir. DY'ın diğer test yakıtlarına göre HC emisyon değerlerinin maksimum artış oranı DB-PY20 ile %195 test yakıtında olduğu, minimum artış oranı ise DB-SY20EN5 ile %62,63 test yakıtında olduğu gözlemlenmiştir.

2,5 bar OEB çıkış gücü uygulamasında HC emisyonu DY yakıt kullanımı DB-SY10-20 hariç diğer karışımlı tüm test yakıtlarına (DB-PY10-20-30, DB-SY30 ve DB-PSY30) göre emisyon miktarında artış olduğu, ancak tüm katkılı test yakıtlarına (DB-PY20EN5-10, DB-SY20EN5-10) göre azalış olduğu gözlemlenmiştir. Tüm test

yakıtlarının kullanımında gerçekleşen HC emisyonu değerlerinin, DY'ın değerlerine kıyasla ortalama olarak en yüksek artışın %65,7 ile DB-PSY30 karışımlı yakıtta, en düşük HC emisyon değeri ise DB-PY20EN10 ile %65,7 oranlarında azalış olduğu tespit edilmiştir.

5 bar OEB çıkış gücü uygulamasında HC emisyonu DY kullanımı DB-SY (10-20-30) karışımlarına göre bir miktar düşüş olduğu, diğer karışımlı test yakıtlarına (DB-PY10-20-30, ve DB-PSY30) göre emisyon miktarında artış olduğu tespit edilmiştir. Ancak tüm katkılı test yakıtlarına (DB-PY20EN5-10, DB-SY20EN5-10) göre ciddi bir azalışın olduğu gözlemlenmiştir. Tüm test yakıtlarının kullanımında gerçekleşen HC emisyonu değerlerinin, DY yakıtının değerlerine kıyasla ortalama olarak en yüksek artışın %56,8 ile DB-PY30 karışımlı yakıtta, en düşük HC emisyon değeri ise DB-PY20EN10 ile %68,18 oranında olduğu tespit edilmiştir.

7,5 bar OEB çıkış gücü uygulamasında HC emisyonun en yüksek 80 ppm ile DB-PSY30 yakıt kullanımında olduğu gözlemlenmiştir. Ancak diğer yüklerde olduğu gibi bu yükte de tüm katkılı test yakıtlarına (DB-PY20EN5-10, DB-SY20EN5-10) göre ciddi bir azalışın olduğu gözlemlenmiştir. Test yakıtlarının kullanımında gerçekleşen HC emisyonlarında en yüksek emisyon değerine DB-PSY30 iken, en düşük HC emisyon değeri ise DB-PY20EN5 ile 24 ppm yakıtında olduğu tespit edilmiştir.

Genel değerlendirmede HC emisyonu tüm test yakıtlarında yükün artmasıyla artış olduğu gözlemlenmiş olup tüm yüklerdeki test yakıtları için en düşük HC emisyonlarının Ethylhexyl nitrate (EN) katkılı test yakıtlarında olduğu gözlemlenmiştir. HC emisyonlarının temel artış nedenleri silindir içerisindeki düşük sıcaklık sonucu bölgesel olarak yanmanın ulaşamadığı bölgelerde sönümlemeler olması, motor için gerekli olan enerjiyi üretebilmek için zengin karışımla çalışması vb. etkenler HC emisyonu değerlerinin yüksek olmasına sebep olarak gösterilmiştir. Ethylhexyl nitrate katkılı test yakıtlarındaki HC emisyonların diğer yakıtlara göre düşük çıkması silindir içi yanmayı iyileştirici bir etkisinin olduğu sonucu tespit edilmiştir.

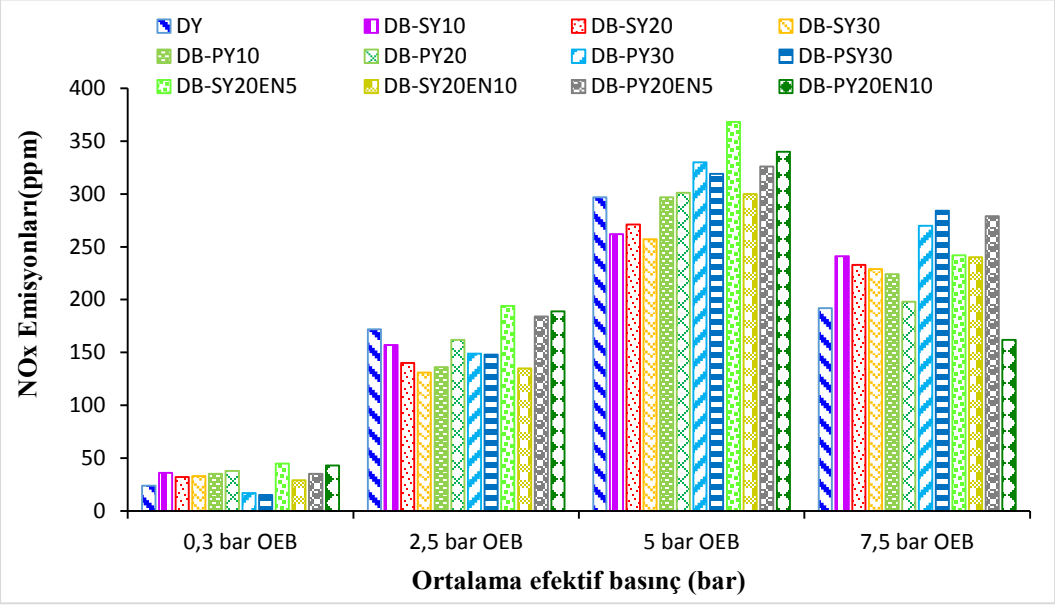
4.4.2. Azotoksit (NOx) emisyonların analizi

Yanma odası içerisindeki silindir iç sıcaklığının 1800 K ve üzeri değerlerde oluşan NO ve NO_2'nin atmosfer içerisindeki toplam yoğunluğun bir ifadesi olarak kullanılır. Silindir içerisinde aşırı sıcak çalışmalarda havanın içerisindeki oksijenin yanma için yeterli zaman şartları oluşturamadığı için azot ile reaksiyonlara girerek çevre ve insan

sağlığına zararlı olan NOx emisyonların oluşumuna neden olmaktadır. NOx oluşumlarının temelinde; silindir iç sıcaklığındaki artış, silindir iç basınç, tutuşma gecikmesi ve yanma süresine bağlıdır (Puhana ve ark., 2005). Tüm test yakıtları için NOx emisyon değerlerinin yükün durumuna bağlı değişim verileri Çizelge 4.13 ve Şekil 4.46'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Test yakıtların değişken yüklerdeki NOx (ppm) emisyon değerleri

Yakıt Türü	NOx (ppm) Emisyon Değerleri			
	0,3 bar OEB	2,5 bar OEB	5 bar OEB	7,5 bar OEB
DY	24	172	297	192
DB-SY10	36	157	262	241
DB-SY20	32	140	271	233
DB-SY30	33	131	257	229
DB-PY10	35	136	297	224
DB-PY20	38	162	301	198
DB-PY30	17	149	330	270
DB-PSY30	15	148	319	284
DB-SY20EN5	45	194	368	242
DB-SY20EN10	29	135	300	240
DB-PY20EN5	35	184	326	279
DB-PY20EN10	43	189	340	162



Şekil 4.46. Test yakıtların değişken yüklerdeki NOx emisyon değerleri

Yüksüz (0,3 bar OEB) çıkış gücü uygulamasında NOx emisyonu DY ile 24 (ppm) diğer test yakıtları ile kıyaslandığında DB-PY30 ile 17 (ppm) ve DB-PSY30 ile 15 (ppm) karışımlarına göre yüksek, diğer karışımlı ve EN katkılı tüm test yakıtlarında daha düşük NOx emisyonuna sahip olduğu gözlemlenmiştir. DY diğer test yakıtların göre maksimum

artış oranı %79,16 ile DB-PY20EN10 katkılı test yakıtında olduğu, minimum azalış oranı ise %37.5 ile DB-PSY30 yakıtında olduğu tespit edilmiştir.

2,5 bar OEB çıkış gücü uygulamasında NOx emisyonu DB-SY20EN5 kullanımı tüm karışımlı ve katkılı test yakıtlarına göre emisyon miktarının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Tüm test yakıtlarının DY ‘ına kıyaslandığında en düşük NOx emisyon değeri ile %23,83 DB-SY30 yakıtında olduğu tespit edilmiştir.

5 bar OEB çıkış gücü uygulamasında NOx emisyonu DY kullanımının DB-SY (10-20-30), DB-PY10 karışımlarına göre bir miktar yüksek çıktığı, diğer karışımlı test yakıtları ve EN katkılı test yakıtlarına göre daha düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Test yakıtlarında gerçekleşen NOx emisyonu değerlerinin, DY yakıtına göre ortalama olarak en yüksek artışın %23,9 ile DB-SY20EN5 karışımlı yakıtta, en düşük NOx emisyon değeri ise DB-SY30 ile %13,46 oranında olduğu tespit edilmiştir.

7,5 bar OEB çıkış gücü uygulamasında NOx emisyonu DY ile 192 (ppm) sahip test yakıtının DB-PY20EN10 162 (ppm) test yakıtına göre yüksek, diğer tüm test yakıtlarına göre NOx emisyon değeri daha düşük çıktığı gözlemlenmiştir. DY’ına göre tüm test yakıtların kullanımında gerçekleşen NOx emisyonu değeri en yüksek %47,91 ile DB-PSY30 test yakıtında iken, en düşük NOx emisyon değeri ise katkılı test yakıtından DB-PY20EN10 ile %15,62 oranında olduğu tespit edilmiştir.

Genel olarak NO_X emisyonu tüm test yakıtlarında yük miktarı ile arttığı tespit edilmiş olup, dizel yakıt (DY) kullanımı yüksüz (0,3 bar OEB) durumda ortalama tüm karışımlı ve katkılı (EN) yakıtlarına göre daha düşük NOx’lere sahip olduğu, 2,5 bar OEB ’taki yükte ise tüm katkılı ve karışımlı test yakıtlarından daha yüksek miktarda (ppm) sahip olduğu tespit edilmiştir. Yük miktarının artışına bağlı olarak (5 bar OEB -7,5 bar OEB) karışımlı ve katkılı test yakıtlarında ise 5 bar OEB ’deki DB-SY (10-20-30) hariç her iki yükte NOx değerlerinde artışların olduğu tespit edilmiştir. Daha öncesinde de izah edildiği gibi dizel motorlarda NOx’lerde artışın temel nedenlerinden ve en etkin olanı silindir içi sıcaklığa bağlı olarak geçen süre ile açıklanabilir. Orta yüklerdeki (2,5 bar OEB) katkılı EN test yakıtlarının dizel yakıtına göre daha düşük çıkması katkı maddesinin yakıtta soğutma etkisine ve yüksek buharlaşma gizli ısısına bağlı olabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda daha homojen bir karışımla sıkıştırma sonu sıcaklığının düşüşü ve silindir içerisindeki lokal bölgelerin azalması ile ifade edilebilir. Karışıma eklenen katkı maddesinin DB-SY20(EN5-10), DB-PY20(EN5-10) tüm yüklerde NOx emisyonlarının daha yüksek çıktığı, katkı maddesi içeriği artmaya devam ettikçe NOx emisyonlarında ortalama oranlarda artışlar olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum katkı

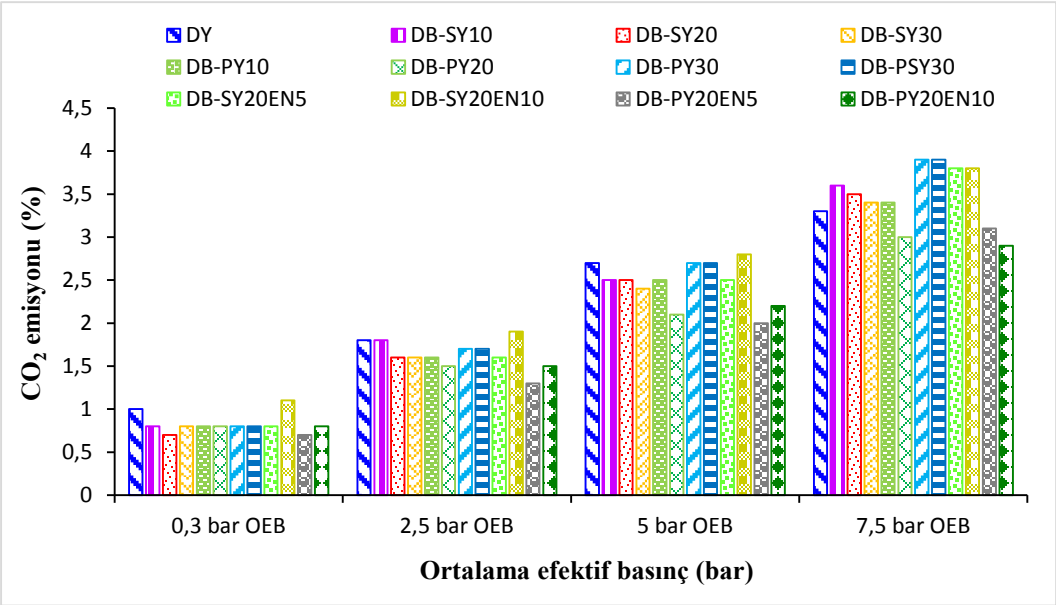
maddelerin karışımlara katılımı ile yakıtın yoğunluğundaki artış ile birlikte tutuşma gecikmesini uzamasıyla açıklanabilir. Özellikle DB-PY test karışımlarında setan sayısının düşük olması NOx emisyonlarını arttırmasına zemin hazırladığı düşünülmektedir (Puhana ve ark., 2005; Lloyd ve ark., 2001). Yüklere göre tüm karışımlı ve katkılı test yakıtlarının DY yakıtına göre değerlendirildiğinde ortalama tüm yüklerdeki test yakıtlarında NOx değerlerinin daha yüksek çıktığı, en iyi çalışma yükünün orta yükte olduğu tespit edilmiştir.

4.4.3. Karbondioksit (CO_2) emisyonların analizi

Yapısındaki karbon molekülü içeren yakıtların oksijenle birleşerek yanmanın tam yanmaya yakın gerçekleştiği durum ile ortaya çıkan emisyonları ifade eder. Test yakıtlarından oluşan karışımlı ve katkılı yakıtların yük durumuna göre değişim verileri Çizelge 4.14 ve Şekil 4.47'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. Test yakıtlarının değişken yüklerdeki CO_2 emisyonu değerleri

Yakıt Türü	CO_2 (%) Emisyon Değerleri			
	0,3 bar OEB	2,5 bar OEB	5 bar OEB	7,5 bar OEB
DY	1,0	1,8	2,7	3,3
DB-SY10	0,8	1,8	2,5	3,6
DB-SY20	0,7	1,6	2,5	3,5
DB-SY30	0,8	1,6	2,4	3,4
DB-PY10	0,8	1,6	2,5	3,4
DB-PY20	0,8	1,5	2,1	3,0
DB-PY30	0,8	1,7	2,7	3,9
DB-PSY30	0,8	1,7	2,7	3,9
DB-SY20EN5	0,8	1,6	2,5	3,8
DB-SY20EN10	1,1	1,9	2,8	3,8
DB-PY20EN5	0,7	1,3	2	3,1
DB-PY20EN10	0,8	1,5	2,2	2,9



Şekil 4.47. Test yakıtların değişken yükteki CO_2 emisyonu değerleri

Yüksüz (0,3 bar OEB) çıkış gücü uygulamasında CO_2 emisyonu dizel yakıt (DY)'ını diğer test yakıtları ile kıyaslandığında ortalama en yüksek emisyon değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

(2,5 bar -5 bar) OEB çıkış gücü uygulamasında CO_2 emisyonu DY'ına diğer test yakıtları ile kıyaslandığında ortalama her iki yükte benzer sonuçlarla en yüksek emisyon değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Her iki yük durumunda en düşük CO_2 emisyon değeri aynı yakıt ile %27,77-%25,92 DB-PY20EN5 katkılı test yakıtında olduğu tespit edilmiştir.

7,5 bar OEB çıkış gücü uygulamasında CO_2 emisyonu dizel DY ile kıyaslandığında ise önceki yüklere göre ortalama olarak en düşük CO_2 emisyonuna sahip olduğu gözlemlenmiştir. DY yakıtına göre tüm test yakıtların kullanımında gerçekleşen CO_2 emisyonu değeri en yüksek %18,18 ile DB-PY30-DB-PSY30 test yakıtında olduğu tespit edilmiştir.

Genel bir değerlendirme yapıldığında CO_2 emisyonu iyi bir yanmanın göstergesi olarak ortaya çıkan bir durum olarak bakıldığında yük artışına bağlı arttığı, düşük yüklerde DY'nın diğer tüm test yakıtlarına göre CO_2 emisyonunun daha yüksek olması tam yanmaya en yakın yakıt olduğu tespit edilmiştir. Meydana gelen ısı kayıplarından dolayı karbonmonoksit'in karbondioksite dönüşüm oksidasyonunu azalttığı düşünülmektedir. Yüksek yüklerdeki test yakıtlarının CO_2 emisyon değerleri DY'ına göre ortalama olarak daha yüksek çıkmasının temelinde ise düşük ısıl değere sahip olan karışımlı ve katkılı yakıtların aynı enerjiyi üretebilmesi için zengin karışımla çalışmaları

gerekmektedir. Katkılı EN yakıtların ortalama DY yakıtına göre CO_2 emisyonları azalttığı tespit edilmiştir. Bu da artan yükle birlikte silindirlerin içerisine alınan zengin karışımlı hava/yakıt karışımın içerisindeki oksijen içeriğinin azalması CO_2 emisyonlarını azalttığı, yüksek yükteki (7,5 bar OEB) tüm karışımlı yakıtlarda olduğu gibi katkılı yakıtlarda EN dizel yakıtına göre bir miktar artış olduğu tespit edilmiştir.

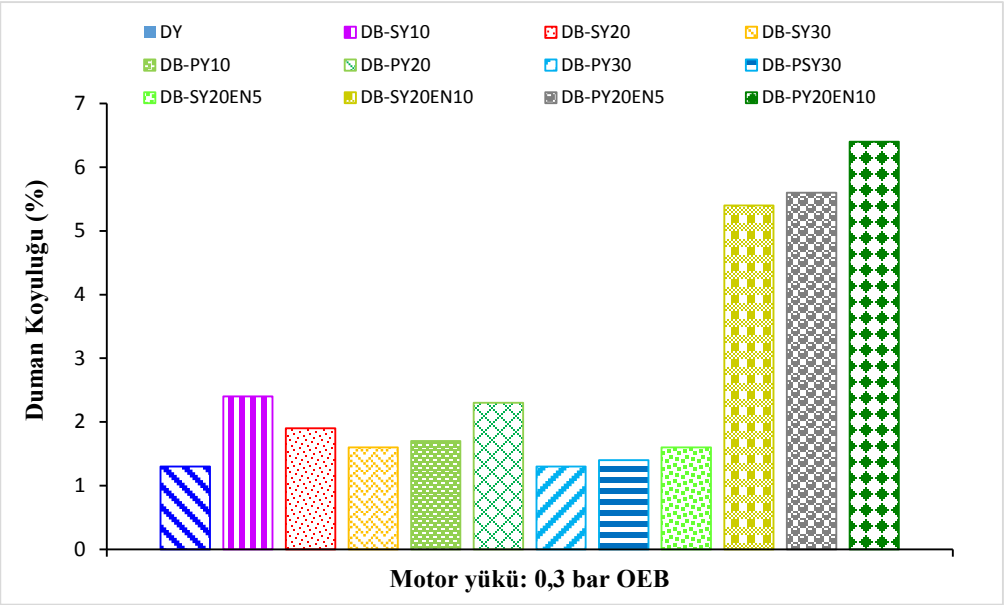
4.4.4. Duman koyuluğu (%)

İçten yanmalı motorlarda eksik yanmadan kaynaklı bir emisyon değeridir. Yanma esnasında özellikle zengin karışımlarda yeterli miktarda oksijen bulamayan yakıt zerreciklerin içerisinde bulunan karbon moleküllerin yanma olayına katılmadan egzozdan atmosfere atılırken oluşan emisyondur. Özellikle farklı bileşenleri bünyesinde ihtiva eden bu partiküller, karbon, karbon-hidrojen bağları, kükürt dioksit ve sülfürik asit gibi bileşenler olarak karşımıza çıkmaktadır (Kelen, 2014). Tüm test yakıtların farklı yüklerde motorun egzozunda oluşan duman koyuluğunun (%) değişimi Çizelge 4.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.15. Tüm test yakıtların duman koyuluğunun (%) yüklere göre değişimi

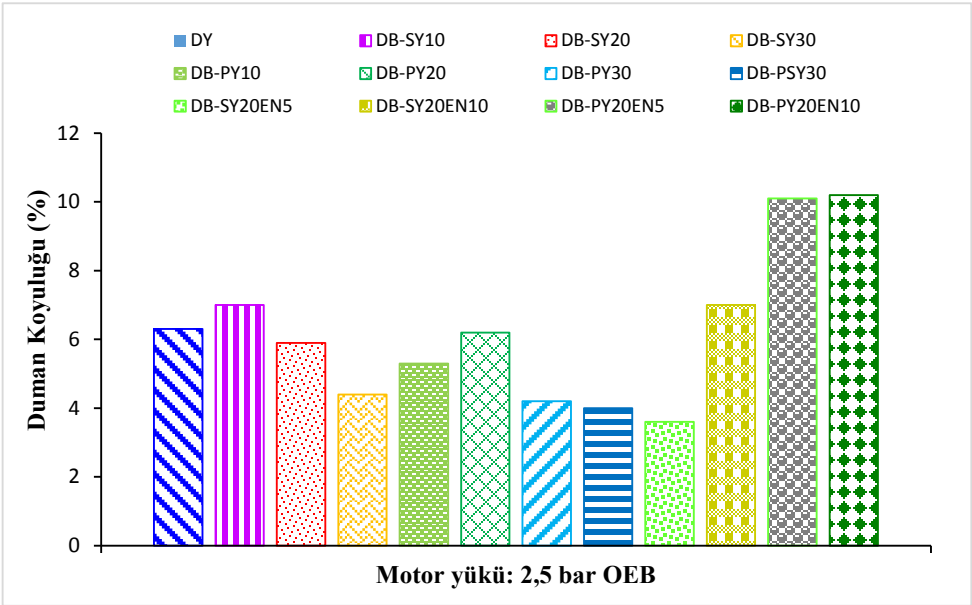
Yakıt Türü	Duman Koyuluğu (%)			
	0,3 bar OEB	2,5 bar OEB	5 bar OEB	7,5 bar OEB
DY	1,3	6,3	13,3	65,2
DB-SY10	2,4	7	10,3	52,9
DB-SY20	1,9	5,9	17,4	67,5
DB-SY30	1,6	4,4	13,4	73,6
DB-PY10	1,7	5,3	18,4	77,5
DB-PY20	2,3	6,2	14,5	64,5
DB-PY30	1,3	4,2	12,5	66,3
DB-PSY30	1,4	4	11,2	74,8
DB-SY20EN5	1,6	3,6	8,3	34
DB-SY20EN10	5,4	7	9,3	42,9
DB-PY20EN5	5,6	10,1	11,3	36,9
DB-PY20EN10	6,4	10,2	10,8	53,5

Yüksüz (0,3 bar OEB) çıkış gücü uygulamasında duman yoğunluğu emisyonu tüm test yakıtlarını DY yakıtına göre kıyaslandığında ortalama en yüksek duman yoğunluğu emisyon değerindeki artış oranı %6,4 ile DB-PY20EN10 katkılı test yakıtında olduğu, azalış oranına göre ise %1,3 ile DY- DB-PSY30 yakıtında olduğu tespit edilmiş olup Şekil 4.48'te gösterilmiştir.



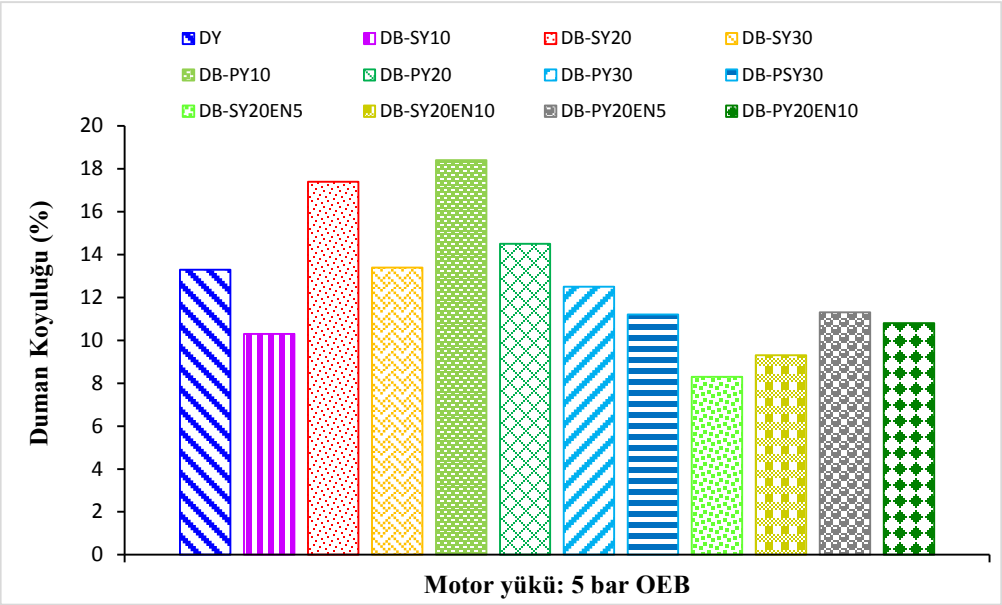
Şekil 4.48. Test yakıtların yüksüz 0,3 bar OEB göre duman koyuluğu değişimi

2,5 bar OEB çıkış gücü uygulamasında en yüksek duman yoğunluğu DB-PY20EN10 ile %10,2 yakıtında olduğu, azalış oranına göre katkılı test yakıtı ile %3,6 DB-SY20EN5 yakıtında olduğu tespit edilmiş olup Şekil 4.49'da gösterilmiştir.



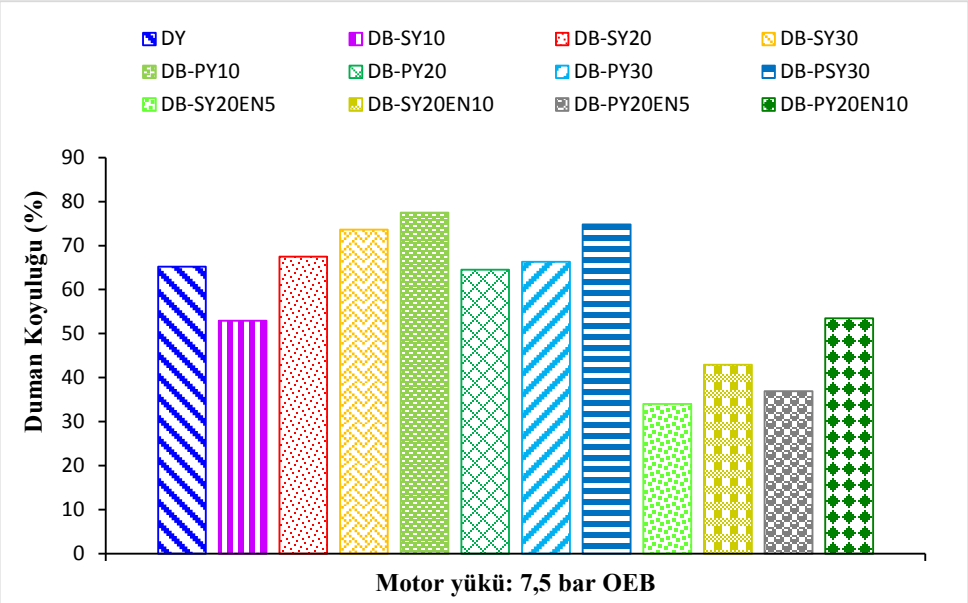
Şekil 4.49. Test yakıtların duman koyuluğunun (%) 2,5 bar OEB göre değişimi

5 bar OEB çıkış gücü uygulamasında en yüksek duman yoğunluğu DB-PY10 ile %18,4 yakıtında olduğu, azalış oranına göre katkılı test yakıtı ile %8,3 DB-SY20EN5 yakıtında olduğu tespit edilmiş olup Şekil 4.50'de gösterilmiştir.



Şekil 4.50. Test yakıtların duman koyuluğunun (%) 5 bar OEB göre değişimi

7,5 bar OEB çıkış gücü uygulamasında en yüksek duman yoğunluğu DB-PY10 ile %77,5 yakıtında olduğu, azalış oranına göre katkılı test yakıtı ile %34 DB-SY20EN5 yakıtında olduğu tespit edilmiş olup Şekil 4.51'de gösterilmiştir.



Şekil 4.51. Test yakıtların duman koyuluğunun (%) 7,5 bar OEB göre değişimi

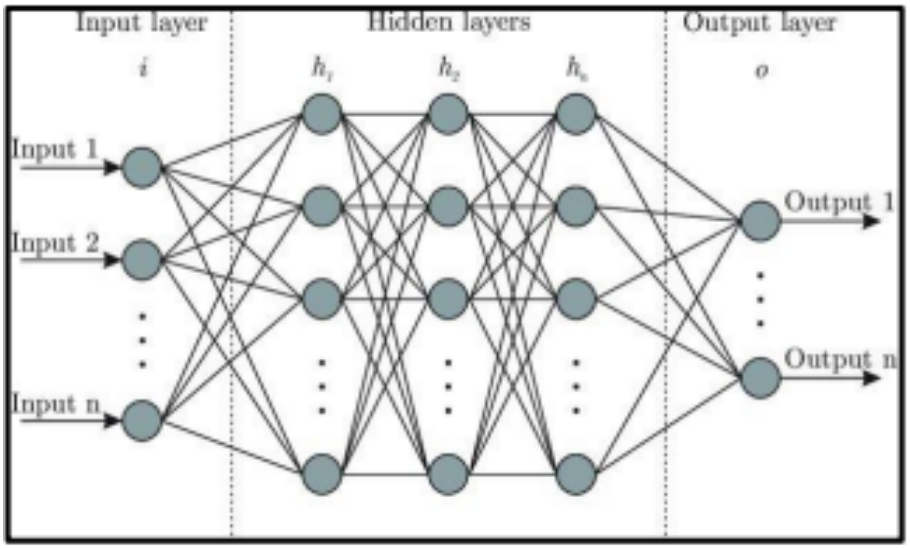
Genel bir değerlendirme yapıldığında yük miktarının artışına bağlı olarak tüm yakıtlardaki duman koyuluk yüzdesinin arttığı gözlemlenmektedir. Düşük yüklerde (0,3 bar-2,5 bar) katkılı (EN) yakıtların diğer karışımlı test yakıtlarına göre daha yüksek

duman koyuluğuna sahip olduğu tespit edilmiştir. Buda düşük yüklerde (EN) katkılı yakıtlardaki yoğunlukların yüksek olması sonucu düşük silindir içi basıncına bağlı silindir içi gaz sıcaklığının düşüklüğü yakıt damlacıkların hava ile iyice bir atomizasyon sağlamayıp karbon parçacıkların oluşmasına neden olan is partikül şeklinde dışarı atılmasına neden olduğu düşünülmektedir. Yüksek yüklerde (5 bar-7,5 bar) artan silindir içi gaz sıcaklıkları ve basınç artışı ile duman oksidasyon hızının artması sonucu EN katkılı yakıtların duman koyuluklarının azaldığı, silindir gaz sıcaklığı grafiklerine bakıldığında destekler nitelikte verileri ortaya koyduğu görülmektedir. Duman yoğunluğuna etki eden bir diğer etken ise yanma odası içerisindeki oksijen konsantrasyonun yüksek olması duman yoğunluğunu azalttığı, bu nedenle EN katkılı yakıtların yanma odasına alınan havanın içerisindeki O_2 ile iyi bir reaksiyona girerek duman koyuluğunun azalmasına; HC ve CO_2 emisyon grafiklerindeki değerler bunu destekler nitelikte olup iyi bir yanmaya neden olduğu düşünülmektedir.

4.5. Yapay Sinir Ağları (YSA)

İnsan beynini taklit ederek, farklı sinir hücrelerinin birbirleri arasındaki iletişim etkinliğinin seviyesi sonucu ortaya çıkan bir sistemdir. Tıpkı insanlarda olduğu gibi beyin önce girdileri ardında çıktı verilerini analiz ederek öğrenme işlemini gerçekleştirebilir (Öztürk ve ark., 2018). Özellikle mühendislik alanında klasik yöntemlerle çözülmesi zor olan karmaşık yapıdaki çalışmalarda yapay sinir ağları (YSA) yöntemiyle farklı bir boyut kazanmış olup etkin bir çözüm yolu bulunmuştur (Yegnanarayana, 2009). İnsan beyni matematiksel işlemlerdeki (bölme, çarpma, toplama, çıkarma vb.) çözümlemelerde sınırlı olsa da olasılık tahmin ve hatırlama işlemlerde pek çok makinadan daha başarılıdır (Tabar, 2020). Yapay sinir ağlarının temeline baktığımızda 3 ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; aktivasyon, öğrenebilme algoritması ve ana yapıdır. Ana yapıda girdi katmanı, gizli tabaka ve çıktı katmanından oluşurken, öğrenme algoritmasında tüm ağdaki ağırlıklar en iyi değerde alınmalıdır. Yani ağın eğitilmesi ile ağırlıkların en iyi şekilde değerlerinin hesaplanmasıdır (Del ve ark., 2017). Aktivasyon fonksiyonu ise girdi ve çıktı katmanları arasındaki eşleşmeyi sağlamaktadır. Temel olarak yapay sinir ağları 3 bölümde hata yaparak öğrenme gerçekleştirir. İlk bölümde çıktılar hesaplanır. İkinci bölümde çıktıları hedef çıktılarla karşılaştırır ve hatayı hesaplar. Üçüncü bölümde ise ağırlıkları değiştirerek süreci tekrarlar (Livingstone ve ark., 2008). Yapay sinir ağları

yapısında giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olarak Şekil 4.52'de gösterilmiştir (Bre ve vd., 2018).



Şekil 4.52. Yapay sinir ağı mimarisi

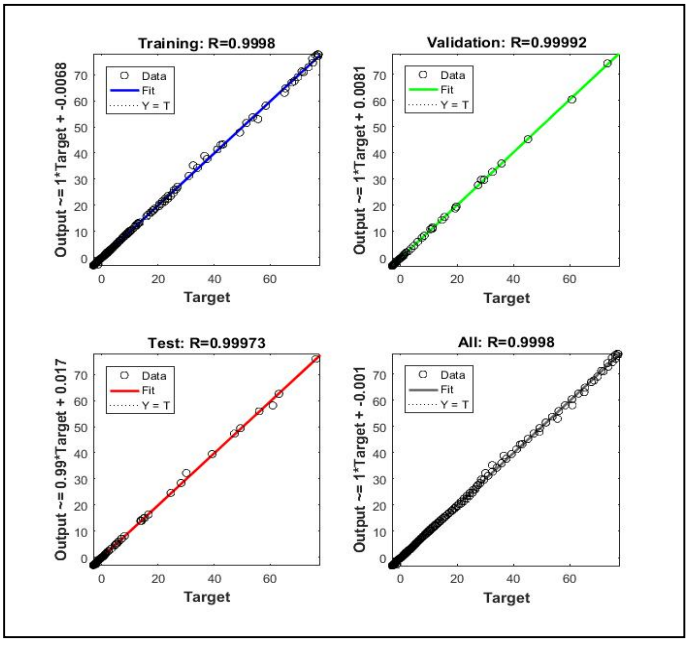
Çok katmanlı işlemlerden oluşan yapay sinir ağları dış ortamdan giriş katmanına veriler gönderilerek işleme sokulur ve bilgi akışı herhangi bir değişime uğratılmadan ortadaki katmana iletilerek bilgi ileri geri veri akışıyla değerlendirilir. (Canan, 2006). Tahmin sistemini yapay sinir ağlarında oluşturmak için bir eğitim ki bu modelin geliştirilmesi ve test ile modelin tahmin kabiliyetini artırmak için verilere ihtiyaç duyulur. Bu iki (eğitim ve test) verilerinin seçimi yapay sinir ağlarının performansını oransal olarak; %90, %80, %70 eğitim %10, %20, %30 test verisi vb. veya kendi özel uygulamalarına göre oran seçimleri yapabileceği literatürde belirtilmiştir (Peterson ve ark., 2009). Eğitim verisinin boyutu arttıkça tahmincinin etkisi performans ve doğruluğu daha iyi olduğunu yapılan bir karşılaştırmalı örneklendirme ile tespit etmiştir. (Nam ve ark.,1995). Girdi ve çıktılar arasındaki temel ilişki karmaşık hale geldikçe doğruluk düzeyi için veri boyutunun daha büyük olması gerekmektedir. Çünkü tahmin sorununun doğruluğu eğitim ve test verilerinde kullanılan örneklemlerin büyüklüğünden etkilendiği, verilerde doğrusal olmayan bir yapı varsa model bu doğruluğu düzeltmez. Yapay sinir ağlarının 50'den küçük örnek boyutlarında bile oldukça iyi performans gösterdiği görülmüştür (Zhang ve ark.,1998). Çoklu analiz yöntemi bağımlı ve bağımsız değişkenlerden oluşur. Birden fazla değişkene sahipse bağımsız ve çoklu doğrusal, tek bir işlem ile analiz yapıyor ise bağımlı değişken basit doğrusal regresyon diye ifade edilebilir (Chatterjee ve Hadi, 2015). Regresyon bilinenden bilinmeyeni bulmaktır.

Önceden belirlenmiş bir değişkeni belirlenen düzeyde tutarak, diğer değişkenin belirli düzeyde tutulan bu değişkene göre nasıl değiştiğini kıyaslayarak bilinmeyenleri inceleme ve yorumlama kuralına göre çalışılır (Akış, 2013).

Matematiksel model olarak alınan deneysel verileri matlab yazılım modelinde kullanılmıştır. Matlab yazılımında yapay sinir ağları modülünde deney verileri girdi, çıktı ve test verileri olarak tanımlanmıştır. Bu modül kullanılarak ileri beslemeli ağ oluşturulmuştur. Test verileri için matlab yazılımının verdiği çıktılar alınarak deney verilerindeki değerleriyle karşılaştırılmıştır. Her iki durumda elde edilen verilerin doğruluk değerleri hesaplanarak karşılaştırma yapılmıştır.

4.5.1. Yapay sinir ağları uygulaması

Motor deney setinde gerçekleştirilen deney verileri Matlab yazılımına tanımlanmıştır. Oluşturulan ileri beslemeli yapay sinir ağıyla deney verileri kullanılarak 8 nöron ile ağın eğitimi gerçekleştirilmiştir. Eğitim işlemi birkaç kez tekrarlanarak öğrenme işleminin daha doğru olması sağlanmıştır. Maksimum hata değeri 500 olarak girilerek iterasyon miktarı maksimum 1000 olarak belirlenmiştir. Eğitim sonrası regresyon grafiğine bakılarak verilerin doğruluk ve tutarlılık değerlerine bakılmıştır. Eğitimi gerçekleştirilen ağ, test verileriyle simüle edilmiştir. Elde edilen değerlere maksimum normalizasyonu tersten uygulanarak konut değerleri belirlenmiştir. Yapay sinir ağları yöntemi uygulama sonuçları regresyon çıktısı Şekil 4.53'te gösterilmiştir.



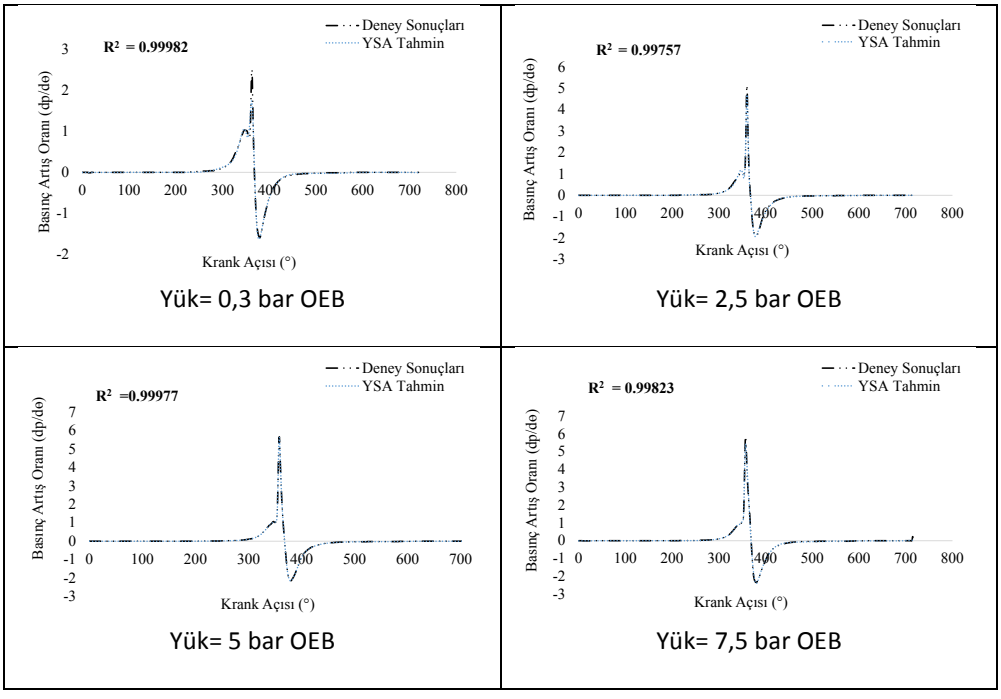
Şekil 4.53. YSA uygulama sonuçlarında regresyon çıktısının örnek görüntüsü

Şekil 4.53'teki grafikler incelendiğinde, eğitim (training), doğrulama (validation), test ve tümü (all) R^2 değerleri 0,9998-0,99992-0,99973 ve 0,9998 elde edilmiştir. Bu R^2 değerleri eğitilen YSA sonuçları tahmin değerleri olan MSE (Mean Squared Error) değerine göre hesaplanmıştır. R^2 değerinin 1'e yakın olması elde edilen tahmin sonuçlarının çok güçlü olduğunun bir göstergesi olarak yorumlanmaktadır. Şekil 4.53'teki grafikte tahmin sonuçlarının lineer çizgiye çok yakın çıkması, deney sonuçlarından alınan verilerin doğruluğunu ispatlar nitelikte ve oldukça yakın değerlerde tahmin ettiği sonucu ortaya çıkmıştır. Bu değerlerden sadece tümü (all) değerleri bu çalışmada referans olarak alınmış olup grafikler üzerinde verilmiştir.

4.5.2. Yanma parametrelerin YSA ile tahmin uygulamaları

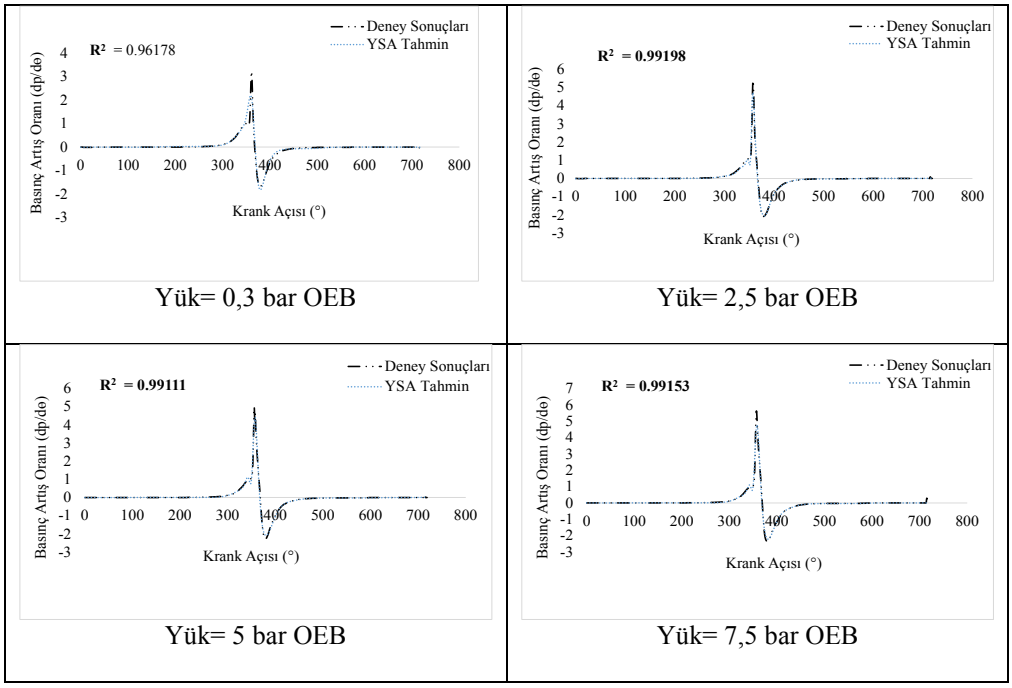
4.5.2.1. Basınç artış oranının YSA ile tahmini

Basınç artış oranı değerlerini tahmin eden YSA sonuçları R^2 değerleri Şekil 4.54'te verilmiştir. DB-PSY30-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99982, 0.99757, 0.99977, 0.99823 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PSY30-0,3 bar OEB yükte elde edilmiştir.



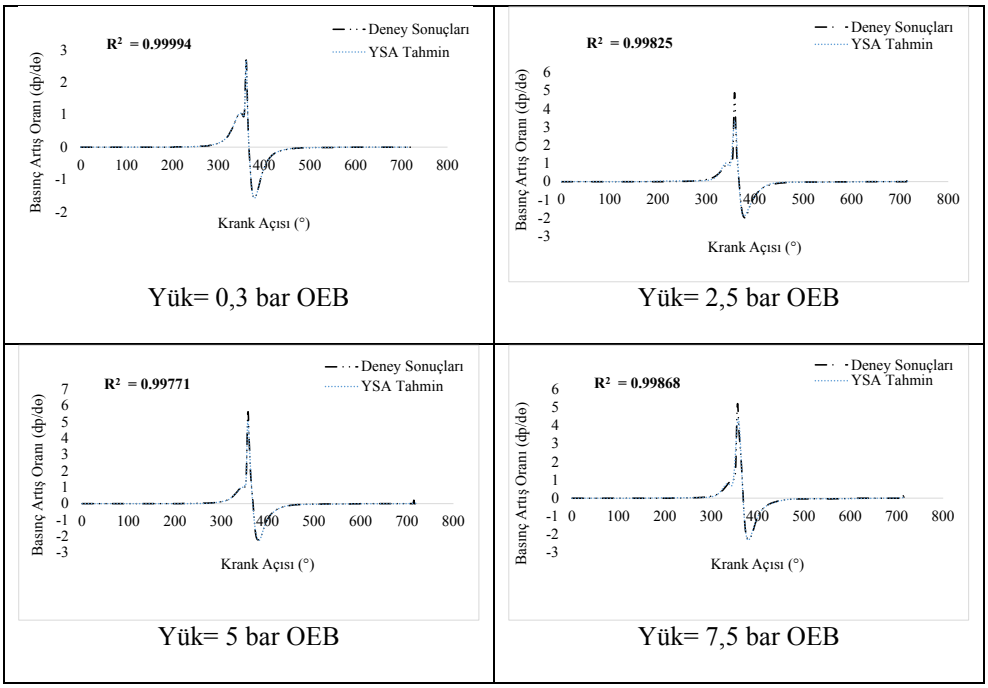
Şekil 4.54. DB-PSY30 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.55'te görüldüğü gibi, DB-PY10-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.96178, 0.99198, 0.99111, 0.99153 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PY10-2,5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



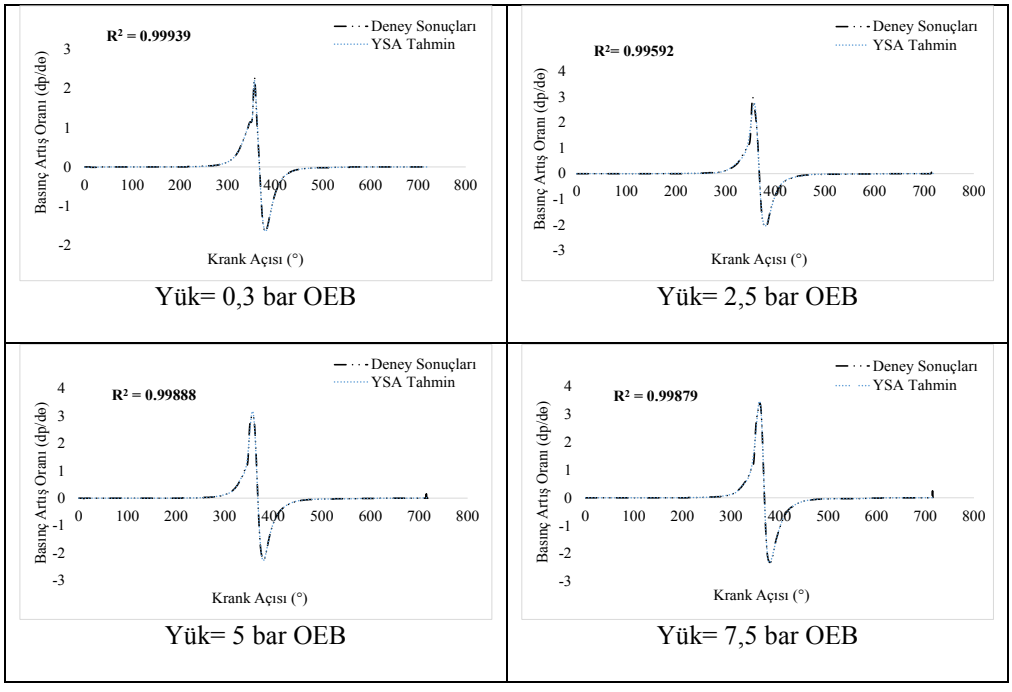
Şekil 4.55. DB-PY10 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.56'da görüldüğü gibi, DB-PY20-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99994, 0.99825, 0.99771, 0.99868 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PY20-0,3 bar OEB yükte elde edilmiştir.



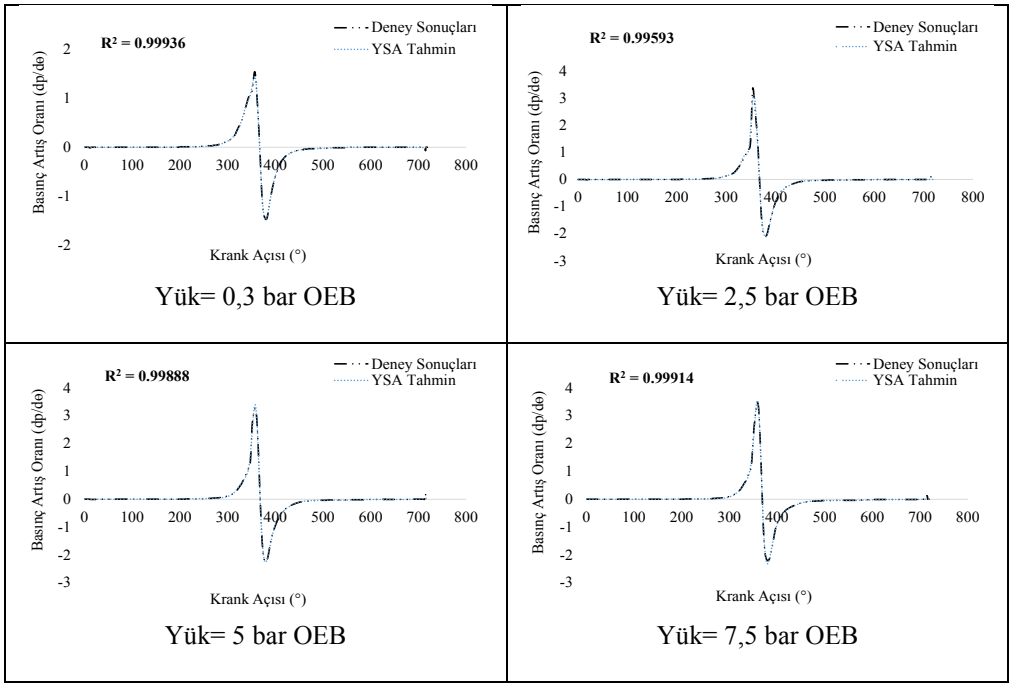
Şekil 4.56. DB-PY20 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.57'de görüldüğü gibi, DB-PY20EN5-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99939, 0.99592, 0.99888, 0.99879 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PY20EN5-0,3 bar OEB yükte elde edilmiştir.



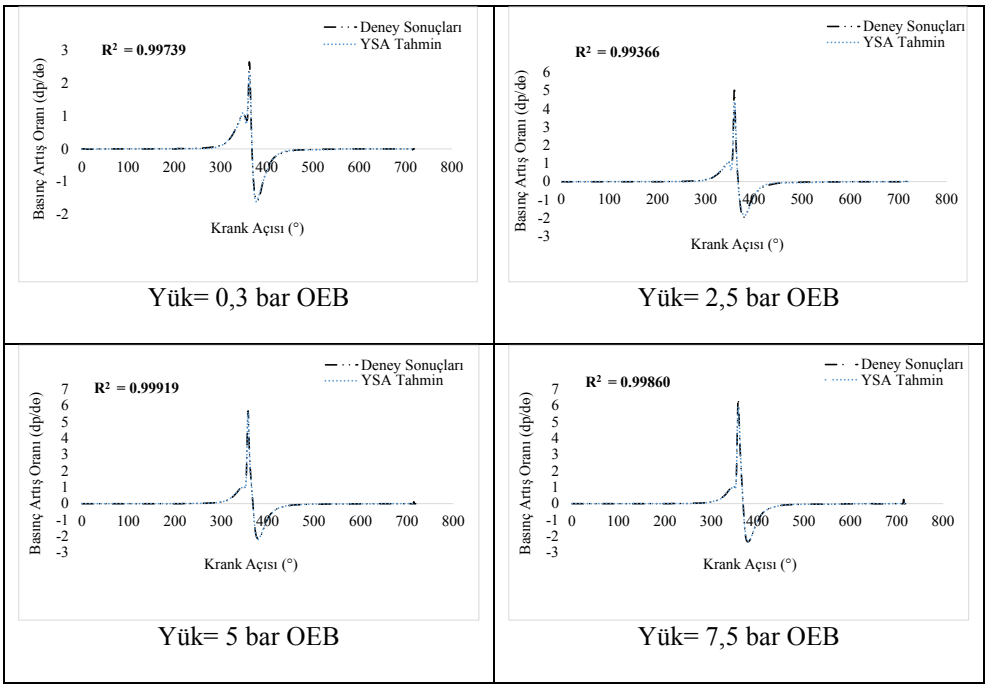
Şekil 4.57. DB-PY20EN5 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.58‘de görüldüğü gibi, DB-PY20EN10-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99936, 0.99593, 0.99888, 0.99914 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA ile iyi tahmin sonucu DB-PY20EN10-0,3 bar OEB yükte elde edilmiştir.



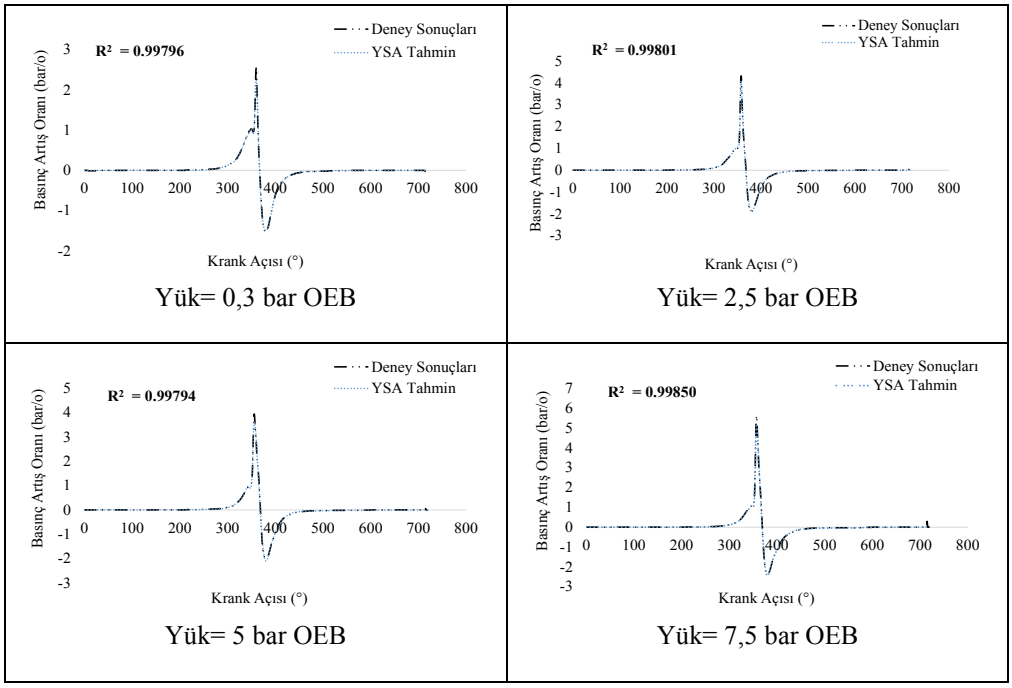
Şekil 4.58. DB-PY20EN10 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.59’da görüldüğü gibi, DB-PY30-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99739, 0.99366, 0.99919, 0.99860 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PY30-5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



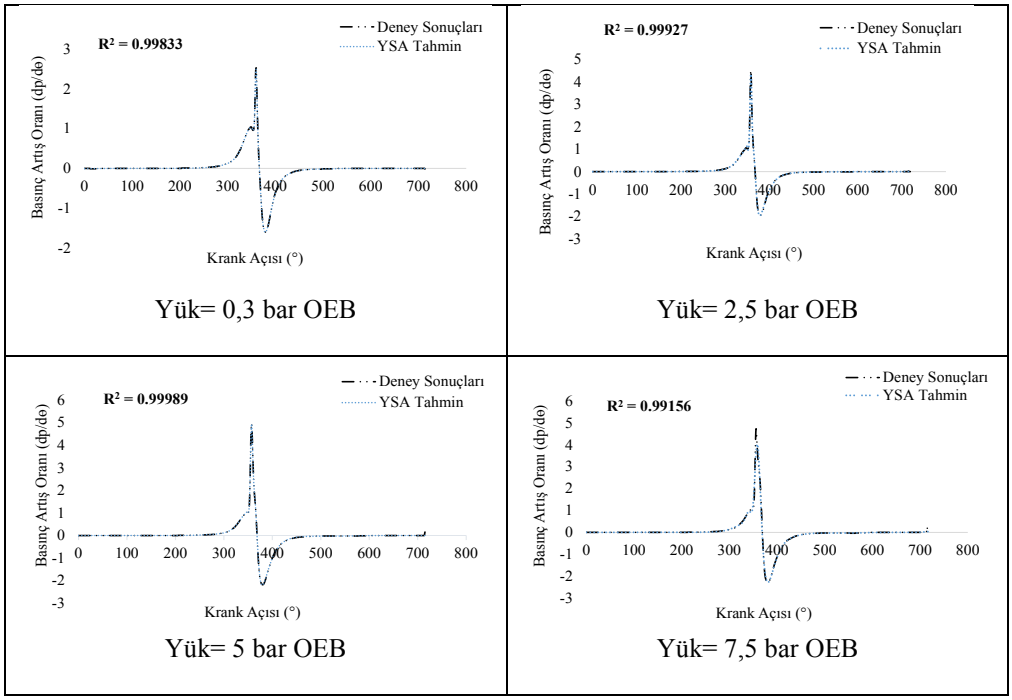
Şekil 4.59. DB-PY30 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.60'ta görüldüğü gibi, DB-SY10- (0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99796, 0.99801, 0.99794, 0.99850 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-SY10-7,5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



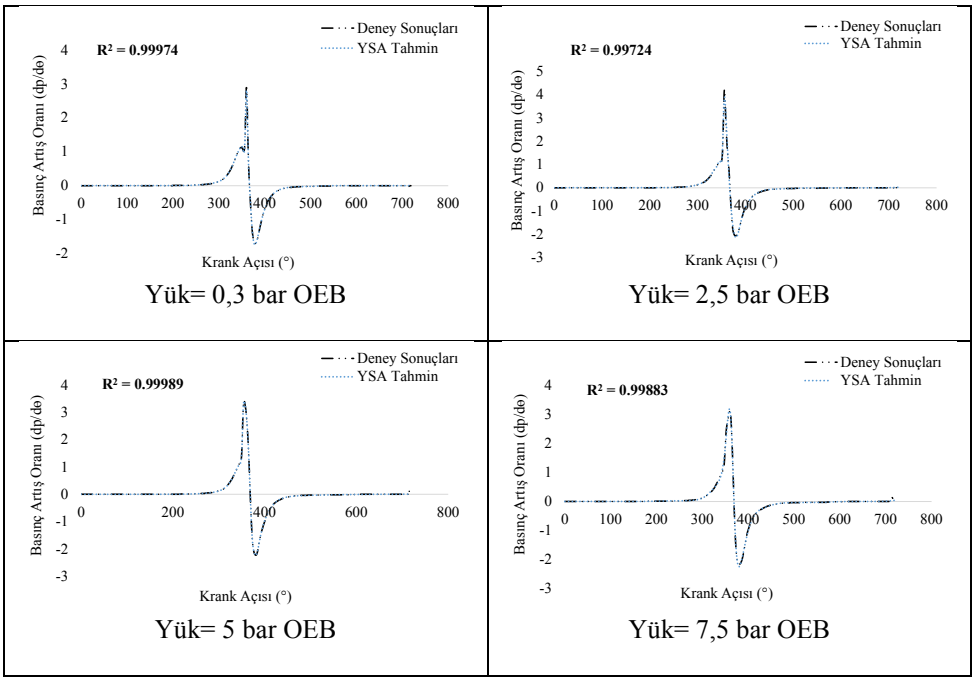
Şekil 4.60. DB-SY10 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.61'de görüldüğü gibi, DB-SY20-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99833, 0.99927, 0.99989, 0.99156 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-SY20-5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



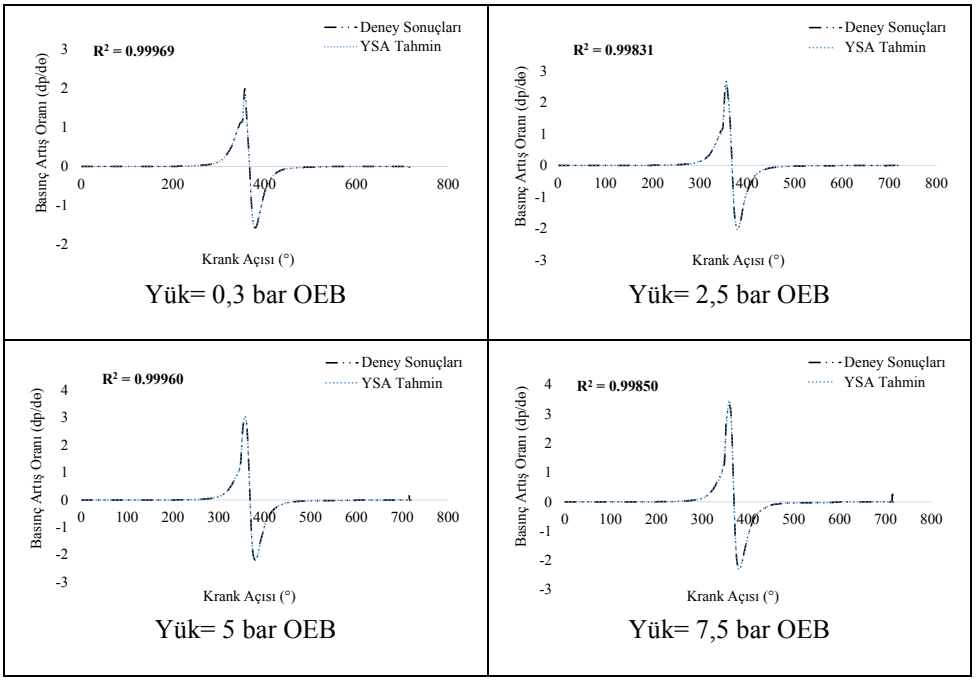
Şekil 4.61. DB-SY20 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.62'de görüldüğü gibi, DB-SY20EN5-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99739, 0.99366, 0.99919, 0.99860 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA en iyi tahmin sonucu DB-SY20EN5-5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



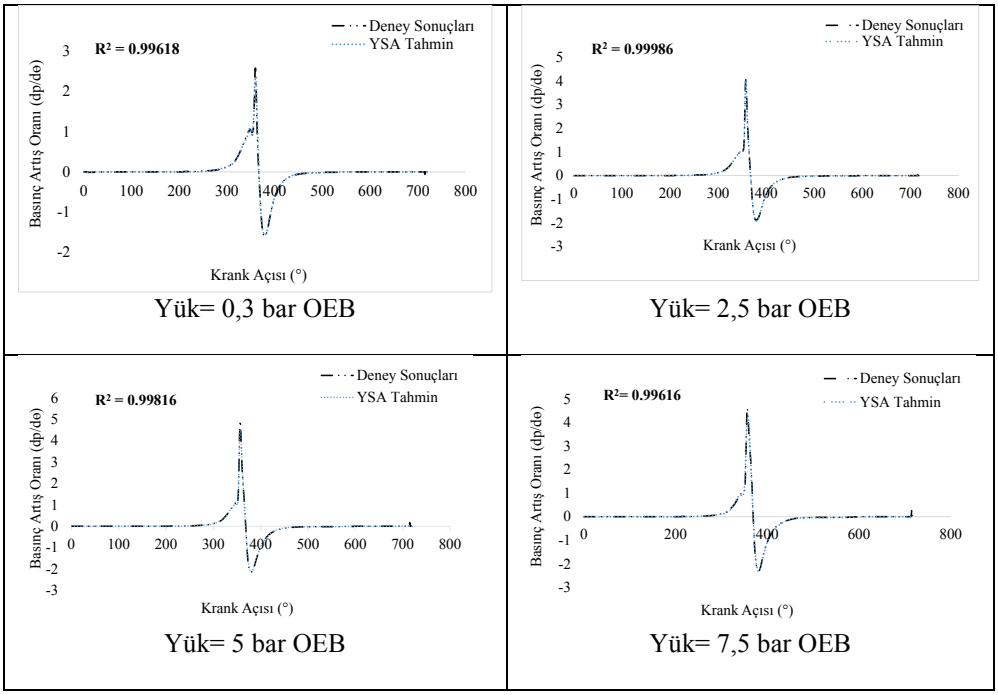
Şekil 4.62. DB-SY20EN5 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.63'te görüldüğü gibi, DB-PY20EN10-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99969, 0.99831, 0.99960, 0.99850 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA tahmin sonuçlarına göre en iyi sonucu DB-PY20EN10-0,3 bar OEB yükte elde edilmiştir.



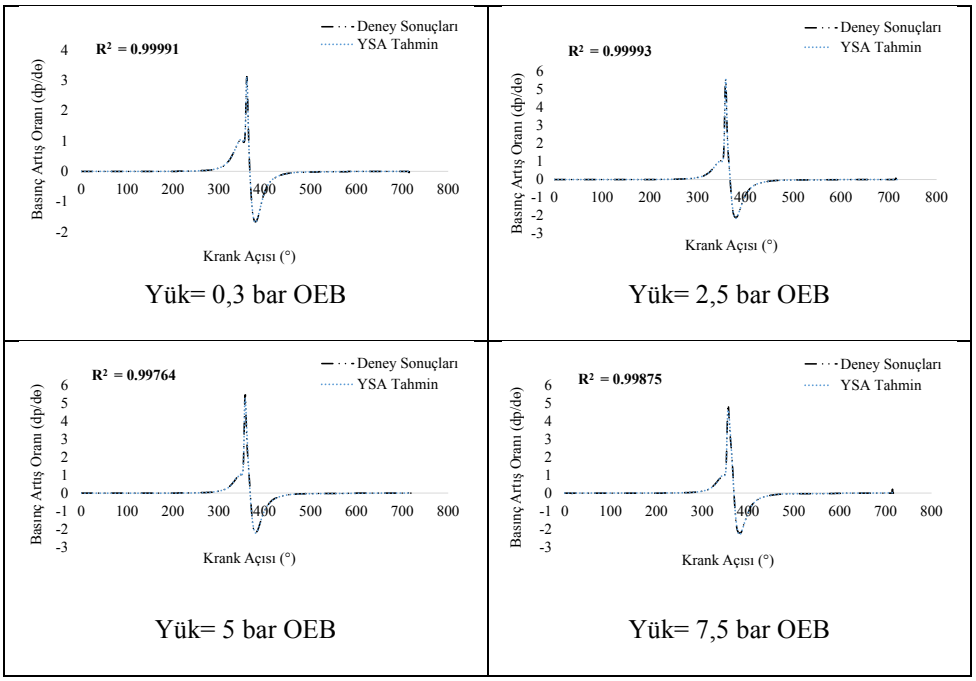
Şekil 4.63. DB-PY20EN10 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.64'te görüldüğü gibi, DB-SY30-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99618, 0.99986, 0.99816, 0.99616 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-SY30-2,5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



Şekil 4.64. DB-SY30 yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.65'te görüldüğü gibi, DY (0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99991, 0.99993, 0.99764, 0.99875 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DY-0,3 bar OEB yükte elde edilmiştir.

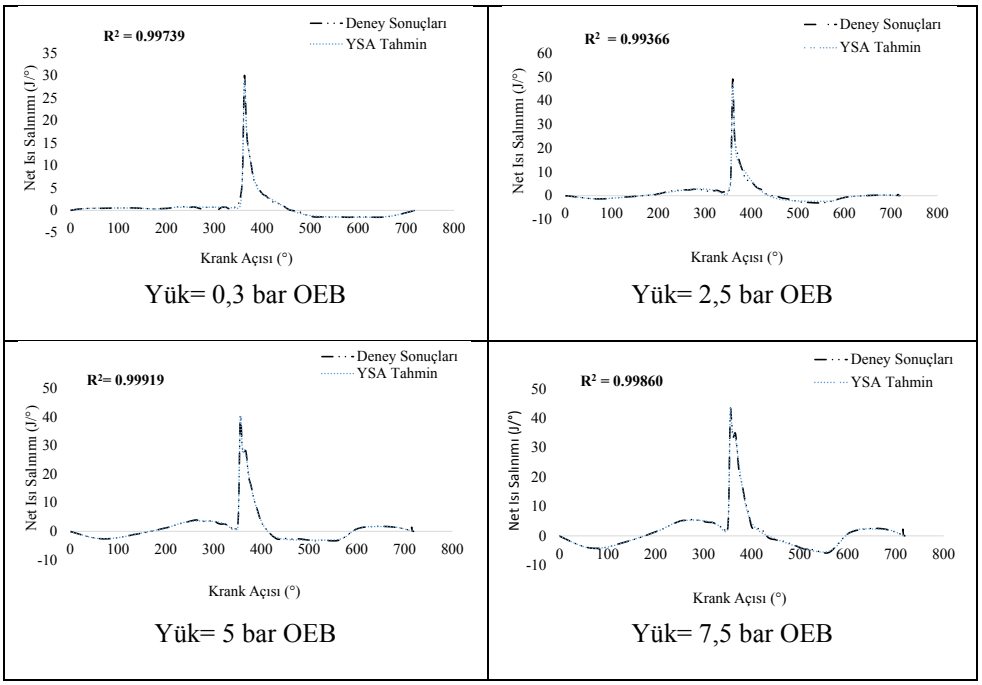


Şekil 4.65. DY yakıtın BAO deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Genel bir değerlendirme ile basınç artış oranın YSA ile tüm yükler (0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB)'deki karşılaştırmalarında elde edilen en iyi R^2 tahminindeki değerler için sırasıyla; DB-PSY30-2.5 ile 0.99986, DB-PY10-2.5 ile 0.99198, DB-PY20-0,3 bar0.99994, DB-PY30-5 ile 0.99919, DB-SY10-7.5 ile 0.99850, DB-SY20-5 ile 0.99989, DB-SY30-2.5 ile 0.99986, DB-PY20EN5-0,3 bar ile 0.99939, DB-PY20EN10-0,3 bar ile 0.99936, DB-SY20EN5-5 ile 0.99919, DB-SY20EN10-0,3 bar ile 0.99969, DY-0,3 bar ile 0.99991 en iyi tahmin sonuçları elde edilmiştir. Tüm bu yakıtların içerisinde basınç artış oranı ile en iyi YSA tahminindeki R^2 değeri DB-PY20-0,3 bar ile 0.99994 yakıtı olduğu tespit edilmiştir.

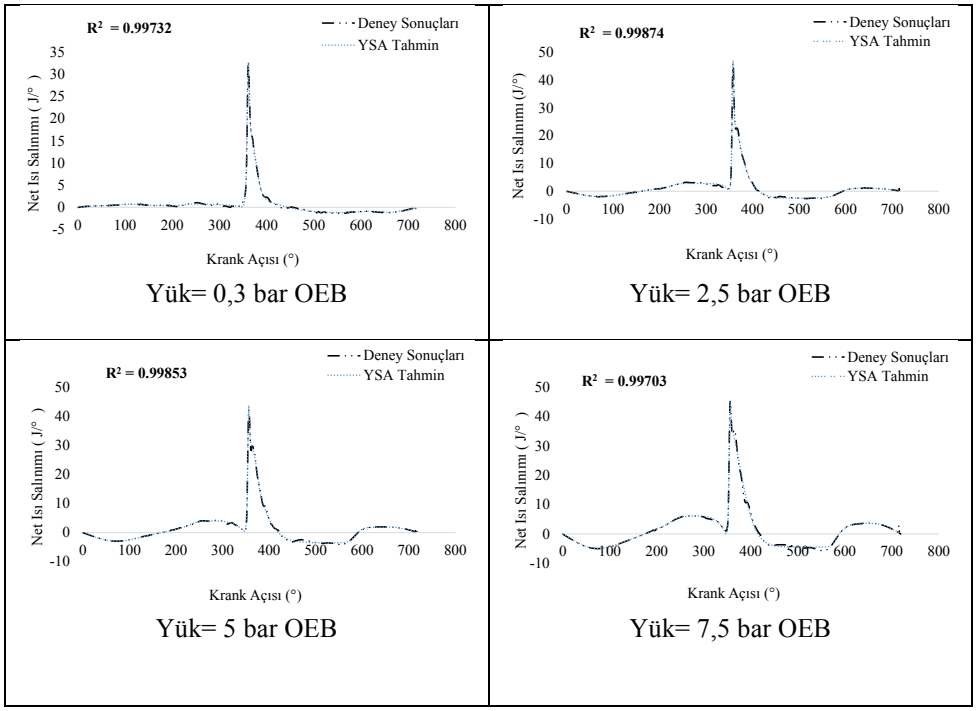
4.5.2.2. Net ısı salınımının YSA ile tahmini

Şekil 4.66'da görüldüğü gibi, DB-PSY30-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99739, 0.99366, 0.99919, 0.99860 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PSY30-5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



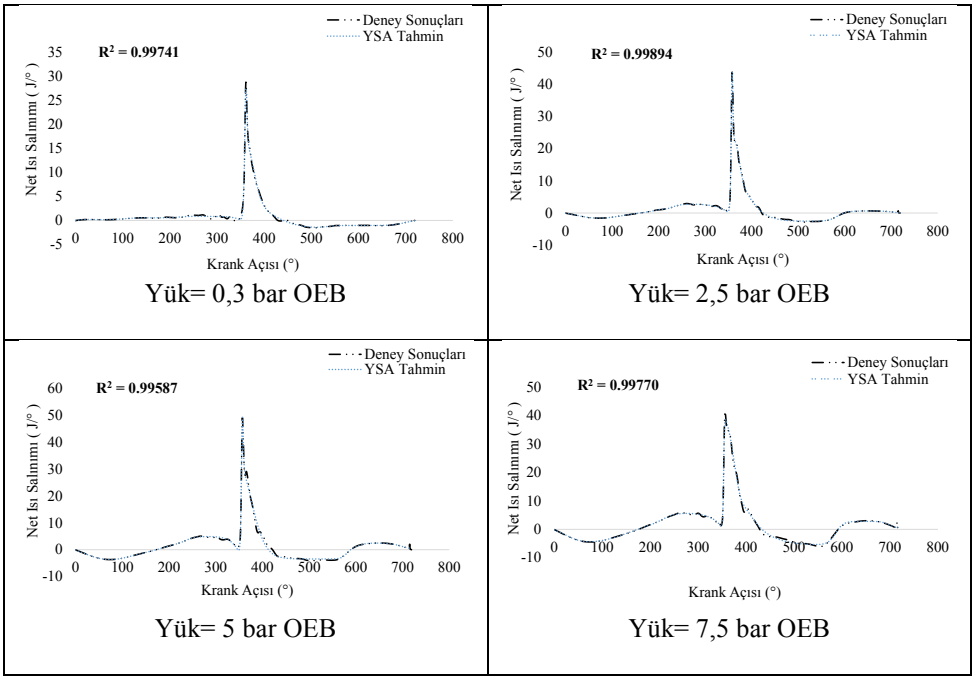
Şekil 4.66. DB-PSY30 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.67'de görüldüğü gibi, DB-PY10-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99732, 0.99874, 0.99853, 0.99703 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PY10-2,5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



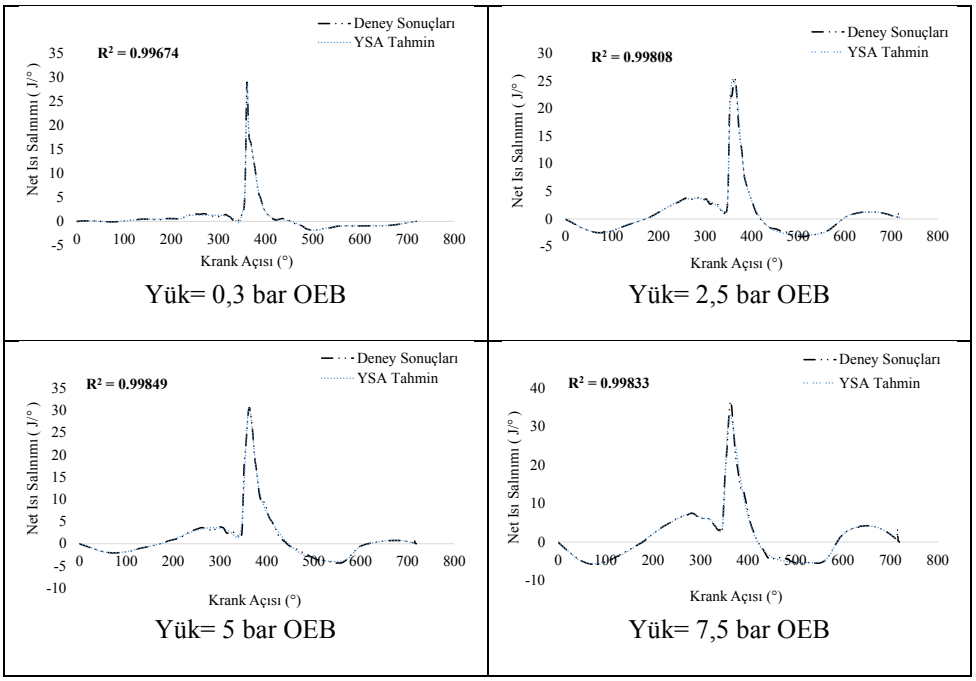
Şekil 4.67. DB-PY10 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.68'de görüldüğü gibi, DB-PY20-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99741, 0.99894, 0.99587, 0.99770 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PY20-2,5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



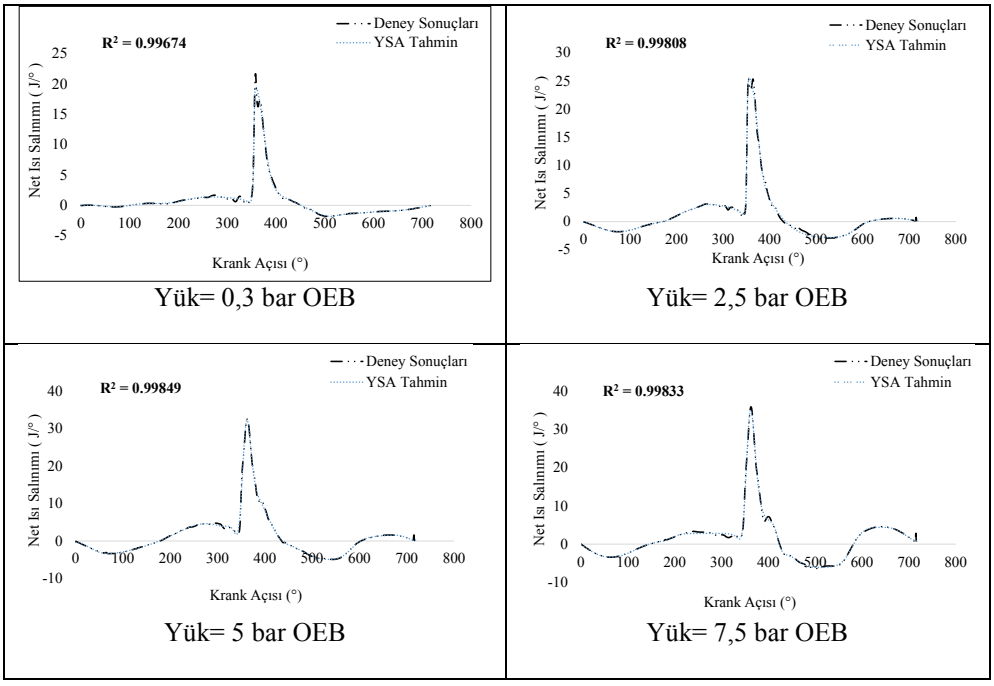
Şekil 4.68. DB-PY20 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.69'da görüldüğü gibi, DB-PY20EN5-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99674, 0.99808, 0.99849, 0.99833 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PY20EN5-5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



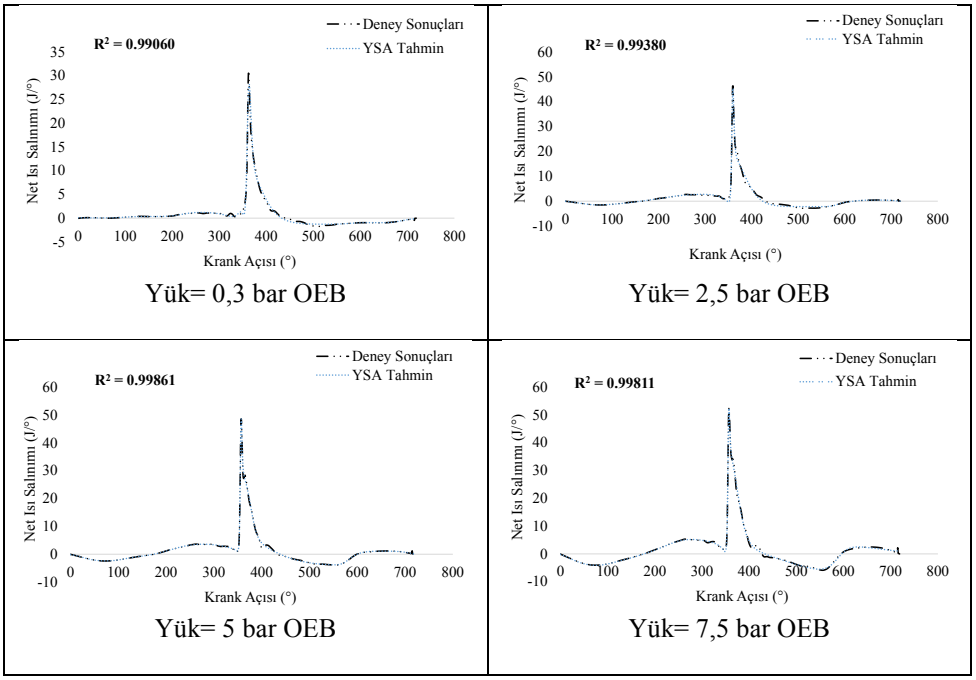
Şekil 4.69. DB-PY20EN5 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.70'te görüldüğü gibi, DB-PY20EN10-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99674, 0.99808, 0.99849, 0.99833 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA tahminlerine göre en iyi sonucun DB-PY20EN10-5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



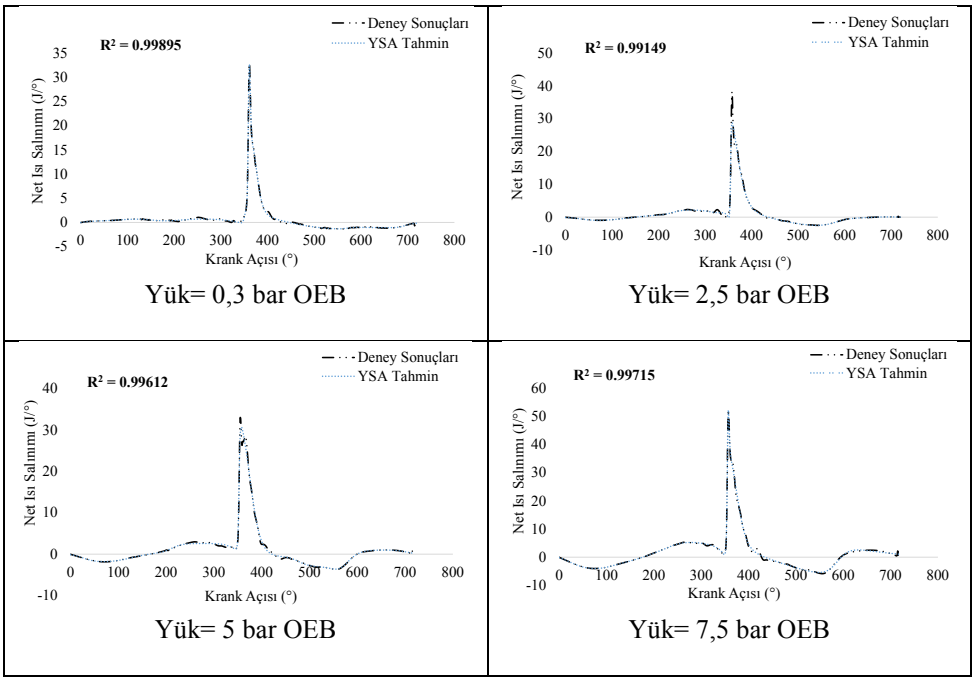
Şekil 4.70. DB-PY20EN10 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.71'de görüldüğü gibi, DB-PY30-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99060, 0.99380, 0.99861, 0.99811 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PY30-5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



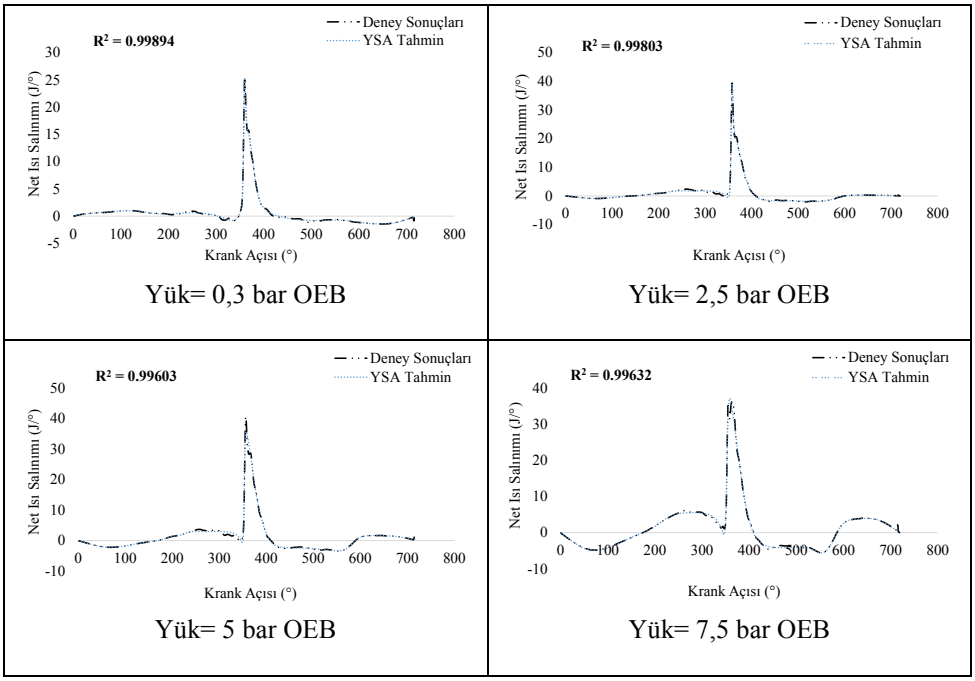
Şekil 4.71. DB-PY30 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.72'de görüldüğü gibi, DB-SY10-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99895, 0.99149, 0.99612, 0.99715 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-SY10-0,3 bar OEB yükte elde edilmiştir.



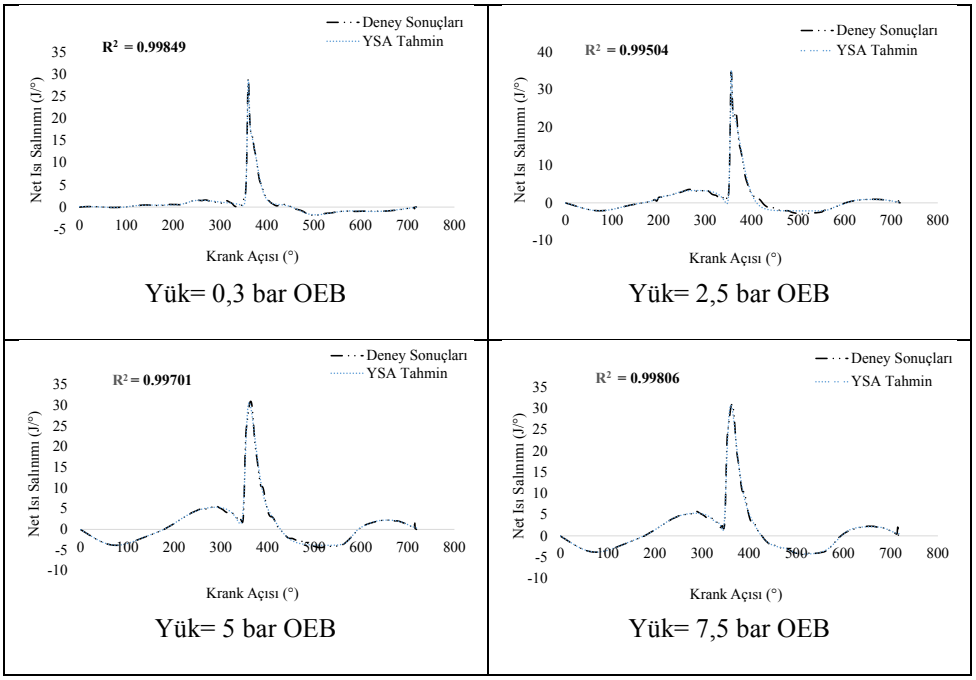
Şekil 4.72. DB-SY10 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.73'te görüldüğü gibi, DB-SY20-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99894, 0.99803, 0.99603, 0.99632 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-SY20-0,3 bar OEB yükte elde edilmiştir.



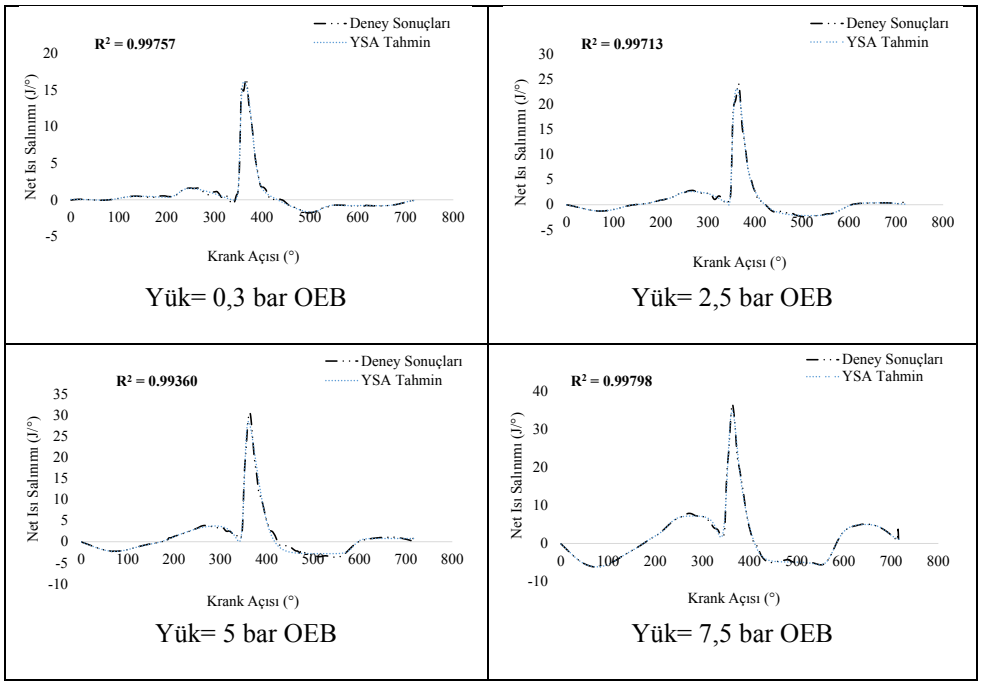
Şekil 4.73. DB-SY20 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.74'te görüldüğü gibi, DB-SY20EN5-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99849, 0.99504, 0.99701, 0.99806 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-SY20EN5-0,3 bar OEB yükte elde edilmiştir.



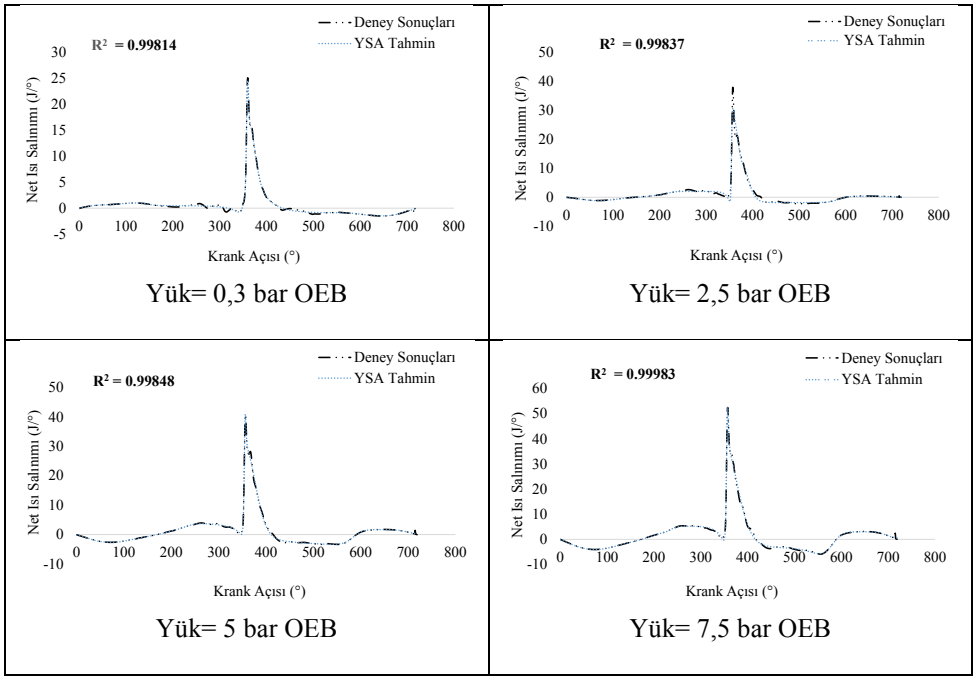
Şekil 4.74. DB-SY20EN5 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.75'te görüldüğü gibi, DB-SY20EN10-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99757, 0.99713, 0.99360, 0.99798 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-SY20EN10-7,5 bar OEB'ta elde edilmiştir.



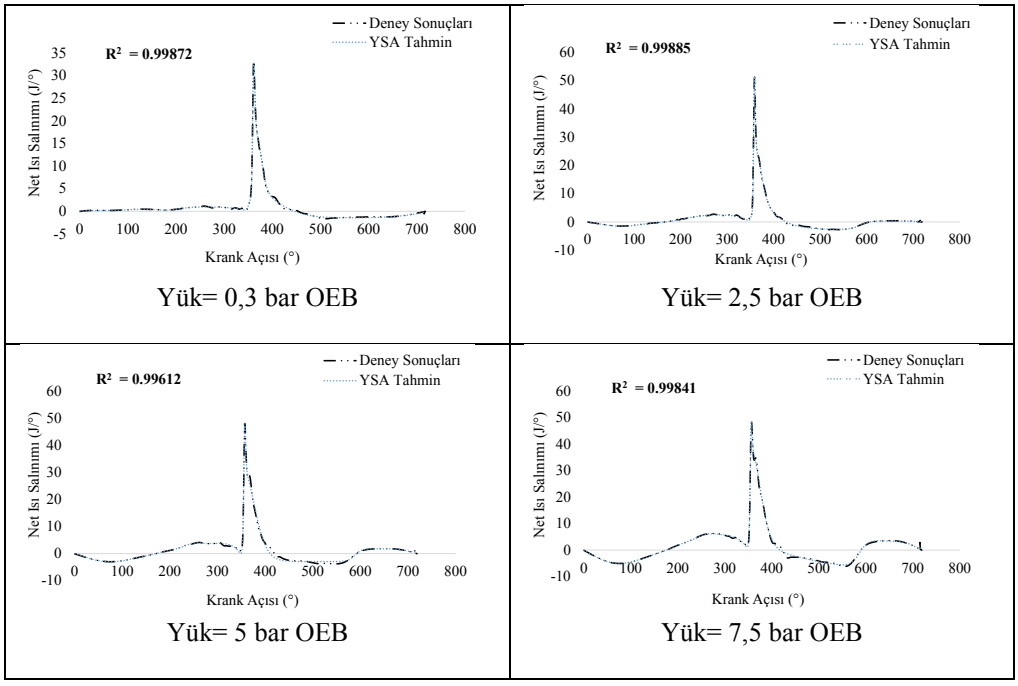
Şekil 4.75. DB-SY20EN10 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.76'da görüldüğü gibi, DB-SY30-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99618, 0.99986, 0.99816, 0.99616 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-SY30-2,5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



Şekil 4.76. DB-SY30 yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.77'de görüldüğü gibi, DY-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99872, 0.99885, 0.99612, 0.99841 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DY-2,5 bar OEB yükte elde edilmiştir.

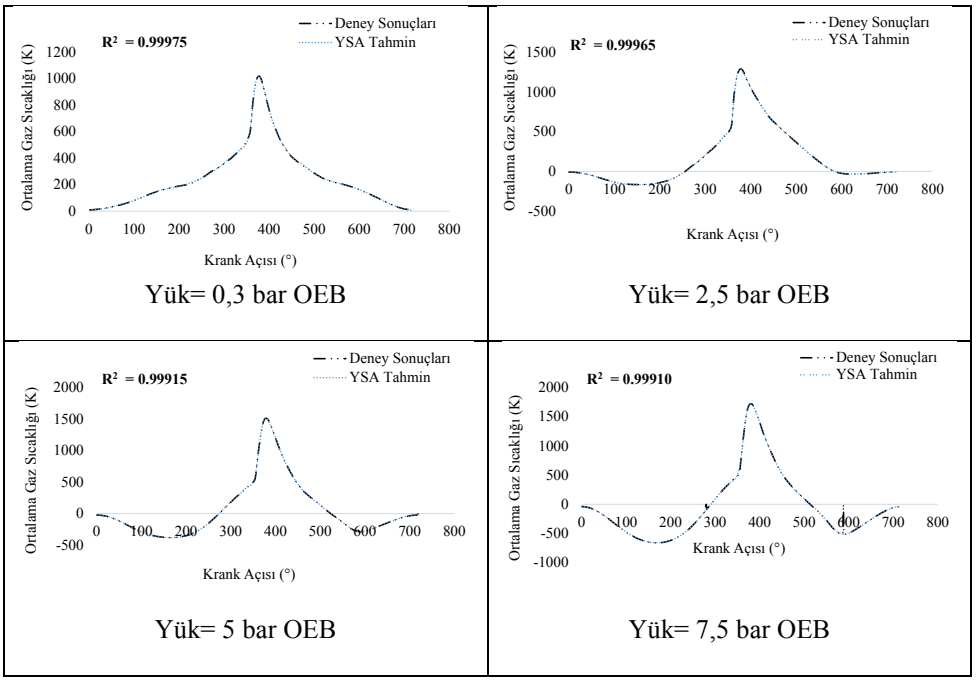


Şekil 4.77. DY yakıtın NIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Genel değerlendirmede net ısı salınımının YSA ile tüm yükler (0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB)'deki karşılaştırmalarında elde edilen en iyi R^2 tahminindeki değerler için sırasıyla; DB-PSY30-5 ile 0.99919, DB-PY10-2.5 ile 0.99874, DB-PY20-2.5 0.99894, DB-PY30-5 ile 0.99861, DB-SY10-0,3 bar ile 0.99895, DB-SY20-0,3 bar ile 0.99894, DB-SY30-2.5 ile 0.99986, DB-PY20EN5-5 ile 0.99849, DB-PY20EN10-5 ile 0.99849, DB-SY20EN5-0,3 bar ile 0.99849, DB-SY20EN10-7.5 ile 0.99798, DY-2.5 ile 0.99885 en iyi tahmin sonuçları elde edilmiştir. Tüm bu yakıtların içerisinde net ısı salınımı ile en iyi YSA tahminindeki R^2 değeri DB-PSY30-5 bar yük ile 0.99919 yakıtı olduğu tespit edilmiştir.

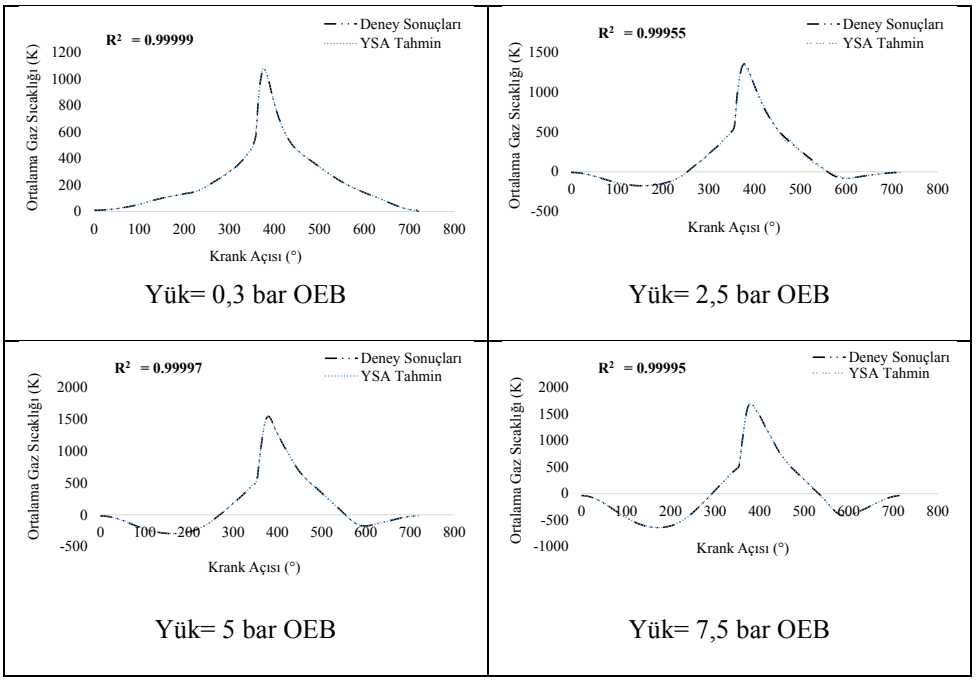
4.5.2.3. Ortalama gaz sıcaklığının YSA ile tahmini

Şekil 4.78'de görüldüğü gibi, DB-PSY30-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99975, 0.99965, 0.99915, 0.99910 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PSY30-0,3 bar OEB yükte elde edilmiştir.



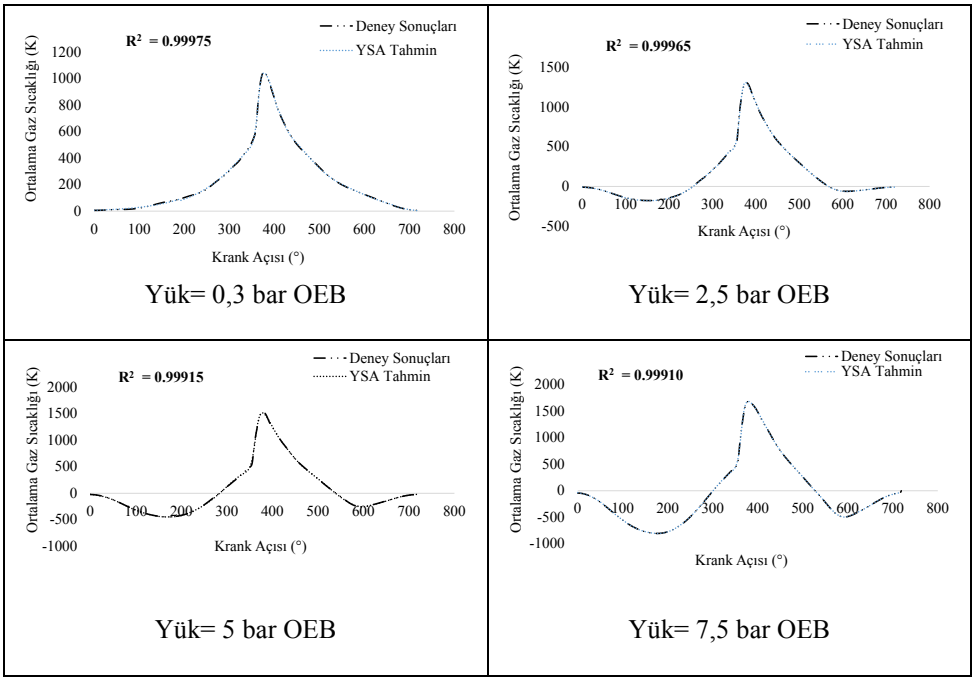
Şekil 4.78. DB-PSY30 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.79'da görüldüğü gibi, DB-PY10-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99999, 0.99955, 0.99997, 0.99945 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PY10-0,3 bar OEB yükte elde edilmiştir.



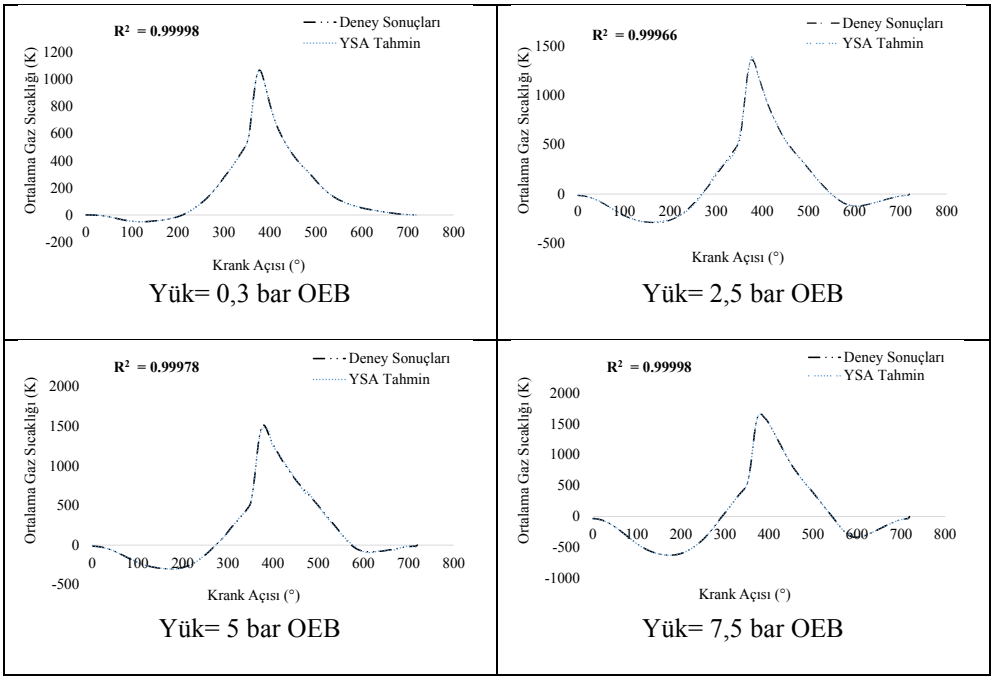
Şekil 4.79. DB-PY10 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.80'de görüldüğü gibi, DB-PY20-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99975, 0.99965, 0.99915, 0.99910 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PY20-0,3 bar OEB yükte elde edilmiştir.



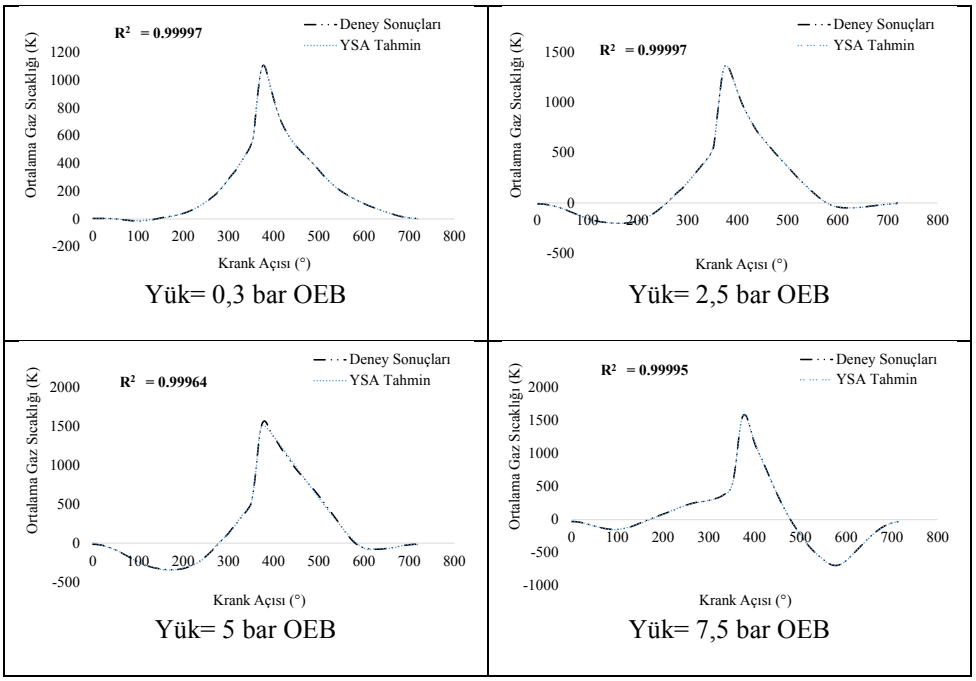
Şekil 4.80. DB-PY20 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.81'de görüldüğü gibi, DB-PY20EN5-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99998, 0.99966, 0.99978, 0.99998 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA ile en iyi tahmin sonucu DB-PY20EN5-0,3-7,5 bar OEB yüklerde elde edilmiştir.



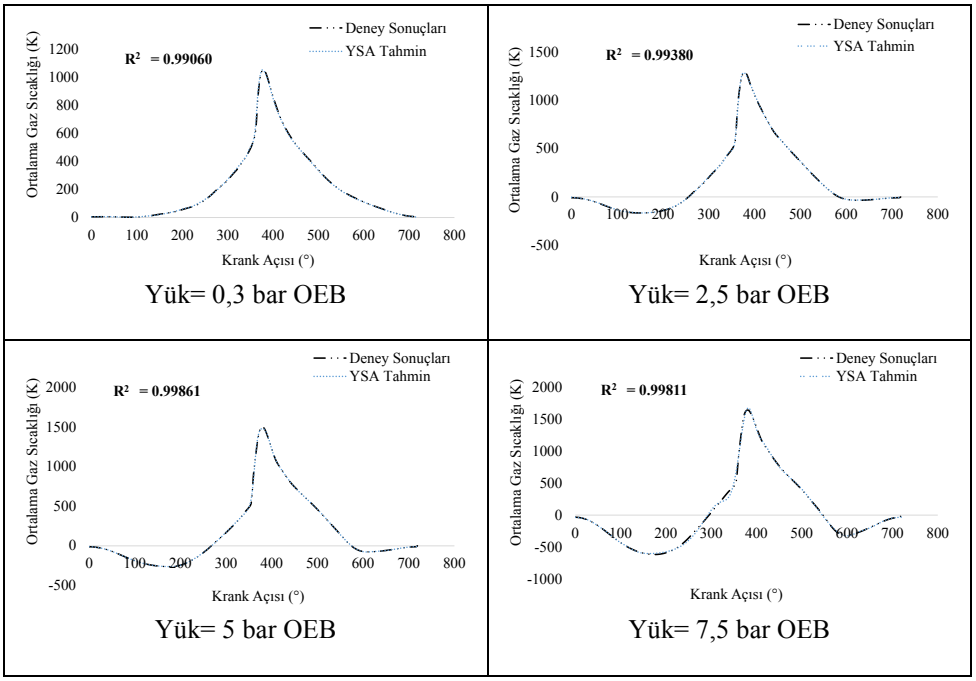
Şekil 4.81. DB-PY20EN5 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.82'de görüldüğü gibi, DB-PY20EN10-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99997, 0.99997, 0.99964, 0.99995 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PY20EN10-0,3- 2,5 bar OEB elde edilmiştir.



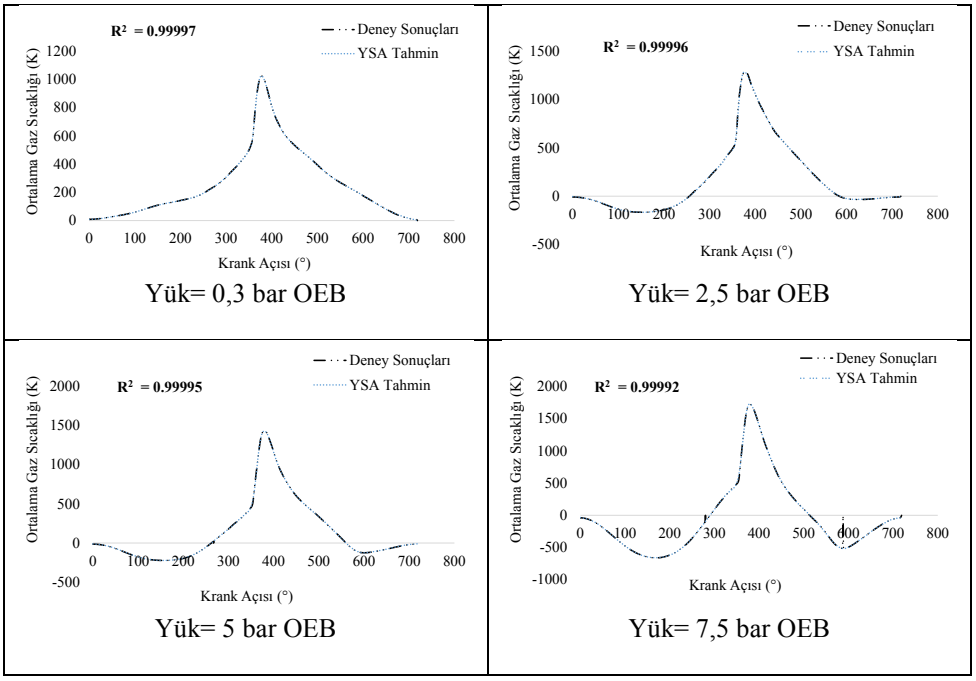
Şekil 4.82. DB-PY20EN10 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.83'te görüldüğü gibi, DB-PY30-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99060, 0.99380, 0.99861, 0.99811 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PY30-5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



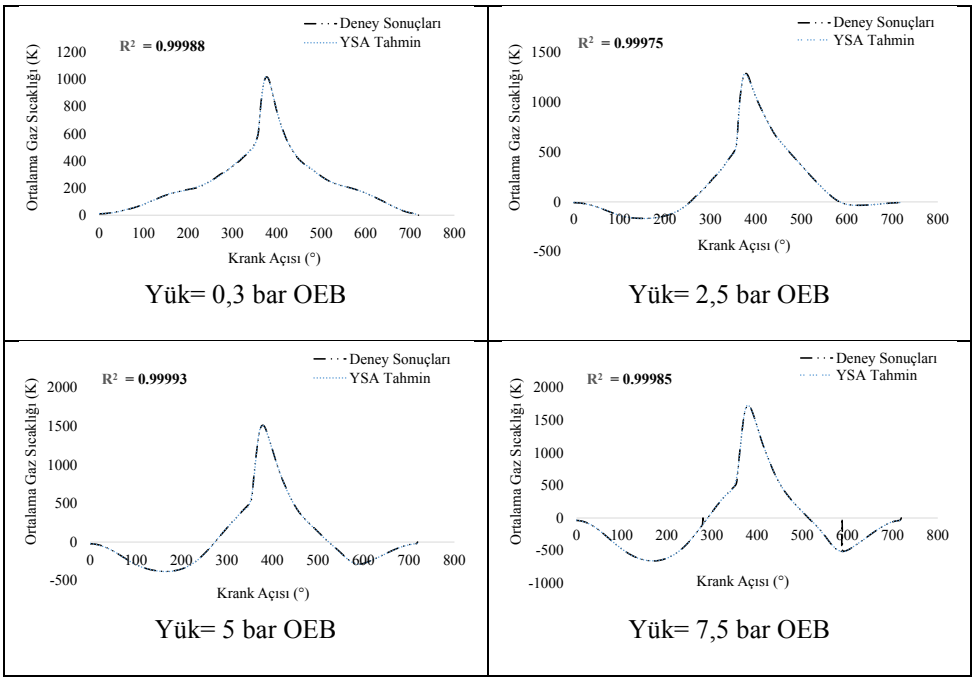
Şekil 4.83. DB-PY30 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.84'te görüldüğü gibi, DB-SY10-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99997, 0.99996, 0.99995, 0.99992 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-SY10-0,3 bar OEB yükte elde edilmiştir.



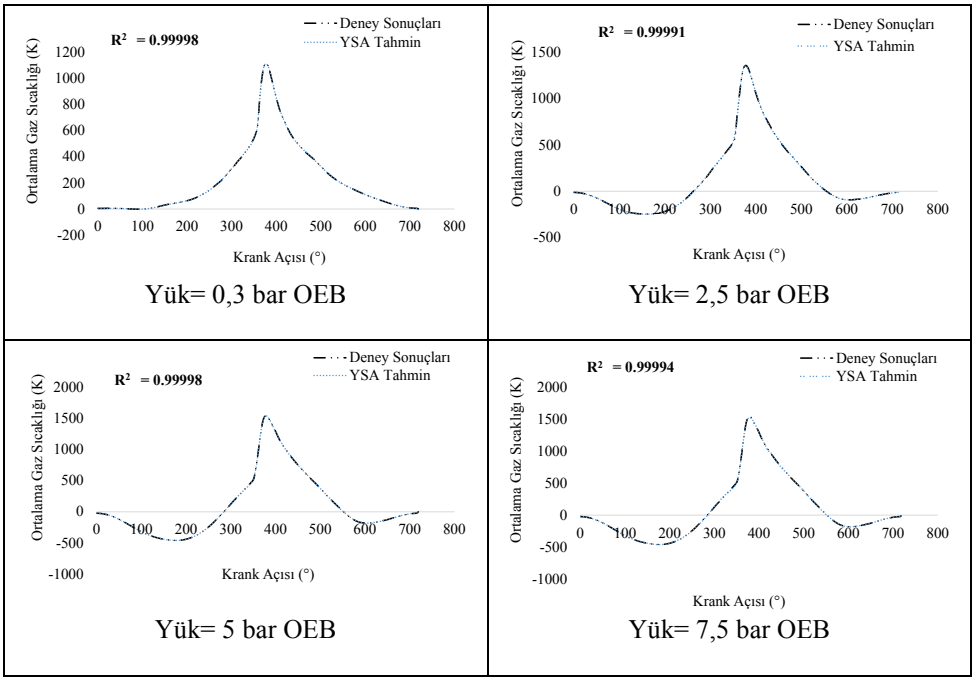
Şekil 4.84. DB-SY10 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.85'te görüldüğü gibi, DB-SY20-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99988, 0.99975, 0.99993, 0.99985 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-SY20-5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



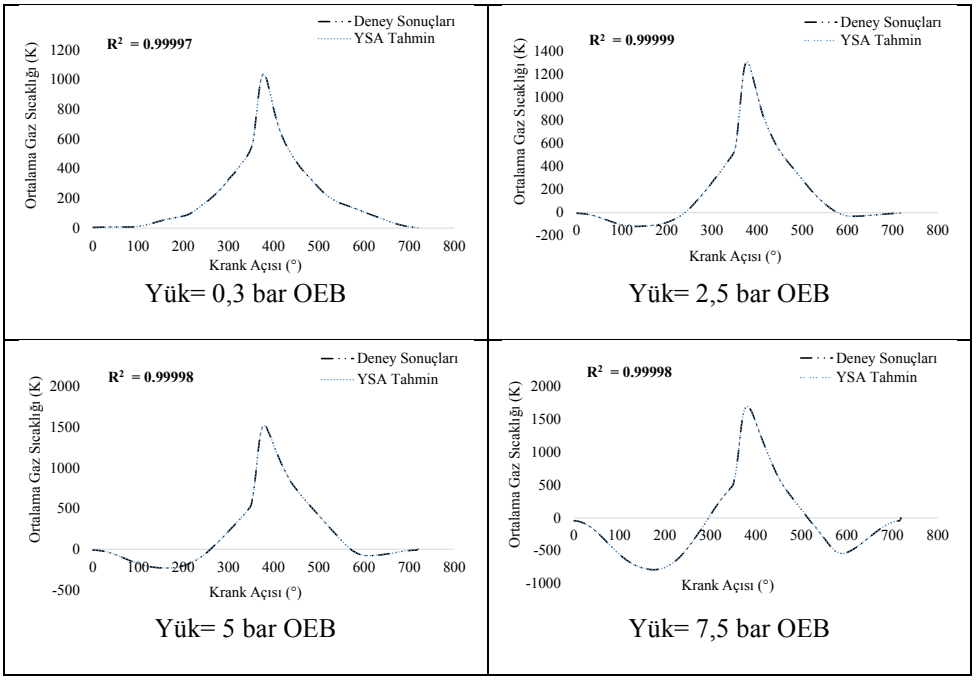
Şekil 4.85. DB-SY20 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.86'da görüldüğü gibi, DB-SY20EN5-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99998, 0.99991, 0.99998, 0.99994 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-SY20EN5-0,3- 5 bar OEB yüklerde elde edilmiştir.



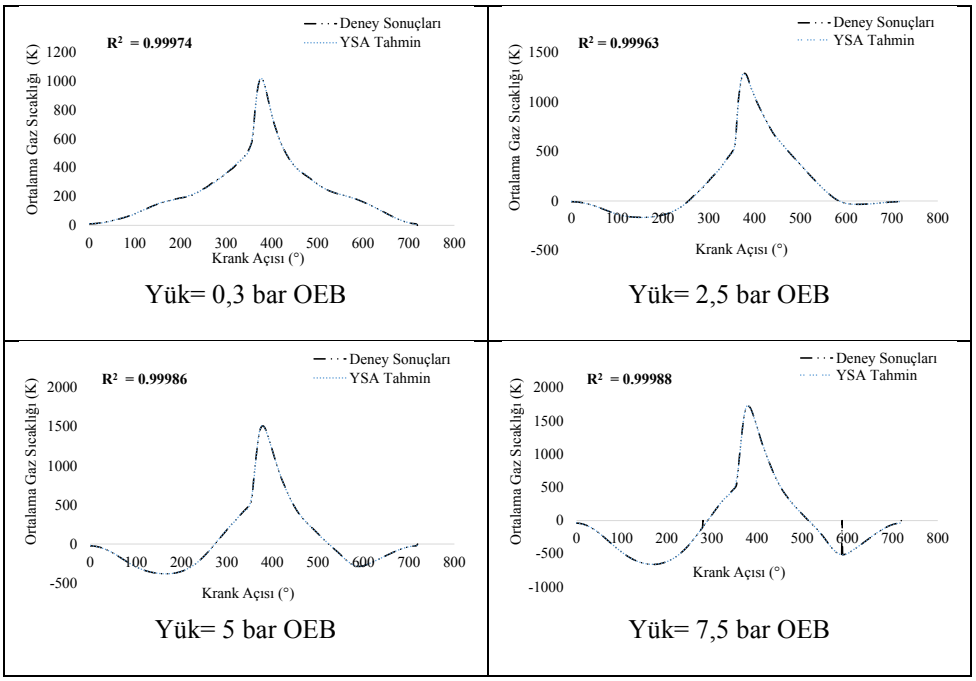
Şekil 4.86. DB-SY20EN5 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.87'de görüldüğü gibi, DB-SY20EN10-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99997, 0.99999, 0.99998, 0.99998 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA ile en iyi tahmin sonucu DB-SY20EN10-2,5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



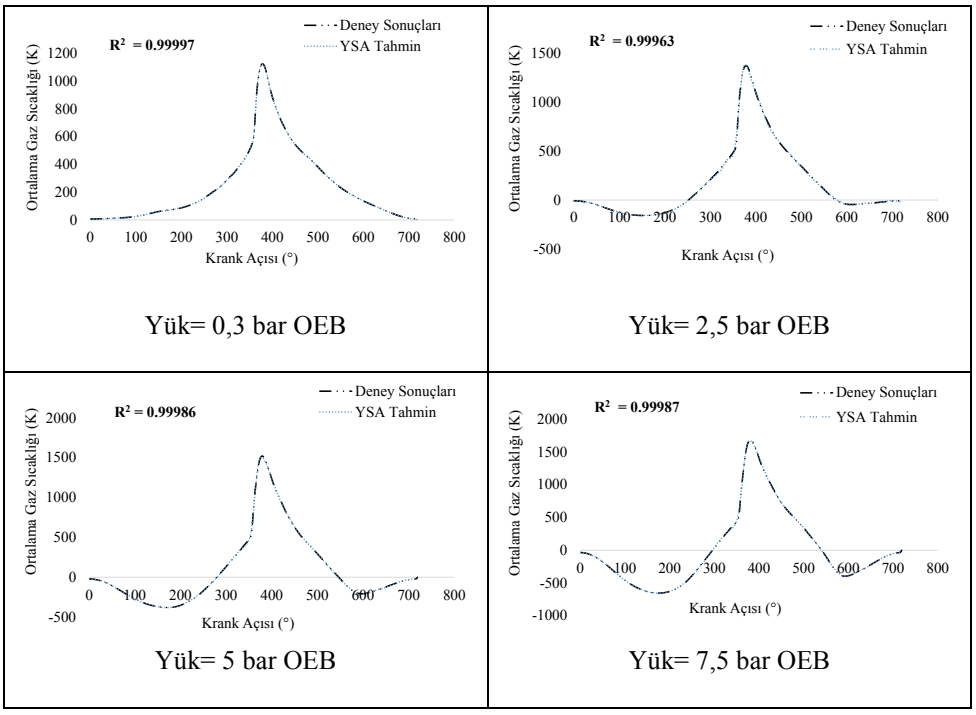
Şekil 4.87. DB-SY20EN10 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.88'de görüldüğü gibi, DB-SY30-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99974, 0.99963, 0.99986, 0.99988 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-SY30-7,5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



Şekil 4.88. DB-SY30 yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.89'da görüldüğü gibi, DY-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99997, 0.99963, 0.99986, 0.99987 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DY-0,3 bar OEB yükte elde edilmiştir.

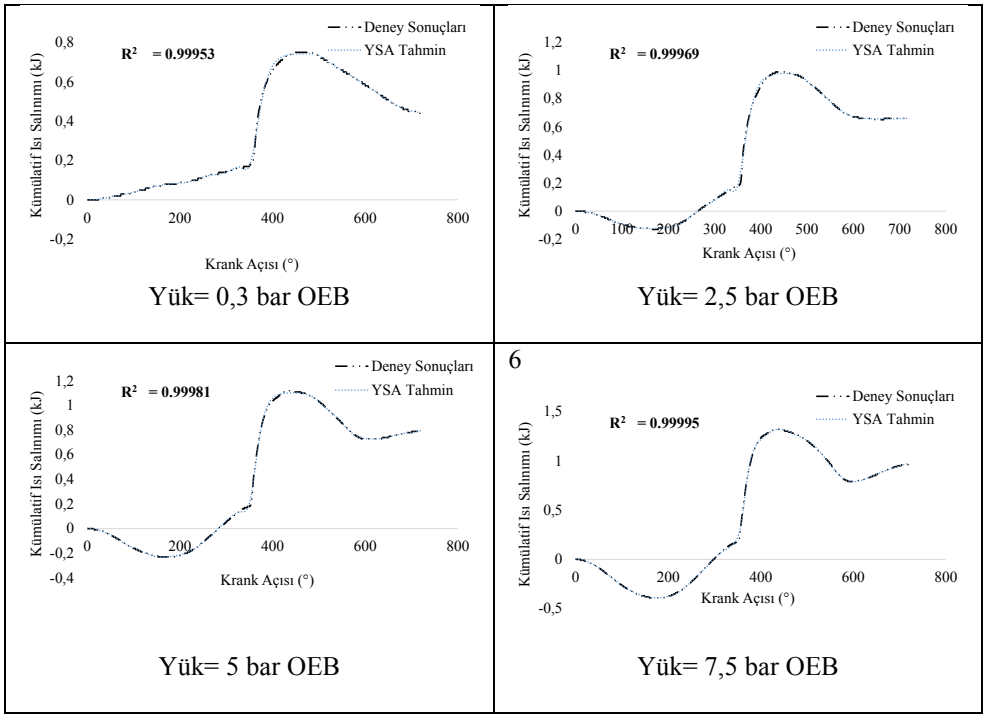


Şekil 4.89. DY yakıtın OGS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Genel değerlendirmede ortalama gaz sıcaklığının YSA ile tüm yükler (0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB)'deki karşılaştırmalarında elde edilen en iyi R^2 tahminindeki değerler için sırasıyla; DB-PSY30-0,3 bar ile 0.99975, DB-PY10-0,3 bar ile 0.99999, DB-PY20-0,3 bar 0.99975, DB-PY30-5 ile 0.99861, DB-SY10-0,3 bar ile 0.99997, DB-SY20-5 ile 0.99993, DB-SY30-7.5 ile 0.99988, DB-PY20EN5-(0-7,5) ile 0.99998, DB-PY20EN10-(0-2.5) ile 0.99997, DB-SY20EN5-(0-5) ile 0.99998, DB-SY20EN10-0,3 bar ile 0.99999, DY-0,3 bar ile 0.99997 en iyi tahmin sonuçları elde edilmiştir. Tüm bu yakıtların içerisinde ortalama gaz sıcaklığı ile en iyi YSA tahminindeki R^2 değeri DB-SY20EN10-0,3 bar OEB ile 0.99999 yakıtı olduğu tespit edilmiştir.

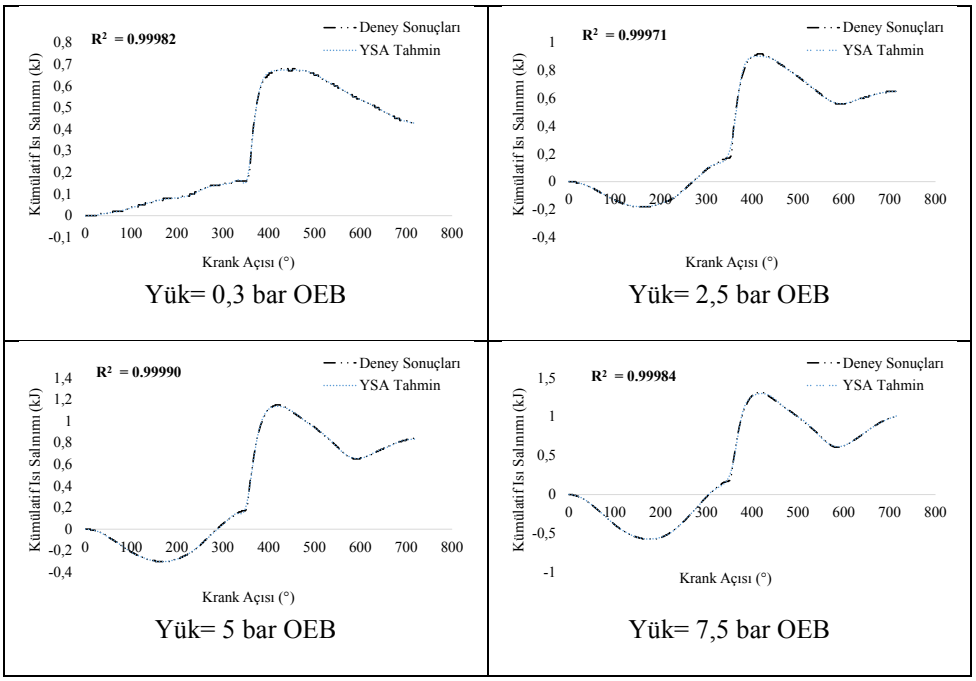
4.5.2.4. Kümülatif ısı salınımının YSA ile tahmini

Şekil 4.90'da görüldüğü gibi, DB-PSY30-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99953, 0.99969, 0.99981, 0.99995 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PSY30-7,5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



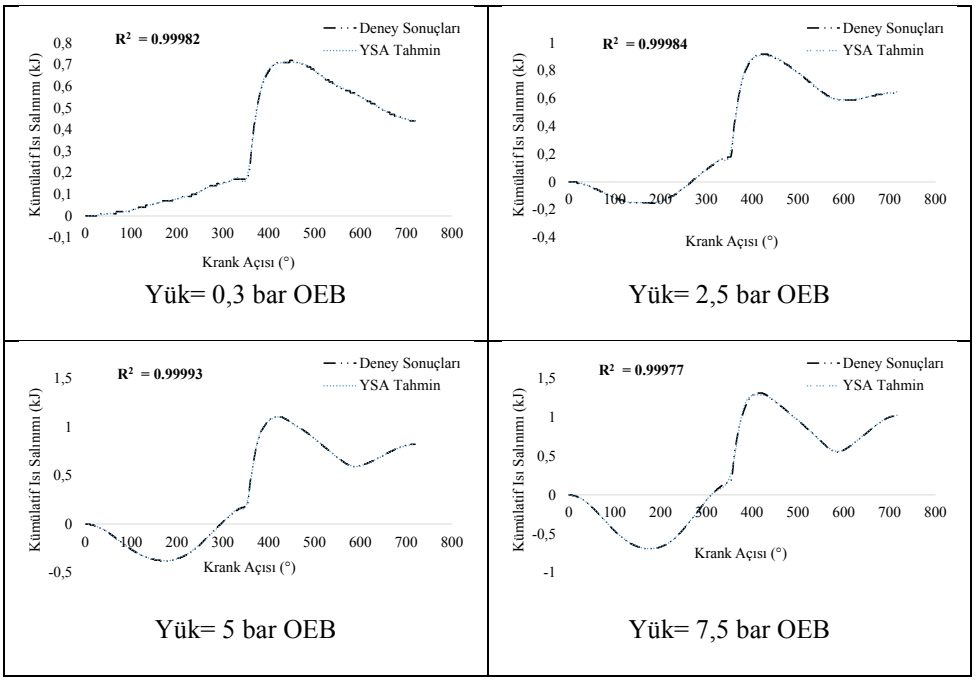
Şekil 4.90. DB-PSY30 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.91'de görüldüğü gibi, DB-PY10-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney ile YSA tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında R^2 değerleri sırasıyla 0.99982, 0.99971, 0.99990, 0.99984 elde edilmiştir. YSA ile en iyi tahmin sonucu DB-PY10-5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



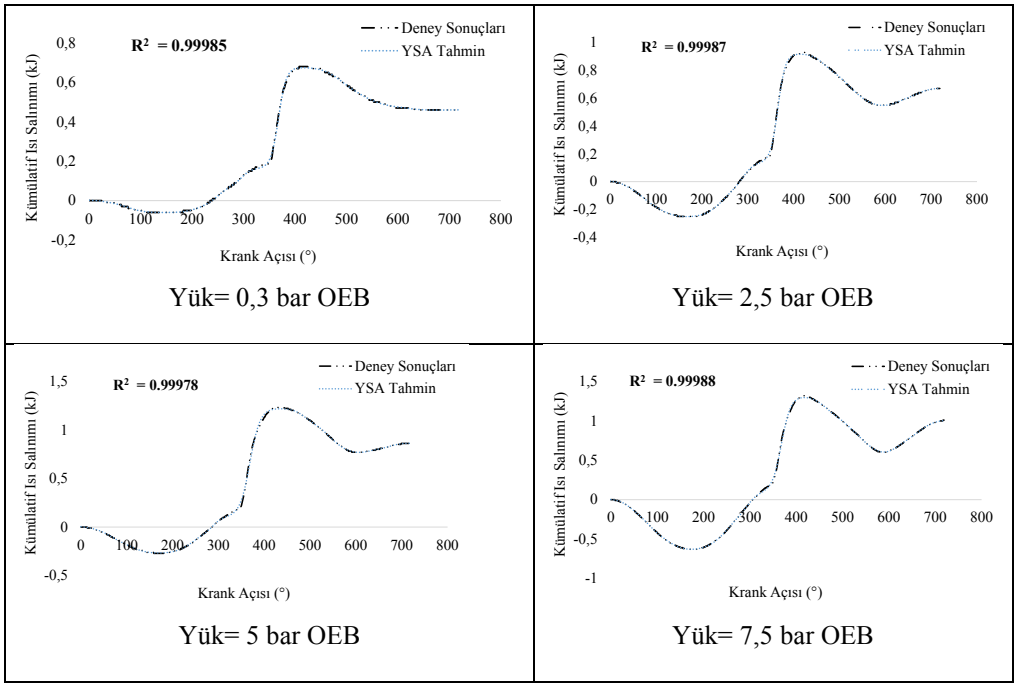
Şekil 4.91. DB-PY10 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.92'de görüldüğü gibi, DB-PY20-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99982, 0.99984, 0.99993, 0.99977 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PY20-5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



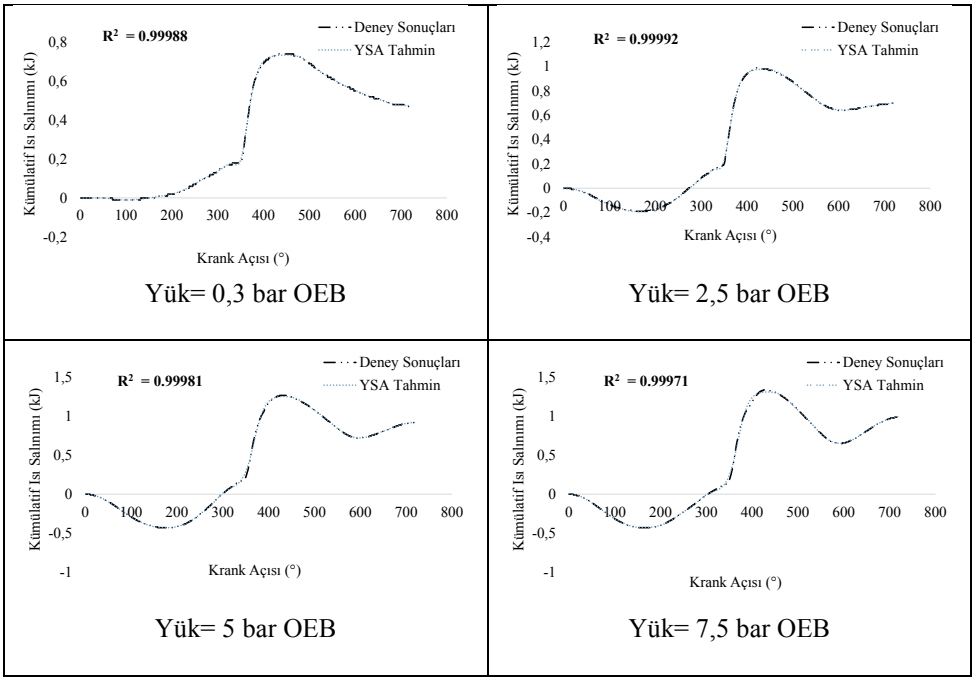
Şekil 4.92. DB-PY20 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.93'te görüldüğü gibi, DB-PY20EN5-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99985, 0.99987, 0.99978, 0.99988 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PY20EN5-7,5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



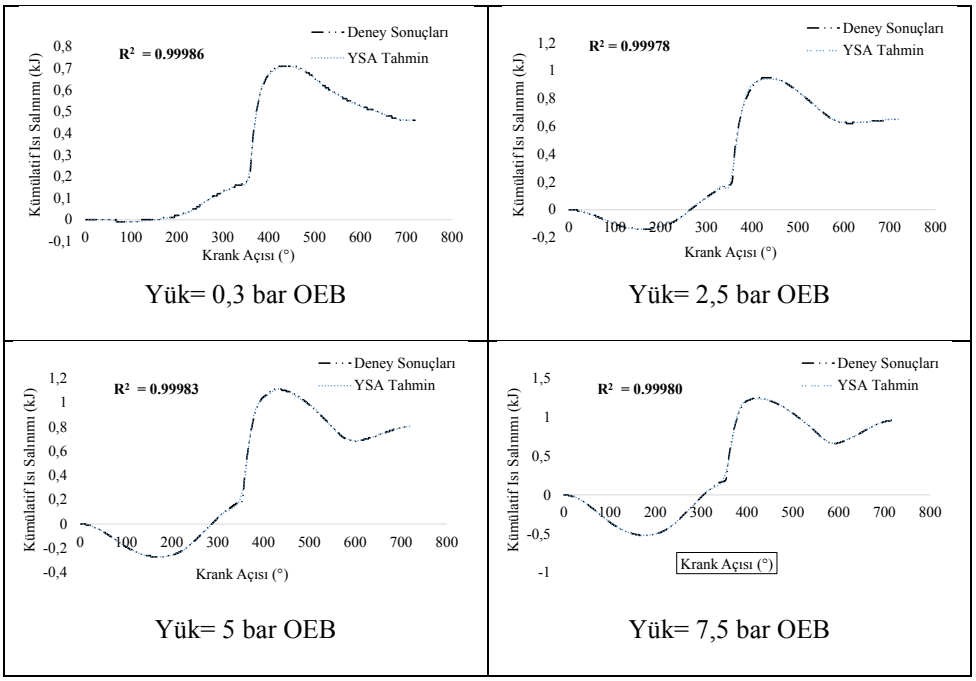
Şekil 4.93. DB-PY20EN5 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.94'te görüldüğü gibi, DB-PY20EN10-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99988, 0.99992, 0.99981, 0.99971 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA ile en iyi tahmin sonucu DB-PY20EN10-2,5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



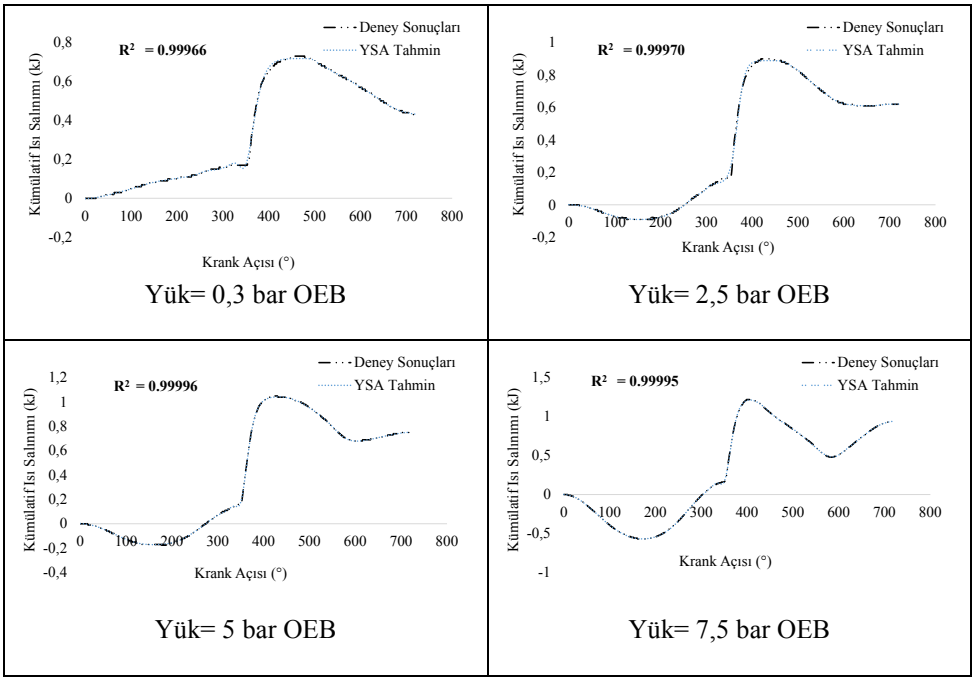
Şekil 4.94. DB-PY20EN10 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.95'te görüldüğü gibi, DB-PY30-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99986, 0.99978, 0.99983, 0.99980 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PY30-0,3 bar OEB yükte elde edilmiştir.



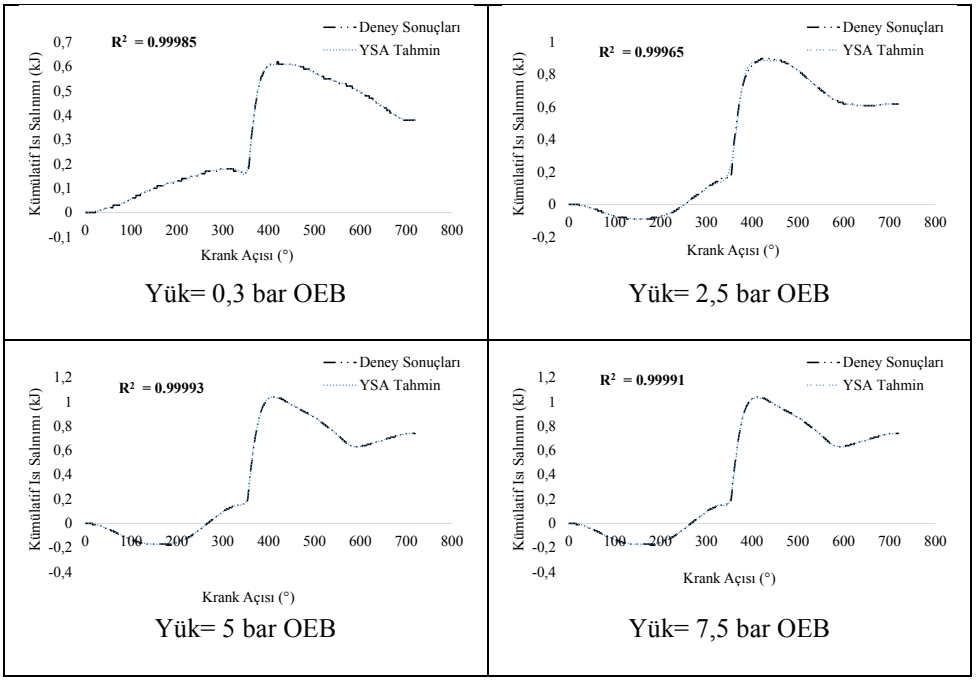
Şekil 4.95. DB-PY30 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.96'da görüldüğü gibi, DB-SY10-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99966, 0.99970, 0.99996, 0.99995 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-SY10-5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



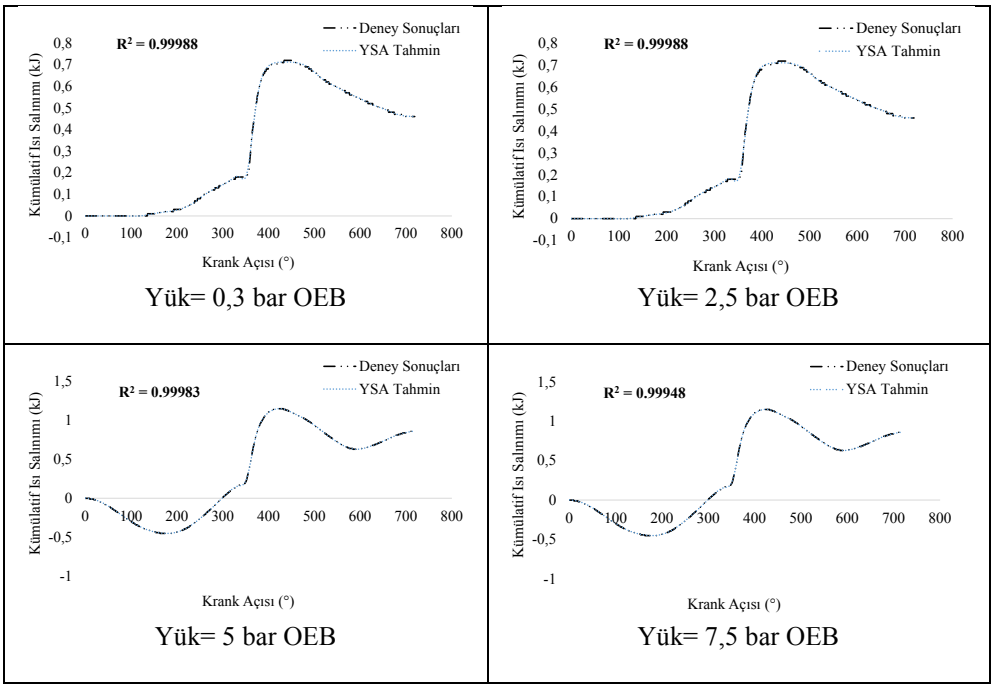
Şekil 4.96. DB-SY10 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.97'de görüldüğü gibi, DB-SY20-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99985, 0.99965, 0.99993, 0.99991 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-SY20-5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



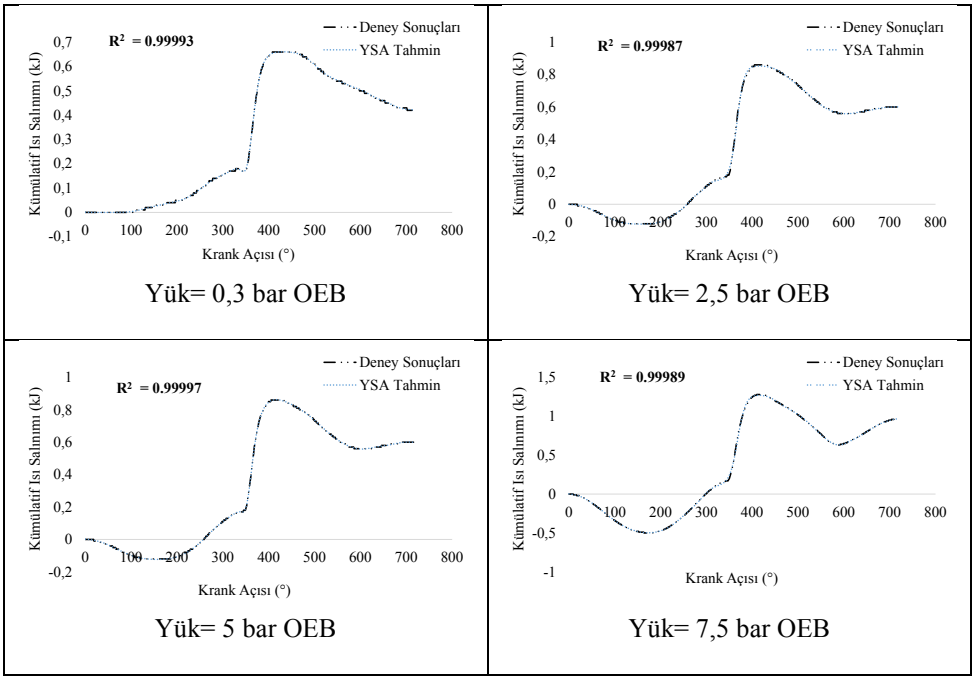
Şekil 4.97. DB-SY20 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.98'de görüldüğü gibi, DB-SY20EN5-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99988, 0.99988, 0.99933, 0.99948 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-SY20EN5-0,3-2,5 bar OEB elde edilmiştir.



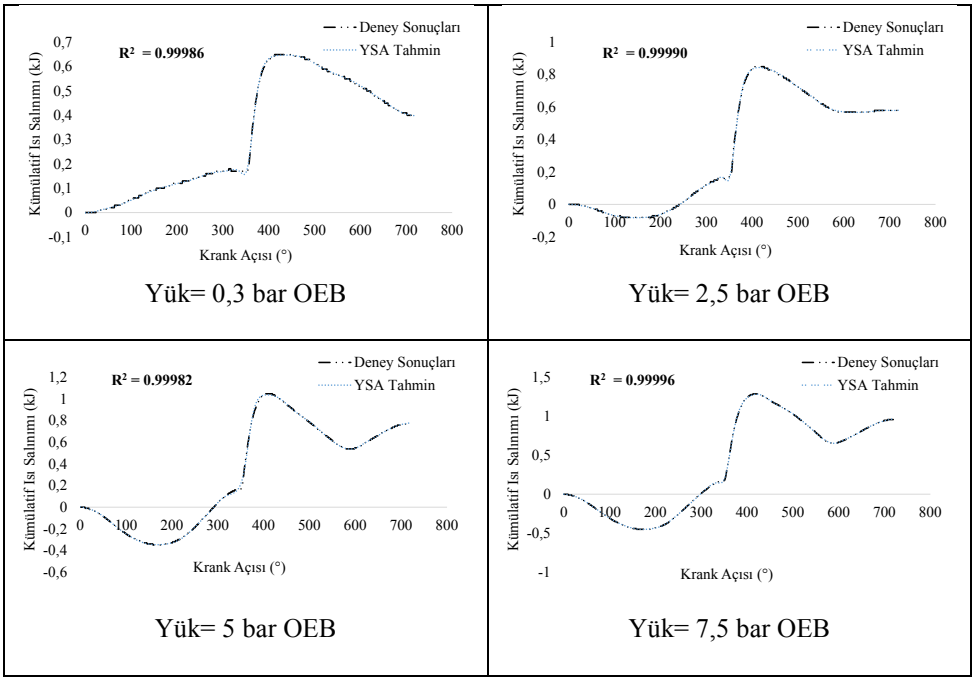
Şekil 4.98. DB-SY20EN5 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.99'da görüldüğü gibi, DB-SY20EN10-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99993, 0.99987, 0.99988, 0.99989 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-SY20EN10-5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



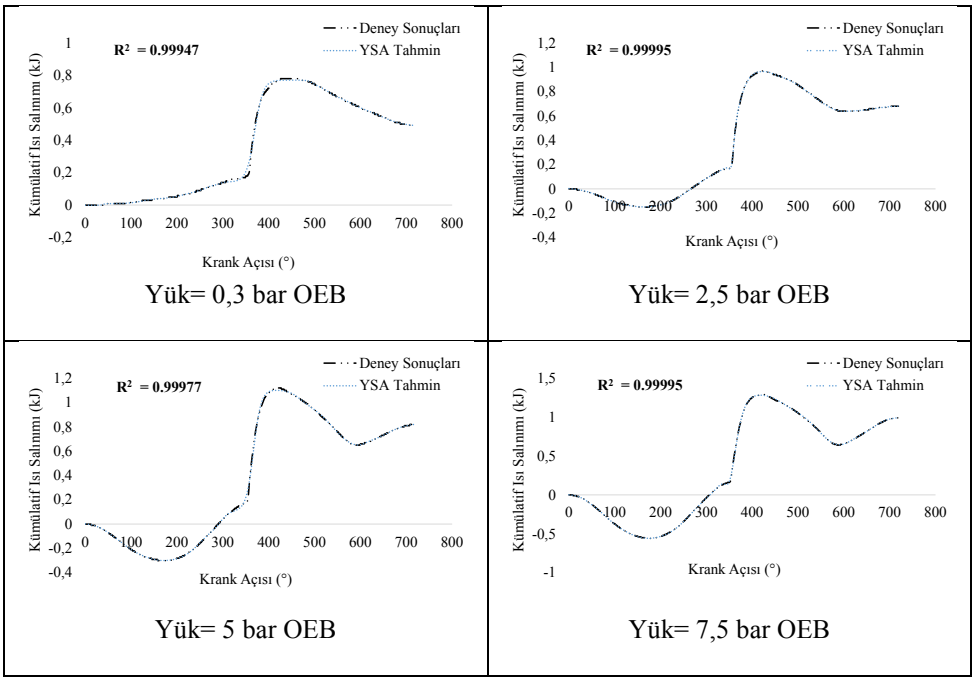
Şekil 4.99. DB-SY20EN10 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.100'de görüldüğü gibi, DB-SY30-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99986, 0.99990, 0.99982, 0.99996 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-SY30-7,5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



Şekil 4.100. DB-SY30 yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.101'de görüldüğü gibi, DY-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99947, 0.99995, 0.99977, 0.99995 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DY -7,5 bar OEB yükte elde edilmiştir.

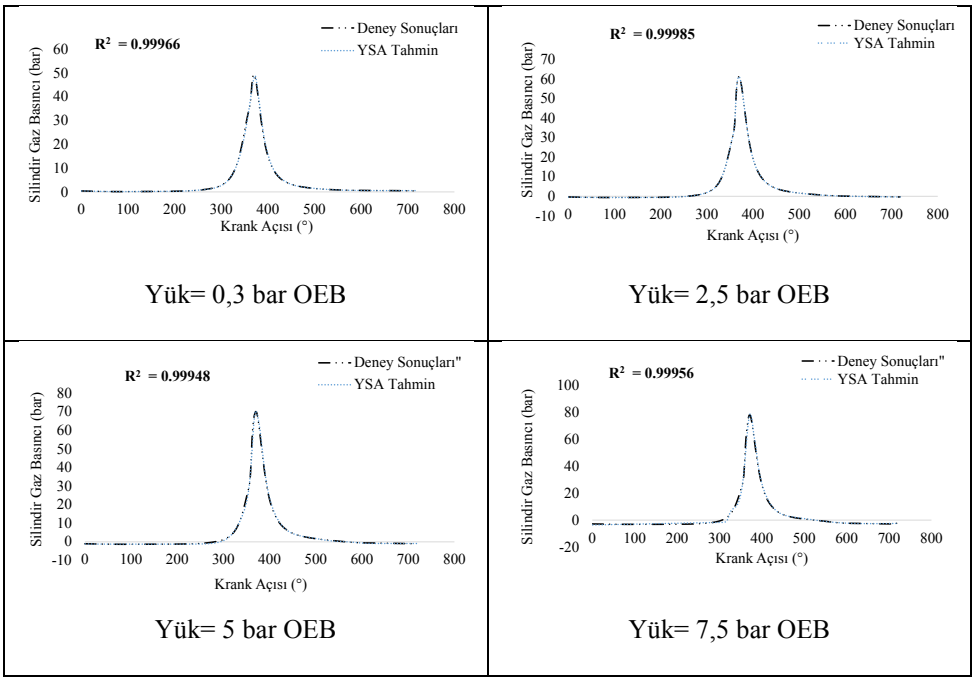


Şekil 4.101. DY Yakıtın KIS deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Genel değerlendirmede kümülatif ısı salınımının YSA ile tüm yükler (0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) karşılaştırmalarında elde edilen en iyi R^2 tahminindeki değerler için sırasıyla; DB-PSY30-7,5 bar ile 0.99995, DB-PY10-5 bar ile 0.99990, DB-PY20-5 bar ile 0.99993, DB-PY30-0,3 bar ile 0.99986, DB-SY10-5 ile 0.99996, DB-SY20-5 bar ile 0.99993, DB-SY30-7,5 bar ile 0.99996, DB-PY20EN5-7,5 bar ile 0.99988, DB-PY20EN10-2,5 bar ile 0.99992, DB-SY20EN5-(0,3-2,5 bar) ile 0.99988, DB-SY20EN10-5 bar ile 0.99988, DY-7,5 bar ile 0.99995 en iyi tahmin sonuçları elde edilmiştir. Tüm bu yakıtların içerisinde kümülatif ısı salınımı ile en iyi YSA tahminindeki R^2 değeri DB-SY30-7,5- DB-SY10-5 bar ile 0.99996 yakıtı olduğu tespit edilmiştir.

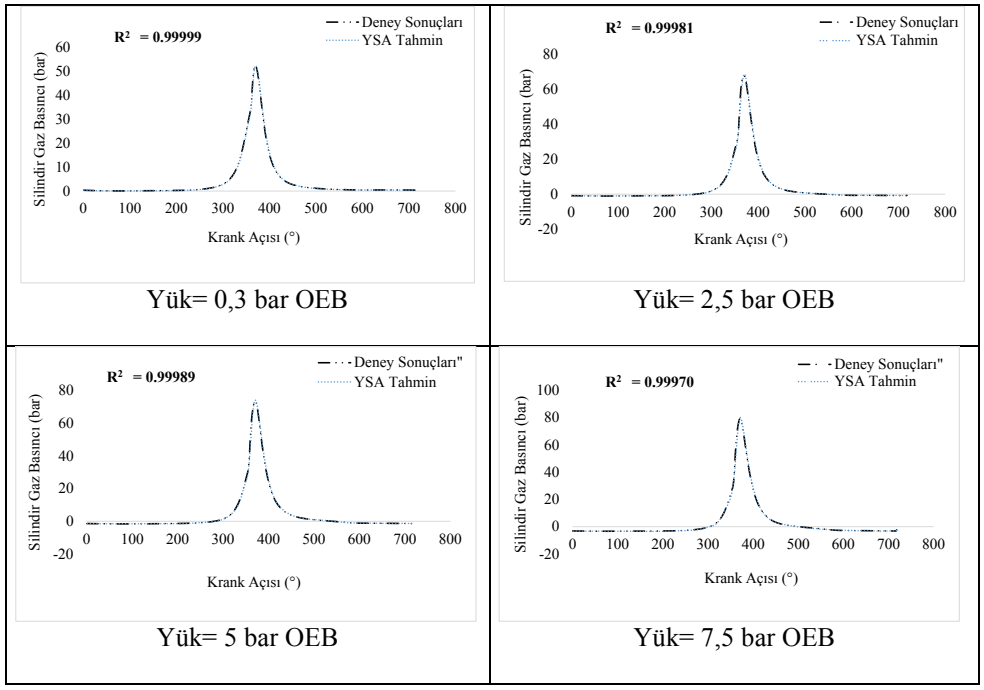
4.5.2.5. Silindir gaz basıncının YSA ile tahmini

Şekil 4.102'de görüldüğü gibi, DB-PSY30-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99966, 0.99985, 0.99948, 0.99956 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PSY30-2,5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



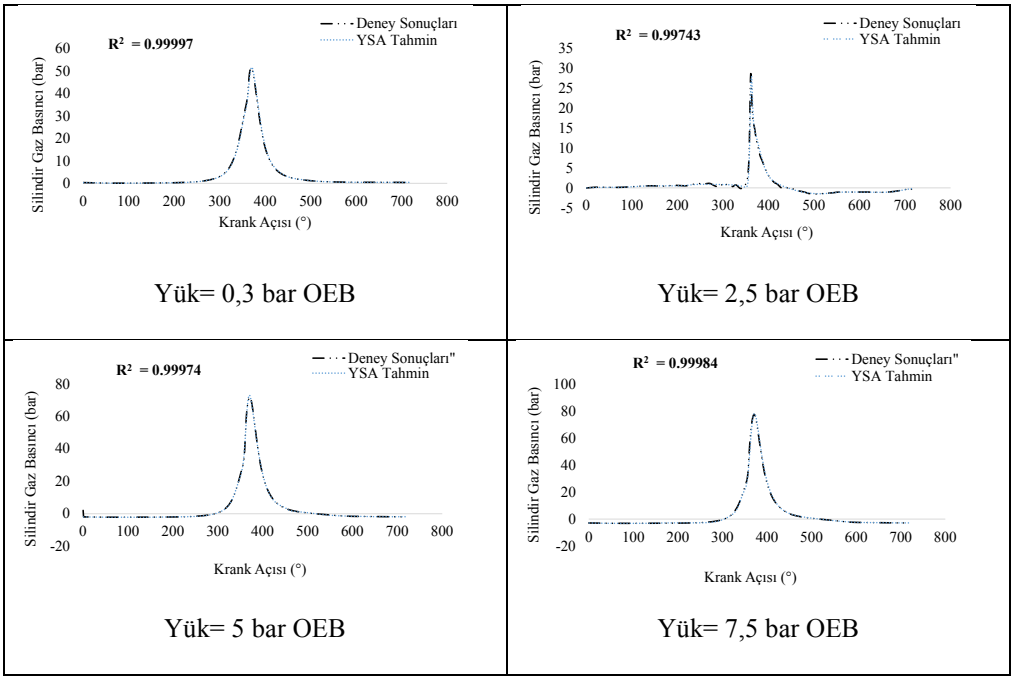
Şekil 4.102. DB-PSY30 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.103'te görüldüğü gibi, DB-PY10-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99999, 0.99981, 0.99989, 0.99970 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PY10 -0,3 bar OEB yükte elde edilmiştir.



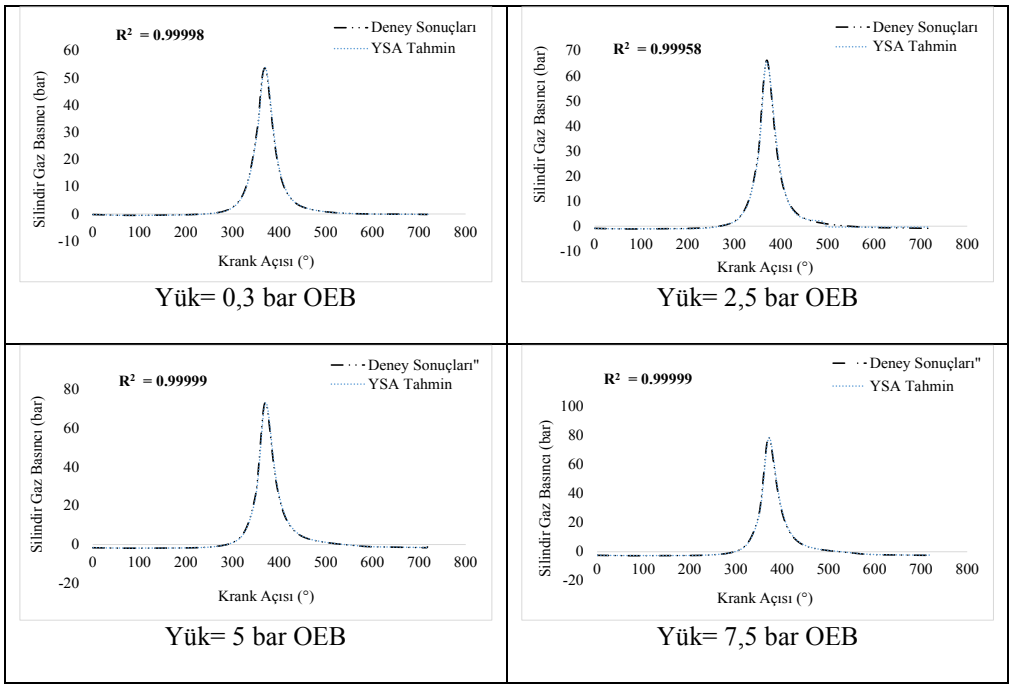
Şekil 4.103. DB-PY10 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.104'te görüldüğü gibi, DB-PY20-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99997, 0.99743, 0.99974, 0.99984 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PY20 -0,3 bar OEB yükte elde edilmiştir.



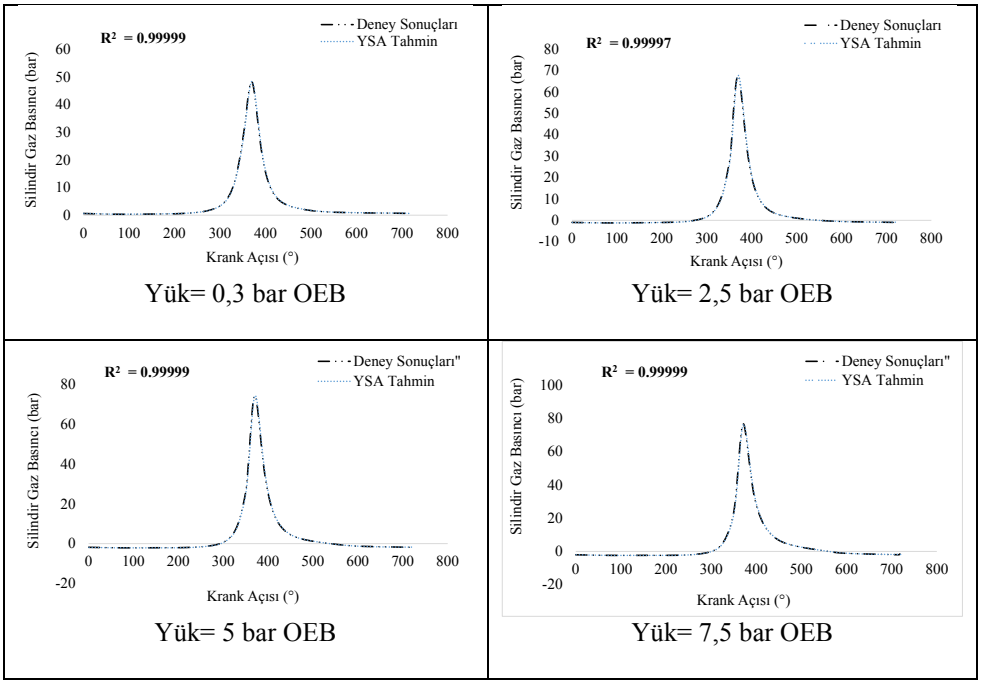
Şekil 4.104. DB-PY20 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.105'te görüldüğü gibi, DB-PY20EN5-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99998, 0.99958, 0.99999, 0.99999 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PY20EN5 -5-7,5 bar OEB elde edilmiştir.



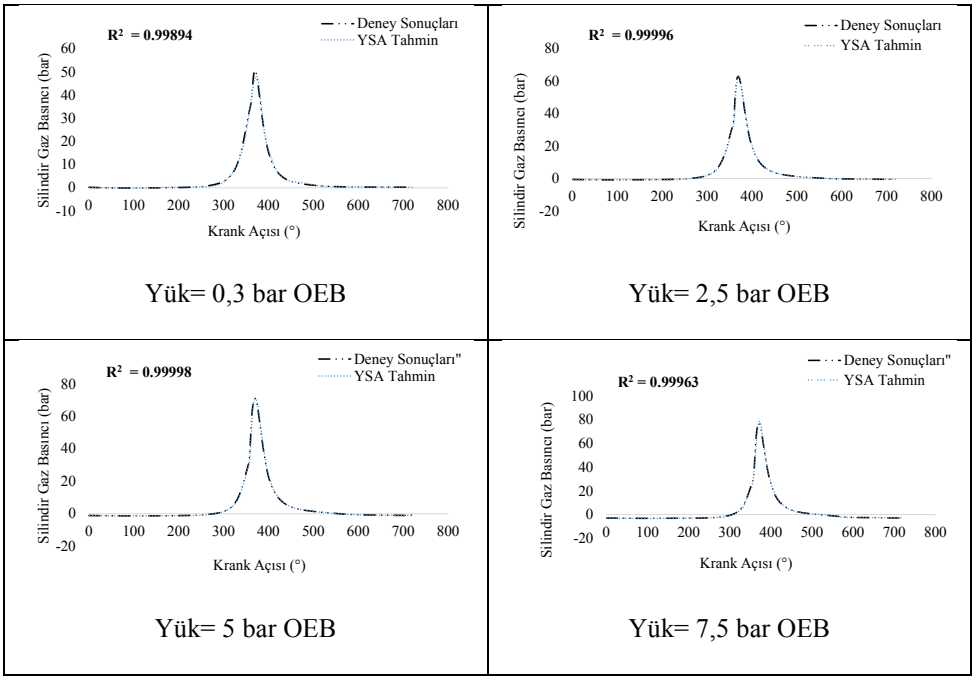
Şekil 4.105. DB-PY20EN5 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.106'da görüldüğü gibi, DB-PY20EN10-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99999, 0.99997, 0.99999, 0.99999 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahminin DB-PY20EN10 -0,3-5-7,5 bar OEB yüklerde elde edilmiştir.



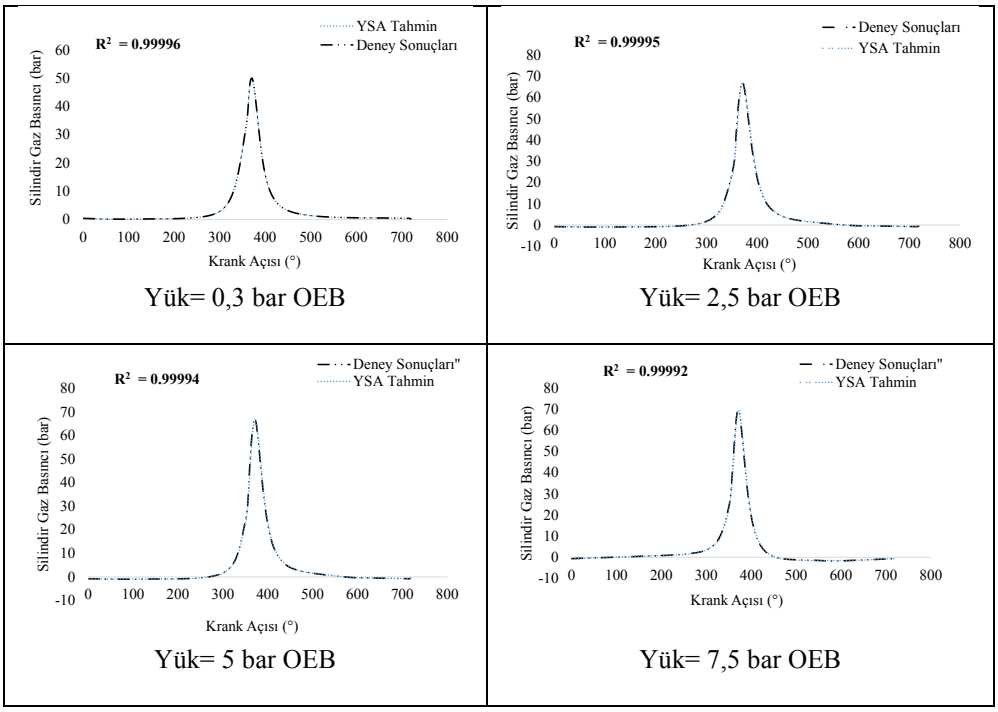
Şekil 4.106. DB-PY20EN10 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.107'de görüldüğü gibi, DB-PY30-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.999894, 0.99996, 0.99998, 0.99963 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-PY30 -5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



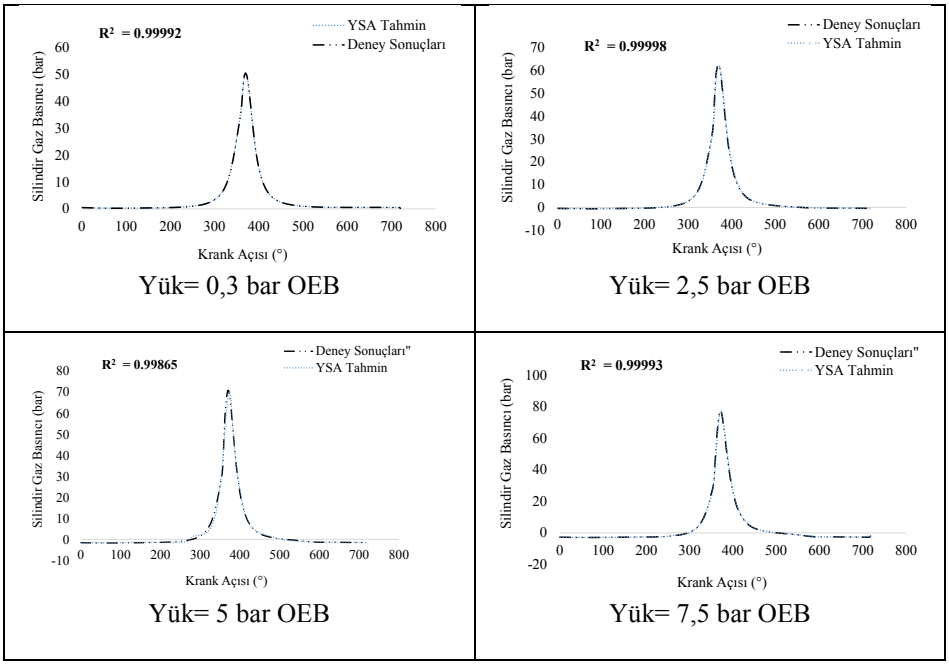
Şekil 4.107. DB-PY30 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.108'de görüldüğü gibi, DB-SY10-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99996, 0.99995, 0.99994, 0.99992 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-SY10 -0,3 bar OEB yükte elde edilmiştir.



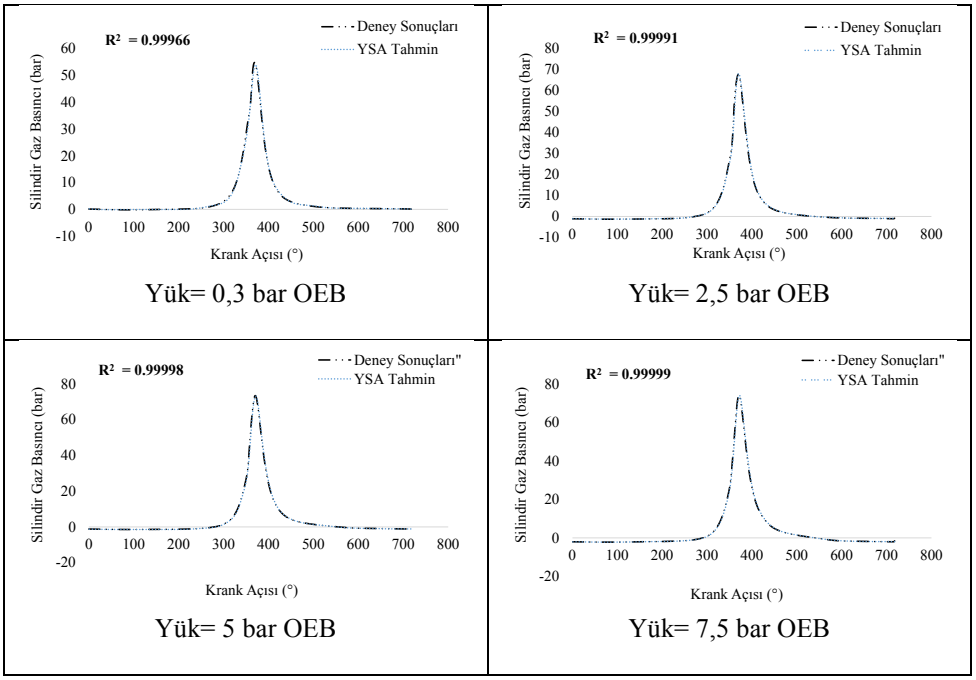
Şekil 4.108. DB-SY10 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.109'da görüldüğü gibi, DB-SY20-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99992, 0.99998, 0.99865, 0.99993 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-SY20-2,5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



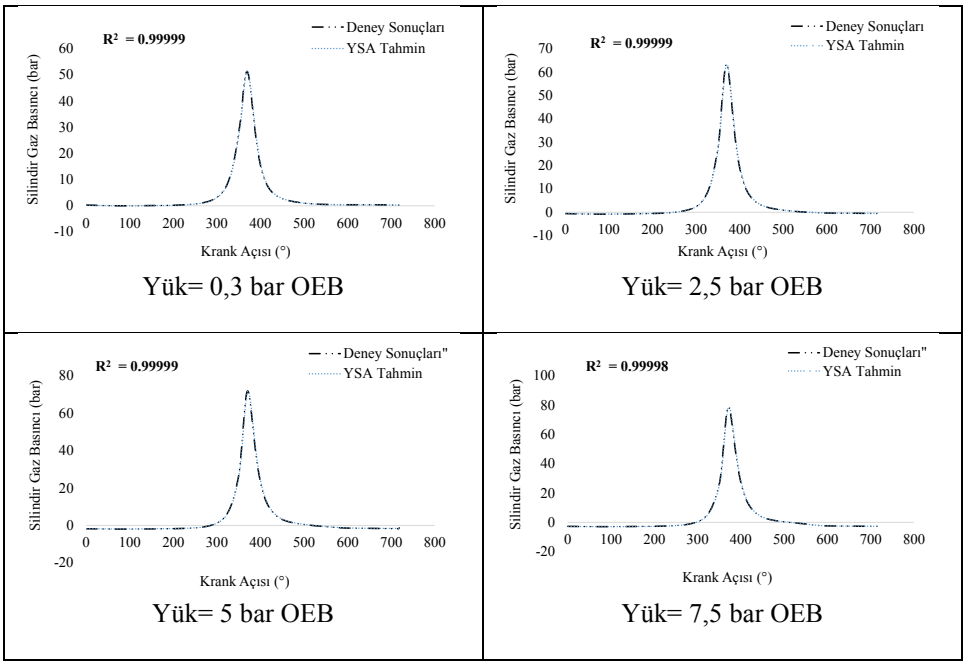
Şekil 4.109. DB-SY20 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.110'da görüldüğü gibi, DB-SY20EN5-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99966, 0.99991, 0.99998, 0.99999 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA ile en iyi tahmin sonucu DB-SY20EN5-7,5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



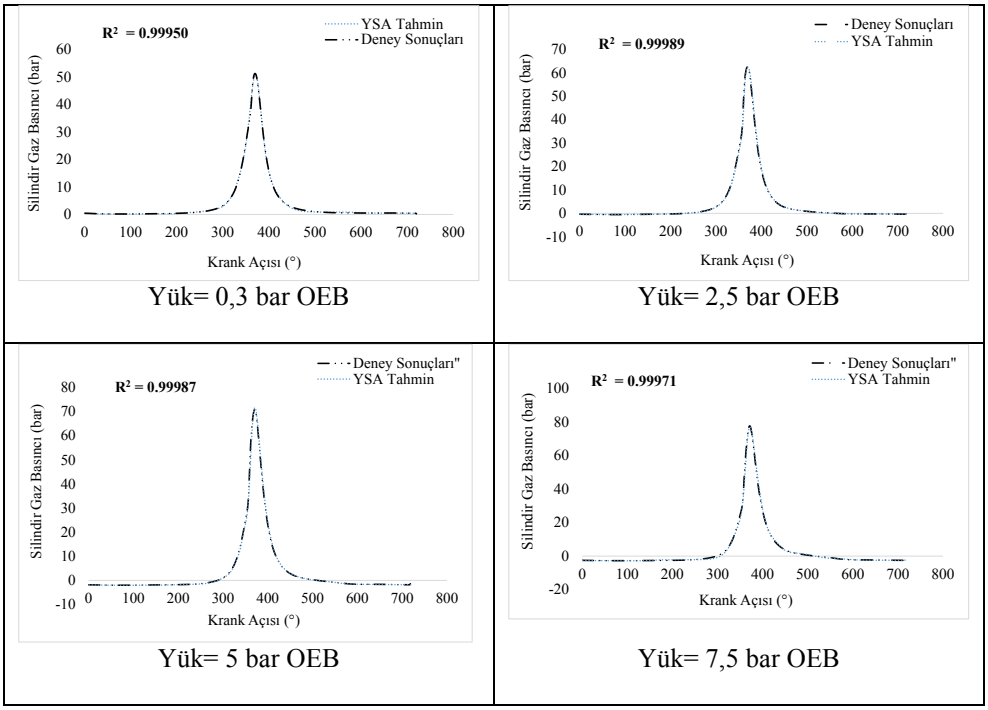
Şekil 4.110. DB-SY20EN5 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.111'de görüldüğü gibi, DB-SY20EN10-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99999, 0.99999, 0.99999, 0.99998 elde edilmiştir. Elde edilen YSA tahmin sonuçlarına göre en iyi tahmin sonucu DB-SY20EN10 -0,3-2.5-5 bar OEB yüklerde elde edilmiştir.



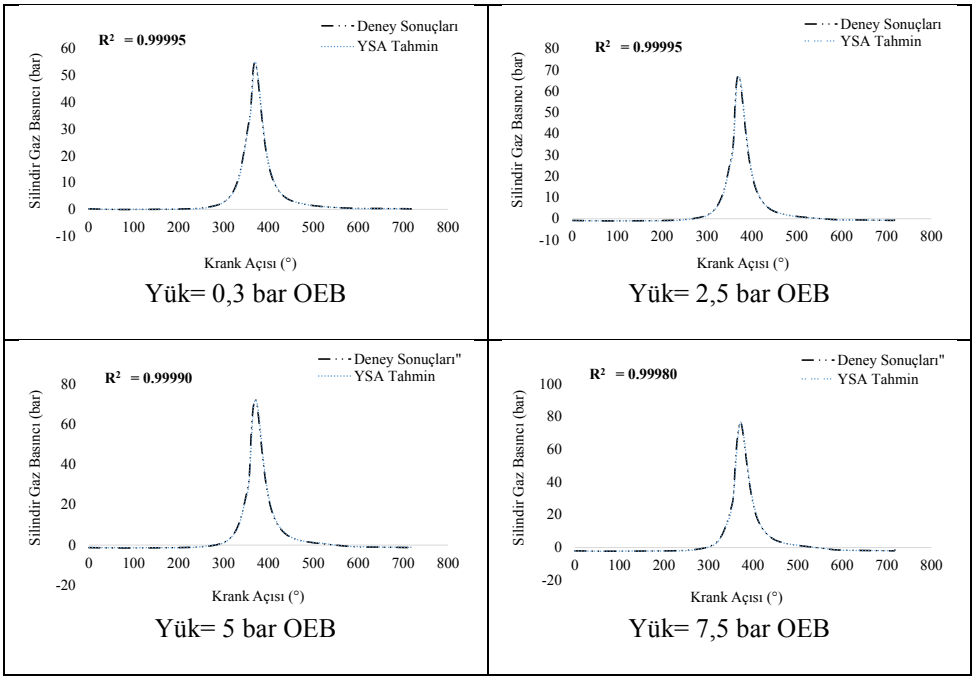
Şekil 4.111. DB-SY20EN10 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.112'de görüldüğü gibi, DB-SY30 -(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99950, 0.99989, 0.99987, 0.99971 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DB-SY30-2,5 bar OEB yükte elde edilmiştir.



Şekil 4.112. DB-SY30 yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Şekil 4.113'te görüldüğü gibi, DY-(0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB) değerlerindeki yüklerde gerçekleştirilen deney sonuçları ve YSA dan elde edilen tahmin sonuçları değerlerinin karşılaştırılmasında elde edilen R^2 değerleri sırasıyla 0.99995, 0.99995, 0.99990, 0.99980 elde edilmiştir. Farklı yüklerde elde edilen YSA değerlerinde en iyi tahmin sonucu DY -0,3-2,5 bar OEB yüklerde elde edilmiştir.



Şekil 4.113. DY yakıtın SGB deneysel sonuçların YSA ile tahmini

Silindir gaz basıncının YSA ile tüm yükler (0,3 bar- 2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB)'deki karşılaştırmalarında elde edilen en iyi R^2 tahminindeki değerler için sırasıyla; DB-PSY30-2,5 bar ile 0.99985, DB-PY10-0,3 bar ile 0.99999, DB-PY20-0,3 bar ile 0.99997, DB-PY30-5 bar ile 0.99998, DB-SY10-0,3 bar ile 0.99996, DB-SY20-2,5 bar ile 0.99998, DB-SY30-2,5 bar ile 0.99989, DB-PY20EN5-(5-7.5) bar ile 0.99999, DB-PY20EN10-(0-5-7.5) bar ile 0.99999, DB-SY20EN5-7,5 bar ile 0.99999, DB-SY20EN10-(0,3-2,5-5) bar ile 0.99999, DY-(0,3-2,5) bar ile 0.99995 en iyi tahmin sonuçları elde edilmiştir. Tüm bu yakıtların içerisinde silindir gaz basıncı ile en iyi YSA tahminindeki R^2 değeri DB-PY10-0,3 DB-SY20EN5-7,5 ve DB-PY20EN10-(0,3-5-7,5) bar ile 0.99999 yakıtı olduğu tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, dizel motorlarında kullanılmak üzere piroliz yöntemiyle atık sanayi ve atık plastiklerinden DBY elde edilmiştir. Piroliz yöntemi ile üretilen bu iki farklı yakıt numunelerinin kimyasal özelliklerine ilişkin testler süreç içerisinde gerçekleştirilmiştir. Kimyasal analizlerin sonunda üretilen DB-SY yakıttaki kükürt muhteviyatının DY sınırları içerisinde olduğu, ancak DB-PY yakıtında yüksek kükürt muhteviyatın olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda DB-PY yakıtındaki düşük setan indisinden dolayı, setan iyileştirici katkı maddesi (EN) kullanılmıştır. Üretilen her iki yakıta çeşitli kükürt giderme işlemleri uygulanarak kükürt oranı düşürülmeye çalışılmıştır. Üretilen yakıtları bir dizel motorunda kullanılabilirliğini test etmek için motor testine tabii tutulmuştur. Farklı yüklerde test motorunda kullanılmaya hazır olan DB-PY ve DB-SY yakıtları hacimsel olarak farklı oranlarda (%10,%20, %30) standart dizel karışımlı ve [karışımlı (20) + EN (5-10)] katkılı olarak hazırlanan yakıt numuneleri ilgili motorlarda testlere tabi tutulmuştur. Motor testine tabi tutulan bu yakıtlardan yanma, motor performansı ve emisyonlara etkileri detaylı bir şekilde incelenerek standart dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Deneylerde elde edilen yanma parametrelerini oluşturan veri setleri yapay sinir ağlarının oluşturulması için yeterli olduğundan, elde edilen sonuçlar YSA aracılığı ile tahmin edilmiştir. Bu çalışmadaki yakıt üretim süreci, motor test işlemleri ve YSA ile ilgili tahmini verilerin sonuçları aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Özel firmalardan temin edilen atık yağları ayrı bir şekilde piroliz reaksiyonu uygulanmış olup, normal atmosfer basıcında 20 ^{o}C - 400 ^{o}C sıcaklıklarda piroliz işlemi uygulanmıştır.
- Atık sanayi yakıt üretiminde benzin benzeri ilk ürün 160 ^{o}C de son ürün ise 180 ^{o}C sıcaklıkta elde edilmiş olup en yüksek ürün verini 180 ^{o}C elde edilmiştir. Dizel benzeri yakıt üretiminde ise ilk ürün 200 ^{o}C sıcaklıkta alınmaya başlanıp son ürün 360 ^{o}C sıcaklıkta elde edilmiştir. En yüksek ürün verimini 300 ^{o}C elde edildiği tespit edilmiştir.
- Atık plastik yakıt üretiminde benzin benzeri ilk ürün 100 ^{o}C de son ürün ise 180 ^{o}C sıcaklıkta elde edilmiş olup en yüksek ürün verimi 160 ^{o}C elde edilmiştir. Dizel benzeri yakıt üretiminde ise ilk ürün 200 ^{o}C sıcaklıkta alınmaya başlanıp son ürün 325 ^{o}C sıcaklıkta elde edilmiştir. En yüksek ürün verimini 240 ^{o}C elde edildiği tespit edilmiştir.

- Üretimi gerçekleştirilen dizel benzeri yakıt numunelerinden; DB-PY yakıtının kükürt içeriği standart değer aralığının çok üzerinde iken, dizel benzeri sanayi yakıtın standart değer aralığında olduğu tespit edilmiştir. DB-PY yakıtındaki kükürt içeriğini düşürmek için her iki yakıt numunesine kükürtsüzleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir.
- DB-SY yakıt numunesinin kükürt oranı DY değerlerinde kabul görmesine rağmen daha da azaltılması kapsamındaki yapılan çalışmada, 500 ml yakıt numunesi içerisine kütlesel olarak kalsiyum oksit (CaO-Kireçtaşı), Perlit ve Zeolit katalizörlerini kütlesel olarak %10 oranında ilave ederek piroliz reaksiyonuna tabi tutulmuştur. Katalizör maddeleri kullanımının bir miktar olsa da kükürt oranının düşmesi beklenirken tam tersi yönde hiç değişmediği %10 perlit kullanımında %131,4, kalsiyum oksit (CaO) %6,4 artış olduğu, zeolit kullanımında ise herhangi bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Bu da yakıtın içerisindeki bir miktar kükürt ile katkı maddelerinin içerisindeki bileşiklerin piroliz sürecinde zıt bir reaksiyon tepkimesi sonucu kükürt bileşimlerini artırabildiği düşünülmüştür.
- DB-PY yakıt numunesinin kükürt oranının düşümü için yapılan bu çalışmada, 500 ml yakıt numunesi içerisine kütlesel olarak %10 oranında; Kalsiyum Oksit (CaO-Kireçtaşı), Zeolit ve Perlit katalizörlerini yakıtın içerisine ilave ederek her biri için ayrı piroliz reaksiyonuna tabi tutulmuştur. Kullanılan bu katkı maddeleri az miktarda gözenek yapıları nispetinde yakıttaki kükürdü absorbe edebilmektedir. Katkı maddelerinin %10 oranındaki kullanımında; Perlit için %25,3, Zeolit için %0,9 ve Kalsiyum Oksit için ise %8,5 oranlarında bir kükürt azalması gerçekleştiği tespit edilmiştir. Her üç katkı maddesinin içerisinde en iyi kükürt giderme oranının birinci aşaması olan bazik katalizör ile piroliz reaksiyonlarında %10 perlit kullanımında olduğu tespit edilmiştir. Bu tespitler doğrultusunda DB-PY yakıtının tümüne %10 Perlit uygulanarak kükürt içeriğini %25,3 oranında giderilmiştir.
- Bazik kükürtsüzleştirme işlemi uygulandıktan sonraki aşama asidik kükürtsüzleştirme işlemine geçilmiştir. Asidik kükürtsüzleştirme reaksiyonlarında daha etkin olacağı düşüncesiyle, Sülfürik Asit (H_2SO_4), Asetik Asit (CH_3COOH) ve Formik Asit (CH_2O_2) tercih edilmiştir. Çözelti olarak Hidrojen Peroksit (H_2O_2) kullanılmıştır. Tüm dizel benzeri sanayi ve plastik yakıt numunelerinde asidik katalizör miktarına bağlı olmaksızın kükürt miktarının arttığı görülmüştür.
- Yapılan kükürtsüzleştirme neticesinde elde edilen dizel benzeri yakıt numunesi, dizel benzeri kükürtsüzleştirilmiş sanayi yakıt (DB-KSY), dizel benzeri

kükürtsüzleştirilmiş plastik yakıt (DB-KPY) olarak isimlendirilmiştir. Fiziksel ve kimyasal analizleri yapılarak, motor testine tabi tutulmuştur.

- Dizel benzeri sanayi yakıtın motorda test işlemine tabi tutulacak olan DB-SY, DB-PY (%10, %20, %30) karışımlı yakıtların, yoğunluk, viskozite kaynama noktası, parlama noktası, setan indisi, alt ısıl değer, Stokiyometrik hava yakıt oranı ve kükürt miktarı değerleri tespit edilmiştir. Yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliklerin, sınır değerler aralığında olduğu tespit edilmiştir.
- Distilasyon değerleri ile DB-KSY yakıt ile bu işleme tabi olmamış sanayi yakıtın ilk kaynama noktasında %4,06'lık bir artış olduğu, sonraki damıtma sıcaklıkların tümünde son kaynama sıcaklığı dâhil hepsinde %4 - %8 oranlarında bir azalış olduğu tespit edilmiştir. Kükürtsüzleştirmenin distilasyon sıcaklıkları üzerine çok az miktarda düşüşlere neden olduğu tespit edilmiştir. DB-KPY işlemine tabi olmuş plastik yakıtı ise ilk kaynama noktasının DB-PY yakıtına oranla %7,5'luk bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Distile edilen diğer sıcaklıklarda ise kükürtsüzleştirmenin çok az miktarda artışlara neden olduğu tespit edilmiştir.
- Deneyler için elde edilen dizel benzeri bu iki farklı yakıtı hacimsel olarak %10, %20 ve %30 ve %30 (%15 DB-SY +%15 DB-PY) olacak şekilde standart dizel yakıtına karıştırılarak hazırlanmıştır. Deney için hazırlanan tüm karışımlı yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri, egzoz emisyon ve yanma parametreleri testleri için standart dizel yakıtı baz alınarak değerlendirilmiştir. Deneyde kullanılmak üzere hazırlanan D100, DB-SY10, DB-SY20, DB-SY30, DB-PY10, DB-PY20, DB-PY30, DB-PSY30 ve katkılı DB-PY20EN5, DB-PY20EN10, DB-SY20EN5, DB-SY20EN10 olmak üzere on iki farklı yakıt üzerinde çalışmalar yapılmıştır.
- Dizel motorda test işlemine tabi tutulacak olan yakıtlarının ise yoğunluk, viskozite parlama noktası, alt ısıl değer ve kükürt miktarı değerleri tespit edilmiştir. DB-PY yakıtının kükürt miktarı ve setan sayısı haricindeki diğer kimyasal özelliklerin sınır değerler aralığında olduğu tespit edilmiş olup setan ve yanmayı iyileştirici ethylhexyl nitrat (EN) katkı maddesi ilave edilerek testler yapılmıştır.
- Test yakıtlarındaki SGB düşük yüklerde karışımlı yakıtların DY'ına göre bir miktar düştüğü, artan yük miktarı ile birlikte DB-PY karışımlarında olduğu tespit edilmiştir. Maksimum basıncı artıran etkenlerden birisi yakıtın kimyasal özelliklerinden biri olan setan indisidir. DB-PY yakıtın kimyasal özelliklerinden setan indisinin düşük olmasından kaynaklı tutuşma gecikmesinin uzamasına, hava/yakıt karışımının daha iyi

şekilde atomize olması, yanmanın iyi bir şekilde gerçekleşmesi ve buna bağlı emisyonların azalması olumlu bir sonuç olarak değerlendirilebilir.

- Ethylhexyl Nitrat (EN) katkılı test yakıtların SGB düşük yüklerde düşük katkılı (EN5) yakıtların oranları DY yakıtına yakın eşdeğerde iken, katkı oranının artması ile SGB bir miktar düştüğü gözlemlenmiştir. Yüksek yüklerde katkılı yakıtların silindir içi gaz basınç oranlarında ortalama olarak daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.
- Maksimum NIS karışımlı test yakıtları düşük yüklerde DY kullanımına göre az bir düşüş seyrederken, yükün artmasıyla yakıt tüketiminin artışına bağlı olarak bir miktar artışlar meydana gelmiştir. Yüksek yüklerdeki maksimum NIS daha çok DB-PY karışımlarında görüldüğü bunun nedenlerinden biri DY göre setan sayısının düşük olup tutuşma gecikmesinin uzamasına bağlı fazla yakıtın silindirlerin içerisine alınıp yanma işleminin aniden oluşması sonucu maksimum NIS değeri daha yüksek olmuştur.
- Ethylhexyl Nitrat (EN) katkılı maksimum NIS karışımlı ve katkılı (EN) test yakıtlarında DY kullanımına göre düşüş seyrederken, yükün artması ile maksimum NIS daha çok referans yakıtlarında görüldüğü tespit edilmiştir. Yüksek yüklerdeki maksimum NIS referans yakıtlarında olmasının nedenleri olarak; DY'ına göre ısıl değerin bir miktar daha düşük olması, yoğunlukların bir miktar daha yüksek olması sonucu silindir içi atomizasyonun tam oluşmaması olarak düşünülmektedir. Ethylhexyl nitrat katılan yakıtlarda bir miktar yoğunluk artışına neden olduğundan yaktın tutuşma gecikmesinin uzamasına bağlı fazla yakıtın silindirlerin içerisine alınıp ^{o}KMA üst ölü noktadan sonra ardıl yanma ile KIS dönüştüğü düşünülmektedir.
- Test yakıtları için motor yükünün artmasıyla KIS'da artış olduğu gözlemlenmiştir. Tüm yüklerde DB-SY yakıt karışımların kümülatif ısı salınımları DY'na göre daha düşük çıktığı gözlemlenirken, yüksek yüklerde DB-PY karışımların DY'ına göre ortalama olarak daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Yük artışı ile silindir içerisindeki basıncın artması, yoğunluğu daha yüksek olan DB-PY yakıtı havanın içerisinde daha iyi atomize olmasına ve yakıtın ısı enerjisine katılımını artırarak dizel yakıtına göre KIS bir miktar yüksek çıktığı düşünülmektedir.
- Ethylhexyl nitrat (EN) katkılı test yakıtları düşük yüklerde DY'ına göre KIS daha düşük iken, karışımlı yakıtlara göre ortalama bir miktar daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Yüksek yüklerde (5-7,5 bar OEB) katkılı test yakıtların DY ve diğer karışımlı yakıtlara göre ortalama daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Bunun temelinde yakıtlara katılan EN katkısının yoğunlukları bir miktar artırması sonucu yakıttan kaynaklı tutuşma gecikmesine bağlı silindirlerin içerisine alınan yakıt miktarından kaynaklı artışa

neden olduğu düşünülmektedir. Hava/yakıt karışımının daha iyi atomize olmasına ile ısı enerjisine katılımını artırarak kümülatif ısı salınımı bir miktar yüksek çıkmasına neden olduğu düşünülmüştür.

- Ortalama gaz sıcaklığı düşük yüklerde DY yakıtın diğer karışımlı tüm yakıtlardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak yük artıkça karışımlı yakıtların genelinde OGS bir miktar artış olduğu gözlemlenmiş ve elde edilen yakıtların kimyasal özellikleri DY'ına yakın değerlerde olduğu değerlendirilebilir. DB-PY yakıtlı karışımın yüksek yüklerde bir miktar artış olması, yakıt içeriğindeki setan sayısının düşük, yoğunluğu ise DY'ına göre bir miktar yüksek olmasından kaynaklı tutuşma gecikmesinin uzamasına bağlı olarak biriken ek yakıtların bir kısmı egzoz zamanında yanması olarak açıklanabilir.
- Ethylhexyl Nitrat (EN) katkılı yakıtların ortalama gaz sıcaklıklarının DY'ına göre düşük yüklerde DY maksimum OGS diğer karışımlı ve katkılı yakıtlara göre bir miktar yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak artan yükle birlikte (5 bar-7,5 bar OEB) katkılı test yakıtların genelinde, karışımlı test yakıtlarına göre maksimumdaki ortalama gaz sıcaklıklarında bir miktar artış olduğu gözlemlenmiştir.
- Test yakıtlarındaki maksimum BAO; tüm yüklerde DB-SY yakıtların DY'na göre düşük olduğu, DB-PY karışımlı test yakıtında ise yüksek yüklerde ortalama DY'na göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Tüm yüklerde karışımlı yakıtların DY yakıtına göre benzer değerler göstermesi, tutuşma ve kontrolsüz bir yanmanın olmadığı ile açıklanabilir.
- Ethylhexyl Nitrat (EN) katkılı yakıtlar ile diğer yakıtların maksimum BAO katkılı (EN) yakıtlara göre ciddi bir artış oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Maksimum BAO yük artışına bağlı olarak arttığı, bu da silindirlerin içerisine gönderilen yakıt miktarındaki artıştan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Etilhexil Nitrat katkılı yakıtlardaki basınç artış oranlarındaki düşüklüğün en önemli nedeni; tutuşma gecikmesinin kısa sürmesine bağlı düşük setan indisine sahip olan yakıtlar ve silindirlerin içerisine alınan havanın basınç ve sıcaklığa bağlı olabileceği düşünülmektedir. Tutuşma gecikmesinin kısa sürmesi daha kontrollü bir yanma, vuruntusuz çalışma ve uygun emisyonlara neden olduğundan katkılı (EN) yakıtlar için olumlu bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir.
- Özgül yakıt tüketiminde DY'ın diğer karışımlı test yakıtlarına göre daha düşük oranda olduğu tespit edilmiştir. Dizel yakıtına göre ÖYT yüksek çıkan yakıtların daha çok Ethylhexyl nitrite (EN) katkılı ve sanayi-plastik karışımlı deney yakıtlarında olduğu, bununda temel nedeni bu karışımlı yakıtlardaki yoğunluk ve vizkozitelerin DY'ına göre yüksek olmasından kaynaklı silindir içerisindeki hava/yakıt karışımının iyi bir

atomizasyon meydana getirmediği düşünülmektedir. Ayrıca düşük yüklerde özgül yakıt tüketiminin yüksek olması yanma parametrelerindeki silindir içi sıcaklıkların düşük olmasının etkili olduğu söylenebilir.

- Efektif verimde dizel yakıtının hacimsel olarak farklı oranlardaki karışımlara göre yük miktarının artmasına bağlı olarak arttığı, tüm yüklerde DY 'ın diğer karışımlı test yakıtlara göre ortalama daha yüksek bir efektif verim sahip olduğu tespit edilmiştir. Yakıta eklenen katkı maddesi ethylhexyl nitrate (EN) efektif verim değerinin diğer test ve DY'ına göre düşük çıkması, setan sayısına bağlı tutuşma süresinin uzaması, yüksek yoğunluk ve diğer yakıtlara göre bir miktar daha düşük kalorifik değere sahip olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.
- HC emisyonu tüm test yakıtlarında yükün artmasıyla artış olduğu gözlemlenmiş olup tüm yüklerdeki test yakıtları için en düşük HC emisyonlarının EN katkılı test yakıtlarında olduğu gözlemlenmiş ve yanmayı etkin bir şekilde iyileştirdiği tespit edilmiştir.
- NO_X emisyonu tüm test yakıtlarında yük miktarı ile arttığı tespit edilmiş olup, DY kullanımı yüksüz (0,3 bar OEB) durumda ortalama karışımlı yakıtlara göre düşük, 2,5 bar OEB ve katkılı (EN) yakıtlarına göre daha yüksek NOx'lere sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak yüksek yüklerde karışımlı ve EN katkılı yakıtların DY'ına göre ortalama NOx değerlerinde artışların olduğu tespit edilmiştir. Düşük yüklerde katkılı (EN) test yakıtlarının dizel yakıtına göre daha düşük çıkması katkı maddesinin yakıtta soğutma etkisine ve yüksek buharlaşma gizli ısısına bağlı olabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda daha homojen bir karışımla sıkıştırma sonu sıcaklığının düşüşü ve silindir içerisindeki lokal bölgelerin azalması ile ifade edilebilir.
- CO_2 emisyonu yük artışına bağlı arttığı, düşük yüklerde DY'ın diğer karışımlı ve EN katkılı test yakıtlarına göre CO_2 emisyonunun daha yüksek olması tam yanmaya en yakın yakıtlar olduğu tespit edilmiştir. Yüksek yüklerdeki test yakıtlarının CO_2 emisyon değerleri DY'ına göre ortalama olarak daha yüksek çıkmasının temelinde ise düşük ısıl değere sahip olan karışımlı ve katkılı yakıtların aynı enerjiyi üretebilmesi için zengin karışımla çalışmalarından kaynaklıdır. Katkılı (EN) test yakıtları ortalama düşük devirlerde diğer yakıtlara oranla daha düşük CO_2 emisyonlarına sahipken, yükün artması ile tam tersi oranında bir artışa neden olduğu tespit edilmiştir.
- Yük artışına bağlı olarak duman koyuluğunun yüzdesinde artış olduğu tespit edilmiştir. Yüksüz (0,3 bar OEB) ve (2,5 bar OEB) orta yüklerde katkılı (EN) yakıtlarda duman koyuluğu yüksek iken, maksimum yüklerde (5 bar-7,5 bar OEB) ise katkılı (EN)

yakıtların duman koyuluğu diğer yakıtlara göre düştüğü gözlemlenmiştir. Düşük yüklerdeki katkılı (EN) yakıtların silindir içi gaz sıcaklığının düşüklüğü, yoğunluğa ve katkı oranının artışına bağlı olarak yüksek çıktığı, yük artıkça artan silindir içi gaz sıcaklıkları ile duman oksidasyon hızının artması sonucu duman koyuluklarının azaldığı tespit edilmiştir.

- YSA tıpkı insan beynini taklit ederek, farklı sinir hücrelerinin birbirleri arasındaki iletişim etkinliğinin seviyesi sonucu ortaya çıkan bir sistemin Matematiksel model olarak alınan deneysel verileri matlab yazılım modelinde kullanılmıştır. Matlab yazılımında yapay sinir ağları modülünde deney verileri girdi, çıktı ve test verileri olarak tanımlanmıştır. Bu modül kullanılarak ileri beslemeli ağ oluşturulmuştur. Test verileri için matlab yazılımının verdiği çıktılar alınarak deney verilerindeki değerleriyle karşılaştırılmıştır.
- Basınç artış oranın YSA ile tüm yükler (0,3 bar -2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB)'deki karşılaştırmalarında elde edilen en iyi R^2 tahminindeki değerler için sırasıyla; DB-PSY30-2,5 bar ile 0.99986, DB-PY10-2,5 bar ile 0.99198, DB-PY20-0,3 bar 0.99994, DB-PY30-5 bar ile 0.99919, DB-SY10-7,5 bar ile 0.99850, DB-SY20-5 bar ile 0.99989, DB-SY30-2,5 bar ile 0.99986, DB-PY20EN5-0,3 bar ile 0.99939, DB-PY20EN10-0,3 bar ile 0.99936, DB-SY20EN5-5 bar ile 0.99919, DB-SY20EN10-0,3 bar ile 0.99969, DY-0,3 bar ile 0.99991 en iyi tahmin sonuçları elde edilmiştir. Tüm bu yakıtların içerisinde basınç artış oranı ile en iyi YSA tahminindeki R^2 değeri DB-PY20-0,3 bar ile 0.99994 olduğu tespit edilmiştir.
- Deneysel NIS verileri YSA ile tüm yükler (0,3 bar -2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB)'deki karşılaştırmalarında elde edilen en iyi R^2 tahminindeki değerler için sırasıyla; DB-PSY30-5 bar ile 0.99919, DB-PY10-2,5 bar ile 0.99874, DB-PY20-2,5 bar ile 0.99894, DB-PY30-5 bar ile 0.99861, DB-SY10-0,3 bar ile 0.99895, DB-SY20-0,3 bar ile 0.99894, DB-SY30-2,5 bar ile 0.99986, DB-PY20EN5-5 bar ile 0.99849, DB-PY20EN10-5 bar ile 0.99849, DB-SY20EN5-0,3 bar ile 0.99849, DB-SY20EN10-7,5 bar ile 0.99798, DY-2,5 bar ile 0.99885 en iyi tahmin sonuçları elde edilmiştir. Tüm bu yakıtların içerisinde basınç artış oranı ile en iyi YSA tahminindeki R^2 değeri DB-PSY30-5 ile 0.99919 olduğu tespit edilmiştir.
- Ortalama gaz sıcaklığının YSA ile tüm yükler (0,3 bar -2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB)'deki karşılaştırmalarında elde edilen en iyi R^2 tahminindeki değerler için sırasıyla; DB-PSY30-0,3 bar ile 0.99975, DB-PY10-0,3 bar ile 0.99999, DB-PY20-0,3 bar ile 0.99975, DB-PY30-5 bar ile 0.99861, DB-SY10-0,3 bar ile 0.99997, DB-SY20- bar 5 ile

0.99993, DB-SY30-7,5 bar ile 0.99988, DB-PY20EN5-(0,3-7,5) bar ile 0.99998, DB-PY20EN10-(0,3-2,5 bar) ile 0.99997, DB-SY20EN5-(0,3-5 bar) ile 0.99998, DB-SY20EN10-0,3 bar ile 0.99999, DY-0,3 bar ile 0.99997en iyi tahmin sonuçları elde edilmiştir. Tüm bu yakıtların içerisinde basınç artış oranı ile en iyi YSA tahminindeki R^2 değeri DB-SY20EN10-0,3 bar ile 0.99999 olduğu tespit edilmiştir.

- Kümülatif ısı salınımının YSA ile tüm yükler (0,3 bar -2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB)'deki karşılaştırmalarında elde edilen en iyi R^2 tahminindeki değerler için sırasıyla; DB-PSY30-7,5 bar ile 0.99995, DB-PY10-5 bar ile 0.99990, DB-PY20-5, 0.99993, DB-PY30-0,3 bar ile 0.99986, DB-SY10-5 bar ile 0.99996, DB-SY20-5 bar ile 0.99993, DB-SY30-7,5 bar ile 0.99996, DB-PY20EN5-7,5 bar ile 0.99988, DB-PY20EN10-2,5 bar ile 0.99992, DB-SY20EN5-(0,3-2,5) bar ile 0.99988, DB-SY20EN10-5 bar ile 0.99988, DY-7,5 bar ile 0.99995 en iyi tahmin sonuçları elde edilmiştir. Tüm bu yakıtların içerisinde basınç artış oranı ile en iyi YSA tahminindeki R^2 değeri DB-SY30-7,5- DB-SY10-5 bar ile 0.99996 yakıtı olduğu tespit edilmiştir.
- Silindir gaz basıncının YSA ile tüm yükler (0,3 bar -2,5 bar -5 bar -7,5 bar OEB)'deki karşılaştırmalarında elde edilen en iyi R^2 tahminindeki değerler için sırasıyla; DB-PSY30-2.5 bar ile 0.99985, DB-PY10-0,3 bar ile 0.99999, DB-PY20-0,3 bar ile 0.99997, DB-PY30-5 bar ile 0.99998, DB-SY10-0,3 bar ile 0.99996, DB-SY20-2,5 bar ile 0.99998, DB-SY30-2,5 bar ile 0.99989, DB-PY20EN5-(5-7,5) bar ile 0.99999, DB-PY20EN10-(0,3-5-7,5) bar ile 0.99999, DB-SY20EN5-7,5 bar ile 0.99999, DB-SY20EN10-(0,3-2,5-5) bar ile 0.99999, DY-(0,3-2,5) bar ile 0.99995 en iyi tahmin sonuçları elde edilmiştir. Tüm bu yakıtların içerisinde basınç artış oranı ile en iyi YSA tahminindeki R^2 değeri DB-PY10-0,3 bar, DB-SY20EN5-7,5 ve DB-PY20EN10-(0,3-5-7,5) bar ile 0.99999 olduğu tespit edilmiştir.

5.2 Öneriler

Firmaların numuneleri arasındaki farklı çelişkileri gidermek için, atık yağları karışımlı bir şekilde proses sürecinden geçirilmiştir. Deney motorunda üretilen DBY yakıt numunelerin hem laboratuvar analizleri hem de motor testlerinin sonuçları bir bütün halinde değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu bütünlükteki şartların başında ortamın sıcaklığı, dış basınç, motorun lineer çalışma koşulları gibi unsurların eşit niteliklerde olmasına dikkat edilmiştir. Hazırlanan test yakıtları motorda herhangi bir modifikasyona gidilmeden farklı karışımlarda dizel yakıtına karıştırılarak farklı yük şartlarında bir bütün

halinde değerlendirilmiştir. Üretilen test yakıtların test motorunda; yanma, performans, emisyon ve yapay sinir ağları modellenmesi ile ilgili daha fazla iyileştirmelerin yapılması için tavsiye edilen öneriler aşağıda sıralanmıştır.

• Piroliz reaktöründe kullanılan elektrik enerjinin yerine alternatif enerji (güneş enerjisi ya da rüzgâr enerjisi vb.) kaynaklarından faydalanarak enerji maliyeti minimize edebilecek kaynaklar tercih edilebilir.

• DB-PY yakıtında kükürt oranı standart DY değerlerine düşürülemediğinden kükürtsüzleştirme işleminde farklı katalizörlerin uygulanması önerilir.

• DB-SY yakıtın sadece piroliz işleminden geçirilerek herhangi bir katkı maddesine ihtiyaç duyulmadan karışımlı test yakıtı olarak kullanılabileceği önerilmektedir.

• DB-PY yakıtlarındaki yüksek yoğunluktan dolayı bu değerleri iyileştirebilecek katkı maddeleri kullanılarak yeni yakıt numuneleri ile motordaki davranışlar araştırılabilir.

• DB-PY yakıtlarında setan indisini artırmak için kullanılan Ethylhexyl Nitrate (EN) katkı maddesi kütlesel olarak karışımlı yakıtların içerisine katılan %5 ile %10 oranının çok yüksek olduğu çünkü bu katkı maddesinin yoğunluğu artırıcı özelliği olduğu tespit edilmiştir. Yoğunluğun artışına bağlı olan setan indisinde istenilen iyileştirmeleri gerçekleşmediği tespit edilmiştir. Bu nedenle kullanılacak bu katkı maddesini hacimsel olarak %1, %1,5, ve %3 oranlarında yakıt numunelerine katılarak test yakıtında analizleri yapılıp deney motorundaki davranışların incelenmesi tavsiye edilir.

• Enerji açısından dışa olan bağımlılığımızı azaltmak ve gelecek nesillerimize daha temiz bir çevre bırakmak adına, Türkiye'de tüm sektörlerde atık hale gelen bütün plastik ve yağların enerjiye dönüşümünü sağlayabilmek için, geri dönüşüm tesisleri sayısının devlet destekli artırılıp, kayıt dışı olan atıkları bir bütün halinde kayıt altına alınacak çalışmaların yürütülmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Abbaszadeh, P., Maleki, A., Alipour, M., & Maman, Y. K., 2013, Iran's oil development scenarios by 2025. *Energy policy*, *56*, 612-622.

Ariga, J. M., 2002, Internalizing Environmental Quality in a Simple Endogenous Growth Model *Department of Agricultural and Resource Economics University of Maryland Collge Park*, MD 20742 December, 9

Andrady, A. L., & Neal, M. A.,2009, Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1526), 1977-1984.

Achilias, D. S., Roupakias, C., Megalokonomos, P., Lappas, A. A., & Antonakou, E. V., 2007, Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene (LDPE and HDPE) and polypropylene (PP). *Journal of hazardous materials*, *149*(3), 536-542.

Akış, B., 2013, İstatistiki Yöntemlerle Değer Belirleme ve Değer Haritası Üretimi-Selçuklu Örneği, *Selçuk Üniversitesi, FBE* Yüksek Lisans Tezi, Konya, 13-16.

Arıkan, A., 2007, Sert Plastik Ambalajlar. *SEPAASD ortak yayını, Şan Ofset, (s 6)*, İstanbul, 41-46.

Arı, V., 2007, Türkiye enerji kaynakları, enerji planlaması ve enerji stratejileri. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana*, 38-138.).

Awuchi, C. G., & Awuchi, C. G., 2019, İmpacts of plastic pollution on the sustainability of seafood value chain and human health. *International Journal of Advanced Academic Research*, *5*(11), 46-138.

Ağbulut, Ü., Yeşilyurt, M. K., & Sarıdemir, S., 2021, Wastes to energy: Improving the poor properties of waste tire pyrolysis oil with waste cooking oil methyl ester and waste fusel alcohol–A detailed assessment on the combustion, emission, and performance characteristics of a CI engine. *Energy*, *222*, 119942.

Arpa, O., Yumrutas, R., & Demirbas, A., 2010, Production of diesel-like fuel from waste engine oil by pyrolitic distillation. *Applied Energy*, *87*(1), 122-127.

Arpa, O., Demir, M., & Yumrutaş, R., 2019, Atık Yağlama Yağından Elde Edilen Yakıt-Motorin Karışımlarının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarının Araştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, *10*(1), 191-201.

Apaydın Varol, E., 2007, Farklı Biyokütlelere Değişik Isıl İşlemler Uygulanması ve Elde Edilen Ürün Özelliklerinin Belirlenmesi Doktora Tezi *Anadolu Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı,* Eskişehir, 14-20.

Bahrami, M., & Abbaszadeh, P., 2013, An overview of renewable energies in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *24*, 198-208.

Barrowclough, D., Birkbeck, C. D., & Christen, J., 2020, Global trade in plastics: insights from the first life-cycle trade database, *UNCTAD Research Paper No. 53 UNCTAD/SER.RP/2020/12*,USA, 13-18.

Batır, B., 2002, Türkiye için kullanılmış plastik yönetimi araştırması, Yüksek Lisans Tezi *İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı,* İstanbul, 42-46.

Banapurmath, N. R., Tewari, P. G., and Hosmath, R. S., 2008, Performance and emission characteristics of a DI compression ignition engine operated on Honge, Jatropha and sesame oil methyl esters. Renewable Energy, 33(9), 1982-1988.

Basina, L. N. A., 2019, Modeling and Control of Maximum Pressure Rise Rate in RCCI Engines. Dissertations, Master's Theses and Master's Reports, Michigan Technological University, Michigan.

Bhaskar, T., Uddin, M. A., Muto, A., Sakata, Y., Omura, Y., Kimura, K., & Kawakami, Y., 2004, Recycling of waste lubricant oil into chemical feedstock or fuel oil over supported iron oxide catalysts. *Fuel*, *83*(1), 9-15.

Barnes, D. K., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M., 2009, Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, *364*(1526), 1985-1998.

Balat, M., 2008, Diesel-like fuel obtained by catalytic pyrolysis of waste engine oil. *Energy Exploration & Exploitation*, *26*(3), 197-208.

Brooks, A. L., Wang, S., & Jambeck, J. R.,2018, The Chinese import ban and its impact on global plastic waste trade. *Science advances*, *4*(6), eaat0131.

Brunt, M. F. J., and Platts, K. C., 1999, Calculation of heat release in direct injection diesel engines. SAE transactions, 161-175.

Bolat, D., Emine, C. G., Gedik, K., & Perihan, K. K., 2016, Yağ Sektörü Ürün veya Atıklarının Alternatif Yakıt Olarak Kullanılmasının Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, *21*(1), 25-44.

Bekar, N., 2020, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye'nin Enerji Jeopolitiği. *Türkiye Siyaset Bilimi Dergisi*, *3*(1), 37-54.)

Chatterjee, S., & Hadi, A. S., 2015, Regression Analysis By Example. John Wiley & Sons*., New jersey*, Canada,1-25-57-93,

Cornish, E., 2004, Futuring: The exploration of the future. *World Future Society. Bethesda, Maryland 20814* U.S.A.301-656- 8274.

Celik, G., Kennedy, R. M., Hackler, R. A., Ferrandon, M., Tennakoon, A., Patnaik, S., & Delferro, M., 2019, Upcycling single-use polyethylene into high-quality liquid products. *ACS central science*, *5*(11), 1795-1803.

Ciniviz, M., İlker, Ö. R. S., & Kul, B. S., 2017, The effect of adding EN (2-ethylhexyl nitrate) to diesel-ethanol blends on performance and exhaust emissions. *International Journal of Automotive Science and Technology*, *1*(1), 16-21.

Canan, S., 2006, Yapay sinir ağları ile gps destekli navigasyon sistemi Doktora Tezi *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya, 47-49.

Çanakçı, M., Erdil, A., & Arcaklioğlu, E., 2006, Performance and exhaust emissions of a biodiesel engine. Applied Energy, 83(6), 594-605.

Del Giudice, V., De Paola, P., & Cantisani, G. B., 2017, Valuation of real estate investments through Fuzzy Logic. *Buildings*, *7*(1), 26.

Dasgupta, M., & Mishra, S. K., 2004, Least absolute deviation estimation of linear econometric models: *A literature* review. *Available at SSRN 552502*.

Di Maria, C., & Valente, S., 2008, Hicks meets Hotelling: the direction of technical change in capital–resource economies. *Environment and Development Economics*, *13*(6), 691-717.

De, D., Das, A., De, D., Dey, B., Debnath, S. C., & Roy, B. C., 2006, Reclaiming of ground rubber tire (GRT) by a novel reclaiming agent. *European Polymer Journal*, *42*(4), 917-927.

Demirbas, A. H., & Demirbas, I., 2007, Importance of rural bioenergy for developing countries. *Energy Conversion and Management*, *48*(8), 2386-2398.

Doğan, O., Özdalyan, B., Dörtbölük, C., Candan, Ş., & Candan, E., 1957, The effect of scrap tyre fuel on diesel engine performance and emissions. In *5th International advanced technologies symposium-IATS* Vol. 9, pp. 13-15.

Damanik, N., Ong, H. C., Tong, C. W., Mahlia, T. M. I., & Silitonga, A. S., 2018, A review on the engine performance and exhaust emission characteristics of diesel engines fueled with biodiesel blends. *Environmental Science and Pollution Research*, *25*, 15307-15325.

Demir, M., 2018, Atık yağlama yağlarından elde edilen dizel benzeri yakıt-motorin karışımlarının motor performans ve egzoz emisyon değerlerinin deneysel incelenmesi Yüksek Lisans Tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı,* Diyarbakır, 29-33-39.

Ekrem, Yüce & Kılıç, M., 2014, PVC ve PET atıkların seçimli flotasyonu bölüm 1: plastik ler; çevresel etkileri; geri dönüşümü. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *29*(2), 79-94.

Eroğlu, A., 2019, Malatya'daki atık plastiklerden piroliz yöntemiyle alternatif yakıt üretilmesi ve içten yanmalı bir motorda yakıt olarak kullanılması Yüksek Lisans

Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Malatya, 48-56.

Fingas, M., & Brown, C. E., 2014, Oil spill remote sensing. Handbook of oil spill science and technology, 311-356. https://doi.org/10.1002/9781118989982.ch12

Guo, J. J., Huang, X. P., Xiang, L., Wang, Y. Z., Li, Y. W., Li, H., & Wong, M. H.,2020, Source, migration and toxicology of microplastics in soil. *Environment international*, *137*, 105263.

Gündoğdu, S., & Walker, T. R., 2021, Why Turkey should not import plastic waste pollution from developed countries? *Marine Pollution Bulletin*, *171*, 112772.

Gregory, M. R., 2009, Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1526), 2013-2025.

Gomez, E., Rani, D. A., Cheeseman, C. R., Deegan, D., Wise, M., & Boccaccini, A. R.,2009, Thermal plasma technology for the treatment of wastes: A critical review. *Journal of hazardous materials*, *161*(2-3), 614-626.

Güngör, C., 2011, Production of Waste Plastic Fuels and Investigations of Influence of Waste Plastic Fuels on Performance and Exhaust Emissions of Diesel Engine. Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Adana, 51-52.

Heywood, J. B., 1988, 3 Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw. Hill Book Company, ISBN 0.07, 100499.

Huang, H., & Tang, L., 2009, Pyrolysis treatment of waste tire powder in a capacitively coupled RF plasma reactor. *Energy Conversion and Management*, *50*(3), 611-617.

Hurley, R., Woodward, J., & Rothwell, J. J., 2018, Microplastic contamination of river beds significantly reduced by catchment-wide flooding. *Nature Geoscience*, *11*(4), 251-257.

Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E., 2009, Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1526), 2115-2126.

Islam, M. R., Haniu, H., & Fardoushi, J., 2009, Pyrolysis kinetics behavior of solid tire wastes available in Bangladesh. *Waste Management*, *29*(2), 668-677.

Ickes, A. M., Bohac, S. V., & Assanis, D. N.,2009, Effect of 2-ethylhexyl nitrate cetane improver on NO x emissions from premixed low-temperature diesel combustion. *Energy & Fuels*, *23*(10), 4943-4948.

İleri, E., & Koçar, G., 2013, Effects of antioxidant additives on engine performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with canola oil methyl ester–diesel blend. *Energy Conversion and Management*, *76*, 145-154.

İlker, Ö. R. S., Ciniviz, M., & SAYIN, B.. 2021, Atık Kızartma Yağı Biyodizelinin Performans, Emisyon ve Yanma Karakteristiklerinin Pamuk Yağı ve Aspir Yağı Biyodizelleri ile Karşılaştırılması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, *37*(3), 392-403.

İlkılıç, C., Aydın, H., 2011, Fuel production from waste vehicle tires by catalytic pyrolysis and its application in a diesel engine. *Fuel Processing Technology*, *92*(5), 1129-1135.

İçingür, Y., & Calam, A., 2012, Fuzel Yağı Benzin Karışımlarının Buji ile Ateşlemeli Bir Motorda Performans ve Emisyonlara Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *27*(1).,

İsmail, Z. Z., & Al-Hashmi, E. A., 2008, Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement. *Waste management*, *28*(11), 2041-2047.

Kayılı, M., & Çelebi, G., 2020, Plastik Atıkların ve Yapıda Kullanım Olanaklarının İncelenmesi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, *3*(3), 148-157.

Kaçtioğlu, S., & Şengül, Ü., 2010, Erzurum Kenti Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü İçin Tersine Lojistik Ağı Tasarımı ve Bir Karma Tamsayılı Programlama Modeli. *Atatürk University Journal of Economics & Administrative Sciences*, *24*(1).

Kaya, K., Şenel, M. C., Koç, E., 2018, Dünyada ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi. *Technological Applied Sciences*, *13*(3), 219-234.)

Kasseris, E., & Heywood, J., 2012, Charge cooling effects on knock limits in SI DI engines using gasoline/ethanol blends: Part 2-effective octane numbers. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, *5*(2), 844-854

Karabörk, F., 2012, Atık araç tekerlek plastik lerinde mikrodalga devulkanizasyon parametrelerinin lastiğin mekanik özelliklerine etkileri Doktora Tezi *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya, 40.

Karakuş, N., 2000, Yakıt özelliklerinin dizel motor performansına ve emisyonlarına etkisi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 85-96.

Koçak, Y., & Alpaslan, L., 2011, Atık Plastiklerin Çimento ve Beton Sektöründe Kullanım Potansiyelleri. *International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16 18 May 2011*, Elazığ, Turkey, 118-120.

Karaağaç, B., Şen, M., Deniz, V., & Güven, O., 2007, Recycling of gamma irradiated inner tubes in butyl based rubber compounds. *Nuclear Instruments and Methods in*

Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, *265*(1), 290-293.

Karaağaç, B., Şen, M., Deniz, V., & Güven, O., 2007, Recycling of gamma irradiated inner tubes in butyl based rubber compounds. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, *265*(1), 290-293.

Koç, A. B., Abdullah, M. K., Schumacher, L. G., & Borgelt, S., 2010, Exhaust emissions of a 4-cylinder diesel engine fueled with biodiesel, tire oil and diesel fuel blends. In *2010 Pittsburgh, Pennsylvania, June 20-June 23, 2010* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Korkmaz, S., & YILGÖR, M., 2011, Enerji tüketimi-iktisadi büyüme ilişkisi. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (22), 111-125.

Kennedy, Z. R., & Rathinaraj, D., 2007, Exhaust emissions and performance of diesel engine fuelled with tyre based oil blends. *Journal of the Institution of Engineers (India), Part MC, Mechanical Engineering Division*, *88*, 13-18.

Kalargaris, I., Tian, G., & Gu, S., 2017, Combustion, performance and emission analysis of a DI diesel engine using plastic pyrolysis oil. *Fuel Processing Technology*, *157*, 108-115.

Karagöz, M., Ağbulut, Ü., & Sarıdemir, S., 2020, Waste to energy: Production of waste tire pyrolysis oil and comprehensive analysis of its usability in diesel engines. *Fuel*, *275*, 117844.

Kelen, F., 2014, Motorlu taşıt emisyonlarının insan sağlığı ve çevre üzerine etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Van, *19*(1-2), 80-87.

Kumar, S., Prakash, R., Murugan, S., & Singh, R. K., 2013, Performance and emission analysis of blends of waste plastic oil obtained by catalytic pyrolysis of waste HDPE with diesel in a CI engine. *Energy conversion and management*, *74*, 323-331.

Kılıçkalkan, S.,2012, Alçak yoğunluklu polietilen plastik atıklar ile önişlemli linyitlerin eş-pirolizi Yüksek lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı* ANKARA, 15-29.

Lloyd, A. C., & Cackette, T. A., 2001, Diesel engines: environmental impact and control. *Journal of the Air & Waste Management Association*, *51*(6), 809-847.

Li, K., Wang, Y., Rowe, M., Zhao, X., Li, T., Tekinalp, H., & Ozcan, S., 2019, Poly (lactic acid) toughening through chain end engineering. *ACS Applied Polymer Materials*, *2*(2), 411-417.

Mert G., 2020, Sanayi yağ üretim tesisinde fiziksel risk etmenlerinin iş sağlığı ve güvenliği temelleri bazında incelenmesi iş sağlığı ve güvenliği Yüksek Lisans Tezi *İstanbul Medipol Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü,* İstanbul, 83-84.

Mohan, H. T., Jayanarayanan, K., & Mini, K. M., 2021, Recent trends in utilization of plastics waste composites as construction materials. *Construction and Building Materials*, *271*, 121520.

Murugan, S., Ramaswamy, M. C., & Nagarajan, G., 2008, The use of tyre pyrolysis oil in diesel engines. *Waste management*, *28*(12), 2743-2749.

Mani, M., Subash, C., & Nagarajan, G., 2009, Performance, emission and combustion characteristics of a DI diesel engine using waste plastic oil. *Applied thermal engineering*, *29*(13), 2738-2744.

Murugan, S., Ramaswamy, M. C., & Nagarajan, G., 2009, Assessment of pyrolysis oil as an energy source for diesel engines. *Fuel processing technology*, *90*(1), 67-74.

Mani, M., Nagarajan, G., & Sampath, S., 2011, Characterisation and effect of using waste plastic oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. *Energy*, *36*(1), 212-219.

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

Mani, M., Nagarajan, G., & Sampath, S., 2010, An experimental investigation on a DI diesel engine using waste plastic oil with exhaust gas recirculation. *Fuel*, *89*(8), 1826-1832.

Mohanraj, C., Senthilkumar, T., & Chandrasekar, M., 2017, A review on conversion techniques of liquid fuel from waste plastic materials. *Int. J. Energy Res*, *41*(11), 1534-1552.

Nouali, M., Derriche, Z., Ghorbel, E., & Chuanqiang, L., 2020, Plastic bag waste modified bitumen a possible solution to the Algerian road pavements. *Road Materials and Pavement Design*, *21*(6), 1713-1725.

Nerın, C., Domeno, C., Moliner, R., Lazaro, M. J., Suelves, I., & Valderrama, J., 2000, Behaviour of different industrial waste oils in a pyrolysis process: metals distribution and valuable products. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *55*(2), 171-183.

Nandi, M. K., 1996, The performance of di-tertiary-butyl peroxide as cetane improver in diesel fuels. *Preprints of Papers, American Chemical Society, Division of Fuel Chemistry*, *41*(CONF-960807-).

Nam, K., & Schaefer, T., 1995, Forecasting international airline passenger traffic using neural networks. *The Logistics and Transportation Review*, *31*(3), 239-252.

Park, S. H., & Lee, C. S. 2013, Combustion performance and emission reduction characteristics of automotive DME engine system. *Progress in energy and combustion science*, *39*(1), 147-168.

Pamir, A. N., 2003, Dünyada ve Türkiye'de Enerji, Türkiye'nin Enerji Kaynakları ve Enerji Politikaları. *Metalurji Dergisi*, *134*(23), 1-39.

Presti, D. L., 2013, Recycled tyre rubber modified bitumens for road asphalt mixtures: A literature review. *Construction and Building Materials*, *49*, 863-881.

Ogaki, Y., Tomioka, K., Watanabe, A., Arita, K., Kuriyama, I., & Sugayoshi, T., 2001, Recycling of waste plastic packaging in a blast furnace system. *NKK Technical review*, *84*, 1-7.

Ogbeide, S. O., 2010, An investigation to the recycling of spent engine oil. *Journal of engineering science and technology review*, *3*(1), 32-35.

Orman, R. Ç., 2019, Atık Sanayi Yağların Dizel Motorlarda Yakıt Olarak Kullanılması ve Katkı Maddesi ile Geliştirilmesi Doktora Tezi *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında* Karabük, 64-65.

Önder, İ., 2001, "Yeni Dünya Düzeni ve Enerji Politikaları", *Türkiye Üçüncü Enerji Sempozyumu, TMMOB,* Ankara, ss.8-18.

Öztürk, K., & Şahin, M. E., 2018, Yapay sinir ağları ve yapay zekâ'ya genel bir bakış. *Takvim-i Vekayi*, *6*(2), 25-36.

Özalp, M., 2018, Dünya Enerji Rekabetinde Oyun Değiştirici Olarak Kaya Gazının Rolü ve Türkiye'ye Olası Etkileri. İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi, 7(4), 2926-2959

Puhan, S., Vedaraman, N., Ram, B. V., Sankarnarayanan, G., & Jeychandran, K., 2005, Mahua oil (Madhuca Indica seed oil) methyl ester as biodiesel-preparation and emission characterstics. *Biomass and bioenergy*, *28*(1), 87-93.

Peterson, S., & Flanagan, A., 2009, Neural network hedonic pricing models in mass real estate appraisal. *Journal of real estate research*, *31*(2), 147-164.

Poutsma, M.L., 2000, Fundamental Reactions of Free Radicals Relevant to Pyrolysis Reactions. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 54, 5-35.

Rai, B., Rushad, S. T., Kr, B., & Duggal, S. K., 2012, Study of waste plastic mix concrete with plasticizer. *ISRN civil engineering*, *2012*, 1-5.

Rehan, M., Miandad, R., Barakat, M. A., Ismail, I. M. I., Almeelbi, T., Gardy, J., ... & Nizami, A. S., 2017, Effect of zeolite catalysts on pyrolysis liquid oil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, *119*, 162-175.

Ratnasari, D. K., Nahil, M. A., & Williams, P. T., 2017, Catalytic pyrolysis of waste plastics using staged catalysis for production of gasoline range hydrocarbon oils. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, *124*, 631-637.

Rowhani, A., & Rainey, T. J., 2016, Scrap tyre management pathways and their use as a fuel a review. *Energies*, *9*(11), 888.

Rochman, C. M., Hoh, E., Kurobe, T., & Teh, S. J., 2013, Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific reports*, *3*(1), 1-7.

Rochman, C. M., Hoh, E., Hentschel, B. T., & Kaye, S., 2013, Long-term field measurement of sorption of organic contaminants to five types of plastic pellets: implications for plastic marine debris. *Environmental science & technology*, *47*(3), 1646-1654.

Rochman, C. M., Hoh, E., Kurobe, T., & Teh, S. J., 2013, Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific reports*, *3*(1), 1-7.

Rosen, S.L., 1993, Fundamental Principles of Polymeric Materials. New York: John Wiley and Sons Inc.2.

Rillig, M. C., Lehmann, A., de Souza Machado, A. A., & Yang, G., 2019, Microplastic effects on plants. *New Phytologist*, *223*(3), 1066-1070.

Sangroniz, A., Zhu, J. B., Tang, X., Etxeberria, A., Chen, E. Y. X., & Sardon, H., 2019, Packaging materials with desired mechanical and barrier properties and full chemical recyclability. *Nature Communications*, *10*(1), 3559.

Sharma, R., & Bansal, P. P., 2016, Use of different forms of waste plastic in concrete–a review. *Journal of Cleaner Production*, *112*, 473-482.

Sharma, S., & Chatterjee, S.,2017, Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review. *Environmental Science and Pollution Research*, *24*, 21530-21547.

Scaffaro, R., Dintcheva, N. T., Nocilla, M. A., & La Mantia, F. P., 2005, Formulation, characterization and optimization of the processing condition of blends of recycled polyethylene and ground tyre rubber: Mechanical and rheological analysis. *Polymer degradation and stability*, *90*(2), 281-287.

Syamsiro, M., Saptoadi, H., Norsujianto, T., Noviasri, P., Cheng, S., Alimuddin, Z., & Yoshikawa, K., 2014, Fuel oil production from municipal plastic wastes in sequential pyrolysis and catalytic reforming reactors. *Energy Procedia*, *47*, 180-188.

Serrano, D. P., Aguado, J., & Escola, J. M., 2012, Developing advanced catalysts for the conversion of polyolefinic waste plastics into fuels and chemicals. *Acs Catalysis*, *2*(9), 1924-1941.

Sugözü, İ., & Mutlu, İ., 2009, Atık plastikleri ve değerlendirme yöntemleri. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, *1*(1), 35-46.

Shimao, M., 2001, Biodegradation of plastics. *Current opinion in biotechnology*, *12*(3), 242-247.

Srivastava, S. P., & Hancsók, J., 2014, Fuels and fuel-additives". John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.capter 5.2.

Sadaka, F., Campistron, I., Laguerre, A., & Pilard, J. F., 2012, Controlled chemical degradation of natural rubber using periodic acid: Application for recycling waste tyre rubber. *Polymer Degradation and Stability*, *97*(5), 816-828.

Sharma, S., & Chatterjee, S., 2017, Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review. *Environmental Science and Pollution Research*, *24*, 21530-21547.

Şimşek, S., 2020, Pirolize Edilmiş Plastik Yağı Kullanılarak Elde Edilen Yakıtın Tek Silindirli Dizel Motor Performans ve Emisyonlara Etkisi. *Uluslararası Yakıtlar Yanma ve Yangın Dergisi*, (8), 28-36.

Leung, D. Y. C. (2001, Development of a Clean Biodiesel Fuel in Hong Kong Using Recycled Oil. Water, Air, and Soil Pollution, 130(1), 277-282.

Liu, T., Nafees, A., Javed, M. F., Aslam, F., Alabduljabbar, H., Xiong, J. J., ... & Malik, M. Y., 2022, Comparative study of mechanical properties between irradiated and regular plastic waste as a replacement of cement and fine aggregate for manufacturing of green concrete. *Ain Shams Engineering Journal*, *13*(2), 101563.

Livingstone, D. J., 2008, Artificial neural networks: *methods and applications (pp. 185-202).* Totowa, NJ, USA Humana Press, Volume 458 ISBN : 978-1-58829-718-1.

Pamir, N., 2003, Dünya'da ve Türkiye'de Enerji, Türkiye'nin Enerji Kaynakları ve Enerji Politikaları. Tmmob Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Dergisi 134 s. 3.)

Tanrıvermiş, H., & Mülayim, Z. G.,1999, Sanayinin Neden Olduğu Çevre Kirliliğinin Tarıma Verdiği Zararların Değerinin Biçilmesi: Samsun Gübre (TÜGSAS) ve Karadeniz Bakır (KBI) Sanayileri Örneği. *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, *23*, 337-345.

Tukker, A., de Groot, H., Simons, L., & Wiegersma, S., 1999, Chemical recycling of plastic waste: PVC and other resins. DG III*, Final report. STB-99-55 Final. European Commission, Delft, The* Netherlands.

Topal, H., 2015, Plazma Gazlaştırma Teknolojisi İle Katı Atık Bertarafı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *30*(4).

Topal, H., 2014, Energy Production from Municipal Solid Waste Using Plasma Gasification. *Progress in Exergy, Energy, and the Environment*, 857-865.

Tabar, M. E., 2020, Yapay sinir ağları ve bulanık mantıkla gayrimenkul değerleme modelinin oluşturulması: Samsun örneği, Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Samsun, 19-20.

Türer, A., Şimşek, Ç., Gölalmış, M., Özden, B., Dilsiz, A., & Özen, Ö., 2005, Kullanılmış araba lastiği ile güçlendirme Antakya pilot uygulaması ve dekoratif çözümler. *YDGA 2005 Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması Çalıştayı*, 1-8.

Uekert, T., Kuehnel, M. F., Wakerley, D. W., & Reisner, E., 2018, Plastic waste as a feedstock for solar-driven H 2 generation. *Energy & Environmental Science*, *11*(10), 2853-2857.

Uzun, B., 2005, Pirinanın iki kademeli pirolizi ve ürünlerinin karakterizasyonu Doktora Tezi*, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı*, Eskişehir, 22-26.

Uzun, S., 2020, Dizel bir motorda atık plastik ten elde edilen pirolitik yakıtın motor performans ve emisyonlarına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında,* Karabük, 41-45.

Uyar, M., 2020, Atık petrol çamurlarından dizel ve benzin benzeri yakıt üretimi ve motorlarda kullanımının deneysel olarak araştırılması, Doktora Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Batman, 53-56, 76-86.

Uyumaz, A., Fahrettin, B. O. Z., Yılmaz, E., Solmaz, H., & Polat, S.,2017, Taşıt egzoz emisyonlarını azaltma yöntemlerindeki gelişmeler. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *8*(Özel (Special) 1), 15-24.

Van Oss, H. G., & Padovani, A. C., 2003, Cement manufacture and the environment part II: environmental challenges and opportunities. *Journal of Industrial ecology*, *7*(1), 93-126.

Vallinayagam, R., Vedharaj, S., Yang, W. M., Saravanan, C. G., Lee, P. S., Chua, K. J. E., & Chou, S. K., 2014, Impact of ignition promoting additives on the characteristics of a diesel engine powered by pine oil–diesel blend. *Fuel*, *117*, 278-285.

Hanle, L. J., Jayaraman, K. R., & Smith, J. S., 2004, CO_2 emissions profile of the US cement industry. *Washington DC: Environmental Protection Agency*, *10*.

Wu, S., & Montalvo, L., 2021, Repurposing waste plastics into cleaner asphalt pavement materials: A critical literature review. *Journal of Cleaner Production*, *280*, 124355.

Wu, B., & Zhou, M. H., 2009, Recycling of waste tyre rubber into oil absorbent. *Waste Management*, *29*(1), 355-359.

Williams, P. T., & Williams, E. A., 1999, Interaction of plastics in mixed-plastics pyrolysis. *Energy & Fuels*, *13*(1), 188-196.

Wongkhorsub, C., & Chindaprasert, N., 2013, A comparison of the use of pyrolysis oils in diesel engine. *Energy and Power Engineering*, *5*(04), 350.

Wu, B., & Zhou, M. H., 2009, Recycling of waste tyre rubber into oil absorbent. *Waste Management*, *29*(1), 355-359.

Wu, B., & Zhou, M. H., 2009, Recycling of waste tyre rubber into oil absorbent. *Waste Management*, *29*(1), 355-359.

Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. S., 2013, The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental pollution*, *178*, 483-492.

Xiao, G., Ni, M. J., Chi, Y., & Cen, K. F., 2008, Low-temperature gasification of waste tire in a fluidized bed. *Energy Conversion and Management*, *49*(8), 2078-2082.

Yay, A. S. E., 2017, Yaşam döngüsü analizinin ambalaj atıklarının yönetiminde kullanılması. *Sakarya University Journal of Science*, *21*(5).

Yakaboylu, O., 2010, Atık plastik yönetimi ve atık plastik pirolizi model tesisi için yapılabilirlik çalışması Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul, 14-18.

Yegnanarayana, B., 2009, Artificial neural networks. *Department of Computer Science and Engineering institute of Technology Modras,* Chennai, 15-39.

Yang, H. S., Kim, D. J., Lee, Y. K., Kim, H. J., Jeon, J. Y., & Kang, C. W., 2004, Possibility of using waste tire composites reinforced with rice straw as construction materials. *Bioresource technology*, *95*(1), 61-65.

Yoon, Y. W., Heo, S. B., & Kim, K. S., 2008, Geotechnical performance of waste tires for soil reinforcement from chamber tests. *Geotextiles and Geomembranes*, *26*(1), 100-107.

Yurtsever, M., 2015, Mikro plastiklere genel bir bakış. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 17(2), 68-83.

Yılmaz, İlbaş, İ., & İlbaş, M., Su, Ş., 2003, "Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Değerlendirilmesi", *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, TMMOB, 3-4 Ekim 2003,* Kayseri, ss.399-401.

Zhang, S. L., Xin, Z. X., Zhang, Z. X., & Kim, J. K., 2009, Characterization of the properties of thermoplastic elastomers containing waste rubber tire powder. *Waste Management*, *29*(5), 1480-1485.

Zhang, G., Patuwo, B. E., & Hu, M. Y., 1998, Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. *International journal of forecasting*, *14*(1), 35-62.

Zettler, E. R., Mincer, T. J., & Amaral-Zettler, L. A., 2013, Life in the "plastisphere": microbial communities on plastic marine debris. *Environmental science & technology*, *47*(13), 7137-7146.

Zhang, Q., Yao, M., Luo, J., Chen, H., & Zhang, X., 2013, Diesel engine combustion and emissions of 2, 5-dimethylfuran-diesel blends with 2-ethylhexyl nitrate addition. *Fuel*, *111*, 887-891.

https://www.tpao.gov.tr (2020-2021) Petrol ve Doğalgaz Sektör Raporu (Ziyaret Tarihi: 18 Nisan 2022).

https://pagev.org. Pagev (2019-2021) Kamuoyu Bilgilendirme Raporu (Ziyaret Tarihi: 5 Haziran 2022).

https://www.resmigazete.gov.tr. T.C Resmî Gazete 2021 (Ziyaret Tarihi: 25 Mayıs 2022).

https://www.petder.org.tr. Petder 2021 Faaliyet Raporu (Ziyaret Tarihi: 7 Haziran 2022).

https://www.kmo.org.tr. Türkiye'de Plastik Geri Dönüşümü ve Atık İthalatı 2021 Raporu (Ziyaret Tarihi: Temmuz 2022).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Abdulkerim YILDIZ
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Üniversite	:	Fırat Üniversitesi Otomotiv Öğretmenliği/Elazığ	1999
Yüksek Lisans	:	Batman Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği/Batman	2017
Doktora	:	Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği/Batman	------

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
24 Yıl	Milli Eğitim Bakanlığı	Otomotiv Öğretmeni

UZMANLIK ALANI

Otomotiv, Alternatif enerji kaynakları, Yakıtlar ve yanma

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

1. Yıldız, A., Altun, Ş. 2019, The use of waste transformer oil as alternative fuel in a diesel power generator. *International journal of automotive engineering and technologies*, *8*(3), 117-124 (Yüksek lisans tezinden yapılmıştır).

2. Yıldız, A., Aydın, S. 2023, Production of Low Sulphurated Diesel-Like Fuel from Waste Mineral and Tire Oils by Pyrolytic Distillation, *Petroleum Science and Technology,DOI:10.1080/10916466.2023.2293245* (Doktora tezinden yapılmıştır).

3. Yıldız, A., Aydın, S. 2023, Recovery of Low Sulfur Diesel-Like Fuel from Waste Tire Oils by Pyrolytic Distillation and Sulfurization Process, *Cumhuriyet 10th international conference on applied sciences,* Ankara/Türkiye, 44-53 (Doktora tezinden yapılmıştır).

4. Yıldız, A., Aydın, S. 2023, Evaluation of Combustion Characteristics of Subjected to sulfurization process Waste tire oil and waste engine oil in a CI Engine operating at a low load, *Cumhuriyet 10th international conference on applied sciences*, Ankara/Türkiye, 54-61 (Doktora tezinden yapılmıştır).

5. Yıldız, A., Aydın, S. 2023, Extraction Of Low Sulfur Diesel-Like Fuel From Waste Engine Oil By Pyrolytic Distillation And Sulfurization Process Of This Fuel**,** *Akdeniz 10th international conference on applied sciences*, Kyrenia/Kıbrıs, 413-420 (Doktora tezinden yapılmıştır).

6. Yıldız, A., Aydın, S. 2023, Experimental Analysis of Combustion Characteristics of Low Sulfur Diesel-Like Fuel from Waste Engine Oils and Waste Tire Oils at Idle Operation Condition of a CI Engine**,** *Akdeniz 10th international conference on applied sciences*, Kyrenia/Türkiye, 421-428 (Doktora tezinden yapılmıştır).