



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ATIK PETROL ÇAMURLARINDAN DİZEL VE BENZİN
BENZERİ YAKIT ÜRETİMİ VE MOTORLARDA
KULLANIMININ
DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Mahmut UYAR

**DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Temmuz- 2020
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır.**

TEZ KABUL VE ONAYI

Mahmut UYAR tarafından hazırlanan “Atık Petrol Çamurlarından Dizel ve Benzin Benzeri Yakıt Üretimi ve Motorlarda Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması” adlı tez çalışması 21/07/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Prof. Dr. Zeki ARGUNHAN

.....

Jüri Başkanı

Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

.....

Danışman

Prof. Dr. Cumali İLKILIÇ

.....

Üye

Prof. Dr. Şehmus ALTUN

.....

Üye

Doç. Dr. Bahattin İŞCAN

.....

Üye

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

.....

Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK

FBE 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 materials and results that are not original to this work.

Mahmut UYAR
21/07/2020

ÖZET
DOKTORA TEZİ
ATIK PETROL ÇAMURLARINDAN DİZEL VE BENZİN BENZERİ YAKIT
ÜRETİMİ VE MOTORLARDA KULLANIMININ DENEYSEL OLARAK
ARAŞTIRILMASI

Mahmut UYAR

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri

Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

Prof. Dr. Zeki ARGUNHAN

Prof .Dr. Cumali İLKILIÇ

Prof. Dr. Şehmus ALTUN

Doç. Dr. Bahattin İŞCAN

Mayıs 2020, 209 Sayfa

Bu çalışmada, atık petrol çamurlarından katalizörlü pirolitik distilasyon yöntemi ile dizel ve benzinli motorlarda kullanılabilecek dizel ve benzin benzeri yakıtlar üretilmiştir. Bu amaçla ön testler yapılmış ve her iki yakıtın da yüksek miktarlarda kükürt içerdiği tespit edilmiştir. Bu yakıtlara, iki aşamalı kükürt giderme reaksiyonları uygulanmıştır. Birinci kükürtsüzleştirme aşaması olan katalizör ortamındaki piroliz reaksiyonlarında % 10 oranında perlit, katalizör olarak kullanılmıştır. Benzin ve dizel benzeri yakıtların kükürt muhteviyatı sırasıyla % 64,2 ve % 52,6 oranlarında azaltılmıştır. Bu değerlerin sınır değerler üzerinde olması sebebiyle, ikinci reaksiyon olan, asidik kükürt giderme reaksiyonları gerçekleştirilmiştir. Benzin ve dizel benzeri yakıtların asidik kükürt giderme reaksiyonlarında ise sırasıyla kükürt içeriği % 88,6 ve % 91,3 oranlarında azaltılmıştır. Rafineri ürünü normal benzin yakıtı (BY) ve dizel yakıt (DY) ile bu reaksiyonlar sonunda üretilmiş olan benzin benzeri yakıt (BBY), düşük kükürtlü benzin benzeri yakıt (DKBBY), dizel benzeri yakıt (DBY) ve düşük kükürtlü dizel benzeri yakıtların (DKDBY) fiziksel ve kimyasal özellikleri analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda, sınır değerleri aşmamakla beraber DKBBY yakıtının yoğunluk ve viskozite değerinin BY yakıtına göre nispeten yüksek olduğu tespit edilmiştir.

DKDBY yakıtının ise, setan sayısının ve alt ısı değeri nispeten düşük, yoğunluk ve viskozite değerlerinin ise kısmen yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu değerlerin de sınır değerler dâhilinde olduğu gözlemlenmiştir. Dizel ve benzin benzeri yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanılabilecek özelliklerde olduğunun tespiti üzerine, motor performans ve emisyon testlerine geçilmiştir. Dizel benzeri test yakıtları direk püskürtmeli, tek silindirli dizel bir motorda; benzin benzeri test yakıtları ise buji ile ateşlemeli, tek silindirli benzinli bir motorda test işlemine tabi tutulmuştur. Test yakıtlarının motor performans karakteristikleri ve emisyon değerleri, standart yakıtın değerleri ile karşılaştırılmıştır. BY-BBY ve BY-DKBBY yakıt karışımlarının performans analizinde; BY yakıtı içerisindeki BBY ve DKBBY yakıtının artması ile kütleli ve özgül yakıt tüketim değerlerinin bir miktar arttığı, termik verim ve egzoz gaz çıkış sıcaklığı değerlerinin ise nispeten düştüğü tespit edilmiştir. Emisyon analizinde ise, BY yakıtı içerisindeki BBY ve DKBBY yakıtının artması ile NO_x ve CO₂ değerleri düşük iken, HC, CO ve SO₂ değerleri ise yüksek çıkmıştır. BBY yakıtlarının kullanımında, SO₂ emisyonu değerlerinin kabul edilebilir sınırların üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, DKBBY50 yakıtının performans ve emisyon değerleri ile BY yakıtının değerleri arasında belirgin bir farklılığın olmadığı gözlemlenmiştir. DKBBY100 yakıtının kullanımında ise kabul edilebilir sınırlar içerisinde nispeten farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. DY-DBY ve DY-DKDBY yakıt karışımlarının analizinde ise; DY yakıtı içerisindeki DBY ve DKDBY yakıtının artması ile kütleli ve özgül yakıt tüketim değerlerinin bir miktar arttığı, termik verim ve egzoz gaz sıcaklıklarının ise nispeten düştüğü tespit edilmiştir. Emisyon analizinde ise, DY yakıtı içerisindeki DBY ve DKDBY yakıtının artması ile NO_x ve CO₂ değerleri düşük, HC, CO ve SO₂ değerlerinin ise yüksek çıktığı tespit edilmiştir. DBY yakıtlarının ağır hidrokarbon içeriği sebebiyle, SO₂ emisyonlarının kabul edilebilir sınır değerlerinin çok üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının performans ve emisyon değerleri ile DY yakıtının değerleri arasında kabul edilebilir sınırlar içerisinde nispeten farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda, BBY ve DBY yakıtlarının kükürtsüzleştirme işlemleri yapılmadan ilgili motorlarda kullanılamayacağı, DKBBY ve DKDBY yakıtlarının ise ilgili motorlarda motorda herhangi bir yapısal modifikasyona gidilmeden kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atık petrol çamurları, piroliz, kükürtsüzleştirme, benzin, dizel.

ABSTRACT

DIESEL AND GASOLINE-LIKE FUELS PRODUCTION FORM AND INVESTIGATION OF ITS USAGE IN DIESEL AND GASOLINE ENGINES

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF BATMAN UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING

Jury

Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

Prof. Dr. Zeki ARGUNHAN

Prof .Dr. Cumali İLKILIÇ

Prof. Dr. Şehmus ALTUN

Doç. Dr. Bahattin İŞCAN

Mayıs 2020, 209 Pages

In this study, fuels in the form that can be used in diesel and gasoline engines were produced by using pyrolysis method from waste oil sludge. In the analyzes, it was determined that both fuels contain high amounts of sulfur. Two-stage desulfurization reactions have been applied to these fuels. The sulfur content of gasoline and diesel-like fuels was reduced by 64.2% and 52.6%, respectively, using 10% perlite in the first desulphurization phase. Since these values are above the limit values, the second reaction, acidic desulphurization reactions was carried out. In acidic desulfurization reactions of gasoline and diesel-like fuels, the sulfur content was reduced by 88.6% and 91.3%, respectively. As a result of these reactions, gasoline fuel (BY), gasoline-like fuel (BBY), low-sulfur gasoline-like fuel (DKBBY), diesel fuel (DY), diesel-like fuel (DBY), low-sulfur diesel-like fuels (DKDBY), physical and chemical properties were analyzed. As a result of these analyzes, it was determined that the density and viscosity value of DKBBY fuel is relatively high compared to BY fuel, although it does not exceed the limit values. On the other hand, it has been determined that the DKDBY fuel has low cetane number and lower thermal value, and the density and viscosity values are partially high. It has been observed that these values are in the range of limit values. Upon determination that its fuels are suitable for internal combustion

engines, engine performance and emission tests have been passed. Diesel-like test fuels were tested in a direct-jet, single-cylinder diesel engine, and gasoline-like test fuels in a spark-ignition single-cylinder gasoline engine. Engine performance characteristics and emission values of test fuels are compared with those of standard fuel. In performance analysis of BY-BBY and BY-DKBBY fuel mixes; It was determined that the mass and specific fuel consumption values increased slightly with the increase of BBY and DKBBY fuel in the BY fuel, while the thermal efficiency and exhaust gas outlet temperature values decreased relatively. In the emission analysis, NO_x and CO_2 values were low, while HC, CO and SO_2 values were high with the increase of BBY and DKBBY fuel in BY fuel. In the use of BBY fuels, SO_2 emission values were found to be above acceptable limits. On the other hand, it was observed that there was no significant difference between the performance and emission values of DKBBY50 fuel and the values of the BY fuel. It has been determined that there are relatively differences in the use of DKBBY100 fuel within acceptable limits. In the analysis of DY-DBY and DY-DKDBY fuel mixes; It has been determined that with the increase of DBY and DKDBY fuel in DY fuel, the mass and specific fuel consumption values have increased slightly and the thermal efficiency and exhaust gas temperatures have decreased relatively. In the emission analysis, it was determined that NO_x and CO_2 values were low and HC, CO and SO_2 values were high with increasing DBY and DKDBY fuel in DY fuel. Due to the heavy hydrocarbon content of DBY fuels, SO_2 emissions were found to be well above the acceptable limit values. On the other hand, it has been determined that there are relatively differences between the performance and emission values of the DKBBY50 and DKBBY100 fuels and the values of the DY fuel within acceptable limits. As a result of the experimental study, it was concluded that BBY and DBY fuels can not be used in related engines without desulphurization processes and DKBBY and DKDBY fuels can be used in related engines.

Keyword: Waste petroleum sludge, pyrolysis, desulphurization, gasoline and diesel engine.

TEŞEKKÜR

Petrol endüstrisinde, ham petrol arama, sondaj, üretim, nakliye, depolama ve rafinaj işlemleri sırasında kayda değer miktarda atık petrol çamuru birikmektedir. Sondaj kuyularından çıkarılan ham petrol ile beraber gün yüzüne çıkmakta olan bu atıklar, çok ciddi çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Atık petrol çamurlarının dizel ve benzinli motorlarda kullanılacak statüdeki yakıtlara dönüştürülmesi durumunda, hem çevreye verdiği zarar azaltılmış olacak ve hem de içten yanmalı motorlarda kullanılabilecek katma değeri yüksek bir ürün elde edilmiş olacaktır. Bu tez çalışmasında atık petrol çamurlarından dizel ve benzin benzeri yakıtlar üretilerek, bu yakıtların ilgili motorlarda kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Tez çalışmasının her aşamasında, bana rehberlik eden, bilgi birikimini benimle paylaşan, çalışmalarımın tüm aşamalarını yakinen takip eden, değerli danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin AYDIN'a, saygılarımı ve sevgilerimi sunar teşekkürü bir borç bilirim.

Piroliz reaktörünün üretimi aşamasında tecrübelerinden faydalandığım, Keban HES Makine Tamir-Bakım Başteknisyeni olan, babam Necmettin UYAR'ı rahmetle yad ediyorum. Kendisinin motor deneylerinden sonra vefat etmiş olması, bizleri derin bir üzüntüye sevk etmiştir.

Piroliz reaktörünün elektronik kontrol ünitesinin oluşturulması ve motor deneyleri aşamasında emeğini benden esirgemeyen, mesai arkadaşım Öğr. Gör. Abdulgani GÖZ hocam'a, teşekkürü bir borç bilirim.

Eşim Esra ve kızım Sena'ya, bu süreçte dualarını üzerimden eksik etmeyen anneme ve kayınvalideme teşekkürlerimi sunarım.

Zaman ayırmak suretiyle, beni dinleyen değerli jüri üyelerine teşekkürü bir borç bilirim.

Mahmut UYAR

Batman, 2020

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 2.1. Dünya ülkelerinde yeni tespit edilen petrol rezervleri.....	6
Tablo 2.2. 2018 yılı ülkemizdeki petrol kuyularındaki çalışmanın türü ve adeti.....	10
Tablo 4.1. Piroliz olayındaki termik madde parçalanması.....	18
Tablo 4.2. Piroliz uygulama yöntemleri ve elde edilen ürünler.....	19
Tablo 6.1. Bazı alkanların yapısal özellikleri.....	33
Tablo 6.2. Hidrokarbon yapıları ve sınıflandırılması.....	37
Tablo 6.3. DIN -51601 standartlarına göre dizel yakıtın özellikleri.....	43
Tablo 6.4. Teknik özelliklerine göre dizel yakıtlar.....	44
Tablo 7.1. Egzoz emisyon ölçüm cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyet değerleri.....	58
Tablo 8.1. Atık petrol çamurundan elde edilen ürün çeşitliliği.....	67
Tablo 8.2. Sıcaklığın benzin üretimindeki verime etkisi.....	68
Tablo 8.3. Sıcaklığın dizel benzeri yakıt üretimindeki verime etkisi.....	69
Tablo 8.4. Deneylerde kullanılan yakıtların fiziksel ve kimyasal yakıt özellikleri.....	73
Tablo 8.5. Kullanılan katkı maddesi miktarının benzin için kükürtsüzleştirmeye etkisi.....	77
Tablo 8.6. Kullanılan katkı maddesi miktarının dizel için kükürtsüzleştirmeye etkisi.....	79
Tablo 8.7. Benzin için kullanılan asidik katalizör miktarının kükürtsüzleştirmeye etkisi.....	82
Tablo 8.8. Dizel için kullanılan asidik katalizör miktarının kükürtsüzleştirmeye etkisi.....	83
Tablo 8.9. Reaksiyonlarda kullanılan katalizörün kükürt içeriğine etkisi.....	86
Tablo 8.10. Benzin yakıtı için belirlenen sınır değerler.....	87
Tablo 8.11. Motorin için belirlenen sınır değerleri.....	88
Tablo 8.12. Benzinli motor deneylerinde kullanılacak olan yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tespiti.....	90
Tablo 8.13. Dizel motor deneylerinde kullanılacak olan yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tespiti.....	91
Tablo 9.1. 3 litre benzin benzeri yakıt üretimi için harcanan enerji miktarı.....	94
Tablo 9.2. 1 litre benzin benzeri yakıt üretimi için harcanan enerji miktarı.....	96
Tablo 9.3. 1 litre dizel benzeri yakıt üretimi için harcanan enerji miktarı.....	94
Tablo 9.3. 1 litre dizel benzeri yakıt üretimi için harcanan enerji miktarı.....	97
Tablo 9.5. Benzin ve dizel benzeri yakıtlarının üretim maliyeti.....	98
Tablo 10.1. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki kütleli yakıt sarfıyatı değerleri.....	99
Tablo 10.2. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki ÖYT değerleri.....	101
Tablo 10.3. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki termik verim değerleri.....	102
Tablo 10.4. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki egzoz sıcaklığı değerleri...	104

Tablo 10.5. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki NO _x emisyonu değerleri..	106
Tablo 10.6. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki CO emisyonu değerleri....	107
Tablo 10.7. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki HC emisyonu değerleri....	110
Tablo 10.8. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki CO ₂ emisyonu değerleri...	111
Tablo 10.9. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki SO ₂ değerleri.....	113
Tablo 10.10. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki kütleli sarfiyatı değerleri.....	115
Tablo 10.11. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki ÖYT değerleri	116
Tablo 10.12. BY, DKBBY100 ve DKBBY50 yakıtlarının değişken yükteki Termik Verim değerleri.....	118
Tablo 10.13. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki egzoz sıcaklığı değerleri.....	120
Tablo 10.14. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki NO _x emisyonu değerleri.....	121
Tablo 10.15. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki CO emisyonu değerleri.....	123
Tablo 10.16. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki HC emisyonu değerleri.....	125
Tablo 10.17. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki CO ₂ emisyonu değerleri.....	126
Tablo 10.18. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki SO ₂ emisyonu değerleri.....	128
Tablo 10.19. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki kütleli sarfiyatı değerleri.....	130
Tablo 10.20. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki ÖYT değerleri.....	132
Tablo 10.21. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki termik verim değerleri.....	133
Tablo 10.22. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki egzoz sıcaklığı değerleri.....	135
Tablo 10.23. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki NO _x emisyonu değerleri.	137
Tablo 10.24. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki CO emisyonu değerleri.	139
Tablo 10.25. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki HC emisyonu değerleri.	140
Tablo 10.26. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki CO ₂ emisyonu değerleri	142
Tablo 10.27. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki SO ₂ değerleri.....	143
Tablo 10.28. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki kütleli sarfiyatı değerleri.....	146

Tablo 10.29. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki ÖYT değerleri.....	148
Tablo 10.30. DY, DKDBY100 ve DKDBY50 yakıtlarının değişken yükteki termik verim değerleri.....	149
Tablo 10.31. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki egzoz sıcaklığı değerleri.....	151
Tablo 10.32. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki NOx emisyonu değerleri.....	153
Tablo 10.33. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki CO emisyonu değerleri.....	155
Tablo 10.34. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki HC emisyonu değerleri.....	156
Tablo 10.35. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki HC emisyonu değerleri.....	158
Tablo 10.36. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki HC emisyonu değerleri.....	159

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. 2018 yılı küresel birincil enerji tüketim oranları.....	3
Şekil 2.2. Rezerv kaynağı bakımından dünyadaki enerji talebi.....	4
Şekil 2.3. Bölge bazında enerji talep miktarları.....	5
Şekil 2.4. Ülkemizin 2017 yılı içerisindeki fosil kaynaklı talebi.....	7
Şekil 2.5. 2017 Yılı Türkiye enerji tüketiminin sektörel dağılımı.....	7
Şekil 2.6. Ülkemizin 1990-2017 yıllarındaki enerji arzındaki dış ticarete bağımlılığı.....	8
Şekil 2.7. Ülkemizin 2007-2018 yılları arasındaki tüketim ve üretim değişimi.....	9
Şekil 3.1. Dinlendirme havuzlarındaki atık petrol çamurları.....	13
Şekil 3.2. Pompa istasyonlarından çıkarılan atık petrol çamurları.....	14
Şekil 6.1. Hidrokarbonların rafinasyondaki sıcaklık değeri.....	32
Şekil 6.2. Alkanların açık formülünün gösterimi.....	33
Şekil 6.3. Bağ yapıları arasındaki farklılıklar açısından oktanın gösterimi.....	34
Şekil 6.4. Bağ yapıları arasındaki farklılıklar açısından olefinlerin gösterimi.....	35
Şekil 6.5. Bağ yapıları arasındaki farklılıklar açısından naftenlerin gösterimi.....	36
Şekil 6.6. Bağ yapıları arasındaki farklılıklar açısından benzenin gösterimi.....	36
Şekil 6.7. Oktanın kimyasal bağ yapısı.....	40
Şekil 6.8. Erken tutuşma sonucu vuruntulu yanma ve normal yanma	41
Şekil 6.9. Normal ve vuruntulu çalışma diyağramı.....	42
Şekil 7.1. Piroliz reaktörünün kontrol sisteminin hat şeması.....	52
Şekil 7.2. Yakıt üretim prosesinin şematik görüntüsü.....	54
Şekil 7.3. Yakıt üretiminin yapıldığı piroliz düzeneği.....	55
Şekil 7.4. Isıtıcı manyetik karıştırıcı.....	56
Şekil 7.5. Benzinli motor test düzeneğinin şematik görüntüsü.....	57
Şekil 7.6. Dizel motor test düzeneğinin şematik görüntüsü	57
Şekil 7.7. Egzoz emisyon ölçüm cihazı.....	59
Şekil 7.8. Pens ampermetre.....	59
Şekil 7.9. SO ₂ ölçüm cihazı.....	60
Şekil 7.10. Kızılötesi termometre.....	61
Şekil 7.11. Benzin benzeri test yakıtları.....	62
Şekil 7.12. Düşük kükürlü benzin benzeri test yakıtları.....	62
Şekil 7.13. Dizel benzeri test yakıtları.....	63
Şekil 7.14. Düşük kükürlü dizel benzeri test yakıtları.....	63
Şekil 7.15. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği.....	64
Şekil 8.1. Reaksiyon öncesi atık petrol çamuru.....	66

Şekil 8.2. Atık petrol çamurundan elde edilen ürün çeşitliliği.....	67
Şekil 8.3. Sıcaklığın benzin benzeri ürün verimine etkisi.....	68
Şekil 8.4. Benzin benzeri yakıt.....	68
Şekil 8.5. Sıcaklığın dizel benzeri yakıt üretimindeki verime etkisi.....	69
Şekil 8.6. Analiz için hazırlanan farklı sıcaklık değerlerindeki dizel benzeri yakıt numuneleri	70
Şekil 8.7. Reaksiyon sonunda reaktör içerisinden çıkarılan toprak.....	70
Şekil 8.8. Benzin benzeri yakıtın reaksiyon sürecindeki zaman - ağırlık değişimi.....	71
Şekil 8.9. Dizel benzeri yakıtın reaksiyon sürecindeki zaman - ağırlık değişimi.....	72
Şekil 8.10. Reaksiyon sıcaklığının dizel benzeri yakıttaki kükürt içeriğine etkisi.....	74
Şekil 8.11. Bazik katkı maddeleri kullanılarak hazırlanan benzin benzeri yakıt numuneleri....	76
Şekil 8.12. Kullanılan katkı maddesi miktarının benzin için kükürtsüzleştirmeye etkisi.....	77
Şekil 8.13. Bazik katkı maddeleri kullanılarak hazırlanan dizel benzeri yakıt numuneleri.....	78
Şekil 8.14. Kullanılan katkı maddesi miktarının dizel için kükürtsüzleştirmeye etkisi.....	79
Şekil 8.15. Asidik reaksiyon aşamasındaki (a) Faz ayrışması, (b) Yıkama işlemi.....	81
Şekil 8.16. Benzin için kullanılan asidik katalizör miktarının kükürtsüzleştirmeye etkisi.....	82
Şekil 8.17. Dizel için kullanılan asidik katalizör miktarının kükürtsüzleştirmeye etkisi	83
Şekil 8.18. Reaksiyonlarda kullanılan katalizörün kükürt içeriğine etkisi.....	86
Şekil 10.1. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki kütleli yakıt sarfiyatı değerleri.....	100
Şekil 10.2. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki ÖYT değerleri.....	101
Şekil 10.3. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki termik verim değerleri...	103
Şekil 10.4. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki egzoz sıcaklığı değerleri..	104
Şekil 10.5. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki NOx emisyonu değerleri..	106
Şekil 10.6. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki CO emisyonu değerleri....	108
Şekil 10.7. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki HC emisyonu değerleri....	110
Şekil 10.8. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki CO ₂ emisyonu değerleri...	112
Şekil 10.9. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki SO ₂ emisyonu değerleri...	113
Şekil 10.10. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki kütleli yakıt sarfiyatı değerleri.....	115
Şekil 10.11. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki ÖYT değerleri...	117
Şekil 10.12. BY, DKBBY100 ve DKBBY50 yakıtlarının değişken yükteki termik verim değerleri.....	118
Şekil 10.13. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki egzoz sıcaklığı değerleri.....	120
Şekil 10.14. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki NOx değerleri....	122
Şekil 10.15. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki CO emisyonu	123

değerleri.....	
Şekil 10.16. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki HC emisyonu değerleri.....	125
Şekil 10.17. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki CO ₂ emisyonu değerleri.....	127
Şekil 10.18. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki SO ₂ emisyonu değerleri.....	128
Şekil 10.19. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki kütleli yakıt sarfıyatı değerleri.....	130
Şekil 10.20. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki ÖYT değerleri.....	132
Şekil 10.21. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki termik verim değerleri	134
Şekil 10.22. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki egzoz sıcaklığı değerleri.....	135
Şekil 10.23. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki NO _x emisyonu değerleri.....	137
Şekil 10.24. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki CO emisyonu değerleri.	139
Şekil 10.25. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki HC emisyonu değerleri.	141
Şekil 10.26. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki CO ₂ emisyonu değerleri	142
Şekil 10.27. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki SO ₂ emisyonu değerleri	144
Şekil 10.28. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki kütleli yakıt sarfıyatı değerleri.....	146
Şekil 10.29. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki ÖYT değerleri..	148
Şekil 10.30. DY, DKDBY100 ve DKDBY50 yakıtlarının değişken yükteki termik verim değerleri.....	150
Şekil 10.31. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki egzoz sıcaklığı değerleri.....	151
Şekil 10.32. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki NO _x değerleri	153
Şekil 10.33. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki CO emisyonu değerleri.....	155
Şekil 10.34. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki HC emisyonu değerleri.....	157
Şekil 10.35. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki CO ₂ emisyonu değerleri.....	158
Şekil 10.36. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki SO ₂ emisyonu değerleri.....	160

SİMGELER

°C	: Santigrat Derece
K	: Kelvin Sıcaklık Değeri
d/dak	: Dakikadaki Devir Sayısı
m	: Metre
%	: Yüzde
kg	: Kilogram
kPa	: Kilo pascal
s	: Saniye
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
gr	: Gram
kJ	: Kilo joule
kmol	: Kilomol
rpm	: Dakikadaki devir sayısı
be	: Özgöl Yakıt Tüketimi
F	: Kuvvet
J	: Joule
kW	: Kilo-Watt
m	: Metre
n	: Motor Devri
P	: Güç
ρ	: Yoğunluk
T	: Sıcaklık
V	: Hacim
%	: Yüzde

KISALTMALAR

CO	: Karbon monoksit
CO₂	: Karbon dioksit
HC	: Hidrokarbon
NO	: Azot monoksit
NO_x	: Azot oksitler
S	: Kükürt
SO₂	: Kükürtdioksit
ÖYT	: Özgöl yakıt tüketimi
N₂	: Azot Gazı
H₂	: Hidrojen
H₂O₂	: Hidrojen peroksit
H₂SO₄	: Sülfürik asit
CaO	: Kalsiyum oksit
Ca(OH)₂	: Kalsiyum hidroksit
CH₃COOH	: Asetik asit
CH₂O₂	: Formik asit
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ISO	: Uluslararası Standartlar Örgütü
TSE	: Türkiye Standartlar Enstitüsü
ASTM	: Amerikan Test ve Materyalleri Birliği
API	: Amerikan Petrol Endüstrisi
ABD	: Amerika Birleşik Devleti
AÖN	: Alt Ölü Nokta
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
BY	: Benzin Yakıtı
BBY	: Benzin Benzeri Yakıt
DKBBY	: Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt
DY	: Dizel Yakıtı
DBY	: Dizel Benzeri Yakıt
DKDBY	: Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Yakıt

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER.....	xv
KISALTMALAR	xvi
İÇİNDEKİLER	xvii
1. GİRİŞ	1
2. PETROLÜN GENEL DURUMU	3
2.1. Petrolün Dünyadaki Durumu	3
2.1.1. Dünyadaki Yeni Ham Petrol Arayışları	5
2.2. Petrolün Türkiye'deki Durumu.....	6
2.1.2. Türkiye’deki Yeni Ham Petrol Arayışları.....	9
3. ATIK PETROL ÇAMURLARI	12
3.1. Atık Petrol Çamurlarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	15
3.2. Atık Petrol Çamurlarının Kullanım Alanları.....	15
3.2.1. Atık Petrol Çamurlarının Çimento Fabrikalarında Değerlendirilmesi	16
3.2.2. Atık Petrol Çamurlarının Elektrik Üretiminde Kullanılması	16
3.2.3. Atık Petrol Çamurlarının Yakıt Olarak Kullanılması.....	17
3.3. Atık Petrol Çamurunun Enerjiye Dönüşüm Yöntemlerinin Analizi	17
3.3.1. Yakmak Suretiyle Enerjiye Dönüşüm.....	17
3.3.2. Gazlaştırmak Suretiyle Enerjiye Dönüşüm	18
3.3.3. Sıvılaştırmak Suretiyle Enerjiye Dönüşüm	18
3.3.4. Piroliz Yöntemi Uygulanarak Enerjiye Dönüşüm.....	18
4. PİROLİZ	19
4.1. Piroliz Yöntemleri.....	19
4.1.1. Geleneksel Piroliz Yöntemi	20
4.1.2. Hızlı Piroliz Yöntemi	20
4.1.3. Vakum Piroliz Yöntemi	21
4.1.4. Hidropiroliz Yöntemi	21
4.2. Piroliz Reaksiyonu Sonunda Ortaya Çıkan Ürünler	21

4.2.1. Katı Ürün.....	21
4.2.2. Sıvı Ürün	22
4.2.3. Gaz Ürün	22
4.3. Piroliz Reaksiyonunu Etkileyen Parametreler.....	22
4.3.1. Piroliz Sıcaklığı.....	22
4.3.2. Isıtma Hızı	22
4.3.3. Biyokütlenin Özellikleri.....	23
4.3.4. Reaksiyon Ortamı.....	23
4.3.5. Katalizör.....	23
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	24
5.1. Piroliz Yöntemi, Atık Petrol Çamurlarının Geri Dönüşümü ve Kükürtsüzleştirme	24
5.1.1. Piroliz Yönteminin Sektördeki Kullanımı.....	24
5.1.2 Atık Petrol Çamurlarının Geri Dönüşümü	25
5.1.3. Kükürtsüzleştirme Yöntemlerine İlişkin Araştırmalar	28
5.1.4. Atık Petrol Çamurlarının Motorlarda Kullanımı.....	31
6. HİDROKARBONLAR	33
6.1. Hidrokarbon Çeşitleri ve Özellikleri.....	33
6.1.1. Alkan Bileşikler (C_nH_{2n+2})	34
6.1.2. Alken Bileşikler (C_nH_{2n} , C_nH_{2n-2}).....	36
6.1.3. Naftenler (Sikloparafinler, Siklonlar) C_nH_{2n}	36
6.1.4. Benzen Türevli Aromatikler (C_nH_{2n-6})	37
6.2. Benzin Yakıtı	38
6.2.1. Motorun Soğuk Hava Koşullarında Kolay ve Düzenli Çalışabilirliği	39
6.2.2. Buhar Tamponunun Önlenmesi	39
6.2.3. Motorun Değişken Devirlerdeki Güç Talebini Karşılama.....	40
6.2.4. Ekonomiklik.....	40
6.2.5. Sakızlaşma ve Reçine Oluşturmaması	40
6.2.6. Korozyon.....	41
6.2.7. Yağlama Yağına Etkisi	41
6.2.8. Vuruntu Dayanımı.....	41
6.2.9. Oktan Sayısı	41
6.2.10. Vuruntu (Detanasyon).....	42
6.2.11. Vuruntunun Motor Parçalarına Etkisi	43
6.3. Dizel Yakıtı	43

6.3.1. Çeşitli Dizel Yakıtları ve Yapısal Özellikleri	44
6.3.2. Dizel Yakıtın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	45
6.4. Yanma Sonu Kirlenici Emisyonlar	48
6.4.1. Partikül Madde ve Isı Emisyonları.....	49
6.4.2. Azot Oksit (NO _x) Emisyonları	49
6.4.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonları.....	50
6.4.4. Karbon Monoksit (CO) Emisyonları.....	50
6.4.5. Karbondioksit (CO ₂) Emisyonları.....	51
6.4.6. Kükürtoksit (SO _x) Emisyonları	51
7. MATERYAL VE METOT	52
7.1. Piroлиз Reaktörü Düzenegi	52
7.1.1. Elektrik Kontrol Ünitesi.....	52
7.1.2. Mekanik Gövde Tasarımı.....	53
7.2. Motor Test Düzenegi	57
7.2.1 Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı	59
7.2.2 Pens Ampermetre Cihazı.....	60
7.2.3 SO ₂ Ölçüm Cihazı	61
7.2.4 Sıcaklık Ölçüm Cihazı	61
7.3 Deney Yakıtları	62
7.4 Deneysel Yöntem.....	64
7.5 Yakıt Tüketimi	65
7.6 Özgül Yakıt Tüketimi	66
7.7 Termik Verim.....	66
8. ATIK PETROL ÇAMURLARINDAN DİZEL VE BENZİN BENZERİ YAKITLARIN ÜRETİLMESİ.....	67
8.1. Atık Petrol Çamurunun Muhteviyatının Tespiti.....	67
8.2. Reaksiyon Sonucu Elde Edilen Ürünlerin İncelenmesi	68
8.2.1. Benzin Benzeri Yakıt Numunesinin Üretimi ve Sıcaklık Analizi.....	69
8.2.2. Dizel Benzeri Yakıt Numunesinin Üretimi ve Sıcaklık Analizi	70
8.2.3. Reaksiyon Sonunda Reaktör İçerisinde Kalan Ürünler.....	71
8.3. Sıvı Yakıtların Alıkonma Sürelerinin Tespiti	72
8.3.1 Benzin Benzeri Yakıt İçin Alıkonma Süresinin Tespiti	72
8.3.2. Dizel Benzeri Yakıt İçin Alıkonma Süresinin Tespiti.....	73
8.4. Benzin ve Dizel Benzeri Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Analizi	74

8.5. Kükürt Giderme Reaksiyonları	76
8.5.1. Bazik Katkı Maddeleri Kullanılarak Kükürt Giderme İşlemleri.....	76
8.5.2. Asidik Kükürt Giderme Reaksiyonları.....	81
8.6. Kükürtsüzleştirme İşlemlerinin Genel Değerlendirilmesi.....	86
8.7. Standart Benzin ve Dizel Yakıtının Sınır Değerlerinin İncelenmesi	87
8.8. Üretilen Yakıtların Laboratuvar Ortamında Teknik Özelliklerinin İncelenmesi	90
8.8.1. Benzin Benzeri Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Tespiti	90
8.8.2. Dizel Benzeri Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi	91
9. MALİYET ANALİZİ	93
9.1. Reaktördeki İşlem adetlerinin tespiti	93
9.1.1. Benzin Benzeri Yakıt Üretiminde Reaksiyon İşlem Adetinin Tespiti	93
9.1.2. Dizel Benzeri Yakıt Üretiminde Reaksiyon İşlem Adetinin Tespiti.....	94
9.2. Harcanan Elektrik Enerjisine Ait Maliyetlerin Hesaplanması	95
9.3. Harcanan Azot Gazına Ait Maliyetlerin Hesaplanması	96
9.4. Harcanan Kimyasal Ürünlere Ait Maliyetlerin Hesaplanması.....	96
9.4.1. Benzin Benzeri Yakıt Üretimi Aşamasında Harcanan Kimyasal Ürünlere Ait Maliyetlerin Hesaplanması.....	96
9.4.2. Dizel Benzeri Yakıt Üretimi Aşamasında Harcanan Kimyasal Ürünlere Ait Maliyetlerin Hesaplanması.....	97
10. ATIK PETROL ÇAMURLARINDAN ELDE EDİLEN BENZİN VE DİZEL BENZERİ YAKITLARIN MOTOR DENEYLERİ.....	100
10.1. Benzin Benzeri Test Yakıtlarının Motor Performansı Deneyleri.....	100
10.1.1. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Kütlesel Yakıt Tüketimi	100
10.1.2. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Özgül Yakıt Tüketimi Analizi	102
10.1.3. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Termik Verim Analizi	103
10.1.4. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Egzoz Sıcaklığı Analizi	105
10.2. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Emisyon Değerlerinin Analizleri.....	106
10.2.1. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin NO _x Emisyonu Analizi	106
10.2.2. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin CO Emisyonu Analizi.....	108
10.2.3. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin HC Emisyonu Analizi.....	110
10.2.4. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin CO ₂ Emisyonu Analizi	112
10.2.5. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin SO ₂ Analizi.....	114
10.3. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıtların Motor Performans Değerlerinin Analizi. 115	
10.3.1. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Kütlesel Yakıt Tüketimi Değerlerinin Analizi.....	116

10.3.2. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Özgöl Yakıt Tüketimi Değerlerinin Analizi.....	117
10.3.3. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Termik Verim Analizi....	119
10.3.4. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Egzoz Sıcaklığı Analizi .	120
10.4. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Emisyon Analizleri	122
10.4.1. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin NO _x Emisyonu Analizi ..	122
10.4.2. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin CO Emisyonu Analizi	124
10.4.3. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin HC Emisyonu Analizi	126
10.4.4. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin CO ₂ Emisyonu Analizi...	127
10.4.5. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin SO ₂ Analizi	129
10.5. Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Motor Performansı Analizleri	130
10.5.1. Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Kütlesel Yakıt Tüketimi.....	131
10.5.2. Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Özgöl Yakıt Tüketimi Değerlerinin Analizi	133
10.5.3. Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Motordaki Termik Verimi.....	134
10.5.4. Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Egzoz Sıcaklığı Analizi.....	136
10.6. Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Emisyon Değerlerinin Analizleri	137
10.6.1. Dizel Benzeri Test Yakıtlarının NO _x Emisyonu Analizi.....	137
10.6.2 Dizel Benzeri Test Yakıtlarının CO Emisyonu Analizi	140
10.6.3. Dizel Benzeri Test Yakıtlarının HC Emisyonu Analizi	141
10.6.4. Dizel Benzeri Test Yakıtlarının CO ₂ Emisyonu Analizi.....	143
10.6.5. Dizel Benzeri Test Yakıtlarının SO ₂ Analizi	144
10.7. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Yakıtların Motor Performans Değerlerinin Analizi ...	146
10.7.1. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Kütlesel Yakıt Tüketimi Değerlerinin Analizi.....	146
10.7.2. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Özgöl Yakıt Tüketimi Değerlerinin Analizi.....	148
10.7.3. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Termik Verim Analizi	150
10.7.4. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Egzoz Sıcaklığı Analizi.....	152
10.8. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Emisyon Analizleri.....	153
10.8.1. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Test Yakıtlarının NO _x Emisyonu Analizi.....	153
10.8.2. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Test Yakıtlarının CO Emisyonu Analizi	156
10.8.3. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Test Yakıtlarının HC Emisyonu Analizi	157
10.8.4. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Test Yakıtlarının CO ₂ Emisyonu Analizi	159
10.8.5. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Test Yakıtlarının SO ₂ Analizi.....	160
11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	163

11. KAYNAKLAR	173
ÖZGEÇMİŞ	182

1. GİRİŞ

Bir ülkenin gelişmişlik düzeyini belirleyen en temel unsurlardan biri enerjiyi verimli kullanma potansiyelidir. Modern ve teknolojik tasarımların hayatımızda yer almaya başlamasıyla, enerjiye olan ihtiyacımız hızlı bir şekilde artmaya devam etmektedir.

Enerji gereksinimine çözüm üretmek adına, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim olduğu gibi mevcut enerji kaynaklarının da verimli kullanılabilmesi adına alternatif çalışmalar yapılmaktadır. Dünya genelinde alternatif yakıt araştırmaları ve mevcut rezervlerin verimli kullanılması adına yapılan çalışmalar maddi olarak desteklenmekte ve katma değeri olan çalışmalar, sektörde uygulamaya geçirilmektedir.

Dizel ve benzinli motorlar; ulaştırma, savunma sanayi, enerji, tarımsal ve endüstriyel faaliyetler başta olmak üzere birçok sektörel faaliyet üzerinden toplumun ihtiyacını karşılamaktadır. Sektörün dizel ve benzinli motorlara olan talebi ve bu talebin ham petrolden karşılanıyor olması sıvı yakıtların verimli kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Diğer taraftan sıvı yakıtların verimli kullanılması adına, otomotiv sektöründe yeni motor tasarımları üzerinde çalışmalar da yürütülmektedir. Yeni motor tasarımlarındaki temel amaç, en az yakıt harcanarak en yüksek verimin elde edilmesi üzerinedir. Bu gelişmelere ek olarak, içten yanmalı motorlarda kullanılmak üzere çeşitli alternatif yakıt arayışları da sürdürülmektedir. Bitkisel, hayvansal ve madeni yağların yanı sıra atık durumdaki birçok fosil kaynaklı ürünlerin sıvılaştırılması şeklinde alternatif sıvı yakıt araştırmaları da devam ettirilmektedir. Ham petrolün kuyulardan çıkarılışı ve dinlendirilmesi sürecinde ortaya çıkan atık petrol çamurlarının da gün geçtikçe büyük bir çevresel sorun olarak karşımıza çıktığı görülmektedir. Balçık şeklindeki bu atıkların önemli miktarda enerji içeriğine sahip olması, atıl haliyle bitki örtüsüne ve doğaya ciddi zararlar vermesi gibi unsurlar bir bütün olarak değerlendirildiğinde, bu atıkların sıvı yakıtlara dönüştürülmesinin faydalı bir çalışma olacağı öngörülmüştür.

Ülkemizde, ham petrolün arama ve üretim faaliyetleri, Enerji Bakanlığına bağlı Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü tarafından çok yoğun bir şekilde yürütülmektedir. Hali hazırda petrol üretimi devam eden tesislerin yanı sıra, son zamanlarda gravitesi yüksek olan yeni petrol yataklarının tespit edilmiş olması milli ekonomi açısından oldukça sevindiricidir. Ülkemizde sondaj kuyularının sayısının

artmasıyla beraber sondaj kuyularından çıkan atıklarında aynı paralelde artacak olması kaçınılmaz bir sonuçtur.

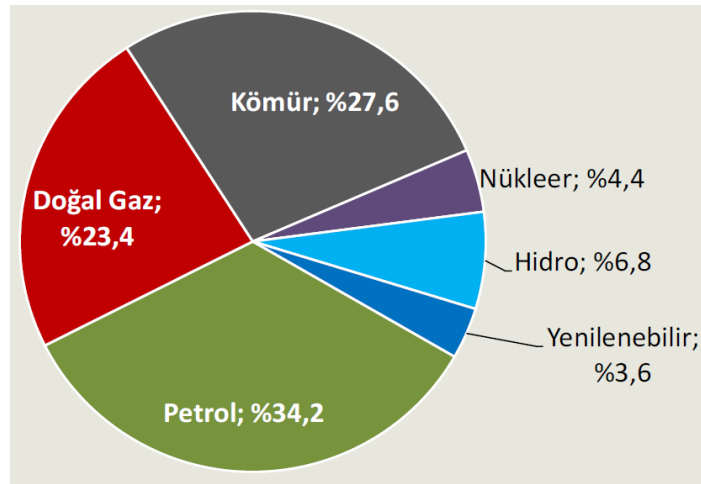
Çıkarıldığı bölgedeki kaynağa bağlı olarak değişkenlik gösterse de ham petrol yaklaşık %60 oranında karbon (C) atomu içeren hidrokarbon bileşenlerinden oluşmaktadır. Ham petrol, sondaj kuyusundan çıkarılırken beraberinde kum, çamur, balçık ve tortu gibi istenmeyen maddeler ile karışarak havuz ve depolara taşınmaktadır. Ham petrolün, rafineri ünitelerine sevk edilme aşamasında, birçok dinlendirme havuzu ve tanklardan geçmektedir. Dinlendirme havuzlarındaki ham petrol, bağlantı boruları üzerinden rafineriye sevk edilmektedir. Bu boruların emiş ağzı, havuzun dip noktasının birkaç metre üzerinden bağlanmıştır. Bu bağlantının sebebi tankın dibinde biriken çamur şeklindeki balçığın rafineri ünitesine gitmesini engellemektir. Rafineri üniteleri, balçık içeriği yüksek olan ham petrolü işleyememektedir. Bu sebeple ham petrol havuzlarda dinlendirilmektedir. İşlenilebilecek statüdeki ham petrol rafineriye gönderilirken balçık şeklindeki çamur, havuz ve tank dibinde birikmektedir. Bu tortu, kurum içi bakım ve revizyon dönemlerindeki çalışmalarda çıkarılarak havuz ve tank dipleri temizlenmektedir. Temizlik neticesinde çıkarılan bu petrol çamurunun oldukça fazla olması ciddi çevresel problemler oluşturmaktadır. Bu çamurlar önceki yıllarda çoğunlukla, ya denize veya toprağa boşaltma şeklinde imha edilmeye çalışılmakta iken çevreci kuruluşların baskısı, kanuni sınırlamalar ve yeni yönetmeliklerle beraber günümüzde çeşitli atık yakma tesislerinde bertaraf edilmeye çalışılmaktadır. Bu durumda da ham petrol üretici firmaları bu atıkların bertarafı için, bertaraf firmalarına ciddi maliyetler ödemek zorunda kalmaktadırlar.

Bu bağlamda yapılan çalışma ile, katalizör ortamında pirolitik distilasyon yöntemi kullanılarak tehlikeli atık statüsünde değerlendirilen atık petrol çamurları içerisindeki katma değeri yüksek hidrokarbonların geri kazanımı ve çevreye verdiği zararın önlenmesi amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra, elde edilen sıvı yakıtların analizleri yapılarak içeriğindeki inorganik veya atık bileşenlerden ayrıştırılması neticesinde dizel ve benzinli motorlarda kullanılabilecek statüde yakıt elde edilmesidir. Yapılan bu çalışma ile atık petrolün doğaya vereceği ciddi zararların önüne geçilerek ülke ekonomisinde önemli yeri olan petrol kaynaklı gelir kalemlerine bir yenisinin eklenmesi amaçlanmıştır. Doğayı koruma ve milli servet niteliğindeki atık petrolün ekonomiye kazandırılması adına yapılan bu çalışmanın alana ve ülke ekonomisine önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

2. PETROLÜN GENEL DURUMU

2.1. Petrolün Dünyadaki Durumu

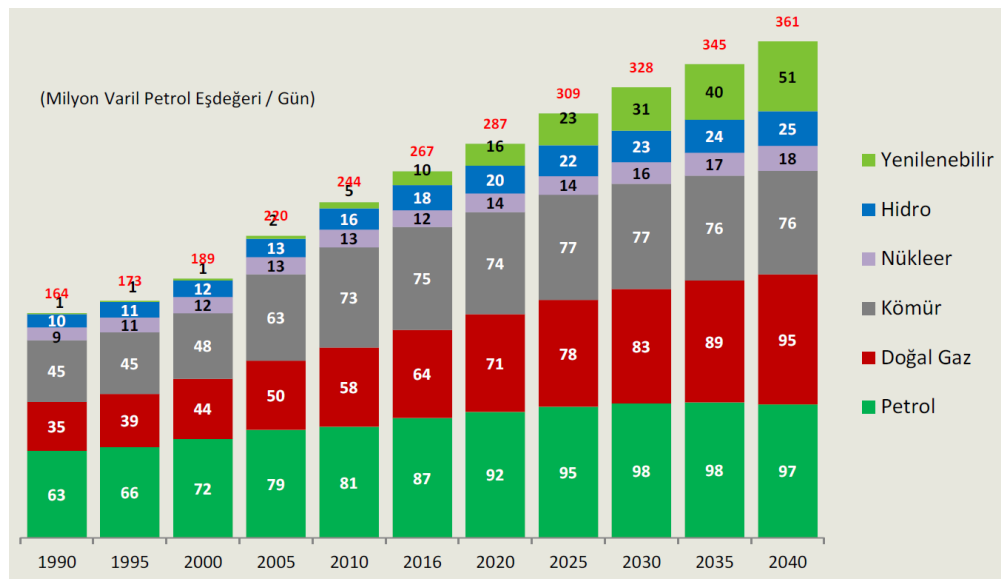
Enerji, bir ülkenin teknolojik ve ekonomik olarak kalkınmasında dinamo görevi görmektedir. Ülke ekonomisinin güçlü ve güven veriyor olması, o ülkede yaşayan insanların iş yaşamlarındaki verimini arttıracak gibi, sosyal yaşamlarında konforunu da arttıracaktır. Enerji; ulaştırma, sanayi, konut ve birçok ticari faaliyetlerde aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Enerjiye olan talebin, %34,2 'sini petrol, % 27,6 'sını kömür ve %23,4 'ünü doğalgaz karşılamaktadır. Petrol, kömür ve doğalgazın % 86'lık bir tüketim endeksine karşılık geldiği Şekil 2.1'den görülmektedir. Ham petrol distilasyon ürünleri, küresel sektörün 1/3 oranındaki enerji yükünü karşılamaktadır (BP enerji raporu, 2018).



Şekil 2.1. 2018 yılı küresel birincil enerji tüketim oranları (BP enerji raporu, 2018).

Dünya enerji piyasasında önemli bir ağırlığı olan petrolün, ekonomik kalkınma açısından oldukça önemli olduğu birçok çalışmada dile getirilmiştir. Günümüzde tükenme endişelerinin sıkça konuşulduğu bu enerji kaynağı, ekonomik kalkınmanın da olmazsa olmazıdır. Petrol tüketimindeki artış, petrol fiyatlarının aşırı yükselmesi ve üretim maliyetlerinin artması gibi hususlar beraber değerlendirildiğinde, gelişmekte olan ülkeler için ekonomik olarak kalkınmak zor ve maliyetli bir çaba gerektirmektedir. Bu sebeple gelişmekte olan ülkeler, kaynak arayışlarını ve mevcut rezervlerini en verimli şekilde kullanmak zorundadır.

Dünya enerji piyasası içerisinde petrolün önemi ve durumu çeşitli grafikler ve tablolar eşliğinde incelenmiştir. Karayolu taşımacılığının en temel enerji kaynağı petroldür. Dünya birincil enerji tüketiminde en büyük pay sahibidir. Petrol sektörün %34,2'sini karşılarken, onu takip eden doğalgaz ise %23,4'ünü karşılamaktadır. Şekil.2.2 deki grafikten de görüleceği üzere, sektördeki araştırma kuruluşları (IEA, BP, Exxon Mobil) mevcut rezerv kaynakları üzerinden gerçekleştirdikleri varsayımlara göre, petrolün ve doğalgazın, öncelikli enerji tüketim verileri üzerindeki paylarını, önümüzdeki süreçte de sürdüreceğini tahmin etmektedirler (BP enerji raporu, 2018).

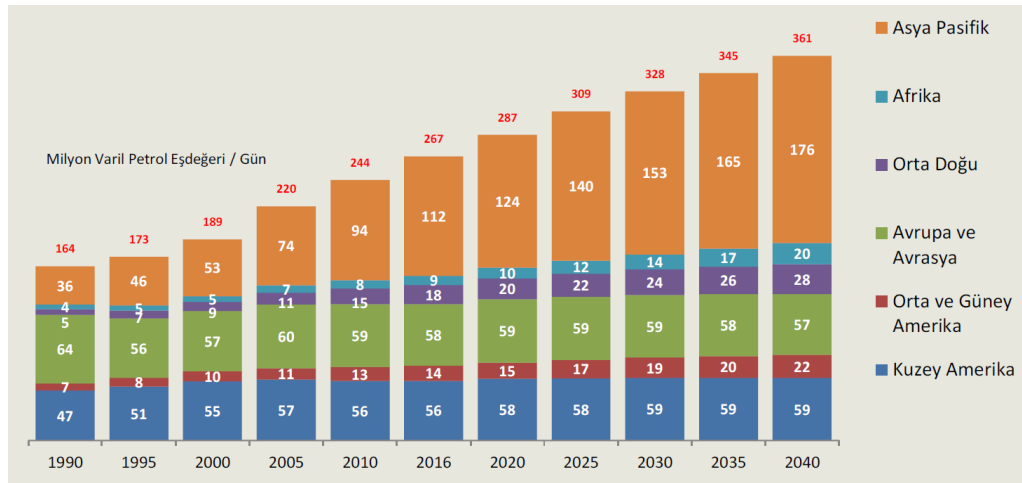


Şekil 2.2. 1990 - 2040 rezerv kaynağı bakımından dünyadaki enerji talebi (BP enerji raporu, 2018).

Petrolün günümüzdeki ekonomik gücünün gelecekte de devam edeceği Şekil 2.2'deki tespitlerden anlaşılmaktadır. Artış miktarları açısından grafikte dikkat çeken diğer bir detay ise, petrolün dışında, gelecekteki muhtemel en büyük artışın doğalgaz ve yenilenebilir kaynaklarda olacağı hususudur. Ancak yine de 2040 yılı tahminine göre Dünya birincil enerji talebi içerisinde, ham petrolün liderliğini devam ettireceği yönündedir (BP enerji raporu, 2018).

Enerji talebindeki süreç, uzun vadeli bir bakış açısı ile değerlendirildiğinde, OECD dışı ülkelerin, enerjiyi tüketim miktarlarında, önemli artışların olacağı gözlenmektedir. Oransal olarak değerlendirildiğinde, Afrika bölgesinin enerjiye olan talebinde 2040 yılına kadar yıllık %3,5 artış olacağı öngörülmürken, miktarsal olarak değerlendirildiğinde ise, 1,56 kat artış ile Asya

Pasifik bölgesinin öne çıktığı görülmektedir. Grafikteki ilgili tarih aralığındaki en büyük talebin %66 ile Asya Pasifik bölgesinden olacağı beklenmektedir. Yaklaşık 20 yıl sonra ham petrol distilasyonu neticesinde elde edilen sıvı yakıtlar üzerinden, elektrik üretimi gerçekleştirilme olasılığı çok düşüktür. Şekil 2.3'ten de görüleceği üzere, OECD dışındaki ekonomik kalkınma oranlarına bakıldığında enerjiye olan talebinin Hindistan'da senelik %4,2, Çin Halk Cumhuriyetinde ise %1,5 oranında artması beklenmektedir. 2020 yılına kadar Çin'deki sanayileşme sürecinin tamamlanacağı ve bu tarihten sonra enerji talep artış hızında düşüş yaşanacağı öngörülmektedir. İçerisinde bulunduğumuz 2020 yılında 2,37 milyon tonluk petrol tüketilmekte iken, 2040 yılında bu rakamın 2,7 milyon ton olması beklenmektedir. Belirtilen tarihlerde ulaştırma sektörünün yaklaşık %85 'lik ihtiyaç talebini petrolün karşılayacağı tahmin edilmektedir (BP enerji raporu, 2018).



Şekil 2. 3. Bölge bazında enerji talep miktarları (BP enerji raporu, 2018).

2.1.1. Dünyadaki Yeni Ham Petrol Arayışları

Araştırma raporunda, 2018 yılı içerisinde, yeni teknolojik imkanların kullanımı ile yapılan arama faaliyetleri neticesinde önceki yıllara göre önemli miktarda artış olduğu belirtilmiştir. Uluslararası araştırma şirketlerinin raporları incelendiğinde, 2015 yılındaki rezervin 1,65 trilyon varil seviyesinde olduğu ifade edilirken, 2018 yılı için bu rezervin 1,72 trilyon varil seviyesine yükselmiş olduğu belirtilmiştir. 2010 yılına kadar ki süreçte en fazla rezerve sahip olan ülke Suudi Arabistan olarak gösterilirken, 2013 yılında tespiti yapılan yeni rezervler

neticesinde, Venezüella'nın, rezerv kapasitesi yönünden liderliği ele geçirmiş durumda olduğu belirtilmiştir. Tablo 2.1 'de dünya ülkelerinin yeni tespit edilen petrol rezervlerine ait istatistiki bilgiler sunulmuştur (BP enerji raporu, 2018).

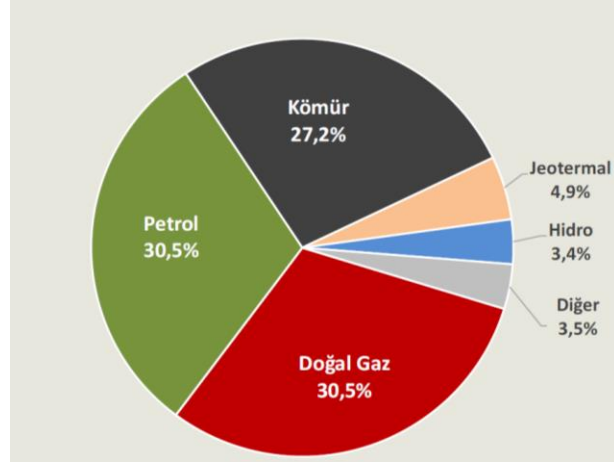
Tablo 2.1. Dünya ülkelerinde yeni tespit edilen petrol rezervleri (BP enerji raporu, 2018).

Sıra	Ülke	2015 Rezervi (Milyon Varil)	2018 Rezervi (Milyon Varil)	Geneldeki Payı (%)
1	Venezuela	298.350	302.250	17,50
2	Suudi Arabistan	265.789	266.208	15,42
3	Kanada	172.481	170.540	9,88
4	İran	157.800	157.200	9,10
5	Irak	144.211	148.766	8,62
6	Kuveyt	104.000	101.500	5,88
7	Birleşik Arap Emirlikleri	97.800	97.800	5,66
8	Rusya	80.000	80.000	4,63
9	Libya	48.363	48.363	2,80
10	Nijerya	37.070	37.453	2,17
11	ABD	39.933	35.213	2,04
12	Kazakistan	30.000	30.000	1,74
13	Çin Halk Cumhuriyeti	24.244	25.627	1,48
14	Katar	25.244	25.244	1,46
15	Brezilya	15.314	12.634	0,73
16	Cezayir	12.200	12.200	0,71
17	Angola	9.011	9.523	0,55
18	Ekvator	8.832	8.273	0,48
19	Azerbaycan	7.000	7.000	0,41
20	Meksika	9.812	6.630	0,38
-	Danimarka	611	439	0,03
-	Türkiye	334	342	0,02
-	Almanya	147	130	0,01
Dünya Toplamı		1.659.532	1.726.685	100

2.2. Petrolün Türkiye'deki Durumu

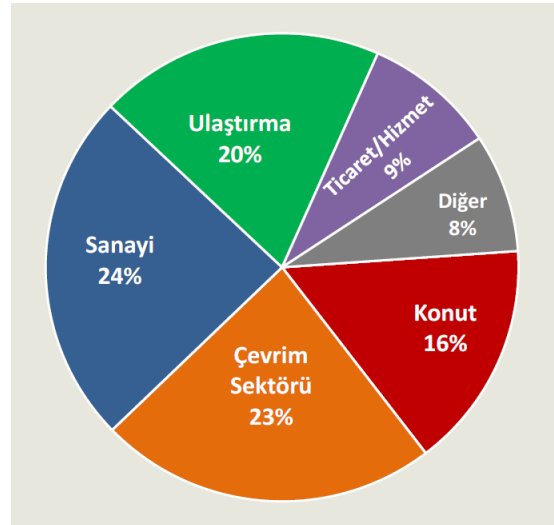
Türkiye geliştirmekte olan bir ekonomiye sahip olması sebebiyle bölgenin önemli enerji tüketicileri arasında yerini almıştır. Günümüzde, küresel dünyanın çarkları arasında gelişebilmek çok maliyetli bir iştir. 2017 yılı uluslararası enerji istatistik verilerine dayalı olarak sunulan rapora göre, "*Türkiye'deki enerji ihtiyacının, yaklaşık 145 milyon tonluk bir ham petrol eşdeğerindeki bir kapasiteye sahip olduğu ve ayrıca öncelikli enerji ihtiyacına sahip ülkeler arasında yer almaktadır*", ifadesi kullanılmıştır (BP enerji raporu, 2018). Bu enerji arzının, yaklaşık 33 milyon varillik kısmının elektrik enerjisi üretim sektöründen kaynaklı olduğu değerlendirildiği yapılırken, yaklaşık 111 milyon

varillik kısmı ise zaruri enerji tüketiminde kullanılmıştır. Ülkemizin enerji arzı içerisinde doğalgaz % 30,5'lik bir orana sahip iken, hemen hemen aynı orana sahip olan petrolün ise % 30,49'luk bir oranda seyrettiği, kömürün ise % 27,2'lik bir oran ile 3. sırada olduğu Şekil 2.4'den görülmektedir (BP enerji raporu, 2018).



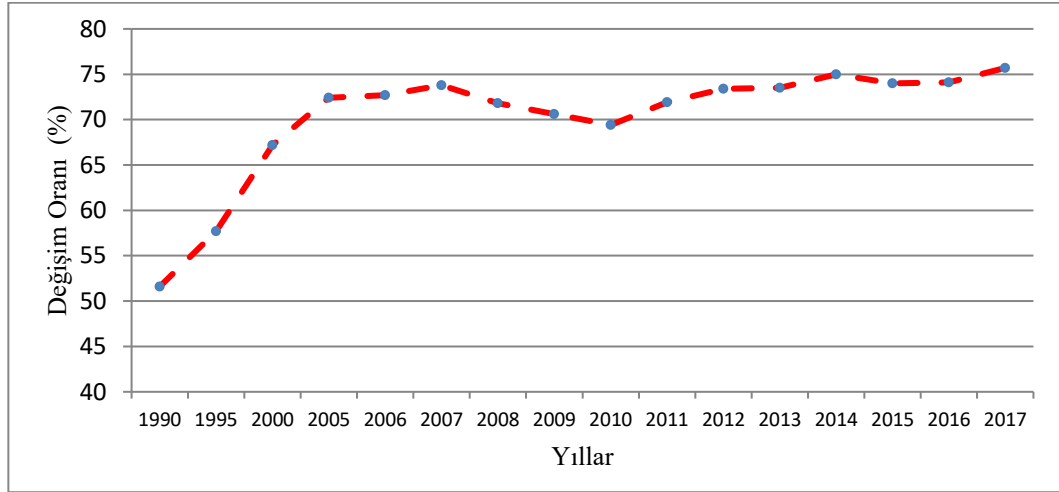
Şekil 2.4. Ülkemizin 2017 yılı içerisindeki fosil kaynaklı enerji talebi (BP enerji raporu, 2018).

2017 yılı için ülkemizin birincil enerji tüketimindeki sektörel dağılımı incelemesinde; tüketim arzının büyük payının % 24 oranı ile sanayi sektöründe olduğu Şekil 2.5'de görülmektedir. İkinci sırada % 23 oranı ile çevrim sektöründe, 3. sırada % 20'lik oranla ulaştırma sektöründe, 4. sırada % 16'lık pay ile konutlarda, % 9'luk kısmının ise ticaret ve hizmet sektöründe kullanılmış olduğu görülmektedir.



Şekil 2.5. 2017 yılı Türkiye enerji tüketiminin sektörel dağılımı (BP enerji raporu, 2018).

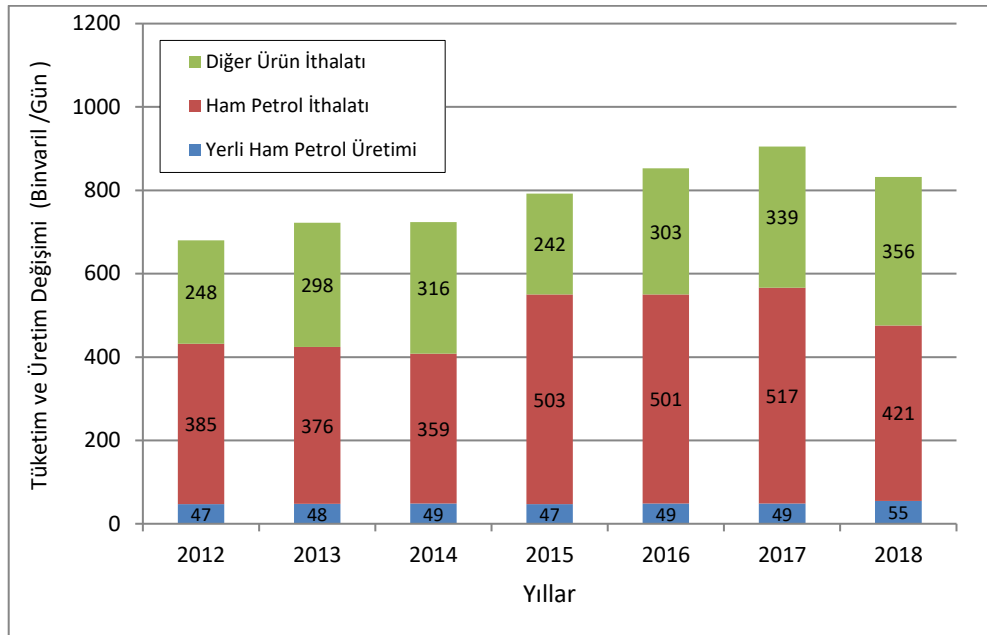
Ülkemizin 2017 yılında enerji ihtiyacının dışa bağımlılığı % 75,7 şeklindedir. Diğer bir ifadeyle, enerji talebinin % 24,3'ünü kendi imkânları ile karşılamıştır. Birincil enerji talebimizdeki dışa bağımlılık oranımız bir önceki yıla göre yaklaşık % 1,6 artmıştır. 1990 yılından 2017 yılına kadar ki süreçteki enerji talebimizdeki dışa bağımlılık verileri Şekil 2.6'da sunulmuştur (www.enerji.gov.tr., 2019).



Şekil 2.6. Ülkemizin 1990-2017 yılları arasındaki enerji arzındaki dış ticarete bağımlılığı (www.enerji.gov.tr., 2019).

Ülkemizde 2007 ile 2016 yılları arasındaki enerji tüketim verilerinin sürekli yükseliş gösterdiği Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Petrol ve doğalgazın toplamının birincil enerji tüketimindeki oranı % 60'lar seviyesinde seyretmiştir. Doğalgaz, 2018 yılında elektrik üretimi ve konutlardaki ısınmanın büyük bir kısmının yükünü alınca doğal gazın tüketiminde önemli bir artış kaydedilmiştir. 2016 yılına ilişkin petrol ve doğalgazın tüketimi, toplam enerji payı içerisinde %59 olarak kaydedilmiştir. Şekil 2.7'deki verilere göre yerli ham petrol üretimimizin yıllara göre sistematik bir şekilde artmış olduğu görülmektedir (Türkiye enerji raporu, 2019). Mobil güç santralleri ile elektrik üretiminin maliyetli olması sebebiyle zaman içerisinde doğal gaz güç santralleri üzerinden elektrik üretimi başlaması ile doğalgaz tüketiminde önemli artışların olmasının

yanı sıra sanayi ve teknolojiadaki gelişmelerle de ham petrolün tüketimi artış göstermiştir.



Şekil 2.7. Ülkemizin 2007-2018 yılları arasındaki tüketim ve üretim değişimi (Türkiye Enerji Raporu, 2019).

2.1.2. Türkiye’deki Yeni Ham Petrol Arayışları

Ülkemizde petrol arama ve üretimi, T.C. Petrol İşleri Genel Müdürlüğü denetiminde, TPAO, MTA, yerli şirketler, yabancı şirketler ve yabancı ortaklıklar üzerinden sürdürülmektedir. Ülkemizdeki petrol üretimindeki büyük pay TPAO'ya aittir. Diğer özel sektör firmalarının da bu alanda çalışma yapmalarının kanuni yolu açılmıştır (Türkiye petrol araştırma verileri, 2019).

Ülkemiz, yer altı enerji kaynakları açısından çok cazip ve bakir bir coğrafyadır. Bu kaynakların başında da petrol ve doğalgaz rezervleri gelmektedir. 2019 yılının başında Siirt ilinde Demirkuyu-1 isimli sahadan aylık 11,2 milyon varil petrol çıkarılmaya başlanmış olduğu ve buna ek olarak Diyarbakır'ın Ergani ilçesinde 34 gravite kalitesinde petrol yataklarının varlığının tespit edilmiş olduğu, Enerji Bakanlığı tarafından açıklanmıştır (www.enerji.gov.tr., 2019).

Son yıllarda, ülkemizde TPAO, MTA ve yabancı yatırımcıların çalışmaları neticesinde 919 adet petrol sahası ve bunların yanı sıra 20 adet de doğalgaz rezervi tespit edilmiştir.

Petrol arama ve çıkarma sektöründeki teknolojik yenilikler, hidrolik çatlatma gibi farklı metotların geliştirilmiş olması ve yabancı şirketler vesilesiyle yeni teknolojilerin ülkemizde kullanılmaya başlanmasıyla arama, tespit, enjeksiyon ve jeolojik istikşaf noktalarında olumlu çalışmalar başlatılmıştır. Tablo 2.2'de sunulmuş olan, Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğünün verilere göre, ülkemizde üretimi devam eden kuyular ile beraber toplam 4910 adet sondaj kuyusu üzerinde çalışmalar devam ettirilmektedir (Türkiye petrol araştırma verileri, 2019).

Tablo 2.2. 2018 Aralık itibarıyla ülkemizdeki petrol kuyularındaki çalışmanın türü ve adeti
(Türkiye petrol araştırma verileri, 2019).

Şirketler	Sondaj kuyusu cinsi ve adeti					
	Arayış	Bulma	Faaliyet	Sondaj	Jeo. Tespit	Toplam
	Tane	Tane	Tane	Tane	Tane	Tane
Türkiye Petrolleri A.O.	943	495	1434	25	41	2938
M.T. A	61	8	15	-	20	104
Diğer Yerli şirketler	144	21	44	-	21	230
Diğer Yabancı şirketler	546	304	445	2	5	1302
Yerli&Yabancı Şirket Ortaklığı	195	91	42	7	1	336
Toplam	1889	919	1980	34	88	4910

Mevcut üretimde olanlar ile beraber 1980 kuyu üretime devam etmektedir. Diğer taraftan enjeksiyon çalışması devam eden 34, arama aşaması devam eden 1889, tespit aşamasında 919 ve jeolojik istikşaf aşamasında da 88 kuyu üzerinde çalışmalar yoğun bir şekilde sürdürülmektedir. Ülkemizde faaliyet gösteren yerli ve yabancı ortaklı şirketler elde etmiş oldukları sermaye ve kar payını, yine ülkemizdeki olası rezervlerin çıkarılması üzerine yoğunlaştırmaktadırlar (Türkiye petrol araştırma verileri, 2019). Petrol arama endüstrisinde yapılan çalışmalar, hem ülke rezervinin tespitine ve hem de ileriki çalışmalara ışık tutmak açısından

oldukça önemlidir. Ayrıca teknolojik imkânların sınırlı olduğu 1950 ile 1970 yılları arasında yapılan sınırlı çalışmalar ve rezerv çıkarılamayan kuyular yeni imkânlarla tekrar kontrol edilmektedir. Genel bir değerlendirme yapmak gerekirse; Türkiye, petrol aramacılığı bakımından cazibesini korumaktadır. Bu çalışmalar bir taraftan devam ederken diğer taraftan da hızla büyümekte olan ve bu paralelde petrol tüketen ölkemiz, yoğun çalışmalar ile petrol talebini karşılama çabası içerisine girmiştir.

3. ATIK PETROL ÇAMURLARI

Milyonlarca yıl önce yaşamış olan canlılara ait kalıntılar, çeken bir akarsuyun çekildikten sonra bıraktığı tortu katmanlarının, belli bir sıcaklık ve basınç altında çürüyerek oluşturmuş olduğu ve yerküredeki materyallerin başkalaşımı ile meydana gelen ve gözenekli kayaç yapıların içerisinde olan sıvı haldeki hidrokarbon bileşenlerine ham petrol adı verilmektedir.

Ham petrolün, çıkarıldığı bölgeye göre kalitesi değişmektedir. Çıkarılan ham petrol numunesi, ön inceleme neticesinde yoğunluk farkına göre sınıflandırılmaktadır. Gravite, petrolün kalite ölçümünde kullanılan bir değer olup, uluslararası anlaşmalara uygun olarak, American Petroleum Institute (API) gravitesi kullanılmaktadır. İşlenmek üzere çıkarılan her petrol, bir gravite değerine sahiptir. Ham petrolün değerli olup olmadığı gravite değerine göre ifade edilmektedir. Gravite değerinin yüksek olması petrolün değerinin o nispette yüksek olduğunu ifade etmektedir. Dünyada yaygın olarak 26-36 gravite değerinde ham petrol işlenmektedir. Rezerv açısından en ağır moleküler yapıya sahip ham petrol 5-8 API arası değerde iken, yapısal olarak en hafif ham petrol ise 57 API standartlarında olduğu bilinmektedir. Gravitesi düşük olan ham petrol numunesinde zift, asfalt vb. ürünlerin oranı fazla iken, gravitesi yüksek olan numunelerde ise jet yakıtı, benzin, dizel ve türevlerine ait yakıtlar fazladır.

Ham petrol, sondaj kuyusundan rafinerizasyon aşamasına kadar birçok dinlendirme ve arındırma işlemine tabi tutulmaktadır. Rafineri ünitesine taşınma sürecinde, olası hammadde kesintilerine karşı önlem amaçlı veya kum, çamur, balçık gibi tortulardan ayrıştırılmak amacıyla havuzlarda ve büyük tanklarda dinlendirilmektedir. Bu aşamaların amacı, kaliteli bir ürün elde etmenin yanı sıra rafinerizasyon aşamasındaki ekipmanların ve materyallerin zarar görmesinin önüne geçmektir. Ham petrolün işlenmesi öncesindeki süreçlerin her aşamasında ortaya çıkan atıklara "*Atık Petrol Çamuru*" adı verilmektedir.

Petrol endüstrisinde, ham petrol arama, sondaj, üretim, nakliye, depolama ve rafinaj işlemleri sırasında kayda değer miktarda atık petrol çamuru birikmektedir (Zhang ve ark., 2012). Çin'de atık petrol çamuru miktarının 2013 yılında beş milyon tondan fazla olduğu yönünde tespitler yapılmıştır (Zhang ve ark., 2014). Ayrıca 2010 yılında Brezilya Ulusal Atık Planı isimli platform, petrol arama ve üretim sektörü kaynaklı olarak yılda yaklaşık 51.000 ton tehlikeli katı

atık oluşmakta olduğunu bildirmiştir (Nunes, 2013). İşlenen her 500 ton ham petrol için bir ton yağlı çamur atığının üretildiği tahmin edilmektedir (Cooper ve ark., 1995). Her yıl 60 milyon tondan fazla yağlı çamur üretilebileceği ve dünya genelinde 1 milyar tondan fazla yağlı çamur biriktiği tahmin edilmektedir (Da silva ve ark., 2012; Tahhan ve ark., 2011).

Atık petrol çamurları, doğal olarak ayrışmaya dirençli toprak, su, toksik, mutajenik ve kanserojen bileşenler içeren yarı katı bir maddedir (Kriipsalu ve ark., 2007). Yüksek konsantrasyonlu petrol hidrokarbonlarının varlığı nedeniyle atık petrol çamurları, çevreyi ve insan sağlığını tehdit eden tehlikeli ama değerli atıklar olarak kabul edilmektedir (Kriipsalu ve ark., 2007).

Sondaj kuyularından çıkarılan ham petrol ile beraber gün yüzüne çıkmakta olan bu atıklar, çok ciddi çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Doğaya terkedilmesi durumunda yağmur ve kar suları ile birleşen bu atıkların dere ve göllere sızdığının anlaşılması üzerine, toprağa gömülmesi kararlaştırılmıştır. Toprağın yağmur ve kar sularını emmesiyle yoğunluk farkından dolayı tekrar gün yüzüne çıkan bu atıklar petrol üreticilerini, insanları ve doğayı önemli ölçüde tehdit edecek bir hal almıştır. İlerleyen yıllarda, bu atıklar yakılması ile enerji elde edilmesi düşünülmüşse de, çeşitli sınırlamalar ile karşılaşmıştır. 1990'lı yıllarda çevre bilinci ve çevreci kuruluşların kurulmasıyla, bu atıklara karşı toplumsal bilinç oluşmuştur. Günümüzde petrol üretimi yapan firmalar, bu atıklardan kurtulmak için bertaraf firmaları ile anlaşmaktadır. Bu sebeple bertaraf firmalarına ekstra maliyet ödemek zorunda kalmaktadır. Bertaraf firmaları bu atıkları yasa ve yönetmeliğe uygun, baca filtrasyon sistemine sahip özel kazanlarda yakarak bertaraf etmektedir. Belirtilen bu baca filtre malzemelerinin maliyetinin yüksek olması, bu atıkların bertaraf sürecini maliyetli kılmaktadır (Zhang ve ark., 2012). Atık petrol çamurları, ham petrolün üretim ünitesine gidene kadarki süreçlerin hemen hemen tamamında ortaya çıkmaktadır. Fakat en fazla dinlendirme havuzları ve tank diplerinde oluşmaktadır. Ham petrolün ön dinlendirme havuzlarında dinlendirilmesi ile ortaya çıkan atık petrol çamuruna ait görsel, Şekil 3.1'de sunulmuştur.



Şekil 3.1. Dinlendirme havuzlarındaki atık petrol çamurları

Tank ve havuzlardan rafineri ünitesine olan beslemeleri, havuzların en dip noktalarından değil de, dip seviyesinin birkaç metre üzerinden yapılmaktadır. Bunun sebebi ise rafineri ünitesinin çalışmasına engel teşkil edecek olan tortuların dibe çökmesine imkân sağlamaktır. Bu tortular, işletme ve ekipmanların belli dönemlerde temizlenmesiyle bertaraf firmalarına gönderilmektedir.

Atık petrol çamuru hususunda yapılan araştırma ve incelemelerde, bu atığın ön önemli rezervinin havuz ve tank dipleri olduğu ifade edilse de (Kaya, 2003; Sonel, 1985), alkilasyon işlemleri, tüm distilasyon aşamalarında, baz yağ ve bitüm üretim sürecinde, depolanma ve taşınma aşamalarında, eterleştirme, gazın ayrışma aşamasında, hidrojenleme aşamasında, hidro-kraking, hidrojenin üretim aşamasında, izomerizasyon, katalitik kırma, katalitik reformer, koklaştırma ve polimerizasyon işlemleri başta olmak üzere, toplam 18 farklı proses sürecinin neticesinde ortaya çıkmaktadır (<https://cygm.csb.gov.tr>). Pompa istasyonlarının dönemsel temizlikleri neticesinde oldukça fazla miktarda atık petrol çamuru ortaya çıkmaktadır. Deneylerde kullanılan pompa istasyonu atıklarına ait görsel, Şekil 3.2'de sunulmuştur.



Şekil 3.2. Pompa istasyonlarından çıkarılan atık petrol çamurları

Bu atıklar, dünya genelindeki çevreci kuruluşlar tarafından sınıflandırıldığı gibi ülkemizde de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından çeşitli başlıklar altında sınıflandırılarak, kod numarası verilmiştir (<https://cygm.csb.gov.tr>).

3.1. Atık Petrol Çamurlarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Ülkemizde en çok ham petrolün çıkarıldığı Batı Raman bölgesinde, her sondaj kuyusundan çıkarılan ürünler birbirinden farklıdır. Ham petrolün kimyasal ve fiziksel özellikleri, çıkarıldığı bölgedeki toprak ve kayaç yapısına göre değişkenlik göstermektedir. Bu farklılık, beraberinde taşınan atıklar için de geçerlidir. Ham petrolün çıkarılmış olduğu bölgenin toprak yapısına göre değişkenlik gösteren bu atıklar, bazen ince kum şeklinde olabildiği gibi bazen de ince toprak şeklinde olmaktadır. Değişkenlik göstermekle beraber, petrol çamuru içeriğindeki yaklaşık %40 oranında bulunan toprak, bir sünger gibi viskozitesi düşük olan hidrokarbonları (benzin, dizel ve türevi yakıtları) emerek içeriğinde absorbe etmektedir.

3.2. Atık Petrol Çamurlarının Kullanım Alanları

Dünya genelinde ham petrol üretimi esnasında ortaya çıkan bu atıklar, bertaraf firmaları tarafından üreticiden alınmaktadır. Üretici firmaların, bertaraf firmalarına, atığın bertarafı için ödedikleri ücretin azımsanamayacak kadar fazla

olduğu bilinmektedir. Bertaraf firmaları bu atıkları özel filtreli baca sistemine sahip fırınlarda yakarak imha etmektedirler. Ülkemizde, son yıllarda çevreci ve sağlık kuruluşlarının talepleri ile yasa ve yönetmeliklerde çeşitli düzenlemeler yapılmıştır. Bu düzenleme ile çimento fabrikaları ve termik santrallerin filtresiz olarak çalışmasının önüne geçilmiştir. Bu düzenlemelerle, aynı özel filtre sistemlerine sahip olan bu sektörlerde atık petrol çamurları değerlendirilmeye başlanmıştır (Kaya, 2003).

3.2.1. Atık Petrol Çamurlarının Çimento Fabrikalarında Değerlendirilmesi

Çimento endüstrisi, çok yüksek enerji ihtiyacı olan sektörler arasındadır. Bir ton çimentonun tesiste işlenebilmesi için yaklaşık 10 milyon kj/kg değerinde bir enerjiye ihtiyaç vardır (Ordu, 2017). Kömür, yağ ve petrokok türü enerji kaynakları çimento sanayisindeki klinker üretiminde kullanılmaktadır. Hem maliyetlerin düşürülmesi ve hem de yenilenemez enerji kaynaklarının korunması açısından birçok atık ürünün çimento fabrikalarında kullanıldığı bilinmektedir. Enerji içeriği olan; atık lastikler, atık solventler, boya çamurları, atık petrol çamurları, çeşitli yağ çamurları, mürekkepler ve organik kökenli atıklar bu sektörde kullanılmaktadır (Pipilikaki, 2005). Belirtilen atıklar içerisinde bulunan çeşitli ağır metaller ve organik bileşenlerin çimentonun yapısı içerisinde bulunan silikatlarla birleştiği ve ayrıca klinker içerisinde tutunarak çevreye taşınımının önlenemediği ifade edilmiştir (Ordu, 2017).

3.2.2. Atık Petrol Çamurlarının Elektrik Üretiminde Kullanılması

Kömürü hammadde olarak kullanan termik santrallerde özel tasarımı filtreler kullanılmaktadır. Sistemde; yanma odalarında kömürden elde edilen ısı enerjisi suya aktararak, suyun buhar haline gelmesi sağlanmaktadır. Buhar haline gelen su, türbinlere gönderilerek mekanik enerji elde edilmektedir. Elde edilen bu mekanik güç ile jeneratörler tahrik edilerek elektrik enerjisi elde edilmektedir. Atmosferdeki hava kalite katsayısının korunmasına yönelik düzenlenen yönetmelik kapsamında, emisyon sınır değerlerinin içerisinde olması durumunda, atık petrol çamurlarının elektrik üretimde kullanılabilecek kalorifik değere sahiptir. Atık petrol çamurları bu tesislerde yakılarak bertaraf edilebildiği gibi ısı enerjisinden de faydalanılabilir.

3.2.3. Atık Petrol Çamurlarının Yakıt Olarak Kullanılması

Atık petrol çamurları, çimento ve enerji üretimi gibi sektörlerde kullanılabilir olsa da çeşitli sınırlama ve sakıncaları mevcuttur. Çimento sektöründe kullanılmasıyla, üretilen çimentonun basınç dayanımını etkileyip etkilemediği hususunda araştırmalar yapılmaktadır (Kaya,2003). Atık ürünlerin çimento sanayisinde kullanılmasının birincil amacının bertaraf, ikincil amacının ise ısı enerjisinden faydalanmak olduğu görülmektedir. Atık petrol çamurları muhteviyatı itibarıyla değerli bir atık statüsündedir. Bu sebeple, bu atığın değerlendirilmesinde birincil önceliğin ısı enerjisinden faydalanmak olması gerekmektedir. Bu atıkların yakıt statüsünde değerlendirilebileceği en etkili yöntem ise, piroliz yöntemidir.

3.3. Atık Petrol Çamurunun Enerjiye Dönüşüm Yöntemlerinin Analizi

Atık petrol çamurlarının enerjiye dönüşümünde, kullanılabilir olan dört farklı metot mevcuttur. Bu yöntemlerin uygulanmasıyla katı, sıvı ve gaz ürünler elde edilebilmektedir. Yanma, gazlaştırma, sıvılaştırma ve piroliz olmak üzere çeşitli ısı dönüşüm yöntemleri uygulanmaktadır.

3.3.1. Yakmak Suretiyle Enerjiye Dönüşüm

Atık petrol çamuru içerisindeki bileşenlerin oksijen ile reaksiyona girerek ısı enerjisinin meydana gelmesidir. Bu yöntemdeki temel amaç, çevre dostu tasarımlar tasarlanarak atığın bertaraf edilmesidir. Akışkan yatak yakıcılar, dolaşımli akışkan yatak yakıcılar, agrega tipi yöntemler ile yüksek yanma sıcaklığına sahip döner, raf ve basamak tipi fırınlarda bertaraf edilmektedir (Ayen ve ark., 1992; Chang ve ark., 1993; Toraman, 2003). Atık içerisindeki hidrokarbonların ısı enerjisinden faydalanmak istenirken, atığın bir bütün halinde yanmaya maruz kalması sebebiyle, diğer bileşenlerin oluşturduğu istenmeyen gazlar da beraberinde oluşmaktadır. Atık petrol çamurlarının, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından tehlikeli atık statüsünde değerlendirilmiş olması, yanma sürecinde özel filtrelerin kullanılmasının gerekliliği, ana hammadde ile beraber

yandığında sistemin sürekliliğine engel teşkil etmesi gibi hususlar bir bütün halinde değerlendirildiğinde, bu yöntemin, kullanılabilirliğini zorlaştırmaktadır.

3.3.2. Gazlaştırmak Suretiyle Enerjiye Dönüşüm

Gazlaştırma metodunda, katı yakıtların minimize edilmiş oksijen veya hava ile tepkimeye girmesiyle, 800-1000 °C değerindeki yüksek sıcaklıklara ulaşılması gerekmektedir. Gazlaştırma işleminde, hava gazlaştırması şeklinde gerçekleştirilerek düşük enerjili gaz elde edilmektedir. Sentez gazı şeklinde yapılan yöntemde ise çeşitli kimyasal katalizörlerin eşliğinde dallanmış ve düz parafinlerin, olefinlerin ve aromatik hidrokarbonların sentezlenmesinde kullanılmaktadır. Bu yöntem, yüksek maliyet gerektirdiğinden maddi değeri yüksek olan organik maddelerin üretiminde kullanılmaktadır (Sankaran ve ark., 1998 : Trazze ve ark., 2005).

3.3.3. Sıvılaştırmak Suretiyle Enerjiye Dönüşüm

H₂ veya CO katalizörü eşliğinde, yüksek basınç ve düşük sıcaklık şartlarında maksimum sıvı elde edilebilen ısıl bir süreçtir. Elde edilen ürünü saflaştırılmaya ihtiyaç duymadan kullanılabilirliği ve kararlı bir yapıya sahip olması gibi avantajları olsa da, üretim sürecinde kullanılan çözücülerin üründen ayrıştırılmasında yaşanan zorluk ve yüksek maliyet dezavantajlarıdır (Zhang, 2012).

3.3.4. Piroliz Yöntemi Uygulanarak Enerjiye Dönüşüm

Ürünün oksijensiz bir ortamda, ısıl bozundurulması olarak ifade edilmektedir. Atık petrol çamurlarının ana omurgasını oluşturan toprak içerisine absorbe olmuş hidrokarbonların ısı enerjisi ile buharlaştırılıp, reaktör dışında soğutulması ile sıvı ürünün elde edilmesi olarak tarif edilebilir. Bu yöntem; verim, kalite, maliyet ve zaman açısından en çok tercih edilen yöntemdir.

4. PİROLİZ

Piroliz, çok değişken kimyasal özelliklere sahip olan atıkların veya katı maddelerin termal kırılmaya uğradığı, termo-kimyasal süreç olarak tanımlanmaktadır. Ürünün, ısı enerjisiye maruz kalması ile katı, sıvı ve gaz ürünlerin elde edilmesi işlemidir. Piroliz işlemi sürecinde bileşenleri en çok etkileyen parametre sıcaklıktır. Piroliz işleminde kullanılan atık veya katı ürünün cinsine göre ısı değerler değişkenlik gösterse de sıcaklığın termik parçalanma üzerindeki etkisi Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Piroliz olayındaki termik madde parçalanması (Ateş, 2005).

Gerçekleşen Aşama	Sıcaklık (°C)
Mutlak kuruma	100-120
Dezoksitasyon, desülfürleşme ve bünye sularının ayrışması	120-250
Depolimerizasyon, hidrojen ve sülfürün parçalanması başlangıcı	250
Alifatik bileşiklerin bozulması, metan ve hidrokarbonların oluşması	340
Karbonlaşma ve zenginleşme aşaması	380
C-O ve C-N bileşiklerin bağlarının parçalanması	400
Bütün maddelerin piroliz yağına ve katrana dönüşmesi	400-420
Bütün maddelerin ısıya dayanımlı maddelere kırılması	600
Aromatların ve etilenlerin oluşması	600

Tablo 4.1 'den de görüleceği üzere, 100 °C'den sonra kuruma işlemi gerçekleşirken, 250 °C sıcaklıkta hidrojen bileşenlerinin ve sülfür bileşenlerinin parçalanması gerçekleşmektedir. Alifatik bileşiklerdeki bağın bozunma süreci 340 °C'de gerçekleşmektedir. Piroliz reaksiyonu sürecinde sırasıyla; kuruma, ayrışma, parçalanma, izomerizasyon, dehidrojenasyon, aromatikleşme, koklaşma gibi reaksiyonlar meydana gelmekte olup, gaz ürünler (H₂O, H₂, CO, CO₂, CH₄, C₂H₄), organik bileşikler, sıvılar ve char açığa çıkmaktadır (Ateş, 2005; Ayllon ve ark., 2006).

4.1. Piroliz Yöntemleri

Piroliz reaksiyonunu etkileyen diğer parametreler ise ürünün reaktör içerisinde kalma süresi, ısıtma hızı ve sıcaklık değişimleridir. Reaksiyon neticesinde ortaya çıkan ürünler, bu parametrelere bağlı olarak değişkenlik

göstermektedir. Piroliz reaksiyonu kendi içerisinde 4 farklı şekilde uygulanabilmektedir (Şimşek, 2006; Bridgwater ve ark., 1990). Bu dört ana uygulamaya ek olarak; vakum, ultra hidropiroliz ve metanoliz gibi ileri piroliz yöntemleri de uygulanmaktadır (Bridgwater ve ark., 1990). Belirtilen bu uygulamalar Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Piroliz uygulama yöntemleri ve elde edilen ürünler [28].

Piroliz Yöntemi	Reaksiyon süresi	Isıtma hızı	Sıcaklık (°C)	Ürünler
Karbonizasyon	Uzun süreli	Çok düşük	T < 400	Katı
Geleneksel	5-30 dk.	Düşük	T < 600	Sıvı, katı, gaz
Hızlı	0,5-300 dk.	Çok yüksek	650	Biyoyakıtlar
Flash (gaz)	< 60 dk	Yüksek	T < 650	Biyoyakıtlar
Flash (sıvı)	< 60 dk	Yüksek	T < 650	Kimyasallar, gaz
Ultra	< 30 dk	Çok yüksek	1000	Kimyasallar
Vakum	2-30 saat	Orta	400	Biyoyakıtlar
Hidropiroliz	< 10 saat	Yüksek	T < 500	Biyoyakıtlar
Metanoliz	< 10 saat	Yüksek	T < 700	Kimyasallar

4.1.1. Geleneksel Piroliz Yöntemi

Geleneksel pirolizin, kararlı bir yöntem olması, elde edilen ürünün veriminin yüksek olması, üretim maliyetinin düşük olması bu uygulamayı cazip kılmaktadır. Gaz ürün elde edilmesinde 650 °C ve üzerindeki sıcaklık değerleri tercih edilirken, sıvı ürün elde edilme sürecinde düşük sıcaklık değerlerinde daha yüksek verim elde edilebilmektedir (Bridgwater ve ark., 1990; Bridge ve ark., 1990; Encinar ve ark.,1998).

4.1.2. Hızlı Piroliz Yöntemi

Hızlı piroliz, flash ve ultra piroliz olarak da adlandırılmaktadır. Bu uygulamalarda, 650-1000 °C gibi çok yüksek sıcaklık değerlerine çıkılarak alıkonma süresi azaltılmaktadır. Günümüzde tercih edilen yöntemlerden biri olup, üretim sürecinde önemli zaman tasarrufu sağlamaktadır (Bridgwater ve ark., 2002).

4.1.3. Vakum Piroliz Yöntemi

Piroliz ürünü aşamalı fırın reaktörlerinde ve vakum altında işlenmektedir. Reaktörden çıkan buharın yoğunlaştırılması neticesinde, birinci ürün elde edilmektedir. Reaksiyonda elde edilen sıvı, kimyasal olarak değerlendirildiği gibi yakıt olarak da kullanılmaktadır (Lemieux ve ark., 1987).

4.1.4. Hidropiroliz Yöntemi

Hidrojen ortamında gerçekleşen bu yöntem ile ürün hidrokarbonca zengin bir içeriğe sahip sıvılara dönüşmektedir.

4.2. Piroliz Reaksiyonu Sonunda Ortaya Çıkan Ürünler

Piroliz işleminde uygulanabilirliği olan yöntemler ve bu yöntemlerin uygulanması neticesinde ortaya çıkan ürünler; katı, sıvı ve gaz olarak sınıflandırılmaktadır.

4.2.1. Katı Ürün

Piroliz reaksiyonu neticesinde ortaya çıkan katı ürün gözenekli bir yapıya sahiptir. Char olarak isimlendirilen bu katı ürün aktif karbon gibi kullanıma elverişlidir. Isıl bozundurma ile organik ve inorganik bileşenler ayrıştırılmaktadır. Yapısı ve kimyasal içeriği piroliz parametrelerine göre değişkenlik göstermektedir. Piroliz ürününün atık petrol çamuru olduğu durumda, süreç farklı işlemektedir. Sıcaklığın etkisi ile ısıl bozundurulmaya maruz kalan atık petrol çamuru numunesi, içeriğindeki hidrokarbonların buhar haline gelmesi ile reaktör dışına alınıp, reaktör dışında yoğunlaştırılmasıyla sıvı ve gaz ürün elde edilmektedir. Reaktör içerisinde sarı renk toprak katı ürün olarak kalmaktadır (Bridgwater ve ark., 1990; Bridge ve ark., 1990; Encinar ve ark.,1998; Zansi ve ark., 1996).

4.2.2. Sıvı Ürün

Piroliz sıvısı koyu renkte olup, kullanılan numune ve içeriği itibariyle farklılıklar gösterebilir. Sıvı ürün yağ, biyoyağ veya tar olarak isimlendirilmektedir. Elde edilen piroliz sıvısı içerisinde bulunan su, ayrıştırılması gereken önemli bir unsurdur (Bridgwater ve ark., 1991; Azadi ve ark., 2013).

4.2.3. Gaz Ürün

Piroliz işleminde ısıнын etkisi ile parçalanmış olan metan gazı (doymuş gazlar sınıfında), çeşitli doymamış hidrokarbon bileşenleri içermektedir. H_2 , CO_2 , H_2O , CO , CH_4 ve diğer organik bileşenlerin buharları olarak ifade edilebilir. Bu gazlar aynı proses sistemin ısıtılmasında kullanıldığı gibi enerji santrallerinde de kullanılmaktadır (Şimşek, 2006).

4.3. Piroliz Reaksiyonunu Etkileyen Parametreler

Piroliz reaksiyonunu etkileyen birçok unsur vardır. Fakat en genel parametreler; sistemin sıcaklığı, ısıtma hızı, biyokütlenin (numune) içeriği, reaktör içi basınç değeri, atmosfer basıncı ve katalizördür.

4.3.1. Piroliz Sıcaklığı

Kararlı bir reaksiyon sıcaklığı sistemin en temel parametresidir. Katı, sıvı ve gaz ürünler arasındaki miktarca dengenin oluşmasını etkilemektedir. Yüksek sıcaklık değerlerindeki çalışma şartlarında, katı ve sıvı ürünün yüzdesel oranı düşük olmaktadır (Şimşek, 2006; Zansi ve ark., 1996; Li ve ark., 2004). Orta sıcaklık değerlerinde sıvı ürün miktarı fazla olurken düşük sıcaklıklarda ve uzun alıkonma sürelerinde katı ürün miktarı daha fazla olmaktadır.

4.3.2. Isıtma Hızı

Isıtma hızı, her ne kadar reaktör içerisindeki kimyasal bileşenleri etkilese de tek başına etkinliği azdır. Piroliz sürecinin verimsel analizi yapılırken, genellikle alıkonma süresi ile beraber incelenmektedir. Yüksek ısıtma hızındaki reaksiyonlarda gaz ürün oranı yüksek olurken, düşük ısıtma hızı ile

gerçekleştirilen çalışmalarda katı ve sıvı ürün verimliliği yüksek olmaktadır (Şimşek, 2006; Li ve ark., 2004).

4.3.3. Biyokütlenin Özellikleri

Piroliz yöntemi ile işlenecek olan ürünün, yapısı, boyutu ve özellikleri oldukça önemlidir. Reaktör içerisindeki numunenin gözenekli bir yapıda olması, ısı transfer yüzey alanını arttıracığından, gazların, daha geniş bir yüzey alanında tepkimeye girmesine imkan verecektir. Bu sayede gaz moleküllerinin yüzey etkileşimi neticesinde koklaşma tepkimesine girmesi ve yeniden polimerize olması sağlanmaktadır (Şimşek, 2006; Bridgwater ve ark., 1999).

4.3.4. Reaksiyon Ortamı

Reaktör içerisinde oksijensiz bir ortam oluşturulması gerekmektedir. Bu sayede ürünün kendiliğinden tutuşmasının önüne geçilebilmektedir. Bu amaç doğrultusunda reaktör içerisine N_2 gazı verilerek, içerideki oksijenin süpürülüp atılması sağlanmaktadır.

4.3.5. Katalizör

Pirolizde kullanılan katalizörler, reaksiyona girmemesine rağmen reaksiyon sürecindeki tepkimenin hızını değiştiren temel unsurlardan biridir. Reaksiyonun tamamlanmasının ardından reaktör açıldığı zaman katalizör fiziksel bir değişime uğramış olsa bile kimyasal olarak yapısını korumaktadır. Katalizör, piroliz reaksiyonunda elde edilen sıvı numunenin kalitesini de etkilemektedir. Özellikle bazı katalizörler fiziksel olarak, sıvı ürün içerisinde istenmeyen kükürdü gözenek yapısı içerisinde absorbe ederek daha saf bir ürün elde edilmesine önemli bir katkı sağlamaktadır.

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, fosil kaynaklı atık ürünlerin değerlendirilmesine ilişkin akademik çalışmalar incelenmiştir.

5.1. Piroliz Yöntemi, Atık Petrol Çamurlarının Geri Dönüşümü ve Kükürtsüzleştirme

Atık petrol çamurlarının çevreye zararının önlenmesi ve ekonomiye kazandırılması sürecindeki çalışmalar araştırılmıştır. Bu çalışmada özellikle kükürtsüzleştirme aşamasında kullanılan yöntemler irdelenmiştir.

5.1.1. Piroliz Yönteminin Sektördeki Kullanımı

Dünya genelinde, kimyasal içerikli atık ürünlerin çevremizde giderek artması ve çevreye verdiği olumsuz etkiler, endişe verici bir boyut kazanmıştır. Diğer taraftan, bu atıklar, yüksek karbon ve hidrojen içermesi sebebiyle potansiyel bir geri dönüşüm kaynağıdır. Enerji gereksinimine çözüm üretmek adına, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim olduğu gibi mevcut enerji kaynaklarının da verimli kullanılabilmesi adına alternatif çalışmalar yapılmaktadır. Dünya genelinde alternatif yakıt araştırmaları ve mevcut rezervlerin verimli kullanılması adına yapılan çalışmalar maddi olarak desteklenmekte ve katma değeri olan çalışmalar, sektörde uygulamaya geçirilmektedir. Özellikle 1973 yılında dünya genelinde yaşanan enerji krizinden sonra enerji kaynaklarının verimli kullanılması kapsamında çeşitli yöntemler denenmiştir. Yapılan çalışmalarda, ayrışmaya dirençli atık ürünlerin değerlendirilmesinde en etkili ve en ucuz olan yönetimin piroliz olduğu değerlendirilmiştir (Bridgwater ve ark., 1999; Lam ve ark., 2012).

Piroliz yöntemi, oksijensiz ortamda düşük moleküllü bileşenler elde etmenin en pratik yoludur. Üretim maliyetinin düşük olması, kolay işlenebilirliği, üretim veriminin yüksek olmasının yanı sıra iyi bir hammadde adaptasyonuna sahip ürünler elde edilebilmesi, bu yöntemin cazibesini arttırmaktadır (Aydın ve ark., 2012; Chen ve ark., 2014; Paraschiv ve ark., 2015). Son yıllarda, atık motor yağları, atık araç lastikleri, tank dibi çamurları, ayrışmaya dirençli çeşitli bitkisel yağlar, plastik hastane atıkları, hurda plastikler, belediye atıkları, atık market poşetleri, kanalizasyon çamurları, atık yağlama yağları, polimer atıkları katı fosil kaynakları, hasat sonrası atık haline gelen yağlı tohumlu bitkilerin sapları ve atık

petrol çamurları, piroliz yöntemi kullanılarak enerjiye dönüştürülmektedir (Aydın ve ark., 2012; Chen ve ark., 2014; Paraschiv ve ark., 2015; Jin ve ark., 2019).

5.1.2 Atık Petrol Çamurlarının Geri Dönüşümü

Atık petrol çamurları, içeriğindeki tehlikeli kimyasal çeşitliliği itibarıyla en dikkat çeken atıktır. İçeriğinde mutajenik ve kanserojen bileşenlerin olması, çevreci kuruluşları her geçen gün endişeye sevk etmektedir. Çevreci kuruluşların en önemli endişeleri rezerv miktarının her geçen gün artıyor olmasıdır. Petrol endüstrisinde, ham petrol arama, sondaj, üretim, nakliye, depolama ve rafinaj işlemleri sırasında kayda değer miktarda atık petrol çamuru birikmektedir (Zhang ve ark., 2012). Sektördeki her bir aşama, farklı şirketler tarafından yürütüldüğünden atığın rezervi hususunda genel bir tespit yapılamamaktadır. Ancak, Çin Halk Cumhuriyetinde firmaların 2013 yılında ortak bir tespit çalışması yapıldığı ve bu tespit, yıllık beş milyon tondan fazla bir atık ortaya çıktığı yönünde tespitler yapılmıştır (Zhang ve ark., 2014). Ayrıca Brezilya Ulusal Atık Planı tarafından yayınlanan verilere göre, 2010 yılında, petrol-gaz arama ve üretim sektörü yılda yaklaşık 51.000 ton tehlikeli katı atık üretmektedir (Nunes ve ark., 2013).

Atık petrol çamurlarının, piroliz yöntemi ile katı, sıvı ve gaz şeklinde ayrıştırılabileceği yönünde birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların büyük bir çoğunluğu atık ürünlerin; akışkan yataklı reaktörlerde, termo-gravimetrik reaksiyonda, vakum piroliz sistemlerinde, püskürtmeli yatak reaksiyonlarında ve sabit yataklı reaktörlerde işlenmesi üzerinedir (Conesa ve ark., 2014; Qu ve ark., 2019; Chang ve ark., 2000; Lin ve ark., 2018; Liu ve ark., 2009).

Katı atık petrol çamurlarının pirolizi için yapılan bir çalışmada (Liu ve ark., 2009), Çin'deki Shengli Petrol Sahası'ndan temin edilen petrol çamuru numunesinin pirolizi yapılmıştır. Çalışmada; reaksiyon öncesi kristalize olmuş katı numunenin 5-10 mm parçacık boyutlarına küçültüldüğü, reaksiyonlarda katalizör olarak su buharı kullanıldığı, katalizör kullanımının sıvı ürün verimini arttığı, her bir reaksiyonda 100 ml/dk akış hızı ile azot gazı basıldığı, katalizör olarak kullanılan su buharının reaktöre 0,4-1,6 ml/dk akış hızında enjekte edildiği, azot ve su buharının peristaltik pompa ile karıştırılarak basıldığı, sıcaklığın 20°C aralıklarla arttırıldığı, 350-600 °C sıcaklık değerlerinde çalışıldığı, katalizör olarak kullanılan su buharının akış hızının 0'dan 0,8 ml/dk 'ya çıkarılmasıyla sıvı ürün

veriminin %12,45'den %18,33'e çıktığı, 0,8 ml/dk akış hızının üstündeki değerlerde sıvı ürün veriminin azaldığı, buhar akış hızının artmasıyla organik gaz (C_xH_y) veriminin % 63,59'dan, % 44,86'ya düştüğü belirtilmiştir.

Katı atık petrol çamurlarının pirolizi ve gazlaştırılması üzerine yapılan bir çalışmada (Moltó ve ark., 2013), İspanya'da üretim yapan bir petrol sahasından iki farklı çamur numunesinin alındığı, fiziko-kimyasal ve biyolojik olarak incelendiği, piroliz süresince azot kullanılarak oksijensiz bir ortam oluşturulduğu, 280-850 °C sıcaklık değerleri arasında ve 4-10 °K /sn ısıtma hızlarında çalışıldığı, elde edilen temel bileşenin CO olduğu, yüksek ısıtma hızında CO miktarının arttığı, H üretiminin azaldığı belirtilmiştir.

Çin'de yapılan başka bir çalışmada ise (Cheng ve ark., 2016), atık petrol çamurunun piroliz yöntemi ile değerlendirilmesinde 5 farklı (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO ve SiO_2) metal oksitin sıvı ürün üzerindeki katalitik etkisinin araştırıldığı, atık petrol numunesinin 10 mm partikül boyutunda ezilerek elendiği, 450 °C sıcaklık ve 5 rpm karıştırma şartlarında ideal çalışma şartlarının oluştuğu, çalışmanın 350-600 °C aralığında ve 50 °C sıcaklık aralıklarda gerçekleştirildiği, numunenin yüksek sıcaklık değerlerinde bozunmasının, numunenin fiziksel olarak kok şeklinde bir yapıya sahip olmasına bağlanmış olduğu belirtilmiştir. Ayrıca katalizörlerin etkisi ile S, N ve O bileşenlerinin sıvı ürüne geçişinin azaldığı belirtilmiştir.

Brezilya'daki açık deniz petrol endüstrisinden kaynaklanan atık petrol çamurlarının piroliz edilmesi ile ilgili bir çalışmada (Silva ve ark., 2017), katalizör olarak K-10 asit kilinin elektrikli dikey bir fırında kullanıldığı, oksijensiz bir ortam temini için azot gazının kullanıldığı, 450-500 °C aralığında gerçekleştirildiği, katalizörün kullanılması ile gaz oranının %50 arttığı, K-10 kilinin kullanılması ile parafinik piroliz sıvısının üretiminin kolaylaştığı, %10'un üzerindeki K-10 ilavesinin sıvı ürün verimini etkilemediği, ağır hidrokarbonların yüksek moleküler bileşenler olduğu, zincir kırılma mekanizması vasıtasıyla sıvı ürün elde edilebildiği, hidrokarbonlar gibi düşük molekülü bileşenler elde edilebilmesi için ikincil reaksiyona tabi tutulması gerektiği belirtilmiştir. Elde edilen sıvı ürünün % 64'ünün ağır hidrokarbonlardan oluştuğu, ortalama kalorifik değerinin 44,1 MJ /kg olduğu belirtilmiştir.

Katı atık petrol çamurları ile pirinç kabuğunun beraber piroliz edildiği bir çalışmada (Lin ve ark., 2018), pirinç kabuğu ile atık petrol çamurları 2:1, 1:1 ve

1:2 oranlarında karıştırılmış olduğu, sabit yataklı bir reaktörde, 600 °C ye kadar ısıtıldığı, pirinç kabuğuna kıyasla atık petrol çamurunun sıvı veriminin fazla olduğu, sebebinin, atık petrol çamurlarındaki uçuculuk oranının yüksek olmasına bağlandığı, pirinç kabuğunun artık oranının yüksek olduğu, karışımındaki pirinç kabuğu oranının artmasıyla reaktörde kalan artık ürün oranının % 18,9'dan %27,7'ye yükseldiği, sıvı veriminin ise % 59,8'den, % 49,0'a düştüğü belirtilmiştir.

Diğer bir çalışmada (Song ve ark., 2019), atık petrol numunesinin Petro China Jidong Petrol Sahasından tedarik edildiği, atık petrol çamurları, atık çelik curufları ile piroliz reaksiyonuna tabi tutulduğu, reaksiyonlarda 15 kW gücünde, döner bir fırın kullanıldığı, atık petrol çamurunun 105 °C 'de kurutulduğu, 150-170 °C aralığında benzin benzeri yakıt elde edildiği, 250-270 °C aralığında dizel benzeri yakıt elde edildiği, 430-450 °C aralığında ise ağır yağ elde edildiği, en fazla uçucu salınımı 200 - 530 ° C arasında gözlemlendiği belirtilmiştir.

Atık petrol çamurlarından sıvı ürün elde edilmesi kapsamındaki bir diğer çalışmada ise (Lin ve ark., 2019) U biçiminde yeni bir reaktör tasarlandığı, bu reaktör ile ikincil reaksiyon işleminin daha pratik olduğu, çalışmanın 400-800 °C sıcaklık aralığında gerçekleştirildiği, % 67,7 oranında toplam sıvı ürün verimi elde edildiği belirtilmiştir.

Atık petrol çamurlarına ilişkin birçok çalışma yapılmıştır. Nemden ayrıştırılmış olan yağlı petrol çamurlarının, 200-500 °C arasında piroliz işlemine tabi tutulması ile sıvı ürün elde edilebileceğini, hidrokarbon üretimindeki verimin 327-450 °C sıcaklık aralığında olduğu (Liu ve ark., 2009), diğer bir çalışmada (Chang ve ark., 2000), atık petrol çamurlarının piroliz edilmesi neticesinde elde edilen gaz ürünün ana bileşeninin CO olduğu, sıvı üründe de dizel benzeri bileşenlerin elde edilebildiği, başka bir çalışmada (Conesa ve ark., 2014), sıvı ürün veriminde farklı sıcaklık değerlerinin oluşabildiği, yüksek sıcaklık değerlerinde gaz ürün veriminin yüksek olduğu ve kaynama noktası düşük ürünlerinde elde edilebileceği belirtilmiştir.

Atık petrol çamurunun pirolizi hususunda yapılan araştırmalarda, çok geniş bir sıcaklık aralığında çalışılmış olduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklık değerlerindeki bu farklılık dört temel nedene bağlanabilir. İlk olarak; piroliz reaktörünün verimi, ürünün reaktörde kalma süresi ve sistemin kendine has özgünlük derecesine bağlıdır. İkinci olarak; atık petrol çamurlarının sondaj

kuyusundan çıkarıldıktan sonra ne kadar süre dış ortamda bekletildiği ile doğrudan ilişkilidir. Dış ortamda uzun süre bekleyen atık, sırasıyla kuruma, hafif uçucu bilenlerden ayrılma, yarı katılaşma, katılaşma, koklaşma ve kristalleşme şeklinde fiziki değişime uğramaktadır. Ortaya çıkan bu atığın piroliz reaksiyonunda geri kazanımı geciktikçe, piroliz sıcaklığı artmaktadır. Üçüncü nedeni; ham petrolün çıkarılmış olduğu bölgenin, toprak yapısı ile alakalıdır. Ham petrol ile beraber sondaj kuyusundan çıkarılan toprağın, fiziksel ve kimyasal yapısı, gözenekli bir yapıya sahip olup olmadığı ve içeriğinde başka organik ve inorganik maddelerin olup olmadığı hususları ayrı bir değerlendirme konusudur. Atık petrol çamurunun ince gözenekli bir toprak yapısı ile karışmış olması durumunda, toprak yapısı itibarıyla zift veya asfalt türevli ağır fraksiyonlu ürünleri absorbe etmesi güçleşmektedir. Çünkü aynı ortamda viskozitesi düşük hidrokarbonlarda bulunmaktadır. Bu durumda toprak, yapısı itibarıyla bir sünger gibi hafif yapıli hidrokarbonları absorbe etmektedir. Bu durum sıcaklık değerinin yanı sıra, elde edilecek sıvı ürünün yüzdesel verimini de etkilemektedir. Dördüncü nedeni ise; ham petrolün gravite değerleridir. Dünyada bulunan en ağır petrol 5-7 API iken, en hafif petrol ise 57 API standartlarında olduğu bilinmektedir. Gravitesi yüksek olan ham petrol numunesinde zift, asfalt vb. ürünlerin yoğunluğu fazla iken, gravitesi yüksek olan numunelerin içeriğinde jet yakıtı, benzin, dizel ve türevi yakıtlar yoğunluktadır. Ham petrolün gravite değeri, atık petrol çamurunun muhteviyatını önemli ölçüde değiştirmektedir. Gravitesi çok düşük olan ham petrol atığından benzin benzeri ürün elde edilmesi beklenemez.

5.1.3. Kükürtsüzleştirme Yöntemlerine İlişkin Araştırmalar

Ham petrol içerisinde, farklı formlarda ve konsantrasyonlarda kükürt bulunmaktadır. Bu kükürtün varlığı, rafinasyon sürecindeki katalizörleri etkisizleştirmekte ve çeşitli korozyon sorunlarına sebep olmaktadır. Ayrıca rafinasyon süreci sonundaki elde edilen yakıtlarda ve petrol kökenli yakıtlara alternatif olarak üretilen yakıtlarda da kükürt bileşeni bulunmaktadır. Kükürt miktarı, yakıtın cinsi ve kaynağına bağlı olarak değişkenlik gösterse de ağırlıkça % 0,05 ile % 6 arasındadır (Al-Bogami ve ark., 2013). Bu tür yakıtların motorlarda kullanılmasıyla, yanma sonunda çeşitli asit yağmuru emisyonları oluşmakta ve bu durum hava kirlilik oranlarını olumsuz etkilemektedir. Yakıttaki

kükürt bileşenlerinin yanmasıyla çeşitli formlardaki SO_x emisyonları oluşmaktadır. Yakıt numunesi içerisindeki kükürt miktarının yüksek olması, emisyon değerlerinin de aynı paralelde yüksek oluşmasına sebep olmaktadır.

Fosil kaynaklı enerji kaynaklarına olan talep ve dünya nüfusundaki artış çevresel bozulma sorunlarını her geçen gün arttırmaktadır. Diğer taraftan, yakıt içerisindeki kükürt; araçların yakıt depolarında korozyona sebep olmakta, yakıtın reçineleşmesine sebebiyet vermekte ve motordaki yanma sonucunda yüzeye yapışarak yağlama yağı ile reaksiyona girip, yağlayıcılık özelliğini bozması ise diğer olumsuz yanlarıdır. Belirtilen bu olumsuzluklar sebebiyle, petrol bazlı yakıtların kükürt miktarlarında çeşitli sınırlamalar getirilmiştir. Amerika ve Avrupa Birliği ülkeleri, dizel ve benzinli motorlarda kullanılması planlanan sıvı yakıtlar için, yakıt içerisindeki kükürt konsantrasyonu için üst limit değeri 50 ppm olarak belirlemiş, 2010 yılında ise bu değer 10 ppm olarak güncellenmiştir (El-ali ve ark., 2006). Bu sebeple son yıllarda, alifatik ve aromatik formdaki kükürt bileşiklerinin sıvı yakıtlardan (benzin, jet yakıtı, dizel yakıt), gaz yakıtlardan (doğal gaz) ve sıvı petrol gazından (LPG) ayrıştırılmasıyla ilgili bilimsel çalışmalar gerçekleştirilmektedir (Dehghan ve ark., 2017).

Emici kükürt giderme, ekstraktif kükürt giderme, biyo-kükürt giderme (BDS), hidrosülfürizasyon (HDS), oksidatif kükürt giderme, çökeltici kükürt giderme gibi, yakıtlardaki kükürt konsantrasyonunu azaltmaya yönelik bir çok çalışma yapılmıştır (Saleh ve ark., 2016; Abro ve ark., 2014; Bandyopadhyay ve ark., 2013; González ve ark., 2009; Lecrenay ve ark., 1997; Kim ve ark., 2006). 1990'lı ve 2000'li yıllarda, HDS işlemi en yaygın endüstriyel kükürt giderme yöntemi olarak kullanılmıştır. Bu yöntem ile tiyoller ve sülfürler hidrojenlenerek basit bir şekilde ayrıştırılabilirken, aromatik formda olan kükürt içeriği minimize edilememiştir. Örneğin tiyofenler ve bu bileşiklerin alkil türevleri ayrıştırılamamıştır (González ve ark., 2009). Diğer taraftan; yüksek basınç ve çalışma sıcaklığı gerektirmesi, kullanılan oksijenin yüksek bir maliyet oluşturması, yakıtın oktan ve setan sayısının yan reaksiyonlarla azalıyor olması gibi sebepler, bu yöntemin kullanılabilirliğini sınırlamaktadır (Park ve ark., 2011). Belirtilen bu olumsuzluklar sebebiyle, HDS yöntemi yerine daha verimli ve daha az enerji tüketen alternatif yöntemler araştırılmıştır.

Kükürt, doğadaki benzer yapıdaki bileşenlere kıyasla daha kutupsaldır. Oksitlenmiş sülfonlar ve sülfoksitler, diğer kükürt bileşenlerine kıyasla daha fazla

kutupsaldır. Bu polarite farklılığı sebebiyle kükürt bileşenleri oksidasyondan sonra hidrokarbon bileşenlerinden seçici olarak uzaklaştırılabilir (Campos ve ark., 2010; Jia ve ark., 2011; Dhir ve ark., 2009). Bu kapsamdaki diğer bir yöntem ise; oksidatif kükürt giderme (ODS) yöntemidir. Bu yöntem iki aşamalıdır. Birinci aşamada, kükürt bileşenleri uygun bir oksitleyici madde kullanılarak sülfon ve sülfoksitlere oksitlenir, daha sonra yani ikinci aşamada ise üretilen sülfonlar ve sülfoksitler, uygun bir çözücü marifetiyle, çözücü özütleme yöntemi ile ayrıştırılmaktadır. Başarılı ODS işlemi için, oksitleyici seçimi çok önemlidir. Bununla birlikte, bu prosedürün bazı eksiklikleri, fazla enerji tüketen bir yöntem olması ve aşındırıcı oksitleyici kullanılması, tehlike içeren çok adımlı bir işlem olmasıdır (Jia ve ark., 2011 ; Capel ve ark., 2010; Hasan ve ark., 2012).

Kükürt giderme işlemlerinde kullanılan diğer bir yöntem ise; ekstraksiyon kükürt giderme (EDS) yöntemidir. Kükürt bileşenleri hidrokarbonlara kıyasla daha yüksek çözünürlüğe dayanabilmektedir (Babich ve ark., 2003). Kükürt bileşenlerinin uzaklaştırılabilmesi, uygun bir çözücünün yakıt numunesi ile karıştırılması ve hazırlanan bu çözeltinin faz ayrışmasına uğraması ile kükürt bileşenlerinin alt faza aktarılması prensibi ile gerçekleştirilir. Bu yöntemde, istenen kükürt giderme seviyesi elde edilinceye kadar çoklu ekstraksiyon tanklarında işlem yapılabilir (Babich ve ark., 2003).

HDS yöntemi ile yapılan çalışmalarda; kükürt bileşenlerinin çıkarılmasından önce azot bileşenlerinin çıkarılması gerektiği vurgulanmıştır. Çünkü yakıtta kalan azot bileşenlerinin HDS'nin katalitik işlemini engelleyeceği, katalizörün aktif bölgeleri için kükürt bileşenleri ile rekabet ederek bunları bloke edeceği belirtilmiştir. Belirtilen bu sebeple, katalizörün etkinliği ve dolayısıyla HDS işleminin etkinliği büyük ölçüde azalacağı, sistemden öncelikle azot bileşenlerinin ayrıştırılmasının gerektiği ve endüstriyel verim açısından bu işlemin önemli olduğu değerlendirilmesi yapılmıştır (Pawelec ve ark., 2011; Kulkarni ve ark., 2010).

Atık petrol çamurlarından elde edilen sıvı yakıtların verimini ve kalitesini arttırmak için yapılan bir çalışmada; katalizör olarak yağ çamuru külü ve buhar kullanıldığı, reaktör içerisine, her bir reaksiyonda 100 ml/dk akış hızı ile azot gazı basıldığı, katalizör olarak kullanılan su buharının reaktöre 0,4-1,6 ml/dk akış hızında enjekte edildiği, azot ve su buharının peristaltik pompa ile karıştırılarak basıldığı, sıcaklığın 20°C aralıklarla arttırıldığı, 350-600 °C sıcaklık

değerlerinde çalışıldığı, katalizör olarak kullanılan su buharının akış hızının 0'dan 0,8 ml/dk 'ya çıkarılmasıyla sıvı ürün veriminin % 12,45'den % 18,33'e çıktığı, 0,8 ml/dk akış hızının üstündeki değerlerde sıvı ürün veriminin azaldığının tespit edilmiş olduğu, gerçekleştirilen buhar enjeksiyonu neticesinde kükürt (S) ihtivasi hareketliliğinin % 62,18'den, % 58,45 değerine düştüğünü, yağ çamuru külü ilavesinin ise % 55,34 oranına düştüğü belirtilmiştir (Cheng ve ark., 2017).

Başka bir çalışmada ise; atık petrol çamurları, atık çelik cürufları ile piroliz reaksiyonuna tabi tutulduğu, reaksiyonlarda 15 kW gücünde, döner bir fırın kullanıldığı, atık petrol çamurunun 105 °C 'de kurutulduğu, 150-170 °C aralığında benzin benzeri yakıt elde edildiği, 250-270 °C aralığında dizel benzeri yakıt elde edildiği, 430-450 °C aralığında ise ağır yağ elde edildiği, en fazla uçucu salınımı 200-530 ° C arasında gözlemlendiği belirtilmiştir. Katalizör olarak kullanılan atık çelik cüruflarının yağ transferini desteklediği, kükürt içeriğinin yüzde 2,95 den, yüzde 1,34'e kadar düştüğü belirtilmiştir (Song ve ark., 2019).

NiMo 'nin katalizör olarak kullanıldığı bir sıvı yakıt kükürtsüzleştirilmesi çalışmasında; 270 ppm değerindeki kükürt içeriği 150 ppm değerine düşürülmüştür. Bu çalışma neticesinde yakıt içerisindeki aromatik bileşenlerde ciddi bir azalma olduğu gözlemlenmiş ve çalışmanın neticesinde HDS yöntemi yerine kimyasal olarak hidrojeniz oksidatif yöntemlerin veya mikrobiyal yöntemlerin kullanılmasının daha uygun olacağı vurgulanmıştır (Zamfirache ve ark., 1995).

Yapılan çalışmalara ilişkin genel bir değerlendirme yapmak gerekirse; kükürt içeriğine sahip sıvı yakıtların farklı fiziksel özelliklere sahip oksitleyiciler ile oksitlenip, sülfat ve sülfoksit tuzlarına dönüştürülmüş olduğu gözlemlenmiştir (Aitani ve ark., 2000; Babich ve ark., 2003; Long ve ark., 1985). Kükürtün sıvı yakıtlardan ayrıştırılması ile ilgili daha modern yöntemler ve en ucuz oksidasyon yöntemlerine yönelik araştırmalar devam etmektedir.

5.1.4. Atık Petrol Çamurlarının Motorlarda Kullanımı

Atık petrol çamurlarından elde edilen sıvı yakıtların dizel veya benzinli bir motorda kullanılması neticesinde, motor performansının ve egzoz emisyon değerlerinin ne şekilde değişim göstereceğine ilişkin literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Atık petrol çamurlarının geri kazanımı kapsamındaki

yapılan çalışmalar, genellikle elde edilen sıvı ürünlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin araştırılmasından ibarettir. Bu araştırmalara ek olarak, elde edilen katı, sıvı ve gaz ürünlerin verim ve içerik analizleri yapılmıştır. Atık petrol çamurları ağıır yapılı bileşikler olması sebebiyle yüksek oranda kükürt ihtiva etmektedir. Bu kükürdün sıvı yakıtlardan ayrıştırılmasındaki en etkili çözüm yolları arayışı halen devam ettirilmektedir.

Benzinli motor otomobillerde daha fazla kullanılırken, termik veriminin yüksek olması sebebiyle, ağıır yk şartları altında çalışan iş makinalarında, jeneratörlerde ve mobil güç santrallerinde ise dizel motorlar kullanılmaktadır. İçten yanmalı motorların halen petrol türevli yakıtları enerji kaynağı olarak kullanıyor olması sebebiyle araştırmacılar, mevcut kaynakları verimli kullanma ve alternatif yakıt çalışmaları kapsamında çalışmalar sürdürmektedir.

6. HİDROKARBONLAR

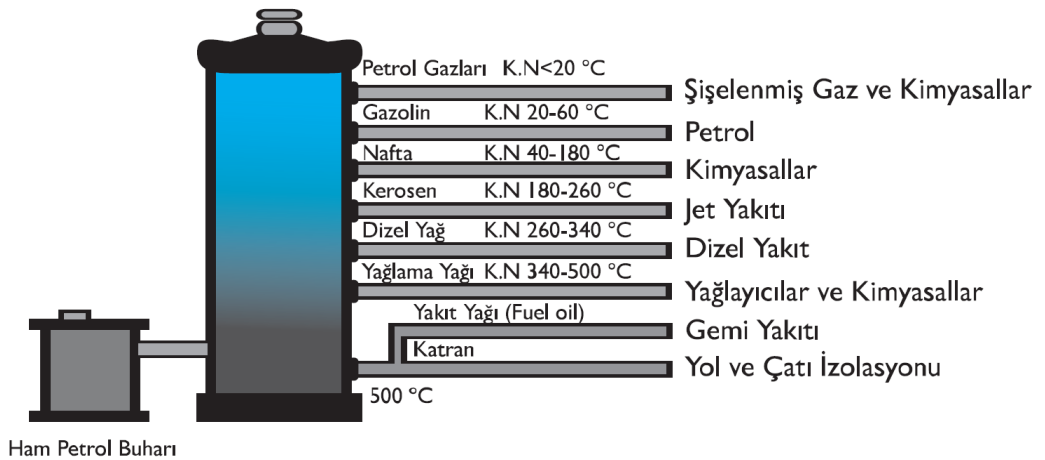
Sıvı yakıtlar büyük oranda hidrojen ve karbon ihtiva etmektedir. Karbon ve hidrojenen oluşan bileşikler, Hidrokarbon (HC) olarak isimlendirilmektedir. Genel olarak C_nH_m olarak gösterilmektedir. Karbon ve hidrojen atomları arasındaki bağ yapıları doğrultusunda isimlendirme yapılmaktadır.

Karbon atomu orbitallerinde meydana gelen $2p^3$ hibritleşmesi sebebiyle bütün bileşenlerinde dört bağ yapısı kurabilme kabiliyetine sahiptir. Hidrojen atomu ise tek valans elektronuna sahip olması sebebiyle, tek bağ yapısı kurabilmektedir (Kaya, 2013).

Ham petrolden elde edilen sıvı yakıtlar; kalorifik enerji değerlerinin yüksek olması, enerjilerini çok hızlı bir şekilde mekanik güce döneşebiliyor olması, hava ile kolay bir karışım oluşturabilmesi ve yanma reaksiyonu sonunda kül bırakmaması gibi üstün özelliklere sahip olmaları sebebiyle içten yanmalı motorlarda kullanılmaktadır.

6.1. Hidrokarbon Çeşitleri ve Özellikleri

Karbon sayıları ve atomlar arasındaki bağ yapılarına göre sınıflandırılmakta olan hidrokarbonlar, Şekil 6.1'de gösterildiği gibi çeşitli sıcaklık değerlerine göre katagorize edilmektedir.



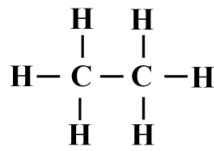
Şekil 6.1. Hidrokarbonların rafinasyondaki sıcaklık değerleri

6.1.1. Alkan Bileşikler (C_nH_{2n+2})

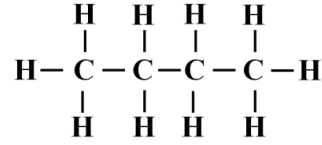
Zayıf bir bağ yapısına sahip olan alkanlar, polar olmayan bileşiklerdir. Bütana kadar ki düz zincirli alkanlar, gaz halinde iken, C_5 ve C_{17} arasında olanlar sıvı haldedir.

Alkanlar polar özelliği olmayan veya daha az bir polar özelliğe sahip çözücü dietileter ve benzen gibi polar olmayan veya az polar özellikteki çözücüler ile çözünebilirler (Kaya, 2013).

Alkanlar, C_nH_{2n+2} olarak ifade edilmektedir. Açık formüllerinde karbon ile hidrojenler arasındaki bağ yapıları belirtilir. Şekil 6.2'de etan ve bütanın molekül bağ yapısı gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 6.2. Alkanların açık formülünün gösterimi

(a) Etanın molekül yapısı, (b) Bütanın molekül yapısı

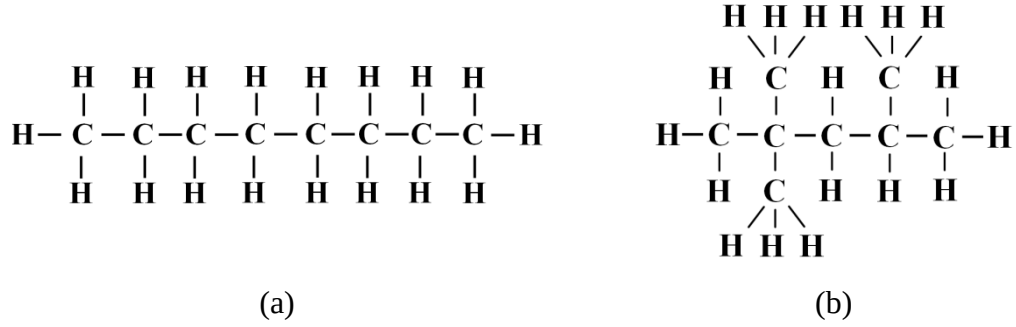
Alkan gruplarının bağ yapısına eklenen her metilen, yaklaşık olarak 30 °C'lik bir kaynama noktası artışına sebebiyet vermektedir. Moleküllerin zincir uzunluğundaki artış beraberinde Van der Waals çekim kuvvetlerini de arttıracığından kaynama noktalarında da artışa sebep olmaktadır (Kaya, 2013). Bazı alkan gruplarının kimyasal bağ yapıları Tablo 6.1'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Bazı alkanların yapısal özellikleri

Karbon Sayısı	Yapısal açık formülü	İsim
1	CH_4	Metan
2	$CH_3 CH_3$	Etan
3	$CH_3 CH_2 CH_3$	Propan
4	$CH_3 (CH_2)_2 CH_3$	Bütan
5	$CH_3 (CH_2)_3 CH_3$	Pentan
6	$CH_3 (CH_2)_4 CH_3$	Heksan
7	$CH_3 (CH_2)_5 CH_3$	Heptan
8	$CH_3 (CH_2)_6 CH_3$	Oktan

9	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_7 \text{CH}_3$	Nonan
10	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_8 \text{CH}_3$	Dekan

C ve H sayıları aynı olmasına rağmen, yapısal olarak dallanmış zincir yapısına sahip olmaları sebebiyle izo alkan olarak isimlendirilirler. Bağ yapıları itibariyle kimyasal özellikleri normal alkanlardan farklıdır. Normal oktan ile izo-oktan bu farklılığa en güzel örnektir. İzo-oktanın bağ yapısı dallanmış iken, normal oktan, düz bir yapıya sahiptir. Bu farklılıklar Şekil 6.3'de gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Bağ yapıları arasındaki farklılıklar açısından oktanın gösterimi

(a) Normal oktanın molekül yapısı, (b) İzo-oktanın molekül yapısı

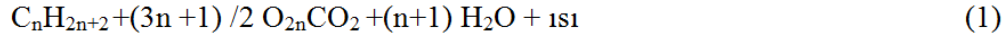
Benzinli motorlar için oktan oldukça önemlidir. Oktan sayısı iki farklı referans yakıt ile ifade edilmektedir. Benzinli motorda sadece alkan kullanılması uygun değildir. Diğer bir değişle oktan sayısının 80 olduğu bir yakıt numunesi, %80 oktan, %20 n-heptan içermektedir.

Benzinli motorlarda kullanılan yakıtlarda oktan sayısı oldukça önemli bir parametredir. Yakıtın %100 'ü C_8H_{18} bağ yapısına sahip bileşenlerden oluşuyor ise oktan sayısı 100 dür.

Dizel motorlu araçlarda kullanılan yakıtlarda ise setan sayısı oldukça önemlidir. Setan sayısı; Hekzadekan ($\text{C}_{16} \text{H}_{34}$) ve Heptametilnonan ($\text{C}_{16} \text{H}_{34}$) olmak üzere iki farklı referans yakıt ile ifade edilmektedir.

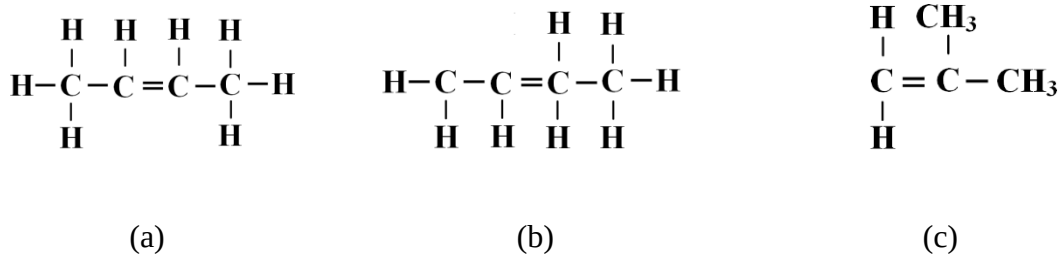
Dizel bir yakıtta kendiliğinden tutuşma karakteristiğinin bir ölçüsü olarak ifade edilmektedir. Setan oranı yüksek olan bir dizel yakıtın yanmaya olan meyli hızlı ve kolaydır. Çalışma sistematigi açısından dizel bir motordaki yanma, basınç ve sıcaklığın etkisi ile gerçeklemektedir.

Alkanların oksijenli ortamda yanmaları neticesinde ısı, CO₂ ve H₂O oluşmaktadır. Teorikte alkanlar 1 nolu denklemde gibi bir yanma reaksiyonu gösterilmiştir.



6.1.2. Alken Bileşikler (C_nH_{2n}, C_nH_{2n-2})

Molekül yapılarında bulunan karbonların eksik düzeyde hidrojen bağ yapısı kurmasıdır. Bu bağ yapısındaki hidrokarbon grupları alken olarak isimlendirilmektedir. Çift bağlı molekül yapısına sahip olan alkenler, doymamış olmaları sebebiyle hidrojen ile bağ kurarak alkanları ve naftenleri oluşturabilirler. 1-4 karbonlu olan alkenler gaz halde iken, 5-15 karbonlu olanlar ise katı veya kristalize bir yapıda bulunurlar. Bir ve iki bağ yapısı olan alkenler olefin veya monoolefin olarak isimlendirilirken, ikili ve çift bağ yapısında olanlar ise di-olefinler olarak isimlendirilirler [94]. Ancak, genel olarak C_nH_{2n-2} şeklinde formülize edilmektedirler. Olefinlerin bağ yapıları Şekil 6.4 'te gösterilmiştir.

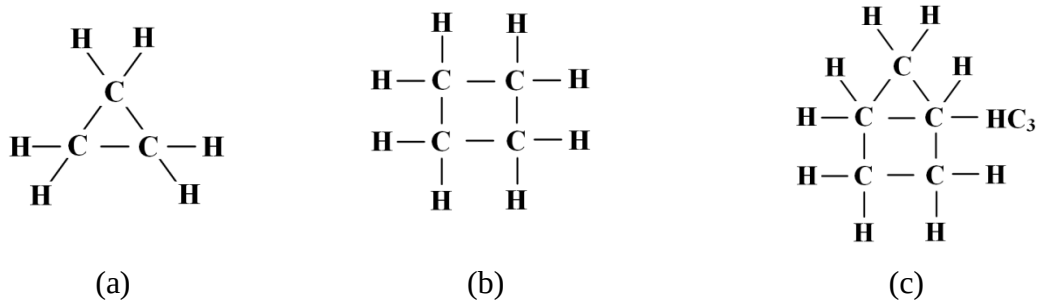


Şekil 6.4. Bağ yapıları arasındaki farklılıklar açısından olefinlerin gösterimi

(a) Buten - CH₄ (b) Buten-1 (Bütillen) (c) İzo Büten

6.1.3. Naftenler (Sikloparafinler, Siklonlar) C_nH_{2n}

Monoolefinlerle benzer kimyasal bağ yapısına sahip olmasına rağmen halka şeklinde olan hidrokarbonlardır. Benzedikleri parafinin ismini başına ön takı olarak alıp sikloparafinler olarak isimlendirilmektedirler. Ham petrolün içerisinde yaklaşık %25 oranında naftenik bileşikler bulunmaktadır (Kaya, 2013). Şekil 6.5 'de bazı naften çeşitlerinin kimyasal bağ yapısı verilmiştir.



Şekil 6.5. Bağ yapıları arasındaki farklılıklar açısından naftenlerin gösterimi

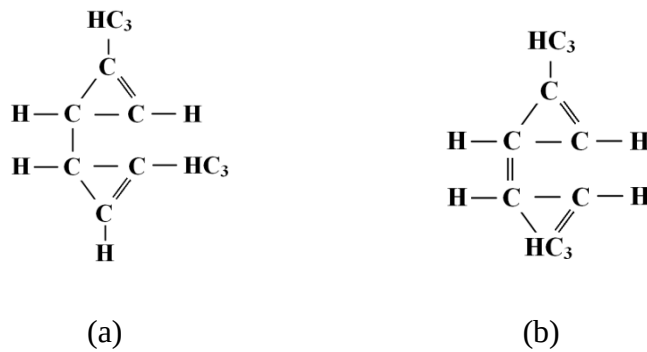
(a) Silko-propan - C_3H_6

(b) Siklo-bütan - C_4H_8

(c) Metil-siklo-pentan - C_6H_{12}

6.1.4. Benzen Türevli Aromatikler (C_nH_{2n-6})

Yapısal olarak benzene H veya H ve C oluşumlu bileşiklerin bağlandığı hidrokarbonlardır. Altı karbon atomu, bağ yapısının temelini oluşturmaktadır. Sınırdaki formüllerin eş değerli olması sebebiyle moleküller kararlılık kazanmıştır. Özelliğini koruyan bir yapısı olması sebebiyle reaksiyonlarda birleşme olmayıp sadece yer değiştirme söz konusudur. Kararlı bir yapıya sahip olmaları sebebiyle benzinli bir motorda yakıt olarak kullanıldığında dirençlidir. Oktan sayıları yüksektir. Benzen halkasındaki bir hidrojen çıkarıldığında "*fenil*" olarak isimlendirilirler. Şekil 6.6 'dan da görüleceği üzere çift bağ yapısına sahiplerdir. Benzen, ticari piyasada 'Benzol' olarak bilinmektedir. Düşük oktan sayısına sahip yakıtlara katkı olarak kullanılmaktadır (Kaya, 2013).



Şekil 6.6. Bağ yapıları arasındaki farklılıklar açısından benzenin gösterimi

(a) Benzen

(b) Etilbenzen

Otomotiv sektöründe kullanılmakta olan dizel ve benzinli motorlarda ham petrol distilasyonu neticesinde elde edilen hidrokarbonlar, enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Yakıtların, yoğunluk, viskozite, ısı değeri, parlama noktası, kaynama noktası, hava+yakıt oranı, oktan sayısı, setan sayısı, sıkıştırma oranı ve

aracın çalışma şartları dikkate alınarak uygun motor seçimi yapılmaktadır. Hidrokarbon grubuna göre yakıtların isimlendirilmesi Tablo 6.2'de sunulmuştur.

Tablo 6.2. Hidrokarbon yapıları ve sınıflandırılması

Hidrokarbon grup aralığı	Yakıtların isimlendirilmesi
$C_5H_{10} - C_7H_{16}$	Uçak benzinleri
$C_5H_{10} - C_{12}H_{26}$	Benzin
$C_9H_{20} - C_{14}H_{30}$	Jet Yakıtı (kerason)
$C_{12}H_{26} - C_{16}H_{34}$	Gaz yağı
$C_{15}H_{32} - C_{18}H_{38}$	Motorin
$C_{16}H_{34} - C_{20}H_{42}$	Madeni yağlar

6.2. Benzin Yakıtı

32-204 °C sıcaklık değerleri arasında distile edilen, yoğunluğu 0,68 - 0,76 gr/cm³ olan, ham petrolün distilasyonu neticesinde ortaya çıkan hidrokarbon karışımıdır. Benzinin kimyasal bağ yapısında 4-10 arasında karbon atomu bulunmaktadır. İçeriğinde, her ne kadar hidrojen ve karbon atomları yoğunlukta olsa da üretimden kaynaklı az miktarda S (kükürt) ve N (azot) de bulunmaktadır. Benzinin içeriğinde parafinik, etilenik, naftanik ve benzenik olmak üzere çeşitli hidrokarbon bileşenleri bulunmaktadır. Yapısal olarak C_nH_m şeklinde olsa da çeşitli katkı maddeleri ile desteklenmektedir (Borat ve ark., 1995).

Benzin HC yapısı itibariyle;

- C_nH_{2n+2} şeklinde formüle edilen parafinik HC'ler,
- C_nH_n şeklinde formüle edilen etilenik (hafif) HC'ler,
- C_nH_{2n} şeklinde formüle edilen naftanik HC'ler,
- C_nH_{2n-6} şeklinde formüle edilen benzenik HC'lerden ibarettir.

Benzinli motorlardaki en kaliteli performans, benzenik yapıdaki hidrokarbonların varlığı ile gerçekleşmektedir. Yakıt içerisindeki benzenik oranının yüksek olması kararlı bir yanma karakteristiği oluşturmaktadır.

Benzinli motorlardaki yanma performansının kararlı ve verimli olabilmesi için çeşitli karakteristik özelliklere sahip olması gerekmektedir. Belirtilen

özelliklerin bir kısmı motordaki çalışma şartları ile alakalı iken, bir kısım özellikleri ise motor performansının artırılmasına yöneliktir (Borat ve ark., 1995). Bu özellikler,

- Motorun soğuk hava koşullarında kolay ve düzenli çalışabilirliği
- Sıcak ortam şartlarında buhar tıkaçının önlenmesi
- Motorun değişken devirlerdeki güç talebini karşılaması
- Maliyetinin düşük olması
- Sakızlaşma ve reçine oluşturmaması
- Yanma sonunda korozyon oluşturmaması
- Motor yağının kimyasal özelliğini koruması
- Vuruntu direncine sahip olması

6.2.1. Motorun Soğuk Hava Koşullarında Kolay ve Düzenli Çalışabilirliği

Akışkanların sıvı halden gaz hale geçebilme kabiliyeti uçuculuk olarak ifade edilmektedir. Her akışkanın uçuculuğu sıcaklığa bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Suyun kaynama noktası 100 °C dir. Sıcaklık değeri 100 °C 'ye yaklaştıkça uçuculuk değeri artmaktadır. Benzinin kaynama noktası 32-180 °C aralığında olması sebebiyle suya ve diğer yakıt türlerine kıyasla uçuculuk kabiliyeti yüksektir. Zaten buji ateşlemeli motor tiplerinde kullanılacak olan yakıtın düşük sıcaklık değerlerinde buharlaşması istenmektedir.

Hafif hidrokarbonlar düşük sıcaklıklarda buharlaşabildiklerinden, soğuk havalarda ilk hareket sıkıntısı yaşanmamaktadır. Bu durum yakıttaki uçuculuk ile ilişkilendirilmektedir. Bir yakıtın uçuculuk kabiliyetinin iyi olması, motorun soğuk hava şartlarındaki ilk çalışmasını kolaylaştırmaktadır. Diğer taraftan benzindeki uçuculuk, değişik çalışma şartlarına uyumu da arttırmaktadır (Borat ve ark., 1995).

6.2.2. Buhar Tamponunun Önlenmesi

Sıvı yakıtlardaki uçuculuk, belli bir değere kadar verimli bir çalışmayı sağlarken, daha yüksek uçuculuk ise, bazı olumsuzluklara sebebiyet vermektedir. Motorun ısınmasıyla beraber yakıt sistemindeki ekipmanlarda ısınmaktadır. Bu ısı, yakıt pompası ve yakıt borularında "*buhar tıkaçı*" adı verilen sorunun

oluşmasına sebebiyet vermektedir. Yakıt motora ulaşmadan oluşabilecek bu sorun, yakıtın kesilmesine ve motorun çalışmamasına neden olabilmektedir. Özellikle yaz aylarında gerçekleşen bu sorun, istenmeyen bir durumdur. 40 °C sıcaklık şartlarında, buhar basıncının yaklaşık 0.8 atm basıncı geçmemesi gerekmektedir. Uçuculuğun yüksek olması buhar tıkaçı ihtimalini arttırmaktadır. Bir özetleme yapmak gerekirse; Motorun en uygun şartlarda çalışabilmesi için belli bir uçuculuk değeri gerekmektedir. Diğer taraftan daha yüksek uçuculuk değerleri ise buhar tıkaçına sebebiyet vermektedir. Buji ateşlemeli motorlar için benzin, bu değerler arasındaki en uygun yakıttır (Borat ve ark., 1995).

6.2.3. Motorun Değişken Devirlerdeki Güç Talebini Karşılama

Araçlarda, yol ve sürüş koşullarına göre ani devir ve güç ihtiyacı oluşabilmektedir. Sürücünün aniden gaz pedalına basması ile motorun ihtiyaç duyduğu havanın debisi de artacaktır. Bu artışa paralel olarak ihtiyaç duyulan yakıt miktarı da artacağından bu tip durumlarda yakıtın uçuculuk miktarının yüksek olması gerekmektedir. Benzin, ani güç değişimlerindeki ihtiyaca cevap verebilecek standartlardadır.

6.2.4. Ekonomiklik

Belirtilen bu özelliklerin yanı sıra, ihtiyaç duyulan yakıtın ekonomik olması gerekmektedir. Benzinin yüksek uçuculuk özelliği sebebiyle, buharlaşma yolu ile kayba uğramaktadır. Bu kayıplar yakıt ekonomisi açısından dezavantaj oluştururken, kayıpsız bir depolama da zorlaşmaktadır.

6.2.5. Sakızlaşma ve Reçine Oluşturmaması

Benzin ve dizel gibi sıvı yakıtlar depolama şartlarında oksijen ile reaksiyona girerek çöküntü oluşturmaktadır. Bu çöküntü reçine olarak isimlendirilmektedir. Reçine tabakası sıvı yakıt ile beraber yakıt sistemine taşınarak, supapların oturma yüzeylerinde yapışma ve ince kesitli kanalların tıkanması gibi sorunlara sebebiyet verebilmektedir. Benzin içerisindeki reçine 5 mg/cm³ den fazla olmamalıdır. Depolama süresi uzadıkça oluşan reçine miktarı artmaktadır (Borat ve ark., 1995).

6.2.6. Korozyon

Benzinli motorlarda yanma sonunda korozyona sebebiyet verecek atıklar oluşmamalıdır. Yanma reaksiyonu sonundaki koroziif etki, yakıttaki kükürt içeriğı ile doğrudan orantılıdır. Bu sebeple benzin içerisindeki kükürt oranının 0,001'den fazla olması istenmemektedir. Buji ateşlemeli motorlarda kükürt oranı yüksek olan yakıtların kullanılması durumunda, yanma sonunda Sülfiroz asit (H_2SO_3) oluşacak ve bu asit metal yüzeylerde korozyona sebep olarak motor ömrünü kısaltmaktadır.

6.2.7. Yağlama Yağına Etkisi

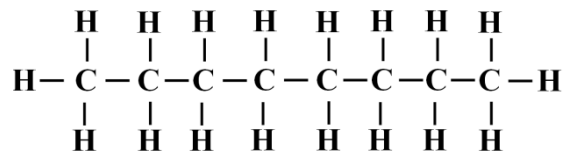
Buji ateşlemeli motorlarda kullanılan yakıtın uçuculuk yönünden yetersiz olması durumunda, yanma odasına giren yakıtın bir kısmı sıvı halde kalıp silindir cidarlarına yapışmaktadır. Silindir segmanlarının yağı süpürmesi sırasında yağlama yağına karışarak yağın incelmesine sebep olmaktadır.

6.2.8. Vuruntu Dayanımı

Buji ateşlemeli motorlarda yanma odasındaki alevin ilerleme hızı, standardın dışında ve aşırı yüksek olması durumunda, ani bir basınç yükselmesi meydana getirmektedir. Meydana gelen dengesizlik vuruntuyu oluşturmaktadır. Vuruntunun önüne geçilmesinin en etkili çözüm yolu, oktan sayısı yüksek bir yakıtın kullanılmasıdır. Yakıt içerisindeki oktan içeriğinin yüksek olması vuruntu oluşumunu engellemektedir. Farklı motor tasarımlarında, farklı oktan içeriğine sahip yakıtlar kullanılabilir.

6.2.9. Oktan Sayısı

Oktan, renksiz bir hidrokarbon olup, 125 °C'de kaynamaktadır. Oktanin bağ yapısı Şekil 6. 7'de gösterilmiştir.



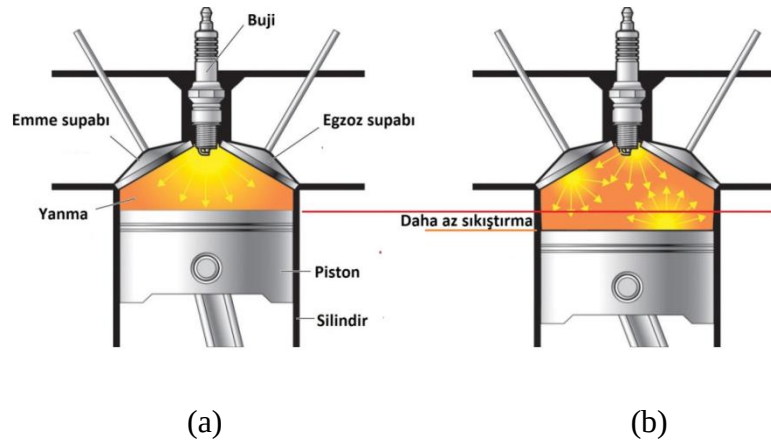
Şekil 6.7. Oktanin kimyasal bağ yapısı

Oktan sayısı genellikle sıkıştırma oranı ve erken tutuşma kavramları ile beraber irdelenmektedir. Benzin içerisindeki oktan miktarı ne kadar fazla olursa motordaki vuruntu o nispette az olmaktadır. Diğer taraftan motor tasarımcıları benzin içerisindeki oktan yüzdesi nispetinde sıkıştırma oranı tespiti yapmaktadırlar.

Benzin içerisindeki oktan sayısı tespit edilirken, test motorundaki vuruntu ölçülmekte olup, vuruntu eğiliminin başladığı an referans noktası olarak kabul edilmektedir. Oktan sayısı tespiti yapılacak olan yakıt numunesi de aynı motorda kullanılarak, referans değerler ile karşılaştırılmaktadır (Borat ve ark., 1995).

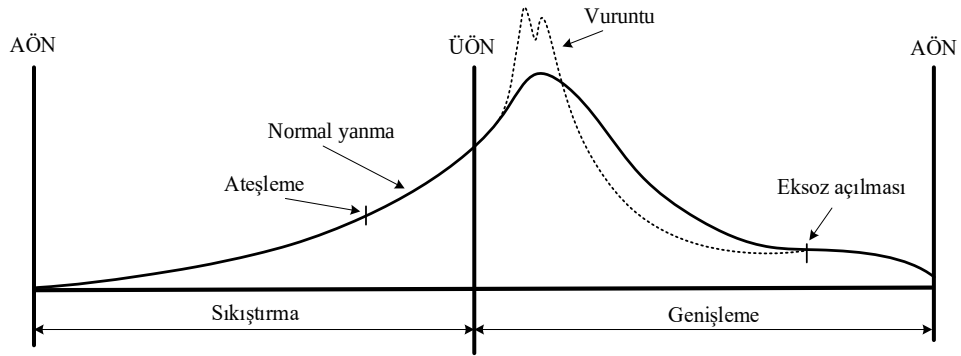
6.2.10. Vuruntu (Detanasyon)

Benzinli motorların çalışma prensibi gereği, buji ile ateşleme neticesinde yanma süreci başlamaktadır. Ortaya çıkan ısı enerjisi motordaki işi oluşturmaktadır. Bujinin çakmasıyla tırnaklar etrafından alev cephesi, dalgacıklar şeklinde yayılmaktadır. Alevin yayılma hızı ortalama 25-40 m/sn şeklindedir. Bujinin tetiklemesiyle yayılmaya çalışan alev kümesi hacmin tamamına hükmetmeden, bujiye uzak olan noktalardan yeni alev kümeleri oluşmakta ve bu alev kümeleri çarpışarak vuruntuyu meydana getirmektedir. Yeni alev kümelerinin oluşuyor olması sıkıştırma zamanı sonundaki basınç ve sıcaklığın etkisinin yanı sıra ve benzinin oktan sayısı ile yakından ilgilidir. Benzin içerisindeki oktan miktarı yüksek olduğu zaman kendi kendine tutuşma gerçekleşmez. Şekil 6.8 'de erken tutuşma olarak tabir edilen yanma ile normal yanma arasındaki fark şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.8. (a) Normal yanma (b) Erken tutuşma sonucu vuruntulu yanma

Erken tutuşma sonucu ortaya çıkan vuruntu olayında, piston ve silindir cidarlarına bir demir parçası ile vurur gibi ses çıkmaktadır. Şekil 6.9'da alev cephesinin normal ilerleyişi düz çizgi ile türbülanslı alev cephesinin ilerleyişi ise kesik çizgi ile gösterilmiştir. Bu gösterim, indikatör cihazı ile tespit edilmiştir.



Şekil 6.9. Normal ve vuruntulu çalışma diyagramı

6.2.11. Vuruntunun Motor Parçalarına Etkisi

Vuruntu, motorda verim kaybına sebep olduğu gibi, vuruntu neticesinde meydana gelen basınç ve titreşimde motorun çalışma sürecinde parçalara zarar vermektedir. Vuruntunun araç üzerindeki olumsuz etkileri;

- Sürücü ve yolcu rahatsız edecek şekilde motor gürültüsü
- Motor parçalarının gerilmelere ve tahribatlara uğraması
- Oluşacak basınç dengesizliği sebebiyle segmandan gaz kaçaqları ve neticesinde yağlama yağının bozulması
- Güç ve verim kaybının oluşması
- Kötü emisyon karakteristiği

6.3. Dizel Yakıtı

Dizel yakıtın, yaklaşık 160-390 °C sıcaklık değerleri arasında destile edildiği ve 8 ile 16 arasında karbon sayısı sahip olduğu bilinmektedir. İçeriğinde istenmeyen bileşenleri de barındırmaktadır. % 1 oranında kükürt, % 0,02 oranında kül ve % 0,1 su çok az miktarda azot bileşeni barındırmasına müsaade edilmektedir (Ickes, 2009). Ülkemizde mazot veya motorin olarak da

isimlendirilmektedir. Dizel yakıtının içten yanmalı motorlarda kullanılabilmesi için çeşitli standart değerleri belirlenmiştir. Bu standartlar Tablo 6.3 'de sunulmuştur.

Tablo 6.3. DIN -51601 standartlarına göre dizel yakıtın özellikleri

Parametreler	Standart Sınır Değerleri	Norm
15°C’de özgül ağırlık	0,820 - 0,860 g/ml	DIN 51757
20°C’de viskozite	1,8-10 mm ² /s	DIN 51550
Parlama noktası	55°C	DIN 51755
Hacimsel su miktarı	% 0,1	DIN 51777
Kaynama olayı hacimsel olarak 360°C’de en az	% 90	DIN 51752
Filtrasyon	Yaz 0°C / Kış -12°C	DIN 51770
Kükürt maks. kütleli yüzdesi	% 1,0	DIN 51768
Tutuşabilme karakteristiği	40 setan sayısı	DIN 51773
Maksimum Kül miktarı	% 0,02	DIN 51575

6.3.1. Çeşitli Dizel Yakıtları ve Yapısal Özellikleri

1-D numara sayılı dizel, 2-D numara sayılı dizel ve 3-D numara sayılı dizel olmak üzere üç farklı özellik ve yapıda sınıflandırılmaktadır.

- 1-D numara sayılı dizel, ham petrolün distilasyonu neticesinde üretilen ve değişken devir ve güç şartlarındaki motorlarda kullanılmaktadır.
- 2-D numara sayılı dizel, ham petrolün distilasyonu ve ısı parçalanma yöntemleriyle elde edilen tür olup, iş makinaları ve jeneratörlerde kullanılmaktadır.

- 3-D numara sayılı dizel, atık ürünlerin geri kazanımından elde edilen tür olup, düşük ve orta devirli dizel motorlarında kullanılmaktadır.

Belirtilen bu dizel yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri de birbirinden farklıdır. Özellikle viskozite değerleri, içeriğindeki kükürt miktarları ve yanma sonu kül miktarları birbirleri arasında farklılık göstermektedir. Belirtilen bu üç türdeki dizel yakıtların bazı teknik özellikleri Tablo 6.4'de gösterilmiştir.

Tablo 6.4. Teknik özelliklerine göre dizel yakıtlar

Paremetreler	1-D	2-D	3-D
Setan Sayısı	40	40	40
Parlama Noktası (°C)	37	52	55
Viskozite (cSt)	0,82	1,22	2,74
Kül (%)	0,01	0,02	0,1
Kükürt (%)	0,5	1,0	2,0

6.3.2. Dizel Yakıtın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri oldukça önemlidir. Motorda kullanılan yakıttan, maksimum verim beklenirken aynı zamanda çevreci bir özelliğe sahip olması da istenir. Bu sebeple bir çok akreditasyon birimi motorlarda kullanılacak yakıtlara, alt ve üst limit sınırlaması getirmiştir (Nuszkowski ve ark., 2009).

6.3.2.1. Setan Sayısı

Dizel yakıtlarda yanma performansını etkileyen en önemli parametre setan sayısıdır. Yanma karakteristiğindeki en önemli unsur da tutuşma süresidir. Tutuşma gecikmesini belli bir standartta olmasını sağlayan da setan sayısıdır. Diğer bir deyişle, yakıtın kendi kendine tutuşmasının standart ölçüsü yakıt içerisindeki setan miktarıdır. Benzin içerisindeki oktan miktarı ölçülebildiği gibi, dizel yakıt içerisindeki setan miktarı da ölçülebilmektedir. Setan sayısı 45-60 aralığında olmalıdır. Düşük setan sayısına sahip yakıtlarda yanma performansı kötü olduğundan, motor performansı olumsuz etkilenmektedir. Diğer taraftan setan sayısının olması gereken den yüksek olması durumunda ise isli bir yanma

meydana gelmektedir. Dizel motorlarda sıkıştırma oranının yüksek olması sebebiyle, sıkıştırma zamanı sonunda basınç ve sıcaklığın etkisi ile kendi kendine tutuşma başlar. Dizel yakıttaki setan oranının yüksek olması, tutuşma gecikmesi periyodunu kısaltmaktadır. Aynı zamanda ani yanma neticesinde oluşan düzensiz basınç artışlarını da önlemektedir. Tutuşma sürecindeki kısalma, silindir içerisine alınan havanın yakıt ile homojen karışımı için gerekli süresi kısaltır. Tutuşma sürecinin çok uzun olması da düzensiz basınç artışı ve dizel vuruntusuna sebebiyet vermektedir (Safgönül, 2008).

6.3.2.2. Viskozite

Viskozite, akışkanın geçtiği kesit alanının, geçiş süresine oranı olarak tanımlanabilir. Viskozite akışkanın molekül yapısı ile doğrudan ilişkilidir. Yakıtın viskozite değerinin yüksek olması silindir içerisindeki püskürme karakteristiğini olumsuz etkilemektedir. Püskürtülen dizel yakıtın viskozitesi, yanma odasındaki ilerleme hızını doğrudan etkilemektedir. Diğer taraftan, çok viskoz olan yakıt ise yanma odasında hızlı bir ilerleyiş göstermektedir. Hızlı bir ilerleyiş neticesinde, yakıt, yanma odası duvarlarına çarparak, motor verimi ve emisyon değerlerinin kötüleşmesine zemin hazırlayacaktır. Bu sebeple yakıtın test edildiği dizel motorun teknik özelliklerine uygun, alt ve üst limit değer aralığındaki viskoziteye sahip yakıtların kullanılması gerekmektedir.

6.3.2.3. Yoğunluk

Yakıtın, birim hacimdeki kütlesi olarak da tanımlanmaktadır. Kimyasal yapısında karbon atomu bulunması durumunda birim hacimde daha fazla ağırlık teşkil edeceğinden, yakıtın yoğunluğunu arttıracaktır. Hidrojen sayısının artması durumunda ise yoğunluk azalacaktır. Özkütle, özgül ağırlık, özgül kütle ve yoğunluk olarak ta isimlendirilmektedir. Yakıt sektöründe genellikle, gr/cm^3 veya kg/m^3 olarak birimlendirilmektedir.

6.3.2.4. Isıl Değer

Yakıtın birim kütesinden elde edilen enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Daha teknik bir tanımlama yapmak gerekirse; yanma sonunda

elde edilen ürünlerin, yanma başlamadan önceki referans sıcaklık değerine göre toplam entalpilerinin, yakıtın gram cinsinden kütlesine bölünmesiyle elde edilen değer olarak ifade edilmektedir. İçten yanmalı motorlarda alt ısı değer kullanılmaktadır. Motor verimi, yakıt ekonomisi gibi parametrelerdeki iyileşme sebebiyle, bir yakıtın ısı değerin yüksek olması istenmektedir.

6.3.2.5. Donma Noktası

Yakıtın kristalleşerek buz tutmaya başladığı sıcaklık değeri olarak tanımlanmaktadır. Soğuk hava şartlarında ve ilk hareket esnasında yakıt sistemindeki ekipmanların buzlanma etkisi ile tıkanması motorun çalışmasına engel teşkil etmektedir. Soğuk iklim şartlarında yaşayan insanlar, yakıt içerisinde donma noktasını düşürücü katkı maddeleri ilave edilmektedir. Benzinin donma noktası, dizel yakıtı kıyasla düşüktür. Bu sebeple Rusya gibi soğuk hava koşullarında yaşayan otomobil kullanıcıları, benzinli motorlara sahip araçları tercih etmektedirler.

6.3.2.6. Alevlenme ve Parlama Noktası

Bir kap içerisinde ısıtılmakta olan yakıt üzerine, bir alev kümesi yaklaştırılarak test işlemi yapılmaktadır. Bu işlemde yakıt buharının ilk tutuşma anındaki en düşük sıcaklık edilmektedir. Tespiti yapılan bu değer, parlama noktası sıcaklığı olarak tanımlanmaktadır. Tutuşma neticesinde buharın sönmeden devam ettiği sıcaklık ta alevlenme noktası sıcaklığı olarak tanımlanmaktadır. Parlama sıcaklığı, alevlenme sıcaklığından daha düşüktür. Standart olan dizel yakıtlar için, alevlenme sıcaklığı değerleri 67-147 °C aralığındadır (Aydın, 2011).

6.3.2.7. Korozyon Etkisi

Dizel yakıt içerisinde istenmeyen bazı bileşenler mevcuttur. Bu bileşenler; kükürt, tuz, su ve diğer tortulardır. Belirtilen bu bileşenler parçacık içeriği bakımından zararlı olduğu gibi hem de korozyon etkinin temel sebebidir.

6.3.2.8. Kül Miktarı

Dizel yakıtın en önemli sorunlarından biri de yanma sonu kül ve karbon artıklarının yanma odasında birikmesidir. Özellikle pistonun üst tablası ve supapların bulunduğu yüzeylerde birikme daha fazla olmaktadır. Bu birikintiler kullanılan yakıtın özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Kullanılan yakıtın setan sayısının çok yüksek olması durumunda isli bir yanma gerçekleşecektir. Bu durumda biriken kül miktarı da artacaktır (Aydın, 2011).

6.3.2.9. Anilin Noktası

Anilin, yakıt içerisindeki hidrokarbonları her daim eritebilmektedir. Parafinik hidrokarbonları ise sadece sıcaklığın etkisi ile eritebilmektedir. Dizel yakıt ile anilin karıştırılmak suretiyle ısıtılır. Sıcaklığın etkisi ile dizel yakıt anilinin içerisinde tamamen erir, soğuma aşamasına bırakıldığında ise parafinlerin ayrışmaya başladığı gözlenmektedir. Bu ayrışma neticesinde iki farklı katman oluşur. İki ayrı katmanın oluştuğu sıcaklık derecesi *anilin noktası* olarak tanımlanmaktadır (Aydın, 2011).

6.3.2.10. Kükürt Miktarı

Ham petrol içerisindeki en ağır distilasyon ürünleri içerisinde daha yoğun olarak bulunmaktadır. İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıt içerisinde kükürt bileşeninin olması durumunda, yanma reaksiyonuna katılır ve yanma sonunda oksijen ile bağ kurarak SO_2 emisyonunu oluşturur. Daha fazla oksijen ile bağ kurması durumunda ise SO_3 oluşmaktadır. Yanma sonunda kükürt oksit ve su bağ kurarak asit bileşenleri meydana getirir, bu durum istenmeyen bir durumdur. Çünkü asit bileşenleri çok etkili bir aşındırıcı olarak motor parçalarına zarar vermektedir. Yakıt içerisindeki kükürt bileşeni motor parçaları için tehlike arz etmektedir.

6.4. Yanma Sonu Kirletici Emisyonlar

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtların ideal şartlarda yanması neticesinde, yanma ürünleri olarak CO_2 , Su (H_2O) ve N_2 oluşmaktadır. Diğer taraftan düşük yanma sıcaklığı, yakıt içerisindeki diğer bileşenler, fakir ve zengin

karışım gibi şartlarda PM, SO_x, NO_x, CO ve HC emisyonları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, kısmi oksidasyona uğramış olan hidrokarbonlar ise çeşitli artıklara sebebiyet vermektedir.

6.4.1. Partikül Madde ve İs Emisyonları

Genellikle yanma reaksiyonunu tamamlamamış yakıtlardan ve yağlama yağı kaynaklı bazı organik bileşiklerin karbon içerikli maddeler tarafından absorbe edildiğinden partikül oluşumu gerçekleşmektedir. Partikül maddenin boyutları yaklaşık 10 µm civarında olup, solunabilir bir özelliğe sahiptir. Partikül boyutunun küçülmesi çevre açısından daha tehlikelidir. Belirtilen bu partiküllerin bir kısmı çözünebilir statüde iken bir kısmı da çözünemez statüdedir (Ulusoy, 1999).

Motorun çalışma koşullara bağlı olarak, hidrokarbonların ve yanma odasındaki mevcut moleküllerin is tanecikleri üzerine yoğunlaşması veya is taneciklerinin absorbe edilmesi ile meydana gelmektedir.

Motorun soğuk hava şartlarında çalışmasıyla beyaz is oluşumu gözlemlenebilir. Bu tip durumlar, yakıtın hava ile kısmen karışabildiğinin göstergesidir. Yanma odasına giren havanın soğuk olması, püskürtülen yakıtın buharlaşmasını zorlaştırır. Motorun ısınması ile beraber beyaz duman oluşumu azalır.

6.4.2. Azot Oksit (NO_x) Emisyonları

Yanma reaksiyonu sonunda azot bileşenlerinin oksijen ile bağ kurması neticesinde NO veya NO₂ şeklinde emisyonlar oluşmaktadır. Bu sebeple genelleme yapılarak NO_x olarak isimlendirilmektedir. Bu emisyonların yaklaşık %80 'i NO şeklinde oluşmaktadır. NO_x emisyonunun oluşmasındaki en büyük sebep silindir içi sıcaklıktır. Azot ve oksijenin birleşerek NO_x emisyonunu oluşturduğu eşik sıcaklık değeri, 1800 °K dir. 1600 °K ve altındaki değerlerde N₂ ve O₂ birleşimini tamamlamadan egzozdan atılmaktadır. NO_x emisyonları basıncın en yüksek olduğu değerlerde oluşmaktadır. Zaten basıncın en yüksek olduğu şartlarda sıcaklıkta en yüksek değerde olmaktadır. Esasen, NO_x emisyonlarının alev cephesinin arka kısmında kalan yüksek sıcaklıklı yanmış gaz bölgelerinde oluştuğu kabul görmektedir. NO_x emisyonları, sıcaklığın yanı sıra yakıtın

bölgesel konsantrasyonu ve yanma süresi ile de yakından ilişkilidir. NO_x emisyonun yanma odasına alınan hava- yakıt karışımının sıcaklığı, yakıtın fiziksel özellikleri ve türbülans gibi unsurların etkisi ile de meydana geldiği yapılan ölçümler neticesinde tespit edilebilir (İlkılıç, 1999).

6.4.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonları

Hava-yakıt karışımının eksik yanması neticesinde oluşan bir emisyondur. Miktarı "ppm" olarak ifade edilmektedir. HC emisyonlarının bir çok bileşeni mevcuttur. Benzinli motorda 1000-3000 ppm aralığında iken, bu oran dizel motorlarda yaklaşık 5 kat daha düşüktür. Zengin karışımlarda HC emisyon değerleri yüksektir. Çok fakir karışımlarda ise kalitesiz bir yanma gerçekleşmesi sebebiyle artış gösterebilmektedir.

HC emisyonları motor yüküne, yanma odasının şekline, hava ve yakıt emiş şekline göre de değişkenlik gösterebilmektedir. Yanma odasına püskürtülen yakıtın kötü atomizasyonu neticesinde de heterojen bir karışma ortaya çıkacağından eksik yanma meydana gelebilmektedir. Bu durum da HC emisyonlarının oluşmasına zemin hazırlamaktadır. Tutuşma gecikmesi periyoduna ait sürenin uzun olması ve püskürtülen yakıtın miktarının fazla olması HC emisyonlarını arttırmaktadır.

6.4.4. Karbon Monoksit (CO) Emisyonları

HC emisyonlarında olduğu gibi, CO emisyonları da eksik yanmanın bir ürünüdür. Rengi ve kokusu olmayan zehirli bir emisyondur. Şehir içi dur-kalk sürecinde, CO emisyonu değerlerinin yüksek olduğu bilinmektedir. Trafik yoğun olduğu şehir merkezlerindeki CO emisyonlarının %95'i motorlu araçlar kaynaklı oluşmaktadır. CO emisyonunun insan sağlığına ciddi zararları vardır. CO emisyonu benzinli motorlarda daha yüksek değerlerdedir. Karışım oranı, Hava fazlalık katsayısı, oksijensiz yanma gibi sebepler CO oluşumunu tetiklemektedir. Oksijenin bol olduğu yanma reaksiyonlarında CO_2 oluşumu fazla iken yeterli oksijenin olmadığı yanma sürecinde CO emisyonu artış göstermektedir.

6.4.5. Karbondioksit (CO₂) Emisyonları

Tam yanma neticesinde ortaya çıkan bir gaz olup, atmosferde % 0,03 - % 0,06 aralığındaki konsantrasyon değerlerinde bulunmaktadır. Nehirlerde ve kaynak sularında çözünmüş bir şekilde bulunmaktadır.

Elektrik enerjisi üretiminde ve ulaştırma sektöründeki fosil kaynaklı yakıtların kullanılması neticesinde CO₂ emisyonu artış göstermektedir. Fosil kaynaklı ürünlerin yanması neticesinde her geçen yıl ekolojik sistemde önemli oranlarda artmaktadır.

6.4.6. Kükürtoksit (SO_x) Emisyonları

Ham petrolün destilasyonu ile üretilen dizel ve benzin içerisinde az da olsa kükürt bileşeni bulunmaktadır. Silindir içerisindeki yanma reaksiyonu neticesinde SO₂ oluşmaktadır. Ağır ve sert bir kokusunun olması, konsantrasyonunun yüksek olması gibi sebeplerden ötürü, nefes darlığı ve astım gibi sağlık sorunları olanlar için tehlike arz etmektedir. Ayrıca SO₂, oksijen ile birleşebildiği gibi, su ile de birleşebilmektedir. Su ile birleşmesi durumunda, sülfürik asit meydana gelmektedir. H₂SO₄'nin aşındırıcı bir etkisi olması sebebiyle motorun sabit ve hareketli parçalarının zarar görmesine sebep olmaktadır. Belirtilen bu sebeplerden dolayı motorlarda kullanılması planlanan yakıtların kükürt içeriğinin mümkün olduğu kadar az olması istenmektedir.

7. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde deneysel çalışmada izlenen yöntem ve kullanılan materyallere yer verilmiştir.

7.1. Piroliz Reaktörü Düzeneği

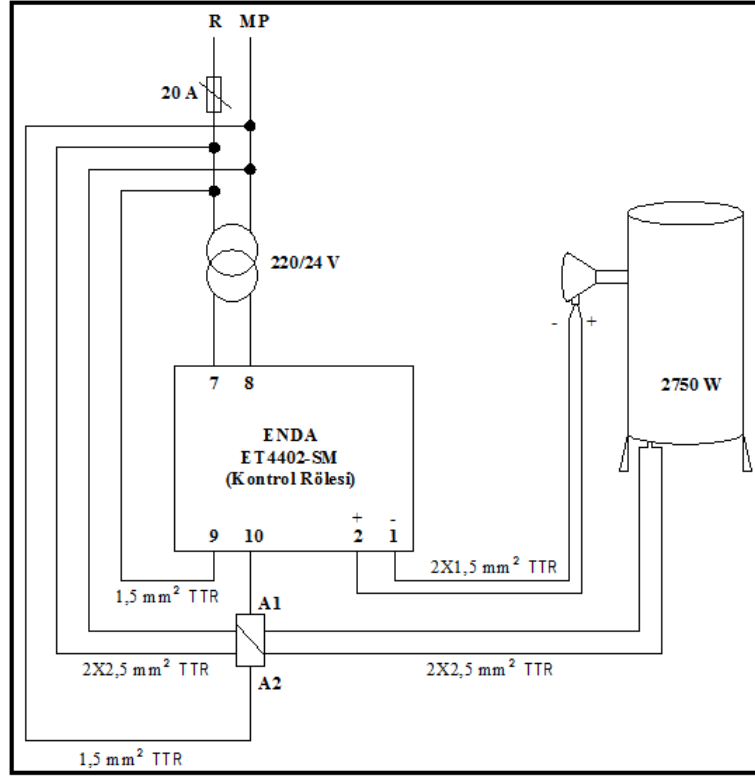
Atık petrol çamurlarının ısı olarak parçalanması neticesinde, içten yanmalı motorlarda kullanılabilecek standartlarda, sıvı yakıtların üretiminin esas alındığı teknik altyapı çalışmalarının detayları bu bölümde anlatılmıştır. Piroliz reaktörünün üretimi, Siirt Üniversitesi Teknik Bilimler M.Y.O. Makine Atölyesi'nde gerçekleştirilmiştir. Piroliz reaktörü düzeneği; elektrik kontrol ünitesi ve mekanik gövde tasarımı olmak üzere iki tasarımın birleştirilmesi şeklinde hazırlanmıştır.

7.1.1. Elektrik Kontrol Ünitesi

Bu kontrol sistemi yardımı ile, reaksiyon sıcaklığının istenilen sınır değerler arasında tutulması sağlanmıştır. Bununla beraber, iş güvenliği ve sağlığı kapsamındaki riskler ortadan kaldırılmıştır.

Elektronik kontrol rölesi, J tipi termokupl, 220/15 V'luk transformatör, 20 A'lık sigorta, kontaktör, 2x1,5 mm² ve 2x2,5 mm² ölçülerinde kablo ve 2750 W gücünde gömlek tipi kelepçeli rezistans, tüm sistemin ısı kontrolü için kullanılan elemanlardır.

Şebekeden alınan 220 volt gerilim, transformatör yardımı ile 15 volta düşürülerek kontrol rölesi beslenmiştir. Kontrol rölesi, sistemin çalışma şartlarına uygun olarak programlanarak, ısıtıcı rezistansın sıcaklık çalışma aralığını kontrol altında tutması sağlanmıştır. Şekil 7.1 de görüldüğü gibi şebeke geriliminden alınan faz; 20 amperlik sigorta üzerinden, nötr ise şeklin üst kısmında görülen nötr klamens hattından bağlanmıştır. Termokupldan alınan sıcaklık bilgileri kontrol rölesine, kontaktörün çıkışı ise rezistansa bağlanmıştır. Bu sistemin tesis edilmesi ile reaktörde, reaksiyon sıcaklığı alt ve üst limit değerleri arasında otomatik kontrol edilebilmektedir. Elektrik kontrollü sisteminin bağlantı hat şeması Şekil 7.1 de detaylı bir şekilde sunulmuştur.



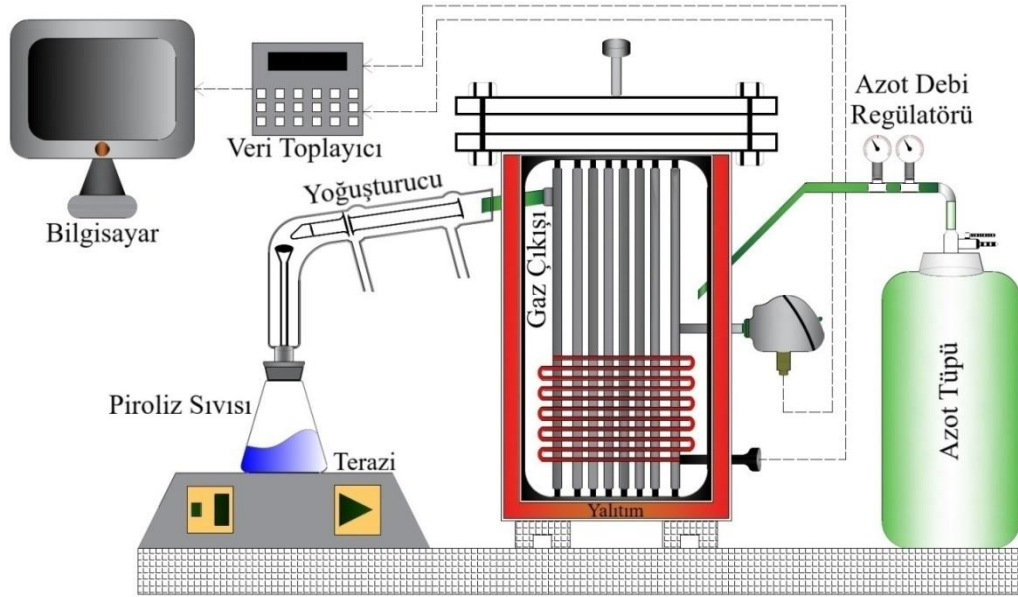
Şekil 7.1. Piroliz reaktörünün kontrol sisteminin elektriksel hat şeması

7.1.2. Mekanik Gövde Tasarımı

İç hazne için; 250 mm yükseklik, 140 mm çap, 5 mm et kalınlığı ve TS 6476 standartlarındaki demir boru kullanılmıştır. Katalog değerlerinden, bu borunun 1230 °C sıcaklığa dayanıklı olduğu tespit edildi. Bu borunun alt kısmına plazma ile çapı 140 mm ve et kalınlığı 5 mm olan bir flanş kesilmiş olup, borunun alt kısmına gaz altı yöntemi ile kaynatılmıştır. Diğer birleştirme işlemlerinde de gaz altı yöntemi kullanılmıştır. Gaz altının kullanılmasının sebebi, kaynak birleşim yerlerindeki olası kaçakların oluşmasını engellemektir. Ayrıca borunun üst kısmına yani üst kapağın oturacağı yüzeye dış çapı 250 mm, iç çapı 140 mm olan ayrı bir flanş plazma da kesilmiştir. Kesilen bu flanş, borunun üst kısmına gaz altı yöntemi ile kaynaklanmıştır. Yapılan bu çalışma ile elde edilen reaktörün iç haznesi, yüzey kalitesi hassasiyetinin sağlanması için tornalanmıştır. Ayrıca tornalama işleminin yapılmasının diğer bir sebebi ise, kaynak işlemi sürecinde metallerin yüksek sıcaklığa maruz kalması neticesinde çekme, çarpılma ve yamulmaların tolere edilmesidir. 0,2 mm talaş derinliği ile tornalama işlemi yapılmıştır. Ayrıca üst flanş, 6 adet M12 civatanın takılacağı standartlarda

delinmiştir. Yakıt üretim sürecinde çalışma kolaylığı temin etmek için, kapak ile iç haznenin bağlantı cıvata delikleri menteşeli cıvata olarak dizayn edilmiştir. Kapak ve iç haznenin birleştiği üst flanşa freze ile dışa doğru kanal açılmıştır.

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. Azot gazı hattını oluşturabilmek için iç hazneyi yandan aşağıya doğru 15° açı vererek 6 mm'lik matkap ucu ile delinerek, dış çapı 10 mm, iç çapı 6 mm olan bir boru kaynaklanmıştır. Ayrıca azot gazı giriş borusunun simetrik olarak tersi olan iç hazne yüzeyine 15° aşağıya doğru açı ile, 6 mm'lik matkap ucu ile delinip, ürün çıkış hattı oluşturulmuştur. Ürün çıkış hattının oluşturulmasında dış çapı 10 mm, iç çapı 6 mm olan bir boru kullanılmıştır. Termokuplun iç hazneden net ve sağlıklı sıcaklık bilgisi alabilmesi için iç hazne 8 mm'lik matkap ucu ile delinmiştir. Termokuplun sıcaklık algılayan sensör ucunun iç haznenin sıcaklık ortamına ulaşması sağlanmıştır. 15 cm boyunda ve 1/2 inç ölçülerindeki bir boru iç hazneye kaynatılarak bu boruya termokuplun dış ölçülerinde tornada dış açılmıştır. Sistemin en önemli parçası olan rezistans gövdenin ölçülerine uygun olarak 2750 W gücünde gömlek tip, kelepçeli, 160 mm yükseklik ve 140 mm çap özelliklerinde özel olarak imal ettirilmiştir. Reaktörü üzerinde taşıyacak olan ve dış kaplamanın monte edileceği sehpa yapılmıştır. Son olarak 2 mm krom-nikel sacdan kesilen dış gövde akıllı vida ile sisteme monte edilmiştir. Üretimi yapılan reaktörün iç ve dış gövdeleri arasına ısı yalıtımı amacıyla 70 mm et kalınlığına sahip cam elyaf izolasyon malzemesi yerleştirilmiştir. Şekil 7.2'de yakıt üretim prosesinin şematik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 7.2. Yakıt üretim prosesinin şematik görüntüsü

Azot tüpü ile reaktör arasında monte edilen regülatör yardımı ile reaksiyon şartlarına uygun debide gaz akışı temin edilmiştir.

Piroliz reaktörünün çeşitli sıcaklık şartlarında test çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada çıkış boru hattı, rezistans, termokupl, izolasyon ve kontrol panelinin testleri yapılmıştır. Sistemin sorunsuz bir şekilde çalıştığı tespit edildikten sonra deneysel çalışmalar sürdürülmüştür. Reaktör ticari amaçlı dizayn edilmemiş olup, çalışmanın pratik ve kolay bir şekilde yürütülebilmesi ve her bir reaksiyonun kararlılık şartlarının temini için küçük ölçekli olarak dizayn edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan piroliz düzeneği Şekil 7.3 'de verilmiştir.



Şekil 7.3. Yakıt üretiminin yapıldığı piroliz düzeneği

Piroliz reaksiyonu neticesinde elde edilen sıvı ürünler aynı düzenekte bazik kükürtsüzleştirme işlemine tabi tutulmuştur. İkinci aşama olan asidik kükürtsüzleştirme reaksiyonlarında ise, WiseStir marka, MSH-20V model ısıtıcılı manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Bu cihaz, 500 °C 'ye kadar ısıtma ve 1000 d/dk karıştırma özelliğine sahiptir. Kullanılan cihaz, Şekil 7.4 'de gösterilmiştir.



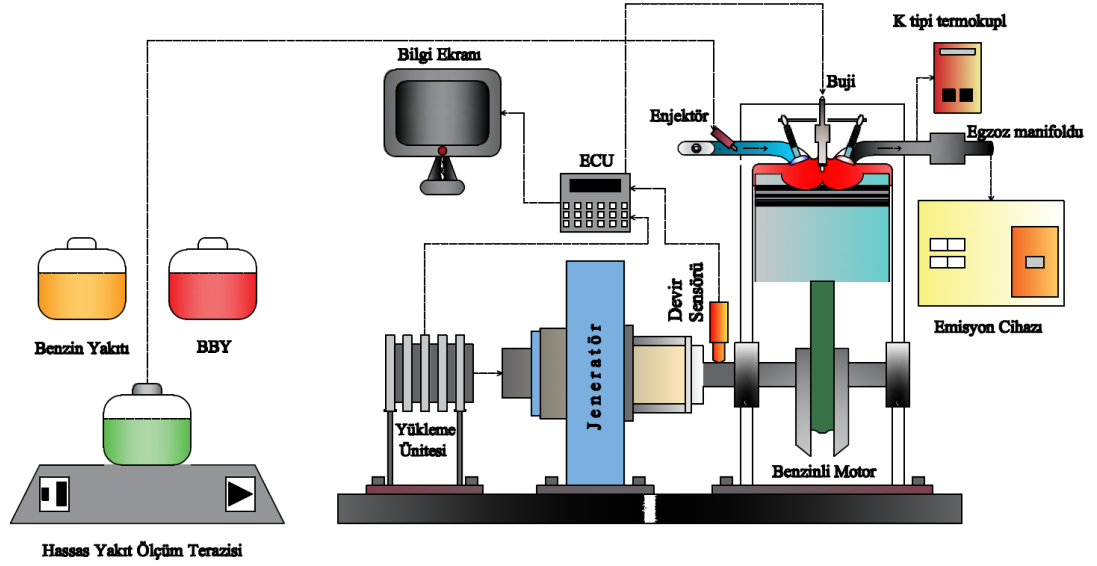
Şekil 7.4. Isıticılı manyetik karıştırıcı

7.2. Motor Test Düzeneği

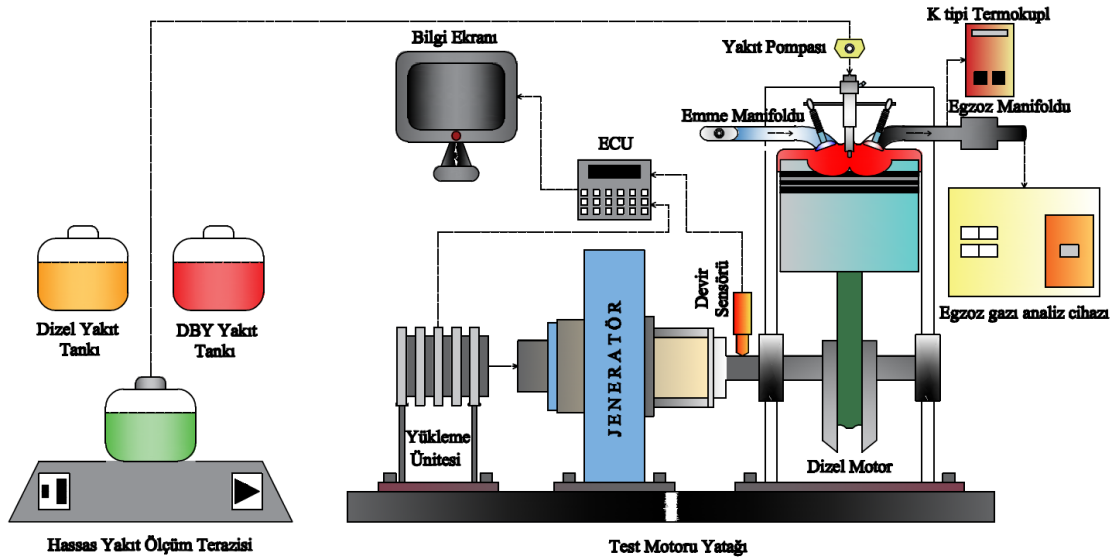
Motor deneyleri, Siirt Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine atölyesinde gerçekleştirilmiştir. Benzin benzeri yakıtların, test işlemleri için 15 BG motor gücüne sahip, dizel benzeri test yakıtların işlemleri ise 10 BG motor gücüne sahip jeneratörler kullanılmıştır.

Deneylere başlamadan önce yağlama yağının kontrolü, hava ve yakıt filtresinin kontrolleri yapılmıştır. Dizel motorda enjektörler, benzinli motorda ise bujiler kontrol edilmiştir. Test işlemleri süresince motorda herhangi bir modifikasyon yapılmamıştır. Her test yakıtı için, aynı deney şartları temin edilmiştir. Her iki motor da standart yakıt türü ile bir süre yüksüz çalıştırılmış ve sonra motor optimum çalışma sıcaklığına geldikten sonra test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Motor; %20, %40, %60 ve %80 güç oranındaki 4 ayrı kademede yükleme işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlem üç defa tekrar edilmiş ve ölçülen değerlerin ortalaması hesaplanmıştır. Motorun yükleme işlemleri, jeneratöre bağlanan yük grubu ile gerçekleştirilmiştir. Bir yakıt türü için ölçümler tamamlandıktan sonra, yakıtın tamamı boşaltılıp, yakıt sisteminin havası alınıp,

sonrasında diğer test yakıtı doldurulmuştur. Test düzeneğinin şematik görüntüsü Şekil 7.5'de, benzinli jeneratörün görüntüsü Şekil 7.6'da, gösterilmiştir.



Şekil 7.5. Benzinli motor test düzeneğinin şematik diyagramı



Şekil 7.6. Dizel motor test düzeneğinin şematik diyagramı

7.2.1 Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı

Deneylerde egzoz gazlarının analizi için K Test marka gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz HC ve NO_x 'i ppm cinsinden CO, CO₂ ve O₂'yi % cinsinden tespit etmektedir. Şekil 7.8'de egzoz emisyon cihazı, Tablo 7.1'de de hassasiyet özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 7.1. Egzoz emisyon ölçüm cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyet değerleri

Parametre	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
HC	0 - 20000 (ppm)	1 ppm
NO _x	0 - 5000 (ppm)	1 ppm
CO	0 - 15 (%)	% 0,001
CO ₂	0 - 20 (%)	% 0,1
O ₂	0 - 25 (%)	% 0,01



Şekil 7.7. Egzoz emisyon ölçüm cihazı

7.2.2 Pens Ampermetre Cihazı

Benzinli ve dizel yakıtlı motorların yüklemesi, elektriksel olarak yapılmıştır. Özellikle özgül yakıt sarfiyatı değerlerinin tespitindeki hassasiyeti temin etmek için her yük şartlarındaki gerilim ve akım değerleri ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan ölçü aletinin görüntüsü Şekil 7.9'da gösterilmiştir.



Şekil 7.8. Pens ampermetre

7.2.3 SO₂ Ölçüm Cihazı

Egzoz çıkışıındaki SO₂ konsantrasyonu değerlerinin ölçümü, TS ISO 7935 standartlarındaki SO₂ yüzde derişim tayini cihazının kullanılması ile tespit edilmiştir. Deneylerde kullanılan Dienmern marka ölçüm cihazı, Şekil 7.10'da gösterilmiştir.



Şekil 7.9. SO₂ ölçüm cihazı

7.2.4 Sıcaklık Ölçüm Cihazı

Egzoz gazı sıcaklık değerlerinin tespitinin yapılması için manifold üzerinde sabit bir nokta tespit edilerek, tüm test yakıtlarında sıcaklık analizi aynı noktadan alınmıştır. Sıcaklık ölçümünde; 180 gr ağırlığında, -30, 500 °C aralığında ölçüm yapan, 1 °C hassasiyetinde kızılötesi bir termometre kullanılmıştır. Şekil 7.11'de egzoz gazı sıcaklık ölçümü için kullanılan cihazın görüntüsü verilmiştir.



Şekil 7.10. Kızılötesi termometre

7.3 Deney Yakıtları

Atık petrol çamurlarından elde edilen Benzin Benzeri Yakıtı (BBY) standart Benzin Yakıtı (BY) ile hacimsel olarak, %25 (BBY25), %50 (BBY50) ve %75 (BBY75) oranlarında karıştırılarak test işlemine tabi tutulmuştur. BBY yakıtı da, BBY100 olarak isimlendirilerek, test işlemine tabi tutulmuştur. Kükürtsüzleştirme reaksiyonları sonunda elde edilen Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt (DKBBY) ise BY yakıtı ile hacimsel olarak %50 oranında karıştırılarak DKBBY50 yakıtı elde edilmiştir. Ayrıca DKBBY yakıtı ise DKBBY100 olarak isimlendirilerek, motor testine tabi tutulmuştur.

Dizel Benzeri Yakıt (DBY) ise, standart Dizel Yakıtı (DY) ile hacimsel olarak, %25 (DBY25), %50 (DBY50) ve %75 (DBY75) oranlarında karıştırılarak test işlemine tabi tutulmuştur. DBY yakıtı da DBY100 olarak isimlendirilerek test işlemine tabi tutulmuştur. Kükürtsüzleştirme reaksiyonları sonunda elde edilen Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Yakıt (DKDBY) ise DY yakıtı ile hacimsel olarak %50 oranında karıştırılarak DKDBY50 yakıtı elde edilmiştir. Ayrıca DKDBY yakıtı ise DKDBY100 olarak isimlendirilerek, motor testine tabi tutulmuştur.

Benzinli motorda test işlemine tabi tutulan yakıtlar Şekil 7.12 ve Şekil 7.13 de, dizel motorda test işlemine tabi tutulan yakıtlar ise Şekil 7.14 ve Şekil 7.15'de gösterilmiştir.



Şekil 7.11. Benzin benzeri test yakıtları



Şekil 7.12. Düşük kükürtlü benzin benzeri test yakıtları



Şekil 7.13. Dizel benzeri test yakıtları



Şekil 7.14. Düşük kükürtlü dizel benzeri test yakıtları

7.4 Deneysel Yöntem

Her iki motor deneyindeki çalışmalara başlamadan önce, motor yağı, yağ filtresi ve hava filtresi değiştirilmiştir. Deneysel sürece ait ekipmanlar hazırda bulundurulmuştur. Ölçüm cihazları kalibre edilmiştir. Hem benzinli ve hem de dizel yakıt numunelerinin motor testleri gerçekleştirilirken ilgili motorlar üzerinde herhangi bir fiziki değişiklik yapılmamıştır. Test işlemleri başlatılmadan önce

standart yakıt ile motor optimum çalışma sıcaklığına kadar ısıtılmıştır. ideal test şartlarına hazırlanan motor, standart yakıt ve test yakıtları ile çalıştırılarak test verileri kaydedilmiştir. Her bir numunenin test işlemi 3 defa tekrar edilmiş olup, kaydedilen verilerin ortalaması alınmıştır. Çalışma verileri kaydedilirken motorun kararlı çalışma koşulları beklenmiştir. Tüm test yakıtlarının analizlerinde, aynı test koşullarının oluşması temin edilmiştir.

7.5 Yakıt Tüketimi

Deneyler sürecinde test yakıtları hacimsel olarak ölçülerek test motoruna gönderilmiştir. Çalışma sistematığında, 500 ml ölçeğindeki yakıtın tüketilmesi için geçen süre dijital bir kronometre ile tespit edilerek hacimsel yakıt tüketimi ölçülmüştür. Tespiti yapılan hacimsel debi ile test işlemi yapılan yakıtın yoğunluk değeri çarpılarak kütleli yakıt tüketim verileri hesaplanmıştır. Yakıt tüketim prosesinde kullanılan düzenekler Şekil 7.16'da gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 7.15. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği

(a) Benzin, (b) Dizel

7.6 Özgöl Yakıt Tüketimi

Özgöl yakıt tüketimi, test işlemleri süresinde hacimsel olarak tüketilen yakıt miktarının, motordan elde edilen güce oranı olarak tanımlanmaktadır. Deneyler sonunda denklem 7.1 ve denklem 7.2 de gösterilen yöntem kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

$$B = \frac{500 \times 10^{-6} \times \rho_y}{\Delta t} \quad (7.1)$$

B : Saatlik yakıt tüketimi (Kg/h)

Δt : 500 ml yakıtın tüketildiği süre (saat)

ρ_y : Yakıtın yoğunluğu (kg/m³)

$$b_e = \frac{B}{P_e} \quad (7.2)$$

b_e : Özgöl Yakıt Tüketimi (kg/kW.h)

P_e : Motor Gücü (kW)

7.7 Termik Verim

Termik verim, motorun endike gücünün sağlayacağı enerjinin, motora yakıt tarafından verilen toplam enerjiye oranıyla bulunmaktadır.

b_e : Özgöl yakıt tüketimi (kg/kW.h)

B : Saatlik yakıt tüketimi (Kg/h)

N_e : Motor efektif gücü (kW)

η_t : Termik verim

H_u : Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)

$$\eta_t = \frac{N_e}{B \cdot H_u} = \frac{N_e}{N_e \cdot b_e \cdot H_u} = \frac{3600}{b_e \cdot H_u} \quad (7.3)$$

8. ATIK PETROL ÇAMURLARINDAN DİZEL VE BENZİN BENZERİ YAKITLARIN ÜRETİLMESİ

Bu çalışma kapsamında Atık petrol çamurlarından dizel ve benzin benzeri yakıt elde etmek için piroliz yöntemi kullanılmıştır. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (T.P.A.O.) Batman Bölge Müdürlüğü'nden alınan özel izinle, Batı Raman bölgesindeki petrol pompaları ve dinlendirme tanklarından atıl durumdaki çamurlar tedarik edilmiştir. Temin edilen bu çamur Şekil 8.1'de gösterilmiştir.



Şekil 8.1. Reaksiyonlarda kullanılan atık petrol çamuru

8.1. Atık Petrol Çamurunun Muhteviyatının Tespiti

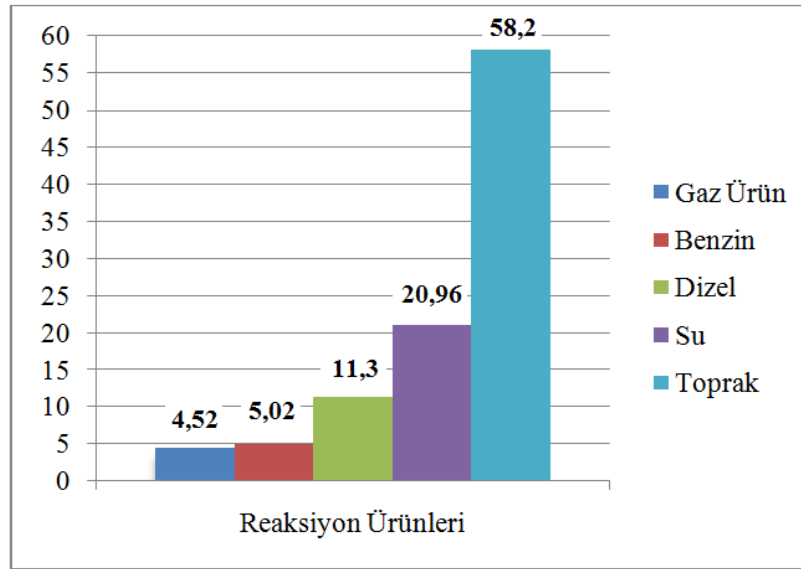
Fiziki olarak balçık şeklinde olan bu çamur, iki kilogram olarak piroliz reaktörüne doldurulmuş ve reaktörün sıcaklığı kademeli olarak arttırılmıştır. Atık petrol çamurları, 30-500 °C sıcaklık değerleri arasında, ısı parçalanmaya maruz bırakılarak, gaz çıkış borusundan buhar halinde çıkışı sağlanmıştır. Buhar fazındaki bu moleküller, bir kondenser yardımı ile soğutulup yoğunlaştırılmak suretiyle sıvı ürün elde edilmiştir. Bu piroliz reaksiyonu neticesinde haznede kalan toprak kütlesi çıkarılarak hassas terazide tartılmıştır. Reaktör dışına çıkan sıvı ürünler de ayrıştırılarak ayrı ayrı tartılmıştır.

Reaksiyon neticesinde; sırasıyla benzin, su, dizel yakıt ve toprak elde edilmiştir. Reaktör içerisine konulan 2 kg atık petrol çamurundan elde edilen ürünlere ait istatistiksel bilgiler aşağıdaki Tablo 8.1'de ve Şekil 8.2'de

gösterilmiştir. Elde edilen bu veriler 10 ayrı reaksiyon sonucunun ortalaması şeklinde hazırlanmıştır.

Tablo 8.1. Atık petrol çamurundan elde edilen ürünlerin oranları

Gaz Ürün (%)	Benzin (%)	Dizel Yakıtı (%)	Su (%)	Toprak (%)
4,52	5,02	11,3	20,99	58,2



Şekil 8.2. Atık petrol çamurundan elde edilen ürünlerin yüzdesel dağılımı

8.2. Reaksiyon Sonucu Elde Edilen Ürünlerin İncelenmesi

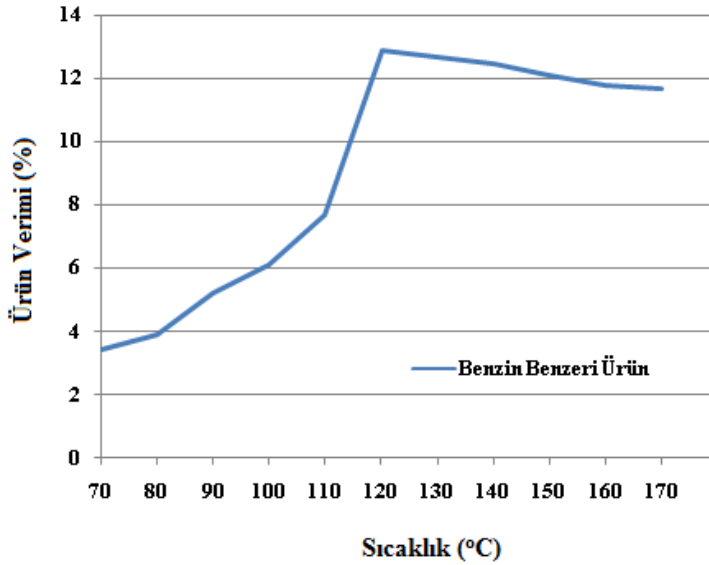
Piroliz sıcaklığının ürün verimine ve çeşitliliğine etkisini incelemek amacıyla atık petrol çamuru normal atmosfer basıncında ve N_2 ortamda iken 30-500°C sıcaklık aralığında piroliz işlemi uygulanmıştır. 70-170 °C aralığında benzin benzeri ürün, 100-110°C aralığında su+benzin benzeri ürün, 170-475 °C aralığında ise dizel benzeri ürün elde edilmiştir. 475°C ve üzerindeki sıcaklıklarda başka bir ürün elde edilememiştir. 500 °C de reaksiyon sonlandırılmıştır. Elde edilen ürünler ayırma hunisinde bir gün bekletilip su ve katı partikülden ayrıştırılmıştır. Daha da saflaşan numuneler tekrar piroliz ünitesine koyularak kaynama noktaları farkı doğrultusunda sınıflandırılmıştır. Reaksiyon sürecinde ilk sıvı ürün 70°C de, son ürün ise 475°C de elde edilmiştir.

8.2.1. Benzin Benzeri Yakıt Numunesinin Üretimi ve Sıcaklık Analizi

Birinci aşama piroliz işlemi tamamlandıktan sonra benzin, su, toprak ve dizel yakıt birbirlerinden ayrıştırılmıştır. Bu ön ayrıştırma işleminden sonra elde edilen 1 litre benzin benzeri ürün, tekrar reaktöre koyularak reaksiyon sıcaklığı kademeli olarak 10'ar derece arttırılmıştır. Bu hassas analizde ilk ürün, 70°C 'de elde edilmiştir. Sıcaklık kademeli olarak 70-170°C aralığında arttırılarak, sıcaklığın benzin benzeri ürün üzerindeki verimsel analizi araştırılmıştır. Bu araştırmaya ait sayısal veriler Tablo. 8.2 'de ve Şekil. 8.3 'de gösterilmiştir. Sıcaklık dağılım analizinde kullanılan benzin benzeri yakıt numunesi Şekil 8.4'de gösterilmiştir.

Tablo 8.2. Sıcaklığın benzin üretimindeki verime etkisi

Sıcaklık (°C)	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
Ürün Verimi (%)	3,4	3,9	5,2	6,1	7,7	12,9	12,7	12,5	12,1	11,8	11,7



Şekil 8.3. Sıcaklığın benzin benzeri ürün verimine etkisi

Şekil 8.4. Benzin benzeri yakıt

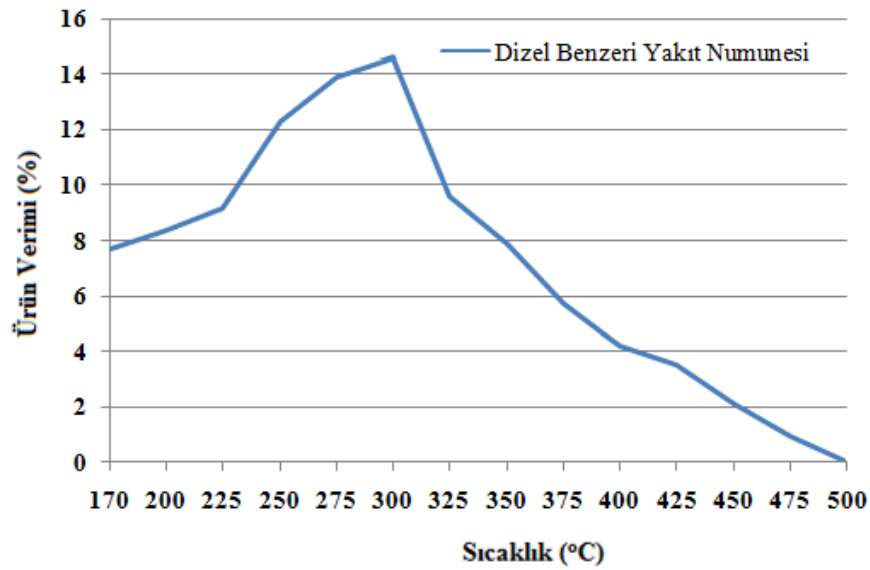
Grafik incelendiğinde benzin benzeri yakıt numunesinin üretiminde ilk ürünün 70 °C de ve en yüksek ürün veriminin ise 120 °C de elde edilmiş olduğu görülmektedir.

8.2.2. Dizel Benzeri Yakıt Numunesinin Üretimi ve Sıcaklık Analizi

Birinci aşama piroliz işlemi tamamlandıktan sonra benzin, su, toprak ve dizel yakıt birbirlerinden ayrıştırılmıştır. Bu ön ayrıştırma işleminden sonra elde edilen 1 litre dizel benzeri yakıt numunesi, tekrar reaktöre koyularak reaksiyon sıcaklığı kademeli olarak 25'er derece arttırılmıştır. Dizel benzeri yakıtın elde edilme sıcaklığının yüksek olması ve reaktör içerisindeki hidrokarbonların yanmadan bozundurulması gerektiği hususu dikkate alınarak reaktör içerisine N_2 gazı basılmıştır. N_2 gazının akış hızını ayarlayabilmek için azot tüpü ile reaktör arasına ayarlı manometre bağlanmıştır. Bu düzeneikle yüksek sıcaklıklarda oksijensiz bir reaksiyon ortamı temin edilmiştir. Belirtilen bu reaksiyon şartlarında, ilk ürün 170 °C 'de elde edilmiştir. Sıcaklık kademeli olarak 170-475 °C aralığında arttırılarak sıcaklığın dizel benzeri ürün üzerindeki verimsel analizi araştırılmıştır. Bu araştırmaya ait sayısal veriler Tablo. 8.3'de ve Şekil 8.5'de gösterilmiştir.

Tablo 8.3. Sıcaklığın dizel benzeri yakıt üretimindeki verime etkisi

Sıcaklık (°C)	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500
Ürün Verimi (%)	7,7	8,4	9,2	12,3	13,9	14,6	9,6	7,9	5,7	4,2	3,5	2,1	0,9	0



Şekil 8.5. Sıcaklığın dizel benzeri yakıt üretimindeki verime etkisi

25'er derece aralıklarla elde edilen dizel benzeri yakıt numuneleri ayrı kaplarda filtrelenip depolanmıştır. 2 gün süre ile dinlendirilen yakıt numuneleri Şekil 8.6 'de gösterildiği gibi cam şişelere doldurularak analiz şartlarına hazırlanmıştır.



Şekil 8.6. Analiz için hazırlanan farklı sıcaklık değerlerindeki dizel benzeri yakıt numuneleri

8.2.3. Reaksiyon Sonunda Reaktör İçerisinde Kalan Ürünler

500 °C 'ye kadar sürdürülen piroliz reaksiyonu sonunda reaktörün içi temizlenmiş ve bir sonraki reaksiyon için hazırlanmıştır. Reaktör içerisinde, Şekil 8.7'de gösterilen kiremit rengi ince gözenekli bir toprak kütlelerinin kalmış olduğu görülmüştür.



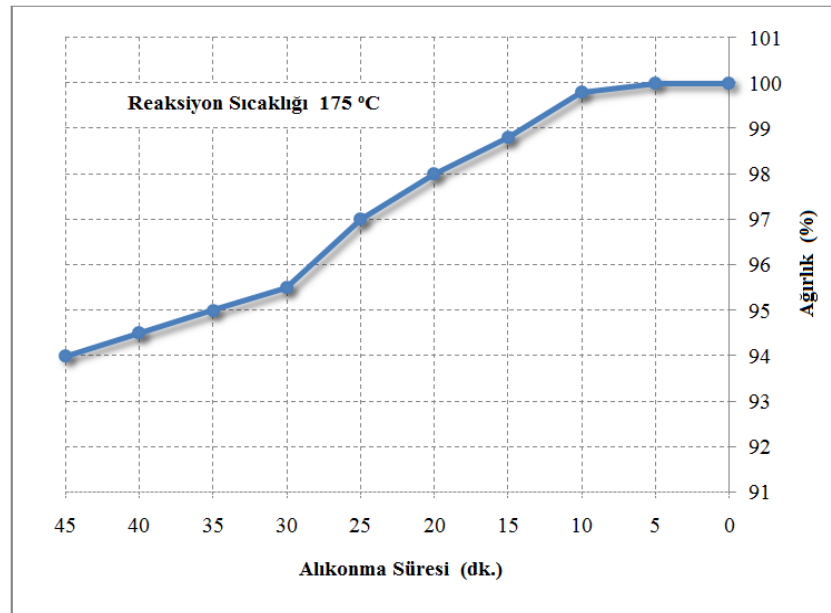
Şekil 8.7. Reaksiyon sonunda reaktör içerisinden çıkarılan toprak

8.3. Sıvı Yakıtların Alıkonma Sürelerinin Tespiti

Atık petrol çamurlarının reaktördeki ağırlıkça azalmasının zaman içerisindeki değişimi incelenmiştir. Bu incelemede benzin benzeri yakıt ayrı, dizel benzeri yakıt ayrı değerlendirilmiştir. Test işlemlerinde kararlı sonuçlar elde edilene kadar devam ettirilmiştir.

8.3.1 Benzin Benzeri Yakıt İçin Alıkonma Süresinin Tespiti

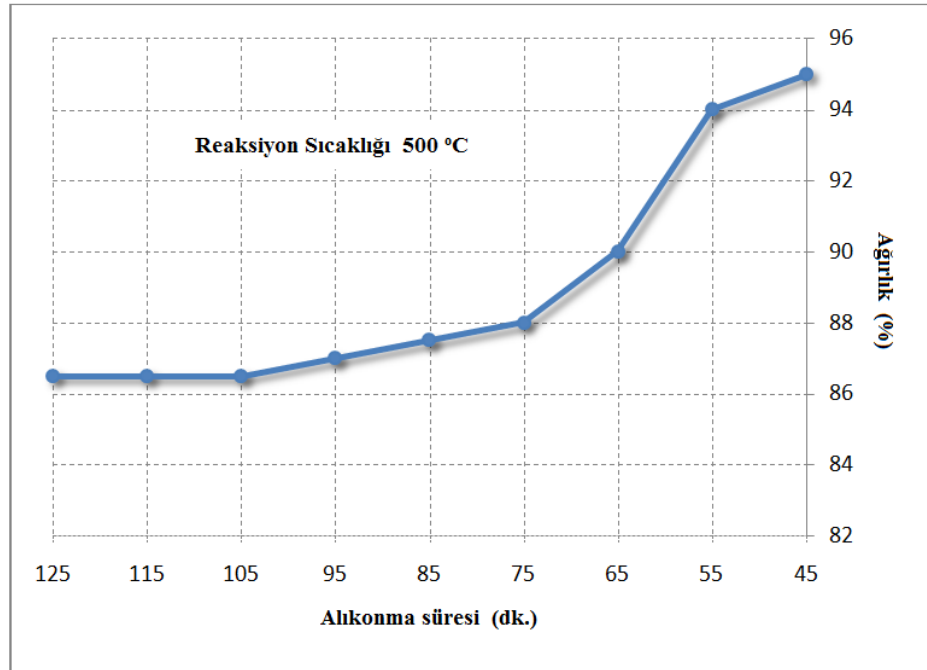
Piroliz reaktörü hassas terazi üzerine konumlandırılmış olup, terazi sıfırlanmıştır. Terazinin sıfırlanmasının ardından reaktöre atık petrol çamuru doldurulmuştur. Terazî, sadece reaktör içerisindeki ısı parçalanmaya maruz kalacak olan ürünün ağırlığını gösterecek şartlarda hazırlanmıştır. Reaksiyon başlatılarak, her 5 dakikada bir ağırlıktaki azalma miktarı gram cinsinden kaydedilmiştir. Benzin benzeri yakıt numunesindeki alıkonma sürelerinin tespiti için reaksiyon sıcaklığı 175 °C de sabit tutulmuştur. İlk yakıt damlacığı 9. dakikada gelmeye başlamış olup, bu dakikadan sonra yoğunlaştırucudan gelen damlacık sayısının arttığı gözlemlenmiştir. 11-30 dakika aralığında çok hızlı bir yoğunlaşma gerçekleşmiş olması sebebiyle hassas terazideki ağırlık kaybının en fazla olduğu süreç olarak kaydedilmiştir. Benzin benzeri yakıt numunesi için yapılan bu tespit Şekil 8.8 'de gösterilmiştir.



Şekil 8.8. Benzin benzeri yakıtın reaksiyon sürecindeki zaman-ağırlık değişimi

8.3.2. Dizel Benzeri Yakıt İçin Alıkonma Süresinin Tespiti

Benzin benzeri yakıt numunesi reaktör dışına alındıktan sonra, reaksiyon devam ettirilerek dizel benzeri yakıt numunesinin alıkonulması aşamasına geçilmiştir. Aynı reaksiyonda hem benzin ve hem de dizel yakıt elde edilecek olması sebebiyle, iki yakıt numunesi arasında geçiş (eşik) sıcaklık değerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Çünkü benzinin distilasyon sıcaklık aralığı 60-220 °C değerinde iken, dizel yakıtın distilasyon sıcaklık aralığı 170-475 °C dir. Çalışma süresince 175 °C sıcaklığı eşik değer olarak kabul edilmiş olup, 175 °C'den sonra distile olan yakıt, dizel benzeri yakıt statüsünde değerlendirilmiştir. 175 °C'nin sonunda yoğunlaşma kabı değiştirilerek dizel yakıt numunesine ait kap yoğunlaştırıcunun önüne konulmuştur. Kontrol panelindeki sıcaklık ayarı 500 °C'ye ayarlanarak 60 dakikalık alıkonma süreci başlatılmıştır. Ürün ve reaktörün sıcaklığı belli bir karalılıkta olması sebebiyle damlacıkların hemen gelmeye başladığı ve 55. dakikadan 75. dakikaya kadar ciddi bir ağırlık kaybının olduğu Şekil 8.9'dan görülmektedir. Ağırlık kaybının, 75. dakikadan 105. dakikaya kadar ki periyotta azalma eğiliminde ilerlediği, 105. dakikadan sonra ise önemsenmeyecek miktarlarda ürün elde edilebildiği gözlemlenmiştir.



Şekil 8.9. Dizel benzeri yakıtın reaksiyon sürecindeki zaman-ağırlık değişimi

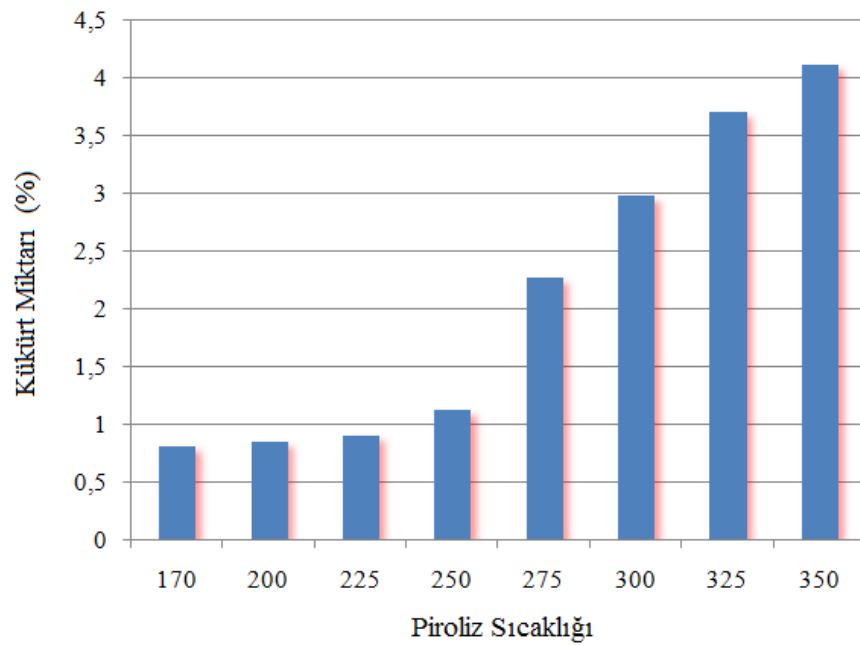
8.4. Benzin ve Dizel Benzeri Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Analizi

Reaksiyon sonunda elde edilen yakıt numunelerinin, özelliklerine uygun motorlarda kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tespiti yapılmıştır. Siirt Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilen bu tespitlerde; yoğunluk, viskozite, alevlenme noktası, kükürt içeriği, üst ısı değeri ve alt ısı değeri gibi özellikler açısından incelenmiştir. Yakıt numunelerinin, tespit edilen özellikleri Tablo 8.4 'de gösterilmiştir.

Tablo 8.4. Deneylerde kullanılan yakıtların fiziksel ve kimyasal yakıt özellikleri

Yakıt Türü	Yoğunluk (gr/cm ³)	Sıcaklık (°C)	Viskozite (%)	Alevlenme Noktası (°C)	Kükürt (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	Alt ısı Değer (kcal/kg)
Benzin	0,772	22,7	0,751	50	0,95	11007	10457
175 °C Dizel	0,813	20,5	0,908	61	0,81	10857	10332
200 °C Dizel	0,836	20,8	1,002	82	0,77	10702	10152
225 °C Dizel	0,847	18,5	1,042	90	0,66	10680	10050
250 °C Dizel	0,867	19,2	1,093	91	1,02	10540	9927
275 °C Dizel	0,883	19,9	1,172	93	2,27	10432	9843
300 °C Dizel	0,890	21,7	1,273	99	2,98	10365	9766
325 °C Dizel	0,898	23,5	1,32	108	3,71	10248	9698
350 °C Dizel	0,936	19,8	1,44	119	4,12	10171	9048

Yakıtlar hakkında ön fikir vermesi açısından yapılan incelemede; reaksiyon sıcaklığının artmasıyla yakıt numunelerindeki yoğunluk, viskozite ve alevlenme noktası gibi değerlerinde artış olduğu, alt ve üst ısı değerlerinde ise azalma olduğu tespit edilmiştir. Kükürt içeriği, 250 °C 'ye kadar ki sıcaklık değerlerinde yaklaşık % 1 oranında seyrederken 250 °C den sonra ise ciddi bir artış olduğu, Şekil 8.10 'dan gözlemlenmiştir. Destilasyon sıcaklığının artmasına paralel olarak, numuneler içerisindeki kükürt muhteiyatının da artmış olduğu tespit edilmiştir. Ağır hidrokarbonların içeriğinde, kükürt oranının, standartların çok üzerindeki olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 8.10. Reaksiyon sıcaklığının dizel benzeri yakıttaki kükürt içeriğine etkisi

Genel bir değerlendirme yapmak gerekirse, yoğunluk, viskozite, alevlenme noktası ve ısı değer standartlara uygun değerlerde iken kükürt içeriğinin standartların üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Dizel benzeri yakıt numuneleri birleştirilerek tek bir numune haline getirilmiştir. Bu numune tekrar bir kükürt analizine tabi tutulmuş olup, bu analizde dizel benzeri yakıt numunesinin kükürt içeriği % 1,52 olduğu tespit edilmiştir.

8.5. Kükürt Giderme Reaksiyonları

Deneylerde kullanılan yakıtların fiziksel ve kimyasal yakıt özelliklerine ait ön tespitlerde, benzin benzeri yakıtın kükürt içeriği % 0,95 iken, dizel benzeri yakıt numunesinin kükürt içeriğinin ise % 1,52 olduğu tespit edilmiştir. Bu kükürt değerlerin yüksek olması sebebiyle, yakıtlar kükürt giderme işlemlerine tabi tutularak, kükürt oranları TS 6838 EN ve ISO 8754 standart değerlerine indirilmeye çalışılmıştır. Atık petrol çamurlarından elde edilen yakıt numunelerinin kükürt oranlarının yüksek olması ve bu ham haliyle motorlarda kullanılması durumunda çevreye yüksek miktarda SO₂ emisyonu salınımı olacağı varsayılarak, yakıt numunelerine çeşitli kükürt giderme işlemleri uygulanmıştır.

8.5.1. Bazik Katkı Maddeleri Kullanılarak Kükürt Giderme İşlemleri

Atık petrol çamurlarından elde edilen yakıt numuneleri için uygulanan piroliz reaksiyonu ile elde edilen dizel ve benzin benzeri yakıtların kükürt içeriğinin azaltılması amacıyla çeşitli katkı maddeleri kullanılmıştır. Bu uygulama hem benzin benzeri yakıt numunesi için ve hem de dizel benzeri yakıt numunesi için gerçekleştirilmiştir. Benzin benzeri yakıt numunesi için % 0,95 değeri düşürülmeye çalışılırken, dizel benzeri yakıt numunesi için % 1,52 değeri düşürülmeye çalışılmıştır. Bu çalışma kapsamında yakıt numunelerine kütleli olarak % 10, % 20 ve % 30 oranlarında katkı maddesi kullanılarak piroliz işlemine tabi tutulmuştur.

8.5.1.1. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinde Bazik Kükürt Giderme İşlemleri

Benzin benzeri yakıt numunesinin kükürt oranının azaltılması kapsamındaki yapılan çalışmada, 1 litre yakıt numunesi içerisine kütleli olarak % 10, % 20 ve % 30, oranlarında; Kalsiyum Hidroksit [Ca(OH)₂], Kalsiyum oksit (CaO-KireçTaşı), Zeolit ve Perlit isimli katalizörler ilave edilerek, piroliz reaksiyonuna tabi tutulmuştur. Reaksiyon sonunda elde edilen numunelerinin her biri 100 ml şeklinde şişelenerek kükürt analizi için hazırlanmıştır. Numunelere ait görüntü Şekil 8.11'de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)



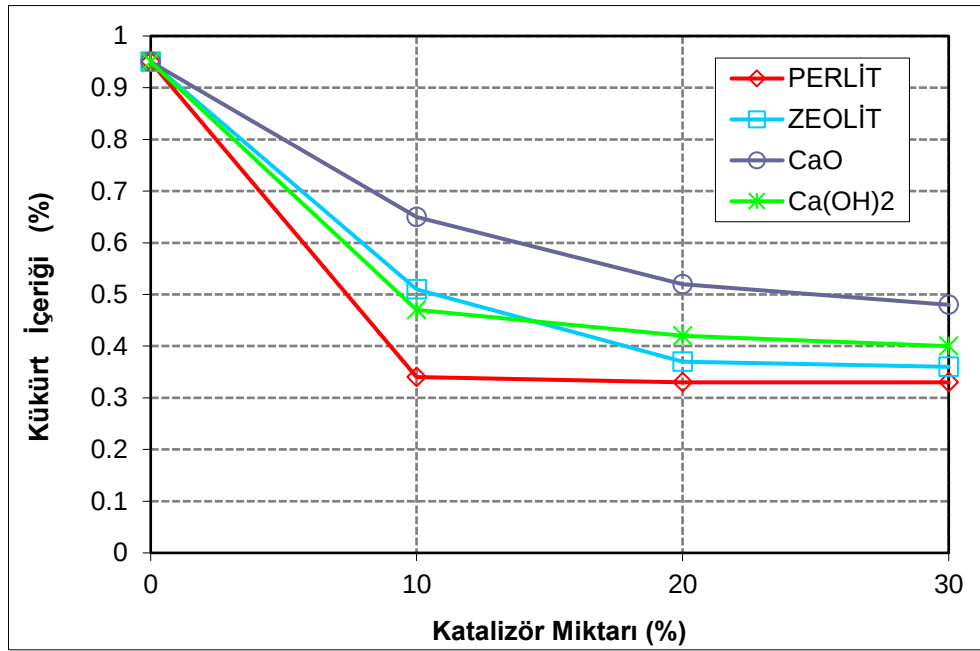
(d)

Şekil 8.11. Bazık katkı maddeleri kullanılarak hazırlanan **Benzin Benzeri Yakıt** numuneleri
 (a) Kalsiyum Hidroksit [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] katkılı yakıt numuneleri, (b) Perlit katkılı yakıt numuneleri
 (c) Kalsiyum Oksit (CaO) katkılı yakıt numuneleri, (d) Zeolit katkılı yakıt numuneleri

Bazık kükürtsüzleştirme reaksiyonuna tabi tutulan benzin benzeri yakıt numunelerinin kükürt analizleri sonuçları, Tablo 8.5 ve Şekil 8.12 'de gösterilmiştir.

Tablo 8.5. Kullanılan katkı maddesi miktarının benzin için kükürtsüzleştirmeye etkisi

Katkı Oranları	Kalsiyum Oksit (CaO)	Perlit	Kalsiyum hidroksit [Ca(OH) ₂]	Zeolit
	Kükürt içeriği %	Kükürt içeriği %	Kükürt içeriği %	Kükürt içeriği %
%0	0,95	0,95	0,95	0,95
%10	0,65	0,34	0,47	0,51
%20	0,52	0,33	0,42	0,37
%30	0,48	0,33	0,39	0,36



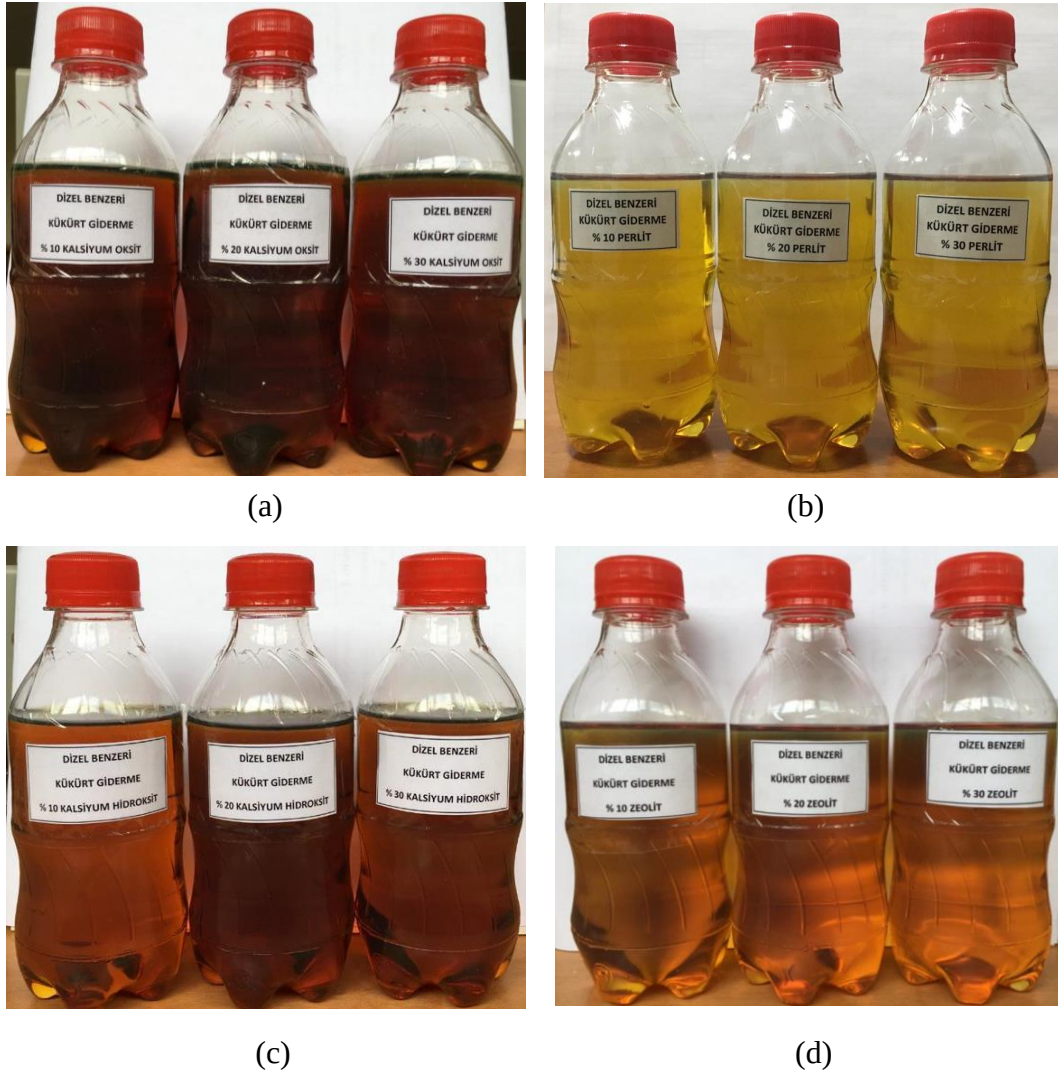
Şekil 8.12. Kullanılan katkı maddesi miktarının benzin için kükürtsüzleştirmeye etkisi

Katkı maddeleri, fiziksel ve kimyasal özellikleri nispetinde yakıt içeriğindeki kükürt ile kimyasal bir bağ yapısı kurmaktadır. Diğer bir deyişle, kullanılan katkı maddeleri gözenek yapıları nispetinde kükürtü absorbe edebilmektedir. % 10 oranındaki katkı maddelerinin kullanımında; perlit için % 64,21, kalsiyum hidroksit için % 50,6, zeolit için % 46,3 ve kalsiyum oksit için ise % 29,8 oranlarında kükürt miktarında azalması olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan katkı maddeleri içerisinde, en iyi kükürt giderme oranının, % 10 perlit kullanımında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Perlit için, % 10 kullanım oranının yeterli olduğu, % 10 dan yüksek orandaki perlit kullanımında, dikkate değer bir

azalma olmadığı gözlemlenmiştir. Bu tespit ışığında benzin benzeri yakıtın kükürtsüzleştirilmesinde, % 10 oranında perlit kullanılmasına karar verilmiştir.

8.5.1.2. Dizel Benzeri Yakıt Numunelerinde Bazik Kükürt Giderme İşlemleri

Dizel benzeri yakıt numunesinin kükürt oranının azaltılması kapsamındaki yapılan çalışmada, 1 litre yakıt numunesi içerisine kütleli olarak % 10, % 20 ve % 30, oranlarında; Kalsiyum Hidroksit[Ca(OH)₂], Kalsiyum Oksit (CaO-KireçTaşı), Zeolit ve Perlit isimli katalizörler ilave edilerek piroliz reaksiyonuna tabi tutulmuştur. Reaksiyon sonunda elde edilen numunelerinin her biri, 100ml şeklinde şişelenerek kükürt analizi için hazırlanmıştır. Numunelere ait görüntü Şekil 8.13'deki gösterilmiştir.



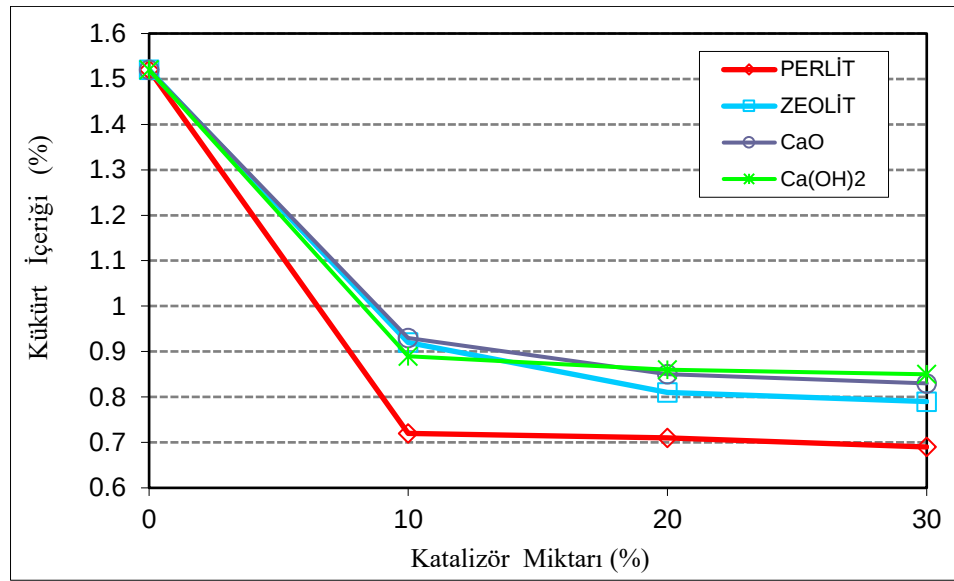
Şekil 8.13. Bazik katkı maddeleri kullanılarak hazırlanan **dizel** benzeri yakıt numuneleri

- (a) Kalsiyum Hidroksit [Ca(OH)₂] katkılı yakıt numuneleri, (b) Perlit katkılı yakıt numuneleri
(c) Kalsiyum hidroksit (CaO) katkılı yakıt numuneleri, (d) Zeolit katkılı yakıt numuneleri

Bazık kükürtsüzleştirme reaksiyonuna tabi tutulan dizel benzeri yakıt numunelerinin kükürt analizleri sonuçları, Tablo 8.6 ve Şekil 8.14'de gösterilmiştir.

Tablo 8.6. Kullanılan katkı maddesi miktarının dizel için kükürtsüzleştirmeye etkisi

Katkı Oranları	Kalsiyum Oksit (CaO)	Perlit	Kalsiyum hidroksit [Ca(OH) ₂]	Zeolit
	Kükürt içeriği %	Kükürt içeriği %	Kükürt içeriği %	Kükürt içeriği %
% 0	1,52	1,52	1,52	1,52
% 10	0,93	0,72	0,89	0,92
% 20	0,85	0,71	0,86	0,81
% 30	0,83	0,69	0,85	0,79



Şekil 8.14. Kullanılan katkı maddesi miktarının dizel için kükürtsüzleştirmeye etkisi

Katkı maddeleri, fiziksel ve kimyasal özellikleri nispetinde yakıt içeriğindeki kükürt ile kimyasal bir bağ yapısı kurmaktadır. Kullanılan katkı maddeleri gözenek yapıları nispetinde kükürt'ü absorbe edebilmektedir. Katkı maddelerinin % 10 oranındaki kullanımında; Perlit için % 52,63, Kalsiyum hidroksit için % 41,5, Zeolit için % 39,5 ve Kalsiyum Oksit için ise % 38,8 oranlarında bir kükürt azalması gerçekleştiği tespit edilmiştir. Kullanılan katkı maddeleri içerisinde, en iyi kükürt giderme oranının, %10 perlit kullanımında

gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Perlit için, % 10 kullanım oranının yeterli olduğu, % 10 dan yüksek orandaki perlit kullanımında dikkate değer bir azalma olmadığı gözlemlenmiştir. Bu tespit ışığında dizel benzeri yakıtın kükürtsüzleştirilmesinde, % 10 oranında perlit kullanılmasına karar verilmiştir.

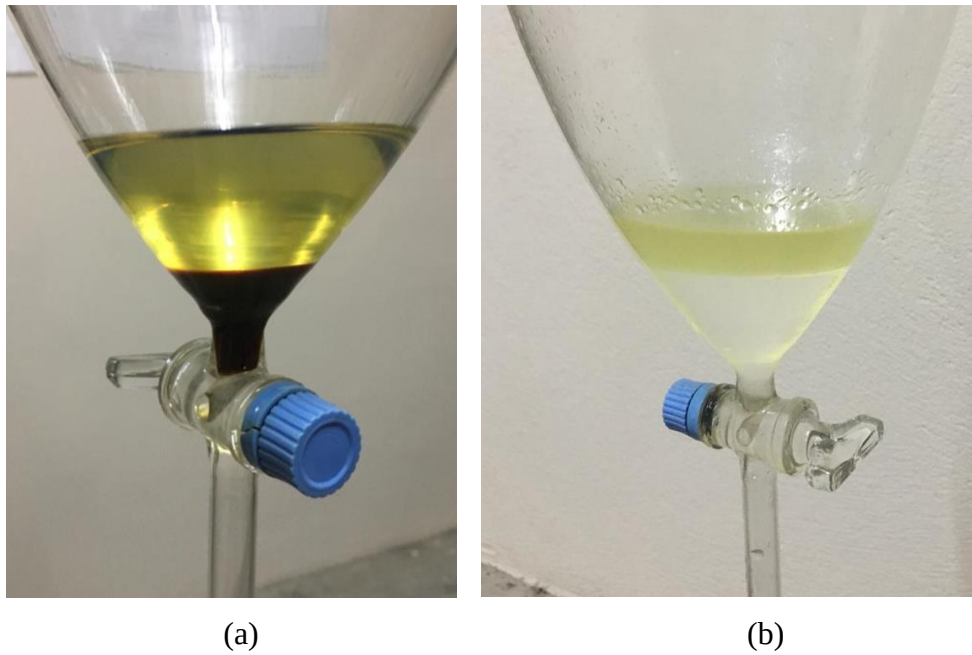
Kükürt giderme çalışmalarının birinci aşaması olan baz katalizörlü piroliz reaksiyonları neticesinde, en iyi kükürtsüzleştirme performansını, her iki yakıt için de % 10 oranındaki perlit kullanımında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu tespitler ışığında, dizel ve benzin benzeri yakıt numunelerinin tamamı % 10 perlit karışımına reaksiyona tabi tutulmuş olup, dizel benzeri yakıt için % 52,63 ve benzin benzeri yakıt için % 64,21 oranlarında kükürt giderilmiştir.

8.5.2. Asidik Kükürt Giderme Reaksiyonları

Yapılan kimyasal analizler neticesinde, benzin ve dizel benzeri yakıt numunelerinin içeriğindeki kükürt'ün yarısından fazlası baz katalizörlü reaksiyon neticesinde bertaraf edilmiştir. Bu kimyasal analizlerde benzin benzeri yakıt numunesinde % 0,34, dizel benzeri yakıt numunesinde ise % 0,72 oranında kükürt içeriğine sahip olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen yakıt numunelerinin motor deneylerinde kullanılacak olması, bu mevcut kükürt içeriğinin SO₂ emisyonunun ortaya çıkmasına sebebiyet vereceği ve diğer motor ve emisyon karakteristiklerini olumsuz etkileyeceği varsayımları bir bütün halinde değerlendirildiğinde, atık petrol çamurlarından elde edilen yakıtların özelliklerini iyileştirmek amacıyla ikinci aşama olan asidik kükürt giderme reaksiyonları başlatılmıştır.

Bu kapsamda çeşitli asit ve bu asitlerin içerikleri araştırılmıştır. Bu araştırma neticesinde, Sülfürik Asit (H₂SO₄), Asetik Asit (CH₃COOH) ve Formik Asit (CH₂O₂) kimyasal içerikleri bakımından daha etkin olacağı düşüncesiyle, asidik kükürtsüzleştirmede reaksiyonları için tercih edilmiştir. Çözücü olarak ise, Hidrojen Peroksit (H₂O₂) kullanılmıştır. Yakıt numunelerine ilave edilmek üzere Asetik ve Formik Asit, Hidrojen peroksit ile 1/2 ve 1/1 oranlarında karıştırılarak bir çözelti hazırlanmıştır. Bu çözeltiler asidik katalizör olarak kullanılmıştır. Sülfürik asit için çözücüye ihtiyaç duyulmamış olup, direk kullanılmıştır. Daha sonra hazırlanan bu çözeltiler 2,5, 5, 7,5, 10 gr olarak, %10 perlit reaksiyonuna tabi tutulmuş olan dizel ve benzin benzeri yakıt numunelerine uygulanmıştır. Reaksiyon sürecinde, 100 ml 'lik yakıt numunesine asit çözeltisi eklenerek

numuneler 2 saat süre ile yaklaşık 50°C'lik sıcaklık şartlarında asidik reaksiyona tabi tutulmuştur. 2 saatlik reaksiyon sonunda ürün ayırma hunisine alınıp 10 saat süre ile bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda yoğunluk farkı sebebiyle faz ayrışması gerçekleşmiştir. Bu faz ayrışması Şekil 8.15(a) de gösterilmiştir. Her ne kadar net bir faz ayrışması gerçekleşmiş olsa da, üst fazda reaksiyon artığı ürünler bulunmaktadır. Üst fazdaki yakıt numunesi içerisindeki reaksiyon artıklarını bertaraf etmek amacıyla Şekil 8.15(b) 'deki gibi 1/1 oranında saf su ile yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8.15. Asidik reaksiyon aşamasındaki (a) Faz ayrışması, (b) Yıkama işlemi

Yıkama işleminde bu maddeler suda çözünerek alt faza alınmıştır. Bu sayede yakıt numunesinden ayrıştırılmıştır. Bu işlemle beraber daha da saflaşan yakıt numunesi son olarak buharlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Sonra yakıt numuneleri filtrelenerek 100ml'lik cam şişelerde kükürt analizi için hazırlanmıştır.

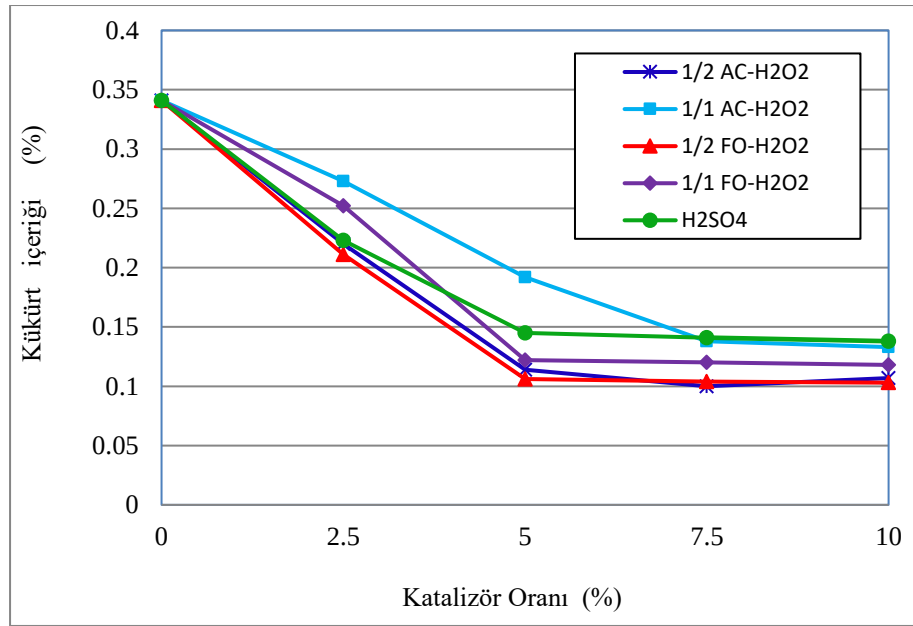
8.5.2.1 Asidik Kükürt Giderme Reaksiyonu Sonunda Analizlerin Değerlendirilmesi

Asidik reaksiyon aşamasında hazırlanmış olan 25 benzin benzeri, 25 de dizel benzeri, yakıt numunesi olmak üzere toplam 50 adet numunenin kükürt

analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizlere ait veriler Tablo 8.7, Tablo 8.8, Şekil 8.16 ve Şekil 8.17'da gösterilmiştir.

Tablo 8.7. Benzin için kullanılan asidik katalizör miktarının kükürtsüzleştirmeye etkisi

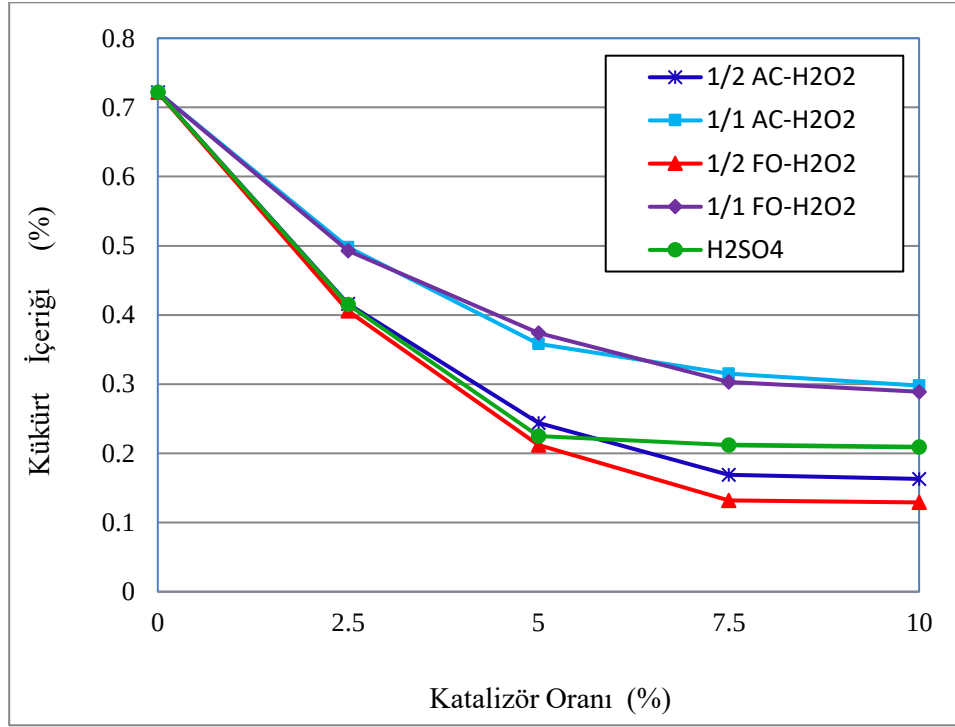
Asidik Katalizör Cinsi	Çözelti Miktarı (gr)				
	0	2,5	5	7,5	10
	Kükürt içeriği %	Kükürt içeriği %	Kükürt içeriği %	Kükürt içeriği %	Kükürt içeriği %
1/2 Asetik Asit- H ₂ O ₂	0,341	0,220	0,114	0,11	0,107
1/1 Asetik Asit- H ₂ O ₂	0,341	0,273	0,192	0,138	0,133
1/2 Formik Asit- H ₂ O ₂	0,341	0,211	0,106	0,104	0,103
1/1 Formik Asit- H ₂ O ₂	0,341	0,252	0,122	0,12	0,118
Sülfürik Asit	0,341	0,223	0,145	0,141	0,138



Şekil 8.16. Benzin için kullanılan asidik katalizör miktarının kükürtsüzleştirmeye etkisi

Tablo 8.8. Dizel için kullanılan asidik katalizör miktarının kükürtsüzleştirmeye etkisi

Asidik Katalizör Cinsi	Çözelti Miktarı (gr)				
	0	2,5	5	7,5	10
	Kükürt içeriği %	Kükürt içeriği %	Kükürt içeriği %	Kükürt içeriği %	Kükürt içeriği %
1/2 Asetik Asit- H ₂ O ₂	0,722	0,416	0,244	0,169	0,163
1/1 Asetik Asit- H ₂ O ₂	0,722	0,498	0,358	0,315	0,298
1/2 Formik Asit- H ₂ O ₂	0,722	0,406	0,212	0,132	0,129
1/1 Formik Asit- H ₂ O ₂	0,722	0,493	0,374	0,303	0,212
Sülfürik Asit	0,722	0,415	0,225	0,212	0,209



Şekil 8.17. Dizel için kullanılan asidik katalizör miktarının kükürtsüzleştirmeye etkisi

8.5.2.2. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Asidik Reaksiyon Sonrası Kükürt Miktarı Tespitinin Analizi

Yapılan kükürt analizleri neticesinde, tüm benzin benzeri yakıt numunelerinde asidik katalizör miktarının artmasıyla beraber kükürt miktarının azaldığı görülmüştür. Hem Asetik asit ve hem de Formik asit için hazırlanan çözeltilerde 1/2 oranının, 1/1 oranına kıyasla daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Formik asidin; asetik aside kıyasla daha etken olduğu, yakıt içerisindeki kükürt bileşenleri ile kimyasal bir bağ yapısı kurmak suretiyle alt faza geçme kapasitesinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Benzin benzeri yakıt numunelerinde 5 gr ölçeğine kadar ciddi bir azalma olduğu, 5 gr 'dan sonraki katalizör ilavesinin, yakıt içeriğinde kükürt miktarına önemsenmeyecek miktarda etkisinin olduğu tespit edilmiştir. (1/2 Formik asit- H_2O_2) çözelti ile sülfürik asidin 5 gram oranındaki kullanımında yakıtların kükürt oranlarının, TS6838 EN ISO 8754 standart değerlere ulaşılmıştır. Formik asidin kimyasal yapısı, çalışma şartlarındaki kolaylık, maliyetinin uygun olması, kükürtsüzleştirmeye sunduğu katkısı gibi avantajları bir bütün olarak değerlendirildiğinde, benzin benzeri yakıt numunelerinin kükürtsüzleştirilmesinde (1/2 Formik asit- H_2O_2) bu katalizörün, 1 litre yakıt için 5gr ölçeğinde kullanılmasına karar verilmiştir. Laboratuvar çalışmalarındaki kimyasal çalışmalar ve numune analizleri ile beraber optimizasyon işlemi tamamlanarak test yakıtları motor deneylerine hazır hale getirilmiştir.

8.5.2.3. Dizel Benzeri Yakıt Numunelerinin Asidik Reaksiyon Sonrası Kükürt Miktarı Tespitinin Analizi

Benzin benzeri yakıt çalışmalarında olduğu gibi, dizel benzeri yakıt numunelerinde de asidik katalizör miktarının artmasıyla beraber kükürt miktarının azaldığı görülmüştür. Hem asetik asit ve hem de formik asit için hazırlanan çözeltilerde, 1/2 oranının, 1/1 oranına kıyasla daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Formik asidin; asetik aside kıyasla daha etken olduğu, yakıt içerisindeki kükürt ile kimyasal bir bağ yapısı kurarak alt faza geçme kapasitesinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Dizel benzeri yakıt numunelerinde 7,5 gr ölçeğine kadar ciddi bir azalma olduğu, 7,5 gr 'dan sonraki katalizör ilavesinin, yakıt içeriğinde kükürt

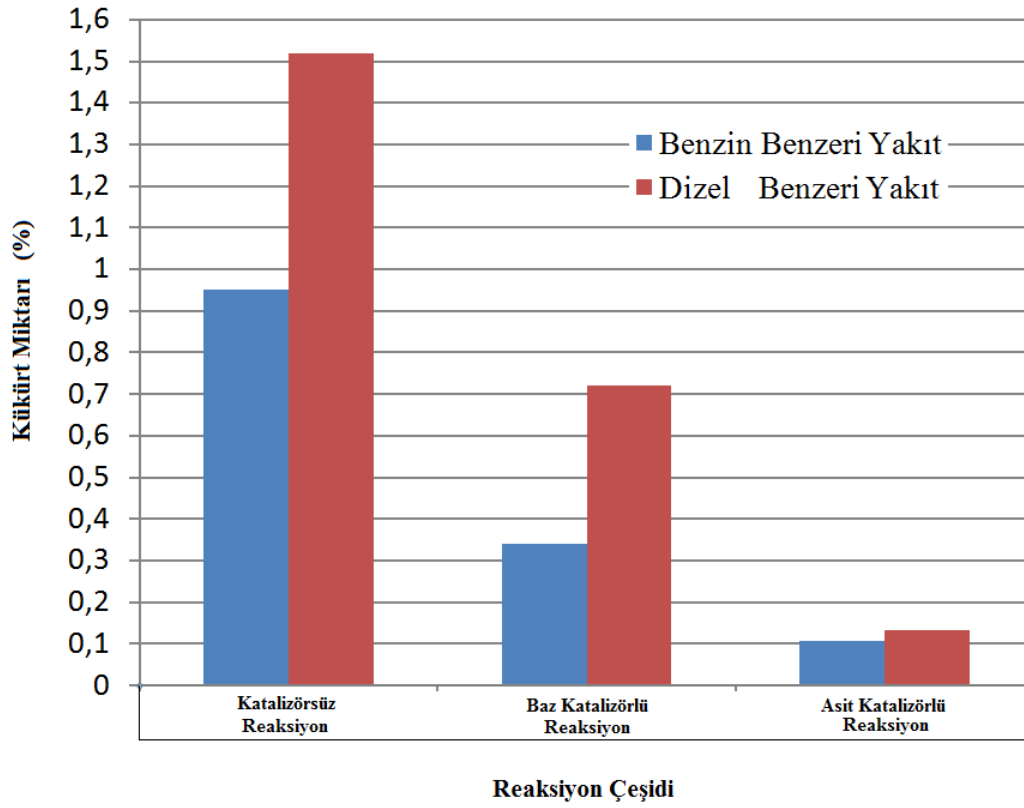
miktarına önemsenmeyecek miktarda etkisinin olduğu tespit edilmiştir. (1/2 Formik asit- H_2O_2) çözelti ile sülfürik asidin 7,5 gram oranındaki kullanımında yakıtların kükürt oranlarının, TS6838 EN ISO 8754 standart değerlere oldukça yaklaştırdığı görülmüştür. Formik asidin kimyasal yapısı, çalışma şartlarındaki kolaylık, maliyetinin uygun olması, kükürtsüzleştirmeye sunduğu katkısı gibi avantajları bir bütün olarak değerlendirildiğinde, dizel benzeri yakıt numunelerinin kükürtsüzleştirmesinde (1/2 Formik asit- H_2O_2) bu katalizörün, 1 litre yakıt için, 7,5gr oranında kullanılmasına karar verilmiştir. Laboratuvar çalışmalarındaki kimyasal çalışmalar ve numune analizleri ile beraber optimizasyon işlemi tamamlanarak test yakıtları motor deneylerine hazır hale getirilmiştir.

8.6. Kükürtsüzleştirme İşlemlerinin Genel Değerlendirilmesi

Kimyasal çalışmalar aşamasında öncelikle, reaksiyonlarda katalizör kullanılıp kullanılmayacağı hususu araştırılmıştır. Katalizör kullanılmadan gerçekleştirilen reaksiyonlarda benzin benzeri yakıt numunesinde % 0,95 oranında, dizel benzeri yakıt numunesinde ise % 1,52 oranında kükürt içeriği olduğu tespit edilmiştir. Kükürt içeriğinin yüksek olması sebebiyle baz katalizörlü reaksiyon çalışmalarına geçilmiştir. Katalizör olarak, Kalsiyum Oksit, Kalsiyum Hidroksit, Zeolit ve Perlitin kullanıldığı reaksiyonlar gerçekleştirilmiştir. Kükürtsüzleştirme işleminde en iyi performansın % 10 perlit kullanımında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu aşamada dizel benzeri yakıt için % 52,63 ve benzin benzeri yakıt için % 64,21 oranlarında kükürt giderilmiş olduğu analizler sonucunda anlaşılmıştır. Bu değerler standartların üzerinde olması sebebiyle, ikinci aşama olan asidik reaksiyonlar gerçekleştirilmiştir. Asidik reaksiyonlarda benzin benzeri yakıt numunesinde en iyi kükürt giderme performansının %5 oranında 1/2 Formik asit- H_2O_2 çözeltinde elde edildiği, dizel benzeri yakıt numunesinde ise en iyi kükürt giderme performansının % 7,5 oranında, 1/2 Formik asit- H_2O_2 çözeltinde elde edilmiştir. Bu oranlardaki çözeltinin katalizör olarak kullanılması ile, benzin benzeri yakıt içerisindeki kükürt miktarının % 88,64'ü, dizel benzeri yakıt içerisindeki kükürt miktarının ise % 91,32'si bertaraf edilmiştir. Belirtilen bu oranlara ilişkin detaylar Tablo 8.9 ve Şekil 8.18 de gösterilmiştir.

Tablo 8.9. Reaksiyonlarda kullanılan katalizörün kükürt içeriğine etkisi

Reaksiyon	Benzin benzeri yakıt numunesi	Dizel benzeri yakıt numunesi
Katalizörsüz üretilen ürünün kükürt oranı (%)	0,95	1,52
Bazik reaksiyon sonrası kükürt oranı (%)	0,34	0,72
Asidik reaksiyon sonrası kükürt oranı (%)	0,106	0,132



Şekil 8.18. Reaksiyonlarda kullanılan katalizörün kükürt içeriğine etkisi

8.7. Standart Benzin ve Dizel Yakıtının Sınır Değerlerinin İncelenmesi

Atık petrol çamurlarından elde edilen dizel ve benzin benzeri yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit edilerek, Tablo 8.10'daki benzin için belirlenen sınır değerler ve Tablo 8.11'deki normal motorin için belirlenen sınır değerleri ile kıyaslanmıştır.

Tablo 8.10. Benzin yakıtı için belirlenen sınır değerler

Özellik	Birim	Değer	Sınır Şartı	Deney Yöntemi
Yoğunluk (15 °C'de)	kg/m ³	720-775	Değer aralığı	EN ISO 3675 EN ISO 12185
oktan sayısı, ON	-	95	En az	EN ISO 5164
Motor oktan sayısı, MON	-	85	En az	EN ISO 5163
Kurşun	Mg/L	5	En çok	EN237
Kükürt	%	0,001	En çok	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Alt Isıl Değer	kJ/kg	39800-44345	Değer aralığı	EN 13132
Buhar Basıncı	kpa	41-103	Değer aralığı	EN ISO 20847
Görünüş	-	Berrak ve Parlak	-	Gözle Muayene
Oksidasyon kararlılığı	dak.	360	En az	EN 1601
Not: Belirtilen sınır değerlerindeki yakıt, ülkemizdeki rafinerilerde satılmaktadır.				

Tablo 8.11. Motorin için belirlenen sınır değerleri

Özellik	Birim	Değer	Sınır	Deney Yöntemi
Yoğunluk (15 °C'de)	Kg/m ³	820-845		TS 1013 EN ISO 3675 TS EN ISO 12185
Viskozite (40 °C'de)	cst	2,0-4,5		TS 1451 EN ISO 3104
Parlama Noktası	°C	55	En az	
Damıtma				TS 1232 EN ISO 3405
250 °C 'de elde edilen	% Hacim	65	En az	
350 °C 'de elde edilen	% Hacim	85	En az	
%95 'in elde edildiği sıcaklık	°C	360	En çok	
Kükürt	%	0,1	En çok	TS 6838 EN ISO 8754
Setan sayısı		51		TS 10317 EN ISO 5165
Setan İndeksi		46		TS 2883 EN ISO 4264
Not: Belirtilen sınır değerlerindeki yakıt, ülkemizdeki rafinerilerde satılmaktadır.				

8.8. Üretilen Yakıtların Laboratuar Ortamında Teknik Özelliklerinin İncelenmesi

Atık petrol çamurlarından elde edilen dizel ve benzin benzeri yakıt numuneleri kısa isim şeklinde kodlanarak isimlendirilmiştir. Her bir numunenin fiziksel ve kimyasal özellikleri, Siirt Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen benzin benzeri yakıt numuneleri Tablo 8.12'de, dizel benzeri yakıt numuneleri ise Tablo 8.13'de gösterilmiştir.

8.8.1. Benzin Benzeri Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Tespiti

Sırasıyla; Benzin Yakıtı (BY), Benzin Benzeri Yakıt (BBY), Düşük Kükürlü Benzin Benzeri Yakıt (DKBBY100) ve %50 BY + %50 DKBBY (DKBBY50) olarak isimlendirilen yakıt numunelerinin fiziksel ve kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlere ait veriler Tablo 8.12'de gösterilmiştir.

Tablo 8.12. Benzinli motor deneylerinde kullanılacak olan yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tespiti

Özellikler	BY	BBY	DKBBY	DKBBY50
Yoğunluk (gr/cm ³)	0,743	0,762	0,758	0,752
Viskozite (mm ² /sn)	0,680	0,73	0,70	0,689
Kaynama Noktası (°C)	32 - 211	70-175	70 - 175	44 - 182
Alt Isıl Değer (kJ / kg)	44105	43932	44057	44078
Stokiyometrik Hava/ Yakıt Oranı (kg/kg)	14,7	-	14,5	14,58
Oktan Sayısı	95	94,8	95,7	95,3
Buharlaşma ısısı kJ/kg	324	308	313	317
Kükürt Miktarı (%)	>0,1	0,953	0,106	0,101
Damıtılan Miktar	Distilasyon Sıcaklıkları (°C)			
	BY	BBY	DKBBY	DKBBY50
% 10	42	84	93	-
% 20	58	102	108	-
% 30	83	112	115	-
% 40	102	120	124	-
% 50	113	128	132	-
% 60	127	137	147	-
% 70	141	143	151	-
% 80	169	155	160	-
% 90	191	163	167	-
% 95	220	175	175	-

8.8.2. Dizel Benzeri Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi

Sırasıyla; Dizel Yakıtı (DY) , Dizel Benzeri Yakıt (DBY), Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Yakıt-DKDBY100 ve %50 Dizel Yakıt + %50 Düşük Kükürtlü

Dizel Benzeri Yakıt-DKDBY50 olarak isimlendirilen yakıt numunelerinin fiziksel ve kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlere ait veriler Tablo 8.13'de gösterilmiştir.

Tablo 8.13. Dizel motor deneylerinde kullanılacak olan yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tespiti

Özellikler	DY	DBY	DKDBY	DKDBY50
Yoğunluk (gr/cm ³)	0,840	0,892	0,872	0,857
Viskozite (mm ² /sn)	3,38	3,74	3,68	3,56
Parlama Noktası (°C)	60	51,5	55	-
Alt Isıl Değer (kj / kg)	43115	42320	42415	42760
Kükürt Miktarı (%)	0,1	1,520	0,132	0,115
Setan sayısı	53	47	50,5	51,5
Damıtılan Miktar	Distilasyon Sıcaklıkları (°C)			
	DY	DBY	DKDBY	DKDBY50
% 10	167	180	183	-
% 20	183	208	210	-
% 30	192	228	225	-
% 40	208	256	248	-
% 50	215	274	270	-
% 60	227	292	287	-
% 70	248	354	352	-
% 80	270	380	375	-
% 90	310	412	408	-
% 95	328	430	423	-

9. MALİYET ANALİZİ

Atık petrol çamurlarından motorlarda kullanılacak statüde benzin ve dizel benzeri yakıt elde edilme sürecindeki maliyet analizi, bu bölümde hesaplanmıştır. Üretim aşamasındaki harcama kalemleri; reaktörün ısıtılması için gerekli enerji maliyeti, reaksiyon sürecinin oksijensiz bir ortamda gerçekleşmesinin temini için kullanılan N_2 gazı ve elde edilen yakıtın kükürtsüzleştirilmesi için kullanılan katalizörler şeklinde sıralanabilir.

Piroliz yöntemindeki reaksiyon şartlarına uygun bir küçük ölçekli reaktör tasarlanarak, yakıt üretimi gerçekleştirilmiştir. İç haznenin ölçülerine göre 2750 Watt gücünde gömlek tipi kelepçeli rezistans dizayn edilerek reaktöre monte edilmiştir. Bu rezistans bir röle ve kontaktör yardımıyla istenilen sıcaklık aralığında çalıştırılmıştır. Sıcaklık istenilen değere geldiğinde otomatik olarak rezistans devre dışı bırakılarak enerjiyi mümkün olduğu kadar verimli bir şekilde kullanmak amaçlanmıştır. Oksijensiz ortam temini için N_2 gazı kullanılmıştır. Son olarak elde edilen yakıt içerisindeki kükürt bileşenlerinin ayrıştırılması amacıyla Perlit, Hidrojen Peroksit (H_2O_2) ve Formik Asit (CH_2O_2) kullanılmıştır.

Benzin ve dizel benzeri yakıtların maliyet analizleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu hesaplamada yakıtların üretim sürecinde kullanılan enerjinin ve sarf malzemelerin miktar ve birim fiyatları kullanılarak hesaplamalar yürütülmüştür.

9.1. Reaktördeki İşlem adetlerinin tespiti

9.1.1. Benzin Benzeri Yakıt Üretiminde Reaksiyon İşlem Adetinin Tespiti

1 litre benzin benzeri yakıt üretebilmek için, reaktörde kaç kez işlem yapılması gerektiğinin tespiti, verim analizi formülü kullanılarak tespit edilmiştir. (9.1) 'de verilen denklemde; 1 litrelik yakıt " v " harfi ile, 1 litre benzin benzeri yakıt elde etmek için kullanılması gereken atık petrol çamuru " m " harfi ile ve elde edilen benzin benzeri yakıtın yoğunluğu ise " d " harfi ile formülize edilerek elde edilen sonuç, yakıtın üretim verimine eşitlenmek suretiyle hesaplamalar yapılmıştır.

$$n_r = \frac{v(lt). d(kg/lt)}{m(kg)} \quad (9.1)$$

Atık petrol çamurlarından elde edilen benzin benzeri yakıtın yoğunluğunun 0,772 kg/lt olduğu, yakıt analiz sonuçları üzerinden tespit edilmiştir. Reaksiyon sonundaki benzin benzeri ürün verimi % 5,02 olarak tespit edilmiştir. Tespiti yapılan bu veriler (9.1)'daki denklemde kullanılarak, 15,37 kg atık petrol çamuru kullanılması ile 1 litre benzin benzeri yakıt elde edilmektedir.

2,5 kg kapasiteli reaktörde, 15,37 kg atık petrol çamurunun kaç reaksiyon sonunda işlenebileceğinin tespiti için (9.2) numaralı denklem kullanılmıştır.

$$Z = \frac{1\text{lt ürün için gerekli kütle}}{\text{Reaksiyon kapasitesi}} \quad Z = \frac{15,37 \text{ kg}}{2,5 \text{ kg}} = 6,14 \text{ Reaksiyon işlem adeti} \quad (9.2)$$

9.1.2. Dizel Benzeri Yakıt Üretiminde Reaksiyon İşlem Adetinin Tespiti

1 litre dizel benzeri yakıt üretebilmek için, reaktörde kaç kez işlem yapılması gerektiğinin tespiti, verim analizi formülü kullanılarak tespit edilmiştir. (9.1) 'de verilen denklemde; 1 litrelik hacimdeki yakıt "v" harfi ile, 1 litre dizel benzeri yakıt elde etmek için kullanılması gereken atık petrol çamuru "m" harfi ile ve elde edilen yakıtın yoğunluğu ise "d" harfi ile formülize edilerek elde edilen sonuç, yakıtın üretim verimine eşitlenmek suretiyle hesaplamalar yapılmıştır.

$$n_r = \frac{v(lt). d(kg/lt)}{m(kg)} \quad (9.1)$$

Atık petrol çamurlarından elde edilen dizel benzeri yakıtın yoğunluğunun 0,877 kg/lt olduğu yakıt analiz sonuçları üzerinden tespit edilmiştir. Reaksiyon sonundaki dizel benzeri ürün verimi % 11,03 olarak tespit edilmiştir. Tespiti yapılan bu veriler (9.1)'daki denklemde kullanılarak, 1 litre dizel benzeri yakıt elde edebilmek için 7,95 kg atık petrol çamuru kullanılması gerektiği tespit edilmiştir.

2,5 kg kapasiteli reaktörde, 7,95 kg atık petrol çamurunun kaç reaksiyon sonunda işlenebileceğinin tespiti için (9.2) numaralı denklem kullanılmıştır.

$$Z = \frac{1\text{lt ürün için gerekli kütle}}{\text{Reaksiyon kapasitesi}} \quad Z = \frac{7,95 \text{ kg}}{2,5 \text{ kg}} = 3,18 \text{ Reaksiyon işlem adeti} \quad (9.2)$$

9.2. Harcanan Elektrik Enerjisine Ait Maliyetlerin Hesaplanması

Her bir reaksiyonda iki farklı sıvı ürün elde edilmiş olması sebebiyle kullanılan elektrik enerjisinin maliyet analizi bir bütün halinde incelenmiştir. 1 litre benzin benzeri ürün elde edilebilmesi için reaksiyon, 6,14 kere tekrarlanırken, 1 litre dizel benzeri ürün elde edilebilmesi için ise 3,18 kere tekrar edilmiştir. Gerçekleştirilen reaksiyonlarda, 175 °C'ye kadar olan sıcaklıkta benzin benzeri yakıt, 175 °C'nin üzerindeki sıcaklık değerlerinde ise dizel benzeri yakıt elde edilmiştir. Hesaplama yapılırken dizel ve benzin benzeri yakıtların en yakın ortak katı üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. İşlemsel bir değerlendirme yapmak gerekirse; 6 adet reaksiyon işleminin neticesinde 2 litre dizel benzeri yakıt, 1 litre benzin benzeri yakıt elde edilmiştir. Reaktörün iç ve dış ünitesi arasına yerleştirilmiş olan izolasyon yardımıyla, ısı enerjisi maksimum verimde kullanılmıştır. Diğer taraftan sisteme entegre edilen termokupl yardımı ile reaktör istenilen sıcaklığa geldiğinde rezistans devre dışı bırakılmıştır. 100 dakikalık süre zarfında rezistans 1,5 dk çalışmış ve 8,5 dk devre dışı kalmıştır. Diğer bir deyişle 90 dakikalık süre zarfında rezistans toplam 15 dk çalışmıştır. Bu süre içerisinde toplam 3 litre sıvı (Benzin+ Dizel) ürün elde edilmiştir.

Tablo 9.1 'de görüldüğü gibi, 2750 watt gücündeki rezistans her bir reaksiyonda 15 dk (0,25 saat) süre ile açık kalmıştır. 3 litre sıvı yakıt için bu işlem 6 kere tekrar edilmiş olması dikkate alınarak yapılan hesaplamada, toplam 4,1 kW elektrik enerjisi harcanmış olduğu görülmüştür.

Tablo 9.1. 3 litre sıvı ürün eldesinde harcanan elektrik enerji miktarı

Rezistansın Gücü (kW/h)	Açık kalma süresi (Saat)	Reaksiyon işlemi (Adet)	Harcanan Güç Toplamı (kWh)
2,75kW	0,25	6	4,1

Elektrik enerjisinin güncel birim fiyatı 0,42 TL'den hesaplanmıştır. 3 litre sıvı yakıt üretebilmek için gerekli olan enerji miktarının maliyetinin $(4,1 \times 0,42)$ 1,7 TL olduğu, bir litre sıvı yakıt üretimi için ise tüketilen elektrik enerjisi tutarının $1,7 / 3 = 0,56$ TL olduğu tespit edilmiştir.

9.3. Harcanan Azot Gazına Ait Maliyetlerin Hesaplanması

Oksijensiz reaksiyon şartları oluşturabilmek için N_2 gazı kullanılmıştır. Her bir reaksiyonda, iki farklı özellikte sıvı ürün elde edilmiş olması sebebiyle kullanılan azot gazı maliyetleri de bir bütün halinde incelenmiştir. Reaktör ile azot tankı arasına monte edilen regülatör üzerinden elde edilen bilgiye göre dakikada 100 cm^3 azot gazı kullanılmaktadır. 90 dakikalık her bir reaksiyon için $100 \times 90 = 9000 \text{ cm}^3$ azot gazı kullanılmıştır. 3 litre sıvı yakıt üretimi için bu değer 6 kere tekrarlanmış olması sebebiyle, $6 \times 9000 = 54000 \text{ cm}^3$ olarak hesaplanmıştır. 1 litre yakıt üretimi için $0,054 \text{ m}^3$ N_2 gazının kullanılması gerektiği tespit edilmiştir. Deneyler sürecinde $7,5 \text{ m}^3$ hacimdeki azot tüpü 85 TL ücret karşılığında doldurulmuş olduğu dikkate alındığında, 3 litre sıvı yakıt elde etmek için N_2 tüketim maliyetinin $0,054 \times 85 \text{ TL} / 7,5 = 0,60 \text{ TL}$ olduğu tespit edilmiştir. Yani 1 litre sıvı yakıt üretiminde $0,20 \text{ TL}$ tutarında N_2 gazı tüketilmiştir.

9.4. Harcanan Kimyasal Ürünlere Ait Maliyetlerin Hesaplanması

Benzin ve dizel benzeri yakıtların kükürtsüzleştirilmesi aşamasında, kullanılan kimyasal ürünlerin miktarları farklı olduğundan, her bir yakıt türü için ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır.

9.4.1. Benzin Benzeri Yakıt Üretimi Aşamasında Harcanan Kimyasal Ürünlere Ait Maliyetlerin Hesaplanması

Yakıt içerisindeki kükürt miktarının fazla olması sebebiyle iki kademeli kükürtsüzleştirme işlemi uygulanmıştır. Birinci kademede katalizör olarak perlit kullanılmıştır. En iyi kükürtsüzleştirme performansı %10 kullanım oranında gerçekleşmiş olması sebebiyle 1 litre yakıt üretimi için, $0,1 \text{ kg}$ perlit kullanılmıştır. Perakende olarak temin edilen perlitin bir çuvalı (50 kg) 10 TL 'den satın alınmıştır. Bu rakamlar doğrultusunda 1 litre benzin benzeri yakıt üretimi için kullanılan perlit miktarı $0,1 \times 10 / 50 = 0,02 \text{ TL}$ 'ye karşılık gelmektedir.

İkinci kademe yani asidik kükürtsüzleştirme işleminde ise Formik asit ve H_2O_2 kullanılmıştır. Formik asit katalizör olarak kullanılırken, H_2O_2 ise çözücü olarak kullanılmıştır. Deneylerde kullanılmak üzere; 5 lt formik asit 42 TL 'den

satın alınırken, 5 litre H₂O₂ ise 27 TL ücret karşılığında temin edilmiştir. Yani formik asitin litre fiyatı 8,40 TL iken H₂O₂ in litre fiyatı 5,40 TL tutarında maliyet teşkil etmiştir. Bu iki kimyasal ürün, 1/2 oranında karıştırılarak 1 lt yakıt için 50 gr çözelti şeklinde hazırlanmıştır. 16,6 gr F.A./ 33,4 gr H₂O₂ miktarlarında kullanılmıştır. Bu rakamlar 1 litre yakıt üretimi için; Formik asitte $16,6 \times 8,4 / 1000 = 0,14$ TL ye, H₂O₂ de ise $33,4 \times 5,4 / 1000 = 0,18$ TL tutarında maliyet teşkil etmiştir.

Yukarıdaki hesaplamalar ışığında, 1 litre benzin benzeri yakıt üretimi için yapılan maliyet analizine ilişkin genel icmal tablosu Tablo 9.2 de özetlenmiştir. Yapılan maliyet analizinde 1 litre benzin benzeri yakıtın üretimi 1,10 TL tutarında bir maliyet teşkil etmektedir. Maliyetin yüksek olmasının temel sebebi, elektrik birim fiyatlarının yüksek olması ve kimyasal malzemelerin perakende olarak satın alınmış olmasıdır. Maliyetin yüksek olmasının diğer bir sebebi ise küçük bir reaktörde araştırma amaçlı çalışma yapılmış olmasıdır. Reaktörün boyutunun büyütülmesi ile bu maliyetlerin oldukça düşeceği değerlendirilmiştir. Belirtilen bu gerekçeler sebebiyle atık petrol çamurlarından elde edilen benzin benzeri yakıtın maliyeti yüksek çıkmıştır.

Tablo 9.2. 1 litre benzin benzeri yakıt üretimi için maliyet durumu

No	Harcama kalemleri	Maliyet (TL)
1	Elektrik	0,56
2	Azot gazı (N ₂)	0,20
3	Perlit	0,02
4	Formik Asit	0,14
5	Hidrojen Peroksit	0,18
Toplam Maliyet		1,10 TL

9.4.2. Dizel Benzeri Yakıt Üretimi Aşamasında Harcanan Kimyasal Ürünlere Ait Maliyetlerin Hesaplanması

Dizel benzeri yakıtta da, en iyi kükürtsüzleştirme performansı %10 kullanım oranında gerçekleşmiş olması sebebiyle 1 litre yakıt üretimi için, 0,1 kg

perlit kullanılmıştır. Perakende olarak temin edilen perlitin bir çuvalı (50 kg) 10 TL'den satın alınmıştır. Bu rakamlar doğrultusunda 1 litre benzin benzeri yakıt üretimi için kullanılan perlit miktarı $0,1 \times 10 / 50 = 0,02$ TL tutarında maliyet teşkil etmiştir.

İkinci kademe yani asidik kükürtsüzleştirme işleminde ise çözücü olarak Formik asit ve H_2O_2 kullanılmıştır. Deneylerde kullanılmak üzere; 5 lt formik asit 42 TL'den satın alınırken, 5 litre H_2O_2 ise 27 TL ücret karşılığında satın alınmıştır. Yani formik asitin litre fiyatı 8,4 TL iken H_2O_2 in litre fiyatı 5,4 TL ye karşılık gelmektedir. Bu iki kimyasal ürün, 1/2 oranında karıştırılarak 1 lt yakıt için 75 gr çözelti şeklinde kullanılmıştır. 25 gr F.A./ 50 gr H_2O_2 miktarlarında hazırlanmıştır. Bu rakamlar 1 litre yakıt üretimi için; Formik asitte $25 \times 8,4 / 1000 = 0,21$ TL ye, H_2O_2 de ise $50 \times 5,4 / 1000 = 0,27$ TL ye karşılık gelmektedir.

1 litre dizel benzeri yakıt üretimi için yapılan maliyet analizine ilişkin genel icmal tablosu Tablo 9.4 de özetlenmiştir.

Tablo 9.3. 1 litre dizel benzeri yakıt üretimi için maliyet durumu

No	Harcama kalemleri	Maliyet (TL)
1	Elektrik	0,56
2	Azot gazı (N_2)	0,20
3	Perlit	0,02
4	Formik Asit	0,21
5	Hidrojen Peroksit	0,27
Toplam Maliyet		1,26 TL

Yapılan maliyet analizinde 1 litre dizel benzeri yakıtın üretimi 1,26 TL'lik bir maliyet teşkil etmektedir. Maliyetin yüksek olmasının temel sebebi, elektrik birim fiyatlarının yüksek olması ve kimyasal malzemelerin perakende olarak satın alınmış olmasıdır. Maliyetin yüksek olmasının diğer bir sebebi ise küçük bir reaktörde araştırma amaçlı çalışma yapılmış olmasıdır. Belirtilen bu gerekçeler sebebiyle atık petrol çamurlarından elde edilen dizel benzeri yakıtın maliyeti yüksek çıkmıştır.

Benzin ve dizel benzeri yakıtlarların üretim sürecindeki kullanılan enerjinin ve sarf malzemelerin miktar ve birim fiyatları dikkate alınarak, yakıtların litre başına üretim maliyetleri Tablo 9.5 'de sunulmuştur.

Tablo 9.5. Benzin ve dizel benzeri yakıtlarının üretim maliyeti

Yakıt türü	Miktar (litre)	Maliyet (TL)
Benzin Benzeri Yakıt	1	1,10
Dizel Benzeri Yakıt	1	1,26

10. ATIK PETROL ÇAMURLARINDAN ELDE EDİLEN BENZİN VE DİZEL BENZERİ YAKITLARIN MOTOR DENEYLERİ

Bu bölümde, atık petrol çamurlarından üretimi gerçekleştirilen dizel ve benzin benzeri yakıt numunesinin sabit hız ve değişken yükteki performans ve emisyon değerleri incelenmiştir. Çalışmada iki farklı test düzeneği kurulmuş olup, benzin benzeri test yakıtları benzinli, dizel benzeri test yakıtları ise dizel bir motorda performans ve emisyon testine tabi tutulmuştur. Her iki test düzenekte de, test işlemleri üç defa tekrarlanmış olup, kararlı ölçümler kaydedilmiştir. Üretilen BBY ve DBY yakıtları ilgili standart yakıt türü ile karşılaştırılmak suretiyle kullanılabilirliği hususu tartışılmıştır.

10.1. Benzin Benzeri Test Yakıtlarının Motor Performansı Deneyleri

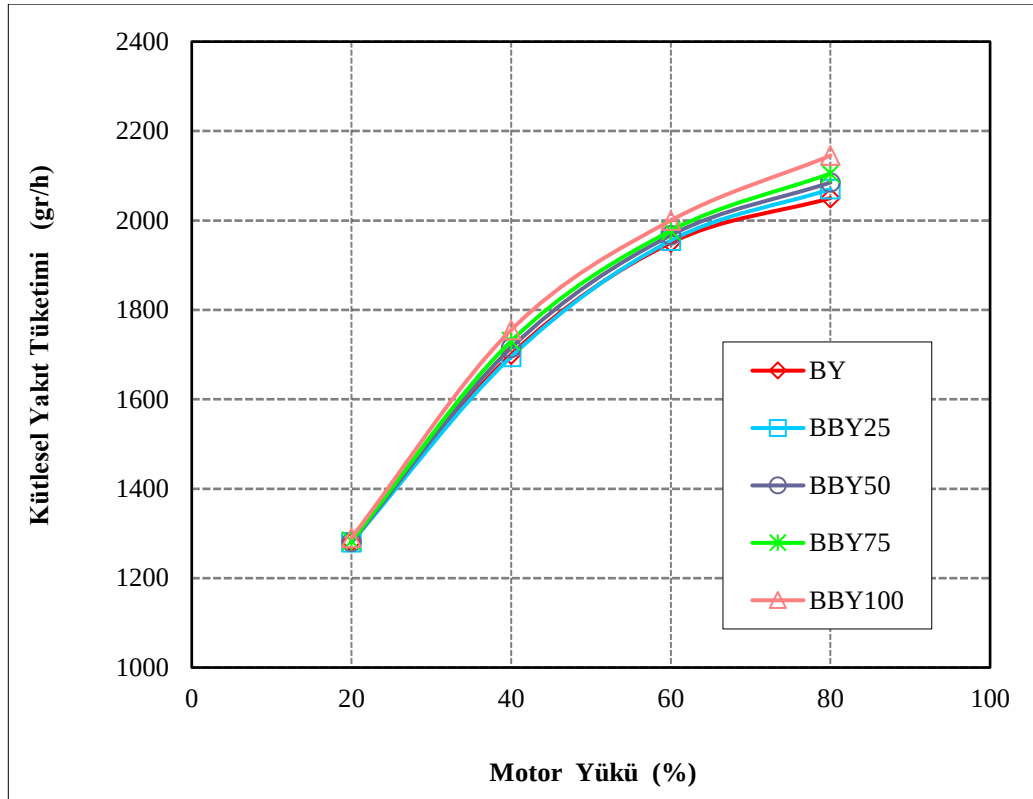
BBY25, BBY50, BBY75 ve BBY100 yakıtlarının test işlemleri neticesinde; kütleli yakıt sarfıyatı, özgül yakıt tüketimi, termik verim ve egzoz gaz sıcaklığı gibi değerler tespit edilerek, aynı test motorunda BY yakıtından elde edilen değerlerle karşılaştırması yapılmıştır.

10.1.1. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Kütleli Yakıt Tüketimi

Birim zamanda tüketilen gram cinsinden yakıt sarfıyatı olarak tanımlanmaktadır. BY, BBY ve BBY karışımlarından oluşan yakıt numunelerinin kütleli yakıt sarfıyatı değerlerinin yükün artmasına bağlı, değişim verileri Tablo 10.1 ve Şekil 10.1 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.1. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki kütleli yakıt sarfıyatı değerleri

Yakıt Türü	Benzinli motor yakıt tüketimi değişimi (gr)			
	% 20 Yük	% 40 Yük	%60 Yük	% 80 Yük
BY	1281	1700	1950	2050
BBY25	1280	1695	1955	2070
BBY50	1281	1715	1967	2085
BBY75	1283	1730	1977	2105
BBY100	1290	1755	2000	2145



Şekil 10.1. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değışken yükteki kütleşel yakıt sarfiyatı değeri

Yükün artması ile beraber, birim zamandaki çevrim sayısının sabit kalabilmesi ve elektriki yükün karşılanabilmesi için daha fazla yakıtı ihtiyaç duyulmaktadır. Test yakıtlarının tamamında yükün artması ile beraber kütleşel yakıt tüketimi değeri arttığı görülmüştür. BBY25, BBY50, BBY75 ve BBY100 yakıtlarının kullanımında ölçülen kütleşel yakıt sarfiyatı değeri, BY yakıtının değeriyle kıyasla ortalama olarak, sırasıyla %2,7 , %9,6 , %16,4 ve %29,9 oranında artış olduğu tespit edilmiştir. Test yakıtları arasında en düşük kütleşel yakıt tüketim değeri BY yakıtında ölçülürken, en yüksek değeri ise BBY100 yakıtında ölçülmüştür. Düşük yük şartlarında belirgin bir farklılık görülmezken, yükün artması ile beraber BBY içerişli test yakıtlarının sarfiyat değeri nispeten artmıştır. BBY100 yakıtının ısı enerjisi değeri düşük, yoğunluk değeri ise yüksek olması, bu artışa sebep olarak gösterilmiştir. Buji ateşlemeli motorlarda yakıt sarfiyatını etkileyen diğeri bir unsur ise yakıtın viskozite değeri. Yüksek viskozitenin bir sonucu olarak yanma odasında, benzin+hava'nın heterojen bir karışım sergilemesi, yanma performansını olumsuz etkileyerek yakıt sarfiyatının nispeten yükselmesine sebebiyet vermektedir.

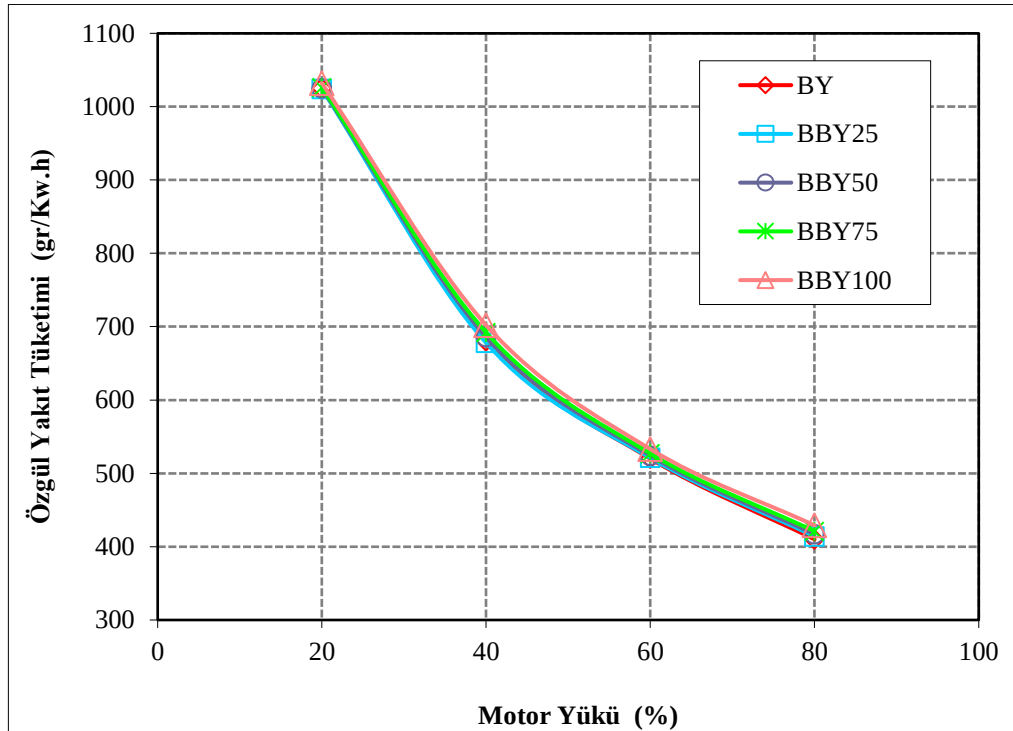
Özellikle tam yükte, motorun zengin karışım şartlarında çalışıyor olması bu farklılığı belirgin hale getirmiştir.

10.1.2. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Özgül Yakıt Tüketimi Analizi

Özgül yakıt tüketimi, birim güç başına tüketilen kütlelesel yakıt sarfıyatı olarak tanımlanmaktadır. BY, BBY ve BBY karışımlarından oluşan yakıt numunelerinin özgül yakıt sarfıyatı değerlerinin yükün artmasına bağlı, değişim verileri Tablo 10.2 ve Şekil 10.2 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.2. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki ÖYT değerleri

Yakıt Türü	Benzinli motor özgül yakıt tüketimi değerleri (g/kWh)			
	% 20 Yük	% 40 Yük	% 60 Yük	% 80 Yük
BY	1025	680	520	410
BBY25	1024	678	521	414
BBY50	1025	686	524	417
BBY75	1026	692	527	421
BBY100	1032	702	533	429



Şekil 10.2. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki ÖYT değerleri

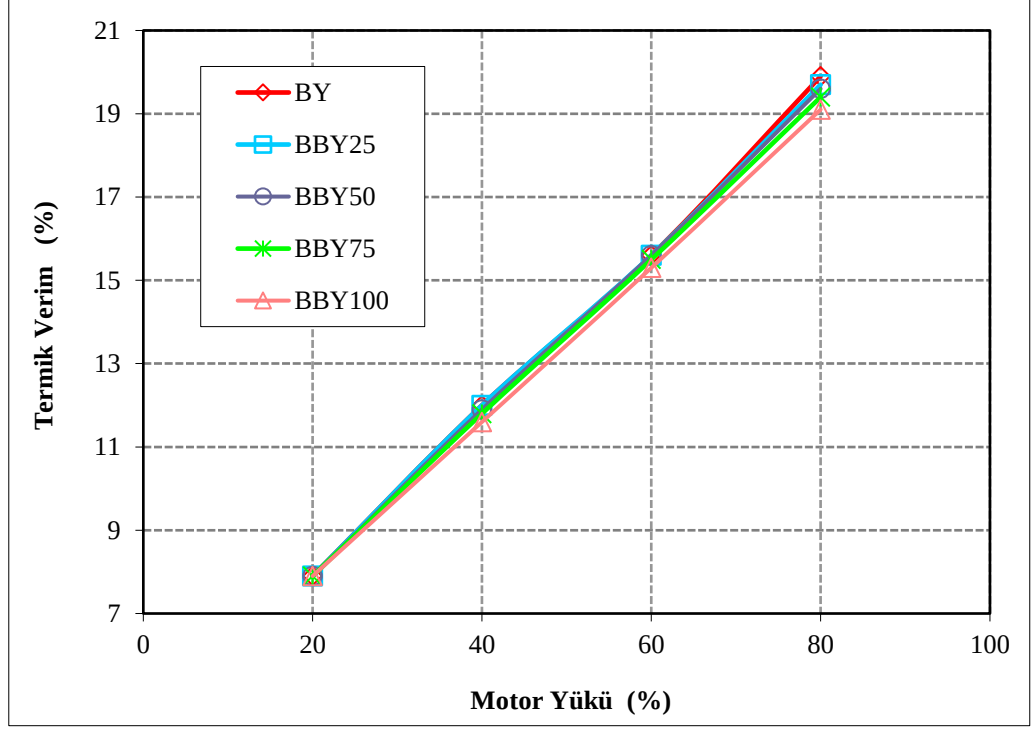
Özgöl yakıt tüketimi değerleri motor gücüne bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Düşük yük şartlarında; ısı kayıpların fazla olması ve azalan türbülans nedeniyle kötüleşen homojen dolgu şartlarına bağlı olarak yanma veriminin düşük olması, tüm test yakıtlarında ÖYT değerleri yüksek çıkmasına sebep olmaktadır. Yükün artması ile beraber silindir içi yanma sıcaklığının yükselmesi, yanma performansının iyileşmesi ve ısı verimliliğinin artması ÖYT değerlerini düşürmektedir. Tüm yük şartlarının ortalaması dikkate alınarak yapılan hesaplamada en düşük özgöl yakıt tüketimi değeri BY yakıtında iken, en yüksek özgöl yakıt tüketimi değeri ise BBY100 yakıt numunesinde olduğu tespit edilmiştir. Test yakıtlarının tamamında yükün artması ile beraber termik verimin arttığı ve beraberinde özgöl yakıt tüketimi değerlerinin düştüğü görülmektedir. BBY25, BBY50, BBY75 ve BBY100 yakıtlarının kullanımında ölçülen özgöl yakıt tüketimi değerlerinde, BY yakıtının değerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla %0,1 , %0,55 , %1,15 ve %2,31 oranında artış olduğu tespit edilmiştir. BBY yakıtının yoğunluk ve viskozite değerlerinin yüksek, ısı enerji değerinin de düşük olması, BBY yakıtı kullanımında ÖYT değerlerini yükseltmektedir. BY yakıtı içerisindeki BBY oranının artmasıyla ÖYT değerlerinin artmış olması bu tespiti desteklemektedir.

10.1.3. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Termik Verim Analizi

Termik verim, motordaki ısı verimliliği olarak ifade edilmektedir. BY, BBY ve BBY karışımlarından oluşan yakıt numunelerinin yükün artmasına bağlı, termik verim değerlerinin değişim verileri Tablo 10.3 ve Şekil 10.3 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.3. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki termik verim değerleri

Yakıt Türü	Benzinli motor termik verim değerleri (%)			
	% 20 Yük	% 40 Yük	% 60 Yük	% 80 Yük
BY	7,9	12	15,6	19,9
BBY25	8	12,2	15,7	19,7
BBY50	7,9	11,9	15,6	19,6
BBY75	7,9	11,8	15,5	19,4
BBY100	7,9	11,6	15,3	19,1



Şekil 10.3. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değışken yükteki termik verim değeri

Silindir içeriindeki yakıtın yanması neticesinde ortaya çıkan ısı enerjisinin büyük bir kısmı egzoz ve radyatör üzerinden atılmaktadır. Bu kayıplardan sonra geriye kalan ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüştürölmektedir. Termik verim analizinin incelenmesinin temel sebebi, yakıttan elde edilen ısı enerjisinin ne kadarının faydalı işe dönüştürölebildiğinin belirlenmesidir. Termik verimin; alt ısı değeri ve ÖYT değeri kullanılması ile hesaplanabileceğii hususu 7. Bölüm'de detaylandırılmıştır. BBY25, BBY50, BBY75 ve BBY100 yakıtlarının kullanımında hesaplanan termik verim değeri, BY yakıtının değeriyle kıyasla, ortalama olarak, sırasıyla %0,01 , %0,7 , %1,4 ve %2,7 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Motor yükün artması ile beraber silindir içi basınç ve sıcaklık değeri artması neticesinde termik verimin de arttığı gözlemlenmiştir. BY yakıtına kıyasla, BBY ve karışımı olan test yakıtlarının termik verimlerinin düşük olduğu belirlenmiştir. BBY100 yakıtının ısı enerjii değeri düşük olması bu farklılığın en temel sebebi olmakla beraber, deneysel çalışma sürecinde BBY yakıtından hazırlanan test yakıtlarının egzoz çıkış sıcaklığı değeri düşük olması, yanmanın nispeten kötü olarak gerçekleştiğii izlenimini oluşturmaktadır. BBY100 yakıtının yoğunluk ve viskozite değeri yüksek olması, silindir içi hava-yakıt hareketliliğini olumsuz

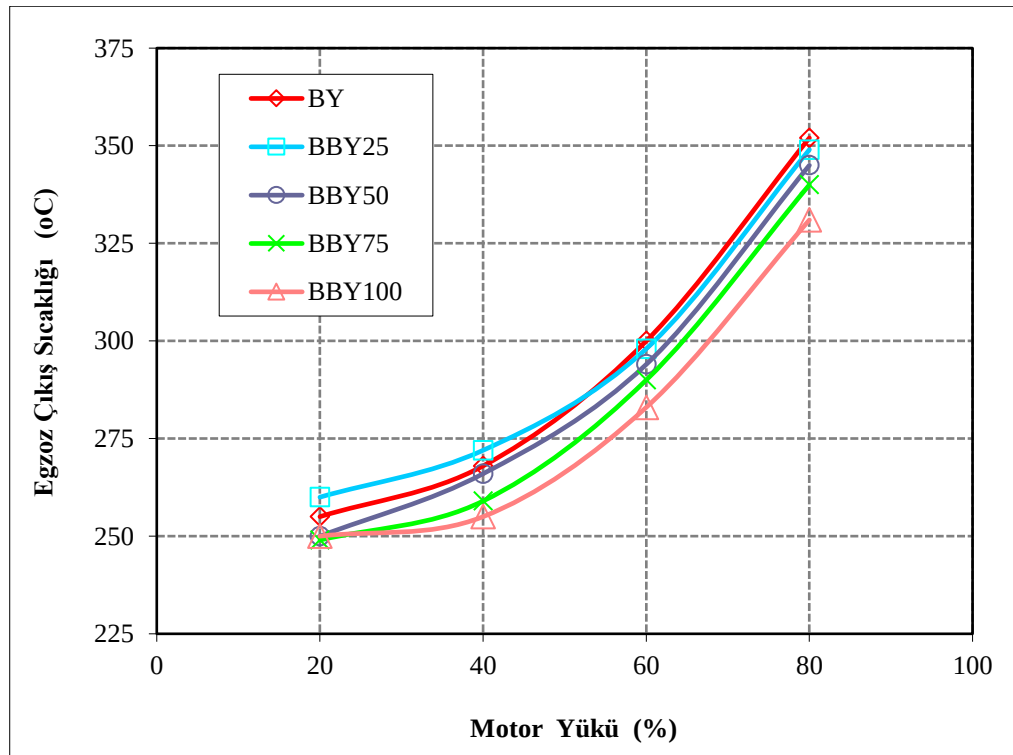
etkilediği ve bu etkinin, termik verim değerlerine olumsuz bir şekilde yansıdığı değerlendirilmiştir.

10.1.4. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Egzoz Sıcaklığı Analizi

Egzoz gazı sıcaklık değerlerinin tespitinin yapılması için manifold üzerinde sabit bir nokta tespit edilerek, tüm test yakıtlarında sıcaklık analizi aynı noktadan alınmıştır. BY, BBY ve BBY karışımlarından oluşan yakıt numunelerinin yükün artmasına bağlı, yakıt numunelerinin egzoz sıcaklığı değerlerinin yükün artmasına bağlı değişim verileri Tablo 10.4 ve Şekil 10.4 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.4. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki egzoz sıcaklığı değerleri

Yakıt Türü	Benzinli motor egzoz sıcaklık değerleri (°C)			
	% 20 Yük	% 40 Yük	% 60 Yük	% 80 Yük
BY	255	268	300	352
BBY25	260	272	298	349
BBY50	250	266	294	345
BBY75	249	259	290	340
BBY100	250	255	283	331



Şekil 10.4. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki egzoz sıcaklığı değerleri

%20 ve %40 yük şartlarında benzer bir seyir izleyen sıcaklık değerleri, yükün artmasına paralel olarak yükseldiği gözlemlenmiştir. Tam yük şartlarında elde edilmesi gereken ısı enerjisinin yüksek olması, daha fazla yakıt yakılmasını gerektirmiş ve dolayısıyla egzoz çıkış sıcaklık değerlerini arttırmıştır. En yüksek sıcaklık BY yakıtında ölçülürken, en düşük sıcaklık değeri ise BBY100 yakıtının kullanımında ölçülmüştür. BY, BBY25, BBY50, BBY75 ve BBY100 yakıtlarının ortalama egzoz sıcaklık değerleri, sırasıyla 293, 295, 288, 285 ve 279 °C olarak tespit edilmiş ve belirgin bir farklılığın olmadığı gözlemlenmiştir. BBY100 yakıtının oktan sayısının düşük, viskozite ve yoğunluk değerlerinin ise yüksek olması bu kısmi farklılığa sebep olarak gösterilmiştir. Test yakıtlarının termik verim ve NO_x değerlerinin de bu tespit ile uyumlu olduğu görülmüştür.

10.2. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Emisyon Değerlerinin Analizleri

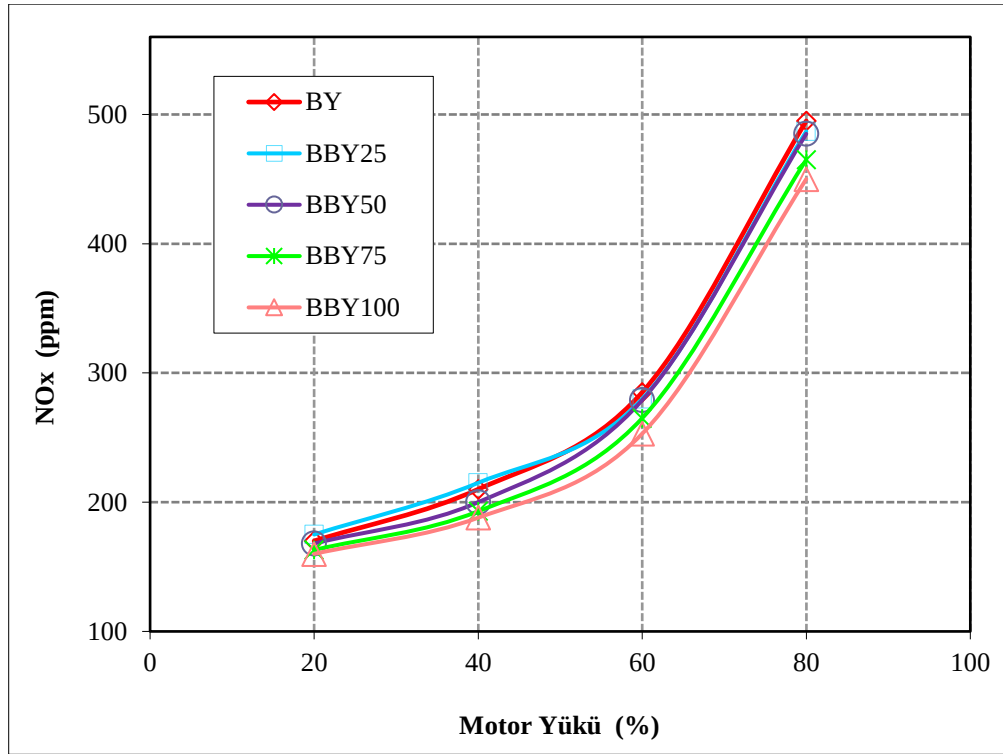
Bu bölümde, motor testlerinde kullanılan BBY100, BBY50, BBY75 ve BBY25 yakıtlarının NO_x, CO, HC, CO₂ ve SO₂ emisyonu değerleri ölçülmüş ve deneyler sonrasında elde edilen veriler ve değişimleri anlatılmıştır. Ölçüm neticesinde kaydedilen veriler, tablo ve grafik halinde sunulmuş olup, aynı deney şartlarında test edilen BY yakıtına ait emisyon değerleri ile karşılaştırılmıştır.

10.2.1. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin NO_x Emisyonu Analizi

NO_x emisyonları, motorun yüksek sıcaklık değerlerinde çalıştığı şartlarda meydana gelmektedir. NO_x terimi, NO ve NO₂'nin atmosferdeki toplam yoğunluğunun ifadesidir. Kullanılan havanın içeriğindeki oksijen, aşırı sıcak çalışma şartlarında ve yanma için yeterli zaman oluştuğunda, azot ile reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucunda NO_x emisyonları oluşur. NO_x emisyonları genellikle, benzinli motorlarda vuruntulu ve kontrolsüz yanma aşamasında meydana gelmektedir. NO_x oluşumu büyük oranda; silindir içi sıcaklık ve basınca, tutuşma gecikmesine, vuruntuya ve yanma periyodu süresine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. BY, BBY ve BBY karışımlarından oluşan yakıt numunelerinin NO_x emisyonu değerlerinin yükün artmasına bağlı değişim verileri Tablo 10.5 ve Şekil 10.5 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.5. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki NO_x emisyonu değerleri

Yakıt Türü	Benzinli motor NO _x emisyonu değerleri (ppm)			
	% 20 Yük	% 40 Yük	% 60 Yük	% 80 Yük
BY	170	210	285	495
BBY25	175	215	280	487
BBY50	168	200	279	485
BBY75	163	193	265	465
BBY100	160	188	253	450



Şekil 10.5. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki NO_x emisyonu değerleri

Test yakıtlarının tamamında yükün artmasına paralel olarak NO_x emisyon değerlerinin arttığı görülmüştür. BBY25, BBY50, BBY75 ve BBY100 yakıtlarının motordaki kullanımında ölçülen NO_x emisyonu değerlerinin, BY yakıtının değerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla %0,01, %2,4, %6,4 ve %9,5 oranında artmış olduğu tespit edilmiştir. Test yakıtları içerisinde en düşük NO_x emisyonu değeri BBY100 yakıtının kullanılmasında ölçülürken, en düşük NO_x emisyonu ise BY ve BBY25 yakıtlarının kullanılmasında ölçülmüştür. Test yakıtlarının oktan sayıları arasındaki farklılığın NO_x emisyonları üzerinde önemli bir etkisi olsa da, bu değerlerin birbirine çok yakın olması, NO_x emisyonları arasındaki bu farklılığın reaksiyon süresi

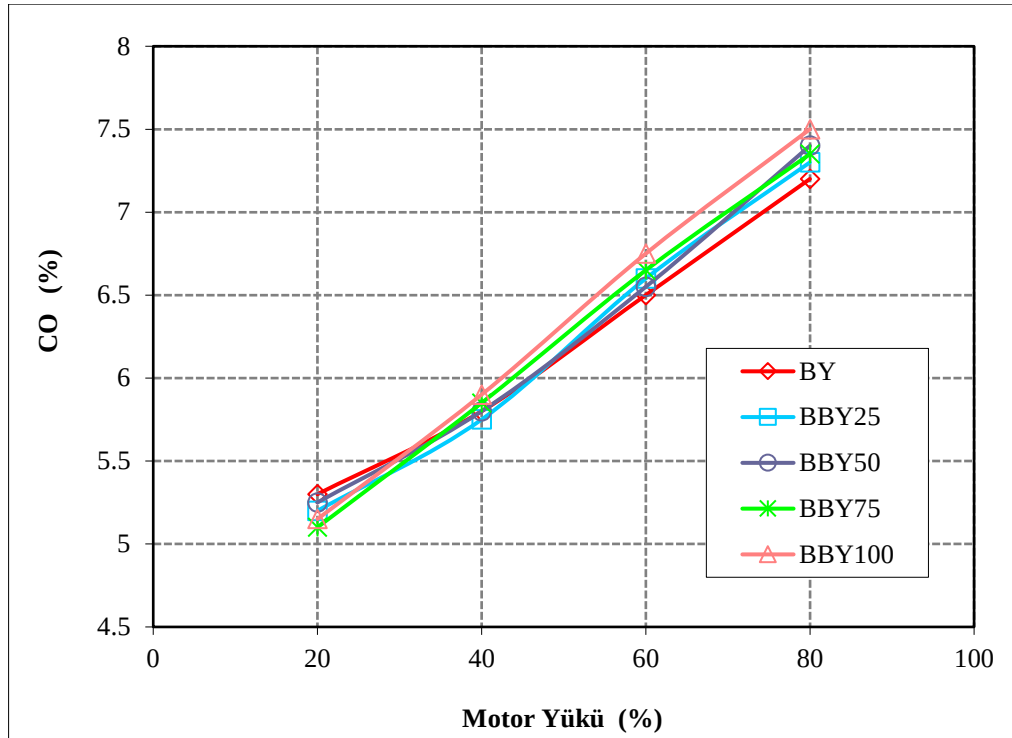
uzunluğundan kaynaklandığı ihtimalini kısmen zayıflatmaktadır. BBY100 yakıtının ısı enerji değerlerinin düşük olması ilk sebep olarak karşımıza çıkarken, diğer bir sebep ise yoğunluk değerinin yüksek olmasıdır. Belirtilen bu iki durum beraber değerlendirildiğinde, motor zengin karışım şartlarında çalışmıştır. Belirtilen bu tespitlerin neticesi olarak, BBY yakıtında NO_x emisyonu değerleri, BY yakıtına göre düşük çıkmıştır. Diğer taraftan BBY100 yakıtından hazırlanan diğer test yakıtlarının egzoz gazı çıkış sıcaklığı değerlerinin, BY yakıtına göre düşük olması, BBY100 yakıtlarının kullanımında silindir içi sıcaklığın düşük olduğu kanaati oluşturmaktadır. Bu tespit ışığında BBY yakıtının, BY yakıtına kıyasla nispeten daha kötü bir yanma performansı sergilediği ve bu durumda silindir içi yanma sıcaklığını düşürdüğü gözlemlenmiştir. Silindir içi yanma sıcaklığının düşük olması neticesinde NO_x emisyonu değerlerinin düşük olduğu değerlendirilmiştir.

10.2.2. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin CO Emisyonu Analizi

CO emisyonları eksik yanma ürünü olarak ifade edilmektedir. BY, BBY ve BBY karışımlarından oluşan yakıt numunelerinin CO emisyonu değerlerinin yükün artmasına bağlı, değişim verileri Tablo 10.6 ve Şekil 10.6 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.6. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki CO emisyonu değerleri

Yakıt Türü	Benzinli motor CO emisyonu değerleri (%)			
	% 20 Yük	% 40 Yük	% 60 Yük	% 80 Yük
BY	5,3	5,8	6,5	7,2
BBY25	5,2	5,75	6,6	7,3
BBY50	5,25	5,8	6,55	7,4
BBY75	5,1	5,85	6,65	7,35
BBY100	5,15	5,9	6,75	7,45



Şekil 10.6. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki CO emisyonu değerleri

CO, eksik yanmanın neticesinde oluşan bir emisyon türüdür. Yanma sürecinde buji kıvılcımından yayılan alev kümesinin son kısmında bulunan CO konsantrasyonların, gazların ısısının düşmesiyle beraber oksidasyona uğramayıp, CO₂ emisyonuna dönüşmeden diğer gazlarla birlikte egzozdan atılması olarak da tanımlanabilir. Buji ateşlemeli motorlarda CO emisyonlarının oluşması; hava/yakıt oranındaki değişim, silindir içi hava hareketliliği, yanma odasındaki oksijen oranı, yakıtın oktan sayısı gibi bir çok temel sebebe bağlı olduğu bilinmektedir.

Motor yükünün artmasına paralel olarak tüm test yakıtlarının CO emisyonu değerlerinin arttığı görülmüştür. %20 ve %40 yük şartlarında BBY yakıtlarının emisyon değerleri, BY yakıtının değerlerine göre düşük iken, %60 ve %80 yük şartlarında ise BY yakıtına göre yüksek değerde olduğu gözlemlenmiştir. BBY25, BBY50, BBY75 ve BBY100 yakıtlarının motordaki kullanımında ölçülen CO emisyonu değerlerinin, BY yakıtının değerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla %0,2, %0,4, %0,7 ve %1,3 oranlarında artmış olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlerin birbirine çok yakın olmasının sebebi, tüm yük şartlarının ortalamasının alınmasından kaynaklıdır. %20 ve %40 yükte BBY içerikli yakıtların değerleri düşük iken, %60 ve %80 yükte tam tersi bir durum söz

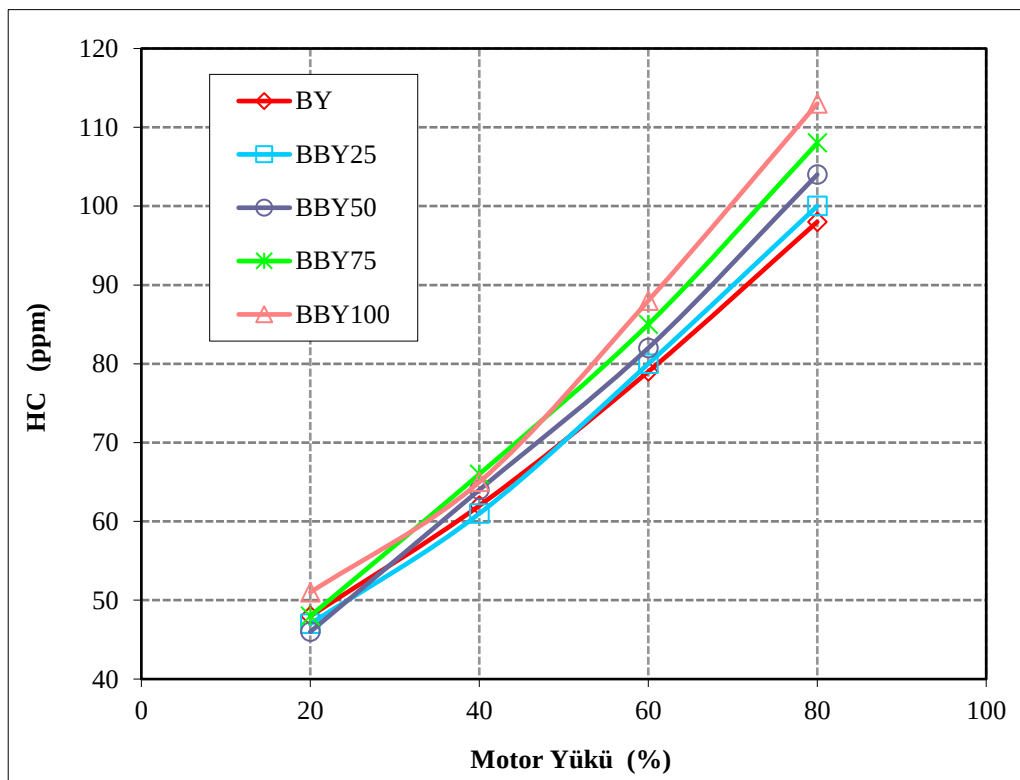
konusudur. Yüksek oktan sayısına sahip yakıt numunelerinin yanma hızı daha düşüktür. Yüksek oktanlı bir yakıtın test işlemlerinde yanma sonu oluşan maksimum basınç daha geç meydana gelmektedir. Bu durum genişleme stroku sürecinde yanmanın devam etmesine sebebiyet vereceğinden yanma reaksiyonu tam olarak tamamlanmadan sönümlenme başlamaktadır. Sönümlenmenin başlaması, silindir içi ısının düşmesine ve CO₂ oksidasyonunun oluşamamasına zemin hazırlamaktadır. Test yakıtlarının CO değerlerini bir bütün halinde değerlendirmek gerekirse; yakıtların yoğunluk değerleri nispetinde zengin karışım şartlarında çalışıp çalışmadığı hususu ve oktan sayısı değeri arasındaki farklılık ön plana çıkmaktadır. 94.8 oktan değerine sahip olan BBY yakıtının, düşük yük şartlarında, BY yakıtına göre daha iyi bir yanma karakteristiği sergilediği ve neticesinde daha az CO emisyonu oluşturduğu anlaşılmıştır. Diğer taraftan, BBY yakıtının %60 ve üzerindeki yük şartlarında, BY yakıtı ile aynı ısı enerjisi üretebilmek adına zengin karışım şartlarında çalıştığı, yakıt sarfiyat değerlerinin incelenmesi neticesinde görülmüştür. BBY yakıtlarının %60 ve üzerindeki yük şartlarında yetersiz oksijen ortamında çalışması neticesinde, CO gazlarının oksidasyon için yeterli oksijeni bulamadığı anlaşılmıştır. Bu durum %60 ve üzerindeki yük şartlarında CO emisyonlarının nispeten yüksek çıkmasına zemin hazırlamıştır. CO₂ emisyonu değerlerindeki ölçümler de bu tespiti destekler niteliktedir.

10.2.3. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin HC Emisyonu Analizi

HC emisyonları yakıtın kısmen veya büyük bir kısmının yanmamasından kaynaklı olarak oluştuğu bilinmektedir. BY, BBY ve BBY karışımlarından oluşan yakıt numunelerinin HC emisyonu değerlerinin yükün artmasına bağlı değişim verileri Tablo 10.7 ve Şekil 10.7 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.7. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki HC emisyonu değerleri

Yakıt Türü	Benzinli motor HC emisyonu değerleri (ppm)			
	% 20 Yük	% 40 Yük	% 60 Yük	% 80 Yük
BY	48	62	79	98
BBY25	47	61	80	100
BBY50	46	64	82	104
BBY75	48	66	85	108
BBY100	51	65	88	113



Şekil 10.7. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki HC emisyonu değerleri

Yükün artması ile beraber tüm test yakıtlarının HC emisyon değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. En düşük HC emisyonu BY yakıtı ile elde edilirken, en yüksek HC emisyonu BBY100 yakıtının kullanımında ölçülmüştür. BBY25, BBY50, BBY75 ve BBY100 yakıtlarının motordaki kullanımında ölçülen HC emisyonu değerlerinin, BY yakıtının değerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla %0,35, %3,2 , %7 ve %10,8 oranlarında artmış olduğu tespit edilmiştir. HC emisyonu değerleri, %20 ve %40 yük şartlarında benzer bir seyir izlerken, yükün

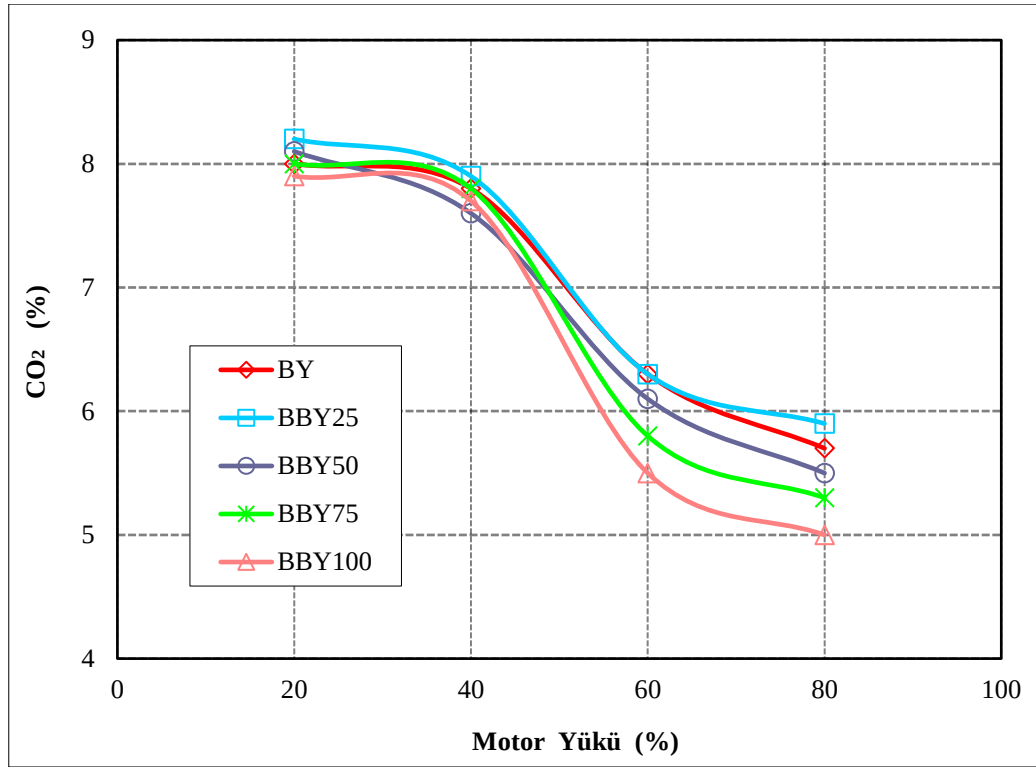
artması ile beraber BBY içerikli yakıtların değerlerinin yükseldiği görülmektedir. BBY100 yakıtının kütleli olarak daha fazla kullanılmış olması, beraberinde HC emisyonlarının BY yakıtına göre nispeten yüksek değerde oluşmasına sebebiyet vermiştir. Diğer bir bakış açısı ile değerlendirme yapmak gerekirse; BBY100 yakıtının ısı enerjisi değeri düşük ve yoğunluk değeri yüksek olması, motorun aynı ısı enerjisi üretebilmek adına zengin karışım şartlarında çalışmasına zemin hazırlamıştır. BBY yakıtlarının HC emisyonlarının yüksek olmasının bir diğer sebebi de silindir içi sıcaklığın, BY yakıtına göre düşük olmasıdır. Özet olarak, silindir içi sıcaklığın nispeten düşük olması ve motorun zengin karışım şartlarındaki çalışması, HC emisyonlarının artışına sebep olarak gösterilmiştir.

10.2.4. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin CO₂ Emisyonu Analizi

CO₂ emisyonları, yakıtın, tam yanmaya daha yakın gerçekleştiği durumunu ifade etmektedir. BY, BBY ve BBY karışımlarından oluşan yakıt numunelerinin CO₂ emisyonu değerlerinin, yükün artmasına bağlı değişim verileri Tablo 10.8 ve Şekil 10.8 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.8. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki CO₂ emisyonu değerleri

Yakıt Türü	Benzinli motor CO ₂ emisyonu değerleri (%)			
	% 20 Yük	% 40 Yük	% 60 Yük	% 80 Yük
BY	8	7,8	6,3	5,7
BBY25	8,2	7,9	6,3	5,9
BBY50	8,1	7,6	6,1	5,5
BBY75	8	7,8	5,8	5,3
BBY100	7,9	7,7	5,5	5



Şekil 10.8. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki CO₂ emisyonu değerleri

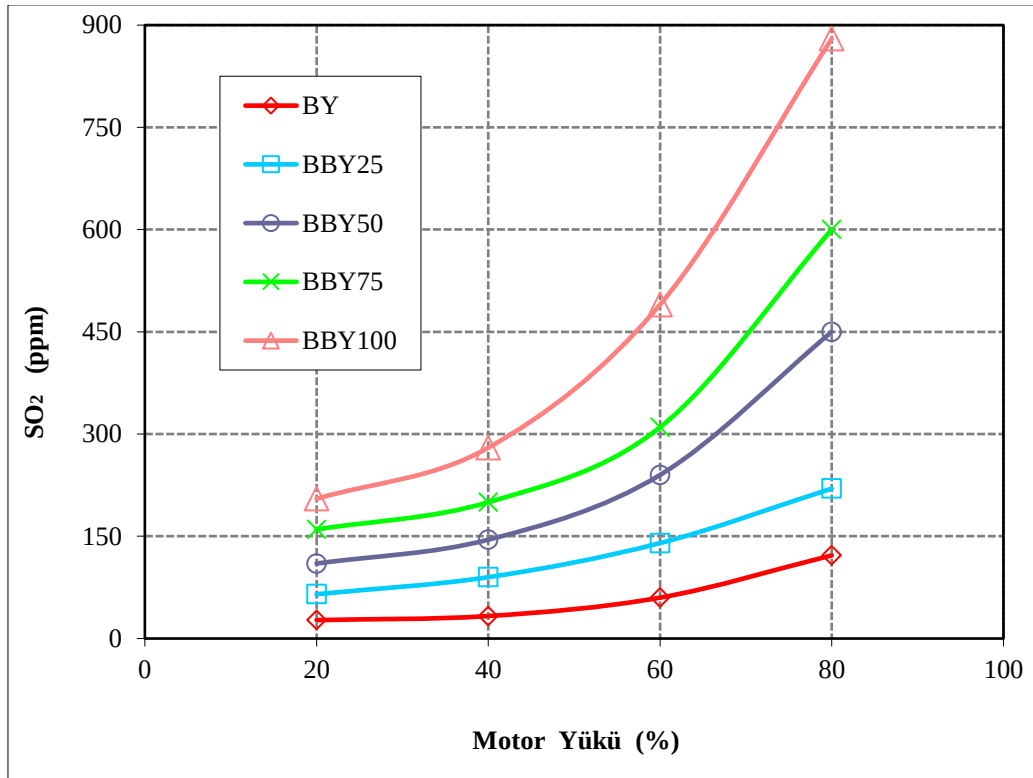
Tüm test yakıtlarında, %20 ve %40 yük şartlarında, CO₂ emisyon değerleri benzer bir seyir izlerken, yükün artmasına paralel olarak önemli bir düşüş sergilediği gözlemlenmiştir. BBY25, BBY50, BBY75 ve BBY100 yakıtlarının motordaki kullanımında ölçülen CO₂ emisyonu değerlerinde, BY yakıtının değerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla %1,9 oranında bir artma, %1,8 , %3,2 ve %6,1 oranlarında azalma olduğu tespit edilmiştir. Sabit devir ve maksimum yük şartlarında çalışan motorun, daha fazla enerji üretebilmesi için zengin karışım şartlarında çalışması gerekmektedir. Bu durum silindir içerisindeki oksijen miktarını düşürmektedir. Bu durumda, CO gazları, CO₂'ye dönüşebileceği yeterli oksijeni bulamamaktadır. Tüm test yakıtlarında, yükün artması ile beraber CO₂ emisyonlarının azaldığı görülmüştür. BBY100 yakıtının ısısal enerji değerinin düşük ve yoğunluk değerinin yüksek olması sebebiyle, motorun aynı ısısal enerjiyi üretebilmek adına zengin karışım şartlarında çalıştığı, kütleli yakıt sarfiyatı değerleri üzerinden anlaşılmıştır. Yoğunluk değeri fazla olan BBY100 yakıtı, BY yakıtına göre nispeten daha zengin karışım şartlarında çalışmış olması sebebiyle CO₂ emisyonu değerleri daha düşük çıkmıştır. Kütleli yakıt sarfiyatı ve CO emisyonu değerleri de, bu tespitleri destekler nitelikte olduğu görülmüştür.

10.2.5. Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin SO₂ Analizi

Yakıt içerisindeki kükürt bileşenlerinin yanma reaksiyonu sürecinde oksitlenerek SO₂ formuna dönüşmesi ile meydana gelen bir emisyon türüdür. BY, BBY ve BBY karışımlarından oluşan yakıt numunelerinin SO₂ emisyonu değerlerinin yükün artmasına bağlı değişim verileri Tablo 10.9 ve Şekil 10.9 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.9. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki SO₂ değerleri

Yakıt Türü	Benzinli motor SO ₂ emisyonu değerleri (%)			
	% 20 Yük	% 40 Yük	% 60 Yük	% 80 Yük
BY	27	33	60	122
BBY25	65	90	140	220
BBY50	110	145	240	450
BBY75	160	200	310	600
BBY100	205	280	490	880



Şekil 10.9. BY, BBY ve BBY/BY karışımlarının değişken yükteki SO₂ emisyonu değerleri

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtların kükürt konsantrasyonunun mümkün olduğu kadar az olması istenir. Yakıt içeriğindeki kükürt, silindir içerisindeki yanma reaksiyonu neticesinde oksitlenerek SO₂ formuna bürünüp,

diğer gazlarla karışarak egzozdan doğaya salınmaktadır. Yakıt içerisindeki kükürt konsantrasyonu ne kadar fazla ise SO_2 salınımı aynı oranda yüksek değerlere ulaşmaktadır.

Yakıtların üretimi ve kimyasal analizi aşamasında BBY yakıtının kükürt konsantrasyonunun BY yakıtına kıyasla daha yüksek olduğu ve hatta kabul edilebilir sınırları aştığı tespit edilmişti. Bu analizlere ilişkin sayısal veriler Tablo 8.12'de gösterilmişti. Kükürt konsantrasyonu bu denli yüksek olan yakıtların motorlarda kullanılmasının mümkün olmadığı ve kullanılması durumunda motorun çalışma karakteristiğini olumsuz etkileyeceği gibi çok yoğun SO_2 emisyonu oluşturacağı da vurgulanmıştı. Bölüm 8'de yapılan bu değerlendirmelerin doğruluğunu teyit etmek açısından kükürtsüzleştirme işlemine tabi tutulmamış olan BBY yakıtlarının SO_2 emisyon değerleri incelenmiştir. Bu incelemede; motor yükünün artması ile beraber kütleli yakıt sarfiyatının arttığı ve bu artışa paralel olarak SO_2 emisyon değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. BY yakıtı içerisindeki BBY oranının artması ile SO_2 emisyonlarının arttığı görülmüştür. Kükürt konsantrasyonu en yüksek olan BBY100 yakıtının kullanımında, en yüksek SO_2 emisyonu ölçülmüştür. SO_2 emisyonu değerlerinin özellikle kütleli yakıt sarfiyatının arttığı %80 yükte, çok daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. BBY25, BBY50, BBY75 ve BBY100 yakıtlarının motordaki kullanımında ölçülen SO_2 emisyonu değerlerinin, BY yakıtının değerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla % 113, % 293, % 425 ve % 656 oranlarında artmış olduğu tespit edilmiştir. Bu oranların kabul edilebilir sınırların çok üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Üretilen yakıtların kükürtsüzleştirme reaksiyonuna tabi tutulmasının gerekliliği, bu test aşamasında daha net bir şekilde görülmüştür.

Diğer taraftan yanma reaksiyonu neticesinde kükürt içeriğinin tamamının oksitlenerek SO_2 ye dönüşmediği, bir kısmının silindir duvarı, egzoz manifoldu ve egzoz borusu gibi iç cidarlara yapışmış olabileceği değerlendirilmiştir.

10.3. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıtların Motor Performans Değerlerinin Analizi

Bu bölümde, atık petrol çamurlarından üretimi gerçekleştirilen ve kükürtsüzleştirme işlemlerine tabi tutulan benzin benzeri yakıt numunelerinin sabit hız ve değişken yükteki performans ve emisyon değerleri incelenmiştir. Test işlemleri neticesinde ölçülen ve hesaplanan değerler tablo ve grafik halinde

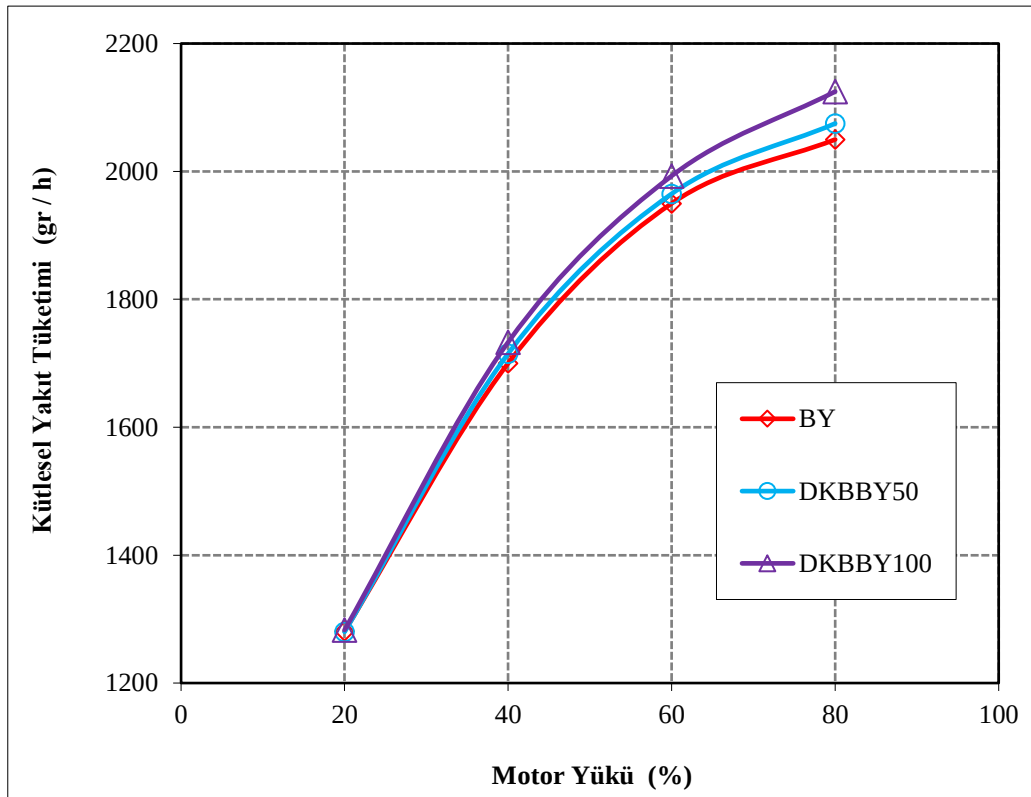
karşılaştırmalı bir şekilde gösterilmiştir. Benzinli motorda kullanılabilirliği hususu tartışılmıştır.

10.3.1. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Kütlesel Yakıt Tüketimi Değerlerinin Analizi

Birim zamanda tüketilen gram cinsinden yakıt sarfiyatı olarak tanımlanmaktadır. BY, DKBBY ve DKBBY karışımlarından oluşan yakıt numunelerinin kütlesel yakıt sarfiyatı değerlerinin yükün artmasına bağlı, değişim verileri Tablo 10.10 ve Şekil 10.10 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.10. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki kütlesel yakıt sarfiyatı değerleri

Yakıt Türü	Benzinli motor yakıt tüketimi değerleri (gr)			
	% 20 Yük	% 40 Yük	% 60 Yük	% 80 Yük
BY	1281	1700	1950	2050
DKBBY50	1280	1715	1965	2075
DKBBY100	1283	1733	1993	2125



Şekil 10.10. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki kütlesel yakıt sarfiyatı değerleri

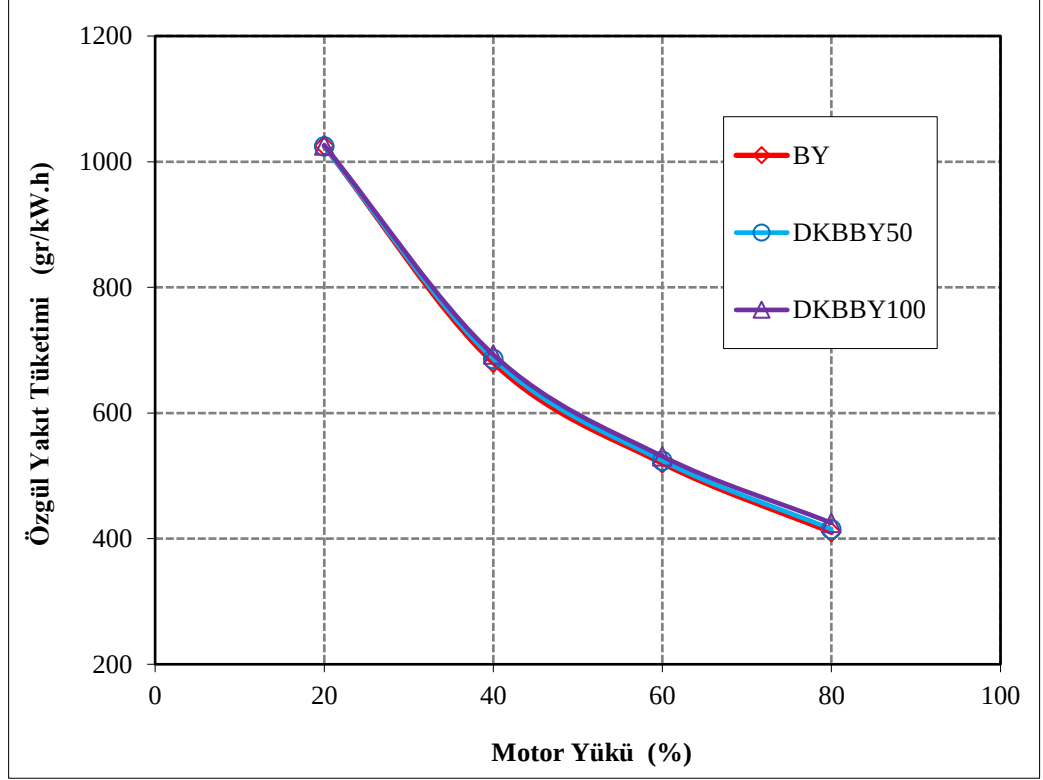
Yükün artması ile beraber, birim zamandaki çevrim sayısının sabit kalabilmesi ve elektriki yükün karşılanabilmesi için daha fazla yakıta ihtiyaç duyulmaktadır. Test yakıtlarının tamamında yükün artması ile beraber kütleli yakıt sarfiyatı değerlerinin arttığı görülmektedir. Test yakıtları arasında en düşük kütleli yakıt tüketim değeri BY yakıtının kullanımında ölçülürken, en yüksek değere sahip olan test yakıtının ise DKBBY100 olduğu belirlenmiştir. DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen kütleli yakıt sarfiyatı değerleri, BY yakıtının değerine kıyasla ortalama olarak sırasıyla, %7,7 ve %19,9 oranında artmıştır. DKBBY100 yakıtının ısı enerjisi değeri düşük, yoğunluk değeri ise yüksek olması, bu artışa sebep olarak gösterilmiştir. Buji ateşlemeli motorlarda yakıt sarfiyatını etkileyen diğer bir unsur ise yakıtın viskozite değeridir. Yüksek viskozitenin bir sonucu olarak yanma odasında, benzin+havanın heterojen bir karışım sergilemesi, yanma performansını olumsuz etkileyerek yakıt sarfiyatının nispeten yükselmesine sebebiyet vermektedir. Özellikle tam yükte, motorun zengin karışım şartlarında çalışıyor olması bu farklılığı belirgin hale getirmiştir.

10.3.2. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Özgül Yakıt Tüketimi Değerlerinin Analizi

Özgül yakıt tüketimi, birim güç başına tüketilen kütleli yakıt miktarı olarak tanımlanmaktadır. BY, DKBBY ve DKBBY karışımlarından oluşan yakıt numunelerinin özgül yakıt tüketimi değerlerinin yükün artmasına bağlı, değişim verileri Tablo 10.11 ve Şekil 10.11 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.11. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki ÖYT değerleri

Yakıt Türü	Benzinli motor özgül yakıt tüketimi değerleri (gr/kWh)			
	% 20 Yük	% 40 Yük	% 60 Yük	% 80 Yük
BY	1025	680	520	410
DKBBY50	1024	686	524	415
DKBBY100	1026	693	531	425



Şekil 10.11. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki ÖYT değerleri

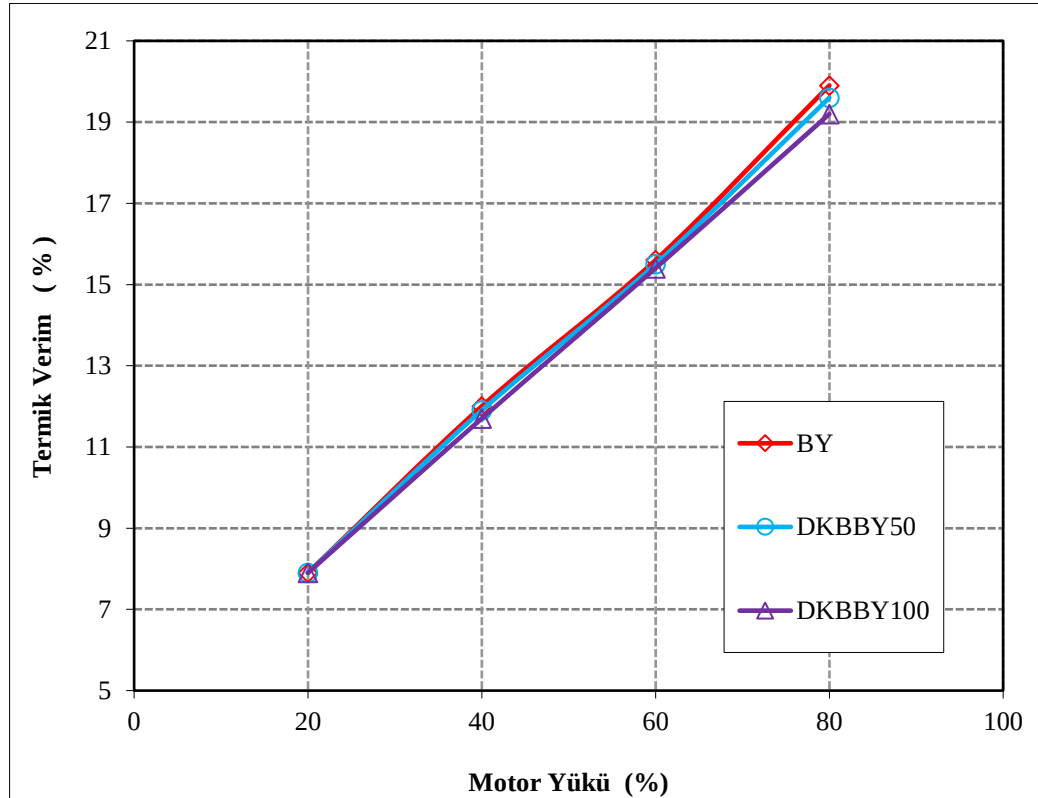
Özgül yakıt tüketimi değerleri motor gücüne bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Düşük yük şartlarında; ısı kayıpların fazla olması ve termik verimin düşük olması, tüm test yakıtlarında ÖYT değerleri yüksek çıkmasına sebep olmaktadır. Yükün artması ile beraber silindir içi yanma sıcaklığının yükselmesi, yanma performansının iyileşmesi ve ısı verimliliğinin artması ÖYT değerlerini düşürmektedir. Tüm yük şartlarının ortalaması dikkate alınarak yapılan hesaplamada en düşük özgül yakıt tüketimi değeri BY yakıtının kullanılmasında ölçülürken, en yüksek özgül yakıt tüketimi değerinin ise DKBBY100 yakıt numunesinde olduğu tespit edilmiştir. Ölçülen bu değerler arasında belirgin bir farklılığın olmadığı görülmüştür. DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen özgül yakıt sarfiyatı değerleri, BY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, %0,55 ve %1,56 oranlarında artmış olduğu tespit edilmiştir. DKBBY yakıtının yoğunluk ve viskozite değerlerinin yüksek, ısı enerji değerinin de düşük olması, DKBBY yakıtı kullanımında ÖYT değerlerini yükseltmektedir. BY yakıtı içerisindeki DKBBY oranının artmasıyla ÖYT değerlerinin artmış olması bu tespiti desteklemektedir.

10.3.3. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Termik Verim Analizi

Termik verim, motordaki ısı verimlilik olarak ifade edilmektedir. BY, DKBBY100 ve DKBBY50 yakıt numunelerinin yükün artmasına bağlı, termik verim değerlerinin değişim verileri Tablo 10.12 ve Şekil 10.12 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.12. BY, DKBBY100 ve DKBBY50 yakıtlarının değişken yükteki termik verim değerleri

Yakıt Türü	Benzinli motor termik verim değerleri (%)			
	% 20 Yük	% 40 Yük	% 60 Yük	% 80 Yük
BY	7,9	12	15,6	19,9
DKBBY50	7,9	11,9	15,5	19,6
DKBBY100	7,9	11,7	15,4	19,2



Şekil 10.12. BY, DKBBY100 ve DKBBY50 yakıtlarının değişken yükteki termik verim değerleri

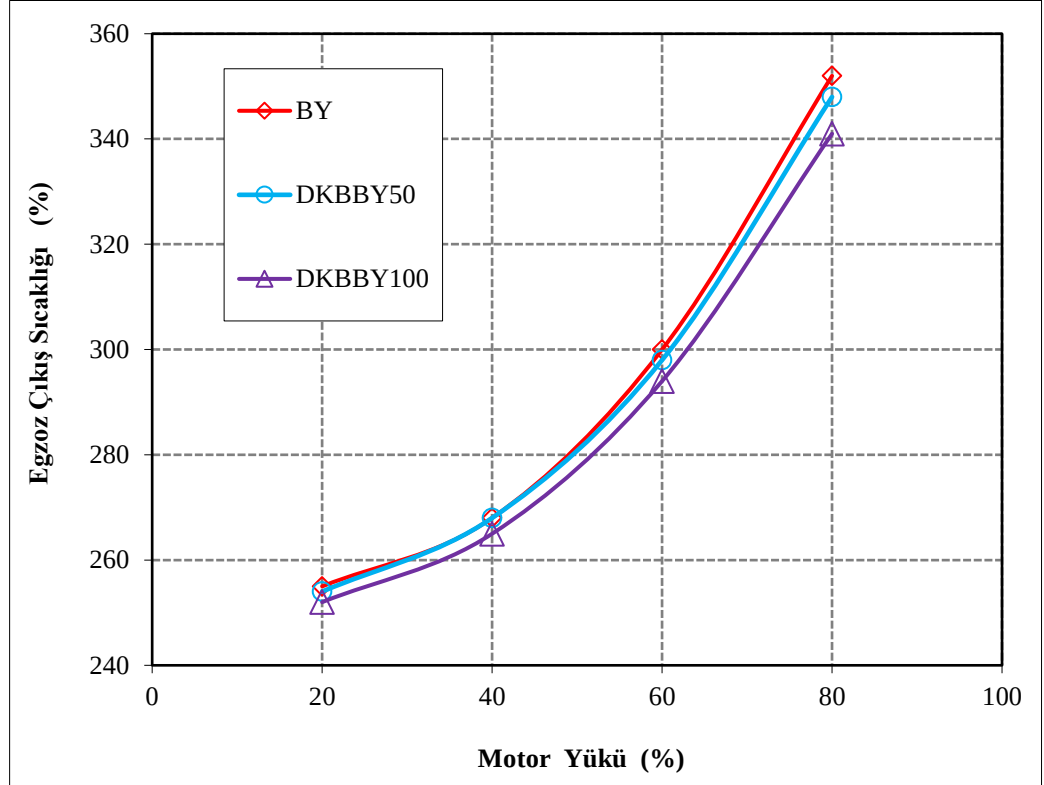
Silindir içerisindeki yakıtın yanması neticesinde ortaya çıkan ısı enerjisinin büyük bir kısmı egzoz ve radyatör üzerinden atılmaktadır. Bu kayıplardan sonra geriye kalan ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülmektedir. Termik verim analizinin incelenmesinin temel sebebi, yakıttan elde edilen ısı enerjisinin ne kadarının faydalı işe dönüştürülebildiğinin belirlenmesidir. Termik verimin; alt ısı ve ÖYT değerlerinin kullanılması ile hesaplanabileceği hususu Bölüm 7 'de detaylandırılmıştır. DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının motordaki kullanımında gerçekleşen termik verimin, BY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 0,9 ve % 2,17 oranında azalmış olduğu görülmüştür. Motor yükün artması ile beraber silindir içi basınç ve sıcaklık değerlerinin artması neticesinde termik verimin de arttığı belirlenmiştir. Benzin yakıtına kıyasla, DKBBY100 ve karışımı olan test yakıtlarının termik verimlerinin düşük olduğu belirlenmiştir. DKBBY100 yakıtının özgül yakıt tüketimi değerinin yüksek olması bu farklılığın en temel sebebi olmakla beraber, termik verim hesaplamasında kullanılan alt ısı değer parametresi de bu farklılığın bir diğer sebebidir. Deneysel çalışma sürecinde DKBBY100 yakıtlarından hazırlanan test yakıtlarının egzoz çıkış sıcaklığı değerlerinin düşük olması, yanmanın nispeten kötü olarak gerçekleştiği izlenimini oluşturmaktadır. DKBBY100 yakıtının yoğunluk ve viskozite değerlerinin yüksek olması, silindir içi hava-yakıt hareketliliğini olumsuz etkilediği ve bu etkinin de kısmi olarak termik verime olumsuz yansıdığı değerlendirilmiştir.

10.3.4. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Egzoz Sıcaklığı Analizi

Egzoz gazı sıcaklık değerlerinin tespitinin yapılması için manifold üzerinde sabit bir nokta tespit edilerek, tüm test yakıtlarında sıcaklık analizi aynı noktadan alınmıştır. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıt numunelerinin egzoz sıcaklığı değerlerinin yükün artmasına bağlı değişim verileri Tablo 10.13 ve Şekil 10.13 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.13. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki egzoz sıcaklığı değerleri

Yakıt Türü	Benzinli motor egzoz gazı sıcaklık değerleri (°C)			
	% 20 Yük	% 40 Yük	% 60 Yük	% 80 Yük
BY	255	268	300	352
DKBBY50	254	268	298	348
DKBBY100	252	265	294	341



Şekil 10.13. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki egzoz sıcaklığı değerleri

Test yakıtlarının egzoz çıkış sıcaklık değerlerinin, yükün artmasına paralel olarak arttığı görülmüştür. %20 ve %40 yük şartlarında benzer bir seyir izleyen sıcaklık değerleri, yükün artmasına paralel olarak yükseldiği gözlemlenmiştir. Tam yük şartlarında elde edilmesi gereken ısı enerjisinin yüksek olması, egzoz çıkış sıcaklık değerlerini arttırmıştır. En düşük egzoz çıkış sıcaklık değeri DKBBY100 yakıtının kullanımında ölçülürken, en yüksek sıcaklık değeri ise BY yakıtında ölçülmüştür. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının ortalama egzoz sıcaklık değerleri sırasıyla 293, 292 ve 288 °C olarak tespit edilmiştir. Sıcaklık değerleri arasında belirgin bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir.

BBY100 yakıtının ısıl değerinin düşük, viskozite ve yoğunluk değerlerinin ise yüksek olması bu kısmi farklılığa sebep olarak gösterilebilir. Yapılan incelemede, termik verim ve NO_x değerlerinin de bu tespit ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

10.4. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin Emisyon Analizleri

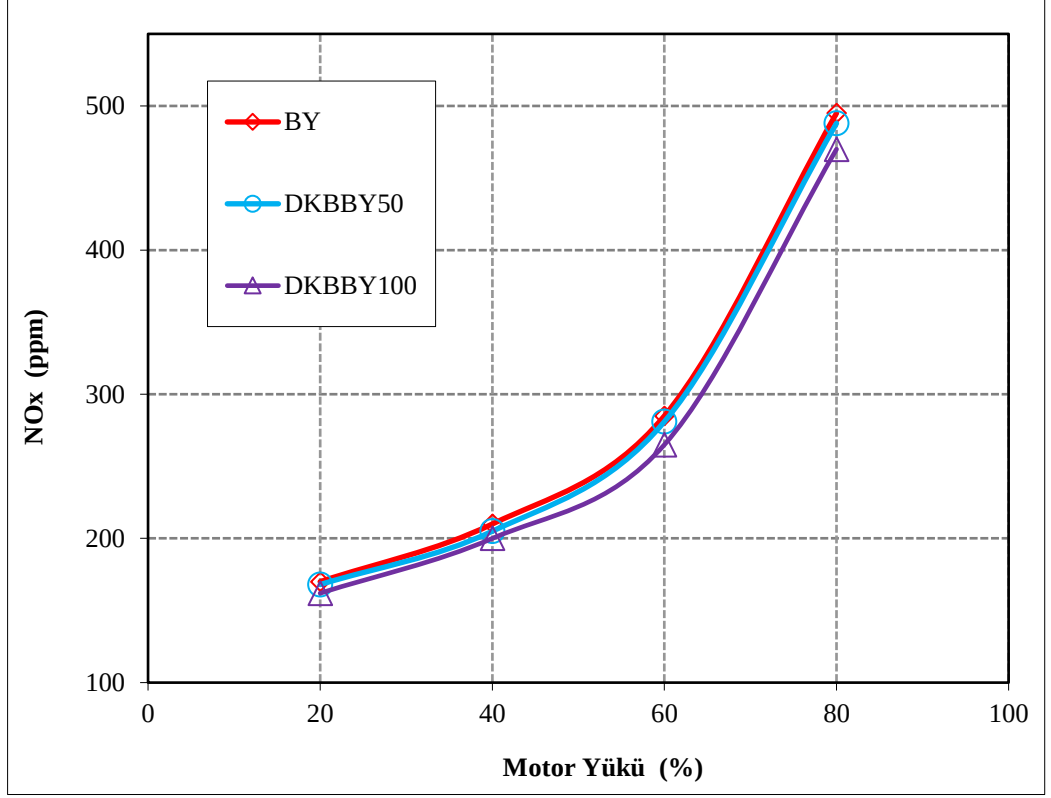
Bu bölümde, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının motorda kullanılması ile açığa çıkan NO_x, CO, HC, CO₂ ve SO₂ emisyonu değerleri ölçülmüştür. Ölçüm neticesinde kaydedilen veriler tablo ve grafik halinde sunulmuş olup, aynı deney şartlarında test edilen BY yakıtı esas alınarak karşılaştırılmıştır.

10.4.1. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin NO_x Emisyonu Analizi

NO_x emisyonları motorun yüksek sıcaklık değerlerindeki çalışmasında oluşmaktadır. NO_x terimi, NO ve NO₂'nin atmosferdeki toplam yoğunluğunun ifadesidir. Kullanılan havanın içeriğindeki oksijen, aşırı sıcak çalışma şartlarında ve yanma için yeterli zaman oluştuğunda, azot ile reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucunda NO_x emisyonları oluşur. NO_x emisyonları, benzinli motorlarda vuruntulu ve kontrolsüz yanma neticesinde meydana gelmektedir. NO_x oluşumu büyük oranda oktan sayısına, silindir içi sıcaklığa, basınca ve yanma süresine bağlı olduğu bilinmektedir. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 test yakıtlarının, NO_x emisyonu değerlerinin yükün artmasına bağlı değişim verileri Tablo 10.14 ve Şekil 10.14 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.14. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki NO_x emisyonu değerleri

Yakıt Türü	Benzinli motor NO _x emisyonu değerleri (ppm)			
	% 20 Yük	% 40 Yük	% 60 Yük	% 80 Yük
BY	170	210	285	495
DKBBY50	168	205	281	488
DKBBY100	162	200	265	470



Şekil 10.14. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki NO_x değerleri

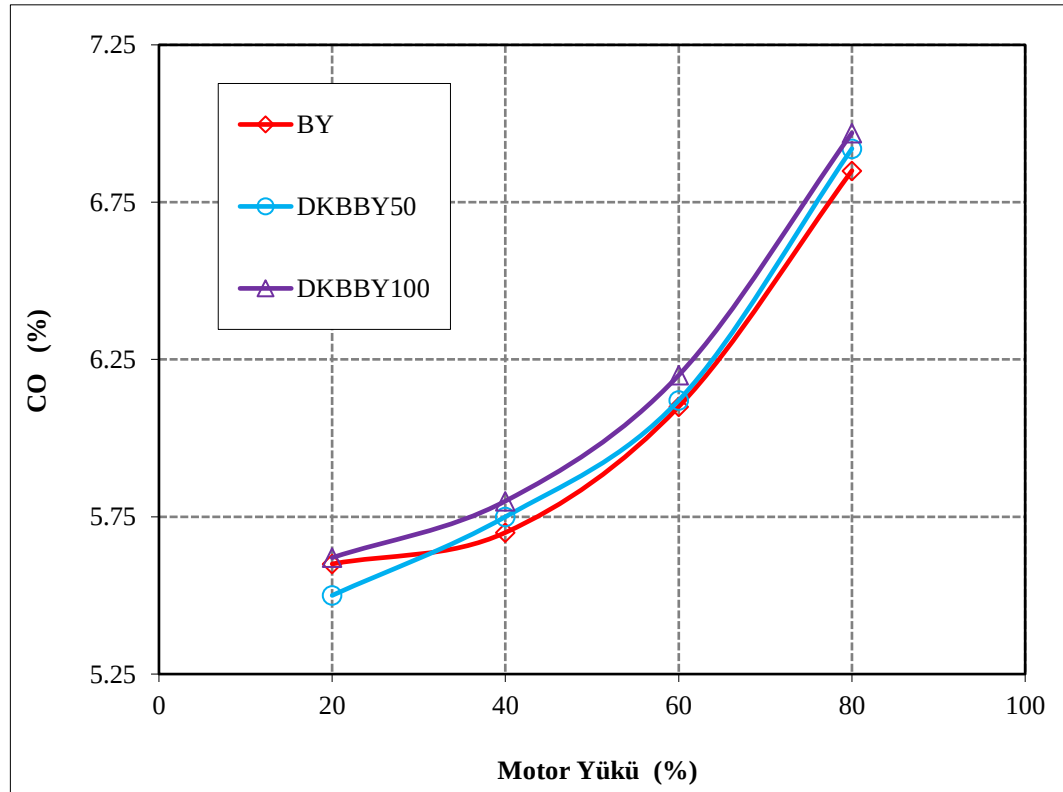
Test yakıtlarının tamamında yükün artmasına paralel olarak NO_x emisyon değerlerinin de arttığı görülmektedir. DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen NO_x emisyonu değerlerinin, BY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, %1,6 ve %6,3 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Tüm yük şartları dikkate alındığında, BY ve DKBBY50 yakıtları arasında belirgin bir farklılığın olmadığı görülmüştür. Test yakıtlarının oktan sayılarının birbirine çok yakın değerlerde olması, NO_x emisyonları arasındaki bu farklılığın reaksiyon süresi uzunluğundan kaynaklandığı ihtimalini zayıflatmaktadır. DKBBY100 yakıtının, ısı enerjisi değerlerinin düşük olması bu farklılığın en temel sebeplerinden biridir. Bu durum DKBBY100 yakıtlarının kullanımında egzoz gazı sıcaklık değerlerini de azaltmıştır. Sıcaklık değerlerindeki bu azalma ise NO_x emisyonlarının düşük değerlerde çıkmasına zemin hazırladığı değerlendirilmiştir.

10.4.2. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin CO Emisyonu Analizi

CO emisyonları eksik yanma olarak da ifade edilmektedir. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıt numunelerinin CO emisyonu değerlerinin yükün artmasına bağlı değişim verileri Tablo 10.15 ve Şekil 10.15 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.15. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki CO emisyonu değerleri

Yakıt Türü	Benzinli motor CO emisyonu değerleri (%)			
	% 20 Yük	% 40 Yük	% 60 Yük	% 80 Yük
BY	5,6	5,7	6,1	6,85
DKBBY50	5,5	5,75	6,12	6,92
DKBBY100	5,62	5,8	6,2	6,97



Şekil 10.15. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki CO emisyonu değerleri

CO, eksik yanmanın neticesinde oluşan bir emisyon türüdür. Yanma sürecinde buji kıvılcımından yayılan alev kümesinin son kısmında bulunan CO konsantrasyonların, gazların ısısının düşmesiyle beraber oksidasyona uğramayıp,

CO₂ emisyonuna dönüşmeden diğer gazlarla birlikte egzozdan atılması olarak da tanımlanabilir. Sabir devirde çalışan buji ateşlemeli motorlarda CO emisyonlarının oluşması; hava/yakıt oranındaki değişim, silindir içi hava hareketliliği, yanma odasındaki oksijen oranı, yakıtın oktan sayısı gibi bir çok temel sebebe bağlı olduğu bilinmektedir.

Motor yükünün artmasına paralel olarak tüm test yakıtlarının CO emisyonu değerlerinin arttığı görülmüştür. DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen CO emisyonu değerlerinin, BY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 0,16 ve % 1,65 oranında arttığı belirlenmiştir. Genel ortalama açısından bir değerlendirme yapıldığında, BY ile DKBBY50 yakıtlarının CO emisyonu değerlerinin birbirine çok benzer değerlerde olduğu, DKBBY100 yakıtında ise önemsenmeyecek bir artış olduğu ölçülmüştür. DKBBY100 yakıtının oktan sayısının ve yoğunluk değerinin yüksek, ısıl enerji değerinin ise düşük olması CO emisyonlarının nispeten yüksek çıkmasına sebep olarak gösterilmiştir.

Yüksek oktan sayısına sahip yakıt numunelerinin yanma hızı daha düşüktür. Yüksek oktanlı bir yakıtın test işlemlerinde yanma sonu oluşan maksimum basınç daha geç meydana gelmektedir. Bu durum genişleme stroku sürecinde yanmanın devam etmesine sebebiyet vereceğinden yanma reaksiyonu tam olarak tamamlanmadan sönmüleme başlamaktadır. Sönmülemenin başlaması, silindir içi ısının düşmesine ve CO₂ oksidasyonunun oluşamamasına zemin hazırlamaktadır. Test yakıtların yoğunluk değerleri nispetinde zengin karışım şartlarında çalışıp çalışmadığı hususu ve oktan sayısı değeri arasındaki farklılık ön plana çıkmaktadır. BY yakıtının oktan sayısı 95 iken, DKBBY100 yakıtının oktan sayısı 95.7 olduğu Bölüm-8'de belirtilmiştir.

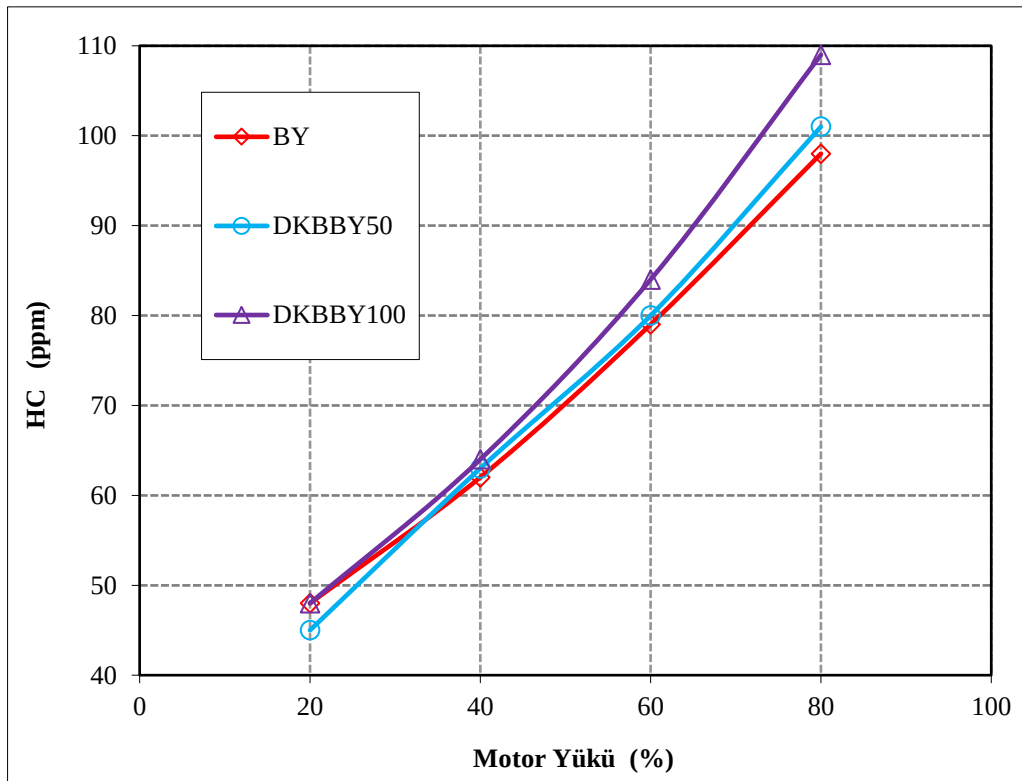
DKBBY100 yakıtının, BY yakıtı ile aynı ısıl enerjiyi üretebilmek adına zengin karışım şartlarında çalıştığı, yakıt sarfiyat değerlerinin incelenmesi neticesinde görülmüştür. DKBBY100 yakıtının, yetersiz oksijen ortamında çalışması neticesinde, CO gazlarının oksidasyon için yeterli oksijeni bulamadığı anlaşılmıştır. Belirtilen bu durumlar DKBBY100 yakıtı için CO emisyonlarının arttıran unsurlar olarak değerlendirilmiştir. CO₂ emisyonu değerlerindeki ölçümler de bu tespiti destekler niteliktedir.

10.4.3. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin HC Emisyonu Analizi

HC emisyonları, yakıtın kısmen veya büyük bir kısmının yanmamasından kaynaklı oluşmaktadır. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıt numunelerinin HC emisyonu değerlerinin yükün artmasına bağlı değişim verileri Tablo 10.16 ve Şekil 10.16 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.16. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki HC emisyonu değerleri

Yakıt Türü	Benzinli motor HC emisyonu değerleri (ppm)			
	% 20 yük	% 40 yük	% 60 yük	% 80 yük
BY	48	62	79	98
DKBBY50	45	63	82	101
DKBBY100	48	68	90	117



Şekil 10.16. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki HC emisyonu değerleri

Yükün artması ile beraber tüm yakıt numunelerinin HC emisyon değerlerinde artış olduğu belirlenmiştir. Test yakıtlarının HC emisyonu değerleri %20 ve %40 yük şartlarında birbirine çok benzer değerlerde iken, yükün artması

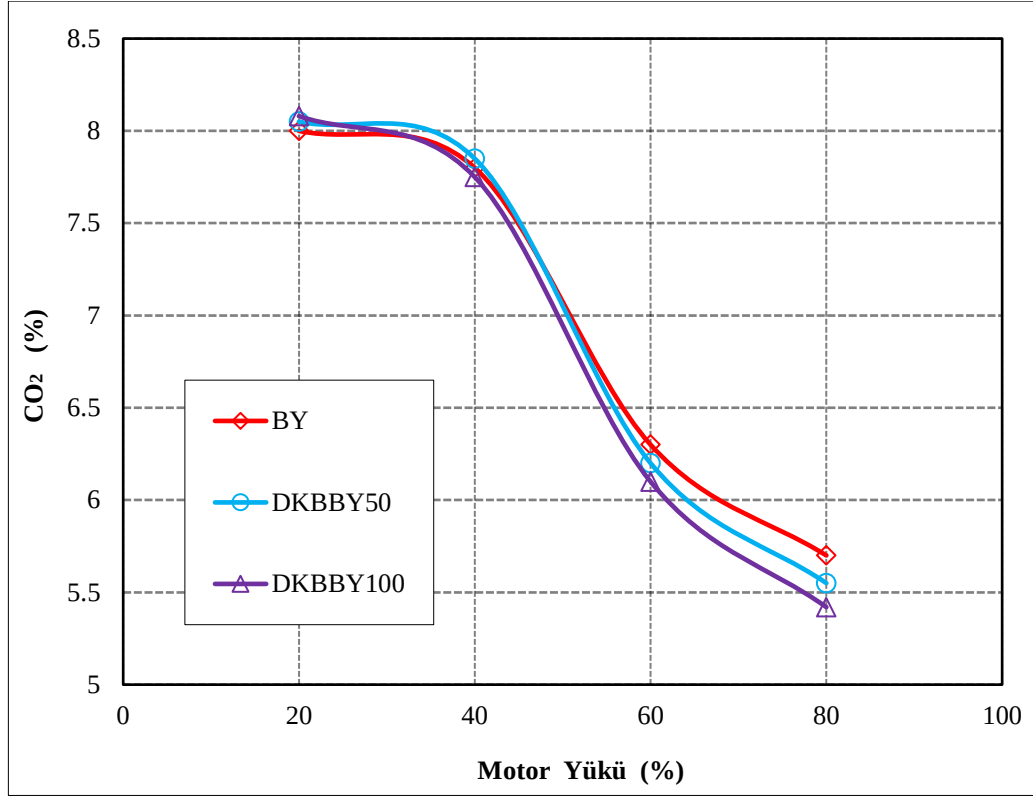
ile beraber test yakıtlarının HC emisyonları arasında kabul edilebilir sınırlar içerisinde kısmi bir farklılık oluşmuştur. DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen HC emisyonu değerlerinin, BY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, %1,4 ve % 12,5 oranında arttığı belirlenmiştir. BY ve DKBBY50 yakıtlarının tüm yüklerdeki ortalama HC emisyon değerleri birbiri ile benzer değerlerde iken, DKBBY100 yakıtının HC emisyon değerleri %60 ve %80 yük şartlarında kısmen artış göstermiştir. Yükün artması ile beraber, DKBBY100 yakıtının kütesel olarak daha fazla kullanılmış olması, beraberinde HC emisyonlarının BY yakıtına göre nispeten yüksek değerde oluşmasına sebebiyet vermiştir. Diğer bir bakış açısı ile değerlendirme yapmak gerekirse; DKBBY100 yakıtının ısı enerjisi değeri düşük ve yoğunluk değeri yüksek olması, motorun aynı ısı enerjisi üretebilmek adına zengin karışım şartlarında çalışmasına zemin hazırlamıştır. DKBBY yakıtlarının HC emisyonlarının yüksek olmasının bir diğer sebebi de silindir içi sıcaklığın, BY yakıtına göre düşük olmasıdır. Özet olarak, silindir içi sıcaklığın nispeten düşük olması ve motorun zengin karışım şartlarındaki çalışması, HC emisyonlarının artışına sebep olarak gösterilmiştir.

10.4.4. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin CO₂ Emisyonu Analizi

Yanma sürecinde buji kıvılcımından yayılan alev kümesinin yayıldığı hacimde bulunan CO konsantrasyonların, oksidasyona uğrayarak CO₂ emisyonuna dönüşmesi sonucunda ortaya çıkan ve tam yanma olarak ifade edilen emisyon olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir ifade ile kaliteli bir yanmanın egzozdaki yansımasıdır. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıt numunelerinin CO₂ emisyonu değerlerinin yükün artmasına bağlı değişim verileri Tablo 10.17 ve Şekil 10.17 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.17. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki CO₂ emisyonu değerleri

Yakıt Türü	Benzinli motor CO ₂ emisyonu değerleri (%)			
	% 20 yük	% 40 yük	% 60 yük	% 80 yük
BY	8	7,8	6,3	5,7
DKBBY50	8,05	7,85	6,05	5,55
DKBBY100	8,08	7,75	6,1	5,42



Şekil 10.17. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değışken yükteki CO₂ emisyonu değeri

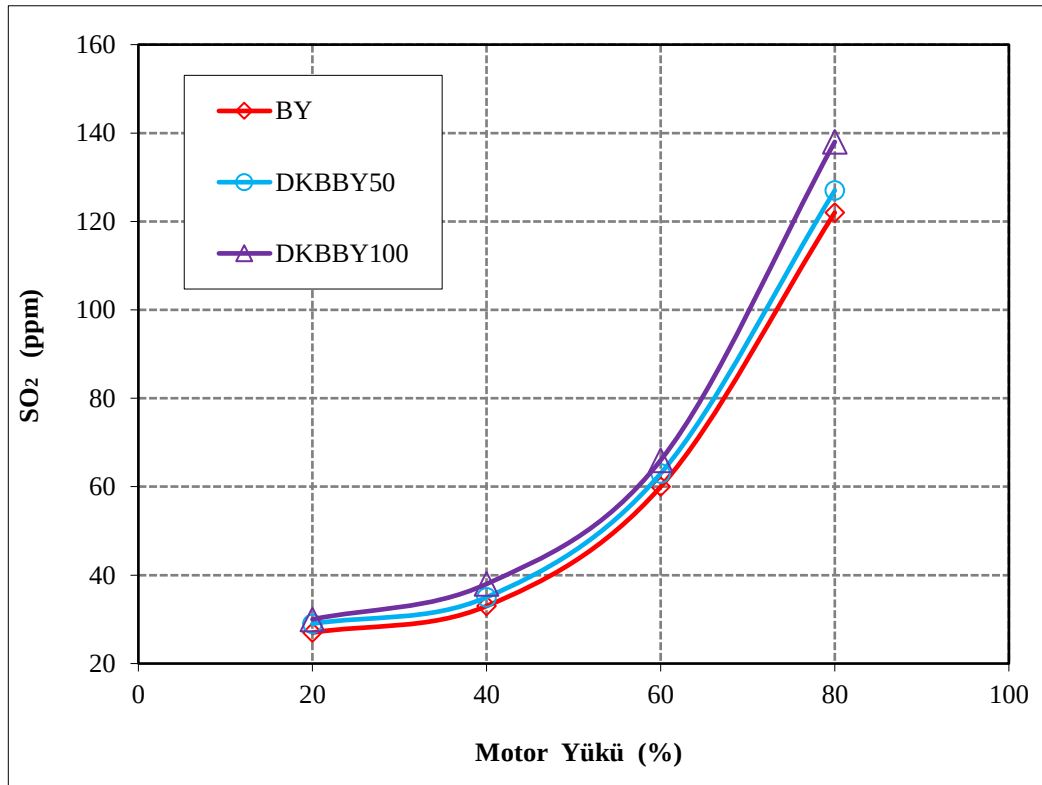
%20 ve %40 yük şartlarında sabit bir seyir izleyen CO₂ emisyon değeri, yükün artmasına paralel olarak düşüşe geçtiği gözlemlenmiştir. DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen CO₂ emisyonu değeri, BY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, %1.1 ve %1.65 oranında azaldığı belirlenmiştir. Sabit devir şartlarında çalışan motorun, maksimum yük şartlarında daha fazla enerji üretebilmesi için zengin karışım şartlarında çalışmasını gerektirmektedir. Bu durum silindir içerisindeki oksijen miktarını düşürmektedir. Bu durumda, CO bileşenleri, CO₂'ye dönüşebileceği yeterli oksijeni bulamamaktadır. Yükün artması ile beraber silindir içerisindeki oksijen miktarının azalmasına paralel olarak CO₂ emisyonlarının da azaldığı görülmüştür. DKBBY içerikli yakıtlar, BY'ye göre nispeten daha zengin karışım şartlarında çalışmış olması sebebiyle CO₂ emisyonu değeri, BY'ye göre nispeten daha düşük çıktığı yönünde bir değerlendirme yapılmıştır. CO emisyonu verilerinin, bu değerlendirmeyi destekler nitelikte olduğu görülmüştür.

10.4.5. Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt Numunelerinin SO₂ Analizi

Yakıt içerisindeki kükürt bileşenlerinin yanma reaksiyonu sürecinde oksitlenerek SO₂ formuna dönüşmesi ile meydana gelen bir emisyon türüdür. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıt numunelerinin SO₂ emisyonu değerlerinin yükün artmasına bağlı değişim verileri Tablo 10.18 ve Şekil 10.18 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.18. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki SO₂ emisyonu değerleri

Yakıt Türü	Benzinli motor SO ₂ emisyonu değerleri (%)			
	% 20 yük	% 40 yük	% 60 yük	% 80 yük
BY	27	33	60	122
DKBBY50	29	35	63	127
DKBBY100	30	38	66	138



Şekil 10.18. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının değişken yükteki SO₂ emisyonu değerleri

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtların muhteviyatında mümkün olduğu kadar az kükürt olması istenir. Yakıt içeriğindeki kükürt, silindir içerisindeki yanma reaksiyonu neticesinde oksitlenerek SO₂ formatına bürünüp,

diğer gazlarla karışarak egzozdan atılıp doğaya salınmaktadır. Yakıt içerisindeki kükürt konsantrasyonu ne kadar fazla ise SO_2 salınımı, aynı oranda yüksek olmaktadır.

Motor yükünün artması ile beraber kütleli yakıt sarfiyatının arttığı ve bu artışa paralel olarak SO_2 emisyon değerlerinin de arttığı görülmüştür. BY yakıtına kıyasla DKBBY yakıt numunesinin kükürt konsantrasyonu nispeten yüksektir. Bu durum özellikle kütleli yakıt sarfiyatının fazla olduğu, %60 ve üzerindeki yük şartlarında daha da belirgin bir farklılığa sebebiyet verdiği belirlenmiştir. Tüm yük şartlarındaki SO_2 emisyonu ortalamaları dikkate alınarak yapılan hesaplamada, BY yakıtına kıyasla, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen SO_2 emisyonu değerlerinin, BY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, %5 ve %12,4 oranında arttığı belirlenmiştir. BY yakıtına göre kısmi bir yükseliş olsa da, bu değerlerin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Diğer taraftan bu değerlerin, kütleli yakıt tüketim değerleri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Kükürtsüzleştirme işlemi yapılmadan üretilen BBY yakıtlarının SO_2 emisyonu değerleri Bölüm 10.1.6'de belirtilmiştir. BBY nin bu değerleri, kükürtsüzleştirme işlemi yapılan DKBBY yakıtının emisyon değeri ile karşılaştırılmıştır. DKBBY100 yakıtı kullanımında gerçekleşen SO_2 emisyonu değerleri, BBY100 yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, %86.1 oranında azaldığı belirlenmiştir. Üretimi gerçekleştirilen yakıtların kükürtsüzleştirme reaksiyonlarının SO_2 emisyonlarının minimize edilmesine ne kadar önemli bir katkı sağladığı, bu mukayese neticesinde daha net gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, yanma reaksiyonu neticesinde kükürt içeriğinin tamamının oksitlenerek SO_2 ye dönüşmediği, bir kısmının silindir duvarı, egzoz manifoldu ve egzoz borusu gibi iç cidarlara yapışmış olduğu düşünülmektedir.

10.5. Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Motor Performansı Analizleri

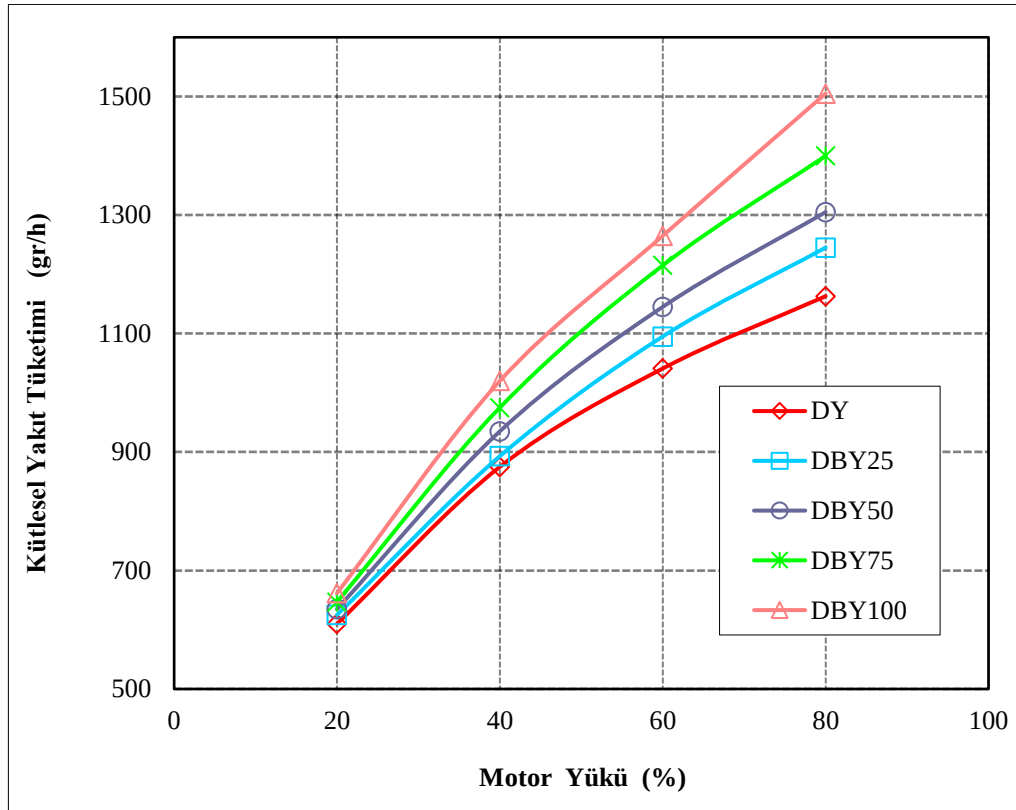
Bu bölümde, motor deneylerinde kullanılan; DBY100, DBY50, DBY75 ve DBY25 yakıtlarının kullanımında oluşan kütleli yakıt sarfiyatı, özgül yakıt sarfiyatı, termik verim ve egzoz gaz sıcaklığı değerleri tespit edilerek, aynı test motorunda DY yakıtından elde edilen değerlerle karşılaştırması yapılmıştır.

10.5.1. Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Kütlesel Yakıt Tüketimi

Birim zamanda gram cinsinden oluşan yakıt sarfıyatı olarak tanımlanmaktadır. DY, DBY ve DBY karışımlarından oluşan yakıt numunelerinin kütlesel yakıt sarfıyatı değerlerinin yükün artmasına bağlı olarak değişimleri Tablo 10.19 ve Şekil 10.19 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.19. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki kütlesel yakıt sarfıyatı değerleri

Yakıt Türü	Dizel motor yakıt tüketimi değişimi (gr)			
	%20 yük	%40 yük	%60 yük	%80 yük
DY	610	875	1041	1163
DBY25	625	893	1095	1245
DBY50	635	935	1145	1305
DBY75	647	975	1215	1400
DBY100	662	1020	1265	1505



Şekil 10.19. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki kütlesel yakıt sarfıyatı değerleri

Test yakıtlarının tamamında, yükün artması ile beraber kütleli yakıt tüketimi değerlerinin arttığı görülmektedir. DBY25, DBY50, DBY75 ve DBY100 yakıtlarının kullanımında ölçülen kütleli yakıt sarfiyatı değerlerinin, DY yakıtın değerlerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla % 4,6 , % 8,96 , % 14,85 ve %20,7 oranında artmış olduğu tespit edilmiştir. Yükün artışı ile beraber, jeneratörden talep edilen enerjinin motor tarafından karşılanabilmesi ve motor devrinin düşmemesi için motora verilen enerji miktarının artırılması gerekmektedir. Motorun üretmesi gereken güç, ancak daha fazla yakıt kullanılması ile mümkündür. Test yakıtları arasında en düşük kütleli yakıt tüketim değerine sahip yakıt DY iken, en yüksek değere sahip olan test yakıtının ise DBY100 olduğu belirlenmiştir. DY yakıtına kıyasla, DBY yakıtının ısı değeri düşük, viskozite ve yoğunluk değerinin ise yüksek olması bu artışa gerekçe olarak gösterilmiştir. Ayrıca yakıt türleri içeriğindeki DBY oranının artması ile yakıt tüketim değerlerinin artmış olması bu gerekçeyi desteklemektedir. DBY yakıtı ile aynı ısı enerjisi eşdeğerliğini sağlayabilmek için, yanma odasına kütleli olarak daha fazla yakıt püskürtülmesi gerekmektedir (Yahya ve ark., 1994; Srivastava ve ark., 2007). Dizel motorlarda yakıt, hacimsel olarak ölçülmek suretiyle silindir içerisine püskürtülmektedir. DBY ve karışım yakıtların yoğunluk değerlerinin yüksek olması, aynı hacimde daha fazla ağırlık oluşturmaktadır. Diğer bir deyişle aynı hacimsel değerde püskürtülmüş olan yakıtların, kütleli ölçümleri yoğunluğu ile paralel olarak yüksek değerde çıkmaktadır. Dizel motorlardaki yanma performansını etkileyen en önemli faktörlerden bir diğeri ise püskürtülen yakıtın yanma odası içerisindeki dağılımı ve tanecik büyüklüğüdür. Yakıtın yanma odasındaki püskürme karakteristiği; yanma odasının şekline, sıkıştırma sonu basıncına, enjektör memesi delik çapına ve yakıtın viskozite değerine bağlıdır. Konstrüktif etkenler tüm test numuneleri için aynı değerdedir. Fakat test yakıtlarının yoğunluk ve viskozite değerleri DY yakıtının değerlerinden yüksektir. DBY ve karışım yakıtları aynı enjektör basıncı ile püskürtüldüğünde, DY yakıtına göre nispeten daha iri taneli bir şekilde püskürecek ve neticesinde yakıt molekülleri hava içerisinde iyi bir atomizasyon oluşturamayacaktır. Bu durum yakıtın yanma odasında buharlaşma hızını azaltacağından yanma süresini geciktirerek yanma performansının kötüleşmesine zemin hazırlayacaktır. Kötü bir yanma performansı, kütleli yakıt sarfiyatını olumsuz etkilemektedir. (Ramadhas ve ark., 2004; Pugazhvadivu ve ark., 2005; Sims ve ark., 1985; Raheman ve ark.,

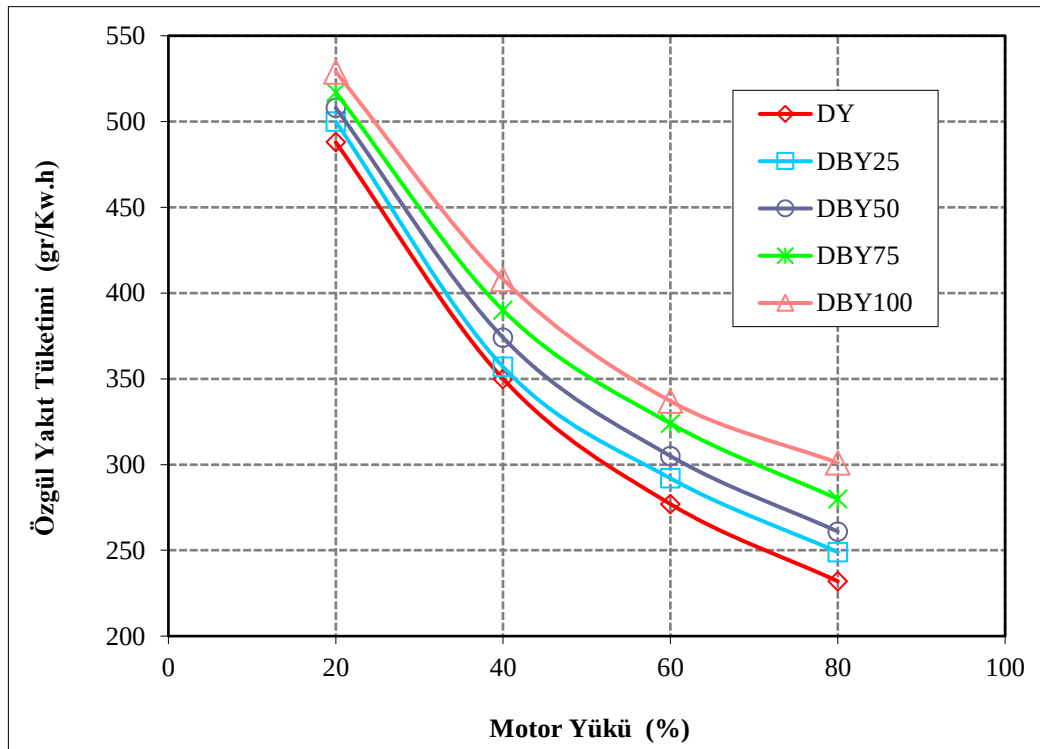
2004). Yakıt atomizasyonunun kötü olması yakıt sarfiyatını etkileyen unsurlar arasındadır (Kumar ve ark., 2005).

10.5.2. Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Özgül Yakıt Tüketimi Değerlerinin Analizi

Özgül yakıt tüketimi, birim güç başına tüketilen kütleli yakıt miktarı olarak tanımlanmaktadır. DY, DBY ve DBY karışımlarının kullanımında oluşan yakıt numunelerinin özgül yakıt sarfiyatı değerlerinin yükün artmasına bağlı değişimi Tablo 10.20 ve Şekil 10.20 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.20. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki ÖYT değerleri

Yakıt Türü	Dizel motor özgül yakıt tüketimi değerleri (g/kWh)			
	%20 yük	%40 yük	%60 yük	%80 yük
DY	488	350	277	232
DBY25	500	357	292	249
DBY50	508	374	305	261
DBY75	517	390	324	280
DBY100	529	408	337	301



Şekil 10.20. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki ÖYT değerleri

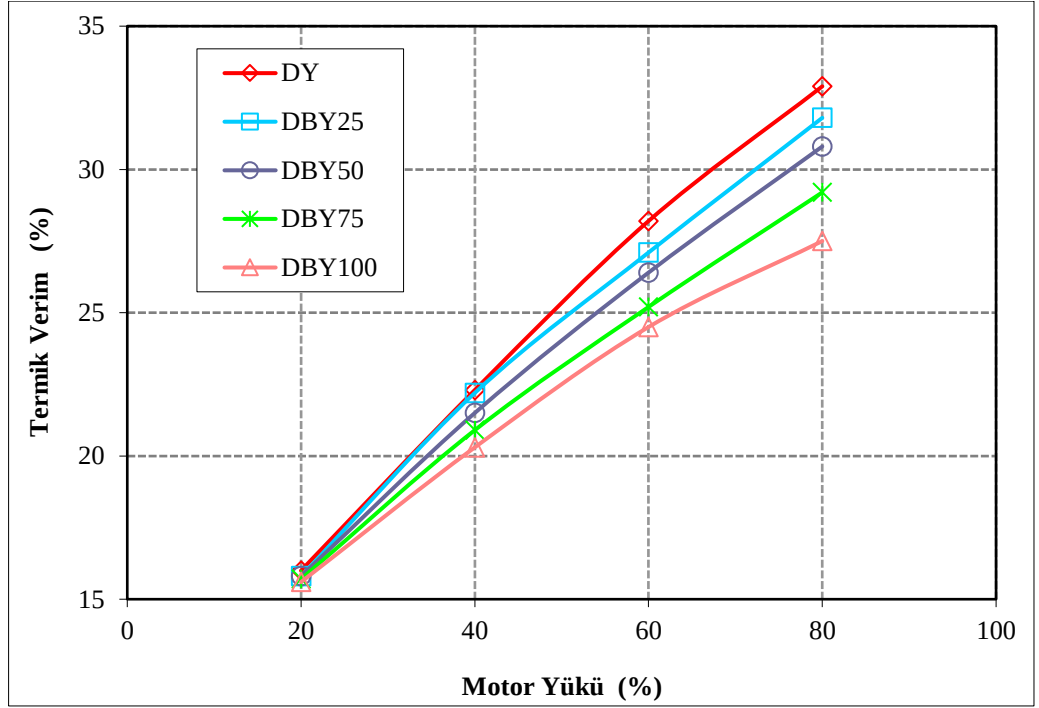
ÖYT değerleri; kütleli yakıt tüketim değeri ile motorun üretmiş olduğu güç doğrultusunda hesaplanmaktadır. Test motorunda, yükün artması ile beraber ısı verimliliğinin arttığı ve bu doğrultuda tüm test yakıtlarının ÖYT değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Tüm yük şartlarının ortalaması dikkate alınarak yapılan hesaplamada en düşük ÖYT değeri DY yakıtında iken, en yüksek ÖYT değeri ise DBY100 yakıtının test işlemlerinde gerçekleşmiştir. DBY25, DBY50, DBY75 ve DBY100 yakıtlarının kullanımında ölçülen özgül yakıt tüketim değerlerinin, DY yakıtının değerlerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla % 3,8, % 7,5, % 12,2 ve % 17 oranlarında artmış olduğu tespit edilmiştir. Yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri kütleli yakıt sarfiyatı değerlerini, kütleli yakıt sarfiyatı değeri ise ÖYT değerini etkilemektedir. DBY100 yakıtının ÖYT değerlerinin DY yakıtına göre yüksek olması, DBY100 yakıtının ısı değeri düşük ve yoğunluk değeri yüksek olmasına bağlanmıştır. DY içerisindeki DBY oranının artması, test yakıtlarının ÖYT değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

10.5.3. Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Motordaki Termik Verimi

Termik verim, motordaki ısı verimliliği olarak ifade edilmektedir. DY, DBY ve DBY karışımlarının kullanımında oluşan ve yükün artmasına bağlı termik verim değerlerinin değişimi Tablo 10.21 ve Şekil 10.21'de gösterilmiştir.

Tablo 10.21. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki termik verim değerleri

Yakıt Türü	Dizel motor termik verim değerleri (%)			
	%20 yük	%40 yük	%60 yük	%80 yük
DY	16	22,3	28,2	32,7
DBY25	15,8	22,2	27,1	31,8
DBY50	15,8	21,5	26,4	30,8
DBY75	15,7	20,9	25,2	29,2
DBY100	15,6	20,3	24,5	27,5



Şekil 10.21. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değışken yükteki termik verim değeri

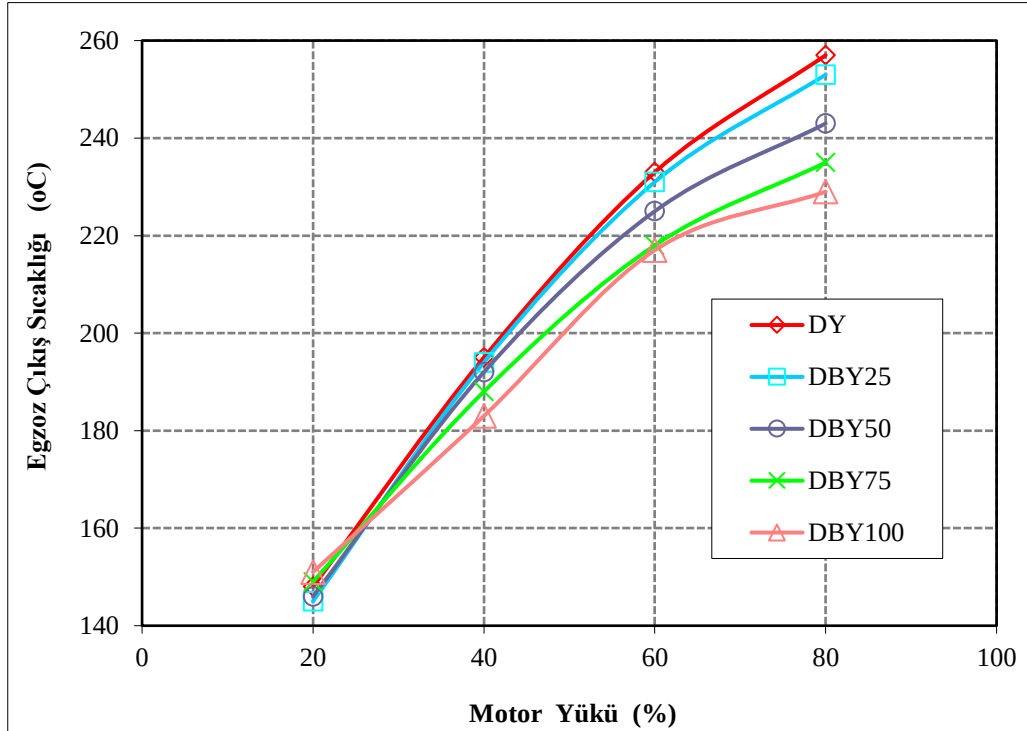
Silindir içeriindeki yakıtın yanması neticesinde ortaya çıkan ısı enerjisinin büyük bir kısmı egzoz ve radyatör üzerinden atılmaktadır. Bu kayıplardan sonra geriye kalan ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüştürölmektedir. Termik verim analizinin incelenmesinin temel sebebi, yakıttan elde edilen ısı enerjisinin ne kadarının faydalı işe dönüştürölebildiğinin belirlenmesidir. Termik verimin; alt ısı ve ÖYT değeriinin kullanılması ile hesaplanabileceğii hususu Bölüm 7 'de detaylandırılmıştır. DBY25, DBY50, DBY75 ve DBY100 yakıtlarının kullanımında hesaplanan termik verim değeriinin, DY yakıtının değeriine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla % 2,4, % 4,8, % 8,3 ve % 11,4 oranlarında azalmış olduğı tespit edilmiştir. DBY yakıtının viskozite ve yoğunluk değeriinin yüksek, alt ısı değeri ise % 5,8 oranında düşük olması, termik verimin düşük çıkmasının en temel sebebidir. Yakıtın alt ısı değeri, termik verim hesaplamasında doğrudan etkili iken, yoğunluk ve viskozite değeri yakıt sarfiyatı üzerinden dolaylı olarak etkili olmaktadır. DY içeriindeki DBY 'nin artması ile termik verimin düşmesi de bu tespiti desteklemektedir. Yüksek viskozitenin kötü atomizasyona sebebiyet vereceğii ve yanma performansını etkileyeceğii, bu durumun ise efektif verimi olumsuz etkileyeceğii ifade edilmiştir (Banapurmatha ve ark., 2008).

10.5.4. Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Egzoz Sıcaklığı Analizi

Egzoz gazı sıcaklık değerlerinin tespitinin yapılması için manifold üzerinde sabit bir nokta tespit edilerek, tüm test yakıtlarında sıcaklık analizi aynı noktadan alınmıştır. DY, DBY25, DBY50, DBY75 ve DBY100 yakıt numunelerinin egzoz gazı sıcaklık değerlerinin yükün artmasına bağlı değişim verileri Tablo 10.22 ve Şekil 10.22 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.22. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki egzoz sıcaklığı değerleri

Yakıt Türü	Dizel motor egzoz gazı sıcaklık değerleri (°C)			
	%20 yük	%40 yük	%60 yük	%80 yük
DY	148	195	233	257
DBY25	145	194	231	253
DBY50	146	192	225	243
DBY75	149	188	218	235
DBY100	151	183	217	229



Şekil 10.22. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki egzoz sıcaklığı değerleri

Yükün artmasına paralel olarak elde edilmesi gereken ısı enerjisinin yüksek olması egzoz gazı sıcaklık değerlerini arttırmıştır. En yüksek sıcaklık değeri DY yakıtında ölçülürken, en düşük sıcaklık değeri ise DBY100 yakıtının kullanılmasında ölçülmüştür. DY, DBY25, DBY50, DBY75 ve DBY100 yakıtlarının ortalama egzoz sıcaklık değerleri sırasıyla 208, 205, 201, 197 ve 195 °C olarak tespit edilmiştir. DBY'den hazırlanan test yakıtlarının, aynı işi üretebilmeleri için daha fazla yakıtın silindir içerisine püskürtülmesi gerekmektedir. Daha fazla yakıtın silindir içerisine enjekte edilmesiyle, yanma odasındaki hava oranı yüzdesel olarak düşmekte ve kısmi olarak oksijen oranı daha az bir yanma reaksiyonu gerçekleşmektedir. Bu durum yanma performansını nispeten olumsuz etkileyerek sıcaklık değerlerinin düşük çıkmasına zemin hazırlamıştır. Diğer taraftan, setan sayısı yüksek olan yakıtlarda yanma süresi periyodu daha uzun süreli olacağından egzoz gazı sıcaklık değerleri yüksek çıkacağı vurgulanmıştır (Çanakçı, 2007). DBY yakıtının setan sayısının düşük olması, silindir içerisinde DY yakıtına kıyasla daha kısa bir yanma periyodu oluşturmuş ve bu durum DBY ve DBY içerikli test yakıtlarının egzoz gazı sıcaklık değerlerini düşürmüştür. Nitekim DY yakıtı içerisindeki DBY yakıtının azalmasıyla egzoz gazı sıcaklık değerlerinin yükselmesi bu düşüncüyü kuvvetlendirmektedir. DBY yakıtlarının kullanımında termik verim ve NO_x değerlerinin, DY yakıtına göre düşük çıkması da bu tespitleri desteklemektedir.

10.6. Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Emisyon Değerlerinin Analizleri

Bu bölümde, motor testlerinde kullanılan DBY100, DBY50, DBY75 ve DBY25 yakıtlarından elde edilen NO_x, CO, HC, CO₂ ve SO₂ emisyonu değerleri ölçülmüştür. Ölçüm neticesinde kaydedilen veriler tablo ve grafik halinde sunulmuş olup, aynı deney şartlarında test edilen DY yakıtı esas alınarak karşılaştırma ve tartışmalar yapılmıştır.

10.6.1. Dizel Benzeri Test Yakıtlarının NO_x Emisyonu Analizi

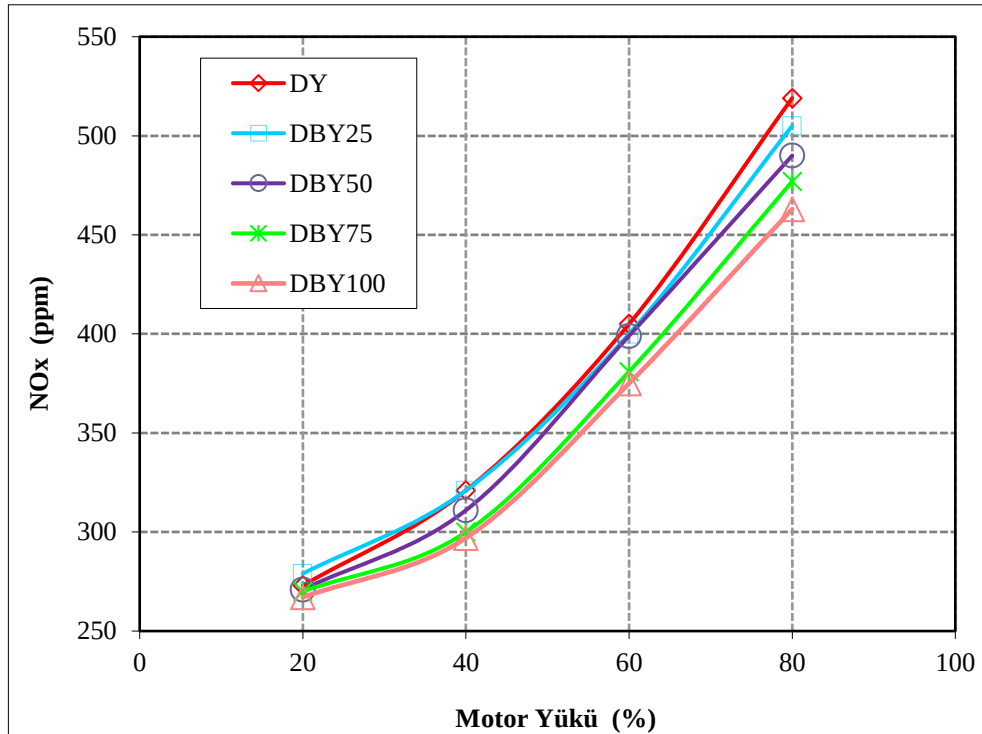
NO_x emisyonları, motorun yüksek sıcaklık şartlarındaki (1800 K ve üzeri) değerlerde oluşmaktadır. NO_x terimi, NO ve NO₂'nin atmosferdeki toplam yoğunluğunun ifadesidir. Kullanılan havanın içeriğindeki oksijen, aşırı sıcak çalışma şartlarında, yanma için yeterli zamanı bulduğunda, azot ile reaksiyona

girer. Bu reaksiyon sonucunda NO_x emisyonları oluşur. NO_x oluşumu büyük oranda silindir içi sıcaklığa, basınca, tutuşma gecikmesi ve yanma süresine bağlıdır (Lloyd ve ark., 2001; Puhana ve ark., 2005; Rakopoulos ve ark., 2006).

DY, DBY ve DBY karışımlarından oluşan yakıt numunelerinin NO_x emisyonu değerlerinin yükün artmasına bağlı değişimleri Tablo 10.23 ve Şekil 10.23 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.23. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki NO_x emisyonu değerleri

Yakıt Türü	Dizel motor NO_x emisyonu değerleri (ppm)			
	%20 yük	%40 yük	%60 yük	%80 yük
DY	273	321	405	519
DBY25	279	321	400	505
DBY50	271	311	399	490
DBY75	270	300	381	477
DBY100	267	297	375	463



Şekil 10.23. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki NO_x emisyonu değerleri

%20 yük şartlarında, kullanılan yakıt miktarının kütleli olarak az olması sebebiyle, test yakıtlarının NO_x emisyonu ölçüm değerleri arasında belirgin bir farklılık oluşmadığı görülmüştür. Test yakıtlarının tamamında yükün artmasına paralel olarak NO_x emisyon değerlerinin de arttığı görülmüştür. DBY25, DBY50, DBY75 ve DBY100 yakıtlarının motordaki kullanımında ölçülen NO_x emisyonu değerlerinin, DY yakıtının değerlerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla % 0,85, % 3,1 , % 5,9 ve % 7,8 oranlarında artmış olduğu tespit edilmiştir. Test yakıtları içerisinde en düşük NO_x emisyonu değeri DBY100 yakıtının kullanılmasında ölçülürken, en düşük NO_x emisyonu ise DY ve DBY25 yakıtlarının kullanılmasında gerçekleştiği görülmüştür. Tüm yük şartlarındaki ortalama değerler dikkate alındığında, test yakıtlarının ölçümleri arasında belirgin bir farklılığın olmadığı gözlemlenmiştir. Setan sayısı, silindir içi sıcaklık değerleri ve yanma reaksiyonu süresi gibi unsurlar NO_x emisyonu oluşumunda en temel parametrelerdir (Lloyd ve ark., 2001; Puhana ve ark., 2005; Rakopoulos ve ark., 2006; Yücesu ve ark., 2006). Bir yakıt numunesinin setan sayısının düşük olması, NO_x emisyonlarını artırırken, parlama noktasının düşük olması ise NO_x emisyonlarının azalmasına zemin hazırlamaktadır (Lloyd ve ark., 2001; Puhana ve ark., 2005). DBY yakıtının setan sayısı, DY yakıtına göre düşük olması sebebiyle, DBY yakıtlarının NO_x emisyonu ölçümlerinin yüksek çıkması beklenirken, aksine benzer ve yaklaşık değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Bu tespit şu şekilde açıklanmıştır. Motor yükünün artması ile beraber, DBY'den hazırlanan test yakıtlarının, aynı ısı enerjisi üretebilmeleri için daha fazla yakıtın silindir içerisine püskürtülmesi gerekmektedir. Daha fazla yakıtın silindir içerisine enjekte edilmesiyle, yanma odasındaki hava oranı yüzdesel olarak düşmekte ve böylece oksijen oranı daha az bir yanma reaksiyonu gerçekleşmektedir. Bu durum DBY yakıtı için, yanma performansını nispeten olumsuz etkileyerek sıcaklık değerlerinin düşük çıkmasına zemin hazırlamıştır. Yanma sonu sıcaklık değerinin düşük olması NO_x emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır (Puhana ve ark., 2005). NO_x emisyonu değerlerini etkileyen diğer bir unsur ise test yakıtlarının parlama noktasıdır. DBY yakıtının parlama noktası değeri, DY yakıtına göre % 14 oranında düşüktür. Belirtilen bu durum, DBY yakıtları için yanma süresi periyodunu uzatacağından, NO_x emisyonlarının daha düşük çıkmasına ortam hazırladığı değerlendirilmiştir. Parlama noktasının düşük olması, NO_x emisyonlarında azalmaya neden olmaktadır (Lloyd ve ark., 2001; Puhana ve ark.,

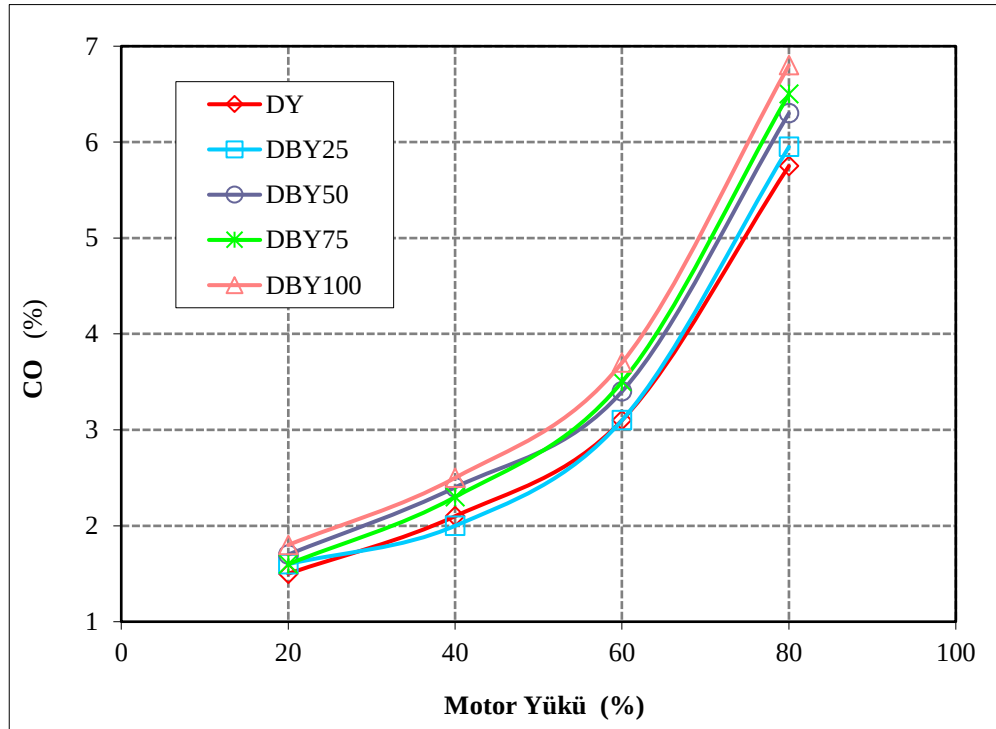
2005). Nitekim DY yakıtı içerisindeki DBY yakıtının azalmasıyla, NO_x değerlerinin yükselmesi bu düşüncüyü kuvvetlendirmektedir. DBY yakıtlarının kullanımında termik verim ve egzoz gazı sıcaklık değerlerinin, DY yakıtına göre düşük çıkması da bu tespitleri destekleyen diğer unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

10.6.2 Dizel Benzeri Test Yakıtlarının CO Emisyonu Analizi

CO emisyonları eksik yanma ürünü olarak ifade edilmektedir. DY, DBY ve DBY karışımlarından oluşan yakıt numunelerinin CO emisyonu değerlerinin yükün artmasına bağlı değişimi Tablo 10.24 ve Şekil 10.24 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.24. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki CO emisyonu değerleri

Yakıt Türü	Dizel motor CO emisyonu değerleri (%)			
	%20 yük	%40 yük	%60 yük	%80 yük
DY	1,5	2,1	3,1	5,75
DBY25	1,6	2	3,1	5,95
DBY50	1,7	2,4	3,4	6,3
DBY75	1,6	2,3	3,5	6,5
DBY100	1,8	2,5	3,7	6,8



Şekil 10.24. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki CO emisyonu değerleri

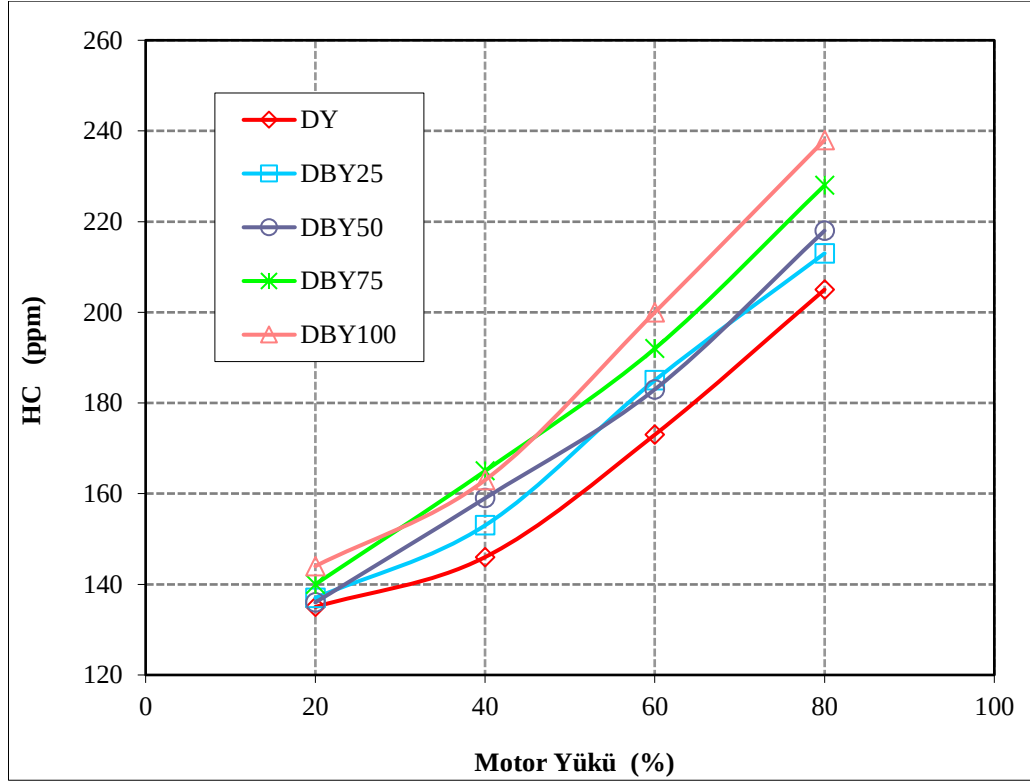
Yükün artmasıyla beraber kütleli olarak daha fazla yakıt kullanılması, tüm test yakıtlarında CO emisyonlarını arttırmıştır. En yüksek CO emisyonu değeri DY yakıtında ölçülürken, en düşük CO emisyonu değeri ise DBY100 yakıtının kullanılmasında ölçülmüştür. DBY25, DBY50, DBY75 ve DBY100 yakıtlarının motordaki kullanımında ölçülen CO emisyonu değerlerinin, DY yakıtının değerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla % 2,4 , % 10,4 , % 11,7 ve % 18,9 oranlarında artmış olduğu tespit edilmiştir. İçten yanmalı motorlarda CO emisyonu birçok parametreye bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Silindir içerisindeki yakıtın tam yanmaması olarak tarif edilen CO emisyonu; gaz sıcaklığı ve setan sayısının düşük olması, yanma odasındaki oksijen eksikliği ve CO₂ ye dönüşüm için yeterli sürenin olmaması gibi sebepler neticesinde oluşmaktadır (Cheng ve ark., 2016). DY yakıtı içerisindeki DBY oranının artması ile CO emisyonu değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. DBY yakıtının kütleli yakıt sarfiyatı değerlerinin fazla olması, setan sayısının ve egzoz gazı sıcaklık değerlerinin de düşük olması, CO emisyonu değerlerinin yüksek olmasına sebep olarak gösterilmiştir.

10.6.3. Dizel Benzeri Test Yakıtlarının HC Emisyonu Analizi

HC emisyonları yakıtın kısmen veya büyük bir kısmının yanmamasından kaynaklı oluşmaktadır. DY, DBY ve DBY karışımlarından oluşan yakıt numunelerinin HC emisyonu değerlerinin yükün artmasına bağlı değişimi Tablo 10.25 ve Şekil 10.25 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.25. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki HC emisyonu değerleri

Yakıt Türü	Dizel motor HC emisyonu değerleri (ppm)			
	%20 yük	%40 yük	%60 yük	%80 yük
DY	135	146	173	205
DBY25	137	153	185	213
DBY50	136	159	183	218
DBY75	140	165	192	228
DBY100	144	163	200	238



Şekil 10.25. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki HC emisyonu değerleri

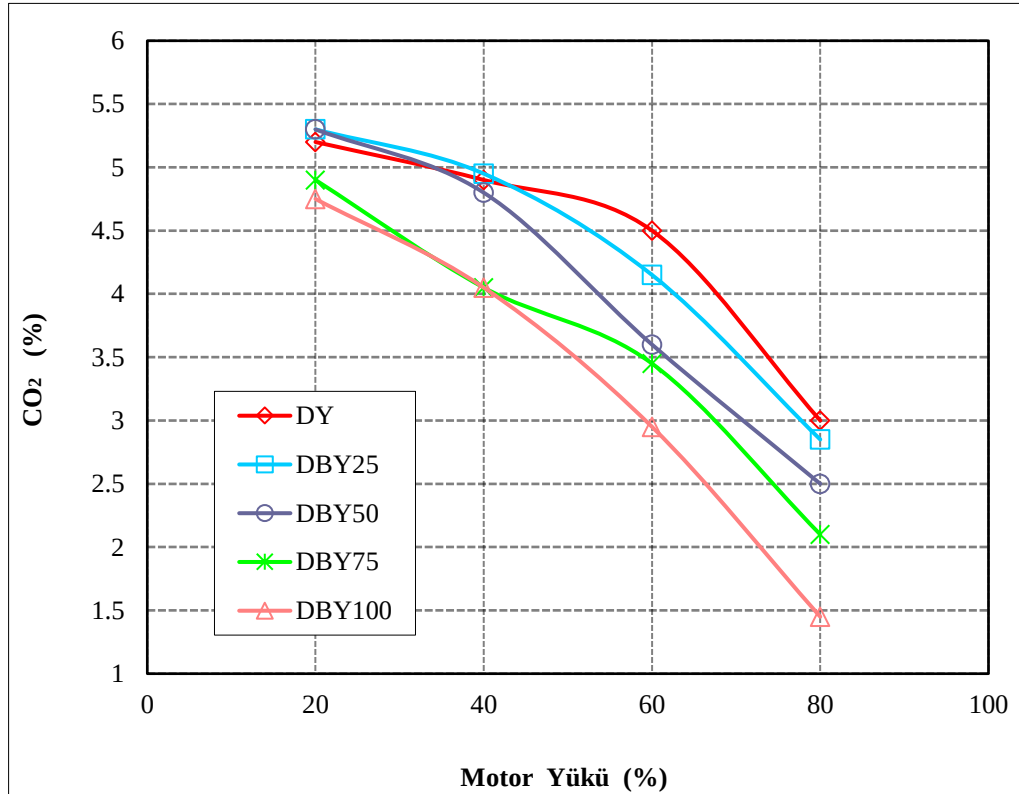
Yükün artması ile beraber tüm test yakıtlarının HC emisyon değerlerinde artış olduğu görülmüştür. En düşük HC emisyonu değeri DY yakıtının kullanılmasında ölçülürken, en yüksek HC emisyonu değeri ise DBY100 yakıtının kullanımında ölçülmüştür. DBY25, DBY50, DBY75 ve DBY100 yakıtlarının motordaki kullanımında ölçülen HC emisyonu değerlerinin, DY yakıtının değerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla %4,5, %5,8, %11,1 ve %14,8 oranlarında artmış olduğu tespit edilmiştir. DBY içerikli test yakıtlarının motordaki kullanımında HC emisyonu değerlerinin DY yakıtına göre yüksek çıktığı görülmüştür. DBY yakıtının gram cinsinden daha fazla kullanılmış olması, setan sayısının ve egzoz gazı sıcaklık değerlerinin de düşük olması, HC emisyonu değerlerinin yüksek olmasına sebep olarak gösterilmiştir. Diğer taraftan, DBY100 yakıtının ısısal enerji değerinin düşük ve yoğunluk değerinin yüksek olması sebebiyle motor aynı ısısal enerjiyi üretebilmek adına zengin karışım şartlarında çalışmıştır.

10.6.4. Dizel Benzeri Test Yakıtlarının CO₂ Emisyonu Analizi

CO₂ emisyonları tam yanma ürünleri arasında yer almaktadır. DY, DBY ve DBY karışımlarından oluşan yakıt numunelerinin CO₂ emisyonu değerlerinin yükün artmasına bağlı değişim verileri Tablo 10.26 ve Şekil 10.26 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.26. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki CO₂ emisyonu değerleri

Yakıt Türü	Dizel motor CO ₂ emisyonu değerleri (%)			
	%20 yük	%40 yük	%60 yük	%80 yük
DY	5,2	4,9	4,5	3
DBY25	5,3	4,95	4,15	2,85
DBY50	5,3	4,8	3,6	2,5
DBY75	4,9	4,05	3,45	2,1
DBY100	4,75	4,05	2,95	1,45



Şekil 10.26. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki CO₂ emisyonu değerleri

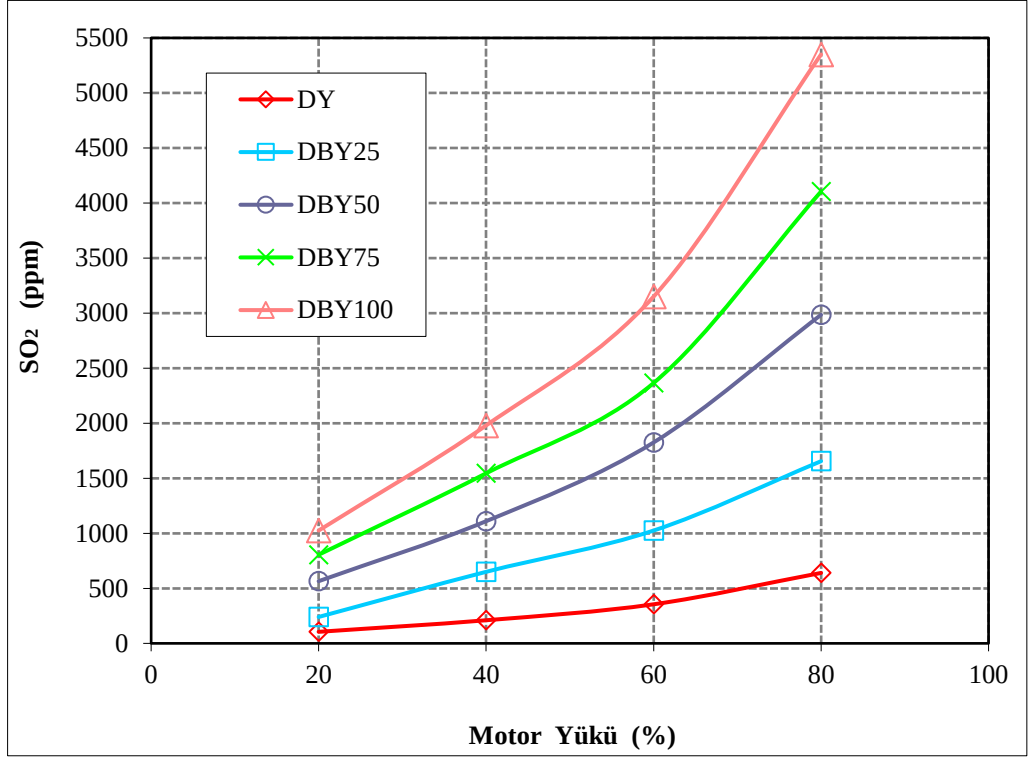
DBY25 ve DBY50 yakıtlarının %20 ve %40 yüklerdeki CO₂ emisyonu değerleri, DY yakıtının değerleri ile benzer durumda iken, DBY75 ve DBY100 yakıtlarının CO₂ emisyonu değerlerinin belirgin bir şekilde düşük olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle %60 ve üzerindeki yük şartlarında, DBY içerikli test yakıtlarının CO₂ emisyonu değerlerinin düşük değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. DBY25, DBY50, DBY75 ve DBY100 yakıtlarının motordaki kullanımında ölçülen CO₂ emisyonu değerlerinin, DY yakıtının değerlerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla %2, %8, %18 ve %24,9 oranlarında azalmış olduğu tespit edilmiştir. Sabit devir şartlarında çalışan motorun, maksimum yük şartlarında daha fazla enerji üretebilmesi için zengin karışım şartlarında çalışmasını gerektirmektedir. Bu durum silindir içerisindeki oksijen miktarını düşürmektedir. Bu durumda, CO bileşenleri, CO₂'ye dönüşebileceği yeterli oksijeni bulamamaktadır. Yükün artması ile beraber silindir içerisindeki oksijen miktarının azalmasına paralel olarak CO₂ emisyonlarının da azaldığı görülmüştür. DBY içerikli yakıtlar, DY'ye göre nispeten daha zengin karışım şartlarında çalışmış olmasının neticesinde CO₂ emisyonu değerlerinin daha düşük çıktığı yönünde bir değerlendirme yapılmıştır.

10.6.5. Dizel Benzeri Test Yakıtlarının SO₂ Analizi

SO₂ emisyonları yakıtın kısmen veya büyük bir kısmının yanmamasından kaynaklı oluşmaktadır. DY, DBY ve DBY karışımlarından oluşan yakıt numunelerinin SO₂ emisyonu değerlerinin yükün artmasına bağlı değişim verileri Tablo 10.27 ve Şekil 10.27 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.27. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değişken yükteki SO₂ değerleri

Yakıt Türü	Dizel motor SO ₂ emisyonu değerleri (%)			
	%20 yük	%40 yük	%60 yük	%80 yük
DY	105	210	355	640
DBY25	240	650	1025	1655
DBY50	565	1110	1825	2985
DBY75	805	1545	2365	4105
DBY100	1025	1980	3150	5350



Şekil 10.27. DY, DBY ve DBY/DY karışımlarının değışken yükteki SO₂ emisyonu değeri

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtların kükürt konsantrasyonunun mümkün olduğu kadar az olması istenir. Yakıt içeriğindeki kükürt, silindir içerisindeki yanma reaksiyonu neticesinde oksitlenerek SO₂ formuna bürünüp, diğer gazlarla karışarak egzozdan atılıp doğaya salınmaktadır. Yakıt içerisindeki kükürt konsantrasyonu ne kadar fazla ise SO₂ salınımı aynı oranda yüksek olmaktadır.

Yakıtların üretimi ve kimyasal analizi aşamasında DBY yakıtının kükürt konsantrasyonunun DY yakıtına kıyasla daha yüksek olduğu ve hatta kabul edilebilir sınırların üzerindeki bir değerde olduğu tespit edilmişti. Bu analizlere ilişkin sayısal veriler Tablo 8.13'de gösterilmiştir. Kükürt konsantrasyonu bu denli yüksek olan yakıtların motorlarda kullanılamayacağı, kullanılması durumunda egzozdan çıkacak olan SO₂ emisyonlarının kabul edilebilir sınırların üzerinde olduğu ve kullanılması durumunda motorun çalışma karakteristiğini olumsuz etkileyeceği vurgulanmıştı. Bölüm 8'de yapılan bu değerlendirmelerin doğruluğunu teyit etmek açısından kükürtsüzleştirme işlemine tabi tutulmamış olan DBY yakıtlarının SO₂ emisyon değeri incelenmiştir. Bu incelemede; Motor yükünün artması ile beraber kütleli yakıt sarfiyatının arttığı ve bu artışa

paralel olarak SO₂ emisyon değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. DY yakıtı içerisindeki DBY oranının artması ile SO₂ emisyonlarının arttığı görülmüştür. Kükürt konsantrasyonu en yüksek olan DBY100 yakıtının kullanımında, en yüksek SO₂ emisyonu ölçülmüştür. SO₂ emisyonu değerlerinin özellikle kütleli yakıt sarfiyatının arttığı yük şartlarında daha da belirgin bir artışa sebebiyet verdiği belirlenmiştir. Tüm yük şartlarındaki SO₂ emisyonu ortalamaları dikkate alınarak yapılan hesaplamada, DY yakıtına kıyasla, DBY25, DBY50, DBY75 ve DBY100 yakıtlarının sırasıyla % 172, % 394, % 574 ve % 778 oranlarında ciddi bir artış olduğu belirlenmiştir. Yakıtların üretimi sürecindeki kimyasal analizler ve kükürtsüzleştirme reaksiyonlarının gerekliliği bu test aşamasında net bir şekilde görülmüştür. Diğer taraftan yanma reaksiyonu neticesinde kükürt içeriğinin tamamının oksitlenerek SO₂ ye dönüşmediği, bir kısmının silindir duvarı, egzoz manifoldu ve egzoz borusu gibi iç cidarlara yapışmış olabileceği düşünülmektedir.

10.7. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Yakıtların Motor Performans Değerlerinin Analizi

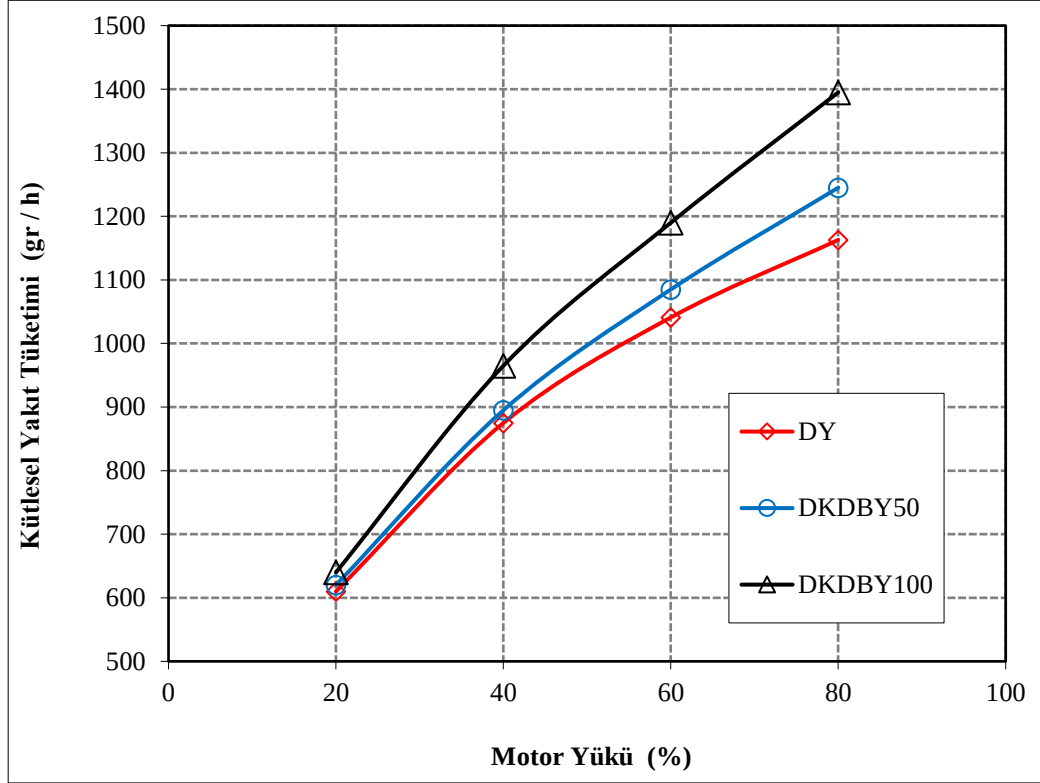
Bu bölümde, atık petrol çamurlarından üretilen ve kükürtsüzleştirme işlemlerine tabi tutulan dizel benzeri yakıt numunelerinin sabit hız ve değişken yükteki performans ve emisyon değerleri incelenmiştir. Test işlemleri neticesinde ölçülen ve hesaplanan değerler tablo ve grafik halinde karşılaştırmalı bir şekilde gösterilmiştir. Atık petrol çamurlarından üretilen düşük kükürtlü dizel benzeri yakıtın dizel bir motorda kullanılabilirliği hususu araştırılmıştır.

10.7.1. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Kütleli Yakıt Tüketimi Değerlerinin Analizi

Birim zamanda, harcanmış olan gram cinsinden yakıt sarfiyatı olarak tanımlanmaktadır. DY, DKDBY ve DKDBY karışımlarından oluşan yakıt numunelerinin kütleli yakıt sarfiyatı değerlerinin yükün artmasına bağlı gerçekleşen değişim verileri Tablo 10.28 ve Şekil 10.28 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.28. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki kütleli yakıt sarfiyatı değerleri

Yakıt Türü	Dizel motor yakıt tüketimi değerleri (gr)			
	%20 yük	%40 yük	%60 yük	%80 yük
DY	610	875	1041	1163
DKDBY50	620	895	1085	1245
DKDBY100	640	965	1190	1395



Şekil 10.28. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki kütleli yakıt sarfiyatı değerleri

Test yakıtlarının tamamında yükün artması ile beraber kütleli yakıt tüketimi değerlerinin arttığı görülmektedir. Test yakıtları arasında en düşük kütleli yakıt tüketim değerine sahip olan yakıt DY iken, en yüksek değere sahip olan test yakıtının ise DKDBY100 olduğu belirlenmiştir. DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen özgül yakıt sarfiyatı değerleri, DY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 4,2 ve % 13,6 oranında artmıştır. Yükün artışı ile beraber, jeneratörden talep edilen enerjinin motor tarafından karşılanabilmesi ve motor devrinin düşmemesi için motora verilen enerji miktarının artırılması gerekmektedir. Motorun üretmesi gereken güç, ancak daha

fazla yakıt kullanılması ile mümkündür. DY yakıtına kıyasla, DKDBY yakıtının ısı enerjisi değerinin düşük, viskozite ve yoğunluk değerinin ise yüksek olması bu artışa gerekçe olarak gösterilmiştir. Yakıt türleri içeriğindeki DKDBY yakıtının oranının artması ile yakıt tüketim değerlerinin artmış olması bu gerekçeyi desteklemektedir. DKDBY yakıtı ile aynı ısı enerjisi eşdeğerliğini sağlayabilmek için, yanma odasına kütleli olarak daha fazla yakıt püskürtülmesi gerekmektedir (Yahya ve ark., 1994; Srivastava ve ark., 2007).

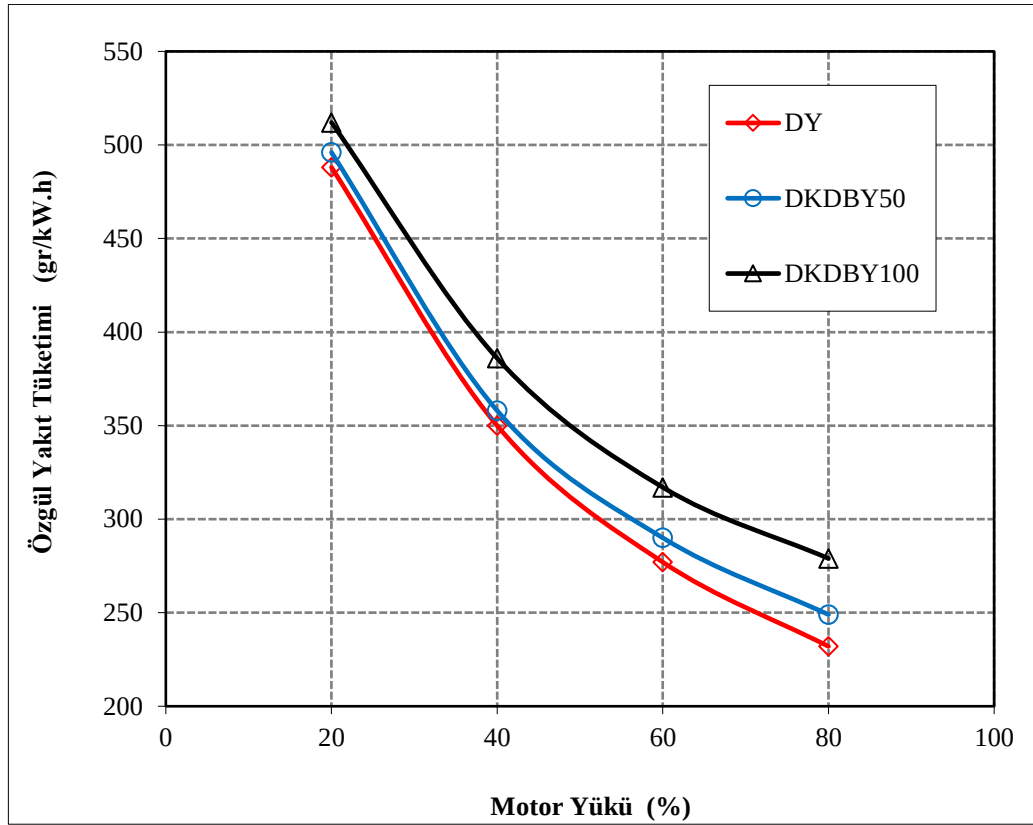
Dizel motorlarda yakıt, hacimsel olarak ölçülmek suretiyle silindir içerisine püskürtülmektedir. DKDBY ve karışım yakıtların yoğunluk değerlerinin yüksek olması, aynı hacimde daha fazla ağırlık oluşturmaktadır. Diğer bir deyişle aynı hacimsel değerde püskürtülmüş olan yakıtların kütleli ölçümleri yoğunluğu ile paralel olarak yüksek değerde çıkmaktadır. Dizel motorlardaki yanma performansını etkileyen en önemli faktörlerden bir diğeri ise püskürtülen yakıtın yanma odası içerisindeki dağılımı ve tanecik büyüklüğüdür. Yakıtın yanma odasındaki püskürme karakteristiği; yanma odasının şekline, sıkıştırma sonucu basıncına, enjektör memesi delik çapına ve yakıtın viskozite değerine bağlıdır. Konstrüktif etkenler tüm test numuneleri için aynı değerdedir. Fakat test yakıtlarının yoğunluk ve viskozite değerleri DY yakıtının değerlerinden yüksektir. DKDBY ve karışım yakıtları aynı enjektör basıncı ile püskürtüldüğünde, DY yakıtına göre nispeten daha iri taneli bir şekilde püskürecek ve neticesinde yakıt molekülleri hava içerisinde iyi bir atomizasyon oluşturamayacaktır. Bu durum yakıtın yanma odasında buharlaşma hızını azaltacağından yanma süresini geciktirerek, yanma performansının kötüleşmesine zemin hazırlayacaktır. Kötü bir yanma performansı, kütleli yakıt sarfiyatını olumsuz etkilemektedir (Ramadhas ve ark., 2004; Pugazhvadivu ve ark., 2005; Sims, 1985). Yakıt atomizasyonunun kötü olması yakıt sarfiyatının etkileyen unsurlar arasındadır (Kumar ve ark., 2005).

10.7.2. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Özgül Yakıt Tüketimi Değerlerinin Analizi

Özgül yakıt tüketimi, birim güç başına tüketilen kütleli yakıt miktarı olarak tanımlanmaktadır. DY, DKDBY ve DKDBY karışımlarından oluşan test yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerlerinin yükün artmasına bağlı, değişimi Tablo 10.29 ve Şekil 10.29 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.29. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki ÖYT değerleri

Yakıt Türü	Dizel motor özgül yakıt tüketimi değerleri (g/kWh)			
	%20 yük	%40 yük	%60 yük	%80 yük
DY	488	350	277	232
DKDBY50	496	358	290	249
DKDBY100	512	386	317	279



Şekil 10.29. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki ÖYT değerleri

ÖYT değerleri; Kütlesel yakıt tüketim değeri ile motorun üretmiş olduğu güç doğrultusunda hesaplanmaktadır. Test motorunda, yükün artması ile beraber ısı verimliliğinin arttığı ve bu doğrultuda tüm test yakıtlarının ÖYT değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Test yakıtları arasında en düşük ÖYT değerine sahip olan yakıt DY iken, en yüksek değere sahip olan test yakıtının ise DKDBY100 olduğu belirlenmiştir. DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen özgül yakıt sarfıyatı değerleri, DY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, %3,4 ve %10,9 oranlarında azalmış olduğu tespit edilmiştir. Yakıtların

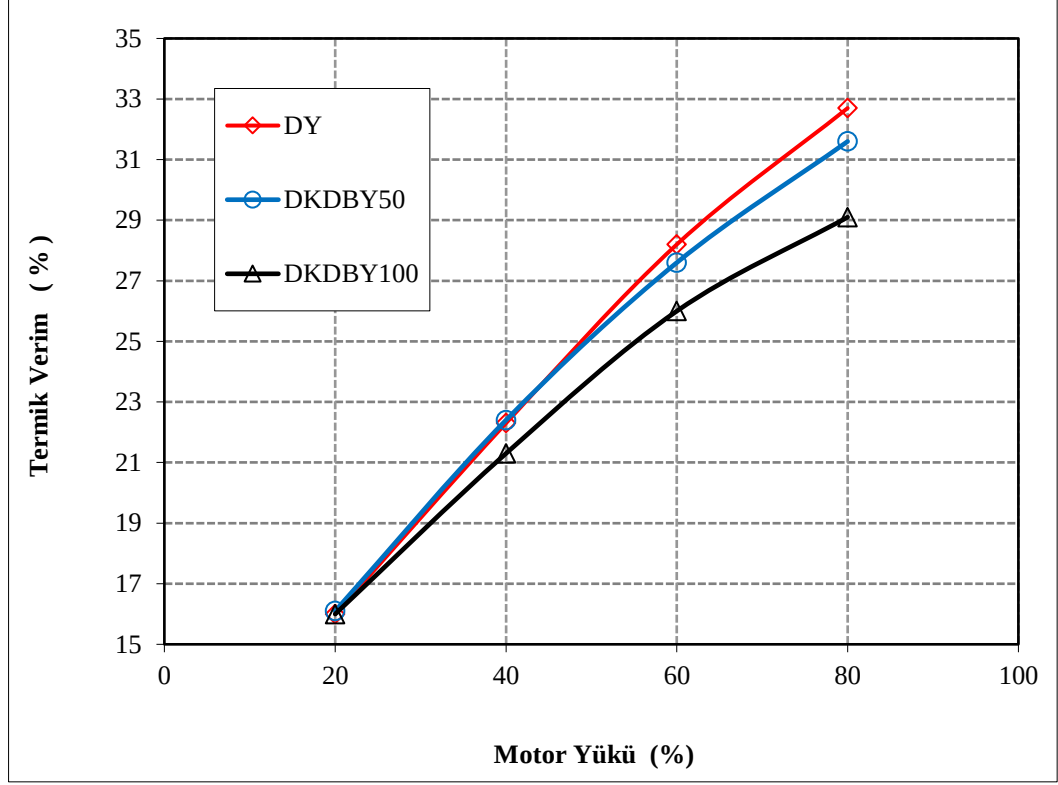
fiziksel ve kimyasal özellikleri kütlesele yakıt sarfiyatı değerlerini, kütlesele yakıt sarfiyatı değeri ise ÖYT değerini etkilemektedir. BY yakıtına kıyasla, DKDBY100 yakıtının alt ısı değeri %1 oranında düşük olması, yoğunluk değerinin ise %2 oranında yüksek olması, kütlesele yakıt sarfiyatı değerlerini arttırdığı, kütlesele yakıt sarfiyatı değerlerinin yüksek çıkması ise özgül yakıt sarfiyatı değerlerinin artmasına sebep olduğu değerlendirilmiştir. DY içerisindeki DKDBY oranının artması, test yakıtlarının ÖYT değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

10.7.3. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Termik Verim Analizi

DY, DKDBY100 ve DKDBY50 yakıt numunelerinin yükün artmasına bağlı, termik verim değerlerinin değişim verileri Tablo 10.30 ve Şekil 10.30 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.30. DY, DKDBY100 ve DKDBY50 yakıtlarının değişken yükteki termik verim değerleri

Yakıt Türü	Dizel motor termik verim değerleri (%)			
	%20 yük	%40 yük	%60 yük	%80 yük
DY	16	22,3	28,2	32,7
DKDBY50	16,1	22,4	27,6	31,6
DKDBY100	16	21,3	26	29,1



Şekil 10.30. DY, DKDBY100 ve DKDBY50 yakıtlarının değışken yükteki termik verim değeri

Silindir içeriindeki yakıtın yanması neticesinde ortaya çıkan ısı enerjisinin büyük bir kısmı egzoz ve radyatör üzerinden atılmaktadır. Bu kayıplardan sonra geriye kalan ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüştürölmektedir. Termik verim analizinin incelenmesinin temel sebebi yakıttan elde edilen ısı enerjisinin ne kadarını faydalı işe dönüştürölebildiğinin belirlenmesidir. Termik verimin; alt ısı ve ÖYT değeriierinin kullanılması ile hesaplanabileceğii hususu Bölüm 7 'de detaylandırılmıştır. DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen termik verim değeriierinin, DY yakıtın değeriine kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 1,5 ve % 6,9 oranlarında azalmış olduğı tespit edilmiştir. Motor yükün artması ile beraber silindir içi basınç ve sıcaklık değeriierinin artması neticesinde termik verimin de arttığı belirlenmiştir. Dizel yakıtına kıyasla, DKDBY100 ve karışımı olan test yakıtlarının termik verimlerinin düşük olduğı belirlenmiştir. DKDBY100 yakıtının özgül yakıt tüketimi değeriinin yüksek olması bu farklılığın en temel sebebi olmakla beraber, termik verim hesaplamasında kullanılan alt ısı değeri parametresi de bu farklılığın bir diğeri sebebidir. Deneysel çalışma sürecinde DKDBY100 yakıtlarından hazırlanan test

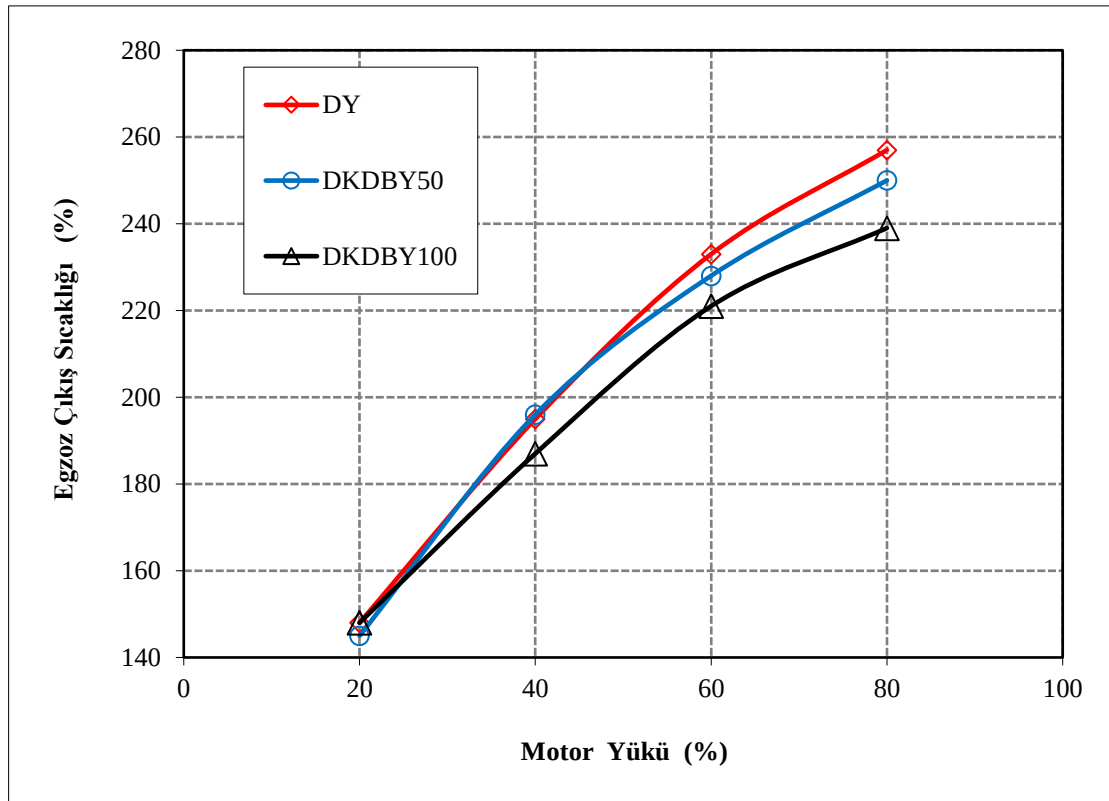
yakıtlarının egzoz çıkış sıcaklığı değerlerinin düşük olması, yanmanın nispeten kötü olarak gerçekleştiği izlenimini oluşturmaktadır.

10.7.4. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Egzoz Sıcaklığı Analizi

Egzoz gazı sıcaklık değerlerinin tespitinin yapılması için manifold üzerinde sabit bir nokta tespit edilerek, tüm test yakıtlarında sıcaklık analizi aynı noktadan alınmıştır. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıt numunelerinin egzoz sıcaklığı değerlerinin yükün artmasına bağlı değişim verileri Tablo 10.31 ve Şekil 10.31 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.31. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki egzoz sıcaklığı değerleri

Yakıt Türü	Dizel motor egzoz gazı sıcaklık değerleri (°C)			
	%20 yük	%40 yük	%60 yük	%80 yük
DY	148	195	233	257
DKDBY50	145	196	228	250
DKDBY100	148	187	221	239



Şekil 10.31. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki egzoz sıcaklığı değerleri

Yükün artmasına paralel olarak elde edilmesi gereken ısı enerjisinin yüksek olması egzoz gazı sıcaklık değerlerini arttırmıştır. En yüksek sıcaklık değeri DY yakıtında ölçülürken, en düşük sıcaklık değeri ise DKDBY100 yakıtının kullanılmasında ölçülmüştür. En düşük sıcaklık değeri DKDBY100 yakıtında iken, en yüksek sıcaklık değerinin DY yakıtında olduğu görülmüştür. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının ortalama egzoz sıcaklık değerleri sırasıyla 208, 202 ve 194 °C olarak tespit edilmiştir. DY ile DKDBY50 yakıtları arasında belirgin bir farklılığın olmadığı görülmüştür. DKDBY'den hazırlanan test yakıtlarının, aynı ısı enerjisi üretebilmeleri için daha fazla yakıtın silindir içerisine püskürtülmesi gerekmektedir. Daha fazla yakıtın silindir içerisine enjekte edilmesiyle, yanma odasındaki hava oranı yüzdesel olarak düşmekte ve kısmi olarak oksijen oranı daha az bir yanma reaksiyonu gerçekleşmektedir. Bu durum yanma performansını nispeten olumsuz etkileyerek sıcaklık değerlerinin düşük çıkmasına zemin hazırlamıştır. Diğer taraftan, setan sayısı yüksek olan yakıtlarda yanma süresi periyodu daha uzun süreli olacağından egzoz gazı sıcaklık değerleri yüksek çıkacağı vurgulanmıştır [110]. DKDBY yakıtının setan sayısının düşük olması, silindir içerisinde DY yakıtına kıyasla daha kısa bir yanma periyodu oluşturmuştur. Bu durum DKDBY ve karışımlarında egzoz gazı sıcaklık değerlerini düşürmüştür. Nitekim DY yakıtı içerisindeki DKDBY yakıtının azalmasıyla egzoz gazı sıcaklık değerlerinin yükselmesi bu düşüncüyü kuvvetlendirmektedir. DKDBY yakıtlarının kullanımında termik verim ve NO_x değerlerinin, DY yakıtına göre düşük çıkması da bu tespitleri desteklemektedir.

10.8. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Test Yakıtlarının Emisyon Analizleri

Bu bölümde, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının motorda kullanılması ile açığa çıkan NO_x, CO, HC, CO₂ ve SO₂ emisyonu değerleri ölçülmüştür. Ölçüm neticesinde kaydedilen veriler tablo ve grafik halinde sunulmuş olup, aynı deney şartlarında test edilen DY yakıtı esas alınarak karşılaştırılmıştır.

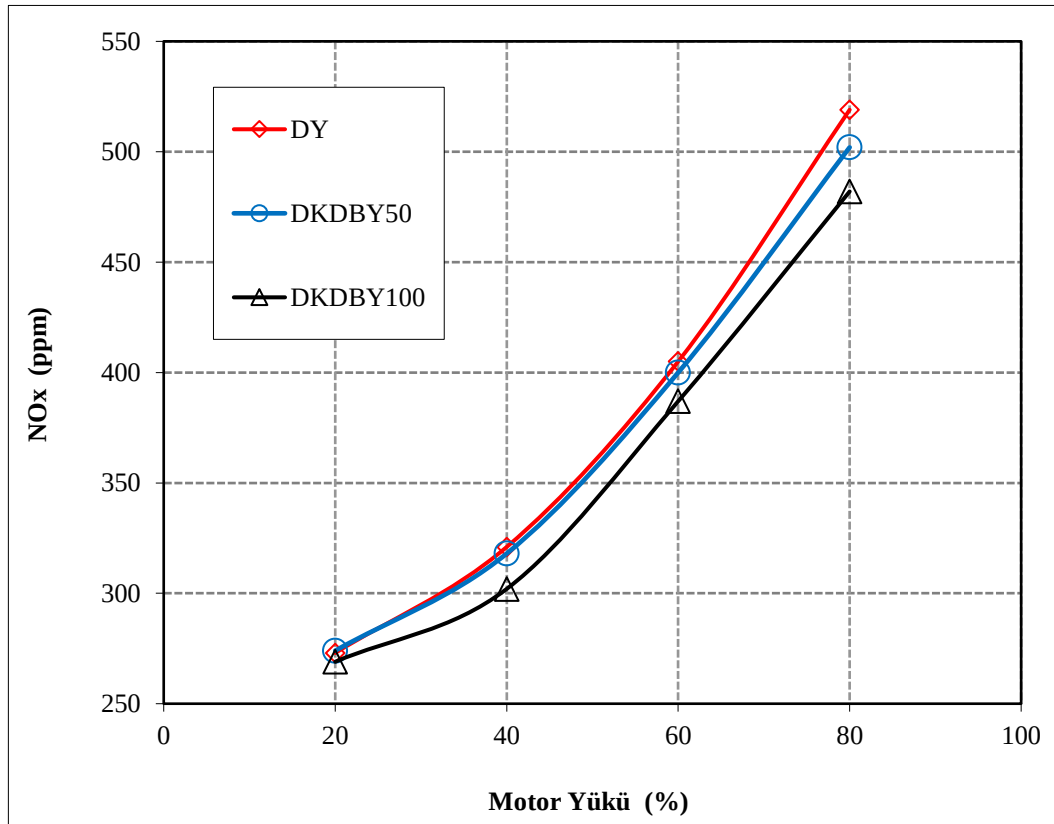
10.8.1. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Test Yakıtlarının NO_x Emisyonu Analizi

NO_x emisyonları, motorun yüksek sıcaklık şartlarındaki (1800 K ve üzeri) değerlerde oluşmaktadır. NO_x terimi, NO ve NO₂'nin atmosferdeki toplam yoğunluğunun ifadesidir. Kullanılan havanın içeriğindeki oksijen, aşırı sıcak

Çalışma şartlarında ve yanma için yeterli zaman oluştuğunda, azot ile reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucunda NO_x emisyonları oluşur. NO_x oluşumu buyk oranda silindir içi sıcaklığa, basına, tutuşma gecikmesi ve yanma suresine bağlıdır (Lloyd ve ark., 2001; Puhana ve ark., 2005; Rakopoulos ve ark., 2006). DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıt numunelerinin NO_x emisyonu değerlerinin ykn artmasına bağlı değişim verileri Tablo 10.32 ve şekil 10.32 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.32. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yekteki NO_x emisyonu değerleri

Yakıt Türü	Dizel motor NO _x emisyonu değerleri (ppm)			
	%20 yk	%40 yük	%60 yük	%80 yük
DY	273	321	405	519
DKDBY50	274	318	400	502
DKDBY100	269	302	387	482



şekil 10.32. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yekteki NO_x değerleri

%20 yük şartlarında, kullanılan yakıt miktarının kütleli olarak az olması sebebiyle, test yakıtlarının NO_x emisyonu ölçüm değerleri arasında belirgin bir farklılık oluşmadığı görülmüştür. Test yakıtlarının tamamında yükün artmasına paralel olarak NO_x emisyon değerlerinin de arttığı görülmüştür. DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen NO_x emisyonu değerlerinin, DY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 1,6 ve % 5,2 oranında azaldığı belirlenmiştir. DY ve DKDBY50 yakıtları arasında belirgin bir farklılığın olmadığı görülmüştür. Test yakıtları içerisinde en düşük NO_x emisyonu değeri DKDBY100 yakıtının kullanılmasında ölçülmüştür. Tüm yük şartlarındaki ortalama değerler dikkate alındığında, DY ve DKDBY50 yakıtlarının ölçümleri arasında belirgin bir farklılığın olmadığı gözlemlenmiştir. Setan sayısı, silindir içi sıcaklık değerleri ve yanma reaksiyonu süresi gibi unsurlar NO_x emisyonu oluşumunda en temel parametrelerdir (Lloyd ve ark., 2001; Puhana ve ark., 2005; Rakopoulos ve ark., 2006; Yücesu ve ark., 2006). Bir yakıt numunesinin setan sayısının düşük olması, NO_x emisyonlarını arttırırken, parlama noktasının düşük olması ise NO_x emisyonlarının azalmasına zemin hazırlamaktadır (Lloyd ve ark., 2001; Puhana ve ark., 2005). DKDBY yakıtının setan sayısı, DY yakıtına göre düşük olması sebebiyle, DKDBY yakıtlarının NO_x emisyonu ölçümlerinin yüksek çıkması beklenirken, aksine benzer ve yaklaşık değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Bu tespit şu şekilde açıklanmıştır. Motor yükünün artması ile beraber, DKDBY'den hazırlanan test yakıtlarının, aynı ısı enerjisi üretebilmeleri için daha fazla yakıtın silindir içine püskürtülmesi gerekmektedir. Daha fazla yakıtın silindir içine enjekte edilmesiyle, yanma odasındaki hava oranı yüzdesel olarak düşmekte ve böylece oksijen oranı daha az bir yanma reaksiyonu gerçekleşmektedir. Bu durum DKDBY yakıtı için, yanma performansını nispeten olumsuz etkileyerek sıcaklık değerlerinin düşük çıkmasına zemin hazırlamıştır. Yanma sonu sıcaklık değerinin düşük olması NO_x emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır (Puhana ve ark., 2005). NO_x emisyonu değerlerini etkileyen diğer bir unsur ise test yakıtlarının parlama noktasıdır. DKDBY yakıtının parlama noktası değeri, DY yakıtına göre düşüktür. Belirtilen bu durum, DKDBY yakıtları için yanma süresi periyodunu uzatacağından, NO_x emisyonlarının daha düşük çıkmasına ortam hazırladığı değerlendirilmiştir. Parlama noktasının düşük olması, NO_x emisyonlarında azalmaya neden olmaktadır (Lloyd ve ark., 2001; Puhana ve ark., 2005). Nitekim DY yakıtı içerisindeki DKDBY yakıtının

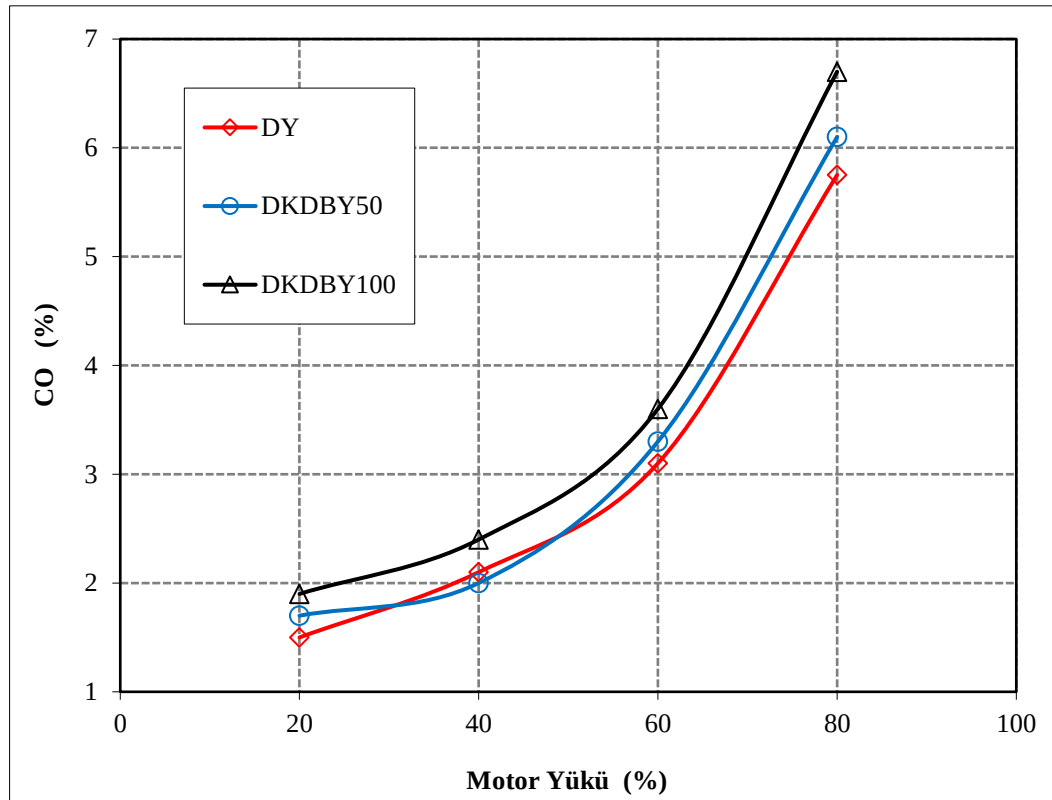
azalmasıyla, NO_x değerlerinin yükselmesi, bu düşüncüyü kuvvetlendirmektedir. DKDBY yakıtlarının kullanımında termik verim ve egzoz gazı sıcaklık değerlerinin, DY yakıtına göre düşük çıkması da bu tespitleri destekleyen diğer unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

10.8.2. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Test Yakıtlarının CO Emisyonu Analizi

CO emisyonları eksik yanma olarak da ifade edilmektedir. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıt numunelerinin CO emisyonu değerlerinin yükün artmasına bağlı değişim verileri Tablo 10.33 ve Şekil 10.33 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.33. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki CO emisyonu değerleri

Yakıt Türü	Dizel motor CO emisyonu değerleri (%)			
	%20 yük	%40 yük	%60 yük	%80 yük
DY	1,5	2,1	3,1	5,75
DKDBY50	1,7	2	3,3	6,1
DKDBY100	1,9	2,4	3,6	6,7



Şekil 10.33. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki CO emisyonu değerleri

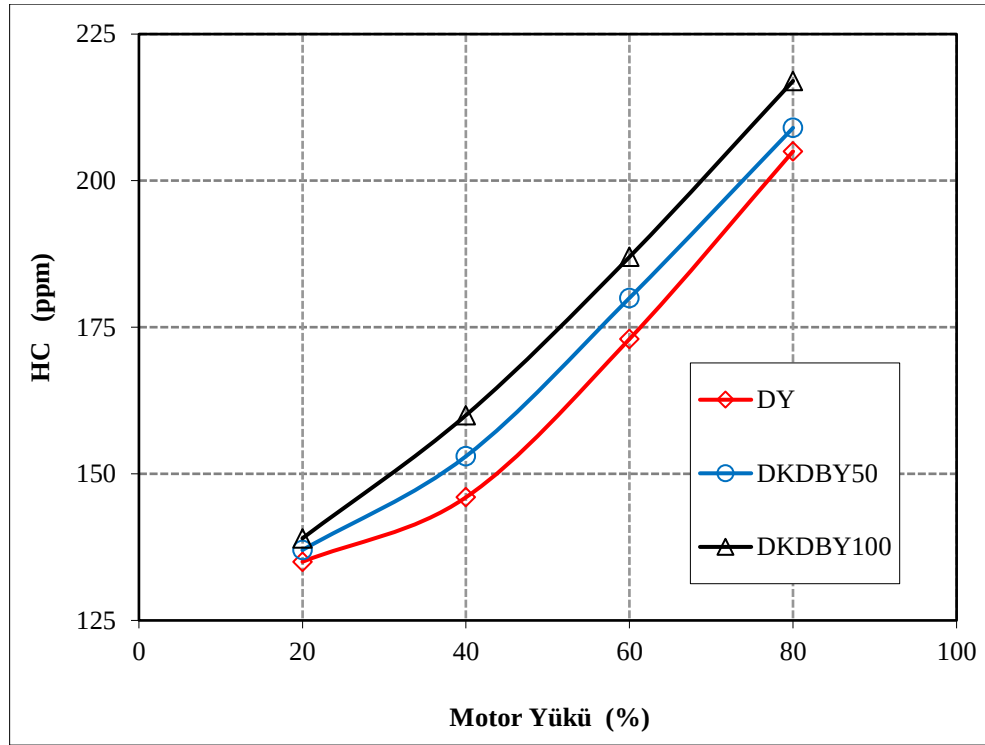
Yükün artmasıyla beraber kütleli olarak daha fazla yakıt kullanılması, tüm test yakıtlarında CO emisyonlarını arttırmıştır. DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen CO emisyonu değerlerinin, DY yakıtının değerlerine kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 5,3 ve % 17,4 oranlarında artmış olduğu tespit edilmiştir. Dizel motorlarda CO emisyonu birçok parametreye bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Silindir içerisindeki yakıtın tam yanmaması olarak tarif edilen CO emisyonu; gaz sıcaklığı ve setan sayısının düşük olması, yanma odasındaki oksijen eksikliği ve CO₂ ye dönüşüm için yeterli sürenin olmaması gibi sebepler neticesinde oluşmaktadır (Al-Bogami ve ark., 2013). DY yakıtı içerisindeki DKDBY oranının artması ile CO emisyonu değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. DKDBY yakıtının kütleli yakıt sarfiyatı değerlerinin fazla olması, setan sayısının ve egzoz gazı sıcaklık değerlerinin de düşük olması, CO emisyonu değerlerinin yüksek olmasına sebep olarak gösterilmiştir.

10.8.3. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Test Yakıtlarının HC Emisyonu Analizi

HC emisyonları, yakıtın kısmen veya büyük bir kısmının yanmamasından kaynaklı oluşmaktadır. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıt numunelerinin HC emisyonu değerlerinin yükün artmasına bağlı değişim verileri Tablo 10.34 ve Şekil 10.34 'de gösterilmiştir.

Tablo10.34. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki HC emisyonu değerleri

Yakıt Türü	Dizel motor HC emisyonu değerleri (ppm)			
	%20 yük	%40 yük	%60 yük	%80 yük
DY	135	146	173	205
DKDBY50	137	153	180	209
DKDBY100	139	160	187	217



Şekil 10.34. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değışken yükteki HC emisyonu değeri

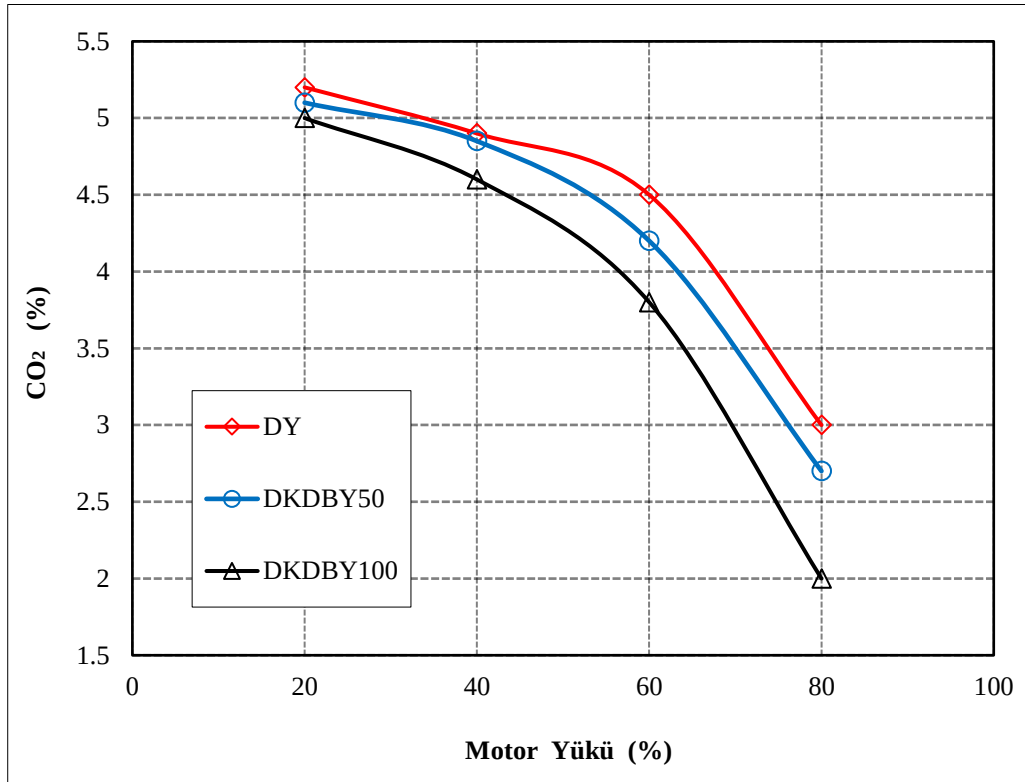
Yükün artması ile beraber tüm test yakıtlarının HC emisyon değeri artışı olduğı görülmüştür. En düşük HC emisyonu DY yakıtının kullanımında ölçülürken, en yüksek HC emisyonu ise DKDBY100 yakıtının kullanımında ölçülmüştür. DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen HC emisyonu değeri, DY yakıtının değeriyle kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 3,6 ve % 7,1 oranlarında artmış olduğı tespit edilmiştir. DKDBY içeriği test yakıtlarının motordaki kullanımında HC emisyonu değeri, DY yakıtına göre yüksek çıktığı görülmüştür. DY yakıtının ÖYT değeri, setan sayısının ve egzoz gazı sıcaklık değeri, HC emisyonu değeri yüksek olmasına sebep olarak gösterilmiştir. Diğer taraftan, DKDBY100 yakıtının ısı enerjisi değeri düşük ve yoğunluk değeri yüksek olması sebebiyle, motor aynı ısı enerjisi üretebilmek adına zengin karışım şartlarında çalışmıştır.

10.8.4. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Test Yakıtlarının CO₂ Emisyonu Analizi

Yanma sürecinde buji kıvılcımından yayılan alev kümesinin yayıldığı hacimde bulunan CO konsantrasyonların, oksidasyona uğrayarak CO₂ emisyonuna dönüşmesi sonucunda ortaya çıkan emisyonlar olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir ifade ile kaliteli bir yanmanın egzozdaki yansımasıdır. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıt numunelerinin CO₂ emisyonu değerlerinin yükün artmasına bağlı değişim verileri Tablo 10.35 ve Şekil 10.35 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.35. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki CO₂ emisyonu değerleri

Yakıt Türü	Dizel motor CO ₂ emisyonu değerleri (%)			
	%20 yük	%40 yük	%60 yük	%80 yük
DY	5,2	4,9	4,5	3
DKDBY50	5,1	4,85	4,2	2,7
DKDBY100	5	4,6	3,8	2



Şekil 10.35. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki CO₂ emisyonu değerleri

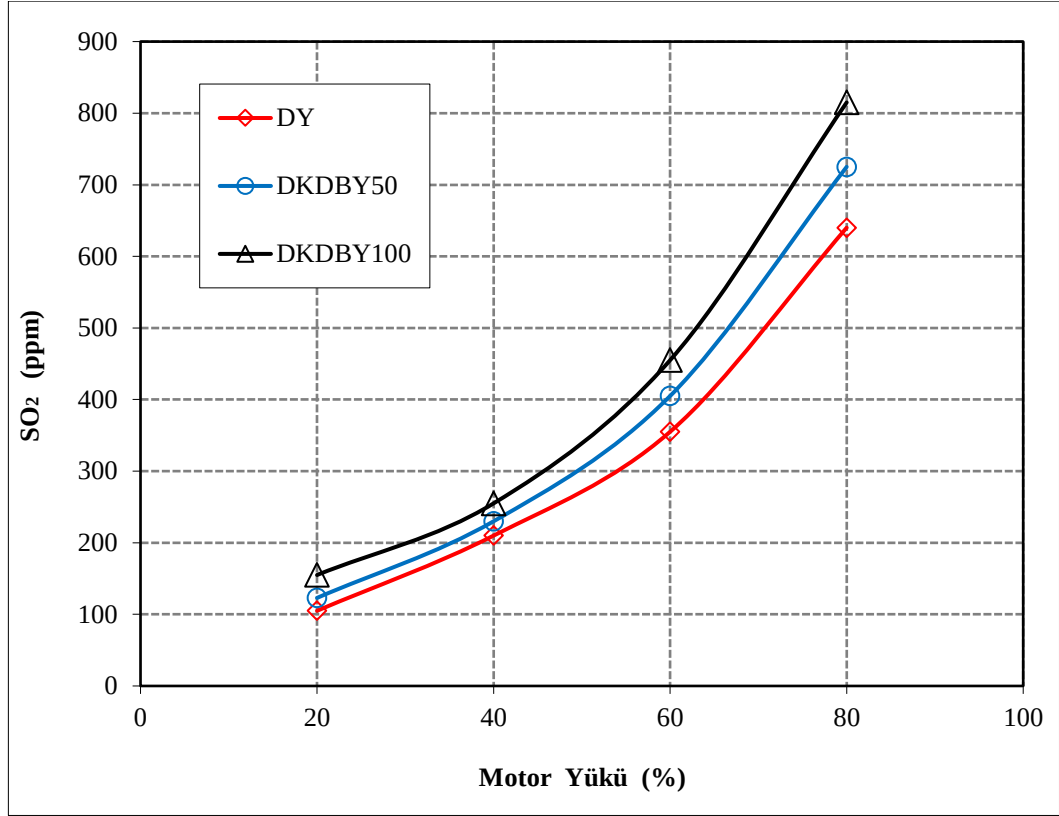
Tüm test yakıtlarında, %20 ve %40 yük şartlarında benzer bir seyir izleyen CO₂ emisyon değerleri, yükün artmasına paralel olarak önemli bir düşüş ölçülmüştür. Sabit devir şartlarında çalışan motorun, maksimum yük şartlarında daha fazla enerji üretebilmesi için zengin karışım şartlarında çalışmasını gerektirmektedir. Bu durum silindir içerisindeki oksijen miktarını düşürmektedir. Bu durumda, CO bileşenleri, CO₂'ye dönüşebileceği yeterli oksijeni bulamamaktadır. DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen CO₂ emisyonu değerlerinin, DY yakıtının değerlerine kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 4,3 ve % 12,5 oranlarında azalmış olduğu tespit edilmiştir. Yükün artması ile beraber silindir içerisindeki oksijen miktarının azalması, CO₂ emisyonlarını azaltmaktadır. DKDBY içerikli yakıtlar, DY yakıtına göre nispeten daha zengin karışım şartlarında çalışmış olması sebebiyle CO₂ emisyonu değerleri daha düşük çıktığı yönünde bir değerlendirme yapılmıştır.

10.8.5. Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Test Yakıtlarının SO₂ Analizi

Yakıt içerisindeki kükürt bileşenlerinin yanma reaksiyonu sürecinde oksitlenerek SO₂ formuna dönüşmesi ile meydana gelen bir emisyon türüdür. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıt numunelerinin SO₂ emisyonu değerlerinin yükün artmasına bağlı değişim verileri Tablo 10.36 ve Şekil 10.36 'de gösterilmiştir.

Tablo 10.36. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değişken yükteki SO₂ emisyonu değerleri

Yakıt Türü	Dizel motor SO ₂ emisyonu değerleri (%)			
	%20 yük	%40 yük	%60 yük	%80 yük
DY	105	210	355	640
DKDBY50	123	230	405	725
DKDBY100	155	255	455	815



Şekil 10.36. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının değışken yükteki SO₂ emisyonu değeri

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtların muhteviyatında mümkün olduğu kadar az kükürt olması istenir. Yakıt içeriğindeki kükürt, silindir içerisindeki yanma reaksiyonu neticesinde oksitlenerek SO₂ formatına bürünüp, diğer gazlarla karışarak egzozdan atılıp doğaya salınmaktadır. Yakıt içerisindeki kükürt konsantrasyonu ne kadar fazla ise SO₂ salınımı aynı oranda yüksek olmaktadır. Motor yükünün artması ile beraber tüm yakıtların kütleli yakıt sarfiyatı değeri arttığı ve bu artışa paralel olarak SO₂ emisyon değeri de arttığı görülmüştür. DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen SO₂ emisyonu değeri, DY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 13,1 ve % 28,2 oranında arttığı belirlenmiştir. Tespiti yapılan bu değeri kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Diğer taraftan bu değeri, kütleli yakıt tüketim değeri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. DY yakıtına kıyasla DKDBY yakıt numunesinin kükürt konsantrasyonu nispeten yüksektir. Bu durum özellikle %60'ın üzerindeki motor yüklerinde daha da belirgin bir farklılığa sebebiyet verdiği belirlenmiştir. Kükürtsüzleştirme işlemi yapılmadan üretilen DBY yakıtlarının SO₂ emisyonu

değerleri Bölüm 10.1.6'de belirtilmişti. DBY nin bu değerleri, kükürtsüzleştirme işlemi yapılan DKDBY yakıtının emisyon değeri ile karşılaştırılmıştır. DKDBY100 yakıtı kullanımında gerçekleşen SO₂ emisyonu değerleri, DBY100 yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 85,4 oranında azaldığı belirlenmiştir. Üretimi gerçekleştirilen yakıtların kükürtsüzleştirme reaksiyonlarının SO₂ emisyonlarının minimize edilmesine ne kadar önemli bir katkı sağladığı, bu mukayese neticesinde anlaşılmıştır.

Yanma reaksiyonu neticesinde kükürt içeriğinin tamamının oksitlenerek SO₂ ye dönüşmediği, bir kısmının silindir duvarı, egzoz manifoldu ve egzoz borusu gibi iç cidarlara yapışmış olduğu düşünülmektedir.

11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, benzinli ve dizel motorlarda kullanılması amacıyla, piroliz yöntemi kullanılarak, atık petrol çamurlarından çeşitli yakıt numuneleri elde edilmiştir. Yakıt numunelerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine ilişkin testler, üretim sürecinin sonunda gerçekleştirilmiştir. Yapılan kimyasal analizlerde, yakıt numunelerinin kükürt muhteiyatının yüksek olduğu tespit edilmiş olup, çeşitli kükürt giderme işlemleri uygulanarak, kükürt oranı düşürülmüştür. Atık petrol çamurundan elde edilen benzin ve dizel benzeri yakıt numunelerinin ilgili motorlarda kullanılabilirliğini ortaya çıkarabilmek amacıyla, motor testine tabi tutulmuştur. Atık petrol çamurundan elde edilen benzin ve dizel benzeri yakıtların, hem kükürtsüzleştirme işlemlerinden önceki halleri hem de kükürtsüzleştirme işlemleri sonundaki halleri motor testine tabi tutulmuştur. Bu yakıt numunelerinin standart yakıt ile çeşitli oranlarda karıştırılması ile elde edilen numuneleri de, ilgili motorlarda test işlemine tabi tutulmuştur. Test işlemine tabi tutulan tüm numunelerden elde edilen motor performansı, özgül yakıt sarfiyatı ve emisyon değerleri standart yakıtın değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadaki gerek yakıt üretim süreci ve gerekse motor test işlemlerine ait sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

1- Atık petrol çamurları, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (T.P.A.O.) Batman Bölge Müdürlüğü'nden alınan özel izinle, Batı Raman bölgesindeki petrol pompaları ve dinlendirme tanklarından tedarik edilmiştir.

2- Atık petrol çamurlarından yakıtların üretimi sürecinde, piroliz reaksiyonu kullanılmış olup, piroliz sıcaklığının ürün verimine ve çeşitliliğine etkisini incelemek amacıyla atık petrol çamuruna, normal atmosfer basıncında, N₂ ortamında ve 30-500°C sıcaklık şartların piroliz işlemi uygulanmıştır.

3- Reaksiyon sürecinde, 70-170 °C aralığında benzin benzeri ürün, 100-110 °C aralığında su+benzin benzeri ürün, 170-500 °C aralığında ise dizel benzeri ürün elde edilmiştir. 500 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda başka bir ürün elde edilememiştir. 500 °C de reaksiyon sonlandırılmış olup, reaktör içerisinde kiremit rengi ince gözenekli bir toprak kütlelerinin kalmış olduğu görülmüştür.

4- Benzin benzeri yakıt üretiminde, ilk ürün 70 °C 'de, son ürün ise 170 °C' de elde edilmiştir. En yüksek ürün veriminin ise 120°C de elde edilebileceği tespit edilmiştir.

5- Dizel benzeri yakıt üretiminde ilk ürün 175 °C 'de, son ürün ise 500 °C' de elde edilmiştir. En yüksek ürün veriminin ise 300°C de elde edildiği gözlemlenmiştir.

6- Reaksiyon sürecindeki ideal sürenin belirlenebilmesi aşamasında, reaktörün toplam kütledeki ağırlık kaybı tespit edilerek alıkonma süreleri tespit edilmiştir. Alıkonma süresi, benzin benzeri yakıt için ortalama 40 dakika iken, bu süre dizel yakıt için ortalama 60 dakika olarak belirlenmiştir. Bu süreden sonra reaktördeki ağırlık kaybının yok denecek kadar az olduğu gözlemlenmiştir.

7- Dizel benzeri yakıt numunesi hakkında ön fikir sahibi olmak adına, dizel benzeri yakıt 25'er °C distilasyon sıcaklık değerlerinde sınıflandırılmış olup, bu numunelerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Bu incelemede, yüksek sıcaklık değerlerinde elde edilen numunelerin yüksek kükürt muhteviyatına sahip olduğu tespit edilmiştir.

8- Üretimi gerçekleştirilen benzin ve dizel benzeri yakıt numunelerinin kükürt içeriği standart değer aralığının çok üzerinde olması sebebiyle her iki yakıt numunesinde de kükürtsüzleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

9- Üretilen benzin benzeri yakıt numunesi içerisindeki % 0,95 oranında kükürt içeriğinin olduğunun tespit edilmesiyle, $[Ca(OH)_2]$, CaO , perlit ve zeolit gibi katkı maddeleri reaksiyon öncesi farklı oranlarda kullanılarak, kükürt giderme yönünde reaksiyonlar gerçekleştirilmiştir. Katkı maddelerinin % 10 oranındaki ilavesinin, diğer oranlardaki kullanımlara kıyasla daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Perlit için % 64,21 , kalsiyum hidroksit için %50,6 , zeolit için % 46,3 ve kalsiyum oksit için ise % 29,8 oranlarında bir kükürt azalması gerçekleştiği tespit edilmiştir. Kükürtsüzleştirme işleminde en iyi performans %10 perlit kullanımında gerçekleşmiştir. Perlit için, %10 kullanım oranının yeterli olduğu, %10 dan yüksek orandaki perlit kullanımında dikkate değer bir azalma olmadığı gözlemlenmiştir.

10- Üretilen dizel benzeri yakıt numunesi içerisindeki % 1,52 oranında kükürt içeriğinin olduğunun tespit edilmesiyle, $[Ca(OH)_2]$, CaO , perlit ve zeolit gibi katkı maddeleri reaksiyon öncesi farklı oranlarda kullanılarak, kükürt giderme yönünde reaksiyonlar gerçekleştirilmiştir. Katkı maddelerinin %10 oranındaki ilavesinin, diğer oranlardaki kullanımlara kıyasla daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Perlit için %52,63 , kalsiyum hidroksit için % 41,5 , zeolit için %39,5 ve kalsiyum oksit için ise % 38,8 oranlarında bir kükürt azalması

gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Kükürtsüzleştirme işleminde en iyi performans % 10 perlit kullanımında gerçekleşmiştir. Perlit için, % 10 kullanım oranının yeterli olduğu, % 10 dan yüksek orandaki perlit kullanımında dikkate değer bir azalma olmadığı gözlemlenmiştir.

11- Dizel ve benzin benzeri yakıt numunelerinin tamamı % 10 perlit karışımı reaksiyona tabi tutulmuş olmasına rağmen dizel benzeri yakıt numunesi içerisinde % 0,722 ve benzin benzeri yakıt numunesi içerisinde ise % 0,341 oranlarında kükürt içeriği olduğu yapılan analizlerle tespit edilmiştir. Perlit karışımı reaksiyonlar neticesinde her ne kadar kükürt içeriği önemli ölçüde düşürülmüş olsa da tespiti yapılan bu oranlar kabul edilebilir sınırların üzerindedir. Bu sebeple asidik kükürtsüzleştirme işlemlerinin yapılmasına karar verilmiştir.

12- Sülfürik Asit (H_2SO_4) , asetik asit (CH_3COOH) ve formik asit (CH_2O_2) asidik kükürtsüzleştirme reaksiyonlarında katalizör olarak kullanılmıştır. Çözücü olarak ise hidrojen peroksit (H_2O_2) kullanılmıştır. Yakıt numunelerine ilave edilmek üzere asetik ve formik asit, hidrojen peroksit ile 1/2 ve 1/1 oranlarında karıştırılarak çözelti hazırlanmıştır. Bu çözeltiler asidik katalizör olarak kullanılmıştır. Sülfürik asit için çözücüye ihtiyaç duyulmamış olup, direk kullanılmıştır. Daha sonra hazırlanan bu çözeltiler 2,5 , 5 , 7,5 , 10 gr olarak, % 10 perlit reaksiyonuna tabi tutulmuş olan dizel ve benzin benzeri yakıt numunelerine uygulanmıştır.

13- Benzin benzeri yakıt numuneleri üzerinde yapılan asidik reaksiyonlar neticesinde katalizör miktarının artmasıyla beraber kükürt miktarının azaldığı görülmüştür. Hem asetik asit hem de formik asit için hazırlanan çözeltilerde, 1/2 oranının 1/1 oranına kıyasla daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Formik asidin; asetik aside kıyasla daha etken olduğu, formik asitin yakıt içerisindeki kükürt bileşenleri ile daha iyi bir kimyasal bir bağ yapısı kurarak alt faza geçme kapasitesinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Benzin benzeri yakıt numunelerindeki tüm asidik reaksiyonlarda, 5 gr ölçeğine kadar ciddi bir azalma olduğu, 5 gr 'dan sonraki katalizör ilavesinin, yakıt içeriğinde kükürt miktarına önemsenmeyecek miktarda etkisinin olduğu görülmüştür. 1/2 Formik asit- H_2O_2 çözeltisinin 5 gram oranındaki kullanılmasıyla benzin benzeri yakıt içerisindeki kükürt miktarının % 88,64 oranında azaldığı ve TS6838 ve EN ISO 8754 standart değerlerine oldukça yaklaşıldığı görülmüştür.

14- Dizel benzeri yakıt numuneleri üzerinde yapılan asidik reaksiyonlar neticesinde katalizör miktarının artmasıyla beraber kükürt miktarının azaldığı görülmüştür. Hem asetik asit hem de formik asit için hazırlanan çözeltilerde, 1/2 oranının 1/1 oranına kıyasla daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Formik asidin; asetik aside kıyasla daha etken olduğu, formik asitin yakıt içerisindeki kükürt bileşenleri ile daha iyi bir kimyasal bir bağ yapısı kurarak alt faza geçme kapasitesinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Dizel benzeri yakıt numunelerindeki tüm asidik reaksiyonlarda, 7,5 gr ölçeğine kadar ciddi bir azalma olduğu, 7,5 gr 'dan sonraki katalizör ilavesinin, yakıt içeriğinde kükürt miktarına önemsenmeyecek miktarda etkisinin olduğu görülmüştür. 1/2 Formik asit- H₂O₂ çözeltinin 7,5 gram oranındaki kullanılmasıyla dizel benzeri yakıt içerisindeki kükürt miktarının % 91,32 oranında azaldığı ve TS6838 ve EN ISO 8754 standart değerlerine oldukça yaklaşıldığı görülmüştür.

15- Kükürtsüzleştirme işlemleri bir bütün halinde değerlendirilmiş olup, benzin benzeri yakıt içeriğindeki kükürtün, katalizörsüz üretimde % 0,95 olan değeri, bazik katalizör kullanımında % 0,34'e, asidik katalizör kullanımında ise % 0,106 değerindeki bir orana kadar düşürülebildiği tespit edilmiştir. Dizel benzeri yakıt içeriğindeki kükürtün ise katalizörsüz üretimdeki % 1,52 olan değeri, bazik katalizör kullanımında % 0,72'ye, asidik katalizör kullanımında ise % 0,132 değerindeki bir orana kadar düşürülebildiği tespit edilmiştir.

16- Yapılan kükürtsüzleştirme neticesinde elde edilen benzin benzeri yakıt numunesi, Düşük Kükürtlü Benzin Benzeri Yakıt (DKBBY100) olarak isimlendirilmiştir. Fiziksel ve kimyasal analizleri yapılarak, motor testine tabi tutulmuştur.

17- Yapılan kükürtsüzleştirme neticesinde elde edilen dizel benzeri yakıt numunesi, Düşük Kükürtlü Dizel Benzeri Yakıt (DKDBY100) olarak isimlendirilmiştir. Fiziksel ve kimyasal analizleri yapılarak, motor testine tabi tutulmuştur.

18- Benzinli motorda test işlemine tabi tutulacak olan BY, BBY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının, yoğunluk, viskozite kaynama noktası, alt ısı değer, Stokiyometrik hava yakıt oranı, oktan sayısı, buharlaşma ısı ve kükürt miktarı değerleri tespit edilmiştir. BBY yakıtının kükürt miktarı haricindeki diğer fiziksel ve kimyasal özelliklerin, sınır değerler aralığında olduğu tespit edilmiştir.

19- Dizel motorda test işlemine tabi tutulacak olan yakıtlarının ise yoğunluk, viskozite parlama noktası, alt ısı değeri, setan sayısı ve kükürt miktarı değerleri tespit edilmiştir. DBY yakıtının kükürt miktarı haricindeki diğer fiziksel ve kimyasal özelliklerin sınır değerler aralığında olduğu tespit edilmiştir.

20- Benzin ve dizel benzeri yakıt numunelerinin damıtma eğrileri çıkarılmıştır. BY, BBY ve DKBBY yakıtlarının ilk damıtma sıcaklıkları sırasıyla, 42, 84 ve 93 °C olarak tespit edilken, son damıtma sıcaklıkları ise sırasıyla 220, 175 ve 175 °C olarak tespit edilmiştir. DY, DBY ve DKDBY yakıtlarının ilk damıtma sıcaklıkları ise sırasıyla 167, 180 ve 183 °C olarak tespit edilirken, son damıtma sıcaklıkları ise sırasıyla 328, 430 ve 423 °C olarak tespit edilmiştir.

21- Kütlesel yakıt sarfıyatı, birim zamanda tüketilen gram cinsinden yakıt sarfıyatı olarak tanımlanmaktadır. Test yakıtlarının tamamında yükün artması ile beraber kütlesel yakıt tüketimi değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

BBY25, BBY50, BBY75 ve BBY100 yakıtlarının kullanımında ölçülen kütlesel yakıt sarfıyatı değerlerinde, BY yakıtının değerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla % 2,7, % 9,6 , % 16,4 ve % 29,9 oranında artış olduğu tespit edilmiştir. DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen kütlesel yakıt sarfıyatı değerleri, BY yakıtının değerine kıyasla ortalama olarak sırasıyla, %7,7 ve %19,9 oranında artmıştır.

DBY25, DBY50, DBY75 ve DBY100 yakıtlarının kullanımında ölçülen kütlesel yakıt sarfıyatı değerlerinin, DY yakıtının değerlerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla % 4,6 , % 8,96 , % 14,85 ve % 20,7 oranında artmış olduğu tespit edilmiştir. DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen özgül yakıt sarfıyatı değerleri, DY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 4,2 ve %13,6 oranında artmıştır.

22- Özgül yakıt tüketimi, birim güç başına tüketilen kütlesel yakıt sarfıyatı olarak tanımlanmaktadır. Test yakıtlarının tamamında yükün artması ile beraber ÖYT değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

BBY25, BBY50, BBY75 ve BBY100 yakıtlarının kullanımında ölçülen özgül yakıt tüketim değerlerinde, BY yakıtının değerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla % 0,1 , % 0,55 , % 1,15 ve % 2,31 oranında artış olduğu tespit edilmiştir. DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen özgül yakıt sarfıyatı değerleri, BY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 0,55 ve % 1,56 oranlarında artmış olduğu tespit edilmiştir.

DBY25, DBY50, DBY75 ve DBY100 yakıtlarının kullanımında ölçülen özgül yakıt tüketim değerlerinin, DY yakıtının değerlerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla % 3,8 , %7,5 , %12,2 ve %17 oranlarında artmış olduğu tespit edilmiştir. DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen özgül yakıt sarfıyatı değerleri, DY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 3,4 ve % 10,9 oranlarında azalmış olduğu tespit edilmiştir.

23- Termik verim, motordaki ısı verimlilik olarakta ifade edilmektedir. Termik verim analizinin incelenmesinin temel sebebi, yakıttan elde edilen ısı enerjisinin ne kadarının faydalı işe dönüştürülebildiğinin belirlenmesidir. Termik verim, alt ısı ve ÖYT değerlerinin kullanılması ile hesaplanmaktadır.

BBY25, BBY50, BBY75 ve BBY100 yakıtlarının kullanımında hesaplanan termik verim değerlerinde, BY yakıtının değerine kıyasla, ortalama olarak, sırasıyla % 0,01 , % 0,7 , % 1,4 ve % 2,7 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının motordaki kullanımında gerçekleşen termik verimin, BY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, %0,9 ve % 2,17 oranında azalmış olduğu görülmüştür.

DBY25, DBY50, DBY75 ve DBY100 yakıtlarının kullanımında hesaplanan termik verim değerlerinin, DY yakıtının değerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla % 2,4 , % 4,8 , % 8,3 ve % 11,4 oranlarında azalmış olduğu tespit edilmiştir. DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen termik verim değerlerinin, DY yakıtın değerine kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 1,5 ve % 6,9 oranlarında azalmış olduğu tespit edilmiştir.

24- Egzoz gazı sıcaklık değerlerinin tespitinin yapılması için manifold üzerinde sabit bir nokta tespit edilerek, tüm test yakıtlarında sıcaklık analizi aynı noktadan alınmıştır. Bu tespit, silindir içi yanma sıcaklığı hakkında ipuçları vermektedir.

BY, BBY25, BBY50, BBY75 ve BBY100 yakıtlarının ortalama egzoz sıcaklık değerleri, sırasıyla 293, 295, 288, 285 ve 279 °C olarak tespit edilmiştir. BY, DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının ortalama egzoz sıcaklık değerleri sırasıyla 293, 292 ve 288 °C olarak tespit edilmiştir.

DY, DBY25, DBY50, DBY75 ve DBY100 yakıtlarının ortalama egzoz sıcaklık değerleri sırasıyla 208, 205, 201, 197 ve 195 °C olarak tespit edilmiştir. DY, DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının ortalama egzoz sıcaklık değerleri sırasıyla 208, 202 ve 194 °C olarak tespit edilmiştir.

25- NO_x emisyonları, motorun yüksek sıcaklık değerlerindeki çalışması şartlarında meydana gelmektedir. NO_x terimi, NO ve NO₂'nin atmosferdeki toplam yoğunluğunun ifadesidir. Kullanılan havanın içeriğindeki oksijen, aşırı sıcak çalışma şartlarında ve yanma için yeterli zaman oluştuğunda, azot ile reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucunda NO_x emisyonları oluşur.

BBY25, BBY50, BBY75 ve BBY100 yakıtlarının motordaki kullanımında ölçülen NO_x emisyonu değerlerinin, BY yakıtının değerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla % 0,01 , % 2,4 , % 6,4 ve %9,5 oranında artmış olduğu tespit edilmiştir. DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen NO_x emisyonu değerlerinin, BY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 1,6 ve % 6,3 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

DBY25, DBY50, DBY75 ve DBY100 yakıtlarının motordaki kullanımında ölçülen NO_x emisyonu değerlerinin, DY yakıtının değerlerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla % 0,85 , % 3,1 , % 5,9 ve % 7,8 oranlarında artmış olduğu tespit edilmiştir. DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen NO_x emisyonu değerlerinin, DY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 1,6 ve % 5,2 oranında azaldığı belirlenmiştir.

26- CO konsantrasyonları, gazların ısısının düşmesiyle beraber oksidasyona uğramayıp, CO₂ emisyonuna dönüşmeden diğer gazlarla birlikte egzozdan atılması olarak tanımlanmaktadır. diğer bir deyişle eksik yanmanın neticesinde oluşan bir emisyon türüdür.

BBY25, BBY50, BBY75 ve BBY100 yakıtlarının motordaki kullanımında ölçülen CO emisyonu değerlerinin, BY yakıtının değerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla % 0,2, % 0,4, % 0,7 ve % 1,3 oranlarında artmış olduğu tespit edilmiştir. DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen CO emisyonu değerlerinin, BY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 0,16 ve % 1,65 oranında arttığı belirlenmiştir.

DBY25, DBY50, DBY75 ve DBY100 yakıtlarının motordaki kullanımında ölçülen CO emisyonu değerlerinin, DY yakıtının değerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla % 2,4 , % 10,4 , % 11,7 ve % 18,9 oranlarında artmış olduğu tespit edilmiştir. DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen CO emisyonu değerlerinin, DY yakıtının değerlerine kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 5,3 ve % 17,4 oranlarında artmış olduğu tespit edilmiştir.

27- HC emisyonları yakıtın kısmen veya büyük bir kısmının yanmamasından kaynaklı olarak oluştuğu bilinmektedir.

BBY25, BBY50, BBY75 ve BBY100 yakıtlarının motordaki kullanımında ölçülen HC emisyonu değerlerinin, BY yakıtının değerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla % 0,35 , % 3,2 , % 7 ve % 10,8 oranlarında artmış olduğu tespit edilmiştir. DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen HC emisyonu değerlerinin, BY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, %1,4 ve % 12,5 oranında arttığı belirlenmiştir.

DBY25, DBY50, DBY75 ve DBY100 yakıtlarının motordaki kullanımında ölçülen HC emisyonu değerlerinin, DY yakıtının değerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla % 4,5 , % 5,8 , % 11,1 ve % 14,8 oranlarında artmış olduğu tespit edilmiştir. DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen HC emisyonu değerlerinin, DY yakıtının değerlerine kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 3,6 ve % 7,1 oranlarında artmış olduğu tespit edilmiştir.

28- CO₂ emisyonları, yakıtın tam yanmaya daha yakın gerçekleştiği durumunu ifade etmektedir.

BBY25, BBY50, BBY75 ve BBY100 yakıtlarının motordaki kullanımında ölçülen CO₂ emisyonu değerlerinde, BY yakıtının değerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla % 1,9 oranında bir artma, % 1,8 , % 3,2 ve % 6,1 oranlarında azalma olduğu tespit edilmiştir. DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen CO₂ emisyonu değerlerinin, BY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 1,1 ve % 1,65 oranında azaldığı belirlenmiştir.

DBY25, DBY50, DBY75 ve DBY100 yakıtlarının motordaki kullanımında ölçülen CO₂ emisyonu değerlerinin, DY yakıtının değerlerine kıyasla ortalama olarak, sırasıyla % 2, % 8, % 18 ve % 24,9 oranlarında azalmış olduğu tespit edilmiştir. DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen CO₂ emisyonu değerlerinin, DY yakıtının değerlerine kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 4,3 ve % 12,5 oranlarında azalmış olduğu tespit edilmiştir.

29- SO₂ emisyonu, yakıt içerisindeki kükürt bileşenlerinin yanma reaksiyonu sürecinde oksitlenerek SO₂ formuna dönüşmesi ile meydana gelen bir emisyon türüdür.

BBY25, BBY50, BBY75 ve BBY100 yakıtlarının motordaki kullanımında ölçülen SO₂ emisyonu değerlerinin, BY yakıtının değerine kıyasla ortalama

olarak, sırasıyla % 113, % 293, % 425 ve % 656 oranlarında artmış olduğu tespit edilmiştir. DKBBY50 ve DKBBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen SO₂ emisyonu değerlerinin, BY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 5 ve % 12,4 oranında arttığı belirlenmiştir. BBY nin bu değerleri, kükürtsüzleştirme işlemi yapılan DKBBY yakıtının emisyon değeri ile karşılaştırılmıştır. DKBBY100 yakıtı kullanımında gerçekleşen SO₂ emisyonu değerleri, BBY100 yakıtına kıyasla ortalama olarak % 86,1 oranında azaldığı belirlenmiştir.

Tüm yük şartlarındaki SO₂ emisyonu ortalamaları dikkate alınarak yapılan hesaplamada, DY yakıtına kıyasla, DBY25, DBY50, DBY75 ve DBY100 yakıtlarının sırasıyla % 172, % 394, % 574 ve % 778 oranlarında ciddi bir artış olduğu belirlenmiştir. DKDBY50 ve DKDBY100 yakıtlarının kullanımında gerçekleşen SO₂ emisyonu değerlerinin, BY yakıtına kıyasla ortalama olarak sırasıyla, % 13,1 ve % 28,2 oranında arttığı belirlenmiştir. DBY nin bu değerleri, kükürtsüzleştirme işlemi yapılan DKBBY yakıtının emisyon değeri ile karşılaştırılmıştır. DKBBY100 yakıtı kullanımında gerçekleşen SO₂ emisyonu değerleri, DBY100 yakıtına kıyasla ortalama olarak % 85,4 oranında azaldığı belirlenmiştir.

Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (T.P.A.O.) Batman Bölge Müdürlüğü'nden alınan özel izinle, Batı Raman bölgesindeki petrol pompaları ve dinlendirme havuz ve tanklarındaki atıl durumdaki çamurlar tedarik edilmiştir. Petrol çamuru numuneleri, farklı zamanlarda ve farklı sondaj kuyularından temin edilmiştir. Ham petrolün çıkarılmış olduğu bölgedeki toprağın fiziksel yapısı, atık petrol çamurlarının sondaj kuyusundan çıkarıldıktan sonra ne kadar süre dış ortamda bekletildiği ve çıkarılan ham petrolün gravite değeri gibi kriterler atık petrol çamuru numuneleri arasında farklılık oluşturmaktadır. Bu farklılıklar sebebiyle üretim verimindeki çelişkilerin giderilmesi için, üretim prosesindeki tüm numunelerin verimsel ortalaması alınarak çalışmalar yürütülmüştür. Motor test işlemlerinde, motorda herhangi bir modifikasyon yapılmamış olup, tüm test numunelerinin aynı şartlarda test edilebilmesi için ön fizibilite çalışması yapılmıştır. Ortam sıcaklığı, dış basınç, motorun kararlı sıcaklığı ve motorun teknik özellikleri gibi unsurların eşit nicelikte olması temin edilmiştir.

Atık petrol çamurlarından üretilen benzin ve dizel benzeri yakıtların, gerek laboratuvar analizleri ve gerek se motor testlerinin sonuçları bir bütün halinde değerlendirildiğinde; değişken hız ve yük şartlarında çalışan içten yanmalı motorlarda sorunsuz ve modifiyesiz bir şekilde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında üretilmiş olan yakıt numunelerinin, ilgili standart yakıt ile daha benzer özelliklerde olabilmesi, performans ve emisyon değerlerinin daha da iyileştirilebilmesi için ek öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Yakıtların üretimi elektrikli bir reaktör yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Reaktörün ihtiyaç duyduğu ısı enerjisinin, güneş enerjisi veya doğalgaz gibi üretim maliyetini minimize edilebilecek statüdeki enerji kaynaklarından tercih edilmesi önerilmiştir.
- DKDBY yakıtının, dizel yakıta daha benzer teknik özelliklere sahip olabilmesi için, etil alkol, dimetil eter, propilen glikol vb. alkol türevli katkı maddeleri ile desteklenebileceği önerilmiştir. Bu katkı maddeleri, özellikle setan sayısını ve oksijen içeriğini arttırıcı, yoğunluk ve viskozite değerini ise düşürücü özelliklerde olması önerilmektedir. Belirtilen katkı maddelerinin DKDBY yakıtına ilavesi ile elde edilecek yeni numunenin motor performans ve emisyon değerleri araştırılabilir.
- Setan sayısı ve oksijen içeriği yüksek olan bir biyodizel ile DKDBY yakıtının çeşitli oranlarda karıştırılması ile elde edilecek yakıt numunesinin motordaki davranışı araştırılabilir.
- BY yakıtına göre yoğunluk ve viskozite değeri nispeten yüksek olan DKBBY yakıtına alkol türevli katkı maddelerinin ilavesi ile elde edilecek olan yeni yakıt numunelerinin, benzinli motordaki testleri gerçekleştirilebilir.
- DKBBY ve DKDBY yakıtlarına köpük önleyici katkı maddelerinin ilave edilerek otomobillerde kullanılabilirliği sağlanabilir.
- Ülkemizin enerjiye olan ihtiyacı, ülkemizde yeni tespit edilen ham petrol rezervleri, ortaya çıkan ve çıkacak olan atığın önemli miktarlarda olacağı hususları bir bütün halinde değerlendirildiğinde, atık petrol çamurlarının endüstriyel bazda değerlendirilmesinin "milli bir proje" kapsamında değerlendirilmesi gerektiği, sondaj kuyularına yakın olarak kurulacak olan atık petrol işleme tesislerinin oluşturulması önerilmektedir.

11. KAYNAKLAR

- Abro, R., Abdeltawab, A.A., Al-Deyab, S.S., Yu G., Qazi A.B., Gao S., Chen X., 2014, A review of extractive desulfurization of fuel oils using ionic liquids, *RSC Advances*, 4 (67), 35302-35317.
- Aitani, A., Ali, M., Al-Ali, H., 2000, A review of non-conventional methods for the desulfurization of residual fuel oils, *Pet. Sci. Technol.*, 18, (5-6), 537-554.
- Al-Bogami, S.A., Lasa, H.I.D., 2013, Catalytic conversion of benzothiophene over a H-ZSM5 based catalyst, *Fuel*, 108 490-501.
- Ali, M.F., Al-Malki, A., El-Ali, B., Martinie, G., Siddiqui, M.N., 2006, Deep desulphurization of gasoline and diesel fuels using non-hydrogen consuming techniques, *Fuel*, 85(10-11), 1354-1363.
- Ateş F., Pütün A.E., Pütün E., 2005, Fixed bed pyrolysis of Euphorbia rigida with different catalysts, *Energy Conversion and Management*, 46 (3), 421-432.
- Ayen, R.J., Swanstrom, C.P., 1992, Low temperature thermal treatment for petroleum refinery waste sludges, *Environmental Progress*, 11, 127-130.
- Aydın H., 2011, Atık taşıt lastiklerinden yakıt üretimi ve dizel motorlarında kullanımının araştırılması, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 40-44.
- Aydın, H., İlkılıç, C., 2012, Optimization of fuel production from waste vehicle tires by pyrolysis and resembling to diesel fuel by various desulfurization methods *Fuel*, 102, 605-612.
- Ayllon, M., Aznar, M., Sanchez, J.L., Gea, G., Arauzo, J., 2006, Influence of temperature and heating rate on the fixed bed pyrolysis of meat and bone meal, *Chemical Engineering Journal*, 121(2-3), 85-96.
- Azadi, P., Inderwildi, O.R., Farnood, R., King, D.A., 2013, Liquid fuels, hydrogen and chemicals from lignin: A critical review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 506-523.
- Babich, I.V., Moulijn, J.A., 2003, Science and technology of novel processes for deep desulfurization of oil refinery streams: a review, *Fuel*, 82 (6), 607-631.

- Banapurmatha, N.R., Tewaria, P.G., 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.
- Bandyopadhyay, S., Chowdhury, R., Bhattacharjee, C., Pan, S., 2013, Simultaneous production of biosurfactant and ULSD (ultra low sulfur diesel) using *Rhodococcus* sp. in a chemostat, *Fuel*, 113, 107-112.
- Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., 1995, İçten Yanmalı Motorlar, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Matbası, Ankara.
- B. Pawelec, R.M. Navarro, J.M. Campos-Martin, J.L.G. Fierro, 2011, Towards near zero-sulfur liquid fuels: a perspective review, *Catalysis Science Technology*, 10 (1), 23-42.
- Bridgwater, A.V., 1990, Biomass pyrolysis technology, *Biomass for Energy and Industry*, 5th E.C. Conference, Elsevier Applied. Sci., London, New York, 2, 489-496.
- Bridgwater, A.V., Bridge, S.A., 1991, Pyrolysis liquids upgrading and utilization, *Elsevier Applied Science*, 12, 145-165.
- Bridgwater, A.V., Cottam, L.M., 1992, Opportunities for biomass pyrolysis liquids production and upgrading, *Energy & Fuels*, 6 (2), 113-120.
- Bridgwater, A.V., Meier, D., Radlein, D., 1999, An overview of fast pyrolysis of biomass, *Organic Geochemistry*, 1479-1493.
- Bridgwater, A.V., Toft, A.J., Brammer, J.G., 2002, A Techno-Economic comparison of power production by biomass fast pyrolysis with gasification and combustion, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6 (3), 181-246.
- Campos-Martin, J.M., Capel-Sanchez, M.C., Perez-Presas, P., Fierro, J.L.G., 2010, Oxidative processes of desulfurization of liquid fuels, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 85 (7), 879-890.
- Capel-Sanchez, M.C., Perez-Presas, P., Campos-Martin, J.M., Fierro, J.L.G., 2010, Highly efficient deep desulfurization of fuels by chemical oxidation, *Catalysis. Today*, 157 (1-4), 390-396.
- Chang, Y.M., Chen, M.Y., 1993, Industrial waste to energy by circulating fluidized bed combustion *Resources, Conservation and Recycling*, 9, 280-281. Cheng, S., Wang, Y., Gao N., Takahashi F., Li A., Yoshikawa K., 2016, Pyrolysis of oil sludge with oil sludge ash additive employing a stirred tank reactor, *Journal of Analytical Applied Pyrolysis*, 120 511-520.

- Chang, C.Y., Shie, J.L., Lin, J.P., Wu, C.H., Lee, D.J., Chang, C.F., 2000, Major Products Obtained from the Pyrolysis of Oil Sludge, *Energy Fuels*, 14 , 1176-1183.
- Chen, G., Zhang, X., Ma, W., Yan, B., Li, Y., 2014, Co-pyrolysis of corn-cob and waste cooking-oil in a fixed bed reactor with HY upgrading process, *Energy Procedia*, 61, 2363-2366.
- Cheng, S., Wang, Y., Gao, N., Takahashi, F., Li, A., Yoshikawa, K., 2016, Pyrolysis of oil sludge with oil sludge ash additive employing a stirred tank reactor, *Journal of Analytical Applied Pyrolysis*, 120, 511-520.
- Cheng, S., Wang, Y., Fumitake, T., Kouji, T., Li, A., Kunio Y., 2017, Effect of steam and oil sludge ash additive on the products of oil sludge pyrolysis, *Applied Energy*, 185, 146-157.
- Cheng, S., Chang, F., Zhang, F., Huang, T., Yoshikawa, K., Zhang H., 2018, Progress in thermal analysis studies on the pyrolysis process of oil sludge. *Thermochimica Acta*, 663, 125-136.
- Conesa, J.A., Moltó, J., Ariza, J., Ariza, M., García-Barneto, A., 2014, Study of the thermal decomposition of petrochemical sludge in a pilot plant reactor, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 107, 101-106.
- Cooper, G.R., Cricchi, G., Gineste, J., Poetzel, R., Vissers, J., 1995, Oil Refinery Waste, Disposal Methods, Quantities and Costs 1993 Survey, Conservation of Clean Air and Water in Europe, Brüksel, 1-39.
- Çanakçı, M., 2007, Combustion Characteristics of a Turbocharged DI Compression Ignition Engine Fueled with Petroleum Diesel Fuels and Biodiesel, *Bioresource Technology*, 98 (6), 1167–1175.
- Da Silva, L.J., Alves, F.C., de França, F.P., 2012, A review of the technological solutions for the treatment of oily sludges from petroleum refineries, *Waste Management Research*, 30 (10), 1016-1030.
- Dehghan, R., Anbia, M., 2017, Zeolites for adsorptive desulfurization from fuels: A review, *Fuel Processing Technology*, 167, 99-116.
- Demirbaş, A., 2004, Pyrolysis of municipal plastic wastes for recovery of gasoline-range hydrocarbons, *Journal of Analytical Applied Pyrolysis*, 72 (1), 97-102.
- Dhir, S., Uppaluri, R., Purkait, M.K., 2009, Oxidative desulfurization: kinetic modeling, *Journal of Hazardous Materials*, 161 (2-3), 1360-1368.

- Encinar, J.M., Beltran, F.J., Ramiro, A., Gonzales, J.F., 1998, Pyrolysis/Gasification of agricultural residues by carbon dioxide in the presence of different additives: Influence of variables, *Fuel Processing Tech.*, 55 (3), 219-233.
- González-García, O., Cedenõ-Caero, L., 2009, V-Mo based catalysts for oxidative desulfurization of diesel fuel, *Catalysis Today*, 148 (1-2), 42-48.
- Gore, W., 2001, Method of desulfurization of hydrocarbons, USA Patent, 6, 274-785.
- Huang, W.C., Huang, M.S., Huang, C.F., Chen, C.C., Ou, K.L., 2010, Thermochemical conversion of polymer wastes into hydrocarbon fuels over various fluidizing cracking catalysts, *Fuel*, 89 (9), 2305-2316.
- Ickes, A. M., 2009, Fuel property impact on a premixed diesel combustion mode, PhD. Thesis, University of Michigan, Department of Mechanical Engineering, USA, 1-148.
- İlkılıç, C., 1999, Çeşitli alternatif yakıtların dizel motoru emisyonlarına etkilerinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 38-42.
- Jia, Y., Li, G., Ning, G., 2011, Efficient oxidative desulfurization (ODS) of model fuel with H₂O₂ catalyzed by MoO₃/γ-Al₂O₃ under mild and solvent free conditions, *Fuel Processing Technology*, 92 (1), 106-111.
- Jin, L., Zhao, H., Wang, M., Wei, B., Hu, H., 2019, Effect of temperature and simulated coal gas composition on tar production during pyrolysis of a subbituminous coal, *Fuel*, 241, 1129-1137.
- Kaya, D., 2003, TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi Atık Çamur Yakma Tesisinden Enerji Geri Kazanım Potansiyelinin Etüdü, TÜBİTAK-MAM, Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, 2-10.
- Kaya, D., Motor Çevrimleri ve Yakıtlar, MEB Yayınları, İstanbul, 2013.
- Kim, J.H., Ma, X., Xhou, A., Song, C., 2006, Ultra-deep desulfurization and denitrogenation of diesel fuel by selective adsorption over three different adsorbents: a study on adsorptive selectivity and mechanism, *Catalysis Today*, 111 (1-2), 74-83.
- Kriipsalu, M., Marques, M., Nammari, D.R., Hogland, W., (2007), Bio-treatment of oily sludge: the contribution of amendment material to the content of target contaminants, and the biodegradation dynamics, *Journal of Hazardous Materials*, 148 (3), 616-622.

- Kulkarni, P.S., Afonso, C.A.M., 2010, Deep desulfurization of diesel fuel using ionic liquids: current status and future challenges, *Green Chemistry*, 12 (7), 1139-1149.
- Kumar, M.S., Kerihuel, A., Belletre, J., Tazerout, M., 2005, Experimental Investigation on the Use of Preheated Animal Fat as Fuel in a Compression Ignition Engine, *Renewable Energy*, 30 (9), 1443-1456.
- Kumar Jha, S., Fernando, S., Filip To, S.D., 2008, Flame Temperature Analysis of Biodiesel Blends and Components, *Fuel*, 87 (10), 1982-1988.
- Lam, S.S., Russell, A.D., Lee, C.L., Chase, H.A., 2012, Microwave-heated pyrolysis of waste automotive engine oil: influence of operation parameters on the yield, composition, and fuel properties of pyrolysis oil, *Fuel*, 92 (1), 327-339.
- Lazaro M.-J., Moliner, R., Suelves, I., Herod, A.A., Kandiyoti, R., 2001, Characterisation of tars from the co-pyrolysis of waste lubricating oils with coal, *Fuel*, 80 (2), 179-194.
- Lecrenay, E., Sakanishi, K., Mochida, I., 1997, Catalytic hydrodesulfurization of gas oil and model sulfur compounds over commercial and laboratorymade CoMo and NiMo catalysts: Activity and reaction scheme, *Catalysis Today*, 39 (1-2), 13-20.
- Lemieux, R., Roy, C., Caumia, B.D., Blanchette, D., 1987, Preliminary engineering data for scale up of a biomass vacuum pyrolysis reactor: Production analysis and upgrading of oil from biomass, K.S. Vorres (ed.), *Ame. Chem. Soc. Div. Of Chem.*, Washington, 32, 12-20.
- Lin, Y.Y., Liao, Y., Yu, Z., Fang, S., Lin, Y.Y., Fan, Y., Peng, X., Ma, X., 2016, Co-pyrolysis kinetics of sewage sludge and oil shale thermal decomposition using TGA-FTIR analysis, *Energy Conversion Management*, 118, 345-352.
- Lin, B., Huang, Q., Chi, Y., 2018, Co-pyrolysis of oily sludge and rice husk for improving pyrolysis oil quality, *Fuel Processing Techn.*, 177, 275-282.
- Liu J., Jiang X., Zhou L., Han X., Cui Z., 2009, Pyrolysis treatment of oil sludge and model-free kinetics analysis, *Journal of Hazardous Materials*, 161, 1208-1215.
- Li, S., Xu, S., Liu, S., Yang, C., Lu, Q., 2004. Fast pyrolysis of biomass in free-fall reactor for hydrogen-rich gas, *Fuel Processing Technology*, 85 (8), 1201-1211.
- Lin, B., Huang, Q., Ali, M., Wang, F., Chi, Y., Yan, J., 2019, Continuous catalytic pyrolysis of oily sludge using U-shape reactor for producing saturates-enriched light oil, *Proceedings of the Combustion Institute*, 37(3), 3101-3108.

- Lloyd, A.C., Cackette, T.A., 2001, Diesel Engines: Environmental Impact and Control, Journal of Air & Waste Management. Association, 51 (6), 809-847.
- Long, R., Caruso, F., 1985. Selective separation of heavy oil using a mixture of polar and nonpolar solvents, USA patent, 4, 493-765.
- Moltó, J., Barneto, A. G., Ariza, J., Conesa, J. A., 2013, Gas production during the pyrolysis and gasification of biological and physico chemical sludges from oil refinery, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 103, 167-172.
- Nunes, E.C.S., 2013, Waste management in the oil and gas industry by Brazilian guideline for environmental audits DZ-056-R.3. American journal of Environmental Protection, 2 (6), 170-175.
- Nuszkowski, J., Tincher, R. R., Thompson, G. J., 2009, Evaluation of NO_x emissions from heavy-duty diesel engines with the addition of cetane improvers, Journal of Automobile Engineering, 223 (8), 1049-1060.
- Ordu, Ş., Öztürk, E., 2017, Çimento fabrikalarında alternatif hammadde ve yakıt kullanımı: Örnek Çalışma, Journal of Natural Hazards and Environment, DOI: 10.21324/dacd.293309 87-92.
- Özsezen, A.N., 2007, Atık Palmiye Yağından Üretilen Biyodizelin Motor Performans ve Emisyon Karakterleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 166.
- Paraschiv, M., Kuncser, R., Tazerout, M., Prisecaru, T., 2015, New energy value chain through pyrolysis of hospital plastic waste, Applied Thermal Engineering, 87, 424-433.
- Park, T.-H., Cychosz, K.A., Wong-Foy, A.G., Dailly, A., Matzger A.J., 2011, Gas and liquid phase adsorption in isostructural Cu₃[biaryltricarboxylate]₂ microporous coordination polymers, Chemical Communications, 47 (5), 1452-1454.
- Pipilikaki, P., Katsioti, M., Papgeorgiou, D., Fragou, D., Chaniotakis, Ü E., 2005, Use of tire derived fuel in clinker burning, Cement & Concrete Composites, 27 (7-8), 843-847.
- Pugazhivadivu, M., Jeyachandran, K., 2005, Investigations on the Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Using Preheated Waste Frying Oil as Fuel, Renewable Energy, 30 (14), 2189–2202.

- Puhana, S., Vedaramana, N., Rama, B.V.B., Sankarnarayananb, G., Jeychandran, K., 2005, Mahua Oil (Madhuca Indica Seed Oil) Methyl Ester as Biodiesel-Preparation and Emission Characteristics, *Biomass and Bioenergy*, 28 (1), 87-93.
- Qu, Y., Li, A., Wang, D., Zhang, L., Ji, G., 2019, Kinetic study of the effect of in-situ mineral solids on pyrolysis process of oil sludge, *Chemical Engineering Journal*, 374, 338-346.
- Raheman, H., Phadatare, A.G., 2004, Diesel Engine Emissions and Performance from Blends of Karanja Methyl Ester and Diesel, *Biomass and Bioenergy*, 27 (4), 393-397.
- Rakopoulos, C.D., Antonopoulos, K.A., Rakopoulos, D.C., Hountalas, D.T., Giakoumis, E.G., 2006, Comparative Performance and Emissions Study of a Direct Injection Diesel Engine Using Blends of Diesel Fuel with Vegetable Oils or Bio-Diesels of Various Origins, *Energy Conversion and Management*, 47 (18), 3272-3287.
- Ramadhas, A.S., Jayaraj S., Muraleedharan, C., 2004, Use of Vegetable Oils as CI Engine Fuels A Review, *Renewable Energy*, 29 (5), 727-742.
- Safgönül B., 2008, İçten yanmalı motorlar, Birsen Yayınevi, İstanbul, 65-80.
- Sankaran, S., Pandey, S., Sumathy, K., 1998, Experimental investigation on waste heat recovery by refinery oil sludge incineration using fluidised-bed technique, *Journal of Environmental Science and Health-Part A, Toxic / Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 33 (5), 829-845.
- Sharma, B.K., Moser, B.R., Vermillion, K.E., Doll, K.M., Rajagopalan, N., 2014, Production, characterization and fuel properties of alternative diesel fuel from pyrolysis of waste plastic grocery bags, *Fuel Processing Technology*, 122, 79-90.
- Saleh, T.A., Damolikia, G.I., Shuaib.T.D., 2016, Nanocomposites and hybrid materials for adsorptive desulfurization, Applying Nanotechnology to the Desulfurization Process in Petroleum Engineering, IGI Global, Hershey, PA, USA, 129-153.
- Silva, D.C., Silva, A.A., Melo, C.F., Marques, M.R.C., 2017, Production of oil with potential energetic use by catalytic co-pyrolysis of oil sludge from offshore petroleum industry, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 124, 290-297.
- Sims, R.E.H., 1985, Tallow Esters as an Alternative Diesel Fuel, *Transactions of ASAE*, 28 (3), 716-721.
- Sonel, N., 1985, Petrol Jeolojisi, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, Ankara.

- Song , Q., Zhao, H.Y., Jia, J.W., Zhang, F., Wang, Z., Lv, W., Yang, L., Zhang, W., Zhang, Y., Shu, X., 2019, Characterization of the products obtained by pyrolysis of oil sludge with steel slag in a continuous pyrolysis-magnetic separation reactor, *Fuel*, 115711, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115711>.
- Srivastava, P.K., Verma, M., 2007, Methyl Ester of Karanja Oil as an Alternative Renewable Source Energy, *Fuel*, 87 (8), 1673-1677.
- Steger, M.T., Meissner, W., 1996, Drying and low temperature conversion – a process combination to treat sewage sludge obtained from oil refineries, *Water Science and Technology*, 34 (10), 133-139.
- Şimşek, Y.E., 2006, C3 enerji bitkisi olan enginar (*cynara cardunculus L.*) saplarının pirolizi ve biyoyakıt üretiminin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Tang, C.-Y., Zhang, D.-X., 2016, Mechanisms of aliphatic hydrocarbon formation during co-pyrolysis of coal and cotton stalk *Chinese Chem. Letters*, 27 (10) 1607-1611.
- Tahhan, R.A., Ammari, T.G., Goussous, S.J., Al-Shdaifat, H.I., 2011, Enhancing the biodegradation of total petroleum hydrocarbons in oily sludge by a modified bioaugmentation strategy, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 65 (1), 130-134.
- Toraman, Ö.Y., Toplal, H., 2003, Katı atık ve arıtma çamurlarının değerlendirilmesinde alternatif termal teknolojiler ve uygulamaları, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 18, 19-33.
- Trezza, M.A., Scian, A.N., 2005, Waste fuels: their effect on portland cement clinker, *Cement and Concrete Research*, 35 (3), 438-444.
- Uçar, S., Karagöz, S., Yanik, J., Sağlam M., Yuksel, M., 2005, Copyrolysis of scrap tires with waste lubricant oil, *Fuel Processing Technology*, 87 (1), 53-58.
- Ulusoy Y., 1999, Ayçiçeği, kolza, pamuk ve soya yağlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi üzerine karşılaştırmalı bir araştırma, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 6-11.
- Yahya, A., Marley, S.J., 1994, Performance and Exhaust Emissions of a Compression Ignition Engine Operating on Ester Fuels at Increased Injection Pressure and Advanced Timing, *Biomass and Bioenergy*, 6 (4), 297-319.

- Yang, R.T., Hernandez-Maldonado, A.J., Yang, F.H., 2003, Desulfurization of transportation fuels with zeolites under ambient conditions, *Science*, 301 (5629), 79-81.
- Yücesu, H.S., İlkılıç, C., 2006, Effect of Cotton Seed Oil Methyl Ester on the Performance and Exhaust Emission of a Diesel Engine, *Energy Sources*, 28 (4), 389-398.
- Zansi, R., Sjöström, K., Björnbom, E., 1996. Rapid high temperature pyrolysis of biomass in a free-fall reactor, *Fuel*, 75 (5), 545-550.
- Zamfirache, R., Blidisel, I., 1995, Environmentally friendly diesel fuel produced from middle distillates generated by conversion processes, *Catalists in Petroleum Refining and Pertochemical Industries*, 217-224.
- Zhang, J., Li, J., Thring, R.W., Hu, X., Song, X., 2012, Oil recovery from refinery oily sludge via ultrasound and freeze/thaw, *Journal of Hazardus Materials*, 203-204 ciltleri, 195-203.
- Zhang, K., Zhu, J., Zhou, Y., Wu, B., 2014, Analysis the fry-drying process of oily sludge sample, *Chem. Eng. Res. Des.*, 92 (11) 2396-2403.
- Hasan, Z., Jeon, J., Jhung, S.H., 2012, Oxidative desulfurization of benzothiophene and thiophene with WO_x/ZrO₂ catalysts: effect of calcination temperature of catalysts, *Journal of Hazardous Materials*, 205–206, , 216-221.
- www.bp.com/statisticalreview. BP 2018 Enerji Raporu, [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2019].
- www.enerji.gov.tr. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2019 verileri, [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2019].
- <https://www.epdk.org.tr>. Türkiye Enerji Raporu, [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2019].
- [https://cygm.csb.gov.tr > dokumanlar](https://cygm.csb.gov.tr/dokumanlar), [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2019].
- http://www.mapeg.gov.tr/petrol_istatistik.aspx, 2019 yılı Türkiye Petrol Araştırma verileri. [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2019].

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mahmut UYAR
Uyruğu : Türkiye
Doğum Yeri ve Tarihi : 28.05.1979
Telefon : -
Faks : -
e-mail : Mahmut uyar2011@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Bitirme Yılı
Lise : Keban İmam Hatip Lisesi	1996
Üniversite : Fırat Üniversitesi - Otomotiv Öğretmenliği	2004
Yüksek Lisans : Fırat Üniversitesi - Otomotiv A.B.D.	2014
Doktora : Batman Üniversitesi - Makina Mühendisliği	2020

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
5,5 yıl	EMBİ ltd. Şti	Makina Bakım Şefi

UZMANLIK ALANI

Otomotiv, Enerji, Yenilenebilir enerji kaynakları, Yakıtlar ve yanma

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

1. Hazar, H., Uyar, M., Aydın, H., Şap, E., (2017). Usage of Methyl Ester Produced From Waste Grape and Mn Additive as Alternative Diesel Fuel. Scientific Bulletin of Petru Maior University of Tîrgu Mureş, 14(1),5-11.
2. Hazar, H., Uyar, M., (2015). Experimental investigation of isopropyl alcohol IPA diesel blends indiesel engine improved exhaust emissions. International Journal of Automotive Engineering and Technologies, 1(4),1-6.
3. Hazar, H., Uyar, M., (2013). Study on application of isopropyl alcohol ipa diesel blends indiesel engine. International University of Sarajevo.
4. Hazar, H., Uyar, M., (2013). Investigation on emission of grape seed methyl ester indiesel engine. 6th International Conference On Sustainable Energy And Environmental Protection,20th – 23rd of August 2013 Maribor, Slovenia.