

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

**ATIK TAŞIT LASTİKLERİNDEN YAKIT ÜRETİMİ VE DİZEL MOTORLARINDA
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Hüseyin AYDIN

(07219201)

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi

Programı: Otomotiv

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Cumali İLKILIÇ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 28 Mart 2011

NİSAN-2011

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK TAŞIT LASTİKLERİNDEN YAKIT ÜRETİMİ VE DİZEL MOTORLARINDA
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

Hüseyin AYDIN

(07219201)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28 MART 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 13 NİSAN 2011

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Cumali İLKILIÇ (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Giray TOPAL (B.T.Ü)

Doç. Dr. Hakan Fehmi ÖZTOP (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Cengiz ÖNER (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Halit Lütü YÜCEL (F.Ü)

NİSAN-2011

ÖNSÖZ

Ülkemizde atık taşıt lastikleri çevreye bırakıldığında veya yakılarak imha edildiğinde büyük zararlara neden olabilmektedir. Bu lastiklerin oluşturduğu yangınlar çok büyük hava, toprak ve su kirliliğine neden olmaktadır. Atık taşıt lastiklerinin dizel motorlarında kullanılabilecek bir yakıtı dönüştürülmesi durumunda hem çevreye verilen zarar azaltılmış olacak, hem de dizel motorlarında kullanılan katma değeri yüksek bir ürün elde edilmiş olacaktır. Bu tez çalışması kapsamında, atık taşıt lastiklerinden dizel motorlarında kullanılabilecek bir alternatif yakıt elde edilmiş ve bu yakıtın dizel motorlarında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bu tez çalışması sırasında değerleri katkılarıyla beni yönlendiren kıymetli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Cumali İLKILIÇ'a saygılarımı ve sevgilerimi sunar teşekkürü bir borç bilirim. Deneysel çalışmalarında ilgi ve desteklerini esirgemeyen Sayın Öğr. Gör. İsmail KAYRI, Yrd. Doç. Dr. Rasim BEHÇET, Yrd. Doç. Şehmus ALTUN ve Selman AYDIN, Tez İzleme Komitesi üyeleri değerli hocalarım Sayın Doç. Dr. Hakan Fehmi ÖZTOP ve Yrd. Doç. Dr. Halit Lütfi YÜCEL'e ve ayrıca katkısı veya desteği bulunan tüm arkadaşlarıma şükranlarımı sunar teşekkür ederim. Ayrıca dualarını benden esirgemeyen sevgili annem Asya'ya, değerli eşim Fadile ve kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hüseyin AYDIN
ELAZIĞ-2011

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
TABLolar LİSTESİ	XII
SEMBOLLER LİSTESİ	VIII
1. GİRİŞ	1
2. TÜRKİYE VE DÜNYADA PETROLÜN GENEL DURUMU	3
2.1. Dünyada Petrolün Durum	3
2.2. Türkiye’de Petrolün Durumu.....	4
2.3. Enerji ve Çevre	7
3. ATIK TAŞIT LASTİKLERİ	9
3.1. Taşıt Lastiklerinin Yapısı	9
3.2. Atık Taşıt Lastiklerinin Kullanım Alanları	11
3.2.1. Tekrar Kullanma ve Kaplama	12
3.2.2. Kauçuk Granülü Haline Getirme	12
3.2.3. Enerji Üretimi	13
3.2.4. Binalarda Yapı Elemanı Olarak Değerlendirme	13
3.2.5. Yakıt Kaynağı Olarak Kullanma	13
3.3. Atık Taşıt Lastiklerinin Dönüşüm Süreçleri.....	13
3.3.1. Yanma.....	14
3.3.2. Gazlaştırma	14
3.3.3. Sıvılaştırma	15
3.3.4. Piroliz	15
4. PİROLİZ	16
4.1. Piroliz Ürünleri.....	17
4.1.1. Sıvı Ürün.....	17
4.1.2. Katı Ürün	18

	<u>Sayfa No</u>
4.1.3. Gaz Ürün	18
4.2. Piroliz Reaksiyonunu Etkileyen Faktörler	18
4.2.1. Piroliz Sıcaklığı	18
4.2.2. Isıtma Hızı	18
4.2.3. Parçacık Boyutu.....	19
4.2.4. Piroliz ortamı	19
4.2.5. Katalizör	19
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	21
5.1. Atık Taşıt Lastiklerinin Geri Dönüşümü ve Piroliz	21
5.2. Kükürtsüzleştirme	24
5.3. Atık Taşıt Lastiklerinin Motorlarda Kullanılması.....	28
6. DİZEL MOTORLARINDA YANMA VE EGZOZ EMİSYONLARI	32
6.1. Dizel Motorlarında Yanma	32
6.1.1. Tutuşma Gecikmesi	33
6.1.2. Kontrolsüz Yanma.....	34
6.1.3. Kontrollü Yanma	34
6.1.4. Art Yanma	34
6.2. Yanma Verimi ve İş Oluşumu	35
6.3. Dizel motorlarından kaynaklanan kirletici emisyonlar	35
6.3.1 Karbon Monoksit (CO)	35
6.3.2 Partikül Madde (PM)	36
6.3.3 Kükürt Dioksit (SO ₂).....	36
6.3.4. Azot Oksitler (NO _x)	37
6.3.5. Hidrokarbon (HC) Emisyonları.....	37
6.3.6. Karbondioksit (CO ₂) Emisyonları	38
7. DİZEL YAKITLAR ve ÖZELLİKLERİ	40
7.1. Viskozite ve Püskürtme Karakteristikleri.....	40
7.2. Setan Sayısı	41
7.3. Dizel İndeksi	41
7.4. Yakıtın Özgül Kütlesi.....	42
7.5. Yakıtın Isıl Değeri.....	43
7.6. Anilin Noktası	43

	<u>Sayfa No</u>
7.7. Donma Noktası.....	44
7.8. Alevlenme Noktası.....	44
7.9. Kükürt Miktarı.....	44
8. MATERYAL VE METOT	45
8.1. Piroliz Düzenegi	45
8.2. Motor Test Cihazı (dinamometre)	49
8.3. Gaz Analiz Cihazı	51
8.4. Kızıl Ötesi Termometre	52
8.5. Deney Yakıtları.....	53
8.6. Metot	55
8.7. Yakıt Tüketimi.....	55
8.8. Özgül Yakıt Tüketimi.....	56
8.9. Ortalama Efektif Basınç	57
8.10. 50 Saatlik Motor Testi.....	57
9. YAKIT ÜRETİMİ VE KÜKÜRTSÜZLEŞTİRME	59
9.1. Atık Taşıtların Lastiklerinden Yakıt Üretimi.....	59
9.2. Asidik Kükürtsüzleştirme	66
9.2. Üretilen Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Yakıt Özellikleri.....	69
9.2.1. Yoğunluk	72
9.2.2. Kinematik Viskozite	72
9.2.3. Isıl Değer.....	72
9.2.4. Kükürt Miktarı	73
9.2.5. Parlama Noktası	73
9.2.6. Dizel İndeksi ve Setan Sayısı.....	73
9.2.7. API Gravitesi	74
9.2.8. Anilin Noktası	74
9.2.9. Damıtma Karakteristikleri	76
10. MALİYET ANALİZİ	79
11. ATIK TAŞIT LASTİKLERİNDEN ELDE EDİLEN YAKITIN MOTOR DENEYLERİ	82
11.1. Performans Deneyleri.....	82
11.1.1 Motor Gücü	82

	<u>Sayfa No</u>
11.1.2. Motor Momenti.....	83
11.1.3. Özgöl Yakıt Tüketimi.....	84
11.1.4. Egzoz Manifold Sıcaklığı	86
11.2. Emisyon Deneyleri.....	87
11.2.1. NO _x Emisyonları.....	87
11.2.2. CO Emisyonları	88
11.2.3. SO ₂ Emisyonları.....	89
11.2.4. HC Emisyonları	90
11.2.5. Duman Koyuluğu.....	91
12. DÜŞÜK KÜKÜRTLÜ YAKITIN MOTOR DENEYLERİ VE TARTIŞMA	93
12.1. Performans Deneyleri.....	93
12.1.1. Ortalama Efektif Basınç ve Motor Momenti	93
12.1.2. Motor Gücü	95
12.1.3. Yakıt Tüketimi ve Özgöl Yakıt Tüketimi.....	97
12.1.4. Egzoz Manifold Sıcaklığı	99
12.2. Emisyon Deneyleri.....	101
12.2.1. NO _x Emisyonları.....	101
12.2.2. CO Emisyonları	103
12.2.3. CO ₂ Emisyonları.....	104
12.2.4. HC Emisyonları	105
12.2.5. O ₂ Emisyonları.....	107
12.2.6. Duman Koyuluğu.....	108
12.2.7. Hava Fazlalığı Değerleri	109
12.3. DY ve DKLY100 Yakıtları ile 50 Saatlik Çalışma Sonunda Motor Parçalarının Durumu	111
13. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	120
KAYNAKLAR.....	128
EKLER	136
ÖZGEÇMİŞ	143

ÖZET

Bu çalışmada, atık taşıt lastiklerinden piroliz yöntemi ile dizel motorlarında kullanılabilecek bir yakıt üretilmiştir. Yakıtın yüksek kükürt içeriğini azaltmak amacıyla CaO , Ca(OH)_2 , ve NaOH katalizörleri kullanılmıştır. Ayrıca, sıcaklık, katalizör oranı ve N_2 akış hızı gibi değişkenlerin sıvı yakıt verimine etkisi araştırılmıştır. En yüksek ürün verimi $500\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ve $200\text{ cm}^3/\text{dak}$. N_2 akış hızında elde edilmiştir. Normal pirolizde elde edilen ürün ile karşılaştırıldığında, %5 Ca(OH)_2 kullanımında yakıtın kükürt oranının %34.25 daha az olduğu tespit edilmiştir. Bu işlemler sonucunda oluşan yakıtın kükürt içeriğini dizel yakıtına daha da yaklaştırmak amacıyla asetik asit- H_2O_2 , formik asit- H_2O_2 ve H_2SO_4 değişik oranlarda kullanılmıştır. Diğer asitler de oldukça etkili olmakla beraber, %10 H_2SO_4 kullanımında kükürt oranı %75.27 oranında azaltılmıştır. Dolayısıyla, piroliz sırasında %5 Ca(OH)_2 daha sonra %10 H_2SO_4 ile yapılan işlemler ile elde edilen yakıtın kükürt oranı %83.75 azaltılmıştır. Dizel yakıtı (DY), atık taşıt lastiklerinden elde edilen lastik yakıtı (LY), düşük kükürtlü lastik yakıtı (DKLY) ve DKLY-DY yakıt karışımlarının yakıt özellikleri analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda, sınır değerleri aşmamakla beraber, DKLY yakıtının yoğunluğu ve kükürt içeriğinin dizel yakıtına göre biraz yüksek olduğu ancak diğer özelliklerinin ve damıtma eğrilerinin dizel yakıtına oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. DKLY, LY, DKLY-DY karışımı ve LY-DY karışımı yakıtlar direk püskürtmeli bir dizel motorunda kullanılarak, motor performans karakteristikleri ve egzoz emisyonu değişimleri DY yakıtı ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında, DY-LY ve DY-DKLY yakıtı karışımlarının kullanımında elde edilen güç miktarı, karışımdaki LY ve DKLY oranına bağlı olarak bir miktar düşüş ve özgül yakıt tüketimi ise artış göstermiştir. DY ile karşılaştırıldığında, DY-LY ve DY-DKLY yakıtı karışımlarının kullanımında CO , HC , SO_2 ve duman koyuluğu değerleri daha yüksek, NO_x ve CO_2 emisyonları ise daha düşük çıkmıştır. DKLY100 yakıtının 50 saatlik kullanımı sonucunda motorun çalışmasında herhangi bir anormal durum oluşmamıştır. Bunun yanı sıra motor parçalarında herhangi bir kırılma, çatlama veya eğilme meydana gelmemiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda DKLY100, DY-DKLY ve düşük oranlarda LY içeren DY-LY karışımı yakıtlarının dizel motorlarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Taşıt lastikleri, Piroliz, Kükürtsüzleştirme, Dizel motor

SUMMARY

Fuel Production From Waste Vehicle Tires and Investigation of Its Usage in Diesel Engines

In this study, a fuel which can be used in diesel engines was produced from waste vehicle tires by the method of pyrolysis. In order to reduce the high sulfur content of the fuel, CaO, Ca(OH)₂, and NaOH catalysts were used. In addition, the effects of variables such as the temperature, the catalyst ratio and the N₂ flow rate on yield were investigated. The highest product yield was obtained with temperature of 500 °C and 200 cm³/min. N₂ flow rate. Compared with the products obtained from initial pyrolysis, the sulfur content of the product was found to be %34.25 lower with the utilization of 5% Ca(OH)₂ in the reaction. In order to make the sulfur content of the product closer diesel fuel, the acetic acid-H₂O₂, formic acid-H₂O₂ and H₂SO₄ were used in different proportions. Although, the other acids were also very effective, the use of 10% H₂SO₄ reduced sulfur content of the product by 75.27%. Thus, with 5% Ca(OH)₂ and then with addition of 10% H₂SO₄, the sulfur content of the product was reduced by 83.75%. The properties of diesel fuel (DY), tire fuel derived from waste vehicle tires (LY), low sulfur tire fuel (DKLY) and fuel mixtures of DKLY-DY were analyzed. It was found that, the density and sulfur content of DKLY fuel were slightly higher than that of diesel fuel, but other features and distillation curves were very close to diesel fuel. Test fuels were used in a direct injection diesel engine. Performance characteristics and engine exhaust emissions were clarified and compared with DY fuel. When compared with DY, the amount of power obtained from use of DY-DKLY and LY-DKLY fuel mixtures were slightly decreased and specific fuel consumption were increased depending on LY and DKLY ratio of the mixture. In comparison to DY, the use of fuel mixtures of DY-LY and DY-DKLY were resulted in higher CO, HC, SO₂ and smoke emissions, and lower NO_x and CO₂ emissions. As a result of the use of DKLY100 fuel for 50 hours, no abnormalities were occurred in the engine operation. In addition, any breaking of engine parts, cracking or bending was not occurred. It was concluded from the results of the studies that DKLY100, DKLY-DY mixtures and DY-LY mixtures containing lower rates of LY can be used in diesel engines.

Keywords: Vehicle tires, Pyrolysis, Desulfurization, Diesel engine.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Dünya enerji tüketiminin enerji kaynaklarına göre değişimi.....	3
Şekil 2.2. Dünya sıvı yakıt tüketiminin yıllara göre değişimi	4
Şekil 2.3. Sıvı yakıt fiyatlarının 3 farklı senaryoya göre değişiminin yıllara göre değişimi	4
Şekil 2.4. Türkiye'nin enerji ihtiyacının enerji kaynaklarına göre değişimi	6
Şekil 2.5. Türkiye'de petrol üretimi ve tüketiminin yıllara göre değişimi	7
Şekil 3.1. Bir taşıt lastiğinin temel kısımları	10
Şekil 3.2. Atık taşıt lastiklerine uygulanabilecek ısı dönüşüm süreçleri	14
Şekil 6.1. Dizel motorlarında yanma olayı	32
Şekil 8.1. Yakıt üretim sistemi ve piroliz reaktörünün şematik görünüşü.....	45
Şekil 8.2. Yakıt üretiminin yapıldığı piroliz düzeneği.....	46
Şekil 8.3. Isıtma ve karıştırma cihazı.....	47
Şekil 8.4. Deneylerde kullanılan motor test sistemi ve hidrolik dinamometrenin şematik görünüşü.....	48
Şekil 8.5. Deneylerde kullanılan BT-140 model hidrolik dinamometre	50
Şekil 8.6. Bremze kontrol ve izleme cihazı	51
Şekil 8.7. Gaz analiz cihazı.....	52
Şekil 8.8. Kızılötesi termometre.....	53
Şekil 8.9. Deney yakıtları	54
Şekil 8.10. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği	56
Şekil 9.1. Reaksiyon sıcaklığının piroliz ürünlerinin verimine etkisi	60
Şekil 9.2. Ağırlık kaybının alıkoyma süresine göre değişimi.....	61
Şekil 9.3. Sürükleyici N ₂ gazının akış hızının piroliz ürünlerinin verimine etkisi.....	62
Şekil 9.4. Reaksiyon sıcaklığının sıvı ürünün kükürt oranına etkisi	63
Şekil 9.5. Yakıt üretimi sırasında katkı maddelerinin sıvı ürünün kükürt miktarına etkileri.....	64
Şekil 9.6. Ca(OH) ₂ katalizörü oranının piroliz ürünlerinin verimine etkisi.....	65
Şekil 9.7. Asetik asit-H ₂ O ₂ karışımının kullanım miktarının kükürtsüzleştirmeye etkisi.....	67

Şekil 9.8. Formik asit-H ₂ O ₂ karışımının kullanım miktarının kükürtsüzleştirmeye etkisi	68
Şekil 9.9. H ₂ SO ₄ kullanım oranının kükürtsüzleştirmeye etkisi	69
Şekil 9.10. Anilin noktası tespiti	75
Şekil 9.11. DY ve LY100 yakıtlarının damıtma eğrileri.....	76
Şekil 9.12. DY, LY, DKLY ve DKLY-Dizel karışımı yakıtlarının damıtma eğrileri	77
Şekil 11.1. LY, DY ve LY-DY karışımlarının motor devrine bağlı güç değerleri	82
Şekil 11.2. LY, DY ve LY-DY karışımlarının motor devrine bağlı moment değerleri.....	83
Şekil 11.3. LY, DY ve LY-DY karışımlarının motor devrine bağlı özgül yakıt tüketimi değerleri.....	85
Şekil 11.4. LY, DY ve LY-DY karışımlarının motor devrine bağlı egzoz manifoldu sıcaklığına etkileri.....	86
Şekil 11.5. LY, DY ve LY-DY karışımlarında NO _x emisyonlarının motor devrine göre değişimi	87
Şekil 11.6. LY, DY ve LY-DY karışımlarında CO emisyonlarının motor devrine göre değişimi	88
Şekil 11.7. LY, DY ve LY-DY karışımlarının kullanımında SO ₂ emisyonlarının motor devrine göre değişimi	89
Şekil 11.8. DY, LY ve DY-LY karışımlarının kullanımında HC emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi	91
Şekil 11.9. DY, LY ve DY-LY karışımlarının kullanımında duman koyuluğu değerlerinin motor devrine bağlı değişimi	92
Şekil 12.1. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların farklı devirlerde motor momentine etkileri	94
Şekil 12.2. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların farklı devirlerde ortalama efektif basınca etkileri.....	95
Şekil 12.3. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların farklı devirlerdeki motor gücüne etkileri	96
Şekil 12.4. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların farklı devirlerdeki yakıt tüketimi değerleri.....	97
Şekil 12.5. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların farklı devirlerde özgül yakıt tüketimi değerleri.....	98
Şekil 12.6. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların farklı devirlerde egzoz sıcaklığına değerleri	100
Şekil 12.7. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların NO _x emisyonlarının motor devrine göre değişimi	102

Şekil 12.8. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların CO emisyonlarının motor devrine göre değişimi	103
Şekil 12.9. DY, DKLY ve DY-DKLY karışımlarında CO ₂ emisyonlarının motor devrine göre değişimi	104
Şekil 12.10. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların HC emisyonlarının motor devrine göre değişimi	106
Şekil 12.11. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların O ₂ emisyonlarının motor devrine göre değişimi	107
Şekil 12.12. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların duman koyuluğu oranlarının motor devrine göre değişimi	109
Şekil 12.13. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların kullanımında oluşan hava fazlalığı katsayısı değerleri	110
Şekil 12.14. DY yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda supapların durumu	112
Şekil 12.15. DKLY100 yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda supapların durumu	112
Şekil 12.16. DY yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda üst kapağın durumu.....	113
Şekil 12.17. DKLY100 yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda üst kapağın durumu...	113
Şekil 12.18. DY yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda enjektör ucunun durumu	114
Şekil 12.19. DKLY100 ile 50 saatlik çalışma sonunda enjektör ucunun durumu	115
Şekil 12.20. DY yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda emme ve egzoz kanallarının durumu	115
Şekil 12.21. DKLY100 yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda emme ve egzoz kanallarının durumu	116
Şekil 12.22. DY yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda silindir üst kısmının durumu	116
Şekil 12.23. DKLY100 yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda silindir üst kısmının durumu	117
Şekil 12.24. DKLY100 yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda külbütör ve iteceklerin durumu	117
Şekil 12.25. DKLY100 yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda karter, yağ, krank ve dişlilerin durumu	118

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Dünya ülkelerinin petrol rezervleri	5
Tablo 4.1. Piroliz yöntemleri ve ürünler	16
Tablo 7.1. Dizel indeksi ile setan sayısı arasındaki ilişki.....	42
Tablo 8.1. Deney Motorunun teknik özellikleri.....	47
Tablo 8.2. Motor test cihazının teknik özellikleri.....	49
Tablo 8.3. Motor test tezgâhı (bremze) izleme/kontrol cihazı teknik özellikleri	50
Tablo 8.4. Gaz analiz cihazın teknik özellikleri	51
Tablo 8.5. Raytek Raynger ST4 kızıl ötesi termometrenin teknik özellikleri.....	53
Tablo 9.1. Reaksiyon sıcaklığının piroliz ürünlerinin verimine etkisi.....	59
Tablo 9.2. Azot akış hızının piroliz ürünlerinin verimine etkisi	62
Tablo 9.3. Kullanılan katkı maddesi miktarının kükürtsüzleştirmeye etkisi	66
Tablo 9.4. Normal motorin için belirlenen sınır değerler	70
Tablo 9.5. Deneylerde kullanılan yakıtların fiziksel ve kimyasal yakıt özellikleri.....	71
Tablo 10.1. 1 litre yakıt üretimi için reaktör çalışma zamanları ve harcanan güç toplamı	80
Tablo 10.2. Atık taşıt lastiklerinden 1 litre yakıt üretimi için harcanan toplam maliyetler	81

SEMBOLLER LİSTESİ

CO₂	: Karbon dioksit
CO	: Karbon monoksit
HC	: Hidrokarbon
PAH	: Poli-aromatik hidrokarbon
SO₂	: Kükürt dioksit
SO₃	: Kükürt trioksit
ppm	: Milyondaki tanecik sayısı
NO_x	: Azot oksit
NO	: Azot monoksit
PM	: Partikül madde
ZnO	: Çinko oksit
S	: Kükürt
NH₃	: Amonyak
H₂	: Hidrojen
T	: Sıcaklık
°C,	: Derece santigrat, (sıcaklık)
°F	: Derece fahrenheit, (sıcaklık)
°K	: Derece kelvin, (sıcaklık)
CH₄	: Metan
N₂	: Azot
He	: Helyum
Ar	: Argon
Ca(OH)₂	: Kalsiyum hidroksit
CaO	: Kalsiyum oksit
NaOH	: Sodyum hidroksit
H₂S	: Hidrojen sülfür
COS	: Karbon mono sülfür
Na₂S	: Sodyum sülfür
CaS	: Kalsiyum sülfür
HDS	: Hidro desülfürizasyon
H₂O₂	: Hidrojen peroksit
H₂SO₄	: Sülfürik asit
ZnCl₂	: Çinko klorür,
Na₂CO₃	: Sodyum karbonat
DBT	: Dibenzotiofen
LY	: Lastik yakıtı
DKLY	: Düşük kükürtlü lastik yakıtı
LYX	: %X oranında LY içeren dizel yakıtı
DKLYX	: %X oranında DKLY içeren dizel yakıtı
°KMA	: Krank mili açısı
ÜÖN	: Üst ölü nokta
AÖN	: Alt ölü nokta
λ	: Lambda, hava fazlalık katsayısı,
ASTM	: Amerikan malzeme test topluluğu
API	: Amerikan petrol enstitüsü

TÜPRAŞ	: Türkiye petrol rafinerileri anonim şirketi
Hu	: Alt ısı değeri (kJ/kg)
HP	: Beygir gücü
KWh	: kilovat saat
Mpa	: Mega paskal
Nm	: Newton metre
µsn	: Mikro saniye
B	: Yakıt tüketimi (Kg/h)
Δt	: 50 cm ³ 'lük yakıtın tüketilme zamanı
be	: Özgül yakıt tüketimi (kg/kWh)
Pe	: Motor gücü (kW)
M	: Motor momenti (Nm)

1. GİRİŞ

Daha modern ve refah bir yaşam tarzı arayışı sonucu hızla artan ve günümüzde de hızlı bir şekilde artmaya devam eden enerji ihtiyacı ve kullanımı, doğada var olan enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde tükenmesine neden olmaktadır. Genel bir öngörü olmakla beraber, bir ülkenin enerjiyi kullanma potansiyeli o ülkenin gelişmişlik düzeyini gösterebilmektedir. Bununla beraber ülkelerin enerji üretim miktarları ve enerjiyi verimli kullanım oranları değişim göstermektedir. Ancak kullanım alanları, üretim şekilleri ve miktarları her ne kadar farklı olsa da tüm ülkelerin enerji gereksinimi vardır.

Enerji açısından değerlendirildiğinde, kalkınma mücadelesi içerisinde bulunan ülkemizin durumu diğer gelişmekte olan ülkelerin durumundan neredeyse farksızdır. Türkiye’de de geleneksel enerji kaynaklarının üretimi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından giderek daha çok faydalanmanın yanı sıra, bu enerji kaynaklarının verimli kullanımı da giderek önem kazanmaktadır. Enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanımı, Türkiye’nin enerjide dışa bağımlılığını da bir miktar azaltacaktır.

Dünyada nüfus artışına paralel olarak, enerji gereksinimi her yıl yaklaşık %4-5 oranında artmakta, buna karşılık fosil enerji rezervleri de hızla azalmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre en geç 2030-2050 yılları arasında petrol, kömür ve doğal gaz rezervleri tükenme aşamasına gelecek ve ihtiyacı karşılayamayacaktır [1]. Dolayısıyla var olan enerji kaynakları ihtiyaca göre en verimli şekilde kullanılmalıdır.

Otomotiv teknolojisindeki hızlı gelişmeler sonucunda, verimleri yüksek ve yakıt tüketimleri az olan dizel motorlarının kullanım alanları hızlı bir şekilde artmıştır. Dizel motorlarının geçmişe nazaran daha çok araçta kullanılması, bu motorlar için yakıt ihtiyacını önemli miktarda artırmıştır. En önemli yakıt kaynağı olan petrolün hızlı bir şekilde tükenmesi, yakın geçmişte içten yanmalı motorlar için alternatif enerji kaynakları üzerindeki araştırmaları yoğunlaştırmıştır. Alkol, biyo-yakıtlar ve petrol kökenli atıklardan elde edilen sıvı yakıtlar, içten yanmalı motorlar için başlıca alternatif yakıtlardır. Bunun yanı sıra, atık araç lastikleri gibi atıkların ortadan kaldırılması ve yeniden kazanımı, çevre kirliliği açısından bir zorunluluk halini almıştır. Atık lastiklerin, özellikle kullanılmış taşıt lastiklerinin çevreye olan zararlarının önüne geçmek için, bunlardan enerji elde etmek oldukça faydalı bir çalışmadır.

Ülkemizde ulaşımın yaklaşık %95'i karayollarında yapılmaktadır. Dolayısıyla milyonlarca taşıttan yine milyonlarca atık lastik elde edilmekte ve elde edilen atık lastiklerin büyük bir çoğunluğu yasa dışı yollarla doğaya terk edilmekte ve bu lastiklerin biyolojik olarak çözünmesi de zor olmaktadır. Atık lastiklerin çok az bir kısmı ise tuğla veya çimento üretim fabrikalarında pişirme amaçlı kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, atık lastikler parçalanıp beton içerisine katılarak betonun bazı özellikleri iyileştirilmektedir. Bu lastikler çoğu zaman açık havada yasadışı olarak yakılmakta ve çevreye büyük zararlar vermektedir. Bu lastiklerin oluşturduğu yangınlar çok büyük hava, toprak ve su kirliliğine neden olmaktadır. Bu duruma yönelik bazı güvenlik veya depolama tedbirlerinin alınması gerekmekte ve bu da gereksiz maliyetler doğurmaktadır. Atık taşıt lastiklerinden elde edilen yakıtların enerji üretiminde değerlendirilmesi halinde, hem gereksiz maliyetlerden kaçınılmış olacak hem de bir katma değer sağlanmış olacaktır. Birçok değişik kökenli atık maddeler çeşitli kimyasal işlemlerden sonra, yakıt olarak geri kazanılmakta ya da çeşitli kimyasallara dönüştürülerek bu atıkların zararlı etkileri en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Bu atıkların en önemlilerinden biri de atık taşıt lastikleridir.

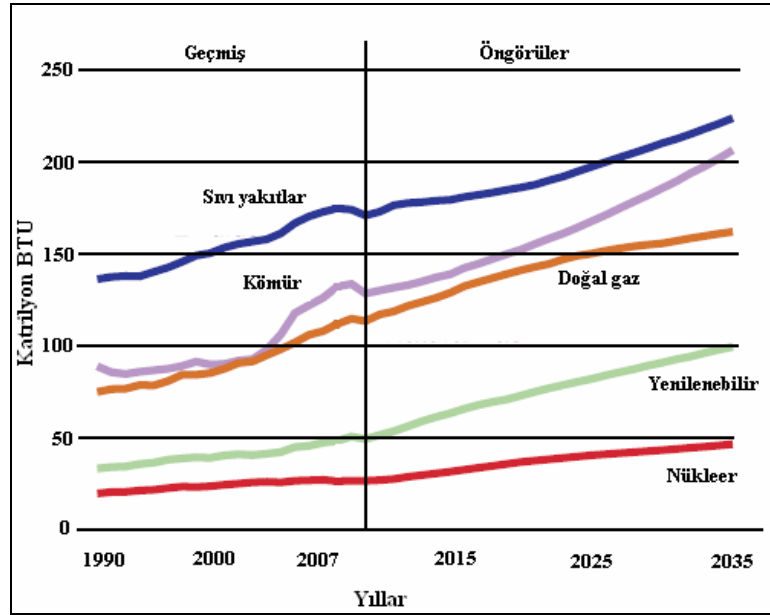
Bu tezin amacı, atık taşıt lastiklerinden dizel motorlarında kullanılabilecek alternatif bir yakıt elde ederek bu atık lastiklerin yeniden değerlendirilmesidir. Atık taşıt lastiklerinin dizel motorlarında kullanılabilecek bir yakıtı dönüştürülebilmesi durumunda, hem çevreye verilen zarar azaltılmış olacak, hem de dizel motorlarında kullanılabilecek katma değeri yüksek bir ürün elde edilecek ve bu sayede enerji üretiminde dışarıya olan bağımlılık bir miktar azalmış olacaktır.

2. TÜRKİYE VE DÜNYADA PETROLÜN GENEL DURUMU

2.1. Dünyada Petrolün Durumu

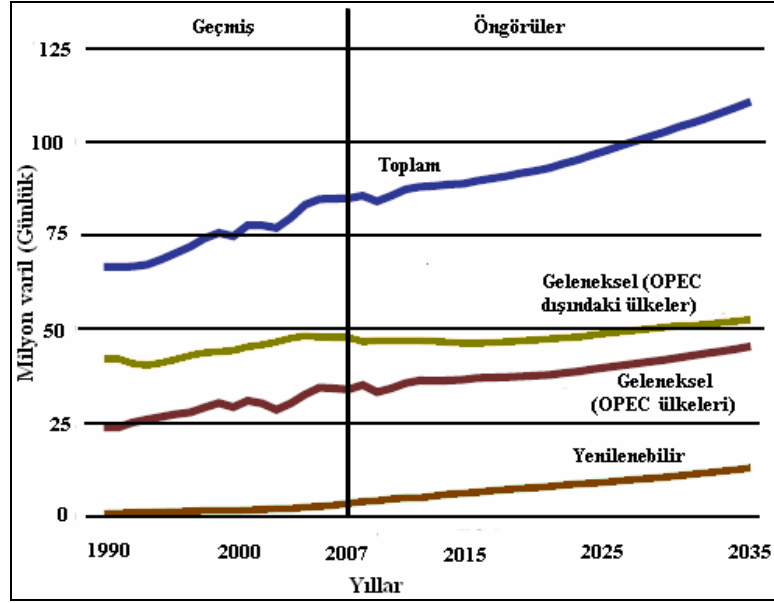
20. yüzyılda dünyada yılda yaklaşık 8.8 milyar ton petrole eşdeğer enerji tüketimi olmuştur. Bu tüketimin yaklaşık %40'ı petrolden, %25'i kömürden, %24.7'si doğal gazdan, %7.6'sı nükleer enerjiden ve %2.6'sı da hidroelektrik santrallerinden elde edilmiştir [1].

Dünya fosil rezervlerinin %70'ini kömür, %14'ünü petrol ve geriye kalan %16'sını ise doğal gaz oluşturmaktadır. Fosil kaynaklar elektrik üretiminin %63'ünü karşılamakta olup, en büyük pay kömürdedir [1]. Dünya enerji kaynaklarının kullanımında ise sıvı yakıt kaynakları diğer kaynakların başında gelmektedir. Şekil 2.1'de geçmiş 20 yıl ve gelecek 25 yıl içinde dünyada enerji tüketiminin enerji kaynaklarına göre değişimi verilmiştir.



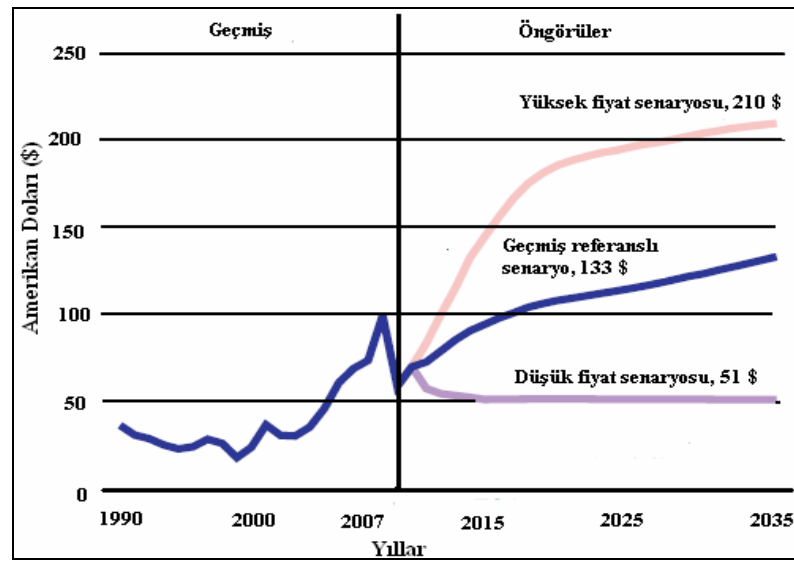
Şekil 2.1. Dünya enerji tüketiminin enerji kaynaklarına göre değişimi [2].

Şekil 2.2'de geçmiş 20 yıl ve gelecek 25 yıl içinde dünyada sıvı yakıt tüketiminin değişimi verilmiştir [2].



Şekil 2.2. Dünya sıvı yakıt tüketiminin yıllara göre değişimi[2]

Şekil 2.3'te geçmiş 20 yılın durumu ve gelecek 25 yıl için dünyada sıvı yakıt fiyat senaryolarının değişimi verilmiştir. Dünya petrol rezervlerinin ülkelere göre değişimi Tablo 2.1'de verilmiştir. Dünya petrol rezervlerinde en büyük payı Ortadoğu Ülkeleri, ikinci sırayı ise Kuzey Amerika almaktadır [2]. Doğal gaz rezervlerine sahip en zengin ülke ise eski Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği (SSCB) ülkeleridir. Fosil kaynak rezervlerinin kullanılabilme sürelerine bakıldığında ise rezerv ömrü en fazla olan kaynak kömür, en az olan ise petroldür [3].



Şekil 2.3. Sıvı yakıt fiyatlarının 3 farklı senaryoya göre değişiminin yıllara göre değişimi[2].

Tablo 2.1. Dünya ülkelerinin petrol rezervleri [2].

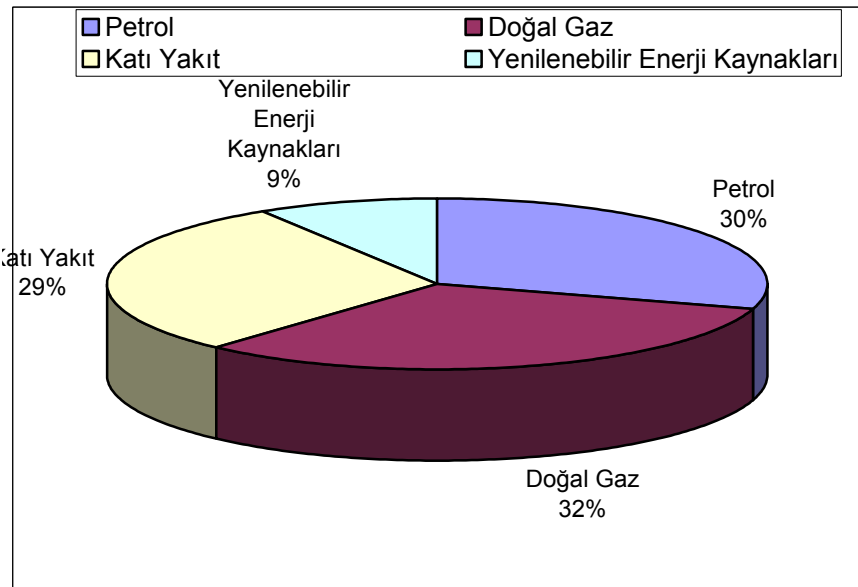
Ülke	Petrol rezervi Milyar Varil	Dünyada Toplamdaki Oran
Suudi Arabistan	259,9	19,20
Kanada	175,2	12,94
İran	137,6	10,16
Irak	115,0	8,50
Kuveyt	101,5	7,50
Venezüella	99,4	7,34
Birleşik Arap Emirlikleri	97,8	7,22
Rusya	60,0	4,43
Libya	44,3	3,27
Nijerya	37,2	2,75
Kazakistan	30,0	2,22
Katar	25,4	1,88
Çin	20,4	1,51
ABD	19,2	1,42
Brezilya	12,8	0,95
Cezayir	12,2	0,90
Meksika	10,4	0,77
Angola	9,5	0,70
Azerbaycan	7,0	0,52
Norveç	6,7	0,49
Diğer	72,2	5,33
Dünyada Toplam	1353,7	100,0

2.2. Türkiye’de Petrolün Durumu

Ülkemiz, bir taraftan önemli petrol üreticileri olan Azerbaycan ve Ortadoğu Ülkeleri ile diğer taraftan da petrol tüketicisi olan Avrupa Ülkeleri arasında doğal bir enerji köprüsü oluşturmaktadır [4].

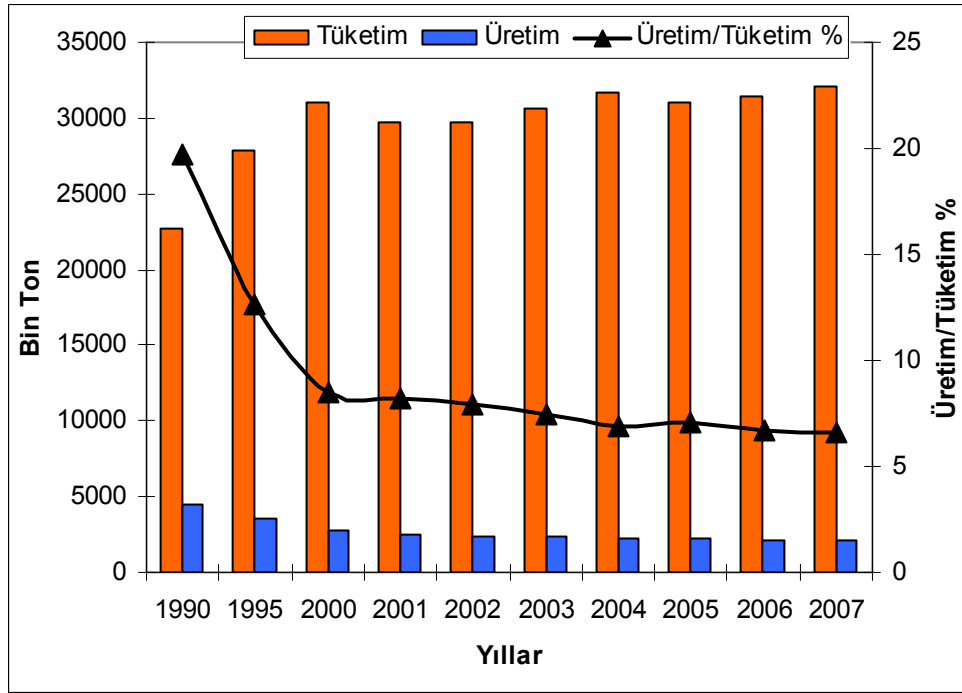
2010 BP Enerji Raporu'nun verilerine göre Türkiye, 2009 yılında dünyadaki toplam enerji tüketiminin %0,8'ini gerçekleştirmiştir. Türkiye'de, 2009 yılında 28,8 milyon ton petrol tüketilmiştir. Türkiye bu rakamlarla, dünya petrol tüketiminin %0,7'sini gerçekleştirmiştir. Türkiye'de, 2009 yılında 32,1 milyar metreküp doğalgaz tüketilmiştir. Türkiye, 2009 yılında, dünyadaki doğal gaz tüketiminin %1,1'ini gerçekleştirmiştir [5].

Türkiye enerjide ve özellikle petrol ve doğalgazda dışa bağımlı bir ülkedir. Türkiye'nin enerji tüketimi yıllık ortalama %2,8 artmıştır. 2010 yılı sonunda Türkiye'nin enerji ihtiyacının 105 milyon ton petrole eşdeğer bir düzeyde gerçekleşeceği bildirilmiştir [6]. Bu değer, Türkiye'yi gelişme sürecinde 4-5 yıl geriye götürecek kadar büyük bir değer olduğunu söylemek mümkündür. Türkiye'nin enerji ihtiyacının kaynaklara göre değişimi Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2.4. Türkiye'nin enerji ihtiyacının enerji kaynaklarına göre değişimi [6]

Türkiye'de enerji fiyatlarının yüksekliği ve yaşanan olumsuzluklar dikkate alındığında, gelecekte ekonomik şartların ve enerjide sıkıntıların artacağı tahmin edilmektedir. Türkiye'de petrol üretimi ve tüketiminin yıllara göre değişimi Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Buradan anlaşılabileceği üzere, üretimin tüketimi karşılama oranı yıllar içinde azalma göstermiştir.



Şekil 2.5. Türkiye’de petrol üretimi ve tüketiminin yıllara göre değişimi [3]

2.3. Enerji ve Çevre

Dünyanın ekolojik dengesi, insanların yaşamını olumlu yönde etkileyen teknolojik gelişmeler ile gittikçe bozulmaktadır. Bir yerden bir yere ulaşımında kolaylık sağlayan taşıtların sayısı arttıkça, bu taşıtların motorlarından daha fazla kirletici emisyon havaya salınmakta, dünyada petrol kaynakları giderek azalmakta ve buna bağlı olarak yakıt fiyatları da artış göstermektedir. Bu durumlar karşısında, çevre ve enerji sorunlarına birlikte çözüm aramak ve gerekli önlemleri almak zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Enerjiye yönelik birçok faaliyet çevreyi olumsuz yönde etkilemekte ve önlem alınmasını gerektirmektedir. Fosil enerji kaynaklarının aşırı tüketimi, çevreyi ve insan sağlığını giderek daha fazla tehdit etmektedir. Bu kaynaklar yakıldığında karbondioksit (CO_2), karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO_2), azot oksitler (NO_x), partikül maddeler (PM) ve is açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan gazlardan özellikle CO_2 ve NO_x sera etkisine neden olmaktadır. Dünyadaki fosil kaynaklarının tüketimi, atmosferdeki CO_2 konsantrasyonunu neredeyse iki kattan daha fazla oranda arttırmıştır. Enerji verimliliğinin sağlanması, gerek enerji üretiminde gerekse talep yönetimi ve çevresel hususlar açısından da önem arz etmektedir. Verimliliğin artırılması, tüm atıklarda azalma sağlamak ve özellikle çevrenin daha az kirletilmesinde önemli rol oynamaktadır.

Güneş ışınlarının yeryüzüne çarpması sonucu oluşan ısı enerjisinin uzaya geri dönmesi gerekmektedir. Oysa fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan CO₂ gazının ısı tutma özelliğinden dolayı, ısı enerjisinin bir kısmının atmosferde kalması sonucu dünya ısınmakta ve iklim değişiklikleri meydana gelmektedir. 20. yüzyılda atmosferin ortalama sıcaklığı 0.5°C artmış ve iklim değişikliğinin sonuçları giderek yaşamı daha çok etkilemeye başlamıştır. Bu durum son yıllarda yoğun hava kirliliğinin oluşmasına ve doğal afetlerin hızla artmasına neden olmaktadır. Yerleşim alanları bu doğal afetlerden giderek daha çok etkilenmektedir. Birçok canlı türü tükenmekle karşı karşıya kalmaktadır. Bu durumda doğal denge bozulmakta ve yaşam şartları ağırlaşmaktadır. Su kaynaklarının asitleşmesi, ekinlerin tahrip olması ve yerel hava kirliliği de enerji tüketiminden doğan PM, SO₂ ve NO_x emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Asit yağmurları nedeniyle birçok doğal ekosistem tamamen yok olmakta, doğadaki gıda ve madde zinciri ile ağır metaller insan vücuduna besinlerle girmektedir. Küresel ısınmanın, uzun vadede öngörülen sonuçları ise daha düşündürücüdür.

Günümüzün en önemli sorunlarından biri enerji üretimi ve tüketimi, diğeri ise bunlara bağlı olarak ortaya çıkan çevre kirliliğidir. İçten yanmalı motorlardan kaynaklanan kirletici emisyonlar, çevreyi ve dünyamızın ekosistemini giderek daha fazla tehdit etmektedir. Küresel iklim değişikliklerinin yol açtığı doğal felaketler ve doğal yaşam alanlarının kirlenmesi gibi sorunlar, çevre bilincine sahip insan topluluklarının artmasını beraberinde getirmektedir. Bütün bu sonuçlardan dolayı enerjinin verimli ve çevreye uyumlu bir şekilde kullanılması gerekmektedir.

Çevre kirliliğinin, insan ve doğal yaşam üzerindeki etkilerini azaltmak için yoğun ve sistemli bilimsel çalışmaların yapılması ve bu çalışmalar doğrultusunda hareket edilmesi gerekmektedir.

3. ATIK TAŞIT LASTİKLERİ

Atık taşıt lastiklerinin depolanması veya bertaraf edilmesi önemli çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Aşınmış atık taşıt lastiklerinin depolanması veya yok edilmesinde belediyeler ve çevre sorumluları önemli çevresel sorunlarla ve güçlüklerle karşılaşmaktadır. Atık lastiklerin yeniden değerlendirilmesinde, yakma ile enerji üretilmesi, enerji elde etmede en kısa ve kolay yol olmakla beraber, uçucu organik bileşikler, polisiklik aromatik bileşikler ve katı partiküllerin oluşmasına sebep olduğundan dolayı çevre ve hava kirliliği sorunlarını artırmaktadır. Bu nedenle bu yöntem tercih edilmemektedir.

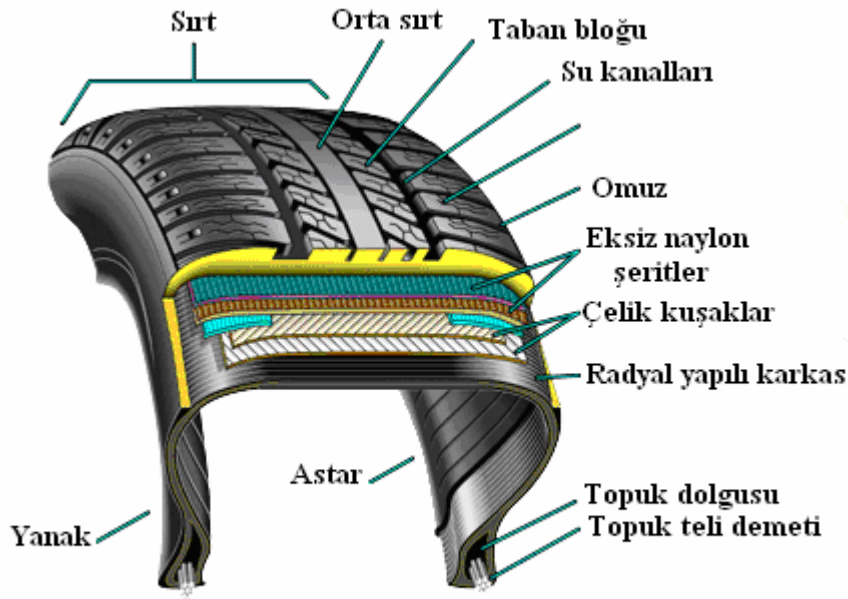
Atık lastiklerin yaklaşık %10-30'luk kısmı yakma ve yeniden kullanma yoluyla değerlendirilebilirken geriye kalan %70'lik kısmı değerlendirilmemektedir. Bu da çevre kirliliği sorunlarını artırmaktadır.

Taşıt lastiği, %25'i stiren olmak üzere yaklaşık %35 oranında stiren-bütadien, %8 oranında polibütadien, kauçuğu yumuşatmak için %20 oranında aromatik yağ, frenlemeye karşı kauçuğun dayanıklılığını artırmak amacıyla ilave edilmiş %33 oranında karbon siyahı ve bunlarla beraber çok az miktarda ZnO, S ve özellikle çok az miktarlarda olması nedeniyle belirlenmeyen diğer maddelerden oluşmaktadır. Bunların yanı sıra, üretim sırasında özel markalara veya özel kullanım amaçlarına bağlı olarak yüzden fazla farklı bileşik ilave edilebilmektedir [7]. Lastiğin yapısı kömüre benzediği için kömürün piroliz veya sıvılaştırılmasında uygulanan yöntemler, atık taşıt lastiklerinin de işlenmesinde kullanılabilir. Dolayısıyla, kimyasal yapıları, kolayca temin edilebilmeleri ve ucuz olmaları nedeniyle, atık taşıt lastiklerinin yakıt üretiminde kullanılması ile hem iyi bir hammadde kaynağı olabileceği hem de oluşturdukları çevre sorunlarına yönelik bir çözüm geliştirilmiş olacağı düşünülmektedir.

3.1. Taşıt Lastiklerinin Yapısı

Taşıt lastiklerinin üretiminde petrolden elde edilen suni kauçuk kullanılmaktadır. Kauçuk, taşıt lastiklerinin yanı sıra hortum, ayakkabı tabanı, conta, eldiven ve çizme gibi ürünlerin üretiminde de kullanılmaktadır. Ancak bu ürünler içerisinde taşıt lastiklerinin

oranı yaklaşık %65 civarındadır. Avrupa’da kauçuk ilk defa 18. yüzyılda ortaya çıkmış ve silgi, yapışkan ve hortum yapımında kullanılmıştır. Kauçuğun ekonomik olma durumu, geçtiğimiz yüzyıl ortalarında Charles Goodyear tarafından “vulkanizasyon”un keşfi ile olmuştur. Yapışkan ve gevşek olan kauçuk malzemesi kükürtle ısıtılınca, sert ve elastik hale gelmektedir. Böylece otomobil tekerleklerini kaplayan ve birçok avantajı beraberinde getiren lastik üretimi mümkün olmaktadır. Taşıt lastiklerinde genellikle kauçuğun yanında çelik tel, tekstil elyafı ve az miktarda kurum, yağ, reçine ve çinko oksit kullanılmaktadır. Bir taşıt lastiğinin temel kısımları Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Bir taşıt lastiğinin temel kısımları

Sırt: Lastiğin zemine temas ettiği kauçuk bölümüdür. Yola tutunmayı, çekişi, su atmayı, soğumayı sağlayan kanal ve bloklardan oluşmuştur. Üretim sırasında kuşakların üstüne yerleştirilir. İki veya tek katmanlı olup, farklı kauçuk karışımlardan meydana gelir. Lastiğin sırt deseni kalıpta, sırt karışımının şekillenmesi ile pişirme sırasında olur.

Çelik Kuşaklar: Radyal lastiklerde sırt ile gövde arasında, gövdenin üst kısmında bulunan, lastiği çevresel olarak sararak yapıyı kuvvetlendiren çelik kuşaklar lastiğin önemli bir bileşenidir. Ana fonksiyonu, lastiğin sırt bölgesinde denge sağlamak, düzensiz aşınmayı engellemek, sürüş ve çekişe katkıda bulunmaktır.

Eksiz Naylon Şeritler: Düzgün sürüş ve mukavemet sağlar.

Radyal Yapılı Karkas: Hava basıncını lastik içinde tutan, yükü taşıyan ve sarsıntıları karşılayan kısımdır. Radyal lastiklerde kuşak, çapraz lastiklerde ise sırt veya darbe katının altında yer alır. Topuk tellerinin etrafında dönerek yanak bölgesinde biter. Çelik, naylon ve kortlardan oluşan lastiğin ana bileşenidir.

Astar: Lastiğin hava geçirgenliğini önlemek amacıyla kullanılır, kauçuk karışımından yapılır.

Yanak: Lastiğin çevresi boyunca sırt ve topuk bölgeleri arasında kalan, yola temas etmeyen kauçuk kısmıdır. Lastiğin yanak kısmında, mukavim ve hava etkilerine karşı dayanıklı karışım kullanılır. Gövdeyi yandan gelecek sürtünmelere karşı korur ve lastiğe esneklik sağlar. Yüksek ve çok yüksek performans grubu lastiklerde, direksiyon hâkimiyetinin artırılması için çelik veya naylon takviyelerin kullanıldığı da olur. Taşıt lastiğine ait tüm marka ve ebat yazıları yanak üzerinde bulunmaktadır.

Omuz: Lastiğin sırtından yanak kısmına geçiş yaptığı kalın kauçuktan yapılmış üst yanak bölgesidir. Sırt ısısını dışarı atabilmek için pencereci yapıdadır. Görevi gövdeyi korumaktır.

Topuk: Lastiğin janta temas eden bölgesinde bulunan lastik bileşenlerinin tümüdür. Yan yana gelmiş ve kauçuk karışımı ile birbirine bağlanmış topuk teli demeti, topuk dolgusu ve jant yastığı başlıca topuk bileşenleridir. Topuk, lastiğin janta iyi oturmasını ve sıkıca bağlanmasını sağlar.

3.2. Atık Taşıtların Lastiklerinin Kullanım Alanları

Ülkemizde ömrünü tamamlamış atık durumdaki taşıtların lastikleri miktarı, yaklaşık olarak yıllık 300.000 ton civarındadır. Kullanılmış araç lastiklerini toplamak amacıyla, lastik üreten firmalar birleşerek Lasder adında bir dernek oluşturmuşlardır. Lasder, lastik üreticisi firmalar adına atık lastikleri toplayarak geri dönüşüm tesislerine ücretsiz olarak vermektedir. Ayrıca lastik üretimi sırasında ıskarta olarak çıkan atık lastik miktarı yaklaşık aylık 2000 tondur. Bu lastikler üretici firma tarafından talep edildiğinde ücretsiz olarak Lasder'e verilmektedir. Lasder'in tüm masrafları, lastik üreticisi firmalar tarafından karşılanmaktadır.

Kullanılmış taşıtların lastiklerinin geri kazanımındaki öncelik, lastiklerin kaplanarak tekrar kullanma gibi uygulamalar için kullanılması ve son olarak ise atık haline geldikten

sonra enerji elde etmede kullanılmasıdır. Atık taşıt lastiklerinin geri kazanımı için çeşitli yöntemler bulunmaktadır.

3.2.1. Tekrar Kullanma ve Kaplama

Taşıt lastikleri, çoğu zaman lastik üzerindeki oyuk ve kanallar aşınmadan değiştirilmektedir. Bu durumda bulunan lastikler toplandıktan sonra tekrar kullanılabilir. Bunun yanı sıra bu lastikler kaplandıktan sonra da tekrar kullanıma sunulabilir. Yeniden kaplanmış lastikler yeni lastiklerle neredeyse aynı güvenlik ve performans standartlarına sahiptir. Bu lastikler yeni lastiklerle karşılaştırıldığında, ömürleri hemen hemen yeni lastikler kadar olup maliyet olarak da ortalama %50 daha ucuzdur [8]. Kaplama yöntemi ile tekrar kullanılan taşıt lastiklerin oranı hâlihazırda %12 gibi düşük bir seviyededir. Araç kullanıcıları kaplanmış lastik tercih ettikçe piyasa arzı da artmaktadır. Bu yöntem ile kullanılan lastikler kullanım ömürlerini tamamladıktan sonra diğer lastiklerde olduğu gibi tekrar kullanılamazlar.

3.2.2. Kauçuk Granülü Haline Getirme

Kullanılmış taşıt lastiklerinin çevre bakımından en iyi yararlanma yolu, kaplanarak yeniden kullanımı olsa da, hurda haline geldiklerinde artık kaplanabilmeleri mümkün olmamaktadır. Sonuçta, bu lastiklerin uygun yöntem ile bertaraf edilmeleri gerekmektedir. Lastiklerin parçalanarak kauçuk kırıntısı haline getirilmesi başka bir geri kazanım yöntemidir. Bu işlem çeşitli parçalama makinelerinin kullanımı ile sağlanır. Parçalama sistemleri, özel amaca göre granül boyutu seçimini sağlar. Daha sonra bu lastik kırıntıları ve parçaları paspas ve filtre üretimi ve boyler kazanları için yakıt kaynağı olarak kullanılır. Parçalama aynı zamanda tüm lastiğin öğütme ve granüle etme işlemleri için ilk adım olabilir. Atık durumdaki taşıt lastiklerinin parçalanmasında bir başka yöntem ise sıvı azot ile parçalama işlemidir. Bu yöntem ile daha düzgün bir şekilde granüle edilmiş lastik parçaları elde edilir ve bunlar değerli metallerin elde edilmesinde kullanılır. Öğütülmüş bu atık lastik parçaları ayrıca yeni lastik üretiminde, ayakkabı tabanı yapımında, köpük üretiminde, tren ve trafik araçlarından gelen gürültünün önlenmesi için panel üretiminde, yol yapımı, set ve hendek yapımında, spor alanları, oyun alanları, liman yapımında kullanılabilir.

3.2.3. Enerji Üretimi

Atık taşıt lastiklerinin ısı değeri neredeyse kömüre eşdeğerdir. Bu nedenle atık lastiklerden termik olarak faydalanmak gerekir. Bu amaçla bazı işletmelerdeki yakma ünitelerinde lastikler bütün olarak veya parçalanmış olarak yakılırlar. Avrupa ülkeleri, Kanada, Japonya ve Amerika'daki birçok işletmede bütün veya parçalanmış lastikler çimento fabrikalarında yakıt olarak kullanılabilir. Elektrik üretiminde kullanma, eski lastiklerin değerlendirilmesi için başka bir yöntemdir.

3.2.4. Binalarda Yapı Elemanı Olarak Değerlendirme

Son yıllarda atık taşıt lastikleri beton içerisinde agrega olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemle beton içerisine yerleştirilen lastik parçaları ile bina yalıtımı sağlanmaktadır. Ayrıca, atık lastikler kırsal kesimlerde depreme karşı dayanıklılığı artırmak amacıyla elastisite kazandırılma işleminde de kullanılmaktadır.

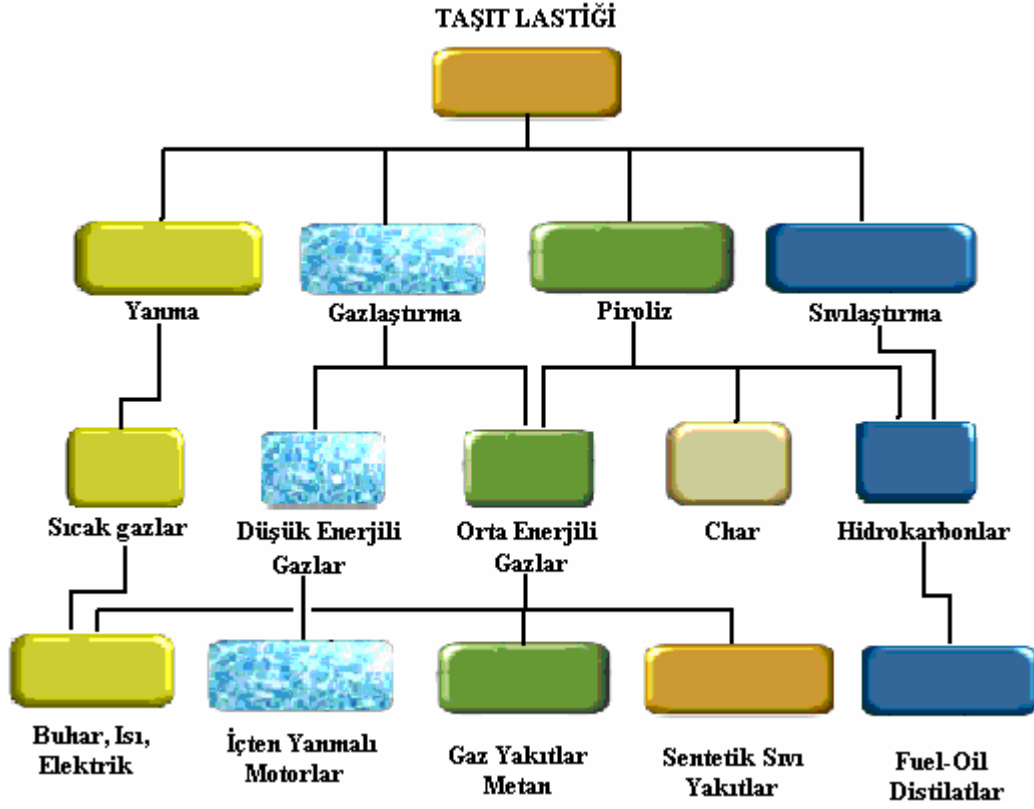
3.2.5. Yakıt Kaynağı Olarak Kullanma

Atık taşıt lastiklerini yakarak yok etme, işlenerek değerlendirme, kazanlarda doğrudan yakma, betonarme yapılarda güçlendirme ve ısı yalıtımı gibi işlemlerde kullanılmaları her ne kadar yaygın kullanım alanlarını oluştursa da bu yöntemlerin tümünün sakıncaları ve sınırlılıkları mevcuttur. Bu değerli atıklardan sıvı yakıt, gaz yakıt ve kömür elde ederek kullanımı, geri kazanım için uygulanabilir bir yöntemdir. Bu amaçla kullanılacak en önemli yöntemlerin başında "Piroliz" gelmektedir. Piroliz işlemi, katı veya sıvı halde bulunan büyük moleküllü organik bileşiklerin oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıklarda ısı parçalanmasıdır.

3.3. Atık Taşıt Lastiklerinin Dönüşüm Süreçleri

Atık taşıt lastiklerinin enerji içeriği yüksek, katı, sıvı ve gaz yakıtlarla, bazı kimyasallara dönüştürülmesinde yanma, gazlaştırma, sıvılaştırma ve piroliz olmak üzere

başlıca dört ısı dönüşüm süreci kullanılmaktadır. Bu süreçlerden elde edilen ara ve son ürünler Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Atık taşıt lastiklerine uygulanabilecek ısı dönüşüm süreçleri

3.3.1. Yanma

Yanıcı bir madde içerisinde yakıtı oluşturan bileşimlerin oksijenle reaksiyona girerek ısı ve ışık meydana getirmesidir. Bu yöntemle atık taşıt lastiği yakılarak bertaraf edilebilir. Ancak bu yöntemin dezavantajı atık taşıt lastiği içerisindeki hidrokarbonların yanı sıra diğer maddelerin de yanmaya katılması ve istenmeyen gaz emisyonlarının ortaya çıkmasıdır. Ayrıca atık lastik her sistemde yakılmaya elverişli bir madde değildir.

3.3.2. Gazlaştırma

Gazlaştırma, karbonlu maddelerin tümünün bir yakıt gazına tamamen dönüştürülmesi için katı yakıtın sınırlı miktarda oksijen veya hava ile tepkimeye girdiği bir

yüksek sıcaklık (800-900°C) sürecidir[9]. Gazlaştırma işlemi iki ana grupta toplanmaktadır. Hava gazlaştırılmasından elde edilen düşük enerjili gazlar ısı ve elektrik üretimi için kullanılır [10]. Sentez gazı ise kimya sanayinde yaygın bir uygulama alanına sahip olup düz ve dallanmış yapıdaki parafin ve olefinlerin, aromatik hidrokarbonların, metanol, NH₃, H₂ ve asetik asit gibi önemli organik maddelerin sentezinde kullanılmaktadır [11, 12].

3.3.3. Sıvılaştırma

Sıvılaştırma, düşük sıcaklıkta, yüksek basınçta ve katalizör (H₂ veya CO) varlığında gerçekleştirilen ve maksimum sıvı ürün elde edilen bir ısıl süreçtir. Hammaddenin kurutulmasına gerek olmayan sıvılaştırmada elde edilen ürün, fiziksel ve kimyasal olarak, piroliz sıvı ürünlerinden daha kararludur ve hidrokarbon üretimi için saflaştırma işlemlerine gerek yoktur. Sıvılaştırma genellikle yüksek kısmi basınçlı hidrojen ortamında yapılmakta ve piroliz işleminde elde edilen üründen daha düşük oksijen içeren ürün vermektedir. Yüksek basıncın maliyeti arttırması, kullanılan çözücü ve katı üründen sıvı ürünün ayrılmasındaki zorluk bu yöntemin olumsuz yönleridir [13].

3.3.4. Piroliz

Atık taşıt lastiklerinden, dizel motorlarından kullanılmak amacıyla, yakıt üretimi için piroliz işlemi uygulanmış olup bu yöntem Bölüm 4'te ayrıntılı olarak sunulmuştur.

4. PİROLİZ

Piroliz sözcüğü Yunanca’da, ortamda hava olmaksızın gerçekleştirilen ısı bozundurma anlamına gelmektedir. Başka bir deyişle piroliz, bir katı ürünün oksijensiz bir ortamda ısıtılarak sıvı, katı ve gaz ürünlere dönüştürülmesi işlemidir. Bu ürünlerden her birinin özellikleri, reaksiyonun meydana geldiği reaktör sıcaklığı, ısıtma hızı, içerde kalış süresi gibi parametrelere bağlıdır. Sıcaklık ve işlem koşullarına bağlı olarak piroliz işlemi; geleneksel piroliz, yavaş piroliz, hızlı ve flash piroliz olmak üzere dört alt sınıfa ayrılır. Ayrıca vakum, ultra ve hidropiroliz gibi ileri piroliz teknolojileri de mevcuttur [14]. Piroliz yöntemleri ve elde edilen ürünler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Piroliz yöntemleri ve ürünler [14, 15]

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

Geleneksel piroliz yöntemleri, yüksek verimli, ucuz maliyete sahip kararlı yöntemler olup, piroliz ürünleri gaz, katı ve sıvı ürünlerdir. Gaz ürün için 650°C’nin üzerindeki sıcaklıklar kullanılırken sıvı ürün için düşük sıcaklıklar tercih edilir [16, 17]. Geleneksel piroliz yüksek katı ve sıvı ürün verimi için uygulanabilir [18].

Flash piroliz genellikle 500°C sıcaklıkta, çok hızlı ısıtma hızlarında ve çok kısa alıkonma sürelerinde gerçekleşir. Sıvı ürün genellikle katran, biyoyakıt olarak adlandırılır

ve hidrokarbon yakıtlara dönüştürülebilir. Buradan elde edilen sıvı ürünler kazanlarda, ocaklarda ve motorlarda yakıt olarak kullanılabilir [19].

Hızlı piroliz, yüksek sıcaklıklarda çok kısa alıkonma zamanı ile sıvı ürün üretimi için günümüzde tercih edilen teknolojidir. Hızlı piroliz, reaksiyon sıcaklığına bağlı olarak (650-1000°C) flash veya ultra piroliz olarak da adlandırılabilir [20].

Vakum pirolizde, biyokütle birçok fırın reaktöründe vakum altında piroliz edilmektedir. Fırından çıkan buharların yoğunlaştırılması ile birincil sıvı ürünlerin elde edilmesi gerçekleştirilebilmektedir. Pirolitik sıvı ısıtma amacı ile yakıt veya özel tip kimyasallar olarak değerlendirilmektedir [14, 20, 21].

Hidropiroliz süreci hidrojen atmosferinde gerçekleştirilen bir süreçtir. Biyokütlenin hidrokarbonlarca zenginleştirilmiş sıvılara dönüştürülmesinde yüksek bir uygulama potansiyeline sahiptir [14, 22].

4.1. Piroliz Ürünleri

Genel olarak tüm piroliz işlemlerinde elde edilen ortak ürünler katı, sıvı ve gaz ürünlerdir. Elde edilen katı ürün çoğunlukla “char” olarak adlandırılır.

4.1.1. Sıvı Ürün

Sıvı ürün, elementel bileşimi oksijenli hidrokarbonların karmaşık bir karışımıdır. Sıvı ürünün karmaşık yapısı, ligninin bozulması ve fenolik bileşiklerin oluşması ve bunların karşılıklı etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Sıvı ürün çoğunlukla, piroliz sıvısı, yağ, biyo-yag veya tar olarak adlandırılmaktadır [14, 16, 23].

Piroliz sıvısının görünümü genellikle koyu renktedir. Hammaddeye ve kullanılan piroliz teknolojisine bağlı olarak, siyah, koyu kahverengi, kırmızı veya koyu yeşil olabilir. Piroliz sıvısında bulunan su oldukça önemli bir etkiye sahiptir [16, 24, 25].

4.1.2. Katı Ürün

Pirolizden elde edilen katı ürün, genellikle gözenekli bir yapıya sahiptir ve aktif karbon gibi kullanılmaya elverişlidir. Char olarak da bilinen katı ürün, inorganik maddeleri, organik bileşiklerin ısıl bozunmasından elde edilen karbonlu atıkları ve dönüşüme uğramayan organik atıkları içermektedir. Kimyasal bileşimi piroliz koşullarına bağlıdır. Piroliz sürecinden elde edilen katı ürünün ısıl değeri, linyit ve kokun ısıl değerine yakındır [14, 26].

4.1.3. Gaz Ürün

Pirolizden elde edilen gaz ürün karmaşık ısıl parçalanma işlemlerinden elde edilen doymuş (metan gibi), doymamış hidrokarbon karışımları ve gazları (H_2 , CO gibi) içerir. Genel olarak H_2 , CO_2 , CO, CH_4 , H_2O ve organik bileşimlerinin buharlarından oluşur. Elde edilen gaz ürün; güç santrallerinde, ısıtma işlemlerinde kullanılabilir [14].

4.2. Piroliz Reaksiyonunu Etkileyen Faktörler

Pirolizi etkileyen faktörler piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı, parçacık boyutu, piroliz atmosferi, basınç, reaktör tipi ve katalizördür [14].

4.2.1. Piroliz Sıcaklığı

Piroliz sıcaklığı, buharlaşabilen madde miktarı ve bileşimini etkileyen en önemli parametredir. Katı, sıvı ve gaz miktarları piroliz sıcaklığı ile değişmekte ve bunların kimyasal bileşimlerinde de farklılıklar meydana gelmektedir. Sıcaklığın aşırı artmasıyla, sıvı ve katı ürünün oranlarının azaldığı belirlenmiştir [14, 27, 28].

4.2.2. Isıtma Hızı

Isıtma hızı, piroliz ürünlerinin dağılımını ve kimyasal bileşimini etkileyen önemli bir değişkendir. Ancak ısıtma hızının tek başına piroliz ürünlerine etkisi oldukça azdır.

Bu nedenle, bu parametre değerlendirilirken alıkonma süresi ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ele alınmalıdır. Buna göre, yüksek ısıtma hızlarında, kısa ve orta alıkonma sürelerinde; yüksek sıcaklıklarda maksimum gaz ürün verimi elde edilirken, düşük sıcaklıklarda maksimum sıvı ürün verimi elde edilir. Düşük ısıtma hızlarında ve uzun alıkonma sürelerinde, düşük sıcaklıklarda sıvı ve katı ürün verimleri birbirine yakın, gaz ürün verimi ise düşüktür. Yüksek sıcaklıklarda ise gaz ürün verimi, katı ve sıvı ürüne göre biraz daha fazladır [14, 20].

4.2.3. Parçacık Boyutu

Parçacık boyutunun artması ile uçucu gazların reaksiyon atmosferine geçiş yolu artmaktadır. Başka ısı transferi yüzeyinin artması söz konusu olmaktadır. Bu durumda uçucu gazlar yüzeyle daha uzun süre temas etmekte ve ikincil tepkimelerin oluşumuna neden olmaktadır. Bu tepkimelerin en önemlisi uçucu gazların çeşitli yüzey etkileşimi sonucu koklaşma tepkimelerine girip yeniden polimerize olmaları veya sıcak katı yüzeylerde çeşitli parçalanma tepkimelerine uğramalarıdır. Bu nedenle, pirolizde ham maddenin parçacık boyutunun, kütle ve ısı iletim sınırlamalarına neden olmayacak boyutta seçilmesi önem kazanmaktadır [14, 29].

4.2.4. Piroliz ortamı

Piroliz işlemi normal (statik), sürükleyici gaz (N_2 , He, Ar, vb.), hidropiroliz (H_2) ve su buharı ortamlarında gerçekleşebilir. Farklı ortamların kullanılması ürünlerin miktar ve kalitesini etkilemektedir [14, 30]. Özellikle piroliz ortamının inert olması amacıyla, ortamdan oksijenin süpürülmesi önem arz etmektedir. Bu amaçla çoğu zaman N_2 sürükleyici gaz olarak kullanılmaktadır.

4.2.5. Katalizör

Katalizörler, bir kimyasal tepkimenin hızını ve şeklini değiştiren, fakat reaksiyona girmeyen maddelerdir. Reaksiyon sonrasında, çoğu zaman katalizörün fiziksel yapısı değişse bile kimyasal yapısında herhangi bir değişiklik meydana gelmemektedir.

Kimyasal olarak reaksiyon mekanizmasını değiştirir. Katalizörlerin kullanımı ve gelişimi, ürün verimi ve seçiciliği açısından önem taşır [14]. Piroliz sıvısının kalitesinin artırılmasında özellikle kükürt miktarının azaltılmasında katalizör kullanımının önemi büyüktür.

Bu çalışmada kalsiyum hidroksit (Ca(OH)_2), kalsiyum oksit (CaO) ve sodyum hidroksit (NaOH) gibi metal oksitler katalizör olarak kullanılmıştır. Bu katalizörlerin kullanılmasının temel nedeni atık taşıt lastiklerinden elde edilen sıvı yakıtın kükürt içeriğini azaltmak olmuştur.

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

5.1. Atık Taşı Lastiklerinin Geri Dönüşümü ve Piroliz

Dünyada her yıl yaklaşık 1 milyar adet atık taşı lastiği oluşmaktadır [31]. Bu lastikler doğada kolayca yok edilememektedir. Taşı lastikleri kükürt ile çapraz bağ oluşturan uzun zincirli polimerler (bütadien, izopren ve stiren-bütadien) içerdikleri için bozunmaya aşırı dirençlidirler. Bu lastiklerin doğada yanması sonucu insan sağlığına aşırı zararları olan kirletici emisyonlardan poli-aromatik hidrokarbon(PAH), benzen, stiren, butadien ve fenol gibi maddeler ortaya çıkmaktadır [32]. Dolayısıyla bu değerli karbonlu bileşiklerden yeni ve temiz enerjilere dönüştürülerek yararlanılması gerekmektedir.

Atık taşı lastikleri yeniden işlenerek değerlendirme, yakarak yok etme, öğütülerek betonarme yapılarda güçlendirme işleminde kullanma gibi alternatif yollarla kullanılmaya çalışılmaktadır. Ancak bu yöntemlerin tümünün sakıncaları ve sınırlılıkları mevcuttur [33, 34]. Piroliz bu değerli atıklardan sıvı yakıt, gaz, aktif karbon ve kömür geri kazanımı için uygulanabilir bir yöntemdir [35]. Piroliz katı maddelerin havasız ortamda ısı parçalanmasıdır. Bu işlem ile elde edilen ürünler kolay işlenebilir, depolanabilir ve her yere kolay taşınabilir olması bu yöntemin uygulanabilirliğini artırmaktadır. Piroliz sıvısı doğrudan yakıt olarak kullanılabileceği gibi özellikleri bakımından işlenerek farklı yerlerde kullanılabilmektedir. Bunun yanı sıra atık taşı lastiği piroliz sıvısından benzen, toluen, ksilen ve limonen gibi kimyasal ürünler de elde edilebilmektedir [36-39].

Piroliz işleminde elde edilen, lastiklerin uçucu olan organik kısımları yakıt olarak kullanılabilen, sıvı ve gazlardır. İnorganik kısımları olan başlıca çelik teller ve uçucu olmayan karbon siyahı katı ürün olarak kalmaktadır.

Yapılan bir çalışmada [40], piroliz gazlarının başlıca, metan, bütan, bütan ile diğer hafif hidrokarbonlardan ve bunların yanı sıra az miktarda da CO, CO₂ ve H₂S gazlarından oluştuğu bildirilmiştir. Lastik piroliz gazları yüksek düzeyde ısı değere (68-84 MJ/m³) sahip olup termik santrallerde elektrik enerjisi üretmede kullanılabilmektedir.

Mevcut literatürde atık taşı lastiklerinin pirolizi ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Termo-gravimetrik analizi [41, 42], sabit yatak reaktörü [40, 43-46], akışkan yataklı piroliz ünitesi [47, 48, 49], vakum piroliz reaktörü [50-54] ve püskürtmeli yatak reaktörü [55] gibi sistemler kullanılarak birçok çalışmalar yapılmıştır.

Bu tür çalışmalar genellikle piroliz kinetiği, reaktör tasarımı, ürün karakterlerinin saptanması ve işlem maliyeti gibi farklı piroliz parametrelerini saptamıştır. Piroliz verimi ve elde edilen ürünlerin karakteristikleri sadece hammadde ve çalışma şartlarına bağlı olmayıp, reaktörün türü ve ebatları, ısı transferi miktarı, reaksiyon süresi gibi, kullanılan sistemin özgül özelliklerine de bağlıdır.

Sabit yatak piroliz reaktörü kullanılarak yapılan bir çalışmada [43], piroliz işlemi 300-700°C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmiş olup, sıcaklık 300°C'den 500°C'ye çıkıncaya kadar katı ürün miktarı azalmış, buna karşın sıvı ve gaz ürünlerde ise bir artış tespit edilmiştir. Ancak sıcaklık 500°C'den 700°C'ye çıkınca sıvı ürün miktarında azalma görülmüştür [43]. Vakum piroliz reaktörü kullanılarak yapılan bir çalışmada da benzer olarak piroliz işlemi 350-700°C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmiş olup 500°C'den sonra sıvı ürün veriminde herhangi bir artış gözlenmemiştir [52].

Sabit yatak reaktörü kullanılarak yapılan bir atık taşıt lastiği piroliz deneyi 400-700°C sıcaklıklarda ve 12°C/dak. ısıtma hızı ile gerçekleştirilmiş olup, uygun sıcaklığa ulaşıldıktan sonra 4 saat süre ile devam ettirilmiştir. Elde edilen ürünlerin dağılımı yapıldığında %47-63'ünün katı, %30-43'ünün sıvı ürün ve %2,2-4,4'ünün ise gaz ürün olduğu bildirilmiştir. Bunun yanı sıra, 400-500°C sıcaklık aralığında sıvı ürün veriminde hızlı bir artış olmuş 500°C'den sonraki sıcaklıklarda ise herhangi bir artış olmadığı ve sabit kaldığı gözlenmiştir [56]. Lastik pirolizi ürünlerinin verimini inceleyen bir çalışmada [36], sıvı ürün verimi 475°C'de maksimum düzeye ulaşmıştır. Bu sıcaklık değerinde sıvı ürün verimi %58,2 olup sıcaklığın bu değeri aşmasıyla sıvı ürün verimi değeri düşüş göstermiştir. Bu durum, piroliz işleminde elde edilen ürünlerin miktarlarının ve karakteristiklerinin, sıcaklığın bu ürünlerin miktarına etkisinin bir çalışmadan başka bir çalışmaya farklı olabileceğini göstermektedir.

Diğer taraftan, bazı çalışmalarda [44,57], piroliz işleminde sıcaklık 450°C'den 600°C'ye çıkınca buna paralel olarak sıvı ürün veriminde azalma ve buna karşılık gaz ürün veriminde ise artış tespit edilmiştir. Başka bir çalışmada ise [45], piroliz sıcaklığı 300°C'den 720°C'ye kadar çıkarken, katı ürün ve gaz ürün verimi azalmış olup sıvı ürün veriminde artış tespit edilmiştir. Ancak sıcaklığın etkisi 600°C'den sonra çok düşük düzeyde olmuş ve ısıtma hızına göre değişim göstermiştir. Başka bir çalışmada [47] ise, piroliz sıcaklığı 640°C'den 840°C'ye kadar çıktığında, sıcaklıktaki artışa bağlı olarak katı ve gaz ürün veriminde artış olduğu, buna karşın sıvı ürün veriminde ise azalma görüldüğü bildirilmiştir.

Bir çalışmada [58], atık lastikler, reaktördeki azot atmosferinde 300, 400, 500, 600 ve 700°C’de pirolize tabi tutulmuştur. Bu çalışmanın sonucunda 500°C’nin üzerindeki sıcaklıkların piroliz ürünlerinin karakteristiklerine etkisinin olmadığı bildirilmiştir. Piroliz gazları çoğunlukla CO, CO₂ ve H₂S içermektedir. Ayrıca lastik piroliz ürünlerinin C₅-C₂₀ arası karbona sahip organik bileşiklerden oluştuğu bildirilmiştir. Başka bir çalışmada, atık lastikler 480-520°C sıcaklıkları arasında ve 10 kPa basıncında vakum piroliz reaktöründe piroliz işlemine tabi tutulmuştur [59]. Bu çalışmada, piroliz ürünlerinden olan gazların, aynı zamanda piroliz işleminde kullanılan ısıtma sistemi için yardımcı yakıt olarak kullanılabileceği bildirilmiştir.

Piroliz-katalizör şeklindeki çift aşamalı işlem kullanarak, atık lastiklerden sıvı yakıt yerine kimyasal hammadde elde etmeye yönelik yapılan bir çalışma, sabit yatak reaktöründe gerçekleştirilmiştir. Piroliz gaz ürünleri, zeolit katalizör bulunan başka bir sabit yatak reaktöründe elde edilmiştir. Reaktör sıcaklığı 500°C sıcaklığında tutulmuş olup, katalizör bulunan reaktörde sıcaklık 430-600°C aralığında seçilmiş ve katalizör sıcaklığının sıvı ürün üzerine etkileri araştırılmıştır. Burada iki katalizör kullanılmıştır. Bunlar, Y-tipi ve ZSM-5 tipi katalizörler olup farklı gözenek çapı ve yüzey aktivitesine sahiptir. Katalizör kullanımında gaz ürün miktarının arttığı, buna karşın sıvı ürün verimin düştüğü tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, sıvı üründe bulunan aromatik hidrokarbon, benzen, toluen ve ksilen miktarının katalizör kullanımında hızla arttığı bildirilmiştir [60].

550, 650 ve 800°C sıcaklıklarda azot atmosferinde ve sabit yatak reaktörü kullanılarak yapılan bir piroliz işleminde, farklı türden taşıt lastikleri işleme tabi tutulmuştur [36,38]. Çalışmada, otomobil lastiği ve kamyon lastiği ayrı ayrı pirolize tabi tutulmuştur. Elde edilen piroliz ürünlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit edilmiştir. Her iki lastik türünden elde edilen sıvı ürünün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin benzer olduğu ve dizel yakıtından daha hafif ancak naftadan daha ağır olduğu tespit edilmiştir. Ancak otomobil lastiğinden elde edilen sıvı ürünün aromatik hidrokarbon ve kükürt içeriğinin kamyon lastiğinden elde edilen üründen daha fazla olduğu da söylenmiştir.

Taşıt lastiklerinden piroliz ile elde edilen sıvı ürün veriminin, %58’den bile fazla olabileceği bildirilmiştir. Bu sıvı ürünün yakıt özellikleri ticari dizel yakıtına benzer özelliklere sahiptir [57]. Örneğin ısı değeri 42 MJ/kg ve kükürt içeriğinin işlem şartlarına bağlı olarak %0,5-1,5 arasında olduğu ve bu nedenle doğrudan kullanılabileceği bildirilmiştir. Sabit yatak reaktörü kullanılarak, atık taşıt lastiği pirolizi ile sıvı ürün elde

etmeye yönelik yapılan bir çalışmada [37], reaktöre ilave edilen bir kondenser ile gaz ürünlerin içerisinde bulunan sıvı ürün fraksiyonları ve aromatik bileşikler yoğunlaştırılarak sıvı ürünün verimi önemli düzeyde artmıştır. Atık taşıt lastiklerinin ısı değeri 32-43 MJ/kg arasında değişmektedir. Bu değer dizel yakıtının ısı değerine yakın bir değer olup kömürün ısı değerinden (19-28 MJ/kg) daha fazladır.

Başka bir çalışmada [37], piroliz edilecek olan taşıt lastikleri 1-1,4 mm boyutunda dilimlenmiştir. Yapılan analiz sonucunda bu lastiklerin tel ve iplikler alındıktan sonra, içeriğinin %86.4 karbon, %8.0 hidrojen %0.5 azot ve %1.7 oranında kükürt olduğu bildirilmiştir. Ayrıca aynı çalışmada atık lastiğin 40 Mj/kg ısı değere sahip olduğu söylenmiştir. Atık Lastik Yönetimi Konseyi'ne (Scrap Tire Management Council) göre ortalama bir lastik 4 litre sıvı ürün, 3 kg karbon siyahı, 1.5 kg gaz ve 1 kg çelik ve kül üretir.

Atık taşıt lastiği pirolizi üzerine yapılan başka bir çalışmada, sıcaklığın piroliz ürünlerindeki polar-aromatik hidrokarbon içeriğine etkileri araştırılmıştır [61]. Polar-aromatik hidrokarbon bileşikler halkalarında kükürt, oksijen veya azot atomları içeren maddelerdir. Lastik pirolizinde bu polar-aromatik hidrokarbon bileşiklerinin büyük bir bölümü sıvı ürün içerisinde yer alıp kükürdün büyük bir bölümünü oluşturmaktadır [62]. Lastik piroliz sıvısında bulunan kükürt genellikle mono-sülfid, halkalı sülfid veya serbest sülfid şeklinde bulunur [63]. Sıcaklığın polar-aromatik hidrokarbon içeriğini etkilediği bildirilmiştir. Piroliz sıcaklığı arttıkça polar-aromatik hidrokarbon içeriğinin de arttığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda sıcaklığın ağır yapılı polar-aromatik hidrokarbon miktarını arttırdığı da bildirilmiştir [61].

5.2. Kükürtsüzleştirme

Kükürt bileşikler, petrol ürünleri içerisinde ve genellikle ağır yapılı ürünlerin içerisinde, hem alifatik hem de aromatik formda bulunurlar [64, 65]. Bu ağır yapılı ürünler genellikle katalitik kraking yöntemi ile daha hafif yapılı ürünlere dönüştürülebilmektedirler. Bu işlem sırasında çoğu kükürt bileşikler geleneksel hidro-desülfürizasyon (HDS) işlemi ile petrol ürünlerinden ayrıştırılmaktadırlar [65]. Ancak bu işlem ile bütün kükürt bileşikler uzaklaştırılamamaktadır. Bu bileşikler tiofenler ve bazı aromatik kükürt bileşikler olan dibenzotiofen ve türevlerinden olan dimetilbenzotiofenlerdir. Ham petrol ürünlerinde bulunan en önemli zararlı bileşiklerden

biri de kükürttür. Yapılan bazı çalışmaların sonuçlarına göre, genellikle kükürt içeren bileşikler aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır [66, 67].

- Tiyoller (Merkaptanlar)
- Sülfürler (Tiyoterler)
- Disülfürler (Ditioeterler)
- Tiyofen ve Türevleri

Tiyoller (Merkaptanlar): R-SH genel formülü ile gösterilirler. Alifatik ve aromatik tiyoller olmak üzere ikiye ayrılırlar. Tiyoller zayıf asidik özellik gösteren kararsız bileşiklerdir.

Sülfürler (Tiyoterler): R-S-R genel formülü ile gösterilirler. Aromatik, halkalı ve alifatik sülfürler olmak üzere üçe ayrılırlar. Aromatik sülfürler çok kararlı bileşiklerdir. Alifatik sülfürler daha kararsız olup uygun koşullarda hidrojene, doymamış bileşiklere ve hidrojen sülfüre indirgenirler [68].

Disülfürler (Ditioeterler): R-S-S-R genel formülü ile gösterilirler. Kararlılıkları ve verdiği tepkimeler açısından tiyollere benzerler.

Tiyofen ve Türevleri: Bu gruptaki kükürt bileşikleri çok karardır. Başlıca tiyofen bileşikleri; tiyofen, benzotiyofen ve dibenzotiyofendir [66].

Yakıttaki kükürt başlıca;

- Yakıtta hoş olmayana bir koku verir.
- Yanma sonucu zararlı SO₂ bileşimini atmosfere salar.
- Yakıtın rengini bozarak sarı bir hal almasına ve yakıtın reçineleşmesine neden olur.
- Her aşamada yakıtın bulunduğu kap ile etkileşerek korozyona sebep olur.
- Yanma sonucu yağlama yağı ile reaksiyona girerek yağlayıcılık özelliğini bozar.

Bütün bu nedenlerden dolayı, yakıtların kükürdünün ayrıştırılması büyük önem taşımaktadır. Avrupa Birliği ve Amerika tarafından yapılan düzenlemeler neticesinde dizel ve benzinli motorlarda kullanılan yakıtlarda müsaade edilebilir kükürt miktarı 50 ppm'e düşürülmüştür. Bu sınır miktarı 2010 yılından itibaren 10 ppm olarak belirlenmiştir [69].

Gelecekte, yakıt özelliklerinde beklentileri karşılamak için, kükürt giderme gibi bazı yakıt iyileştirme işlemlerinin uygulanarak yakıt özelliklerinin belirlenen sınır değerlere ulaştırılması gerekmektedir. Yakıtlardaki kükürdün giderilmesi için HDS gibi bazı teknikler uygulanmaktadır. Bu tür hidrojen uygulanan tekniklerle bazı durumlarda yakıtın kalitesi olumsuz etkilenmekte ve yakıtın kükürt içeriği yeteri kadar giderilememektedir. Çünkü yakıtlar yaklaşık %20-30 oranında aromatik hidrokarbon içermesine karşın yaklaşık %1 kadar kükürt içermektedir. Dolayısıyla bu kükürdün ayrıştırılması oldukça zor bir işlem halini almaktadır.

HDS'de kullanılan $\text{CoMo/Al}_2\text{O}_3$ ve $\text{NiMo/Al}_2\text{O}_3$ katalizörleri dizel yakıtının kükürt miktarını 350-500 ppm'e kadar düşürebilmektedir [70,71]. Günümüzde kullanılan, yeni katalizörlerden olan TK558-Brim, TK559-Brim ve TK576-Brim yakıtın kükürdünü 50 ppm'e kadar düşürülebilmektedir [72]. Kükürt oranının 50 ppm ve altına düşürülmesi istenirse düşük reaktivite düzeyine sahip olan kükürt içeren alkali dibenzotiyofenlerin ayrılması gerekir [73, 74]. Bunun yanı sıra dizel yakıtlarının setan sayısı, yoğunluk, poliaromatik içeriğinin ve %95'inin distilasyon noktasının korunması gerekir [75, 76]. Ancak katalizör olarak $\text{CoMo/Al}_2\text{O}_3$ ve $\text{NiMo/Al}_2\text{O}_3$ kullanan geleneksel kükürt giderme yöntemleri ile bu mümkün görünmemektedir.

Katalizör olarak NiMo kullanan bir HDS işleminde, dizel yakıtının kükürt içeriği 150 ppm'e kadar düşürülebilmektedir. Ancak bu düşüşe paralel olarak yakıtın aromatik içeriğinde aşırı bir azalma tespit edilmiştir [77]. Bu nedenlerle HDS'nin dışında yeni ve gelişmiş kükürt giderme yöntemleri uygulanmalıdır. Bu yöntemlerden bazıları, oksidatif mikrobiyal kükürtsüzleştirme veya hidrojeniz oksidatif kimyasal kükürtsüzleştirme işlemleridir.

Oksidatif mikrobiyal kükürt giderme işleminin esas biyo-katalitik olarak sülfür bileşiklerinin, sülfat tuzlarına ve sülfat oksitlere dönüştürülmesine dayanır. Bu yöntem üzerine birçok araştırma yapılmış olmasına rağmen, biyo-dönüşüm işleminin yavaş olmasından dolayı uygulamada sınırlamalar getirmekte ve kullanışlı olmamaktadır.

Dizel yakıtının oksidasyona tabi tutulmadan doğrudan ekstraksiyonu, kükürdün yaklaşık %45 civarında yakıttan uzaklaşmasını sağlamaktadır. Ancak bu işlem bazı aromatik hidrokarbonlarında kaybolmasına neden olmaktadır [78]. Hidrojeniz oksidatif kimyasal kükürt giderme yöntemi üç farklı teknikle olabilmektedir. Bunlar oksidatif ekstraksiyon, homojen bir katalizör eşliğinde karbon-kükürt dönüşümü ve fiziksel ayrıştırma [79, 80]. Bu yöntem basitçe iki adımdan ibaret olup bunlar oksidasyon ve sıvı

ekstraksiyonudur. Son yıllarda daha ekonomik ve daha etkin olan oksidatif desülfürizasyon yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde yakıtta bulunan kükürt oksijen ile reaksiyona girerek SO₂ ve sülfatlar oluşmakta ve distilasyon işlemiyle yakıttan ayrıştırılabilmektedir [81].

Birçok çalışmada kükürt içeren bileşikler, uygun bir oksitleyici ile oksitlenerek sülfoksit ve sülfat tuzlarına dönüştürülmüştür [65, 79, 82, 83]. Çoğu zaman bu oksitleme işlemi ile kükürt oranı %90 azaltılabilmektedir. Oksidasyon işlemi ile birlikte metanol veya etanol gibi bazı solventler katılarak yakıtın içerisindeki kükürt %99'a kadar uzaklaştırılabilmektedir. Bu yöntemler sıkça uygulanabilmektedir. Yakıtlarda bulunan kükürt içeren bileşikler olan peroksi-organik asitler, katalizlenmiş hidro-peroksitler, inorganik peroksi-asitler veya peroksi-tuzlar vasıtasıyla oksitlenebilmektedir. Oksidasyon ürünleri sülfoksitler ve sülfat tuzlarıdır [78].

Nitrojen içeren bileşiklerin oksidatif desülfürizasyon üzerindeki etkilerini araştıran bir çalışmada [84], H₂O₂ eşliğinde nitritlerin etkisi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Çalışmada piridin ve pirolün tiofenleri uzaklaştırmada etkilerinin aynı olmadığı gözlenmiştir. Piridin pirolen çok daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Kuinolin ve indolün tiofenleri uzaklaştırmada herhangi bir etkilerinin olmadığı tespit edilmiştir. Ancak bu her iki nitrit türünün yanı sıra karbazolün benzotiyofen ve dibenzotiyofenlerin oksidasyonunda önemli bir etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır.

Yapılan başka bir çalışmada [85], dibenzotiyofen ve dizel yakıtından oluşan model yakıttan, çinko klorür (ZnCl₂) ile aktifleştirilmiş tanecikli karbon ile kükürt gidermeyi gerçekleştirmişlerdir. Yakıtın içerisindeki kükürt içeren eleman olarak dibenzotiyofenin %86'lık kısmının ilk 3 saatte ayrıştırıldığını ve 48 saatte %92.6'sının ayrıştırıldığını ve sonradan daha fazla ayrışma olmadığını bildirmişlerdir.

Kükürt miktarının düşürülmesi için yapılan bir çalışmada [86], atık motor yağlarından elde edilen yakıtın üretimi aşamasında piroliz işleminde sodyum karbonat (Na₂CO₃), zeolit ve kireçden (CaO) %2, %4, %6 %8 ve %10 oranlarında katkı maddeleri katılarak, karışımlar pirolitik distilasyon işlemine tabi tutulmuştur. Bu testlerin sonucunda en önemli bulgu atık motor yağına kütleli olarak %2 CaO katıldığında kükürt miktarının en aza (yaklaşık 3250 mg/kg) düştüğü görülmüştür.

Formik asit ve hidrojen peroksit kullanılarak yapılan bir oksidasyon/ekstraksiyon tekniğinde, 1044 ppm kükürt içeren bir yakıtın kükürt miktarı %92 azaltılarak 100 ppm'in

altına düşürülebilmektedir [78]. Bu işlem düşük sıcaklıklarda 50°C ve atmosfer basıncında yapılmıştır.

Yapılan bir çalışmada [87], kükürtsüzleştirme işleminde hidrojen peroksit ve asetik asit ile katalizör olarak sülfürik asit kullanılarak tiofenik sülfür içeren petrol ürünleri, oksidasyona sokularak gelişmiş bir kükürt giderme işlemine tabi tutulmuştur. Deneysel sonuçlar, oksidasyon ürünleri içerisindeki sülfat tuzlarının, asetik asit/sülfürik asit oranı 1/0'dan 2/1 molar oranına kadar arttığı tespit edilmiştir. En yüksek dibenzotiofen (DBT) dönüşüm oranı 2/1 asetik asit/sülfürik asit molar oranında tespit edilmiştir. Bu işlem ile petrol ürünleri %90 oranında kükürtsüzleştirilmiştir. Kükürdü yakıttan ayrıştırma amaçlı daha yeni, modern ve ucuz oksidasyon yöntemlerine yönelik araştırmalar devam etmektedir.

5.3. Atık Taşıt Lastiklerinin Motorlarda Kullanılması

Atık taşıt lastiklerinden elde edilen yakıtın bir dizel motorunda kullanılması halinde, motor performansı ve egzoz emisyonların nasıl değiştiğini ortaya koyan kapsamlı bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Diğer taraftan, bu yakıtın dizel motorlarında kullanılması halinde, motor parçalarına etkilerinin nasıl olacağına yönelik herhangi bir çalışmaya da rastlanmamıştır. Ayrıca atık taşıt lastiklerinden elde edilen yakıtın yüksek kükürt içeriğine sahip olmasından dolayı, bu kükürdün düşürülmesine yönelik verimli ve uygulanabilir yeni yolların arayışı devam etmektedir.

Yüksek termik verim, düşük yakıt tüketimi ve dizel yakıtı fiyatının benzine nazaran daha düşük olması, dizel motorlarının otomobillerde giderek daha fazla kullanılmasını sağlayarak, dizel motorlarının kullanımını önemli derecede artırmıştır. Şehir dışında daha düşük olmakla birlikte, motorlar şehir içinde düşük güçlerde ve genellikle yüksek yakıt sarfıyatı ile çalışmaktadır. Özgül yakıt sarfıyatlarının ortalamasının benzin motorları için 0,342 kg/kWh ve dizel motorlar için ise, 0,252 kg/kWh olduğu bildirilmiştir [88]. Aralarındaki fark benzinin sarfıyatına bölünürse, benzin motorunun dizele göre %26 daha fazla maliyetle yakıt tükettiği ortaya çıkmaktadır. Bu durum dizel motorlarının avantajını ortaya koymaktadır. Ancak içten yanmalı motorların her alanda çok sık kullanılıyor olması ve diğer taraftan bu motorlar için yakıt kaynağı olarak kullanılan petrolün tükenecek olması, hem benzinli hem de dizel motorlar için yenilenebilir yakıt kaynağı arayışlarını hızlandırmıştır. Ayrıca petrolün uluslararası varil değerinde fiyatının

artması ve dizel motorlarının yaygınlaşması, dizel motor yakıtının da fiyatının artmasına neden olmuştur.

Ülkemiz petrol kaynakları bakımından kendine yetemeyen bir ülkedir. Ayrıca petrol üretimi bakımından da sürekli artan tüketimi karşılamaktan oldukça uzaktır. Petrol ihtiyacımızın %80'ninden fazlası ithalat ile karşılanmaktadır. Konvansiyonel bir enerji kaynağı olan petrolün tükeniyor olması, giderek artan yakıt talebi ve buna paralel olarak petrol fiyatlarının artması ve daha da artacak olması yeni ve yenilenebilir yakıt arayışlarını artırmıştır. Esas olarak, önceden beri var olan alternatif yakıt kullanma çalışmaları, çeşitli zamanlarda ortaya çıkan petrol krizleri dönemlerinde hız kazanmış ve kriz dönemleri sonrasında önemli ölçüde yavaşlamıştır [89]. Yenilenebilir yakıt kaynağı arayışlarının yanı sıra tasarruf önlemleri çerçevesinde var olan yakıt kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması önemlidir. Ayrıca yakıt kaynaklarının dönüştürülerek kullanılması ve atık yakıt kaynaklarından da faydalanılması bir gereklilik halini almıştır.

Atık taşıt lastikleri gibi, petrol türevi atıkların ortadan kaldırılması çevre kirliliği açısından bir zorunluluk halini almıştır. Bu lastiklerin ortadan kaldırılmasına yönelik birçok yöntem olmakla beraber, bu konuda var olan sorunlar hâlâ devam etmektedir. Atık lastiklerin, özellikle kullanılmış taşıt lastiklerinin çevreye olan zararlarının önüne geçmek için, bunlardan enerji elde etme oldukça önemli bir metottur. Bu amaçla atık araç lastiklerinden yakıt elde etmek için termal çökertme (piroliz) işleminden yararlanılacaktır.

Atık lastiklerin kontrolü piroliz ile bir ölçüde kolaylaştırılabilir. Taşıt lastiklerinden elde edilen lastik yakıtının (LY) özellikleri analiz edilmiş ve dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Bu yakıtın dizel motorlarında kullanılabileceği bildirilmiştir [90]. Ancak ham LY'nin daha yüksek viskozite ve kükürt içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle ham LY desülfürizasyon işlemine tabi tutulmuş ve daha sonra vakum distilasyon ile damıtılmıştır. Çalışmada, distile edilmiş belirli oranlarda LY-dizel yakıtı karışımları oluşturulmuş ve bu karışımlar bir dizel motorunda herhangi bir modifikasyon yapılmadan kullanılmıştır.

Çalışmada LY kullanımında NO_x , SO_2 , partikül madde ve yanmamış HC emisyonları araştırılmıştır [91, 92]. Yanma testlerinde LY'den kaynaklanan emisyonlar dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. LY'nin dizel yakıtı ile benzer özelliklere sahip olduğu, ancak kükürt miktarının %1,4 ve azot içeriği %0,45 ile dizel yakıtından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ham LY, char, kum ve bazı alkali metaller de içermektedir. Bu

nedenle ham LY kullanımında, başta püskürtme sistemi olmak üzere supap, supap yuvaları, segmanlar ve silindirlerde aşınma problemlerine neden olmaktadır [92].

Bir dizel motorunda ham LY ile yapılan deneylerde, ham LY-dizel yakıtı belirli oranlarda karıştırılarak kullanılmıştır. Motorda kullanılabilecek maksimum LY-dizel yakıtı karışımının %70 LY içeren karışım olduğu bildirilmiştir. Daha yüksek karışımlarda motorun çalışmasında aksaklıklar olduğu bildirilmiştir. Ham LY kullanımında, motorun performansını ve emisyonlarını etkileyen başlıca iki parametre, viskozite ve kükürt içeriğidir. Ham LY kullanımında yüksek viskozitenin uzun süreli kullanımda karbon birikimi ve segman sıkışması gibi sorunlar yaratabileceği bildirilmiştir[93].

LY-dizel yakıtı karışımlarının ısı değeri, viskozite, parlama noktası ve akma noktası gibi fiziko-kimyasal özellikleri dizel yakıtının aynı özelliklerinden farklıdır. Bu özellikler püskürtme karakteristikleri, performans, yanma ve emisyon karakteristiklerini etkiler. LY yakıtının viskozitesi dizel yakıtından yaklaşık 1,5 kat daha yüksektir. LY'nin parlama noktası dizel yakıtına yakın bir değerdedir. Ancak kükürt miktarı ve karbon içeriği dizel yakıtından daha yüksek olarak bildirilmiştir [94].

Yapılan bir çalışmada, dizel yakıtı, %10, %30 ve %50 LY-dizel yakıtı karışımları tek silindirli direkt püskürtmeli bir motorda kullanılarak motor performansı, yanma ve egzoz emisyonları araştırılmıştır. Burada LY atık otomobil lastiklerinden vakum piroliz yöntemi ile elde edilmiştir [95]. Çalışmada; fren termik veriminin artan LY miktarıyla dizel yakıtına göre arttığı ve %50'ye kadar LY-dizel yakıtı karışımı kullanımında, çalışma boyunca enjektör tıkanması veya motor tutukluğu problemlerine neden olmadığı görülmüştür. Yük altında yapılan çalışmada, HC emisyonlarının LY kullanımında dizel yakıtına nazaran daha yüksek çıktığı, LY10 (%10 LY-%90 dizel yakıtı) kullanımında tam yükte HC emisyonlarının dizel yakıtına göre yaklaşık %3 daha yüksek çıktığı bildirilmiştir. Bu artış LY30 ve LY50 yakıt karışımları için sırasıyla %15 ve %21 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum LY yakıtının yüksek Poli-aromatik HC içeriğinden kaynaklanmaktadır. CO emisyonlarının LY-DY karışım yakıtlarında dizel yakıtına göre daha yüksek olduğu ancak bu artışın %0,1'den daha düşük olduğu bildirilmiştir. Tam yükte yapılan çalışmada, NO_x emisyonlarının LY kullanımında dizel yakıtına nazaran daha yüksek çıktığı, LY10 kullanımında tam yükte HC emisyonlarının dizel yakıtına göre yaklaşık %0,5 daha yüksek çıktığı bildirilmiştir. Bu artış LY30 ve LY50 yakıt karışımları için sırasıyla %4,5 ve %10 olarak gerçekleşmiştir. Duman emisyonlarının LY50 yakıtı için dizel yakıtına göre, tam yükte, yaklaşık %7 daha yüksek çıktığı bildirilmiştir. Tutuşma gecikmesi periyodu LY-

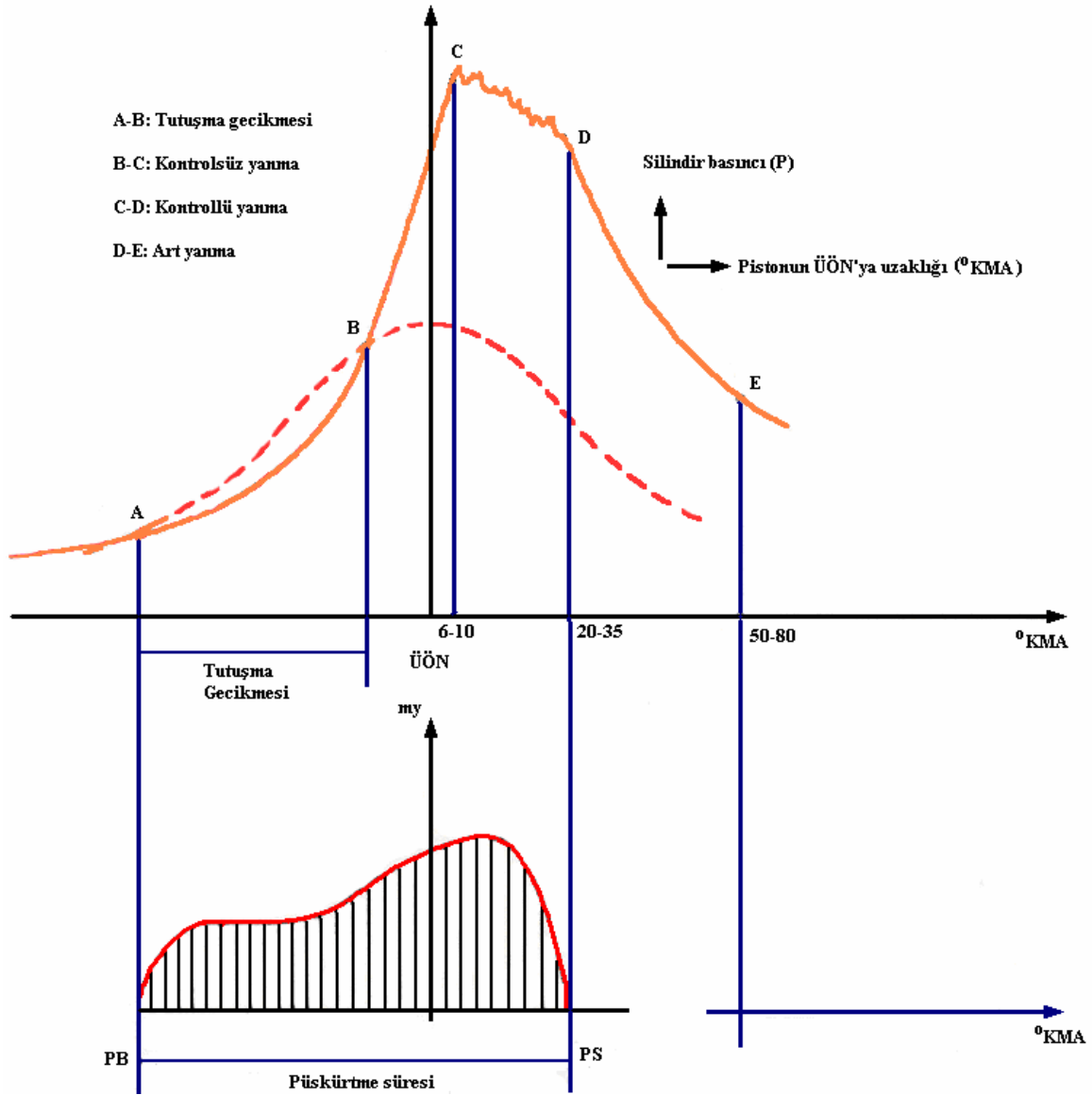
dizel yakıtı karışımlarında dizel yakıtına göre daha uzundur. Maksimum basınç ve basınç artma oranı, LY-dizel yakıtı karışımlarında dizel yakıtına göre daha yüksek çıkmıştır. Sonuç olarak, LY yakıtının, viskozitesi ve aromatik HC içeriğinin düşürülmesi ile dizel motorlarında kullanımın daha uygun olacağı bildirilmiştir.

LY yakıtının 41-44 MJ/kg gibi yüksek bir kalori değerine sahip olması bu yakıtın dizel motorlarında kullanılabilirliğini güçlendiren etkenlerden biridir [95, 96, 97].

6. DİZEL MOTORLARINDA YANMA VE EGZOZ EMİSYONLARI

6.1. Dizel Motorlarında Yanma

Dizel motorlarında yanma olayı, yanma odasına yakıtın püskürtülmeye başladığı andan itibaren yanma ürünlerinin dışarıya atıldığı egzoz zamanı başlangıcına kadar geçen süre içerisindeki karmaşık fiziksel ve kimyasal olayları kapsamaktadır [98]. Dizel motorlarında yanma olayı, Şekil 6.1’de görüldüğü gibi, dört ana faza ayrılarak incelenebilir.



Şekil 6.1. Dizel motorlarında yanma olayı [98].

Burada, püskürtme başlangıcı A noktasından, tutuşma başlangıcı B noktasına kadarki süre, tutuşma gecikmesi olarak tanımlanır. Tutuşma gecikmesi sonunda kontrolsüz yanma başlar ve genellikle maksimum basıncın oluştuğu C noktasına kadar devam eder. Daha sonraki yanma fazı, kontrollü yanma fazı olup, maksimum yanma odası sıcaklığına ulaşıldığı ana kadar E devam ettiği kabul edilir [98]. Genişlemenin ilerlemesi sonucu sıcaklığın düşmeye başlaması ile birlikte art yanma fazı başlar.

6.1.1. Tutuşma Gecikmesi

Dizel motorlarında, dışarıdan bir etken olmadan kendi kendine tutuşma ile gerçekleşen, yanmada başlangıçta yakıtın buharlaşması zordur. Enjektörden püskürtülen yakıtın püskürtme başlangıcı ile kendi kendine tutuşması arasında geçen zaman 0,001-0,0015 saniyedir. Bu süreye tutuşma gecikmesi adı verilir. Dizel motorlarında tutuşma gecikmesi zorunlu bir gecikmedir ve mümkün olan en kısa tutuşma gecikmesi istenir. Tutuşma gecikmesinin çok büyük olması durumunda, enjektörden silindire püskürtülen yakıt yanmadığı için silindir içersinde yakıt birikir ve bu biriken yakıt yanmanın başlaması ile aniden ateşlenerek, motor vuruntulu şekilde ve çok sert çalışır. Bu da motorun sesli çalışmasına sebep olacaktır.

Tutuşma gecikmesini etkileyen en önemli faktörler yakıtın kalitesi, basınç ve sıcaklıktır. Yüksek sıcaklık ve basınç tutuşma gecikmesi süresini kısaltır. Tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıt miktarının değişmesi ise tutuşma gecikmesini etkilemez. Tutuşma gecikmesi süresini etkileyen en önemli faktör yakıtın setan sayısıdır [98]. Setan sayısı arttıkça tutuşma gecikmesi kısalmaktadır. Ancak setan sayısının aşırı yüksek olması da istenmeyen bir durumdur. Setan sayısının çok yüksek olması durumunda is oluşumu ve yakıtın enjektörden çıkar çıkmaz kısa bir mesafede tutuşması nedeniyle enjektörün uç kısmında koklaşarak enjektör memesini tıkaması gibi sorunlar oluşmaktadır [98]. Bu nedenle dizel motorlarında kullanılan yakıtların setan sayıları, motorun devir sayısına göre 45-65 sınırları arasında tutulması gerekmektedir.

6.1.2. Kontrolsüz Yanma

Tutuşma gecikmesi safhasından sonra yanma olayı başlamaktadır. Püskürtülen yakıt demetinin dış kısmında buharlaşma ve hava ile karışma daha iyi bir şekilde gerçekleşmektedir [98]. Yanma olayının başladığı nokta genellikle bu nokta olmaktadır. Kontrolsüz yanma fazında, tutuşma gecikmesi sırasında birikmiş olan yakıt yanarak ani basınç yükselmesine neden olmaktadır. Basınç artış hızı fazla ise, silindir, piston, piston pimi gibi elemanların birbirine sert çarpması sonucu dizel vuruntusu denilen olay meydana gelmektedir. Motorun yumuşak çalışmasının sağlanması için dizel vuruntusunun önlenmesi gerekmektedir. Bu da tutuşma gecikmesi süresini kısa tutmakla sağlanabilir.

6.1.3. Kontrollü Yanma

Dizel motorlarında yanma işleminde, ana yanmayı oluşturan üçüncü fazı kontrollü yanma safhası oluşturur. Tutuşma gecikmesi sırasında yanma odasında biriken yakıtın ani olarak yanmasından sonra silindir içi basınç maksimum değerini alır. Bu noktadan sonra kontrollü yanma safhasına geçilir. Bu safhada yanmanın hızını, buharlaşma hızı ve yakıt buharının hava ile karışma hızı belirlemektedir. Yakıt hüzmelerinin kalitesi, ortalama damlacık çapı, hava hareketleri ve silindir içerisindeki hava fazlalığı bu safhanın gelişimini etkilemektedir.

Kontrollü yanma safhasında, yakıtın yanma hızı karışımın oluşum hızı ile kontrol edilmektedir. Sıcaklıkların yüksek olduğu, pistonun ÜÖN'ya yakın konumlarında, yanmanın tamamlanmasına çalışılmaktadır [98]. Karışma ve buharlaşma yeterince hızlı değilse yanma genişlemenin ileri safhalarında tamamlanmış olacaktır. Ancak genişleme sonucu sıcaklık ve basınç düşeceğinden, yakıtın tümünün yanması olasılığı da azalacaktır. Bu durumda tam yanmamış karbon partikülleri is oluşturmakta ve motorun verimi düşmektedir.

6.1.4. Art Yanma

Yanma sürecinde maksimum silindir içi sıcaklığına ulaşıldıktan sonra art yanma başlar. Art yanmada, yanma hızı yine difüzyon hızı ve karışım oluşum hızı ile

belirlenmektedir. Ayrıca çok zengin karışımlarda eksik yanmış yanma ürünleri de art yanma sırasında yanmaktadır. Yanma olayının egzoz zamanına geçilmeden önce tamamlanması gerekmektedir.

6.2. Yanma Verimi ve İis Oluşumu

Dizel motorlarında verimli bir yanma için, yanma odasında yeterli hava ve yanma için yeterli süre bulunmalıdır. Ayrıca sıcaklıkların da yerel olarak yeterli düzeyde bulunması gerekmektedir. Yanma olayında ortalama sıcaklıktan çok, yanma odasındaki yerel sıcaklıklar önemlidir. Bu nedenle motorun düşük devir sayılarında hava hareketlerinin azlığı, yüksek devir sayılarında ise yetersiz süre ve düşük hacimsel verim sonucu eksik kalan hava miktarı nedeniyle yanma verimi düşmektedir. Eksik yanmanın en belirgin sonucu is oluşumudur [98].

6.3. Dizel motorlarından kaynaklanan kirletici emisyonlar

6.3.1 Karbon Monoksit (CO)

Karbon monoksit, yakıtın eksik yanmasından oluşan renksiz, kokusuz ve zehirli bir gazdır. Bu emisyonlar, özellikle trafik sıkışıklığının yoğun olduğu bölgelerde yüksek CO konsantrasyonları oluşturmaktadır. Şehirlerdeki CO emisyonlarının yaklaşık %95'i motorlu taşıtlardan kaynaklanmaktadır. CO kana karıştığında kandaki hemoglobin ile birleşir ve oksijen solunum kabiliyetini azaltır. Yüksek CO seviyelerinde oluşan is, görüş bozukluğu, iş yapma kapasitesinde, el becerisi gerektiren işlerde ve öğrenme kabiliyetinde azalma gibi olumsuzlukları meydana getirmektedir. Benzinli motorlardan kaynaklanan en önemli egzoz emisyonlarını CO emisyonu oluşturmakla beraber, dizel motorlarından kaynaklanan CO emisyonu miktarı daha azdır.

CO emisyonları hava/yakıt oranından etkilenmektedir. CO oluşumunu etkileyen en önemli faktör hava fazlalık katsayısıdır. Karışım zenginleştikçe, yanma odasına alınan yakıtın içindeki karbonun tamamını CO₂'e dönüştürecek şekilde yeterli oksijen bulunmadığından, CO oranı hızlı bir şekilde artmaktadır.

6.3.2 Partikül Madde (PM)

Dizel motorlu taşıtlarda partikül maddeler is, karbon, karbon-hidrojen bağları ve yakıttaki kükürtten kaynaklanan kükürt dioksit (SO_2) ve hidrojen sülfürden (H_2S) oluşmaktadır. Partikül maddeler çapları bakımından tehlike sınıflandırmasına tabi tutulurlar. Partikül çapı küçüldükçe çevre ve sağlık açısından daha çok tehlike oluştururlar. Çapı 10 mikrometreden küçük olan partiküller (PM_{10}), tehlikeli sınıfa girerler. Çünkü PM_{10} sınıfındaki partikül maddeler akciğerlere kadar kolayca ilerleyebilmektedir. Dolayısıyla kolayca kana karışabilmektedir. Partikül maddenin fiziksel ve kimyasal özellikleri de çok önemlidir. Çünkü partikül haldeki bazı elementler ölümcül olabilir. Örneğin, dizel motorların egzozundan benzopyrene gibi kanserojen bir madde çıkabildiğinden uzun süre tesirinde kalınmamasına dikkat edilmesi gereklidir. Partikül maddeler nefes darlığına da yol açmaktadır. Dizel motorları PM emisyonlarının önemli kaynaklarından biri olup %0,2 ile %0,5 arasında is veya kurum içeren PM emisyonu yayar [99].

Dizel motorlarında hem karışım oranı hem de yakıt, is oluşumuna neden olmaktadır. İş teşekkülü, oksijence fakir ortamda bulunan yakıt moleküllerinin ısı parçalanması, özellikle hidrojenlerin kolayca oksitlenmesi, karbonların ise ortamda oksitlenmeden çoğalması şeklinde açıklanabilir. Hidrojeni ayrılan karbonca zengin büyük moleküller birleşmekte (polimerizasyon) ve iri molekül guruplarının bir araya toplanması ile is zerrecikleri oluşmaktadır [100].

6.3.3 Kükürt Dioksit (SO_2)

Renksiz, sert kokulu, yanmaz bir gazdır. Dizel yakıtlarında, az da olsa kükürt bulunur. Yakıttaki kükürt, silindir içinde yanarak SO_2 oluşturur. Yüksek konsantrasyonda olduğunda nefes almada güçlük gibi bir sağlık sorunu doğurur. Astımlı hastalar için tehlikelidir. Gözlerde ve mukozada da rahatsızlık oluşturur. Ayrıca su buharı ile birleşerek sülfürik asit oluşturabilirler. SO_2 oksijenle de birleşebilir. Bu durumda ise kükürt trioksit (SO_3) oluşur. SO_3 çok zehirli bir gazdır. Yakıtın yanmasından meydana gelen su buharıyla SO_3 'ün birleşmesinden meydana gelen sülfürik asit (H_2SO_4) çok şiddetli bir aşındırıcı olduğu için, motor elemanlarının aşınmasına sebep olur. Bu sebepten dolayı yakıttaki fazla kükürt motor için büyük tehlike arz etmektedir.

6.3.4. Azot Oksitler (NO_x)

Azot ve oksijen gazlarının değişik moleküllerinin birleşmesi ile NO , NO_2 , N_2O , gibi çeşitli gazlar ortaya çıkar ki bunların hepsine birden azot oksitler (NO_x) denir. NO_x emisyonları, yanma odası sıcaklığı yaklaşık 1800°K 'e yükseldiğinde azot ve oksijenin birleşmesiyle oluşur. Eğer sıcaklık 1600°C 'nin üstüne yükselmez ise, N_2 ve O_2 , NO gazını meydana getirmeden egzoz sisteminden dışarı atılır. Azot oksit, motor silindiri içerisinde bulunan azotun oksitlenmesi sonucu oluşur. Hava yakıt oranının küçük değerlerinde NO_x 'ler minimum değerdedir. Yanma başlangıcında NO_x oluşmaz, yanma sonucu yüksek sıcaklık ve basınç periyodunda NO_x 'ler oluşur [101]. NO oluşumunun en kritik safhaları ilk yanma başlangıcı ve maksimum silindir basıncının oluştuğu durumlardır [99]. Oluşan ilk alev cephesinin silindir basıncını yükseltmesi ve dolayısıyla sıcaklığı yükseltmesi bakımından oldukça önemlidir. NO_2 renksiz ve kokusuz olmasına rağmen genel bir kirleticidir. NO_2 partikülleri, havada sıkça kırmızımsı kahverengi bir tabaka olarak kent alanlarının üzerinde görülebilir. NO_x gözlerde ve solunum sisteminde tahriş edici bir etkiye sahiptir. Kandaki hemoglobine birleştiği zaman zehirleyici bir özellik göstermektedir. Ayrıca akciğerlerde kalıcı hasarlar oluşturabilirler [101].

NO_x emisyonlarını azaltmak için, hem yanma odası içindeki sıcaklığın 1600°C 'ye ulaşmasını önlemek ve yüksek sıcaklıklara ulaşılan süreleri kısa tutmak, hem de oksijen konsantrasyonunu düşürmek gerekmektedir. Hava/yakıt oranının stokiyometrik orandan daha zengin olmasıyla NO_x konsantrasyonunun düşmesinin nedeni oksijen miktarının azalması, oldukça fakir karışımlarda düşmesinin nedeni ise yanmanın yavaş olması ve maksimum sıcaklığın düşük olmasıdır [99]. Yanma esnasında alev cephesi silindir içerisinde ilerlerken, NO_x 'in esas olarak alevin arkasında yüksek sıcaklıklı yanmış gaz bölgesinde meydana geldiği kabul edilmektedir. Yine genişleme peryodu süresince yanmış gazlar soğurken, NO_x 'in ayrışma reaksiyonları sona erdiğinden, egzoz koşullarında denge durumunda olması gerekenden daha yüksek konsantrasyonda NO oluşumu söz konusudur.

6.3.5. Hidrokarbon (HC) Emisyonları

Hidrokarbon emisyonları (HC) eksik yanma sonucu oluşmaktadır. Yanmamış HC miktarını belirtmek için genellikle milyondaki partikül sayısı (ppm) kullanılır. Egzoz gazları çok farklı HC bileşikleri içermektedir. Buji ile ateşlemeli bir motorun egzozundaki

HC düzeyi normal çalışma şartlarında 1000-3000 ppm civarlarındadır. Dizel motorlarından kaynaklanan HC emisyonları önemli olmasına rağmen, benzinli motorlardan kaynaklanan emisyonlardan yaklaşık 5 kat daha azdır. Motor çalıştırılırken veya ısınırken oluşan HC emisyonları, beyaz duman şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu ilk HC bileşenleri dizel kokusunun esas kaynağıdır.

HC emisyonları, stokiometrik orandan daha zengin karışımlarda hızlı bir şekilde artmaktadır. HC emisyonları, çok fakir karışımlarda yanma kötüleştiği için veya eksik yanma koşullarında yine hızlıca artmaktadır. HC emisyonlarını artıran birçok mekanizma bulunmaktadır. Dizel motorlarında HC oluşum mekanizmaları aşağıdaki gibi dört farklı şekilde meydana gelebilmektedir [99]. Bunlar;

1. Tutuşma gecikmesi süresinin çok uzun olması veya bu safhada püskürtülen yakıt miktarının fazla olması,
2. Kanalların yanmamış yakıtla dolması. Bunun nedeni alevin kanal girişinde sönmesidir.
3. Silindir duvarlarının soğuk olması nedeniyle bu bölgedeki yanma hüzmelerinin sönmesi,
4. Motor çalışma koşullarına göre yanmanın tamamlanmamasıdır.

Bunların yanı sıra tutuşma gecikmesinden sonra, yanma işleminin son aşamasında püskürtme sona erdiğinden enjektör memesinden düşük hızla çıkan yakıt hava ile yeterince karışmamaktadır. Bu çok zengin karışım, tamamen yanamayıp egzozda HC emisyonlarının oluşmasına neden olmaktadır [99].

6.3.6. Karbondioksit (CO₂) Emisyonları

Karbondioksit emisyonları tam yanma ürünleri arasında yer almaktadır. Normal atmosfer şartlarında %0.03-%0.06 arasında değişen konsantrasyonlarda, ayrıca kaynak sularında da çözülmüş halde bulunur. CO₂ ve ısıyı tutan diğer gazların atmosfer içindeki miktarının artması sonucu küresel ısınma olarak bilinen atmosfer ısısının yükselmesine sebep olmaktadır. Atmosferde bulunan CO₂ konsantrasyonu, fosil kaynaklı yakıtların

yanması sonucunda her yıl 2.3 ppm kadar artmaktadır. Bunun yaklaşık üçte biri, okyanus veya derin su kaynaklarınca ve bitkiler tarafından alınarak atmosferden uzaklaştırılmaktadır. Geri kalan yaklaşık 1.5 ppm ise atmosferdeki karbon dioksit konsantrasyonuna ilave olmaktadır. Bu miktar da atmosferin tedrici olarak ısınmasına neden olarak sera etkisini her geçen gün biraz daha arttırmaktadır. Atmosferde sera etkisine neden olan gazların en etkilisi CO₂'dir. Enerji üretimi ve yakıt kaynaklarının kullanımı, başlıca insan kaynaklı CO₂ emisyonu oluşum nedenlerini oluşturur.

7. DİZEL YAKITLAR VE ÖZELLİKLERİ

Ham petrolün damıtılması sırasında 200-360°C kaynama aralığında alınan üçüncü ana ürün dizel yakıtıdır. Yanma ısısını mekanik güce çevirmek için en yeterli mekanizmalardan biri olan dizel motorları, benzin motorları ve gaz türbinlerinden takriben 30 yıl kadar sonra 1892’de Rudolf Dizel tarafından keşfedildi. Dizel motorlarının havayı sıkıştırma oranları benzinli motorlardan yaklaşık iki kat daha yüksektir. Yüksek kompresyonlu bir motorun geliştirilmesinin sebeplerinden biri, daha ucuz yakıtların daha verimli bir şekilde kullanılabilmesi arzusundan kaynaklanmaktadır.

Termik verim bakımından dizel motorları benzin motorlarından daha verimlidir. Çünkü daha yüksek bir sıkıştırma oranı ile çalışırlar. İlk imal edilen dizel motorlar ağır düşük devirli ve büyük silindirli olduklarından piyasaya arz edilen fueloil’in silindire püskürtülerek yanması suretiyle kullanılmaları mümkün oluyordu. Fakat zamanla dizel motor imalatçıları motor ebatlarını küçültüp, devir sayısını arttırarak, daha fazla güç üretimi yoluna gidince, bu ihtiyaca cevap verecek yakıtların üretilmesi zorunluluk haline geldi. Böylece dizel motorlarında kullanılmak üzere dizel yakıtı dediğimiz motorin üretildi. Çeşitli makine imalatçıları değişik tip motorlar imal ettiklerinden bunların her biri için ayrı bir dizel yakıtı üretiminin imkânsızlığı karşısında ASTM (American Society for Testing And Materials) bunları bir sınıflandırmaya tabi tutmak mecburiyetinde kalmıştır.

7.1. Viskozite ve Püskürtme Karakteristikleri

Viskozite, bir sıvının akıcılık ölçüsüdür. Yakıtın düşük sıcaklıklarda dahi serbestçe akacak kadar viskozitesinin düşük olması gerekir. Sızıntıya mani olacak ve enjektör sistemini yağlayabilecek kadar da yüksek viskozitede olmalıdır. Aynı zamanda yanma odasına kolayca atomize edilerek dağılabilecek şekilde uygun viskozitede olmalıdır.

Uygun viskoziteli bir dizel yakıtı, sadece pompalama ve püskürtme sistemleri ile ilgili olarak değil, aynı zamanda yanma olayında da önemlidir. Viskozite, yakıt zerreciklerinin büyüklüğü ile ilgili olduğundan, iyi bir yanma için çok gerekli olan yeterli bir hava yakıt karışımı elde etmede en önemli faktörlerden olan atomizasyon ve pülverizasyon özelliklerini de belirler. Yakıtın yanma odasında ilerlediği mesafe, yakıt zerreciklerinin büyüklüğüne bağlıdır. Çok viskoz olan yakıtlar nispeten soğuk silindir duvarlarına

çarpmadan zerreler halinde ayrılmazlar. Bundan dolayı yanma dumanlı olur. Diğer taraftan çok hafif yakıtlar, yeterli ataletle sahip olmadıklarından, ideal bir hava yakıt karışımı meydana getirecek şekilde yanma odasında dağılamazlar.

Büyük motorlarda oldukça viskoz yakıtlar, küçük motorlara nazaran daha iyi bir şekilde kullanılabilir. Ayrı veya ön yanma odalı motorlarda püskürtülen yakıt hüzmesi nispeten kısa olduğundan daha ziyade hafif yakıtlar arzu edilir. Hava ile püskürtmeli sistemlerde daha viskoz yakıtlar kullanılabilir. Çünkü burada hava, yakıtın atomize olmasına yardım eder. Birden fazla delikli memeye sahip enjektörlerde tek delikli memeye göre nispeten daha ağır yakıtlar kullanılabilir. Daha küçük delikler, yakıtın daha iyi bir şekilde parçalanmasını temin ederler.

7.2. Setan Sayısı

Dizel motorlarında, yanma olayının en önemli parametresi olan tutuşma gecikmesi süresinin belli bir seviyede olmasını, yani yakıtın kendi kendine tutuşabilme kabiliyetini gösteren ölçüye “setan sayısı” denir. Setan sayısı da oktan sayısı gibi ölçülebilen bir birimdir. Bir dizel yakıtının setan sayısının belirlenen sınırlar içerisinde ve yüksek olması gerekir. Dizel motorlarında kullanılan dizel yakıtı için setan sayısı 45-60 arasında olmalıdır. Setan sayısı düşük olan yakıtların yanmaları kötü olmakta ve motor verimini düşürmektedir. Aynı şekilde setan sayısı çok yüksek olan yakıtlarda da yanma kötüleşmekte ve isli yanma meydana gelmektedir. Setan sayısının tayini zor, pahalı ve zaman alan bir işlem olduğundan setan sayısı yerine, bu değer hakkında bir bilgi verebilecek olan “Dizel İndeksi” hesapla bulunabilir. Bu indeks dizel yakıt standartlarının oluşmasında yerini almıştır.

7.3. Dizel İndeksi

Dizel yakıtının setan sayısının ölçülmesi pratik bir iş olmadığı için, bunun yerine aynı durumu ifade eden ve “Dizel İndeksi” adı verilen bir sayı kullanılmaktadır. Dizel indeksi aşağıdaki formül vasıtasıyla hesaplanır ki bunun için anilin noktası ve API (American Petroleum Institute) gravitesi gibi ifadelerin bilinmesi gereklidir [98].

$$Dizel\ İndeksi = \frac{API\ Gravite\ (60\ ^\circ F) \times Anilin\ Noktası\ (^\circ F)}{100} \quad (7.1)$$

Dizel indeksi ile setan sayısı arasında yakın bir ilişki vardır. Bu durum, Tablo 7.1'in incelenmesinden de anlaşılabılır.

45 ile 50 arasındaki setan sayısı ve dizel indeksi aşağı yukarı aynıdır. 45'in altındaki değerlerde dizel indeksi setan sayısından çok küçük, aksine 50'nin üstündeki değerler için ise çok az büyüktür. Normal dizel yakıtının dizel indeksi asgari 45 olmalıdır. Bir dizel yakıtının setan sayısı yakıtın ihtiva ettiği hidrokarbon cinsleriyle çok yakından alakalıdır.

Tablo 7.1. Dizel indeksi ile setan sayısı arasındaki ilişki [98]

Dizel indeksi	Setan sayısı	Dizel indeksi	Setan sayısı
0	18	50	50
5	20	55	53
10	24	60	56
15	28	65	59
20	30	70	62
25	34	75	65
30	37	80	68
35	40	85	71
40	43	90	75
45	46	100	78

7.4. Yakıtın Özgül Kütlesi

Özgül kütle, yakıtın yapısı ve tutuşma kabiliyeti hakkında bir fikir verir. Yakıtın molekülleri içindeki hidrojen atomları sayısı artıkça özgül kütle azalmaktadır. Özgül kütle genellikle gr/cm^3 veya kg/m^3 olarak ifade edilir ve 20°C'de verilir [98]. Amerikan standartlarında API sayısı özgül kütle olarak kullanılır. Özgül kütle,

$$Özgül\ kütle = \frac{141,5}{135,1 + API} \quad (7.2)$$

formülü ile hesaplanır ve dizel motor yakıtları için 830-950 kg/m³ değerleri arasındadır.

7.5. Yakıtın Isıl Değeri

Yakıtın ısı değeri sıvı ve katı yakıtlar için genellikle birim kütlenin enerjisi olarak verilmektedir (kJ/kg veya kcal/kg). Motorlardaki yanma sonu sıcaklıklarında, su her zaman buhar olarak bulunduğu için, ısı değeri, alt ısı değeri olarak verilmelidir [98]. Bu nedenle sıvı yakıtlar için genellikle alt ısı değeri kullanılır. Hidrokarbonlarda yakıtın alt ısı değerini hidrojen miktarına, diğer bir deyişle özgül kütleye, aşağıdaki ampirik formülle bağlamak mümkündür [98].

$$\text{Alt ısı değeri (Hu)} = 9822,2 + 36,6 \text{ API (kcal/kg)} \quad (7.3)$$

7.6. Anilin Noktası

Anilin, aromatik hidrokarbonları her zaman, fakat parafinik hidrokarbonları ise yalnız sıcakta eritebilen bir eritkendir. Anilin noktası, eşit hacimde anilin ve numunenin, minimum kritik çözünme sıcaklığıdır.

Anilin ile motorin karıştırılır ve ısıtılır, sıcakta motorin anilin içinde tamamen erir, fakat eriyik soğumaya bırakıldığında parafinlerin yavaşça ayrılmaya başladığı görülür. İşte bu ayrılmanın sonuçlanması ile eriyik içerisinde iki ayrı tabakanın meydana geldiği sıcaklık derecesi, “Anilin Noktası” olarak tarif edilir. Bu deneyde kurutulmuş ve taze distile edilmiş anilin kullanılmalıdır.

Anilin noktası testi, dizel yakıtındaki parafinik yapıları hidrokarbonların miktarını gösterir. Anilin noktasının yüksek oluşu yakıtta parafinik hidrokarbon miktarının yüksek olduğunun göstergesidir. Yukarıdaki formülden de görüleceği gibi, anilin noktası yüksek ise dizel indeksi de yüksektir. Parafinik hidrokarbonların tutuşma gecikmesi periyotları kısa olduğundan dizel yakıtlarında tercih edilirler.

7.7. Donma Noktası

Donma noktası, yakıtın buz tutmaya başladığı sıcaklık derecesini göstermektedir. Yakıt devresi üzerindeki filtrelerin tıkanmaması ve motorun çalışmasını engellememesi için dizel yakıtların donma noktalarının düşük olması gereklidir.

7.8. Alevlenme Noktası

Sıvı bir yakıtın yanabilmesi için, bu yakıtın buharı ile havanın belirli oranlar çerçevesinde karışmış olması gerekir. Bir yakıt ne kadar kolay buhar haline geçebilirse, hava ile yanıcı bir karışım oluşturması da o derece kolay olur. Yakıtın bu kolay yanabilme özelliği, alevlenme noktası ile tespit edilir. Yanıcı bir cismin alevlenme noktası bu cismin hava ile yanıcı karışım meydana getiren bir buhar çıkardığı en düşük sıcaklık derecesine denir.

7.9. Kükürt Miktarı

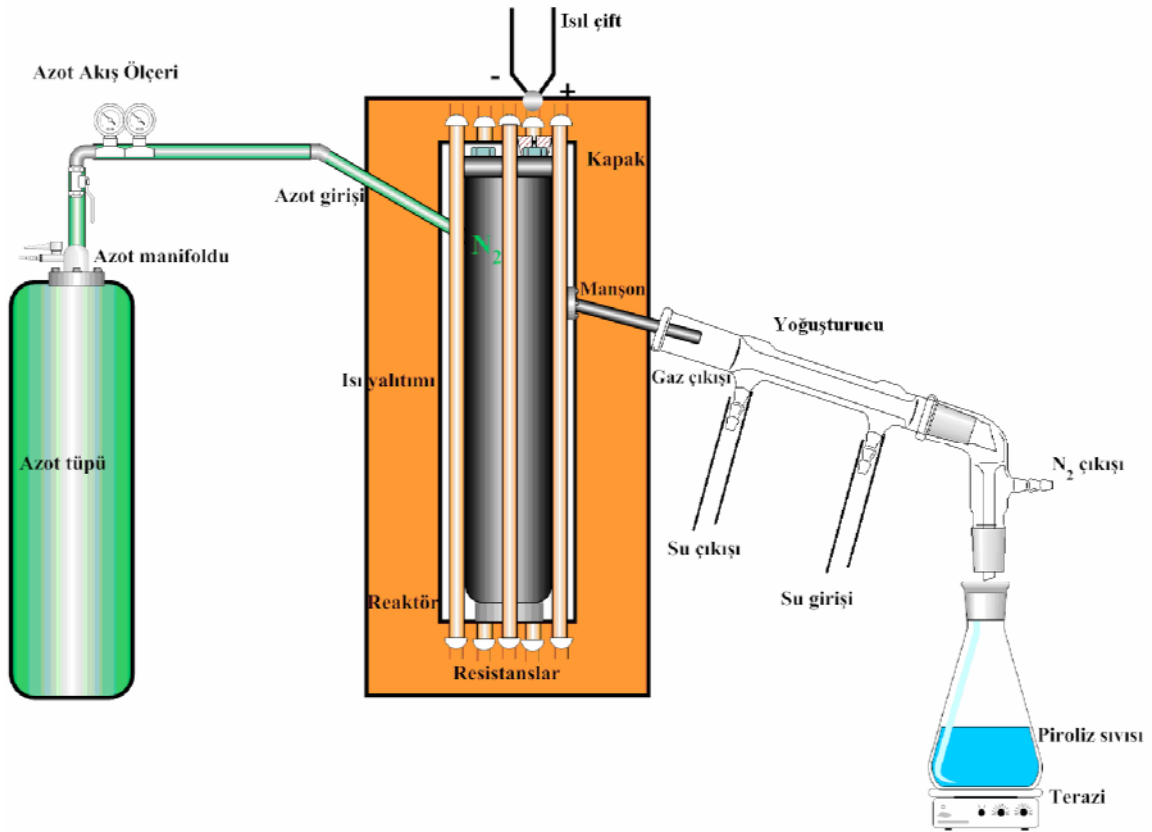
Bir dizel yakıtının ihtiva ettiği kükürt miktarı o yakıtın en önemli karakteristiklerinden biridir. Kükürt ham petrol içerisinde ağır hidrokarbonlarla bileşik halinde ve daha çok ağır distilasyon ürünleri içerisinde bulunur.

Yakıt içerisinde kükürt varsa bu kükürtle yakıt beraber yanar, SO_2 veya daha fazla oksijenle birleşerek SO_3 oluşturur. Yakıtın yanmasından meydana gelen su buharıyla SO_3 'ün birleşmesinden meydana gelen sülfürik asit (H_2SO_4), çok şiddetli bir aşındırıcı olduğu için hareketli motor elemanlarının aşınmasına sebep olur. Bu sebepten dolayı yakıttaki fazla kükürt motor için büyük tehlike arz eder.

8. MATERYAL VE METOT

8.1. Piroliz Düzenegi

Bu çalışmada, atık taşıt lastiklerinden ısı parçalanma (piroliz) işlemi ile dizel motorlarında kullanılmak üzere sıvı yakıt üretimi amaçlanmıştır. Bu amaçla, üretimin yapılacağı bir piroliz reaktörü tasarımı yapılmıştır. Bu reaktör deneysel ölçekte üretim gerçekleştirilmek amacı ile tasarlanmış olup 1.15 litre hacmindedir. Tasarımı yapılan bu reaktörün üretimi Batman Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Atölyesinde gerçekleştirilmiştir. Bu reaktörün şematik diyagramı Şekil 8.1’da görülebilmektedir.

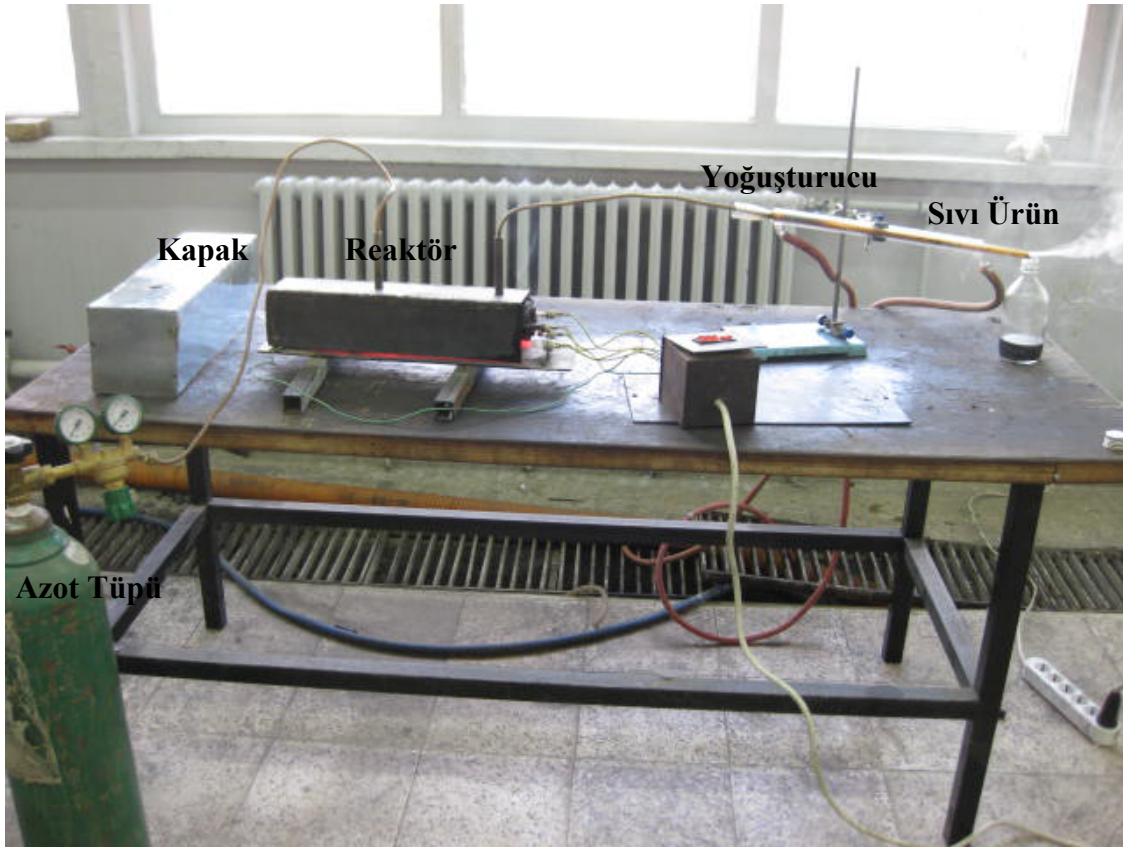


Şekil 8.1. Yakıt üretim sistemi ve piroliz reaktörünün şematik görünüşü

Tasarımı yapılan ve üretimi gerçekleştirilen piroliz reaktörü, başlıca reaksiyonun gerçekleşeceği reaktör, ısı yalıtımı için cam elyaf ile doldurulmuş dış gövde, reaksiyon

ortamının inert olmasını sağlamak maksadıyla kullanılan azot tüpü, gaz giriş-çıkış manşonları, sıcaklık kontrolü için termoçift, gerekli azot miktarının ayarlanması için azot manifoldu ile manometresi ve her biri 1 kW gücünde 5 adet ısıtıcı rezistanstan meydana gelmektedir. Bu reaktör 750°C iç hazne sıcaklığına kadar çıkabilmektedir. Küçük boyutlu imal edilmesinin amacı, atık taşıt lastiği pirolizinde en yüksek sıvı ürün veriminin elde edilebilmesi için, gerekli olan reaksiyon şartlarını ortaya çıkarmaya yönelik deneysel çalışmaların daha kolay yürütülmesini sağlamaktır. Yakıt üretiminin yapıldığı piroliz düzeneği Şekil 8.2’de verilmiştir.

Elde edilen yakıtların kükürtsüzleştirme işleminde ve anilin noktasının tespitinde MR Hei-Standard marka ısıtmalı karıştırıcı kullanılmıştır. Bu cihaz 300°C’ye kadar ısıtma kapasitesi ve 100-1400 d/dak’lık bir hızda karıştırma kapasitesine sahiptir. Isıtma ve karıştırma işleminde kullanılan cihaz Şekil 8.3’te gösterilmiştir.



Şekil 8.2. Yakıt üretiminin yapıldığı piroliz düzeneği



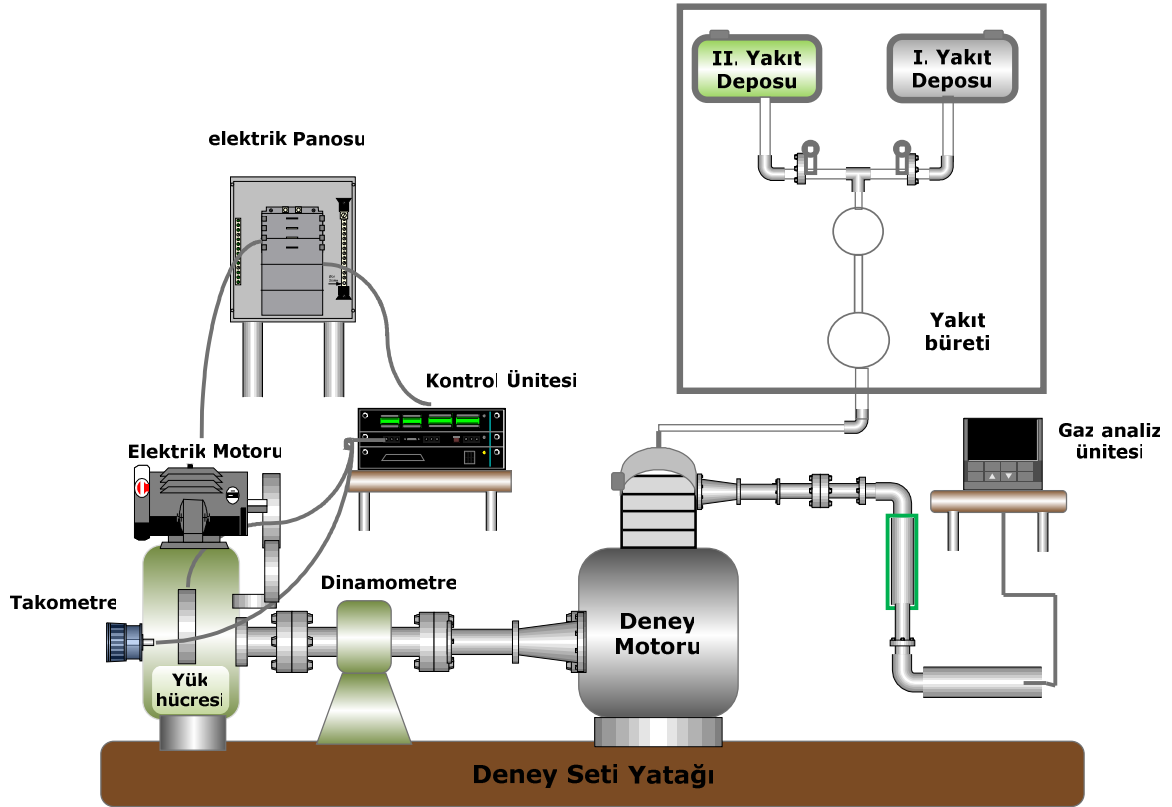
Şekil 8.3. Isıtma ve karıştırma cihazı

Motor deneyleri, Batman Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı Motor Test Laboratuvarında yapılmıştır. Deneyler için, maksimum gücü 10 HP, silindir hacmi 406 cc, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı Rainbow LA186 marka bir dizel motoru kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan motor test sistemi ve hidrolik dinamometrenin şematik görünüşü Şekil 8.4’te verilmiştir.

Deneylerde kullanılan, tek silindirli dizel motoruna ait teknik özellikler Tablo 8.1’de verilmiştir.

Tablo 8.1. Deney Motorunun teknik özellikleri

Markası	Rainbow–LA186 Dizel
Püskürtme sistemi	Direkt püskürtmeli
Silindir sayısı	1
Strok hacmi	406 cc
Sıkıştırma oranı	18/1
Maksimum moment	25.21 Nm (1800 d/dak.'da)
Maksimum güç	10 HP (3600 d/dak.'da)
Maksimum motor devri	3600 d/d $\pm$ 20
Soğutma sistemi	Hava soğutmalı
Püskürtme basıncı	19.6 $\pm$ 0.49 Mpa (200 $\pm$ 5 Kgf/cm ²)
Ortalama piston hızı	7.0 m/sn (3000 d/d'da)



Şekil 8.4. Deneylerde kullanılan motor test sistemi ve hidrolik dinamometrenin şematik görünüşü

8.2. Motor Test Cihazı (dinamometre)

Tablo 8.2. Motor test cihazının teknik özellikleri

Fren modeli	BT-140
Maksimum frenleme gücü	50 HP
Maksimum devir	7000 d/d
Maksimum moment (Tork)	250 Nm
Yük hücresi kapasitesi	1000 N
Maksimum güç için su sarfiyatı	V maks. 0,75 m ³ /h
Fren suyu basıncı	1–2 Kg/cm ²
Fren kontrol tipi	Kayıcı fan perdeleri ile
Ağırlık sistemi	Metrik-Elektr. Yük Hücresi
Fan adedi	1
Elektrik ihtiyacı	220/380 V. 50 Hz.
Dönüş yönü	Sağ dönüşlü

Motor deneylerinde BT-140 model, maksimum gücü 50 HP, maksimum devri 7000 d/d olan hidrolik bir dinamometre kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan motor test cihazının teknik özellikleri Tablo 8.2’de verilmiştir.

Motor test standı (Bremze) kontrol cihazının teknik özellikleri Tablo 8.3’te verilmiştir. İzleme cihazının üzerinde motor devrini “rpm” cinsinden, motor gücünü beygir gücü (HP) ve motor momentini “kg.m” olarak gösteren ekranlar mevcuttur. Ayrıca motora uygulanan yük kademeli olarak %10’ar dilimler halinde değiştirilebilmektedir. Böylelikle motora uygulanan yük azaltılıp artırılabilir. Bremze kontrol paneli Şekil 8.6’da gösterilmiştir.



Şekil 8.5. Deneylerde kullanılan BT-140 model hidrolik dinamometre

Tablo 8.3. Motor test tezgâhı (bremze) izleme/kontrol cihazı teknik özellikleri

Modeli	PC101BMS
Doğruluk sınıfı	% 0.2
Hassasiyet	± 1 Digit
Ölçüm hızı	5 ölçüm / saniye
Ağırlık ölçüm tipi	Lineer (Yük Hücresi-Load-Cell)
Devir ölçüm giriş tipi	Manyetik algılayıcı
Ekran tipi	3x6 adet, 7- Bölgeli LED 2x16 karakter LCD
Güç sarfıyatı	16 W
Çalışma ortam sıcaklığı	0-50 °C
Çalışma gerilimi	220 $\pm$ %5 VAC
Çıktı	Döküm almak için paralel yazıcı bağlı



Şekil 8.6. Bremze kontrol ve izleme cihazı

8.3. Gaz Analiz Cihazı

Egzoz gazlarının analizi için Şekil.8.7’de görülen CAPELEC CAP 3200 marka gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın teknik özellikleri Tablo 8.4’de görülmektedir.

Tablo 8.4. Gaz analiz cihazın teknik özellikleri

Parametre	Ölçme Aralığı	Hassasiyet
HC	0-20000 ppm	1 ppm
CO ₂	%0-21,0	%0,1
CO	%0-10,5	%0,001
O ₂	%0-21,7	%0,01
NO _x	0-10000 ppm	1 ppm
Duman opasitesi %	0-99,9	%0,01



Şekil 8.7. Gaz analiz cihazı

8.4. Kızıl Ötesi Termometre

Deney yakıtlarının motorda yakılması ile oluşturduğu egzoz gazlarının yaydığı ısıнын oluşturduğu sıcaklıkların ölçülmesi amacıyla Şekil 8.8’de görülen Raytek Raynger ST4 kızıl ötesi termometre cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın teknik özellikleri Tablo 8.5’te görülmektedir. Bu cihaz egzoz manifoldunun yanma odasına en yakın ve ince cidarlı yerine temas edilmiştir. Böylece egzoz gazlarının sıcaklığı egzoz manifoldunda ve her deney yakıtı için aynı şartlarda ve aynı bölgeden ölçülmüştür.

Tablo 8.5. Raytek Raynger ST4 kızıl ötesi termometrenin teknik özellikleri

Özellik	Raytek Raynger ST4
Sıcaklık ölçüm aralığı	(-32 ile +400 °C)
Lazer görüşü	Tek nokta
Hassasiyet	%±1
Algılama verme süresi	500 µsn



Şekil 8.8. Kızılötesi termometre

8.5. Deney Yakıtları

Atık taşıt lastiklerinden elde edilen yakıt olan ve ham lastik yakıtı olarak adlandırılan LY, standart dizel yakıtı (DY) ile hacimsel olarak %5 (LY5), %10 (LY10), %15 (LY15), %25 (LY25), %35 (LY35), %50 (LY50) ve %75 (LY75) oranlarında karıştırılarak ve saf halde (LY100) kullanılmıştır. Ayrıca, LY yakıtının kükürtsüzleştirme işleminden sonra kükürdü düşürülmüş hali olan DKLY yakıtı, standart DY ile hacimsel olarak %50 (DKLY50) ve %75 (DKLY75) oranlarında karıştırılarak ve saf halde (DKLY100) kullanılmıştır. Motor deneylerinde kullanılan yakıtlar Şekil 8.9’da görülmektedir.



Şekil 8.9. Deney yakıtları

8.6. Metot

Motor deneylerine başlamadan önce yağlama yağı ve hava filtresi değiştirilmiştir. Gerekli aparatlar hazırda bulundurulmuş ve ayrıca deneylerde kullanılan cihazlar kalibre edilmiştir. Atık taşıt lastiklerinden elde edilen yakıtların testi için motorda herhangi bir yapısal değişiklik yapılmamıştır. Deneylere başlamadan evvel motor belirli bir süre dizel yakıtı ile çalıştırılarak 80-90°C çalışma sıcaklığına getirilmiştir. Motor çalışma sıcaklığına ulaştıktan sonra, atık taşıt lastiğinden elde edilen yakıtların karşılaştırılabilmesi için, esas yakıt olan dizel yakıtı test edilmiştir. Deneylerde motora gaz verildikten sonra motorun gaz pedalını sabitlemek suretiyle hidrolik dinamometrenin kontrol panelinde bulunan “LOAD” düğmesiyle motora yükleme yapılmıştır. Yükleme işlemi ile motor devrinin düştüğü tespit edilmiş ve motor yüklenmeye devam edilerek, her deney için motor devrini 1000 d/dak düşürecek miktarda yükleme yapılarak, sırasıyla 2500, 2000, 1500 ve 1000 d/dak motor hızlarında elde edilen veriler kaydedilmiştir. Bu işlem üç defa yapılmış ve elde edilen verilerin ortalaması alınmıştır. Her devir sayısında veriler, motor kararlı çalışma koşullarına geldikten sonra alınmıştır. Aynı işlemler bütün test yakıtları için tekrar edilmiştir. Yeni bir deneye başlamadan önce motor soğumaya ve dinlenmeye bırakılmıştır. Ayrıca bir önceki deneyde test edilen yakıtın tamamen tükenmesi için motor durana kadar çalıştırılmaya devam edilmiş ve daha sonra yakıt deposu yeni yakıt ile doldurulmuş böylece deneylere yeniden başlanmıştır.

8.7. Yakıt Tüketimi

Deney setinde yakıt ölçekli cam tüp üzerinden motora gönderilmektedir. Yakıt ölçüm düzeneğinde 50 ve 100 ml’lik ölçme büretleri bulunmaktadır. Yakıt tüketiminin ölçümünde, 50 ml yakıtın tüketilmesi için geçen süre bir kronometre ile belirlenmiştir. Hacimsel debi olarak belirlenen değerler her bir yakıtın yoğunluğu ile çarpılarak kütleli debiye (kg/h) dönüştürülmüştür. Yakıt tüketiminin ölçümünde kullanılan düzenek Şekil 8.10’da gösterilmiştir.



Şekil 8.10. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği

8.8. Özgül Yakıt Tüketimi

Özgül yakıt tüketimi, deney sırasında tüketilen yakıt miktarının hesaplanan güce oranıdır.

$$B = \frac{50 \times \rho_y \times 3.6}{\Delta t} \quad (8.1)$$

B: Yakıt tüketimi (Kg/h)

Δt : 50 cm³'lük yakıtın tüketilme zamanı (sn)

ρ_y : Yakıtın yoğunluğu (Kg/lt)

$$be = \frac{B}{Pe} \quad (8.2)$$

be: Özgöl yakıt tüketimi (kg/kWh)

Pe: Motor gücü (kW)

8.9. Ortalama Efektif Basınç

Ortalama efektif basınç, motorun gerçek çevrim ile çalışırken verdiği güce eşdeğer bir güç vermesi için iş stroku boyunca pistona etki etmesi gereken basınçtır. Deneylerde kullanılan motorun strok hacmi ve belirli bir devir sayısında oluşan motor momenti ve esas alınarak hesaplanmıştır.

$$Pme = \frac{4 \cdot \pi \cdot M}{Vh} (N / m^2) \quad (8.3)$$

$$Vh = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot h \cdot z}{4} \quad (8.4)$$

M: Motor momenti (Nm)

Vh: Strok hacmi(m³)

D: Silindir çapı (m)

h: Kurs boyu (m)

z: Silindir sayısı

8.10. 50 Saatlik Motor Testi

50 saatlik motor testi, motor performansı ve egzoz emisyonu testlerinin yapıldığı dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu, tek silindirli RAINBOW marka LA 186 model dizel motorunda yapılmıştır. Bu testlerde standart dizel yakıtı ve DKLY100 yakıtları motorda 50'şer saat süreyle kullanılmıştır. Deney motoru günde iki kez, 5'er saat ve 1 saat aralıklarda çalıştırılmış ve deneyler her iki yakıt için toplam 10 gün sürmüştür. Her çalışma başlangıcında ısınması için motor öncelikle 1500 d/dak'da, 20 dakika boyunca çalıştırılmıştır. Motor ısındıktan sonra, maksimum momentin elde edildiği devir olan 1800 d/dak'da, 4 saat 40 dakika boyunca çalıştırılmaya devam edilmiştir.

Bu testte, uzun süreli kullanımı halinde atık taşıt lastiklerinden elde edilen DKLY100 yakıtının motor parçaları üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğu araştırılmıştır. Bu amaçla her iki yakıtın 50'şer saatlik kullanımından sonra deney motorunun tüm parçaları sökülmüştür. Her iki yakıtının kullanımı ile motorun aynı parçaları gözlemlenmiş ve fotoğrafları çekilmiştir.

9. YAKIT ÜRETİMİ VE KÜKÜRT GİDERME

9.1. Atık Taşıt Lastiklerinden Yakıt Üretimi

Bu çalışma kapsamında atık taşıt lastiklerinden dizel yakıtı elde etmek için piroliz yönteminden faydalanılmıştır. Atık bir taşıt lastiği küçük parçalara bölünerek dudak ve diğer kısımlardaki çelik teller ve kumaş iplikleri ayrıştırılmıştır. Lastiğin dış kenarlarındaki kalın kauçuklar küçük dilimlere ayrılmıştır. Lastik parçacıkları yıkanıp kurutulmuş ve daha sonra piroliz reaktörüne doldurulmuştur. Piroliz reaktöründe yüksek sıcaklıklarda büyük moleküllü kauçuk sıvısı parçalanarak buhar halinde dışarı çıkmıştır. Buhar halindeki bu ürünler daha sonra bir kondenser yardımı ile yoğunlaştırılmıştır. Bu suretle buhar halindeki piroliz ürünleri soğutulup yoğunlaştırılarak sıvı ürün elde edilmiştir. Bu ürün daha sonra başlıca nemden ayırıştırma, kükürt giderme ve damıtma işlemlerine tabi tutulmuştur.

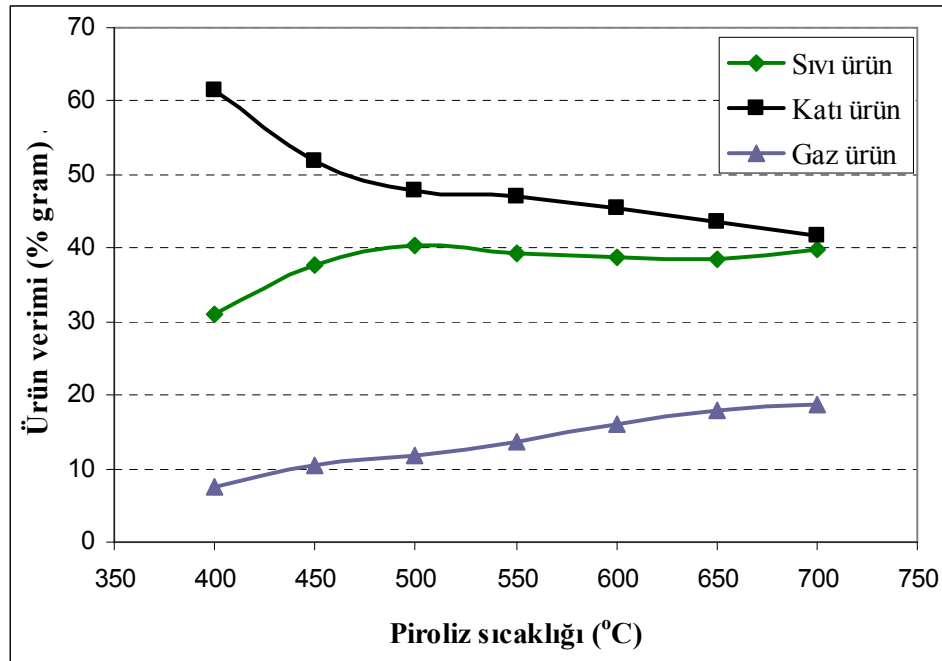
Piroliz sıcaklığının ürün verimlerine etkisini incelemek amacıyla atık taşıt lastiklerine normal atmosfer basıncında ve N₂ ortamda 400, 450, 500, 550, 600, 650 ve 700°C piroliz sıcaklıklarında piroliz işlemi uygulanmıştır. Literatürdeki çalışmalar ışığında, izlenmesi gereken prosedür ve kullanılan parametreler göz önüne alınarak, gerçekleştirilen piroliz reaksiyonu sonucunda, 400°C’de ilk piroliz sıvısı, yani sıvı ürün elde edilmiştir.

Tablo 9.1. Reaksiyon sıcaklığının piroliz ürünlerinin verimine etkisi

Reaksiyon sıcaklığı (°C)	Sıvı ürün verimi (%)	Katı ürün verimi (%)	Gaz ürün verimi (%)
400	31,04	61,54	7,42
450	37,68	51,93	10,39
500	40,26	47,88	11,86
550	39,18	47,12	13,7
600	38,74	45,36	15,9
650	38,55	43,6	17,85
700	39,74	41,58	18,68

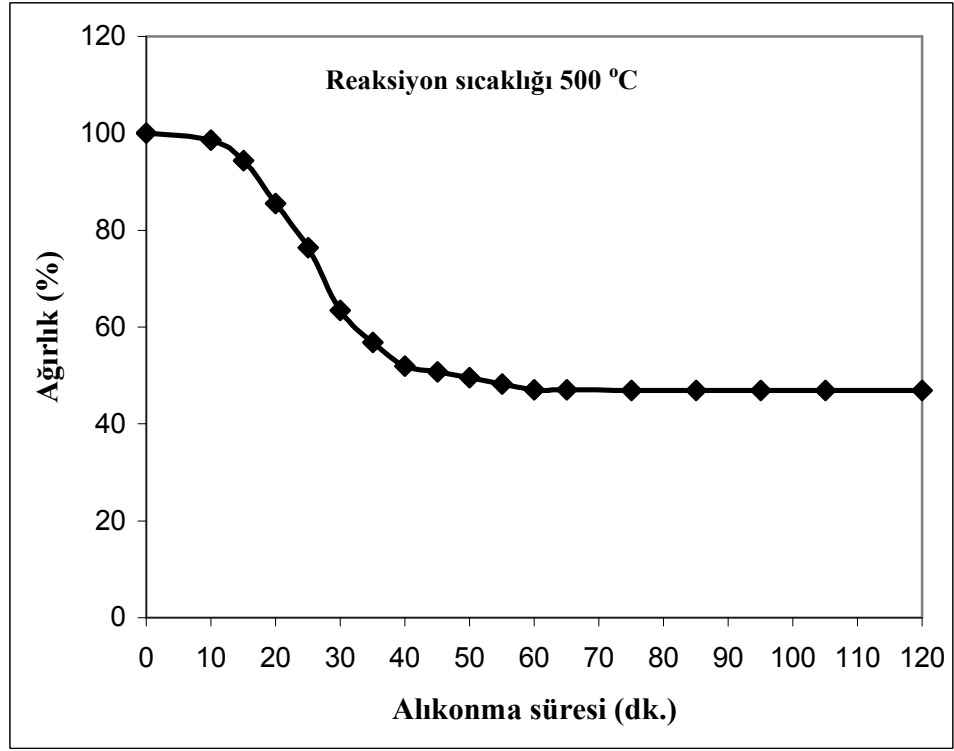
Piroliz reaksiyonunda elde edilen ürünlerin verimlerine etki eden en önemli parametrelerden biri de sıcaklıktır. Reaksiyon sıcaklığının üretim sırasında elde edilen

ürünlerin verimine etkileri Şekil 9.1 ve Tablo 9.1’de verilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi 400°C reaksiyon sıcaklığından itibaren reaksiyon ürünlerinden sıvı ve gaz ürünlerin verimleri artmaktadır. Gaz ürünlerin verimleri, sıcaklık artışına balı olarak, sürekli bir artış içerisinde olmuştur. Sıvı ürün verimi ise 400°C sıcaklıktan itibaren 500°C’ye kadar artmış ve bu sıcaklık değerinden sonra düşmüştür. Katı ürün veriminde ise 400°C reaksiyon sıcaklığından sonra hızlı bir düşüş gözlenmiş ve 500°C sıcaklıktan sonra daha yumuşak bir şekilde düşmeye devam etmiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi, bu çalışmanın amaçları doğrultusunda sıvı ürün veriminin en yüksek olduğu sıcaklık olan 500°C yakıt üretiminde kullanılacak sıcaklık değeri olarak seçilmiştir.



Şekil 9.1. Reaksiyon sıcaklığının piroliz ürünlerinin verimine etkisi

Tepkimenin gerçekleştirildiği reaktör haznesi, belli bir ağırlıkta olup parçalanmış atık lastiklerle doldurulduğunda, lastiğin ağırlığı kadar ağırlık artışı olmaktadır. Son ağırlık durumunda başlatılan reaksiyon süresince pirolize uğrayıp buharlaşan ve hazneyi terk eden ürünler olmaktadır. Buna bağlı olarak toplam ağırlıkta bir azalma meydana gelmektedir. Bu da bize reaksiyonun farklı zaman dilimlerinde hangi hızlarda gerçekleştiği hakkında fikir vermektedir. Reaksiyon süresine bağlı olarak toplam ağırlık değişimi Şekil 9.2’de görülmektedir.



Şekil 9.2. Ağırlık kaybının alıkoyma süresine göre değişimi

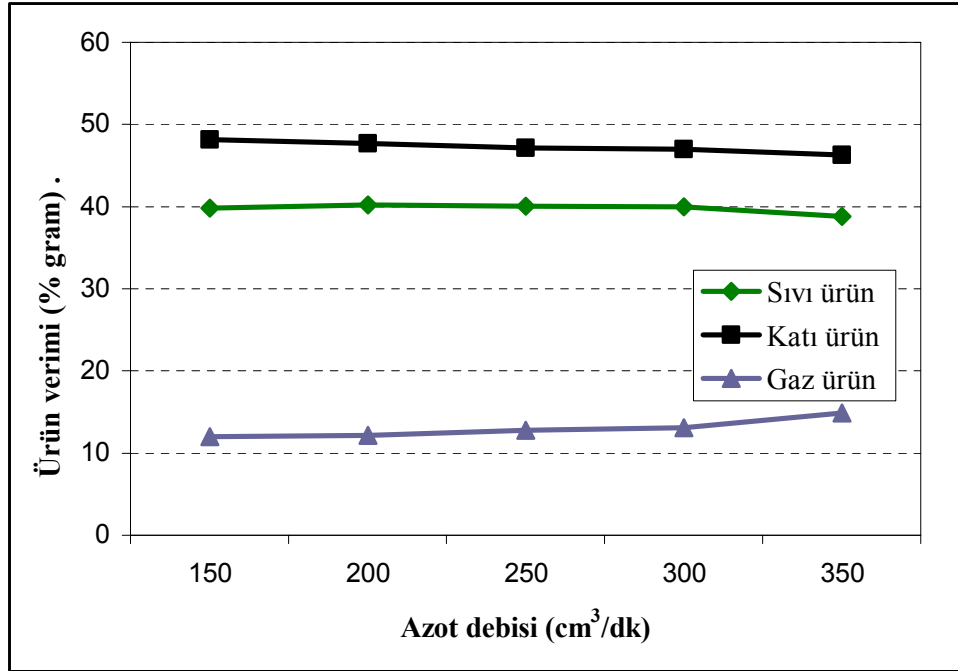
Bu test en yüksek sıvı ürün veriminin olduğu sıcaklık olan 500°C’de gerçekleştirilmiş olup 3 defa tekrar edilmiştir. Her tekrarında ortalama 10 dakika sonra yakıt damlacıkları yoğunlaştırıcıdan damlamaya başlamıştır. Bu da reaksiyonun yaklaşık 10 dakikadan sonra başladığını göstermektedir. Bu andan itibaren reaksiyon hızının arttığı ve yoğunlaştırıcıdan damlayan yakıt damlacıklarının arttığı Şekil 9.2’de de görülmektedir. Ağırlık kaybı, bir başka deyişle yoğunlaştırıcıdan damlayan sıvı yakıt miktarı, reaksiyonun başlamasından sonra ortalama 40. dakikaya kadar hızlı bir şekilde gerçekleşmiştir. Bu andan itibaren reaksiyon hızının azalmasına bağlı olarak ağırlık kaybı giderek daha az olmuştur. Reaksiyonun başlangıcından itibaren ortalama 55-60 dakikadan sonra ağırlık kaybının önemsizmeyecek kadar az olduğu görülmektedir. Reaksiyonun başlatılmasından ortalama 1,5 saat sonra ağırlık kaybının durduğu, bu andan itibaren reaksiyonun tamamlandığı sonucu tespit edilmiştir.

Piroliz işleminde reaksiyon ortamının çok yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılması gerekmektedir. Bu durumda lastik parçacıkları yanabilir ve bu da istenmeyen bir durumdur. Piroliz sırasında lastik parçacıklarının yanmadan bozundurulması gerekmektedir. Bu nedenle reaksiyon ortamının, yüksek sıcaklıklarda yanmayan ve O₂’yi ortamdaki uzaklaştıracak olan N₂ gazı ile inert hale getirilmesi yoluna gidilmiştir.

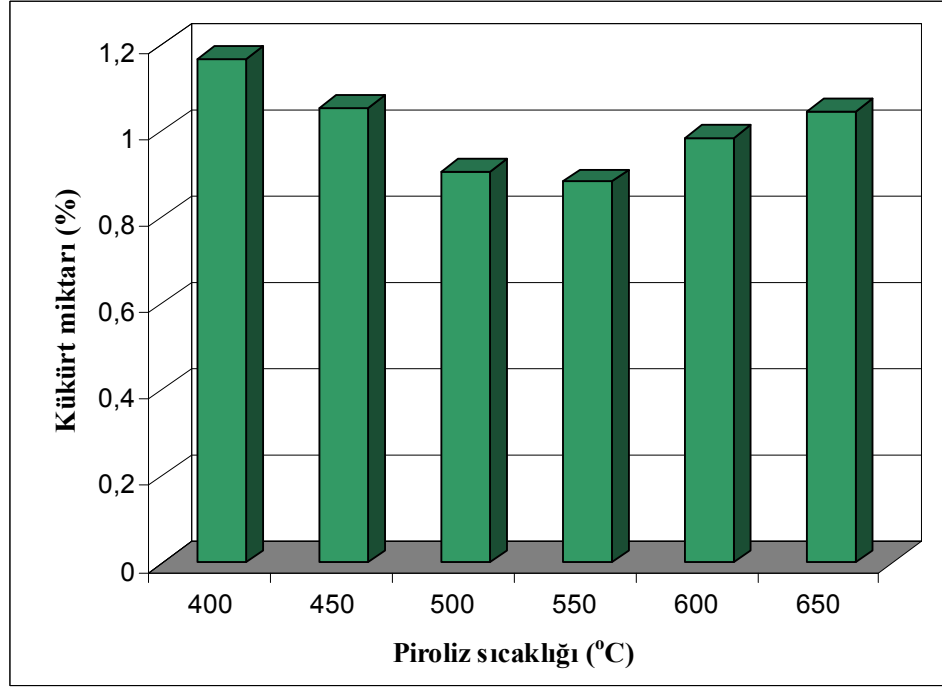
Tablo 9.2. Azot akış hızının piroliz ürünlerinin verimine etkisi

Azot akış hızı (cm ³ /dk)	Sıvı ürün verimi (%)	Katı ürün verimi(%)	Gaz ürün verimi (%)
150	39,85	48,12	12,03
200	40,2	47,67	12,13
250	40,05	47,14	12,81
300	39,95	46,95	13,1
350	38,8	46,3	14,9

N₂ gazının reaksiyon ortamına ideal bir akış hızında gönderilmesi gerekmektedir. Bunun için azot tüpüne akış hızını gösteren ve ayarlayabilen bir manometreye sahip bir azot manifoldu bağlanmıştır. N₂ gazının farklı akış hızlarında katı, sıvı ve gaz ürünleri veriminin değişimi Şekil 9.3 ve Tablo 9.2’de verilmiştir. En yüksek sıvı ürün verimi 200 cm³/dk azot akış hızında elde edilmiştir. Azot akış hızı çok arttığı zaman sıvı ürün verimi azalmaktadır. Gaz ürün verimi ise azot akış hızına bağlı olarak artış göstermiştir. Ancak N₂ gazı akış hızının reaksiyon ürünlerinin verimine etkisi çok olmamıştır.



Şekil 9.3. 500 °C reaksiyon sıcaklığında sürükleyici N₂ gazının akış hızının piroliz ürünlerinin verimine etkisi

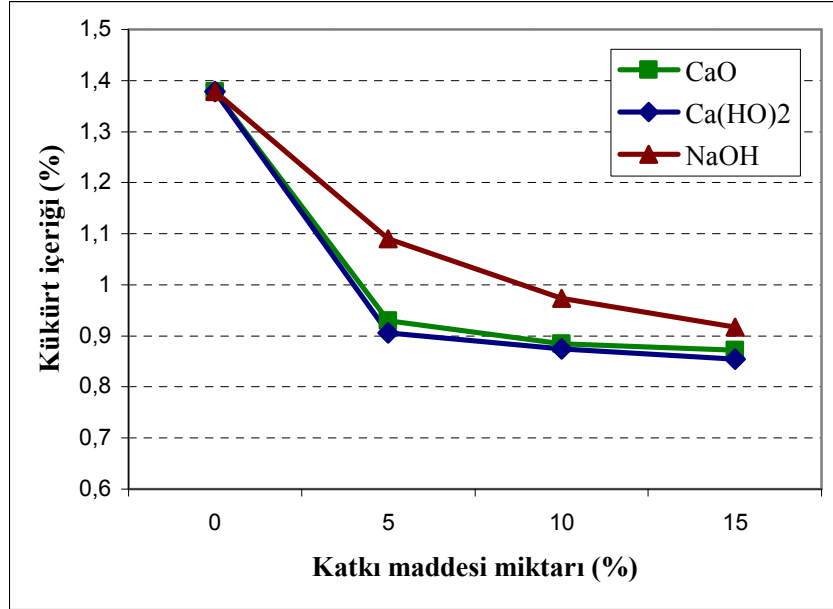


Şekil 9.4. Reaksiyon sıcaklığının sıvı ürünün kükürt oranına etkisi

Piroliz reaksiyonu sıcaklığının elde edilen sıvı ürünün kükürt oranına etkisi Şekil 9.4'te görülmektedir. Şekil 9.4'te görüldüğü gibi sıvı ürünün ihtiva ettiği kükürt miktarı, reaksiyon sıcaklığı ile değişim göstermiştir. Reaksiyon sıcaklığı arttıkça elde edilen sıvı ürünün içerdiği kükürt miktarı azalma eğilimi göstermiş olup daha sonra yine artmıştır. En düşük kükürt miktarına sahip sıvı ürün, reaksiyon sıcaklığının 550°C olduğu testte elde edilmiştir. Bu sıcaklığa kadar azalan sıvı ürün kükürt içeriği bu sıcaklık değerinden sonra artmıştır. Her ne kadar en düşük kükürt miktarına sahip sıvı ürün 550°C reaksiyon sıcaklığında elde edilmiş olsa da, Şekil 9.1'de görüldüğü gibi en yüksek sıvı ürünün elde edildiği sıcaklık olan 500°C reaksiyon sıcaklığı, yakıt üretiminde kullanılan sıcaklık değeri olarak seçilmiştir. Çünkü 500°C sıcaklık değerinde en yüksek sıvı yakıt miktarı elde edilmiştir. Ayrıca 500°C sıcaklık, en düşük kükürt miktarına sahip ürünün elde edildiği sıcaklık değerine oldukça yakın kükürt miktarının elde edildiği bir sıcaklık değeridir.

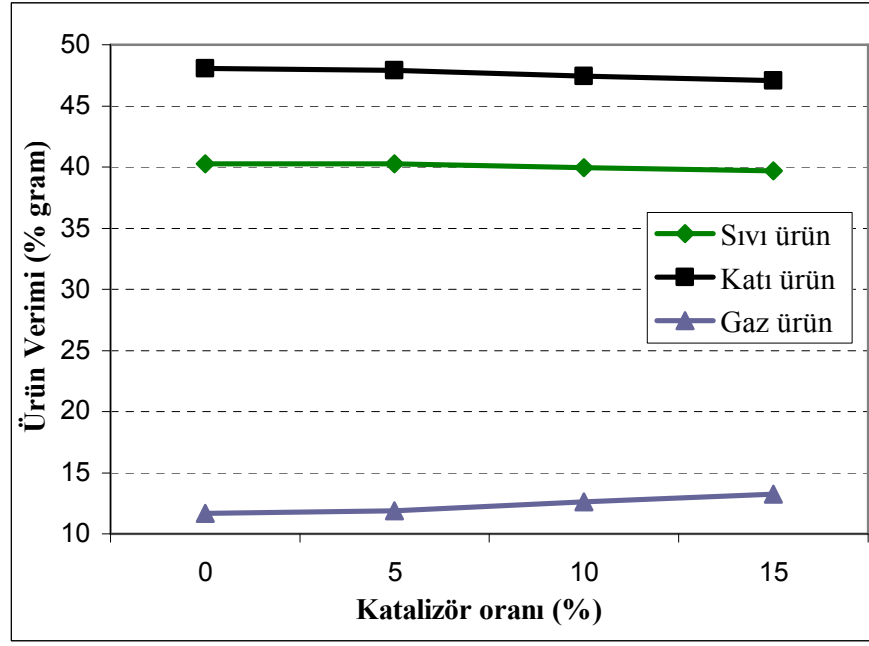
Atık taşıt lastiklerinden dizel yakıtı üretimi için uygulanan piroliz işlemi sırasında elde edilen sıvı ürünün kükürt içeriğinin azaltılması amacıyla atık taşıt lastiklerine, kütleli olarak sodyum hidroksit (NaOH), kalsiyum hidroksit $[Ca(OH)_2]$ ve kalsiyum oksit (CaO-kireç)'ten, %5, %10 ve %15 oranlarında katılarak piroliz işlemine tabi tutulmuştur. Piroliz işleminden elde edilen bütün bu sıvı ürünlerin kükürt içerikleri tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda en düşük kükürdü ihtiva eden karışımın hangisi olduğu belirlenmiştir.

Bu karışım baz alınarak motorda kullanılmak üzere yakıt üretimi için yeniden piroliz işlemine geçilmiştir. Atık taşıt lastiklerinin pirolizi sırasında kullanılan katkı maddeleri ve kullanım miktarlarına bağlı olarak, elde edilen piroliz sıvısının ihtiva ettiği kükürt miktarı değişimleri Şekil 9.5'te görülmektedir. CaO ve Ca(OH)₂ katkı maddelerinin kullanımında kükürt oranı dikkate değer miktarlarda azaltılırken, NaOH kullanımında ayrıştırılabilen kükürt oranı ise daha düşük oranlarda kalmıştır. CaO ve Ca(OH)₂ katkı maddelerinin kullanım oranı arttıkça sıvı piroliz ürünlerinin kükürt miktarı düşüş göstermiştir. Bu düşüş, %5 katkı maddesi kullanımı oranına kadar hızlı olmuş daha sonra ise yavaş olmuştur. Bu nedenle, piroliz reaksiyonunda %5 Ca(OH)₂ ve CaO kullanmanın sıvı ürünlerin kükürt içeriğini azaltmak için kullanılabileceği kanısına varılmıştır.



Şekil 9.5. 500 °C'de yakıt üretimi sırasında katkı maddelerinin sıvı ürünün kükürt miktarına etkileri

Ca(OH)₂ katalizörü kullanım oranının piroliz ürünlerinin verimine etkisi Şekil 9.6'da verilmiştir. Buradan da görülebileceği gibi, katalizör oranı sıvı ürün verimi üzerinde çok az etkili olmuştur. Gaz ve katı ürün verimleri üzerinde ise biraz daha fazla etkili olmaktadır. Ancak %5 kalizör oranından sonra sıvı ürün veriminde bir miktar azalma olmuştur. Bu oran aynı zamanda kükürt miktarının düşürülmesinde önemli bir etkiye sahip olduğundan, yakıt üretiminde %5 Ca(OH)₂ katalizör oranının kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 9.6. 500 °C reaksiyon sıcaklığında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ katalizörü oranının piroliz ürünlerinin verimine etkisi

Taşıt lastiği pirolizi sırasında, kullanılan katkı maddelerinden dolayı, çıkan gazların sıvılaşmadan önce uğradığı muhtemel kükürt reaksiyonları (9.1-9.6) aşağıda verilmiştir. Bu reaksiyonlarda kükürt içeren gazlar olarak H_2S ve COS en çok çıkan gazlar olup katkı maddeleri ile reaksiyonları aşağıdaki gibidir.



Burada 9.1, 9.3 ve 9.5 numaralı reaksiyonlar asit-tabanlı reaksiyonlar olup kolayca gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonlar hem düşük hem de yüksek sıcaklıklarda

gerçekleşebilmektedir. 9.2, 9.4 ve 9.6 numaralı reaksiyonlar da yine hızlıca gerçekleşmekle beraber CaO ve Ca(OH)₂ ve NaOH'nin COS ile tepkime miktarları daha düşüktür. Bununla beraber Ca(OH)₂ 450°C'den sonraki çok yüksek sıcaklık reaksiyonlarında CaO'ya parçalanmaktadır. Bu parçalanma reaksiyonu aşağıda verilmiştir.



Reaksiyon 9.7'de görüldüğü gibi 500°C'de elde edilen piroliz sıvı yakıtı belirli oranlarda su içerebilmektedir. Bu nedenle reaksiyon sonrasında elde edilen sıvı yakıt tekrar 100°C'de belirli bir süre tutularak bu su yakıttan buharlaşma yoluyla ayrılmıştır.

9.2. Asidik Kükürtsüzleştirme

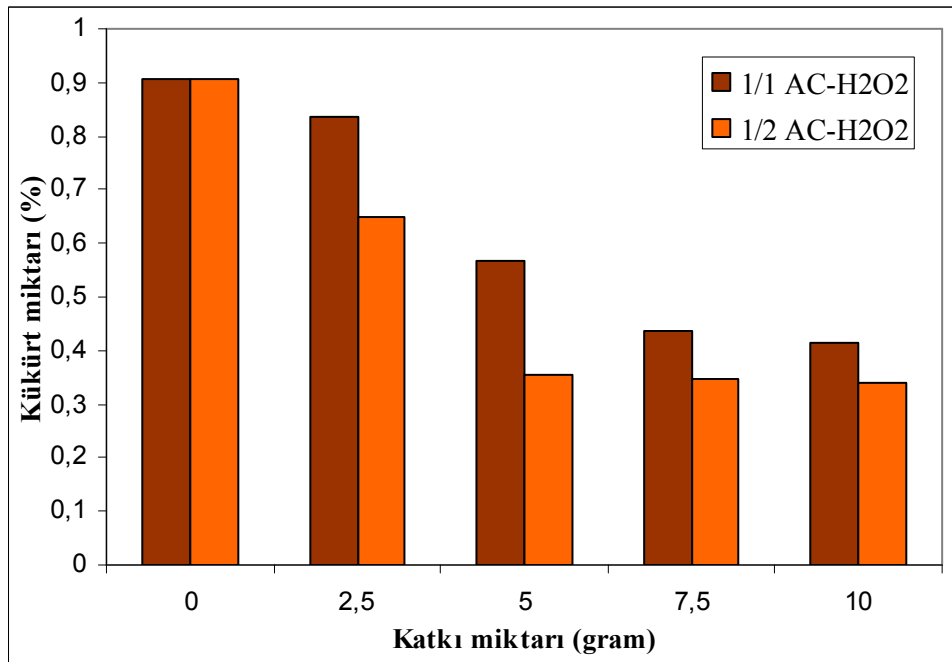
Piroliz işlemi sonucunda elde edilen yakıtın, kimyasal analizleri sonucunda, yüksek kükürt içeriğine sahip olduğu görülmüştür. Aynı zamanda yapılan motor deneyleri sonucunda da LY yakıtının yüksek oranda SO₂ emisyonuna neden olduğu ve diğer performans ve emisyon parametrelerini de olumsuz etkilediği görülmüştür. Bu sonuçlar Bölüm 11'de ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır. Bu nedenle LY yakıtının özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla asidik kükürt giderme yoluna gidilmiştir. Bu bölümde asetik asit ve formik asit gibi bazı asitlerin kullanımında hidrojen peroksit çözücü olarak kullanılmıştır. Bu asitlerin yanı sıra %98 saflık derecesine sahip H₂SO₄ kükürt gidermek amacıyla kullanılmıştır.

Tablo 9.3. Kullanılan katkı maddesi miktarının kükürtsüzleştirmeye etkisi

Katkı miktarı gram (H ₂ SO ₄ için %)	1/1 Asetik-H ₂ O ₂ için kükürt miktarı (%)	1/2 Asetik-H ₂ O ₂ için kükürt miktarı (%)	1/1 Formik-H ₂ O ₂ için kükürt miktarı (%)	1/2 Formik-H ₂ O ₂ için kükürt miktarı (%)	H ₂ SO ₄ için kükürt miktarı (%)
0	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906
2.5	0.834	0.648	0.824	0.62	0.688
5	0.567	0.354	0.52	0.341	0.31
7.5	0.438	0.346	0.422	0.33	0.266
10	0.414	0.338	0.396	0.328	0.224

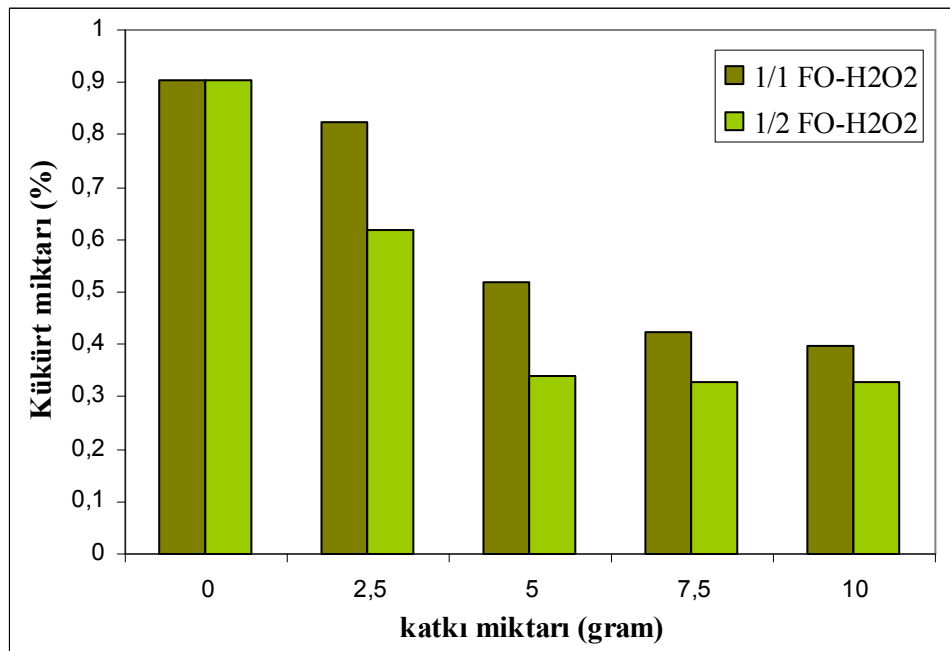
Tablo 9.3’te, kullanılan asit, H_2O_2 ve H_2SO_4 miktarının LY yakıtının kükürt oranına etkileri verilmiştir. Asetik asit ve formik asit H_2O_2 ile önce 1/1 ve daha sonra 1/2 oranlarında karıştırılarak çözelti oluşturulmuştur. Daha sonra bu çözeltiler 2.5, 5, 7.5 ve 10 gr gibi farklı miktarlarda atık taşıt lastiklerinden elde edilmiş olan 100 ml miktarlarındaki LY yakıtı numunelerine eklenmiştir. Asit çözeltisi eklenmiş numuneler 1 saat süreyle $50^\circ C$ sıcaklıkta karıştırılmıştır. Sonra bu numuneler 8 saat süreyle bekletilmiştir. Bu süre sonunda sıvının iki katman şeklinde ayrıldığı görülmüştür. Üst kısımda biriken sıvı yakıtlar ayırma hunisi ile ayrılmıştır. Dipte kalan sıvılar ise atılmıştır. Son olarak üst kısımdan alınan sıvı yakıtlar 4/1 oranında saf su ile 0.5 saat karıştırılarak yıkanmıştır. Karıştırma işlemi sonucunda yakıt karışımı 60 saat süreyle bekletilmiştir. Bu süre sonunda sıvıların iki katman halinde iyice ayrıştığı görülmüştür. Üst kısımda bulunan atık taşıt lastiklerinden elde edilmiş sıvı yakıtlar ayırma hunisi yardımıyla alınarak kükürt analizi yapılmıştır.

Asetik asit- H_2O_2 çözeltisinin farklı oranlarda eklenmesi ile taşıt lastik yakıtının kükürt miktarının değişimi Şekil 9.7’de verilmiştir. 1/2 oranında asetik asit- H_2O_2 çözeltisinin kükürt giderme işleminde 1/1 oranına göre çok daha etkili olduğu Şekil 9.7’de görülmektedir. Her iki çözeltinin farklı oranlarda kullanımında kükürt miktarının değiştiği görülmektedir. Ancak 5gr asit çözeltisi miktarından sonra kükürt miktarı dikkate değer miktarlarda değişmemiştir.



Şekil 9.7. Asetik asit- H_2O_2 karışımının kullanım miktarının kükürtsüzleştirmeye etkisi

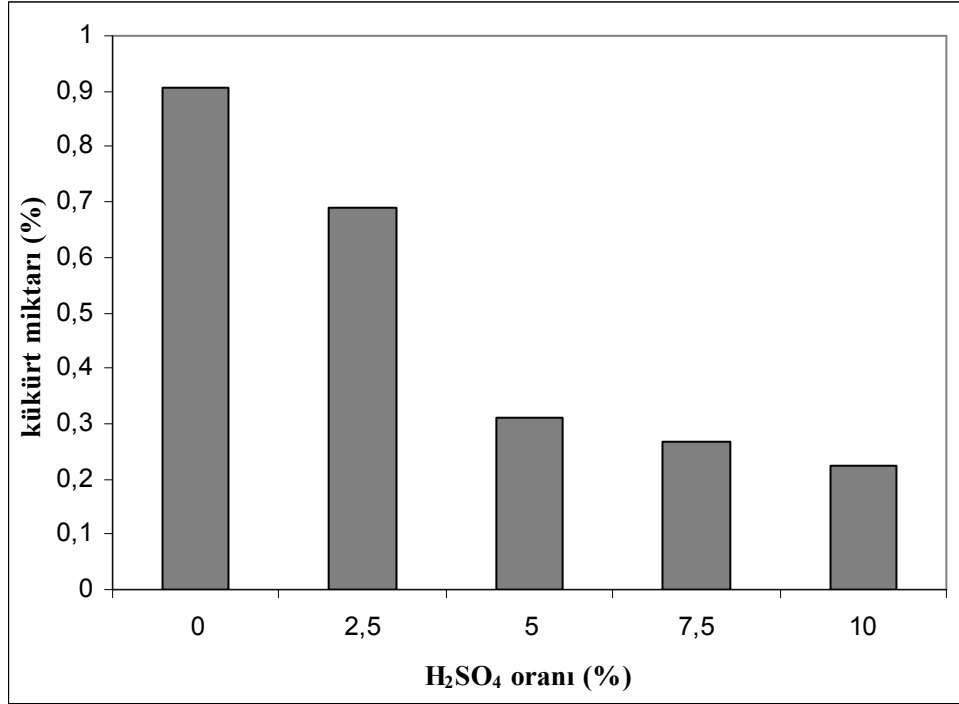
Formik asit-H₂O₂ çözeltisinin farklı oranlarda eklenmesi ile LY yakıtının kükürt miktarının değişimi Şekil 9.8’de verilmiştir. Formik asit kullanımında da farklı çözeltelerde kükürt miktarının değiştiği görülmektedir. Yine 1/2 oranında formik asit/H₂O₂ çözeltisinin kükürt giderme işleminde 1/1 oranına göre çok daha etkili olduğu yapılan kükürt analizleri sonucunda tespit edilmiştir. Asetik asit ve formik asit kullanılarak hazırlanan H₂O₂ çözeltilerinin kükürt giderme işleminde oldukça etkili oldukları Şekil 9.7 ve Şekil 9.8’de görülmektedir. Ancak bu iki asit türünün kükürt giderme işlemindeki etkilerinin çok değişmediği ve oldukça benzer sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır.



Şekil 9.8. Formik asit-H₂O₂ karışımının kullanım miktarının kükürtsüzleştirmeye etkisi

H₂SO₄’ün farklı oranlarda eklenmesi ile LY yakıtının kükürt miktarının değişimi Şekil 9.9’da verilmiştir. Bu işlemde %98 saflık derecesine sahip H₂SO₄ 100 ml’lik yakıt numunelerine %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranlarında katılarak kullanılmıştır. H₂SO₄ yakıt eklendikten sonra karışım oda sıcaklığında 1 saat boyunca karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra numuneler 8 saat süreyle bekletilmişlerdir. Bu sürenin sonunda H₂SO₄ ile çökelek oluşturarak dibe çöken sıvılar ayırma hunisi ile ayrılmıştır. Üst kısımda kalan sıvı yakıtlar ise kükürt miktarı analizine tabi tutulmuştur. Yapılan analiz sonunda H₂SO₄ miktarının değişimi ile kükürt miktarının değiştiği ortaya çıkmıştır. Kullanılan H₂SO₄ miktarı artıkcı kükürt miktarının azaldığı şekil 9.9’da görülmektedir. En düşük kükürt

miktarına sahip yakıtın %10 H₂SO₄ kullanılarak kükürt giderme işlemi uygulanan yakıt olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 9.9. H₂SO₄ kullanım oranının kükürtsüzleştirmeye etkisi

9.2. Üretilen Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Yakıt Özellikleri

Motor testlerinde kullanılan yakıtlar olan DY, LY, DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtlarının fiziksel ve kimyasal yakıt özelliklerinin tespiti Batman Üniversitesi Rafineri ve Petrokimya Bölümü, Batman Tüpraş Rafinerisi ve Dicle Üniversitesi Kimyasal Analiz Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Dizel motor yakıtları Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'nca Tablo 9.4'te belirtilen ve yayınlanan Teknik Düzenleme Tebliği'ne göre TS 3082 EN 590 Motorin standardına uygun olmalıdır [102].

Tüm deney yakıtlarının kükürt oranları Dicle Üniversitesi Kimyasal Analiz Laboratuvarında, damıtma karakteristikleri Batman Tüpraş Rafinerisinde ve yoğunluk, kinematik viskozite, parlama noktası, anilin noktası, dizel indeksi, setan sayısı ve API gravitesi özellikleri ise Batman Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Rafineri ve Petrokimya Bölümü'nde tespit edilmiştir.

Bu yakıtlara ait belirlenen özellikler Tablo 9.5’te verilmiştir. Ayrıca tüm deney yakıtlarının tespit edilen özellikleri Tablo 9.4’te verilen ve dizel yakıtlar için belirlenen sınır değerler ile mukayese edilmiştir.

Tablo 9.4. Normal motorin için belirlenen sınır değerler

Özellik	Birim	Değer	Sınır	Deney Yöntemi
Yoğunluk (15 °C’de)	kg/m ³	820-845		TS 1013 EN ISO 3675 TS EN ISO 12185
Parlama Noktası	°C	55	En az	TS EN ISO 2719
Damıtma				TS 1232 EN ISO 3405
250 °C’ta elde edilen	% hacim	65	En çok	
350 °C’ta elde edilen	% hacim	85	En az	
%95’in (hacim/hacim) elde edildiği sıcaklık	°C	360	En çok	
Kükürt	%	0,1	En çok	TS 6838 EN ISO 8754
Viskozite (40 °C’ta)	cst	2,0-4,5		TS 1451 EN ISO 3104
Setan sayısı		51	En az	TS 10317 EN ISO 5165
Setan İndisi		46	En az	TS 2883 EN ISO 4264
1 Ekim-31 Mart (± 15 gün)				
1 Nisan-30 Eylül (±15 gün)				
Not : Yağ asidi metil esteri (YAME) katılmamaktadır.				
Not: Bu ürün İzmit, İzmir, Kırıkkale ve Batman Rafinerilerinde satılmaktadır.				

Tablo 9.5. Deneylerde kullanılan yakıtların fiziksel ve kimyasal yakıt özellikleri

Yakıt / Özellik	DY	LY	DKLY	DKLY75	DKLY50
Yoğunluk (20 °C’de), (gr/cm³)	0.845	0.945	0.934	0.907	0.884
Kinematik viskozite (40 °C’de) (mm²/sn)	3.4	3.8	3.7	3.6	3.5
Isıl değer (KJ/kg)	46006	43344	43565	44255	44876
Kükürt Miktarı (%)	0.1	0.906	0.224	0.192	0.160
Parlama noktası (°C)	60	50	54	-	-
Dizel İndeksi	55,2	41,9	47,5	53,35	53,8
API gravitesi	32,35	14,95	16,39	20,91	24,97
Setan sayısı	53	44	48	51	52
Anilin noktası (°F)	170	280	289	255	216
Damıtılan miktar	Distilasyon sıcaklıkları (°C)				
	DY	LY	DKLY	DKLY75	DKLY50
%5	150	118	120	132	142
%10	175	150	154	159	165
%20	185	177	175	177	181
%30	195	185	182	185	189
%50	214	234	210	212	215
%70	250	293	268	263	256
%85	297	339	320	311	302
%90	310	359	342	331	323
%95	334	402	406	382	364
%98	370	430	476	421	401

9.2.1. Yoğunluk

Yoğunluk genel anlamda, bir niceliğin başka bir niceliğin birim miktarı içindeki sayısı olarak tanımlanır. Sıvı yakıtlar için kullanılan anlamı ise belirli sıcaklık ve basınç altındaki birim hacmin kütlesidir. Yakıtların yanma karşısındaki davranışları hakkında fikir verir. Sıvı bir yakıtın yapısında karbon moleküllerinin oranı arttıkça yoğunluğu da artar. Bu çalışmada kullanılan yakıtların yoğunlukları normal atmosfer basıncında (atm) ve 20°C sıcaklıkta tespit edilmiştir. Taşıt lastiklerinden elde edilen yakıtların yoğunlukları dizel yakıtından daha yüksek çıkmıştır. En yüksek yoğunluğa sahip yakıt LY olup bu yakıt DKLY yakıtı izlemiştir. Karışım yakıtlarda ise karışımda kullanılan DKLY miktarı arttıkça yoğunluk değerleri de aynı oranda yüksek çıkmıştır.

9.2.2. Kinematik Viskozite

Kinematik viskozite, bir akışkanın akışa karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Kinematik viskozitenin SI birimi “ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ” dir. Kinematik viskozitenin cgs deki birimi George Gabriel Stokes'un adına atfen *stokes* olup S veya St şeklinde kısaltılır. Bazen *centistokes* (cS veya cSt) şeklinde de kullanılabilir. Dizel motorlarında kullanılan yakıtların viskozite değerleri, yakıt enjektöründen püskürtme karakteristikleri ve dolayısıyla yanmanın seyri açısından oldukça önemlidir. Viskozitenin yanma ve püskürtme karakteristiklerine etkileri önceki bölümlerde açıklanmıştır. Bir sıvının yoğunluğu ile akıcılığı arasında ters bir ilişki vardır. Deneylerimizde kullanılan yakıtların viskozite değerleri atm basıncında ve 40°C sıcaklık altında tespit edilmiştir. En yüksek viskoziteye sahip yakıt LY olup en düşük viskozite değeri ise dizel yakıtına aittir. Ancak, tüm deney yakıtlarının viskozite değerleri dizel yakıtına oldukça yakın değerlerde çıkmıştır.

$$0,01 \text{ st.} = 1 \text{ cst.} = 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{sn}^{-1} = 1 \text{ mm}^2/\text{sn.}$$

9.2.3. Isıl Değer

Birim miktarda yakıt numunesinin tam olarak yakılması ile ortaya çıkan ısı miktarı o yakıtın üst ısıl değerini ifade eder. Ortaya çıkan bu üst ısıl değerinden yakıtın rutubeti ile

yakıttaki hidrojenin yanması sonucu ortaya çıkan su buharının yoğunlaşma ısılarının toplamının çıkarılması ile hesaplanan ısı miktarına o yakıtın alt ısı değeri denir ve kJ/kg olarak hesaplanır. Deneylerde kullanılan yakıtların ısı değerleri, 7.1 ve 7.2 denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır [98]. Burada bulunan değer yakıtın alt ısı değeridir. Bu değerlerin hesaplanmasında ampirik bir formül kullanıldığından dizel yakıtı dahil bütün deney yakıtları için ısı değeri normal değerlere nazaran yüksek hesaplanmıştır. Taşıt lastiklerinden elde edilen ham LY ve düşük kükürlü DKLY yakıtlarının ısı değerleri petrol kökenli dizel yakıtına göre daha düşük hesaplanmıştır. Karışım yakıtların ısı değerleri ise karışımda kullanılan dizel ve DKLY yakıtlarının oranlarına göre değişmiştir.

9.2.4. Kükürt Miktarı

Dizel motorlarında kullanılan yakıtların ihtiva ettiği kükürt miktarı mümkün olduğunca düşük olmalıdır. Bu nedenle deneylerde kullandığımız taşıt lastiklerinden elde ettiğimiz yakıtlar kükürt giderme işlemlerine tabi tutularak, kükürt oranları Tablo 9.4'te dizel yakıtı için belirlenen sınır değerlere yaklaştırılmaya çalışılmıştır. Ham LY yakıtı yüksek kükürt içeriğine sahip olduğundan, saf halde kullanımı yüksek miktarda SO₂ emisyonu oluşturmuştur. Bu nedenle LY yakıtı kükürtsüzleştirilerek çok daha düşük miktarda kükürt içeren DKLY yakıtı üretilmiştir. Deneylerimizde kullanılan DY, LY, DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtlarının kükürt oranları Tablo 9.5'te verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi DKLY ve DKLY-DY karışımlarının kükürt miktarı DY yakıtına oldukça yakındır.

9.2.5. Parlama Noktası

Taşıt lastiklerinden elde edilen deney yakıtlarının parlama noktası değerleri DY yakıtına oldukça yakın çıkmıştır. Yakıtın kolay yanabilme özelliği, parlama noktası ile tespit edilmektedir. Yanıcı bir cismin parlama noktası o cismin hava ile yanıcı karışım meydana getiren bir buhar çıkardığı en düşük sıcaklık derecesidir. Hem DKLY hem de LY yakıtlarının parlama noktaları DY yakıtından biraz düşük ama DY yakıtına oldukça yakın çıkmıştır. Deney yakıtları arasında en düşük parlama noktasına sahip yakıt LY yakıtıdır. Deney yakıtlarının parlama noktası değerlerinin DY yakıtına yakın çıkması, bu yakıtların yanmaya meyilleri açısından oldukça avantajlı bir durum oluşturmuştur.

9.2.6. Dizel İndeksi ve Setan Sayısı

Dizel yakıtlarının setan sayısı ve dizel indeksi değerleri arasında yakın bir ilişki vardır. Bu ilişki önceki bölümlerde verilmiştir. Tüm deney yakıtları için dizel indeksi ve bunun karşılığı olan setan sayısı değerleri, bu yakıtların anilin noktası ve API gravitesi değerlerinin tespit edilmesi ile bulunmuştur. Dizel indeksi ve setan sayısının nasıl tespit edildiği önceki bölümlerde anlatılmıştır. Tüm deney yakıtlarından LY yakıtının dizel indeksi ve setan sayısı diğer yakıtlara göre oldukça düşüktür. Ancak DKLY yakıtı ve DKLY-DY karışımı yakıtların dizel indeksi ve setan sayısı Tablo 9.4'te belirlenen sınır değerler arasında olup DY yakıtına oldukça yakın çıkmıştır. Ancak tüm deney yakıtları içinde en yüksek setan sayısı ve dizel indeksine sahip yakıt DY yakıtı olmuştur.

Setan sayısı ve dizel indeksi, dizel motorlarında tutuşma gecikmesi ve yanma bakımından oldukça önemlidir. Dizel motorlarında kullanılan yakıtların setan sayıları 45-60 arasında olmalıdır. Setan sayısı düşük olan yakıtların yanma sırasında tutuşma gecikmesi süresi uzundur. Tutuşma gecikmesi süresinin uzun olması dizel vuruntusuna neden olur. Setan sayısının gerekenden çok yüksek olması ise is oluşumunu artırır.

9.2.7. API Gravitesi

Bu özellik daha çok petrolün sınıflandırılmasında kullanılır. Amerikan Petrol Enstitüsü (API) tarafından çıkarılan ve özgül ağırlığa bağlı olan API gravite tanımı, bütün dünyada petrolün sınıflandırılması için genel kabul görmüştür. Gravite, uluslar arası bir birim olup genelde 10 ile 48 arasında değişmektedir. Gravite, petrolün yoğunluğu anlamına gelmeyip yoğunlukla ters orantılıdır. API gravitesi ve yoğunluk arasındaki ilişki Denklem 7.2'de verilmiştir. Deney yakıtlarının API gravitesi değerleri Tablo 9.5'te verilmiştir. Buna göre en yüksek graviteye sahip yakıt DY yakıtı olmuştur. En düşük gravite ise LY yakıtına aittir. DKLY-DY karışımı yakıtlarda ise, karışımda kullanılan DY yakıtı miktarı arttıkça API gravitesi aynı düzeyde yüksek çıkmıştır.

9.2.8. Anilin Noktası

Tüm deney yakıtları için anilin noktası tespiti aynı şartlar altında gerçekleştirilmiştir. Anilin noktasının tespiti için gerekli olan anilin, taze damıtılmış olup

Dicle Üniversitesi Kimya Bölümü'nden temin edilmiştir. Anilin noktasının tespiti için, 20'şer ml anilin ve yakıt numunesinden oluşturulan, 40 ml'lik karışım kullanılmıştır. Anilin noktası tespiti Şekil 9.10'da gösterilmiştir.

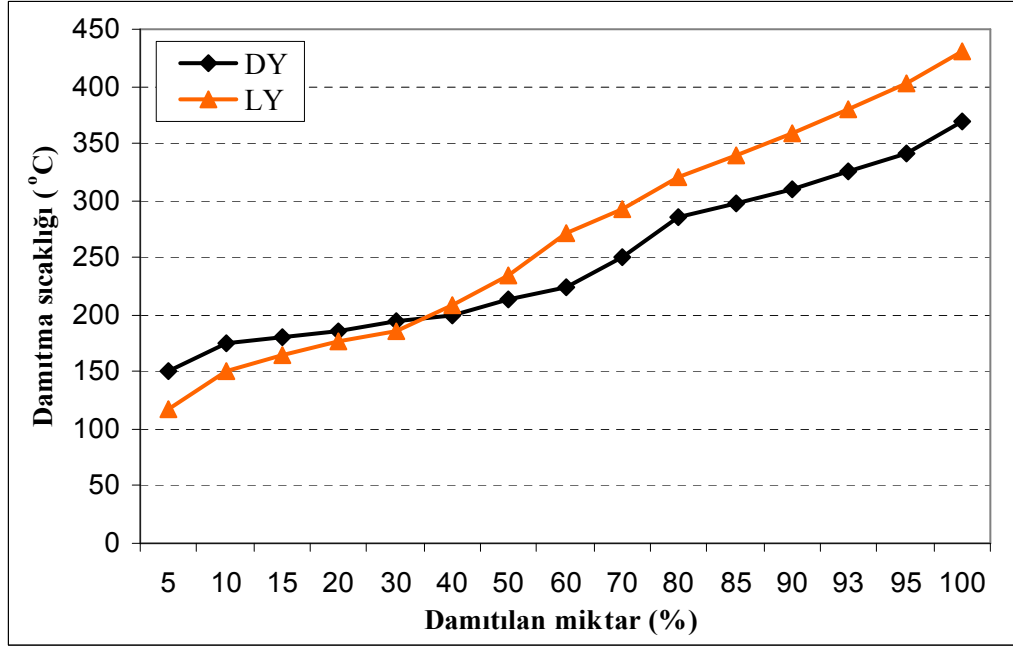


Şekil 9.10. Anilin noktası tespiti

LY ve DKLY yakıtlarının anilin noktası değerleri DY yakıtından yüksek çıkmıştır. Anilin noktası bir yakıtın içerisindeki parafinik hidrokarbonların miktarını gösterir. Anilin noktasının yüksek olması, parafinik hidrokarbonların sayısının da yüksek olduğu anlamına gelir. Ayrıca anilin noktası deney yakıtlarının dizel indeksi değerlerinin tespitinde de kullanılmıştır.

9.2.9. Damıtma Karakteristikleri

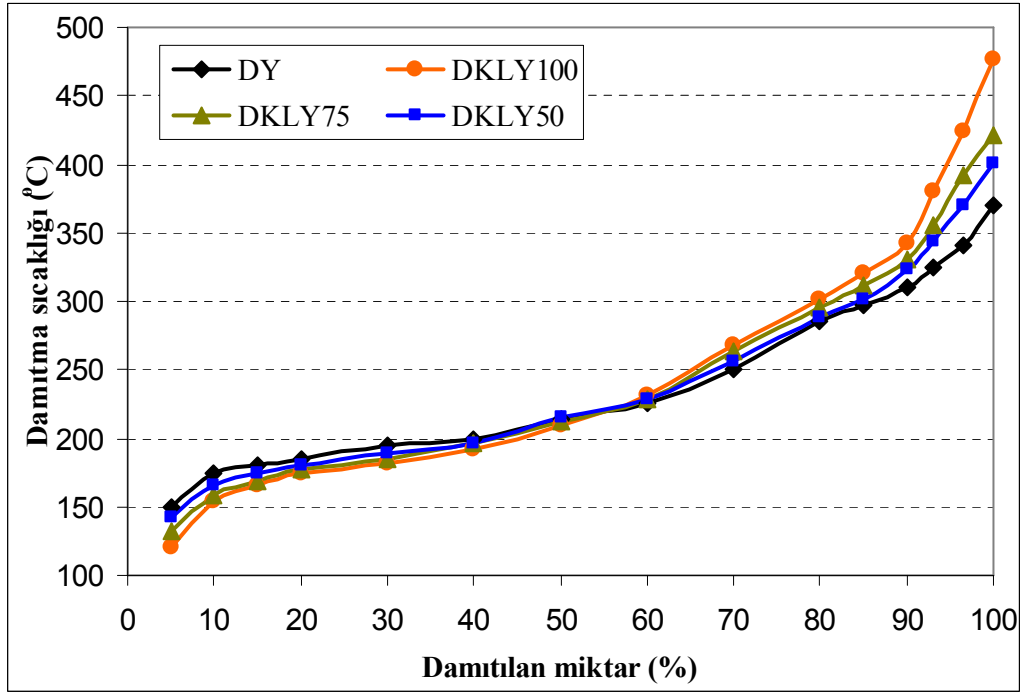
DY, LY, DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtları için distilasyon sıcaklıkları ve bu sıcaklıklarda damıtılan sıvı miktarları Tablo 9.5’de verilmiştir. Ayrıca bu yakıtların damıtma grafikleri de Şekil 9.11 ve 9.12’de verilmiştir.



Şekil 9.11. DY ve LY100 yakıtlarının damıtma eğrileri

DY yakıtı ve saf LY yakıtlarının damıtma eğrileri Şekil 9.11’de verilmiştir. Damıtma eğrileri hem DY yakıtının hem de LY yakıtının sıcaklıktaki artışla orantılı olarak damıtıldığını göstermektedir. Bu eğrilerden anlaşılabileceği gibi LY’nin ilk damıtma sıcaklıkları DY yakıtından daha düşük çıkmıştır. Yani LY, DY yakıtına nazaran daha düşük ilk buharlaşma sıcaklıklarına sahiptir. LY yakıtının yaklaşık %30’luk kısmının DY yakıtına nazaran daha erken damıtılması, LY’deki bu yakıt kısmının DY yakıtına göre daha hafif bir yakıt olduğunu gösterir. Bu durum, LY yakıtının, dizel motorlarında kullanıldığı zaman daha kolay yandığını, yani daha kısa tutuşma gecikmesine sahip olduğunu gösterir. Tutuşma gecikmesi periyodunun kısa olması gerektiği daha önceki bölümlerde de belirtilmiştir. Tutuşma gecikmesi periyodunun uzun olması halinde ise dizel vuruntusunun oluştuğu bilinmektedir. Ancak LY yakıtının orta ve son damıtma sıcaklıkları ise DY yakıtının damıtma sıcaklıklarına göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durum genel

olarak LY yakıtının DY yakıtına göre daha fazla ağır yapılı hidrokarbonlara sahip olduğunu gösterir. Bu durumda LY yakıtının yanma işlemi sırasında daha uzun süren bir yanma periyoduna sahip olabileceğini gösterir. Bu durumda eksik yanma olayı da meydana gelebilir. Çünkü uzun süren bir yanma işlemi, egzoz zamanına sarkar ve genişlemiş olan yanma odası hacmi ise ısının düşmesine ve dolayısıyla eksik yanmaya sebep olur.



Şekil 9.12. DY, LY, DKLY ve DKLY-Dizel karışımı yakıtlarının damıtma eğrileri

DKLY100, DKLY75, DKLY50 ve DY yakıtlarının distilasyon eğrileri Şekil 9.12'de verilmiştir. Tüm yakıtların damıtılan miktarı sıcaklık artışıyla artmıştır. Damıtma eğrileri, artan sıcaklık ile yakıtların düzgün bir şekilde buharlaştığını, hava ile karıştığını ve adım adım yandığını gösterir. Genel olarak, DKLY yakıtları için elde edilen damıtma eğrileri, DY yakıtının damıtma eğrisine oldukça benzer çıkmıştır. Ancak DKLY yakıtının ilk damıtma sıcaklıkları DY yakıtından daha düşüktür. Bu da DKLY yakıtının DY yakıtından daha erken buharlaşarak hava ile karıştığını göstermektedir. Bu durumda, DKLY yakıtının silindir içinde daha kolay yandığı söylenebilir. DKLY yakıtının yaklaşık %50'lik kısmının DY yakıtından daha kolay buharlaşan hafif yapılı hidrokarbonlar içerdiği, distilasyon eğrileri ile tespit edilmiştir. DKLY yakıtının geriye kalan %50'lik kısmı ise DY yakıtından daha yüksek damıtma sıcaklıklarına sahiptir.

Buna rağmen, Tablo 9.5'te görüldüğü gibi, DKLY yakıtının %65 ve %85'lik kısımlarının damıtma sıcaklıkları, sırasıyla Tablo 9.4'te görülen ve sınır değerler olarak belirlenen damıtma noktaları olan 250°C ve 350°C'den daha düşük çıkmıştır. Bu durum DKLY yakıtının en az %85'lik kısmının iyi yandığını gösterir. Ancak Şekil 9.12'de de görüldüğü gibi, DKLY yakıtının %95'lik kısmından sonra kalan %5'lik kısmı temsil eden, son distilasyon sıcaklıkları, DY yakıtından oldukça yüksek olup, Tablo 9.4'te belirlenen sınır değer olan 360°C'nin çok üzerindedir. Son distilasyon sıcaklıklarının DKLY yakıtı için oldukça yüksek olması, yanmanın bu noktadan sonra kötüleştiği anlamına gelmektedir. Bu sebeple eksik yanmadan dolayı oluşan egzoz emisyonları meydana gelir. Bu durum DKLY yakıtı kullanımında özellikle HC emisyonlarının artmasına ve özgül yakıt tüketiminin aşırı yüksek olmasına neden olur. Bu durumda DKLY yakıtının %5'lik kısmının ayrıştırılması gerekmektedir. Çünkü bu kısım, dizel motorlarında kolay yanmayan, kullanıma uygun olmayan ağır yapılı hidrokarbonlar içermektedir.

10. MALİYET ANALİZİ

Bu bölümde, atık taşıt lastiklerinden dizel motorlarında kullanılmak üzere yakıt üretme işleminin maliyeti hesaplanmıştır. Atık taşıt lastiklerinden yakıt elde etmek için piroliz yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla elektrikle çalışan bir reaktör tasarımı yapılarak üretim gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, reaksiyon sırasında oksijeni ortamdan uzaklaştırmak amacıyla, N_2 gazı kullanılmıştır. Bunun yanı sıra H_2SO_4 ve $Ca(OH)_2$ kullanılarak kükürtsüzleştirme işlemi yapılmıştır. Bütün bu işlemlerde kullanılan enerji ve materyalin birim fiyatları ve miktarları Tablo 10.2’de verilmiştir. Burada 1 litre yakıt üretimi esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu nedenle elde edilen yakıtın 1 litresi için reaksiyonda kullanılması gereken lastik miktarı aşağıdaki denklemdeki gibi hesaplanmıştır.

$$m(kg) = \frac{v(litre) \times d(kg / lt)}{n_r(\%)} \quad (10.1)$$

Burada ‘v’ 1 litre hacmindeki yakıt , ‘m’ 1 litre yakıt elde etmek için gerekli atık lastik kütlesi, n_r reaktörde elde edilen sıvı ürün verimi ve ‘d’ ise elde edilen yakıtın öz kütesidir. Elde edilen ham taşıt lastiğinin öz kütlesi 0.945 kg/litre ve reaktörün sıvı ürün verimi %40.26 olarak tespit edilmiştir. Bu bilgiler ışığında yapılan hesaplamada atık taşıt lastiğinden 1 litre yakıt elde etmek için 2.34 kg taşıt lastiği gerekmektedir.

1 litre yakıt üretimi için gerekli işlem sayısı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$Z = \frac{m(2.34)}{k(0.5kg)} \quad (10.2)$$

Burada “k” Reaktörün lastik kapasitesi olup, $Z= 4.68$ işlem gerekir. Her bir reaksiyon için gerekli olan ideal sürenin 55 dakika olduğu deneyler sonunda tespit edilmiş ve yakıt üretimi için atık lastikler 55 dakika reaksiyona tabi tutulmuştur. Bu durumda 1 litre yakıt üretimi için reaktör çalışma zamanları aşağıda Tablo 10.1’de verilmiştir.

Tablo 10.1. 1 litre yakıt üretimi için reaktör çalışma zamanları ve harcanan güç toplamı

Açık rezistans sayısı	Açık kalma süresi, dakika*Z	Harcanan güç toplamı, kWh	8,87 kW
5	23.4	1.91	
3	46.8	2.29	
2	93.6	3.08	
1	93.6	1.59	

Yapılan hesaplamalar sonucunda Tablo 56'da görüldüğü gibi atık taşıt lastiklerinden 1 litre yakıt üretmek için 8.87 kWh güç sarfıyatı olmuştur. Elektrik enerjisinin birim fiyatı 0.25 TL olduğuna göre 1 litre yakıt üretimi için gerekli olan enerjinin maliyeti $8.87 \times 0.25 = 2.21$ TL olmuştur.

Deneyler süresince kullanılan N_2 miktarı $200 \text{ cm}^3/\text{dakika}$ dır. Her bir deneyin 55 dakika sürdüğü göz önüne alınırsa her bir üretim işlemi için $55 \times 200 = 11000 \text{ cm}^3$ azot gazı harcanmıştır. 1 litre yakıt üretimi için $11000 \text{ cm}^3 \times 4.68 = 51480 \text{ cm}^3$ N_2 harcanmıştır. Dolayısıyla, 1 litre yakıt üretimi için 0.05 m^3 N_2 harcanmış olur. $3,5 \text{ m}^3$ hacminde N_2 kapasitesi olan bir azot tüpü 12 TL'ye doldurulmuştur. Bu nedenle 1 litre yakıt üretimi için harcanan N_2 gazı $0.05 \times 12 / 3.5 = 0.17$ TL'ye karşılık gelmektedir.

Elde edilen yakıtın kükürdünün düşürülmesi amacıyla yapılan kükürtsüzleştirme işlemlerinde elde edilen yakıtın %5'i oranında Ca(OH)_2 kullanılmıştır. 1 litre yakıt üretimi için 2.34 kg lastik piroliz işlemine tabi tutulduğundan $2.34 \times 0.05 = 0.117$ kg Ca(OH)_2 kullanılmıştır. Ca(OH)_2 maddesinin kilogram fiyatı 4 TL olduğuna göre 0.117 kg Ca(OH)_2 0.46 TL'ye karşılık gelmektedir. Ayrıca asidik kükürtsüzleştirilme işleminde yakıtın %10'u kadar H_2SO_4 kullanılmıştır. 1 litre H_2SO_4 1.5 TL'ye satın alınmıştır. Dolayısıyla 1 litre yakıtın kükürtsüzleştirme işlemi için harcanan H_2SO_4 miktarı $1.5 \times 0.1 = 0.15$ TL'ye karşılık gelmektedir.

Yapılan maliyet analizleri sonucunda atık taşıt lastiklerinden elde edilen 1 litre yakıt için harcanan maliyetler Tablo 10.2'de özetlenmiştir. Yapılan maliyet analizi sonucunda atık taşıt lastiklerinden 1 litrelik yakıt üretimi 2.99 TL'ye karşılık gelmektedir. Bu maliyeti artıran en önemli etken kullanılan elektrik enerjisinin maliyetinin yüksek olmasıdır. Elektrik enerjisi maliyetinin yüksek olmasının nedeni reaktörün üretim ölçekli değil de araştırma amaçlı olmasıdır.

Reaktörün küçük olması ve yalıtımının iyi yapılmamış olması gereksiz enerji sarfiyatına neden olmuş ve sonuç olarak da atık taşıt lastiklerinden yakıt elde etme maliyeti yüksek çıkmıştır.

Tablo 10.2. Atık taşıt lastiklerinden 1 litre yakıt üretimi için harcanan toplam maliyetler

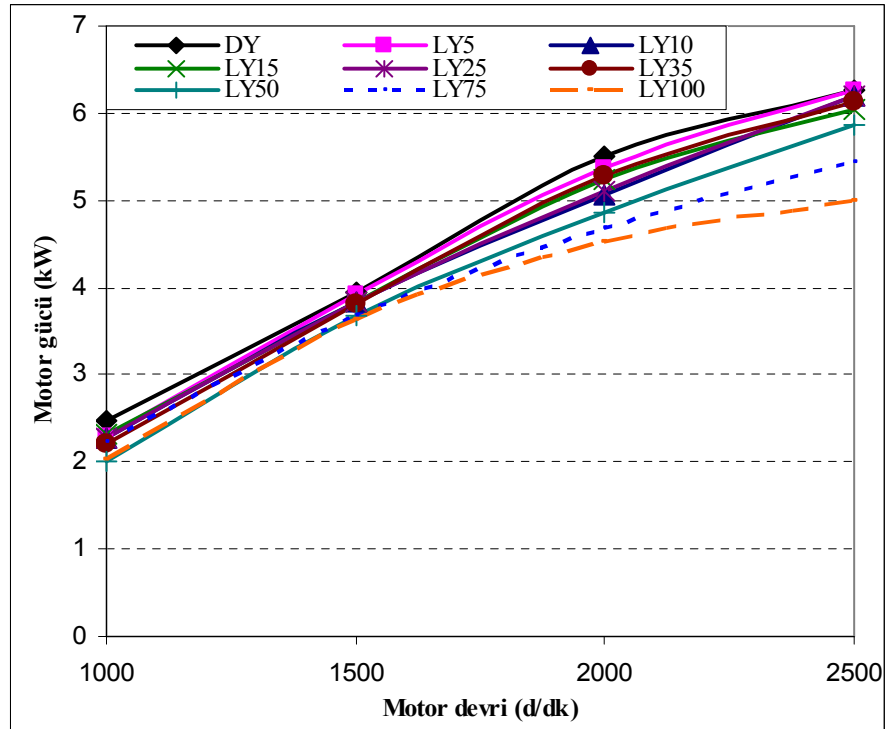
Birim	Maliyet, (TL)
Elektrik enerjisi	2.21
Azot gazı	0.17
H ₂ SO ₄	0.15
Ca(OH) ₂	0.46
Toplam	3.00

11. ATIK TAŞIT LASTİKLERİNDEN ELDE EDİLEN YAKITIN MOTOR DENEYLERİ

11.1. Performans Deneyleri

11.1.1 Motor Gücü

DY yakıtı ve tüm LY karışımı yakıtlar için farklı devir sayılarında elde edilen güç eğrileri Şekil 11.1’de verilmiştir. Tüm deney yakıtlarının motor deneyleri, motorun devir sayının yükleme yapılarak 1000 devir düşürülmesi suretiyle, yük altında yapılmıştır.

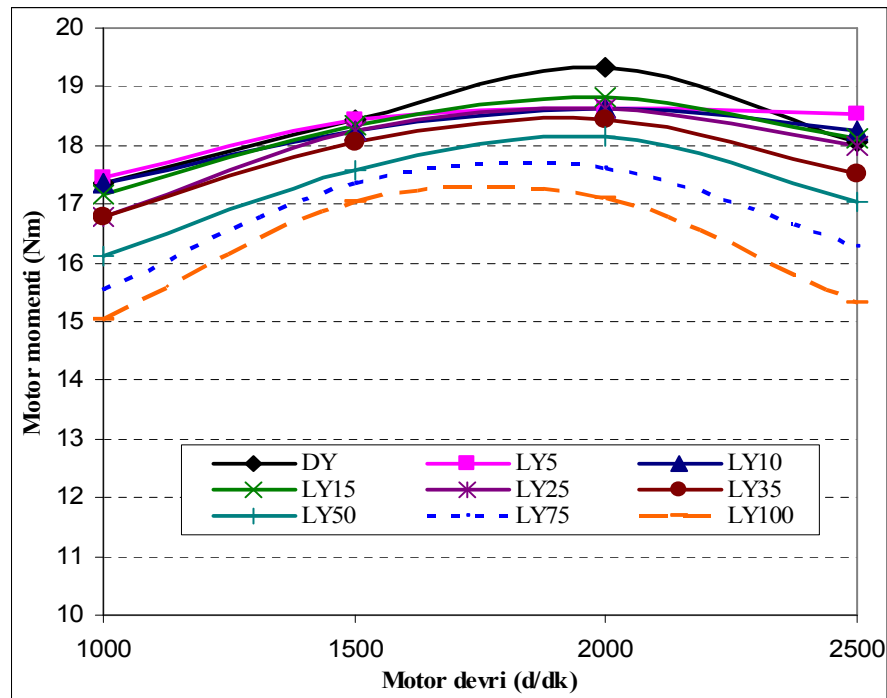


Şekil 11.1. LY, DY ve LY-DY karışımlarının motor devrine bağlı motor gücü değerleri

Devir sayısındaki artış ile beraber DY yakıtı ve LY-DY karışım yakıtları için elde edilen güç değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Ancak tüm yakıtlar için elde edilen güç değerleri devir sayısına göre lineer artış göstermemiştir. 2000 d/dak.’ya kadar test yakıtları için elde edilen güç değerleri, hemen hemen doğrusal bir artış göstermiş olup, bu devirden

sonra artış oranı biraz düşmüştür. Bunun nedeni yüksek devirlerde motordaki sürtünme kuvvetlerinin artması ve dolayısıyla mekanik kayıpların artması olarak gösterilebilir. Tüm test yakıtları arasında en yüksek güç değerleri DY yakıtı kullanımında tespit edilmiştir. DY-LY karışımlarının kullanımında, motor gücü eğrileri, karışımdaki LY oranına bağlı olarak yani LY oranı artıkça düşüş göstermiştir. Dolayısıyla en düşük güç değerleri LY100 yakıtı için elde edilmiştir. LY75 ve LY50 yakıtlarının kullanımında elde edilen güç değerleri ise LY100 yakıtından elde edilen güç değerlerinden sonra en düşük güç değerleri olmuştur. LY35, LY25, LY15, LY10 ve LY5 yakıtlarının kullanımında motor gücü değerleri ise DY yakıtına yakın değerler almışlardır. LY karışımı yakıtlarının DY yakıtına nazaran daha düşük güç değerleri vermesinin temel nedeni, LY yakıtının ısıl değerinin DY yakıtına göre düşük olmasıdır. LY yakıtının DY yakıtı içindeki orana göre ısıl değer de artmış veya azalmıştır. Ancak bütün test yakıtları için elde edilen güç değerleri, motor düşük devirlerde çalışırken birbirine yakın değerler almışlardır. Özellikle 1500 d/dak motor devrinde bütün test yakıtları için elde edilen güç değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır.

11.1.2. Motor Momenti

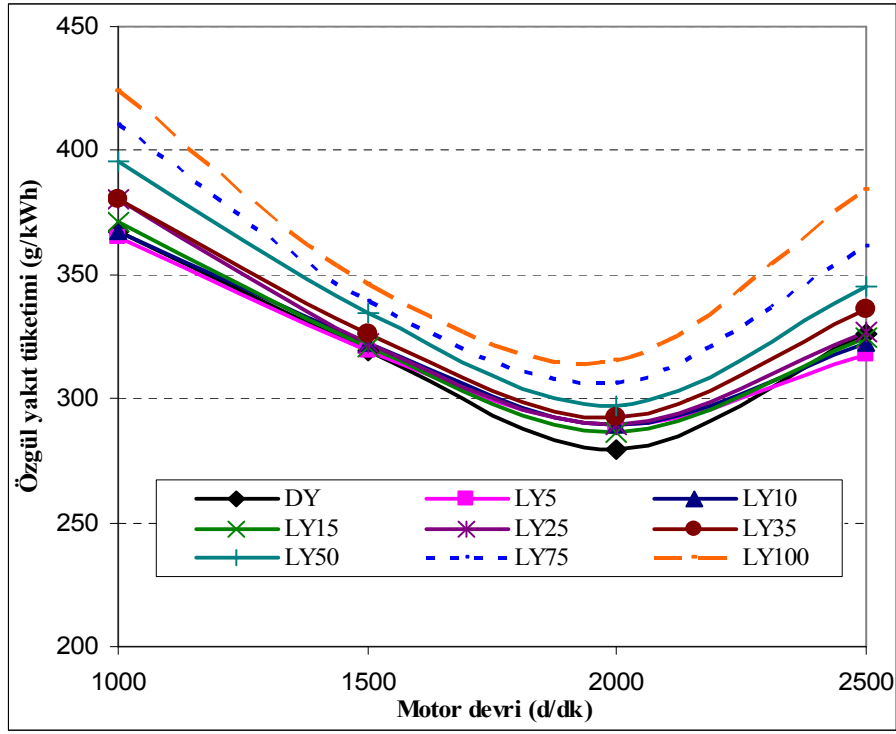


Şekil 11.2. LY, DY ve LY-DY karışımlarının motor devrine bağlı moment değerleri

LY ve LY-DY yakıt karışımları için farklı devir sayılarında motordan elde edilen moment değerleri Şekil 11.2’de DY yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Motorun aynı çalışma koşullarında elde edilen güç değerleri, yine aynı koşullarda elde edilen moment değerleri ile orantılı olarak değişmektedir. Bu nedenle tüm test yakıtlarına ait moment değerlerinin, elde edilen güç değerlerindeki değişim ile paralel karakteristikler gösteren eğriler vermesi, şaşırtıcı olmamıştır. Tüm test yakıtlarında elde edilen moment değerleri önce artmış, daha sonra devir sayısındaki artış ile motorun orta devirlerinden itibaren yine azalma eğilimi göstermiştir. Bütün deney yakıtları için en yüksek moment değerleri, 2000 d/dak motor devri civarında elde edilmiştir. Bu devirden sonra moment değerleri tüm deney yakıtları için düşüş göstermiştir. Bunun iki temel nedeninin olabileceği düşünülmektedir. Bunlardan birincisi, motor gücünde olduğu gibi, artan devir sayısı ile sürtünmelere harcanan mekanik kuvvetlerin artması; ikincisi ise, yine yüksek motor devirlerinde hacimsel verimin düşmesidir. Motor momenti, motor gücüne nazaran artan motor hızı ve dolayısıyla artan mekanik kayıplar ve azalan hacimsel verim gibi değişimlerden daha erken olumsuz etkilenmiştir. LY ve LY-DY yakıtlarındaki moment değerleri DY yakıtına göre daha düşük olmuştur. LY ve LY-DY karışımı yakıtlarında elde edilen momentteki azalma oranları, aynı yakıtlar için elde edilen güç değerlerindeki azalma oranlarında olmuştur. Yani en düşük moment değeri LY100 yakıtında elde edilmiştir. Bu yakıtı LY75 ve LY50 yakıtları takip etmiştir.

11.1.3. Özgül Yakıt Tüketimi

LY ve LY-DY yakıt karışımlarının motor devrine bağlı özgül yakıt tüketimi değerlerinin değişimi grafik haline getirilerek Şekil 11.3’te gösterilmiştir. Test yakıtları olan DY yakıtı, LY5, LY10, LY15, LY25, LY35, LY35, LY50, LY75 ve LY100 yakıtları için motorun bütün devirlerinde elde edilen ortalama özgül yakıt tüketimi değerleri sırasıyla, 322.91 gr/kWh, 322.81 gr/kWh, 325.46 gr/kWh, 325.86 gr/kWh, 329.76 gr/kWh, 333.64 gr/kWh, 343.25 gr/kWh, 354.21 gr/kWh ve 367.17 gr/kWh olarak gerçekleşmiştir. Özgül yakıt tüketimi, aynı devirlerde elde edilen kütleli yakıt tüketimi değerlerinden, motor gücünden ve yakıtın ısı değeriyle etkilenmektedir. Yakıt tüketimi ve dolayısıyla özgül yakıt tüketimi yakıtın ısı değeri ile ters orantılıdır.

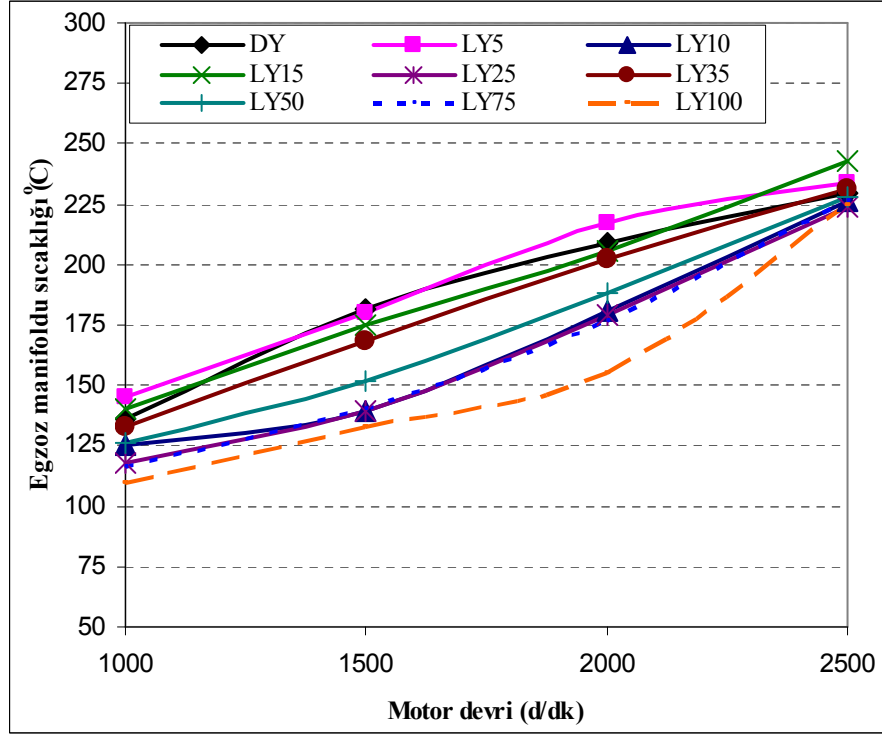


Şekil 11.3. LY, DY ve LY-DY karışımlarının motor devrine bağlı özgül yakıt tüketimi değerleri

Bütün test yakıtları için, motorun özgül yakıt tüketimi, artan motor devri ile maksimum momentin elde edildiği devir olan 2000 d/dak'ya kadar azalma göstermiştir. En düşük özgül yakıt tüketimi değerleri, bütün yakıtlar için bu devirde elde edilmiştir. Bu devirden sonra özgül yakıt tüketimi değerleri tüm test yakıtları için artmıştır. Bunun nedenleri, artan mekanik kayıplar nedeniyle, motor gücü artış oranının ve momentinin düşmesi olduğu kanısına varılmıştır. Yakıtın ısı değeri de özgül yakıt tüketiminde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca motorun yüksek devirlerinde, yanma için gerekli olan sürenin azalmasından dolayı, yanmanın tamamlanamaması da başka bir neden olarak gösterilebilir. Bu çalışmanın sonraki kısımlarında sunulmuş olan CO emisyonu değerleri de bunu desteklemektedir. Çünkü CO emisyonları eksik yanma ürünleridir. LY ve LY-DY karışımı yakıtlarının kullanımında, motorun özgül yakıt tüketimi değerleri DY yakıtına nazaran daha yüksek çıkmıştır. Karışım yakıtları için ise, özgül yakıt tüketimi, karışımdaki LY oranına bağlı olarak değişim göstermiş olup, karışımdaki LY miktarı arttıkça artmıştır. Tüm deney yakıtları arasında ve motorun bütün devirlerinde en yüksek özgül yakıt tüketimi değerleri LY100 yakıtı kullanımında elde edilmiştir.

11.1.4. Egzoz Manifold Sıcaklığı

Deneylerde egzoz sıcaklıkları, egzoz manifoldu cidarından lazer bir sıcaklık ölçer ile tespit edilmiştir. DY yakıtı, LY ve LY-DY karışımlarının egzoz manifoldu sıcaklığına etkilerinin motor devrine göre değişimi Şekil 11.4'te verilmiştir.



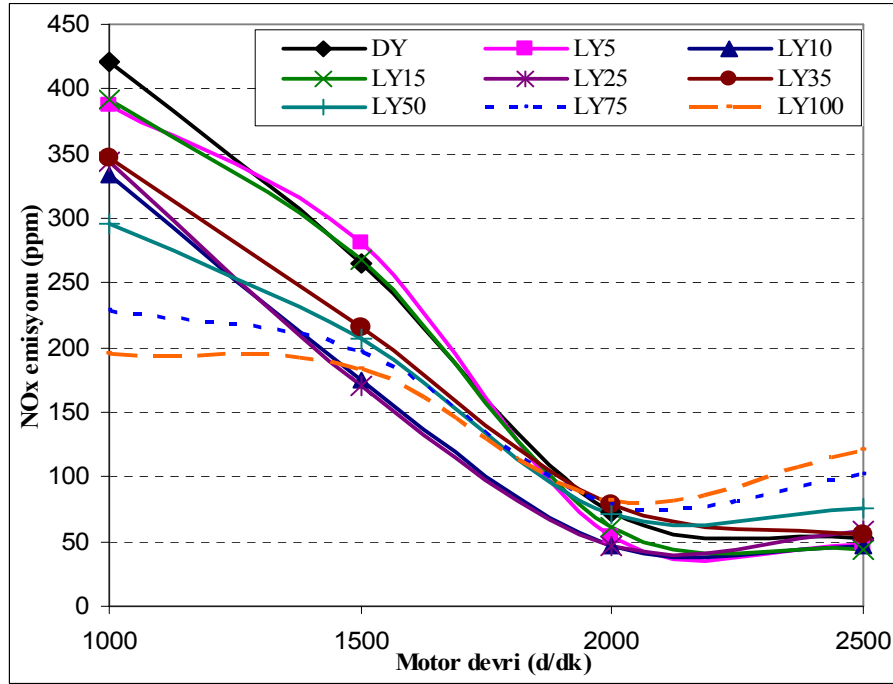
Şekil 11.4. LY, DY ve LY-DY karışımlarının motor devrine bağlı egzoz manifoldu sıcaklığına etkileri

Egzoz sıcaklık değerleri, yanma olayının nasıl olduğu hakkında bazı ipuçları vermektedir. Bütün test yakıtları için yapılan deneylerde, artan motor hızı ile egzoz sıcaklıklarının da arttığı tespit edilmiştir. En düşük egzoz sıcaklık değerleri LY100 yakıtında tespit edilmiştir. Bunun nedeni yanma sonu sıcaklığının düşük olmasıdır. Bu durum, LY100 yakıtı kullanımında yanmanın diğer yakıtlara nazaran nispeten kötü geçtiğini göstermektedir. Çünkü egzozdan çıkan gazların sıcaklık değerleri, yanma sonu oluşan sıcaklıkların yanı sıra, eksik yanmadan ve yanmanın egzoz zamanına sarkması gibi durumlardan da etkilenmektedir. LY içeriği fazla olan karışım yakıtlarında, egzoz sıcaklıklarının diğer yakıtlara nazaran düşük çıkması, yukarıdaki nedenlerle ilişkilendirilebilir. En yüksek egzoz sıcaklık değerleri ise LY5, LY15 ve DY yakıtlarında elde edilmiştir.

11.2. Emisyon Deneyleri

11.2.1. NO_x Emisyonları

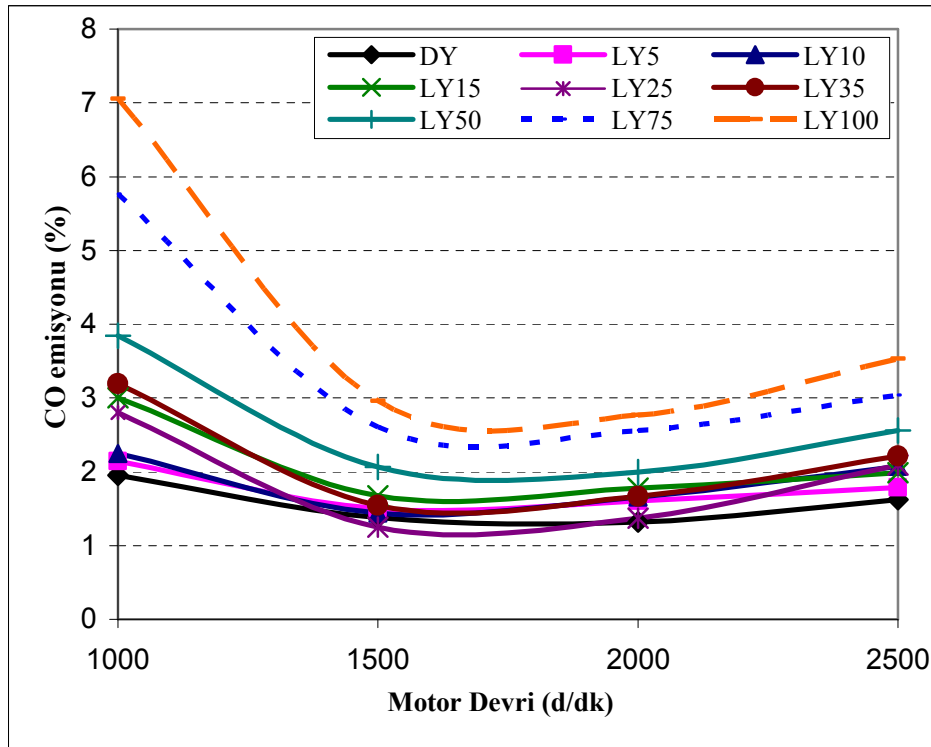
NO_x oluşumunun en kritik safhaları, ilk yanma başlangıcı ve maksimum silindir basıncının olduğu durumlardır [99]. NO_x emisyonlarını azaltmak için; hem yanma odası içindeki maksimum sıcaklığın çok yükselmesini önlemek ve yüksek sıcaklıklarda kalma sürelerini kısa tutmak, hem de bunun için yakıtların oksijen konsantrasyonunu düşürmek gerekmektedir. Hava-yakıt oranının stokiyometrik orandan daha zengin olmasıyla NO_x konsantrasyonunun düşmesinin nedeni, oksijen miktarının azalması, oldukça fakir karışımlarda düşmesinin nedeni ise yanmanın yavaş olması ve maksimum sıcaklığın düşük olmasıdır [99]. Yanma reaksiyonunun süresi ile birlikte yanma sonu sıcaklıklarının da artması NO_x emisyonlarının oluşumunu etkileyen en önemli iki parametredir. Ancak farklı yakıtlar için, gerçekte yanma olayı, aynı koşullarda gerçekleşmesine rağmen, yakıt türü NO_x emisyonlarının oluşumunda etkilidir. DY, LY ve LY-DY karışımlarında NO_x emisyonlarının motor devrine göre değişimi Şekil 11.5'te verilmiştir.



Şekil 11.5. LY, DY ve LY-DY karışımlarında NO_x emisyonlarının motor devrine göre değişimi

Tüm test yakıtları için NO_x emisyonları, artan devir sayısı ile dikkate değer miktarlarda azalmıştır. 2000 d/dak motor hızında tüm deney yakıtları en düşük NO_x emisyonları vermiş olup bu devirden sonra bir miktar yükselmiştir. Düşük ve orta devirdeki motor hızlarında DY yakıtı ve düşük konsantrasyonlarda LY içeren karışımlar için NO_x emisyonları diğer yakıtlara nazaran daha yüksek çıkmıştır. Bu durum, bu yakıtların yüksek LY içeren karışım yakıtlarına nazaran daha iyi yanması ve dolayısıyla daha yüksek yanma sonu sıcaklıklarına ulaşılmasından kaynaklanmaktadır. Bu hızlarda en düşük NO_x emisyonu değerleri LY100 ve LY75 yakıtlarında elde edilmiştir. Ancak yüksek motor devirlerinde ise, LY100 ve LY75 yakıtları diğer deney yakıtlarından bir miktar daha fazla NO_x emisyonuna neden olmuştur. Bu durumun, yüksek hızlarda olsa bile, bu yakıtların yanma süreçlerinin daha geniş olmasından kaynaklanabileceği tahmin edilmektedir.

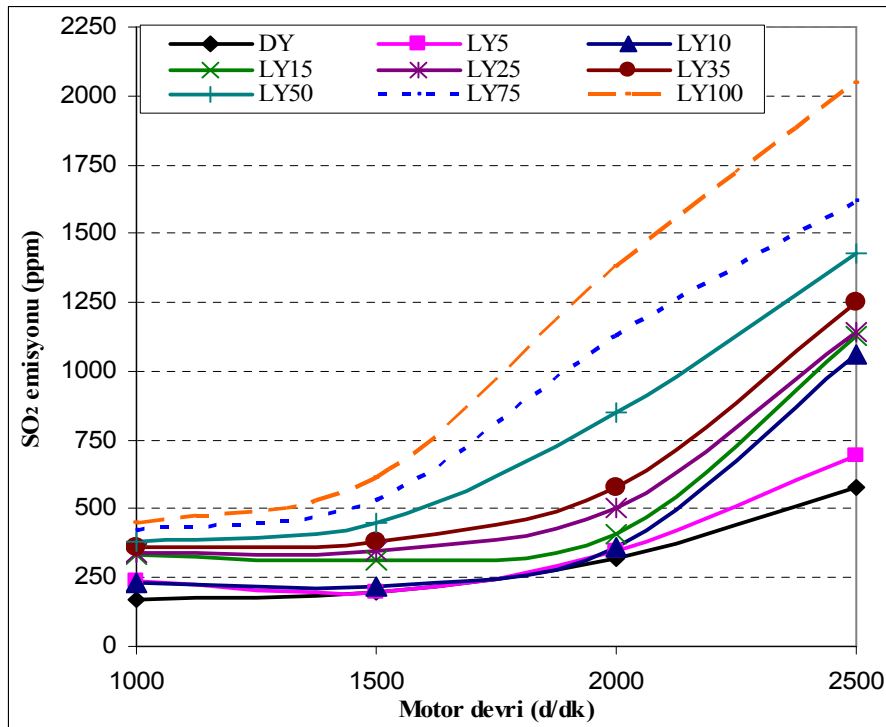
11.2.2. CO Emisyonları



Şekil 11.6. LY, DY ve LY-DY karışımlarında CO emisyonlarının motor devrine göre değişimi

DY, LY ve LY-DY karışımları ile yapılan deneylerden CO emisyonlarının motor devrine göre değişimi Şekil 11.6'da görülmektedir. CO emisyonları eksik yanma ürünleri arasında yer alır. Bütün deney yakıtlarından DY, LY5, LY10, LY15, LY25 ve LY35 yakıtları için elde edilen CO emisyonu değerleri, genel olarak daha düşük çıkmıştır. Bununla beraber özellikle motorun düşük devirlerinde en yüksek CO emisyonu değerleri LY100 yakıtında elde edilmiştir. Bu yakıtı LY75 ve LY50 yakıtları takip etmiştir. 1500 d/dak motor hızından sonra deney yakıtlarından elde edilen CO emisyonu değerleri arasındaki fark azalmıştır. Motorun yüksek hızlarında, en düşük CO emisyon değerleri DY yakıtında tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, artan motor hızı ile bütün test yakıtları için CO emisyonu değerleri bir miktar artış göstermiştir. Bunun nedenleri, yanmanın iyileşmesi olabileceği gibi, artan motor hızı ile yanma işlemi için gerekli olan sürenin azalması ve dolayısıyla yanmanın kısmen egzoz zamanına sarkmasıdır. Genel olarak LY100, LY75 ve LY50 yakıtları dışındaki deney yakıtları için CO emisyonu değerleri benzer değişimler göstermiştir.

11.2.3. SO₂ Emisyonları



Şekil 11.7. LY, DY ve LY-DY karışımlarının kullanımında SO₂ emisyonlarının motor devrine göre değişimi

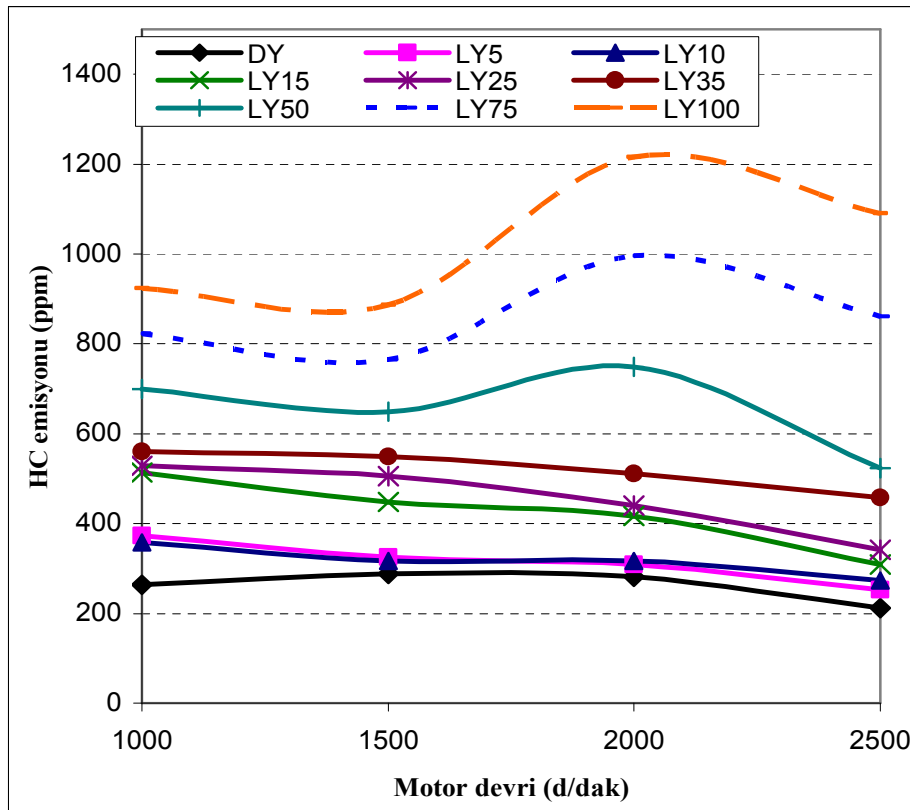
Dizel motorlarında kullanılan yakıtların mümkün olduğu kadar az kükürt içeriğine sahip olmaları gerekir. Yakıtta bulunan kükürt, motorun yanma odası içerisinde oksitlenerek kükürt dioksit (SO_2) formunda egzoz gazlarıyla beraber havaya salınır. Yüksek kükürtlü yakıtlar kullanıldığı zaman çok daha fazla SO_2 emisyonu oluşmaktadır. Deneylerde kullanılan dizel motorunun farklı devirlerinde, deney yakıtlarının neden olduğu SO_2 emisyonu değerleri Şekil 11.7’de verilmiştir. LY-DY karışım yakıtlarının ihtiva ettiği kükürt miktarı karışımda kullanılan LY ile neredeyse doğrusal bir artış göstermiştir. Bu da LY100, LY75 ve LY50 yakıtlarının diğer deney yakıtlarına nazaran daha fazla kükürt içerdiğini göstermektedir. Şekil 11.7’de görüldüğü gibi, bu yakıtların kullanımında SO_2 emisyonlarının diğer yakıtlara göre çok daha fazla oluşması, bu durumu destekler niteliktedir. Başka bir deyişle, motorun egzozundan çıkan SO_2 miktarı karışımdaki LY miktarı ile paralel bir artış göstermiştir. Bu nedenle en yüksek SO_2 emisyonu değerleri sırasıyla LY100, LY75 ve LY50 yakıtlarında tespit edilmiştir.

Diğer taraftan, motorun hızının artmasıyla motorun hacimsel veriminin düşmesi tüm deney yakıtları için salınan SO_2 emisyonu miktarını artırmıştır. Bütün deney şartlarında ve tüm deney yakıtları ile yapılan testlerde yakıtın ihtiva ettiği kükürdün tamamı SO_2 ’ye dönüşmemiştir. Kükürdün bir miktarının silindir duvarlarına veya egzoz sistemine yapıştığı tahmin edilmektedir. Dolayısıyla deneylerde kullanılan lastikten elde edilen yakıt olan LY100 yakıtının ihtiva ettiği kükürt oranı %0.9 civarında olmasına rağmen, egzoz gazları ile çok daha az kükürt emisyonun salınmasına neden olmuştur.

11.2.4. HC Emisyonları

DY, LY ve DY-LY karışımlarının kullanımında HC emisyonlarının motor devrine bağlı olarak değişimi Şekil 11.8’de gösterilmiştir. HC emisyonları eksik yanma reaksiyonları sonucu ortaya çıkmaktadır. HC emisyonlarının oluşumu, yanma odasında oksijen eksikliği, yakıtın tutuşma gecikmesinin çok uzun olması, setan sayısının normalden daha düşük olması, yanma sonu sıcaklıklarının düşük kalması ve yakıtın buharlaşma sıcaklıklarının yüksek olması gibi nedenlere bağlanabilir. Deneylerde en yüksek HC emisyonu LY100 yakıtının kullanımında elde edilmiş olup bunu LY75 ve LY50 yakıtları izlemiştir. En düşük HC emisyonları ise DY, LY5 ve LY10 yakıtının kullanımında elde edilmiştir. Genel olarak DY-LY karışımlarında kullanılan LY oranı arttıkça HC emisyonu

da artış göstermiştir. Yüksek oranlarda LY içeren karışımların HC emisyonu miktarları DY yakıtına göre çok yüksek çıkmıştır. Bu durumda, LY ve bu yakıtın DY yakıtı ile olan karışımlarından LY75 ve LY50 yakıtlarının dizel motorlarında kullanılabilirliği azalmıştır. HC emisyonlarının yüksek olmasının önemli nedenleri arasında LY yakıtının son distilasyon sıcaklıklarının çok yüksek olması ve setan sayısının düşük olması nedeni ile tutuşma gecikmesi sürelerinin uzun olabileceğidir. Bunların yanı sıra, LY yakıtının yoğunluğunun yüksek olması nedeni ile kütleli yakıt tüketimin fazla olmasından dolayı LY yakıtında motorun zengin karışımla çalışması da HC emisyonlarını artıran nedenler arasında gelmektedir.

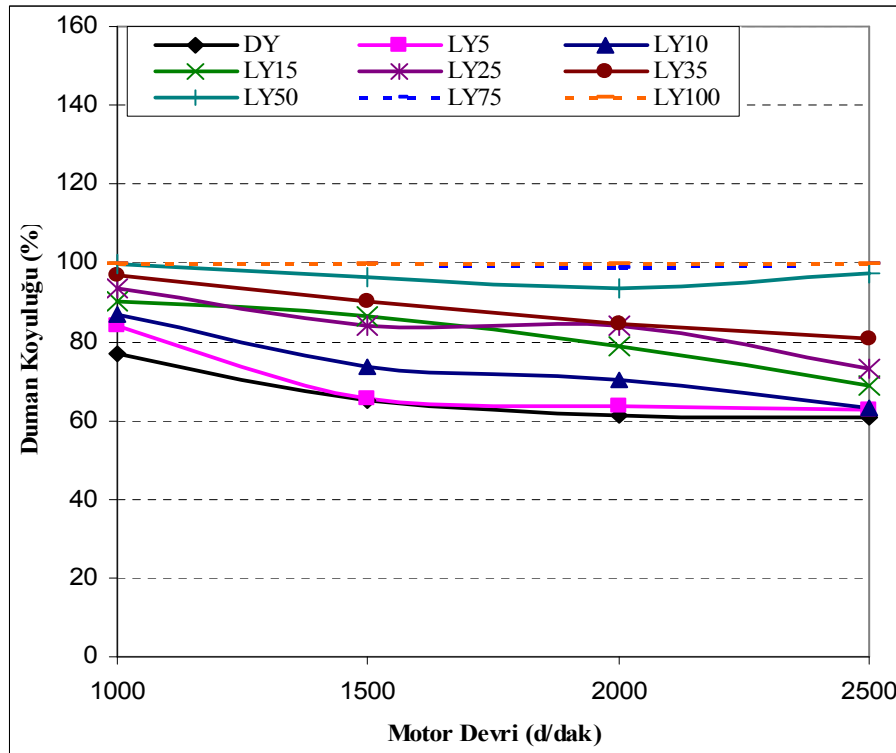


Şekil 11.8. DY, LY ve DY-LY karışımlarının kullanımında HC emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi

11.2.5. Duman Koyuluğu

DY, LY ve DY-LY karışımlarının kullanımında duman emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi Şekil 11.9'da görülmektedir. Genel olarak bütün yakıtlar için duman emisyonları yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni motor deneylerinin yük altında gerçekleştirilmiş olmasıdır. Deneyler sırasında LY100 ve LY75 yakıtlarının kullanımında

emisyon cihazında ölçülebilen duman emisyonları ölçüm sınırını aştığı için, bu yakıtlar için bütün devirlerde duman koyuluğu %99,9 olarak ölçülmüştür. LY50 yakıtının kullanımında elde edilen duman koyuluğu ortalaması ise %96,77 olarak gerçekleşmiştir. LY100, LY75 ve LY50 yakıtlarında dumanın çok yüksek olmasının en önemli nedenleri, LY yakıtının kükürt içeriğinin yüksek olması ve bu yakıtların kullanımında yanmanın düzensiz bir hal almasıdır. Bu durum HC, SO₂ ve CO emisyonlarının da yüksek çıkmasına neden olmuştur. En düşük duman koyuluğu değerleri ise DY, LY5 ve LY10 yakıtlarında elde edilmiştir. Genel olarak DY-LY karışımlarında kullanılan LY oranı arttıkça motorun egzozundan çıkan duman daha koyu olarak da gözlemlenmiştir. DY, LY5, LY10, LY15, LY25 ve LY35 yakıtlarının kullanımında ölçülen ortalama duman koyuluğu değerleri sırasıyla %66.1, %68.92, %73.53, %81.16, %83.69 ve %88 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 11.9. DY, LY ve DY-LY karışımlarının kullanımında duman koyuluğu değerlerinin motor devrine bağlı değişimi

12. DÜŞÜK KÜKÜRTLÜ YAKITIN MOTOR DENEYLERİ VE TARTIŞMA

Bu bölümde, atık taşıt lastiklerinden elde edilen ve kükürt giderme işleminden geçirilen yakıtın yani düşük kükürtlü lastik yakıtı (DKLY), motor performansı ve egzoz emisyonu deneylerinden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlar aynı zamanda DY yakıtından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak DKLY yakıtının motorlarda kullanılabilirliği tartışılmıştır.

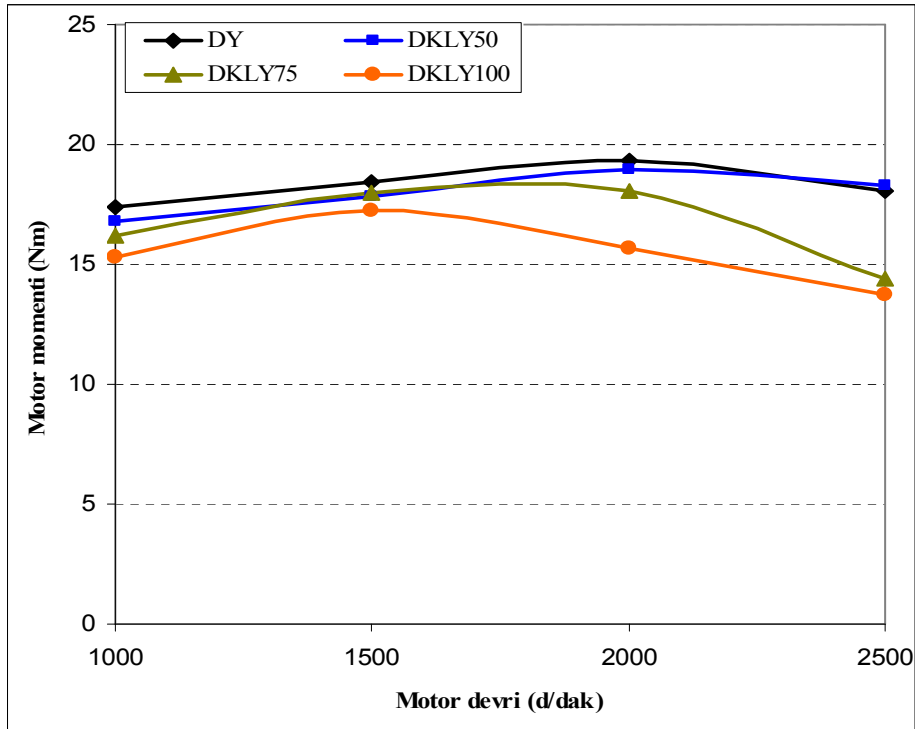
12.1. Performans Deneyleri

Deneylerde kullanılan DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtlarından elde edilen ortalama efektif basınç, motor momenti, motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve egzoz manifold sıcaklığı değerleri aynı deney şartlarında DY yakıtından elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır.

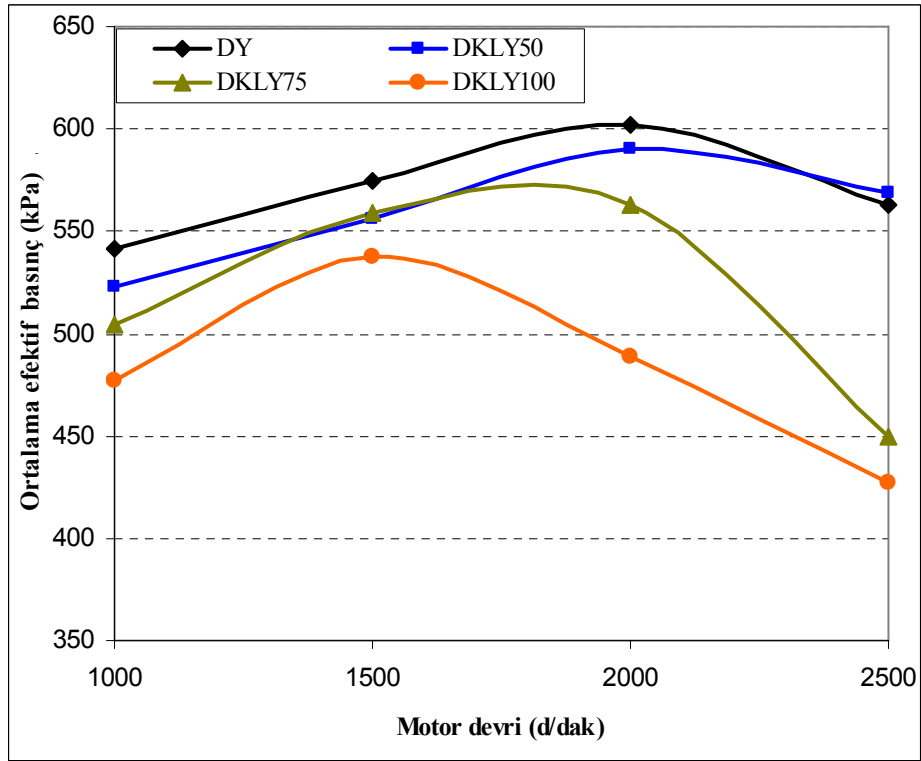
12.1.1. Ortalama Efektif Basınç ve Motor Momenti

DY, DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtlarının motor momenti ve ortalama efektif basınç değerleri Şekil 12.1 ve 12.2’de verilmiştir. Motor momentini belirleyen en önemli parametre ortalama efektif basınçtır. Bir motorda ortalama efektif basınç değerinin maksimum olduğu çalışma şartlarında motor momenti de maksimum değerini alır. Şekil 12.1 ve 12.2’de görüldüğü gibi tüm deney yakıtları için motor momenti ve ortalama efektif basınç artan motor hızı ile artmıştır. Motor momentindeki artış, 2000 d/dak motor devrine kadar devam etmiş olup bu noktadan sonra tekrar azalmıştır. Düşük devirlerde hava hareketlerinin az olması ve daha önemlisi birim zamanda gerçekleşen çevrim sayısının az olması ortalama efektif basıncın ve dolayısıyla motor momentinin düşük kalmasına neden olmuştur. Motor devir sayısı arttıkça hem çevrim sayısının artması hem de hava hareketlerinin artması, ortalama efektif basıncın artmasını sağlamaktadır. Motor devri daha fazla arttığı zaman ise, artan piston hızı ile yanma işlemi genişleme zamanına sarkar. Bu durumda ortalama efektif basınç değeri azalır. Daha önemlisi ise, artan motor hızı ile emme zamanı süresinin azalması ve dolayısıyla hacimsel verimin azalmasıdır. Hacimsel

verimin azalması, motorda yanma şartlarının kötüleşmesi ve dolayısıyla ortalama efektif basıncın azalmasına neden olur. En düşük ortalama efektif basınç ve motor momenti değerleri DKLY100 ve DKLY75 yakıtları için 2500 d/dak motor devrinde elde edilmiştir. Ortalama efektif basınç ve moment grafikleri göz önüne alınarak genel bir değerlendirme yapılırsa, tüm devirlerde DY yakıtı ve DKLY50 yakıtlarının motor momenti ve ortalama efektif basınç değerleri bir birine oldukça yakın gerçekleşmiştir. Motorun düşük devirlerinde DKLY100 ve DKLY75 yakıtlarının ortalama efektif basınç ve moment değerleri de DY ve DKLY50 yakıtlarınkinden benzer çıkmıştır. Ancak motorun tüm devirlerinde ve çalışma şartlarında en düşük moment ve ortalama efektif basınç değerleri DKLY100 yakıtında elde edilmiştir. En yüksek moment ve ortalama efektif basınç değerleri ise DY yakıtında elde edilmiştir. DKLY ve karışım yakıtların kullanımında momentte ve ortalama efektif basınç değerlerinde bir düşüşün olması beklenen bir sonuçtur. Çünkü DKLY'nin sahip olduğu ısı değeri DY yakıtının ısı değerinden yaklaşık %6 daha düşüktür. Motorun yüksek devirleri göz önüne alındığında karışımdaki DKLY miktarı arttıkça motor momenti daha fazla düşüş göstermiştir. Yüksek devirlerde DKLY100 ve DKLY75 yakıtlarında yanma işleminin kötüleşmesi ortalama efektif basınç değerlerini düşürmüştür.



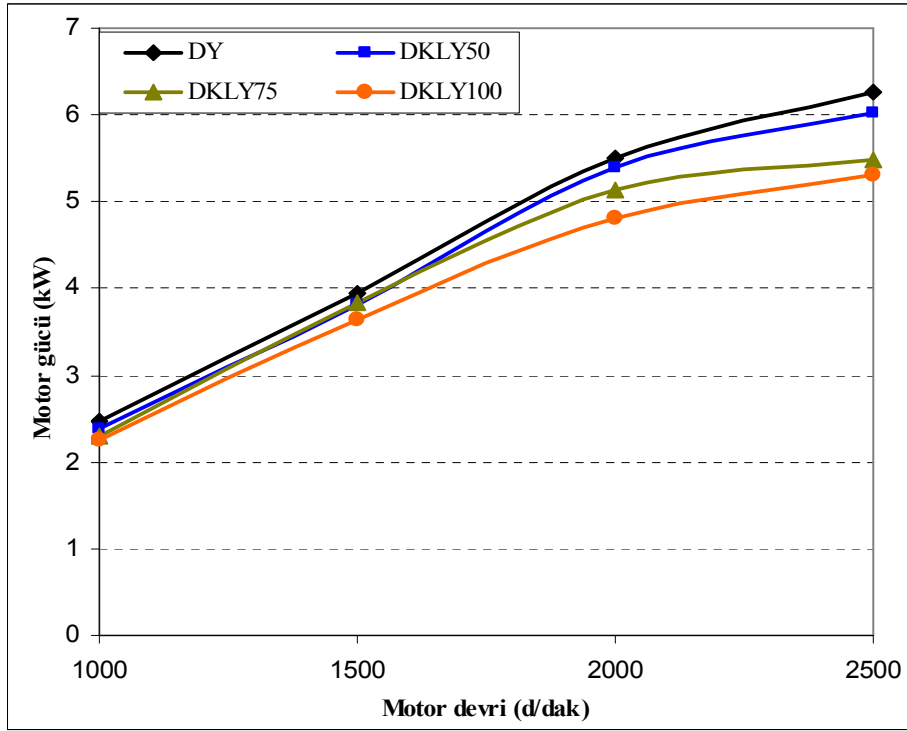
Şekil 12.1. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların farklı devirlerde motor momentine etkileri



Şekil 12.2. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların farklı devirlerde ortalama efektif basınca etkileri

12.1.2. Motor Gücü

DY yakıtı, DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtlarının kullanımında elde edilen motor gücü değerleri Şekil 12.3'te verilmiştir. Genel olarak tüm motor hızlarında DKLY100 ve karışım yakıtları kullanıldığında, DY yakıtına benzer motor gücü değerleri elde edilmiştir. Şekilde tüm yakıt türleri için motor hızının artmasıyla motor gücünün de arttığı görülmektedir. Motorun 2000 d/dak hızına kadar güçteki bu artış genel olarak doğrusal bir şekildedir. Ancak bu devirden sonra güçteki artış oranı azalma göstermiştir. Güç artış oranındaki bu azalmanın en temel nedeni sürtünmelere harcanan mekanik kayıpların, motor hızına bağlı olarak artmasıdır. Motor hızı arttıkça birim zamanda gerçekleşen çevrim sayısı artar ve indikatör diyagramında elde edilen indike motor gücü de aynı oranda artmaktadır. Ancak motor hızı arttıkça sürtünme kayıpları arttığı için motordan elde edilen fren gücü yani efektif güç azalır. Nitekim deneylerde elde edilen güç grafikleri fren gücü grafikleridir. Ancak motor gücü yine de artmaya devam etmiştir. Yüksek devirlerde ortalama efektif basınç ve motor momentinin düşmesine rağmen, motor gücünün artması güç üzerinde motor devir sayısının da olumlu yönde etkili olmasından kaynaklanmaktadır [103].

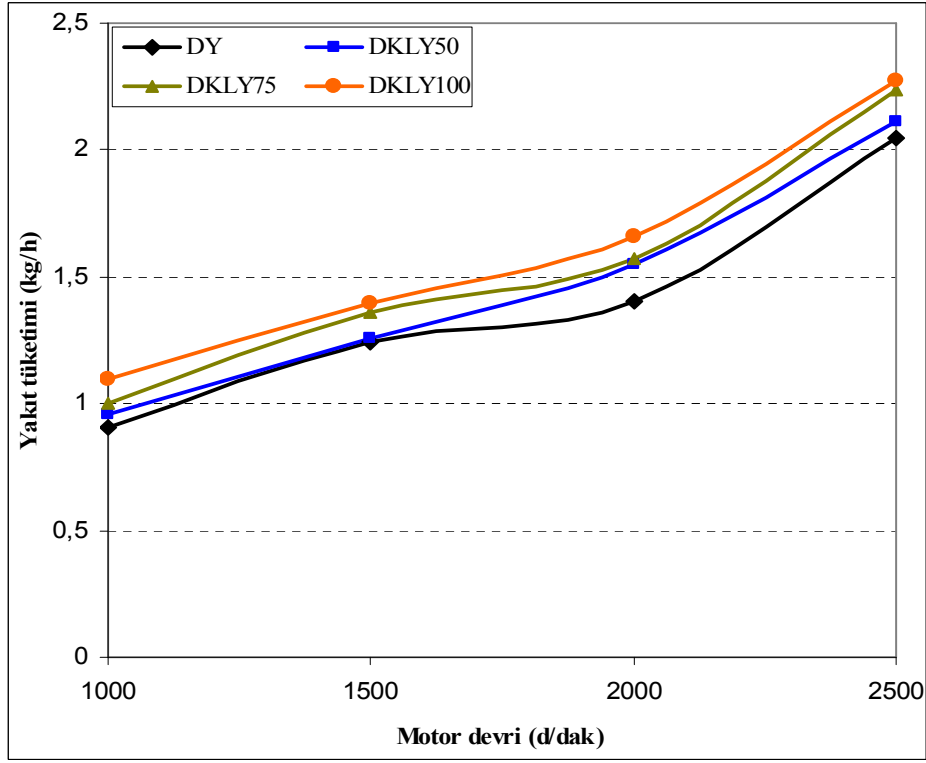


Şekil 12.3. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların farklı devirlerdeki motor gücüne etkileri

Maksimum motor gücünün DY yakıtı kullanıldığında ve 2500 d/dak motor devir sayısında elde edildiği görülmektedir. Bu devir sayısında DY yakıtı kullanımına göre DKLY50, DKLY75 ve DKLY100 yakıtlarının kullanımında sırasıyla %3.8, %12.4 ve %15.3 daha düşük güç değerleri elde edilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde ise durum daha iç açıcı olup DY yakıtı kullanımına göre DKLY50, DKLY75 ve DKLY100 yakıtlarının kullanımında ortalama olarak sırasıyla %3.08, %7.81 ve %11.9 daha düşük güç değerleri elde edilmiştir. DY-DKLY karışımlarının kullanımında elde edilen güç miktarı karışımdaki DKLY oranına bağlı olarak düşüş göstermiştir. Dolayısıyla en düşük güç değerleri DKLY100 yakıtı için elde edilmiştir. DKLY75 ve DKLY50 yakıtlarının kullanımında elde edilen güç değerleri ise DKLY100 yakıtından sonra en düşük güç değerleri olmuştur. DY yakıtından daha yüksek güç elde edilmesinin en temel nedeninin ise DY yakıtının DKLY yakıtına göre daha yüksek ısı değere sahip olmasıdır. Motorun düşük devirlerinde deney yakıtlarının kullanımında elde edilen güç değerleri arasındaki farklar daha düşük değerlerde çıkmıştır. Bunun nedeni ise DKLY karışımı yakıtların düşük devirlerde daha uzun yanma sürelerine sahip olması şeklinde açıklanabilir.

12.1.3. Yakıt Tüketimi ve Özgül Yakıt Tüketimi

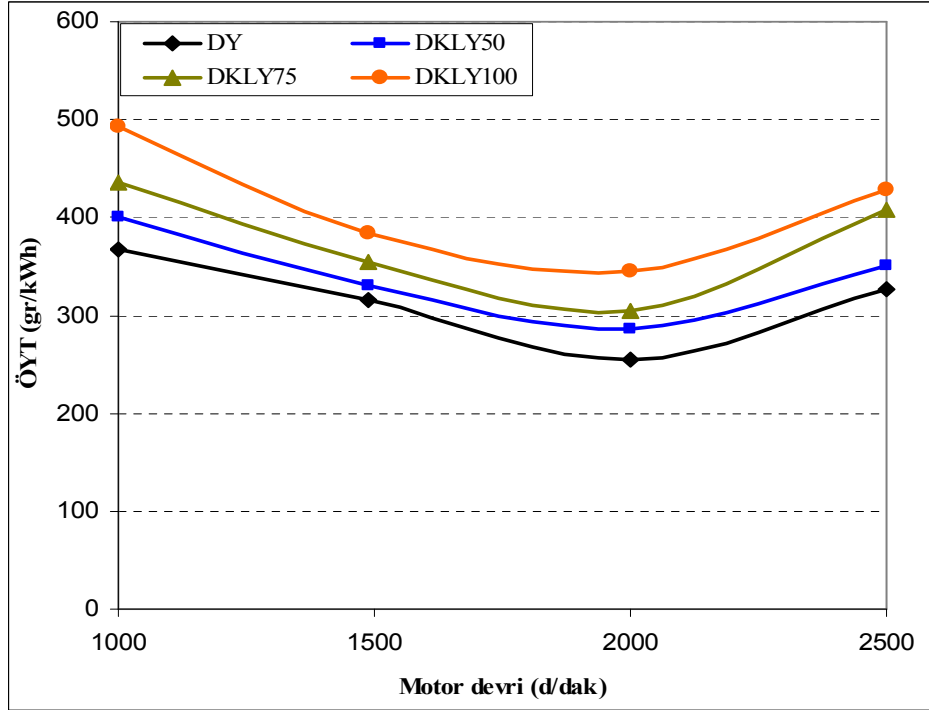
Deney motorunun farklı devirlerinde DKLY100, DKLY75, DKLY50 ve DY yakıtlarının kullanımında oluşan yakıt tüketimi değerleri Şekil 12.4'te gösterilmiştir.



Şekil 12.4. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların farklı devirlerdeki yakıt tüketimi değerleri

Deneylerde motor yük altında çalıştığından yakıt tüketimi değerleri de tüm deney yakıtları için yüksek çıkmıştır. Ayrıca motor devrinin artmasıyla birim zamanda gerçekleşen çevrim sayısı arttığından, yakıt tüketimi tüm deney yakıtlarının kullanımında hemen hemen aynı oranda artış göstermiştir. Motorun bütün devirlerinde, deney yakıtları karşılaştırıldığında, en düşük yakıt tüketimi DY yakıtı kullanılırken gerçekleşmiştir. En yüksek yakıt tüketimi değerleri ise DKLY100 yakıtının kullanımında meydana gelmiştir. Karışım yakıtlarında ise karışımdaki DY oranı arttıkça yakıt tüketimi de aynı oranda düşük ve dizel yakıtına yakın değerler almıştır. DKLY yakıtının ve karışımlarının kullanımında yakıt tüketiminin DY yakıtına oranla daha yüksek olmasının en temel nedeni DKLY yakıtının yoğunluğunun yüksek olmasıdır. Çünkü dizel motorlarında yakıt pompası silindire püskürtülecek yakıtın miktarını hacimsel olarak ayarlar. Dolayısıyla yoğunluğu

yüksek olan DKLY yakıtı yoğunluğu düşük olan DY yakıtına göre kütleli olarak daha fazla tüketilmiş olur.



Şekil 12.5. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların farklı devirlerde özgül yakıt tüketimi değerleri

Motorun farklı devirlerinde DY yakıtı, DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtlarının kullanılmasıyla oluşan özgül yakıt tüketimi değerleri Şekil 12.5'te verilmiştir. Şekilde bütün yakıt türleri için özgül yakıt tüketimi değerleri önce azalmış 2000 devirden sonra tekrar artmaya başlamıştır. Yük altında devir sayısının yüksek olması, hem birim zamandaki çevrim sayısının fazla olmasına hem de yükün karşılanması gerekliliği için yakıt tüketiminin yüksek olması ile sonuçlanmıştır. Bunun yanı sıra yüksek hızlarda oluşan mekanik kayıplardan dolayı motor gücünün artma oranının azalmış olması, özgül yakıt tüketiminin yüksek devirlerde yeniden yükselmesine neden olmuştur. Düşük motor hızlarında, motor gücünün düşük olmasının yanında ısı kayıplarının yüksek, ortam sıcaklığı ve hava hareketlerinin yetersiz olması nedeniyle yanma şartlarının kötüleşmesi gibi bir takım olumsuzluklar da özgül yakıt tüketiminin artmasına neden olmaktadır. Motor hızının artması ve hava hareketlerinin artması nedeniyle, yanmanın iyileşmesi ve yanma hızının artması sonucunda birim zamandaki ısı kayıplarının azalması, motor gücünün hızlı bir şekilde artmasını sağlar olur. Bu durumda özgül yakıt tüketimi ise azalmaktadır [103].

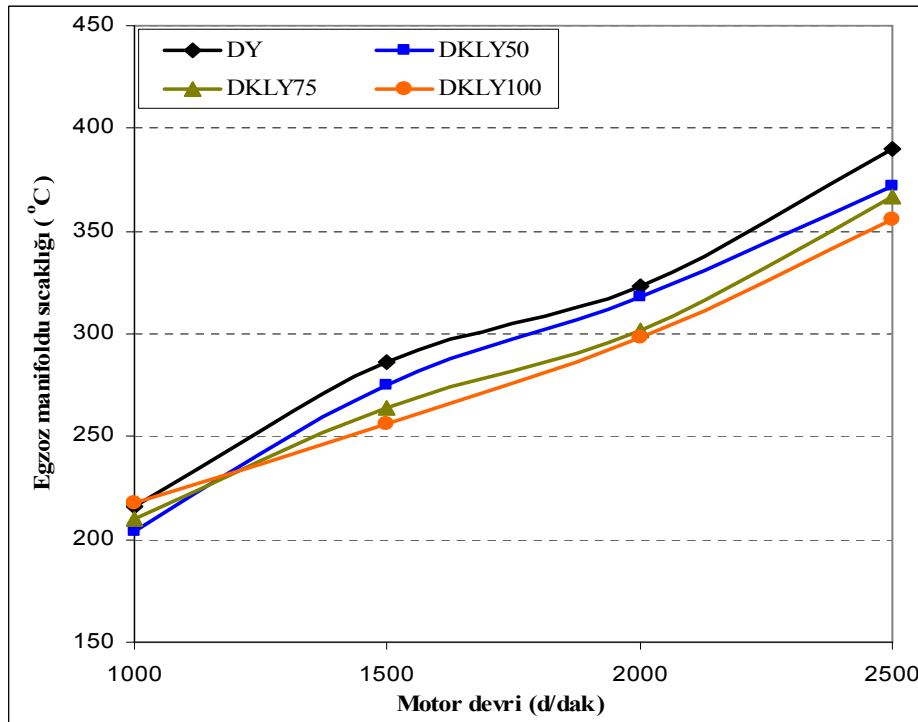
Deneyde kullanılan yakıtların karşılaştırılmasında ise, en düşük özgül yakıt tüketimi değerleri motorun bütün devirlerinde DY yakıtı kullanımında elde edilmiştir. En yüksek özgül yakıt tüketimi değerleri ise DKLY100 yakıtında elde edilmiştir. Karışım yakıtlarında ise karışımdaki DKLY yakıtı oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi değerleri de artış göstermiştir. DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtlarının kullanılmasıyla oluşan özgül yakıt tüketimi değerleri DY yakıtına göre sırasıyla %23.50, %16.02 ve %7.67 oranlarında daha fazla olmuştur. Deney yakıtları için elde edilen, güç değerlerindeki farklar ile karşılaştırıldığında, özgül yakıt tüketimi değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. DKLY karışımı yakıtlar için özgül yakıt tüketimindeki aşırı artışın en önemli nedeni bu yakıtın yoğunluğunun DY yakıtına nazaran dikkate değer miktarda yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. DY yakıtı dahil bütün deney yakıtları için silindire püskürtülen yakıt miktarı hacimsel olarak eşittir. Çünkü püskürtülen yakıt miktarı yakıt pompası ile hacimsel olarak ayarlanır. Dolayısıyla yoğunluğu fazla olan yakıt daha fazla harcanır.

Ayrıca DKLY yakıtları için yoğunluğun ve viskozitenin yüksek olması, yakıt enjektöründen püskürtülen yakıt zerreciklerinin daha büyük olmasına neden olur. Bu durumda karışım kötü olur. Ayrıca iri yakıt tanecikleri buharlaştığı zaman ortamdan daha fazla ısı çekerek endotermik reaksiyonların gelişmesine neden olur. Bu durumda yanma kötüleşir ve motor performansının düşmesine sebep olur.

12.1.4. Egzoz Manifoldu Sıcaklığı

DY yakıtı, DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtlarının kullanımında ve farklı motor devirlerinde meydana gelen egzoz sıcaklık değerleri Şekil 12.6'da verilmiştir. Bütün deney yakıtları için egzoz sıcaklıkları motorun egzoz manifoldundan ve aynı bölgeden ölçülmüştür. Bütün deney yakıtları için tespit edilen manifold sıcaklık değerleri motor hızının artmasıyla paralel bir artış göstermiştir. En yüksek egzoz sıcaklık değerleri bütün yakıtlar için 2500 d/dak motor devrinde elde edilmiş olup en düşük değerleri ise 1000 d/dak motor hızında elde edilmiştir. Motorun düşük devirlerinde yanmanın nispeten piston ÜÖN'ya daha yakın konumlarda iken tamamlanmış olması egzozdan dışarı atılan gazların sıcaklıklarının daha düşük olmasına neden olmaktadır. Bu durumda egzoz sıcaklıkları da daha düşük ölçülmüş olur. Bunun yanı sıra bu devirlerde yanmanın yüksek devirlere kıyasla daha kötü gerçekleşmiş olması, yanma sonu sıcaklıklarının düşük olmasına ve

dolayısıyla egzozdan atılan gazların daha düşük sıcaklıklara sahip olmasına neden olur. Motor devri yükseldikçe artan hava hareketleri ile yanma iyileşir ve bağlı olarak yanma sonu sıcaklıkları da artar. Yanma sonu sıcaklıklarının artmasına paralel olarak egzoz gazlarının sıcaklıkları da artar. Dolayısıyla motor devrinin artmasıyla egzoz manifoldundan ölçülen sıcaklık değerleri de daha yüksek olmaktadır. Bu durum Şekil 12.6’da da görülebilmektedir.



Şekil 12.6. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların farklı devirlerde egzoz sıcaklığına değerleri

Deney yakıtları karşılaştırıldığında en düşük egzoz sıcaklık değerleri DKLY100 yakıtında tespit edilmiş olup en yüksek değerler ise DY yakıtında elde edilmiştir. DY yakıtı, DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtları için ortalama egzoz sıcaklık değerleri sırasıyla 303°C, 282°C, 285°C ve 292°C olarak tespit edilmiştir. Motorun düşük hızlarında bütün deney yakıtları için elde edilen egzoz sıcaklık değerleri birbirine yakındır. 1500 d/dak. motor devri ve daha yüksek motor hızlarında, DY yakıtı ve DKLY100 ile DKLY75 yakıtlarının kullanımında, elde edilen egzoz sıcaklık değerleri arasındaki farklar belirginleşmiştir. Genel olarak, DKLY100 yakıtının egzoz sıcaklık değerlerinin düşük olması bu yakıtın kullanımında yanmanın daha kötü olarak gerçekleşmiş olması ve yanma sonu sıcaklık değerlerinin düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. DKLY50

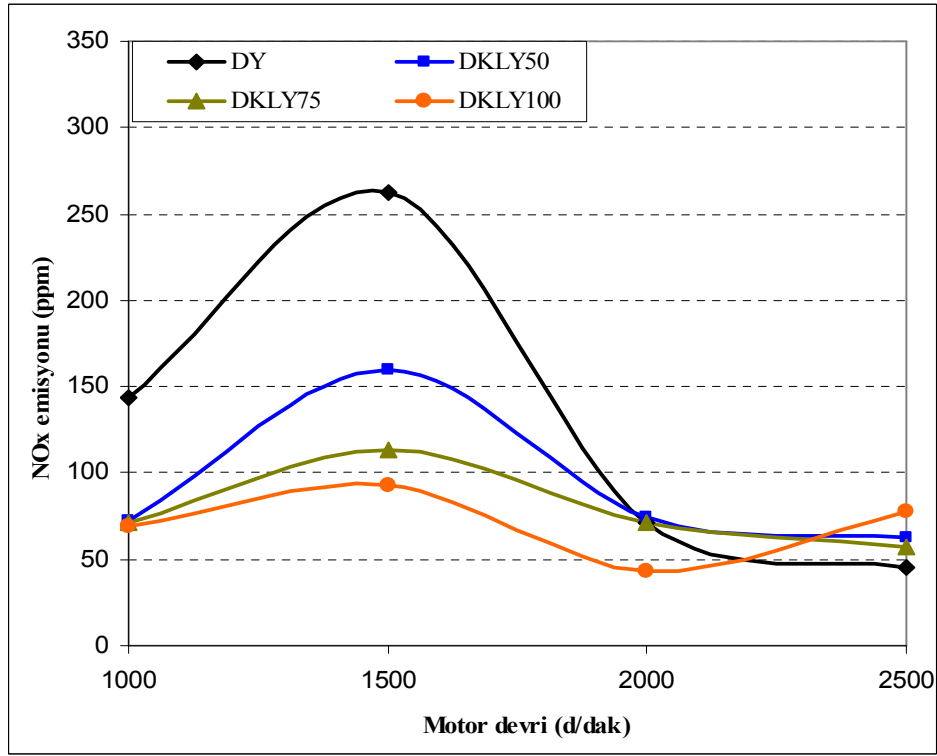
yakıtının kullanımında elde edilen egzoz sıcaklık değerleri DY yakıtından elde edilen değerlere yakın olarak elde edilmiştir. Bu yanma işleminin DKLY50 yakıtının kullanımında DKLY içeren diğer yakıtlara göre daha iyi gerçekleştiğini göstermiştir.

12.2. Emisyon Deneyleri

Bu bölümde DKLY100, DKLY75, DKLY50 ve DY yakıtlarının kullanımı sırasında deney motorunun egzozundan salınan gazların ihtiva ettiği NO_x , CO, CO_2 , HC, O_2 ve duman koyuluğu değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar grafikler halinde sunulmuş olup gerekli karşılaştırmalar ve tartışmalar DY yakıtı esas alınarak yapılmıştır.

12.2.1. NO_x Emisyonları

DY yakıtı, DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtlarının kullanımında motorun egzoz gazları içerisinde tespit edilen NO_x emisyonu değerleri Şekil 12.7’de verilmiştir. Dizel motorları yüksek hava fazlalık katsayılarında çalışırlar. Bu fazla havanın içeriğindeki oksijen aşırı sıcak ortamlarda yeterli zamanı bulduğunda azot ile reaksiyona girerek NO_x ’leri oluşturur [103]. Silindir içerisindeki sıcaklık değerleri genellikle 1800°K ’nin üzerinde olduğu durumlarda NO_x oluşur. Şekil 12.7’de görüldüğü gibi, bütün deney yakıtları için elde edilen NO_x emisyonu değerleri motorun devir sayısı arttıkça artmıştır. Motorun 1500 d/dak’lık hızında NO_x emisyonları maksimum değerlere ulaştıktan sonra, motor devri arttıkça azalmaya başlamıştır. 2000 d/dak motor devrinden sonra en düşük NO_x emisyonu değerleri tespit edilmiştir. Motorun 1500 d/dak’lık hızında bütün deney yakıtlarının kullanımında en iyi yanma şartları oluşmuştur. Yanma odası içerisinde artan hava hareketleri daha homojen bir karışım ve alev bölgeleri oluşturmuştur. Bu durumda en yüksek yanma sonu sıcaklıklarına ulaşılmaktadır. Bununla beraber motorun orta devrilerinde yanma iyileşirken bu yanma işlemi için gerekli olan süre ise $^\circ\text{KMA}$ cinsinden motorun hızına göre çok düşük olmadığı için yeterli olmuştur. Bu durumda NO_x emisyonunun oluşumu için en ideal şartlar oluşmuştur.

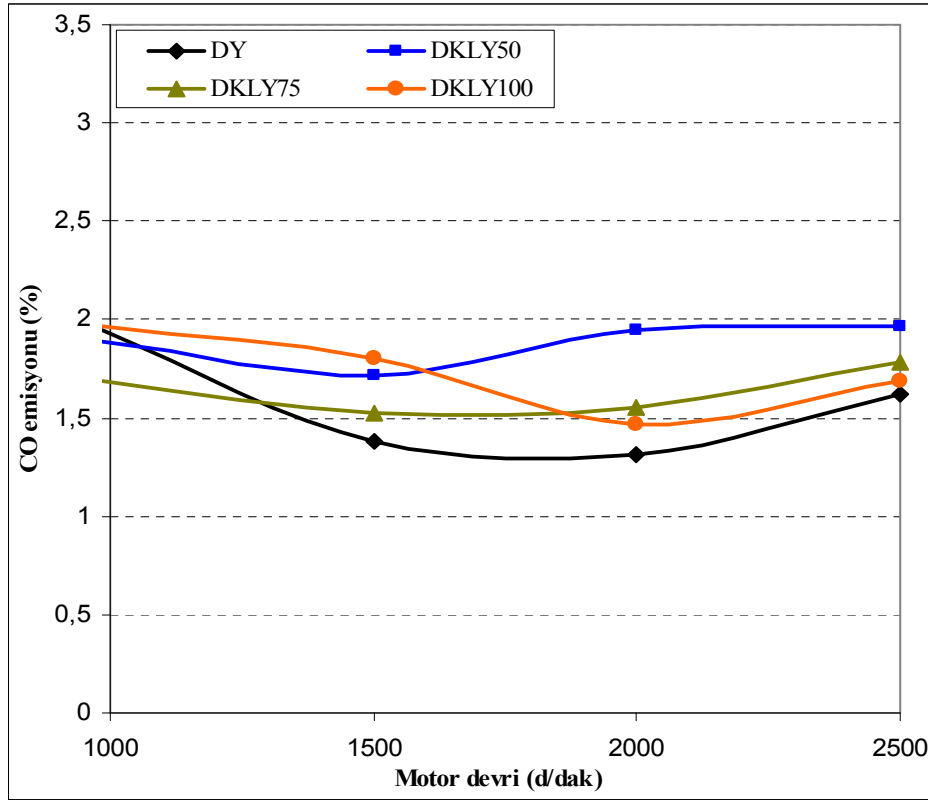


Şekil 12.7. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların NO_x emisyonlarının motor devrine göre değişimi

Motorun çok düşük devirlerinde her ne kadar yanma için gerekli olan süre daha uzun olsa da azalan silindir içi hava hareketleri homojen bir hava-yakıt karışımı oluşturamaz. Bu durumda yanma odası içerisinde yer yer zengin veya çok fakir karışım bölgeleri oluşarak yanma kötüleşmektedir. Her iki durumda da yanma sonu sıcaklıkları ve basıncı düşer, bu da NO_x emisyonunun azalmasına sebep olmaktadır. Motor hızının çok yüksek olması durumunda silindir içi hava hareketleri artar ve bunun sonucunda da homojen bir hava-yakıt karışımı elde edilir. Fakat NO_x emisyonunun oluşumu için gerekli olan süre yetersiz kalmaktadır. Çünkü yüksek motor hızlarında yanma işlemi pistonun ÜÖN'ya daha uzak konumlarına sarkar. Dolayısıyla yanma ısısı daha çok egzoz gazlarına aktarılır. Bu durum Şekil 12.6'da egzoz manifoldundan ölçülen sıcaklık değerlerinin artan motor hızına bağlı olarak artmasıyla da açıklanabilir. Sonuç olarak motorun hızı çok yükseldiği zaman NO_x emisyonu azalmaktadır. Deney yakıtları arasında en düşük NO_x emisyonu DKLY100 yakıtından elde edilmiş olup onu DKLY75 yakıtı izlemiştir. En yüksek NO_x emisyonu değerleri ise DY yakıtında elde edilmiştir. Genel olarak DKLY ve karışım yakıtları kullanıldığında DY yakıtına göre daha düşük NO_x emisyonu oluşmuştur. DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtlarının kullanımında elde edilen ortalama NO_x

emisyonu değerleri DY yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla %45.8, %40.2 ve %29.3 daha düşük olarak gerçekleşmiştir.

12.2.2. CO Emisyonları

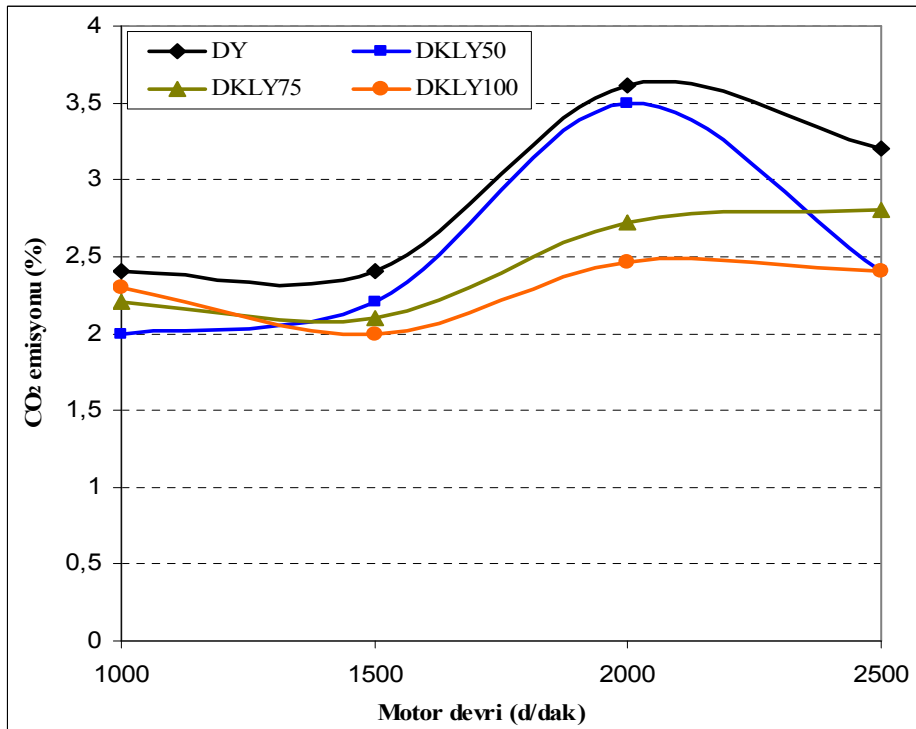


Şekil 12.8. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların CO emisyonlarının motor devrine göre değişimi

DY yakıtı, DKLY yakıtı ve DKLY-DY yakıt karışımlarının kullanımında yapılan deneylerde elde edilen CO emisyonu değerleri Şekil 12.8’de grafik halinde verilmiştir. CO emisyonları, eksik yanma ürünleri arasında olup, yanma odasında alev oluşumu ve ilerlemesi sırasında yanmaya iştirak eden hidrokarbonların yeteri kadar oksijen ile temas edememesi sonucu oluşmaktadır. Dizel motorlarında motor genellikle fakir karışım bölgesinde yani fazla hava ile çalışmaktadır. Bu nedenle dizel motorlarında oluşan CO emisyonu miktarı oldukça azdır. CO emisyonlarının oluşumu birçok nedene bağlı olmakla beraber, hava/yakıt eşdeğer oranına göre değişmektedir [99]. Bunun yanı sıra motorun ivmelenme ve hız kesme şartlarında da CO emisyonları zengin hava/yakıt oranından dolayı artış göstermektedir.

Şekil 12.8 incelendiğinde motorun düşük ve yüksek hızlarında bütün deney yakıtları için CO emisyonu miktarı motorun orta hızlarına göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durum yanma işleminin motorun orta devirlerinde tam yanmaya daha yakın bir şekilde oluştuğunu gösterir. Çünkü motorun orta devirlerinde artan hava hareketleri yanmayı daha düzgün hale getirir. Çok yüksek motor devirlerinde ise, yanma için gerekli olan süre yeterli olmadığından, alev cephesinin ön kısmında oluşan CO konsantrasyonları, gazların ısısının düşmesi nedeni ile oksidasyona uğrayamayıp CO₂ oluşturmamadan egzoz gazları ile birlikte dışarı atılmaktadırlar. Dolayısıyla CO emisyonları çok yüksek motor devirlerinde de artmaktadır. Genel olarak bütün test yakıtları için oluşan CO emisyonu miktarı %2'nin altında olmuştur. Motorun bütün devirlerinde DKLY100, DKLY75, DKLY50 ve DY yakıtları için CO emisyonu miktarları ortalaması sırasıyla %1.73, %1.63, %1.88 ve %1.57 olarak oluşmuştur. Deney yakıtları karşılaştırıldığında en düşük CO emisyonu değerleri DY yakıtında elde edilmiştir. Bu da DY yakıtı için yanmanın daha iyi olduğunu göstermektedir.

12.2.3. CO₂ Emisyonları

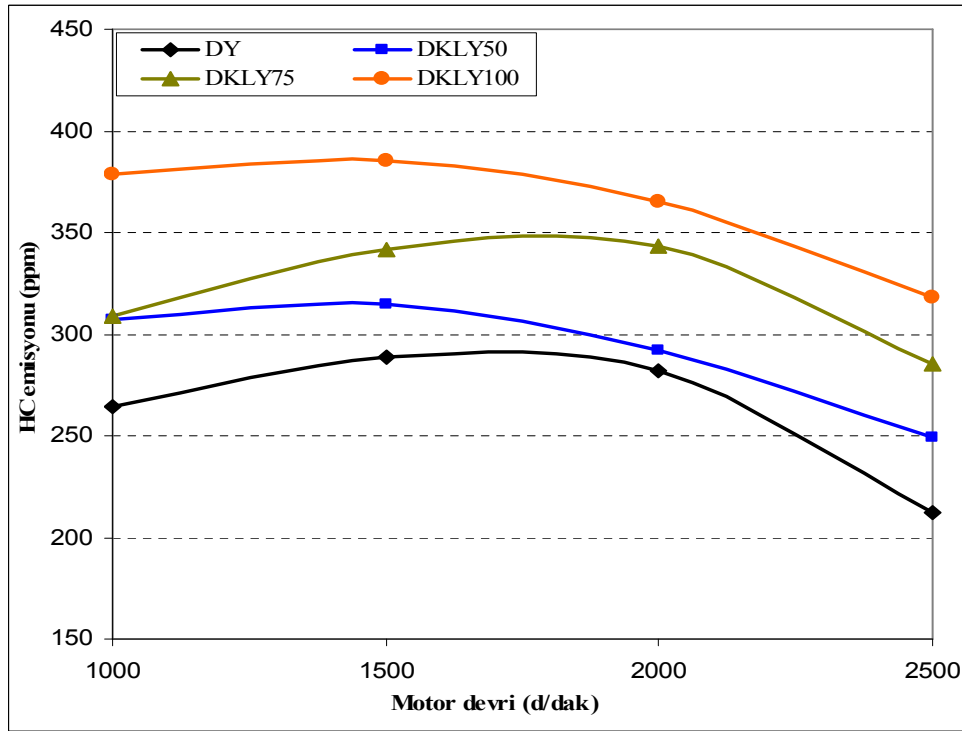


Şekil 12.9. DY, DKLY ve DY-DKLY karışımlarında CO₂ emisyonlarının motor devrine göre değişimi

DKLY100, DKLY75, DKLY50 ve DY yakıtlarının kullanımında deney motorunun egzozundan atmosfere salınan CO₂ emisyonu miktarlarının, motorun devir sayısına göre değişimi Şekil 12.9'da görülmektedir. Deney yakıtlarının tamamı için motorun düşük devir sayılarında düşük olan CO₂ emisyonunun devir sayısının artmasıyla yükseldiği Şekil 12.9'da görülmektedir. 2000 d/dak motor devrinde özellikle DY yakıtı ve DKLY50 yakıtları için elde edilen CO₂ emisyonu miktarı oldukça yüksek olmuştur. Bu devirden sonra bütün deney yakıtlarında CO₂ emisyonu değerleri bir miktar düşüş göstermiştir. DKLY50, DKLY75 ve DKLY100 yakıtlarının kullanımıyla ölçülen CO₂ emisyonu miktarında DY yakıtına göre sırasıyla yaklaşık olarak %13, %15.4 ve %21.1 azalma meydana gelmiştir. CO₂ emisyonları tam yanma ürünleri arasında yer almaktadır. CO₂ miktarının yüksek olması yanmanın, tam yanmaya daha yakın gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak motorun bütün devirlerinde en yüksek CO₂ emisyonu değerlerinin DY yakıtında elde edilmesi, bu yakıtın diğer deney yakıtlarına göre daha iyi yandığını göstermektedir. CO emisyonlarının DY yakıtında en düşük çıkması da (Şekil 12.8) bu durumu kanıtlayan en önemli göstergelerden biridir.

12.2.4. HC Emisyonları

DY yakıtı, DKLY ve DKLY-DY yakıt karışımlarının kullanımında oluşan HC emisyonlarının motor devrine göre değişimi Şekil 12.10'da görülmektedir. Motor silindiri içerisinde HC emisyonlarının oluşum nedenleri Bölüm 6.3'te verilmiştir. Dizel motorlarından kaynaklanan HC emisyonu miktarları çok farklı nedenlere ve çalışma şartlarına göre değişmektedir. Bunlardan en önemlileri, yanma ortamında havanın normalden çok daha az olması, yani oksijen eksikliği, yanma ortamında sıcaklığın düşük kalması nedeniyle yakıtın yanma sıcaklığına ulaşamaması veya düşük sıcaklıklardan dolayı sönme olayının gerçekleşmesi, yakıtın tutuşma gecikmesi periyodunun uzun olması ve motorun ağır yük şartlarında çalışması nedeniyle aşırı zengin karışımla çalışmasıdır. Bunların yanı sıra, kullanılan yakıtın özellikleri ve dolayısıyla yanmaya elverişliliği de HC emisyonlarının etkileyen en önemli parametrelerdir [99].

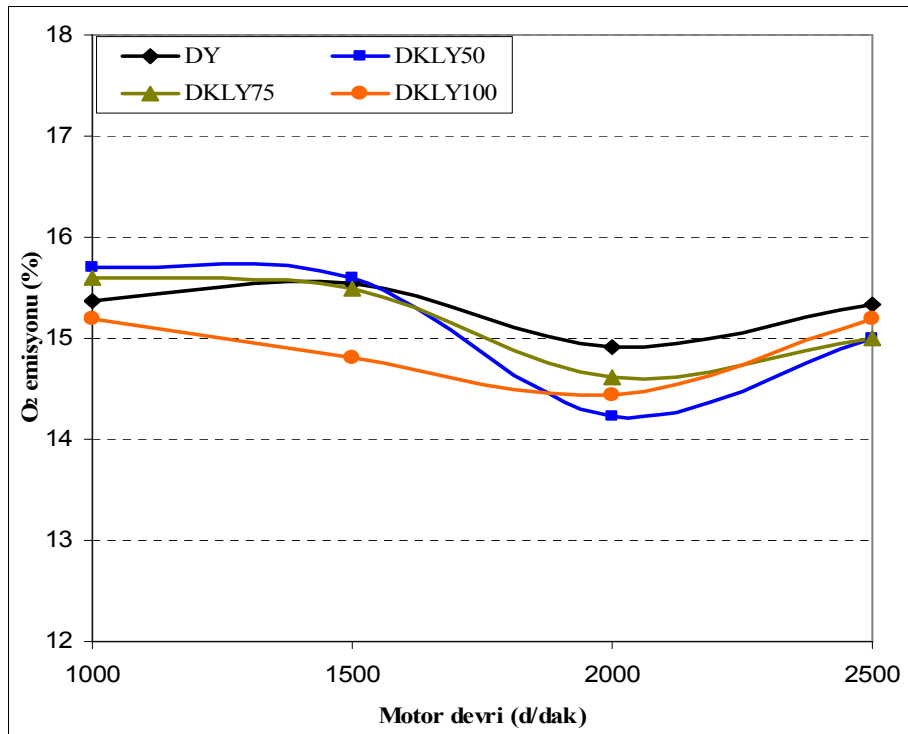


Şekil 12.10. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların HC emisyonlarının motor devrine göre değişimi

Şekil 12.10’da görüldüğü gibi, motor yük altında çalıştığından, HC emisyonları bütün yakıtlar için yüksek çıkmıştır. Motorun bütün devirlerinde en düşük HC emisyonu değerleri DY yakıtının kullanımında elde edilmiştir. Bütün deney şartlarında en yüksek HC emisyonu değerleri DKLY100 yakıtında elde edilmiştir. Karışım yakıtlarında ise DY yakıtına katılan DKLY miktarı arttıkça HC emisyonları da artmıştır. Ortalama olarak, DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 kullanımı ile HC emisyonlarında DY yakıtına göre sırasıyla %27,4, %17,86 ve %9,96 artış olmuştur. DKLY ve karışım yakıtlarında HC emisyonlarının DY yakıtına göre yüksek oluşmasının nedenleri olarak, DKLY yakıtının setan sayısının DY yakıtına göre düşük olması ile tutuşma gecikmesi periyodunun daha uzun olması, DKLY yakıtının yoğunluğunun DY yakıtına göre yüksek olması ile kütleli olarak daha fazla DKLY’nin silindire gönderilmesi ve dolayısıyla daha zengin karışımla yakılması ve en önemlisi de DKLY yakıtının son damıtma sıcaklıklarının DY yakıtına göre çok yüksek olması ile yanmanın son aşamasında sönme olayının meydana gelmesi ihtimali, verilebilir. Genel olarak bütün deney yakıtlarının kullanımında düşük motor devirlerinde daha yüksek HC emisyonu oluşmuştur. Motor devir sayısı arttıkça HC emisyonlarında azalma meydana gelmiştir. Düşük motor hızlarında yüksek HC oluşumunun nedenleri bu devirlerde hava hareketlerinin az olması nedeni ile yanma reaksiyonunun yavaş gelişmesi

ve bu hızlarda özgül yakıt tüketiminin en yüksek değerinde olmasıdır. Motor devri yükseldikçe artan hava hareketleri daha homojen hava/yakıt karışımının oluşmasına ve yanmanın iyileşmesine neden olduğu için HC emisyonlarında azalma meydana gelmektedir.

12.2.5. O₂ Emisyonları



Şekil 12.11. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların O₂ emisyonlarının motor devrine göre değişimi

DY yakıtı, DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtlarının kullanımında oluşan oksijen emisyonu miktarı Şekil 12.11’de verilmiştir. Dizel motorları fazla hava ile çalıştıktlarından bütün yakıtlar için O₂ emisyonları yüksek değerlerde çıkmıştır. DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtlarının kullanımında ortalama O₂ emisyonu DY yakıtı ile kıyaslandığında sırasıyla %2.48, %0.72, ve %1.05 azalma göstermiştir. Deney yakıtları arasında O₂ emisyonu bakımından çok fark olmamasına rağmen DY yakıtının kullanımında elde edilen O₂ emisyonu değerleri DKLY100 ve karışım yakıtlarına göre yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni, DY ile çalışmada ortamda diğer deney yakıtlarına göre daha fazla oksijen olmasıdır. Bütün deney yakıtları için en yüksek oksijen emisyonu değerleri 1000 d/dak motor devrinde elde edilmiştir. Bütün deney yakıtları için 1500-2000

d/dak motor devri aralığında yanmanın iyileştiğini gösteren en önemli parametrelerden olan CO₂ emisyonlarının artması bu devirde O₂ emisyonlarının en düşük seviyede oluşması anlamına gelmektedir.

12.2.6. Duman Koyuluğu

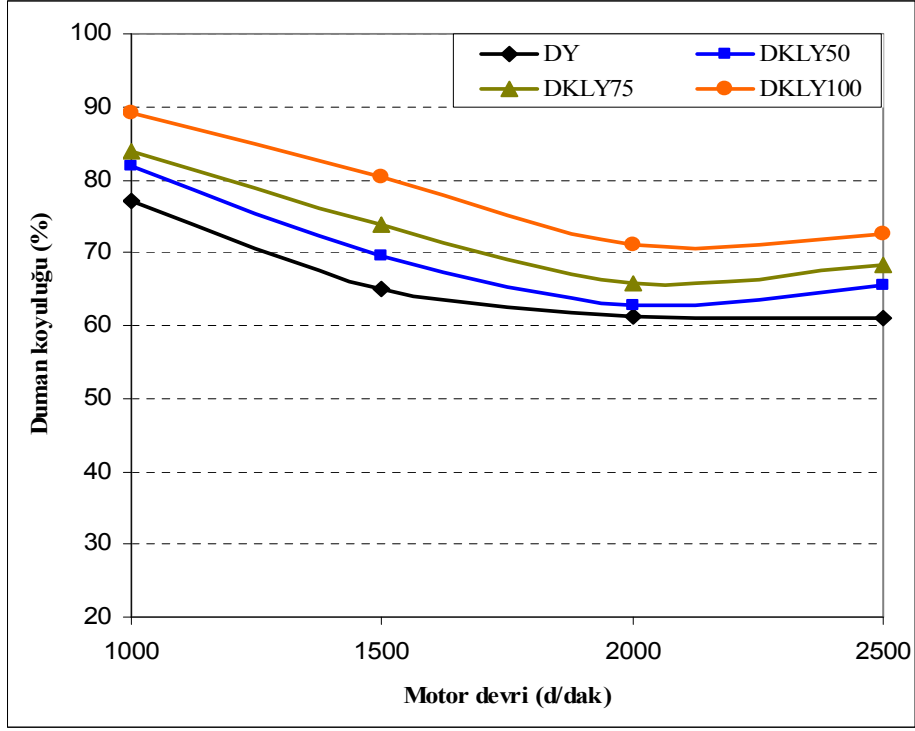
DY yakıtı, DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtlarının kullanımında, tam gaz konumunda ve farklı devirlerde motorun egzozunda oluşan duman koyuluğunun (is) değişimi Şekil 12.12’de gösterilmiştir.

Dizel motorlu taşıtlarda partikül maddeler, is ve karbon, karbon-hidrojen bağları ve yakıttaki kükürtten kaynaklanan kükürt dioksit ve hidrojen sülfürden oluşmaktadır. İs teşekkülü, oksijence fakir ortamda bulunan yakıt moleküllerinin ısı parçalanması; özellikle hidrojen moleküllerinin kolayca oksitlenmesi, karbon moleküllerinin ise oksitlenmeden ortamda çoğalması şeklinde açıklanabilir. Hidrojeni ayrılan karbonca zengin büyük moleküller birleşmekte (polimerizasyon) ve iri molekül guruplarının bir araya toplanması ile is zerrecikleri oluşmaktadır [100].

İs emisyonları, genellikle zengin karışım bölgelerinde oksijen yetersizliğinden oluşmaktadır. Oluşum mekanizmaları çok değişik olmakla beraber, is yüksek sıcaklıklarda uzun zincir yapısına sahip hidrokarbonların oksijensiz ortamda kalarak bozundurulması ile oluşmaktadır. Yanma sırasında oksijenin yeterli düzeyde olması is emisyonlarının oksidasyona uğramasını ve azalmasını sağlar. Yakıtın veya yanma odasının oksijen bakımından zengin olması, is emisyonlarını düşürürken, yakıtın kükürt içeriğinin yüksek olması ise is emisyonunu artırmaktadır [58].

Bunların yanı sıra yakıtın setan sayısı ve yoğunluğu da is emisyonlarını etkilemektedir. Setan sayısının 45’ten düşük olması veya 70’ten yüksek olması halinde is oluşumu artmaktadır. Yakıtın yoğunluğunun belirlenen sınırlar dışında yüksek olduğu durumlarda is emisyonu oluşumu yine artmaktadır.

Motor deneyleri tam gaz konumunda yapıldığından Şekil 12.12’de görüldüğü gibi bütün deney yakıtları için duman koyuluğu yüksek çıkmıştır. Ayrıca bütün deney yakıtları için düşük motor hızlarında özgül yakıt tüketiminin fazla olması ve silindir içi hava hareketlerinin yavaş olması, dolayısıyla homojen yakıt/hava karışımlarının oluşumunun yeterli düzeyde olmaması, yakıtça zengin karışım bölgelerinin oluşumuna neden olmuştur. Bu nedenle düşük motor hızlarında duman koyuluğu yüksek olmuştur.

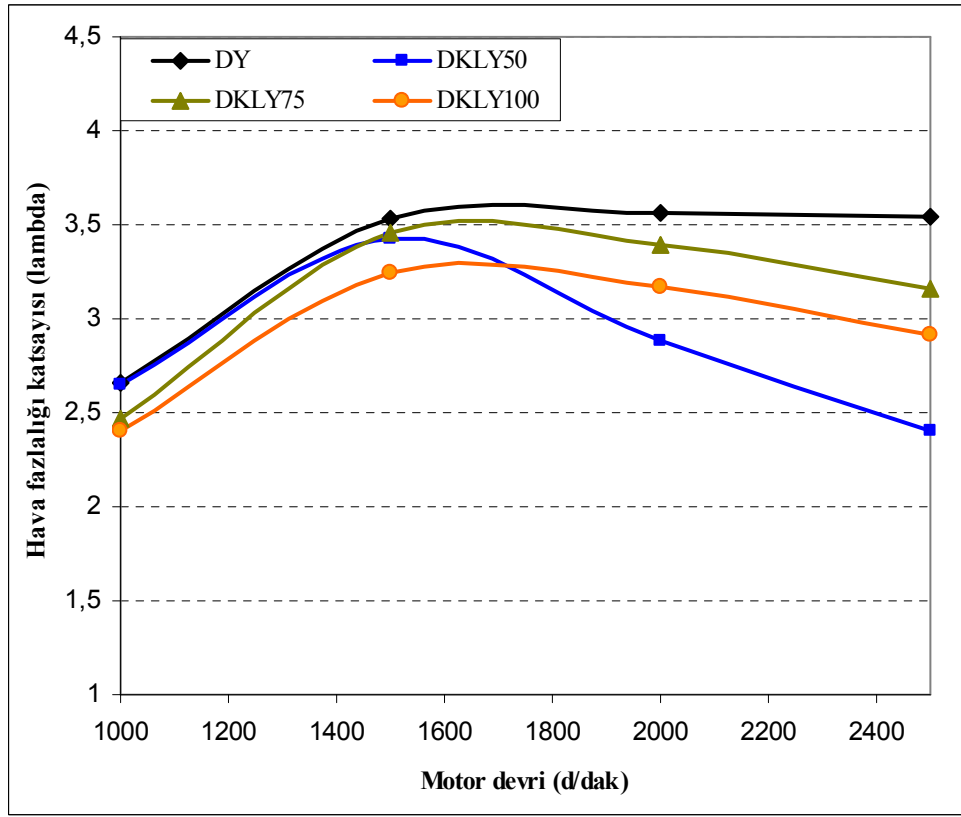


Şekil 12.12. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların duman koyuluğu oranlarının motor devrine göre değişimi

Deney yakıtları karşılaştırıldığında en düşük duman koyuluğunun DY yakıtında, en yüksek duman koyuluğunun ise DKLY100 yakıtının kullanımında olduğu görülmüştür. Karışım yakıtlarında ise DKLY oranı arttıkça duman koyuluğu da artış göstermiştir. DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtlarının kullanımında oluşan ortalama duman koyuluğu değerleri DY yakıtına göre sırasıyla %15.6, %9.41 ve %5.53 daha yüksek çıkmıştır. Genel olarak DKLY yakıtında oluşan yüksek duman koyuluğunun en önemli nedeninin DKLY yakıtının DY yakıtına göre daha yüksek olan kükürt içeriği olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, bir diğer önemli etkenin DKLY yakıtının DY yakıtına göre yüksek olan yoğunluğudur.

12.2.7. Hava Fazlalığı Değerleri

DKLY100, DKLY75, DKLY50 ve DY yakıtlarının kullanımında, motorun tam gaz konumunda ve farklı motor devirlerinde oluşan hava fazlalığı değerleri Şekil 12.13'te verilmiştir.



Şekil 12.13. DY, DKLY ve DKLY-DY karışımı yakıtların kullanımında oluşan hava fazlalığı katsayısı değerleri

Motorun düşük devirlerinde oluşan hava fazlalığı katsayısı değerleri oldukça düşüktür. Bu durum motorun düşük devirlerinde yakıtın tam yanması için daha fazla havaya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Yüksek motor hızlarında bütün deney yakıtları için hava fazlalık katsayısı değerleri yüksek çıkmıştır. Artan hava hareketleri sayesinde daha iyi bir yanma meydana geldiğinden daha az miktarda havaya ihtiyaç duyulmuştur. Bunun yanı sıra artan hava hareketleri sayesinde yeterli oksijen ile yanan yakıttan daha fazla faydalanılır ve yanma iyileşir. Ancak motorun çok yüksek devirlerinde bütün deney yakıtları için oluşan hava fazlalığı değerleri yine düşüş göstermiştir. Çünkü çok yüksek olan motor hızı havanın silindire dolması süresini kısaltıp hacimsel verimi düşürmüştür. Deney yakıtları karşılaştırıldığında en yüksek hava fazlalık katsayısı değerleri DY yakıtının kullanımında elde edilmiştir. Bu da DY yakıtının yanması için DKLY ve karışım yakıtlarına göre daha az oksijene gerek duyulduğunu göstermektedir.

12.3. DY ve DKLY100 Yakıtları ile 50 Saatlik Çalışma Sonunda Motor Parçalarının Durumu

Atık taşıt lastiklerinden elde edilen ve kükürdü azaltılmış DKLY yakıtının ve DY yakıtı ile karışımlarının dizel motorlarında kullanımında motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri önceki bölümlerde sunulmuştur. Bu yakıtların dizel motorlarında motor parçaları üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğunu ortaya çıkarmak ve uzun süreli kullanım için uygun olup olmadığını saptamak için uzun süreli kullanıma tabi tutulmuştur. Bunu sağlamak üzere DKLY100 yakıtı, deney motorunda kullanılarak motor 50 saat boyunca çalıştırılmıştır. Bunun yanı sıra DY yakıtı da motorda 50 saat kullanılmıştır. DKLY100 ve DY yakıtlarının kullanımında bu yakıtların motor parçalarına etkileri gözlenmiştir. Bu nedenle hem 50 saatlik DY yakıtı kullanımı sonunda hem de 50 saatlik DKLY100 yakıtı kullanımı sonunda motorun aynı parçalarının resimleri çekilerek bu bölümde sunulmuştur. Her iki yakıtla uzun süreli çalışmaya geçilmeden önce deney motoru sökülerek motorun tüm parçaları iyice temizlendikten sonra motor tekrar toplanmıştır. Her yakıtın kullanımı sonunda gerekli gözlemler yapıp parçaların resimleri çekildikten sonra motor yeniden temizlenerek diğer yakıtla geçilmiştir. Her iki yakıtla çalışmadan önce motorun yağlama yağı yenisi ile değiştirilmiştir.

DY yakıtı ve DKLY100 yakıtlarının 50 saatlik kullanımından sonra motor parçaları sökülmüştür. 50 saatlik çalışma sonunda her iki yakıt içinde yağlama yağının özelliğini kaybetmediği görülmüştür. Emme ve egzoz kanalları, silindir üst kapağı, supaplar, yakıt enjektörü ve silindir üst kısımları gözlemlenmiştir. Gözlemler sonunda elde edilen bulgular fotoğraflar halinde Şekil 12.14, 12.15, 12.16, 12.17, 12.18, 12.19, 12.20, 12.21, 12.22, 12.23, 12.24 ve 12.25'te gösterilmiştir. Bütün Şekillerden de anlaşılacağı gibi DY yakıtı ve DKLY100 yakıtlarının kullanımında oluşan is birikintilerinin renkleri farklı olmuştur. DY yakıtının 50 saatlik kullanımı sonunda oluşan birikintinin rengi siyah ve parlak iken DKLY100 yakıtında oluşan isin rengi ise daha açık renkte ve mat olmuştur. Bunun yanı sıra DKLY100 ile 50 saatlik çalışma sonucunda oluşan kurumlar çok kuru iken, dizel yakıtı ile çalışma sonucunda oluşan kurumlar ise nispeten daha ıslak olmuştur.



Şekil 12.14. DY yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda supapların durumu

Şekil 12.14 ve 12.15'te görülebileceği gibi DY yakıtı ve DKLY100 yakıtlarının 50 saatlik kullanımından sonra çekilen fotoğraflar incelendiği zaman emme ve egzoz supaplarında oluşan is birikintilerinin supapların çalışmasını engelleyebilecek seviyede olmadığı görülmektedir. Her iki yakıtla yapılan çalışmada supapların oturma yüzeyleri özelliğini kaybetmemiştir.



Şekil 12.15. DKLY100 yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda supapların durumu

Şekil 12.16 ve 12.17’de DKLY100 ve DY yakıtlarının 50 saatlik kullanımı sonunda yanma odası üst kapağının durumu görülmektedir.



Şekil 12.16. DY yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda üst kapağın durumu



Şekil 12.17. DKLY100 yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda üst kapağın durumu

Şekil 12.16 ve 12.17’de, DY yakıtı ile çalışma sonunda oluşan birikintinin siyah renkte, kabarık ve ıslak olduğu ancak DKLY100 yakıtının kullanımında oluşan birikintinin ise çok kuru fümre renginde ve ince toz halinde olduğu görülmektedir. Ayrıca DKLY100

yakıtının kullanımında üst kapakta gözle görülebilir düzeyde paslanmanın olduğu da tespit edilmiştir. Ancak, DY yakıtı ile oluşan birikinti DKLY100 yakıtının kullanımında oluşan birikintiden daha yapışkan olduğundan temizlenmesi çok daha zor olmuştur. Her iki yakıtla çalışma sonunda oluşan birikintilerin kalınlıkları ise birbirine benzer olmuştur.



Şekil 12.18. DY yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda enjektör ucunun durumu

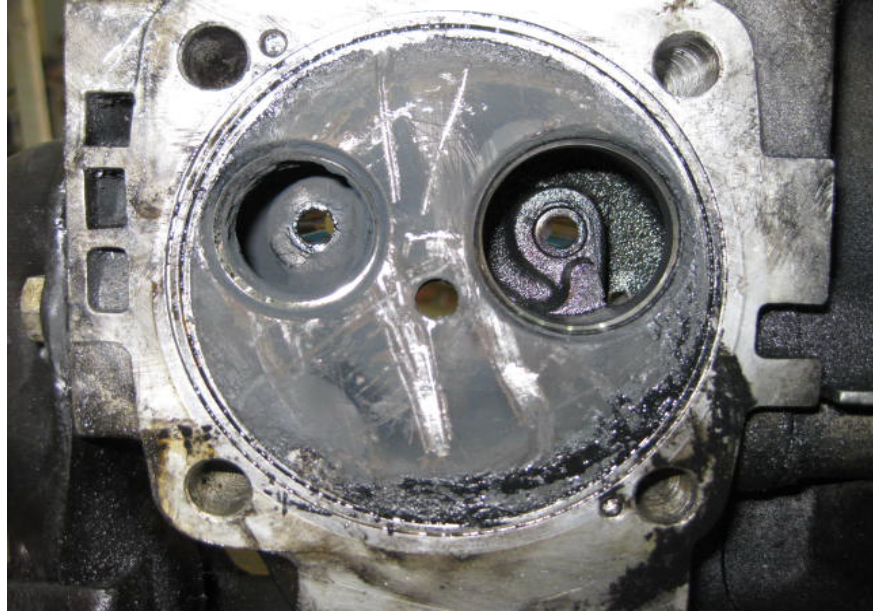
Şekil 12.18 ve 12.19’da DKLY100 ve DY yakıtlarının 50 saatlik kullanımı sonunda enjektör uçlarının durumu görülmektedir. Her iki yakıtın da 50 saat kullanılmasından sonra enjektör uçlarında oluşan birikinti miktarı enjektörün yakıt püskürtmesine engel olabilecek düzeyde olmadığı görülmüştür. Dolayısıyla hem DKLY100 yakıtı hem de DY yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda motorun çalışmasında ve ilk hareketinde herhangi bir sorun ortaya çıkmamıştır. Ayrıca hem DKLY100 yakıtı hem de DY yakıtının kullanımında enjektör ucunda oluşan is birikintisinin miktarları arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir.

Şekil 12.20 ve 12.21’de DKLY100 ve DY yakıtlarının her birinin 50 saatlik kullanımı sonunda emme ve egzoz kanallarının durumu görülmektedir. Burada DY ve DKLY100 yakıtlarının kullanımında hem emme hem de egzoz kanallarında oluşan is birikintilerinin oldukça benzer olduğu görülmektedir. Ancak DKLY100 yakıtının kullanımında oluşan is birikintilerinin ise daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca DY yakıtı kullanımında hem emme hem de egzoz kanallarında ve DKLY100 yakıtının

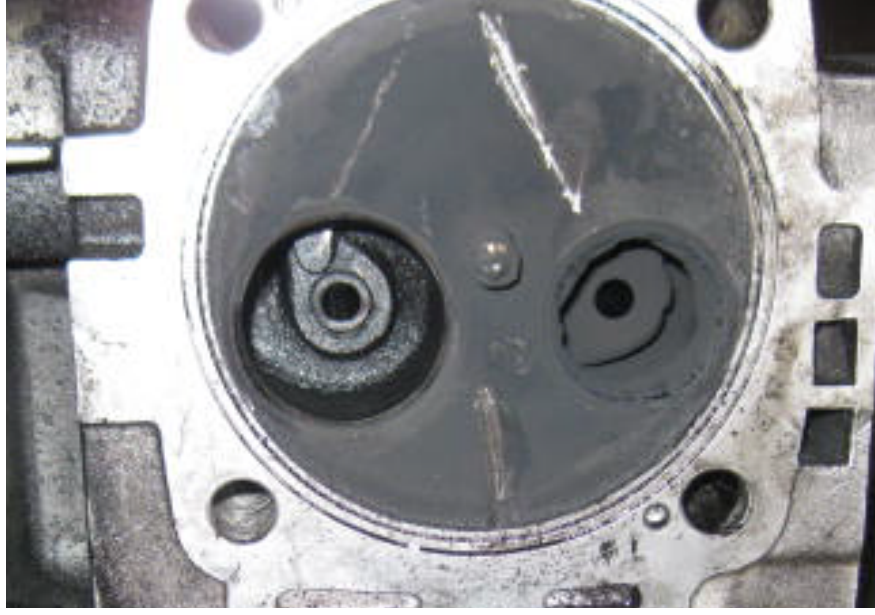
kullanımında ise sadece emme kanalında oluşan is birikintilerinin ıslak ve DKLY100 yakıtında oluşan birikintinin ise oldukça kuru ve daha açık renkte olduğu görülmektedir.



Şekil 12.19. DKLY100 ile 50 saatlik çalışma sonunda enjektör ucunun durumu



Şekil 12.20. DY yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda emme ve egzoz kanallarının durumu



Şekil 12.21. DKLY100 yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda emme ve egzoz kanallarının durumu

Şekil 12.22 ve 12.23'te DKLY100 ve DY yakıtlarının 50 saatlik kullanımı sonunda motorun silindir üst kısımlarının durumu görülmektedir. Burada hem DY yakıtı hem de DKLY100 yakıtlarının kullanımında silindir üst kısımlarında oluşan is birikintilerinin benzer olduğu görülmektedir. Her iki yakıtla çalışmada oluşan birikintilerin genellikle yanma odasında yoğunlaştığı diğer taraflarda ise daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 12.22. DY yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda silindir üst kısmının durumu

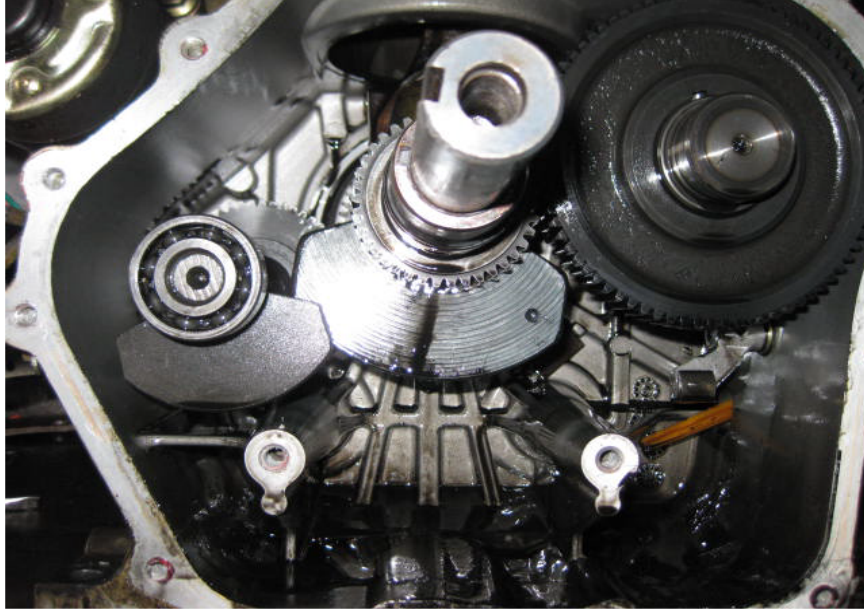


Şekil 12.23. DKLY100 yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda silindir üst kısmının durumu



Şekil 12.24. DKLY100 yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda külbütör ve iteçeklerin durumu

Şekil 12.24'te DKLY100 yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda külbütör ve iteçeklerin durumu gösterilmiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi külbütör ve iteçeklerde herhangi bir kırılma çatlama veya eğilme meydana gelmemiştir. Bunun yanı sıra supap sisteminin çalışmasında herhangi bir sorun meydana gelmemiştir.



Şekil 12.25. DKLY100 yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda karter, yağ, krank ve dişlilerin durumu

Şekil 12.25'te DKLY100 yakıtı ile 50 saatlik çalışma sonunda karter, motor yağı ve dişlilerin durumu gösterilmiştir. Buradan da görülebileceği gibi, yağ karterinde, dişliler ve krankta herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Ayrıca motorun çalışmasında herhangi bir aksaklık meydana gelmemiştir. Sonuç olarak;

- Hem DY yakıtı hem de DKLY100 yakıtının 50 saatlik kullanımları sonucunda motorun çalışmasında herhangi bir anormal duruma rastlanmamıştır.
- Bunun yanı sıra her iki yakıt için de ilk hareket problemi ile karşılaşılmamıştır. Ancak her iki yakıtın kullanımında farklı renklerde is birikintileri oluşmuştur.
- DKLY100 yakıtının kullanımında oluşan birikinti miktarı ile DY yakıtının kullanımında oluşan birikinti miktarları arasında gözle görülebilir bir fark olmamakla beraber DKLY100 yakıtının kullanımında silindir üst kapağında ve yanma odasında oluşan is birikintisinin alt kısmında az miktarda paslanma olduğu tespit edilmiştir.
- Her iki yakıt ile 50 saatlik kullanım sonunda motor parçalarında herhangi bir kırılma, çatlama veya çizilme meydana gelmemiştir.
- Her iki yakıtla çalışma sırasında hem DY yakıtı hem de DKLY100 yakıtının kullanımında enjektör memesinde yakıtın püskürtülmesine engel olabilecek düzeyde bir karbon birikintisi oluşmamıştır.

- Çalışma boyunca her iki yakıt ile de yakıt hattında herhangi bir tıkanma meydana gelmemiştir.
- Deney süresince supap itecekleri ve külbütör mekanizmasında herhangi bir probleme rastlanmamıştır.
- Ayrıca, yağ karterinde, dişliler ve krankta herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

13. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, dizel motorlarında kullanılmak amacıyla, piroliz yöntemi ile atık taşıt lastiklerinden yakıt üretilmiştir. Üretilen bu yakıtın önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit edilmiştir. Ayrıca bu yakıtta bazı kükürt giderme işlemleri uygulanarak kükürt oranı düşürülmüştür. Atık taşıt lastiklerinden elde edilen yakıtı, dizel motorlarında kullanılabilirliğinin ortaya çıkarılması amacıyla, bir dizel motorunda test edilmiştir. Bu testler kapsamında, atık lastiklerden elde edilen yakıt, hem kükürt giderme işlemi uygulanmadan önce (LY) hem de kükürt giderme işleminden sonra, saf (DKLY100) ve standart DY yakıtı ile oluşturulan karışımlar şeklinde bir dizel motorunda kullanılmıştır. Bu testlerde motorun performans parametreleri ve neden olduğu egzoz emisyonu değerlerinin nasıl etkilendiği ortaya çıkarılmış ve elde edilen değerler standart DY yakıtının değerleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca atık lastiklerden elde edilen ve kükürdü azaltılmış yakıt olan DKLY100 motorda uzun süreli test edilmiş ve motordaki etkileri standart DY yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

1. Atık taşıt lastiklerinden yakıt üretiminde, sıcaklığın sıvı yakıt ürünü verimine etkilerini ortaya çıkarmak amacıyla 400, 450, 500, 550, 600, 650 ve 700°C sabit sıcaklık değerlerinde reaksiyon gerçekleştirilmiştir. Piroliz sıcaklığının elde edilen sıvı ürün verimine etkisinin tespit edildiği bu deneyde en yüksek verim ağırlıkça %40,26 sıvı ürün ile 500°C sabit sıcaklıkta elde edilmiştir. Kükürt giderme amacıyla kullanılan katalizörün ve reaksiyon ortamından oksijeni uzaklaştırmak için kullanılan N₂ gazının sıvı yakıt verimine etkilerinin önemsizmeyecek kadar az olduğu ortaya çıkarılmıştır.
2. İdeal reaksiyon süresinin belirlenmesi için 500°C sabit sıcaklıkta reaksiyon süresince ağırlık kaybı gözlemlenmiştir. Ortalama 55-60 dakika reaksiyon süresinden sonra ağırlık kaybının yok denecek kadar az olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle yakıt üretiminde 55 dakika reaksiyon süresi uygulanmıştır.
3. Elde edilen yakıtın kükürdü standart değerlerin çok üzerinde olduğundan, Ca(OH)₂, CaO ve NaOH gibi katkı maddeleri reaksiyon sırasında farklı oranlarda kullanılarak,

azaltılmaya çalışılmıştır. Yapılan analizler sonucunda taşıt lastiği pirolizinde, ağırlıkça %5 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kullanımında, elde edilen sıvı yakıtın kükürdünün %34,25 azalarak %0,906'ya düşürülebildiği görülmüştür. Ayrıca reaksiyon sıcaklığının kükürt oranına etkisi ortaya çıkarılmış ve 550°C sabit sıcaklıkta elde edilen sıvı yakıtın en düşük oranda kükürde sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak sıvı yakıt verimi göz önüne alındığında ve 500°C sıcaklıkta yakıt üretimin daha uygun olduğu görülmüştür.

4. %5 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ katkısıyla elde edilen yakıtın kükürt oranı %0,906'ya kadar düşürülmüştür. Ancak bu oran kabul edilebilir kükürt içeriğinin çok üzerindedir. Elde edilen bu yakıt ile yapılan SO_2 emisyonu deneylerinin sonucu da bu durumu destekler niteliktedir. Bu nedenle yakıt asidik kükürt giderme işlemine tabi tutulmuştur. Bu amaçla asetik asit, formik asit ve H_2SO_4 asit kullanılmıştır. Asetik asit ve formik asit kullanılırken çözücü madde olarak H_2O_2 kullanılmıştır. Bu işlemde, 5'er gram 1/2 oranında asetik asit- H_2O_2 ve 1/2 oranında formik asit- H_2O_2 çözeltileri ile 100'er ml'lik yakıt numunelerine yapılan işlemler neticesinde, numunelerin kükürt oranları sırasıyla %0.567 ve %0.354'e kadar düşürülmüştür. Bu çözeltiler ile yapılan kükürt giderme işlemlerinde 5'er gramlık ilavelerden sonra kükürt oranının daha fazla azalmadığı görülmüştür.
5. H_2SO_4 ile yapılan kükürt giderme işlemi ise, 100 ml'lik yakıt numunelerine %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranlarında %98 saflık derecesine sahip H_2SO_4 katılarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlemde kullanılan H_2SO_4 miktarı arttıkça yakıt numunesinin kükürt oranı azalmıştır. Atık taşıt lastiklerinden elde edilen yakıtın kükürt oranı, %10 H_2SO_4 katkısıyla, %0.906'dan %0.224'e kadar düşürülmüştür. Bu işlemle beraber, atık taşıt lastiklerinden elde edilen LY yakıtının kükürt miktarı %83.75 oranında düşürülmüş ve DKLY100 yakıtı elde edilmiştir. Atık taşıt lastiklerinden elde edilen ve bu işlem neticesinde kükürt oranı düşürülmüş yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri analiz edilmiş ve bir dizel motorunda test edilmiştir.
6. Fiziksel ve kimyasal analizler sonucunda, atık taşıt lastiklerinden elde edilen LY, DKLY, DKLY-DY yakıt karışımlarının ve DY yakıtının, yoğunluk, API gravitesi, viskozite, ısıl değer, dizel indeksi, setan sayısı, kükürt içeriği, parlama noktası, anilin noktası ve damıtma eğrileri gibi yakıt özellikleri tespit edilmiştir. LY, DKLY, DKLY-

DY yakıtı karışımlarının tespit edilen bu özellikleri DY yakıtları için belirlenen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar neticesinde LY, DKLY, DKLY-DY yakıtı karışımlarının, yoğunluk değerlerinin DY yakıtına göre daha yüksek, ısıl değerlerinin daha düşük, setan sayısı ve dizel indeksi değerlerinin daha düşük, viskozitelerinin daha yüksek, parlama noktalarının daha düşük ve anilin noktalarının DY yakıtına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu parametrelerin DY yakıtlar için belirlenen sınır değerler içerisinde olduğu ve yoğunluk dışında diğerlerinin DY yakıtına çok benzer olduğu görülmüştür. Karışım yakıtlarının yoğunlukları ise DY yakıtına daha yakın çıkmıştır. Ancak, LY, DKLY, DKLY-DY yakıtı karışımlarının kükürt miktarının DY yakıtına ve belirlenen sınır değerlere göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. DKL75 ve DKLY50 yakıtlarının kükürt içerikleri ise DY yakıtına daha yakındır. Deney yakıtlarının ısıl değerlerin hesaplanmasında ampirik bir formül kullanıldığından dizel yakıtı dahil bütün deney yakıtları için ısıl değer normal değerlere nazaran yüksek hesaplanmıştır.

7. Genel olarak DKLY yakıtları için elde edilen damıtma eğrileri, DY yakıtının damıtma eğrisine oldukça benzer çıkmıştır. Ancak DKLY yakıtının ilk damıtma sıcaklıkları DY yakıtından daha düşüktür. DKLY yakıtının yaklaşık %50'lik kısmının DY yakıtından daha kolay buharlaşan hafif yapılı hidrokarbonlar içerdiği distilasyon eğrileri ile tespit edilmiştir. DKLY yakıtının geriye kalan %50'lik kısmı ise DY yakıtından daha yüksek damıtma sıcaklıklarına sahiptir. Damıtma eğrilerinden ve DY yakıtları için belirlenen damıtma noktalarından DKLY yakıtının en az %85'lik kısmının iyi yanabileceği görülmektedir. Ancak, DKLY yakıtının %95'lik kısmından sonra geriye kalan %5'lik kısmı temsil eden son distilasyon sıcaklıkları ise DY yakıtından oldukça yüksek olup belirlenen sınır değer olan 360°C'nin çok üzerindedir. DKLY yakıtının son distilasyon sıcaklıklarının oldukça yüksek olması yanmanın bu noktadan sonra kötüleştiği anlamına gelmektedir.
8. Bütün test yakıtları arasında en yüksek güç değerleri DY yakıtı kullanımında en düşük güç değerleri ise LY100 yakıtının kullanımında tespit edilmiştir. DY-LY ve DY-DKLY yakıtı karışımlarının kullanımında elde edilen güç miktarı, karışımdaki LY ve DKLY oranına bağlı olarak düşüş göstermiştir. LY100 yakıtının kullanımında motor gücü dizel yakıtına göre ortalama %16,46 oranında azalmıştır. DKLY100 yakıtında ise

motor gücü DY yakıtına göre ortalama %11,99 azalmıştır. Aynı motor çalışma koşullarında elde edilen moment değerleri yine aynı koşullarda elde edilen güç değerleri ile orantılı olarak değişmiştir. Dolayısıyla, DY-LY ve DY-DKLY yakıtı karışımlarının kullanımında elde edilen moment değerleri, karışımdaki LY ve DKLY oranına bağlı olarak düşüş göstermiştir. En düşük moment değerleri DKLY100 ve LY100 yakıtlarında elde edilmiştir.

9. Özgül yakıt tüketimi aynı devirlerde elde edilen yakıt tüketiminden, motor gücünden ve yakıtın ısıl değerinden etkilenmektedir. DY-LY ve DY-DKLY karışımlarının kullanımında elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri karışımdaki LY ve DKLY oranına bağlı olarak artış göstermiştir. Test yakıtlarından olan DY, LY5, LY10, LY15, LY25, LY35, LY50, LY75 ve LY100 yakıtlarının kullanımında ortalama özgül yakıt tüketimi değerleri sırasıyla 322.91 gr/kWh, 322.81 gr/kWh, 325.46 gr/kWh, 325.86 gr/kWh, 329.76 gr/kWh, 333.64 gr/kWh, 343.25 gr/kWh, 354.21 gr/kWh ve 367.17 gr/kWh olarak gerçekleşmiştir. DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtlarının kullanılmasıyla oluşan özgül yakıt tüketimi değerleri ise DY yakıtına göre sırasıyla %23.50, %16.02 ve %7.67 oranlarında daha fazla olmuştur.
10. Bütün deney yakıtları için ortaya çıkan egzoz sıcaklık değerleri motor devir sayısının artmasıyla artış göstermiştir. LY100 yakıtının kullanımında elde edilen egzoz sıcaklık değerleri DY yakıtına göre ortalama %17 civarında daha düşük olurken, DKLY100 yakıtı için DY yakıtına göre ortalama %6.9 daha az olmuştur. DY, DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtları için ortalama egzoz sıcaklık değerleri sırasıyla 303°C, 282°C, 285°C ve 292°C olarak tespit edilmiştir. LY100 ve DKLY100 yakıtlarının kullanımında elde edilen egzoz sıcaklık değerlerinin DY yakıtına göre daha az olması bu yakıtların kullanımında yanma sonu sıcaklıklarının daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır.
11. DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtlarının kullanımında elde edilen ortalama NO_x emisyonu değerleri DY yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla %45.8, %40.2, ve %29.3 daha düşük olarak gerçekleşmiştir. LY5, LY10, LY15, LY25, LY35, LY50, LY75 ve LY100 yakıtlarının kullanımında oluşan ortalama NO_x emisyonu değerleri ise DY

yakıtına göre sırasıyla %5.2, %14.1, %5.8, %23.9, %14.2, %19.9, %25.6 ve %28.5 daha düşük çıkmıştır.

12. Genel olarak tüm test yakıtları için oluşan CO emisyonu miktarı %2'nin altında olmuştur. Motorun tüm devirlerinde DKLY100, DKLY75, DKLY50 ve DY yakıtları için oluşan CO emisyonu miktarları ortalaması sırasıyla %1.73, %1.63, %1.88 ve %1.57 çıkmıştır. Deney yakıtları karşılaştırıldığında en düşük CO emisyonu değerleri DY yakıtında elde edilmiştir. Bu da DY yakıtı için yanmanın daha iyi geçtiğini gösterir. LY100 yakıtının kullanımında oluşan CO emisyonu miktarı, DY yakıtına göre çok daha yüksek iken DKLY100 yakıtında salınan CO emisyonu miktarı DY yakıtına göre ortalama %9.52 daha yüksek çıkmıştır. LY100 yakıtı tüm deney yakıtları arasında en yüksek CO emisyonuna neden olmuştur. LY-DY karışımı yakıtlarda ise karışımdaki DY yakıtı miktarı arttıkça yanma iyileştiğinden CO emisyonu miktarı azalmıştır. DKLY yakıtının kullanımında oluşan CO emisyonu miktarının LY kullanımına göre daha düşük olması DKLY yakıtının LY yakıtına nazaran daha iyi yandığını göstermektedir.

13. LY yakıtı ve LY-DY yakıtlarının kullanımında motorun egzozundan salınan SO₂ miktarları ölçülmüştür. LY5, LY10, LY15, LY25, LY35, LY50, LY75 ve LY100 yakıtlarının kullanımında oluşan ortalama SO₂ emisyonu değerleri DY yakıtına göre çok daha yüksek çıkmıştır. Bu durum LY100 yakıtının kükürt içeriğinin çok yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek kükürtlü yakıtlar kullanıldığı zaman çok daha fazla SO₂ emisyonu oluşmaktadır. Bütün deney şartlarında ve bütün deney yakıtları ile yapılan testlerde, yakıtın ihtiva ettiği kükürdün tamamı SO₂'ye dönüşmemiştir. Kükürdün bir miktarının silindir duvarlarına veya egzoz sistemine yapıştığı tahmin edilmektedir. Deneylerde kullanılan saf lastikten elde edilen yakıt olan LY100 yakıtının ihtiva ettiği kükürt oranı %0.9 civarında olmasına rağmen egzoz gazları ile dışarı salınan çok daha az kükürt emisyonuna neden olmuştur. LY100 yakıtının ihtiva ettiği kükürt miktarı %83.75 oranında düşürülerek DKLY yakıtı elde edilmiştir.

14. LY-DY karışımlarının kullanımında gerçekleştirilen emisyon deneyleri sonucunda LY100, LY75 ve LY50 yakıtlarının aşırı derecede duman emisyonu oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu üç yakıt için duman emisyonu ölçme cihazının ölçüm sınırları aşılmıştır.

Dolayısıyla bu yakıtlar için bütün devirlerde duman koyuluğu %99.9 olarak görülmüştür. LY-DY karışımlarında LY oranı azaldıkça duman emisyonları da aynı oranda azalma göstermiştir. Dolayısıyla, en düşük duman koyuluğu değerleri sırasıyla DY, LY5, LY10, LY15, L25 ve LY35 yakıtlarının kullanımında elde edilmiştir.

15. DY, DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtlarının kullanımında, motorun tam gaz konumunda ve farklı devirlerinde egzozunda oluşan duman koyuluğu ölçülmüştür. Kükürdü düşürülen DKLY yakıtı ve DKLY-DY karışımlarının kullanımında oluşan duman koyuluğu miktarı LY yakıtının kullanımında meydana gelen değerlere göre büyük oranda düşüş göstermiştir. DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtlarının kullanımında oluşan ortalama duman koyuluğu değerleri DY yakıtına göre sırasıyla %15.6, %9.42 ve %5.53 daha yüksek çıkmıştır. Genel olarak DKLY yakıtında oluşan yüksek duman koyuluğunun en önemli nedeninin DKLY yakıtının DY yakıtına göre daha yüksek kükürt içeriğine sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, diğer bir önemli etkenin DKLY yakıtının DY yakıtına göre yüksek olan yoğunluğudur. Ancak DKLY yakıtları için elde edilen duman koyuluğu değerleri LY yakıtları ile karşılaştırıldığında çok daha düşük değerlerde kalmıştır. Bu durum, DKLY yakıtının LY yakıtına göre daha az kükürt içermesi ve daha düşük yoğunluğa sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

16. DKLY50, DKLY75 ve DKLY100 kullanımıyla ölçülen CO₂ emisyonu miktarında DY yakıtına göre sırasıyla ortalama %13, %15.4 ve %21.1 azalma gözlenmiştir. CO₂ miktarının yüksek olması yanmanın, tam yanmaya daha yakın gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak bütün devirlerde en yüksek CO₂ emisyonu değerlerinin DY yakıtında elde edilmesi, DY yakıtının diğer deney yakıtları ile karşılaştırıldığında daha iyi yandığını göstermektedir. CO emisyonlarının DY yakıtında en düşük çıkması da bu durumu kanıtlayan en önemli parametrelerden biridir. DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 yakıtlarının kullanımında oluşan ortalama O₂ emisyonu DY yakıtı ile kıyaslandığında sırasıyla %2.48, %0.72 ve %1.05 azalma göstermiştir. Deney yakıtları arasında O₂ emisyonu bakımından çok fark olmamasına rağmen DY yakıtının kullanımında elde edilen O₂ emisyonu değerleri DKLY100 ve karışım yakıtlarına göre yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni DY ile yapılan çalışmada ortamda diğer deney yakıtlarına göre daha fazla oksijen olmasıdır. Deney yakıtları karşılaştırıldığında

DKLY100 ve karışım yakıtlarının kullanımında oluşan hava fazlalığı DY yakıtına göre daha düşük çıkmıştır. Bu da DY yakıtının yanması için, DKLY ve karışım yakıtlarına göre daha az oksijene gerek duyulduğunu göstermektedir.

17. DKLY100, DKLY75 ve DKLY50 kullanımı ile HC emisyonlarında DY yakıtına göre sırasıyla ortalama %27.4, %17.86 ve %9.96 artış olmuştur. DKLY ve karışım yakıtlarında HC emisyonlarının DY yakıtına göre yüksek çıkmasının nedenlerinin, DKLY yakıtının setan sayısının DY yakıtına göre düşük olması nedeni ile tutuşma gecikmesi periyodunun daha uzun olması, DKLY yakıtının yoğunluğunun DY yakıtına göre yüksek olması nedeni ile kütleli olarak daha fazla DKLY'nin silindire gönderilmesi ve dolayısıyla daha zengin karışımla yakılması olduğu düşünülmektedir. En önemlisi de DKLY yakıtının son damıtma sıcaklıklarının DY yakıtına göre çok yüksek olması nedeni ile yanmanın son aşamasında sönme olayının meydana gelmesi ihtimalidir. Deneylerde en yüksek HC emisyonu LY100 yakıtının kullanımında elde edilmiş olup bunu LY75 ve LY50 yakıtları izlemiştir. Genel olarak DY-LY karışımlarında kullanılan LY oranı arttıkça HC emisyonu da artış göstermiştir. Yüksek oranlarda LY içeren karışımların HC emisyonu miktarları DY yakıtına göre çok yüksek çıkmıştır. Bu durumda, LY ve bu yakıtın DY yakıtı ile olan karışımlarından LY75 ve LY50 yakıtlarının dizel motorlarında kullanılabilirliği azalmıştır. LY100, LY75 ve LY50 yakıtlarının kullanımında SO₂, duman koyuluğu, CO ve HC emisyonları çok yüksek değerlerde çıktığından bu yakıtların dizel motorlarında kullanıma uygun olmadığı sonucu çıkarılabilir.

18. DKLY yakıtının dizel motorlarında motor parçaları üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğunu ortaya çıkarmak ve uzun süreli kullanım için uygun olup olmadığını saptamak için 50 saatlik uzun süreyle kullanılmıştır. DY yakıtı ve DKLY100 yakıtlarının 50 saatlik kullanımından sonra motor parçaları sökülmüş ve emme ve egzoz kanalları, silindir üst kapağı, supaplar, yakıt enjektörü ve silindir üst kısımları gözlemlenmiştir. DY yakıtı ve DKLY100 yakıtlarının kullanımında oluşan is birikintilerinin renkleri farklı olmuştur. DY yakıtının 50 saatlik kullanımı sonucunda oluşan birikintinin rengi siyah ve parlak iken DKLY100 yakıtında oluşan isin rengi ise daha açık renkte ve mat olarak gözlenmiştir. Bunun yanı sıra DKLY100 ile 50 saatlik çalışma sonucunda oluşan kurum çok kuru iken DY çalışması sonucunda oluşan

kurumlar ise daha ıslak ve yapışkan olmuştur. DKLY100 yakıtının 50 saatlik kullanımı sonucunda motorun çalışmasında herhangi bir anormal durum oluşmamıştır. Bunun yanı sıra motor parçalarında herhangi bir kırılma, çatlama veya eğilme meydana gelmemiştir. Bu süre boyunca yakıtın püskürtülmesinde herhangi bir sorun yaşanmamış ve motorun yağlama yağı, yağlama özelliğini kaybetmemiştir.

DKLY yakıtın özelliklerinin dizel yakıtına daha da yaklaştırılması amacıyla, etil alkol, dimetil eter, metil tert bütıl eter, vb. katkı maddeleri kullanılarak bu katkı maddelerinin kullanımında yakıtın performans ve emisyon parametreleri açısından motordaki davranışı araştırılabilir. Bunun yanı sıra DKLY yakıtının dizel yakıtıyla düşük oranlardaki karışımları da yakıt olarak test edilebilir. Ayrıca, Fischer-Tropsch Sentezi yöntemi ile atık taşıt lastiklerinden dizel veya benzinli motor yakıtı üretimi üzerine araştırmalar yapılması önerilmektedir.

Sonuç olarak, ülkemizin içinde bulunduğu ekonomik şartlar da göz önüne alındığında, özellikle enerji sorunu açısından, potansiyele sahip bir atık olan kullanılmış atıl durumdaki taşıt lastiklerinin, kurulacak bir piroliz ünitesinde dizel yakıtı olarak değerlendirilmesi son derece faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Pamir, A.N.**, 2003. Dünyada ve Türkiye'de Enerji, Türkiye'nin Enerji Kaynakları Politikaları, Metalurji Dergisi, **3**, 6-9.
- [2] <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/>. EIA, International Energy Outlook. 23 Aralık 2010.
- [3] www.enerji.gov.tr. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2001 Verileri.
- [5] www.bp.com/statisticalreview. BP Enerji Raporu, 21. Aralık 2010.
- [4] <http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/turkey.html>. Energy information Administration verileri. 26 Kasım 2010
- [6] <http://www.dektmk.org.tr/>. Dünya Enerji konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye Enerji Raporu, 4 Temmuz 2010.
- [7] **Mastral, A.M., Murillo, R., Callen, M.S. and Garcia, T.**, 1999. Application of coal conversion technology to tire processing, Fuel Processing Technology, **60** (3), 231-242.
- [8] **Sugözü, İ., Mutlu, İ.**, 2009. Atık Taşıtların Lastikleri ve Değerlendirme Yöntemleri, Taşıtların Teknolojileri Elektronik Dergisi, **1/1**, 35-46
- [9] **Bridgwater, A.V.**, 1991. Review of thermochemical biomass conversion, Crown Company, UK.
- [10] **Pişkin, E.**, 1987. Polimer teknolojisine giriş, İnkılap Kitabevi, Ankara,
- [11] **Bridgwater, A.V.**, 1984. The thermochemical processing system, Thermochemical processing of biomass, A.V. Bridgwater (Eds.), pp:35-52, Butterworths, UK.
- [12] **Buekens, A.G. and Schoeters, J.G.**, 1986. European experience in the pyrolysis and gasification of solid wastes, Conversation and Recycling, **9**, 253-269.
- [13] **Meier, D. and Rupp, M.**, 1991. Direct catalytic liquefaction technology of biomass: Status and review, Biomass pyrolysis liquids upgrading and utilisation, A.V. Bridgwater and G. Grassi (Eds.), pp:155-176, Elsevier Applied Science, London.
- [14] **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.

- [15] **Bridgwater, A.V.**, 1990, Biomass pyrolysis technology, Biomass for Energy and Industry, *5th E.C. Conference*, G. Grassi, G. Gosse and G. Dos Santos (eds.), Elsevier Applied. Sci., London and New York, 2, 489-496.
- [16] **Bridgwater, A.V. and Cottam, L.M.**, 1992, Opportunities for biomass pyrolysis liquids production and upgrading, *Energy & Fuels*, **6**, 113-120.
- [17] **Bridge, S.A. and Bridgwater, A.V.**, 1990, The principles of flash pyrolysis for liquid fuels production, Biomass for Energy and Industry, *5th E.C. Conference*, G. Grassi, G. Gosse and Dos Santos (eds.), Elsevier Applied. Sci., London.
- [18] **Encinar, J.M., Beltran, F.J., Ramiro, A. and Gonzales, J.F.**, 1998. Pyrolysis/Gasification of agricultural residues by carbon dioxide in the presence of different additives: Influence of variables, *Fuel Processing Technology*, **55**, 219-233.
- [19] **Bridgwater, A.V.**, 1994. Catalysis in thermal biomass conversion, *Applied Catalysis, A General*, **116**, 5-47.
- [20] **Bridgwater, A.V., Toft, A.J. and 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**, 181-248.
- [21] **Lemieux, R., Roy, C., Caumia, B.D. and 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.
- [22] **Barth, T.**, 1999. Similarities and differences in hydropyrolysis and source rocks, *Organic Geochemistry*, **30**, 1495-1507.
- [23] **Lucchesi, A. and Maschio, G.**, 1989. Thermochemical conversion of biomass: A study of pyrolysis of biomass, *Pyrolysis as a basic technology for large agro-energy project*, E. Mattuci, G. Grassi and W. Palz (eds.), Published by Commision of the E.C., Luxembourg, 216-220.
- [24] **Bridgwater, A.V. and Bridge, S.A.**, 1991. A.V. Bridgwater (ed.), *Pyrolysis liquids upgrading and utilization*, Elsevier Applied Science, **12**, 145-165.
- [25] **Esnouf, C., François, O. And Churn, E.**, 1990. A review of pyrolysis product characteristics and upgrading technologies to liquid fuels, Biomass for energy and industry, *V. E.C Conference*, Elsevier Applied Science, London and NewYork, **2**, 482-489.
- [27] **Zansi, R., Sjöström, K., Björnbom, E.**, 1996. Rapid high temperature pyrolysis of biomass in a free-fall reactor, *Fuel*, **75**, 545-550.
- [28] **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*, **84**, 262-275.

- [29] **Bridgwater, A.V., Meier, D. And Radlein, D.,** 1999. An overview of fast pyrolysis of biomass, *Organic Geochemistry*, 1479-1493.
- [30] **Minkova, V., Razvigorova, M., Goranova, M., Ljutzkanov, L., Angelova, G.,** 1990. Effect of water vapour on the pyrolysis of fuels, *Fuel*, **70**, 713-719.
- [26] **Yaman, S.,** 2004. Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemicals feedstocks, *Energy Conversion and Management*, **45**, 651-671.
- [31] http://www.rma.org/publications/scrap_tires/index.cfm?PublicationID=11453 Rubber Manufacturers Association (RMA), Scrap Tire Markets in The United States 2005, 29 Kasım 2010.
- [32] **Reisman, J.I.,** 1997. Air Emissions from Scrap Tire Combustion, EPA-600/R-97-115,
- [33] **Schnecko, H.,** 1998. Rubber recycling, *Macromol. Symp.* **135**, 327-332.
- [34] **Jang, J.W., Yoo, T.S., Oh, J.H. and Iwasaki, I.,** 1998. Discarded tire recycling practices in the United States, Japan and Korea *Resour. Conserv. Recy.* **22**, 1-14.
- [35] **Mui, E.L.K., Ko, D.C.K., and McKay, G.,** 2004. Production of active carbons from waste tyres- a Review, *Carbon* **42**, 2789–2805.
- [36] **Cunliffe, A.M. and Williams, P.T.,** 1998. Composition of oils derived from the batch pyrolysis of tyres, *J. Anal. Appl. Pyrol.*, **44**, 131-138.
- [37] **Williams, P.T. and Brindle, A.J.,** 2003. Temperature selective condensation of tyre pyrolysis oils to maximise the recovery of single ring aromatic compounds, *Fuel*, **82**, 1023–1031
- [38] **Ucar, S., Karagöz, S., Ozkan, A.R. ve Yanik, J.,** 2005. Evaluation of two different scrap tires as hydrocarbon source by pyrolysis, *Fuel*, **84**, 1884-1891.
- [39] **Berruenco, C., Esperanza, E., Mastral, F.J., Ceamanos, J., Garcí'a-Bacaicoa, P.,** 2005. Pyrolysis of waste tyres in an atmospheric static-bed batch reactor: Analysis of the gases obtained, *J. Anal. Appl. Pyrol.*, **74**, 245-253.
- [40] **Laresgoiti, M.F., De Marco, I., Torres, A., Caballero, B.M., Cabrero, M.A. and Chomón, M.J.,** 2000. Chromatographic analysis of the gases obtained in tyre pyrolysis, *J. Anal. Appl. Pyrol.*, **55**, 43-54
- [43] **De Marco, I., Laresgoiti, M.F., Cabrero, M.A., Torres, A., Chomón, M.J. and Caballero, B.M.,** 2001. Pyrolysis of scrap tyres, *Fuel Processing Technology*, **72**, 9-22.
- [41] **Williams, P.T. and Besler, S.,** 1995. Pyrolysis-thermogravimetric analysis of tyres and tyre components, *Fuel*, **74** (9), 1277-1283.

- [42] **Teng, T., Serio, M.A., Wójtowicz, M.A., Bassilakis, R. and Solomon, P.R.,** 1995. Reprocessing of Used Tires into Activated Carbon and Other Products, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **34**, 3102-3109.
- [44] **Cunliffe, A.M. and Williams, P.T.,** 1998. Composition of oils derived from the batch pyrolysis of tyres, *J. Anal. Appl. Pyrol.*, **44**, 131-152.
- [45] **Williams, P.T., Besler, S. and Taylor, D.T.,** 1990. The Pyrolysis of Automotive Tires: The Influence of Temperature and Heating Rate on Product Composition, *Fuel*, **69**, 1474-1482.
- [46] **Napoli, A., Soudais, Y., Lecomte, D. and Castillo, S.,** 1997. Scrap tyre pyrolysis: Are the effluents valuable products, *J. Anal. Appl. Pyrol.*, **40**, 373-382.
- [47] **Kaminsky, W. and Sinn, H.,** 1980. Thermal Conversion of Solid Wastes and Biomass, ACS Symposium Series, 130, American Chemical Society, Washington DC.
- [48] **Kaminsky, W.,** 1991. Recycling of polymeric materials by pyrolysis., *Makromol. Chem., Macromol. Symp.* **48/49**, 381-393
- [49] **Kaminsky, W.,** 1992. Possibilities and Limits of Pyrolysis, *Makromol. Chem., Macromol. Symp.* **57**, 145-160.
- [50] **Mirmiran, S., Pakdel, H. and Roy, C.,** 1992. Characterization of used tire vacuum pyrolysis oil: Nitrogenous compounds from the naphtha fraction, *J. Anal. Appl. Pyrol.*, **22**, 205-212.
- [51] **Roy, C., Unsworth, J.,** 1989. Pyrolysis and Gasification, Elsevier, London, UK.
- [52] **Roy, C., Rastegar, A. and Kaliaguine, S.,** 1995. Darmstadt, H. Physicochemical Properties of Carbon Blacks From Vacuum Pyrolysis of Used Tires; *Plast. Rubber Composites Process. Appl.*, **23**, 21-30.
- [53] **Kawakami, S., Inoue, K. and Tanaka, H.,** 1980. Pyrolysis Process for Scrap Tyres. In *Thermal Conversion of Solid Waste and Biomass*, Jones, J.L., Radding, S.B., Eds., ACS Symposium Series 130, American Chemical Society, Washington, DC, pp 557-572.
- [54] **Collin, G.,** 1980. Thermal Conversion of Solid Wastes and Biomass, ACS Symposium Series, 130, American Chemical Society, Washington, DC.
- [55] **Aguado, R., Olazar, M., Arabiourrutia, M., Alvarez, S. and Bilbao, J.,** 2003, Proceedings of the VIII Congreso de Ingeniería Ambiental PROMA'03, Bilbao, Spain.

- [56] **Berrueco, C., Esperanza, E., Mastral, F.J., Ceamanos, J. and Garcia-Bacaicoa P.,** 2005. Pyrolysis of waste tyres in an atmospheric static-bed batch reactor, Analysis of the gases obtained, *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, **74**, 245–253.
- [57] **Williams, P.T., Bottrill, R.P. and Cunliffe, A.M.,** 1998. Combustion of tyre pyrolysis oil, *Transactions of the Institution of Chemical Engineers, Part B, Process, Safety and Environmental Protection*, **76**, 291–301.
- [58] **Rodriguez, I.M., Laresgoiti, M.F., Cabrero, M.A., Torres, A., Chomón, M.J. and Caballero, B.,** 2001. Pyrolysis of scrap tyres, *Fuel Processing Technology*, **72**, 9-22.
- [59] **Roy, C., Chaala, A., Darmstadt, H.,** 1999. The Vacuum Pyrolysis of Used Tires End-Uses for Oil and Carbon Black Products, *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, **51**, 201-221.
- [60] **Williams, P.T., Brindle, A.J.,** 2002. Catalytic pyrolysis of tyres, influence of catalyst temperature, *Fuel*, **81**, 2425–2434
- [61] **Nguyen A,D, Sujitra W. and Sirirat J.,** 2009. Effects of pyrolysis temperature and Pt-loaded catalysts on polar-aromatic content in tire-derived oil, *Applied Catalysis B: Environmental*, **91**, 300–307
- [62] **Mark, J.E., Eрман, B. and Eirich, F.,** 1994. *Science and Technology of Rubber*, 2nd Edition, Academic Press, San Diego.
- [63] **Blow, C.M. and Hepburn, C.,** 1982. *Rubber Technology and Manufacture*, 2nd Edition, Butterworths, Norwich.
- [64] **Ali, M., Perzanowski, H. and Sherif, A.,** 1991. Sulfur compounds in high -boiling fractions of Saudi Arabian crude oils, *Fuel Sci. Technol. Int.*, 397–424.
- [65] **Aitani, A., Ali, M. and 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.
- [66] **Yürüm, Y.,** 1994. Afşin Elbistan linyitlerinin kimyasal yöntemlerle kükürtsüzleştirilmesi ve katalitik dekarboksilasyon süreci ile kalitelerinin yükseltilmesi, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Proje no: KTÇAG48, Ankara, Türkiye.
- [67] **Atar, A.,** 1978. Chemistry, thermodynamics and kinetics of reactions of sulphur in coal-gas reactions, A review *Fuel*, **57**, (2), 201-212
- [68] **Atar, A., and Condordan, W. H.,** 1977. Sulfur compounds in coal, *İnd. Eng. Prod. Res. Dev.*, **16**, 168-170
- [69] European standart for gasoline, 1999. EN 228/1999 and for diesel EN 590/1999.

- [70] **Topsoe, H., Glaussen, B.S. and Massoth, F.E.,** 1996. Hydrotreating Catalysis: Science and Technology, Springer-Verlag, Berlin.
- [71] **Lecrenay, E., Sakanishi, K. And Mochida, I.,** 1997. Catalytic hydrodesulfurization of gas oil and model sulfur compounds over commercial and laboratory-made CoMo and NiMo catalysts: Activity and reaction scheme, *Catal. Today*, **39**, 13-20.
- [72] **Topsøe, H., Hinnemann, B., Nørskov, J.K., Lauritsen, J.V., Besenbacher, F., Hansen, P.L., Hytoft, G., Egeberg, R.G. and Knudsen, K.G.,** 2005. The role of reaction pathways and support interactions in the development of high activity hydrotreating catalyst *Catal. Today* **107–108**, 12-22.
- [73] **Shafi, R. and Hutchings, G.J.,** 2000. Hydrodesulfurization of hindered dibenzothiophenes: an overview, *Catal. Today*, **59**, 423-442.
- [74] **Song, C.,** 2003. An overview of new approaches to deep desulfurization for ultra-clean gasoline, diesel fuel and jet fuel, *Catalysis Today*, **86**, (1–4) 211-263.
- [75] **Directive of the European Parliament and of the Council,** Brussels COM, 2003, (11.05.2001) 241 final (BS EN 590-2004/DIN EN 590-2004) Automotive fuels, Diesel, Requirements and test methods; and 2003/17/EC OJ L **76**, pp. 10.
- [76] **EPA-Diesel RIA,** United States Environmental Protection Agency, Air and Radiation, EPA 420-R-00-026, December 2000; and Clean Air Act Tier 2; 1999.
- [77] **Zamfirache, R. and Blidisel, I.,** 1995. Environmentally friendly diesel fuel produced from middle distillates generated by conversion processes, *Catalists in Petroleum Refining and Pertochemical Industries*, pp:217-224
- [78] **Ali, M.F., Al-Malki, A., El-Ali, B., Martinie, G. and Siddiqui, M.,** 2006. Deep desulphurization of gasoline and diesel fuels using non-hydrogen consuming techniques, *Fuel*, **85**, 1354 1363.
- [79] **Babich, I. and Moulijn, J.,** 2003. Science and technology of novel process for deep desulfurization of oil refinery streams: review, *Fuel* **82**, 607–631.
- [80] **Frank, J. and Yuan, H.,** 2003. Production of ultra-low sulfur fuels by selective hydroperoxide oxidation, NPRA, AM -03-23, Annual Meeting March 23–25
- [81] **Chica, A., A., Corma. and Domine, E.M.,** 2006. Catalytic oxidative desulfurization (ODS) of diesel fuel on a continuous fixed-bed reactor. *Journal of Catalysis*, **242**, 299-308.
- [82] **Long, R. and Caruso, F.,** 1985. Selective separation of heavy oil using a mixture of polar and nonpolar solvents, USA patent **4,493,765**.

- [83] **Gore, W.**, 2001. Method of desulfurization of hydrocarbons, USA Patent, **6,274,785**.
- [84] **Jia, Y., Li, G., Ning, G. and Jin. C.**, 2009. The effect of N-containing compounds on oxidative desulphurization of liquid fuel, *Catalysis Today*, **140**, 192–196
- [85] **Alhamed, Y.A., Bamufleh, H.S.**, 2009. Sulfur removal from model diesel fuel using granular activated carbon from dates' stones activated by ZnCl₂, *Fuel*, **88**, 87-94
- [86] **Arpa, O., Yumrutas, R. ve Demirbas, A.**, 2010. Production of diesel-like fuel from waste engine oil by pyrolytic distillation, *Applied Energy*, **87**, 122–127.
- [87] **Ali, M.F., Al-Malki, A. and Ahmed, S.**, 2009. Chemical desulfurization of petroleum fractions for ultra-low sulfur fuels, *Fuel Processing Technology*, **90**, 536–544
- [88] **Balcı, M.**, 1986. Dört-zamanlı turbo şarj direkt püskürtmeli bir dizel motorunun bilgisayar ile simülasyonu, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ANKARA.
- [89] **Yücesu, H.S., Altun, R. ve Çetinkaya, S.**, 2001. Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının deneysel incelenmesi, *Turkish J. Engin. Environ. Sci.*, **25**, 39-49.
- [90] **Murugan, S., Ramaswamy, M.C. and Nagarajan G.**, 2008. Performance, emission and combustion studies of a DI diesel engine using Distilled Tyre pyrolysis oil-diesel blends, *Fuel Processing Technology*, **89**, 152 – 159
- [91] **Williams, P.T., Bottrill, R.P. and Cunliffe, A.M.**, 1998. Combustion of Tyre pyrolysis oil, *ICHEME*, **76**, 291–301.
- [92] **Zabaniotou, A. and Stavropoulos A.**, 2003. Pyrolysis of used automobile tires and residual char utilization, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **70**, (2) 711–722.
- [93] **Murugan, S., Ramaswamy, M.C. and Nagarajan, G.**, 2007. Running a diesel engine with higher concentration TPO-DF, *Proceedings of the National conference of Research Scholars in Mechanical Engineering*, IIT Kanpur.
- [94] **Murugan, S., Ramaswamy, M.C., Nagarajan, G.**, 2006. Production of tyre pyrolysis oil from waste automobile tyres, In: *The Proceedings of National Conference on Advances in Mechanical Engineering*, pp. 899–906.
- [95] **Murugan, S. Ramaswamy, M.C. and Nagarajan, G.**, 2008. The use of tyre pyrolysis oil in diesel engines, *Waste Management*, **28**, (12), 2743-2749

- [95] **Williams, P.T., Besler, S. and Taylor, D.T.**, 1990. The Pyrolysis of Automotive Tires: The Influence of Temperature and Heating Rate on Product Composition, *Fuel*, **69**, 1474-1482.
- [96] **Kawakami, S., Inoue, K., Tanaka, H. and Sakai, T.**, 1980. Pyrolysis process for scrap tyres, in: J.L. Jones, S.B. Radding (Eds.), *Thermal Conversion of Solid Wastes and Biomass*, ACS Symposium Series 130, American Chemical Society Publishers, Washington DC.
- [97] **Wolfson, D.E., Beckman, J.A., Walters, J.G. and Bennett, D.J.**, 1969. Destructive distillation of scrap tyres, US Dept. of Interior, Bureau of Mines Report of Investigations 7302.
- [98] **Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, E. ve Sorousbay. C.**, 1995. İçten yanmalı motorlar, Birsan yayınevi, İstanbul.
- [99] **Heywood, J.B.**, 1998. *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw Hill, New York.
- [100] **Altın, R.**, 1998. Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılmasının Deneyisel Olarak İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ANKARA.
- [101] **İlkılıç, C.**, 1999. Çeşitli alternatif yakıtların dizel motoru emisyonlarına etkilerinin teorik ve deneysel incelenmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ELAZIĞ.
- [102] www.tupras.gov.tr. TPAO. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı.
- [103] **Altun, Ş.**, 2009. Hayvansal yağlardan biyo-yakıt üretimi ve bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin deneysel araştırması, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ELAZIĞ.
- [104] **Ullman, T.L., Spreen, K.B, Mason, R.L.**, 1994. Effects of cetane number, cetane improver, aromatics, and oxygenates on heavy-duty diesel engine emissions, SAE paper, 941020.

1000 dev./dak.'da DKLY yakıtları için motor deneyi sonuçları

Parametre/yakıt	DY	DKLY50	DKLY75	DKLY100
Moment (Nm)	17,36	16,78	16,19	15,30
Pme (kPa)	541,16	522,82	504,47	476,84
Güç (kW)	2,47	2,39	2,30	2,25
ÖYT (gr/kWh)	367	400	436	493
YT (kg/h)	0,91	0,96	1,01	1,10
Egzoz sıcaklığı (°C)	216	204	210	218
CO (%)	1,95	1,89	1,69	1,97
NO _x (ppm)	144	72	71	69
HC (ppm)	264,30	307,10	309,00	378,60
Duman koyuluğu (%)	77,10	82,00	84,00	89,20
CO ₂ (%)	2,40	2,00	2,20	2,30
O ₂ (%)	15,36	15,70	15,60	15,20
HFK (Lambda)	2,66	2,65	2,47	2,40

1500 dev./dak.'da DKLY yakıtları için motor deneyi sonuçları

Parametre/yakıt	DY	DKLY50	DKLY75	DKLY100
Moment (Nm)	18,44	17,85	17,95	17,24
Pme (kPa)	574,79	556,45	559,51	537,31
Güç (kW)	3,94	3,81	3,83	3,64
ÖYT (gr/kWh)	315	330	355	384
YT (kg/h)	1,24	1,26	1,36	1,40
Egzoz sıcaklığı (°C)	286	275	264	256
CO (%)	1,38	1,72	1,52	1,80
NO _x (ppm)	262	160	113	93
HC (ppm)	288,70	314,70	341,60	385,00
Duman koyuluğu (%)	65,00	69,60	73,80	80,40
CO ₂ (%)	2,40	2,20	2,10	2,00
O ₂ (%)	15,55	15,60	15,50	14,80
HFK (Lambda)	3,53	3,43	3,46	3,24

2000 dev./dak.'da DKLY yakıtları için motor deneyi sonuçları

Parametre/yakıt	DY	DKLY50	DKLY75	DKLY100
Moment (Nm)	19,33	18,93	18,05	15,70
Pme (kPa)	602,31	590,08	562,56	489,19
Güç (kW)	5,50	5,39	5,14	4,81
ÖYT (gr/kWh)	255	287	305	345
YT (kg/h)	1,40	1,55	1,57	1,66
Egzoz sıcaklığı (°C)	323	318	302	298
CO (%)	1,32	1,95	1,55	1,47
NO _x (ppm)	71	74	71	43
HC (ppm)	281,90	292,00	343,00	365,00
Duman koyuluğu (%)	61,30	62,80	65,80	71,10
CO ₂ (%)	3,61	3,50	2,72	2,46
O ₂ (%)	14,91	14,22	14,61	14,43
HFK (Lambda)	3,56	2,88	3,39	3,17

2500 dev./dak.'da DKLY yakıtları için motor deneyi sonuçları

Parametre/yakıt	DY	DKLY50	DKLY75	DKLY100
Moment (Nm)	18,05	18,25	14,42	13,71
Pme (kPa)	562,56	568,68	449,44	427,29
Güç (kW)	6,27	6,03	5,49	5,31
ÖYT (gr/kWh)	326	351	408	429
YT (kg/h)	2,04	2,12	2,24	2,28
Egzoz sıcaklığı (°C)	390	372	367	356
CO (%)	1,62	1,97	1,78	1,69
NO _x (ppm)	45	63	57	78
HC (ppm)	212,20	249,20	285,30	318,00
Duman koyuluğu (%)	61,00	65,50	68,30	72,60
CO ₂ (%)	3,20	2,40	2,80	2,40
O ₂ (%)	15,34	15,00	15,00	15,20
HFK (Lambda)	3,54	2,40	3,16	2,92

1000 dev./dak.'da LY yakıtları için motor deneyi sonuçları

Parametre/yakıt	DY	LY5	LY10	LY15	LY25	LY35	LY50	LY75	LY100
CO (ppm)	1,95	2,14	2,25	3,00	2,80	3,19	3,84	5,77	7,05
NO _x (ppm)	421	387	333	392	344	347	295	228	195
SO ₂ (ppm)	170	240	230	330	340	360	380	420	450
HC (ppm)	264,30	373,13	357,58	513,05	528,60	559,69	700,00	823,00	924,00
Duman (%)	77,1	83,8	87,02	90,24	93,46	96,68	99,9	99,9	99,9
Moment (Nm)	17,36	17,46	17,36	17,17	16,78	16,78	16,11	15,56	15,05
Güç (kW)	2,47	2,29	2,26	2,31	2,28	2,20	2,01	2,22	2,04
Egzoz sıcaklığı (°C)	136	145	125	140	118	133	126	116	110
ÖYT (gr/kWh)	367,23	365,17	367,23	371,43	380,12	380,12	395,88	409,88	423,77

1500 dev./dak.'da LY yakıtları için motor deneyi sonuçları

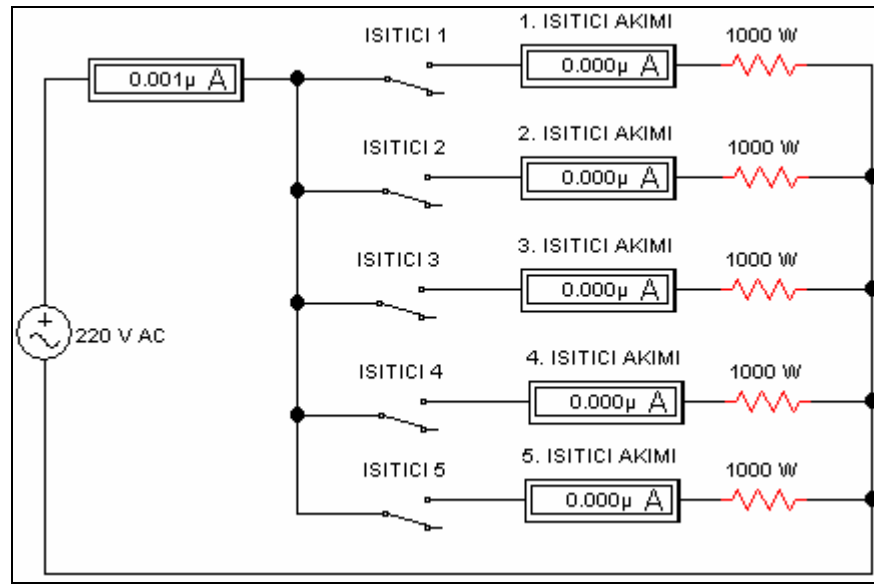
Parametre/yakıt	DY	LY5	LY10	LY15	LY25	LY35	LY50	LY75	LY100
CO (ppm)	1,38	1,50	1,44	1,67	1,25	1,54	2,06	2,61	2,96
NO _x (ppm)	265	281	175	268	170	216	207	196	183
SO ₂ (ppm)	200	194	220	310	350	380	450	530	614
HC (ppm)	288,70	325,00	317,57	447,49	505,23	548,53	649,58	765,06	886,31
Duman (%)	65	65,7	73,7	86,6	84,18	90,34	96,5	99,9	99,9
Moment (Nm)	18,44	18,44	18,25	18,34	18,25	18,05	17,58	17,35	17,03
Güç (kW)	3,94	3,92	3,83	3,84	3,83	3,81	3,67	3,69	3,64
Egzoz sıcaklığı (°C)	182	180	139	175	139	168	152	140	133
ÖYT (gr/kWh)	319,15	319,15	322,58	320,86	322,58	326,09	334,87	339,31	345,69

2000 dev./dak.'da LY yakıtları için motor deneyi sonuçları

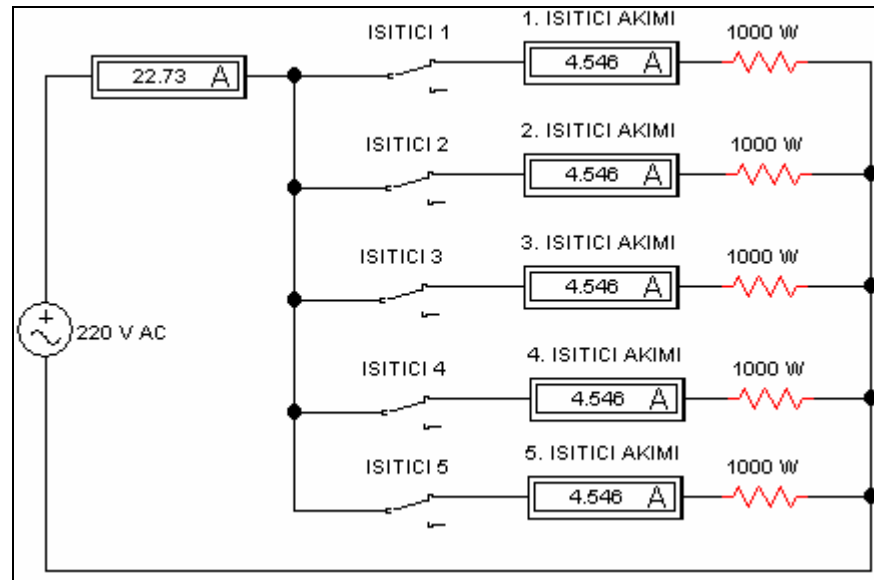
Parametre/yakıt	DY	LY5	LY10	LY15	LY25	LY35	LY50	LY75	LY100
CO (ppm)	1,32	1,60	1,66	1,78	1,37	1,67	2,00	2,56	2,77
NO _x (ppm)	73	54	46	61	46	78	72	78	82
SO ₂ (ppm)	320	350	360	410	500	580	850	1130	1380
HC (ppm)	281,90	308,33	317,14	417,00	440,47	510,94	748,80	995,46	1215,69
Duman (%)	61,3	63,7	70,5	78,98	83,82	84,3	93,5	98,9	99,9
Moment (Nm)	19,33	18,64	18,64	18,84	18,64	18,44	18,17	17,62	17,12
Güç (kW)	5,50	5,36	5,05	5,24	5,11	5,29	4,86	4,68	4,52
Egzoz sıcaklığı (°C)	209	217	181	206	179	202	188	177	155
ÖYT (gr/kWh)	279,19	289,47	289,47	286,46	289,47	292,55	296,99	306,27	315,21

2500 dev./dak.'da LY yakıtları için motor deneyi sonuçları

Parametre/yakıt	DY	LY5	LY10	LY15	LY25	LY35	LY50	LY75	LY100
CO (ppm)	1,62	1,78	2,08	1,99	2,09	2,21	2,56	3,04	3,53
NO _x (ppm)	53	48	46	44	58	56	76	102	121
SO ₂ (ppm)	580	690	1060	1130	1140	1250	1430	1620	2045
HC (ppm)	212,20	252,44	273,00	309,00	341,00	457,33	523,18	860,00	1090,00
Duman (%)	61	62,5	62,92	68,84	73,3	80,68	97,2	99,9	99,9
Moment (Nm)	18,05	18,54	18,25	18,13	18,01	17,53	17,05	16,29	15,33
Güç (kW)	6,27	6,27	6,20	6,05	6,21	6,12	5,87	5,43	5,00
Egzoz sıcaklığı (°C)	230	234	226	243	224	231	228	226	225
ÖYT (gr/kWh)	326,09	317,46	322,58	324,71	326,87	335,82	345,28	361,39	384,03

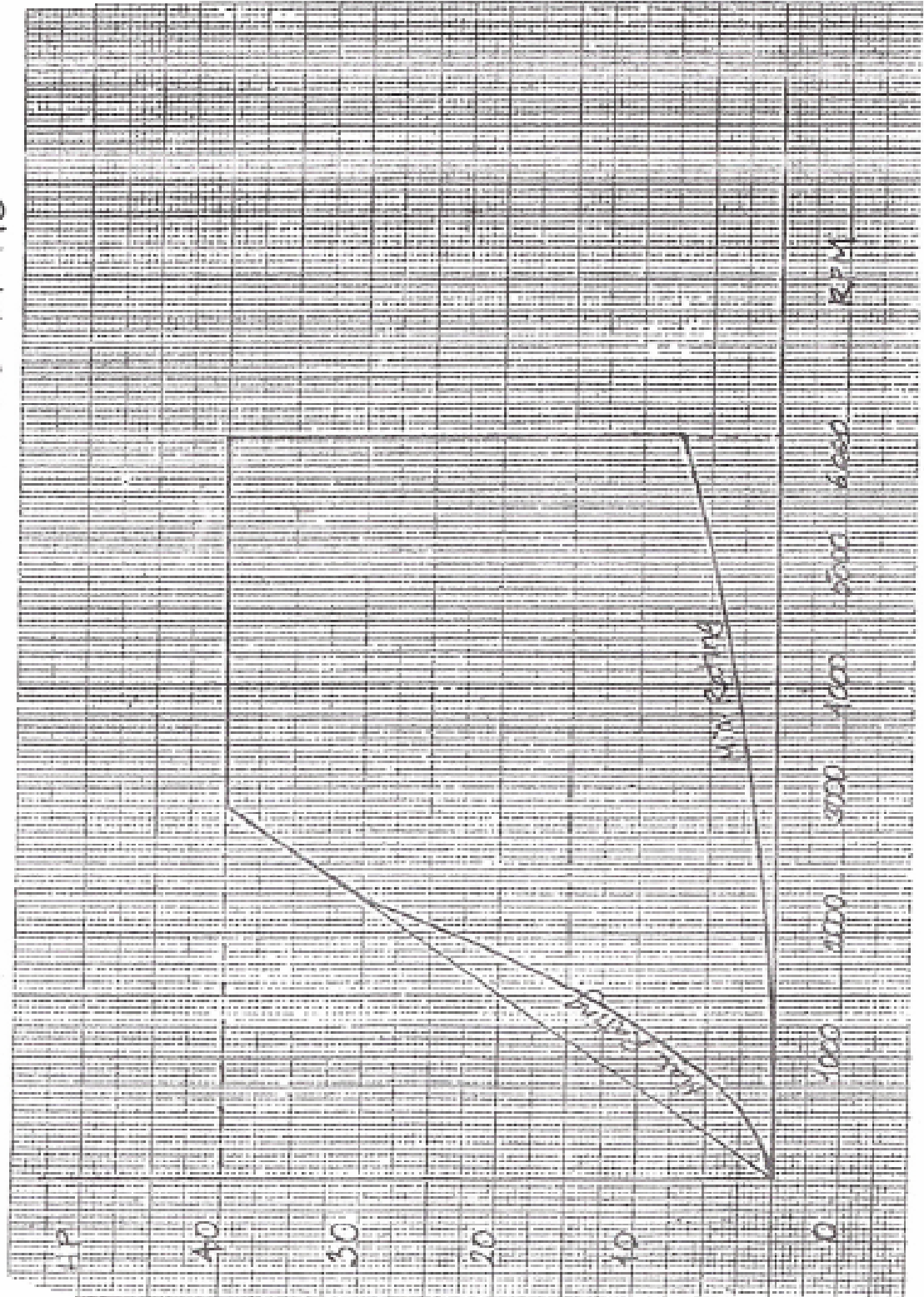


Açık devre reaktör şeması

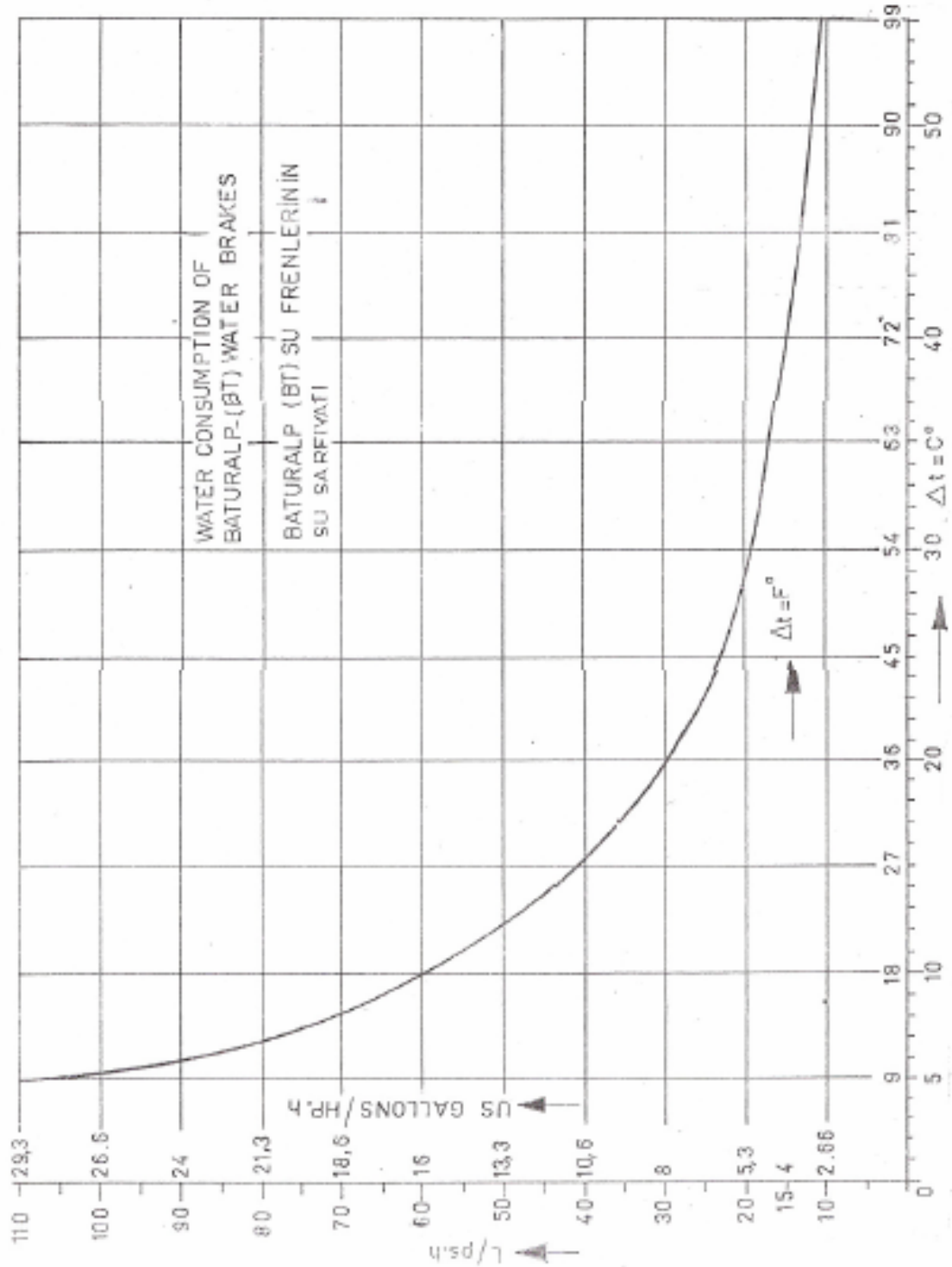


Kapalı devre reaktör şeması

POWER ABSORPTION CURVE OF THE BRAKE BT-140



BT-140 hidrolik dinamometresinin güç emilimi eğrisi



BT-140 hidrolik dinamometresinin su sarfiyatı eğrisi

ÖZGEÇMİŞ

1982 Batman doğumluyum. 2000 yılında Batman Teknik Lisesi Makine Bölümü'nü okul ve bölüm birinciliği ile bitirdikten sonra aynı yıl Dicle Üniversitesi Batman Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, Otomotiv Öğretmenliği Anabilim dalında lisans eğitimine başladım. Bu bölümden 2004 yılında mezun oldum. 2005 yılında Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladım. Aynı yıl Dicle Üniversitesi Batman Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladım. 2007 yılında yüksek lisansı tamamladıktan sonra aynı yıl Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine eğitimi Anabilim dalında doktora eğitimine başladım. Halen Batman Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktayım. Evli ve bir çocuk babasıyım.

Hüseyin AYDIN