

165834

**TALL YAĞI ESASLI BİYODİZEL VE YAKIT KATKI MADDESİ
ÜRETİMİ VE BUNLARIN DİZEL MOTOR PERFORMANSI
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

Ali KESKİN

**DOKTORA TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2005
ANKARA**

Ali KESKİN tarafından hazırlanan TALL YAĞI ESASLI BİYODİZEL VE YAKIT KATKI MADDESİ ÜRETİMİ VE BUNLARIN DİZEL MOTOR PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ adlı bu tezin DOKTORA tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç.Dr. Metin GÜRÜ

Prof.Dr. Duran ALTIPARMAK

Tez Yöneticileri

Bu çalışma, jürimiz tarafından MAKİNE EĞİTİMİ Anabilim Dalında DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof.Dr. Ahmet BİÇER

Üye : Prof.Dr. Duran ALTIPARMAK

Üye : Prof.Dr. Nuri YÜCEL

Üye : Prof.Dr. Kadir AYDIN

Üye : Yrd.Doç.Dr. Yakup İÇİNGÜR

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

**TALL YAĞI ESASLI BİODİZEL VE YAKIT KATKI MADDESİ
ÜRETİMİ VE BUNLARIN DİZEL MOTOR PERFORMANSI
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

(Doktora Tezi)

Ali KESKİN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2005

ÖZET

Meydana gelen enerji krizleri, çevresel kaygılar ve ayrıca petrole olan bağımlılıkların artması nedeni ile alternatif yenilenebilir enerji kaynakları alanında araştırmalar büyük bir hızla devam etmektedir. Bunlardan bir tanesi de dizel yakıtına alternatif olan biyodizeldir.

Bu çalışmada kağıt fabrikalarında üretim esnasında yan ürün olarak ortaya çıkan tall yağının, biyodizel ve yakıt katkı maddesi üretiminde kullanımı araştırılmıştır. Ham tall yağı distile edilerek reçine ve yağ asitlerine ayrılmıştır. Tall yağı yağ asitlerinden metil ester (Biyodizel) üretilip, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Tall yağı reçine asitleri NiO, MoO₃, MgO, MnO₂ ve Co₃O₄ bileşikleriyle reaksiyona sokularak metalik yakıt katkı maddeleri sentezlenmiştir. Tall yağı metil esterinin dizel yakıtı ile %60 oranındaki karışımına, metalik yakıt katkı maddeleri 4 µmol/l, 8 µmol/l ve 12 µmol/l oranlarında dozlanarak deney yakıtları elde edilmiştir. Katkı maddeleri biyodizel yakıtların yakıt özelliklerinde iyileşmeler sağlamıştır.

Deney yakıtları tek silindirli modifiye edilmemiş bir dizel motorunda tam yük şartlarında denenerek performans ve emisyon değerleri belirlenmiştir. Deney yakıtları tork ve güç değerlerinde dizel yakıtı değerlerine göre artış eğilimleri göstermiştir. Özgül yakıt tüketimim değerleri büyük oranda deney yakıtlarının

ısıll değerlerine bağlı olarak artışlar göstermiştir. Emisyon değerlerinde önemli ölçüde iyileşmeler tespit edilmiştir.

Deney yakıtları fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dizel yakıtı değerlerine yakın olması ile birlikte motor performans ve emisyon sonuçlarındaki iyileşmeler nedeni ile dizel yakıtına alternatif olabileceği sonucuna varılmıştır.

Bilim Kodu : 708

Anahtar Kelimeler : Tall yağı metil esteri, Biyodizel, Yakıt katkı maddesi, Dizel yakıtı

Sayfa Adedi : 147

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Duran ALTIPARMAK, Doç. Dr. Metin GÜRÜ



THE PRODUCTION OF TALL OIL BASED BIODIESEL AND FUEL ADDITIVES, THE EFFECTS OF THESE ON PERFORMANCE OF DIESEL ENGINE

(Ph.D. Thesis)

Ali KESKİN

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2005

ABSTRACT

In order to solve energy crisis, to avoid the dependence for petroleum and to decrease the environmental concern, investigations on alternative renewable energy resources have been continued. One of the alternative renewable energy sources is biodiesel for diesel engine.

In this work, biodiesel and fuel additive were produced from crude tall oil that is a by-product in the pulp manufacturing by craft or sulphate pulping process. Fatty acids and resinic acids were obtained from crude tall oil by fractional distillation. Tall oil methyl ester (biodiesel) was produced from fatty acids. Fuel properties of biodiesel are determined. Resinic acids was reacted with NiO, MoO₃, MgO, MnO₂ ve Co₃O₄ for production of metallic fuel additives. Each one of the metallic fuel additives was added at rate of 4 µmol/l, 8 µmol/l and 12 µmol/l to mixture of 60% tall oil methyl ester / 40% diesel fuel for preparing test fuels. Metallic fuel additives improved fuel properties of biodiesel fuels.

Biodiesel fuels were tested in an unmodified direct injection diesel engine at full load condition for different engine speeds. Engine torque and power values showed trend of increasing with biodiesel fuels. In addition exhaust emission profile of engine improved.

It was concluded that biodiesel fuels would be an alternative fuel to diesel engine, because of improving engine performance and emission results, similar properties of biodiesel fuels with diesel fuels.

Science Code : 708

Key Words : Tall oil methyl ester, Biodiesel, Fuel Additive, diesel fuel,

Page Number: 147

Advisers : Prof. Dr. Duran ALTIPARMAK, Assoc. Dr. Metin GÜRÜ



TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca değerli yardımları ve katkıları ile beni yönlendiren Hocam Prof. Dr. Duran ALTIPARMAK ve Doç. Dr. Metin GÜRÜ'ye, yine desteklerini sürekli hissettiğim Yrd. Doç. Dr. Yakup İÇİNGÜR'e Prof. Dr. Sahir SALMAN'a ve diğer Otomotiv Anabilim Dalı personeline en içten saygılarımı sunarım. Biyodizel ve yakıt katkı maddesi üretimi esnasında yardımlarını ve imkanlarını esirgemeyen G. Ü. Kimya Mühendisliği Bölümü laboratuvar müdürü Murat GÜLER'e ve diğer laboratuvar personellerine, motor deneyleri esnasında yardımcı olan arkadaşların H. Mustafa YILDIRIM ve Hakan SOLAK'a, Öğretmen olarak çalıştığım Adana Motor Meslek Lisesindeki bütün arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim. Dualarını esirgemeyen annem ve babama, anlayış ve yardımlarından dolayı eşim Zeycan ve kızım Aysu'ya teşekkürü ederim. Yapılan bu çalışma TEF.07/2003-13 kod nolu proje tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. BİYODİZEL VE ÜRETİM METOTLARI.....	22
2.1. Yağlar.....	22
2.1.1. Doymuş yağ asitleri.....	24
2.1.2. Doymamış yağ asitleri.....	24
2.1.3 Tall yağı.....	25
2.2. Biyodizel Üretimi.....	27
2.2.1. Doğrudan kullanım.....	27
2.2.2. Mikroemülsiyon	28
2.2.3. Piroliz (Termal kraking).....	29
2.2.4. Transesterifikasyon.....	29
2.3. Biyodizel Yakıt Özellikleri.....	34
3. DİZEL YAKITI VE ÖZELLİKLERİ.....	36

Sayfa

3.1. Hidrokarbonlar.....	36
3.1.1. Parafinler.....	36
3.1.2. Naftenler.....	37
3.1.3. Aromatikler.....	37
3.1.4. Olefinler.....	38
3.2. Dizel Yakıtlarının Sınıflandırılması.....	38
3.3. Dizel Yakıtı Özellikleri.....	39
3.3.1. Akma noktası.....	39
3.3.2. Bulutlanma noktası.....	40
3.3.3. Parlama noktası.....	40
3.3.4. Isıl değer.....	40
3.3.5. Viskozite.....	40
3.3.6. Su ve çökelti (sediment).....	41
3.3.7. Distilasyon eğrisi.....	41
3.3.8. Kül.....	42
3.3.9. Kükürt.....	42
3.3.10. Bakır şerit korozyon testi.....	42
3.3.11. Setan sayısı.....	42
4. DİZEL MOTORLARDA YANMA VE KİRLERTİCİ EMİSYONLAR.....	44
4.1. Dizel Motorlarda Yanma	44
4.1.1. Tutuşma gecikmesi safhası.....	45
4.1.2. Ani yanma safhası.....	47

Sayfa

4.1.3. Kontrollü yanma safahası.....	48
4.1.4. Art yanma safahası.....	48
4.2. Dizel Motorlardan Kaynaklanan Kirletici Emisyonlar.....	49
4.2.1. Azot oksit (NO _x).....	50
4.2.2. Karbon monoksit (CO)	51
4.2.3. Hidrokarbonlar (HC).....	52
4.2.4. Kükürt oksit (SO _x).....	52
4.2.5. İs.....	53
5. MATERYAL VE METOT.....	54
5.1. Ham Tall Yağından Yağ ve Reçine Asitlerinin Ayrılması.....	54
5.2. Tall Yağı Yağ Asitlerinden Ester Üretilmesi.....	56
5.3. Organik Esaslı Metal Katkı Maddelerinin Sentezlenmesi.....	59
5.4. Motor Performans ve Emisyon Test Ekipmanları.....	63
5.4.1. Deneyde kullanılan egzoz emisyon cihazları.....	63
5.4.2. Deney motoru.....	65
5.4.3. Kontrol panelli.....	66
5.4.4. Dinamometre.....	67
5.4.5. Deney düzeneği.....	68
5.5. Motor Performans Testinin Yapılması.....	68
5.6. Hata Analizi.....	69
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	70
6.1. Tall Yağı Distilasyonu.....	70
6.2. Deney Yakıtlarının Özellikleri.....	71

Sayfa

6.3. Motor Performans ve Emisyon Testi Sonuçları.....	74
6.3.1. Tork değerleri.....	74
6.3.2. Güç değerleri.....	79
6.3.3. Özgül yakıt tüketimi değerleri.....	83
6.3.4. CO emisyonu değerleri.....	88
6.3.5. NO _x emisyonu değerleri.....	93
6.3.6. Işık absorpsiyon katsayısı dğerleri.....	98
6.3.7. Duman koyuluğu değerleri.....	103
6.3.8. Karbondioksit (CO ₂) emisyonu değerleri.....	107
6.3.9. Hava fazlalık katsayısı (HFK) değerleri.....	111
6.3.10. En iyi performans sonuçlarını veren biyodizel yakıtların D100 ile karşılaştırılması.....	114
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	116
KAYNAKLAR.....	123
EKLER.....	129
EK-1. Deneylerde Elde Edilen Motor Performans ve Emisyon Değerleri.....	130
ÖZGEÇMİŞ.....	147

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Dünya petrol rezervlerinin bölgelere dağılımı.....	2
Çizelge 1.2. 2002 itibariyle Türkiye'nin enerji rezervleri.....	5
Çizelge 1.3. Ayçiçek yağı ve ayçiçek yağı metil esteri avantaj ve dezavantajları.....	8
Çizelge 2.1. Bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	23
Çizelge 2.2. Yağ asitlerinin özellikleri.....	24
Çizelge 2.3. Çeşitli yağların bünyesindeki yağ asitlerinin yüzde dağılımı.....	25
Çizelge 2.4. Tall yağında bulunan yağ asitlerinin özellikleri.....	26
Çizelge 2.5. Dalaman ve Çaycuma tall yağı özellikleri.....	26
Çizelge 2.6. Tall yağının elementel analizi.....	27
Çizelge 2.7. Yağ asitlerinin reaksiyon sonrası özelliklerindeki değişim.....	31
Çizelge 2.8. B100 ve B20 yakıtlarının ASTM standartları.....	35
Çizelge 3.1. ASTM 975-97'ye göre dizel yakıtlarının standartları.....	39
Çizelge.5.1. Reaksiyon verim çizelgesi.....	62
Çizelge 5.2. VLT 2600S cihazının teknik özellikleri.....	64
Çizelge 5.3. Gaco-SN emisyon cihazının teknik özellikleri.....	65
Çizelge 5.4. Deney motorunun teknik özellikleri.....	65
Çizelge 5.5. Ölçüm esnasında tespit edilen maksimum hata oranları.....	69
Çizelge 6.1. Dizel yakıtı ve TE60 yakıtının fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	71

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Türkiye birincil enerji tüketiminin ve üretiminin yıllara bağlı olarak değişimi.....	3
Şekil 1.2. 2003 yılı verilerine göre ülkemizdeki birincil enerji tüketimi % dağılımları.....	4
Şekil 1.3. Transesterifikasyon esnasında zamana bağlı metil ester konsantrasyonu değişimi Sıcaklık: 65 °C Metil alkol ayçiçek yağı molar oranı: 6, katalizör: wt.%.....	13
Şekil 1.4. Transesterifikasyon esnasında zamana bağlı metil ester konsantrasyonu değişimi. Sıcaklık: 65 °C Metil alkol ayçiçek yağı molar oranı:6.....	14
Şekil 4.1. Dizel motoruna ait basınç-krank açısı diyagramı, 1. Tutuşma gecikmesi, 2. Ani Yanma Safhası, 3. Kontrollü Yanma safhası, 4. Art Yanma safhası.....	45
Şekil 4.2. HFK'nın kirletici egzoz emisyonlarına etkisi	50
Şekil 5.1. Tall yağının distilasyon düzeneği şeması.....	55
Şekil 5.2. Tall oil metil esterinin sentezlendiği reaktörün şeması.....	57
Şekil 5.3. Organometalik katkı maddelerinin sentezlendiği reaktörün şeması....	61
Şekil 5.4. Motor test düzeneğinin şematik görünümü.....	68
Şekil 6.1. Tall yağının zamana ve sıcaklığa bağlı distilasyon grafiği.....	70
Şekil 6.2. TE60 yakıtının viskozite değerinin katkı maddesi konsantrasyonuna bağlı değişimi.....	72
Şekil 6.3. TE60 yakıtının akma noktası değerinin katkı maddesi konsantrasyonuna bağlı değişimi.....	73
Şekil 6.4. TE60 yakıtının parlama noktası değerinin katkı maddesi konsantrasyonuna bağlı değişimi.....	73
Şekil 6.5. D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının tork değerleri değişimleri.....	75

Şekil	Sayfa
Şekil 6.6. D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının tork değerleri değişimleri.....	76
Şekil 6.7. D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının tork değerleri değişimleri.....	76
Şekil 6.8. D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının tork değerleri değişimleri.....	77
Şekil 6.9. D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının tork değerleri değişimleri.....	78
Şekil 6.10. D100 ve TE60-12Ni yakıtlarının tork değerleri değişimleri.....	78
Şekil 6.11. D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının güç değerleri değişimleri.....	79
Şekil 6.12. D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının güç değerlerindeki değişimleri.....	80
Şekil 6.13. D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının güç değerleri değişimleri.....	81
Şekil 6.14. D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının güç değerleri değişimleri.....	82
Şekil 6.15. D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının güç değerleri değişimleri.....	83
Şekil 6.16. D100 ve TE60-12Ni yakıtlarının güç değerlerindeki değişimleri.....	83
Şekil 6.17. D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri.....	84
Şekil 6.18. D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri.....	85
Şekil 6.19. D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri.....	86
Şekil 6.20. D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri.....	87
Şekil 6.21. D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri.....	87

Şekil	Sayfa
Şekil 6.22. D100 ve TE60-12Mn yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri.....	88
Şekil 6.23. D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının CO değerleri.....	89
Şekil 6.24. D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının CO değerleri.....	90
Şekil 6.25. D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının CO değerleri.....	91
Şekil 6.26. D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının CO değerleri.....	92
Şekil 6.27. D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının CO değerleri.....	92
Şekil 6.28. D100 ve TE60-12Mn yakıtlarının CO değerleri.....	93
Şekil 6.29. D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının NO _x emisyon değerleri.....	94
Şekil 6.30. D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının NO _x emisyon değerleri.....	95
Şekil 6.31. D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının NO _x emisyon değerleri.....	96
Şekil 6.32. D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının NO _x emisyon değerleri.....	96
Şekil 6.33. D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının NO _x emisyon değerleri.....	97
Şekil 6.34. D100 ve TE60-12Mg yakıtlarının NO _x emisyon değerleri.....	98
Şekil 6.35. D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının ışık absorpsiyon katsayısı değerleri.....	99
Şekil 6.36. D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının ışık absorpsiyon katsayısı değerleri.....	100
Şekil 6.37. D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının ışık absorpsiyon katsayısı değerleri.....	100

Şekil	Sayfa
Şekil 6.38. D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının ışık absorpsiyon katsayısı değerleri.....	101
Şekil 6.39. D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının ışık absorpsiyon katsayısı değerleri.....	102
Şekil 6.40. D100 ve TE60-12Mn yakıtlarının ışık absorpsiyon katsayısı değerleri.....	102
Şekil 6.41. D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının duman koyuluğu değerleri.....	103
Şekil 6.42. D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının duman koyuluğu değerleri.....	104
Şekil 6.43. D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının duman koyuluğu değerleri.....	104
Şekil 6.44. D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının duman koyuluğu değerleri.....	105
Şekil 6.45. D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının duman koyuluğu değerleri.....	106
Şekil 6.46. D100 ve TE60-12Mn yakıtlarının duman koyuluğu değerleri.....	106
Şekil 6.47. D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının CO ₂ emisyonu değerleri.....	107
Şekil 6.48. D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının CO ₂ emisyonu değerleri.....	108
Şekil 6.49. D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının CO ₂ emisyonu değerleri.....	109
Şekil 6.50. D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının CO ₂ emisyonu değerleri.....	109
Şekil 6.51. D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının CO ₂ emisyonu değerleri.....	110
Şekil 6.52. D100 ve TE60-12Mn yakıtlarının CO ₂ emisyonu değerleri.....	110
Şekil 6.53. D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının HFK değerleri	112

Şekil	Sayfa
Şekil 6.54. D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının HFK değerleri.....	112
Şekil 6.55. D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının HFK değerleri.....	113
Şekil 6.56. D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının HFK değerleri.....	114
Şekil 6.57. D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının HFK değerleri.....	114
Şekil 6.58. En iyi motor performans sonuçlarını veren biyodizel yakıtların ve D100 yakıtının değerlerinin değişimleri	115



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Tall yağının distilasyon düzeneği	55
Resim 5.2. Tall oil metil esterinin sentezlendiği reaktör	58
Resim 5.3. Organometalik katkı maddelerinin sentezlendiği reaktör.....	61
Resim 5.4. VLT 2600S duman cihazı.....	63
Resim 5.5. Gaco-SN marka duman emisyon cihazı.....	64
Resim 5.6. Deney motoru.....	66
Resim 5.7. Kontrol paneli.....	67
Resim 5.8. Dinamometre.....	67

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
CFPP	Soğuk Filtre Tıkanma Noktası
D100	Dizel Yakıtı
h	Saat
HC	Hidrokarbon
TE	Tall Yağı Metil Esteri
TE60	Tall Yağı Metil Esterinin Dizel Yakıtı ile %60 oranında karışımı
λ	Hava Fazlalık Katsayısı

Kısaltmalar	Açıklama
ASTM	American Society for Testing and Material
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
G.Ü.	Gazi Üniversitesi
SEKA	Seliloz Kağıt
SAE	Society of Automotive Engineering
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TSEK	Türk Standartları Enstitüsü Kurumu
TG	Tutuşma Gecikmesi
PM	Partikül Madde
YTL	Yeni Türk Lirası

1. GİRİŞ

İnsanlığın en önemli ve vazgeçilmez gereksinimlerinden birisi enerjidir. Bugün, kişi başına düşen enerji tüketimi miktarı kalkınmışlığın ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Dünyada enerji ihtiyacı meydana gelen sanayileşme ve hızlı nüfus artışı nedeniyle giderek artmaktadır ve gittikçe büyüyen bir enerji açığı ortaya çıkmaktadır.

Ülkeler gelecekleriyle ilgili plan ve projeler oluştururken kaçınılmaz olarak enerji boyutunu hesaba katmaları gerekmektedir. Enerji üretimi açısından kendi kendine yetemeyen ve dışa bağımlı olan ülkeler için enerji maliyetleri, toplumsal ve ekonomik kalkınma projeleri üzerinde önemli bir yük oluşturmaktadır.

Ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılamak için birçok değişik kaynaktan faydalanmakla birlikte toplam birincil enerji ihtiyacının %90'nı gibi büyük bir kısmını fosil kökenli yakıtlardan karşılamaktadır. Dünyada kullanılan fosil kökenli yakıtlar içinde en önemli payı %45 ile petrol almaktadır. Petrolü %16 ile doğalgaz ve %14 ile kömür takip etmektedir. Petrolün toplam enerji tüketimi içerisindeki oranı bugüne kadar sürekli artış göstermiştir. Yapılan tahminlere göre 2030 yılında petrolün payının %58'e ulaşacağı tahmin edilmektedir (1).

Başta ulaşım olmak üzere, endüstri ve konutlarda kullanılan petrol, herhangi bir madenin ötesinde uluslararası siyasi ve ekonomik stratejilerin şekillenmesinde çok önemli bir paya sahiptir. Çizelge1'de görüleceği üzere dünyadaki petrol rezervlerinin %66'sı gibi büyük bir kısmı orta doğu ülkelerinde bulunmaktadır. Dünyanın en fazla petrol rezervine sahip ülkesi %24,9 ile Suudi Arabistan'dır. Suudi Arabistan'ı %11 ile Irak, %9,3 ile Birleşik Arap Emirlikleri ve %9,2 ile Kuveyt takip etmektedir (2). Bu rezervler orta doğuyu dünya siyasetinin vazgeçilmez coğrafyalarından biri haline getirmiştir.

Petrol tüketimlerine bakıldığında, başı gelişmiş ülkeler ve nüfusu fazla olan Çin ve Hindistan gibi ülkeler çekmektedir. Dünya petrol üretiminin yaklaşık %25'i Amerika Birleşik Devletleri tarafından tüketilmektedir. Amerika'yı %7 ile Japonya ve %6,6

ile Çin takip etmektedir (1). Ortadoğu ülkelerinde tüketilen toplam petrol dünya petrol tüketiminin yaklaşık %6'sıdır.

Enerji tüketiminde bu oranda büyük paya sahip olan fosil kökenli enerji kaynaklarının bir çoğuna biçilen ömür bir insan yaşamı kadar bile uzun değildir. Yapılan tahminlere göre petrol rezervleri 40 yıl, doğal gaz rezervleri 63 yıl ve kömür rezervleri de 216 yıl sonra tükenecektir. Özellikle petrol rezervlerinin bu kadar yakın gelecekte tükenme ihtimali enerji tüketimi bakımından büyük oranda petrole bağımlı dünyayı düşündürmektedir.

Çizelge 1.1. Dünya petrol rezervlerinin bölgelere dağılımı (1).

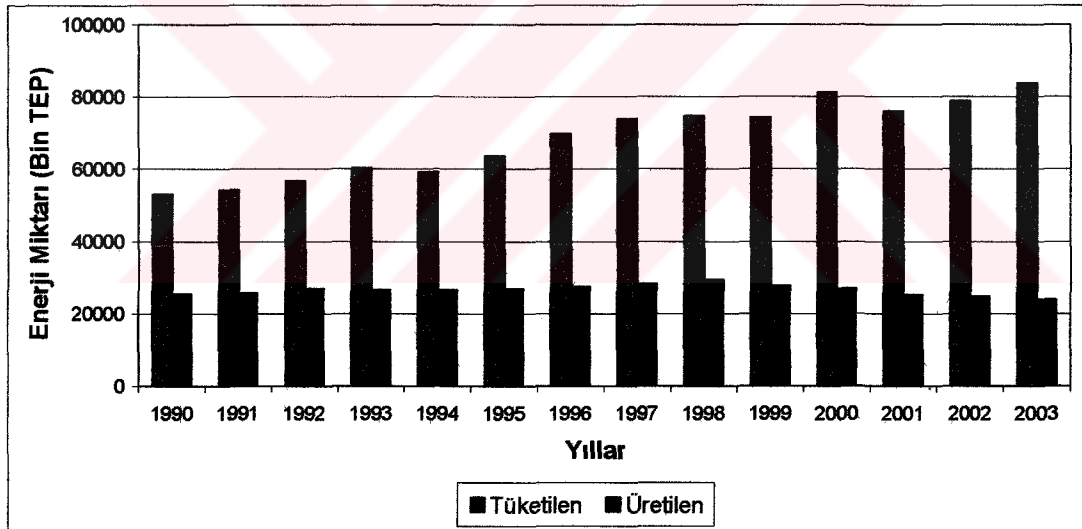
	% Oran	Miktar (Milyar Ton)
Avrupa	2	2,6
Uzak Doğu Asya	4	6,07
Kuzey Amerika	6	8,81
Eski Sovyetler Birliği Ülkeleri	6	8,96
Afrika	7	10,55
G&O Amerika	9	13,15
Ortadoğu	66	94,41
Genel Toplam	100	142,0

Fosil kökenli enerji rezervlerinin yakın gelecekte tükenme ihtimali, fiyatlardaki istikrarsızlıklar, kullanım sonunda çevreye verdikleri zararlar ve temininde yaşanan belirsizlikler bir çok devletin yeni enerji politikaları oluşturmalarına etken olmuştur. Bunun yanı sıra, devletlerin enerji gibi stratejik öneme sahip olan bir alanda bağımlı olmama ve süreklilik arz eden ekonomik yükten kurtulma arzusu da etkili olmuştur. Yeni enerji politikaları oluşturulurken enerji üretiminde yerel ve yenilenebilir kaynakların kullanımı, daha çevreci kaynakların kullanımı, verimliliğin artırılması ve kaynak çeşitliliğinin sağlanması çoğunlukla dikkate alınan temel unsurları oluşturmaktadır.

Üzerinde çalışmalar yapılan yenilenebilir enerji kaynakları, biyokütle enerjisi, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, dalga enerjisi gibi çevreci ve yerel kaynaklardır. Birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler bu tip enerji kaynaklarını vergi indirimleriyle, ucuz kredilerle ve değişik yollarla teşvik etmektedir.

Türkiye'nin Enerji Durumu

Ülkemizin büyüme ve gelişmesine paralel olarak enerji ihtiyacı her geçen yıl artmaktadır. Oluşturulan enerji politikaları ihtiyacımız olan enerjinin zamanında, güvenilir, ucuz ve kaliteli olarak öngörülen kalkınma hızı ve sosyal gelişmeyi destekleyecek şekilde temin edilmesi şeklinde belirlenmiştir (3).

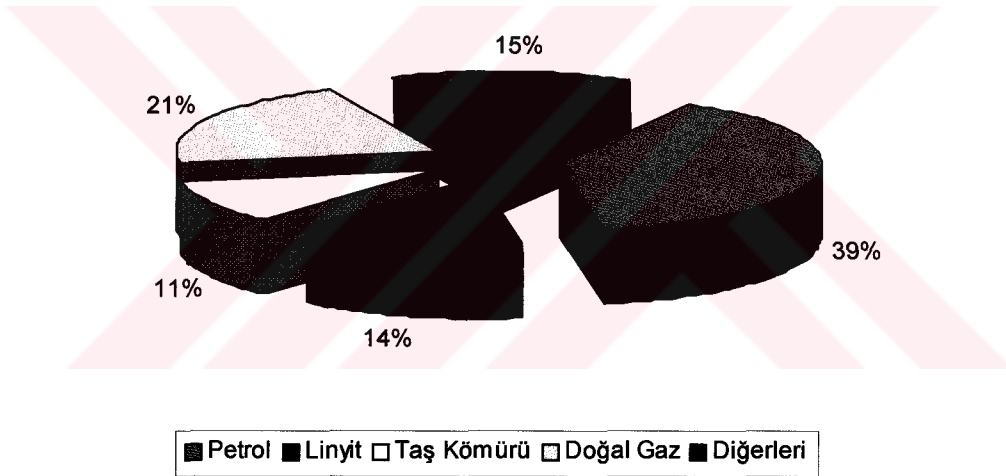


Şekil 1.1. Türkiye birincil enerji tüketiminin ve üretiminin yıllara bağlı olarak değişimi (4)

Ülkemizdeki enerji üretimi ihtiyacımızı karşılamaktan çok uzak olup, üretilen enerjinin tüketilen enerjiye oranı yıllar geçtikçe artmaktadır. Birincil enerji üretim ve tüketim değerlerinin yıllara göre değişimlerinin verildiği Şekil 1.1'den de görüldüğü gibi enerji tüketim değerleri kriz yılları haricinde sürekli artış göstermesine rağmen, enerji üretim değerleri hemen hemen sabit kalmış yada son dönemler de olduğu gibi azalma eğilimleri içerisine girmiştir (4). Büyük stratejik ve ekonomik öneme sahip

olan enerji alanındaki bu dengesizlik hükümetlerin kalkınma hamlelerini sekteye uğratmakta ve uzun yıllardan bu yana çığ gibi büyüyen bir problem olarak çözüm beklemektedir.

Şekil 1.2. de görüldüğü üzere ülkemiz birincil enerji tüketimine bakıldığında 2003 yılı verilerine göre en büyük payı %39 ile petrolün aldığını görmekteyiz. Petrolü %21 ile doğal gaz ve %14 linyit takip etmektedir (4). Son dönemlerde doğal gaz kullanımı diğer enerji kaynakları ile kıyaslanamayacak oranda artış göstermiştir. Bu artış büyük oranda petrol ihtiyacı bakımından dışa bağımlı olan ülkemizi doğal gaz açısından da dışa bağımlı hale getirmiştir.



Şekil 1.2. 2003 yılı verilerine göre ülkemizdeki birincil enerji tüketimi türlerine göre dağılımları (4)

Ülkemiz birincil enerji ihtiyacının büyük bir kısmını ithal ederek karşılanmaktadır. 2003 yılı verilerine göre birincil enerji tüketiminin %71,6'sı ithal edilerek karşılanmıştır. Aynı yıl için de kullanılan petrolün %92,25'i, doğal gazın %97,37'si, taş kömürünün %88,5'i ve linyitin %0,25'i ithal edilerek karşılanmıştır (4). Ekonomik olarak bakıldığında en büyük payı petrol ve doğalgaz almaktadır.

Çizelge 1.2. 2002 itibariyle Türkiye'nin enerji rezervleri (4)

Enerji Kaynakları	Toplam Rezerv
Taşkömürü (Milyon Ton)	1,126
Linyit (Milyon Ton)	8,075
Hidrolik (GWh)	125.000
Ham Petrol (Milyon Ton)	41,8
Doğal Gaz (Milyar Metreküp)	8,7

Çizelge 1.2. de ülkemizin enerji rezervleri verilmiştir. Görüldüğü gibi rezervlerden linyit ve hidrolik enerjisi umut vermektedir. Fakat mevcut rezervler ile birincil enerji tüketimimizin toplam %60'ını oluşturan ham petrol ve doğal gaz ihtiyacını karşılamamız olanaksız görülmektedir. Kullanılan fosil kökenli enerji kaynaklarının alternatifleri değerlendirilmediği müddetçe ülkemizin enerji bağımlılığından kurtulmasının mümkün olamayacağı ve giderek artacağı aşikardır.

Son yıllarda ülkemizde fosil kökenli enerji kaynaklarının yerini alabilecek, çevreye karşı daha duyarlı, yerel ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde daha fazla durulmaya başlanmıştır. Bu kaynaklar güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrojen ve biyokütle enerjisi gibi kaynaklardır. Biyokütle enerjisi, güneş enerjisini bitkilerin fotosentez yolu ile depolanması sonucu oluşan bitkisel ürünlerdir. Bol güneş alan ve geniş tarım alanlarına sahip ülkemiz için gelecek vaat etmektedir. Bu enerji çeşitlerinden, bitkisel yada hayvansal yağ kökenli olan biyodizel, en fazla gündemde olanıdır. Biyodizel, dizel motorlarda herhangi bir değişikliğe gidilmeden direk olarak yada dizel yakıtı ile belirli oranlarda karıştırılarak kullanılabilir.

Ülkemizin biyodizel potansiyeli

Bitkisel yağların dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılma düşüncesi neredeyse dizel motorunun icadı kadar eski olmasına rağmen petrolün bitkisel yağlara göre daha ucuz ve bol olması bu alandaki çalışmaları uzunca bir süre yavaşlatmıştır. 1970'li yıllarda ve sonrasında yaşanan petrol krizleri bu alandaki

alışmaları hızlandırmıştır. Dünyada gerçekleştirilen biyodizel üretim miktarı 3 000 000 tonu aşmıştır (5).

Ülkemizin çok büyük miktarda üretim kapasitesine sahip olduğu bitkisel yağların sıvı ve yenilenebilir olmaları, basit tarımsal teknolojiler ile yerel olarak üretilibilmeleri, ısıl değerlerinin dizel yakıtına yakın olması gibi özellikleri en önemli avantajlarıdır. GAP projesinin faaliyete geçmesiyle 1,7 milyon hektar alan sulu tarıma açılmış ve ülkemizin mevcut olan bitkisel yağ üretim rezervi daha da artmıştır. Ayrıca lkemizde yılda, 1,5 milyon ton civarında bitkisel yağ tüketilmektedir. Restoranlarda, otellerde ve değişik mutfaklarda tüketilen bu yağların 300 bin tonu atık kıztartma yağına dönüşmektedir. Bitkisel ve hayvansal yağları içeren atık kıztartma yağları kanserojen özelliğe sahip olmasına rağmen, büyük bir bölümü ülkemizdeki bazı yağ firmaları tarafından bir takım proseslerden geçirerek piyasaya tekrardan kullanım için sürülmektedir. Yine büyük bir bölümü de su ve kanalizasyonlara dökülmektedir (6). Su ve kanalizasyonlara dökülen atık bitkisel ve hayvansal yağlar, su yüzeyini kaplayıp havadan suya oksijen transferini önlediği için zamanla sudaki oksijenin tükenmesine yol açmaktadır. Bu ise denizlerde, akarsularda ve gllerde yaşayan canlılar için yaşamsal tehlike oluşturmaktadır. Yine atık bitkisel yağlar, toplam atık su kirliliğinin %25'ine neden olduğundan dolayı atık su arıtma tesisinin işletme maliyetini de artırmaktadır (6). Ayrıca atık su borularına yapışarak boru kesitinin daralmasına ve tıkanmalara da neden olmaktadır. Bu atık yağlar bir çok gelişmiş ülkelerde biyodizele dönüştürülmektedir.

Bütün bu nedenlerden dolayı, bu alandaki çalışmalar tarımsal alanların daha verimli ve etkin kullanımını sağladığı gibi evre kirliliğinin azaltılmasına ve istihdamın arttırılmasına yardımcı olacaktır (7).

Çok yüksek teknoloji ve maliyet gerektirmeyen biyodizel üretim tesisleri küçük ve orta ölçekli boyutlarda yerel olarak kurulup işletilebilmektedir. Bu şekildeki tesisler ile yerel olarak enerji ihtiyaçlarının yenilenebilir ve daha çevreci kaynaklardan karşılanması sağlanabilmektedir (7).

Bu çalışmada üzerinde çalışılan tall yağı, kağıt fabrikalarında proses sonunda ortaya çıkan bir yan ürün olup büyük oranda bitkisel yağ asitleri ve reçine asitlerinden oluşur. Yapılan çalışmalarda tall yağı bünyesindeki bitkisel yağ asitleri biyodizel üretiminde, reçine asitleri ise üretilen biyodizelin özelliklerini iyileştirmek için metal yakıt katkı maddelerinin sentezlenmesinde kullanılmıştır.

Önceki çalışmalar

Antolin ve arkadaşları (8) tarafından yapılan çalışmada, esterleşme reaksiyonu, tespit edilen optimum reaksiyon şartlarında gerçekleştirilmiştir. Bu reaksiyon şartları: stokiyometrik oranın 3 katı metil alkol; katalizör olarak %0,28 w/w oranında potasyum hidroksit; reaksiyonun gerçekleştirildiği sıcaklık 70 °C; saflaştırma için ham ester iki defa yıkanmış, ilk yıkamada %5 w/w oranında fosforikasit (H_3PO_4) çözeltisi, ikinci yıkamada ise saf su kullanılmıştır. Elde edilen ayçiçek yağı metil esterinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin büyük oranda Avrupa Birliği standartlarına uygun olduğu görülmüştür.

Hassett ve arkadaşları (9) yaptıkları çalışmada 9 lt'lik reaktörde ayçiçek yağı metil esteri üretmişlerdir. 9 lt ayçiçek yağı ile 1456 g metil alkol karıştırıldıktan sonra karışıma 8,4 g sodyum eklenmiştir. Karışımın sıcaklığı 62-65 °C sıcaklıklar arasında tutulup, 2 saat boyunca karıştırılmıştır. Karışımın dinlenmesinin ardından, gliserin ve biyodizel ayrılmıştır. Biyodizel içerisinde kalmış olan gliserinin, reaksiyona girmeyen alkolün ve katalizörün, uzaklaştırılabilmesi için biyodizel sıcak su ile yıkanmıştır. Yıkama işleminden sonra ürün su içermeyen sodyum sülfat ile kurutulmuştur. Elde edilen ayçiçek yağı metil esteri Lister LT-1 model tek silindirli direk enjeksiyonlu tip dizel motorunda test edilip sonuçları rafine edilmiş ayçiçek yağı ve dizel yakıtı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 1.3'de ayçiçek yağı ve ayçiçek yağı metil esterinin tespit edilen avantaj ve dezavantajları verilmiştir.

Çizelge 1.3. Ayçiçek yağı ve ayçiçek yağı metil esteri avantaj ve dezavantajları (10)

Ayçiçek Yağı		Ayçiçek Yağı Metil Esteri	
Avantaj	Dezavantaj	Avantaj	Dezavantaj
Düşük motor vuruntusu	Düşük yüklerde fazla enjektör kirlenmesi	Distilasyon ve viskozite eğrileri dizel yakıtı eğrilerine yakın	Yakıtta polimerleşme
Yanma verimi yalnızca %3 düşük	Yakıt polimerleşmesi	Düşük is emisyonu	Enjektör sıkışması
Kolay ilk hareket	Motorda yakıt kalıntı miktarının artması (depozit)	Daha iyi termal verim	
		Düşük enjektör kirlenmesi	
		Kolay ilk hareket	

Geyer ve arkadaşları (10) tarafından yapılan çalışmada pamuk yağı, ayçiçek yağı, pamuk yağı metil esteri ve ayçiçek metil esteri tek silindirli direk enjeksiyonlu (Avco-Bernard W-51 0,36L) motorda 1/3, 2/3 ve tam yük koşullarında performans ve emisyon testine tabii tutulmuştur. Yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

* Bitkisel yağlar ile yapılan çalışmada termik verim değerlerinin dizel yakıtı değerlerinden biraz daha iyi yada yakın değerler olduğu belirlenmiştir.

* Metil esterler ile yapılan ölçümlerde NO_x emisyonları bütün şartlarda önemli ölçüde yüksek, bitkisel yağlarda ise 2/3 ve tam yük şartlarında yüksek ölçülmüştür. Genel olarak bitkisel yağlar ve metil esterler için NO_x emisyonları dizel yakıtı değerlerine göre artış göstermiştir.

* Ayçiçek yağının tam yük sonuçları hariç, bitkisel yağlar ile yapılan tüm ölçümlerde, partikül emisyonları dizel yakıtı sonuçlarına göre daha yüksek ölçülmüştür. Metil esterler ile dizel yakıtına göre daha düşük partikül emisyonları elde edilmiştir.

* Bitkisel yağlar ve esterleri için aldehit ve formaldehit emisyonları 2 numaralı dizel yakıtına göre artış göstermiştir.

Kalligeros ve arkadaşları (11) tarafından zeytin yağı metil ester ve ayçiçek yağı metil esterinin dizel yakıtı ile %10, %20 ve %50 karışım oranlarının yakıt tüketimi ve emisyon değerleri tek silindirli direk enjeksiyonlu Petter AV1-LAB marka dizel motorda test edilmiştir. Testler 0,01 kW, 0,95 kW, 1,90 kW ve 3,80 kW sabit güçlerde yapılmıştır. Ölçüm yapılan bütün deney şartlarında karışım yakıtların NO_x, HC, CO ve partikül emisyonları dizel yakıtından daha düşük olarak ölçülmüştür. Partikül emisyonlarındaki azalma maksimum yüklerde daha düşük, %75 yükte ise en fazladır. HC emisyonlarındaki en düşük değerler orta yüklerde elde edilmiştir. NO_x emisyonlarındaki azalma nedeni olarak; karışım yakıtların Setan Sayısının yüksek olması sebebiyle tutuşma gecikmesi süresinin azalması, dolayısıyla yanma odasında biriken yanmaya hazır yakıt miktarının azalması ve bunun sonucunda basınç yükselme hızındaki azalma ve buna bağlı olarak lokal sıcaklık yükselmelerine karşın ısı transferi için daha fazla zamanın olmasıdır. Ayrıca yakıt içerisindeki aromatik hidrokarbon miktarının azalması da etkili olmuştur. Hacimsel olarak hesaplanan yakıt tüketimi değerleri karışım yakıtlar ile düşük düzeyde artışlar göstermiştir.

Silva ve arkadaşları (12) ayçiçek yağı metil esterinin, 2 numaralı dizel yakıtı ile %5 ve %30 oranlarındaki karışımlarını, üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmamış Volvo THD 100 EC marka otobüs motorunda test etmiş, motor performans ve emisyon değerleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Karışım yakıtlar ile yapılan ölçümlerde motor tork ve güç karakteristik eğrilerinde değişim görülmemiştir. %30 karışım oranında güç değerleri ortalama 2,4 kW azalırken, %5 karışım oranında özellikle yüksek motor devirlerinde ortalama 1,5 kW artış görülmüştür. Yine benzer şekilde, %30 karışım oranında tork değerleri ortalama 15,3 Nm düşmüş, %5 karışım oranının da ise 7,2 Nm artış göstermiştir. Hacimsel olarak hesaplanan özgül yakıt tüketimi değerlerinde ise çok önemli bir farklılık görülmemiştir. Emisyon ölçümlerinde 2 numaralı dizel yakıtı ve karışım yakıtların CO ve NO_x emisyonları benzer sonuçlar vermekle birlikte CO emisyonlarının büyük yüklerde hafif düzeyde azaldığı tespit edilmiştir. Isı emisyonu ise azalma eğilimi göstermiştir. Deney

sonucunda ayçiçek yağı metil esteri ve dizel yakıtı karışımlarının %30 karışım oranına kadar dizel motorlarda emniyetle kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Rakopoulos ve arkadaşları (13) tarafından zeytin yağının ticari dizel yakıtı ile %25/%75 ve %50/%50 karışımları DI (direk enjeksiyonlu) dört zamanlı ve IDI (indirek enjeksiyonlu) dört zamanlı dizel motorlarda test edilmiştir. Karışım yakıtların, yakıt tüketimi, maksimum basınç, egzoz gaz sıcaklığı performans değerleri ve is değeri, NO_x, HC ve CO emisyonları üzerindeki etkisi geniş yük aralığında test edilmiştir. Her iki motor için ölçülen performans ve emisyon değerlerindeki farklılıklar değerlendirilip karşılaştırılmıştır. Çalışmalar sonunda aşağıdaki sonuçlar tespit edilmiştir.

- * Egzoz gaz sıcaklığı her iki motor için zeytin yağı yüzdesine bağlı olarak artış göstermiş fakat meydana gelen artış ihmal edilebilir bir artış olarak değerlendirilmiştir.
- * Bosch duman ölçer (Bosch smoke number) değeri her iki motor için de artış göstermiştir.
- * NO_x emisyonlarında azalma görülmüştür.
- * Karışım içindeki zeytin yağı miktarı artarken HC emisyonlarında da artış görülmüştür.
- * CO emisyonlarında ihmal edilebilir düzeyde artış olduğu saptanmıştır.

Dorado ve arkadaşları (14), 3 silindirli direk enjeksiyonlu dört zamanlı, su soğutmalı, Perkins marka motor ile yapılan çalışmada %100 atık zeytin yağı metil esterinin emisyonları değişik çalışma koşullarında test edilmiş ve dizel yakıtı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada CO emisyonunda %58,9'a kadar, NO_x emisyonlarında %37,5 ve SO₂ emisyonlarında %57,5'e kadar varan azalmalar görülmüştür. CO₂ emisyonlarında %8,6'ya kadar varan azalmalar görülmekle birlikte

yalnızca test yapılan bir çalışma koşulunda %7,4 oranında artış olmuştur. NO₂ emisyonunda ise %8,1'e kadar artış olmakla birlikte test yapılan bir çalışma koşulunda hafif bir azalma saptanmıştır.

Atık zeytin yağı metil esteri ile yapılan çalışmada dizel yakıtı değerine göre motor performans değerlerinde önemli bir değişim görülmemiştir. Özgül yakıt tüketiminde ise maksimum %8,5 artış olmuştur. Yanma veriminde önemli bir farklılık saptanmamıştır. Atık zeytin yağının alternatif dizel yakıtı olarak kullanımının; çok büyük miktarda bulunan rezervleri nedeniyle, petrole olan bağımlılığı ve çevre kirliliğini azaltacağı tespit edilmiştir.

Schumacher ve arkadaşları (15) 1991 ve 1992 model B 5,9 lt Cummins marka motorlu, Dodge kamyoneti 48 ay boyunca %100 biodizel ile çalıştırıp test etmişlerdir. 1991 model kamyonet 110 451 km, 1992 model kamyonet 177 022 km test edilmiştir. Araçların motor yağı her 1000 mil arayla analiz edilmiştir. Çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- * Motor gücünde düşük düzeyde bir azalma tespit edilmiştir.
- * Yakıt sisteminin plastik borularında ve plastikten yapılmış parçalarında çok hızlı bozulmalar görülmüştür.
- * Dizel yakıtı değerlerine göre daha düşük değerlerde CO, HC, partikül ve is emisyonları elde edilmiştir. NO_x emisyonları ise dizel yakıtına göre artış eğilimi göstermiştir.
- * Motor yağı analizi verileri, biyodizel kullanımında motorun aşınması sonucunda oluşan madensel maddelerin (Fe, Pb ve Si) petrol kökenli dizel yakıtının kullanımı ile karşılaştırıldığında daha düşük olduğu görülmüştür.

Purcell ve arkadaşları (16) tarafından %100 soya yağı metil esteri ve %30 oranında dizel yakıtı ile karıştırılması ile elde edilen yakıtların egzoz emisyonları

araştırılmıştır. Bu yakıtlar 75 kW gücündeki ön yanma odalı Caterpillar 3304 marka motorda test edilerek, düşük kükürt oranlı 2 numaralı dizel yakıtı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca modern dizel oksitleyicisinin yakıtlar üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Partikül emisyonlarında %100 soya yağı metil esteri ile %30'a kadar varan azalmalar görülmüştür. NO_x emisyonlarında artış olmadan, CO emisyonlarında %23'e kadar, HC emisyonlarında ise %30'a kadar varan azalmalar tespit edilmiştir. Dizel oksitleyici katalizör partikül, CO ve HC emisyonları üzerinde etkili bir azalma sağlamıştır. Yapılan testlerde dizel yakıtına göre, %100 soya yağı metil esteri ve %30 karışım oranının kullanımı durumunda güç değerleri daha düşük ve yakıt tüketimi değeri daha yüksek olarak ölçülmüştür. %100 soya yağı metil esteri ile güç değerlerinde %9 düşüş, yakıt tüketiminde ise %13 artış tespit edilmiştir. %30 karışım oranında güç değerinde %4 azalma, yakıt tüketiminde ise %4 artış tespit edilmiştir. 60 saatten uzun süreli motor testlerinde her iki yakıt için de herhangi bir probleme rastlanmamıştır.

Çetinkaya ve arkadaşlarının (17) yaptıkları çalışmada kullanılmış yağlardan üretilen biyodizel, kış şartlarında motor performans ve 7500 km yol performans testine tabi tutulmuştur, elde edilen veriler 2 numaralı dizel yakıtı değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada 4 zamanlı, 4 silindirli, F9Q732 kodlu ve 75 kW gücündeki dizel motoruna sahip Renault Megane marka otomobil kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

* Biyodizelin yakıt kalitesinin ve özelliklerinin iyileştirilmesi için viskozite ve akma noktası düşürücü katkı maddeleri kullanılmıştır. Bu katkı maddelerinin eklenmesi biyodizelin özellikleri üzerinde olumlu etki sağlamıştır.

* Biyodizelin kullanımı, 2 numaralı dizel yakıtı değerleri ile karşılaştırıldığında motor tork ve gücünde azalmaya neden olmuştur.

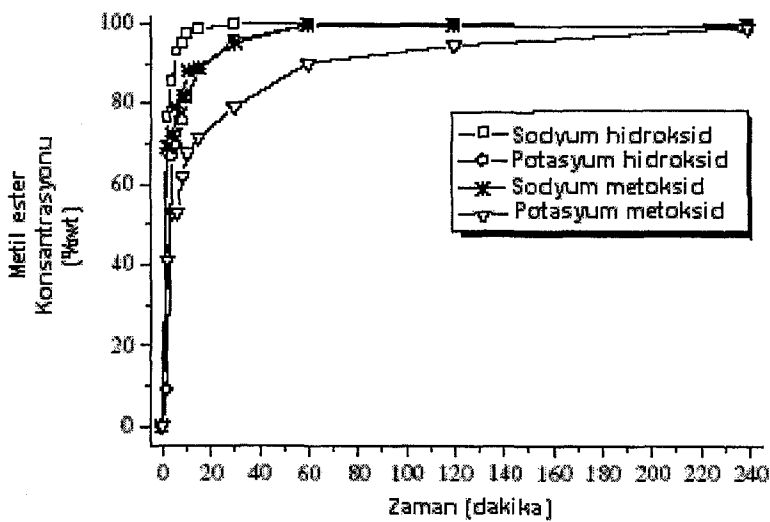
* 2 numaralı dizel yakıtı değerlerine göre bütün motor devirlerinde biodizel ile daha düşük egzoz gazı sıcaklıkları ölçülmüştür. Bunun nedeni biodizelin silindir içerisinde daha iyi bir yanma performansı göstermesidir.

* Her iki yakıt için benzer enjektör basıncı değerleri ölçülmüştür.

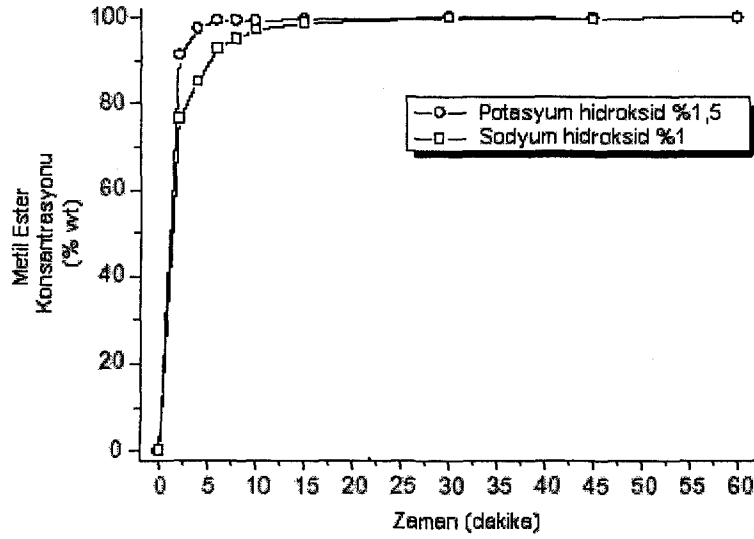
* 2 numaralı dizel yakıtı ile biyodizele göre yüksek egzoz basıncı elde edilmesi egzoz gaz sıcaklığı ile ilişkilendirilmiştir.

* Viskozitesi düşürülen biodizel ile enjektörlerde karbon birikintisi ve katalitik konvertörde ise tıkanma problemlerine rastlanılmamıştır.

Vicente ve diğerleri (18) ayçiçek yağı metil esteri üretiminde değişik alkali katalizörler (sodyum metoksit, potasyum metoksit, sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit) üzerinde parametrik olarak çalışmışlardır. Bütün reaksiyonlar ve sonrasında yapılan ayırma ve yıkama işlemleri aynı deneysel koşullarda yapılmıştır. 65°C sıcaklıkta, 6:1 metil alkol/yağ ve %1 katalizör oranında yapılan deney sonuçları Şekil 1.3'de verilmiştir. Şekil 1.3'de görüldüğü üzere sodyum hidroksit ile yaklaşık %100 saflıkta metil ester 30 dakikada, sodyum metoksit ve potasyum hidroksit ile 45 dakikada ve potasyum metoksit ile de 4 saatte elde edilmiştir. Şekil 1.4'de %1.5 potasyum hidroksit ve %1 sodyum hidroksit oranındaki katalizörler ile elde edilen sonuçlar verilmiştir.



Sekil 1.3. Transesterifikasyon esnasında zamana bağlı metil ester konsantrasyonu değişimi Sıcaklık: 65 °C Metil alkol ayçiçek yağı molar oranı:6, katalizör: 1 m/m%



Sekil. 1.4. Transesterifikasyon esnasında zamana bağlı metil ester konsantrasyonu değişimi. Sıcaklık: 65 °C Metil alkol ayçiçek yağı molar oranı:6

Usta ve arkadaşları (19) tarafından yapılan çalışmada, fındık yağı sabun stoku ve kullanılmış ayçiçek yağı eşit oranlarda karıştırılıp %20 civarında serbest yağ asidi içeren bir karışım elde edilmiştir. Karışım içerisindeki suyun kurutulması için 100 °C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. Daha sonra karışımın içerisine %8 oranında metil alkol eklenip 35 °C sıcaklıkta 5 dakika karıştırılmış ve ardından 1 mililitre %95 saflıkta H_2SO_4 eklenip aynı sıcaklıkta karıştırma işlemi 1 saat sürdürülmüştür. Sonrasında karışım dinlenmeye bırakılmıştır. İkinci aşamada %12 oranında metil alkol içerisinde her bir litre karışım için 3 g NaOH çözülerek sodyum metoksit oluşturulmuştur. Sodyum metoksit karışıma eklenip 55 °C sıcaklıkta 90 dakika müddetince karıştırılmıştır. Dinlenmeye bırakılan karışımın dibinde gliserin tabakası, üst kısmında ise ester tabakasının olduğu tespit edilmiştir. Gliserin karışımdan uzaklaştırıldıktan sonra, karışım saf su ile 3 defa yıkanmıştır. İlk yıkamada her bir litre biodizel için 2,5 ml fosforik asit kullanılmıştır. En son olarak, ürünü içerisindeki sudan arındırmak için ürün 100 °C sıcaklığa kadar ısıtılıp kurutulmuştur. Üretilen biyodizelin asit değeri 6,7 olarak ölçülmüştür. Yapılan motor testlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

* Biyodizelin ısıl değerinin dizel yakıtının değerinden daha düşük olmasına rağmen, %5, %10, %15, %17,5 ve %20 biyodizel karışımlarının tork ve güç değerleri tam yük

ve kısmi yük şartlarında dizel yakıtı değerlerine göre hafif düzeyde daha yüksek ölçülmüştür. Maksimum güç ve maksimum termal verim %17,5 oranındaki karışım ile elde edilmiştir.

* Tam yük ve kısmi şartlarında karışım yakıtların egzoz gaz sıcaklıkları, dizel yakıtı değerlerinden daha yüksek ölçülmüştür.

* Tam yük şartlarında, karışım yakıtların CO emisyonları dizel yakıtı değerlerine göre düşük devirlerde daha yüksek, yüksek devirlerde ise daha düşük ölçülmüştür. CO₂ emisyonları ise dizel yakıtı değerlerine göre daha yüksek ölçülmüştür. Ayrıca kısmi yüklerde CO ve CO₂ emisyonlarında önemli bir değişim görülmemiştir. Biyodizelin düşük düzeyde kükürt içermesine bağlı olarak SO₂ emisyonlarında büyük ölçüde azalmalar olduğu görülmüştür. NO_x emisyonları yapılan bütün testlerde daha yüksek ölçülmüş ve artış miktarının tam yük şartlarında, kısmi yük şartlarına nazaran daha yüksek olduğu görülmüştür.

* Gürültü emisyonlarının biyodizel yakıtlar ile yapılan deneylerde daha düşük olduğu belirlenmiştir. Azalma miktarının genel olarak 1dB'den daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Tashtoush ve arkadaşları (20) tarafından atık hayvansal yağların etil ve metil alkol ile biyodizele dönüşümlerinin optimizasyonu üzerinde çalışılmıştır. Elde edilen biyodizellerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bitkisel yağ esaslı biyodizelin özelliklerine göre dizel yakıtı değerlerine daha yakın olması, ürünü iyi bir dizel yakıtı alternatifi yaptığı sonucuna varılmıştır. Yapılan çalışmada esterleşme veriminin en yüksek olduğu optimum şartların belirlenmesi amacıyla reaksiyon sıcaklığı, alkol/yağ molar oranı, alkol cinsi ve katalizör cinsi gibi parametreler incelenmiştir. Saf etil alkol ile esterleşme verimi bütün oranlarda saf metil alkol ile yapılan çalışmalardan daha yüksek olmuştur ve en iyi verim %100 alkol fazlalığının olduğu oranlarda elde edilmiştir. Reaksiyon sıcaklığının, esterleşme verimi ve viskozite üzerinde bir etkisinin görülmemesine rağmen yüksek sıcaklıklardaki reaksiyonlarda maksimum esterleşme için gerekli zamanın azaldığı görülmüştür. Atık hayvansal

yağların esterleşmesinde 50 °C sıcaklığın optimum reaksiyon sıcaklığı, optimum reaksiyon süresinin ise 2 saat olduğu saptanmıştır.

İlkılıç (21) yaptığı çalışmada pamuk yağı ve ayçiçek yağı metil esterinin dizel yakıtı ile %50 karışım oranları ve saf esterleri tek silindirli direk püskürtmeli Lombardini 6LD400 motorunda tam yük şartlarında performans ve emisyon testine tabi tutulmuştur. Testler her bir yakıt için 150, 175, 200, 225 ve 250 bar enjektör püskürtme basınçlarında ayrı ayrı yapılmıştır. Dizel yakıtı değerlerine göre motor performans değerlerinde önemli farklılıklar görülmemiştir. Bununla birlikte emisyon testlerinde ise CO, NO_x ve partikül emisyonları gibi kirletici emisyonlarda çeşitli oranlarda azalmalar görülmüştür.

Altın (22) tarafından yapılan çalışmada ham ayçiçek yağı ve ham soya yağından ester elde etmek için oransal olarak her 1 kg bitkisel yağ için 0,2 kg metil alkol ve 0,05 kg katalizör (H₂SO₄) karıştırılmış ve elde edilen karışım 65 °C sıcaklıkta 2 saat süreyle karıştırılmıştır. Elde edilen esterler hazırlanan sıcak sodyum bikarbonat çözeltisi ile yıkandıktan sonra saflaştırma amacıyla ham biyodizel distile edilmiştir.

Altıparmak ve arkadaşları (23) tarafından yapılan deneysel çalışmada, fındık yağı metil esteri üretilirken, bitkisel yağ/alkol molar oranı 6:1, katalizör olarak ise 1 litre bitkisel yağ için 0,35 g NaOH kullanılmıştır. Transesterifikasyon reaksiyonu, 1 litrelik bir reaktörde, 50-55 °C sıcaklıkta 1 saat süreyle karışımın karıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon sonunda elde edilen ham fındık yağı metil esterinin pH değeri asetik asit eklenerek nötr durum olan 7'ye ayarlanmıştır. Daha sonra ise gliserinin dibe çöküp faz oluşturması için dinlenmeye bırakılmıştır. Dibe çöken gliserin ayırma hunisi ile ayrıldıktan sonra elde edilen ürün saf su ile kabarcık yöntemi kullanılarak yıkanmıştır ve ardından ürünün sıcaklığı 100 °C sıcaklığa çıkarılarak kurutulmuştur. Üretilen metil esterinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dizel yakıtı değerlerine yakın olduğu görülmüştür. Fındık yağı metil esteri, tek silindirli direk püskürtmeli bir dizel motorunda 1800 – 3200 d/d arasında tam yük testine tabi tutulmuştur. Test esnasında motor performans ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Fındık yağı metil esteri ile yapılan çalışmalarda ölçülen tork, güç ve

özgül yakıt tüketimi gibi motor performans değerlerinin dizel yakıtı ile elde edilen değerlere yakın olduğu görülmüştür. CO ve is emisyonları dizel yakıtı değerlerine göre daha düşük ölçülmüş ve bununla birlikte SOx emisyonlarına rastlanmamıştır.

Aydın ve Keskin'nin (24) yaptıkları çalışmada, pamuk yağı metil esteri; kütleli olarak 100 gr ham pamuk yağı, 20 gr metil alkol ve 5 gr sülfürik asit karışımının yaklaşık 2 saat süreyle 65-80 °C sıcaklıkta karıştırılması ile ilk olarak ham metil ester elde edilmiştir. Elde edilen ham metil ester sodyum bikarbonat çözeltisi ile yıkandıktan sonra distile edilerek saf pamuk yağı metil esteri elde edilmiştir. Elde edilen pamuk yağı metil esterinin dizel yakıtı ile %30, %50 ve %70 oranlarındaki karışımları motor performans ve emisyon testine tabii tutulmuştur. Deney yakıtları tek silindirli direk püskürtmeli bir dizel motorunda 1500 – 3700 d/d arasında tam yük şartlarında test edilmiştir. Karışım yakıtların tork ve güç değerleri düşük, özgül yakıt tüketimi değerleri ise yüksek ölçülmüş, bunun nedeni ise büyük oranda karışım yakıtların alt ısı değerlerinin dizel yakıtına göre daha düşük olmasından kaynaklandığı belirlenmiştir. Yüksek karışım oranlarında is emisyon değerlerinin dizel yakıtına göre bazı devirlerde daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca kullanılan deney yakıtlarının motorun parçaları üzerindeki etkileri deneyden sonra parçalar muayene edilerek incelenmiş ve anormal bir aşınma saptanmamıştır.

Yamık (25) tarafından yapılan çalışmada ham ayçiçek yağından metil ve etil ester üretilip, fiziksel ve kimyasal özellikleri ölçülmüştür. Tek silindirli bir dizel motorunda dizel yakıtı, ayçiçek yağı metil esteri ve etil esterinin tam yük değişik devir ve sabit devir değişik yük deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonunda her yakıt için performans haritaları çıkarılmıştır. Tam yük durumunda ve değişik devirlerde yapılan deneylerde etil ester kullanımında ölçülen performans değerlerinin dizel yakıtı ve metil ester kullanımına göre daha düşük değerlerde olduğu görülmüştür. Ayçiçek yağı metil esterinin ısı değeri ve özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına benzer değerler verdiği saptanmıştır. Deneyler esnasında gürültü ölçümü yapılmış ve esterlerin kullanımı durumunda motor gürültü seviyelerinin dizel yakıtından düşük olduğu belirlenmiştir. Deneylerin sonucunda ayçiçek yağı metil esterinin performans bakımından dizel yakıtına alternatif olacağı saptanmıştır. Etil ester kullanımı

durumunda ölçülen motor gücü ve momentinin dizel yakıtı değerlerine yakın olduğu belirlenmiş, buna karşılık özgül yakıt tüketimi değerlerinin yüksek olduğu saptanmıştır.

Canakci ve Van Garpen tarafından (26) yapılan çalışmada yüksek oranda serbest yağ asidi içeren yağlardan üretilen biyodizellerin motor performans ve emisyonlarına etkileri araştırılmıştır. %9 serbest yağ asidi içerikli hayvansal yağdan ve soya yağından biyodizel üretilmiştir. Yakıtlar saf halde ve dizel yakıt ile %20 oranında karıştırılarak, dört silindirli, türboşarjlı bir dizel motorunda test edilmiştir. Her iki biyodizel ile partikül, karbon monoksit ve hidrokarbon emisyonlarında önemli azalmalar sağlanmıştır. Bununla birlikte azot oksit emisyonları, hayvansal yağ metil esterinde de %11'e kadar, soya yağı metil esterinde ise %13'e kadar artış göstermiştir.

Durbin ve arkadaşları (27) yaptıkları çalışmada Kaliforniya'da kullanılan dizel yakıtı ile %100 biyodizel, %80 dizel yakıt / %20 biyodizel karışımları ve sentetik dizel yakıtını kullanarak emisyonlara olan etkilerini araştırmıştır. Her bir yakıt dört farklı taşıtta şasi dinamometresi kullanılarak test edilmiştir. %100 biyodizel, biyodizel karışımları ve sentetik dizel yakıtı ile genellikle dizel yakıtından daha düşük HC ve CO emisyonları ölçülmüştür. %100 biyodizel ile katalizör kullanmayan iki taşıtta NO_x emisyonlarının hafif düzeyde yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bütün deney yakıtlarının PAH emisyonlarının dizel yakıtına göre nispeten daha düşük olduğu görülmüştür.

Usta ve arkadaşlarının (28) yaptıkları çalışmada, fındık yağı rafinasyon işleminin yan ürünü olan sabun stoğu ile kullanılmış ayçiçek yağı karışımından asit (sülfürik asit) ve baz (sodyum hidroksit) katalizörler ile metanol kullanılarak biyodizel üretilmiştir. Üretilen biyodizelin %5, %15 ve %25 hacimsel oranlarında dizel yakıtı ile karışımlarının ön yanma odalı bir turbo dizel motorunda motor performansı ve emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Biyodizelin motor torku ve gücü için optimum karışım oranının yaklaşık %4 artış ile %15-%20 arasında olduğu, %30'dan fazla oranda kullanılması durumunda motor momenti ve gücünde düşüş olduğu tespit edilmiştir. %15 ve %25 biyodizel karışımları özgül yakıt tüketiminde dizel yakıtına

yakın özellikler göstermekle birlikte, egzoz gazı ve yağlama yağı sıcaklıklarında bir miktar düşüşe sebep olmuştur. Emisyon değerlerinde dizel yakıtı ve biyodizel-dizel yakıtı karışımları arasında aşırı farklılıklar görülmemiştir.

Haşimoğlu ve arkadaşları (29) tarafından önce dizel yakıtı ve ayçiçek yağından üretilmiş biyodizel direkt püskürtmeli, aşırı doldurmalı, dört silindirli bir dizel motorunda yakıt olarak test edilmiştir. Daha sonra motorun silindir kapağı ve supapları 0,35 mm kalınlığında yitriyumla stabilize zirkonya ($Y_2O_3ZrO_2$) ile kaplanarak motor düşük ısı kayıplı duruma getirilmiştir. Bu durumda sadece biyodizel yakıt olarak kullanılmıştır. Düşük ısı kayıplı motorda biyodizel kullanılmasıyla motor momenti ve gücü standart motora göre orta hızlarda artmıştır. Özgül yakıt tüketimi standart motorda biyodizel kullanıldığı duruma göre her devir aralığında azalmıştır. İs emisyonu standart motorda dizel yakıtı kullanıldığı duruma göre özellikle orta ve yüksek hızlarda düşmüştür. Egzoz gaz sıcaklığı standart motorda biyodizel kullanıldığı duruma göre artmıştır. NOx emisyonu standart motora göre bütün hızlarda artmıştır.

Freedman ve Pryde (30) yaptıkları çalışmada ayçiçek yağı ve soya yağının esterleştirilmesini araştırmışlardır. Değişken olarak alkol/bitkisel yağ molar oranı, alkol cinsi (metanol, etanol ve bütanol), katalizör (alkali ve asit) ve reaksiyon sıcaklığı (60, 45 ve 32 °C) parametreleri kullanılmıştır. Metil alkol ve ayçiçek yağının 4:1 mol oranında %90 ve 6:1 mol oranında ise %98 dönüşüm verimi elde edilmiştir.

Lyyranen ve arkadaşlarının (31) yaptıkları çalışmada yüksek kül içerikli ağır dizel yakıtı, Mg katkı maddeli ve katkı maddesiz olarak 1 MW gücündeki 4 zamanlı türbo şarjlı dizel motorunda test edilmiştir. Çalışmada, partikül yapısı ve oluşumu araştırılmıştır. Katkı maddesi kullanılmadan yapılan testlerde kütleli partikül emisyonu dağılımı iki ölçekte 0,1 ve 10 µm olarak ölçülmüştür. Katkı maddeli durumda ise üç ayrı yapıda 2 µm emisyon dağılımı belirlenmiştir. 2 µm ölçekli partikülün yapısında Mg ile birlikte vanadyum, nikel ve kükürt görülmüştür. 10 µm ölçekli partiküller değişik büyüklüklerdeki depozitlerin ve yakıt kalıntı

partiküllerinin birleşmesi sonucu oluşmuştur. İlk partikül oluşumu 40-100 nm dolayında gerçekleştiği, SEM ve TEM mikro fotoğraflarında görülmüştür. Çalışmanın sonucunda katkı maddeli yakıt ile elde edilen partiküllerin (0,1 μm) daha küresel olduğu belirlenmiştir.

Gürü ve arkadaşları (32) tarafından Mn, Mg, Cu ve Ca metallerinin organometalik bileşikler sentezlenmiş, sentezlenen bileşiklerin çözeltileri dizel yakıtı katkı maddesi olarak test edilmiştir. Reaksiyon, 1000 ml cam reaktör, damlatma hunisi ve geri soğutucu kullanarak stokiyometrik oranda 180 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 2 saat sürede gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen katkı maddesi %2 oranında etanol ile çözülmüştür. Daha sonra dizel yakıtı içerisine katılarak dozlanmıştır. Elde edilen katkı maddelerinin tümü dizel yakıtının donma noktasının düşürülmesi üzerinde etkili olmuştur. Donma noktası düşürülmesinde en fazla mangan içerikli katkı maddesi etkili olmuştur. Mn organik bileşiği için belirlenen optimum doz miktarı olan 54,2 $\mu\text{molMn/l}$ 'de dizel yakıtının donma noktası 12,4 $^{\circ}\text{C}$ düşmüştür. Ayrıca yine mangan katkı maddesi kullanıldığında tutuşma noktası 3 $^{\circ}\text{C}$, viskozitesi 3 SU düşmüş ve ayrıca Setan Sayısı da 46,22 den 48,24'e çıkmıştır. Motor testlerinde elde edilen egzoz emisyonlarında dizel yakıtı değerlerine göre partikül, CO ve SO_2 'de düşme, CO_2 emisyonlarında artış tespit edilmiştir. SO_2 emisyonlarındaki azalma MnSO_4 oluşumuna, partikül emisyonlarındaki azalma ise Setan Sayısındaki artışla ilişkilendirilmiştir.

Burtscher ve arkadaşları (33) tarafından yapılan çalışmada değişik miktarlardaki ferrosen'in ($\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$) dizel yakıtı katkı maddesi olarak kullanımı araştırılmıştır. Ferrosen'in yakıt içerisindeki 5, 10, 20 ve 35 ppm düzeyin deki karışımları Liebherr marka dizel motorunda 2000 devir/dakika'da 500 Nm ve 300 Nm tork altında test edilmiştir. Test esnasında elemental karbon, toplam karbon, organik karbon ve partikül emisyonları her iki çalışma koşulu için ölçülmüştür. Elemental karbon miktarında önemli bir azalma görülmezken, ölçülen diğer emisyon değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir. En büyük azalma organik karbon emisyonunda olmuştur.

Feng ve arkadaşları (34) tall yağına başarılı bir şekilde hidroproses uygulanmış ve çok değerli bir yakıt katkı maddesi (Setan Sayısı iyileştirici) elde edilmiştir. Elde edilen yakıt katkı maddesi, dizel yakıtına eklendiğinde Setan Sayısının, eklenen miktara bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Tall yağı içerikli yakıt katkı maddesinin düşük düzeyde aromatik içermesinden dolayı eklendiği dizel yakıtındaki aromatik miktarını düşürmüştür. Yapılan motor testlerinde partikül ve NO_x emisyonlarında azalma eğilimleri tespit edilmiştir.

Coll (35) tarafından yapılan çalışmada tall yağı reçine asitleri hidrolize edilerek dizel yakıtı katkı maddesi elde edilmiştir. Reaksiyonlar laboratuvar ölçekli katalitik reaktörlerde, katalizör olarak Ni-Mo ve Co-Mo kullanılarak yapılmıştır. Her bir katalizör için, sıcaklık, hidrojenin basıncı ve reaksiyon zamanı değişken olarak araştırılmış olup bu değişkenlerin ürünün verimine, Setan İndeksine, hidrojen karbon oranına ve kraking derecesine olan etkileri incelenmiştir.

Lissianski ve arkadaşları (36) tarafından yapılan çalışmada metal içerikli bileşiklerin NO_x emisyonları üzerindeki etkileri deneysel ve teorik modelleme yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. Sodyum ve potasyum karbonatlar, kalsiyum asetat ve kül, jet motor yanma hücresine enjekte edilmiştir. Yakıt olarak doğalgaz kullanılmıştır. Na ve K'dan elde edilen katkı maddeleri NO_x emisyonlarını Ca'dan elde edilen katkı maddelerine göre daha büyük oranda azaltmıştır. Alkali bileşikler ve demir içerikli bileşikler NO_x emisyonlarının azaltılması üzerindeki etkileri yönü ile karşılaştırıldığında demir içerikli bileşikler çok daha etkili olmuştur. Ca içerikli bileşik yakıtta 1000 ppm düzeyinde enjekte edildiğinde, SO_2 emisyonlarının %50 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

2. BİYODİZEL VE ÜRETİM METOTLARI

Biyodizel, bitkisel yağların, kullanılmış atık yağların veya hayvansal yağların alkol ile uygun bir katalizör kullanılarak kimyasal reaksiyona sokulması sonucu elde edilen esterlere denir. Reaksiyon esnasında bitkisel yağ molekülünün (trigliserit) yapısında bulunan yağ asitleri alkol ile yeni esterler oluştururlar. Gliserin, reaksiyonun yan ürünü olarak ortaya çıkar, saflaştırılıp parfüm ve kozmetik sanayi gibi alanlarda değerlendirilebilmektedir.

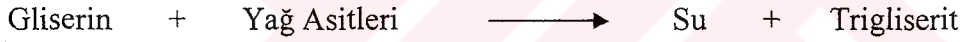
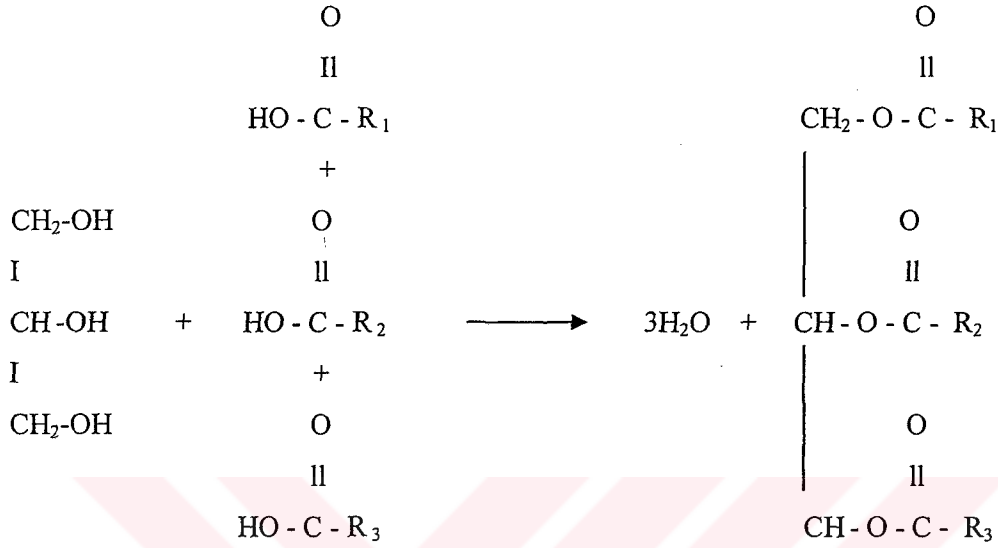
Biyodizelin kimyasal yapısı petrol kökenli, dizel yakıtından farklıdır. Biyodizel çoğunlukla 16 ila 20 arasında karbona sahip hidrokarbon zincirlerinden oluşur ve ağırlığının yaklaşık %11'ini oksijen oluşturur. Biyodizel, dizel motor yanma verimini ve emisyon oluşumunu olumsuz etkileyen kükürt'ü, aromatik hidrokarbonları, metalleri ve hampetrol artıklarını bünyesinde içermez (37). Isıl değer, yoğunluk ve viskozite değerleri gibi özellikleri dizel yakıtı değerlerine çok yakındır. Ayrıca dizel yakıtına göre yağlama özelliğinin daha iyi, Setan Sayısının daha yüksek ve daha az toksik olması önemli yakıt özelliklerindendir.

Biyodizel üretiminde ham madde olarak kullanılan yağın cinsi büyük önem arz etmektedir. Çünkü kullanılan yağın bünyesinde bulunan yağ asitlerinin türleri ve oranları üretilen biyodizelin yakıt kalitesi üzerinde en önemli etkiye sahiptir.

2.1. Yağlar

Yağlar (trigliseridler), yağ asitlerinin, üç değerlikli alkol olan gliserinle ($C_3H_5(OH)_3$, 1,2,3 trihidroksipropan) yapmış oldukları esterlerdir. Esterleşme denkleminde görüleceği üzere reaksiyon sonunda bir mol trigliserit ile birlikte bir mol su oluşur (38). Trigliserit aynı cins yağ asitlerinden oluşmuş ise basit trigliserid, farklı cins yağ asitlerinden oluşmuş ise karışık trigliserit olarak adlandırılmaktadır. Yağlar çok büyük oranda trigliseritden oluşmakla birlikte, bünyelerinde az miktarda da olsa monogliserit ve digliserit ihtiva ederler.

Oda sıcaklığında sıvı olan yağlara sıvı yağlar (oils), katı olan yağlara ise katı yağlar (fat) denir. Çeşitli yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2.1. de verilmiştir.



Çizelge 2.1. Bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri (39)

Bitkisel Yağlar	Viskozite mm ² /sn 40 °C	Setan Sayısı	Kalori Değeri (Kj/kg)	Parlama Noktası (°C)	Yoğunluk (kg/lt)	Karbon (%)	Bulutlanma Noktası (°C)	Kükürt (%)	Akma Noktası (°C)
Hint Yağı	297	-	37274	260	0,9537	0,22	-	0,01	-31,7
Mısır	34,9	37,6	39500	277	0,9095	0,24	-1,1	0,01	-40,0
Pamuk	33,5	41,8	39468	234	0,9148	0,24	1,7	0,01	-15,0
Bezir yağı	27,2	34,6	39307	241	0,9236	0,22	1,7	0,01	-15,0
Peanut	39,2	41,8	39782	271	0,9026	0,24	12,8	0,01	-6,7
Kolza	37,0	37,6	39709	246	0,9115	0,30	-3,9	0,01	-31,7
Aspir	31,3	41,3	39519	260	0,9144	0,25	18,3	0,01	-6,7
Susam	35,5	40,2	39349	260	0,9133	0,25	-3,9	0,01	-9,4
Soya	32,6	37,9	39623	254	0,9138	0,27	-3,9	0,01	-12,2
Ayçiçeği	33,9	37,1	39575	274	0,9161	0,23	7,2	0,01	-15,0
No.2 D. F.	2,7	47	45343	52	0,8400	<0,35	-15,0	<0,01	-33,0

Yağların fiziksel ve kimyasal yapısını büyük oranda bünyelerindeki yağ asitlerinin cinsi ve miktarı belirler. Yağ asitlerinin genel formülü $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$ dir. Yağ

asitleri bağ şekillerine göre doymuş yağ asitleri ve doymamış yağ asitleri olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Doymuş yağ asitleri oda sıcaklığında büyük oranda katı, doymamış yağ asitleri ise sıvı haldedir.

2.1.1. Doymuş yağ asitleri

Yapılarında çift bağ bulunmayıp sadece tekli bağlar bulunmaktadır. Genel formülleri $R-COOH$ dir. R hidro karbon zinciridir. Bitkisel yağlarda doymuş yağ asidi olarak genellikle palmitik asit, stearik asit, ve mistrik asit bulunur. Çizelge 2.2’de görüldüğü gibi doymuş yağ asitlerinin molekül ağırlığı arttıkça eğrime ve kaynama sıcaklığı yükselmektedir. Ayrıca doymuş yağ asitlerinin kimyasal tepkimelere yatkınlığı azdır (22).

2.1.2. Doymamış yağ asitleri

Bir yada daha fazla çift bağ içeren yağ asitleri doymamış yağ asitleri olarak adlandırılırlar. Yağ asitleri bir tek çift bağ içerdikleri zaman tekli doymamış yağ asitleri, birden fazla çift bağ içerdikleri zaman çoklu doymamış yağ asitleri olarak adlandırılır. Çizelge 2.3’de görüldüğü gibi bitkisel yağlarda en çok bulunan doymamış yağ asitleri, oleik asit, linoleik asit ve linolenik asit dir.

Çizelge 2.2. Yağ asitlerinin özellikleri (40, 41, 42)

Yağ Asitleri	Karbon ve Çift Bağ Sayısı	Kimyasal Formül	Moleküler Ağırlık	Erime Noktası (°C)	Kaynama Sıcaklığı (°C)
Kaprilik	8:0	$CH_3(CH_2)_6COOH$	144,23	16,5	239
Kaprik	10:0	$CH_3(CH_2)_8COOH$	172,27	31,5	269
Laurik	12:0	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	200,32	44,0	304
Miristik	14:0	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	228,38	58,0	332
Palmitik	16:0	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	256,43	63,0	349
Palmitoleik	16:1	$CH_3(CH_2)_5CH=CH(CH_2)_7COOH$	254,41	33,0	-
Stearik	18:0	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	284,43	71,0	371
Oleik	18:1	$CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$	282,47	16,0	286
Linoleik	18:2	$CH_3(CH_2)_4CH=CHCH_2CH=CH(CH_2)_7COOH$	280,45	-5,0	202
Linolenik	18:3	$CH_3(CH_2)_2CH=CHCH_2CH=CHCH_2CH=CH(CH_2)_7COOH$	278,44	-11,0	230
Arachidic	20:0	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$	312,53	75,2	-
Eicosenoic	20:1	$CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_9COOH$	310,52	23	-
Behenik	22:0	$CH_3(CH_2)_{20}COOH$	340,59	80,0	-
Erüsik	22:1	$CH_3(CH_2)_9CH=CH(CH_2)_{11}COOH$	338,58	34,0	-

Çizelge 2.3. Çeşitli yağların bünyesindeki yağ asitlerinin yüzde dağılımı (41, 42)

Yağlar	8:0	10:0	12:0	14:0	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0 22:0	20:1 22:1	Diğerleri
Soya	--	--	--	0,3	7-11	0-1	3-6	22-34	50-60	2-10	5-10	--	--
Pamuk	--	--	--	0-3	17-23	--	1-3	23-41	34-55	--	--	2-3	--
Mısır	--	--	--	0-2	8-10	1-2	1-4	30-50	34-56	--	--	0-2	--
Ayçiçeği	--	--	--	--	6,0	--	4,2	18,7	69,3	0,3	1,4	--	--
Kolza	--	--	--	--	2-5	0,2	1-2	10-15	10-20	5-10	0,9	50-60	--
Tallow	--	--	--	1	25-30	2-5	12-16	41-51	4-22	--	--	2-3	0,2
Yerfıstığı	--	--	--	0,5	6-11	1-2	3-6	39-66	17-38	--	5-10	--	--
Palm	--	--	--	1-6	32-47	--	1-6	40-52	2-11	--	--	--	--
Bezir	--	--	--	0,2	5-9	--	0-1	9-29	8-29	45-67	--	--	--
Hin. Cevizi	5-9	4-10	44-51	13-18	7-10	--	1-4	5-8	1-3	--	--	--	--
Zeytin	--	--	--	--	9-10	--	1-2	23-35	40-50	Çok az	--	--	--
Tere	--	--	--	7-10	24-26	--	10-13	28,3	1-2,5	0,2-0,5	--	--	--

2.1.3 Tall yağı

Üzerinde çalışma yapılan tall yağı, kağıt fabrikalarında üretim prosesi esnasında elde edilen bir yan üründür. Tall yağı büyük oranda reçine ve yağ asitlerinden oluşur. Bununla birlikte bünyelerinde azda olsa sabunlaşmayan maddeler (B-sitsterol) içerirler.

Ülkemizde yıllık üretim miktarı 15 000 ton civarındadır ve büyük bir kısmı SEKA tarafından üretilmektedir. Tall yağı, boya, naylon, izolasyon ve yapıştırıcı gibi sanayinin çok çeşitli alanlarında kullanılır iken, ülkemizde herhangi bir endüstriyel alanda kullanılmamakta ve tamamı, fiyatı diğer bitkisel yağlardan çok daha ucuza (400 US\$) yurt dışına satılmaktadır. Tall yağının dizel yakıtına ve diğer bitkisel yağlara göre daha ucuz olması, bu yağın alternatif yakıt olarak değerlendirilmesini daha çekici hale getirmektedir.

Tall yağı kimyasal olarak büyük oranda reçine asitleri, yağ asitleri ve sabunlaşmayan maddelerden oluşur. Tall yağında, yağ asitleri olarak linoleik asit (%40), oleik asit

(%50), linolenik asit (%5), stearik asit (%2) ve palmitik asit (%0,1) vardır. Tall yağı içerisinde var olan yağ asitlerinin özellikleri Çizelge 2.4'de verilmiştir. Reçine asitleri ise abiyetik asit (%27-%37), dehydroabietic asit (%29), neoabiyetik asit (%4-%5), palastrik asit (%10-%14), pimarik asit (%1-%2) ve izopimaric asitten (%8-%15) oluşur. Reçine asitlerinin kapalı formülü $C_{19}H_{29}COOH$ dir. Tall yağının kimyasal yapısı ağacın türüne, depoda bekleme süresine, üretim prosesine, ağacın yetiştirildiği coğrafi şartlara ve iklim şartlarına bağlı olarak değişim gösterir (43).

Çizelge 2.4. Tall yağında bulunan yağ asitlerinin özellikleri

Yağ Asitleri	Kapalı Formülü	% Oranı	Çift Bağ Sayısı	Kaynama Sıcaklığı (°C)	Erime Sıcaklığı (°C)
Oleik Asit	$C_{17}H_{33}COOH$	50	1	286	16
Linoleik Asit	$C_{17}H_{31}COOH$	40	2	202	-5
Linolenik Asit	$C_{17}H_{29}COOH$	5	2	230	-11
Stearik Asit	$C_{17}H_{35}COOH$	2	0	371	71
Palmitik Asit	$C_{15}H_{31}COOH$	0,1	0	349	63

Çizelge 2.5'de Dalaman ve Çaycuma kağıt fabrikası tall yağı analiz sonucunun değerleri verilmiştir. Bu araştırmada Çaycuma SEKA Kağıt Fabrikasından alınan tall yağı örnekleri üzerinde çalışma yapılmıştır. Tall yağının elementel yapısı Çizelge 2.6'da görüldüğü gibi bitkisel yağların yapısı ile benzerlik göstermektedir.

Çizelge 2.5. Dalaman ve Çaycuma kağıt fabrikalarında üretilen tall yağının özellikleri (44)

	Dalaman	Çaycuma
Çift bağ değeri	11,53	10,77
Asit değeri	127,77	116,93
Indene-coumarone muhtevası, kütlece (%)	20,78	19,75
Yağ asitleri, kütlece (%)	24,8	37,0
Reçine asitleri, kütlece (%)	73,4	58,0
Sabunlaşmayan madde, kütlece (%)	1,8	5,0

Çizelge2.6. Tall yağının elementel analizi (45).

Elementler	(%)
C	79,1
H	9,9
O	11,0

2.2. Biyodizel Üretimi

Transesterifikasyon bilinen ve en çok kullanılan biyodizel üretim metodu olmakla birlikte geride bıraktığımız yüzyılın başından, bu güne kadar araştırmacılar bitkisel ve hayvansal yağlardan değişik yöntemler kullanarak biyodizel elde etmişlerdir. Transesterifikasyon dışında en çok kullanılan yöntemler; doğrudan kullanım, mikroemilsiyon ve proliz dir.

2.2.1. Doğrudan kullanım

Bitkisel yağların, dizel yakıtına göre yüksek viskoziteye ve yüksek moleküler ağırlığa sahip olmaları nedeni ile, kısa süreli çalışmalarda olumlu sonuçlar vermesine rağmen, uzun süreli çalışmalarda problemlerle karşılaşmıştır. Bu problemler çeşitli motor parçaları üzerinde (piston, yanma odası, manifold ve enjektör gibi) normal sayılamayacak düzeyde karbon birikintileri, enjektörlerde ve filtrelerde tıkanma, segmanlarda yapışma, yağlama yağında bozulmalar ve yakıt püskürtme karakteristiklerinin değişmesidir.

Araştırmacılar bitkisel yağların dizel motorlarında direk kullanım imkanlarının iyileştirilmesi için özellikle iki metot üzerinde durmuşlardır. Bunlardan biri bitkisel yağların belirli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılması, diğeri ise çeşitli metotlar kullanılarak bitkisel yağların ısıtılması suretiyle özelliklerinin iyileştirilmesidir.

Karışım yöntemi en eski ve en kolay yöntemlerden biridir. Uzun yıllardan bu yana yapılan bir çok çalışmada bitkisel yağlar dizel yakıtı ile çok çeşitli oranlarda karıştırılarak yakıt özellikleri incelenmiştir. Bu yöntemde karışımların içerisindeki

dizel yakıtı oranına bağı olarak yakıtın viskozite, buharlaşma, püskürtme karakteristikleri gibi özelliklerinde iyileşmelerin olduğu görülmüştür.

Isıtma yönteminde uygulama iki aşamalı yapılabilmektedir. Birincisinde yakıt olarak kullanılan bitkisel yağ yakıt filtresi öncesinde motor soğutma suyu yada çeşitli elektrikli ısıtıcılar kullanılarak ısıtılmaktadır. Filtre öncesi ısıtma bitkisel yağların direk kullanımında karşılaşılan en büyük sıkıntılardan birisini oluşturan filtre tıkanma probleminin aşılmasını sağlamaktadır. Filtre sonrasında ise ısıtma işleminde genellikle egzoz gazlarından yararlanılmaktadır. Egzoz gazları ile bitkisel yağların sıcaklıkları 100 °C üzerinde bir sıcaklığa çıkarılabilmektedir. Bitkisel yağların ısıtılması ile bitkisel yağın viskozite değerinin düştüğü, atomizasyonun iyileştiği, motor muhtelif parçaları üzerindeki karbon birikintisi miktarının azaldığı ve egzoz emisyonlarında düzelmeler olduğu saptanmıştır.

2.2.2. Mikroemülsiyon

Bitkisel yağların yüksek viskozitesini düşürmek amacı ile kullanılan bir diğer yöntem ise metanol, etanol veya 1-bütanol gibi kısa zincirli alkoller ile mikroemülsiyon oluşturmastır. Mikroemülsiyon, boyutları 1-150 nm arasında olan optikçe izotropik sıvı mikro yapılarının denge dağılımı olup normalde karışmayan iki sıvı ve bir ya da daha fazla aktif maddenin bir araya gelmesi ile oluşur (25).

Bu yöntemle elde edilen yakıtların viskozitelerinde azalmalar ve püskürtme karakteristiklerin de iyileşmeler gibi olumlu sonuçlar kaydedilmiş olmasına rağmen, bu yakıtların bünyelerinde bulundurdıkları alkol nedeni ile Setan Sayılarında ve ısıl değerlerinde düşüşler olmakta ve dolayısıyla motor performansları olumsuz yönde etkilenmektedir.

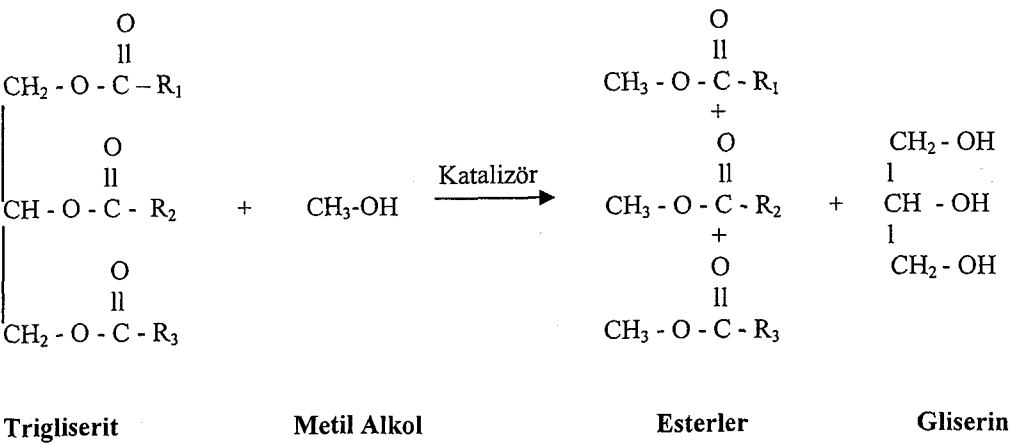
2.2.3. Piroliz (Termal kraking)

Bu yöntemde bitkisel yağ molekülleri yüksek sıcaklıkta oksijensiz bir ortamda daha küçük moleküllere parçalanmaktadır. Bu proses C-C veya C-H bağlarda ayrılmalar şeklinde gerçekleşir. Bu işlem hidro kraking, katalitik kraking ve termal kraking olmak üzere üç kısma ayrılır. Üretilen ürünün miktarı kullanılan metoda, reaksiyon parametrelerine bağlıdır. Örneğin düşük sıcaklıklarda düşük reaksiyon hızlarında katı ürün, hızlı sıcaklık artışı ile yapılan kısa sürede gerçekleştirilen kraking işlemleriyle daha çok sıvı ürün elde edilmektedir (25). Bu yöntemle bitkisel yağların yakıt özellikleri dizel yakıtı özelliklerine yaklaşmasına rağmen enerji sarfiyatının yüksek olması en önemli dezavantajıdır (7).

2.2.4. Transesterifikasyon

Bugün en çok tercih edilen yöntem transesterifikasyon yöntemidir. Transesterifikasyon bitkisel yağ moleküllerinin bir katalizörün yardımı ile belirli bir sıcaklıkta alkol ile kimyasal tepkimeye sokulmasıdır. Bu kimyasal tepkime ile bitkisel yağ asitleri bağlı bulundukları trigliseritlerden ayrılıp alkoller ile yeni esterler oluştururlar. Aşağıdaki transesterleşme reaksiyonunda görüldüğü gibi reaksiyon sonunda üç mol ester ve bir mol gliserin elde edilir. Çizelge 2.7’de reaksiyon sonrası yağ asitlerinin özelliklerinde meydana gelen değişim görülmektedir. Transesterifikasyon reaksiyonlarında genellikle metil veya etil alkol kullanılmaktadır. Reaksiyon sonunda elde edilen esterler, modifiye edilmemiş dizel motorlarında, dizel yakıtı ile değişik oranlarda karıştırılarak ya da %100 biyodizel olarak kullanılabilir (46).

Aşağıdaki örnekte bitkisel yağların bünyelerinde en fazla görülen oleik, linoleik ve stearik asitten oluşan bir yağ molekülünün (trigliserit) esterleşme reaksiyonu verilmiştir.



Çizelge 2.7. Yağ asitlerinin reaksiyon sonrası özelliklerindeki değişim (41,47)

Yağ asidi Metil Ester	Formül	Moleküler Ağırlık (gr)	Erime Noktası (°C)	Kaynama Noktası (°C)
Kaprilik asit	$C_8H_{16}O_2$	144,20	16,5	239,3
Kaprilik metil esteri	$C_9H_{18}O_2$	158,24	-40	193
Kaprik asit	$C_{10}H_{20}O_2$	172,27	31,3	270
Kaprik metil esteri	$C_{11}H_{22}O_2$	186,29	-18	224
Laurik asit	$C_{12}H_{24}O_2$	200,32	43,6	304
Laurik metil esteri	$C_{13}H_{26}O_2$	214,35	5,2	262
Miristik asit	$C_{14}H_{28}O_2$	228,37	58	332
Miristik metil esteri	$C_{15}H_{30}O_2$	242,40	18,5	295
Palmitik asit	$C_{16}H_{32}O_2$	256,43	62,9	349
Palmitik metil ester	$C_{17}H_{34}O_2$	270,46	30	338
Stearik asit	$C_{18}H_{36}O_2$	284,48	70	371
Stearik metil esteri	$C_{19}H_{38}O_2$	298,51	39	352
Oleik asit	$C_{18}H_{34}O_2$	282,46	16,3	--
Oleik metil esteri	$C_{19}H_{36}O_2$	296,49	-19,9	349
Linoleik asit	$C_{18}H_{32}O_2$	280,45	-5	230
Linoleik metil ester	$C_{19}H_{34}O_2$	294,48	-35	366
Linolenik asit	$C_{18}H_{30}O_2$	278,43	-11	232
Linolenik metilesteri	$C_{19}H_{32}O_2$	292,46	-52 / -57	109
Erüsik asit	$C_{22}H_{42}O_2$	338,58	34	265
Erüsik metil ester	$C_{23}H_{44}O_2$	364,61	-	222

Transesterifikasyon reaksiyonu sonunda yan ürün olarak elde edilen gliserin (gliserol) yoğunluğu 1,2 kg/lt, kaynama noktası 290 °C olan bir alkoldür. Saflaştırma prosesleri ile biyodizelden ayrılır ve ekonomik bir değere sahiptir. Kozmetik, sabun ve deterjan sanayi gibi alanlarda kullanılabilir. Biyodizel prosesleri sonunda kütleli olarak yaklaşık %10 civarında elde edilmektedir. Gliserin miktarının azda olsa değişmesinin nedeni yağ moleküllerindeki, yağ asitlerinin cinsleri ve yüzde dağılımlarıdır. Biyodizel içerisindeki gliserin yakıt kalitesini düşürücü bir etkiye sahiptir. ASTM standartlarına göre biyodizel içerisindeki gliserin miktarı % 0,24'ü geçmemelidir.

Transesterifikasyon ve esterleşme reaksiyonlarında reaksiyon verimini etkileyen alkol, katalizör, reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi, su ve nem gibi faktörlere aşağıda değinilmiştir.

Alkolün etkisi

Transesterifikasyon reaksiyonlarında en çok tercih edilen alkoller metil ve etil alkoller olmasına rağmen, izopropanal ve bütanol de kullanılabilir. Transesterifikasyon reaksiyonlarında yağ (trigliserid), alkol stokiometrik molar oranı esterleşme denkleminde de görüldüğü gibi 3:1 dir. Fakat, uygulamada reaksiyon verimini ve hızını arttırmak amacı ile daha fazla alkol kullanılır. Reaksiyonda alkali katalizör kullanıldığında %60 ila %100 arasında fazla alkol kullanılır (48). Asit katalizör kullanıldığında da %500'e kadar varan fazla alkol kullanılabilir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki aynı şartlarda etil alkolün reaksiyon verimi metil alkolün reaksiyon veriminden daha yüksektir. Metil alkol esterlerinin yakıt özellikleri, etil alkolün esterlerine göre dizel yakıtı özelliklerine daha yakındır. Büyük çaplı biyodizel üretim tesislerinde metil alkolün, etil alkole göre daha iyi sonuç vermesi, daha ekonomik olması ve temininde sıkıntı yaşanmaması tercih nedenleri arasındadır. Alkolün proses sonunda az da olsa biyodizel içerisinde kalması, yakıt pompası, conta ve plastik aksamalara olumsuz etkileri olduğu gibi, parlama noktasını ve Setan Sayısını düşürmekte, sonuçta kötü yanmaya neden olmaktadır.

Katalizörün etkisi

Transesterifikasyon reaksiyonlarında alkali katalizörler asit katalizörler ve enzim katalizörler kullanılır. Kullanılan alkali katalizörler sodyum hidroksit, sodyum metoksit potasyum hidroksit, potasyum metoksit, sodyum amit, sodyum hidrür, potasyum amit ve potasyum hidrür dür. Asit katalizörler sülfürik asit, fosforik asit, hidroklorik asit ve organik sulfonik asittir (49). Transesterifikasyon reaksiyonlarında çoğunlukla asit katalizörlere göre çok daha yüksek reaksiyon hızı sağlayan alkali katalizörler kullanılır. Eğer esterleştirilen yağ içerisinde serbest yağ asidi oranı

yüksek ise asit katalizör kullanımı daha uygundur, çünkü alkali katalizörler esterleşme reaksiyonundan çok daha hızlı bir şekilde serbest yağ asitleri ile sabunlaşma reaksiyonu gerçekleştirirler (42). Meydana gelen sabunlaşma, kullanılan katalizörün reaksiyondaki etkisini azalttığı gibi biyodizel kalitesini düşürücü etkiye sahiptir. Biyodizel üretim proseslerinde hammadde olarak kullanılan yağların içerisindeki serbest yağ asidi oranı %4 den fazla olduğu zaman, asit katalizörler kullanılarak serbest yağ asitleri esterleştirilir. Serbest yağ asitleri esterleştirilerek nötrleştirilen ürün alkali katalizör kullanılarak esterleştirilir. Asit katalizörle ön reaksiyonla nötrleştirme işlemleri, genelde serbest yağ asidi oranı yüksek olan kullanılmış yağlar ve hayvansal yağlardan biyodizel üretiminde uygulanır.

Katalizörlerin biyodizel bünyesinden uzaklaştırılamaması kül oranının artmasına neden olmaktadır. Bu katalizörler motorda kullanım esnasında enjektörlerde depozit oluşumuna ve filtre tıkanmalarına neden olabilmektedir.

Reaksiyon sıcaklığının etkisi

Reaksiyon sıcaklığı transesterifikasyon verimi ve reaksiyon hızı üzerinde etkili olan önemli parametrelerden bir tanesidir. Bitkisel yağların transesterifikasyon reaksiyonları kullanılan yağa bağlı olarak değişik sıcaklıklarda gerçekleştirilebilmektedir. 65, 45 ve 32 °C sıcaklıklarda yapılan deneylerde 6 dakika içinde esterleşme verimleri sırasıyla %94, %87 ve %64 olarak ölçülmüştür. Ayrıca 1 saat sonunda, 45 ve 65 °C sıcaklıklarda elde edilen ürünlerin esterleşme verimlerinin birbirlerine yakın olduğu, bununla birlikte 32 °C reaksiyon sıcaklığında elde edilen ürünün esterleşme verimi ise daha düşüktür. Görüldüğü üzere sıcaklık esterleşme de reaksiyon hızında ve veriminde önemli bir etkiye sahiptir (49).

Reaksiyon süresinin etkisi

Reaksiyon verimi zamana bağlı olarak artış gösterir. Reaksiyon hızı ilk dakikalarda daha fazla olmakla birlikte, zaman ilerledikçe azalır. Değişik yağlar ile yapılan çalışmalarda, ilk dakikalarda çok farklı esterleşme verimleri elde edilmesine rağmen,

zaman ilerledikçe verimlerin birbirine yaklaştığı görülmektedir. Transesterifikasyon reaksiyon süresi alkali katalizör kullanıldığında genellikle 1 saat civarında iken asit katalizörlerde ise çok daha fazla zamana ihtiyaç vardır.

Su ve nemin etkisi

Yağın bünyesinde bulunan su reaksiyon esnasında sabun oluşumuna neden olduğundan kullanılan katalizör miktarının azalmasına ve dolayısıyla katalizörün etkisizleşmesine neden olur. Oluşan sabun gliserinin ayrışmasını güçleştirdiği gibi, viskoziteyi ve jelleşmeyi de artırır. Ayrıca sabunun biyodizel bünyesinden ayrıştırılması biyodizelin sıcak su ile birçok defa yıkanmasını gerektirdiğinden üretim maliyetlerini artırıcı etkiye de sahiptir.

2.3. Biyodizel Yakıt Özellikleri

Yağların yapısındaki yağ asitlerinin cinsi ve yüzde oranları üretilen biyodizelin fiziksel ve kimyasal özelliklerini büyük oranda belirler. Doymamış yağ asidi oranı fazla olan yağlardan üretilen biyodizellerin bulutlanma ve akma noktası gibi yakıt özelliklerinin daha iyi olduğu bilinmektedir.

Biyodizel yakıtların ısıl değer, yoğunluk ve viskozite değerleri gibi özellikleri dizel yakıtı değerlerine çok yakındır. Ayrıca dizel yakıtına göre yağlama özelliğinin daha iyi, Setan Sayısı ve parlama noktası değerlerinin daha yüksek, daha az toksik olması önemli yakıt özelliklerindendir. Bununla birlikte biyodizel yakıtların, dizel yakıtına oranla daha yüksek bulutlanma ve akma noktasına sahip olmaları önemli dezavantajlarındandır.

Biyodizel saf haldе yada %50, %20, %5 ve %2 gibi, dizel yakıtı ile değişik oranlarda da karıştırılarak kullanılmaktadır. Biyodizel yakıtlar isimlendirilirken B harfinin önüne % karışım oranı getirilerek isimlendirilir. Örneğin %5 biyodizel karışım oranlı yakıt B5, %50 karışım oranlı yakıt B50 gibi. Çizelge 2.8'de ASTM standartlarına göre B100 ve B20 yakıtlarının özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.8. B100 ve B20 yakıtlarının ASTM standartları

Özellik	Metot	B100 ASTM D6751	B20 ASTM PS 121
Parlama noktası °C, en az	D93	130	100
Su ve nemlilik, % hacim, en çok	D2509	0,050	0,050
Kinematik viskozite, 40 °C, cSt	D445	1,9	1,9
En az		6,0	6,0
En çok			
% Kül, kütlece, en çok.	D874	0,020	0,020
% Kükürt, kütlece, en çok.	D5413	0,05	0,0015
Bakır şerit korozyon testi, 40 °C de 3 saat, en çok.	D130	No.3	No.3
Setan sayısı, minimum	D613	47	46
Bulutlanma noktası °C, en çok	D2500	Talebe Bağlı	Talebe Bağlı
% Karbon kalıntısı, kütlece, en çok	D4530	0,050	0,050
Ramsbottom karbon, en çok	D524	-	0,090
Asit değeri (mg KOH/g)	D664	0,80	0,80
% Serbest gliserin, kütlece, en çok	D6584	0,020	0,020
% Toplam gliserin, kütlece, en çok	D6584	0,240	0,240
% Fosfor, kütlece, en çok	D4951	0,0010	-
Distilasyon Sıcaklığı, T90, °C, en çok	D1160	360	-

3. DİZEL YAKITI VE ÖZELLİKLERİ

Dizel yakıtı hidrokarbonların dışında az miktarda da olsa kükürt, oksijen, kobalt, çinko, fosfor, potasyum ve magnezyum içerir (50).

3.1. Hidrokarbonlar

Dizel yakıtı ham petrolün rafine edilmesi ile elde edilir ve karbon atom sayısı 8 ile 16 arasında olan yüzlerce çeşit farklı hidrokarbon bileşenlerini ihtiva eden bir karışımdır. Bu kadar fazla hidrokarbon çeşidinin olmasının nedeni hidrojen ve karbon atomlarının aralarında farklı bağ yapmalarıdır. Çok çeşitli olan bu hidrokarbonlar, parafinler, naftenler, olefinler ve aromatlar olarak dört ana gruba ayrılırlar. Hidrokarbonlar organik bileşikler olup yapısını hidrojen ve karbon atomları oluşturur.

3.1.1. Parafinler

Parafinlerin genel formülleri C_nH_{2n+2} dir. Parafinlerde hidrojen atom sayısının fazla olması nedeni ısı değerleri yüksektir. Buna karşın yoğunlukları ise düşüktür ve 0,620 – 0,770 kg/lt civarındadır. Parafinler karbon atomlarının birbirlerine bağlanış şekline göre iki gruba ayrılır (51).

* Normal parafinler

Karbon atomları düz zincir şeklinde bağlı olan bu HC'lara normal parafin denir. Karbon atomlarının tüm kollarının dolu olmasından dolayı doymuş hidrokarbonlardır. Bağlar kolayca parçalanabileceğinden dolayı tutuşma meyli fazladır ve benzin motoru yakıtı olarak kullanıma uygun değildir (25). Karbon ismine –an son takısı getirilerek isimlendirilirler. Ayrıca izomerlerden ayırmak için “normal, n-“ öntakısı ile belirtilir. Örnek olarak 10 karbonlu n-Dekan ($C_{10}H_{22}$) verilebilir.

***İzo parafinler**

Normal parafinlere ile aynı sayıda hidrojen ve karbona sahip olmalarına karşın dallanmış zincir şekline sahiptir. Normal parafinler gibi doymuş hidrokarbonlardır. İsimlendirilirken parafinin isminin önüne izo yada i- takısı getirilir. Örnek olarak i-oktanı (C_8H_{18}) ele alırsak dizilim şekline göre 2.2.4 – Trimetilpentan olarak ifade edilmektedir. İsimlendirmedeki pentan, zincirin 5 adet karbon atomu tarafından oluşturduğunu, trimetil ise 3 adet metil grubunun olduğunu, 2.2.4 ise metil grubunun ikisinin 2. karbon atomuna bir tanesinin ise 4. karbon atomuna bağlandığını gösterir. İzo parafinler normal parafinlerle aynı kapalı formüle sahip olmalarına rağmen farklı özelliklere sahiptirler. İzo parafinlerin tutuşmaya meyilleri ve vuruntu meyilleri az olduğu için benzin motoru yakıtı olarak uygundur (51).

3.1.2. Naftenler

Naftenler halka şeklinde doymuş hidrokarbonlar olup, kapalı formülleri C_nH_{2n} dir. Ham petrolün takriben %25'ini oluşturur. Naftenler parafin isminin ön kısmına siklo- takısı eklenerek adlandırılırlar. Hidrojen miktarı az olduğu için, yoğunlukları yüksek (0,740 - 0,790 kg/lit), ısı değerleri ise düşüktür. Yapıları halka şeklinde olduğundan zor parçalanır dolayısıyla tutuşma meyli azdır. Naftenler hem dizel motor yakıtı, hem de benzinli motor olarak yakıtı olarak kullanılabilir. Naftenlere örnek olarak metilsiklopentan (C_5H_{10}) verilebilir.

3.1.3. Aromatikler

Kapalı formülü C_nH_{2n-6} olan aromatikler, altı karbonlu benzen yapısına H veya C ve H den oluşan grupların bağlandığı hidrokarbonlardır (52). Katalitik veya termik kraking ile üretilmektedir. Aromatikler yoğunluğu yüksek (0,800 - 0,850 kg/lit), ısı değerleri düşük olması ile birlikte vuruntuya ve sıkıştırma zamanı esnasında reaksiyona karşı dayanıklı olduğu için benzinde arzu edilen hidrokarbonlardır. Benzinin Oktan Sayısını yükseltmek için kullanılır. Örneğin benzen'in Oktan Sayısı 105, toluen'in Oktan Sayısı 109 dur. Setan Sayıları düşük olduğu için dizel yakıtı

olarak tercih edilmezler. Ayrıca kanserojen olduklarından katkı miktarları sınırlandırılmaktadır. Aromatiklere örnek olarak benzen (C_6H_6) verilebilir.

3.1.4. Olefinler

Olefinler petrolün rafine edilmesi sonucu çok az elde edilirler. Daha çok büyük moleküllü hidrokarbonlardan kraking yolu ile elde edilir. Çift bağı moleküller olan olefinlerin yapısında bazı bağlar boş olduğundan doymamış hidrokarbonlardır ve dolayısıyla kimyasal olarak çok aktiftirler. Olefinler çift bağ sayısına göre adlandırılırlar; bir tane çift bağa sahip olanlar monoolefinler (C_nH_{2n}), iki adet çift bağa sahip olanlar ise di-olefinler (C_nH_{2n-2}) olarak adlandırılır. Olefinler fiziksel olarak parafinlere benzeseler de, parafinler kadar kolay parçalanmadıkları için Oktan Sayıları yüksektir. Olefinler benzin motoru için tercih edilir bir yakıttır. Tutuşma meyilleri iyileştirilirse dizel yakıtı olarak kullanılabilirler (51). Olefinlere örnek verecek olursak monoolefin olarak 2-Buten (C_4H_8) ve di-olefin olarak 1-5 Heptadien (C_7H_{12}) verilebilir.

3.2. Dizel Yakıtlarının Sınıflandırılması

ASTM standartlarına göre dizel yakıtları üç dereceye ayrılır;

No. 1-D ve düşük kükürtlü No. 1-D : Petrolün damıtılmasında elde edilir. Değişik hızlarda ve yüklerde çalışan motorlarda kullanılan uçucu-damıtık bir yakıttır.

No. 2-D ve düşük kükürtlü No. 2-D: Damıtık ve kraking ürünlerini ihtiva eden No. 1-D'ye göre buharlaşma özelliği az olan ağır hizmet ve endüstri motorları yakıtıdır.

No. 4-D: Damıtma veya kraking ürünlerinden ve bazı atıklardan oluşan düşük veya orta hız motorlarının yakıtıdır.

Çizelge 3.1. ASTM 975-97'ye göre dizel yakıtlarının standartları

Özellik	Düşük Kükürtlü No. 1-D	Düşük Kükürtlü No. 2-D	No. 1-D	No. 2-D	No. 4- D
Parlama Noktası °C, min	38	52	38	52	55
Su ve nemlilik, % hacim, mak.	0.05	0.05	0.05	0.05	0.50
Distilasyon sıcaklığı, °C, %90					
Minimum	--	282	--	282	--
Maksimum	288	338	288	338	--
Kinematik viskozite, 40 °C cSt					
Minimum	1,3	1,9	1,3	1,9	5,5
Maksimum	2,4	1,4	2,4	4,1	24,0
% Ramsbottom karbon kalıntısı					
Kütlesel, mak.	0,15	0,15	0,15	0,35	--
% Kül, kütlesel, mak.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10
Bakır şerit korozyon testi, 40 °C 3 saat, mak.	No. 3	No. 3	No. 3	No. 3	--
% Kükürt, Kütlesel	0,05	0,05	0,50	0,50	2,0
Setan Sayısı, min.	40	40	40	40	40
Setan İndeksi	40	40	--	--	--
% Aromatikler, Hacimsel, mak.	35	35	--	--	--
Bulutlanma Noktası °C	Lokal iklim şartları dikkate alınarak belirlenir.				

3.3. Dizel Yakıtı Özellikleri

3.3.1. Akma noktası

Akma noktası yakıt için çok önemlidir, çünkü yakıtın akma özelliğini yani hareket kabiliyetini yitirdiği en düşük sıcaklıktır. Diğer bir tanımla yakıtın jelleşmeye başladığı sıcaklıktır. ASTM D 97 standartlarına akma noktası sıcaklığı şu şekilde belirlenir; yakıt soğutulur ve her 3 °C sıcaklık azalmasında yakıtın akışkanlık özelliği kontrol edilir (53). Düşük sıcaklıklarda akma noktası yüksek olan yakıtların kullanımındaki güçlükleri aşmak için yakıtın elektrikli ısıtıcı benzeri sistemler ile ısıtılması gerekmektedir.

3.3.2. Bulutlanma noktası

Yakıt içinde vaks (wax) kristallerinin oluşumunun başladığı sıcaklıktır. Bu sıcaklıkta yakıt içerisinde katı yapılar oluşmaya başlamıştır (54). Oluşan bu katı yakıt partikülleri yakıt filtresinin tıkanmasına neden olur. Bulutlanma noktası sıcaklığı genellikle yakıtın kullanılacağı bölgenin çevre sıcaklığından 6 °C civarında daha düşük olacak şekilde ayarlanır (53).

3.3.3. Parlama noktası

Sıvı yakıtın üst kısmında yanabilir karışımın olduğu en düşük sıcaklıktır. Parlama noktası yakıtın tutuşma özelliğine bağlı olduğu kadar, yakıtın buhar basıncına da bağlıdır. Parlama noktası kapalı bir kap içerisinde karıştırılan yakıtın yüzeyinde belirli sıcaklık aralıklarında alev gezdirilerek tespit edilir. Geçici bir alevlenmenin görüldüğü sıcaklık parlama noktasıdır. Parlama noktası direk olarak motor performansı ile ilişkili olan bir yakıt özelliği değildir. Daha çok yakıtın emniyetli olarak kullanımı ve depolama özelliğini belirlemek için ölçülür (54).

3.3.4. Isıl değer

Yanma sonucu oluşan ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütlesine bölünmesi ile elde edilen değere ısı değeri denir (55). Yakıtların ısı değerleri genellikle birim kütlesinin enerjisi ile verilmektedir (kJ/kg veya kcal/kg). Gaz yakıtlarda ise ısı değeri uygulamada birim hacminin enerjisi olarak verilmektedir (kJ/l, kJ/m³ veya kcal/m³). Motorlardaki yanma sonucu sıcaklıklarda su her zaman buhar olarak bulunduğu için, ısı değeri, alt ısı değeri olarak verilmelidir (51).

3.3.5. Viskozite

Akışkanların akmaya karşı göstermiş oldukları direncin ölçüsüdür. Petrol kökenli yakıtların viskozite değerleri büyük oranda sıcaklığa bağlı olarak değişir ve artan

sıcaklıkla orantılı olarak azalır. O nedenle viskozite değerleri verilirken sıcaklıkla birlikte verilir. Viskozitenin standartların üstünde olması, yakıt pompası ve enjektörlerin iyi yağlanmamasına, enjeksiyon esnasında damlacık boyutlarının normalden daha büyük olmasına, ayrıca enjektörlerde tıkanma ve sıkışmalara neden olabilmektedir. Viskozitenin çok düşük olması pompa ve enjektörlerdeki geri kaçak miktarının artmasına, püskürtme karakteristiklerinin değişmesine neden olmaktadır.

3.3.6. Su ve çökelti (sediment)

Yakıt içerisindeki su ve nem filtrelerde tıkanmaya, enjektör ve yakıt pompası parçalarının zarar görmesine neden olmaktadır. Ayrıca yakıt içerisindeki yabancı maddeler filtrelerde ve enjektörlerde tıkanmaya sebep olur. Bunu önlemek amacıyla yakıtın küçük gözenekli filtrelerde bir veya iki kademede süzöldükten sonra pompa ve enjektörlere gönderilmesi gerekir.

3.3.7. Distilasyon eğrisi

Distilasyon eğrisi yakıt örneğinin ısıtılıp buharlaştırmak suretiyle kademeli (fraksiyonlu) olarak distile edilmesi ile elde edilir. Yakıtın distilasyon eğrisi belirlenirken soğutucudan ilk damlanın elde edildiği sıcaklık, yakıtın her bir %10'luk kısmının elde edildiği sıcaklıklar ve en son sıcaklık değerleri önemlidir. Dizel yakıtı yüzlerce değişik bileşikten oluştuğu için distilasyon eğrisi yakıtın kompozisyonu hakkında önemli bilgi vermektedir.

Buharlaştırma özelliği iyi olan yakıt ile motor ilk hareke daha kolay geçer ve daha az is emisyonları oluşur. Dizel yakıtından istenen buharlaştırma özellikleri, motorun büyüklüğüne, istenen güce, atmosferik koşullara, motor devrine ve ilk harekete geçiş durumuna göre değişim gösterir. Ağır dizel yakıtları ısı değerlerinin yüksek olmasından dolayı en iyi yakıt ekonomisini, daha iyi buharlaşan, hafif dizel yakıtları ise daha iyi motor performansı sağlar.

3.3.8. Kül

Kül oluşumuna neden olan maddeler dizel yakıtı içerisinde iki şekilde bulunur; Katı halde aşındırıcı katı parçacıklar ve çözünmüş haldeki metalik sabunlar şeklinde bulunur. Katı parçacıklar yakıt pompası, enjektörler, sekmanlar ve pistonların aşınmasına neden olduğu gibi motor parçaları üzerinde birikintilere (depozitlere) neden olur. Çözünmüş haldeki metalik sabunlarda yanma sonunda motor parçaları üzerinde birikintiyeye neden olurlar.

3.3.9. Kükürt

Dizel yakıtı içerisindeki kükürt miktarı egzoz emisyonlarını olumsuz yönde etkiler. Kükürt miktarı, partikül ve SO_x emisyonlarını artırır. Ayrıca yakıt içerisindeki kükürt yanma esnasında sülfürik aside dönüşebilmektedir. Bilindiği gibi sülfürik asit, motor parçaları için aşındırıcı (korozyon) etkiye sahip çok zararlı bir maddedir.

3.3.10. Bakır şerit korozyon testi

Bu test dizel yakıtının, yakıt sisteminin bakır, bronz ve pirinçten oluşan parçaları üzerindeki etkisini araştırmak için yapılmaktadır. ASTM D 130'e göre yakıtın korozyon etkisini belirlemek için parlatılmış bakır şerit 3 saat süreyle 50 °C sıcaklıktaki yakıt içerisinde bekletilir. Daha sonra çözücü (solvent) ile yıkandıktan sonra yüzeydeki kararma ve korozyon miktarı karşılaştırma yöntemi ile belirlenir.

3.3.9. Setan sayısı

Dizel yakıtının tutuşma meylinin ölçüsü olarak Setan Sayısı kullanılmaktadır. Setan Sayısının artması dizel motorda yanma prosesinin en önemli kısmını oluşturan tutuşma gecikmesi süresini kısaltmakta ve dolayısıyla ani yanma öncesi yanma odası içerisinde biriken yakıt miktarı azalmaktadır. Bu ise ani yanma safhasında basınç artış hızının azalmasına neden olmaktadır.

Setan ($C_{16}H_{34}$) düz zincir yapıda parafin grubundan bir yakıt olup, Setan Sayısı 100 kabul edilmiştir. Alfametilnaften'in ($C_{10}H_7CH_3$) ise Setan Sayısı 0'dır. Bu iki yakıtın karışımının Setan Sayısı, hacimsel olarak, karışımındaki % Setan miktarı ile belli olur. Ölçülecek yakıtın Setan Sayısı standart motorda (CFR veya BASF motoru) ölçülen TG süresinin, Setan-alfametilnaften karışımlarının TG süreleri ile karşılaştırılması sonucu belirlenir (51).

Setan sayısı yukarıda anlatılan yöntemle belirlenmesi zor ve pahalı olduğu için dizel yakıtının tutuşma özelliği anilin noktası veya dizel indeksi ile de verilebilir (51). Bunun yanında infrared metotlarla da yaklaşık olarak Setan Sayısı ve Setan İndisi çok kolay ve hızlı olarak ölçülebilmektedir.



4. DİZEL MOTORLARDA YANMA VE KİRLETİCİ EMİSYONLAR

4.1. Dizel Motorlarda Yanma

Yanma fiziksel ve kimyasal etkileşimden oluşan karmaşık bir olaydır. Yanmayı oluşturan fiziksel olaylar genellikle kütle ve enerji iletimi ile ilgilidir. Kimyasal reaksiyonlar ise yakıt ile oksidant arasındaki moleküler seviyedeki etkileşimdir. Yanma yakıtın buharlaşarak hava ile karışma koşullarına, kimyasal reaksiyonların hızına ve yanma bölgesindeki ısı ve kütle iletim koşullarına bağlı olarak başlar, gelişir ve tamamlanır (56).

Dizel motorlarda yanma, sıkıştırma stroku sonuna doğru yakıtın silindir içerisine püskürtülmeye başlanmasından, egzoz zamanı başlangıcına kadar geçen sürede meydana gelen fiziksel ve kimyasal olaylar zincirini kapsar. Motorun ısıl veriminin yüksek olması için yanmanın mümkün olduğu kadar ÜÖN'ya yakın olması istenir. Yüksek sıcaklık ve basınçtaki ortama püskürtülen yakıtın buharlaşmaya başlaması ile yanma reaksiyonları da oluşmaya başlamaktadır. Bu reaksiyon hızları başlangıçta çok düşük olduğundan, basınçta belirgin bir artış görülmez (56).

Dizel motorlarda sıkıştırma oranı 12-22 arasında değişir ve yakıt silindir içerisine üst ölü noktadan 15-20 derece önce püskürtülür (57). Yanma odası içinde homojen bir karışım oluşmaz. Hava yakıt oranı ise motorun yük durumuna bağlı olarak 15:1 ila 70:1 arasında değişim gösterebilmektedir.

Dizel motorlarda elde edilen güç, silindir içerisinde sıkıştırılmış ve ısıtılmış havanın içerisine püskürtülen yakıtın miktarı ile belirlenir. Dizel motorlarda, sıkıştırma stroku sonunda ulaşılan sıcaklık ve basınç motora alınan havanın sıcaklığına, sıkıştırma oranına ve motor devrine de bağlı olarak değişir (57).

Dizel motorlarda yanma dört ana safhaya ayrılmaktadır. Bunlar;

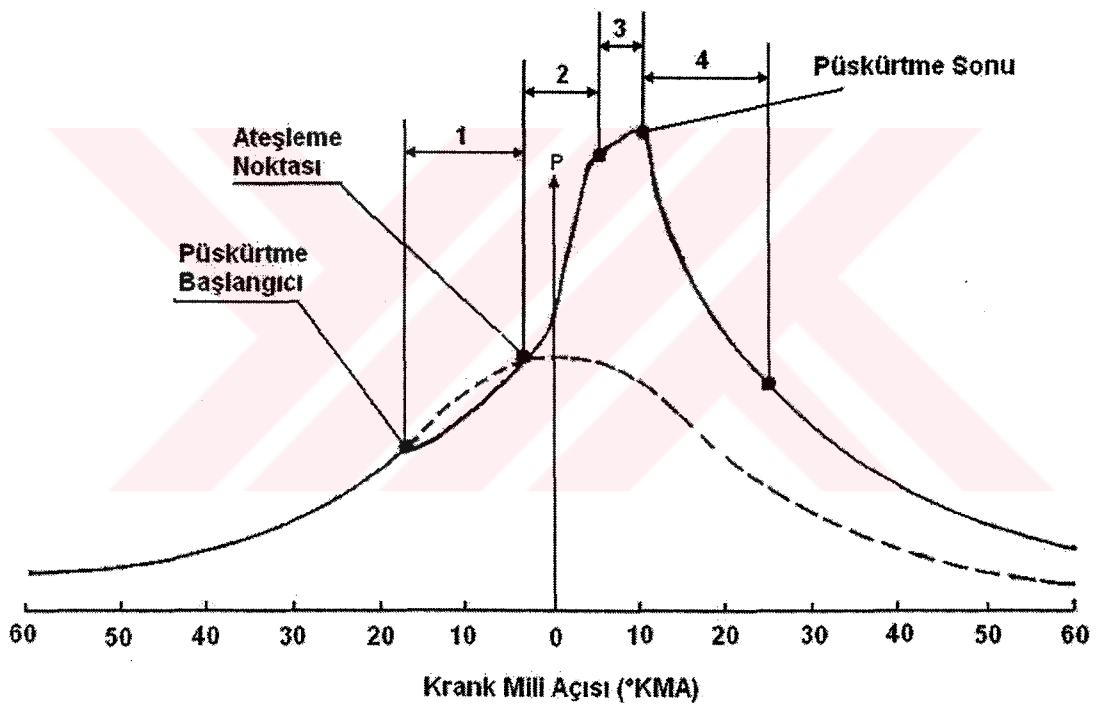
* Tutuşma gecikmesi

* Ani yanma

* Kontrollü yanma

* Art yanma

Bazı kaynaklar dizel motorlarda yanmayı, kontrollü ve art yanmayı birleştirip üç bölümde incelemişlerdir (58).



Şekil 4.1. Dizel motoruna ait basınç-krank açısı diyagramı, 1. Tutuşma gecikmesi, 2. Ani Yanma Safhası, 3. Kontrollü Yanma safhası, 4. Art Yanma safhası

4.1.1. Tutuşma gecikmesi safhası

Yakıtın püskürtülmeye başladığı noktadan, tutuşma anına kadar meydana gelen gecikmeye tutuşma gecikmesi denir. Şekil 4.1.'de tipik bir dizel motoru için basınç-krank açısı diyagramı verilmiştir. Diyagramda 1 ile gösterilen kısım tutuşma gecikmesini kapsamaktadır. Tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıt silindirde birikir ve bir taraftan da yanmaya hazır hale gelir. Tutuşma gecikmesi

süresinin, dizel motorlarında yanmanın düzgün ve vuruntusuz olması için mümkün olduğunca kısa olması istenir.

Tutuşma gecikmesi yakıtın buharlaştığı (fiziksel tutuşma gecikmesi) ve bunu takiben tutuşma anına kadar olan ön reaksiyonların oluştuğu kimyasal tutuşma gecikmelerinden oluşur. Yakıtın püskürtülmesinin hemen ardından bir buhar tabakası oluşmakta ve yanma bu buhar tabakasında başlamaktadır. Sonraki buharlaşma ise tutuşma gecikmesini etkilemez. Dolayısıyla buharlaşma olayının tutuşma gecikmesine katkısı çok fazla olmaz. Bununla birlikte tutuşma sonrası reaksiyon hızı buharlaşma hızı ile doğru orantılıdır. Keza buhar fazındaki yakıtın yanma hızı da buhar tabakasını çevreleyen havanın oksijen konsantrasyonu ile orantılıdır (50).

Ayrıca tutuşma gecikmesi süresi içerisinde buharlaşan yakıtın silindir ortamından çektiği ısı nedeniyle silindir basıncında bir azalma görülür (56).

Dizel motorlar gibi yakıtın püskürtüldüğü motorlarda hava/yakıt oranı yanma olayının başlaması bakımından pek önemli değildir. Çünkü silindir içerisinde hava/yakıt oranı sıfır ile sonsuz arasında değişen bir çok nokta vardır. Yanma olayı tutuşma için en uygun orana sahip nokta veya noktalarda başlar (50).

Tutuşma gecikmesi süresi aşağıdaki hususlara bağlı olarak değişir;

- * Püskürtme anında silindir içerisindeki havanın basıncına ve sıcaklığına,
- * Yakıtın tutuşma özelliklerine (Setan Sayısına),
- * Püskürtülen yakıtın damlacık boyutuna,
- * Silindir içerisinde oluşturulan türbülansa,
- * Yakıtın buharlaşma özelliğine ve entalpilerine (59).

4.1.2. Ani yanma safhası

Ani yanma safhası, tutuşma gecikmesi süresince yanma odası içerisinde biriken ve bu esnada havayla karışıp bir dereceye kadar buharlaşan yakıtın tutuşmasıyla başlar. Tutuşmanın başlamasıyla birlikte yanmaya hazır olan yakıt oksijen bulunduğu oranda çok hızlı bir şekilde yanar.

Bu safhada meydana gelen yanmanın hızı silindir içerisindeki basınç artış hızını ($dp/d\alpha$) belirler. Basınç artış hızı dizel motorunun yumuşak, verimli yada sert çalışması üzerinde etkin bir parametredir. Dizel motorlarda basınç artış hızı genellikle $0,2 - 0,3 \text{ MPa/}^\circ\text{KMA}$ mertebelerindedir. Bu değer $0,4 - 0,5 \text{ MPa/}^\circ\text{KMA}$ değerlerine ulaştığında motor sert çalışmaktadır (56). Basınç artış oranı sınırlar içerisinde ise dizel motoru anormal sesler çıkarmadan yumuşak ve verimli çalışır. Basınç artış oranı sınırlar dışına çıkarsa motorun yatak boşluklarının çok hızlı bir şekilde alınmasından ve yanma titreşimlerinden dolayı sert, şiddetli ve vuruntulu bir ses olan dizel vuruntusu duyulur (22). Dizel motorlarda konstrüktif nedenlerden dolayı basınç yükselme oranı mutlaka sınırlar arasında tutulur. Yeni nesil yakıt sistemlerinde tutuşma gecikmesi esnasında püskürtülen yakıt miktarı azaltılabildiği için daha düşük basınç artış oranları elde edilebilmektedir (57).

Basın yükselme oranı üzerinde etkili olan faktörler şunlardır.

- * Yakıtın püskürtme karakteristikleri.
- * Tutuşma gecikme süresince biriken yakıt miktarına, bu ise tutuşma gecikmesi süresinin uzunluğuna bağlıdır.
- * Tutuşma gecikmesi süresince biriken yakıtın ne oranda havayla karışıp buharlaşarak yanmaya hazır hale geldiğine.

Sonuç olarak elde edilen maksimum basınç ve basınç yükselme oranı gibi motorun verimli ve düzgün çalışmasında önemli yer tutan parametreleri tutuşma gecikmesi

süresinde püskürtülen yakıt miktarı ve yakıtın yanmaya hazır olma oranı belirlemektedir.

4.1.3. Kontrollü yanma safhası

Ani yanma süresi sonunda sıcaklık ve basınç çok yükselmiş olduğundan bu safhadan sonra gelen kontrollü yanma safhasında, püskürtülen yakıt oksijen bulunca hemen yanar. Kontrollü yanma 2000 °C üzerindeki sıcaklıklarda 6° lik krank mili açısına kadar sürebilmektedir (21). Bu safhadaki basınç değişimi ani yanma safhasındaki orana göre daha düşüktür.

Kontrollü yanma safhasında basınç eğrisinin seyri aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

- * Yakıt püskürtme hızına; özellikle silindirde hala yeterli miktarda oksijen varsa bu faktör çok önemlidir.
- * Yakıt ile hava temasını iyileştirecek şekilde ve şiddette hava hareketi olmasına. Bu ise motor hızına ve yanma odası şekline bağlıdır.
- * Pistonun konumuna. Eğer üçüncü safhanın başlangıcı pistonun ÜÖN'dan epey uzaklaştığı bir piston konumunda oluyorsa o zaman hacim değişiminin basınç eğrisi üzerindeki etkisi belirgindir.

Yakıt püskürtme, kontrollü yanma safhasından önce tamamlanmışsa o zaman üçüncü safhada basınç eğrisinin seyrini ani yanma safhasında gerekli oksijeni bulamamış yakıt damlacıkları tayin eder (55).

4.1.4. Art yanma safhası

Kontrollü yanma safhasının bitiminden, egzoz supabı açılincaya kadar geçen sürede olan yanma art yanma safhası olarak adlandırılmaktadır. İdeal olarak dizel motorlarda yanmanın bu safhaya kadar sarkması istenmez. Çünkü bu safhada silindir

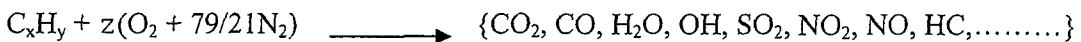
hacmi genişlemekte dolayısıyla basınç ve sıcaklık hızla düşmektedir. Fakat dizel motorlarda heterojen bir karışım söz konusu olduğu için bazı bölgelerde çok zengin karışım oranlarının oluşması yanmanın tamamlanamamasına neden olmaktadır. Yanamamış yada kısmen yanmış yakıt molekülleri kontrollü yanma sonrası oksijen buldukça yanar. Yanamayan yada kısmen yanan yakıt molekülleri CO, HC ve is gibi kirletici egzoz emisyonlarını oluşturur.

Genişleme zamanında gerçekleşen art yanma ÜÖN'den sonra 70-80 °KMA kadar devam eder. Yanmanın egzoz zamanına geçilmeden önce tamamlanması gerekmektedir (56).

4.2. Dizel Motorlardan Kaynaklanan Kirletici Emisyonlar

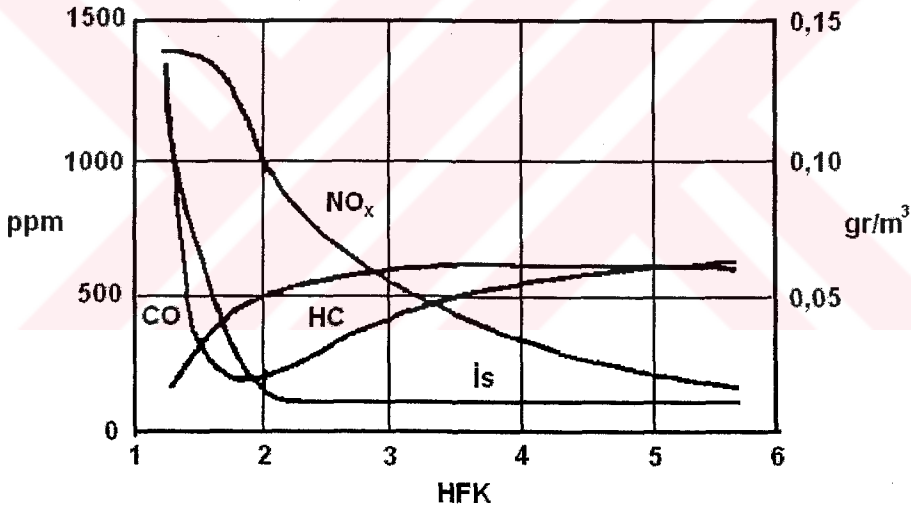
Yanma olayı oksijenin yakıt ile kimyasal reaksiyona girmesi sonucu ısı ve ışığın oluşması şeklinde tanımlana bilmektedir. Yakıtlar molekülleri temelde karbon (C) ve hidrojen (H) den oluşur. Teorik olarak tam yanma söz konusu olduğunda havadaki oksijen (O₂) karbonla birleşerek karbon dioksiti (CO₂), hidrojen ile birleşerek suyu (H₂O), oluşturur, bununla beraber havada büyük oranda bulunan N₂ ise büyük oranda herhangi bir reaksiyona girmez.

Teorik olarak HFK=1 yani, 1 kg yakıtı takriben 15 kg hava gerekmektedir. Dizel motorlarda iyi bir yanma için en azından 1,5 ila 2 katı kadar hava ile yanmayı gerçekleştirmek gereklidir. Kirletici bileşenlerin oluşumu yanma olayına bağlıdır. Burada gerçek hava/yakıt oranı teorik tam yanma değerinden büyük olmasına rağmen silindir içerisindeki yakıt damlacıkları çevresinde yeteri kadar hava bulunamamaktadır. Bu da eksik yanma ürünü olan CO, HC ve is'in oluşumuna neden olmaktadır. Dizel yakıtının %79'u N₂ ve %21'i O₂ olan hava ile yanması sonucu oluşan ürünler aşağıdaki gibidir.



Son yapılan çalışmalarda dizel yakıtının hava ile reaksiyonu sonucu 600'ün üzerinde ürün açığa çıktığı belirlenmiştir (60). Dizel motorlarda yanma sonucu oluşan egzoz gazlarının çok küçük bir kısmı kirletici gazları oluşturur. Normal şartlarda dizel motorlarda yanma sonucu açığa çıkan gazların %99,8'i su, azot, oksijen, karbon dioksit gibi zararsız gazlardan oluşur. Çevre ve insan sağlığı için zararlı olan gazların oranı %0,2 gibi çok düşük değerdedir (61).

Günümüzde büyük yerleşim yerlerinde içten yanmalı motorlardan kaynaklanan hava kirliliği toplam kirleticiler içerisinde önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu kirlenmede emisyonların payları hidrokarbon için %55,9, karbon monoksit için %74,5, kükürt oksit için %3, azot oksit için %51,3 partikül ve is emisyon için ise %3 tür (62).



Şekil 4.2. HFK'nın kirletici egzoz emisyonlarına etkisi (63).

4.2.1. Azot oksit (NO_x)

Motor içindeki yanmada ulaşılan yüksek sıcaklıklarda (1800 K'nin üstünde) havanın içerisindeki azotun oksijen ile termokimyasal reaksiyona girmesi sonucu azot oksitler (NO_x) meydana gelmektedir. Yanma işleminin başlangıcında NO_x oluşmaz. Yanmanın devam etmesi ile basınç ve sıcaklık artınca NO_x oluşumu başlar. Azot oksitler içerisinde ana eleman olarak genellikle NO bulundurulur. Egzoz gazlarının

daha sonra atmosfere atılması sonucu oksijen ile temasında NO'nun bir kısmı NO₂ ve öteki NO_x'lere dönüşmektedir (63).

Azot oksit emisyonlarının hemen hemen tamamı tutuşma gecikmesi sonrasındaki 20 °KMA lik süre içerisinde oluşur. Geciktirilmiş enjeksiyon ve kısa tutuşma gecikmesi maksimum basınç ve sıcaklığı azaltacağından dolayı azot oksit emisyonlarını azaltır (64).

NO_x oluşumunu etkileyen faktörler şunlardır;

- * Alev sıcaklığının 1800 °K'in üzerinde kalış süresi
- * Yeterli O₂ bulunan bölgelerdeki maksimum sıcaklık
- * Mevcut O₂ ve N₂ miktarı (22)

Azot oksit emisyonları renksiz, kokusuz ve tatsızdırlar. NO_x emisyonları içerisinde NO ve NO₂ kirletici olarak kabul edilir. NO_x emisyonlarında üçüncüsü olan N₂O atmosferde son derece kararlı olup kirletici olarak kabul edilmez.

Azot oksitler atmosferde bulunan su ile birleşerek nitrik asit oluşumuna neden olurlar. Bunun sonucunda atmosferde asit yağmurları meydana gelir. Benzer şekilde akciğerde bulunan su buharı ile birleşerek insan vücudunda da nitrik asit ve nitröz asit oluşumuna neden olmaktadır (25).

4.2.2. Karbon monoksit (CO)

CO eksik yanma sonucu ortaya çıkan kirletici emisyonlardan bir tanesidir. CO atmosferde zaman içerisinde oksitlenerek CO₂'e dönüşür (62). CO oluşumunun nedenleri, yanma esnasında yeterli oksijen bulunamaması, gaz sıcaklığının düşük olması ve CO₂'e dönüşüm için yeterli sürenin bulunamamasıdır. CO oluşumunda en önemli parametre hava fazlalık katsayısıdır. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi hava fazlalık

katsayı is sınırına yaklaştıkça egzozdaki CO emisyon konsantrasyonu 1000-7000 ppm'e kadar artar. Hava fazlalık katsayısı 2'den fazla olduğunda 100-200 ppm mertebesine kadar düşmektedir (63).

Karbon monoksit bulunduğu zaman zehirli olan, renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır. CO kan içerisinde bulunan hemoglobin ile birleşerek vücuda oksijen taşınmasını engeller. Düşük konsantrasyondaki CO baş ağrısına, zihinsel ve fiziksel yavaşlamalara neden olur. Yüksek konsantrasyondaki CO bilinç kayıplarına ve ölümlere neden olabilmektedir (57).

4.2.3. Hidrokarbonlar (HC)

Hidrokarbonlar yakıtın eksik yanması sonucu oluşurlar. Eksik yanmanın düşük sıcaklıklar ve oksijen eksikliği olmak üzere iki önemli nedeni vardır.

Motorlardaki HC emisyonu daha ziyade tam yanma olmayan bölgelerden kaynaklanmaktadır. Dizel motorlarında HC emisyonu 10-600 ppm mertebesinde. Yakıt damlacığı-hava ikilisinin çok zengin veya çok fakir kısımlarının ve bilhassa damlacıkların cidarlarda soğumaları HC emisyonlarını arttırmaktadır. HC emisyonları motor yüküne ve hızına bağlı değildir. Daha ziyade yanma odası geometrisine bağlıdır (63).

Egzoz gazı çok farklı çeşitte hidrokarbon içerir. Bazı hidrokarbonlar kanserojen etkiye, bazıları da gözü ve boğaz mukozasını tahriş edici özelliğe sahiptir. Hidrokarbonlar asit yağmurlarının oluşmasına katkıda bulunduğu gibi ultraviyole ışıklarla reaksiyona girerek foto-kimyasal sis oluşumuna da neden olurlar (57).

4.2.4 Kükürt oksit (SO_x)

Renksiz ve zehirleyici olan kükürt oksit emisyonları rahatsızlık veren bir kokuya sahiptirler. Dizel yakıt içerisinde bulunan kükürt, yanma esnasında oksijenle reaksiyona girerek SO_2 yada oranı çok az olan SO_3 'e dönüştür. Bu emisyonların

kimyasal olarak atmosferdeki yarı ömürleri 6 ila 10 gün arasındadır. Oksitlenerek sülfürük aside dönüşebildikleri için asit yağmurlarına neden olmaktadır (62).

Yanma esnasında kükürt oksit oluşumu yakıt içerisinde kükürt oranına bağlıdır. Eğer yakıt içerisindeki kükürt miktarı ve hava yakıt oranı biliniyorsa egzozda ki SO_x emisyon miktarı hesaplanabilmektedir (62).

4.2.5. İs

Siyah duman olarak bilinen is, hava miktarı yetersiz olduğu zaman ortaya çıkmaktadır. Dizel motorlarda hem karışım oranı hem de yakıt cinsi is oluşumuna sebep olmaktadır. İs teşekkülü, oksijence fakir ortamda bulunan yakıt moleküllerinin ısı parçalanması; özellikle hidrojenlerin kolayca oksitlenmesi, karbonların ise oksitlenmeden ortamda çoğalması şeklinde tasvir edilebilir. Hidrojenleri ayrılan karbonca zengin büyük moleküller birleşmekte ve iri molekül gruplarının bir araya toplanması ile is zerrecikleri oluşmaktadır. Yanma odasındaki is zerrecikleri yeterli sıcaklık, oksijen ve zaman bulamazsa egzozdan çevreye atılmaktadır. Dizel motorlarında $HFK < 1,3$ şartlarında tam yük veya aşırı yük durumlarında yanma odasındaki isin büyük bir kısmı egzozdan çıkmaktadır (63).

İs motor elemanlarının ömrünü olumsuz etkiler, piston ve silindiri aşındırır. İs ayrıca segman yuvalarına girerek segmanları aşındırır. Supap oturma yüzeylerinde birikerek supapların iyi kapanmasını önler. Bunun sonucu olarak; buradaki egzoz gazlarının oluşturduğu daimi akım supapların hasar görmesine neden olur.

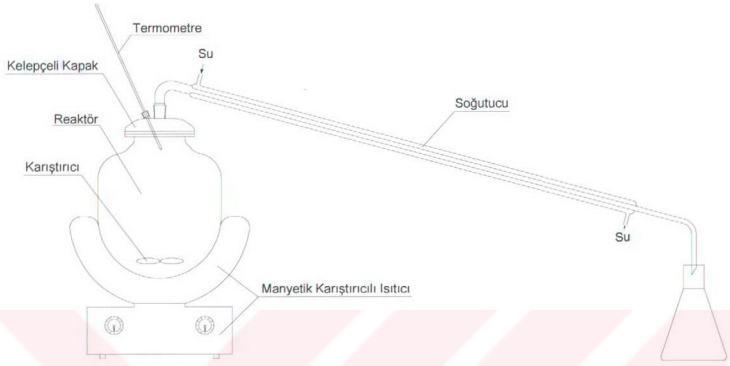
5. MATERYAL VE METOT

5.1. Ham Tall Yağından Yağ ve Reçine Asitlerinin Ayrılması

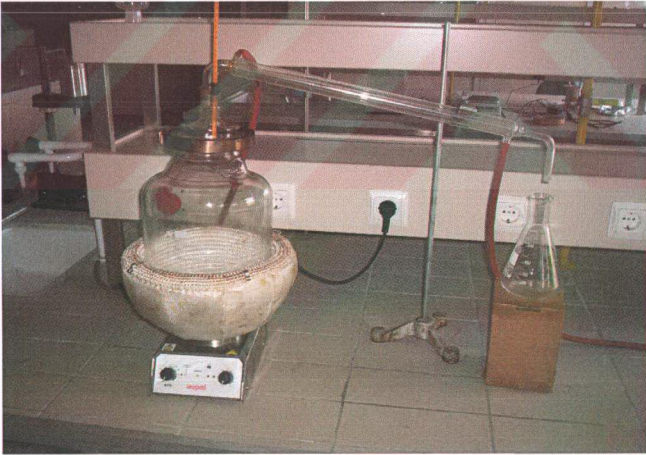
Yapılan çalışmada kullanılan ham tall yağı numunesi SEKA Çaycuma kağıt fabrikasından temin edilmiştir. Numune için SEKA Çaycuma kağıt fabrikasının tercih edilmesinin nedeni tall yağı bünyesinde bulunan ve alternatif dizel yakıtı üretiminde kullanılacak olan serbest yağ asidi oranının ülkemizdeki diğer kağıt fabrikalarında üretilenlerinkinden daha yüksek olmasıdır.

Ham tall yağı büyük ölçüde yağ asitlerinden ve reçine asitlerinden oluşmaktadır. Çalışmada tall yağı yağ asitleri metil ester (biyodizel) üretiminde, reçine asitleri ise metalik yakıt katkı maddelerinin sentezlenmesinde kullanılmıştır. Ham tall yağı yapısında bulunan, yağ asitleri, reçine asitleri ve diğerleri fraksiyonlu distilasyon yöntemi uygulanarak birbirlerinden ayrılmıştır. Tasarımı yapılan distilasyon düzeneğinin şematik görünümü Şekil 5.1'de ve fotoğrafı ise Resim 5.1'de görülmektedir. Distilasyon düzeneği, 5 lt kapasiteli manyetik karıştırıcılı termostat kontrollü ısıtıcı, 5 lt'lik yüksek sıcaklığa dayanıklı kavanoz şeklinde bir balon, kelepçeli iki boyunlu kapak, 50 cm uzunluğunda düz soğutucu ve 370 °C sıcaklığa kadar ölçüm yapabilen termometreden oluşmaktadır. Distilasyon, ürünlerin buharlaşma sıcaklığı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Distilasyon, sabit ısıda her seferinde aynı miktarda tall yağı kullanılarak yapılmıştır. Değişik sıcaklıklarda distile olan ürünlerin fiziksel ve kimyasal analizleri yapılarak ürünler tanınmıştır. Ham tall yağından ilk distile olan ürün su olmuş, daha sonra ise sırasıyla yağ asitleri ve reçine asitleri distile olmuştur.



Şekil 5.1. Tall yağının distilasyon düzeneği şeması



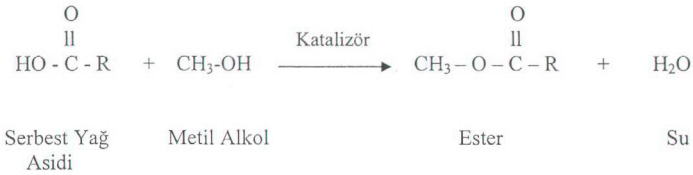
Resim 5.1. Tall yağının distilasyon düzeneği fotoğrafı

5.2. Tall Yağı Yağ Asitlerinden Metil Ester Üretilmesi

Yapılan çalışmalarda elde edilen serbest yağ asitlerinin yakıt özelliklerinin dizel yakıtı olarak kullanıma uygun olmadığı görülmüştür. Bundan dolayı yağ asitleri metil alkol ile esterleştirilerek viskozite, yoğunluk ve donma noktası gibi yakıt özelliklerinin dizel yakıtı değerlerine yaklaştırılması hedeflenmiştir.

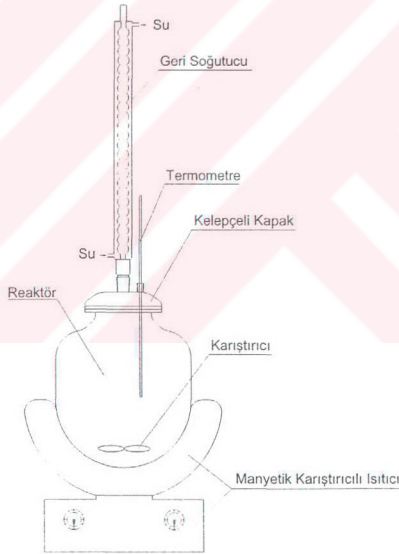
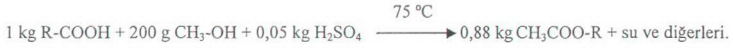
Yağların (trigliserit) esterleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan alkali katalizörlerin (NaOH ve KOH) serbest yağ asitlerinin esterleştirilmesinde kullanımı mümkün değildir. Çünkü alkali katalizörler esterleşme reaksiyonundan çok daha hızlı bir şekilde serbest yağ asitleri ile kimyasal reaksiyona girerek sabun oluşturmaktadırlar. Bu yüzden serbest yağ asitlerinin esterleştirilmesinde H_2SO_4 veya HCL gibi asit katalizörlerin kullanımı daha uygundur (65,66).

Asit katalizörler ile serbest yağ asitlerinin esterleşme reaksiyonlarında trigliseridin transesterifikasyonun da yan ürün olarak elde edilen gliserin elde edilemez. Aşağıdaki denklemde görüldüğü gibi bir mol yağ asidinin esterleşme reaksiyonu sonunda bir mol ester ve bir mol su oluşur. Suyun oluşumu reaksiyon verimini olumsuz yönde etkileyen bir faktördür.

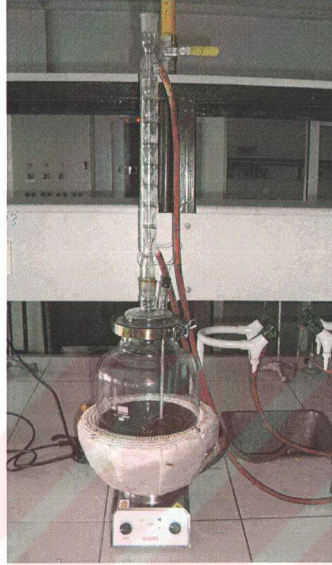


Çalışmada serbest yağ asitleri, 5 lt'lik reaktörde, %20 metil alkol ve katalizör olarak %5 oranında sülfürik asit (H_2SO_4) kullanılarak, 75 °C sıcaklıkta, 3 saat reaksiyon süresinde, metil alkol ile kimyasal tepkimeye sokularak metil ester elde edilmiştir. Kullanılan düzeneğin şematik görünümü Şekil 5.2'de ve genel olarak görünümü ise Resim 5.2'de verilmiştir. Kimyasal tepkime sonunda elde edilen ham metil esterinin içerisindeki, sülfürik asit ve kimyasal tepkimeye girmeyen maddeleri ayırmak için

sodyum bikarbonat çözeltisi ile iki defa yıkanıp ayırma hunileri yardımıyla metil esterden ayrılmıştır. Bu işlem ile metil esterlerin dizel yakıtına göre daha yüksek olan asit değerleri pH=7'ye ayarlanarak nötrleştirilmiştir. Yıkama sonrası elde edilen metil ester distile edilerek saf metil ester elde edilmiştir. Bu esnada tall yağı metil esteri içerisinde kalan reçine asitleri de bünyeden ayrılmıştır. Aşağıdaki denklemde tespit edilen reaksiyon verimi gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Tall yağı metil esterinin sentezlendiği reaktörün şeması



Resim 5.2. Tall yağı metil esterinin sentezlendiği reaktör

Reaksiyonda kullanılan kimyasal maddelerin özellikleri aşağıda verilmiştir:

Metil alkol (CH_3OH): %99,5 saflıkta, 20 °C sıcaklıkta 0,792 kg/lit yoğunlukta, kaynama noktası 65 °C ve moleküler ağırlığı 32,04 gr/mol olan metil alkol kullanılmıştır.

Sülfürik Asit (H_2SO_4): %98 saflıkta, 1,84 kg/lit yoğunlukta, 98,08 gr/mol molekül ağırlığında sülfürik asit kullanılmıştır.

Sodyum bikarbonat (NaHCO_3): merck

5.3. Organik Esaslı Metal Katkı Maddelerinin Sentezlenmesi

Dizel yakıtlarının yanma verimini arttırmak ve hava kirliliğine neden olan kirletici emisyonların miktarını azaltmak için birçok yakıt katkı maddesi üzerinde bilim adamları tarafından araştırmalar yapılmıştır. Üzerinde çalışmalar yapılan yakıt katkı maddelerinden bir tanesi de metal içerikli katkı maddeleridir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda değişik şekillerde sentezlenen bu tür metal içerikli yakıt katkı maddelerinin dizel yakıtının fiziksel ve kimyasal özelliklerini olumlu yönde etkilediği ve bunun sonucu olarak yanma veriminin arttığı ve kirletici egzoz emisyonlarının azaldığı saptanmıştır.

Tall yağı bitkisel yağ asitlerini metil alkol ile kimyasal tepkimeye sokarak elde ettiğimiz tall yağı metil esterlerinin 2 numaralı dizel yakıtına göre viskozitesi, yoğunluğu, akma noktası ve bulutlanma noktası gibi özellikleri daha yüksektir. Bu özellikler nedeni ile metil esterin doğrudan yakıt olarak kullanımında veya dizel yakıtı ile yüksek orandaki karışımlarında filtrelerde ve enjektörlerde tıkanma, iyi atomize olmama, çeşitli motor aksamlarında karbon birikintileri ve ilk harekete geçmeme problemleri ile karşılaşmıştır.

Yukarıda bahsedilen ve hazırlanan deney yakıtlarının dizel motorlarda kullanımını olumsuz yönde etkileyen özelliklerini iyileştirmek amacı ile ham tall yağından elde edilen reçine asitleri ile metal bileşiklerin kimyasal reaksiyona sokulması sonucunda yakıt katkı maddeleri elde edilmiştir.

Tall yağı reçine asitleri (büyük oranda abiyetik asit) kurulan reaktörde NiO, MoO₃, MgO, MnO₂ ve Co₃O₄ metalik bileşikleriyle reaksiyona sokularak organometalik bileşikler sentezlenmiştir. Organometalik bileşiklerin sentezi için 1000 ml'lik üç boyunlu cam reaktör, ± 2 °C termostat kontrollü manyetik karıştırıcılı ısıtıcı, termometre, damlatma hunisi, geri soğutucu ve etil alkol kullanılmıştır. Deney düzeneği Şekil 5.3'de ve Resim 5.3'de gösterilmiştir.

Her bir metalik bileşik için reaksiyon esnasında kullanılan reçine asidi, metalik bileşik ve etil alkol miktarı aşağıda verilmiştir.

NiO

53,88 gr NiO

400 gr Reçine Asitleri

50 ml Etil Alkol

MoO₃

103,7 gr MoO₃

400 gr Reçine Asidi

50 ml Etil Alkol

Co₃O₄

57,84 gr Co₃O₄

400 gr Reçine Asidi

50 ml Etil Alkol

MgO

29 gr MgO

400 gr Reçine Asidi

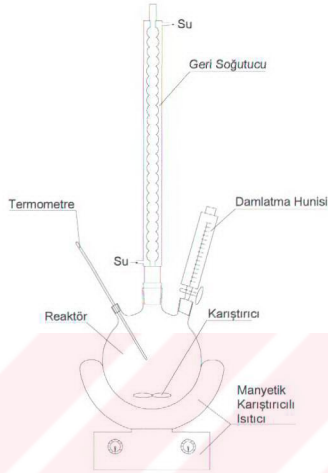
50 ml Etil Alkol

MnO₂

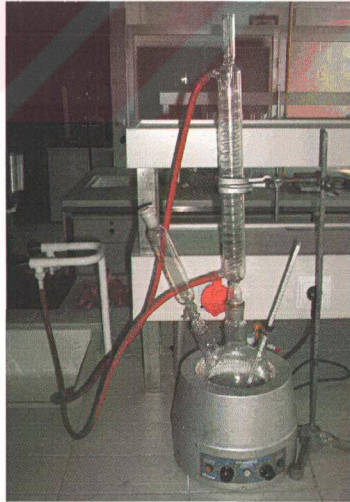
62,64 gr MnO₂

450 gr Reçine Asidi

50 ml Etil Alkol



Şekil 5.3. Organometalik katkı maddelerinin sentezlendiği reaktörün şeması



Resim 5.3. Organometalik katkı maddelerinin sentezlendiği reaktör

Metalik bileşikler reaksiyon öncesi nemden arındırılmak amacı ile 110 °C sıcaklıkta, kül fırınında 1 saat kurutulmuştur. Tall yağı reçine asitleri metalik bileşiklerle 225 °C sıcaklıkta 1 saat'lik bir zaman diliminde karıştırılarak reaksiyona sokulmuştur. Reaksiyon sonunda ürün, sıcaklığı 40 °C'ye düşüncüye kadar dinlenmeye bırakılmış ve sonrasında içerisine 50 ml etil alkol eklenip sıcaklık 60 °C'ye çıkarılarak eklenen alkolün çözünmesi sağlanmıştır. Reaksiyona girmeyen metalik bileşikleri ayırmak amacıyla elde edilen ürün 15 gün boyunca dinlenmeye bırakılmıştır. Dinlenme sonunda dipte tortu şeklinde biriken reaksiyona girmeyen metalik bileşikler ve üst kısımdaki organometalik bileşikler birbirlerinden ayrılmıştır. Ayrılan her iki fazın kütlesi ve hacimleri belirlenmiştir. Reaksiyona girmeyen metalik bileşik miktarının net olarak belirlenebilmesi için ayrılan metalik bileşikler kül fırınında 850 °C sıcaklıkta yakılmıştır. Kül fırınından sonra elde edilen metalik bileşikler tartılarak reaksiyon başlangıcında kullanılan metalik bileşiklerin miktarından çıkarılmış ve reçine asitleri ile reaksiyona giren metal bileşiklerin net miktarı belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar Karakaya'nın (67) tespit ettiği sonuçlar ile benzerlik göstermiştir. Aşağıdaki Çizelge 5.1'de her bileşik için reaksiyona giren metalik bileşik miktarı, reaksiyon verimi ve elde edilen ürünün birim hacmindeki metalik bileşik miktarları verilmiştir.

Çizelge 5.1. Reaksiyon verim çizelgesi

Metalik Bileşikler	Tortu Miktarı Ağırlık (g)	Yakma Sonrası Ağırlık (g)	Reaksiyona Giren Metal Bileşik Miktarı (g)	Reaksiyon Verimi (%)	Ürünün Birim Hacimdeki Metal. Mik. (g/ml)
NiO	59,93	47,10	6,78	12,60	0,0167
MoO₃	105,15	70,54	33,16	32,03	0,0785
Co₃O₄	18,98	10,32	47,52	27,37	0,1065
MgO	56,08	10,41	18,58	64,07	0,0474
MnO₂	76,11	43,50	19,15	30,57	0,0458

Aşağıda örnek olarak tall yağı reçine asitlerinin büyük çoğunluğunu oluşturan abiyetik asit dikkate alınarak NiO in reaksiyon denklemi verilmiştir. Reaksiyon sonunda bir mol su ve bir mol nikel abiyatat bileşik oluşmuştur.



5.4. Motor Performans ve Emisyon Test Ekipmanları

5.4.1. Deneyde kullanılan egzoz emisyon cihazları

Egzoz duman yoğunluğunun ölçülmesinde VLT 2600 S marka egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır. VLT 2600 S cihazı Resim 5.4'de görülmektedir. Cihazın ölçtüğü değerler ve ölçüm hassasiyeti Çizelge 5.2.'de verilmiştir.



Resim 5.4. VLT 2600S duman cihazı

Çizelge 5.2. VLT 2600S duman cihazının teknik özellikleri

	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
Egzoz duman koyuluğu (N, %)	%0-99	0,01
K faktörü	0-10	0,01
Motor devri (devir/dakika)	0-9999	0,01
Yağ sıcaklığı (°C)	0-150	1

TS 11365'e göre ışık absorpsiyon katsayısı, egzoz gazı içerisinde bulunan, şeffaf olmayan parçacıkların, gazdan geçen ışığın aydınlatma şiddetinin (aydınlanan birim yüzey için ışık akısının) azaltılmasıyla ilgili bir katsayıdır.

TS 11365'e göre duman koyuluğu, egzoz gazı içerisinde bulunan parçacıkların, gazdan geçen ışığın aydınlatma şiddetini (aydınlatma birim yüzey için ışık akısını) azaltma yüzdesidir. Tam şeffaf gaz için duman koyuluğu %0'dır. Işığı tamamen absorbe eden, yani geçirgen olmayan gaz için duman koyuluğu %100'dür.

Egzoz emisyonlarının ölçülmesinde Resim 5.5'de görülen, Gaco-SN marka gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Cihazın ölçtüğü emisyonlar ve birimleri Çizelge 5.3'de görülmektedir.



Resim 5.5. Gaco-SN gaz analiz cihazı

Çizelge 5.3. Gaco-SN gaz analiz cihazının teknik özellikleri

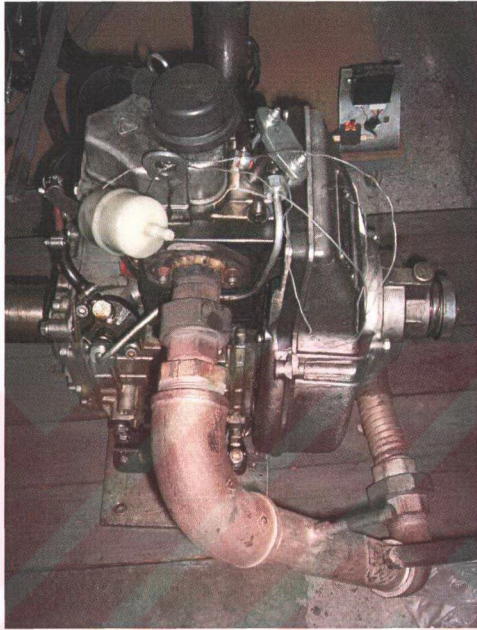
Ölçülen Emisyonlar	Birimler
Ortam sıcaklığı (Tr)	°C
Gaz sıcaklığı (Tg)	°C
O ₂	%
CO ₂	%
CO	ppm ve mg/Nm ³
SO ₂	ppm ve mg/Nm ³
NO	ppm
NO ₂	mg/Nm ³
Yanma verimi	%
λ	-

5.4.2. Deney motoru

Performans ve emisyon testlerinde deney motoru olarak hava soğutmalı tek silindirli direk enjeksiyonlu Lombardini 6LD 400 marka dizel motoru kullanılmıştır. Deney motorunun genel görünümü Resim 5.6'da görülmektedir. Deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 5.4'de verilmiştir. Deney motoru bir platform üzerine monte edilmiş olup, egzoz borusu egzoz tahliye hattına bağlanmıştır.

Çizelge 5.4. Deney motorunun teknik özellikleri

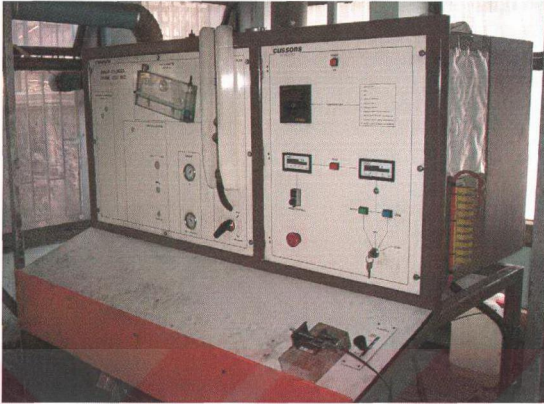
Marka ve model	Lombardini 6LD 400
Çalışma prensibi	4 zamanlı, direkt enjeksiyonlu
Silindir sayısı	1
Silindir hacmi	395 cm ³
Silindir çapı	86 mm
Strok	68mm
Sıkıştırma oranı	18:1
Enjektör püskürtme basıncı	200 bar



Resim 5.6. Deney motoru

5.4.3. Kontrol panelli

Deney esnasında motor devrinin, hava tüketiminin, yük değerlerinin, ortam sıcaklığının ve yakıt tüketimi değerlerinin ölçüldüğü kontrol paneli Resim 5.7’de görülmektedir. Panelde motor devri, yük ve ortam sıcaklık değerleri dijital olarak okunabilir özelliğe sahiptir. Yakıt miktarı ise elle kumanda edilen yakıt metre ile 30 ml hacimler kullanılarak ölçülmüştür. Hava debisi ise hava tankına bağlı bulunan bir orifis ve orifisteki basınç düşüşünü ölçen bir manometre yardımıyla belirlenmiştir.



Resim 5.7. Kontrol paneli

5.4.4. Dinamometre

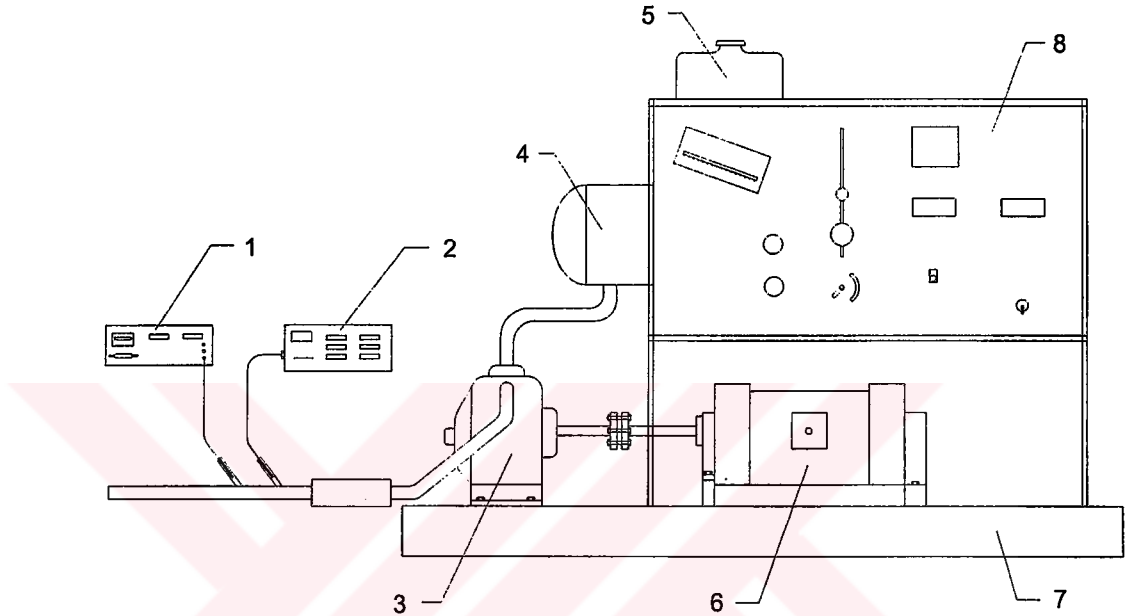
Motor tork değerlerinin ölçülmesinde kullanılan elektrikli dinamometrenin görünümü Resim 5.8’de verilmiştir. Dinamometre motorun ilk harekete geçirilmesini de sağlamaktadır.



Resim 5.8. Dinamometre

5.4.5. Deney düzeneği

Motor performans ve emisyon testinin yapıldığı düzeneğin şematik görünümü Şekil 5.4’de gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Motor test düzeneğinin şematik görünümü

1. Dizel emisyon cihazı, 2. Duman ölçüm cihazı, 3. Deney motoru, 4. Hava metre, 5. Yakıt deposu, 6. Dinamometre, 7. Platform, 8. Kontrol paneli

5.5. Motor Performans Testlerinin Yapılması

Deney öncesi motor yakıt pompası ve enjektör ayarları orijinal değerlere göre ayarlanmıştır. Motor testlerinde ölçümlere geçilmeden önce deney motoru 15 dakika yüksüz çalıştırılıp normal çalışma sıcaklığına getirilmiştir. Deney yakıtlarının motor performans ve emisyonlarına olan etkilerini belirlemek amacıyla tam yük şartlarında 1800-3200 devir/dakika motor hızları arasında 200 devir/dakika arayla testler yapılmıştır. Her bir deney yakıtı 3 kez test edilmiş ve ölçülen değerlerin ortalamaları alınmıştır. Çalışma ortamının basıncı ve sıcaklığı ölçülerek performans değerleri üzerindeki etkileri dikkate alınmıştır.

5.6. Hata Analizi

Motor performans ve emisyon değerlerinin ölçümleri esnasında meydana gelen maksimum hata oranları Çizelge 5.5'de verilmiştir. Hata analizleri, dizel yakıtı ile elde edilen ölçüm değerleri dikkate alınarak yapılmıştır. Performans değerleri ölçümlerinde tespit edilen maksimum hata oranları emisyon ölçümlerine göre çok daha düşüktür. Emisyon ölçümlerinde meydana gelen en büyük, maksimum hata oranı HFK ile %4,11 dir. Ayrıca VLT 2600S duman cihazı ile Gaco-SN gaz analiz cihazına göre daha kararlı değerler elde edilmiştir.

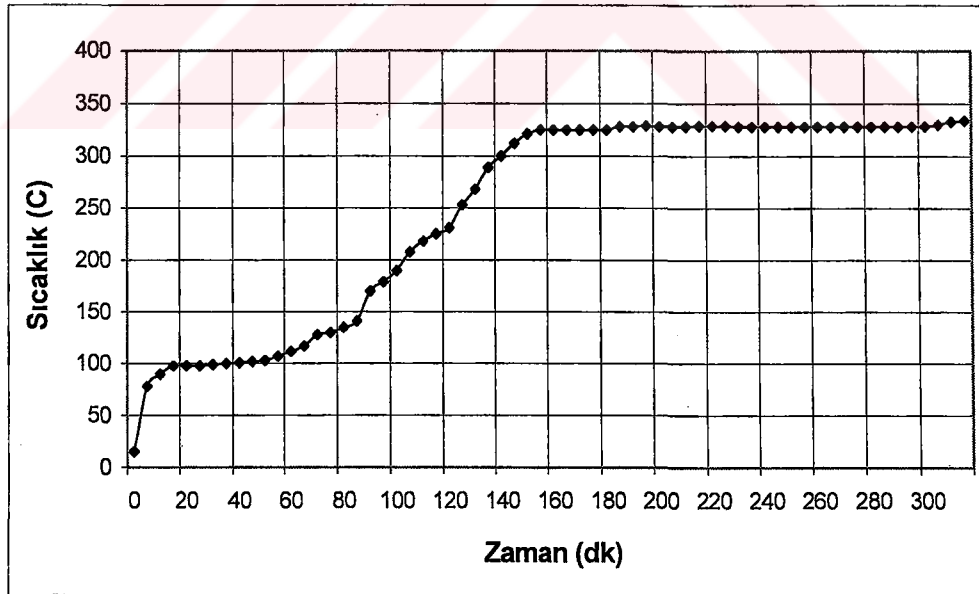
Çizelge 5.5. Ölçüm esnasında tespit edilen maksimum hata oranları

Ölçüm Yapılan Değerler	Meydana Gelen Maksimum Hata (%)
Motor Devri (devir/dakika)	0,05
Tork (Nm)	0,69
Güç (kW)	0,51
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	1,20
CO (ppm)	3,92
NO _x (ppm)	4,02
Işık Absorpsiyon Katsayısı (1/m)	2,40
Duman Koyuluğu (%)	2,64
CO ₂ (%)	3,83
HFK	4,11

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1. Tall Yağı Distilasyonu

Tall yağı distile edilirken ilk damla 85 °C sıcaklıkta elde edilmiştir. Distilasyonda ilk elde ürün olan ve miktarı %5-%7 arasında değişen su, 100-105 °C arasındaki sıcaklıklarda distile olmuştur. Su distilasyonu sona erdikten sonra sıcaklık yükselmeye başlamıştır. Sıcaklık yükselirken az ve düzensiz olmakla birlikte distilasyon devam etmiştir. 180 °C sıcaklığa ulaşıldığında distile olan ürün miktarı artış göstermiştir. Sıcaklık 300 °C'nin üzerine çıktığında sıcaklık artışı azalmış distile olan ürün miktarı artmıştır. Yapılan analizler 180 - 328 °C buhar sıcaklıkları arasında distile olan ürünlerin yağ asitleri ve 328 - 340 °C buhar sıcaklıkları arasında distile olan ürünlerin ise reçine asitleri olduğunu ortaya koymuştur. Şekil 6.1'de tall yağının zamana bağlı distilasyon grafiği verilmiştir.



Şekil 6.1. Tall yağının zamana ve sıcaklığa bağlı distilasyon grafiği

6.2. Deney Yakıtlarının Özellikleri

Yapılan ön çalışmalarda üretilen tall yağı metil esterinin saf hali ve dizel yakıtı ile %50, %60 %70, %80 ve %90 oranlarındaki karışımlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenip, deney motorunda tam yük şartlarında performans ve emisyon testine tabi tutulmuştur. Motor testleri ve yakıt özellik testleri tall yağı metil esterinin %100, %90 ve %80 oranlarındaki karışımlarının dizel motorlarda yakıt olarak kullanıma uygun olmadığını ortaya koymuştur. Bu oranlardaki karışımların motor testi esnasında enjektörlerde tıkanmaya, ilk harekete geçiş de zorluklara ve emisyonlarda kötüleşmelere neden olduğu tespit edilmiştir. Yapılan testlerde %60 karışım oranının yakıt özellikleri, motor performans ve emisyon değerleri diğer karışım oranlarına göre daha iyi sonuçlar vermiştir ve bundan dolayı çalışmalarda bu karışım oranı üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu karışım oranı kısaca TE60 olarak adlandırılmıştır. Dizel yakıtı ise D100 olarak adlandırılmıştır. Tablo 6.1’de deneylerde kullanılan D100 ve TE60 yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.

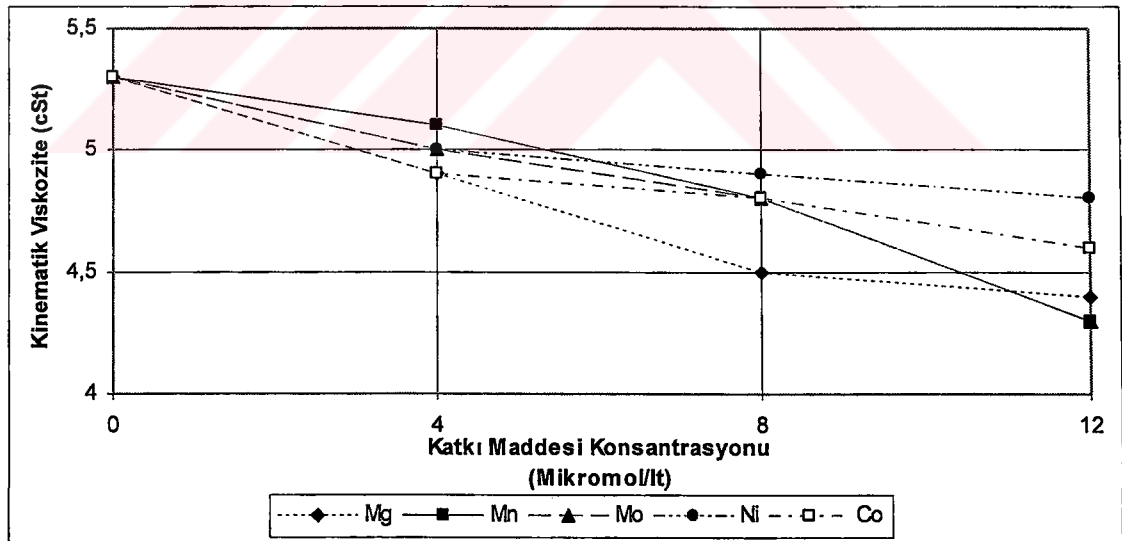
Çizelge 6.1. Dizel yakıtı ve TE60 yakıtının fiziksel ve kimyasal özellikleri

	D100	TE60
Yoğunluk (kg/lt) 15°C	0,835	0,867
Isıl değer (kJ/kg)	43 760	41 511
Akma Noktası (°C)	-23	-14
Kükürt, kütlece (%)	0,2579	0,1029
CFPP (°C)	-8	-6
Alevlenme noktası (°C)	73	88
Bulutlanma noktası (°C)	-6	-2
Setan sayısı	47	50
Kinematik viskozite 40°C (cSt)	2,6	5,3

Yapılan çalışmalarda sentezlenen metal yakıt katkı maddeleri TE60 yakıtına üç farklı oranda dozlanarak deney yakıtları hazırlanmıştır. Dozlama miktarları katkı

maddesinin içerisindeki metal miktarına göre hesaplanarak 4 $\mu\text{mol/l}$, 8 $\mu\text{mol/l}$ ve 12 $\mu\text{mol/l}$ oranlarında olacak şekilde yapılmıştır. Katkı maddelerinin karışım yakıtın viskozite, akma noktası ve parlama noktası üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Hazırlanan katkı maddeli yakıtlar isimlendirilirken TE60 kısaltmasının ardına dozlama miktarı ve metalin simgesi eklenmiştir. Örneğin, 4 $\mu\text{mol/l}$ oranında Ni katkı maddesi içeren yakıt TM60-4Ni olarak adlandırılmıştır.

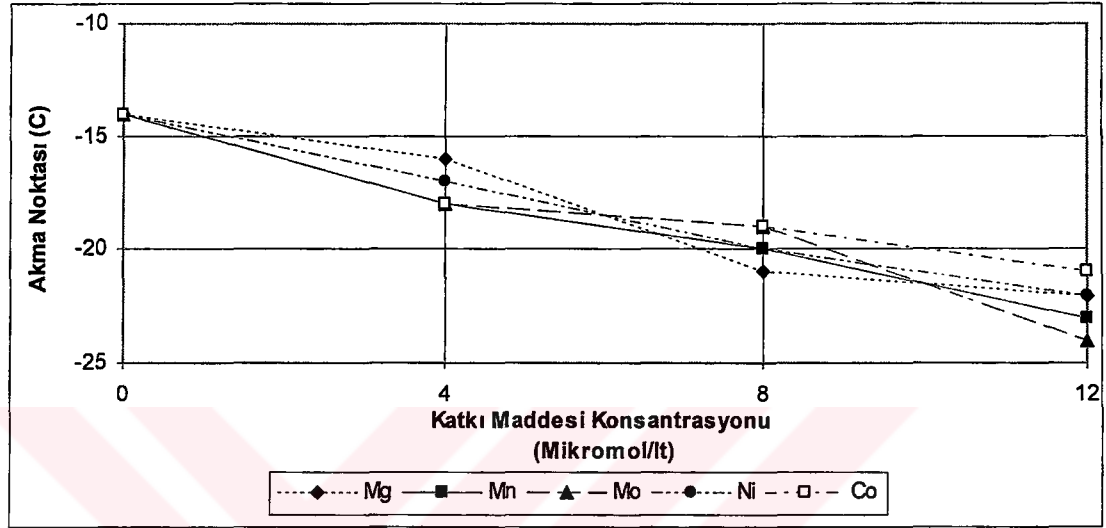
Deney yakıtlarının viskozite değerleri 40 °C sıcaklıkta, saybolt viskozimetre kullanılarak ölçülmüş ve sonrasında dönüşüm tabloları kullanılarak kinematik viskozite değerleri bulunmuştur. Şekil 6.2’de görüldüğü gibi bütün katkı maddelerinin yakıt içerisindeki konsantrasyonuna bağlı olarak viskozite değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir. Mg ve Mn içerikli katkı maddeleri ile diğer katkı maddelerine göre, daha etkili sonuçlar elde edilmiştir. Bütün katkı maddeleri 12 $\mu\text{mol/l}$ oranlarında deney yakıtının viskozite değerini dizel yakıtı standartları içerisinde getirmiştir.



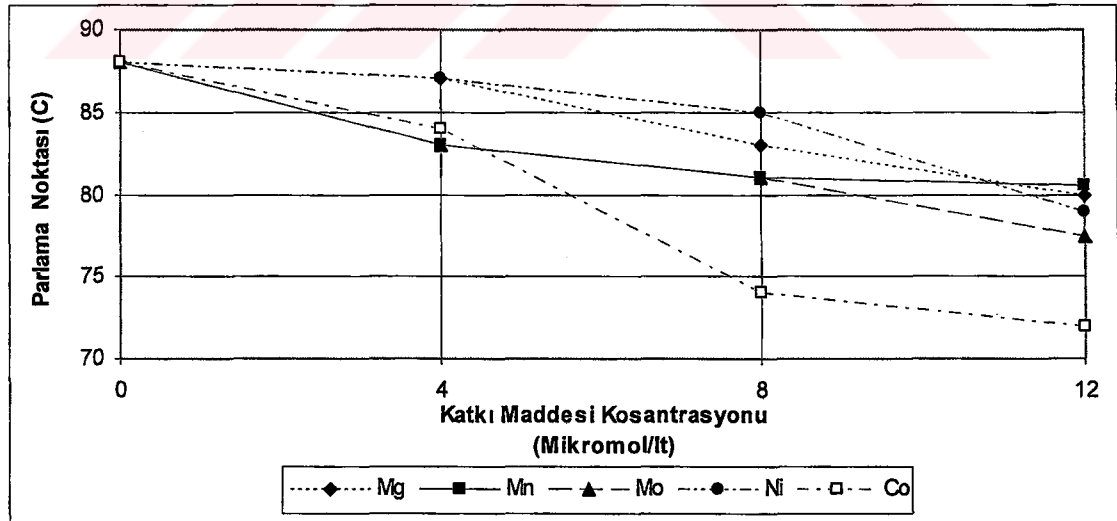
Şekil 6.2. TE60 yakıtının viskozite değerinin katkı maddesi konsantrasyonuna bağlı değişimi

Şekil 6.3’de metalik katkı maddelerinin TE60 yakıtının akma noktası üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Katkı maddelerinin 12 $\mu\text{mol/l}$ konsantrasyonunda deney yakıtlarının akma noktası değerlerinde meydana gelen azalma miktarları Mg için 8

°C, Mn için 9 °C, Mo için 10 °C, Ni için 8 °C ve Co için 7 °C olarak ölçülmüştür. Akma noktasının azalması, biyodizel yakıtlarda özellikle soğuk havalarda görülen donma tehlikesine ve filtre tıkanmaları olaylarına karşı yakıtın dayanımını arttırmaktadır.



Şekil 6.3. TE60 yakıtının akma noktası değerinin katkı maddesi konsantrasyonuna bağlı değişimi



Şekil 6.4. TE60 yakıtının parlama noktası değerinin katkı maddesi konsantrasyonuna bağlı değişimi

Şekil 6.4’de metalik katkı maddelerinin konsantrasyonunun artışına bağlı olarak deney yakıtının parlama noktası değerleri üzerindeki değişimleri gösterilmiştir. Bütün yakıt katkı maddeleri deney yakıtının tutuşma sıcaklığını konsantrasyon miktarına bağlı olarak düşürmüştür. Şekil 6.4’de görüldüğü gibi TE60 yakıtının tutuşma noktasını en fazla düşüren Co içerikli katkı maddesidir. Deney yakıtının tutuşma sıcaklığının düşmesi soğuk havalarda motorun ilk harekete geçirilmesindeki problemlerin çözümünde olumlu etkiler yapacaktır.

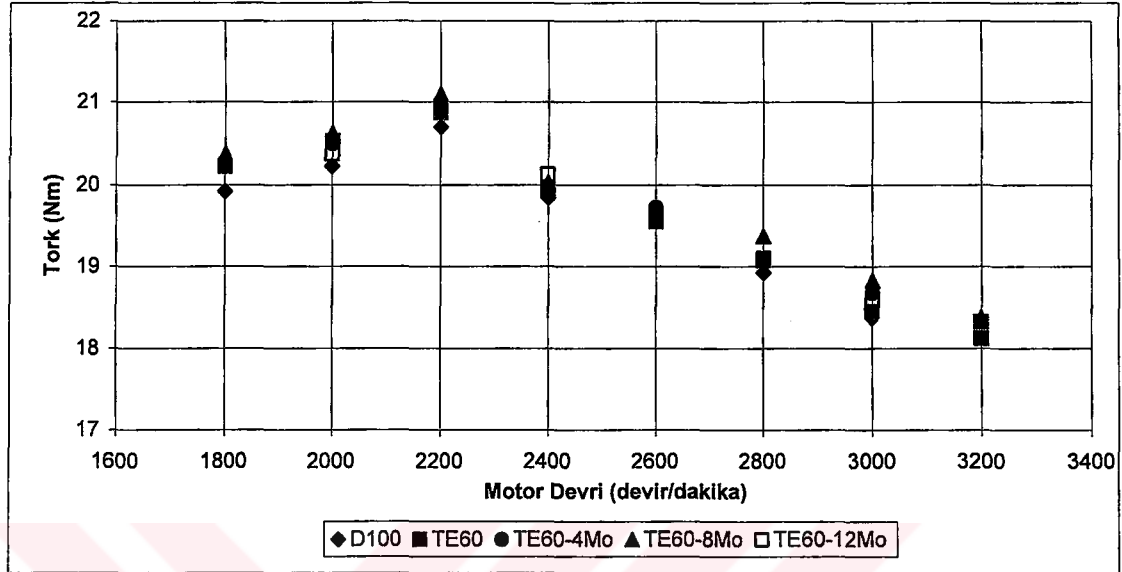
6.3. Motor Performans ve Emisyon Testi Sonuçları

6.3.1. Tork değerleri

Biyodizel yakıtlar ile ölçülen tork değerleri dizel yakıtı değerlerine göre artış eğilimleri göstermiştir. Tork değerlerindeki artışların nedenleri biyodizel yakıtların Setan Sayısının daha yüksek olması, moleküler yapılarında %6 civarında oksijen bulunması, kükürt oranının ve aromatik hidrokarbon oranının daha düşük olmasıdır. Bu özellikler yanma verimini olumlu yönde etkilemiştir. Düşük motor devirlerinde motorun volümetrik veriminde ki azalmaya bağlı olarak tork değerlerinde meydana gelen düşüş biyodizel yakıtların hava fazlalık katsayılarının dizel yakıtına göre daha yüksek olması nedeni ile daha az olmuştur. Sonuç olarak düşük devirlerinde biyodizel yakıtlar ile daha iyi tork değerleri elde edilmiştir. Ayrıca katkı maddelerinin konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak biyodizel yakıtların özelliklerindeki iyileşmeler de tork değerlerinin artışında etkili olmuştur.

Şekil 6.5’de D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo deney yakıtlarının tork değerlerindeki değişimler görülmektedir. Elde edilen değerlerin motorun tork karakteristik eğrisine uygun olduğu tespit edilmiştir. Bütün deney yakıtları için maksimum tork değerleri 2200 devir/dakika’da elde edilmiştir. Ölçülen maksimum tork değeri D100 ile 20,7 Nm, TE60 ile 20,9 Nm, TE60-4Mo ile 21,0 Nm, TE60-8Mo ile 21,1 Nm ve TE60-12Mo ile 21,0 Nm olarak ölçülmüştür. TE60-8Mo ile elde edilen tork değerleri 2400 ve 2600 devir/dakika dışındaki bütün devirlerde diğer yakıtlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. 2400, 2600 ve 3200 devir/dakika

haricindeki devirlerde dizel yakıtı ile ölçülen tork değerleri diğer yakıtlara göre daha düşük ölçülmüştür.

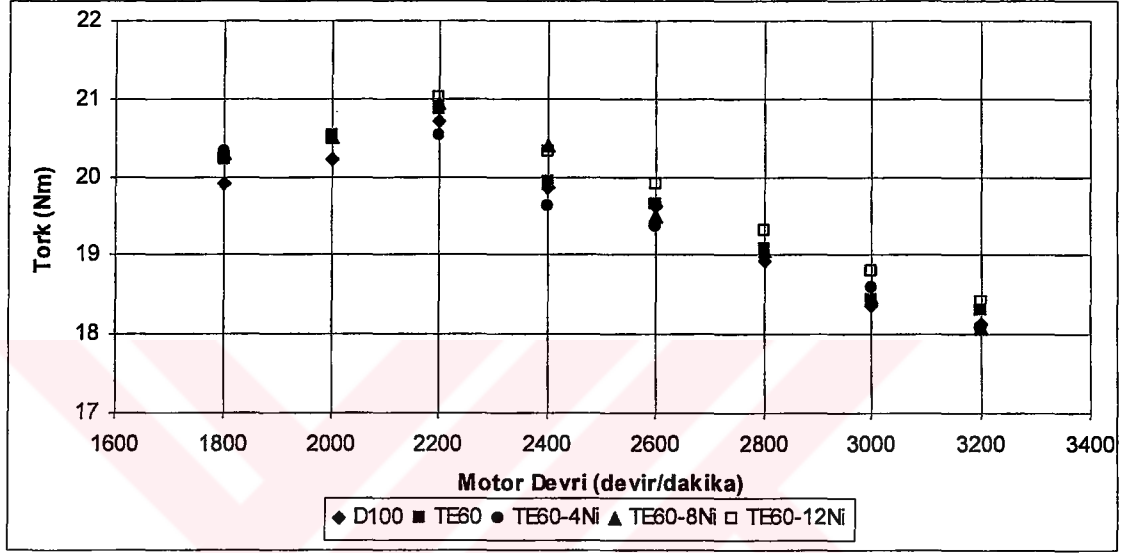


Şekil 6.5. D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının tork değerleri değişimleri

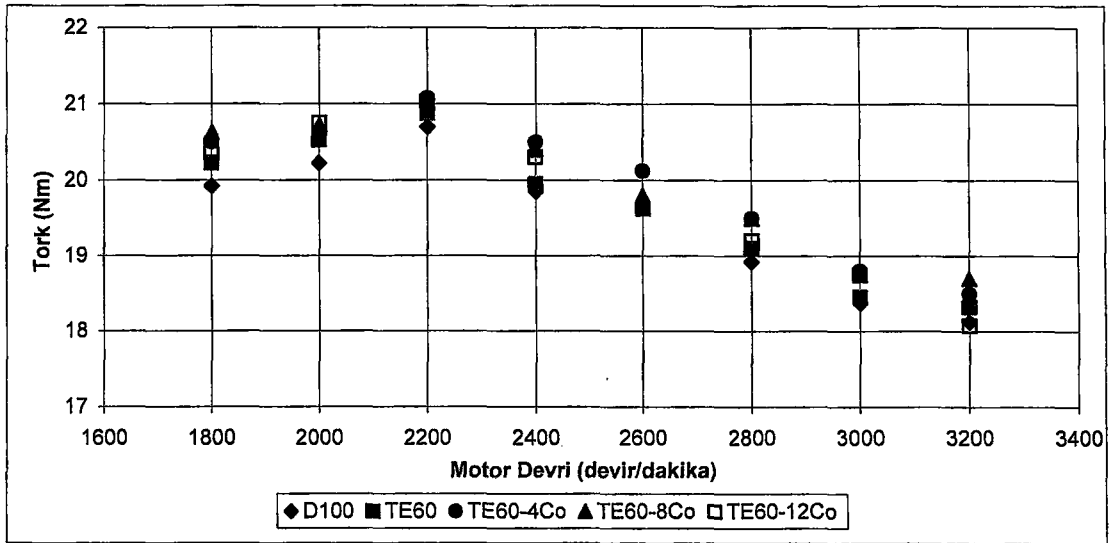
D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni deney yakıtlarının tork değerlerindeki değişimleri Şekil 6.6'da gösterilmiştir. Bütün deney yakıtları ile maksimum tork değerleri 2200 devir/dakika'da ölçülmüştür. Ölçülen maksimum tork değerlerinin D100 ile 20,7 Nm, TE60 ile 20,9 Nm iken, TE60-4Ni ile 20,5, TE60-8Ni ile 21,0 Nm ve TE60-12Ni ile 21,0 Nm olduğu görülmüştür. Biyodizel yakıtlar düşük motor devirlerinde daha iyi sonuçlar vermiştir. Değerler genel olarak değerlendirildiğinde biyodizel yakıtların tork değerleri, içerisindeki katkı maddesi oranına bağlı olarak dizel yakıtı değerlerine göre artış eğilimi göstermiştir. TE60-12Ni deney yakıtı ile düşük devirler haricindeki devirlerde diğer yakıtlara nazaran daha yüksek tork değerleri elde edilmiştir.

D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının tork değerlerindeki değişimler Şekil 6.7'de gösterilmiştir. Yapılan ölçümlerde bütün deney yakıtları ile maksimum tork değerleri 2200 devir/dakika'da ölçülmüştür. Ölçülen maksimum tork değerlerinin D100 ile 20,7 Nm ve TE60 ile 20,9 Nm, TE60-4Co ile 21,1 Nm, TE60-

8Co ile 21 Nm ve TE60-12Co ile 21 Nm olduğu görülmüştür. Düşük motor devirlerinde bütün biyodizel yakıtlar ile dizel yakıtı değerlerine göre daha fazla artış sağlanmıştır. 2200 ve 2600 devir/dakika arasında TE60-4Co yakıtı ile elde edilen değerlerin diğer yakıtlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

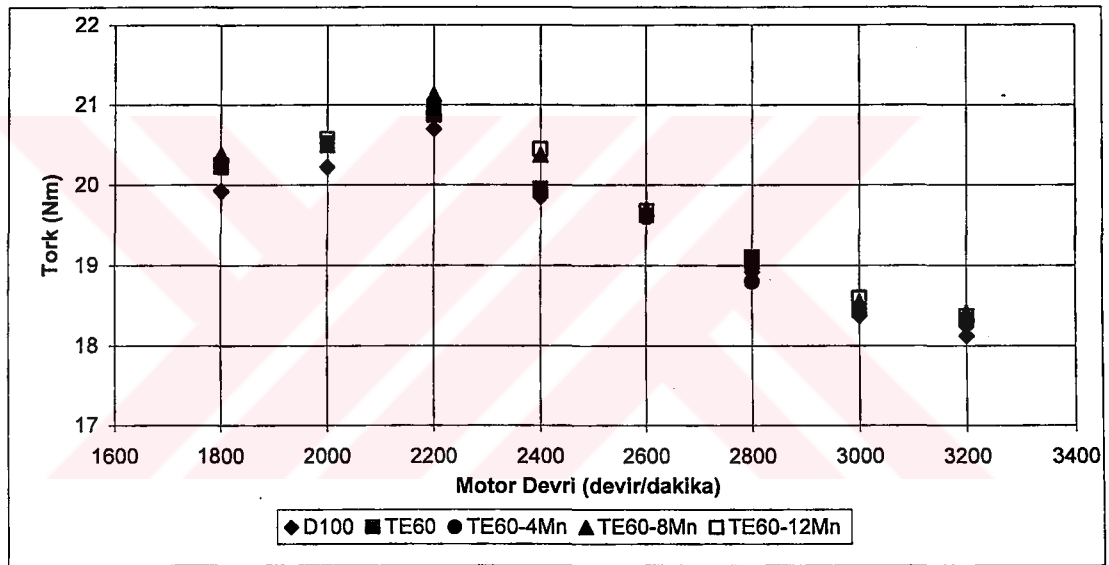


Şekil 6.6. D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının tork değerleri değişimleri



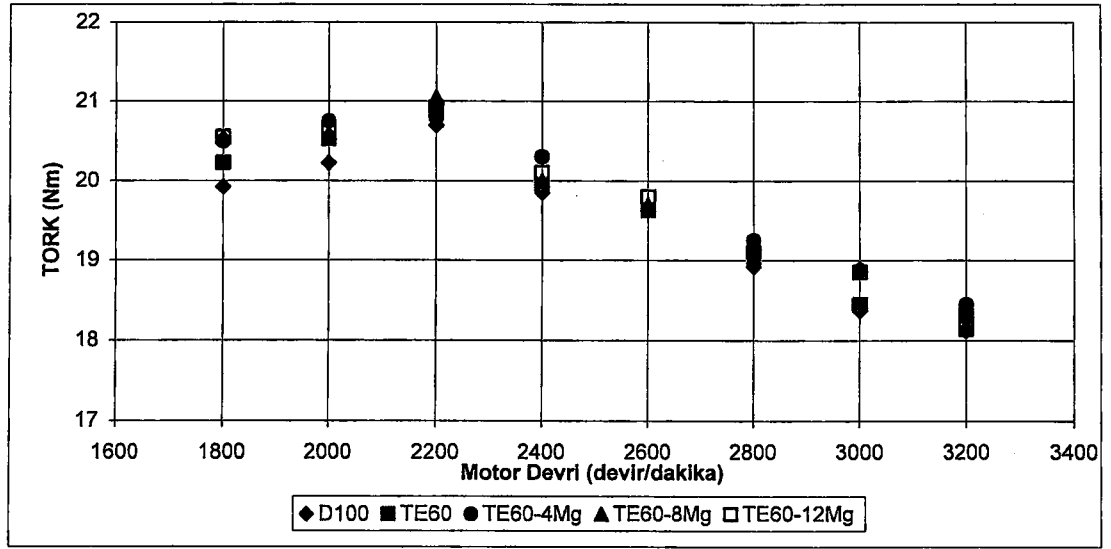
Şekil 6.7. D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının tork değerleri değişimleri

Şekil 6.8’de D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının tork değerlerindeki değişimleri gösterilmiştir. Bütün deney yakıtları ile maksimum tork değeri 2200 devir/dakika’da ölçülmüştür. Ölçülen tork değerlerinin D100 yakıtı ile 20,7 Nm, TE60 yakıtı ile 20,9 Nm, TE60-4Mn yakıtı ile 21,1 Nm, TE60-8Mn yakıtı ile 21,0 Nm ve TE60-12Mn yakıtı ile 21,0 Nm olduğu görülmüştür. En iyi tork değerleri TE60-12Mn yakıtı ile ölçülmüştür. Genel olarak değerlendirildiğinde biyodizel yakıtlar Mn katkı maddesinin oranına bağlı olarak tork değerlerinde artış eğilimi göstermişlerdir.



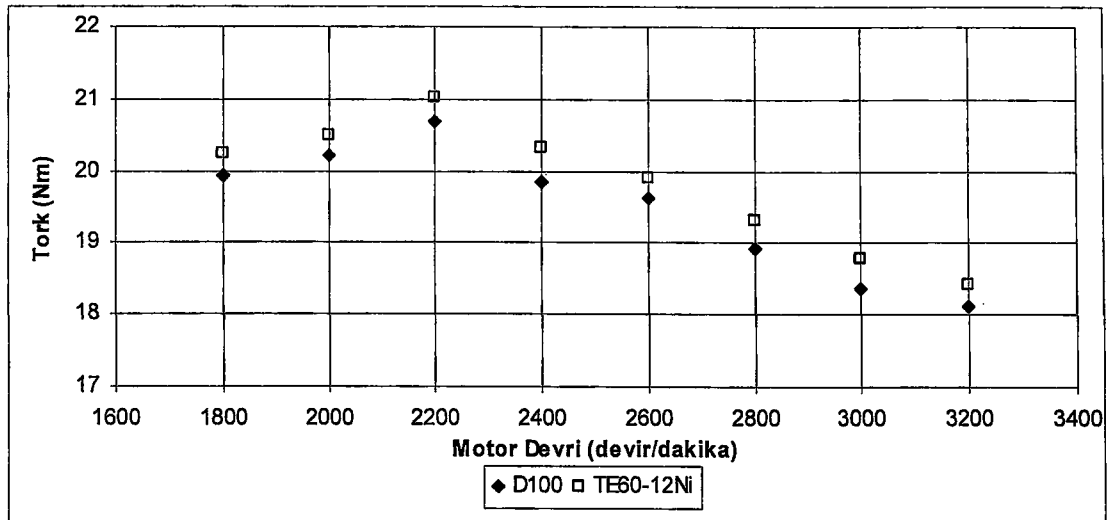
Şekil 6.8. D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının tork değerleri değişimleri

D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının tork değerlerindeki değişimler Şekil 6.9’da gösterilmiştir. Bütün yakıtlar ile maksimum tork değerleri 2200 devir/dakika’da ölçülmüştür. Maksimum tork değerlerinin D100 ile 20,7 Nm, TE60 ile 20,9 Nm, TE60-4Mg ile 20,8 Nm, TE60-8Mg ile 21,1 Nm ve TE60-12Mg ile 20,9 Nm olduğu görülmüştür. Katkı maddeli üç biyodizel ile de olumlu değerler elde edilmesine rağmen, en iyi değerler çoğunlukla TE60-12Mn yakıtı ile elde edilmiştir.



Şekil 6.9. D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının tork değerleri değişimleri

Şekil 6.10'da D100 ve TE60-12Ni yakıtlarının tork değerleri değişimleri görülmektedir. Bütün biyodizel yakıtların tork değerleri karşılaştırıldığında dizel yakıtına göre en iyi sonucu çoğunlukla TE60-12Ni yakıtı vermiştir. Meydana gelen maksimum artış 2400 devir/dakika'da %2,1 oranında olmuştur.

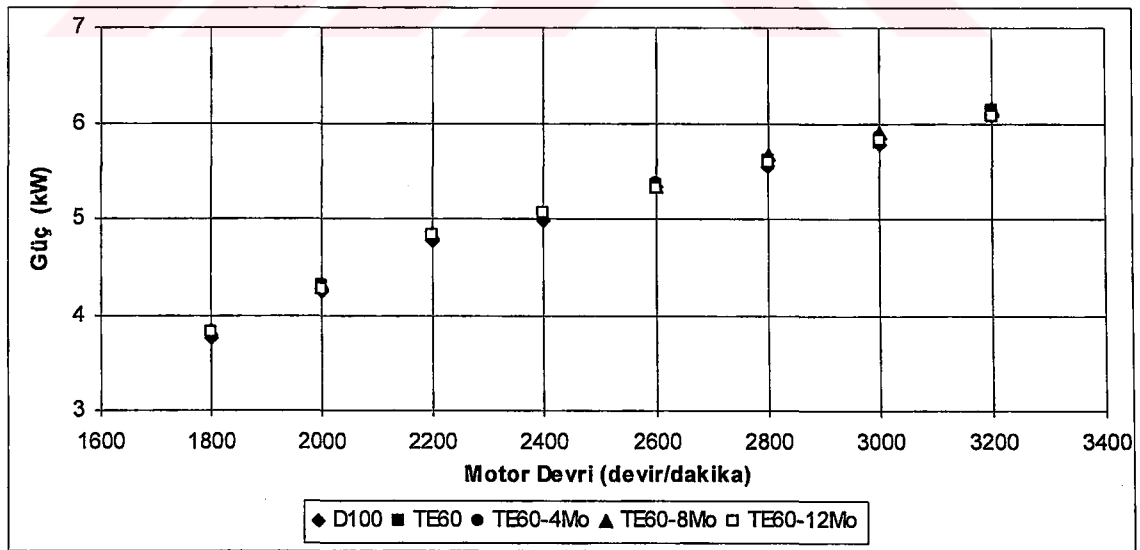


Şekil 6.10. D100 ve TE60-12Ni yakıtlarının tork değerleri değişimleri

6.3.2. Güç değerleri

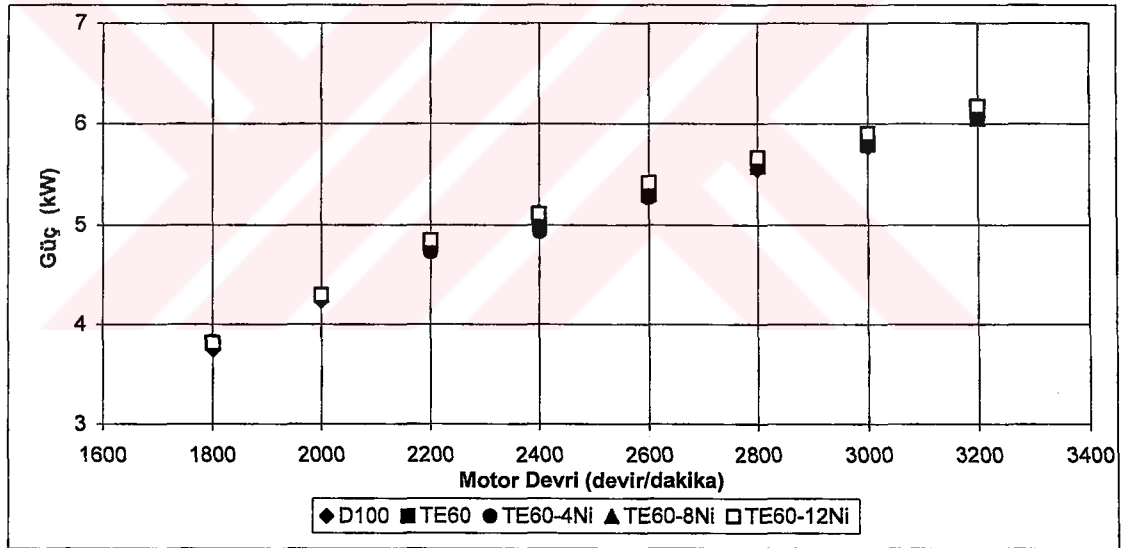
Biyodizel yakıtların, dizel yakıtına göre yakıt özelliklerindeki üstünlükleri güç değerlerinde artış eğilimleri görülmesine neden olmuştur.

Şekil 6.11’de D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının güç değerlerindeki değişimler gösterilmiştir. Bütün deney yakıtları için maksimum güç değerleri 3200 devir/dakika’da elde edilmiştir. Elde edilen maksimum güç değerlerinin D100 ile 6,07 kW, TE60 ile 6,14 kW, TE60-4Mo ile 6,07 kW, TE60-8Mo ile 6,16 ve TE60-12Mo ile 6,07 kW olduğu belirlenmiştir. Görüldüğü gibi elde edilen maksimum güç değerleri birbirine çok yakındır. Dizel yakıtı değerine göre en iyi sonuç veren TE60-8Mo’nin artış oranının %1,5 olduğu görülmüştür. Maksimum tork devri olan 2200 devir/dakika’da elde edilen güç değerleri D100 ile 4,77 kW, TE60 ile 4,81 kW, TE60-4Mo ile 4,83 kW, TE60-8Mo ile 4,86 ve TE60-12Mo ile 4,83 kW olarak ölçülmüştür. Maksimum tork devrinde en iyi sonucu veren TE60-8Mo yakıtı dizel yakıtı değerine en göre %1,9’luk bir artış göstermiştir.



Şekil 6.11. D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının güç değerleri değişimleri

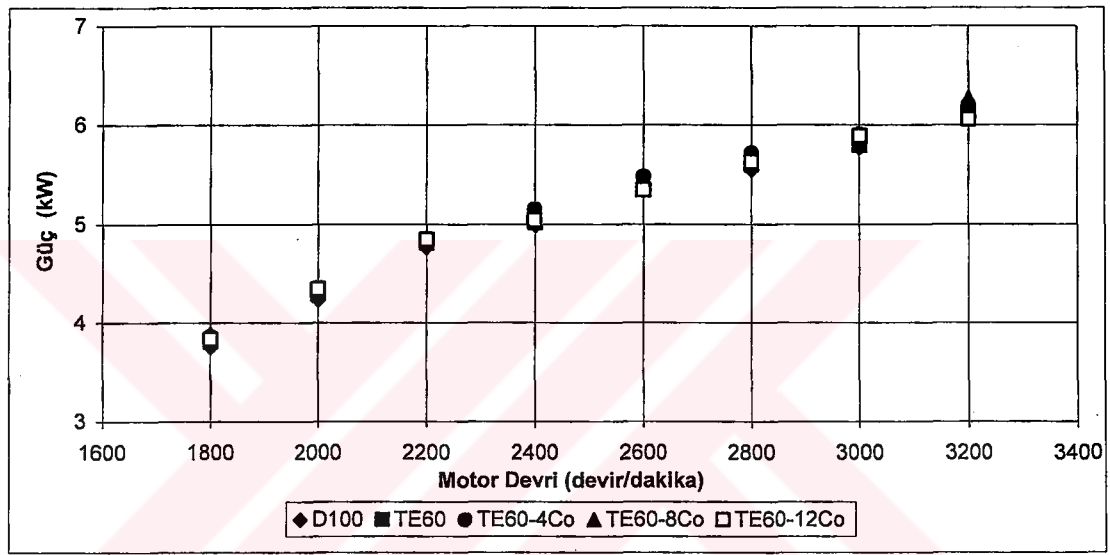
D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının güç değerlerindeki değişimler Şekil 6.12’de gösterilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde biyodizel yakıtlar ile elde edilen güç değerleri dizel yakıtı değerlerine göre önemli bir değişim göstermemiştir. Bütün deney yakıtları için maksimum güç değerleri 3200 devir/dakika’da elde edilmiştir. Elde edilen maksimum güç değerleri D100 ile 6,07 kW, TE60 ile 6,14 kW, TE60-4Ni ile 6,03 kW, TE60-8Ni ile 6,06 kW ve TE60-12Ni ile 6,17 kW olarak ölçülmüştür. Dizel yakıtı değerine göre en iyi sonuç veren TE60-12Ni yakıtı ile sağlanan artış oranı %1,5 olarak belirlenmiştir. Maksimum tork devri olan 2200 devir/dakika’da elde edilen güç değerleri dizel yakıtı ile 4,77 kW, TE60 ile 4,81 kW, TE60-4Ni ile 4,73 kW, TE60-8Ni ile 4,83 kW ve TE60-12Ni ile 4,84 kW olarak ölçülmüştür. TE60-8Ni yakıtı dizel yakıtı değerine göre %1,48’luk artış göstererek en iyi sonucu vermiştir.



Şekil 6.12. D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının güç değerlerindeki değişimleri

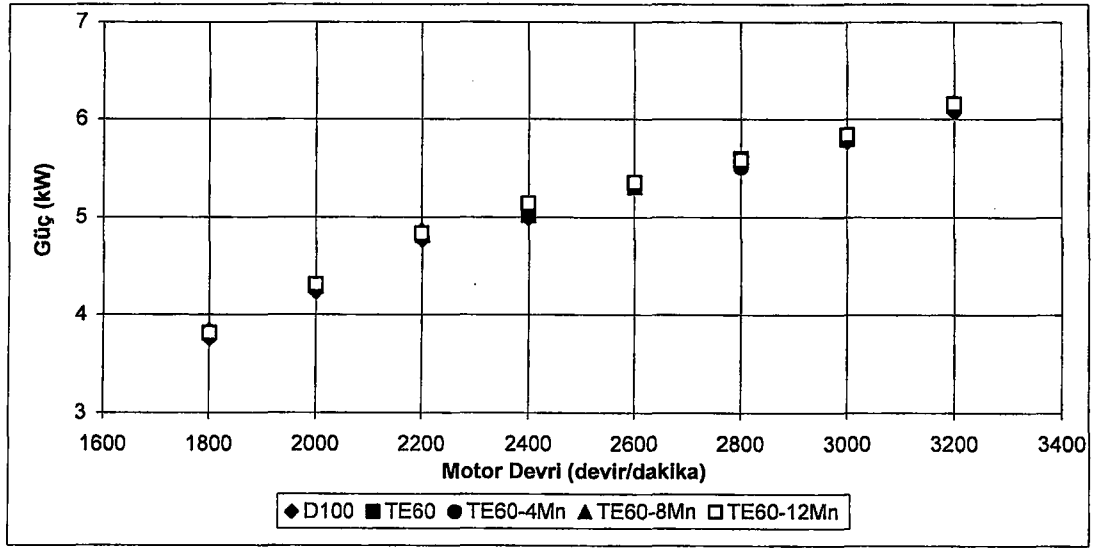
Şekil 6.13’de D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının güç değerlerindeki değişimler gösterilmiştir. Bazı devirlerde karasızlıklar görülmesine rağmen katkı maddeli yakıtların değerlerinde genel olarak artışlar görülmüştür. Bütün deney yakıtları ile maksimum güç değerleri 3200 devir/dakika’da elde edilmiş olup bu değerler D100 ile 6,07 kW, TE60 ile 6,14 kW, TE60-4Co ile 6,20 kW,

TE60-8Co ile 6,27 kW ve TE60-12Co ile 6,06 kW olarak ölçülmüştür. En yüksek maksimum tork değerlerini veren TE60-8Co yakıtı dizel yakıtına göre %3,3 artış sağlamıştır. Maksimum tork devri olan 2200 devir/dakika'da elde edilen güç değerleri D100 ile 4,77 kW, TE60 ile 4,81 kW, TE60-4Co ile 4,86 kW, TE60-8Co ile 4,84 ve TE60-12Co ile 4,84 kW olarak belirlenmiştir. Maksimum tork devrinde en iyi sonucu veren TE60-8Co yakıtı dizel yakıtı değerine en göre %1,9'luk artış göstermiştir.



Şekil 6.13. D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının güç değerleri değişimleri

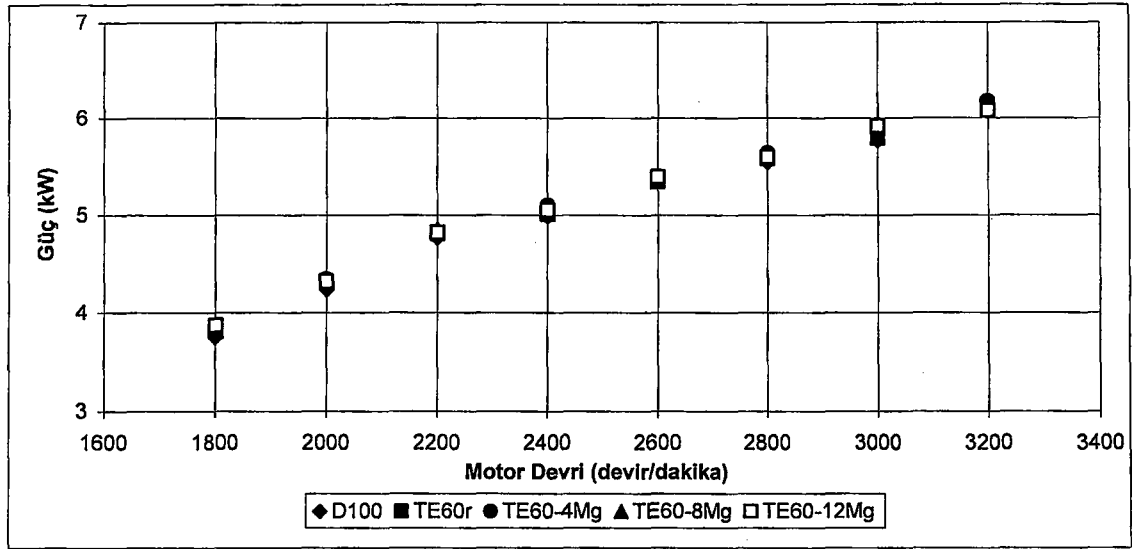
Şekil 6.14'de D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının güç değerlerindeki değişimler gösterilmiştir. Elde edilen güç değerleri katkı maddesinin oranına bağlı olarak genel bir artış göstermiştir. Dizel yakıtına göre maksimum artış TE60-12Mn yakıtı ile 2400 devir/dakika'da %5,33 olarak gerçekleşmiştir. Bütün deney yakıtları ile maksimum güç değerleri 3200 devir/dakika'da elde edilmiş olup, bu değerler dizel yakıtı ile 6,07 kW, TE60 ile 6,14 kW, TE60-4Mn ile 6,05 kW, TE60-8Mn ile 6,17 kW ve TE60-12Mn ile 6,12 kW olarak belirlenmiştir. Maksimum tork devri olan 2200 devir/dakika'da elde edilen güç değerleri ise dizel yakıtı ile 4,77 kW, TE60 ile 4,81 kW, TE60-4Mn ile 4,84 kW, TE60-8Mn ile 4,87 ve TE60-12Mn ile 4,83 kW olarak ölçülmüştür. Maksimum tork devrinde en iyi sonucu veren TE60-8Mn yakıtı dizel yakıtı değerine göre %2,09'luk artış göstermiştir.



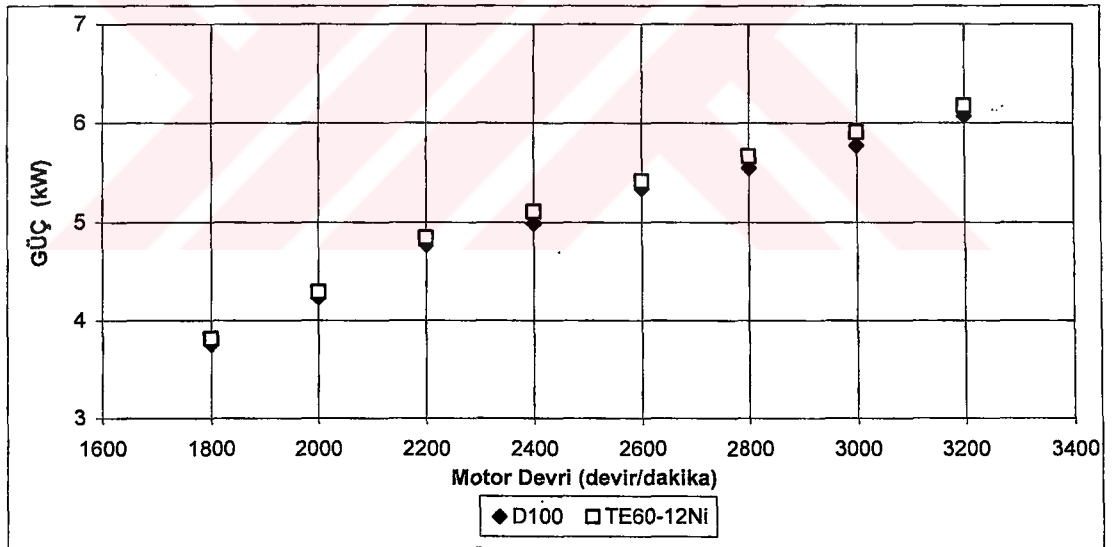
Şekil 6.14. D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının güç değerleri değişimleri

Şekil 6.15’de D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının güç değerlerindeki değişimler gösterilmiştir. Mg içerikli katkı maddeleri içeren biyodizel yakıtların değerlerinde çok yüksek olmamakla birlikte artışlar olmuştur. Dizel yakıtı değerine göre en iyi sonuçlar 1800, 2400 ve 3000 devir/dakika’da elde edilmiştir. Dizel yakıtına göre maksimum artış TE60-12Mg yakıtı ile 2400 devir/dakika’da %2,92 olarak gerçekleşmiştir. Bütün deney yakıtları ile maksimum güç değerleri 3200 devir/dakika’da elde edilmiş olup bu değerler D100 ile 6,07 kW, TE60 ile 6,14 kW, TE60-4Mg ile 6,18 kW, TE60-8Mg ile 6,10 kW ve TE60-12Mg ile 6,08 kW olarak belirlenmiştir. Maksimum tork devri olan 2200 devir/dakika’da elde edilen güç değerleri ise dizel yakıtı ile 4,77 kW, TE60 ile 4,81 kW, TE60-4Mg ile 4,79 kW, TE60-8Mg ile 4,85 ve TE60-12Mg ile 4,82 kW olarak ölçülmüştür. Maksimum tork devrinde en iyi sonucu veren TE60-8Mg yakıtı dizel yakıtı değerine en göre %2,68’lik artış göstermiştir.

Şekil 6.16’da D100 ve TE60-12Ni yakıtlarının güç değerleri değişimleri görülmektedir. Biyodizel yakıtların güç değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında dizel yakıtına göre en iyi sonucu çoğunlukla TE60-12Ni yakıtı vermiştir. TE60-12Ni yakıtı ile elde edilen maksimum artış 3000 devir/dakika’da %2,41 oranında olmuştur.



Şekil 6.15. D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının güç değerleri değişimleri



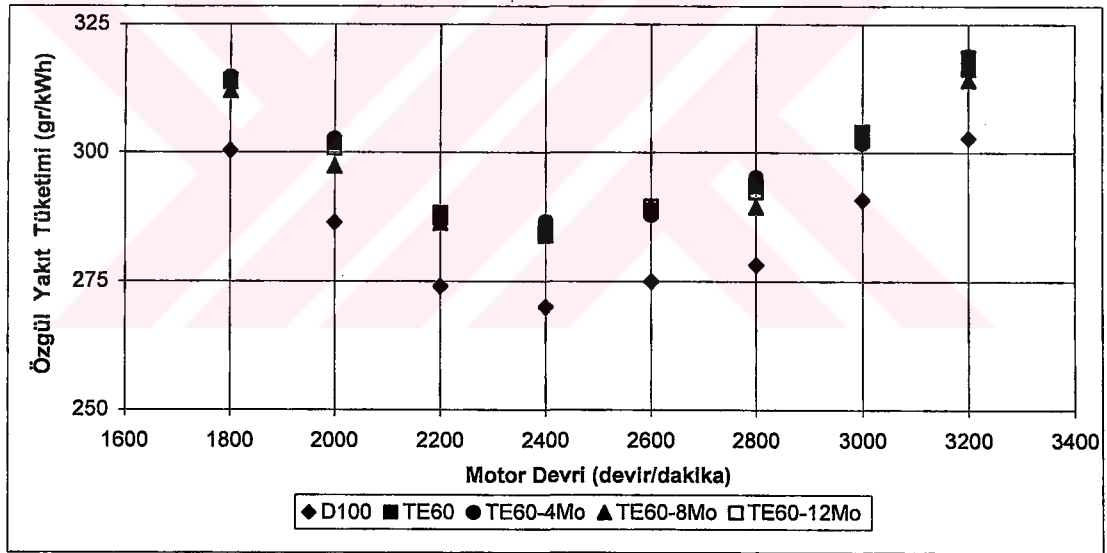
Şekil 6.16. D100 ve TE60-12Ni yakıtlarının güç değerlerindeki değişimleri

6.3.3. Özgül yakıt tüketimi değerleri

Birim güç başına tüketilen yakıt kütlesi demek olan özgül yakıt tüketimi önemli bir motor performans verisidir. Biyodizel yakıtların özgül yakıt tüketimi değerleri dizel yakıtı değerine göre artış göstermektedir. Bu artış büyük oranda biyodizel yakıtların ısı değerlerinin dizel yakıtı değerine göre %5,06 oranında düşük olmasından

kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte biyodizel yakıtların yakıt özelliklerindeki avantajları yanma verimini arttırmaktadır. Bu nedenle özgül yakıt tüketimi değerlerindeki artışlar genellikle ısıl değer farkından daha az olmaktadır.

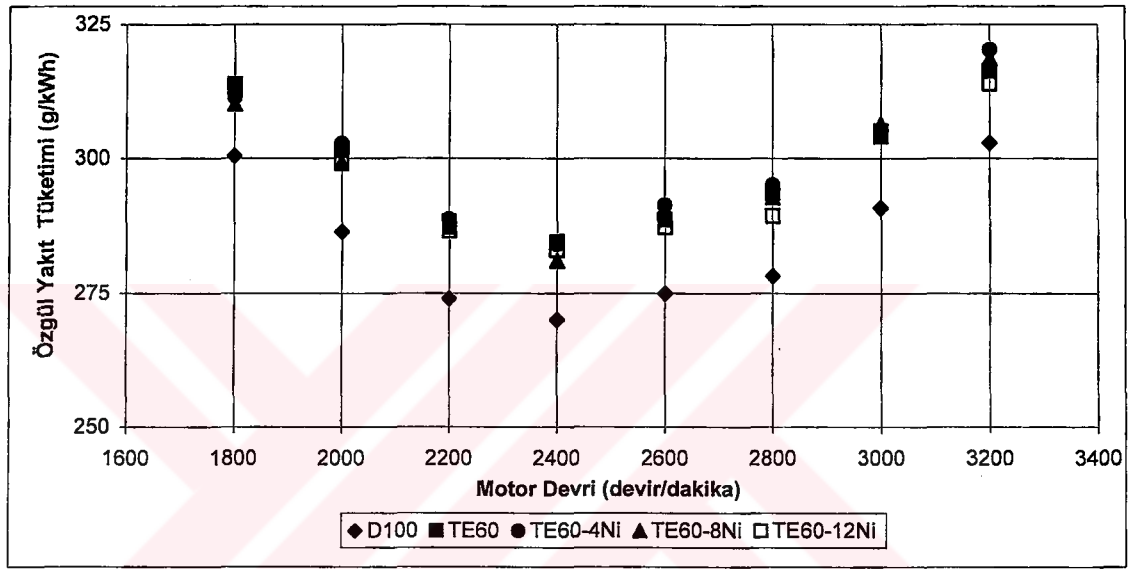
Şekil 6.17’de D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerlerindeki değişimler gösterilmiştir. Minimum özgül yakıt tüketimi değerleri bütün yakıtlar ile 2400 devir/dakika’da ölçülmüştür. Bu değerler D100 ile 270,07 g/kWh, TE60 ile 284,58 g/kWh, TE60-4Mo ile 286,62 g/kWh, TE60-8Mo ile 283,95 g/kWh ve TE60-12Mo ile 284,06 g/kWh olarak belirlenmiştir. Dizel yakıtına göre minimum artış TE60-8Mo yakıtı ile 2000 devir/dakika’da %3,89 olarak, maksimum artış ise TE60-4Mo yakıtı ile 2400 devir/dakika’da %6,14 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.17. D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri

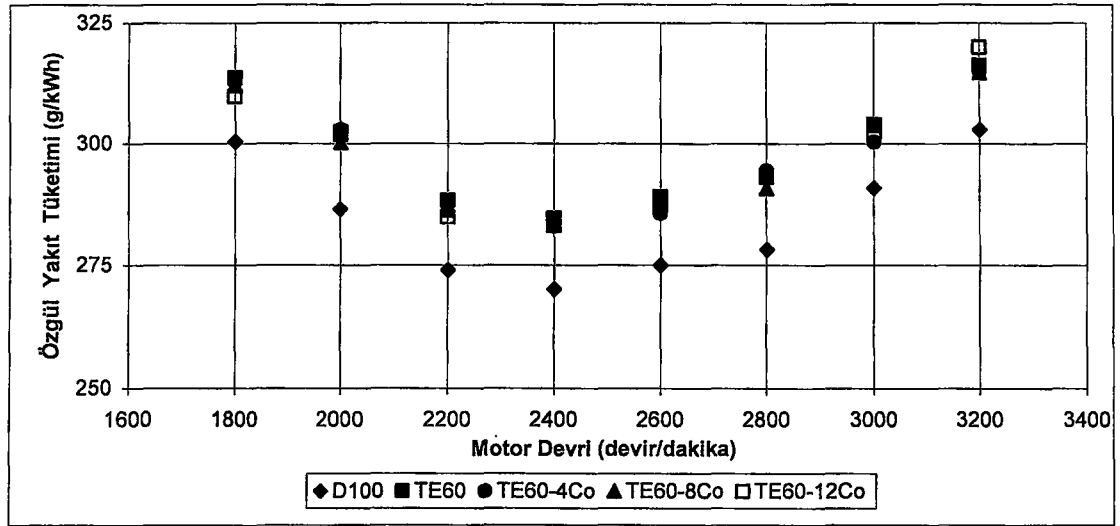
D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerlerindeki değişimler Şekil 6.18’de gösterilmiştir. Bütün deney yakıtları ile minimum özgül yakıt tüketimi değerleri 2400 devir/dakika’da ölçülmüştür. Bu değerler D100 ile 270,07 g/kWh, TE60 ile 284,58 g/kWh, TE60-4Ni ile 284,14 g/kWh, TE60-8Ni ile 281,05 g/kWh ve TE60-12Ni 283,00 g/kWh olarak

belirlenmiştir. Dizel yakıtına göre minimum artış TE60-8Ni yakıtı ile 1800 devir/dakika'da %3,21 olarak, maksimum artış ise TE60-4Ni yakıtı ile 2800 devir/dakika'da %6,06 olarak tespit edilmiştir. TE60 yakıtı değerlerine göre TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtları ile ölçülen özgül yakıt tüketimi değerleri azalma eğilimi göstermiştir.



Şekil 6.18. D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri

Şekil 6.19'da D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerlerindeki değişimler gösterilmiştir. Minimum özgül yakıt tüketimi değerleri bütün yakıtları ile 2400 devir/dakika'da ölçülmüştür. Bu değerler D100 ile 270,07 g/kWh, TE60 ile 284,58 g/kWh, TE60-4Co ile 282,99 g/kWh, TE60-8Co ile 283,49 g/kWh ve TE60-12Co ile 283,09 g/kWh olarak belirlenmiştir. Dizel yakıtına göre minimum artış TE60-12Co yakıtı ile 1800 devir/dakika'da %3,14 olarak, maksimum artış ise TE60-4Co yakıtı ile 2800 devir/dakika'da %5,82 olarak tespit edilmiştir. Katkı maddeli yakıtlar ile elde edilen değerlerde 2400 ve 3200 devir/dakika'da sapmalar olmakla birlikte yanma verimini olumlu yönde etkilediklerinden özgül yakıt tüketimi azalma eğilimi göstermiştir.

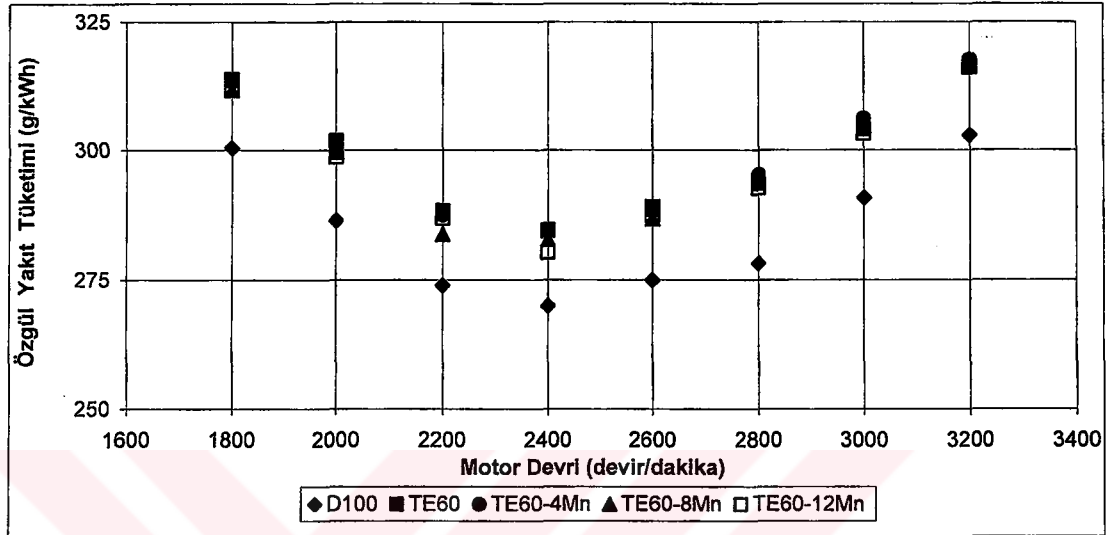


Şekil 6.19. D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri

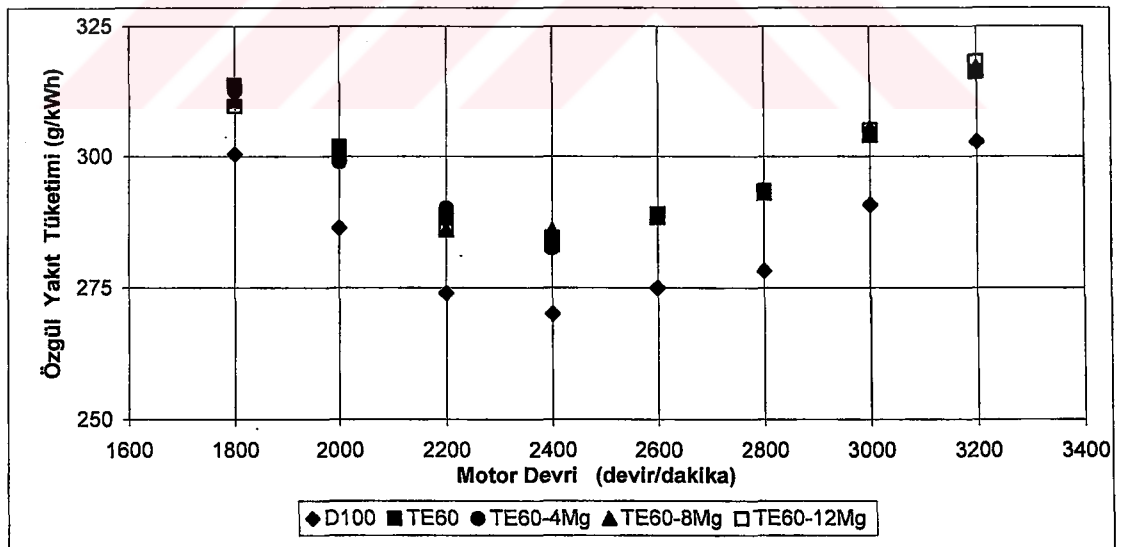
Şekil 6.20’de D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerlerindeki değişimler gösterilmiştir. 3200 devir/dakika dışındaki bütün devirlerde TE60-12Mn yakıtı ile TE60 yakıtına göre daha düşük özgül yakıt tüketimi değerleri elde edilmiştir. Bütün yakıtlarla minimum özgül yakıt tüketimi değerleri 2400 devir/dakika’da elde edilmiştir. Elde edilen değerler D100 ile 270,07 g/kWh, TE60 ile 284,58 g/kWh, TE60-4Mn ile 284,43 g/kWh, TE60-8Mn ile 282,83 g/kWh ve TE60-12Mn ile 280,40 g/kWh olarak belirlenmiştir. Dizel yakıtına göre minimum artış TE60-8Mn yakıtı ile 2200 devir/dakika’da %3,57 olarak, maksimum artış ise TE60-4Mn yakıtı ile 2800 devir/dakika’da %6,13 olarak ölçülmüştür.

D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerlerindeki değişimler Şekil 6.21’de gösterilmiştir. TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtları ile diğer biyodizel yakıtlardan daha düşük değerler elde edilmiştir. Minimum özgül yakıt tüketimi değerleri TE60-8Mg yakıtı ile 2200 devir/dakika’da ve diğer yakıtları ile de 2400 devir/dakika’da ölçülmüştür. Bu değerler D100 ile 269,67 g/kWh, TE60 ile 286,77 g/kWh, TE60-4Mg ile 282,61 g/kWh, TE60-8Mg ile 284,13 g/kWh ve TE60-12Mg ile 283,24 g/kWh olarak belirlenmiştir. Dizel yakıtına göre minimum artış TE60-12Mg yakıtı ile 1800 devir/dakika’da %3,08 olarak,

maksimum artış ise TE60-4Mg yakıtı ile 2200 devir/dakika'da %5,91 olarak ölçülmüştür.



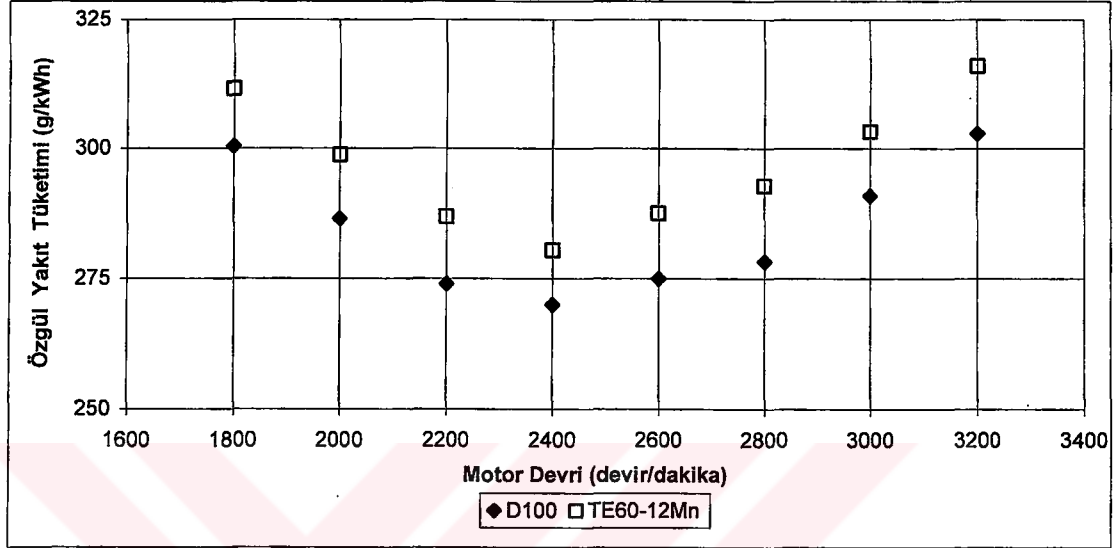
Şekil 6.20. D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri



Şekil 6.21. D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri

Şekil 6.22'de D100 ve TE60-12Mn yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri değişimleri görülmektedir. TE60-12Mn yakıtı diğer biyodizel yakıtlara göre

çoğunlukla daha iyi sonuçları vermiştir. TE60-12Mn yakıtı değerleri dizel yakıtı değerlerine göre ortalama %4,36 oranında artış göstermiştir.



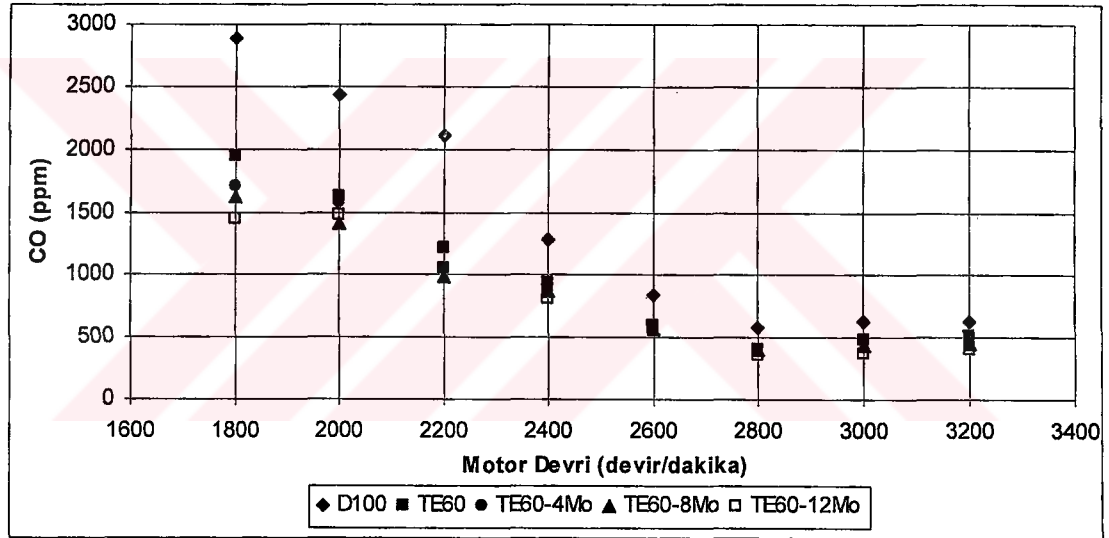
Şekil 6. 22. D100 ve TE60-12Mn yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri

6.3.4. CO emisyonu değerleri

CO emisyonu yakıtların eksik yanması sonucu oluşan zararlı bir emisyondur. Yanma esnasında oluşan CO emisyonlarının büyük bir kısmı genişleme periyodunda ve sonrasında CO₂ dönüşür.

Yapılan çalışmalarda biyodizel yakıtlar ile dizel yakıtına göre daha düşük CO emisyonları ölçülmüştür. Azalmanın en önemli nedenleri biyodizel yakıtların moleküler yapıların da kütleli olarak %6 civarında oksijen bulunması ve motorda kullanım esnasında hava fazlalık katsayılarının dizel yakıtına göre daha yüksek olmasıdır. Bu iki faktör yanma esnasında CO emisyonlarının oksitlenerek CO₂ dönüşümünde etkili olmuştur. Bununla birlikte biyodizel yakıtların Setan Sayılarının daha yüksek olması, daha az kükürt içermeleri de azaltıcı yönde etkiye bulunmuştur. Ayrıca metal katkı maddelerinin biyodizel yakıtların viskozite ve akma noktası gibi özelliklerini iyileştirmesi CO emisyonlarını azalma yönünde etkilemiştir.

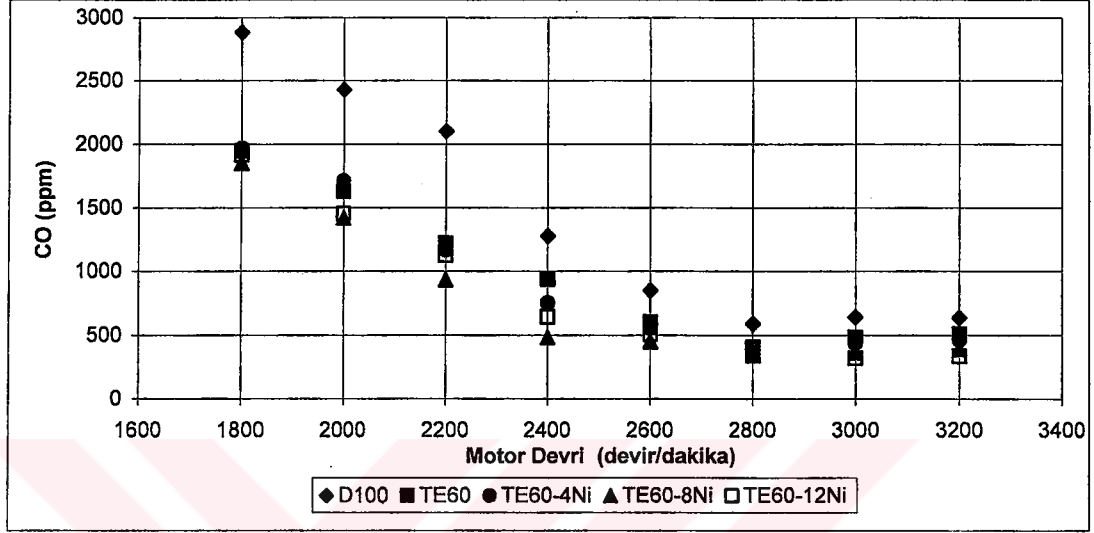
Şekil 6.23’de D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının CO emisyonu değerlerinin değişimleri gösterilmiştir. Özellikle düşük ve orta devirlerde bütün biyodizel yakıtların CO emisyon değerleri dizel yakıtı değerlerine göre büyük oranlarda azalma göstermiştir. TE60-8Mo ve TE60-12Mo katkı maddeli yakıtlar CO emisyonlarının azalmasında oldukça etkili olmuştur. CO emisyonlarında ki maksimum azalma TE60-8Mo yakıtı ile 2200 devir/dakika’da %52,99 oranında elde edilmiştir. En düşük CO emisyonu TE60-12Mo yakıtı ile 2800 devir/dakika’da 354 ppm olarak ölçülmüştür. Maksimum tork devirlerinde ölçülen değerler D100 ile 2102 ppm, TE60 ile 1222 ppm, TE60-4Mo ile 1054 ppm, TE60-8Mo ile 988 ppm ve TE60-12Mo ile 1053 ppm olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.23. D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının CO değerleri

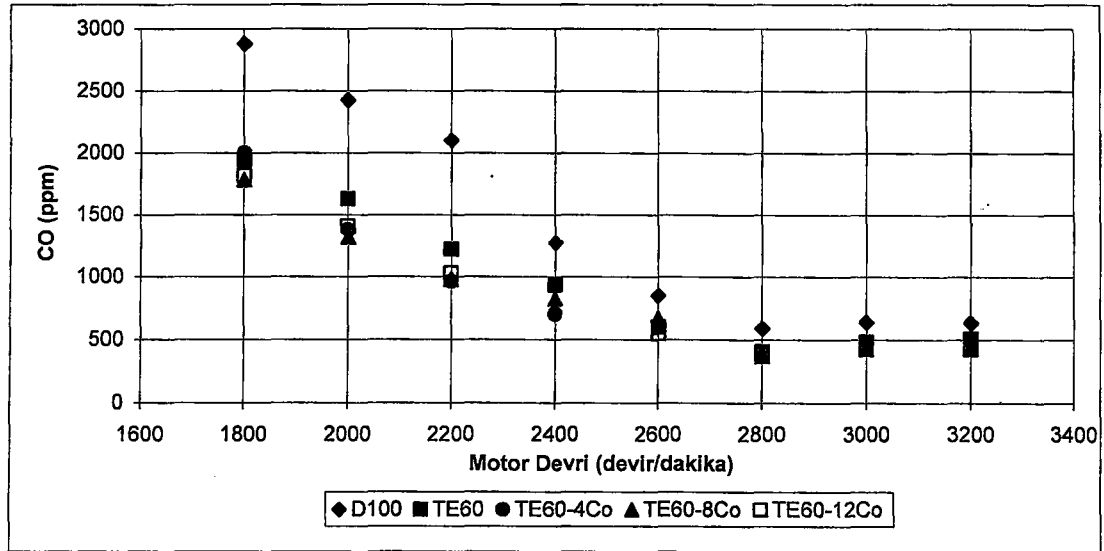
Şekil 6.24’de D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının CO emisyonu değerlerinin değişimleri gösterilmiştir. Biyodizel yakıtların tümünde CO emisyonlarında azalmalar olmuştur. Katkı maddesinin denenen üç oranı da CO emisyonlarının azalmasında olumlu sonuç vermiştir. En etkin azalma ise TE60-8Ni yakıtı ile sağlanmıştır. CO emisyonlarında ki maksimum azalma TE60-8Ni yakıtı ile 2400 devir/dakika’da %62,01 oranında olmuştur. En düşük CO emisyonu TE60-8Ni yakıtı ile 2800 devir/dakika’da 321 ppm olarak ölçülmüştür. Maksimum tork devirlerinde ölçülen değerlerin D100 ile 2102 ppm, TE60 ile 1222 ppm, TE60-4Ni

ile 1166 ppm, TE60-8Ni ile 935 ppm ve TE60-12Ni ile 1124 ppm olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.24. D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının CO değerleri

D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının CO emisyonu değerlerinin değişimleri Şekil 6.25’de gösterilmiştir. Co katkı maddeli biyodizel yakıtlar ile CO emisyonları dizel yakıtına göre etkin bir azalma göstermiştir. En iyi sonuçlar motorun orta devirlerinde TE60-8Co yakıtı ile elde edilmiştir. Katkı maddeli TE60-4Co yakıtı, katkı maddesi içermeyen TE60 yakıtına oranla önemli bir azalma sağlayamamıştır. Dizel yakıtına göre CO emisyonlarındaki maksimum azalma TE60-8Co yakıtı ile 2600 devir/dakika’da %53,37 oranındadır. Yine en düşük CO emisyonu TE60-8Co yakıtı ile 2600 devir/dakika’da 376 ppm olarak ölçülmüştür. Maksimum tork devirlerinde ölçülen değerler D100 ile 2102 ppm, TE60 ile 1222 ppm, TE60-4Co ile 964 ppm, TE60-8Co ile 980 ppm ve TE60-12Co ile 1027 ppm olarak belirlenmiştir.

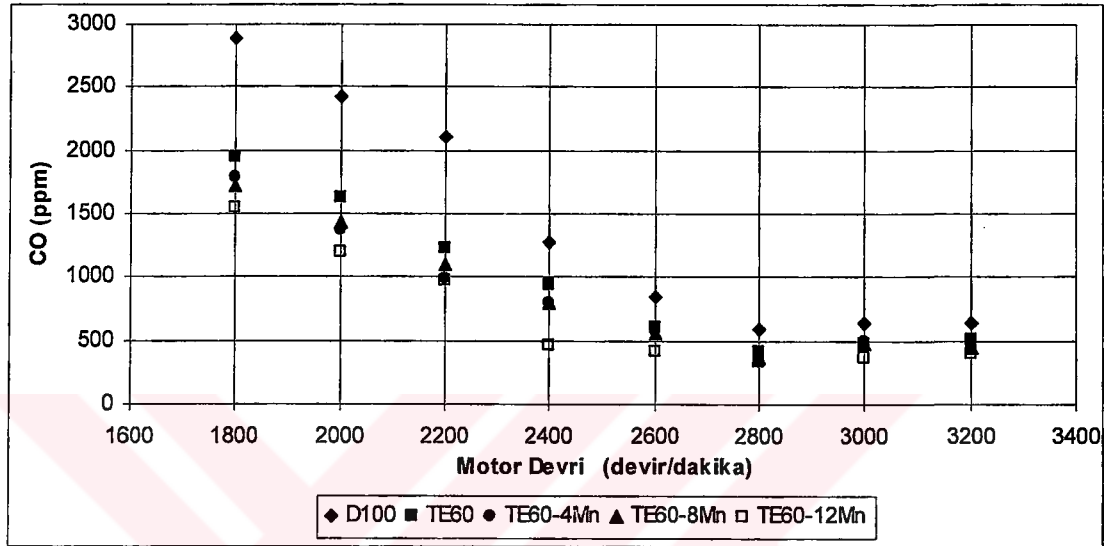


Şekil 6.25. D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının CO değerleri

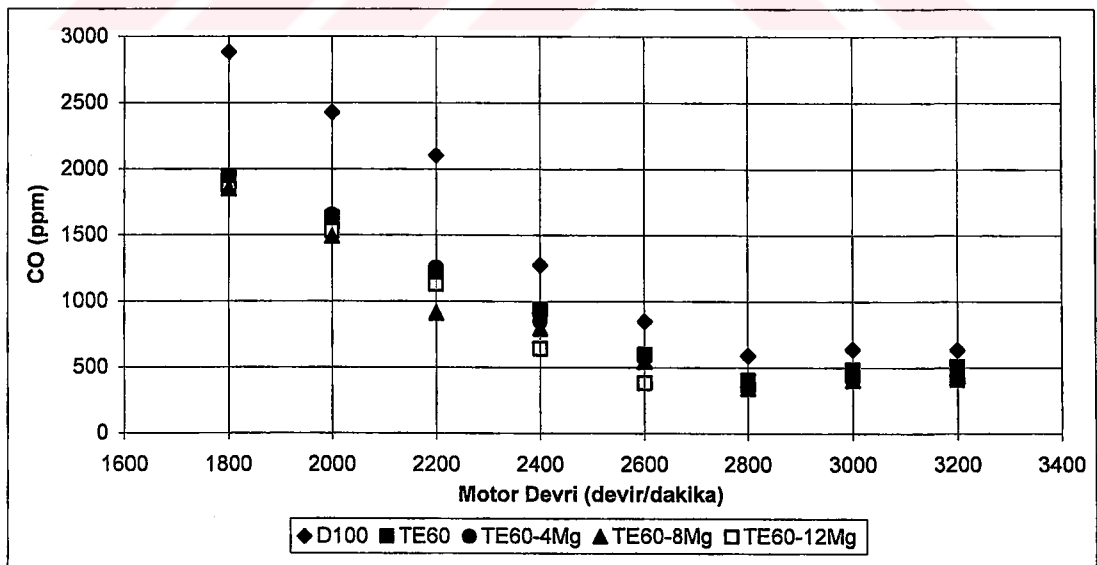
Şekil 6.26'da D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının CO emisyonları değerlerinin değişimleri gösterilmiştir. Biyodizel yakıtlar ile katkı maddeli olarak yapılan çalışmalarda CO emisyonları dizel yakıtına göre büyük oranda azalma göstermiştir. CO emisyonlarındaki azalma oranı yüksek devirler de azalmıştır. En iyi sonuçlar TE60-12Mn yakıtı ile sağlanmıştır. Dizel yakıtına göre CO emisyonlarında ki maksimum azalma TE60-12Mn yakıtı ile 2400 devir/dakika'da %64,28 oranındadır. Ölçülen en düşük CO emisyonu TE60-12Mn yakıtı ile 2800 devir/dakika'da 342 ppm olarak ölçülmüştür. Maksimum tork devirlerinde ölçülen değerler D100 ile 2102 ppm, TE60 ile 1222 ppm, TE60-4Mn ile 996 ppm, TE60-4Mn ile 1102 ppm ve TE60-4Mn ile 976 ppm olarak belirlenmiştir.

Şekil 6.27'de D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının CO emisyonu değerlerinin değişimleri gösterilmiştir. Katkı maddeli biyodizel yakıtlar ile yapılan çalışmalarda özellikle motorun orta devirlerinde CO emisyonları dizel yakıtına göre büyük oranda azalmalar göstermiştir. En iyi sonuçlar TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtları ile elde edilmişlerdir. Dizel yakıtına göre CO emisyonunda ki maksimum azalma TE60-8Mg yakıtı ile 2200 devir/dakika'da %56,42 oranındadır. Ölçülen en düşük CO emisyonu TE60-8Mg yakıtı ile 2800 devir/dakika'da 347 ppm

olarak ölçülmüştür. Maksimum tork devirlerinde ölçülen değerle D100 ile 2102 ppm, TE60 ile 1222 ppm, TE60-4Mg ile 1253 ppm, TE60-8Mg ile 916 ppm ve TE60-12Mg ile 1131 ppm olarak belirlenmiştir.

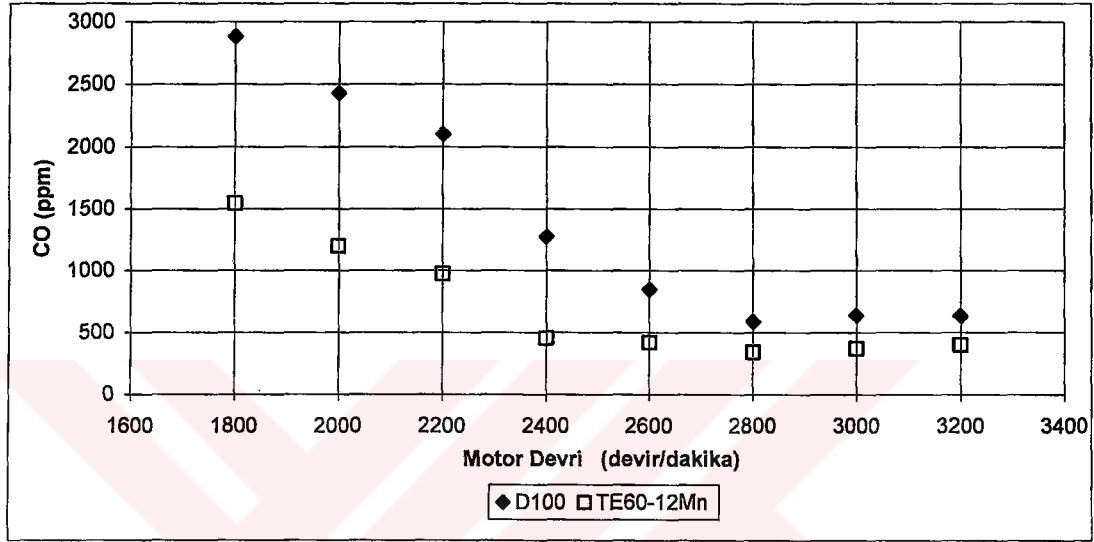


Şekil 6.26. D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının CO değerleri



Şekil 6.27. D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının CO değerleri

Şekil 6.28’de D100 ve TE60-12Mn yakıtlarının CO emisyonu değerleri değişimleri görülmektedir. Biyodizel yakıtların CO emisyonu değerleri karşılaştırıldığında en iyi sonuçları TE60-12Mn yakıtı vermiştir. Dizel yakıtına göre meydana gelen maksimum azalma miktarı 2400 devir/dakika’da %64,28, ortalama azalma miktarı ise %48,24 dır.



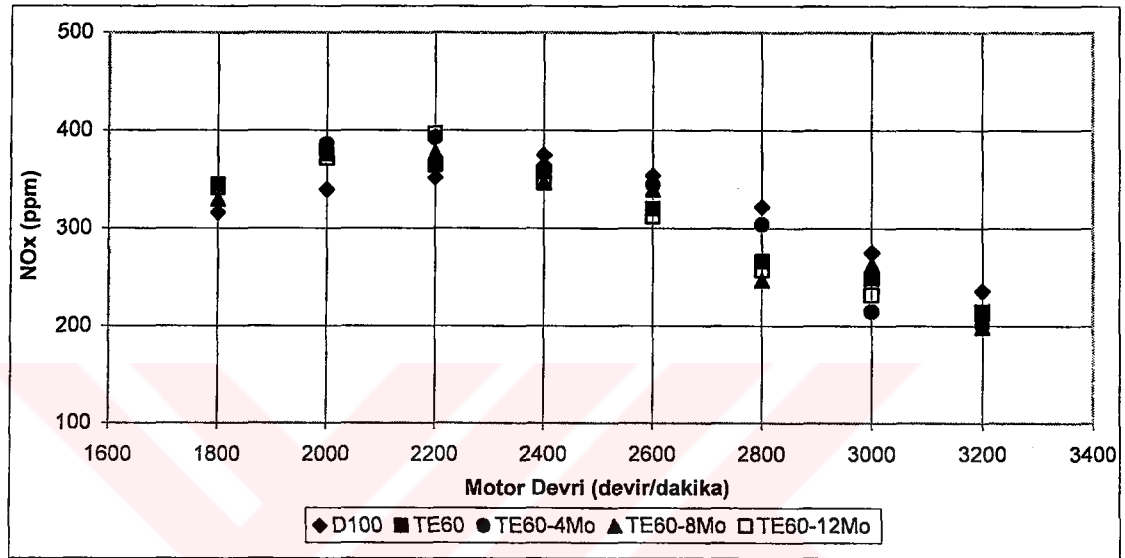
Şekil 6.28. D100 ve TE60-12Mn yakıtlarının CO değerleri

6.3.5. NO_x emisyonu değerleri

Biyodizel yakıtların bünyelerindeki oksijen oranına bağlı olarak NO_x emisyonları dizel yakıtı değerlerine göre artış eğilimleri gösterebilmektedir. Çünkü oksijen yanma verimini arttırdığı için yanma sonu sıcaklığını yükselmekte ve azot gazının oksitlenerek NO_x emisyonlarına dönüşmesinde etkili olabilmektedir. Bu çalışmada biyodizel yakıtlar ile ölçülen NO_x emisyonları düşük motor devirlerinde dizel yakıtına göre artış eğilimleri gösterirken yüksek motor devirlerinde azalma eğilimleri göstermiştir.

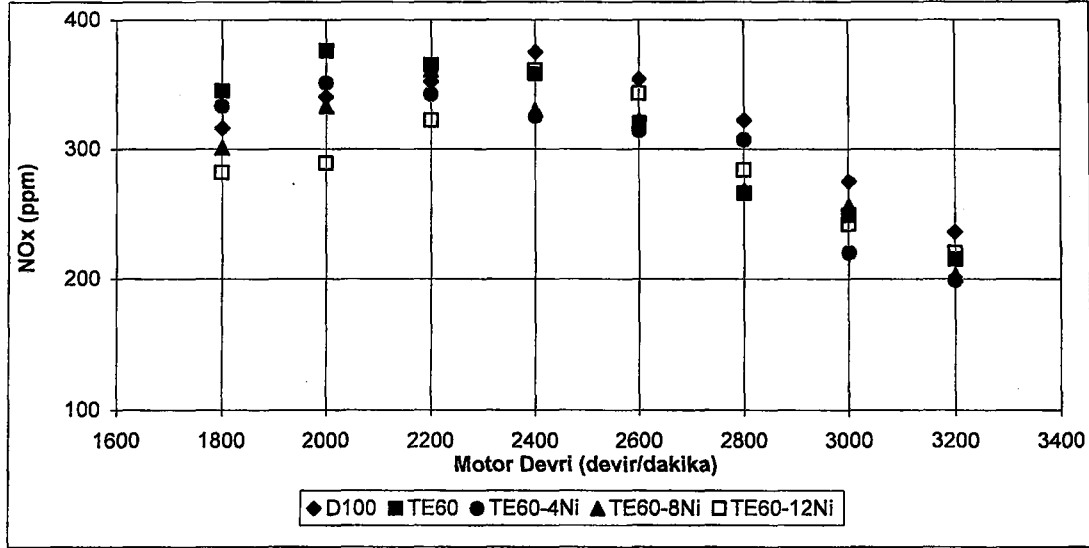
Şekil 6.29’da D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının NO_x emisyon değerlerinin değişimleri gösterilmiştir. Biyodizel yakıtlar katkılı ve katkısız olarak düşük motor devirlerin de dizel yakıtına göre daha yüksek NO_x emisyonları

oluşturmuşlardır. Yüksek motor devirlerinde ise dizel yakıtına göre NO_x emisyonları azalma eğilimi içerisine girmiştir. Deney yakıtları ile 2000 ve 2400 devir/dakika arasında en yüksek NO_x emisyonu değerleri ölçülmüştür. Maksimum tork devrin de ölçülen değerler D100 için 352 ppm, TE60 için 365 ppm, TE60-4Mo için 393 ppm, TE60-8Mo için 378 ppm ve TE60-12Mo ile 397 ppm olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.29. D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının NO_x emisyon değerleri

Şekil 6.30'da D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının NO_x emisyon değerlerinin değişimleri gösterilmektedir. TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtları ile tüm devirler de NO_x emisyonları değerleri D100 yakıtı değerlerine göre daha düşük olarak ölçülmüştür. TE60, TE60-4Ni yakıtları ile düşük motor devirlerinde D100'e göre daha yüksek NO_x emisyonları ölçülmüştür. Düşük devirlerde TE60-12Ni yakıtı en iyi sonucu vermiştir. Ölçülen en yüksek NO_x emisyonu TE60 yakıtı ile 2200 devir/dakika'da 376 ppm olarak belirlenmiştir. Maksimum tork devirlerinde ölçülen değerler ise D100 için 352 ppm, TE60 için 365 ppm, TE60-4Mo için 342 ppm, TE60-8Mo için 361 ppm ve TE60-12Mo ile 322 ppm olarak tespit edilmiştir.

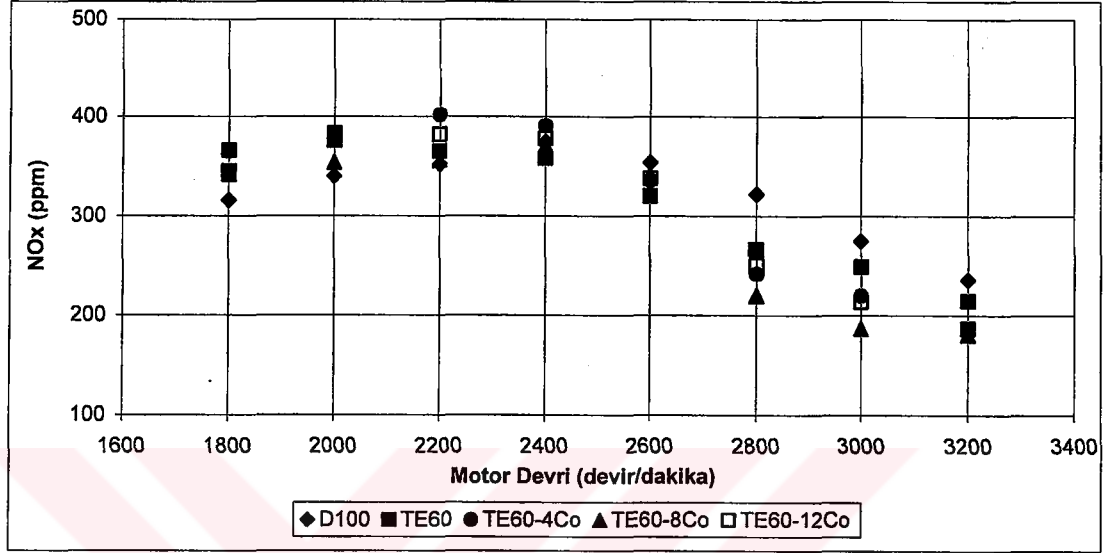


Şekil 6.30. D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının NO_x emisyon değerleri

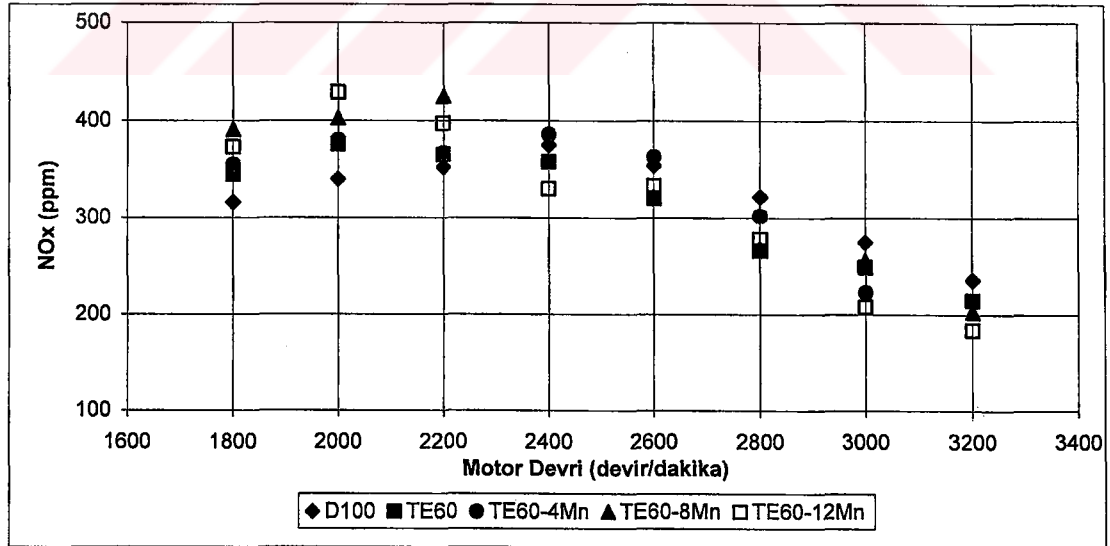
D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının NO_x emisyon değerlerinin değişimleri Şekil 6.31’de gösterilmiştir. Düşük devirlerde biyodizel yakıtlar ile yapılan testlerde D100 yakıtından daha yüksek NO_x emisyonları ölçülmüştür. Bununla birlikte yüksek devirlerde biyodizel yakıtlar ile D100 yakıtına göre daha düşük NO_x emisyonları ölçülmüştür. Yüksek devirlerde en iyi sonucu TE60-8Co yakıtı vermiştir. Ölçülen en yüksek NO_x emisyonu TE60-4Co yakıtı ile 2200 1/min’de 402 ppm olarak belirlenmiştir. Maksimum tork devirlerinde ölçülen değerler ise D100 için 352 ppm, TE60 için 365 ppm, TE60-4Co için 402 ppm, TE60-8Co için 356 ppm ve TE60-12Co için 382 ppm olarak tespit edilmiştir.

Şekil 6.32’de D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının NO_x emisyon değerlerinin değişimleri gösterilmiştir. Biyodizel yakıtların düşük motor devirlerinde NO_x emisyonları D100 yakıtına göre artış, yüksek motor devirlerinde azalmalar göstermiştir. Ölçülen maksimum NO_x emisyonu değeri TE60-12Mn yakıtı ile 2000 devir/dakika’da 429 ppm olarak belirlenmiştir. 2400 ve 2600 devir/dakika’da NO_x emisyonu oluşumunda biyodizel yakıtlar kararsızlık göstermiştir. Maksimum tork devirlerinde ölçülen değerler ise D100 için 352 ppm,

TE60 için 365 ppm, TE60-4Mn için 425 ppm, TE60-8Mn için 425 ppm ve TE60-12Mn ile 397 ppm olarak tespit edilmiştir.

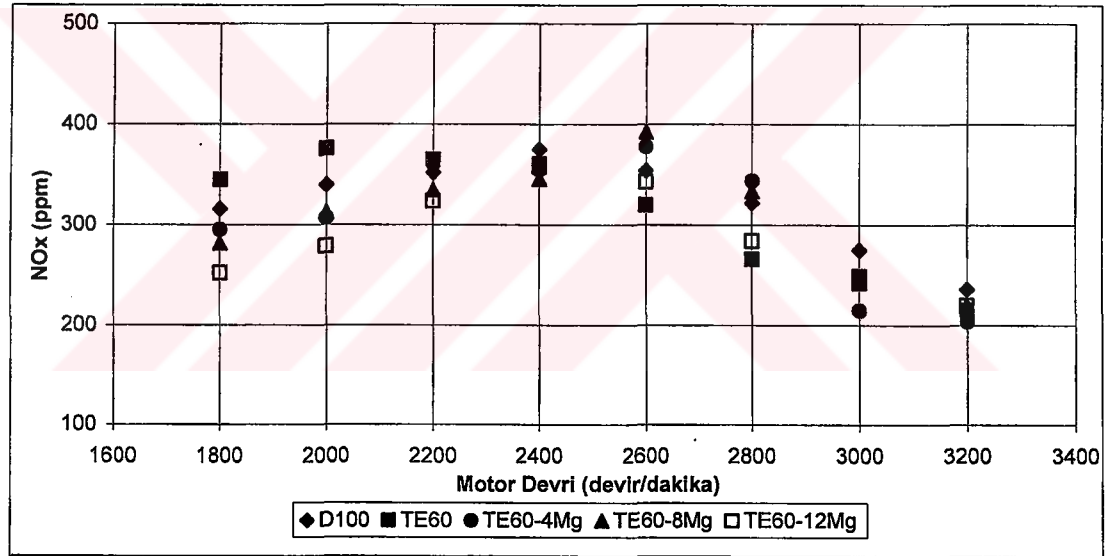


Şekil 6.31. D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının NO_x emisyon değerleri



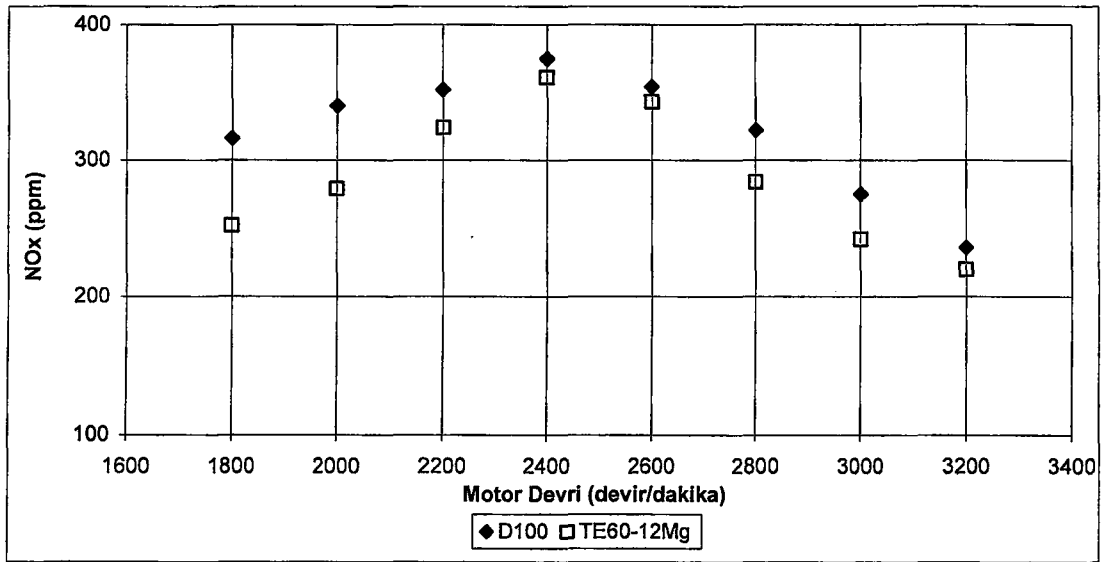
Şekil 6.32. D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının NO_x emisyon değerleri

Şekil 6.33’de D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının NO_x emisyon değerlerinin değişimleri gösterilmiştir. Düşük motor devirlerinde yapılan ölçümlerde TE60 yakıtı dışındaki diğer biyodizel yakıtların dizel yakıtı değerlerine göre NO_x emisyonları azalmıştır. Düşük devirlerde en iyi sonucu veren yakıt TE60-12Mg yakıtıdır. Bununla birlikte 3000 ve 3200 devir/dakika’da bütün biyodizel yakıtlar dizel yakıtı değerlerinden daha düşük değerler vermiştir. Ölçülen maksimum NO_x emisyonu TE60-8Mg yakıtı ile 2600 devir/dakika’da 393 ppm olarak belirlenmiştir. Maksimum tork devirlerinde ölçülen değerler ise D100 için 352 ppm, TE60 için 365 ppm, TE60-4Mg için 361 ppm, TE60-8Mg için 335 ppm ve TE60-12Mg ile 324 ppm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.33. D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının NO_x emisyonu değerleri

Şekil 6.34’de D100 ve TE60-12Mg yakıtlarının NO_x emisyonu değerlerinin değişimleri verilmiştir. TE60-12Mg yakıtı ile diğer biyodizel yakıtlara göre daha düşük NO_x emisyonu değerleri elde ölçülmüştür. Düşük motor devirlerinde daha düşük NO_x emisyonu değerleri elde edilmiştir.



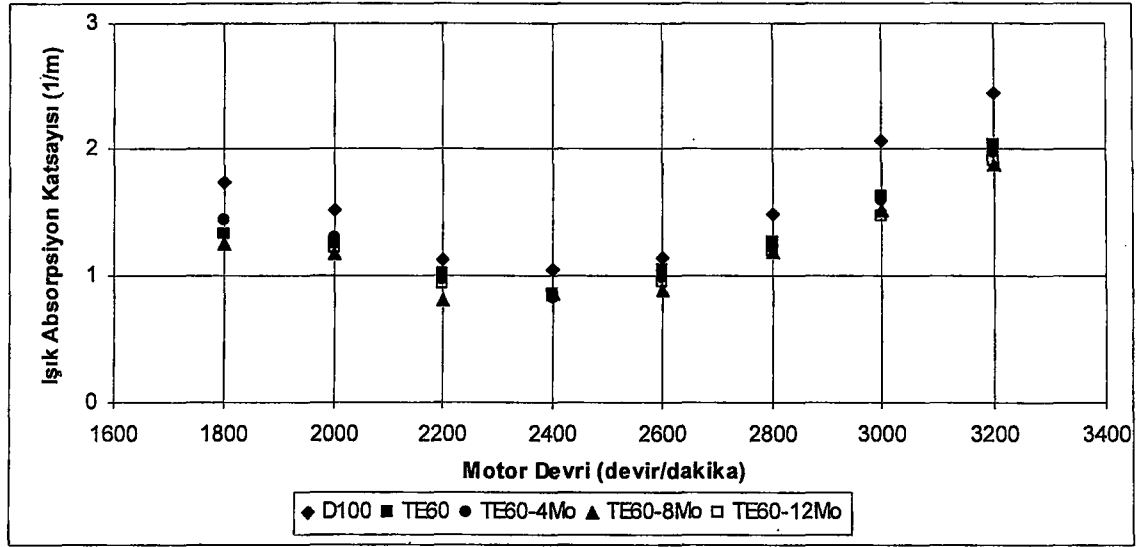
Şekil 6.34. D100 ve TE60-12Mg yakıtlarının NO_x emisyon değerleri

6.3.6. Işık absorpsiyon katsayısı (K) değerleri

Işık absorpsiyon katsayısı, egzoz gazı içerisinde bulunan ve şeffaf olmayan parçacıkların, gazdan geçen ışığın aydınlatma şiddetini azaltması ile ilgili bir katsayıdır.

Biyodizel yakıtların hava fazlalık katsayılarının daha yüksek olması küllük oranının az olması ve moleküler yapısında oksijen bulunması yanma verimini arttırdığından dolayı is emisyonlarında azalmalar görülmüştür.

Şekil 6.35’de D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının ışık absorpsiyon katsayısı değerleri gösterilmiştir. Yapılan bütün ölçümlerde biyodizel yakıtlar ile ışık absorpsiyon katsayısı değeri dizel yakıtı değerine göre daha düşük ölçülmüştür. En düşük ışık absorpsiyon katsayısı değeri TE60-8Mo yakıtı ile 2200 devir/dakika’da 0,81 1/m olarak ölçülmüştür. Dizel yakıtına göre ışık absorpsiyon katsayısındaki maksimum azalma TE60-12Mo yakıtı ile 3000 devir/dakika’da %28,98 oranındadır. 2400 ve 3000 devir/dakika dışındaki bütün devirlerde TE60-8Mo yakıtı ile en iyi sonuçlar alınmıştır. TE60-8Mo yakıtı dışında ki bütün yakıtlar ile minimum ışık absorpsiyon katsayısı değeri 2400 devir/dakika’da ölçülmüştür.

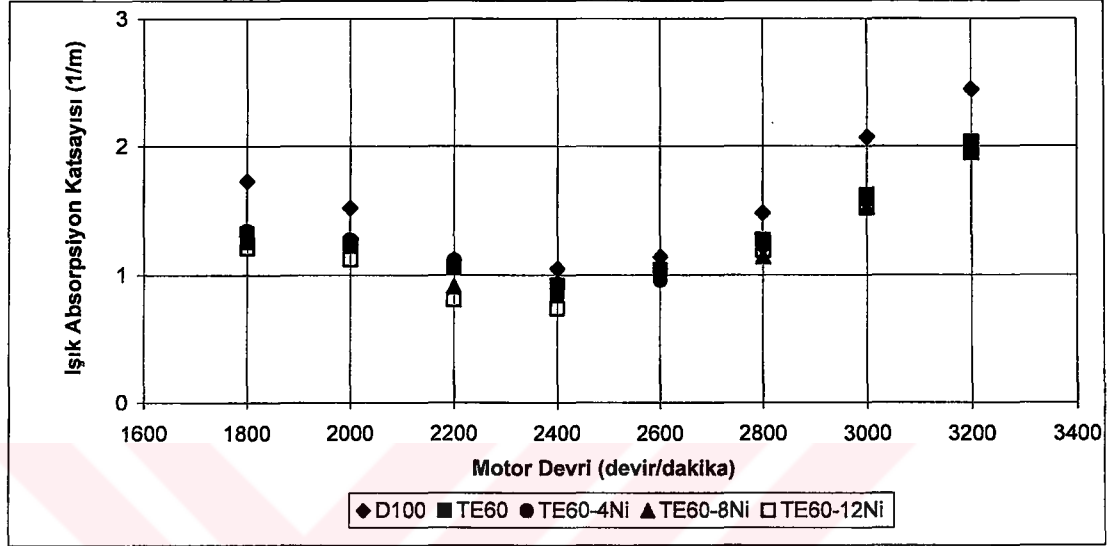


Şekil 6.35. D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının ışık absorpsiyon katsayısı değerleri

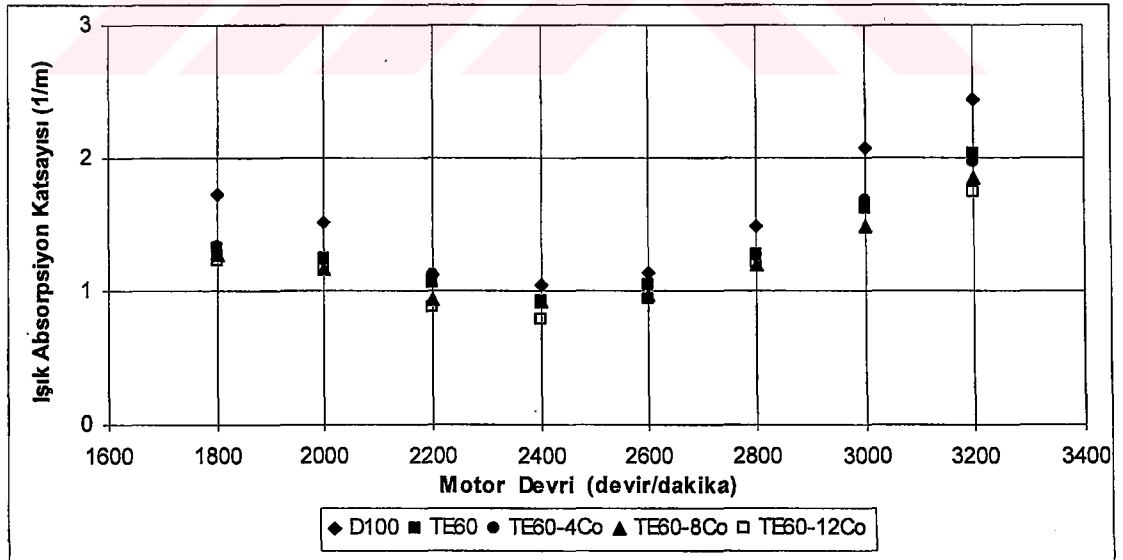
D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının ışık absorpsiyon katsayısı değerleri Şekil 6.36'da gösterilmiştir. Yapılan ölçümlerde biyodizel yakıtların ile ışık absorpsiyon katsayısı değeri dizel yakıtı değerine göre daha düşük ölçülmüştür. Diğer yakıtlara göre TE60-12Ni yakıtı ile düşük motor devirlerinde, TE60-8Ni yakıtı ile de yüksek motor devirlerinde daha düşük ışık absorpsiyon katsayısı değerleri ölçülmüştür. Minimum ışık absorpsiyon katsayısı değeri TE60-12Ni yakıtı ile 2400 devir/dakika'da 0,74 1/m olarak ölçülmüştür. TE60-8Ni yakıtı ile en iyi sonuçlar alınmıştır. Dizel yakıtına göre ışık absorpsiyon katsayısındaki maksimum azalma TE60-12Ni yakıtı ile 1800 devir/dakika'da %30,05 oranında olmuştur. TE60-8Ni yakıtı dışında ki bütün yakıtlar ile minimum ışık absorpsiyon katsayısı değeri 2400 devir/dakika'da ölçülmüştür.

Şekil 6.37'de D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının ışık absorpsiyon katsayısı değerleri değişimleri gösterilmiştir. TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtları ile yapılan testlerde daha düşük ışık absorpsiyon katsayısı değerleri elde edilmiştir. Minimum ışık absorpsiyon katsayısı değeri TE60-12Co yakıtı ile 2400 devir/dakika'da 0,79 1/m olarak ölçülmüştür. Işık absorpsiyon katsayısındaki maksimum azalma TE60-12Co yakıtı ile 1800 devir/dakika'da %29,47 oranındadır.

Bütün deney yakıtları ile minimum ışık absorpsiyon katsayısı değeri 2400 devir/dakika'da ölçülmüştür.



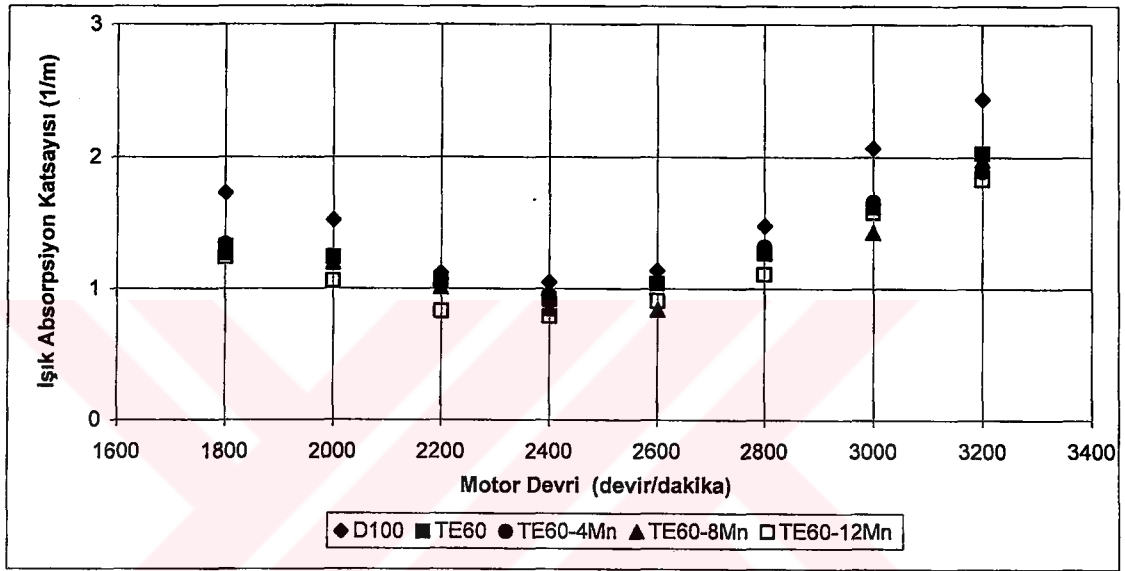
Şekil 6.36. D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının ışık absorpsiyon katsayısı değerleri



Şekil 6.37. D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının ışık absorpsiyon katsayısı değerleri

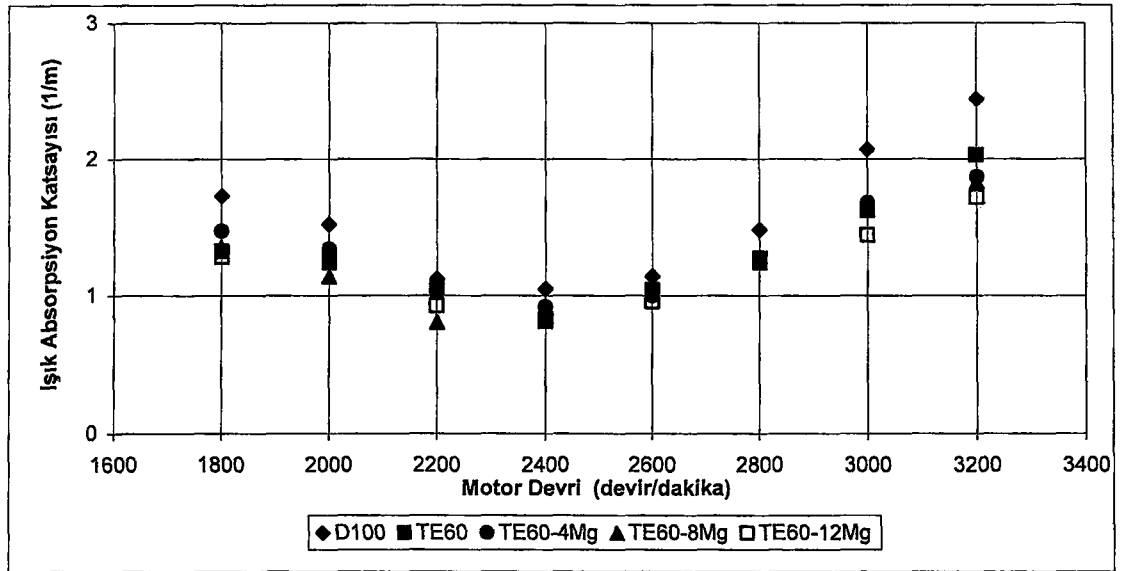
Şekil 6.38'de D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının ışık absorpsiyon katsayısı değerleri değişimleri gösterilmiştir. TE60-8Mn ve TE60-12Mn

yakıtları ile yapılan testlerde daha düşük ışık absorpsiyon katsayısı değerleri ölçülmüştür. Dizel yakıtına göre ışık absorpsiyon katsayısı değerindeki maksimum azalma miktarı TE60-8Mn yakıtı ile 3000 devir/dakika'da %30,91 oranındadır. Ölçülen minimum ışık absorpsiyon katsayısı değeri ise TE60-12Mn yakıtı ile 2400 devir/dakika'da 0,79 1/m olarak belirlenmiştir. Bütün deney yakıtları ile minimum ışık absorpsiyon katsayısı değeri 2400 devir/dakika'da ölçülmüştür.



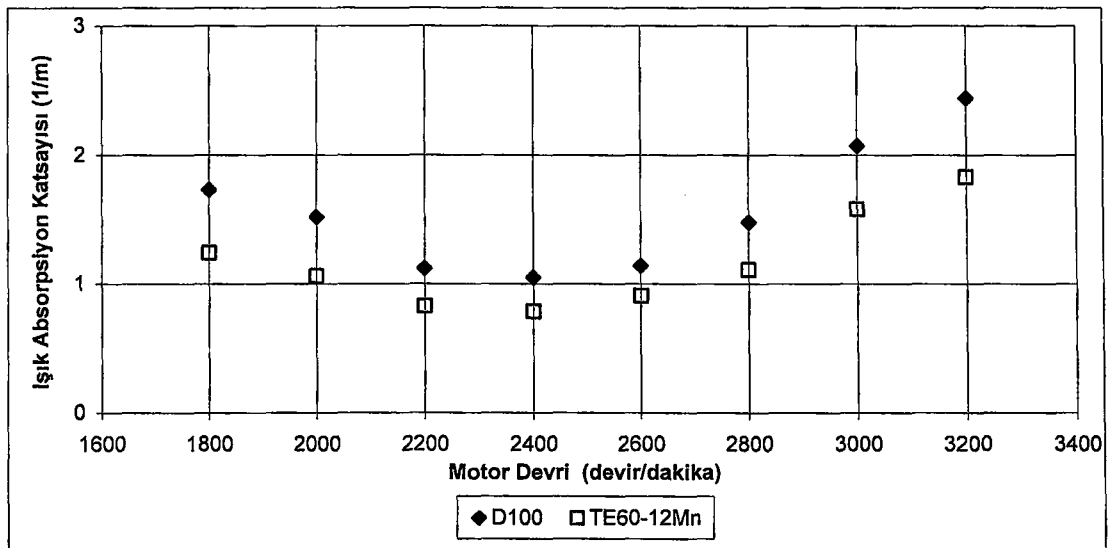
Şekil 6.38. D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının ışık absorpsiyon katsayısı değerleri

Şekil 6.39'da D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının ışık absorpsiyon katsayısı değerleri değişimleri verilmiştir. Biyodizel yakıtlar ile özellikle düşük ve yüksek motor devirlerinde ışık absorpsiyon katsayısı değerlerinde dizel yakıtı değerlerine göre önemli azalmalar olmuştur. Ölçülen minimum ışık absorpsiyon katsayısı değeri TE60-8Mg yakıtı ile 2200 devir/dakika'da 0,81 1/m olarak ölçülmüştür. Dizel yakıtına göre ışık absorpsiyon katsayısı değerinde meydana gelen maksimum azalma miktarı TE60-12Mg yakıtı ile 3000 devir/dakika'da %30,43 oranındadır. TE60-8Mg yakıtının minimum ışık absorpsiyon katsayısı değeri 2200 devir/dakika'da diğer deney yakıtlarınınunki ise 2400 devir/dakika'da ölçülmüştür.



Şekil 6.39. D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının ışık absorpsiyon katsayısı değerleri

Şekil 6.40'da D100 ve TE60-12Mn yakıtlarının ışık absorpsiyon katsayısı değerlerinin değişimleri verilmiştir. TE60-12Mn yakıtı ile diğer biyodizel yakıtlara göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Dizel yakıtına göre meydana gelen ortalama azalma miktarı %25,47 oranında olmuştur.

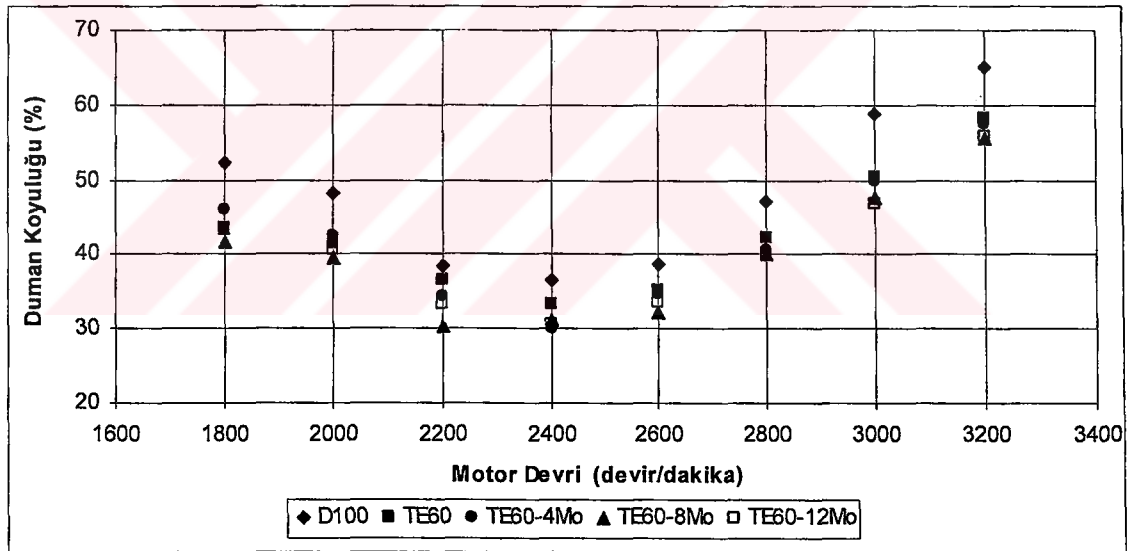


Şekil 6.40. D100 ve TE60-12Mn yakıtlarının ışık absorpsiyon katsayısı değerleri

6.3.7. Duman koyuluğu değerleri

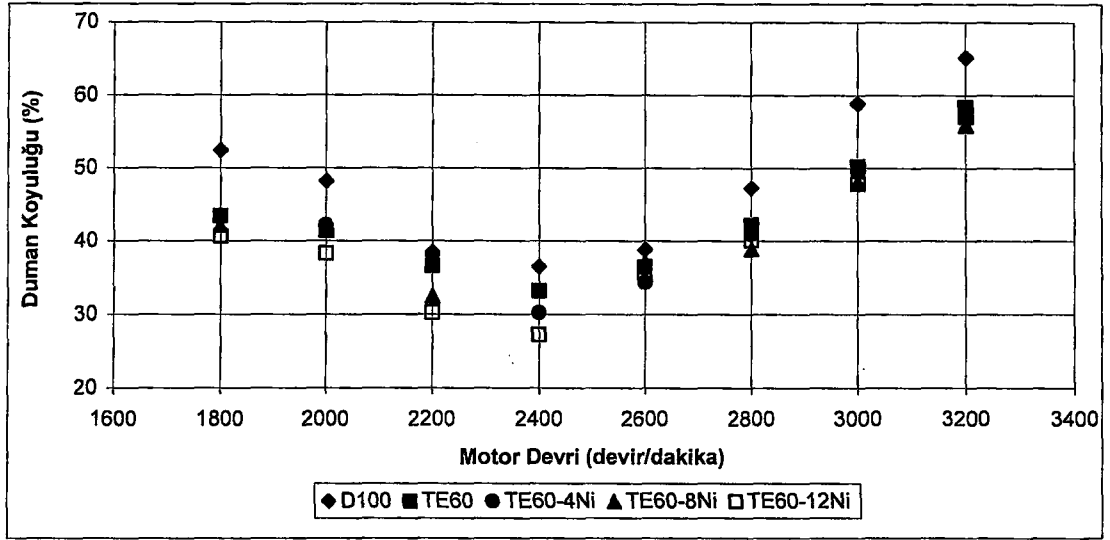
Duman koyuluğu, egzoz gazı içerisinde bulunan şeffaf olmayan partiküllerin gazdan geçen ışığın aydınlatma şiddetini azaltma yüzdesidir. Tam şeffaf gaz için duman koyuluğu %0, ışığı geçirmeyen bir gaz için ise %100 dür. Duman koyuluğu değerlerinin değişimleri ışık absorpsiyon katsayısı değerine göre büyük ölçüde paralellik göstermiştir.

Şekil 6.41’de D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının duman koyuluğu değerlerinin değişimleri gösterilmiştir. Dizel yakıtı değerine göre maksimum azalma TE60-8Mo yakıtı ile 2200 devir/dakika’da %21,09 oranında olmuştur. TE60-4Mo yakıtı ile katkı maddesiz TE60 yakıtına göre duman koyuluğun değerlerinde önemli bir azalma tespit edilememiştir.



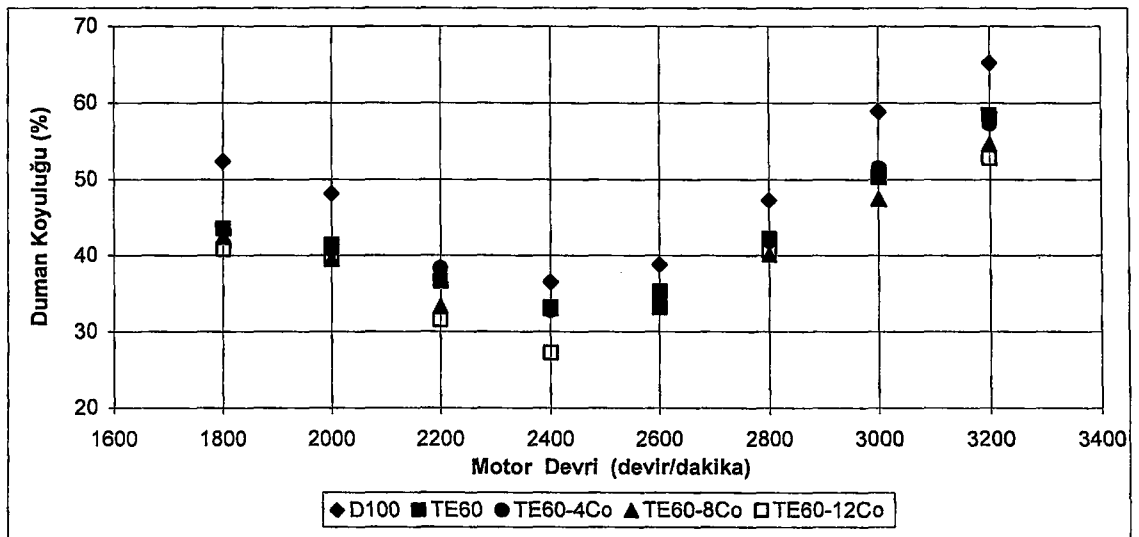
Şekil 6.41. D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının duman koyuluğu değerleri

D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının duman koyuluğu değerleri değişimleri Şekil 6.42’de gösterilmiştir. TE60-12Ni yakıtı ile yapılan ölçümlerde 1800 ila 2400 devir/dakika arasında duman koyuluğu değerlerinde dizel yakıtı değerlerine oranla büyük oranda azalmalar olmuştur. Dizel yakıtına göre meydana gelen maksimum azalma 2400 devir/dakika’da TE60-12Ni yakıtı ile %25,20 oranında olmuştur.



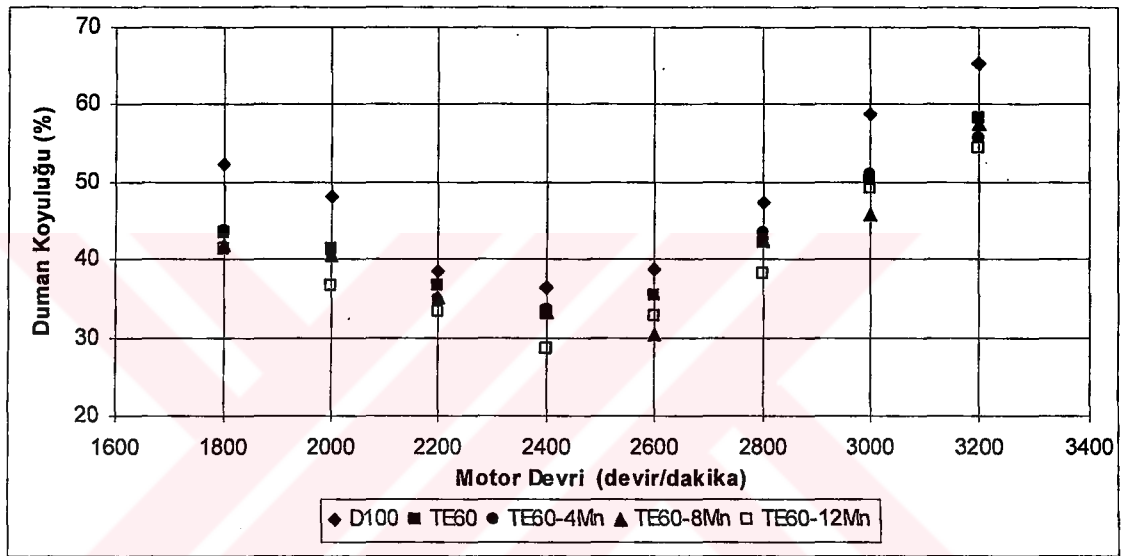
Şekil 6.42. D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının duman koyuluğu değerleri

Şekil 6.43'de D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının duman koyuluğu değerleri değişimleri gösterilmiştir. Duman koyuluğu değerlerinde TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtları ile diğer yakıtlara göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Dizel yakıtına göre meydana gelen maksimum azalma TE60-12Co yakıtı ile 2400 devir/dakika'da %25,20 oranında olmuştur.



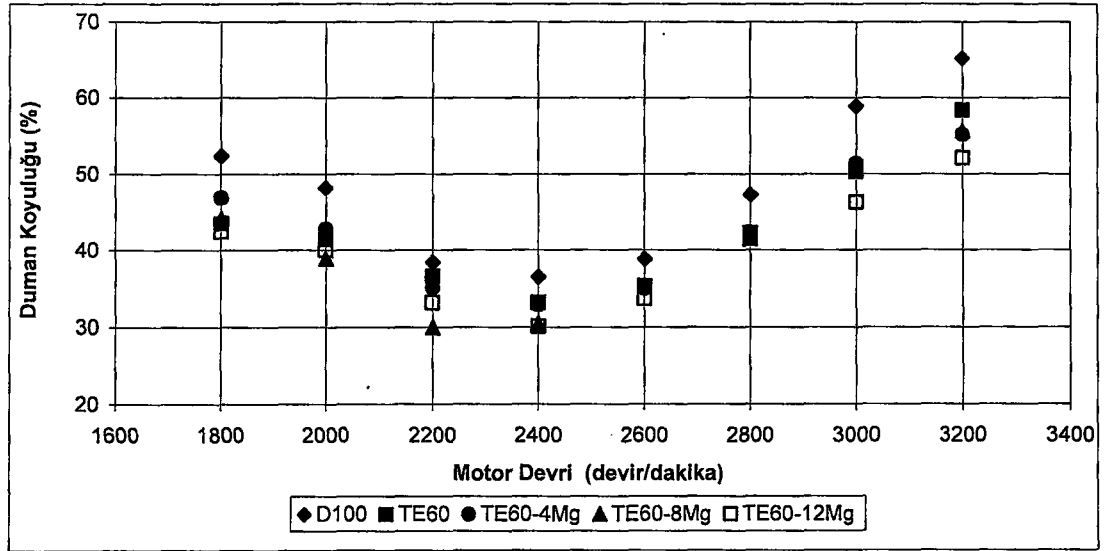
Şekil 6. 43. D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının duman koyuluğu değerleri

Şekil 6.44'de D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının duman koyuluğu değerleri değişimleri verilmiştir. Dizel yakıtı değerlerine göre meydana gelen maksimum azalma TE60-8Mn yakıtı ile 2000 devir/dakika'da %24,06 oranında olmuştur. 2600 ve 3000 devir/dakika dışındaki bütün devirlerde TE60-12Mn yakıtı diğer yakıtlara göre en iyi sonuçları vermiştir. TE60-4Mn yakıtı katkı maddesiz TE60 yakıtına göre çok önemli bir değişim göstermemiştir.



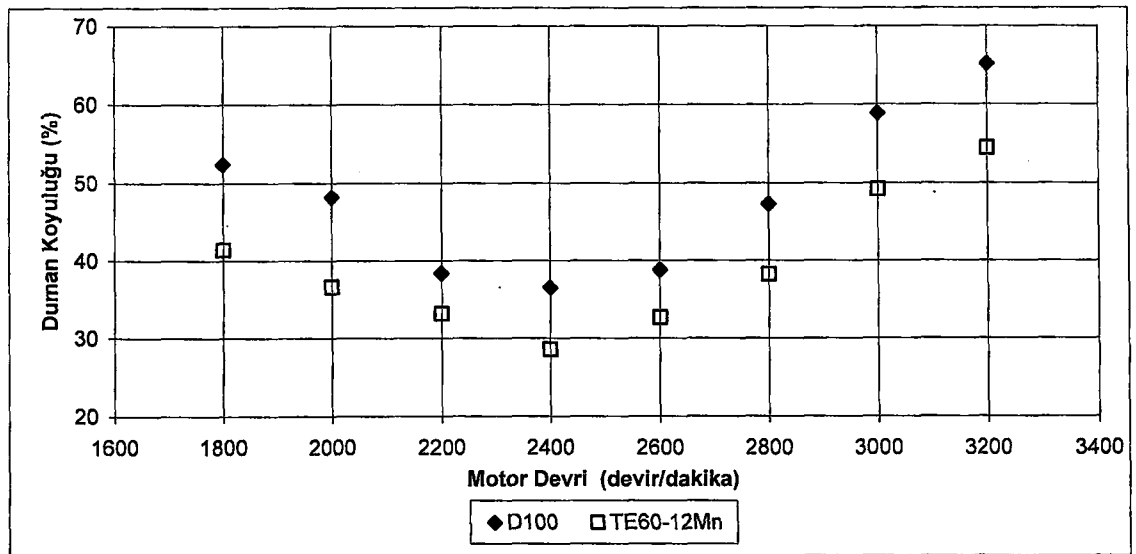
Şekil 6.44. D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının duman koyuluğu değerleri

D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının duman koyuluğu değerleri değişimleri Şekil 6.45'de verilmiştir. TE60-4Mg yakıtı düşük devirlerde diğer biyodizel yakıtlara göre daha yüksek duman koyuluğu değeri vermiş ve diğer devirlerde ise katkı maddesiz TE60 yakıtına göre önemli bir değişim göstermemiştir. Dizel yakıtı değerlerine göre meydana gelen maksimum azalma TE60-8Mg yakıtı ile 2200 devir/dakika'da %21,88 oranında olmuştur.



Şekil 6.45. D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının duman koyuluğu değerleri

D100 ve TE60-12Mn yakıtlarının duman koyuluğu değerlerinin değişimleri Şekil 6.46'da verilmiştir. TE60-12Mn yakıtı ile diğer biyodizel yakıtlara göre daha iyi duman koyuluğu değerleri ölçülmüştür. Dizel yakıtına göre meydana gelen ortalama azalma miktarı %19,63 oranında olmuştur.

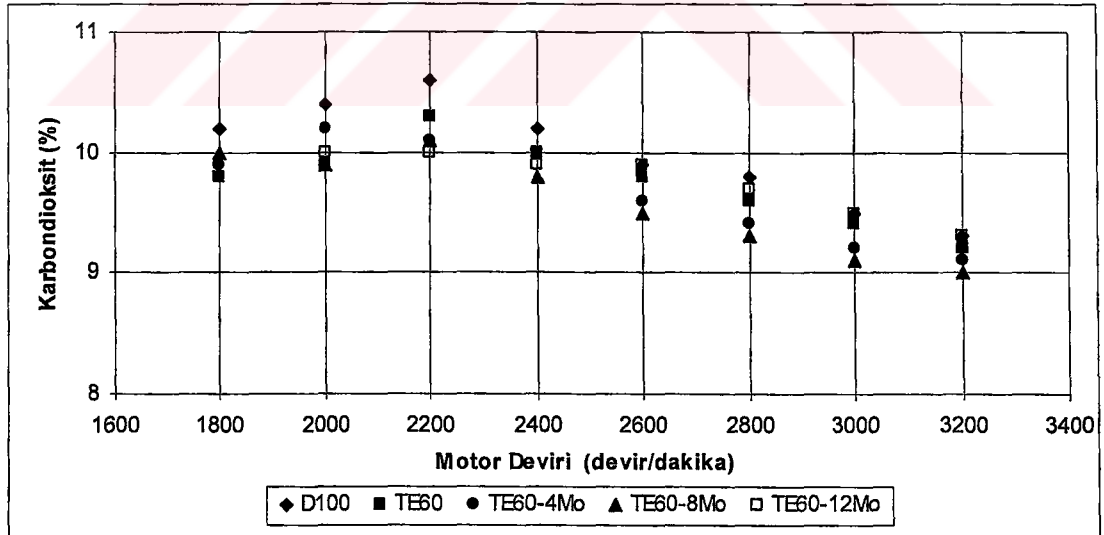


Şekil 6.46. D100 ve TE60-12Mn yakıtlarının duman koyuluğu değerleri

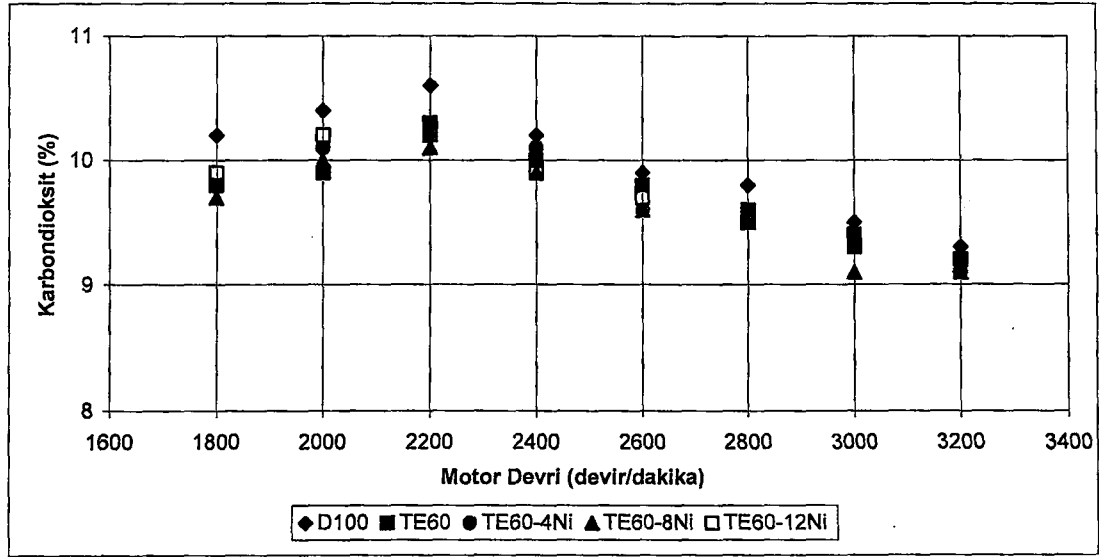
6.3.8. Karbondioksit (CO₂) emisyonu değerleri

D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının CO₂ emisyonu değişimleri Şekil 6.47’de gösterilmiştir. Biyodizel yakıtlar ile CO₂ emisyon değerleri dizel yakıtı değerlerine göre daha düşük ölçülmüştür. Özellikle yüksek motor devirlerinde TE60-8Mo yakıtı ile diğer yakıtlara göre daha düşük CO₂ emisyonları ölçülmüştür. Dizel yakıtı değerlerine göre meydana gelen maksimum azalma TE60-12Mo yakıtı ile 2200 devir/dakika’da % 5,7 oranındadır.

Şekil 6.48’de D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının CO₂ emisyonu değişimleri gösterilmiştir. Bütün devirlerde biyodizel yakıtların CO₂ emisyonu değerleri dizel yakıtı değerlerinden daha düşük ölçülmüş olmakla birlikte değerler birbirlerine yakındır. Düşük motor devirlerinde biyodizel yakıtlar ile CO₂ emisyonları daha düşük değerlerde ölçülmüştür. Dizel yakıtı değerlerine göre meydana gelen maksimum azalma TE60-8Ni yakıtı ile 1800 devir/dakika’da %4,9 oranında olmuştur.



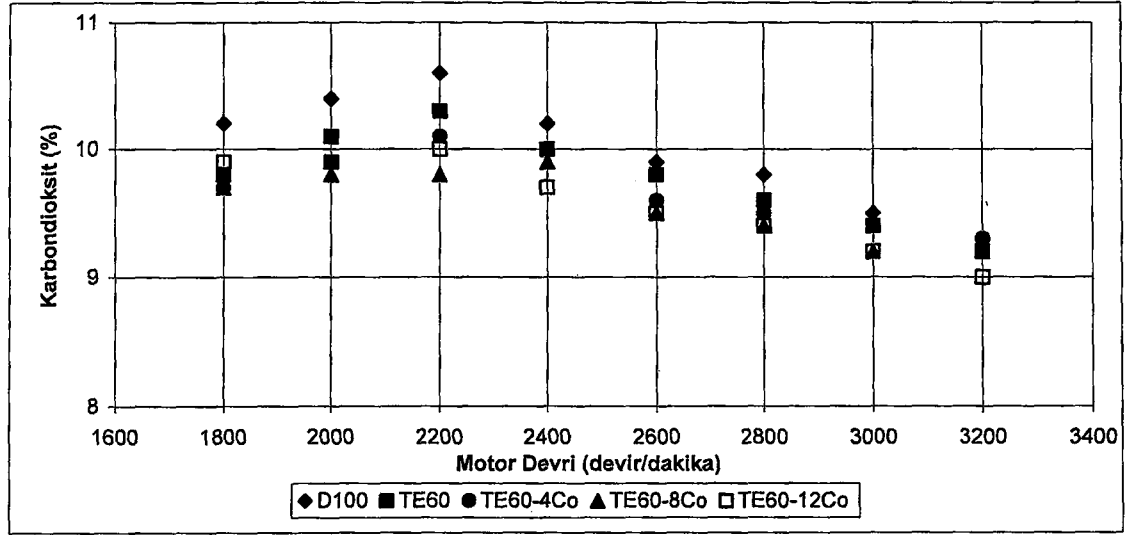
Şekil 6.47. D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının CO₂ emisyonu değerleri



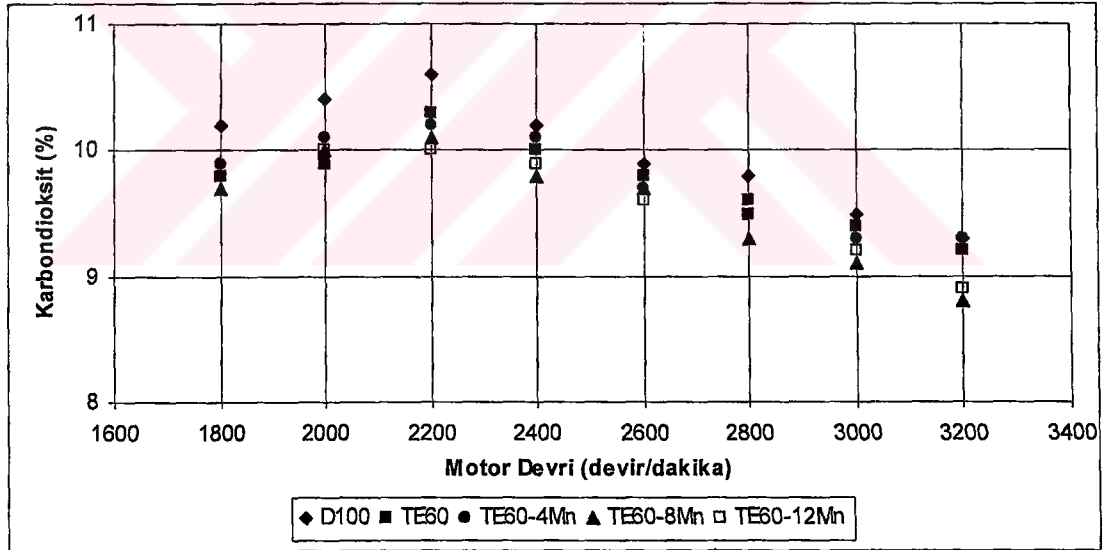
Şekil 6.48. D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının CO₂ emisyonu değerleri

D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının CO₂ emisyonu değişimleri Şekil 6.49'da verilmiştir. Biyodizel yakıtlar ile yapılan ölçümlerde CO₂ emisyonunu değerleri dizel yakıtı değerlerinden daha düşük ölçülmüştür. TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının CO₂ emisyonu değerleri diğer yakıtlara göre önemli azalmalar göstermiştir. Dizel yakıtı değerlerine göre meydana gelen maksimum azalma TE60-8Co yakıtı ile 2200 devir/dakika'da %7,6 oranında olmuştur.

D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının CO₂ emisyonu değişimleri Şekil 6.50'de gösterilmiştir. Biyodizel yakıtlar ile CO₂ emisyon değerleri dizel yakıtı değerlerine göre daha düşük ölçülmüştür. CO₂ emisyonunda en etkin azalma TE60-8Mn yakıtı ile sağlanmıştır. Dizel yakıtı değerlerine göre meydana gelen maksimum azalma TE60-8Mn yakıtı ile 3200 devir/dakika'da %6,5 oranında olmuştur.

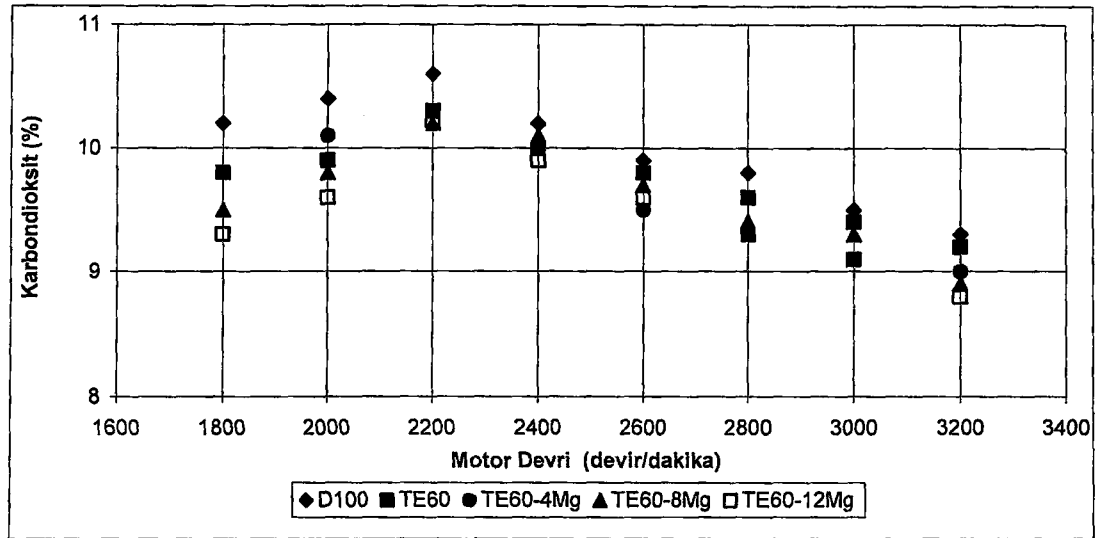


Şekil 6.49. D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının CO₂ emisyonu değerleri



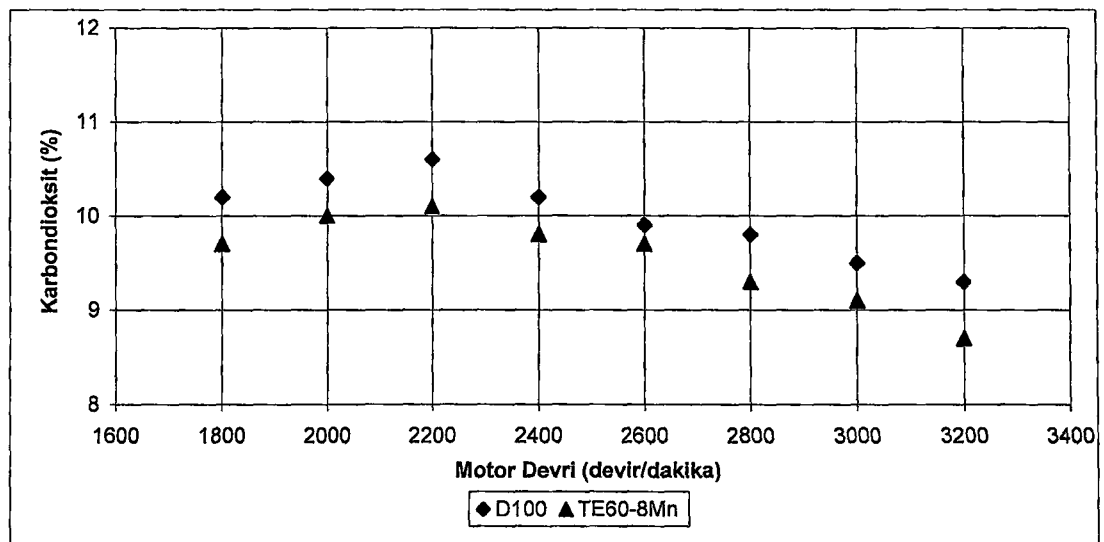
Şekil 6.50. D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının CO₂ emisyonu değerleri

Şekil 6.51’de D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının CO₂ emisyonu değişimleri gösterilmiştir. Biyodizel yakıtlar ile dizel yakıtına göre daha düşük CO₂ emisyonu değerleri ölçülmüştür. Düşük motor devirlerinde TE60-8Mg ve TE60-12Mg ile ölçülen CO₂ emisyonu değerleri önemli ölçüde azalma göstermiştir. Dizel yakıtı ile elde edilen sonuçlara göre meydana gelen maksimum azalma TE60-12Mg yakıtı ile 1800 devir/dakika’da %8,8 oranında olmuştur.



Şekil 6.51. D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının CO₂ emisyonu değerleri

D100 ve TE60-12Mn yakıtlarının CO₂ emisyonu değerleri değişimleri Şekil 6.52’de görülmektedir. Biyodizel yakıtlar ile CO₂ emisyonunda en etkin azalma TE60-8Mn yakıtı ile sağlanmıştır. Dizel yakıtı değerlerine göre meydana gelen maksimum azalma TE60-8Mn yakıtı ile 3200 devir/dakika’da %6,5 olurken, ortalama azalma oranı ise %4,39 olmuştur.



Şekil 6.52. D100 ve TE60-12Mn yakıtlarının CO₂ emisyonu değerleri

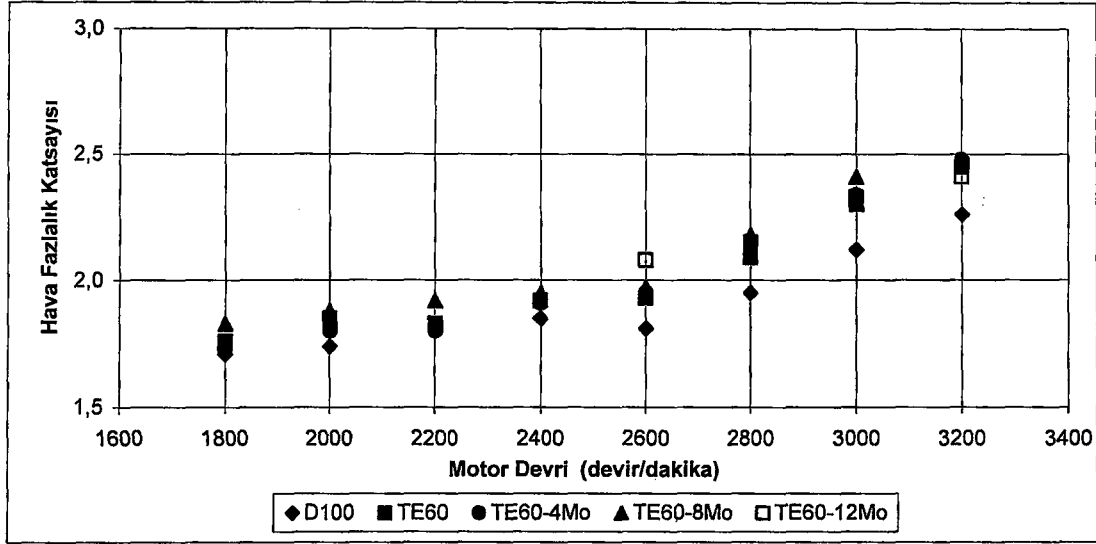
6.3.9. Hava fazlalık katsayısı (HFK) değerleri

Yanma esnasında gerekli olan hava miktarı, yakıtların kimyasal yapılarına bağlı olarak değişmektedir. Hava fazlalık katsayısı motor çalışırken gerçekleşen hava-yakıt oranının teorik yanma için gerekli hava-yakıt oranına oranıdır. Motorlar çalışma şartlarına bağlı olarak değişik hava-yakıt oranlarında çalışırlar. Dizel motorlarda hava fazlalık katsayısı genellikle 1,4'ün üzerindedir. Daha düşük değerler isli çalışma bölgesine girer.

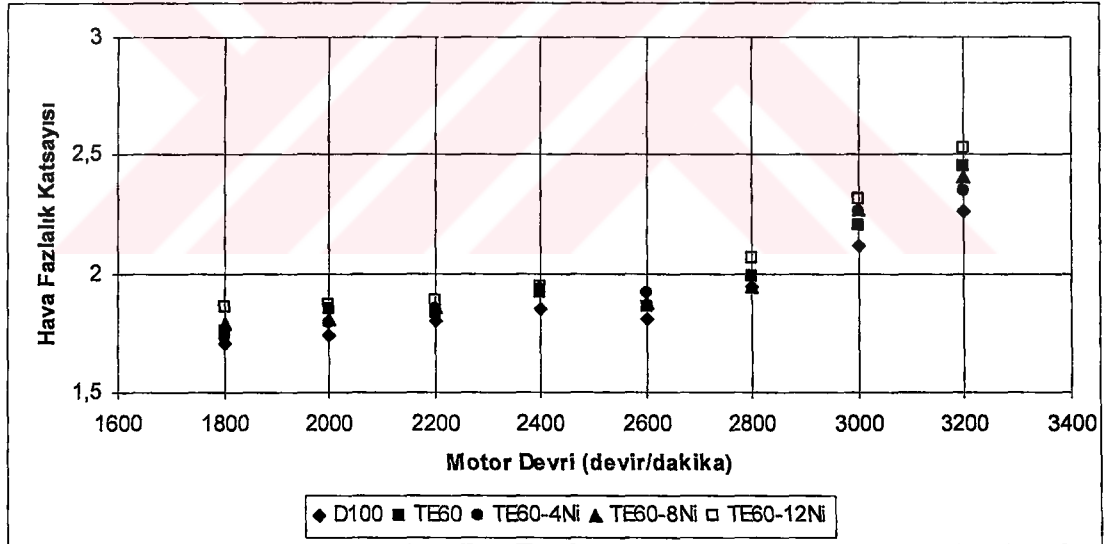
Biyodizel yakıtların yanma esnasında daha düşük hava-yakıt oranında sahip olmaları hava fazlalık katsayısı değerlerinin artmasına neden olmuştur.

D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının HFK değişimleri Şekil 6.53'de verilmiştir. Düşük motor devirlerinde dizel yakıtı ile biyodizel yakıtların HFK değerleri arasında önemli bir fark yok iken yüksek motor devirlerinde biyodizel yakıtların HFK sayısı değerleri dizel yakıtlarına göre artış göstermiştir. En yüksek HFK değerleri TE60-8Mo yakıtı ile ölçülmüştür. Maksimum tork değerlerinin elde edildiği 2200 devir/dakika'da ölçülen HFK değerleri D100 yakıtı için 1,80, TE60 yakıtı için 1,83, TE60-4Mo yakıtı için 1,80, TE60-8Mo yakıtı için 1,92 ve TE60-12Mo yakıtı için 1,82 olarak belirlenmiştir.

Şekil 6.54'de D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının HFK değişimleri gösterilmiştir. Biyodizel yakıtların HFK değerleri dizel yakıtı değerlerine göre daha yüksek ölçülmüştür. Artış düşük ve yüksek devirlerde daha fazla olmuştur. En yüksek HFK değerleri TE60-12Ni yakıtı ile ölçülmüştür. Maksimum tork devri olan 2200 devir/dakika'da ölçülen HFK değerleri D100 yakıtı için 1,80, TE60 yakıtı için 1,83, TE60-4Ni yakıtı için 1,85, TE60-8Ni yakıtı için 1,86 ve TE60-12Ni yakıtı için 1,89 olarak belirlenmiştir.



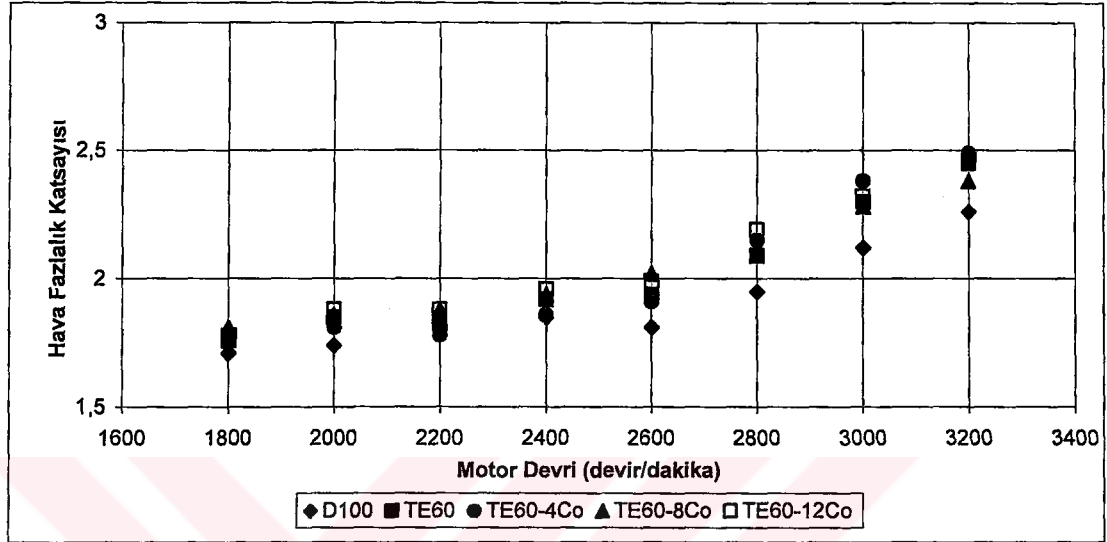
Şekil 6.53. D100, TE60, TE60-4Mo, TE60-8Mo ve TE60-12Mo yakıtlarının HFK değerleri



Şekil 6.54. D100, TE60, TE60-4Ni, TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtlarının HFK değerleri

D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının HFK değerlerinin değişimleri Şekil 6.55'de görülmektedir. Biyodizel yakıtların HFK değerleri dizel yakıtı değerlerine göre artış eğilimi göstermiştir. Bazı devirlerde değişimler görülmekle birlikte HFK değerleri TE60-12Co yakıtı ile daha yüksek ölçülmüştür. Maksimum tork devri olan 2200 devir/dakika'da ölçülen HFK değerleri D100 için

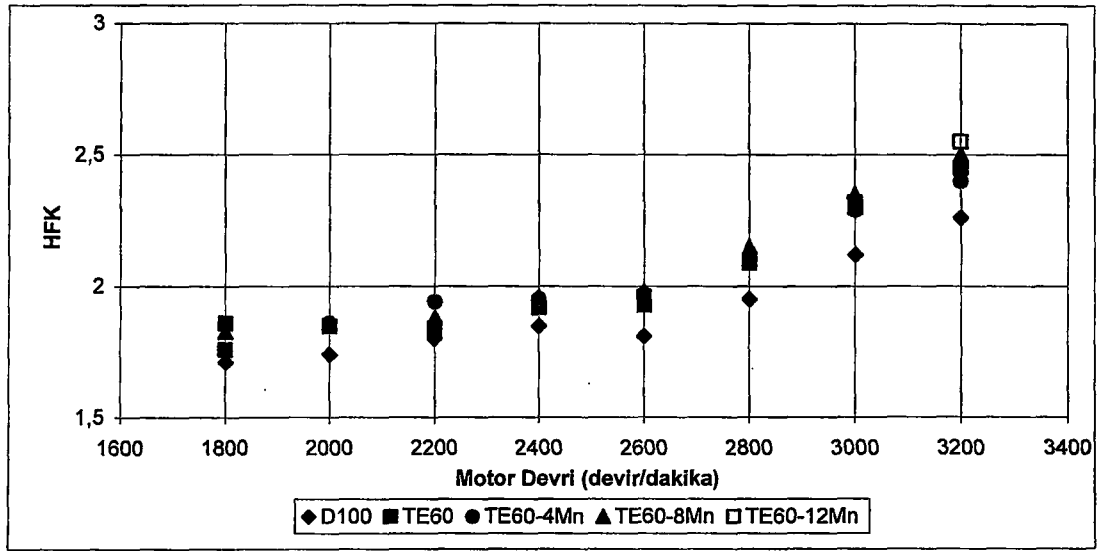
1,80, TE60 yakıtı için 1,83, TE60-4Co yakıtı için 1,78, TE60-8Co yakıtı için 1,88 ve TE60-12Co yakıtı için 1,88 olarak belirlenmiştir.



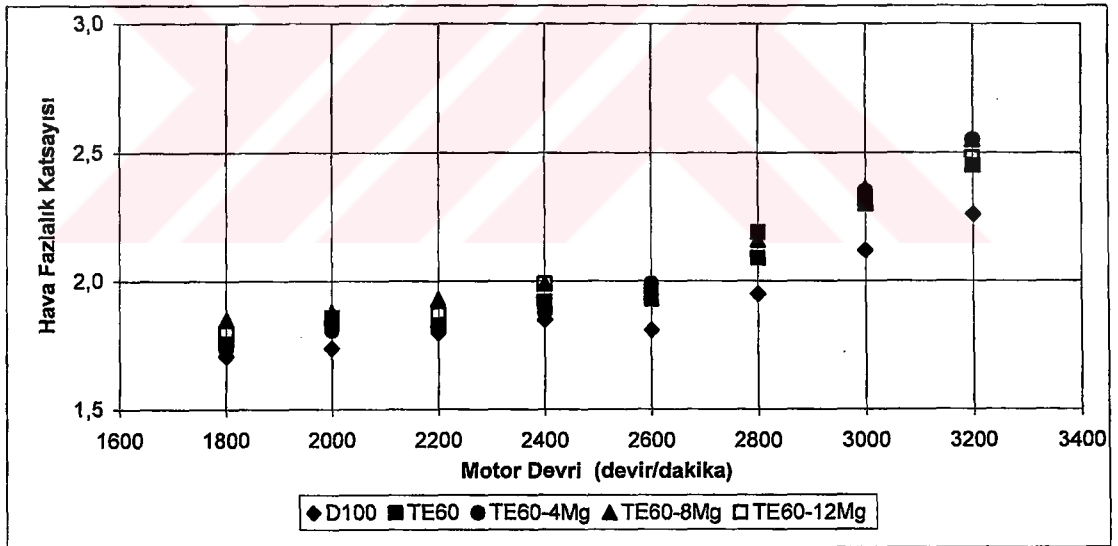
Şekil 6.55. D100, TE60, TE60-4Co, TE60-8Co ve TE60-12Co yakıtlarının HFK değerleri

Şekil 6.56’da D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının HFK değerlerinin değişimleri verilmiştir. Biyodizel yakıtlar ile dizel yakıtı değerlerine göre daha yüksek HFK değerleri ölçülmüştür. Maksimum tork devri olan 2200 devir/dakika’da ölçülen HFK değerleri D100 yakıtı için 1,80, TE60 yakıtı için 1,83, TE60-4Mn yakıtı için 1,94, TE60-8Mn yakıtı için 1,88 ve TE60-12Mn yakıtı için 1,84 olarak belirlenmiştir.

Şekil 6.57’de D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının HFK değerlerinin değişimleri gösterilmiştir. Biyodizel yakıtlar ile dizel yakıtına göre özellikle yüksek motor devirlerinde daha yüksek HFK değerleri ölçülmüştür. Maksimum tork devri olan 2200 devir/dakika’da ölçülen HFK değerleri D100 için 1,80, TE60 yakıtı için 1,83, TE60-4Mg yakıtı için 1,83, TE60-8Mg yakıtı için 1,93 ve TE60-12Mg yakıtı için 1,87 olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.56. D100, TE60, TE60-4Mn, TE60-8Mn ve TE60-12Mn yakıtlarının HFK değerleri

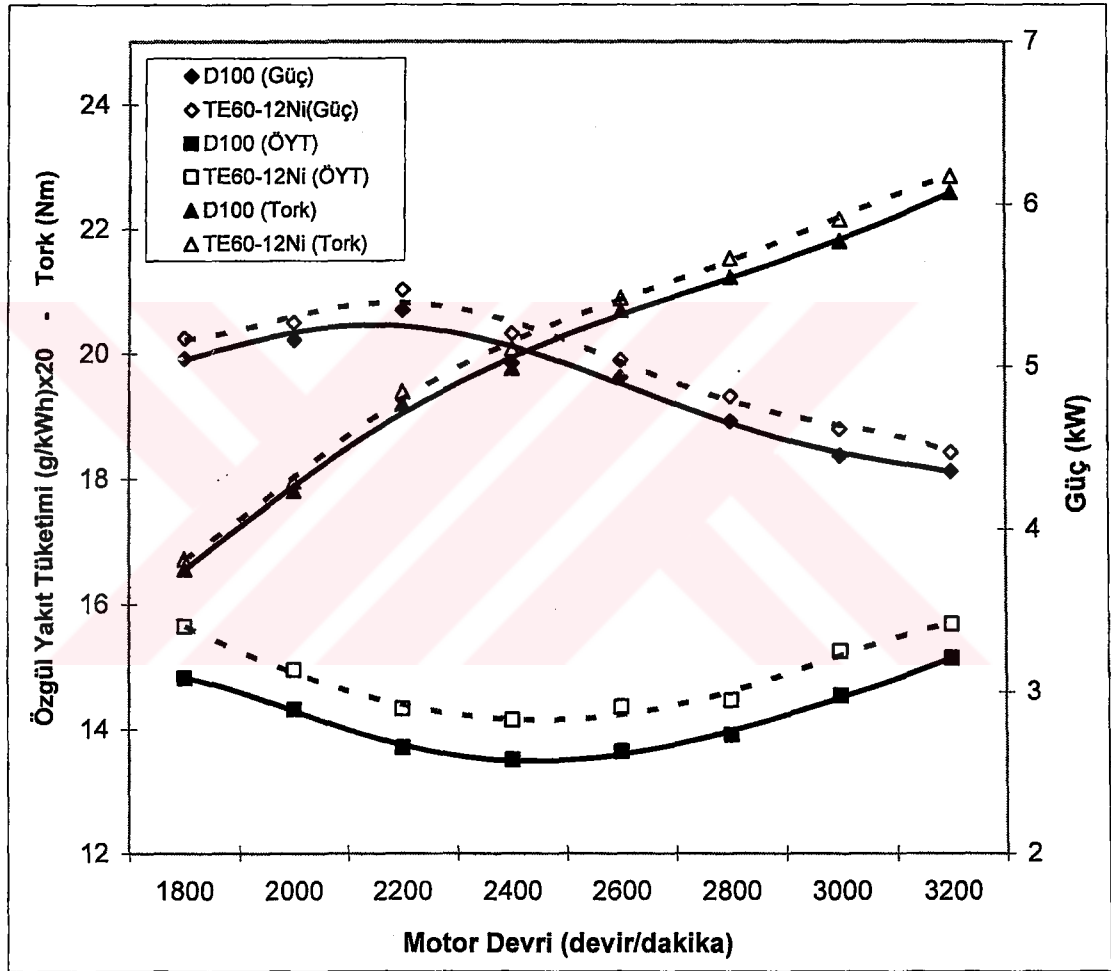


Şekil 6.57. D100, TE60, TE60-4Mg, TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtlarının HFK değerleri

6.3.10. En iyi performans sonuçlarını veren biyodizel yakıtların D100 ile karşılaştırılması

Yapılan çalışmalarda diğer biyodizel yakıtlara göre genel olarak daha iyi performans değerleri veren TE60-12Ni yakıtının ve dizel yakıtının grafikleri Şekil 6.58'de

verilmiştir. TE60-12Ni yakıtı ile dizel yakıtına göre, tork değerinde meydana gelen maksimum artış 2400 devir/dakika'da %2,1 oranında, güç değerlerinde meydana gelen maksimum artış ise 3000 devir/dakika'da %2,41 oranında olmuştur. TE60-12Ni yakıtı ile özgül yakıt tüketiminde dizel yakıtı değerlerine göre meydana gelen ortalama artma miktarı %4,36 oranında iken, TE60-12Mn yakıtı ile meydana gelen ortalama artma miktarı %4,36 oranında olmuştur.



Şekil 6.58. TE60-12Ni ve D100 yakıtlarının performans grafikleri

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Başta ulaşım olmak üzere, endüstri ve konutlarda kullanılan petrol ile dünya enerji tüketiminin yaklaşık %45'i karşılamaktadır. Bununla birlikte petrol rezervlerinin kısıtlı olması, teminindeki belirsizlikler, kullanımı sonunda çevreye olan zararlı etkileri ve fiyatlarında ki istikrarsızlıklar bilim adamlarını değişik alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışmalara sevk etmiştir. Yapılan çalışmalar; yenilenebilir olan, yerel olarak üretilen ve daha çevreci olan enerji kaynakları üzerinde olmuştur. Bu enerji kaynaklarından biyodizel üzerinde en fazla durulanlardan bir tanesidir.

Üzerinde çalışma yaptığımız tall yağı, kağıt fabrikalarında üretim prosesi esnasında elde edilen bir yan üründür. Tall yağı büyük oranda reçine ve bitkisel yağ asitlerinden oluşur. Yapılan çalışmada tall yağı reçine asitleri yakıt katkı maddesi sentezlenmesinde yağ asitleri ise biyodizel üretiminde kullanılmıştır.

Tall yağı içerisindeki reçine ve bitkisel yağ asitlerini ayırmak için 5 lt'lik distilasyon düzeneği kurulmuştur. Distilasyon esnasında ilk elde edilen ürün olan suyun miktarı toplam kütlenin %5-7 arasındadır ve 100 ila 105 °C arasındaki sıcaklıklarda distile olmuştur. 180 °C ila 328 °C buhar sıcaklıkları arasında distile olan ürünler yağ asitleri olup ürünün %38-40'ı civarındadır. 328 °C ila 340 °C buhar sıcaklıkları arasında distile olan ürünler ise reçine asitlerinden oluşmaktadır ve miktarı tüm ürünün %45-50'si kadardır. Bu sıcaklıkların belirlenmesinde, elde edilen ürünlerin esterleşme reaksiyonu sonundaki fiziksel ve kimyasal özellikleri dikkate alınmıştır. Deney sonunda distilasyon kabı dibinde asfalt benzeri kuru bir yapının kaldığı görülmüştür.

Tall yağı yağ asitleri, 5 lt'lik reaktörde, katalizör olarak sülfürik asit kullanılarak, 75 °C sıcaklıkta, 3 saat reaksiyon süresinde, metil alkol ile kimyasal tepkimeye sokularak ham metil ester elde edilmiştir. Elde edilen ham metil esterler saflaştırma prosesi uygulanarak saflaştırılmıştır. Yapılan ön çalışmalarda, metil esterlerin saf halleri ve dizel yakıtı ile değişik oranlardaki karışımları alternatif dizel yakıtı olarak araştırıldı. Yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlendikten sonra motor

performans ve emisyon testine tabii tutulmuştur. Yakıt özellik testleri, motor performans ve emisyon testleri tall yağı metil esterinin %80, %90 karışım oranları ve saf halinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanım için uygun olmadığını ortaya koymuştur. Bu oranlardaki karışımların, motor testi esnasında enjektörlerde tıkanmaya, karbon birikintilerine, ilk harekete geçiş de zorluklara ve emisyonlarda kötüleşmelere neden olduğu tespit edilmiştir. Yapılan testlerde %60 karışım oranının yakıt özellikleri, motor performans ve emisyon değerleri diğer karışım oranlarına göre daha iyi sonuçlar vermiştir ve bundan dolayı çalışmalar da bu karışım oranı üzerinde yoğunlaştırılmıştır.

TE60 yakıtının 40 °C sıcaklıktaki viskozite değeri 5,3 cSt olup, dizel yakıtı standartlarınca kabul edilebilir üst sınır olan 4,7 cSt'den sadece %12,76 daha fazladır. TE60 yakıtının viskozite değeri ASTM'nin biyodizel standartlarına uygundur. Biyodizel yakıtların kullanımında en büyük sıkıntı oluşturan yakıt özelliklerinden ikisi olan akma noktası ve bulutlanma noktası değeri TE60 yakıtı için sırasıyla -14 °C ve -2 °C olarak tespit edilmiştir. Bu değerler TE60 yakıtının ılıman iklime sahip olan bölgelerde kışın dahi problemsiz kullanabileceğini göstermektedir. Fakat soğuk iklim şartlarında kullanımı, filtre tıkanması ve donma gibi problemlere neden olabilecektir. TE60 yakıtının ısı değeri 41 511 kJ/kg olup dizel yakıtı değerinden %5,06 daha düşüktür. %100 tall yağı metil esterinin içerisinde çok az kükürt olduğu için TE60 yakıtın içerisindeki kükürt değeri hemen hemen dizel yakıtı oranına bağlı olarak artmıştır.

TE60 yakıtının yakıt özelliklerini iyileştirmek amacıyla tall yağı reçine asitleri kullanılarak yakıt katkı maddeleri sentezlenmiştir. Tall yağı reçine asitleri kurulan 1000 ml'lik reaktör düzeneğinde NiO, MoO₃, MgO, MnO₂ ve Co₃O₄ metalik bileşikler ile reaksiyona sokularak organometalik bileşikler sentezlenmiştir. Yakıt katkı maddeleri TE60 yakıtına 4 µmol/lt, 8 µmol/lt ve 12 µmol/lt oranlarında dozlama yapılmıştır. Katkı maddelerinin TE60 yakıtının viskozite, akma noktası ve parlama noktası üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Bütün katkı maddeleri viskozite değeri üzerinde azalma sağlayarak TE60 yakıtının viskozite değerini dizel yakıtı standartları içerisine getirmiştir. Mg ve Mn içerikli katkı maddeleri ile viskozite değerlerinde diğer katkı maddelerine göre, daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Katkı maddelerinin TE60 yakıtının akma noktası üzerindeki azalma etkisi lineer bir şekilde olmamıştır. Maksimum azalma Mo içerikli katkı maddesinin 12 $\mu\text{mol/l}$ oranında 10 °C olmuştur. TE60 yakıtının parlama noktası değerleri katkı maddelerinin dozlanma oranına bağlı olarak azalmıştır. Azalma miktarı en fazla Co içerikli yakıt katkı maddesinin 12 $\mu\text{mol/l}$ oranında 16 °C olarak gerçekleşmiştir.

Motor tork değerleri biyodizel yakıtlar ile katkı maddeli ve katkı maddesiz olarak dizel yakıtı değerlerine göre artış eğilimi göstermiştir. Bütün deney yakıtları ile maksimum tork değerleri motor karakteristik eğrisine uygun olarak 2200 devir/dakika'da elde edilmiştir. Dizel yakıtı ile elde edilen maksimum tork değeri 20,7 Nm olarak ölçülmüştür. Katkı maddeli yakıtlar ile elde edilen en yüksek maksimum tork değerleri ve bu değerleri veren yakıtlar sırasıyla; Mo içerikli katkı maddesi için TE60-8Mo yakıtı 21,1 Nm değerini, Ni içerikli katkı maddesi için TE60-8Ni ve TE60-12Ni yakıtları 21,0 Nm değerini, Co içerikli katkı maddesi için TE60-4Co yakıtı 21,1 Nm değerini, Mn içerikli katkı maddesi için TE60-4Mn yakıtı 21,1 Nm değerini ve Mg içerikli katkı maddesi için TE60-8Mg yakıtı 21,1 Nm değerini vermiştir. Bütün motor devirleri dikkate alınarak değerlendirme yapıldığında, Mo içerikli yakıt katkı maddeli biyodizel yakıtlar arasında en iyi sonuçları TE60-8Mo yakıtı, Ni içerikli yakıt katkı maddeli biyodizel yakıtlar arasında en iyi sonuçları TE60-8Ni yakıtı, Co içerikli yakıt katkı maddeli biyodizel yakıtlar arasında en iyi sonuçları TE60-4Co ve TE60-4Co yakıtları, Mn içerikli yakıt katkı maddeli biyodizel yakıtlar arasında en iyi sonuçları TE60-12Mn yakıtı ve Mg içerikli yakıt katkı maddeli biyodizel yakıtlar arasında en iyi sonuçları TE60-8Mg ve TE60-12Mg yakıtları vermiştir.

Biyodizel yakıtlar ile elde edilen güç değerleri dizel yakıtı değerlerine göre artış eğilimi göstermiştir. Metal yakıt katkı maddeli biyodizel yakıtların güç değerleri katkısız TE60 yakıtına göre artışlar göstermiştir. Bütün yakıtların maksimum güç

değeri 3200 devir/dakika'da elde edilmiştir. Bu değer dizel yakıt ile 6,07 kW ve TE60 ile 6,14 kW olarak ölçülmüştür. Katkı maddeli yakıtlar içinde en yüksek maksimum güç değerleri ve bu değerleri veren yakıtlar şunlardır; Mo içerikli katkı maddesi ile TE60-8Mo yakıtı 6,16 kW değerini, Ni içerikli katkı maddesi ile TE60-12Ni yakıtı 6,17 kW değerini, Co içerikli katkı maddesi ile TE60-8Co yakıtı 6,27 kW değerini, Mn içerikli katkı maddesi ile TE60-8Mn yakıtı 6,17 kW değeri ve Mg içerikli katkı maddesi ile TE60-4Mg yakıtı 6,18 kW değerini vermiştir.

Biyodizel yakıtların özgül yakıt tüketimi değerleri büyük oranda ısı değerlerinin dizel yakıtı ısı değerine göre %5,06 oranında daha düşük olmasının etkisi ile artış göstermiştir. Minimum özgül yakıt tüketimi değerleri birkaç deney yakıtı dışında büyük çoğunlukla 2400 devir/dakika'da elde edilmiştir. Dizel yakıtı değerlerine göre meydana gelen maksimum artış TE60-4Mo yakıtı ile 2400 devir/dakika'da %6,14 oranında olurken minimum artış değeri ise TE60-12Mg yakıtı ile 1800 devir/dakika'da %3,08 oranında olmuştur.

Biyodizel yakıtların özellikle düşük motor devirlerinde CO emisyonları, dizel yakıtı değerlerine göre azalma göstermiştir. CO emisyonlarının azalmasında biyodizel yakıtların Setan Sayılarının yüksek olmasının, moleküler yapılarında %6 civarında oksijen bulunmasının, aromatik hidrokarbon oranının ve kükürt oranlarının düşük olmasının yanma verimini iyileştirmesi etkili olmuştur. Katkı maddeli yakıtlar ile CO emisyonlarında meydana gelen maksimum azalma oranları: Mo içerikli yakıt katkı maddesi ile 2200 devir/dakika'da TE60-8Mo yakıtı ile %52,99 oranında, Ni içerikli yakıt katkı maddesi ile 2400 devir/dakika'da TE60-8Ni yakıtı ile %62,01 oranında, Co içerikli yakıt katkı maddesi ile 2600 devir/dakika'da TE60-8Co yakıtı ile %53,37 oranında, Mn içerikli yakıt katkı maddesi ile 2400 devir/dakika'da TE60-12Mn yakıtı ile %64,28 oranında ve Mg içerikli yakıt katkı maddesi ile 2200 devir/dakika'da TE60-8Mg yakıtı ile %56,42 oranındadır.

Mo, Co ve Mn içerikli katkı maddeleri ile biyodizel yakıtların NO_x emisyonları düşük motor devirlerinde dizel yakıtı değerlerine göre artış, yüksek motor devirlerinde ise azalma eğilimleri göstermiştir. Yüksek motor devirlerinde en iyi

sonuçlar Co içeren katkı maddeli yakıtlar ile sağlanmıştır. TE60-8Ni, TE60-12Ni ve TE60-12Mg yakıtları bütün motor devirlerinde dizel yakıt değerlerinden daha düşük değerler vermiştir. NO_x emisyon oluşumu genel olarak değerlendirildiğinde çoğunlukla azalma eğilimi göstermiştir.

En düşük ışık absorpsiyon katsayısı 2200 ila 2600 devir/dakika arasında ölçülmüştür. Metal katkı maddeli yakıtlar ile ışık absorpsiyon katsayısı değerinde dizel yakıtın değerlerine göre meydana gelen maksimum azalma miktarları; Mo içerikli katkı maddesinde TE60-12Mo yakıtı ile %28,98, Ni içerikli katkı maddesinde TE60-12Ni yakıtı ile %30,05, Co içerikli katkı maddesinde TE60-12Co yakıtı ile %29,47, Mn içerikli katkı maddesinde TE60-8Mn yakıtı ile %30,91 ve Mg içerikli katkı maddesinde TE60-12Mg yakıtı ile %30,43 oranındadır.

Duman koyuluğu değerlerinin değişimleri ışık absorpsiyon katsayısı değerine göre büyük ölçüde paralellik göstermiştir. Her bir metalik katkı maddesi ile ışık absorpsiyon katsayısı değerinde dizel yakıtı değerlerine göre elde edilen maksimum azalma oranları; TE60-8Mo yakıtı ile %21,09, TE60-12Ni yakıtı ile %25,20, TE60-12Co yakıtı ile %25,20, TE60-8Mn yakıtı %24,06 ve TE60-8Mg yakıtı ile %21,88 olarak ölçülmüştür.

CO_2 emisyonları biyodizel yakıtlar ile dizel yakıtı değerlerinden daha düşük ölçülmüştür. Azalma oranları büyük ölçülerde olmamıştır. Katkı maddeli biyodizel yakıtlar ile elde edilen maksimum azalma miktarları TE60-12Mo yakıtı ile 2200 devir/dakika'da % 5,7, TE60-8Ni yakıtı ile 1800 devir/dakika'da %4,9, TE60-8Co yakıtı ile 2200 devir/dakika'da %7,6, TE60-8Mn yakıtı ile 3200 devir/dakika'da %6,5 ve TE60-12Mg yakıtı ile 1800 devir/dakika'da %8,8 oranında olmuştur.

Biyodizel yakıtların hava fazlalık katsayısı değerleri tüm devirlerde dizel yakıtı değerlerinden daha yüksektir. Yüksek motor devirlerinde biyodizel yakıtlar ile dizel yakıtı HFK değerleri arasındaki fark artış göstermiştir. Hava fazlalık katsayısı değerlerindeki bu artışın en önemli nedeni biyodizel yakıtların moleküler yapılarında bulunan oksijendir.

Ham tall yağı içerisindeki reçine ve yağ asitlerinin birbirlerinden ayrılmasında bu çalışmada da kullanılan ve maliyeti yüksek olan distilasyon yönteminin yanı sıra daha düşük maliyete sahip olan adsorpsiyon ve solvent ile ayırma yöntemleri de kullanılabilir. Tall yağını ayırma işlemi sonucunda yağ asitleri ile birlikte elde edilen reçine asitleri plastik, boya ve yapıştırıcı gibi değişik sanayi alanlarında kullanılabilen ekonomik değere sahip bir üründür. Biyodizel üretiminde kullanılan tall yağı yağ asitlerinin hemen hemen tamamının doymamış yağ asitlerinden oluşması üretilen biyodizelin akma noktası ve bulutlanma noktası değerlerini üstün hale getirmektedir. Bu üstün özellikleri sayesinde tall yağı biyodizeli ılıman iklimde sahip bölgelerde kışın dahi katkı maddesine gereksinim duymadan sorunsuz olarak kullanılabilir.

Ham tall yağı fiyatlarının, biyodizel üretiminde kullanılan diğer yağların fiyatlarından çok daha ucuz olması (ortalama %50 civarında) ekonomik olarak büyük avantajlar sağlamaktadır. Sonuç olarak alkol, katalizör, enerji ve diğer giderler hesaplandığında tall yağı biyodizelinin maliyetinin her hali kar da 1 YTL'nin altında olacağı hesaplanmıştır.

Çalışma verileri ışığında;

Üretilen tall yağı biyodizelinin dizel yakıtı ile %60 oranındaki karışımının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dizel yakıtı özelliklerine yakın olduğu belirlenmiştir.

Sentezlenen metalik yakıt katkı maddeleri biyodizel yakıtların kullanımında önemli problemler oluşturan viskozite ve akma noktası özelliklerinde önemli iyileşmeler sağlanmaktadır. Katkı maddeleri ile deney yakıtının viskozite değerleri 5,3 cSt'den 4,3 cSt'ye, akma noktası değeri ise -14 °C'den -24 °C'ye düşürülmüştür .

Biyodizel yakıtlar motor performans değerlerinde dizel yakıtı verilerine göre iyileşmeler sağlamakla birlikte değerlerin birbirlerine yakın olduğu tespit edilmiştir.

Biyodizel yakıtlar ile oluşan kirletici emisyon miktarı dizel yakıtı değerlerine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Özellikle is ve CO emisyonları yönüyle avantajlı olduğu görülmüştür.

Tall yağı fiyatının diğer bitkisel yağlara göre daha düşük olmasının ekonomik olarak önemli avantajlar sağlayacağı açıktır.

Tall yağı metil esteri katkı maddesiz olarak da alternatif dizel yakıtı olarak kullanılabilir özelliğe sahip olmasına karşın katkı maddeleri ile daha fazla gelecek vaat etmektedir.

Öneriler;

Ham tall yağı kurulan büyük ölçekli tesislerde işlenip bitkisel yağ asitleri ve reçine asitlerine ayrılıp, gerek biyodizel üretiminde ve gerekse yakıt katkı maddesi üretiminde kullanılabilir. Bu şekildeki bir çalışma maliyetleri düşürücü etkiye sahip olacaktır.

Motor performans ve emisyon değerlerinde iyileşmeler sağlayan metalik katkı maddelerinin değişik oranlarının uzun vadede motor parçaları üzerindeki etkileri araştırılmalıdır.

Sentezlenen metalik yakıt katkı maddeleri diğer yakıt türlerinde de denenmeli ve sonuçlar karşılaştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Yıldırım, S., "Dünyada ve Türkiye'de Petrol" *T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı Ekonomik Araştırmalar ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü*, 11-30, (2003).
2. Özbilen, Ş., "Kaynakların Paylaşımı ve II. Körfez Savaşı" *Finans Dünyası*, 160: 18-24 (2003).
3. Koyuncu, M., "Türkiyede Enerji Politikaları ve GAP'ın Önemi", *GAP Dergisi*, 8: 25-29 (2005).
4. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Basın Merkezi, www.enerji.gov.tr, (2005).
5. Karaosmanoğlu, F., "Biyomotorin ve Türkiye", <http://www.biyomotorin-biodiesel.com/biomoto.html>, (2005).
6. Keskin, A., Özcanlı, M., Yeni, U., Abdulvahitoğlu, A., Aydın, K. Ve Altıparmak, D., "Ülkemizde atık yağ potansiyeli çevreye olan etkileri ve biyodizel üretiminde kullanılması", *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yönetimi Sempozyumu*, Kayseri, 257-261 (2005).
7. Acaroğlu, M., "Biyomotorin Yakıtı", *Alternatif Enerji Kaynakları, Atlas Yayın Dağıtım*, İstanbul, 229-256 (2003).
8. Antolin, G., Tinaut, F. V., Biriceno, Y., Castono, V., Perez, C., "Ramirez, A. I., Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification", *Bioresource Technology*, 83: 111-114. (2002).
9. Haset, D. J, and Hassan, R.A., "Sunflower oil methyl ester as diesel fuel", *Vegetable oils Fuels Processing of The International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuel*, ASAE 124-126 (1982).
10. Geyer, S. M., Jacobus, M. J. ve Lestz, S. "Comparison of diesel engine performance and emissions from neat and transesterified vegetable oils", *Transaction of the ASAE*, 375-381 (1984).
11. Kalligeros, S., Zannikos, F., Stournas, S., Lois, E., Anastopoulos, G., Teas, C., Sakellaropoulos, F., "An investigation of using biodiesel/marine diesel blends on the performance of a stationary diesel engine", *Biomass and Bioenergy*, 24: 141-149 (2003).
12. Silva, F. N., Prata, A. S., Teixeira, J. R., "Technical feasibility assessment of oleic sunflower methyl ester utilisation in diesel bus engines", *Energy Conversion and Management*, 44: 2857-2878 (2003).

13. Rakopoulos, C. D., "Comparative performance and emission studies when using olive oil as a fuel supplement in DI and IDI diesel engines", *Renewable Energy*, 2(3): 327-331 (1992).
14. Dorado, M. P., Ballesteros, E., Arnal, J. M., Gomez, J. and Lopez, F. J., "Exhaust emission from a Diesel engine fuelled with transesterified waste olive oil", *Fuel*, 82: 1311-1315 (2003).
15. Schumacher, L., Borgelt S. C., Hires, W. G., Wetherell, W., ve Nevils, A., "100 000 Miles of Fueling 5.9L Cummins Engines with 100% Biodiesel", *Society of Automotive Engineers*, USA 4: 355-364 (1996).
16. Purcell, D. L., McClure, B. T., McDonald, J. and Basu, H. N., "Transient testing of soy methyl ester fuels in an indirect injection compression ignition engine", *JAOCs*, 73(3): 381-388 (1996).
17. Çetinkaya, M., Ulusoy, Y., Tekin, Y. and Karaosmanoğlu, F., "Engine and winter road test performances of used cooking oil originated biodiesel", *Energy Conversion & Management*, 46: 1279-1291 (2005).
18. Vicente, G., Martinez, M. and Aracil J., "Integrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalysts systems", *Bioresource Technology*, 92: 297-305 (2004).
19. Usta, N., Öztürk, E., Can, Ö., Conkur, E. S., Nas, S., Çon, A. H., Can, A. Ç. and Topçu, M., "Combustion of Biodiesel Fuel Produced From Hazelnut Soapstock/Waste Sunflower Oil Mixture In A Diesel Engine" *Energy Conversion & Management*, 46: 741-55 (2005).
20. Tashtoush, G. M., Al-Widyan, M. I. and Al-Jarrah, M. M., "Experimental Study on Evaluation and Optimization of Conversion of Waste Animal into Biodiesel", *Energy Conversion & Management*, 45: 2697-2711 (2004).
21. İlkılıç, C., "Çeşitli Alternatif Yakıtların Dizel Motoru Emisyonlarına Etkilerinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi", Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 109-112 (1999).
22. Altın, R., "Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılmasının deneysel olarak incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 31-33, 82-154 (1998).
23. Altıparmak, D., Keskin, A., Yıldırım, H., ve Gürü, M., "Dizel Motorlarda Fındık Yağı Metil Esterinin Alternatif Yakıt Olarak İncelenmesi" 8. *Uluslararası Yanma Sempozyumu*, Ankara 641-646 (2004).

24. Aydın, K., ve Keskin, A., "Dizel Motorlarda, Bitkisel Yağlar ve Alkol Karışımlarının Performans ve Emisyona Etkilerinin Araştırılması", *V. Ulusal Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü Sempozyumu*, Elazığ, 141-149 (2000).
25. Yamık, H., "Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması" Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 42-60, 71-142 (2002).
26. Canakci, M., Van, G.J., "Comparision of engine performance and emission for petroleum diesel fuel, yellow grease biodiesel, and soybean oil biodiesel", *Transactions of The Asae*, 46(4): 937-944 (2003).
27. Durbin, T.D., "Effect of biodiesel, biodiesel blends, and asynthetic diesel on emission from light heavy-duty diesel vehicles", *Environ. Sci. Technol*, 34(3): 349-355 (2000).
28. Usta, N., Öztürk, E, ve Can, Ö., "Yüksek Serbest Yağ Asitlerine Sahip Bitkisel Yağ Kaynaklarından Biyodizel Üretimi Ve Dizel Motorunda Kullanımı", *8. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, Ankara 252-262 (2004).
29. Haşimoğlu, C., Ciniviz, M., İçingür, Y., Özsert, İ., Salman, S, Ve Parlak, A., "Düşük Isı Kayıplı Bir Dizel Motorunda Biyodizel Kullanımının Performans ve Emisyon Parametrelerine Etkisi", *8. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, Ankara 283-293 (2004).
30. Freedman, B., Pryde, E. H., "Fatty Esters From Vegetable Oils for Use As Diesel Fuel", *ASAE*, 117-123 (1982).
31. Lyrranen, J., Jokiniemi, J. and Kauppinen E., "The effect of Mg-based additive on aerosol characteristics in medium-speed diesel engines operating with residual fuel oils", *Aerosol Science*, 33: 967-981 (2002).
32. Gürü, M., Karakaya, U., Altıparmak, D. and Alıcılar, A., "Improvement of Diesel Fuel Properties by Using Additives", *Energy Conversion and Management* 43: 1021-1025 (2002).
33. Burtscher, H., Matter, U. and Skillas, G., "The Effect of Fuel Additives on Diesel Engine Particulate Emissions", *European Aerosol Conference*, England 30: 851-852 (1999).
34. Feung, Y., Wong, A. ve Monnier, J., "Chemical composition of tall oil-based cetane enhancer for diesel fuels", *First Biomass Conference of the Americas: Energy, Environment, Agriculture and Industry*, Burlington 81-93 (1993).
35. Coll, R., Udas, S., Jacoby, W.A., "Conversion of the rosin acid fraction of crude tall oil into fuels and chemicals", *Energy & Fuels*, 15(5): 1166-1172 (2001).

36. Lissianski, V. V., Zamansky, V.M., Maly, M.P., "Effect of Metal-Containing Additives on NO_x Reduction in Combustion and Reburning", *Combustion and Flame*, 125:1118-1127 (2001).
37. Wedel, R. V., "Technical handbook for Marine Biodiesel", *National Renewable Energy Laboratory*, San Francisco 1-5 USA (1999).
38. Tahir, A. R., Lapp, H. M. and Buchanan, L. C., "Sunflower Oil As A Fuel For Compression Ignition Engines", *Vegetable oils Fuels Processing of The International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuel*, ASAE 82-91(1982).
39. Georing, C. E., Schwab, A. W., Dangherty, M. J., R. M. Pryde, E. H, and Heakin, A. j., "Fuel properties of eleven vegetable oils", *Transaction of ASAE* 25(6): 1472-1477,(1982).
40. Keskin, A., "Performance and Emission Characteristics of Diesel Engines Using Diesel Fuel, Vegetable Oil and Alcohol Blends", Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 13-16 (2000).
41. Graboski, M. S. and McCormick, R. L., "Combustion of Fat and Vegetable Oil Derived Fuels In Diesel Engines", *Pergamon*, 24: 125-164 (1968).
42. Tyson, K. S., "Biodiesel Handling and Use Guidelines", *Report of National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-580-3004 U.S.*, 1-3 (2001).
43. Drew, J. and Propst, M., "Tall Oil. Pulp Chemicals Association" *Pulp Chemicals Association*, New York 65-70 (1981).
44. Üstün, G. ve Civelekoğlu, H., "Copolymerization of Turkish Tall Oil Specimens with Indene-Coumarone. II. Production and Properties of Indene-Coumarone Modified Tall Oil Varnishes", *Journal of Applied Polymer Science*, 43:1969-1975 (1991).
45. Sharma, R. K. and Bakhshi, N. N., "Upgrading of Tall Oil to Fuels and Chemicals Over HZSM-5 Catalyst Using Various Diluents", *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 69:1082-1086 (1991).
46. Altıparmak, D., Keskin, A., Yıldırım, H. ve Gürü, M., "Mısır Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Araştırılması", *8. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, Ankara 377-384 (2004).
47. Briggs, M. and Farag, I., "Biodiesel Processing", *UNH Biodiesel Group*, <http://unh.edu/p2/biodiesel/media/NHSTA-handout.doc>, 5-9 (2005).

48. Van Gerpen, V. J., Shanks, B., Pruszko, R., Clement, D. and Knothe, G., "Basics of Biodiesel Production", Biodiesel Production Technology, *NREL/SR-510-36244*, Colorado, 1-22 (2004).
49. Ma, F. and Hana, A. M., "Biodiesel Production: A Review", *Bioresource Technology*, 70: 1-15 (1999).
50. Borat, O., Balcı, M. and Sürmen, A., "Hidro Karbonlar, İçten Yanmalı Motorlar", *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları*, Ankara, 157-162 (1995).
51. Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, E. ve Soruşbay, C., "Yakıtlar ve Yanma Kimyası", İçten yanmalı motorlar, *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 43-71 (1995).
52. Atkins, R. C. ve Carey, F. A., "Organik Kimya", *Bilim Kitapevi*, Ankara, 149-152 (2003).
53. Van Gerpen, J., Shanks, B., Pruszko, R., Clement, D. and Knothe, G., "Fuel Property Measurement", Biodiesel Analytical Methods, *NREL/SR-510-36240*, Colorado, 21-30 (2004).
54. Kinast, J. A. "Properties Of Biodiesels From Multiple Feedstocks", Production of Biodiesels from Multiple Feedstocks and Properties of Biodiesels and Biodiesel/Diesel Blends, *NREL/SR-510-31460*, Colorado, 9-26 (2003).
55. Borat, O., Balcı, M. and Sürmen, A., "Dizel Motorlarda Yanma", İçten Yanmalı Motorlar, *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları*, Ankara, 192-199 (1995).
56. Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, E. ve Soruşbay, C., "Motorlarda Gerçek Çevrim Zamanları", İçten yanmalı motorlar, *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 77-138 (1995).
57. Heisler, H., "Combustion Chamber Design and Engine Performance" Advanced Engine Tecnology, *Arnold*, London, 152-229 (1997).
58. Newton, K., Steeds, W. and Garrett, T. K., "Compression-Ignition Engines", The Motor Vehicle, *Butterworth International Editions*, London, 173-235 (1989).
59. Denton, T., "Combustion", Automobile Electrical and Electronic Systems, *SAE International*, London, 180-186 (2000).
60. Aydın, K., "Internal Combustion Engines", *Ders Notları*, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana (2003).
61. İcingür, Y., Çelikten, İ. ve Koca, A., "Dizel Motorlarda Servis Koşullarından Kaynaklanan Emisyonların Deneysel Olarak İncelenmesi", *Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü III. Ulusal Sempozyumu*, Çevre Mühendisliği Bölümü, Ankara, 197-205 (1995).

62. Strehlow, R. A., "Pollution and Combustion", Combustion Fundamentals, *McGraw-Hill Book Company*, London, 469-479 (1985).
63. Borat, O., Balcı, M. and Sürmen, A., "Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği", *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları*, G.Ü. Matbaa Eğitimi Bölümü, Ankara, 24-66, (1994).
64. Öz, İ. H., Borat, O. and Sürmen A., "Combustion Phenomena in Engines", Internal Combustion Engines, *Alfa/Aktüel Kitap Evi*, İstanbul, 174-244 (2003).
65. Sprules, F. J. and Price, D., "Production of Fatty Esters", *US Patent 2*, 366-394 (1950).
66. Freedman, B., Butterfield, R. O. and Pryde, E. H. "Transesterification kinetics of soybean oil", *JAACS*, 63: 1375-1380 (1986).
67. Karakaya, U., "Motorin Özelliklerinin Katkı Maddeleriyle Geliştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 34-38 (2000).



EKLER

EK-1. Deneylerde Elde Edilen Motor Performans ve Emisyon Değerleri

D100 Yakıtlı Tam Yük Değişik Devir Test Sonuçları

Motor Devri (devir/dakika)	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Tork (Nm)	19,93	20,23	20,70	19,85	19,63	18,93	18,38	18,13
Güç (Kw)	3,76	4,24	4,77	4,99	5,34	5,55	5,77	6,07
Yakıt Tüketimi (g/dk)	18,81	20,22	21,78	22,46	24,49	25,73	27,98	30,66
Yakıt Tüketimi (kg/h)	1,13	1,21	1,31	1,35	1,47	1,54	1,68	1,84
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	300,43	286,45	274,01	270,07	275,00	278,22	290,85	302,88
Hava Tüketimi (mmSS)	23,5	30,0	38,0	43,5	49,0	57,0	65,5	75,5
Hava Tüketimi (kg/h)	21,17	23,92	26,92	28,80	30,56	32,97	35,34	37,94
Volümetrik Verim (%)	81,01	82,38	84,28	82,66	80,98	81,11	81,15	81,68
CO (ppm)	2882	2428	2112	1274	850	590	640	635
NO _x (ppm)	316	340	352	375	354	322	275	236
Işık Absorbsiyon Katsayısı (1/m)	1,73	1,52	1,12	1,05	1,14	1,48	2,07	2,44
Duman Koyuluğu (%)	52,4	48,2	38,4	36,5	38,8	47,3	58,9	65,2
CO ₂ (%)	10,2	10,4	10,6	10,2	9,9	9,8	9,5	9,3
HFK (°)	1,71	1,74	1,8	1,85	1,81	1,95	2,12	2,26
O ₂ (%)	8,9	8,7	8,1	7,5	7,8	8,2	8,1	8,8

TE60 Tam Yük Değişik Devir Test Sonuçları

Motor Devri (devir/dakika)	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Tork (Nm)	20,23	20,53	20,88	19,95	19,65	19,10	18,45	18,33
Güç (Kw)	3,81	4,30	4,81	5,01	5,35	5,60	5,80	6,14
Yakıt Tüketimi (g/dk)	19,94	21,63	23,11	23,78	25,74	27,40	29,37	32,37
Yakıt Tüketimi (kg/h)	1,20	1,30	1,39	1,43	1,54	1,64	1,76	1,94
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	313,75	301,85	288,31	284,58	288,70	293,52	304,05	316,28
Hava Tüketimi (mmSS)	22,0	27,0	36,5	44,0	47,0	53,5	65,0	74,0
Hava Tüketimi (kg/h)	1,20	1,30	1,39	1,43	1,54	1,64	1,76	1,94
Volümetrik Verim (%)	78,38	78,15	82,60	83,14	79,31	78,57	80,84	80,86
CO (ppm)	1946	1628	1222	940	602	407	485	511
NO _x (ppm)	345	376	365	358	320	266	249	215
Işık Absorbsiyon Katsayısı (1/m)	1,32	1,24	1,01	0,85	1,04	1,27	1,62	2,03
Duman Koyuluğu (%)	43,5	41,4	36,6	33,2	35,3	42,2	50,3	58,4
CO ₂ (%)	9,8	9,9	10,3	10	9,8	9,6	9,4	9,2
HFK (λ)	1,76	1,85	1,83	1,92	1,93	2,09	2,3	2,45
O ₂ (%)	9,2	9,7	8,5	8,8	8,8	8,9	9,2	8,9

TE60-4Mo Tam Yük Değişik Devir Test Sonuçları

Motor Devri (devir/dakika)	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Tork (Nm)	20,25	20,50	20,95	19,93	19,73	19,08	18,68	18,13
Güç (Kw)	3,82	4,29	4,83	5,01	5,37	5,59	5,87	6,07
Yakıt Tüketimi (g/dk)	20,02	21,66	23,10	23,93	25,77	27,51	29,52	32,28
Yakıt Tüketimi (kg/h)	1,20	1,30	1,39	1,44	1,55	1,65	1,77	1,94
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	314,69	302,68	287,15	286,62	287,94	295,15	301,86	318,91
Hava Tüketimi (mmSS)	22,0	26,5	37,0	44,5	46,0	53,5	66,0	75,0
Hava Tüketimi (kg/h)	20,48	22,48	26,56	29,13	29,61	31,94	35,47	37,81
Volümetrik Verim (%)	78,38	77,42	83,17	83,61	78,46	78,58	81,46	81,40
CO (ppm)	1707	1575	1054	880	592	412	465	471
NO _x (ppm)	345	386	393	362	345	304	215	201
Işık Absorbsiyon Katsayısı (1/m)	1,43	1,29	0,97	0,82	0,98	1,21	1,60	1,98
Duman Koyuluğu (%)	46,2	42,6	34,4	30	34,6	40,6	49,8	57,4
CO ₂ (%)	9,9	10,2	10,1	10	9,6	9,4	9,2	9,1
HFK (λ)	1,74	1,8	1,8	1,91	1,95	2,14	2,34	2,48
O ₂ (%)	9,4	9,6	8,6	8,3	8,9	8,6	9,1	9,2

TE60-8Mo Tam Yük Değişik Devir Test Sonuçları

Motor Devri (devir/dakika)	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Tork (Nm)	20,38	20,63	21,10	20,03	19,58	19,38	18,83	18,38
Güç (Kw)	3,84	4,32	4,86	5,03	5,33	5,68	5,91	6,16
Yakıt Tüketimi (g/dk)	19,97	21,41	23,20	23,82	25,73	27,41	29,83	32,24
Yakıt Tüketimi (kg/h)	1,20	1,28	1,39	1,43	1,54	1,64	1,79	1,93
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	312,00	297,38	286,33	283,95	289,66	289,46	302,61	314,18
Hava Tüketimi (mmSS)	22,5	27,0	36,0	43,5	47,0	54,0	65,0	74,5
Hava Tüketimi (kg/h)	20,71	22,69	26,20	28,80	29,93	32,09	35,20	37,69
Volumetrik Verim (%)	79,27	78,15	82,03	82,66	79,31	78,94	80,84	81,13
CO (ppm)	1614	1415	988	868	572	404	441	454
NO _x (ppm)	330	379	378	347	340	247	262	199
Işık Absorbsiyon Katsayısı (1/m)	1,25	1,17	0,81	0,86	0,89	1,18	1,51	1,88
Duman Koyuluğu (%)	41,8	39,7	30,3	31,2	32,1	40	47,7	55,6
CO ₂ (%)	10	9,9	10,1	9,8	9,5	9,3	9,1	9
HFK (λ)	9,8	10	10	9,9	9,9	9,7	9,5	9,3
O ₂ (%)	9,1	8,9	8,6	8,5	8,6	9,4	9,1	9,5

TE60-12Mo Tam Yük Değişik Devir Test Sonuçları

Motor Devri (devir/dakika)	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Tork (Nm)	20,23	20,38	20,95	20,13	19,55	19,08	18,55	18,13
Güç (Kw)	3,81	4,27	4,83	5,06	5,32	5,59	5,83	6,07
Yakıt Tüketimi (g/dk)	19,96	21,40	23,11	23,95	25,69	27,26	29,50	32,26
Yakıt Tüketimi (kg/h)	1,20	1,28	1,39	1,44	1,54	1,64	1,77	1,94
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	314,11	300,82	287,32	284,06	289,55	292,42	303,72	318,64
Hava Tüketimi (mmSS)	22,0	27,5	36,0	45,0	47,0	53,5	64,0	75,0
Hava Tüketimi (kg/h)	20,48	22,90	26,20	29,29	29,93	31,94	34,93	37,81
Volümetrik Verim (%)	78,38	78,87	82,03	84,07	79,31	78,58	80,21	81,40
CO (ppm)	1436	1482	1053	805	572	354	368	409
NO _x (ppm)	342	372	397	347	312	257	232	213
Işık Absorbsiyon Katsayısı (1/m)	1,33	1,21	0,93	0,85	0,94	1,18	1,47	1,91
Duman Koyuluğu (%)	43,6	40,6	33,2	30,5	33,7	39,8	46,9	55,9
CO ₂ (%)	9,8	10	10	9,9	9,9	9,7	9,5	9,3
HFK (λ)	1,75	1,82	1,82	1,92	2,08	2,15	2,33	2,41
O ₂ (%)	9,3	9,2	8,8	8,7	8,6	9,2	9,4	9,1

TE60-4Ni Yakıtı Tam Yük Değişik Devir Test Sonuçları

Motor Devri (devir/dakika)	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Tork (Nm)	20,3	20,5	20,5	19,6	19,4	19,0	18,6	18,1
Güç (Kw)	3,83	4,29	4,73	4,93	5,28	5,58	5,84	6,06
Yakıt Tüketimi (g/dk)	19,88	21,66	22,76	23,36	25,62	27,44	29,67	32,33
Yakıt Tüketimi (kg/h)	1,19	1,30	1,37	1,40	1,54	1,65	1,78	1,94
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	311,34	302,72	288,73	284,14	291,36	295,09	304,69	320,25
Hava Tüketimi (mmSS)	22,5	26,5	35,0	43,5	47,5	53,0	66,0	75,3
Hava Tüketimi (kg/h)	20,71	22,48	25,83	28,80	30,09	31,79	35,47	37,89
Volümetrik Verim (%)	79,27	77,42	80,89	82,66	79,73	78,21	81,46	81,57
CO (ppm)	1967	1713	1166	754	554	377	438	461
NO _x (ppm)	333	351	342	325	314	307	220	199
Işık Absorbsiyon Katsayısı (1/m)	1,34	1,27	1,11	0,84	0,96	1,23	1,58	1,95
Duman Koyuluğu (%)	43,5	42,2	38,1	30,3	34,4	40,9	49,5	57,1
CO ₂ (%)	9,8	10,1	10,2	10,1	9,6	9,5	9,3	9,1
HFK (λ)	1,73	1,79	1,85	1,94	1,92	1,99	2,26	2,35
O ₂ (%)	9,5	9,3	9,1	8,5	8,7	9,3	8,9	9,2

TE60-8Ni Yakıtı Tam Yük Değişik Devir Test Sonuçları

Motor Devri (devir/dakika)	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Tork (Nm)	20,3	20,5	21,0	20,4	19,5	19,1	18,5	18,1
Güç (Kw)	3,83	4,29	4,83	5,13	5,31	5,59	5,80	6,06
Yakıt Tüketimi (g/dk)	19,78	21,42	23,11	24,02	25,74	27,25	29,64	32,16
Yakıt Tüketimi (kg/h)	1,19	1,28	1,39	1,44	1,54	1,64	1,78	1,93
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	310,10	299,27	287,23	281,05	290,87	292,75	306,41	318,60
Hava Tüketimi (mmSS)	23,0	27,5	35,5	45,0	46,0	54,0	66,5	74,0
Hava Tüketimi (kg/h)	20,94	22,90	26,02	29,29	29,61	32,09	35,61	37,56
Volümetrik Verim (%)	80,14	78,87	81,46	84,07	78,46	78,94	81,76	80,86
CO (ppm)	1852	1420	935	484	452	344	363	393
NO _x (ppm)	301	333	361	330	322	268	256	203
Işık Absorbsiyon Katsayısı (1/m)	1,26	1,24	0,91	0,95	1,07	1,14	1,52	1,95
Duman Koyuluğu (%)	42,1	41,4	32,5	33,3	37,1	38,9	48,1	55,9
CO ₂ (%)	9,7	10	10,1	9,9	9,6	9,5	9,1	9,1
HFK (λ)	19,78	21,42	23,11	24,02	25,74	27,25	29,64	32,16
O ₂ (%)	9,6	9,5	9,0	8,5	8,9	9,1	9,2	9,0

TE60-12Ni Yakıtı Tam Yük Değişik Devir Test Sonuçları

Motor Devri (devir/dakika)	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Tork (Nm)	20,25	20,50	21,03	20,33	19,90	19,33	18,80	18,43
Güç (Kw)	3,82	4,29	4,84	5,11	5,42	5,67	5,91	6,17
Yakıt Tüketimi (g/dk)	19,91	21,40	23,14	24,09	25,94	27,33	30,03	32,30
Yakıt Tüketimi (kg/h)	1,19	1,28	1,39	1,45	1,56	1,64	1,80	1,94
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	312,93	299,03	286,59	283,00	287,21	289,34	305,11	313,85
Hava Tüketimi (mmSS)	21,5	26,0	36,0	44,5	47,0	53,0	65,5	73,0
Hava Tüketimi (kg/h)	20,25	22,26	26,20	29,13	29,93	31,79	35,34	37,31
Volümetrik Verim (%)	77,48	76,69	82,03	83,61	79,31	78,21	81,15	80,31
CO (ppm)	1915	1452	1124	644	508	357	321	335
NO _x (ppm)	282	289	322	361	343	284	242	220
Işık Absorbsiyon Katsayısı (1/m)	1,21	1,12	0,81	0,74	1,04	1,19	1,53	1,97
Duman Koyuluğu (%)	40,6	38,3	30,3	27,3	35,3	40,1	47,8	57,1
CO ₂ (%)	9,9	10,2	10,2	9,9	9,7	9,5	9,3	9,2
HFK (λ)	1,86	1,87	1,89	1,95	1,86	2,07	2,31	2,53
O ₂ (%)	9,7	9,5	9,2	8,4	8,8	9,1	9,1	9,5

TE60-4Co Yakıtı Tam Yük Değişik Devir Test Sonuçları

Motor Devri (devir/dakika)	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Tork (Nm)	20,50	20,58	21,08	20,50	20,13	19,50	18,80	18,50
Güç (Kw)	3,86	4,31	4,86	5,15	5,48	5,72	5,91	6,20
Yakıt Tüketimi (g/dk)	20,15	21,76	23,27	24,30	26,08	28,06	29,57	32,55
Yakıt Tüketimi (kg/h)	1,21	1,31	1,40	1,46	1,57	1,68	1,77	1,95
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	312,90	302,92	287,57	282,99	285,61	294,43	300,42	315,05
Hava Tüketimi (mmSS)	22,0	26,5	36,5	44,5	47,5	54,0	63,0	73,0
Hava Tüketimi (kg/h)	20,48	22,48	26,38	29,13	30,09	32,09	34,66	37,31
Volümetrik Verim (%)	78,38	77,42	82,60	83,61	79,73	78,94	79,58	80,31
CO (ppm)	2002	1380	964	704	600	402	475	491
NO _x (ppm)	365	384	402	391	336	242	220	187
Işık Absorbsiyon Katsayısı (1/m)	1,33	1,22	1,12	0,92	0,94	1,26	1,68	1,97
Duman Koyuluğu (%)	43,5	40,7	38,3	32,8	33,2	41,9	51,5	57,3
CO ₂ (%)	9,7	10,1	10,1	10	9,6	9,5	9,4	9,3
HFK (°)	1,76	1,81	1,78	1,86	1,91	2,15	2,38	2,49
O ₂ (%)	9,5	9,6	9,4	8,7	8,8	8,9	9,3	9,4

TE60-8Co Yakıtı Tam Yük Değişik Devir Test Sonuçları

Motor Devri (devir/dakika)	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Tork (Nm)	20,63	20,73	21,00	20,40	19,80	19,50	18,75	18,70
Güç (Kw)	3,89	4,34	4,84	5,13	5,39	5,72	5,89	6,27
Yakıt Tüketimi (g/dk)	20,22	21,73	23,09	24,23	25,86	27,71	29,83	32,88
Yakıt Tüketimi (kg/h)	1,21	1,30	1,39	1,45	1,55	1,66	1,79	1,97
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	312,09	300,31	286,34	283,49	287,80	290,82	303,82	314,83
Hava Tüketimi (mmSS)	23,0	27,5	36,5	44,0	47,5	54,0	62,0	74,0
Hava Tüketimi (kg/h)	20,94	22,90	26,38	28,96	30,09	32,09	34,38	37,56
Volümetrik Verim (%)	80,14	78,87	82,60	83,13	79,73	78,94	78,95	80,86
CO (ppm)	1784	1320	980	830	672	376	435	441
NO _x (ppm)	342	354	356	371	342	220	187	181
Işık Absorbsiyon Katsayısı (1/m)	1,28	1,16	0,94	0,93	0,97	1,19	1,49	1,85
Duman Koyuluğu (%)	42,4	39,5	33,3	33,1	34,3	40,1	47,4	54,6
CO ₂ (%)	9,7	9,8	9,8	9,9	9,5	9,4	9,2	9,2
HFK (λ)	1,81	1,86	1,88	1,94	2,02	2,09	2,28	2,38
O ₂ (%)	9,0	9,7	8,3	8,6	8,9	8,9	9,5	9,2

TE60-12Co Yakıtı Tam Yük Değişik Devir Test Sonuçları

Motor Devri (devir/dakika)	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Tork (Nm)	20,35	20,75	21,03	20,30	19,63	19,20	18,75	18,08
Güç (Kw)	3,84	4,35	4,84	5,10	5,34	5,63	5,89	6,06
Yakıt Tüketimi (g/dk)	19,81	21,91	23,00	24,07	25,53	27,50	29,67	32,30
Yakıt Tüketimi (kg/h)	1,19	1,31	1,38	1,44	1,53	1,65	1,78	1,94
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	309,89	302,43	284,90	283,09	286,70	293,07	302,26	319,99
Hava Tüketimi (mmSS)	22,0	27,5	37,0	44,5	47,0	54,0	63,0	73,5
Hava Tüketimi (kg/h)	20,48	22,90	26,56	29,13	29,93	32,09	34,66	37,43
Volümetrik Verim (%)	78,38	78,87	83,17	83,61	79,31	78,94	79,58	80,59
CO (ppm)	1817	1406	1027	938	552	387	445	431
NO _x (ppm)	366	383	382	378	338	250	214	187
Işık Absorbsiyon Katsayısı (1/m)	1,22	1,17	0,88	0,79	0,94	1,21	1,62	1,75
Duman Koyuluğu (%)	40,8	39,7	31,6	27,3	33,2	40,6	50,3	52,8
CO ₂ (%)	9,9	10,1	10	9,7	9,5	9,4	9,2	9
HFK (λ)	1,78	1,88	1,88	1,96	1,99	2,19	2,32	2,46
O ₂ (%)	8,9	9,1	8,8	8,6	8,7	9,2	9,1	9,4

TE60-4Mn Yakıtı Tam Yük Değişik Devir Test Sonuçları

Motor Devri (devir/dakika)	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Tork (Nm)	20,25	20,50	21,00	19,90	19,60	18,80	18,45	18,28
Güç (Kw)	3,82	4,29	4,84	5,00	5,34	5,51	5,80	6,12
Yakıt Tüketimi (g/dk)	19,93	21,53	23,19	23,71	25,64	27,13	29,57	32,41
Yakıt Tüketimi (kg/h)	1,20	1,29	1,39	1,42	1,54	1,63	1,77	1,94
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	313,21	300,88	287,53	284,43	288,25	295,30	306,12	317,54
Hava Tüketimi (mmSS)	23,0	27,5	36,5	44,5	46,5	53,0	65,0	76,0
Hava Tüketimi (kg/h)	20,94	22,90	26,38	29,13	29,77	31,79	35,20	38,07
Volümetrik Verim (%)	80,14	78,87	82,60	83,61	78,89	78,21	80,84	81,95
CO (ppm)	1783	1380	996	792	581	375	494	463
NO _x (ppm)	355	380	367	386	363	302	223	214
Işık Absorbsiyon Katsayısı (1/m)	1,34	1,22	1,03	0,95	1,04	1,32	1,66	1,89
Duman Koyuluğu (%)	43,8	40,9	34,8	33,5	35,3	43,4	51,1	55,6
CO ₂ (%)	9,9	10,1	10,2	10,1	9,7	9,5	9,3	9,3
HFK (λ)	1,86	1,86	1,94	1,95	1,97	1,05	2,29	2,4
O ₂ (%)	9,5	9,7	8,9	9,3	8,8	9,5	9,4	9,3

TE60-8Mn Yakıtı Tam Yük Değişik Devir Test Sonuçları

Motor Devri (devir/dakika)	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Tork (Nm)	20,38	20,50	21,13	20,38	19,70	19,05	18,55	18,43
Güç (Kw)	3,84	4,29	4,87	5,12	5,36	5,59	5,83	6,17
Yakıt Tüketimi (g/dk)	19,95	21,45	23,02	24,14	25,63	27,46	29,58	32,56
Yakıt Tüketimi (kg/h)	1,20	1,29	1,38	1,45	1,54	1,65	1,78	1,95
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	311,68	299,68	283,80	282,83	286,74	294,91	304,59	316,40
Hava Tüketimi (mmSS)	22,0	27,5	36,5	44,0	46,5	54,0	64,5	74,5
Hava Tüketimi (kg/h)	20,48	22,90	26,38	28,96	29,77	32,09	35,07	37,69
Volümetrik Verim (%)	78,38	78,87	82,60	83,14	78,89	78,94	80,52	81,13
CO (ppm)	1723	1436	1102	800	551	371	472	444
NO _x (ppm)	391	403	425	539	322	268	256	203
Işık Absorbsiyon Katsayısı (1/m)	1,27	1,20	1,01	0,85	0,84	1,28	1,43	1,98
Duman Koyuluğu (%)	41,8	40,5	35,1	33,4	30,3	42,4	45,7	57,5
CO ₂ (%)	9,7	10	10,1	9,8	9,7	9,3	9,1	8,7
HFK (λ)	1,83	1,86	1,88	1,96	1,98	2,15	2,35	2,5
O ₂ (%)	9,2	9,3	9,1	8,6	8,8	9,2	9,3	9,5

TE60-12Mn Yakıtı Tam Yük Değişik Devir Test Sonuçları

Motor Devri (devir/dakika)	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Tork (Nm)	20,25	20,58	20,98	20,45	19,68	19,05	18,60	18,38
Güç (Kw)	3,82	4,31	4,83	5,14	5,36	5,59	5,84	6,16
Yakıt Tüketimi (g/dk)	19,82	21,46	23,10	24,02	25,66	27,25	29,53	32,43
Yakıt Tüketimi (kg/h)	1,19	1,29	1,39	1,44	1,54	1,64	1,77	1,95
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	311,61	298,76	286,85	280,40	287,43	292,75	303,25	316,01
Hava Tüketimi (mmSS)	21,5	27,0	37,0	44,0	46,5	53,0	65,0	75,0
Hava Tüketimi (kg/h)	20,25	22,69	26,56	28,96	29,77	31,79	35,20	37,81
Volümetrik Verim (%)	77,48	78,15	83,17	83,13	78,89	78,21	80,84	81,40
CO (ppm)	1543	1200	976	455	421	342	373	402
NO _x (ppm)	373	429	397	330	333	278	208	184
Işık Absorbsiyon Katsayısı (1/m)	1,24	1,06	0,83	0,79	0,91	1,11	1,58	1,83
Duman Koyuluğu (%)	41,4	36,6	33,2	28,6	32,7	38,2	49,2	54,5
CO ₂ (%)	9,8	10	10	9,9	9,6	9,5	9,2	8,9
HFK (λ)	1,86	1,85	1,84	1,92	1,96	2,09	2,32	2,55
O ₂ (%)	9,5	9,7	9,2	8,5	8,7	9,1	9,1	9,3

TE60-4Mg Yakıtı Tam Yük Değişik Devir Test Sonuçları

Motor Devri (devir/dakika)	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Tork (Nm)	20,50	20,75	20,80	20,30	19,63	19,25	18,88	18,45
Güç (Kw)	3,86	4,35	4,79	5,10	5,34	5,64	5,93	6,18
Yakıt Tüketimi (g/dk)	20,13	21,66	23,18	24,03	25,68	27,62	30,10	32,58
Yakıt Tüketimi (kg/h)	1,21	1,30	1,39	1,44	1,54	1,66	1,81	1,95
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	312,62	299,03	290,21	282,61	288,40	293,61	304,54	316,17
Hava Tüketimi (mmSS)	22,5	27,0	37,0	44,5	47,0	54,0	64,5	76,0
Hava Tüketimi (kg/h)	20,71	22,69	26,56	29,13	29,93	32,09	35,07	38,07
Volümetrik Verim (%)	79,3	78,1	83,2	83,6	79,3	78,9	80,5	81,9
CO (ppm)	1944	1652	1253	854	577	365	452	464
NO _x (ppm)	295	307	361	355	378	344	215	204
Işık Absorbsiyon Katsayısı (1/m)	1,47	1,34	1,02	0,92	1,00	1,24	1,68	1,87
Duman Koyuluğu (%)	46,9	42,8	35,1	32,9	35	41,4	51,4	55,2
CO ₂ (%)	9,8	10,1	10,3	10	9,5	9,3	9,1	9
HFK (λ)	1,74	1,81	1,83	1,88	1,99	2,19	2,35	2,55
O ₂ (%)	9,3	9,5	9,1	8,5	8,9	9,1	9,0	9,2

TE60-8Mg Yakıtı Tam Yük Değişik Devir Test Sonuçları

Motor Devri (devir/dakika)	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Tork (Nm)	20,55	20,60	21,05	20,00	19,70	19,05	18,90	18,20
Güç (Kw)	3,87	4,31	4,85	5,03	5,36	5,59	5,94	6,10
Yakıt Tüketimi (g/dk)	20,07	21,61	23,13	23,83	25,80	27,29	30,22	32,24
Yakıt Tüketimi (kg/h)	1,20	1,30	1,39	1,43	1,55	1,64	1,81	1,93
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	310,82	300,46	286,11	284,48	288,54	293,16	305,37	317,14
Hava Tüketimi (mmSS)	22,0	27,5	36,0	43,0	47,0	54,0	65,0	75,0
Hava Tüketimi (kg/h)	20,48	22,90	26,20	28,63	29,93	32,09	35,20	37,81
Volümetrik Verim (%)	78,4	78,9	82,0	82,2	79,3	78,9	80,8	81,4
CO (ppm)	1846	1492	916	796	548	347	406	434
NO _x (ppm)	282	313	335	346	393	334	243	221
Işık Absorbsiyon Katsayısı (1/m)	1,35	1,14	0,81	0,85	1,02	1,28	1,63	1,83
Duman Koyuluğu (%)	44,1	38,9	30	30,5	35,4	42,3	50,6	55,7
CO ₂ (%)	9,5	9,8	10,2	10,1	9,7	9,4	9,3	8,9
HFK (λ)	1,85	1,88	1,93	1,99	1,97	2,16	2,36	2,55
O ₂ (%)	9,3	9,5	8,8	8,6	8,8	9,1	9,4	9,4

TE60-12Mg Yakıtı Tam Yük Değişik Devir Test Sonuçları

Motor Devri (devir/dakika)	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
Tork (Nm)	20,55	20,65	20,93	20,10	19,80	19,10	18,85	18,15
Güç (Kw)	3,87	4,33	4,82	5,05	5,39	5,60	5,92	6,08
Yakıt Tüketimi (g/min)	19,99	21,65	23,01	23,85	25,96	27,35	30,11	32,26
Yakıt Tüketimi (kg/h)	1,20	1,30	1,38	1,43	1,56	1,64	1,81	1,94
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	309,70	300,40	286,35	283,24	288,90	293,06	305,06	318,21
Hava Tüketimi (mmSS)	23,0	28,0	36,5	43,5	47,0	52,5	64,5	75,5
Hava Tüketimi (kg/h)	20,94	23,10	26,38	28,80	29,93	31,64	35,07	37,94
Volümetrik Verim (%)	80,1	79,6	82,6	82,7	79,3	77,8	80,5	81,7
CO (ppm)	1872	1530	1131	644	384	372	444	410
NO _x (ppm)	252	279	324	361	343	284	242	220
Işık Absorbsiyon Katsayısı (1/m)	1,28	1,27	0,93	0,83	0,96	1,24	1,44	1,72
Duman Koyuluğu (%)	42,4	40	33,2	30,1	33,7	41,4	46,3	52,1
CO ₂ (%)	9,3	9,6	10,2	9,9	9,6	9,3	9,1	8,8
HFK (λ)	1,8	1,86	1,87	1,99	1,97	2,19	2,32	2,48
O ₂ (%)	9,6	9,1	8,7	8,5	8,8	8,9	9,1	9,5

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Adana'da doğdu ilk ve orta öğrenimini Adana Tamamladı. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim dalından 1997 yılında mezun oldu.

1997-1998 yılları arasında Adana Organize Sanayin de bir fabrikada CNC tezgahlardan sorumlu üretim mühendisi olarak çalıştı.

2000 yılında Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv Anabilim Dalından yüksek lisansını aldı.

1998 yılında Adana Motor Meslek Lisesine öğretmen olarak atandı ve halen bu okulda görev yapmaktadır.

Evli ve bir çocuk babasıdır.