

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI KATKI MADDELİ EMÜLSİYONLU YAKITLARIN BİR
DİZEL MOTORUN PERFORMANS VE
EMİSYONLARINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serdar TUNCA

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Vezir AYHAN

Haziran 2019

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ


FARKLI KATKI MADDELİ EMÜLSİYONLU YAKITLARIN BİR
DİZEL MOTORUN PERFORMANS VE
EMİSYONLARINA ETKİSİ

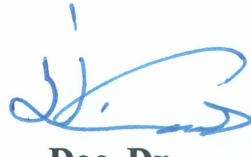
YÜKSEK LİSANS TEZİ

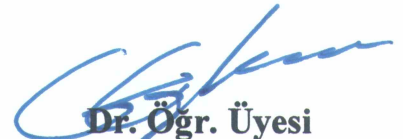
Serdar TUNCA

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 12.06.2019'da aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr.
Vezir AYHAN
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
İdris CESUR
Üye


Dr. Öğr. Üyesi
Gökhan COŞKUN
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.



Serdar TUNCA

12.06.2019

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince çalışmalarımı büyük bir titizlikle takip ve teşvik eden, her türlü desteğini her zaman yanımda hissettiğim danışman hocam Sn. Doç. Dr. Vezir AYHAN'a minnet borçluyum.

Çalışmalarım süresince bilgisi, birikimi ve ilgisi ile bana destek olan Sn. Doç. Dr. İdris CESUR'a şükranlarımı sunarım. Çalışmalarım süresince, laboratuvar şartlarında bana sürekli destek olan Teknisyen Hasan GÜREL'e ve Teknisyen Naci DURMUŞ'a şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim ve bilhassa deney çalışmalarım süresince maddi ve manevi destekleriyle sürekli yanımda olan pek kıymetli geniş aileme en kalbi duygularıyla şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje Numarası: 2012-50-01-046) şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

| | |
|---------------------------------------|-----|
| TEŞEKKÜR | i |
| İÇİNDEKİLER | ii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ | v |
| ŞEKİLLER LİSTESİ..... | vii |
| TABLolar LİSTESİ..... | x |
| ÖZET..... | xi |
| SUMMARY..... | xii |

BÖLÜM 1.

| | |
|--|---|
| GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu | 2 |
| 1.2. Türkiye’de Trafığe Kayıtlı Araç Durumu..... | 6 |

BÖLÜM 2.

| | |
|--|----|
| İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR..... | 8 |
| 2.1. Alternatif Yakıtlara Giriş | 8 |
| 2.2. Biyodizelin İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı..... | 15 |
| 2.2.1. Biyodizelin elde edilmesi | 15 |
| 2.2.2. Biyodizelin yanma performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi | 16 |
| 2.3. Dietil Eterin İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı..... | 17 |
| 2.3.1. Dietil eterin elde edilmesi..... | 17 |
| 2.3.2. Dietil eterin yanma performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi | 18 |
| 2.4. Emülsifiye Yakıtların İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı | 19 |
| 2.4.1. Emülsifiye yakıtların elde edilmesi | 20 |

| | |
|--|----|
| 2.4.2. Emülsifiye yakıtların yanma performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi | 20 |
|--|----|

BÖLÜM 3.

| | |
|--|-----------|
| DİZEL MOTORLARINDA KİRLİTİCİ EMİSYONLAR | 22 |
| 3.1. Hidrokarbon (HC) emisyonu..... | 22 |
| 3.2. Karbonmonoksit (CO) emisyonu | 23 |
| 3.3. İs (Duman) emisyonu | 24 |
| 3.4. Azotoksit (NO _x) emisyonu | 24 |

BÖLÜM 4.

| | |
|---|-----------|
| MATERYAL VE YÖNTEM | 26 |
| 4.1. Deneysel Hazırlık..... | 26 |
| 4.2. Biyodizelin Hazırlanması..... | 29 |
| 4.3. Dietil Eterin Hazırlanması..... | 30 |
| 4.4. Stabilize Emülsifiye Yakıtın Hazırlanması..... | 30 |
| 4.5. Optimum Emülsifiye Yakıtın Hazırlanması | 31 |

BÖLÜM 5.

| | |
|--|-----------|
| ARAŞTIRMA BULGULARI | 32 |
| 5.1. Motor Performans Parametreleri ve Emisyon Karakteristikleri..... | 32 |
| 5.1.1. Biyodizelin motor performans parametrelerine etkileri | 32 |
| 5.1.2. Biyodizelin emisyon karakteristiklerine etkileri | 38 |
| 5.1.3. Dietil eterin motor performans parametrelerine etkileri..... | 47 |
| 5.1.4. Dietil eterin emisyon karakteristiklerine etkileri..... | 53 |
| 5.1.5. Stabilize emülsifiye yakıtın motor performans parametrelerine etkileri..... | 62 |
| 5.1.6. Stabilize emülsifiye yakıtın emisyon karakteristiklerine etkileri | 68 |
| 5.1.7. Optimum emülsifiye yakıtın motor performans parametrelerine etkileri..... | 77 |
| 5.1.8. Optimum emülsifiye yakıtın emisyon karakteristiklerine etkileri..... | 84 |

BÖLÜM 6.

| | |
|---|------------|
| SONUÇ VE ÖNERİLER | 93 |
| 6.1. Biyodizel Kullanımıyla Elde Edilen Sonuçlar | 93 |
| 6.2. Dietil Eter Kullanımıyla Elde Edilen Sonuçlar | 94 |
| 6.3. Stabilize Emülsifiye Yakıt Kullanımıyla Elde Edilen Sonuçlar | 94 |
| 6.4. Optimum Emülsifiye Yakıt Kullanımıyla Elde Edilen Sonuçlar..... | 95 |
| | |
| KAYNAKLAR | 97 |
| ÖZ GEÇMİŞ | 105 |



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|-------|--|
| B10 | : Biyodizel-Dizel Karışımı (%10 Biyodizel+%90 Dizel) |
| B20 | : Biyodizel-Dizel Karışımı (%20 Biyodizel+%80 Dizel) |
| B50 | : Biyodizel-Dizel Karışımı (%50 Biyodizel+%50 Dizel) |
| BTEP | : Bin Ton Eşdeğer Petrol |
| C | : Karbon |
| CNG | : Sıkıştırılmış Doğal Gaz |
| CO | : Karbonmonoksit |
| DEE | : Dietil Eter |
| DEE3 | : Dietil eter-Dizel Karışımı (%3 DEE+%97 Dizel) |
| DEE5 | : Dietil eter-Dizel Karışımı (%5 DEE+%95 Dizel) |
| DEE7 | : Dietil eter-Dizel Karışımı (%7 DEE+%93 Dizel) |
| DI | : Direkt Enjeksiyon |
| DME | : Dimetil Eter |
| EGR | : Egzoz Gazı Resirkülasyonu |
| EPDK | : Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu |
| ETKB | : Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı |
| GSYİH | : Gayrisafi Yurt İçi Hâsıla |
| H | : Hidrojen |
| HC | : Hidrokarbon |
| HFK | : Hava Fazlalık Katsayısı |
| IDI | : Endirekt Enjeksiyon |
| İYM | : İçten Yanmalı Motor |
| KOH | : Potasyum Hidroksit |
| LPG | : Sıvılaştırılmış Petrol Gazı |
| MTEP | : Milyon Ton Eşdeğer Petrol |
| NaOH | : Sodyum Hidroksit |

| | |
|-----------------|---|
| NO | : Azotoksit |
| O ₂ | : Oksijen |
| OECD | : Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü |
| OEY | : Optimum Emülsifiye Yakıt |
| ÖTV | : Özel Tüketim Vergisi |
| ÖYS | : Özgöl Yakıt Sarfiyatı |
| PM | : Partikül Madde |
| PPM | : Milyonda Bir Birim |
| S5 | : Stabilize Emülsifiye Yakıt (%5 Su+%2 Sürfektant+%93 Dizel) |
| S10 | : Stabilize Emülsifiye Yakıt (%10 Su+%2 Sürfektant+%88 Dizel) |
| S15 | : Stabilize Emülsifiye Yakıt (%15 Su+%2 Sürfektant+%83 Dizel) |
| SO ₂ | : Kükürtdioksit |
| STD | : Standart Dizel Yakıtı |
| TEP | : Ton Eşdeğer Petrol |
| TÜİK | : Türkiye İstatistik Kurumu |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Şekil 1.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması | 1 |
| Şekil 1.2. Nüfus, GSYİH büyüme oranı ve birincil enerji talebi projeksiyonları | 2 |
| Şekil 1.3. Yıllara göre dünya enerji tüketimi | 3 |
| Şekil 1.4. Türlerine göre fosil yakıt rezervlerinin kalan ömürleri..... | 3 |
| Şekil 1.5. 2016-2040 Yılları arasında yeni politikalar senaryosu dikkate alındığında kaynaklara göre enerji arzı | 4 |
| Şekil 1.6. Bölgelere göre petrol üretimi ve tüketimi | 5 |
| Şekil 1.7. Bölgelere göre biyoyakıt üretimi | 5 |
| Şekil 2.1. Stabilize emülsifiye yakıtın yapısı | 20 |
| Şekil 4.1. Deney düzeneği..... | 27 |
| Şekil 5.1. Motor döndürme momenti değişimleri | 33 |
| Şekil 5.2. Motor döndürme momenti oransal değişimleri | 34 |
| Şekil 5.3. Motor efektif gücü değişimleri | 34 |
| Şekil 5.4. Motor efektif gücü oransal değişimleri..... | 35 |
| Şekil 5.5. Özgül yakıt sarfiyatı değişimleri..... | 36 |
| Şekil 5.6. Özgül yakıt sarfiyatı oransal değişimleri | 36 |
| Şekil 5.7. Motor efektif verimi değişimleri..... | 37 |
| Şekil 5.8. Motor efektif verimi oransal değişimleri | 38 |
| Şekil 5.9. NO emisyonu değişimleri | 39 |
| Şekil 5.10. NO emisyonu oransal değişimleri..... | 39 |
| Şekil 5.11. Duman koyuluğu (is) emisyonu değişimleri..... | 40 |
| Şekil 5.12. Duman koyuluğu (is) emisyonu oransal değişimleri | 41 |
| Şekil 5.13. CO emisyonu oransal değişimleri | 42 |
| Şekil 5.14. CO2 emisyonu oransal değişimleri..... | 43 |
| Şekil 5.15. O2 emisyonu oransal değişimleri | 44 |
| Şekil 5.16. HC emisyonu oransal değişimleri | 45 |

| | |
|--|----|
| Şekil 5.17. Hava fazlalık katsayısı değişimleri | 46 |
| Şekil 5.18. Egzoz sıcaklığı değişimleri | 47 |
| Şekil 5.19. Motor döndürme momenti değişimleri | 48 |
| Şekil 5.20. Motor döndürme momenti oransal değişimleri | 48 |
| Şekil 5.21. Motor efektif gücü değişimleri | 49 |
| Şekil 5.22. Motor efektif gücü oransal değişimleri..... | 49 |
| Şekil 5.23. Özgül yakıt sarfiyatı değişimleri..... | 50 |
| Şekil 5.24. Özgül yakıt sarfiyatı oransal değişimleri | 51 |
| Şekil 5.25. Motor efektif verimi değişimleri..... | 52 |
| Şekil 5.26. Motor efektif verimi oransal değişimleri | 52 |
| Şekil 5.27. NO emisyonu değişimleri | 54 |
| Şekil 5.28. NO emisyonu oransal değişimleri..... | 54 |
| Şekil 5.29. Duman koyuluğu (is) emisyonu değişimleri..... | 55 |
| Şekil 5.30. Duman koyuluğu (is) emisyonu oransal değişimleri | 56 |
| Şekil 5.31. CO emisyonu değişimleri | 57 |
| Şekil 5.32. CO2 emisyonu değişimleri | 58 |
| Şekil 5.33. O2 emisyonu değişimleri | 59 |
| Şekil 5.34. HC emisyonu değişimleri | 60 |
| Şekil 5.35. Hava fazlalık katsayısı değişimleri | 61 |
| Şekil 5.36. Egzoz sıcaklığı değişimleri | 62 |
| Şekil 5.37. Motor döndürme momenti değişimleri | 63 |
| Şekil 5.38. Motor döndürme momenti oransal değişimleri | 64 |
| Şekil 5.39. Motor efektif gücü değişimleri | 64 |
| Şekil 5.40. Motor efektif gücü oransal değişimleri..... | 65 |
| Şekil 5.41. Özgül yakıt sarfiyatı değişimleri..... | 66 |
| Şekil 5.42. Özgül yakıt sarfiyatı oransal değişimleri | 66 |
| Şekil 5.43. Motor efektif verimi değişimleri..... | 67 |
| Şekil 5.44. Motor efektif verimi oransal değişimleri | 68 |
| Şekil 5.45. NO emisyonu değişimleri | 69 |
| Şekil 5.46. NO emisyonu oransal değişimleri..... | 69 |
| Şekil 5.47. Duman koyuluğu (is) emisyonu değişimleri..... | 70 |
| Şekil 5.48. Duman koyuluğu (is) emisyonu oransal değişimleri | 71 |

| | |
|--|----|
| Şekil 5.49. CO emisyonu değişimleri | 72 |
| Şekil 5.50. CO2 emisyonu değişimleri | 73 |
| Şekil 5.51. O2 emisyonu değişimleri | 74 |
| Şekil 5.52. HC emisyonu değişimleri | 75 |
| Şekil 5.53. Hava fazlalık katsayısı değişimleri | 76 |
| Şekil 5.54. Egzoz sıcaklığı değişimleri | 77 |
| Şekil 5.55. NO emisyonu ve özgül yakıt sarfıyatı değişimleri | 78 |
| Şekil 5.56. Motor döndürme momenti değişimleri | 79 |
| Şekil 5.57. Motor döndürme momenti oransal değişimleri | 79 |
| Şekil 5.58. Motor efektif gücü değişimleri | 80 |
| Şekil 5.59. Motor efektif gücü oransal değişimleri | 80 |
| Şekil 5.60. Özgül yakıt sarfıyatı değişimleri | 81 |
| Şekil 5.61. Özgül yakıt sarfıyatı oransal değişimleri | 82 |
| Şekil 5.62. Motor efektif verimi değişimleri | 83 |
| Şekil 5.63. Motor efektif verimi oransal değişimleri | 83 |
| Şekil 5.64. NO emisyonu değişimleri | 85 |
| Şekil 5.65. NO emisyonu oransal değişimleri | 85 |
| Şekil 5.66. Duman koyuluğu (is) emisyonu değişimleri | 86 |
| Şekil 5.67. Duman koyuluğu (is) emisyonu oransal değişimleri | 87 |
| Şekil 5.68. CO emisyonu değişimleri | 88 |
| Şekil 5.69. CO2 emisyonu değişimleri | 89 |
| Şekil 5.70. O2 emisyonu değişimleri | 90 |
| Şekil 5.71. HC emisyonu değişimleri | 91 |
| Şekil 5.72. Hava fazlalık katsayısı değişimleri | 91 |
| Şekil 5.73. Egzoz sıcaklığı değişimleri | 92 |

TABLULAR LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Tablo 1.1. M ₁ sınıfı araçlar için Avrupa egzoz emisyon standartları..... | 7 |
| Tablo 4.1. Deney motorunun teknik özellikleri | 26 |
| Tablo 4.2. Deney düzeneğinde kullanılan ölçüm cihazlarının özellikleri..... | 28 |
| Tablo 4.3. Sistemik şekilde veya rastgele meydana gelen hatalara göre hesaplanmış toplam belirsizlikler..... | 28 |
| Tablo 4.4. Dizel ve biyodizelin özellikleri..... | 29 |
| Tablo 4.5. Dizel ve dietil eterin özellikleri | 30 |
| Tablo 4.6. Dizel, biyodizel, dietil eter ve optimum emülsifiye yakıtın özellikleri | 31 |

FARKLI KATKI MADDELİ EMÜLSİFİYE YAKITLARIN BİR DİZEL MOTORUN PERFORMANS VE EMİSYONLARINA ETKİSİ

ÖZET

Son yıllarda taşıtlardan salınan emisyonların azaltılması için alternatif yakıtlar en popüler araştırma konularındandır. Gerek araştırmacılar gerekse akaryakıt üreticileri araçlarda ya tümüyle alternatif yakıtlar kullanmakta ya da geleneksel fosil yakıtlara belirli oranlarda alternatif yakıtların katılmasıyla elde edilen yakıt karışımlarını kullanmaktadırlar. Her iki durumda da amaç egzoz emisyon değerlerini düşürmek ve geleneksel fosil yakıtlara alternatifler bulabilmektir. Diğer yandan geleneksel fosil yakıtlara belirli bağlayıcı kimyasallar sayesinde su zerreciklerinin bağlanmasıyla elde edilen emülsifiye yakıtlarla da egzoz emisyonlarının önemli ölçüde düşürülmesi mümkündür. Dizel motorlarından salınan emisyonların azaltılması için geçmişten günümüze birçok yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemlerin birçoğu emisyon değerlerini düşürürken motor performans değerlerini olumsuz etkilemiştir.

Bu çalışmada performans parametrelerinde kötüleşme olmaksızın motordan salınan azotoksit (NO) emisyonlarının azaltılması hedeflenmiştir. Bu amaçla motorda farklı katkı maddeli emülsifiye yakıtlar kullanılmıştır. Emülsifiye yakıtların hazırlanmasında yüzey aktif madde ile birlikte farklı oranlarda dizel, biyodizel, dietil eter (DEE) ve su kullanılmıştır. Tam yük şartlarında yapılan deneysel çalışmalarda tek silindirli, çanak pistonlu, su soğutmalı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motoru kullanılmıştır. Optimum karışım oranının tespit edilmesi için deneyler aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak motorun standart değerlerinin tespiti için deneyler dizel yakıtı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki aşamada biyodizel–dizel karışımları motorda yakıt olarak kullanılmış ve performansı en yüksek yapan karışım oranı tespit edilmiştir. Benzer şekilde dietil eter–dizel karışımları motorda yakıt olarak kullanılmış ve performansı en yüksek, emisyonları en düşük yapan karışım oranı tespit edilmiştir. Bir sonraki aşamada stabilize dizel–su karışımları motorda kullanılmış ve NO emisyonlarını en düşük yapan su oranı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda performans ve emisyonlar açısından optimum karışım oranlı emülsifiye yakıt elde edilmiştir. Son deneysel çalışmalar bu yakıt kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar standart motor verileri ile motor performans ve emisyon değerleri açısından karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Emülsifiye yakıtlar, alternatif yakıtlar, dizel motorları, motor performansı, egzoz emisyonları

THE EFFECT OF EMULSIFIED FUELS CONTAINING DIFFERENT BIOFUEL ADDITIVES ON PERFORMANCE AND EMISSIONS OF A DIESEL ENGINE

SUMMARY

Alternative fuels for reducing emissions from vehicles in recent years are among the most popular research topics. Both researchers and fuel manufacturers use alternative fuels either in vehicles or use fuel mixtures obtained by the addition of alternative fuels to traditional fossil fuels. In both cases, the aim is to reduce exhaust emission values and find alternatives to traditional fossil fuels. On the other hand, it is possible to reduce the exhaust emissions significantly by emulsified fuels obtained by connecting water particles to traditional fossil fuels by means of certain binding chemicals. Several methods have been used from past to present to reduce emissions from diesel engines. Many of these methods reduce the emission values and negatively affect engine performance values.

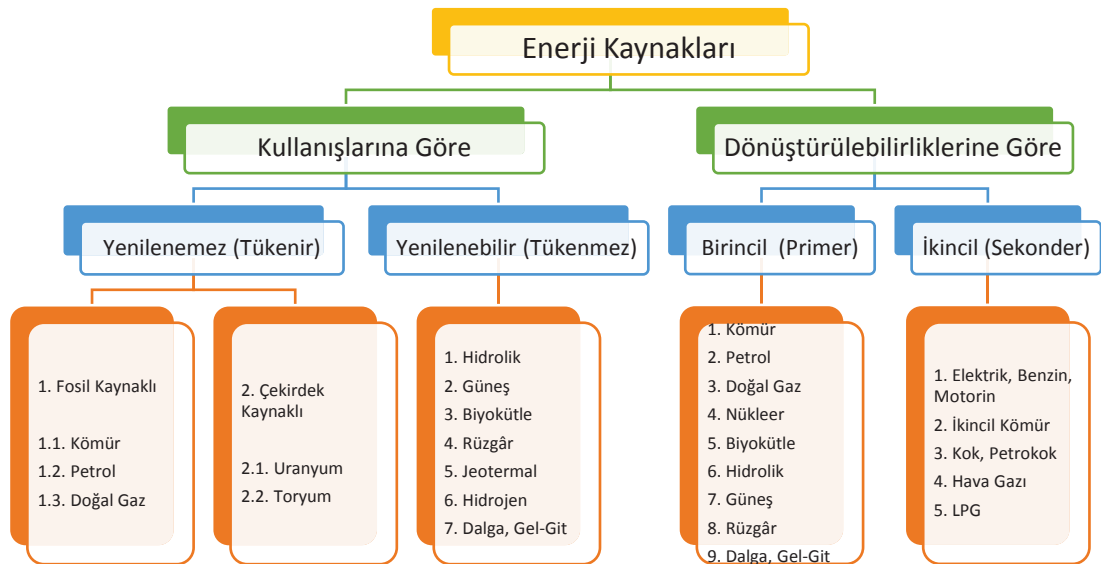
In this study, it is aimed to reduce the nitrogen oxide (NO) emissions from the engine without any deterioration in performance parameters. For this purpose, emulsified fuels with different additives were used in the engine. Diesel, biodiesel, diethyl ether (DEE) and water were used in the preparation of emulsified fuels together with surfactant. In the experimental studies carried out under full load conditions, a single-cylinder, bowl piston, water-cooled, the direct-injection diesel engine was used. The experiments were carried out in order to determine the optimum mixing ratio. Initially, experiments were carried out using diesel fuel to determine the engine's standard values. Later on, biodiesel-diesel mixtures were used as fuel in the engine and the ratio of the mixes which made the highest performance was determined. Similarly, diethyl ether-diesel mixtures were used as fuel in the engine and the ratio was determined to obtain the highest performance and the lowest emission. In the next step, stabilized diesel water mixes were used in the engine and the water content which made the minimum NO emissions was determined. As a result of the studies, emulsified fuel with optimum mixing ratio has been obtained in terms of performance and emissions. The latest experimental studies were carried out using this fuel. The results are compared with standard engine data and engine performance and emission values.

Keywords: Emulsified fuels, alternative fuels, diesel engines, engine performance, exhaust emissions

BÖLÜM 1. GİRİŞ

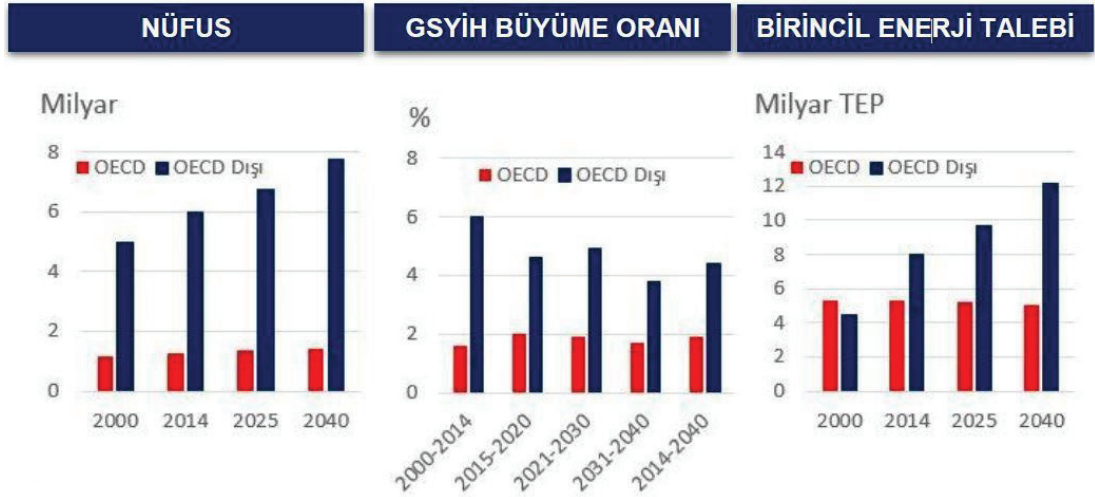
Enerjiye olan talep hızla artmaktadır. Bunun sebebi ise gelişmekte olan ülkelerdeki hızlı nüfus artışı ve sanayileşmedir. Bir ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınma potansiyelini yansıtan temel göstergelerden biri üretimde zorunlu bir faktör olan enerjidir (Koç ve Kaplan, 2008a, s. 70-80; Koç ve Kaplan, 2008b, s. 106-118).

Günlük yaşamda her aşamada kullanım alanı bulan enerji, değişik şekillerde bulunabilmekte ve uygun yöntemlerle birbirine dönüştürülebilmektedir. Enerji kaynakları; kullarılarına göre yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları, dönüştürülebilirliklerine göre birincil ve ikincil enerji kaynakları olmak üzere dörde ayrılmaktadır (Şekil 1.1.). Yenilenemez enerji kaynakları, kısa bir gelecekte tükenebileceği öngörülen enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise tükenmeden kalabilecek, kendisini yenileyebilen kaynaklardır (Şenel, 2012).



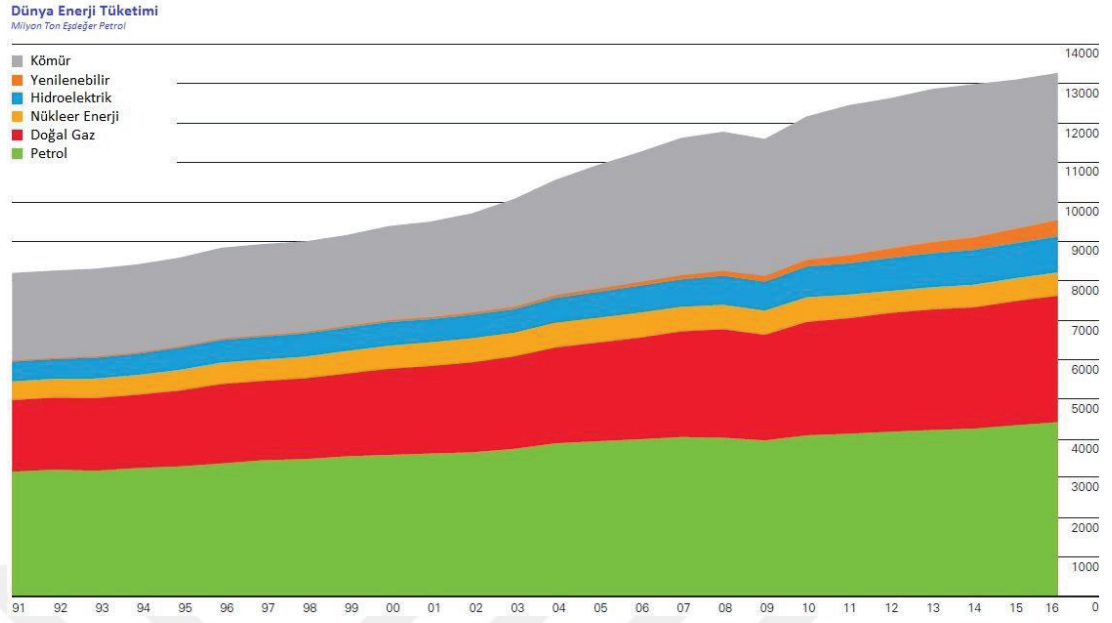
1.1. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu

Birincil enerji kaynaklarından elde edilen enerji, dünyada kullanılmakta olan enerjinin çoğunu oluşturmaktadır. Önümüzdeki 20 yılda enerji kaynaklarındaki artışın yarısını fosil dışı yakıtların oluşturması beklenirken dünya ekonomisine güç veren ana enerji kaynağı olarak kömürle birlikte petrol ve doğalgazın kalacağı ve 2015'te %86 olan toplam enerji arzı içindeki ana enerji kaynakları karşılığının 2035'te %75'in üzerinde olacağı öngörülmektedir (BP Enerji Görünümü, 2017). Şekil 1.2.’deki projeksiyona göre 2040’a kadar dünya üzerinde artacak olan nüfus artışı beraberinde enerji talebi artışını da getirecektir. Bu enerji talebi yine çoğunlukla birincil enerji kaynakları üzerinden temin edilecektir. Buradan hareketle önümüzdeki en az 50 yılın gündeminde yine fosil enerji kaynaklarının olacağı ifade edilebilir.



Şekil 1.2. Nüfus, GSYİH büyüme oranı ve birincil enerji talebi projeksiyonları (Dünya ve Türkiye Enerji, 2017).

Şekil 1.3’te yıllara göre enerji tüketim değerleri görülmektedir. Dünyadaki enerji tüketimi her yıl tüm türlerde artarken buna mukabil fosil yakıt rezervleri hızla azalmaktadır. Özellikle petrol ve doğal gaz rezervleri kritik seviyelere düşmektedir. Yaklaşık 51 yıllık tüketimi karşılayacağı düşünülen dünyadaki toplam petrol rezervleri 1,7 trilyon varil civarındadır. 53 yıl gibi bir süre boyunca küresel üretimi karşılamak için yeterli olan dünya doğal gaz rezervi, 2015 yılı sonunda 187 trilyon m³ olarak belirlenmiştir (Dünya ve Türkiye Enerji, 2017).



Şekil 1.3. Yıllara göre dünya enerji tüketimi (BP Statistical Review, 2017).

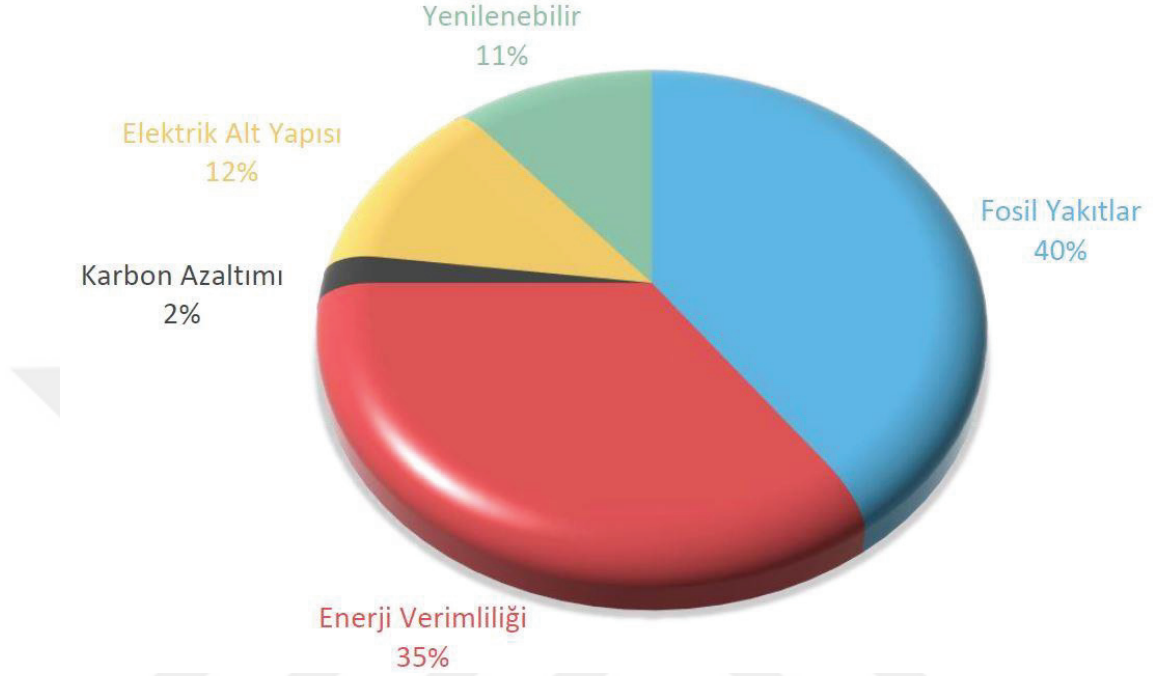
Şekil 1.4.'te belirtildiği gibi dünya üzerindeki rezervlerin azaldığı göz önünde bulundurulduğunda yenilenebilir ve alternatif yakıtların önemi ve onlara olan ihtiyaç artmaktadır. Bu durum alternatif yakıtlara yönelik çalışmalarını artırmakta ve hızlandırmaktadır.



Şekil 1.4. Türlerine göre fosil yakıt rezervlerinin kalan ömürleri (Dünya ve Türkiye Enerji, 2017).

Enerji arzı altyapısı için 2040'a kadar yapılacak olan yatırımlar göz önünde bulundurulduğunda Şekil 1.5.'te görüleceği üzere tüm yatırımların %40'ının fosil yakıtlara, %11'inin ise yenilenebilir yakıtlara yapılması öngörülmektedir (Dünya ve

Türkiye Enerji, 2017). Bu da alternatif yakıt çalışmalarının uzun yıllar daha gündemde olacağını öngörmemize vesile olmaktadır.

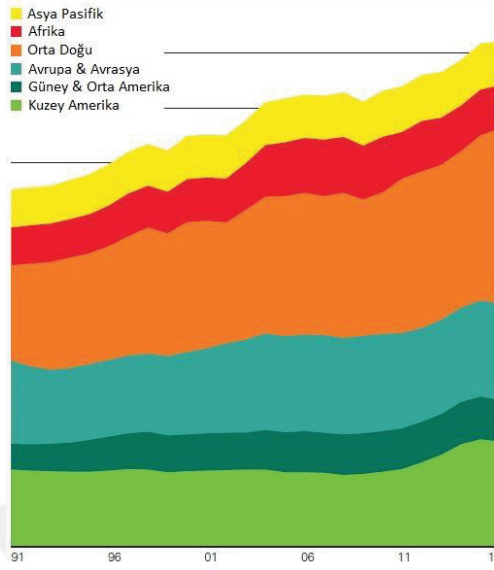


Şekil 1.5. 2016-2040 Yılları arasında yeni politikalar senaryosu dikkate alındığında kaynaklara göre enerji arzı altyapısı için yatırımlar (Dünya ve Türkiye Enerji, 2017).

Petrol üretimi ve tüketimi göz önünde bulundurulduğunda Şekil 1.6.'da görüleceği üzere 1991'den bu yana üretimde de tüketimde de artış söz konusudur. Petrol tüketiminin üretime göre daha fazla artıyor olması genelde ülkeleri özelde de üreticileri alternatif yakıtlara yöneltmektedir. Buna kanıt olarak dünya üzerindeki biyoyakıt üretiminin artışı gösterilebilir. Şekil 1.7.'de görüleceği üzere 2006'dan bu yana etanol ve biyodizel üretiminde oldukça büyük bir artış söz konusudur. Etanol üretiminde Kuzey Amerika Bölgesi, biyodizel üretiminde ise Avrupa & Avrasya Bölgesi ilk sıradadır. Özellikle Brezilya ve Amerika etanol üretiminde ciddi teşvikler vermekte ve vergi sistemlerini bu teşvikler doğrultusunda yapılandırmaktadırlar. Biyodizel üretiminde ve teşvikinde ise Almanya dünyada ilk sırada yer almaktadır (BP Statistical Review, 2017).

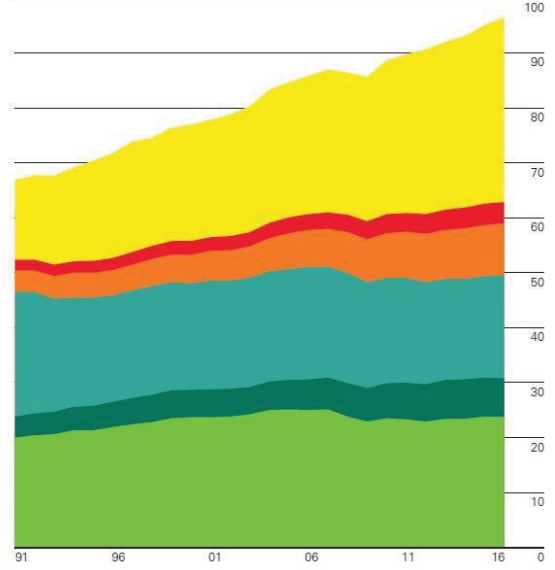
Petrol: Bölgelere Göre Üretim

Milyon Varil / Gün



Petrol: Bölgelere Göre Tüketim

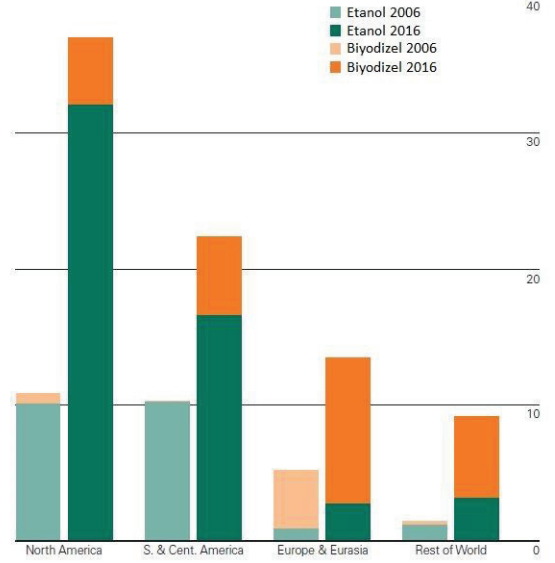
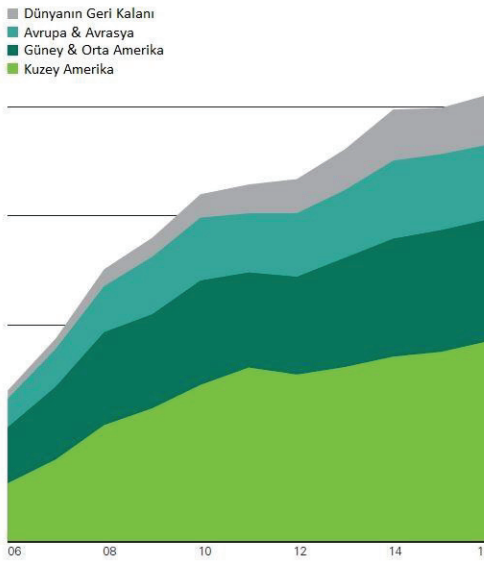
Milyon Varil / Gün



Şekil 1.6. Bölgelere göre petrol üretimi ve tüketimi (BP Statistical Review, 2017).

Dünya Biyoyakıt Üretimi

Milyon Ton Eşdeğer Petrol



Şekil 1.7. Bölgelere göre biyoyakıt üretimi (BP Statistical Review, 2017).

Ülkemizdeki biyodizel ile biyoetanolün durumu incelendiğinde; biyodizelin dizel yakıtı ile harmanlanan %2'lik kısmı, biyoetanolün benzinle harmanlanan %2'lik kısmı Özel Tüketim Vergisinden (ÖTV) muaftır (MMO, 2012).

1.2. Türkiye’de Trafiğe Kayıtlı Araç Durumu

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2019 yılı Ocak ayı sonu itibarıyla trafiğe kayıtlı toplam 22.922.164 adet taşıtın %54,3’ünü otomobil, %16,4’ünü kamyonet, %14’ünü motosiklet, %8,2’sini traktör, %3,7’sini kamyon, %2,1’ini minibüs, %1’ini otobüs, %0,3’ünü ise özel amaçlı taşıtlar oluşturmuştur (Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], 2019).

Ocak ayı sonu itibarıyla trafiğe kayıtlı 12.437.250 adet otomobilin %37,8’i LPG, %37’si dizel, %24,9’u benzin yakıtlı olup, %0,05’i elektrikli veya hibrittir. Yakıt türü bilinmeyen yani ruhsat işlemlerinde yakıt türü boş bırakılan veya sehven hatalı veri girişi yapılan otomobillerin oranı ise %0,3’tür (TÜİK, 2019).

Yukarıdaki bilgiler ışığında trafiğe kayıtlı 22.922.164 adet araçtan 18.174.628 adet aracın yakıt olarak ya motorin ya da benzin kullandığını tespit edebiliriz. Tabi bu tespitte yakıt olarak doğal gaz kullanan dizel araçları ihmal etmeliyiz. Bu tespit, Türkiye’de trafiğe kayıtlı araçların %79,3’ünün alternatif yakıtlar için potansiyel oluşturduğunu ifade etmektedir. Bu araçların çevre kirliliğinde başrol oynuyor olması alternatif yakıtların kullanımını elzem hale getirmiştir (TÜİK, 2019).

Türkiye trafiğinde dolaşan araçların %51,8’inin dizel araçlardan oluştuğu, özellikle otomobillerin %37’sinin dizel araçlardan oluştuğu ve bu otomobillerin çoğunlukla şehir içi trafikte kullanıldığı göz önünde bulundurulursa şehirlerdeki çevre kirliliğine sebep olan emisyonların çoğunluğunun motorlu kara taşıtlarından kaynaklandığı ifade edilebilir. Diğer yandan 2015’te otomobil markalarının filo emisyonlarının 130 gr/km ile sınırlandırılmışken 2020 yılında Avrupa Birliği ülkelerinde bu değer 95 gr/km ile daha katı şekilde sınırlandırılacak olması emisyonların azaltılması zorunlu hale getirmiştir (Bolkan, 2015). Bu zorunluluk ise alternatif yakıt kullanımıyla sağlanabilir. Çevre kirliliğini önleme noktasında hibrit ve elektrikli araçlara olan rağbet her ne kadar artsa da trafikteki dizel ve benzinli araçlarda kullanılmakta olan fosil yakıtların durumu alternatif yakıtların kullanımını önemli hale getirmektedir.

Diğer yandan Avrupa Emisyon Normlarının her yeni sürümde kontrol edilebilir kirleticilerin (CO, HC, NO_x, SO₂, PM) salımında daha da sıkı hale gelmesi üreticilerin ve araştırmacıların bu yöndeki çalışmalarını artırmalarına sebep olmuştur. Tablo 1.4'te görüldüğü gibi emisyon normlarında 2005 yılından bu yana CO, HC ve PM değerleri sabitlenmişken dizel araçlar için NO_x değerleri azaltılmaya devam etmektedir. NO_x değerlerinin azaltılması ise motor modifikasyonlarıyla, alternatif yakıtlarla ya da katkı maddeleri ile mümkündür.

Tablo 1.1. M₁ sınıfı araçlar için Avrupa egzoz emisyon standartları (www.dieselnet.com, 2018).

| Standart | Tarih | CO | HC | HC+NO _x | NO _x | PM | PN |
|-----------------------------|------------------------|------|--------------------|--------------------|-----------------|------------------------|---------------------------|
| | | g/km | | | | | #/km |
| Pozitif Ateşleme (Benzin) | | | | | | | |
| Euro 1 | 07.1992 | 2,72 | - | 0,97 | - | - | - |
| Euro 2 | 01.1996 | 2,2 | - | 0,5 | - | - | - |
| Euro 3 | 01.2000 | 2,3 | 0,2 | - | 0,15 | - | - |
| Euro 4 | 01.2005 | 1,0 | 0,1 | - | 0,08 | - | - |
| Euro 5 | 09.2009 ⁽²⁾ | 1,0 | 0,1 ⁽⁴⁾ | - | 0,06 | 0,005 ^(5,6) | - |
| Euro 6 | 09.2014 | 1,0 | 0,1 ⁽⁴⁾ | - | 0,06 | 0,005 ^(5,6) | 6,0x10 ^{11(5,7)} |
| Sıkıştırma Ateşleme (Dizel) | | | | | | | |
| Euro 1 | 07.1992 | 2,72 | - | 0,97 | - | 0,14 | - |
| Euro 2, IDI | 01.1996 | 1,0 | - | 0,7 | - | 0,08 | - |
| Euro 2, DI | 01.1996 ⁽¹⁾ | 1,0 | - | 0,9 | - | 0,10 | - |
| Euro 3 | 01.2000 | 0,64 | - | 0,56 | 0,50 | 0,05 | - |
| Euro 4 | 01.2005 | 0,50 | - | 0,30 | 0,25 | 0,025 | - |
| Euro 5a | 09.2009 ⁽²⁾ | 0,50 | - | 0,23 | 0,18 | 0,005 ⁽⁶⁾ | - |
| Euro 5b | 09.2011 ⁽³⁾ | 0,50 | - | 0,23 | 0,18 | 0,005 ⁽⁶⁾ | 6,0x10 ¹¹ |
| Euro 6 | 09.2014 | 0,50 | - | 0,17 | 0,08 | 0,005 ⁽⁶⁾ | 6,0x10 ¹¹ |

⁽¹⁾ 30.09.1999'a kadar (bu tarihten sonra DI motorlar, IDI motorların limitleri ile limitlendirilir), ⁽²⁾ 01.2011'den sonra tüm modeller için, ⁽³⁾ 01.2013'ten sonra tüm modeller için, ⁽⁴⁾ Metansız hidrokarbon değeri 0,068g/km, ⁽⁵⁾ Sadece DI motorlu araçlarda uygulanabilir, ⁽⁶⁾ Parçacık ölçüm prosedürü kullanılarak 0,0045g/km, ⁽⁷⁾ Euro 6'nın geçerli olduğu ilk üç yıl içinde 6,0x10¹² l/km.

BÖLÜM 2. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR

2.1. Alternatif Yakıtlara Giriş

Petrol ürünleri 20. yüzyılın başlarında motor yakıtı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Dolayısıyla motor tasarımları da bu doğrultuda geliştirilmiştir. Petrol ürünleri kolay elde edilebildiği için motor sanayisi petrole bağımlı hale gelmiştir. Petrol rezervleri belirli bölgelerde bulunmaktadır ve bu rezervler belli bir süre sonra tükenecektir. Dolayısıyla büyük teknolojik değişiklikler yapmadan ve ekonomik krizlere sebep olmadan, petrole alternatif olabilecek yeni motor yakıtlarının araştırılması zorunlu hale gelmiştir (İlkılıç ve Yücesu, 2002). Günümüzde ağırlıklı üzerinde çalışılan alternatif yakıtlar; biyokütle (biyoetanol, biyodizel), alkoller (dietil eter, dimetil eter), emülsifiye yakıtlar ve gazlar (lpg, cng, hidrojen) olarak sıralanabilir (Bayrakçeken ve Kuş, 2004, s. 125-144).

Alternatif yakıtların tarımsal kalkınmayla birlikte ülke ekonomisine ayrıca çevre ve insan sağlığına olumlu etkileri bu tür araştırmaların önemini daha da artırmaktadır. Araştırmacılar alternatif yakıtlarla ilgili önemli birçok çalışma yapmışlardır. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar çevre ve insan hayatını etkileyen zararlı emisyonlarda dikkate değer azalmaların sağlanabildiğini göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının alternatif yakıt olarak kullanımına ilişkin literatür aşağıda verilmiştir.

İçingür ve Yamık (2003, s. 459-464), metil ve etil esterin dizel yakıtı olarak kullanılma imkânlarını deneysel olarak araştırmışlardır. Elde ettikleri neticelere göre motor performans parametrelerinde alternatif yakıt kullanımı durumunda dizel yakıtla kıyasla bir miktar kötüleşmelerin meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Emisyonlarda ise dizel yakıtla kıyasla alternatif yakıt kullanımı durumunda duman yoğunluğunun %10'dan

%21'e yükseldiğini, azotoksit (NO) emisyonunun %24'ten %12'ye düştüğünü ve karbonmonoksit (CO) emisyonunun %43'ten %25'e düştüğünü tespit etmişlerdir.

S. Aydın, H. Aydın ve İlkılıç (2012), biyodizelin hava kirliliğine etkisini incelemişlerdir. Elde ettikleri neticelere göre egzoz emisyon değerlerinde NO_x ve O₂, metil ester karışımlarında dizel yakıtına kıyasla daha yüksek çıkmıştır. HC, CO₂ ve CO emisyonları B80 yakıtında dizel yakıtına kıyasla daha düşük seviyelerde kalmıştır.

Sugözü, Aksoy ve Baydır (2009, s. 49-56), ayçiçeği metil esterinin bir dizel motorunda %100 ve %50 dizel yakıtı karışımı olarak kullanımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. B100 ve B50 yakıtlarının kullanımı ile motor döndürme momenti ve gücünde azalma, özgül yakıt sarfiyatında (ÖYS) ise artma tespit etmişlerdir. CO emisyonlarında dizel yakıtına kıyasla B50 yakıtı kullanımı ile %16,3, B100 yakıtı kullanımı ile %25,6 azalma tespit etmişlerdir. NO_x emisyonlarında dizel yakıtına kıyasla B50 yakıtı kullanımı ile %12,6, B100 yakıtı kullanımı ile %9,5 artma tespit etmişlerdir.

Haşimoğlu, İçingür ve Özsert (2008, s. 207-213), biyodizelin, turbo şarjlı bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılmasının motor performans parametrelerine ve egzoz emisyon karakteristiklerine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Yapmış oldukları deneyler sonucunda yakıt olarak biyodizel kullanılmasıyla motorine göre genel olarak ÖYS'nin, efektif verimin ve NO_x emisyonunun arttığını; egzoz gazı sıcaklığının ve duman koyuluğunun azaldığını tespit etmişlerdir.

Shehata (2013, s. 513-522), biyodizel ile çalıştırılan bir dizel motorunun egzoz emisyonları, performansı ve silindir basıncı üzerine yapmış olduğu deneysel çalışmada tüm değerleri dizel yakıtına kıyasla ele almıştır. Biyodizel olarak pamuk tohumu yağı, palmye yağı ve keten yağı kullanan Shehata, dizele kıyasla daha düşük fren kuvveti, fren termal verimi; daha yüksek fren ÖYS ve yakıt kütlesi akış hızı değerleri elde etmiştir. Dizel yakıtı, biyodizel yakıtlara kıyasla daha yüksek CO emisyonu açığa çıkarırken daha düşük NO_x emisyonları açığa çıkarmıştır.

Sezer (2012, s. 117-124), dietil eter–motorin karışımlarının motor performansına etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Elde ettiği neticelere göre dietil eterin fakirleştirici etkisinin hava fazlalık katsayısını (HFK) artırdığını tespit etmiştir. Motorine %10 oranında dietil eter katılmasının HFK'yı %15,2 oranında artırdığını saptamıştır. Yakıt–hava karışımındaki bu fakirleşmenin is ve partikül madde (PM) emisyonlarını azaltacağı literatürde belirtilmektedir. Dietil eter karışımlarının motorine göre daha düşük egzoz gazı sıcaklıkları verdiğini tespit eden Sezer, egzoz gazı sıcaklığındaki bu düşüşün yanma sıcaklıklarındaki düşüşten kaynaklandığını ve buna bağlı olarak NO_x emisyonlarında azalmaların meydana geleceğini ifade etmektedir. Sezer, dietil eter–motorin karışımları kullanıldığında ortalama efektif basınçta ve buna bağlı olarak döndürme momenti ve güçte farklı oranlarda düşüşler tespit etmiştir. Motor performans değerlerindeki bu düşüşlerin karışımdaki dietil eter oranının artmasıyla arttığını tespit eden Sezer, %7,5 karışım oranına kadar efektif verimde ve ÖYS'de iyileşme elde etmiş, bu karışım oranından sonra efektif verimin ve ÖYS'nin olumsuz yönde etkilendiğini tespit etmiştir. Sonuç olarak %7,5 dietil eter içeren yakıt karışımını yaklaşık olarak efektif verimde %10,9, ÖYS'de %8,7 iyileşme ve motor performansında %2,5 düşüşle uygun bir karışım olarak önermiştir.

Usta, Can ve Öztürk (2005, s. 325-334), alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizel ve etanolü karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri neticelere göre dizel yakıtına oksijenli bileşikler olan etanolün ve biyodizelin eklenmesi CO, is ve SO₂ emisyonlarını azaltırken NO_x emisyonlarını bir miktar artırmıştır. Etanol ilavesi ile güçte azalma ve ÖYS'de artma görülürken biyodizel karışımları ile dizel yakıtı oldukça yakın güç ve ÖYS değerleri elde etmişlerdir.

Pushparaj ve Ramabalan (2013, s. 701-709), dizel motoru için yeşil yakıt tasarımı, yanma, performans ve emisyon analizi üzerine yapmış oldukları deneysel çalışmada dört farklı yakıt tipini analiz etmişlerdir. Bunlar; standart dizel, B20 (%80 dizel, %20 kaju fıstığı kabuğu yağı biyodizeli), B20E10 (%90 B20, %10 etanol), B20DEE10 (%90 B20, %10 dietil eter) şeklindedir. Elde ettikleri neticelere göre B20DEE10 yakıtı, dizel yakıtına kıyasla egzoz emisyonlarını düşürmüştür. Özellikle NO emisyonlarında %51 gibi bir oranla oldukça yüksek değerlerde azalma sağlamıştır. Bununla birlikte

B20DEE10 yakıtı, B20E10 ve B20 yakıtlarına kıyasla daha iyi motor performansı ve daha düşük egzoz emisyonları elde edilmesini sağlamıştır.

Paul, Bose, Panua ve Debroy (2014, s. 1-10), tek silindirli sıkıştırma ateşlemeli bir motorda yakıt olarak dietil eter ve etanol karışımlarını kullanarak performans ve egzoz emisyonları karakteristikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yakıt olarak D95DEE5 (%95 dizel, %5 dietil eter), D90DEE10, D90DEE5E5 (%90 dizel, %5 dietil eter, %5 etanol), D85DEE5E10, D85DEE10E5, D80DEE10E10, kullanmışlardır. Elde ettikleri neticelere göre %5 DEE karışımlarında artan motor termal verimi, %10 DEE karışımlarında düşmüştür. DEE-Dizel karışımlarına etanol ilave edilmesi her iki durumda da motor verimini artırmıştır. DEE ile birlikte etanol kullanılması CO, NO_x, HC ve PM emisyonlarını ciddi şekilde azaltmıştır. Test edilen yakıt örnekleri arasında D80DEE10E10 karışımı, yüksek performans ile düşük emisyon çelişkisine ulaşmada en yüksek potansiyeli taşımaktadır.

D. C. Rakopoulos, C. D. Rakopoulos, Giakoumis ve Dimaratos (2012, s. 214-224), yüksek hızlı direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda yakıt olarak dietil eter/dizel karışımlarının kullanılmasının motor performans ve emisyon karakteristiklerine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Karışımları hacimsel olarak D92DEE8 (%92 dizel, %8 dietil eter), D84DEE16, D76DEE24 şeklinde hazırlamışlardır. Elde ettikleri neticelere göre dizel yakıtına kıyasla kullanılan karışımdaki DEE oranı arttıkça is, NO_x, CO emisyonları azalırken HC emisyonları artmıştır. Motor performansı ele alındığında dizel yakıtına kıyasla kullanılan karışımdaki DEE oranı arttıkça ÖYS ve egzoz gaz sıcaklığı artarken fren termal verim değişmemiştir.

Yılmaz, Solmaz, Polat ve Altın (2013, s. 127-134), aynı anda su içinde yağ (Y/S) ve yağ içinde su (S/Y) tipindeki emülsiyonu bulunduran üç fazlı (Y/S/Y) dizel emülsiyon yakıtlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Bu incelemede emülsiyon yakıtı hazırlamak için emülgatör olarak sorbitan monooleat (Span 80) ile polioksietilen sorbitan monooleat (Tween 80) kullanmışlardır. Elde ettikleri neticelere göre %10 su içeren E1 emülsiyon yakıtının egzoz emisyonlarını kısmen azalttığını, buna karşılık motor döndürme momentini %23,3 azalttığını, ÖYS'yi

ise %45 artırdığını tespit etmişlerdir. %15 su içeren E2 emülsiyonu ile yapılan testlerde ise NO_x emisyonunun %45,9, CO emisyonunun %26,9 ve is emisyonunun %18,8 azaldığını; motor döndürme momentinin de ortalama %15,72 azaldığını kaydetmişlerdir. Dolayısıyla E2 emülsiyonunun emisyonları azaltmak amacıyla kullanılabileceğini tespit etmişlerdir.

Gonca (2014, s. 450-457), etanol-dizel karışımıyla çalışan bir dizel motoruna buhar enjeksiyonunun performans ve NO emisyonlarına etkisini incelemiştir. Yapmış olduğu incelemede parametrik değerleri dört farklı yakıt tipi üzerinden ele almıştır. Bunlar; D (%100 dizel), D+S20 (dizel yakıtta %20 oranında buhar enjeksiyonu), E15 (%85 dizel, %15 etanol karışımı) ve E15+S20 (%85 dizel, %15 etanol karışımına %20 oranında buhar enjeksiyonu) şeklindedir. Elde ettiği neticelere göre E15 yakıtını kullandığında D yakıtına kıyasla NO emisyonlarında artma; döndürme momentinde, efektif güçte ve efektif verimde azalma tespit etmiştir. Ancak silindir içine buhar enjekte ettiğinde NO emisyonlarında azalma ve performans parametrelerinde artma tespit etmiştir. Etkif verimde %12,5, efektif güçte %4,1 artış kayda geçmiştir. NO emisyonları buhar enjeksiyonuyla %34 oranında azalmıştır. Sonuç olarak silindir içine buhar enjeksiyonu uygulaması NO emisyonları ve performans parametreleri için en iyi sonucu vermektedir.

Fahd, Wenming, Lee, Chou ve Yap (2013, s. 1042-1049), direkt enjeksiyonlu (DI) dizel motorunda yakıt olarak dizel-su emülsiyonunun kullanılmasının performans ve emisyon karakteristikleri üzerine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Değişen motor yük koşullarında yaptıkları incelemede kullandıkları yakıt ED10 (%90 dizel, %10 su karışımından oluşan emülsiyon), tüm yük koşullarında dizel yakıtıyla aynı oranlarda silindir içi basınç ve ısı üretmiştir. Bununla birlikte ED10 yakıtı ile yine tüm yük koşullarında dizel yakıtı oranla daha az motor gücü çıkışı ve daha fazla fren ÖYS elde etmişlerdir. Ayrıca daha düşük egzoz gazı sıcaklığı ve NO emisyonları elde etmişlerdir. ED10 yakıtı, motorun düşük yük, düşük hız koşullarında dizel yakıtı kıyasla daha fazla CO emisyonu salınımı yaparken motorun yüksek hız ve kısmi yük koşullarında dizel yakıtı kıyasla çok daha düşük CO emisyonu salınımı yapmıştır.

Ithnin, Ahmad, Abu Bakar, Rajoo ve Yahya (2015, s. 375-382), düşük dereceli dizel yakıtı kullanarak elde ettikleri farklı oranlardaki dizel-su emülsiyonlarının, DI dizel motorunun yanma performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini değişen yük koşullarında analiz etmişlerdir. Hazırladıkları emülsiyonlarda %2 oranında yüzey aktif madde kullanmışlardır. Bu emülsiyonlar; E5 (%95 dizel, %5 su karışımından oluşan emülsiyon), E10, E15, E20 şeklindedir. Elde ettikleri neticelere göre emülsiyonun her tipinde dizel yakıtı kıyasla ÖYS azalmıştır. E20 yakıtı kullanıldığında dizel yakıtı kıyasla tüm yük koşullarında en yüksek silindir içi basınç ve basınç artış oranı görülmüştür. Bununla birlikte en yüksek ısı açığa çıkmıştır. NO_x ve PM emisyonları, emülsiyonun her tipinde dizel yakıtı kıyasla azalmıştır. NO_x emisyonlarında %41 oranında azalma, PM emisyonlarında %35 oranında azalma tespit etmişlerdir. CO ve CO₂ emisyonları, emülsiyonun her tipinde dizel yakıtı kıyasla düşük yük ve yüksek yük koşullarında artmıştır.

Ayhan (2009), bir dizel motoruna buhar enjeksiyonun NO_x ve is emisyonlarına etkisini araştırmıştır. Yapmış olduğu çalışmada silindire gönderilen yakıtı %5, %10, %15, %20, %30 ve %40 kütle oranlarında buhar enjekte etmiştir. Elde ettiği neticelere göre motora püskürtülen tüm buhar oranlarında elde ettiği döndürme momenti ve güç değerleri tüm motor devri ve yük durumunda standart motor verilerinden daha yüksek çıkmıştır. Döndürme momenti ve efektif güçte en yüksek artışı %20 buhar oranında ve % 2,5 olarak saptamıştır. Test ettiği tüm devir ve yük şartlarında buhar enjeksiyonu durumunda standart duruma kıyasla ÖYS'de azalmalar meydana gelmiştir. En yüksek azalmayı %20 buhar püskürtme oranında 1200 d/d'de %4,8 olarak tespit etmiştir. Deneylelerini gerçekleştirdiği tüm şartlarda, motora buhar püskürtmesi durumunda efektif verimde standart motor verim değerlerine göre artmalar görmüştür. En yüksek artışı 1200 d/d'de ve %20 buhar oranında tespit etmiştir. NO_x emisyonlarında en yüksek azalmayı %20 buhar püskürtme oranında 2200 d/d'de %33 olarak ölçmüştür. Bunlara ilave olarak HC, CO, CO₂ ve duman koyuluğu emisyonlarında kötüleşme ya da iyileşme yönünde kayda değer bir değişim gözlememiştir.

Bu çalışmada farklı yakıt katkı stabilize emülsifiye yakıt kullanımının motor performans parametrelerine ve emisyon karakteristiklerine etkileri deneysel olarak

incelenmiştir. Deneysel çalışmalar aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Emülsifiye yakıt içeriğinde biyodizel, dietil eter, su, yüzey aktif madde ve dizel yakıtı bulunmaktadır. Her bir yakıtın performans parametrelerine etkileri farklı oranlarda hazırlanan yakıtlar ile ayrı ayrı tespit edilmiştir. Emülsifiye yakıt içeriğinde bu yakıtların seçilmesinin nedeni dizel yakıt kullanımına göre hem performans hem de emisyon değerleri açısından iyileşmelerin elde edilmesinin amaçlanmasıdır. Çünkü dizel motorlarında NO emisyonlarının azaltılması için kullanılan yöntemlerin birçoğu motor performansını olumsuz etkilemektedir.

Hazırlanan dizel-biyodizel ve dizel-dietil eter yakıt karışımları ile performansın artırılması ve aynı zamanda yanma veriminde iyileşme sağlanması suretiyle kısmî eksik yanma ürünleri olan HC ve CO emisyonlarını azaltılması hedeflenmiştir. Hazırlanan dizel-su emülsiyon yakıt karışımı ile yanma sonu sıcaklığının düşürülmesi ve bu suretle NO emisyonlarının azaltılması hedeflenmiştir. Son olarak tüm yakıt karışımlarından en uygun oranları karıştırılarak en uygun yakıt karışımı elde edilmiştir. Bu karışım kimyasal yüzey aktif madde (emülgatör) kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan optimum yakıt ile standart dizel yakıtı kıyasla daha yüksek motor performans parametreleri ve daha düşük egzoz emisyon karakteristikleri elde edilmesi amaçlanmıştır.

Deneysel çalışmaların sonucunda B20DEE5S10S2D63 (kütlesel olarak %20 biyodizel, %5 dietil eter, %10 su, %2 yüzey aktif madde [Span80], %63 dizel karışımından oluşan emülsifiye yakıt) yakıtı optimum emülsifiye (OEY) yakıt olarak elde edilmiştir. OEY'nin kullanılması durumunda standart motor verilerine göre; motor döndürme momenti ve efektif gücünde bir miktar azalış, ÖYS'de %5,7 oranında azalış, efektif verimde %19 artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Dizel motorları için önemli bir sorun olan NO emisyonlarında %12,5, is emisyonlarında ise %29 oranında azalış sağlanmıştır. CO emisyonlarında önemli oranda azalış, HC ve CO₂ emisyonlarında ise bir miktar artış meydana geldiği tespit edilmiştir.

2.2. Biyodizelin İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı

Biyodizel dizel motorlarında kullanılan en popüler yenilenebilir alternatif yakıttır (Çanakçı, 2005, s. 915-922; He, Shao, Ren, Li ve Cheng, 2015, s. 1-6; Özener, Yüksel, Ergenç ve Özkan, 2014, s. 875-883). Bitkisel veya hayvansal yağlardan farklı yöntemlerle elde edilebilen biyodizel, oksijen içeriği yüksek, zehirsiz, dizel yakıtına yakın yakıt özellikleri, içerisinde sülfür barındırmaması ve yakıt olarak kullanılabilmesi için motorda herhangi bir modifikasyona ihtiyaç duyulmaması gibi üstünlükleri nedeni ile diğer alternatif yakıtlara kıyasla daha fazla ilgi görmektedir (Graboski ve McCormick, 1998, s. 125-164; Monyem ve Van Gerpen, 2001, s. 317-325; Sundaresan, Chandrasekaran ve Poari, 2007).

2.2.1. Biyodizelin elde edilmesi

Biyodizel üretimi çalışmalarının çoğunluğunu hayvansal veya bitkisel yağların farklı yöntemler ile viskozite değerlerinin düşürülmesi yönündeki çalışmalar oluşturmaktadır (Haşimoğlu, 2005). Viskoziteyi düşürmede en etkili yöntem transesterifikasyon metodudur. Transesterifikasyon metodu; bitkisel veya hayvansal yağların metil alkol ve etil alkol gibi monohidrik bir alkol ve katalizör ile reaksiyona sokulmasıyla yağ asidi esteri ve gliserin elde etmek için uygulanan esterleştirme işlemidir (Sugözü, Aksoy ve Baydır, 2009, s. 49-56). Katalizör, transesterifikasyon işleminde reaksiyonları hızlandırmak için kullanılmaktadır. Sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) en yaygın kullanılan katalizörlerdir. (Raheman ve Phadataré, 2004, s. 393-397; Sugözü, Aksoy ve Baydır, 2009, s. 49-56; Yücesu, Altın ve Çetinkaya, 2001, s. 39-49).

Dizel yakıtı ile yeniden esterleştirme işlemi sonucunda elde edilen biyodizel yakıtının kimyasal yapıları birbirinden farklıdır. Oksijen içeriğine sahip olması en önemli üstünlüğüdür. İçeriğindeki yüksek oksijen sayesinde dizel motorlarında karışım olarak kullanılması sonucunda yanma verimini artırdığı, performans parametrelerini iyileştirdiği ve CO, HC ve is emisyonlarında azalma sağladığı bilinmektedir (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).

2.2.2. Biyodizelin yanma performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi

Literatürde farklı hayvansal veya bitkisel yağlardan elde edilmiş biyodizel-dizel karışımlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanılması üzerine pek çok çalışma yer almaktadır (Agarwal ve Das, 2007, s. 440-447; Can, 2014, s. 676-686; C. D. Rakopoulos, D. C. Rakopoulos, Hountalas, Giakoumis ve Andritsakis, 2008, s. 147-157; Chandran, Ng, Lau, Gan ve Choo, 2016, s. 294-308; Gürü, Koca, Can, Çınar ve Şahin, 2010, s. 637-643; Kaplan, Arslan, Surmen, 2006, s. 751-755; Karabektaş, Ergen ve Hoşöz, 2008, s. 2136-2143; Özsezen ve Çanakçı, 2008, s. 395-404; Öztürk, 2015, s. 183-191; Sharp, Ryan ve Knothe, 2005; Sirman, Owens ve Whitney, 2000; Suryawanshi ve Deshpande, 2005; Yücesu, Altın ve Çetinkaya, 2001, s. 39-49). Çalışmalar genel olarak incelendiğinde motorda yakıt olarak düşük oranlarda biyodizel-dizel karışımlarının kullanılması durumunda motor döndürme momentinin ve efektif gücünün arttığı görülmektedir. Bazı araştırmacılar %20 biyodizel karışımı (B20) kullanımında motor döndürme momentinde meydana gelen artışın daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir (Agarwal ve Das, 2007, s. 440-447; Sharp, Ryan ve Knothe, 2005; Sirman, Owens ve Whitney, 2000; Suryawanshi ve Deshpande, 2005).

Cesur ve diğerleri (2008), tavuk yağından transesterifikasyon yöntemi ile elde ettikleri biyodizel-dizel karışımlarını (B10, B20 ve B50), tek silindirli, DI bir dizel motorunda yakıt olarak kullanmışlardır. Tam yük şartlarında yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda, standart dizel yakıtına kıyasla B10 ve B20 kullanımında motor performans parametrelerinde iyileşmelerin meydana geldiğini, B50'de ise bir miktar kötüleşmelerin olduğunu tespit etmişlerdir. Biyodizel karışımlarının kullanılması durumunda HC, is ve CO emisyonlarında azalmaların olduğunu, NO_x'de ise artmaların meydana geldiğini saptamışlardır.

Rakopoluos ve diğerleri (2008, s. 147-157), ayçiçek ve pamuk yağından elde ettikleri metil esterler-dizel karışımlarını (B10 ve B20), aşırı doldurmalı DI bir dizel motorunda yakıt olarak kullanmış ve elde ettikleri sonuçları standart dizel yakıt verileriyle mukayese etmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, biyodizel karışımları kullanılması

durumunda motor gücünde dikkate değer bir değişme meydana gelmediğini, ÖYS'nin, NO_x ve HC emisyonlarının arttığını CO emisyonlarının ise azaldığını tespit etmişlerdir.

Kaplan ve diğerleri (2006, s. 751-755), transesterifikasyon yöntemi ile elde ettikleri ayçiçek yağı metil esterini, 4 silindirli bir dizel motorunda yakıt olarak kullanmışlardır. Çalışmaları sonucunda dizel yakıtına kıyasla ÖYS'nin arttığını, is emisyonlarının ise azaldığını ileri sürmüşlerdir.

Bu çalışmada transesterifikasyon yöntemi ile ayçiçek yağından elde edilen metil ester farklı oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılmıştır. Elde edilen biyodizel karışımlarının (B10, B20 ve B50) kullanımının motor performans parametreleri ve emisyon karakteristiklerine etkileri incelenmiştir.

2.3. Dietil Eterin İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı

TÜİK verilerine göre 2004 yılında ülkemizde kullanılmakta olan motorlu kara taşıtlarının %37,8'i dizel motorlu iken, 2019 yılında bu oranın %51,8'e yükseldiği görülmektedir (TÜİK, 2019). Ancak dizel motorlarının, buji ateşlemeli motorlara göre sıkıştırma oranının yüksek olması ve daha yüksek HFK ile çalışması NO_x ve is emisyonlarının çok daha yüksek seviyede salınımına sebep olmaktadır. Emisyon değerlerine getirilen yasal düzenlemeler araştırmacıları ve üreticileri bu konuda önlem almaya yönlendirmektedir. Motorlardan salınan emisyonların azaltılmasında alınan tedbirler yanma öncesi, yanma esnasında ve yanma sonrası alınan tedbirler olarak sınıflandırmak mümkündür. Yanma öncesi alınan tedbirler; yakıt kalitesinin iyileştirilmesi, yakıt katkı maddelerinin katılması, alternatif yakıtların kullanılması vb. şeklinde özetlenebilir (Ayhan, 2009). Dizel motorlarında kullanılan başlıca yenilenebilir alternatif yakıtlardan biri de dietil eterdir.

2.3.1. Dietil eterin elde edilmesi

Dietil eter, dizel motorlarından salınan zararlı NO_x ve is emisyonlarında önemli düzeyde azalma sağlaması nedeni ile dizel yakıtına karıştırılarak motorlarda kullanılan

yenilenebilir bir alternatif yakıttır. DEE, etanolden elde edildiği için biyoyakıt olarak da isimlendirilmektedir. Normal atmosfer şartlarında sıvı fazda olması dizel yakıtına karışım imkânını kolaylaştırmakta ve istenilen oranda karışım hazırlanabilmektedir (Sezer, 2012, s. 117-124). DEE'nin sahip olmuş olduğu yakıt özellikleri nedeni ile son yıllarda özellikle dizel yakıtına belirli oranlarda karıştırılarak veya fumigasyon yöntemiyle yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Arcoumanis, Bae, Crookes ve Kinoshita, 2008, s. 1014-1030).

2.3.2. Dietil eterin yanma performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi

Cheng ve Dibble (1999), 6 silindirli, direkt enjeksiyonlu, aşırı doldurmalı bir dizel motorunda dizel ve %5, %10, %20 ve %30 hacimsel oranlarda DEE-Dizel karışımlarını yakıt olarak kullanmışlardır. 6 farklı motor devrinde ve yükünde gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalar sonucunda DEE karışımları kullanıldığında dizel yakıtına göre partikül madde (PM) emisyonlarında dikkate değer oranda, NO_x emisyonlarında ise bir miktar azalmanın olduğunu tespit etmişlerdir.

Sezer (2012, s. 117-124), tek silindirli, direkt enjeksiyonlu ve sıkıştırma oranı 20/1 olan bir dizel motorunda DEE-dizel (%2,5, %5, %7,5 ve %10 hacimsel) karışımlarının motor performansına etkisini deneysel olarak incelemiştir. Çalışması sonucunda dizel yakıtına DEE katılmasının motor döndürme momentinde ve gücünde azalmaya neden olduğunu belirtmiştir. Diğer taraftan %2,5, %5 ve % 7,5 DEE karışım oranlarında dizel yakıtına göre ÖYS'de azalmaların, efektif verimde ise artmaların olduğunu tespit etmiştir. DEE karışımlarıyla ayrıca HFK'da artmaların ve egzoz sıcaklığında ise bir miktar azalmaların meydana geldiğini ileri sürmüştür.

Subramanian ve Ramesh (2002, s. 353-360), tek silindirli, hava soğutmalı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda kütle oranında (%5, %10 ve %15) DEE-Dizel karışımlarını yakıt olarak kullanmışlar ve motor performans ve emisyon karakteristiklerine etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Termal verim açısından dizel yakıtına göre %10 karışımın en iyi sonuç verdiğini tespit etmişlerdir. Bu karışım oranında ve dizel yakıtının kullanıldığı püskürtme avansı değerinde is ve CO

emisyonlarında tüm motor yüklerinde dikkate değer oranda azalmaların meydana geldiğini, yüksek yük şartlarında termik verimde artmaların meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada tek silindirli, su soğutmalı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda %3 (DEE3), %5 (DEE5) ve %7 (DEE7), DEE-Dizel karışımlarının motorda yakıt olarak kullanılarak motor performansına ve emisyonlarına etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

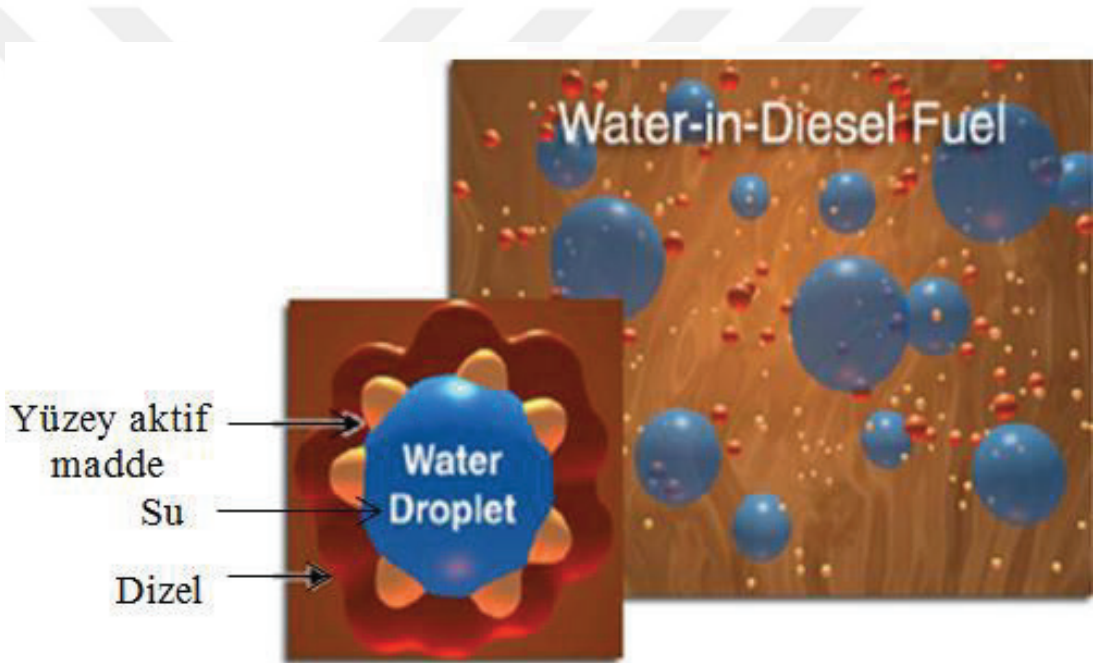
2.4. Emülsifiye Yakıtların İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı

Dizel motorlarında, yanma odasında meydana gelen yüksek sıcaklıklar NO_x emisyonlarının oluşum reaksiyonlarını hızlandıran en etkili faktördür (Ayhan, 2016, s. 463-471). Bu emisyon değerlerinin düşürülmesini zorunlu hale getiren temel unsur yürürlüğe giren katı yasal düzenlemelerdir. NO_x emisyonlarının azaltılması için uygulanan yöntemlerden birçoğu motor performansını olumsuz etkilemektedir. Dolayısıyla araştırmacılar ve imalatçılar motor performans parametrelerinde azalma olmaksızın bu emisyon değerlerini düşürecek alternatif yakıtlar ve yakıt katkıları üzerine çalışmalarını yoğunlaştırmaktadır. Stabilize emülsifiye yakıt kullanımı, NO_x emisyonlarının azaltılması için ümit verici yöntemlerden biridir.

Emülsifiye yakıt dizel motorlarında iki türlü kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi dizel yakıtın içerisine belirli oranda su karıştırılarak emülsifiye yakıt elde edilen yöntemdir. Bu yöntem faz ayrışması probleminden ötürü çok fazla tercih edilmemektedir. Diğer yöntemde ise dizel yakıtına karıştırılan su, yüzey aktif bir madde ile dizel yakıtına bağlanarak faz ayrışması önlenmektedir. Bu şekilde hazırlanan emülsifiye yakıtlara stabilize emülsifiye yakıt adı verilmektedir (Ayhan, 2013, s. 91-98; Lif ve Holmberg, 2006, s. 231-239). Emülsifiye yakıt kullanımında silindir içi sıcaklık düşürülerek NO_x emisyonlarında kayda değer oranda azalmalar sağlanabilmektedir (Armas, Ballesteros, Martos ve Agudelo, 2005, s. 1011-1018; Ayhan, 2013, s. 91-98; Ayhan, 2016, s. 463-471; Canfield, 1999; Crookes, Nazha ve Kiannajad, 1990, s. 47-52; Lin ve Wang, 2004, s. 1345-1359; Mello ve Mellor, 1999; Samec, Dibble, Chen ve Pagon, 2000).

2.4.1. Emülsifiye yakıtların elde edilmesi

Stabilize emülsifiye yakıtlar elde edilirken faz ayrışmasının önlenmesi ve suyun yakıt sistemine zarar vermemesi için yüzey aktif madde yardımıyla su ve yakıt birbirine bağlanmıştır. Yüzey aktif madde (stabilizatör) olarak Span 80 kullanılmıştır. Optimum yüzey aktif madde oranı deneysel olarak tespit edilmiştir. Yüzey aktif madde kullanılarak hazırlanan emülsifiye yakıtların yapısında merkezde su, suyun dışında yüzey aktif madde ve en dışta dizel yakıtı olacak şekilde bir atomik yapı meydana geldiği bilinmektedir. Şekil 2’de yüzey aktif madde kullanılarak hazırlanan emülsifiye yakıtın atomik yapısının şekli verilmiştir (Ayhan, 2009).



Şekil 2.1. Stabilize emülsifiye yakıtın yapısı (Ayhan, 2009).

2.4.2. Emülsifiye yakıtların yanma performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi

Emülsifiye yakıt kullanımında silindir içerisine suyun gönderilmesi durumunda mikro patlamaların etkisiyle atomizasyonun ve karışım kalitesinin arttığı ve bu sayede yanma veriminin iyileştiği (Lif ve Holmberg, 2006, s. 231-239), NO_x emisyonları ile birlikte is emisyonlarının da azaldığı vurgulanmaktadır (Dryer, 1976, s. 321-336). Bazı araştırmacılara göre ise emülsifiye yakıt kullanımında partikül madde (PM) ve is

emisyonlarında artış meydana geldiği tespit edilmiştir (Selim ve Elfeky, 2001, s. 1565-1582). Yapılan bazı çalışmalarda, emülsifiye yakıt ile NO_x emisyonlarında ve ÖYS'de azalış, CO ve HC emisyonlarında ise bir miktar artış meydana geldiği ileri sürülmüştür (Crookes, Nazha ve Kiannajad, 1990, s. 47-52; Greeves, Khan ve Onion, 1976, s. 321-336; O'Neal, Storment ve Waytulonis, 1981, s. 13-23).

Yoshimoto, Tsukarhara ve Muryama (1989, s. 3538-3543), emülsifiye yakıtların kullanılmasıyla suyun kinematik viskozitesi etkisiyle silindir içerisinde mikro patlamaların meydana geldiğini ve bu sayede efektif verimin arttığını, emisyonların azaldığını ileri sürmüşlerdir.

Ayhan (2013, s. 91-98), stabilize emülsifiye yakıt kullanımının motor performans parametrelerine ve emisyon karakteristiklerine etkisini deneysel olarak incelemiştir. Çalışması sonucunda, motor döndürme momentinde ve efektif gücünde bir miktar azalma, ÖYS'de ve efektif verimde dikkate değer oranda iyileşmelerin olduğunu, NO_x emisyonlarında ise önemli oranlarda azalmanın meydana geldiğini tespit etmiştir.

Baskar ve Kumar (2017, s. 137-146), emülsifiye yakıt kullanıldığında ve emme manifolduna ilave oksijen verildiğinde efektif ve yanma veriminin iyileştiği ve HC emisyonlarının azaldığını tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada, tek silindirli, DI, 4 zamanlı bir dizel motorunda farklı oranlarda stabilize emülsifiye yakıt kullanımının motor performans ve emisyon parametrelerine etkileri tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde deneysel olarak araştırılmıştır. Biyodizel-Dizel karışımları (B10, B20 ve B50), DEE-Dizel karışımları (DEE3, DEE5 ve DEE7) ve stabilize emülsifiye yakıt (S5, S10, S15) kullanımı ile yapılan çalışmalar sonucunda motor performans parametreleri ve emisyon karakteristikleri açısından en iyi sonuçların elde edildiği yakıtlar B20, DEE5 ve S10 olarak tespit edilmiştir.

BÖLÜM 3. DİZEL MOTORLARINDA KİRLETİCİ EMİSYONLAR

İçten yanmalı motorlarda (İYM) kullanılan yakıtların fosil kökenli olması ve tam yanma reaksiyonunun gerçekleşmemesi nedeni ile egzoz emisyonlarında kirleticiler bulunur. Bu kirleticilerin muhtevasında bulunan zehirli gazlar ve partiküller, atmosfere karışarak canlılara ve çevreye zarar verirler. Başta büyük yerleşim birimleri olmak üzere hava kirliliğinin ana kaynağını taşıtlar oluşturmaktadır.

Motor özelliklerine bağlı olarak dizel motorlarında CO ve HC üretiminin benzin motorlarına göre daha düşük düzeyde olduğu, buna karşın dizel motorları tarafından üretilen kirletici bileşenlerin esas kaynağının is ve NO_x'ler olduğu bilinmektedir. Argon ve karbondioksit gazlarının yanı sıra insan tarafından meydana getirilen CO, NO_x, HC, SO₂ vb. gibi birçok zararlı gaz vardır (Haşimoğlu, 2005; McDonald, Purcell, McClure ve Kittelson, 1995).

Dizel motorlarda yanma sonucu egzozdan çevreye salınan kirletici emisyonlar ve meydana gelme şekilleri aşağıdaki başlıklarda izah edilmiştir.

3.1. Hidrokarbon (HC) emisyonu

Yakıtların eksik yanması veya tutuşamaması sonucu meydana gelen ve motora giren yakıt miktarının yaklaşık olarak %1 – %1,5'ini oluşturan HC emisyonlarının oluşmasının ana nedeni sıcaklığın veya oksijenin yetersiz kalmasıdır. Yani HFK birden küçükse yanma tamamlanamamakta ve HC emisyonları meydana gelmektedir. Yanma odasını çevreleyen dar boşlukların sıkıştırma esnasında yakıt-hava karışımı ile dolması, yakıtın yağ tabakaları içinde absorpsiyonu, kalıntıların yağ filmi etkisi göstermesi, silindir içinde sıvı yakıt kalması ve supap yatak boşluklarına karışım sızması şeklindeki mekanizmalar en önemli HC kaynaklarıdır (Yamık, 2002).

Genel olarak motorlarda HC oluşumunun büyük kısmı motorun ilk hareketi sırasında soğuk çalışma şartlarında ortaya çıkmaktadır. Dizel motorlarında yanma sonucu açığa çıkan HC miktarı silindire gönderilen karışım fakir olduğu için benzinli motorlara kıyasla oldukça azdır. HC emisyonları özellikle motor yükünden fazlasıyla etkilenmektedir. Tam yükte çalışan motor, boşta veya kısmi yükte çalışan motora göre daha az HC üretir. Çünkü yükün artışı ile birlikte silindire giren yakıt miktarı artmakta, sıcaklıkların artması ile reaksiyon hızlanmakta ve sonuçta yanmamış HC azalmaktadır (Haşimoğlu, 2005).

3.2. Karbonmonoksit (CO) emisyonu

Karbonmonoksit (CO), yakıt içindeki karbon (C) tamamen yanmadığında oluşan renksiz, kokusuz ve zehirli bir gazdır. Ülkemizdeki bütün CO emisyonlarının yaklaşık %60'ı, şehirlerimizdeki bütün CO emisyonlarının ise % 95'i karayolu taşıtlarından atmosfere salınmaktadır (Erduranlı, Sekmen ve Çınar, 2001). Egzoz emisyonunda CO bulunmasının ana nedeni oksijenin (O₂) yetersiz olmasıdır. Dizel motorlarında, karışım oranı motorun yük durumuna ve devir sayısına göre değişmekte; dizel motorları genellikle fakir karışımlarla çalışmaktadır. Özellikle direkt enjeksiyonlu dizel motorlarında CO oluşumu HFK ile önemli ölçüde değişmektedir. Düşük yüklerde motor oldukça fakir karışım ile çalıştığı ve sıcaklıklar düşük olduğu için CO oksidasyonu az olmaktadır. Motor yükü artırıldıkça sıcaklıklarda arttığından CO'nun dönüşümünü sağlayan reaksiyonlar hızlanmakta ve CO emisyonu azalmaktadır. Ancak yükün ve buna bağlı olarak HFK'nın belirli bir değerin üzerine çıkması durumunda, sıcaklıklar yüksek olmasına rağmen O₂ konsantrasyonu az olduğundan ve reaksiyon için yeterli zaman kalmadığından CO emisyonu tekrar artış göstermektedir (Ergeneman, Arslan ve Mutlu, 1998; Soruşbay, 1999).

İYM'de silindir içerisinde CO oluşmasının sebeplerinden biri de ayrışma (dissosiyasyon) olayıdır. Yüksek yanma sıcaklıklarında yanma ürünleri olan CO₂ ve H₂O parçalanarak element durumuna dönüşürler ve bu dönüşme sırasında ısı çekerler. 1800 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda dissosiyasyon ve ardından CO oluşumu başlar (Ayhan, 2009).

3.3. İis (Duman) emisyonu

İYM'ler tarafından üretilen katı taneciklerin büyük bir bölümünü oluşturan is, yanmamış karbon partikülleridir. Dizel motorlarında silindir içinde bulunan yakıt damlasının içindeki H₂ molekülleri, hızlı bir şekilde reaksiyona girmekte ve geriye kalan C yeterli O₂ bulamadığından yanamayarak is partikülleri halinde dışarı salınmaktadır (Yamık, 2002). İis oluşumunun temel nedeni dizel yakıtının silindir içinde yeterli hava bulamaması veya silindir içerisindeki mevcut hava ile kısa sürede karışamaması ve buhar fazına geçememesidir (Ayhan, 2009).

3.4. Azotoksit (NO_x) emisyonu

Azotoksitler, motorlarda yanma sırasında ulaşılan yüksek sıcaklıklarda havanın içindeki azotun (N₂), oksijen (O₂) ile reaksiyona girmesi sonucu oluşurlar (Heywood, 1988; Stone, 1989). Motordan salınan egzoz gazları içerisindeki azotoksitlerin hacimsel olarak %90'ını NO, %5'ini NO₂ ve geri kalan %5'ini ise N₂O, N₂O₃ ve N₂O₅ oluşturmaktadır (Karimi ve Jane, s. 143-149)

Azotoksitlerin çevreye ve insan sağlığına çeşitli olumsuz etkileri bulunmaktadır. Ancak en önemli zehirleyici etkisi ciğerlerde nemle birleşerek nitrik asit oluşturmasıdır. Oluşan asit miktarının konsantrasyonunun azlığı nedeniyle etkisi de az olmaktadır. Ancak zamanla birikme özelliği bulunduğundan özellikle solunum hastalıkları bulunan kişiler için tehlike oluşturmaktadır. Ayrıca fotokimyasal sis oluşumu tepkimelerine katılmakta, stratosferdeki ozon konsantrasyonunu etkilemekte, asit yağmurlarına ve sera etkisine neden olmaktadır (Bosch, Bongers, Enoch, Snel ve Ross, 1989, s. 139-154; Haşimoğlu, 2000; Kenty, Poor, Kronmiller, McClenny, King, Atkeson ve Campbell, 2007, s. 4270-4280; Soruşbay, 1999; Vicente, Montanari ve Busca, 2005, s. 19-231).

İYM'de yanma sırasında NO oluşumu, ani (prompt) NO oluşumu, yakıt esaslı NO oluşumu ve ısıl (termal) NO oluşumu olmak üzere üç biçimde gerçekleşmektedir (Ayhan, 2009). Prompt NO, hava içerisindeki moleküler azotun serbest hidrokarbon radikalleriyle tepkimeye girmesi sonucu oluşmaktadır (Velzen, 1991). Yakıt esaslı NO,

yakıt içerisindeki kimyasal bağı azotun oksitlenmesi sonucu oluşmaktadır. Isıl NO, yanma havasında bulunan oksijen atomlarıyla moleküler azotun yüksek sıcaklıklarda tepkimeye girmesiyle oluşur (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk).



BÖLÜM 4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Deneysel Hazırlık

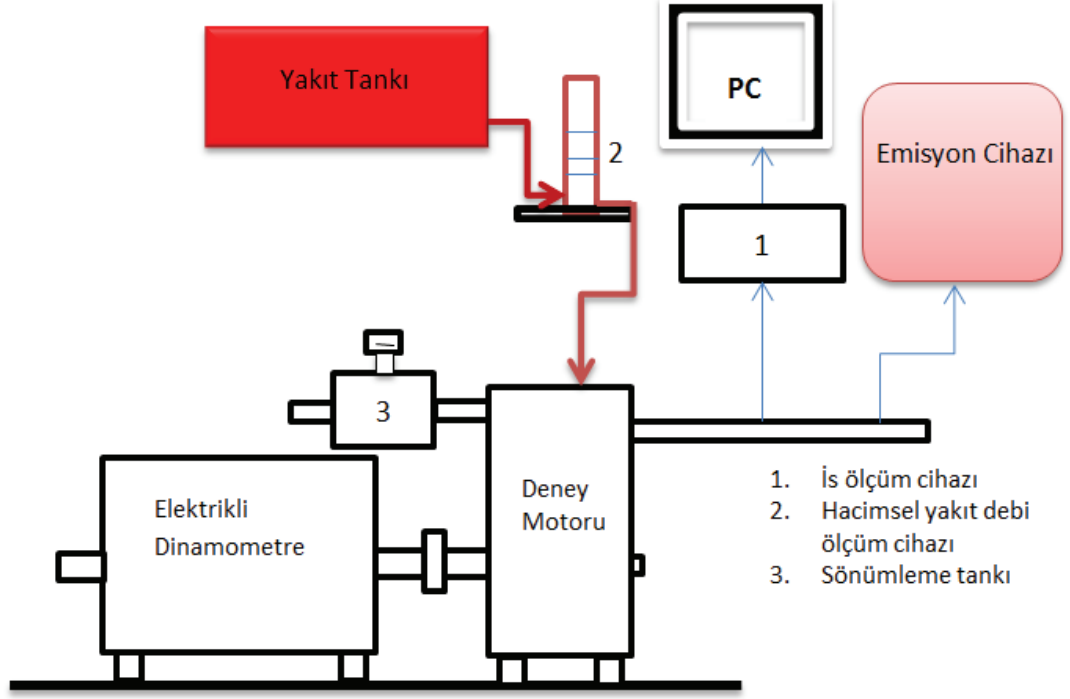
Deneysel çalışmalarda tek silindirli, su soğutmalı, doğal emişli, SüperStar marka direkt enjeksiyonlu bir dizel motoru kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan motorun teknik özellikleri Tablo 4.1.'de verilmiştir (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).

Tablo 4.1. Deney motorunun teknik özellikleri (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).

| Motor Tipi | Süper Star |
|--------------------------------|-------------------|
| Piston Çapı (mm) | 108 |
| Strok (mm) | 110 |
| Silindir Sayısı | 1 |
| Strok Hacmi (dm ³) | 1 |
| Güç, 2200 d/d, (kW) | 13 |
| Enjektör Açma Basıncı (bar) | 175 |
| Püskürtme Avansı (Krank Açısı) | 34° |
| Sıkıştırma Oranı | 17,5:1 |
| Maksimum Devir (d/d) | 2500 |
| Soğutma Tipi | Su |
| Püskürtme Tipi | Direkt Enjeksiyon |
| Piston Tipi | Çanak Piston |

Efektif gücün ölçülebilmesi için, deney motoru 20 kW'lık elektrikli tip bir dinamometreye bağlanmıştır. Dinamometre kuvvet kolunda 0,1 kg hassasiyetinde "S" tipi yük hücresi kullanılmıştır. Deneysel çalışmalardan önce yük hücresi hassas bir şekilde kalibre edilmiştir. Deneysel çalışmalar tam yük şartlarında ve 1000, 1300, 1600, 1900 ve 2200 d/d olmak üzere 5 farklı motor devrinde gerçekleştirilmiştir. Optimum statik püskürtme avansının tespiti için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Motor performansı açısından en uygun statik püskürtme avansı değerinin üst ölü noktadan önce 34° krank mili açısı olduğu tespit edilmiş ve deneysel çalışmalar bu avans değerinde 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil

4.1.'de deney düzeneğinin şematik şekli görülmektedir (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).



Şekil 4.1. Deney düzeneği (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).

Deneylede motor soğutma suyu giriş-çıkış, egzoz ve ortam sıcaklığının ölçümünde termoelemanlar kullanılmıştır. Ölçülen sıcaklık değerleri 0,1 °C hassasiyete sahip göstergeler üzerinden okunmuştur (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).

Egzoz emisyonlarının ve HFK'nın ölçülmesinde (HC, CO, CO₂, NO_x, O₂, HFK) BOSCH marka BEA modeli gaz analiz cihazı, is emisyonlarının ölçülmesinde BİLSA marka is ölçüm cihazı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ölçüm cihazlarının özellikleri ve hassasiyetleri Tablo 4.2.'de verilmiştir (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).

Yakıt sarfiyatı ölçümü 25 ve 50 cm³'lük cam hazneli hacimsel yakıt ölçüm sistemi ile yapılmıştır. Soğutma sistemi kapalı sistem olup deneylede soğutma suyu çıkış sıcaklığı

70 °C’de tutulmuştur. Hava sarfiyatı ölçümünde orifis plaka – sönümlenme tankı sistemi kullanılmıştır (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).

Tablo 4.2. Deney düzeneğinde kullanılan ölçüm cihazlarının özellikleri (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).

| Ölçülen Parametreler | Birim | Ölçüm aralığı | Ölçüm aleti | Ölçüm hassasiyeti |
|---|------------|---------------|-------------------------------------|----------------------|
| Motor Devri | d/d | 0-9999 | Dijital takometre | 1 d/d |
| Egzoz sıcaklığı | °C | 0-1000 | Ni-Cr-Ni | 1 °C |
| Soğutma suyu giriş-çıkış ve ortam sıcaklığı | °C | 0-999 | Fe-Konst. | 1 °C |
| Yakıt tüketim Zamanı | sn | - | Kronometre | 0,001 sn |
| Fren terazi kuvveti, S tipi yük hücresi | Kg | 0-100 | Elektrikli Dinamometre, Yük hücresi | 0,1 Kg |
| Hava tüketim Miktarı | mmSS | 0-100 | Eğik manometre | 1 mm |
| Karbonmonoksit (CO), % | % hacimsel | % 0-10,0 | BOSCH- BEA | % ± 0,055 |
| Karbondioksit (CO ₂), % | % hacimsel | % 0-20,0 | BOSCH- BEA | % ± 0,055 |
| Hidrokarbon (HC), ppm | ppm | 0-9999 | BOSCH- BEA | Ölçülen değerin %5’i |
| Azotoksit (NO), ppm | ppm | 0-5000 | BOSCH- BEA | Ölçülen değerin %5’i |
| Duman Koyuluğu | % | 0-100 | Bilsa Mod5000 | %1 |

Yapılan deney sonuçları referans alınarak hesaplanan motor performans parametrelerinde %1 ila %1,5 arasında değişen oranlarda belirsizlikler mevcuttur. Sistematik şekilde veya rastgele meydana gelen hatalara göre hesaplanan toplam belirsizlikler Tablo 4.3.’te verilmiştir (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).

Tablo 4.3. Sistematik şekilde veya rastgele meydana gelen hatalara göre hesaplanmış toplam belirsizlikler (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).

| Parametre | Toplam Belirsizlik, % |
|-------------------------------|-----------------------|
| Özgül Yakıt sarfiyatı, gr/kWh | 1,5 |
| Döndürme momenti, Nm | 1,0 |
| Efektif güç, kW | 1,3 |

4.2. Biyodizelin Hazırlanması

Çalışmada transesterifikasyon yöntemi ile ayçiçek yağından elde edilen biyodizel kullanılmıştır. Alkol olarak %99 saflık değerinde metanol, katalizör olarak ise potasyum hidroksit (KOH) kullanılmıştır. Yağ, alkol ve katalizör ağırlıkları 0,001 gr hassasiyete sahip hassas terazi ile ölçülmüştür. Alkol ve katalizör ağırlıkları ölçülerek cam bir kap içerisinde katalizörün alkol içerisinde tamamen çözünmesi sağlanmıştır. Daha sonra ayçiçek yağı istenilen sıcaklık değerine ısıtılmış ve hazırlanan alkol-katalizör karışımı yağın içerisine katılmıştır (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).

Transesterifikasyon reaksiyonlarının gerçekleşebilmesi için karışım, sıcak su banyosu içerisinde 60 dakika boyunca 600 d/d karıştırılmıştır. Daha sonra ester ve gliserinin ayrışması için ayrıştırma kabına alınmış ve ester elde edilmiştir. Elde edilen ester, saf su ile yıkanıp kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Çalışmada kullanılan yakıtların özellikleri Tablo 4.4.'te verilmiştir (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).

Tablo 4.4. Dizel ve biyodizelin özellikleri (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).

| Özellik | Dizel | Biyodizel |
|---|---------|-----------|
| Yoğunluk (kg/m ³) | 825-840 | 880 |
| Gizli Buharlaşma Isısı (kJ/kg) | 250 | - |
| Setan Sayısı | 57 | 46.8 |
| Alt Isıl Değeri (MJ/kg) | 42.6 | 39.5 |
| Kinematik Viskozitesi (40°C) (mm ² /s) | 2.6 | 4.7 |
| Kaynama Noktası (°C) | 180-360 | - |
| Tutuşma Sıcaklığı (°C) | 250 | 125 |

Deneyler tam yük şartlarında dizel, B10 (%10 biyodizel+%90 dizel), B20 (%20 biyodizel+%80 dizel) ve B50 (%50 biyodizel+%50 dizel) yakıtları ile 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan biyodizel+dizel karışım yakıtlar kütle oranlarında hazırlanmıştır. Yakıtların ağırlıkları 0,01 gr hassasiyetinde ölçülmüştür.

4.3. Dietil Eterin Hazırlanması

Dizel yakıtı ve farklı oranlarda DEE karışımları için deneyler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve ortalama değerler kullanılmıştır. Çalışmada, saf dizel yakıtı ve %3, %5 ve %7 kütleli oranlarda DEE-Dizel karışımları kullanılmıştır. DEE-Dizel karışımların hazırlanması 0,01gr hassasiyetinde hassas terazi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan dietil eterin özellikleri Tablo 4.5.'te verilmiştir (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 710-718).

Tablo 4.5. Dizel ve dietil eterin özellikleri (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 710-718).

| Özellik | Dizel | Dietil Eter |
|---|-------------|--------------|
| Kimyasal Formül | C_xH_y | $C_4H_{10}O$ |
| Alt Isıl Değeri (MJ/kg) | 43 | 33,9 |
| Yoğunluk (kg/m^3) | 0,82 | 0,71 |
| Setan Sayısı | 45-55 | >125 |
| Kinematik Viskozitesi (40°C) (mm^2/s) | 2,6 (40° C) | 0,23 (20° C) |
| Stokiyometrik Hava/Yakıt Oranı | 14,6 | 11,1 |
| Oksijen İçeriği (%) | 0 | 21 |
| Gizli Buharlaşma Isısı (kJ/kg) | 250 | 356 |
| Moleküler Ağırlık | 170 | 74 |

Motor standart değerlerinin elde edilebilmesi için deneysel çalışmalar ilk olarak dizel yakıtı ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra farklı DEE-Dizel karışımları motorda yakıt olarak kullanılarak deneyler tekrarlanmıştır. Çalışmalar sonucunda elde edilen veriler standart motor verileriyle karşılaştırılarak motor performans parametrelerindeki ve emisyon karakteristiklerindeki değişimler tespit edilmiştir (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 710-718).

4.4. Stabilize Emülsifiye Yakıtın Hazırlanması

Çalışmada kullanılan stabilize emülsifiye yakıtlar kütleli oranlarda hazırlanmıştır. Su, dizel ve yüzey aktif madde ağırlıkları 0,01 gr hassasiyetinde ölçülmüştür. Karışımın

hazırlanmasında elektrikli tip mekanik karıştırıcı kullanılmıştır ve karışım 60 dakika boyunca 1600 d/d hızda karıştırılmıştır (Tunca, Ayhan, Çay ve Cesur, 2017, s. 41-48).

Deneyle tam yük şartlarında dizel, S5 (%5 su+%2 sürfektant+%93 dizel), S10 (%10 su+%2 sürfektant+%88 dizel) ve S15 (%15 su+%2 sürfektant+%83 dizel) yakıtları ile 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

4.5. Optimum Emülsifiye Yakıtın Hazırlanması

Farklı yakıtlarla yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda motor performansı ve emisyonları dikkate alınarak hazırlanan optimum emülsifiye yakıtın içeriğinde kütleli olarak %20 biyodizel, %5 DEE, %10 musluk suyu, %2 sürfektant madde ve %63 dizel yakıt bulunmaktadır. Hazırlanan optimum emülsifiye yakıtın toplam kütleli %2'sini oluşturan sürfektant (yüzey aktif) madde olarak Span 80 kullanılmıştır. Hazırlanan karışım sıcak su banyosu içerisinde homojenize olana kadar elektrikli tip bir mekanik karıştırıcı ile 1600 d/d hızda karıştırılmıştır. Optimum emülsifiye yakıtın hazırlanmasında kullanılan tüm sıvıların ağırlıkları 0,01 gr hassasiyetle ölçülmüştür. Dizel, biyodizel, dietil eter ve optimum emülsifiye yakıtın özellikleri Tablo 4.6.'da verilmiştir (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 841-854).

Tablo 4.6. Dizel, biyodizel, dietil eter ve optimum emülsifiye yakıtın özellikleri (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 841-854).

| Özellikler | Dizel (C ₁₅ H _{25,5}) | Biyodizel (C ₁₉ H ₃₅ O ₂) | DEE (C ₄ H ₁₀ O) | OEY (C _{13,9} H _{24,4} O _{0,6}) |
|--|---|--|---|--|
| Yoğunluk (kg/m ³) | 820-845 | 880 | 710 | 850 |
| Gizli buharlaşma ısı (kJ/kg) | 250 | - | 350 | - |
| Setan sayısı | 57 | 46,8 | >125 | 51 |
| Alt ısı değeri (MJ/kg) | 42,6 | 39,5 | 33,9 | 40 |
| Kinematik viskozite ([40 °C] mm ² /s) | 2-4,5 | 4,7 | 0,23 | 2-3 |
| Kaynama noktası (°C) | 180-360 | - | 35 | - |
| Tutuşma sıcaklığı (°C) | 250 | 125 | 160 | - |

BÖLÜM 5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Motor Performans Parametreleri ve Emisyon Karakteristikleri

Deneyleerde elde edilen verilere göre hesaplanan motor performans parametreleri sırasıyla biyodizel, dietil eter, stabilize emülsifiye yakıt ve optimum emülsifiye yakıt için aşağıdaki başlıklarda verilmiştir. Motor performans parametreleri olan döndürme momenti, efektif güç, ÖYS ve efektif verim deneyleerde kullanılan her yakıt için karşılaştırmalı olarak grafikler halinde verilmiştir.

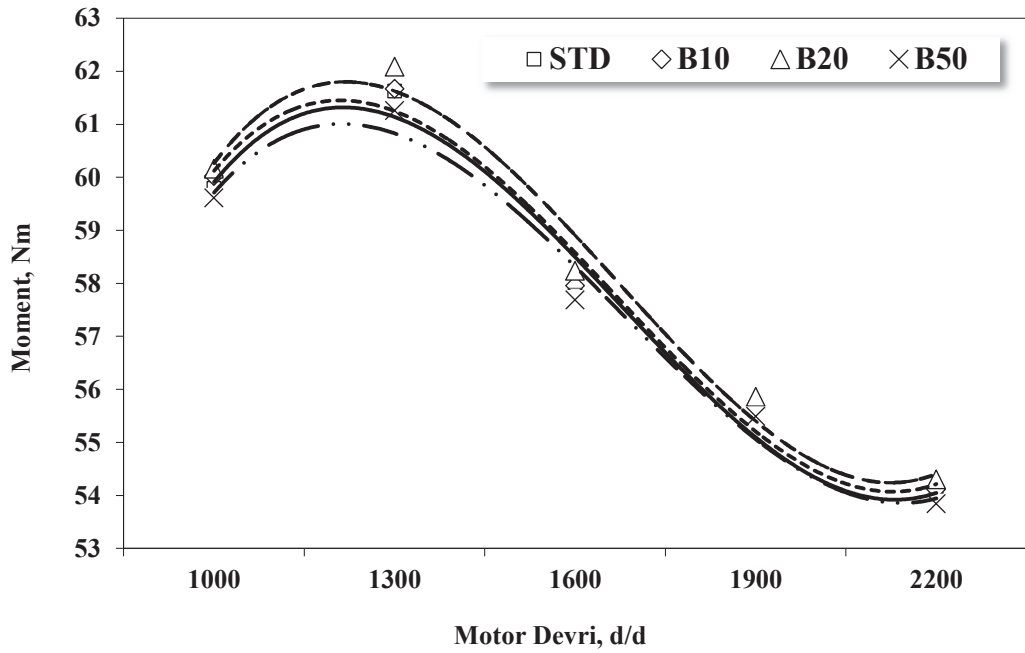
Ölçülen egzoz emisyonları sırasıyla biyodizel, dietil eter, stabilize emülsifiye yakıt ve optimum emülsifiye yakıt için aşağıdaki başlıklarda sunulmuştur. Egzoz emisyonları olarak NO, is, CO, CO₂, O₂ ve HC değerleri; ayrıca HFK ve egzoz sıcaklığı değerleri deneyleerde kullanılan her yakıt için karşılaştırmalı olarak grafikler halinde verilmiştir.

5.1.1. Biyodizelin motor performans parametrelerine etkileri

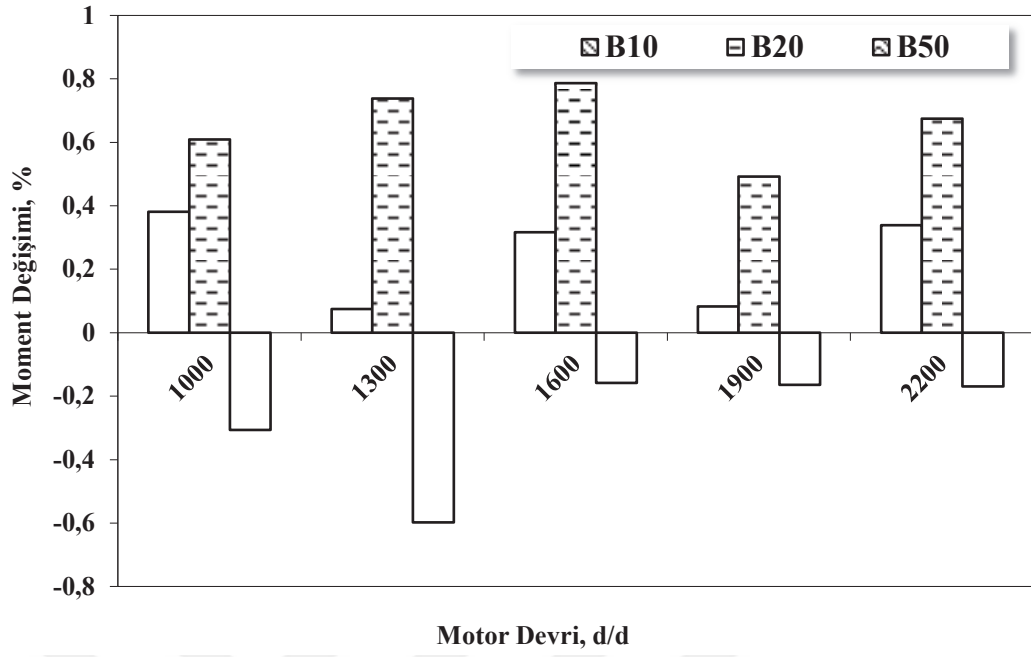
Tam yük şartlarında farklı motor devirlerinde dizel, B10, B20 ve B50 kullanılarak elde edilen motor döndürme momenti değerlerinde meydana gelen değişimler standart motor verilerine kıyasla Şekil 5.1. ve Şekil 5.2.'de; motor efektif gücü değerlerinde meydana gelen değişimler standart motor verilerine kıyasla Şekil 5.3. ve Şekil 5.4.'te verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi B10 ve B20 kullanımında motor döndürme momentinde ve motor efektif gücünde standart duruma göre artış meydana gelirken B50 kullanımında azalış olduğu tespit edilmiştir (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).

Standart durumda 1300 d/d motor devrinde 61,6 Nm olarak ölçülen motor tork değeri; B10 kullanımında 61,7 Nm, B20 kullanımında 62,1 Nm ve B50 kullanımında ise 61,2

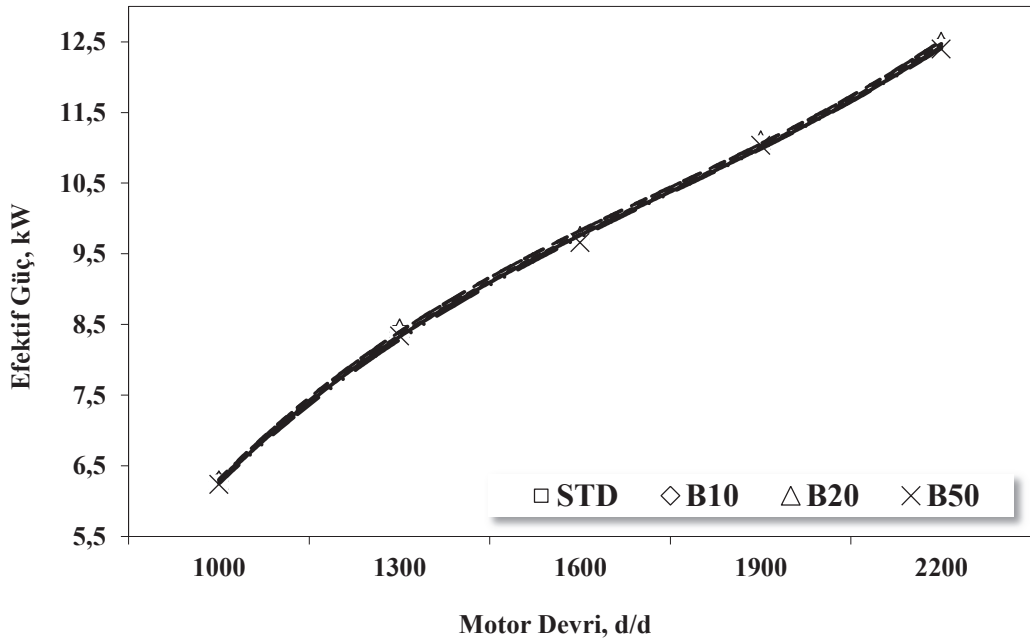
Nm olarak ölçülmüştür. Standart durumda 2200 d/d motor hızında maksimum 12,42 kW olarak ölçülen efektif güç değeri; B10 kullanımında 12,45 kW, B20 kullanımında 12,5 kW ve B50 kullanımında ise 12,4 kW olarak ölçülmüştür. B10 ve B20 kullanımında standart duruma göre motor torkunda ve efektif gücünde meydana gelen artış, biyodizelin oksijence zengin bir kimyasal yapıya sahip olmasına bağlı olarak yanma verimini iyileştirmesinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte biyodizelin yoğunluğunun dizele göre yüksek olmasının, bir çevrimde silindir içerisine gönderilen toplam kütlelesel enerji miktarının artmasına vesile olduğu, bunun da motor torkunun ve efektif gücün artmasını sağladığı düşünülmektedir. Fakat karışımın içeriğindeki biyodizel arttıkça (B50) performans düşmüştür. Çünkü biyodizelin ısı değeri dizele göre düşüktür. Dolayısıyla B10'da ve B20'de artış sağlayan unsurların etkisi B50'de ısı değerinin fazla düşmesinden dolayı etkisini yitirmiştir (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).



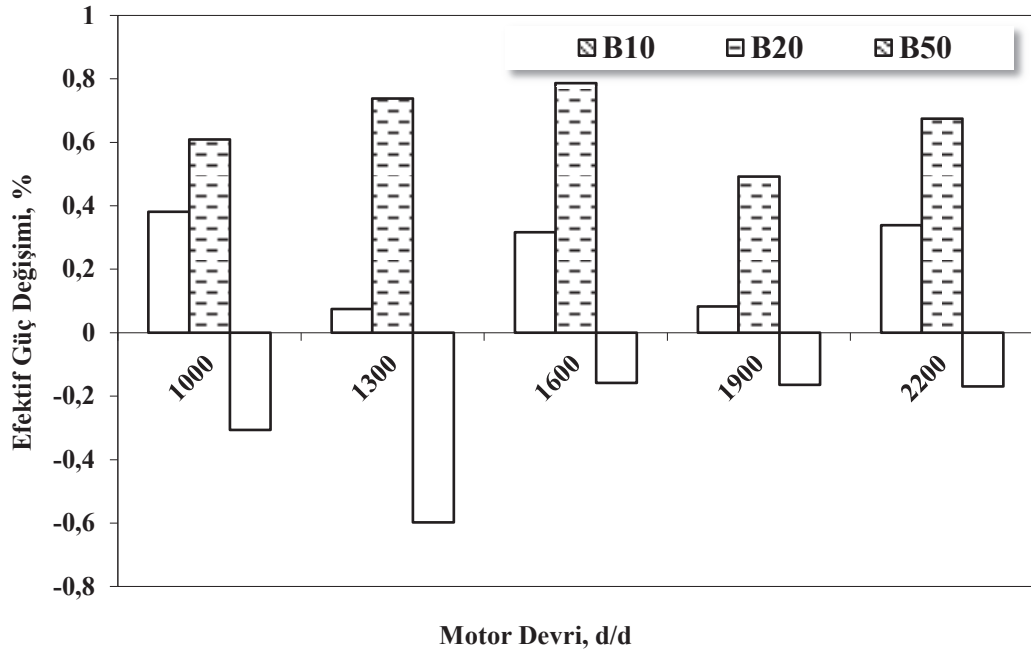
Şekil 5.1. Motor döndürme momenti değişimleri.



Şekil 5.2. Motor döndürme momenti oransal değişimleri.

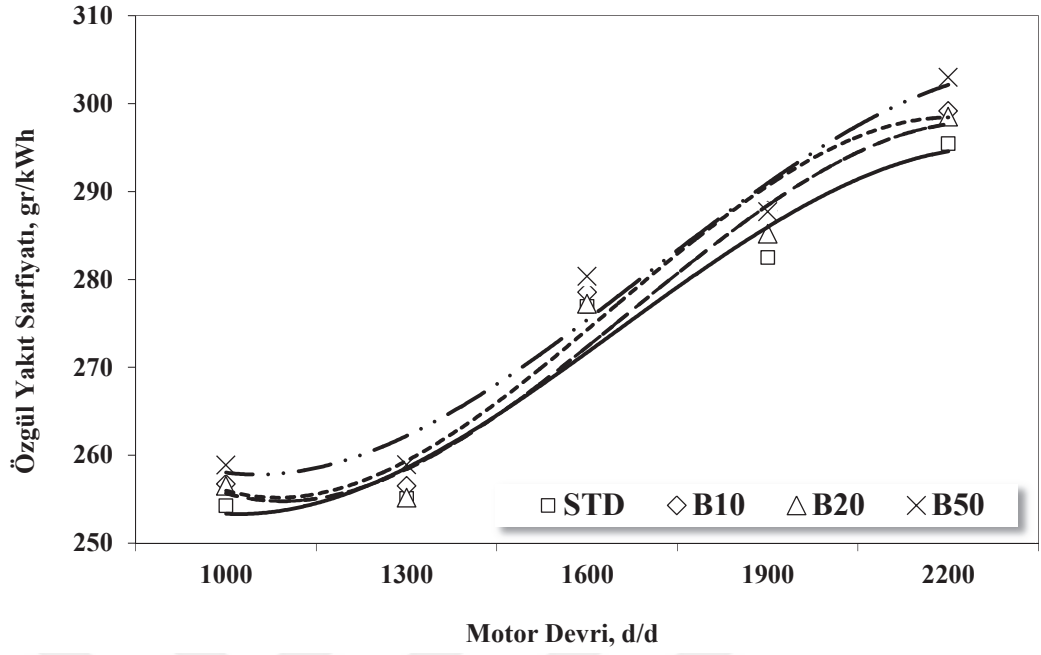


Şekil 5.3. Motor efektif gücü değişimleri.

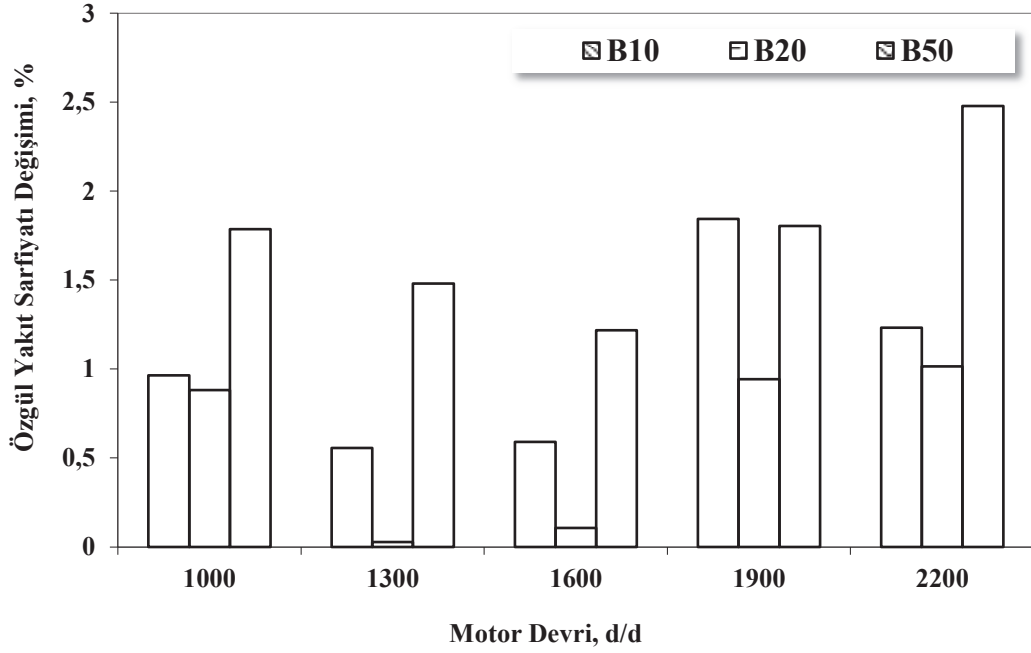


Şekil 5.4. Motor efektif gücü oransal değişimleri.

Dizel, B10, B20 ve B50 karışımlarının kullanılması durumunda elde edilen ÖYS değişimleri Şekil 5.5. ve Şekil 5.6.'da verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi motorda biyodizel karışımları kullanılması durumunda standart motor verilerine göre tüm karışım oranlarında ve test devirlerinde ÖYS'de artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Standart durumda 254,2 gr/kWh olarak hesaplanan ÖYS, B10 kullanımında 256,7 gr/kWh, B20 kullanımında 256,5 gr/kWh, B50 kullanımında ise 258,8 gr/kWh olarak hesaplanmıştır. Diğer karışım oranlarına göre B20 kullanımında ÖYS'de daha az artış miktarı tespit edilmiştir. Biyodizel karışımları kullanımında standart duruma göre en yüksek değişim oranı %1,7 olarak hesaplanmıştır. Dizele kıyasla biyodizelin daha yoğun olması ve daha düşük ısı değere sahip olması nedeni ile bir çevrimde pompa plancer üzerindeki hacimden silindire enjekte edilen kütleli yakıt miktarı artmakta dolayısıyla ÖYS'de artmaktadır (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).



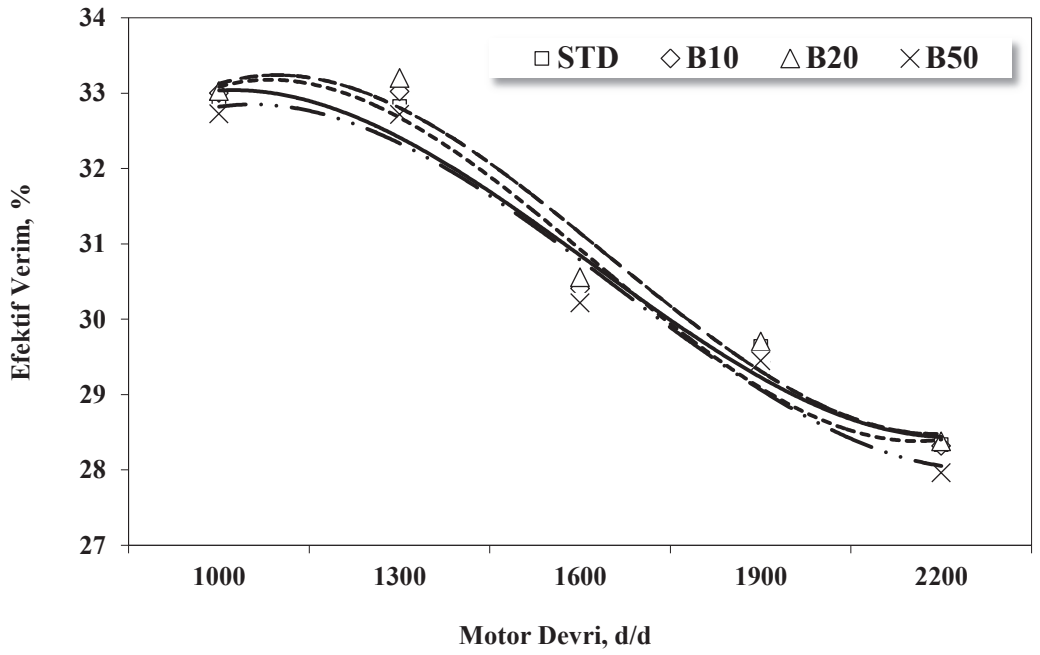
Şekil 5.5. Özgül yakıt sarfiyatı değişimleri.



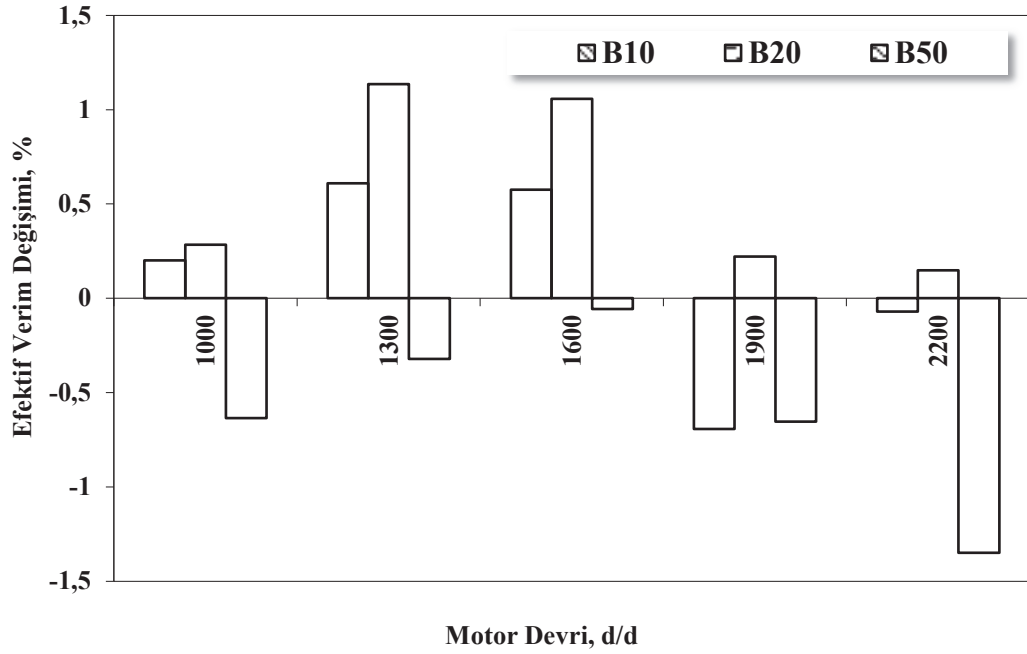
Şekil 5.6. Özgül yakıt sarfiyatı oransal değişimleri.

Şekil 5.7. ve Şekil 5.8.'de tam yük şartlarında, farklı motor devirlerinde dizel, B10, B20 ve B50 kullanılarak elde edilen efektif verim değerleri verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi motorda B20 kullanıldığında bütün motor devirlerinde standart

duruma kıyasla efektif verim değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. En yüksek değişim oranı %1,3 olarak hesaplanmıştır. B10 kullanımında düşük motor devirlerinde standart duruma göre efektif verim değerlerinde artış, yüksek motor devirlerinde ise standart duruma kıyasla azalış meydana geldiği tespit edilmiştir. B50 kullanımında ise tüm motor devirlerinde standart duruma kıyasla efektif verimde azalış olduğu tespit edilmiştir (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).



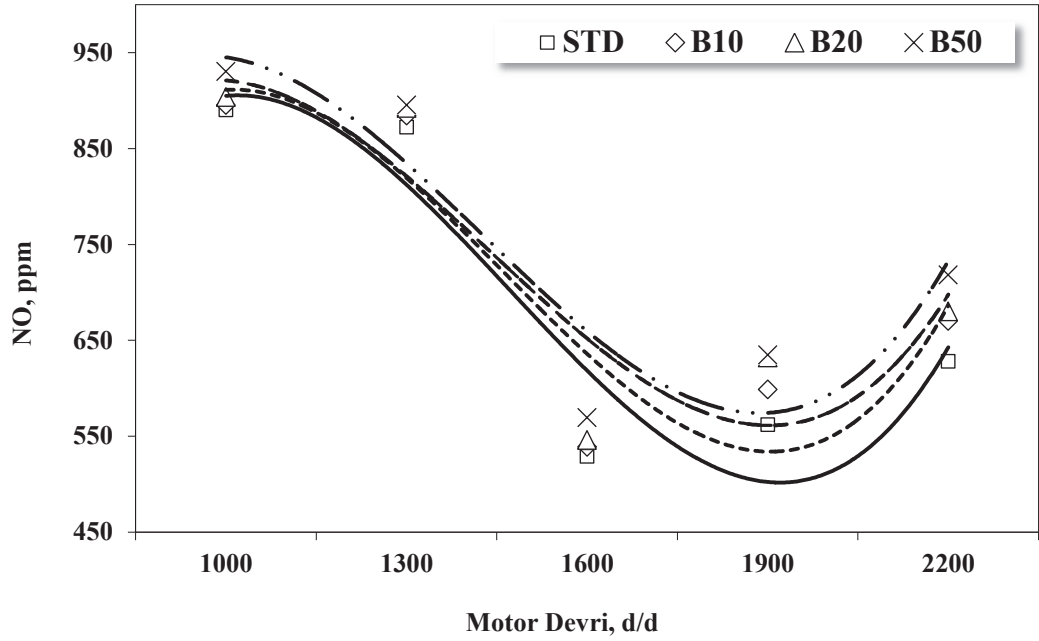
Şekil 5.7. Motor efektif verimi değişimleri.



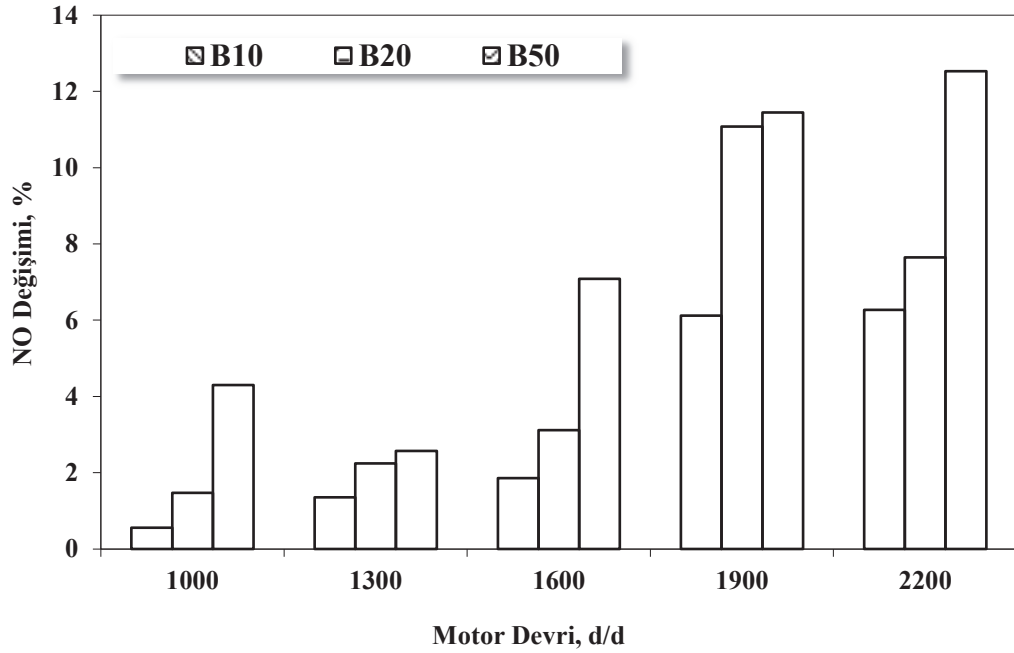
Şekil 5.8. Motor efektif verimi oransal değişimleri.

5.1.2. Biyodizelin emisyon karakteristiklerine etkileri

Motorda tam yük şartlarında ve farklı motor hızlarında dizel, B10, B20 ve B50 yakıtları kullanılarak ölçülen NO emisyonu değerlerinde meydana gelen değişim oranları Şekil 5.9. ve Şekil 5.10.'da verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, motorda biyodizel karışimli yakıtlar kullanıldığında standart duruma kıyasla NO emisyonlarında artış meydana geldiği görülmektedir. Karışım içerisindeki biyodizel oranı arttıkça NO emisyonlarındaki artış oranı da yükselmiştir. En yüksek artış oranı %11'le B50 kullanımında ölçülmüştür. Silindir içerisinde meydana gelen yüksek sıcaklık değerleri, NO emisyonlarının oluşmasını etkileyen ana mekanizmalardan biridir. Diğer mekanizma ise hava/yakıt oranıdır. Biyodizel kullanımında oksijen içeriğine bağlı olarak yanma verimi artmakta ve silindir içi ulaşılan en yüksek sıcaklık değerlerinde artış meydana gelmektedir. Aynı zamanda standart duruma göre motor biraz daha fakir karışım bölgesinde çalıştığından NO emisyonu oluşum oranı artmaktadır (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).



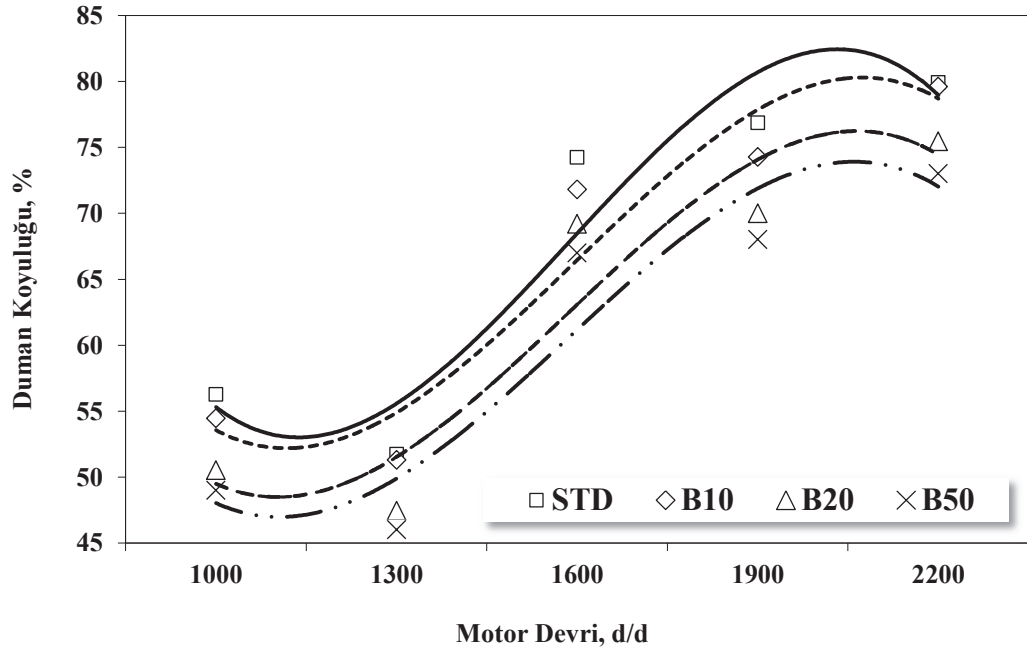
Şekil 5.9. NO emisyonu değışimleri.



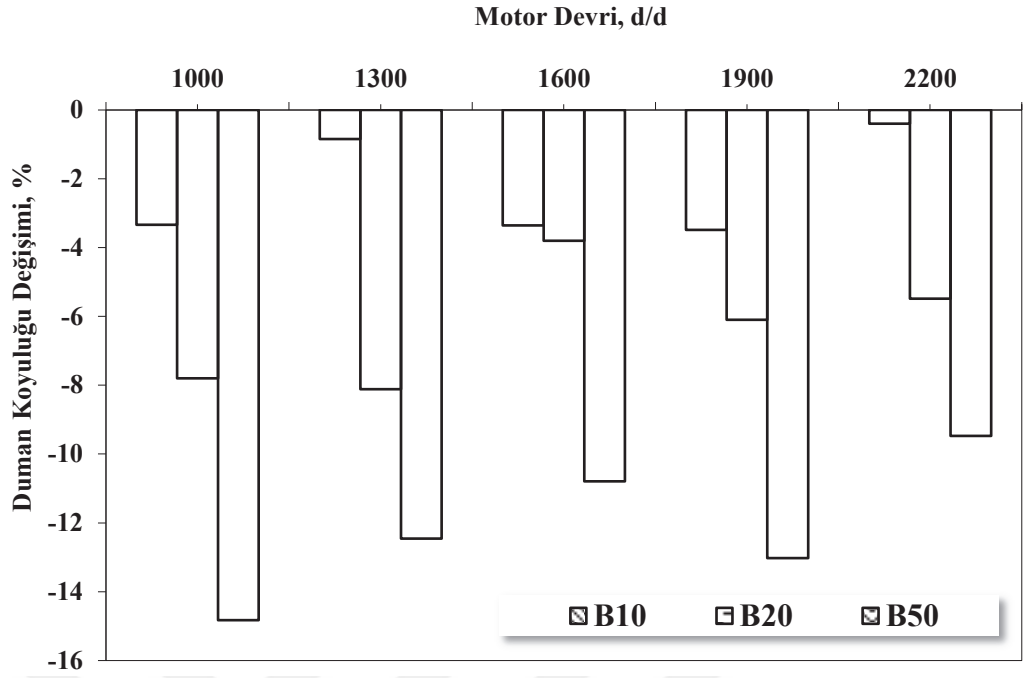
Şekil 5.10. NO emisyonu oransal değışimleri.

Şekil 5.11. ve Şekil 5.12.'de dizel, B10, B20 ve B50 kullanılarak elde edilen is emisyonu değeriindeki değışimler görülmektedir. Dizel motorlarının yüksek HFK değeriinde çalışmasına rağmen is emisyonlarının oluşmasının nedeni, silindir

içerisinde yakıt/hava karışımının yeterince karışamaması ve lokal zengin karışım bölgelerinin oluşmasıdır. Ayrıca is emisyonlarının oluşumunu etkileyen diğer bir etken de yanma için yeterli zamanın kalmamasıdır. Şekiller incelendiğinde oksijen içeriği yüksek olan biyodizel karışımları kullanıldığında standart duruma kıyasla is emisyonlarında azalmaların meydana geldiği görülmektedir. Karışımın içeriğindeki biyodizel oranı arttıkça standart duruma kıyasla is emisyonlarının da azalış miktarı artmıştır. En yüksek azalış miktarı B50 kullanımında elde edilmiş ve standart duruma kıyasla %14'lere varan oranlarda azalış tespit edilmiştir. En yüksek motor döndürme momentinin elde edildiği B20 kullanımında ise en yüksek azalış oranı %8 mertebelerinde olmuştur (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).

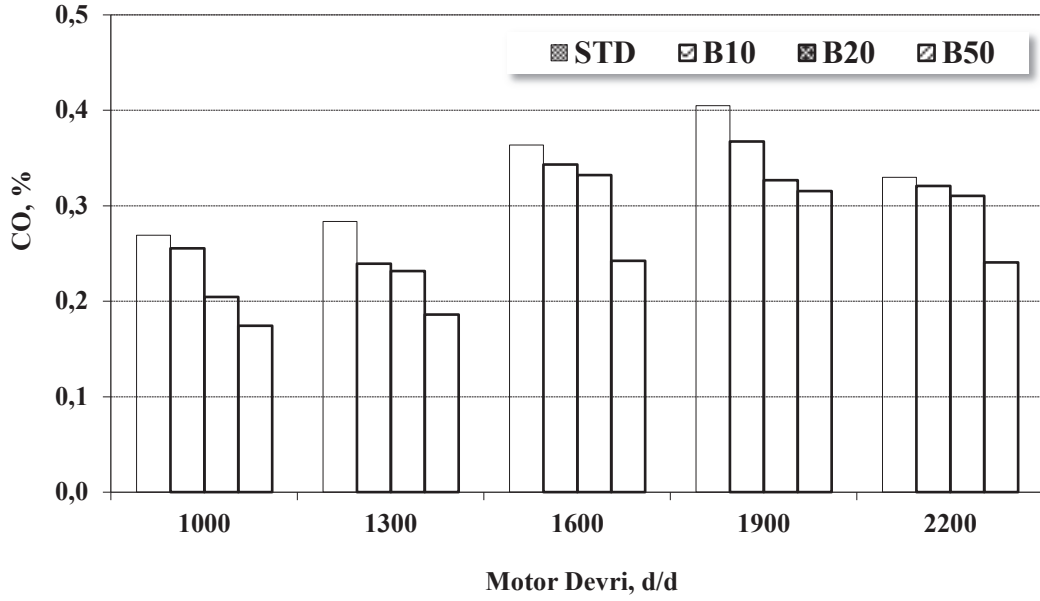


Şekil 5.11. Duman koyuluğu (is) emisyonu değişimleri.



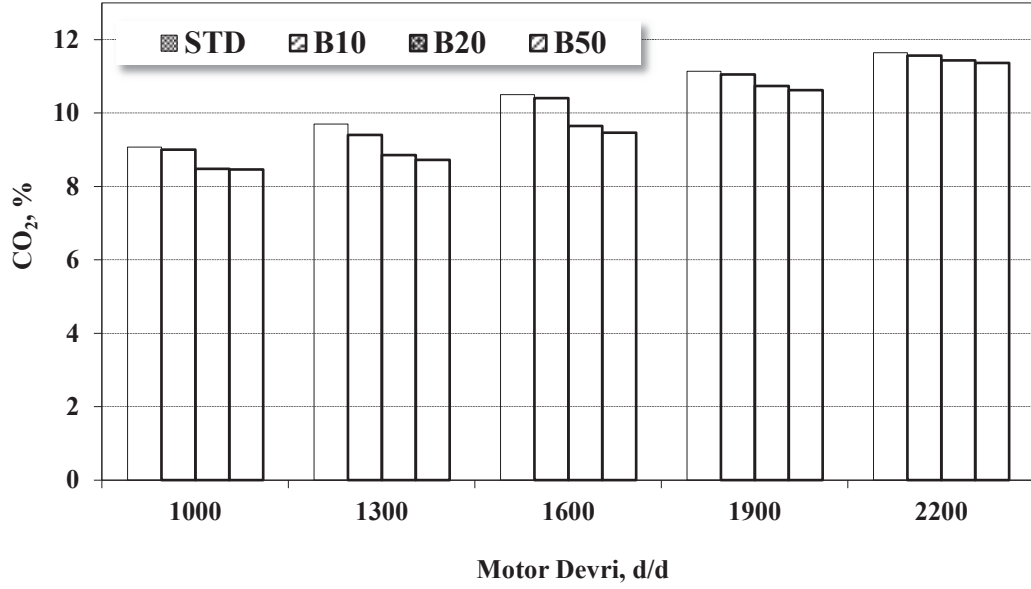
Şekil 5.12. Duman koyuluğu (is) emisyonu oransal değişimleri.

Şekil 5.13.'te tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde dizel, B10, B20 ve B50 yakıtları kullanılarak ölçülen CO emisyonu değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde tüm motor devirlerinde standart duruma göre diğer yakıtların kullanımında CO emisyonlarında azalış olduğu görülmektedir. Karışım içerisindeki biyodizel oranı arttıkça CO emisyonlarında meydana gelen azalış miktarı da artmıştır. En yüksek azalış B50 kullanımında elde edilmiştir. Kısmi eksik yanma ürünü olan CO emisyonlarının biyodizel karışımları kullanımında azalmasının sebebi biyodizelin oksijen içeriğinden dolayı motorun daha fakir karışımlarla çalışmasıdır (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).



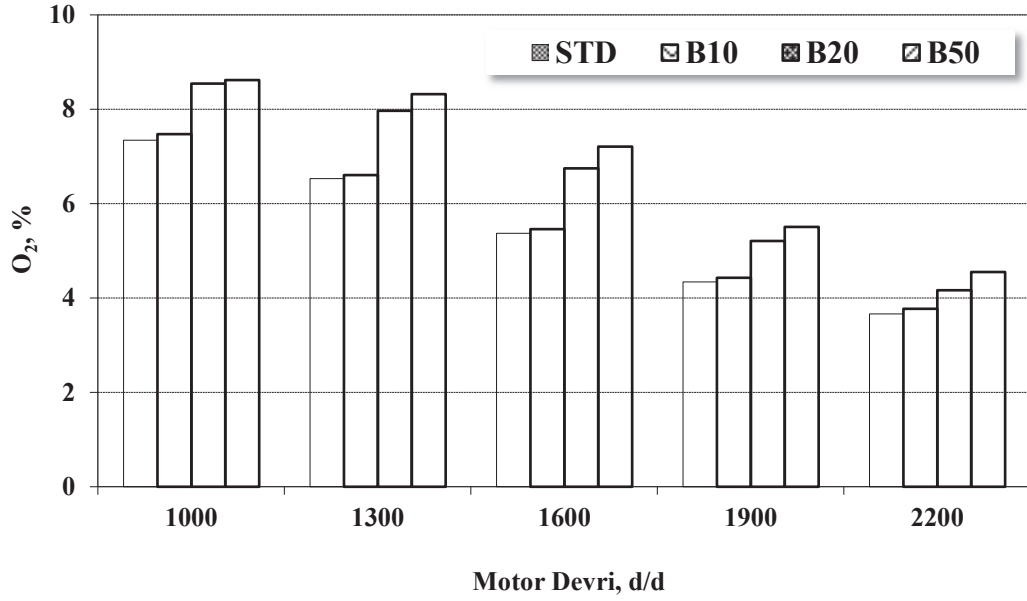
Şekil 5.13. CO emisyonu oransal değişimleri.

Şekil 5.14.'te tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde dizel, B10, B20 ve B50 yakıtları kullanılarak ölçülen CO₂ emisyonu değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde tüm motor devirlerinde standart duruma göre diğer yakıtların kullanımında CO₂ emisyonlarında azalış olduğu görülmektedir. Karışım içerisindeki biyodizel oranı arttıkça CO₂ emisyonlarında meydana gelen azalış miktarı da artmıştır. En yüksek azalış B50 kullanımında elde edilmiştir (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).



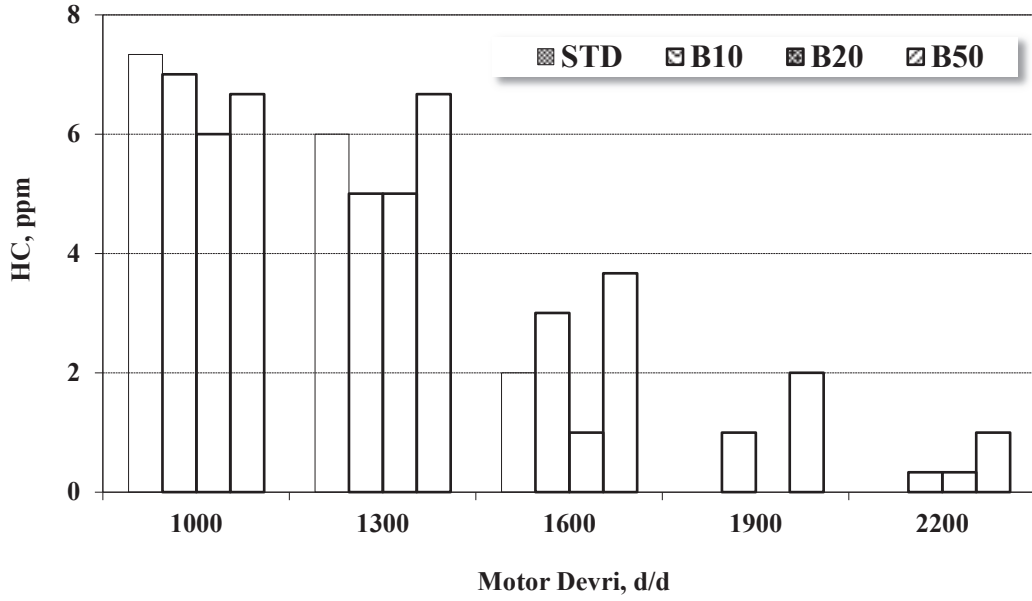
Şekil 5.14. CO₂ emisyonu oransal değişimleri.

Şekil 5.15.'te tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde dizel, B10, B20 ve B50 yakıtları kullanılarak ölçülen O₂ emisyonu değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde tüm motor devirlerinde standart duruma göre diğer yakıtların kullanımında O₂ emisyonlarında artış olduğu görülmektedir. Karışım içerisindeki biyodizel oranı arttıkça O₂ emisyonlarında meydana gelen artış miktarı da artmıştır. En yüksek artış B50 kullanımında elde edilmiştir. Kısmi eksik yanma ürünü olan O₂ emisyonlarının biyodizel karışımları kullanımında artmasının sebebi biyodizelin oksijen içeriği ve dolayısıyla motorun daha fakir karışımlarla çalışmasıdır (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).



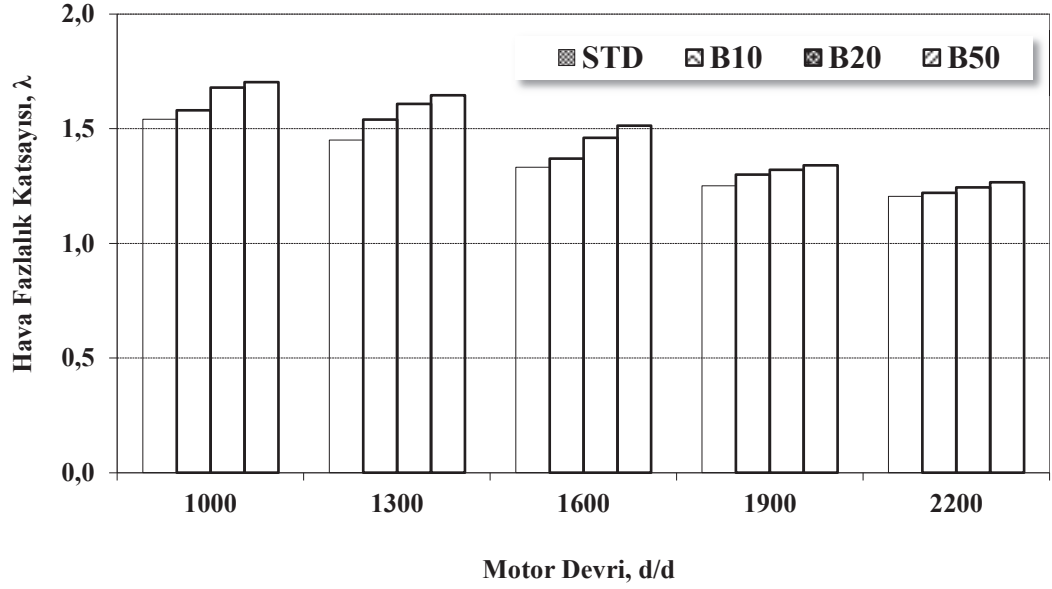
Şekil 5.15. O₂ emisyonu oransal değişimleri.

Motorda dizel, B10, B20 ve B50 yakıtları kullanılarak tam yük şartlarında ve farklı motor hızlarında ölçülen HC emisyonu değerleri Şekil 5.16.'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde standart duruma kıyasla biyodizel karışımları kullanıldığında özellikle düşük motor devirlerinde HC emisyon değerlerinde azalış meydana gelirken yüksek motor devirlerinde ise artış meydana geldiği görülmüştür. Biyodizel karışımlarının kullanılması durumunda setan sayısının standart duruma göre artması HC emisyonlarının azalmasını sağlayacaktır. Ayrıca yanma veriminin artması ve oksijen içeriğinin yükselmesi HC emisyonlarını azaltacaktır (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).



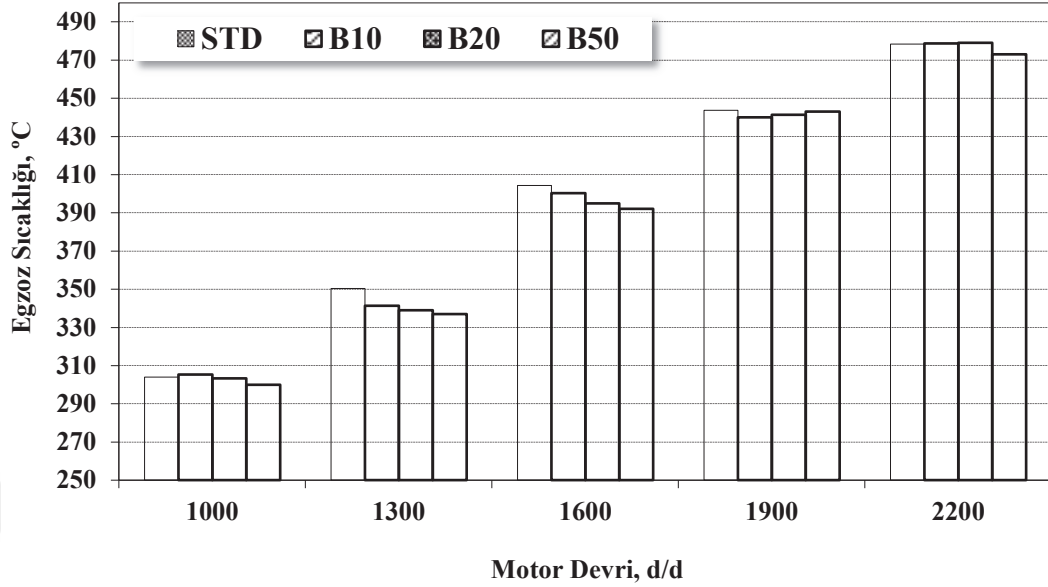
Şekil 5.16. HC emisyonu oransal değişimleri.

Şekil 5.17.'de tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde dizel, B10, B20 ve B50 yakıtları kullanılarak ölçülen HFK değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde tüm motor devirlerinde standart duruma göre diğer yakıtların kullanımında HFK değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Karışım içerisindeki biyodizel oranı arttıkça HFK değerlerinde meydana gelen artış miktarı da artmıştır. En yüksek artış B50 kullanımında elde edilmiştir. HFK değerlerinin biyodizel karışımları kullanımında artmasının sebebi biyodizelin oksijen içeriği ve dolayısıyla motorun daha fakir karışımlarla yani daha yüksek HFK ile çalışmasıdır (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).



Şekil 5.17. Hava fazlalık katsayısı değişimleri.

Şekil 5.18.'de tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde dizel, B10, B20 ve B50 yakıtları kullanılarak ölçülen egzoz sıcaklık değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde 1900 d/d hariç tüm motor devirlerinde standart duruma göre B50 yakıtı kullanımında en düşük egzoz sıcaklık değerlerine ulaşılmıştır. Sadece 1900 d/d motor devrinde en düşük egzoz sıcaklığı değerine B10 yakıtı kullanılarak ulaşılmıştır (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).

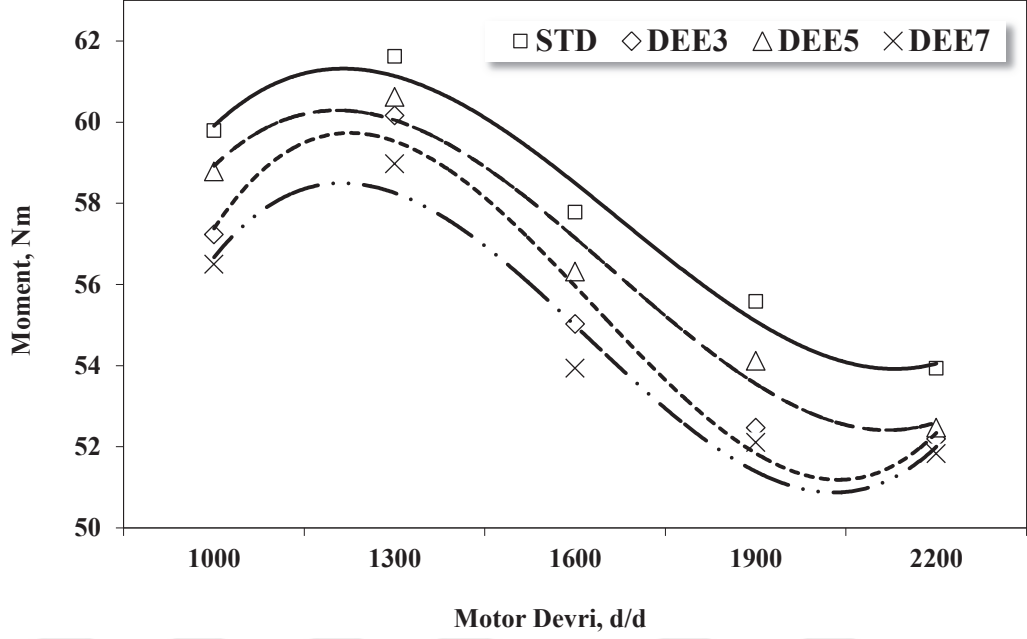


Şekil 5.18. Egzoz sıcaklığı değişimleri.

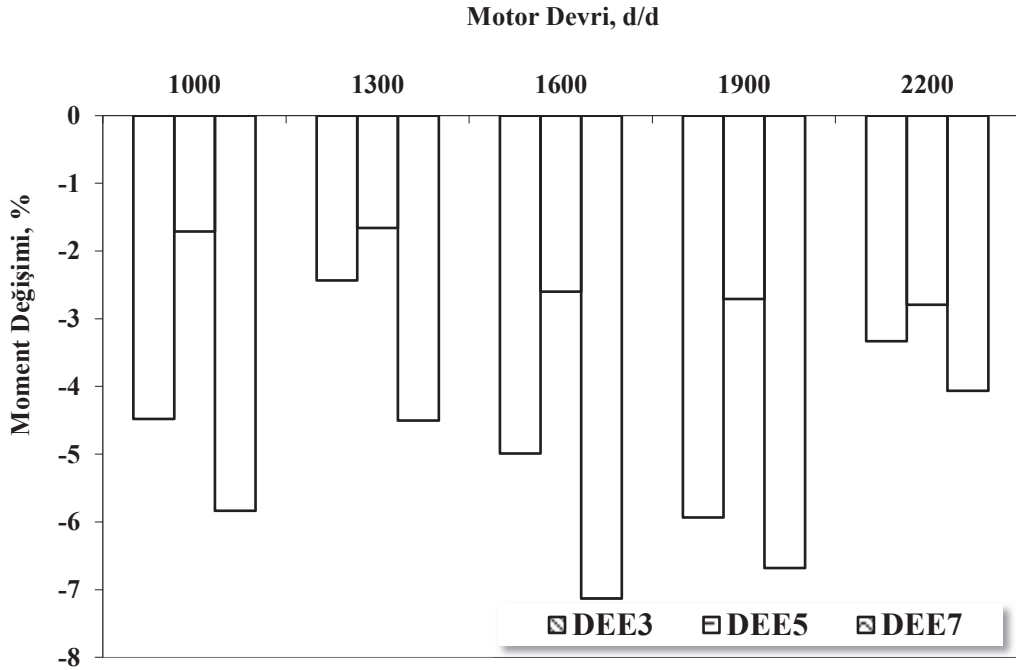
5.1.3. Dietil eterin motor performans parametrelerine etkileri

Yakıt olarak farklı oranlarda DEE-Dizel karışımları kullanılarak elde edilen motor döndürme momenti değerlerinde meydana gelen değişimler standart motor verilerine kıyasla sırasıyla Şekil 5.19. ve Şekil 5.20.'de; motor efektif gücü değerlerinde meydana gelen değişimler standart motor verilerine kıyasla sırasıyla Şekil 5.21. ve Şekil 5.22.'de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi motorda DEE-Dizel karışımları kullanıldığında tüm karışım oranlarında motor döndürme momentinde ve efektif gücünde standart motor verilerine göre azalış olduğu görülmektedir. DEE5 kullanımında DEE3 ve DEE7 kullanımına göre azalış miktarının daha düşük olduğu görülmektedir. Standart durumda tam yük şartlarında en yüksek motor döndürme momentinin elde edildiği 1300 d/d motor devrinde 61,6 Nm ölçülen döndürme momenti değeri, DEE5 kullanımında aynı motor devrinde 60,6 Nm olarak ölçülmüştür. Döndürme momentinde bu şartlarda meydana gelen değişim %1,65 olmuştur. En yüksek gücün elde edildiği 2200 d/d motor devrinde standart durumda efektif güç 12,4 kW ölçülürken DEE5 karışımı ile 12,1 kW olarak ölçülmüştür. Bu şartlarda standart duruma göre meydana gelen değişim %2,7 olarak hesaplanmıştır. Döndürme momentinde ve güçte meydana gelen azalma değerinin DEE'in ısıl değerinin dizele

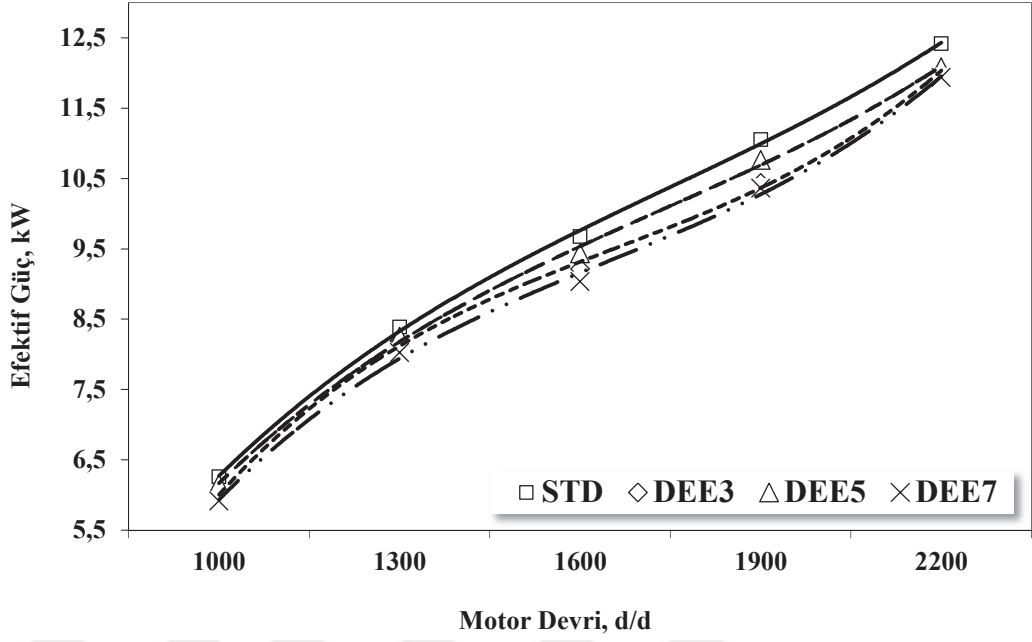
göre daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca DEE7 kullanımında motorda vuruntu olduğu gözlemlenmiştir (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 710-718).



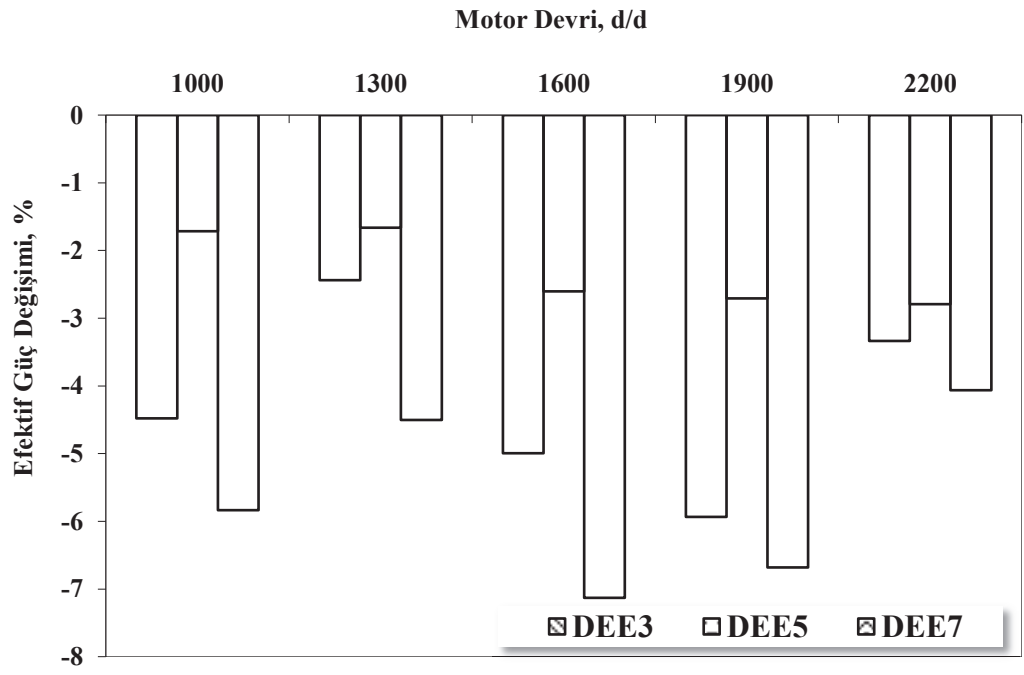
Şekil 5.19. Motor döndürme momenti değişimleri.



Şekil 5.20. Motor döndürme momenti oransal değişimleri.



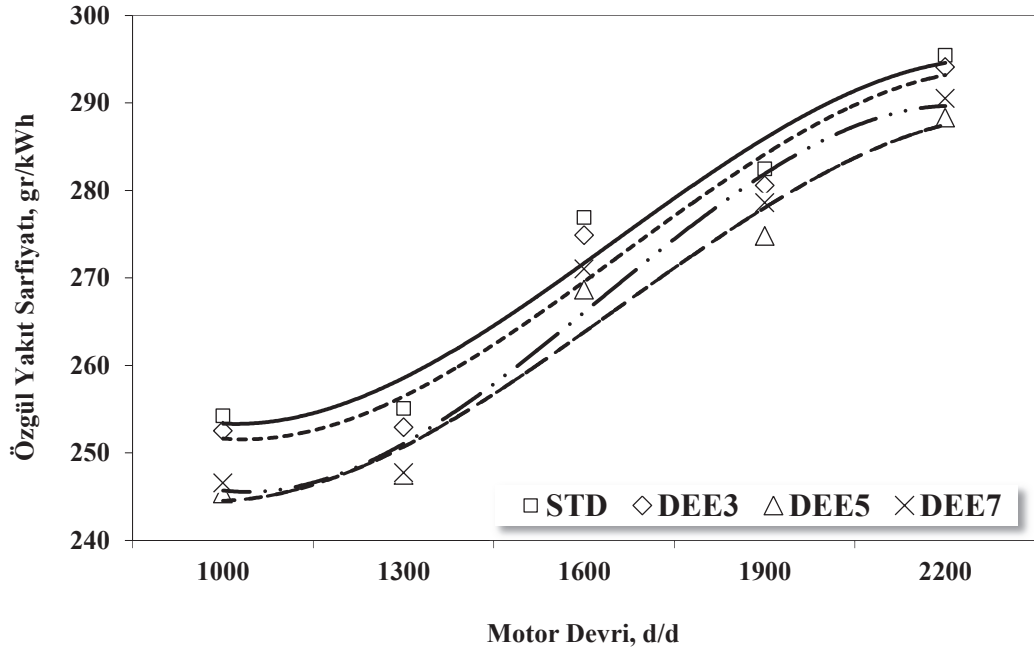
Şekil 5.21. Motor efektif gücü değişimleri.



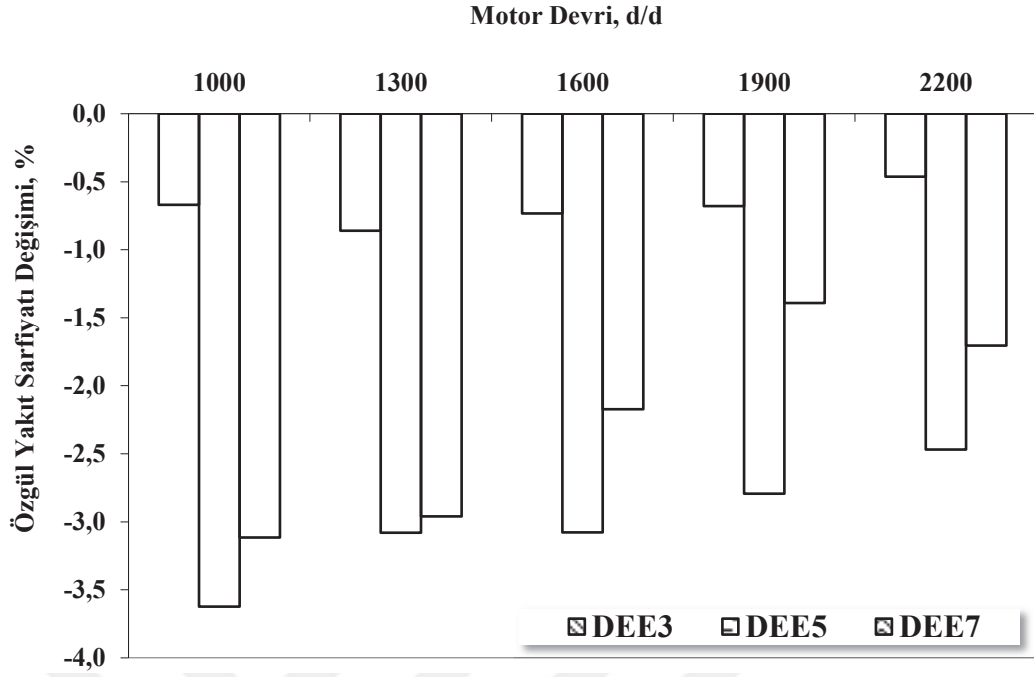
Şekil 5.22. Motor efektif gücü oransal değişimleri.

Motorda dizel ve DEE karışımlarının kullanılması durumunda tam yük şartlarında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen motor ÖYS değişimleri Şekil 5.23. ve Şekil 5.24.'te verilmiştir. ÖYS, kullanılan yakıt oranları ve ısıl değerler dikkate

alınarak hesaplanmıştır. Şekiller incelendiğinde motorda DEE karışımları kullanıldığında ÖYS’de standart motor verilerine göre azalış meydana geldiği görülmektedir. DEE karışımlarının kullanılmasıyla motor gücünde azalma olmasına karşılık ÖYS’de meydana gelen azalma; kullanılan yakıtın, ısıl değeri düşük olmasına rağmen oksijen içeriğinin yüksek olması dolayısıyla motorun daha fakir karışımlarla çalışmasını sağlamış olması, şeklinde açıklanabilir. ÖYS hesaplamasında DEE’in yoğunluğunun düşük olması toplam kütleli yakıt tüketiminin azalmasına neden olmaktadır. ÖYS’deki en yüksek azalma miktarı DEE5 ile elde edilmiştir. Bu oranda en yüksek azalma miktarı 1600 d/d motor hızında %3 olarak hesaplanmıştır (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 710-718).

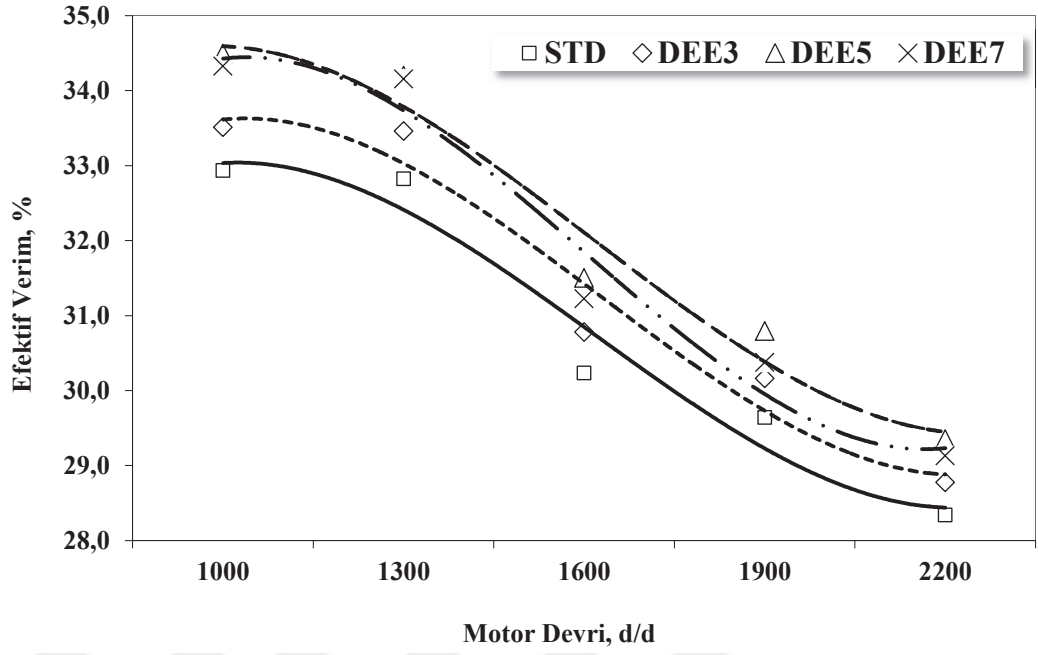


Şekil 5.23. Özgül yakıt sarfıyatı değişimleri.

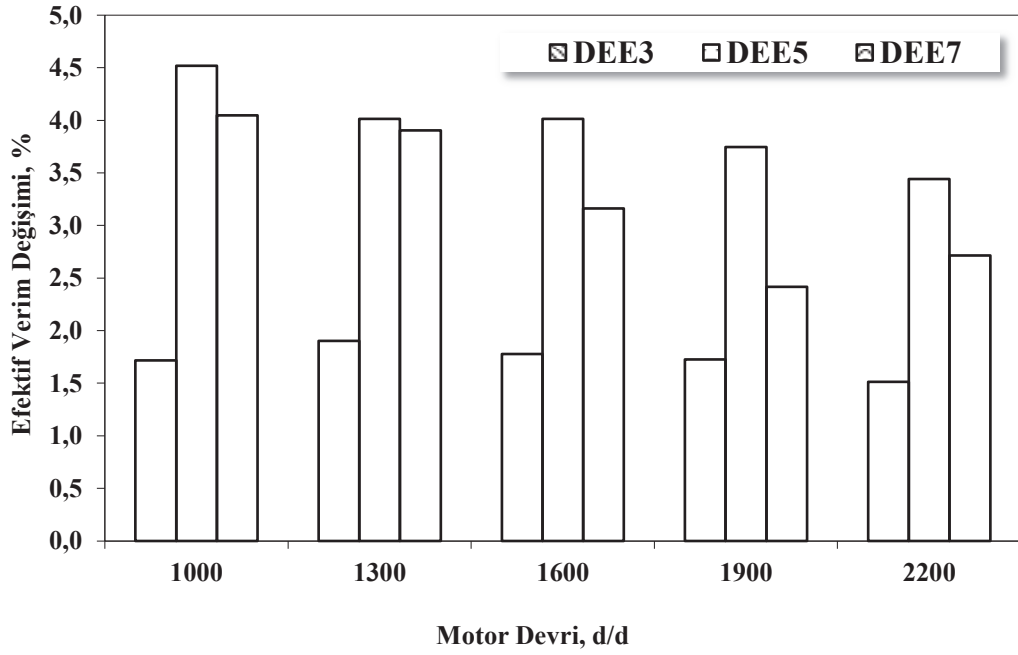


Şekil 5.24. Özgül yakıt sarfiyatı oransal değişimleri.

Şekil 5.25. ve Şekil 5.26.'da tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde dizel yakıtı ve 3 farklı DEE karışımları kullanımıyla elde edilen motor efektif verim değişim değerleri verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi motorda yakıt olarak DEE karışımları kullanıldığında tüm motor devirlerinde efektif verimde artış meydana geldiği görülmektedir. ÖYS'nin azalmasına neden olan etkenler efektif verimin artmasına neden olmuştur (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 710-718).



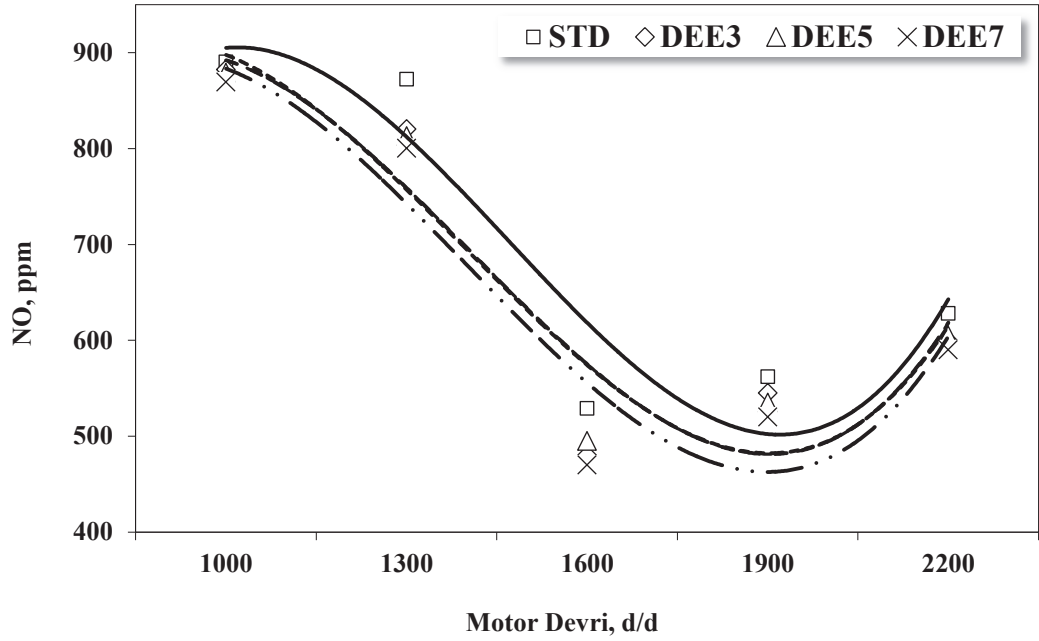
Şekil 5.25. Motor efektif verimi değişimleri.



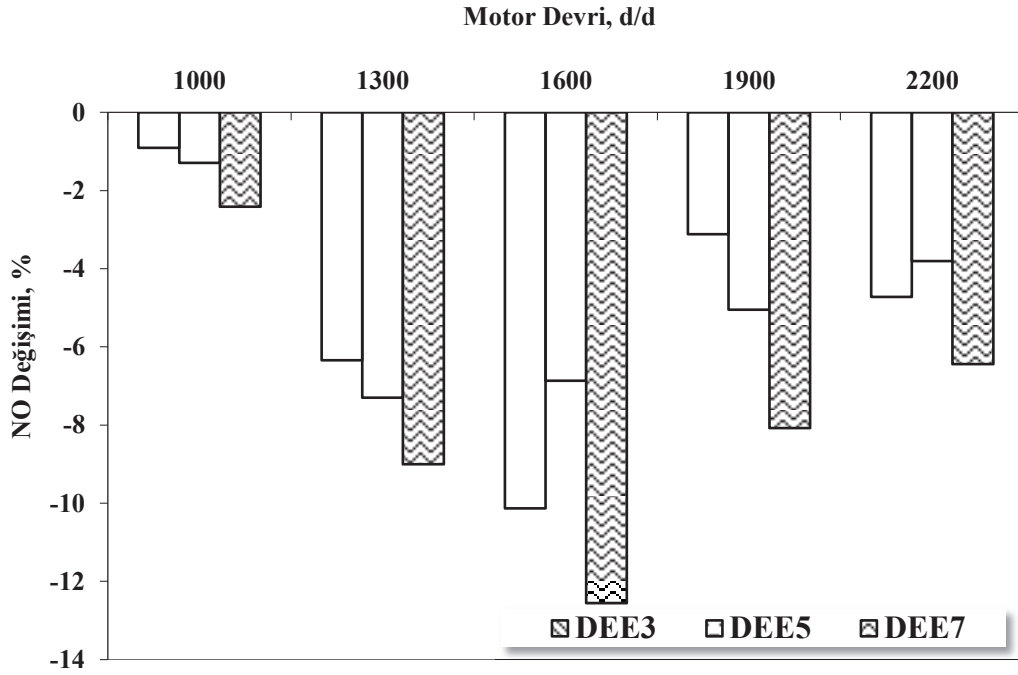
Şekil 5.26. Motor efektif verimi oransal değişimleri.

5.1.4. Dietil eterin emisyon karakteristiklerine etkileri

Motorda dizel ve farklı oranlarda DEE-Dizel karışımları kullanılarak elde edilen NO emisyonlarındaki değişimler Şekil 5.27. ve Şekil 5.28.'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde DEE karışımları kullanımında standart duruma göre motordan salınan NO emisyonu değerinde azalış meydana geldiği görülmektedir. En yüksek döndürme momentinin elde edildiği 1300 d/d motor devrinde standart durumda 872 ppm olarak ölçülen NO değeri, DEE3'te 820 ppm, DEE5'te 813 ppm, DEE7'de ise 800 ppm olarak ölçülmüştür. Çalışmada kullanılan DEE %99,5 saflık değerindedir. NO emisyonlarını tetikleyen ana mekanizma silindir içerisinde ulaşılan yüksek sıcaklıklardır. Kullanılan DEE'nin saflık derecesi dikkate alınarak termodinamiğin birinci yasasına göre adyabatik alev sıcaklıkları hesaplandığında; dizel yakıt kullanımında 2102 K olarak hesaplanan sıcaklık değeri, DEE5 kullanıldığında 2100 K olarak hesaplanmıştır. Sıcaklık değerindeki azalış miktarının NO emisyonlarının azalmasına neden olduğu düşünülmektedir (Ayhan, 2016, s. 463-471; Ayhan ve Tunca, 2018, s. 710-718). Rakopoulos ve diğerleri (2012, s. 214-224), DEE karışımlarıyla yaptıkları çalışmada, DEE karışımları kullanıldığında silindir içi sıcaklığının azaldığını ve buna bağlı olarak NO_x emisyonlarında azalış meydana geldiğini vurgulamaktadırlar. Diğer taraftan dizel yakıtın gizli buharlaşma ısısı 250 kJ/Kg iken DEE'nin 356 kJ/Kg'dir. Bu da DEE karışımları kullanılması durumunda silindir içi sıcaklığının düşeceğinin bir göstergesidir. Silindir içerisinde NO emisyonunu etkileyen ikinci etken ise HFK'dır. HFK stokiometrik karışımdan biraz fakir karışım bölgesine doğru geldiğinde dizel motorlarından en yüksek NO salınırken daha fakir karışım bölgelerinde NO oluşum oranının düştüğü vurgulanmaktadır (Soruşbay, 1999). Şekil 5.35. incelendiğinde DEE karışımları kullanıldığında HFK'nin oldukça fakir karışım oranlarına geldiği görülmektedir. Bu da DEE karışımları kullanılması durumunda NO emisyonlarının azalmasına neden olan diğer etkidir. Iranmanesh, Subrahmanyam ve Babu (2008, s. 77-83), yaptıkları çalışmada dizel içerisine DEE karışımları katıldığında (%5, %10, %15) NO_x emisyonlarının azaldığını tespit etmişlerdir. Tudou, Murugan ve Patel (2016, s. 525-535), DEE karışımlarının kullanılması durumunda dizel yakıtı göre NO_x emisyonlarının azaldığını tespit etmişlerdir.



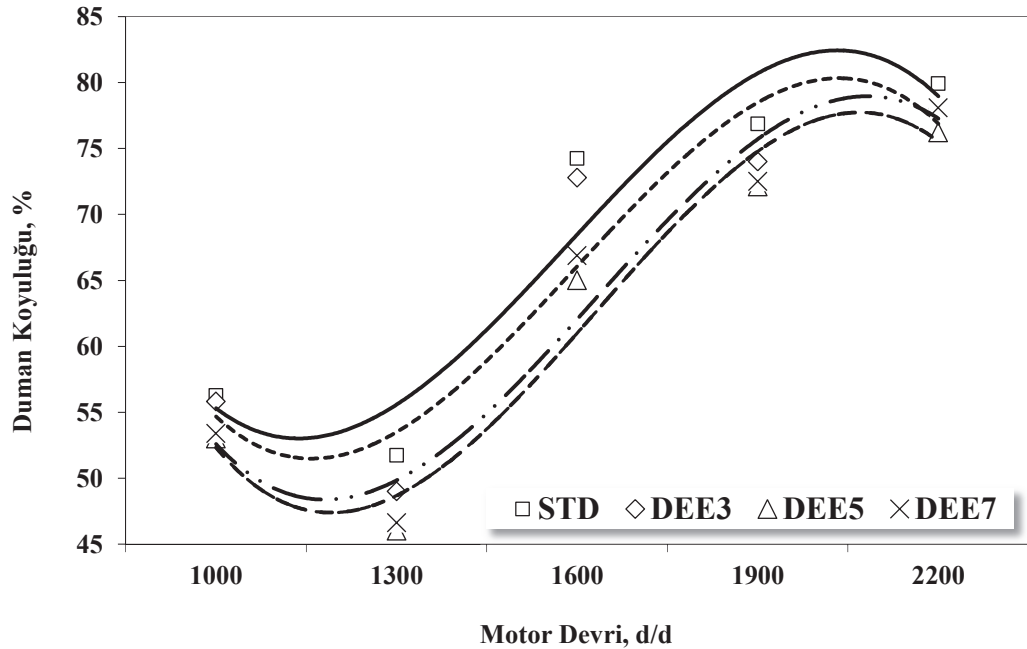
Şekil 5.27. NO emisyonu değışimleri.



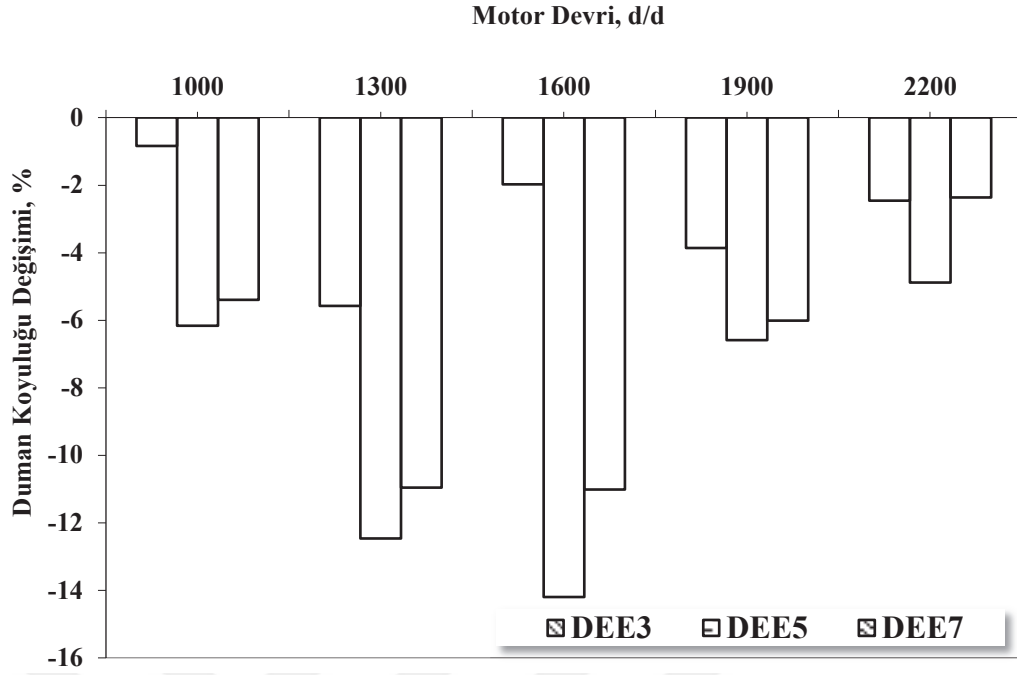
Şekil 5.28. NO emisyonu oransal değışimleri.

Motorda dizel ve DEE karışımalarının kullanılması durumunda tam yük şartlarında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen duman koyuluğu (is) değerlerinin değışimleri Şekil 5.29. ve Şekil 5.30.'da verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi

motorda DEE karışımları kullanıldığında standart motor verilerine göre is emisyonlarında azalış meydana gelmiştir. En yüksek döndürme momentinin elde edildiği devir sayısı olan 1300 d/d'de standart durumda ölçülen duman koyuluğu değeri %57,7 iken DEE3'te %49, DEE5'te %46 ve DEE7'de %46,6 olarak ölçülmüştür. Standart duruma göre en yüksek azalma miktarı %12 ile DEE5 karışımı kullanımında elde edilmiştir (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 710-718). Dizel motorlarının yüksek HFK ile çalışmalarına rağmen is emisyonlarının oluşmasının nedeni silindir içerisinde yakıt/hava karışımının yeterince iyi karışmamasından ötürü lokal zengin karışım bölgelerinin oluşması ve yanma için yeterli zamanın olmaması şeklinde açıklanabilir. Bu açıdan değerlendirildiğinde DEE karışımlarının kullanılması durumunda HFK'nin artmasına bağlı olarak motorun daha fakir karışımlarla çalıştığı ve buna bağlı olarak silindir içerisinde oluşan lokal zengin karışım bölgelerinin azaldığı tahmin edilmektedir (D. C. Rakopoulos, C. D. Rakopoulos, Giakoumis ve Dimaratos, 2012, s. 214-224). DEE karışımları kullanılarak yapılan birçok çalışmada is emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir (Cheng ve Dibble, 1999; D. C. Rakopoulos, C. D. Rakopoulos, Giakoumis ve Dimaratos, 2012, s. 214-224; Lee ve Kim, 2017, s. 454-461; Mohanan, Kapılan ve Reddy, 2003; Subramanian ve Ramesh, 2002, s. 353-360).

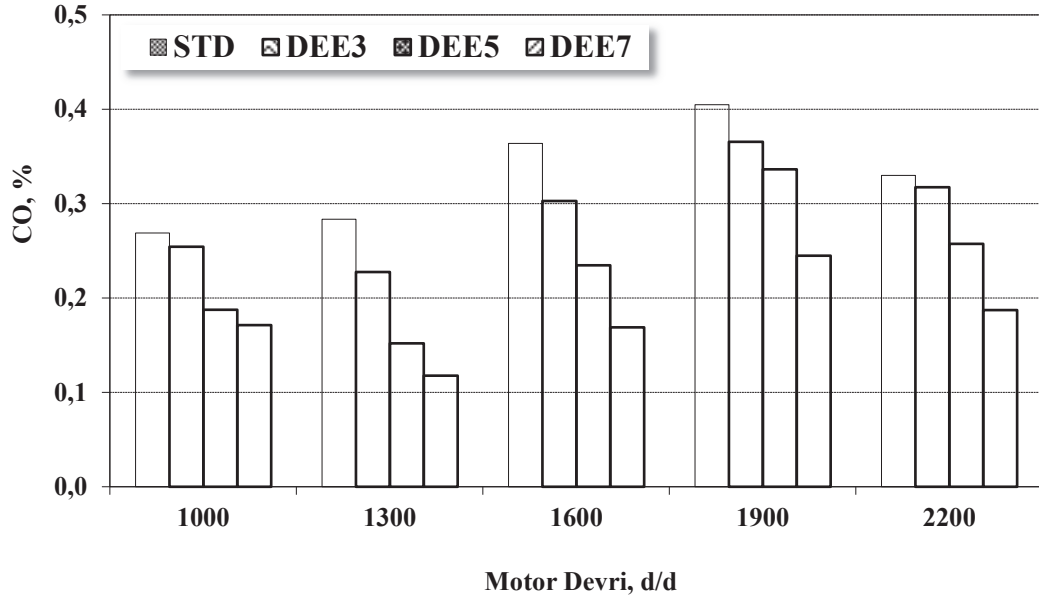


Şekil 5.29. Duman koyuluğu (is) emisyonu değişimleri.



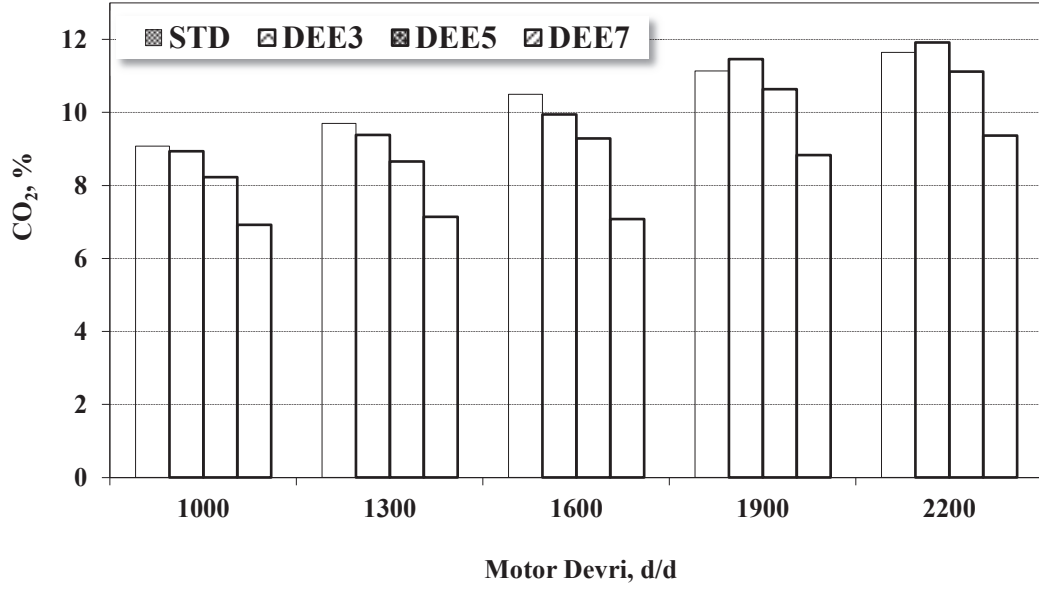
Şekil 5.30. Duman koyuluğu (is) emisyonu oransal değişimleri.

Şekil 5.31.'de dizel ve farklı oranlarda DEE karışımları kullanılarak tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde ölçülen CO emisyonu değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde standart duruma göre DEE karışımları kullanıldığında CO değerlerinde dikkate değer oranda bir azalış meydana geldiği görülmektedir. Karışım içerisindeki DEE oranı arttıkça CO emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir. CO emisyonlarının motorda oluşum nedeni is emisyonu ile hemen hemen aynı sebeplerden kaynaklanmaktadır. DEE karışımları kullanıldığında CO emisyonlarının azalmasının nedeni DEE'nin içeriğindeki oksijene ve daha fakir karışımla yanma özelliğine bağlı olarak HFK'nin standart duruma göre artması şeklinde açıklanmaktadır. Literatürde DEE karışımları kullanılması durumunda yapılan birçok çalışmada CO emisyonlarının azaldığı vurgulanmaktadır (D. C. Rakopoulos, C. D. Rakopoulos, Giakoumis ve Dimaratos, 2012, s. 214-224; Lee ve Kim, 2017, s. 454-461; Subramanian ve Ramesh, 2002, s. 353-360; Mohanan, Kapılan ve Reddy, 2003).



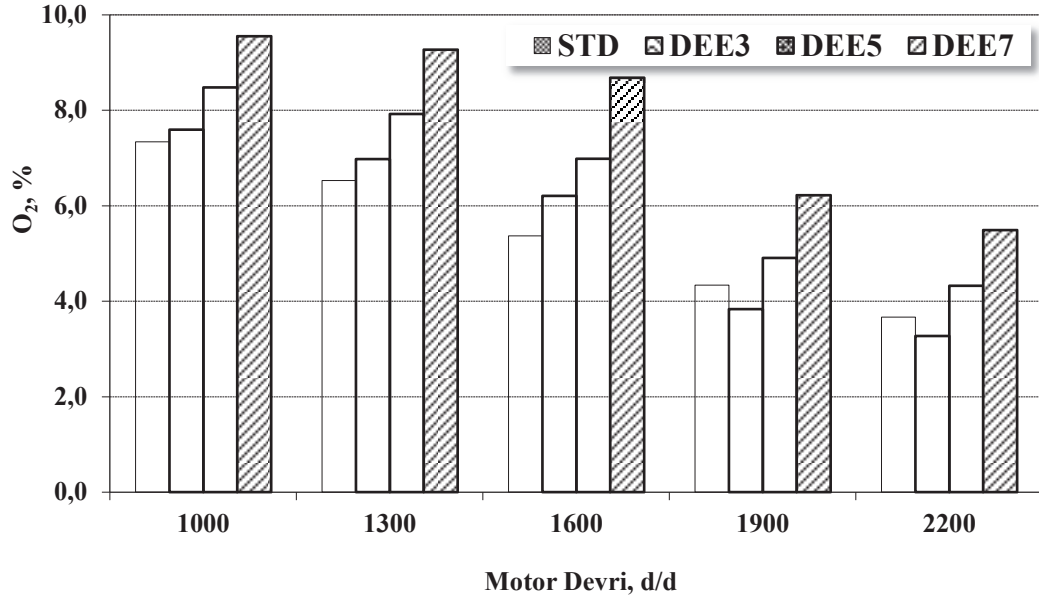
Şekil 5.31. CO emisyonu değişimleri.

Motorda dizel ve DEE karışımlarının kullanılması durumunda tam yük şartlarında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen CO₂ emisyonu değerlerindeki değişimler Şekil 5.32.'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi DEE karışımları kullanıldığında CO₂ emisyon değerlerinde azalış meydana gelmiştir. Silindir içerisinde meydana gelen yanma olayı netice olarak kısmi eksik yanma ve tam yanma gibi iki farklı durumun oluşabileceği oldukça karmaşık bir olaydır. Tam yanma ürünü olan CO₂ emisyonlarının azalması DEE karışımlarının kullanılmasıyla oksijen içeriğinin artmasına bağlıdır. Bununla birlikte DEE'nin içerisindeki karbon (C) atomu sayısı dizele göre oldukça azdır. Standart dizel yakıtı içerisindeki C atomu sayısı 14,4 iken DEE karışımları kullanılması durumunda DEE3'te C atomu sayısının 14'e, DEE5'te 13,8'e, DEE7'de ise 13,6'ya düştüğü anlaşılmaktadır (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 710-718). Tudou ve Patel, DEE karışımlarının kullanılması durumunda dizel yakıtı göre CO₂ emisyonlarının azaldığını tespit etmişlerdir (Tudou, Murugan ve Patel, 2016, s. 525-535).



Şekil 5.32. CO₂ emisyonu değişimleri.

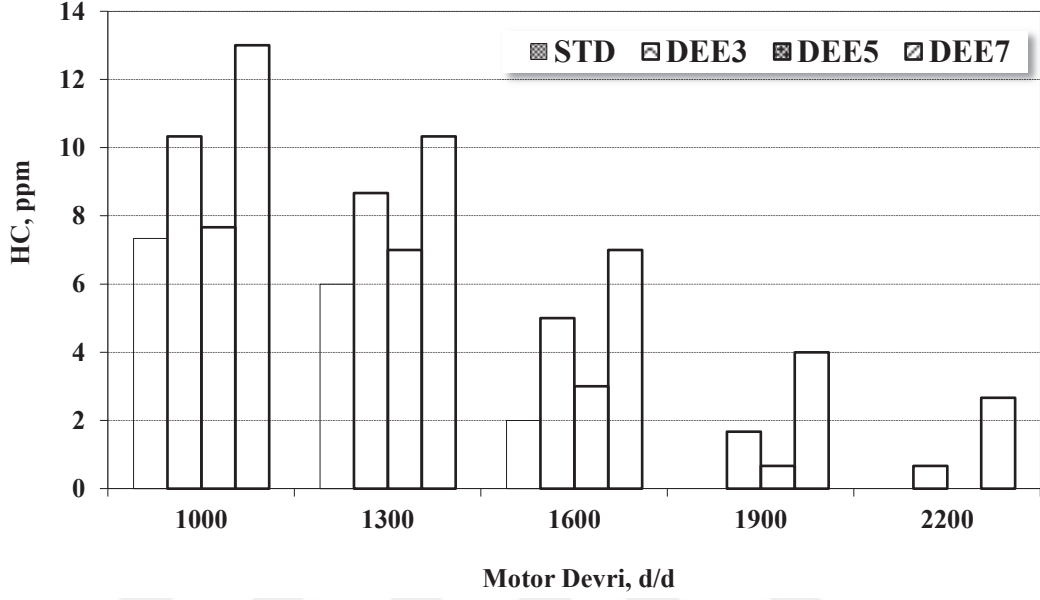
Motorda dizel ve DEE karışımlarının kullanılması durumunda tam yük şartlarında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen O₂ emisyonu değerlerindeki değişimler Şekil 5.33.'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi DEE karışımları kullanıldığında O₂ emisyon değerlerinde tüm motor devirlerinde artış meydana gelmiştir. Kısmi eksik yanma ürünü olan O₂ emisyonlarının DEE-dizel karışımları kullanımında artmasının sebebi DEE'nin içerdiği oksijen ve dolayısıyla motorun daha fakir karışımlarla çalışmasıdır (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 710-718).



Şekil 5.33. O₂ emisyonu değişimleri.

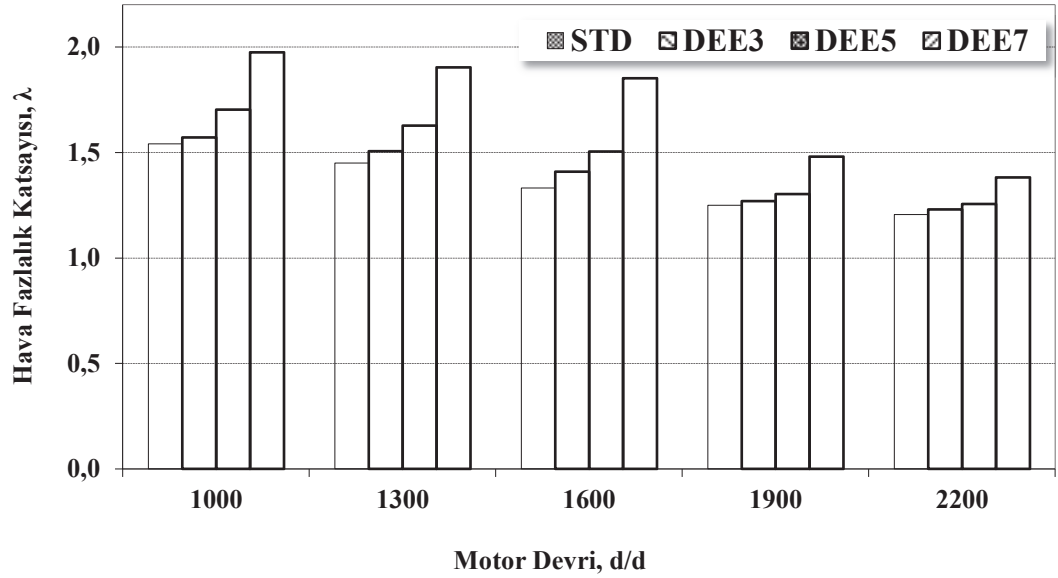
Şekil 5.34.'te dizel ve farklı oranlarda DEE karışımları kullanılarak tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde ölçülen HC emisyon değerleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi DEE karışımları kullanıldığında HC emisyonlarında artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Standart duruma göre en az artış miktarı DEE5 karışımı kullanımında ölçülmüştür. HC emisyonlarının artmasının birkaç muhtemel sebebi olabilir. Bunlardan birincisi, DEE'nin dizele göre daha yüksek buharlaşma ısısına sahip olması silindir içerisine püskürtülen yakıtın buharlaşmasını geciktirmiş ve bu sebeple H/Y karışımı oluşumu zayıflamış olabilir. İkincisi, DEE karışımları kullanılması durumunda silindir içi sıcaklığının azalmasına bağlı olarak silindir cidarlarına yakın bölgelerde (silindir içi en soğuk bölgeler) alev sönmeleri meydana gelmiş olabilir. Üçüncüsü, dizel motorlarında yanma sonu ulaşılan yüksek sıcaklıklardan dolayı tam yanma ürünleri yüksek sıcaklık altında endotermik reaksiyon gerçekleştirerek parçalanmış olabilir. Dördüncüsü, DEE karışımları kullanılması durumunda DEE'nin gizli buharlaşma ısısının yüksek olmasına bağlı olarak silindir içi sıcaklıkların azalması bu termik dissosiyasyon reaksiyonlarını azaltmış olabilir. Beşinci ve son olarak DEE'nin setan sayısının yüksek olmasından dolayı tutuşma gecikmesi esnasında kendiliğinden ateşleme olayları daha erken meydana gelmiş olabilir (Heywood, 1988). Literatürde de bazı çalışmalarda DEE karışımları kullanılması durumunda HC

emisyonlarının arttığı vurgulanmaktadır (D. C. Rakopoulos, C. D. Rakopoulos, Giakoumis ve Dimaratos, 2012, s. 214-224; Tudu, Murugan ve Patel, 2016, s. 525-535).



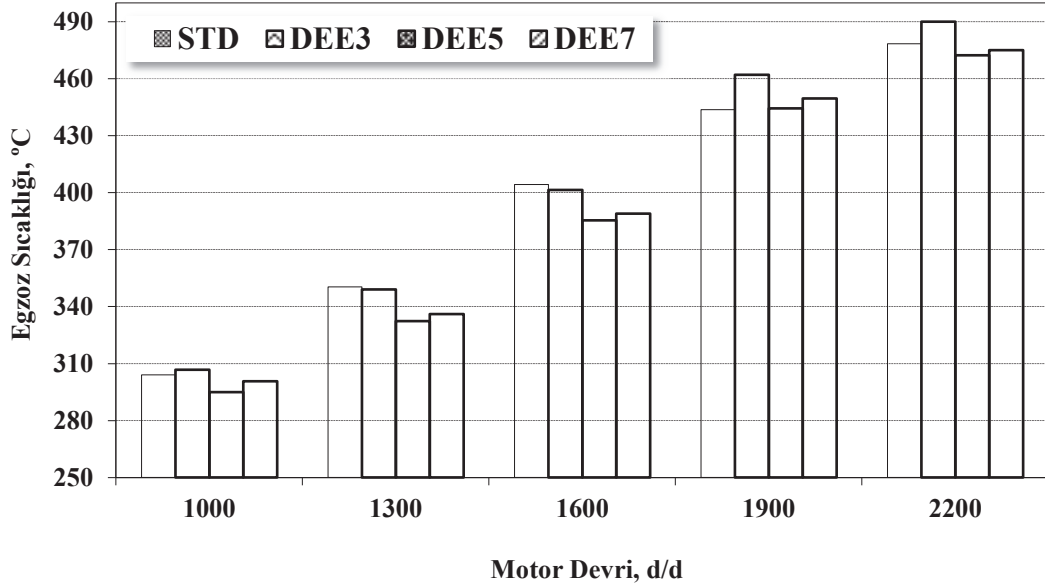
Şekil 5.34. HC emisyonu değişimleri.

Şekil 5.35.'te dizel ve farklı oranlarda DEE-dizel karışımlarının kullanıldığı durumlarda ölçülen HFK değişimleri verilmiştir. Tüm devirlerde DEE-dizel karışımlarının standart motor verilerine göre motoru daha yüksek HFK ile çalıştırdığı görülmektedir.



Şekil 5.35. Hava fazlalık katsayısı değişimleri.

Motorda dizel ve DEE karışımlarının kullanılması durumunda tam yük şartlarında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ölçülen egzoz sıcaklık değerleri değişimleri Şekil 5.36.'da verilmiştir. Motorda DEE karışımları kullanıldığında genel olarak egzoz sıcaklığının dizel yakıtı göre azaldığı 1900 d/d ve 2000 d/d motor devirlerinde ise DEE3 karışımı kullanımında arttığı tespit edilmiştir. DEE karışımlarının kullanılması durumunda DEE'nin gizli buharlaşma ısısına bağlı olarak silindir içi sıcaklık değerleri azalmıştır. Bu durumun egzoz sıcaklığının da azalmasına neden olduğu düşünülmektedir (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 710-718).

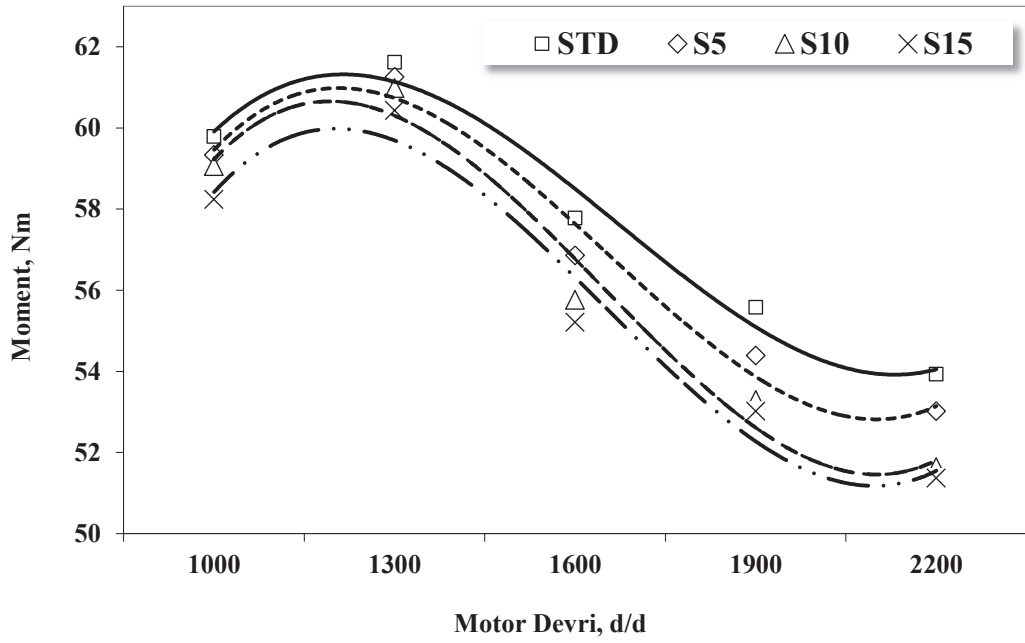


Şekil 5.36. Egzoz sıcaklığı değişimleri.

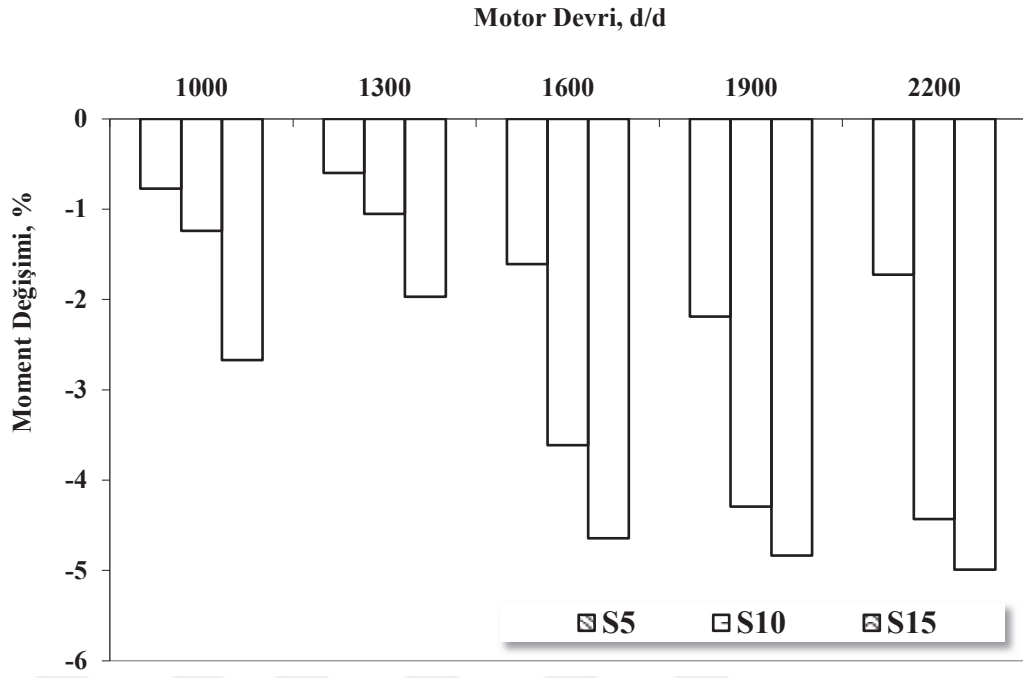
5.1.5. Stabilize emülsifiye yakıtın motor performans parametrelerine etkileri

Dizel, S5, S10 ve S15 yakıtları kullanılarak tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde elde edilen motor döndürme momenti değerlerinde meydana gelen değişimler standart motor verilerine kıyasla sırasıyla Şekil 5.37. ve Şekil 5.38.; motor efektif gücü değerlerinde meydana gelen değişimler standart motor verilerine kıyasla sırasıyla Şekil 5.39. ve Şekil 5.40.'ta verilmiştir. Motorda en yüksek tork 1300 d/d motor devrinde, en yüksek efektif güç ise 2200 d/d motor devrinde ölçülmüştür. Standart durumda 61,6 Nm olarak ölçülen motor tork değeri; S5 yakıtı kullanıldığında 61,2 Nm, S10 yakıtı kullanıldığında 61 Nm ve S15 yakıtı kullanıldığında ise 60,4 Nm olarak ölçülmüştür. Standart durumda en yüksek 12,42 kW olarak ölçülen efektif güç değeri; S5 yakıtı kullanıldığında 12,2 kW, S10 yakıtı kullanıldığında 11,9 kW ve S15 yakıtı kullanıldığında ise 11,8 kW olarak ölçülmüştür. Standart dizel verilerine göre emülsifiye yakıt kullanıldığında motor döndürme momenti ve efektif gücünde azalış meydana geldiği tespit edilmiştir. Emülsifiye yakıt içerisindeki su oranı arttıkça döndürme momenti ve efektif güç değerlerinde meydana gelen azalış miktarının da arttığı görülmektedir. Emülsifiye yakıt kullanımında motor döndürme momentinin ve efektif gücünün azalmasının sebebi bir çevrimde silindire gönderilen yakıt miktarı

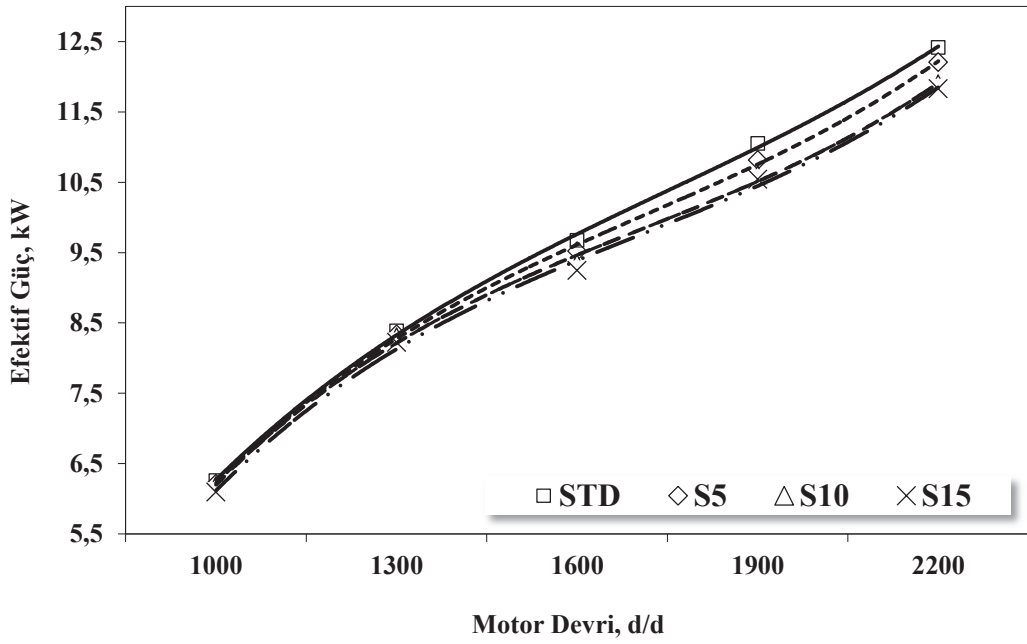
emülsifiye yakıt içerisindeki su oranı kadar azalmasıdır (Tunca, Ayhan, Çay ve Cesur, 2017, s. 41-48). Bu da çevrim başına silindire gönderilen enerji miktarının su oranı kadar azalmasına neden olmaktadır. Bu azalış miktarını düşündüğümüzde motor torkunda ve gücünde daha fazla oranda azalış olması gerekmektedir. Ancak suyun yüzey gerilmesinin yakıttan çok küçük olmasından dolayı yanma esnasında suyun silindir içerisinde mikro patlamalara neden olarak atomizasyon ve karışım oranını iyileştirdiği ve bu sayede yanma verimini artırdığı vurgulanmaktadır (Crookes, Nazha ve Kiannajad, 1990, s. 47-52).



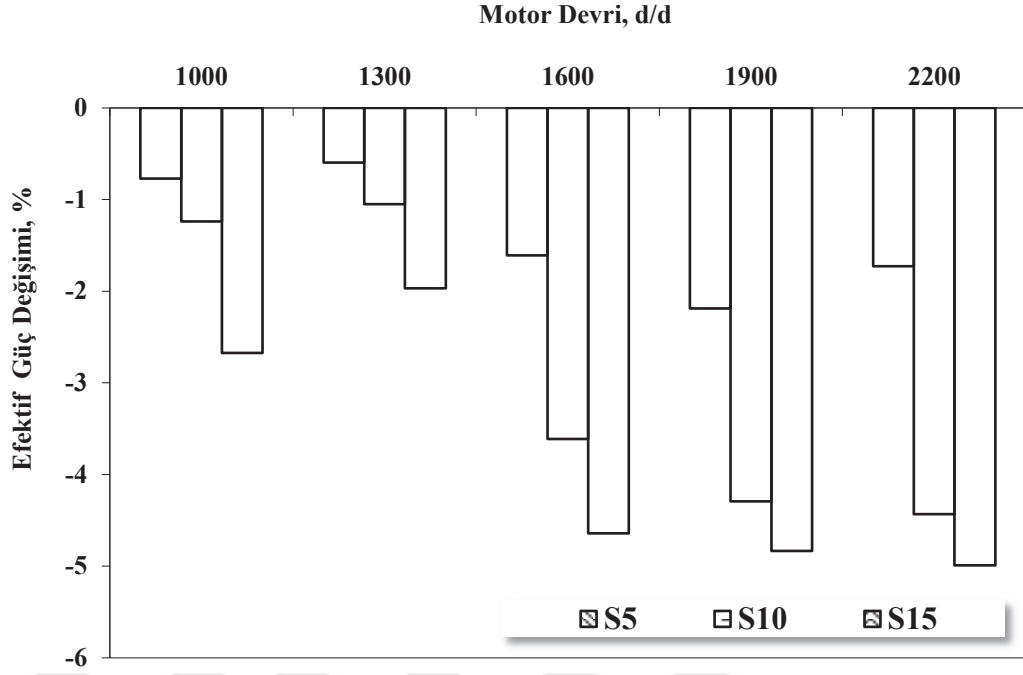
Şekil 5.37. Motor döndürme momenti değişimleri.



Şekil 5.38. Motor döndürme momenti oransal değişimleri.

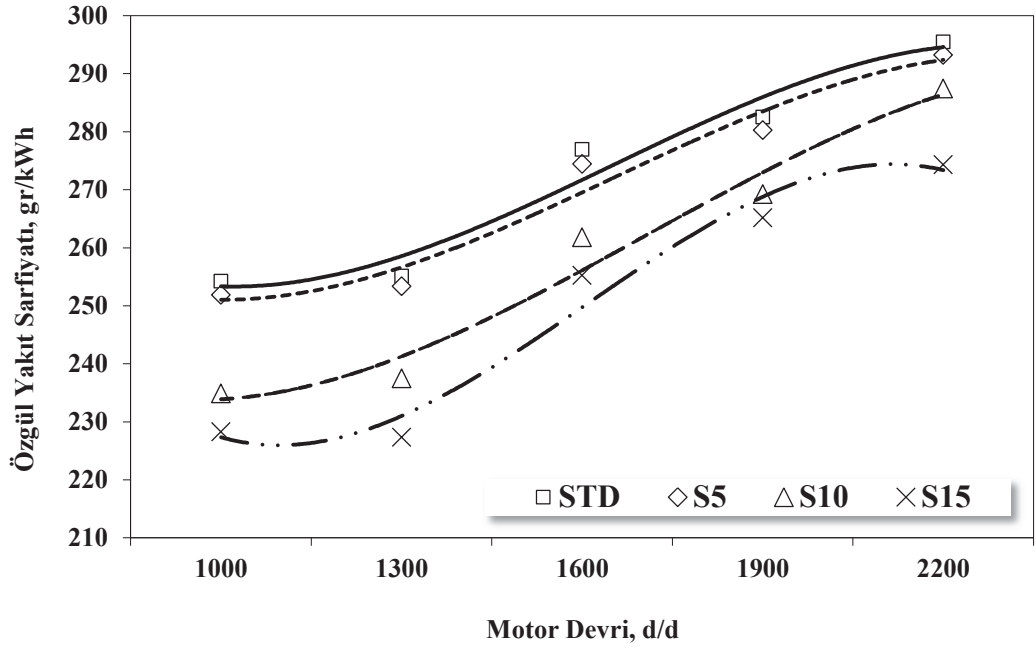


Şekil 5.39. Motor efektif gücü değişimleri.

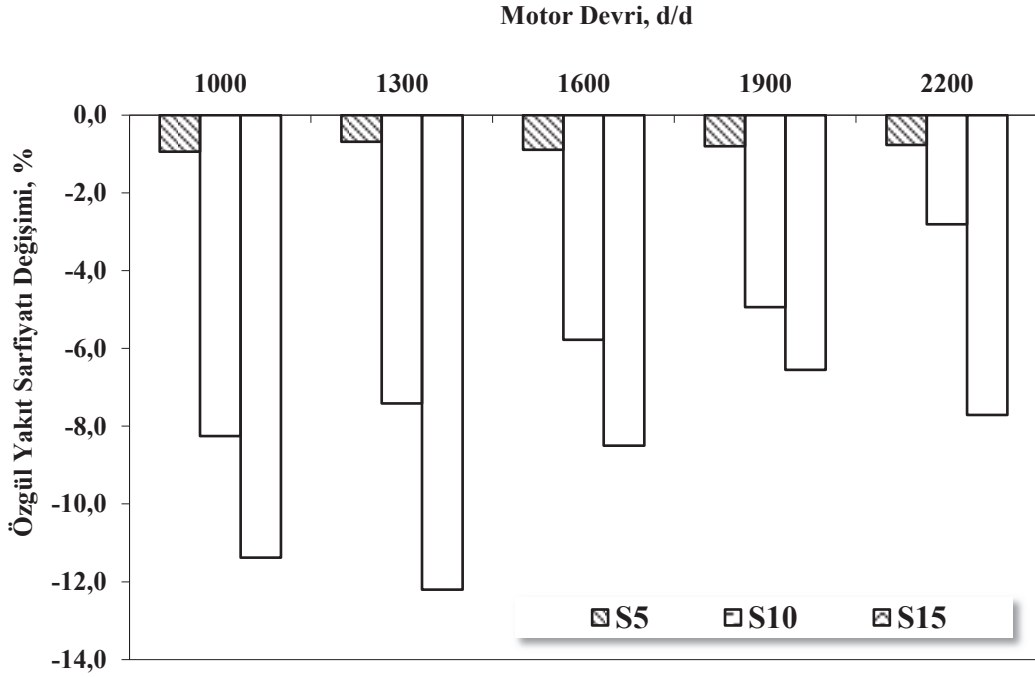


Şekil 5.40. Motor efektif gücü oransal değişimleri.

Şekil 5.41. ve Şekil 5.42.'de tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde dizel ve farklı oranlarda emülsifiye yakıt kullanımı durumunda elde edilen ÖYS'deki değişimler verilmiştir. Şekiller incelendiğinde motorda emülsifiye yakıtların kullanılması durumunda standart motor verilerine göre ÖYS'de tüm motor devirlerinde azalış meydana geldiği görülmektedir. Emülsifiye yakıt içerisindeki su oranı arttıkça ÖYS'de meydana gelen azalış miktarı da artmıştır. Standart durumda 254,2 gr/kWh olarak hesaplanan ÖYS; S5 yakıtı kullanıldığında 251,8 gr/kWh, S10 yakıtı kullanıldığında 234,8 gr/kWh ve S15 yakıtı kullanıldığında ise 228,2 gr/kWh olarak hesaplanmıştır. Emülsifiye yakıtlar ile ÖYS'de %11'e varan oranlarda azalış tespit edilmiştir. ÖYS'nin azalmasının nedeni olarak silindir içerisine birim kütle ile gönderilen yakıt debisinin emülsifiye yakıt içerisindeki su miktarı kadar azalmış olması ve efektif güç değerinin de az miktarda azalmış olması gösterilebilir (Tunca, Ayhan, Çay ve Cesur, 2017, s. 41-48).



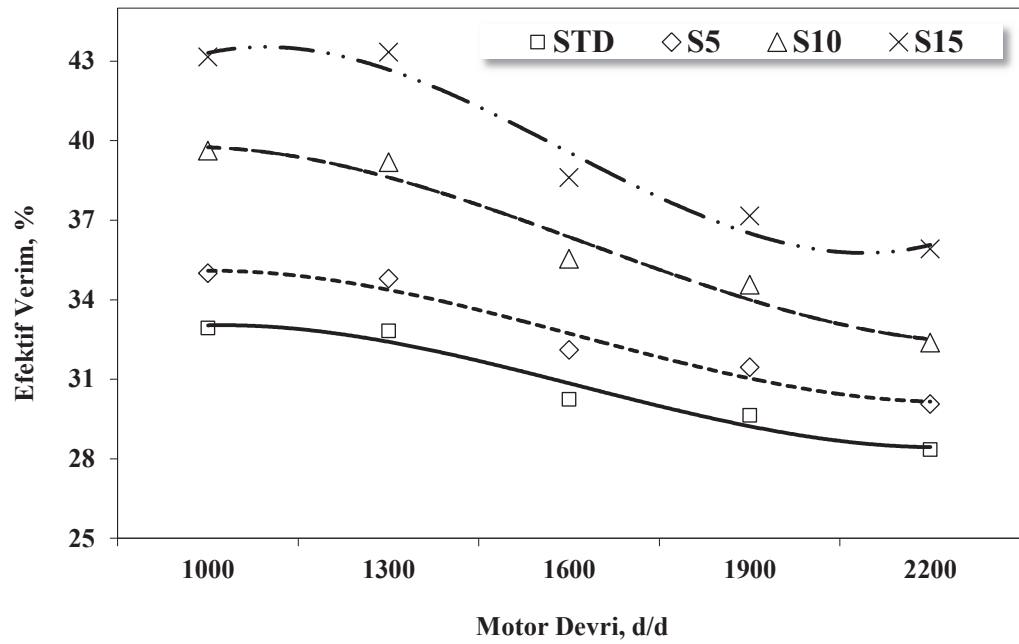
Şekil 5.41. Özgül yakıt sarfıyatı değişimleri.



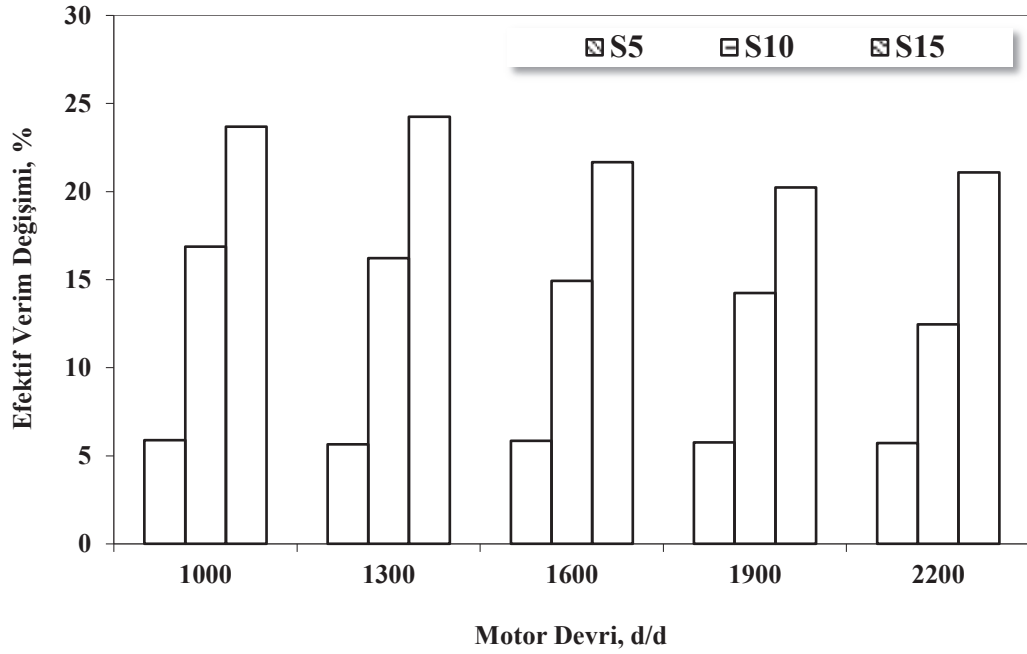
Şekil 5.42. Özgül yakıt sarfıyatı oransal değişimleri.

Şekil 5.43. ve Şekil 5.44.'de tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde dizel yakıtı ve 3 farklı emülsifiye yakıt kullanımı durumunda ölçülen motor efektif verimi değişim değerleri verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi motorda emülsifiye yakıtların

kullanımı durumunda standart motor verilerine göre dikkate değer oranlarda artış meydana gelmiştir. Emülsifiye yakıt içerisindeki su oranı arttıkça efektif verimde meydana gelen iyileşme miktarı da artmıştır. Standart durumda en yüksek %32,9 olarak ölçülen efektif verim; S5 yakıtı kullanıldığında %35, S10 yakıtı kullanıldığında %39,6 ve S15 yakıtı kullanıldığında ise %43 olarak hesaplanmıştır. Emülsifiye yakıtlar ile efektif verimde %23'e varan oranlarda iyileşmeler elde edilmiştir (Tunca, Ayhan, Çay ve Cesur, 2017, s. 41-48).



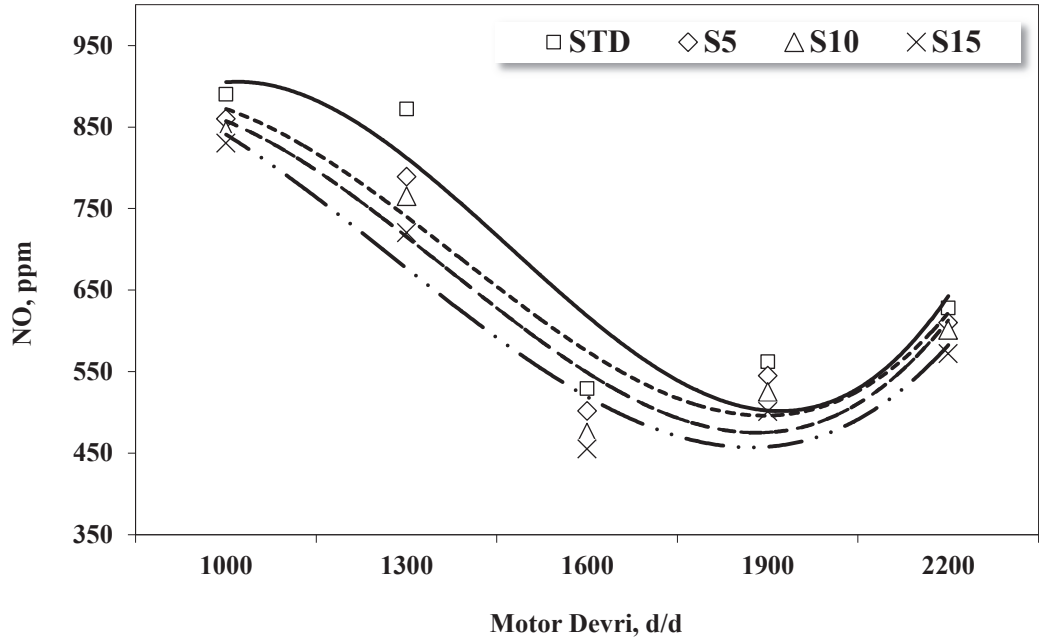
Şekil 5.43. Motor efektif verimi değişimleri.



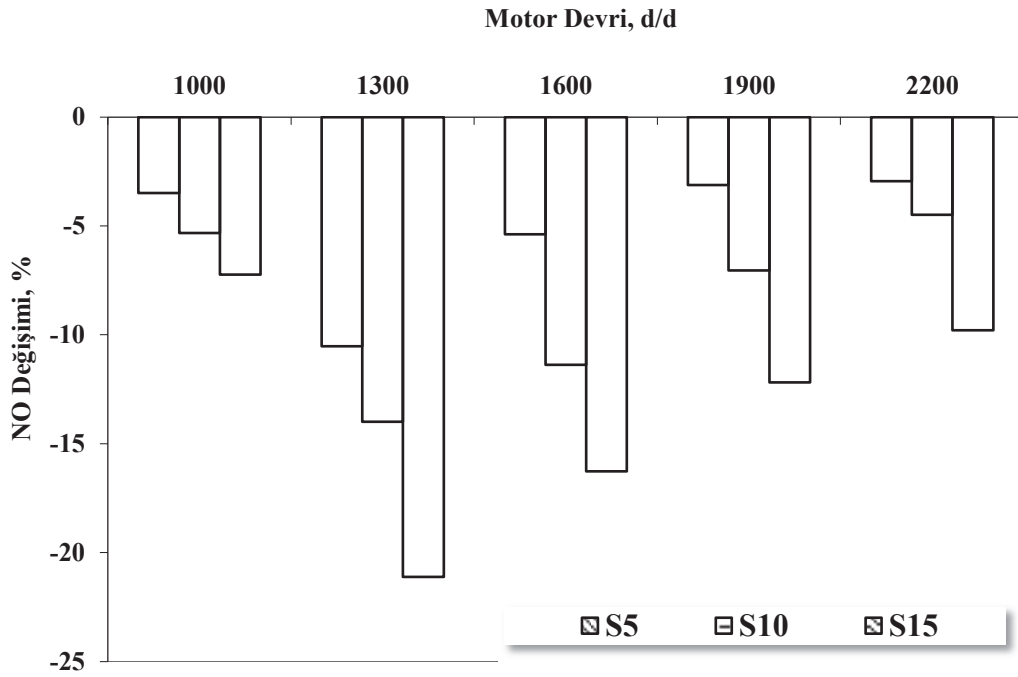
Şekil 5.44. Motor efektif verimi oransal değişimleri.

5.1.6. Stabilize emülsifiye yakıtın emisyon karakteristiklerine etkileri

Dizel, S5, S10 ve S15 yakıtları kullanılarak tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde ölçülen NO emisyonu değerleri Şekil 5.45. ve Şekil 5.46.'da verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi emülsifiye yakıtların kullanımı durumunda NO emisyonlarında azalış meydana geldiği görülmektedir. Emülsifiye yakıt içerisindeki su oranı arttıkça NO emisyon değerlerindeki azalış miktarı da artmıştır. Silindir içerisinde ulaşılan yüksek sıcaklıklar, NO emisyonlarının oluşmasına neden olan en büyük etkidir. Emülsifiye yakıt içerisinde su kullanıldığından suyun özgül ısısının yüksek olmasına bağlı olarak silindir içerisinde ulaşılan en yüksek sıcaklık değerleri azalmaktadır. Bu sıcaklığın düşmesi NO emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır. Dizel, S5, S10 ve S15 yakıtı kullanılması durumunda hesaplanan adyabatik alev sıcaklığı değerleri sırasıyla 2108,8 K, 2093,3 K, 2076,4 K, 2057,8 K olarak hesaplanmıştır. Sıcaklık değerlerinde standart duruma göre; S5 yakıtı kullanıldığında %0,74, S10 yakıtı kullanıldığında %0,81 ve S15 yakıtı kullanıldığında ise %0,90 oranlarında azalış tespit edilmiştir (Tunca, Ayhan, Çay ve Cesur, 2017, s. 41-48).



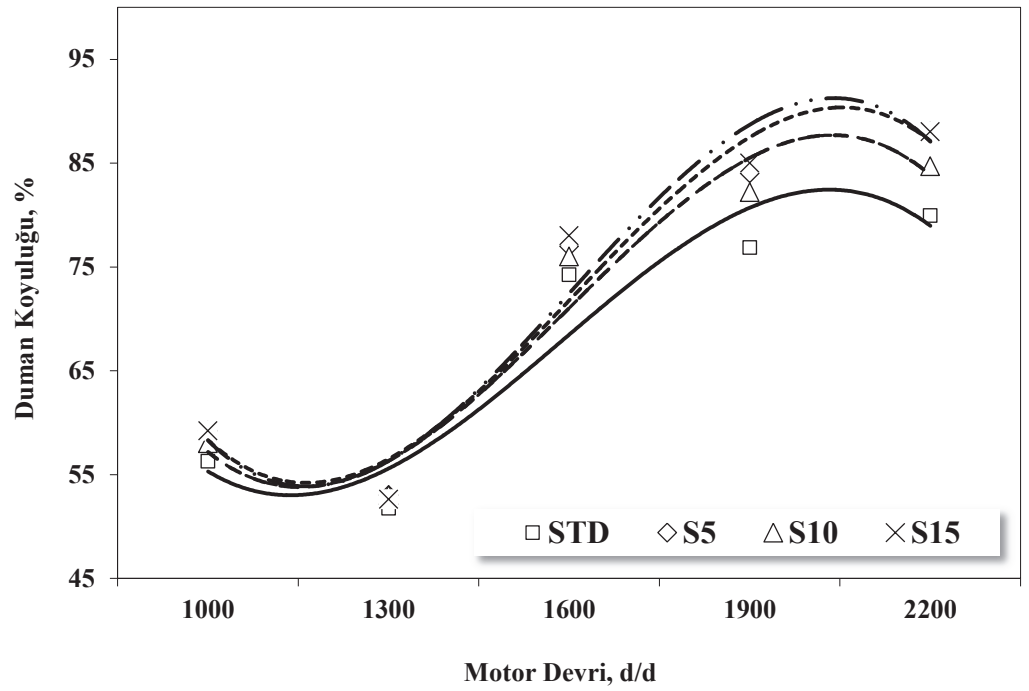
Şekil 5.45. NO emisyonu değışimleri.



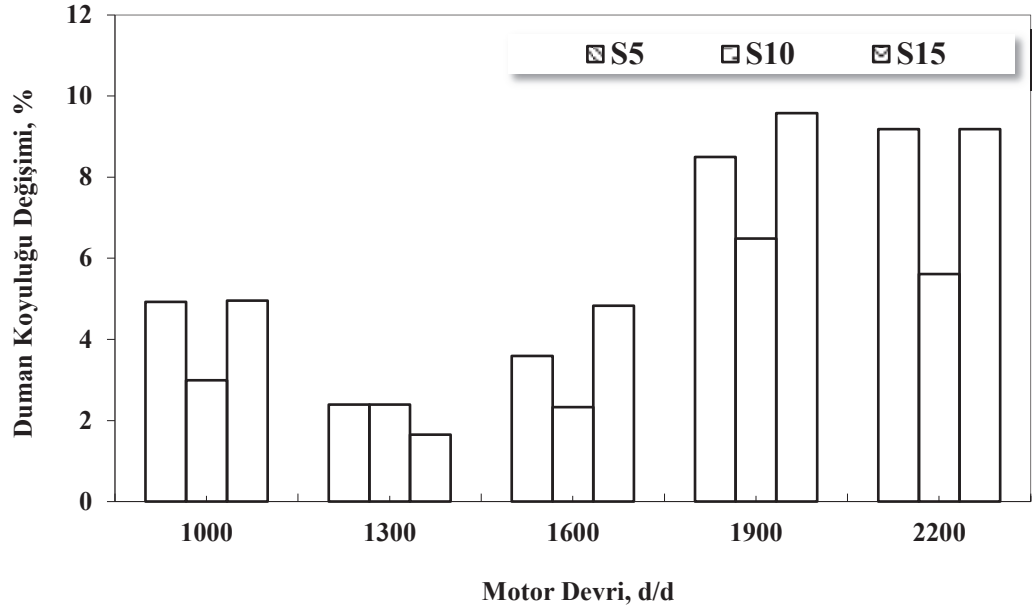
Şekil 5.46. NO emisyonu oransal değışimleri.

Şekil 5.47. ve Şekil 5.48.'de tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde dizel yakıtı ve 3 farklı emülsifiye yakıt kullanımı durumunda ölçülen is emisyonu değeri verilmiştir. Şekiller incelendiğinde emülsifiye yakıt kullanımı durumunda is

emisyonlarında standart duruma göre artış olduğu görülmektedir. Dizel motorlarında is emisyonlarının oluşma nedeni silindir içi lokal zengin karışım bölgelerinin oluşması ve yanmanın tamamlanamamasıdır. Emülsifiye yakıt kullanımı durumunda tutuşma gecikmesinin uzaması ve yanma için yeterli zamanın kalmaması is emisyonlarını olumsuz etkilemektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi motor devri arttıkça is emisyonlarındaki artış miktarı da artmıştır (Tunca, Ayhan, Çay ve Cesur, 2017, s. 41-48).

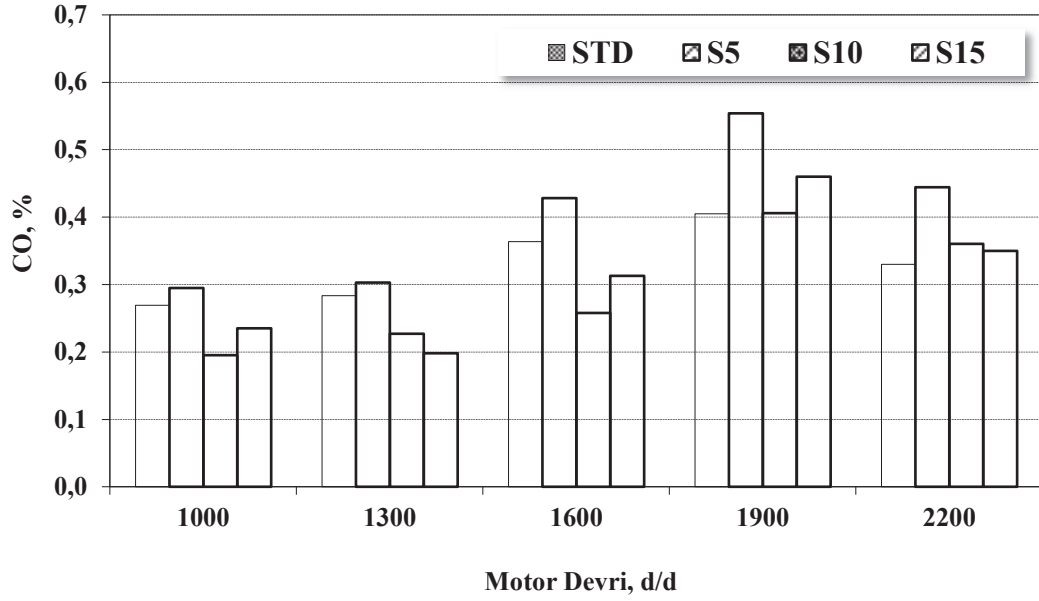


Şekil 5.47. Duman koyuluğu (is) emisyonu değişimleri.



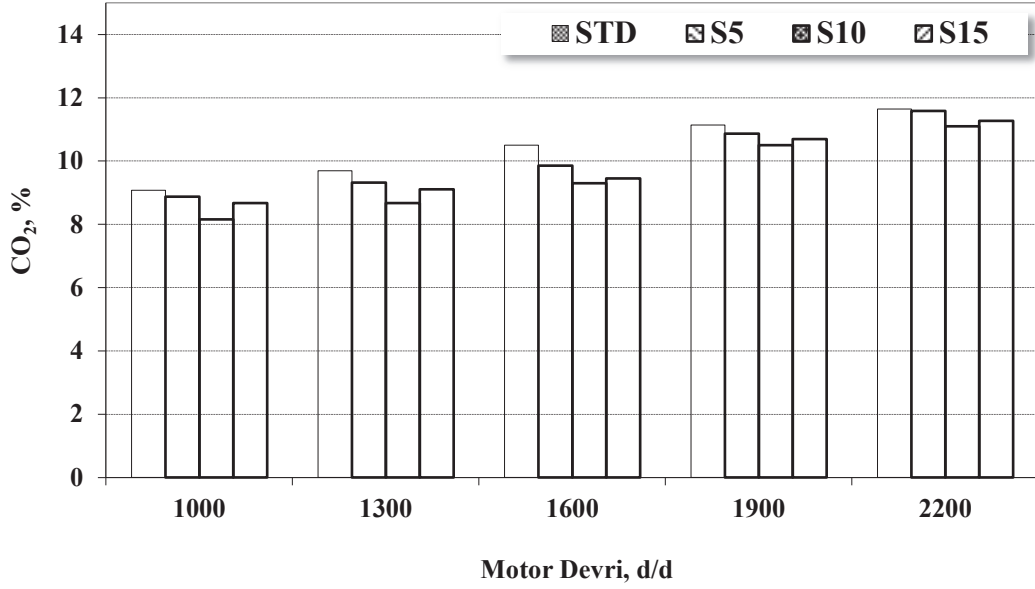
Şekil 5.48. Duman koyuluğu (is) emisyonu oransal değişimleri.

Şekil 5.49.'da tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde dizel, S5, S10 ve S15 yakıtları kullanılarak ölçülen CO emisyonu değerleri verilmiştir. CO emisyonları kısmi eksik yanma ürünüdür. Şekil incelendiğinde düşük motor devirlerinde S10 ve S15 yakıtları kullanılması durumunda CO emisyonlarında azalış meydana gelirken, yüksek motor devirlerinde tüm emülsifiye yakıt kullanımları durumunda standart verilere göre artış meydana geldiği görülmektedir. Emülsifiye yakıt kullanımı durumunda motor daha fakir karışımla çalışmasına rağmen CO emisyonlarının yüksek devirlerde artmasının nedeninin tutuşma gecikmesinin uzamasına bağlı olarak yanma işleminin yeterli oranda tamamlanamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Tunca, Ayhan, Çay ve Cesur, 2017, s. 41-48).



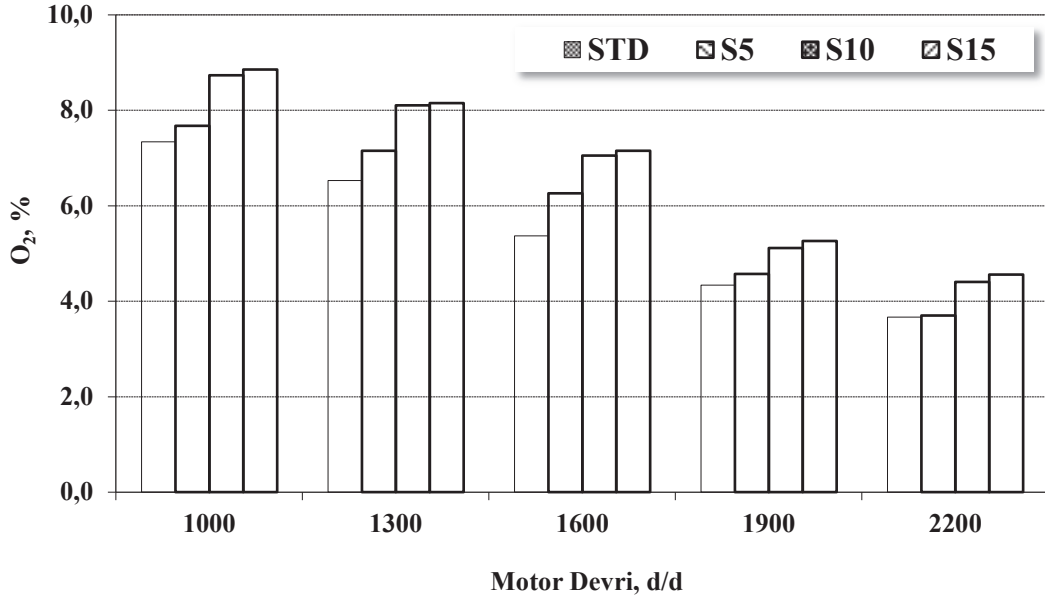
Şekil 5.49. CO emisyonu değişimleri.

Dizel, S5, S10 ve S15 yakıtları kullanılarak tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde ölçülen CO₂ emisyonu değerleri Şekil 5.50.'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi motorda emülsifiye yakıtların kullanılması durumunda CO₂ emisyonlarında azalış meydana gelmiştir. Standart duruma kıyasla en yüksek azalış oranları S10 yakıtı kullanıldığında tespit edilmiştir. Bu azalışın nedeni emülsifiye yakıtlarla silindir içerisine gönderilen karbon sayısının azalmasıdır. Bu da CO₂ emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır. S15 yakıtı kullanıldığında motorda yanmanın kötüleşmesi nedeni ile S10 yakıtına göre artış olduğu tahmin edilmektedir (Tunca, Ayhan, Çay ve Cesur, 2017, s. 41-48).



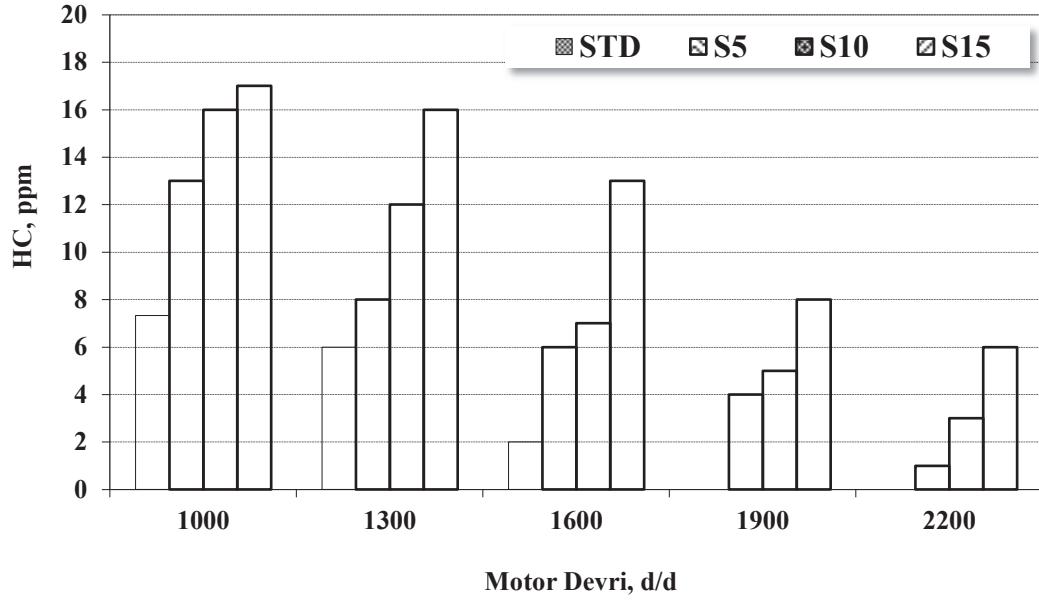
Şekil 5.50. CO₂ emisyonu değışimleri.

Dizel, S5, S10 ve S15 yakıtları kullanılarak tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde ölçülen O₂ emisyonu değeri Şekil 5.51.'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi motorda emülsifiye yakıtların kullanılması durumunda tüm motor devirlerinde O₂ emisyonlarında artış meydana gelmiştir. Standart duruma kıyasla en yüksek artış oranları S15 yakıtı kullanıldığında tespit edilmiştir. Bu artışın nedeni emülsifiye yakıtlarla silindir içerisine gönderilen su ile birlikte oksijen oranının da artmasıdır. Bu da O₂ emisyonlarının artmasını sağlamaktadır (Tunca, Ayhan, Çay ve Cesur, 2017, s. 41-48).



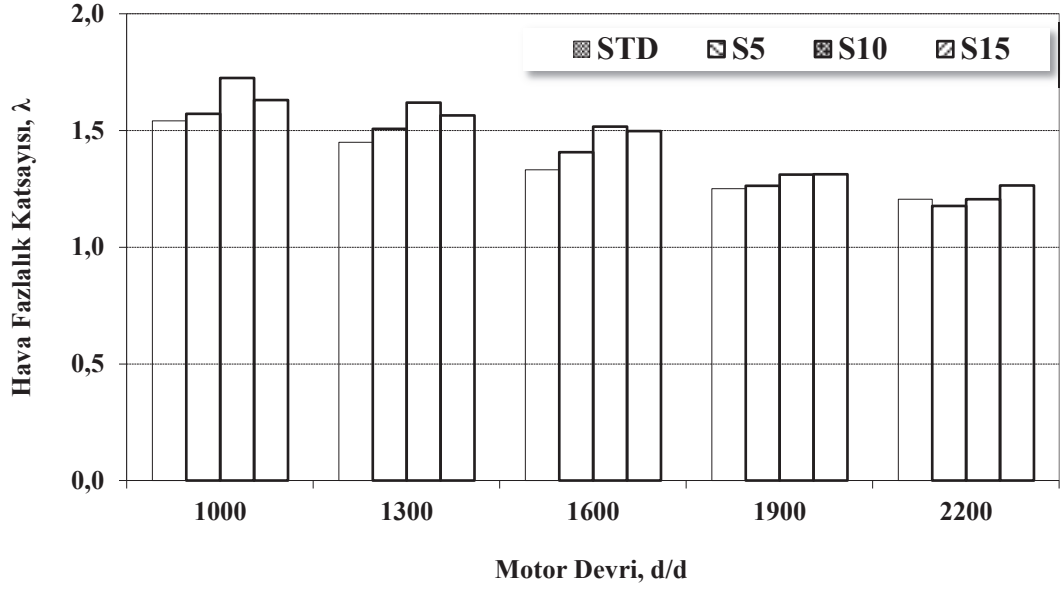
Şekil 5.51. O₂ emisyonu değişimleri.

Şekil 5.52.'de tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde dizel, S5, S10 ve S15 yakıtları kullanılarak ölçülen HC emisyonu değerleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi emülsifiye yakıtların kullanımı durumunda HC emisyonlarında tüm motor devirlerinde artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Emülsifiye yakıt içerisindeki su oranı arttıkça HC emisyon miktarı da orantılı olarak artmıştır. Silindir içi sıcaklığın düşmesi özellikle silindir dış cidarlarına yakın bölgelerde meydana gelen alev sönme olaylarını artırmıştır. Aynı zamanda emülsifiye yakıt kullanımı durumunda tutuşma gecikmesinin uzaması HC emisyonlarının artmasına neden olan diğer bir etken olarak düşünülmektedir (Tunca, Ayhan, Çay ve Cesur, 2017, s. 41-48).



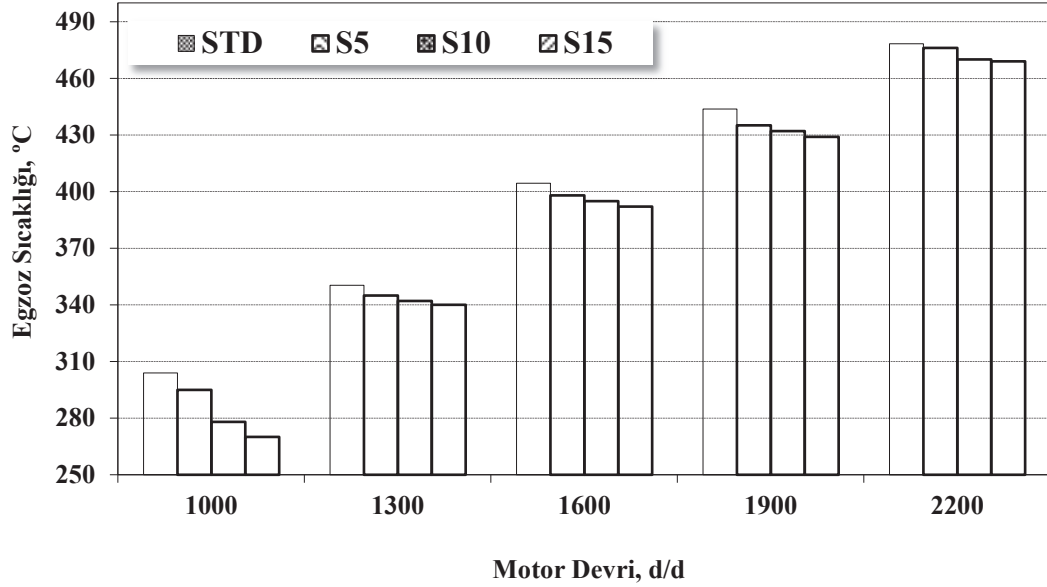
Şekil 5.52. HC emisyonu değişimleri.

Dizel, S5, S10 ve S15 yakıtları kullanılarak tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde ölçülen HFK değerleri Şekil 5.53.'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi motorda emülsifiye yakıtların kullanılması durumunda 2200 d/d hariç tüm motor devirlerinde en yüksek HFK S10 yakıtı kullanıldığında tespit edilmiştir (Tunca, Ayhan, Çay ve Cesur, 2017, s. 41-48).



Şekil 5.53. Hava fazlalık katsayısı değişimleri.

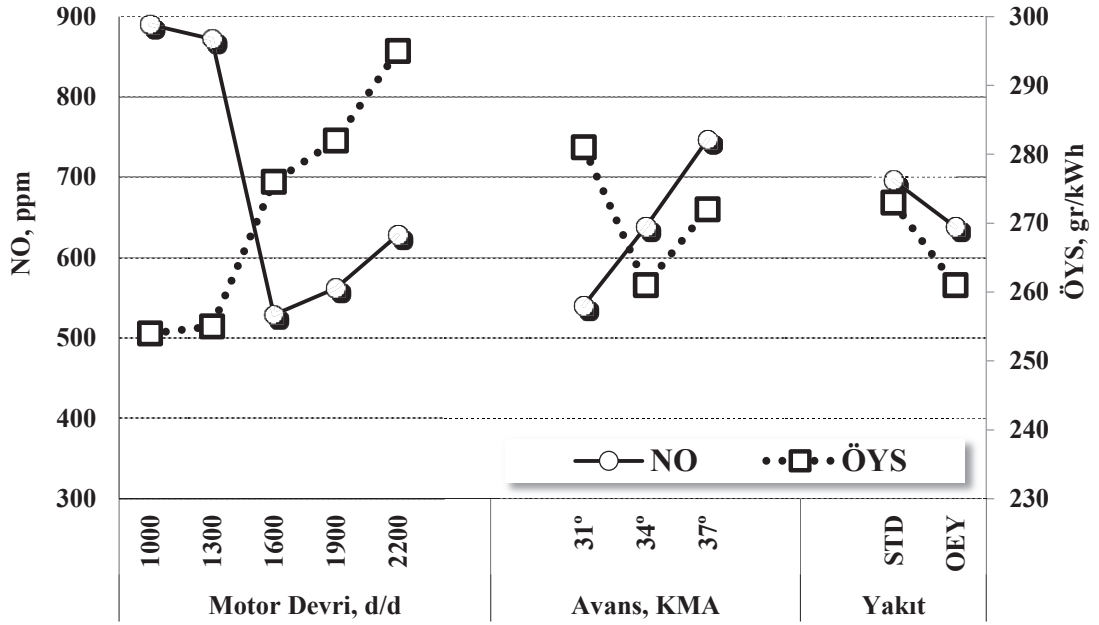
Dizel, S5, S10 ve S15 yakıtları kullanılarak tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde ölçülen egzoz sıcaklığı değerleri Şekil 5.54.'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi motorda emülsifiye yakıtların kullanılması durumunda tüm motor devirlerinde egzoz sıcaklığında azalış meydana gelmiştir. Standart duruma kıyasla en yüksek azalış oranları S15 yakıtı kullanıldığında tespit edilmiştir. Bu azalışın nedeni emülsifiye yakıtlarla silindir içerisine gönderilen su ile birlikte silindir içi sıcaklıkların düşmüş olmasıdır (Tunca, Ayhan, Çay ve Cesur, 2017, s. 41-48).



Şekil 5.54. Egzoz sıcaklığı değişimleri.

5.1.7. Optimum emülsifiye yakıtın motor performans parametrelerine etkileri

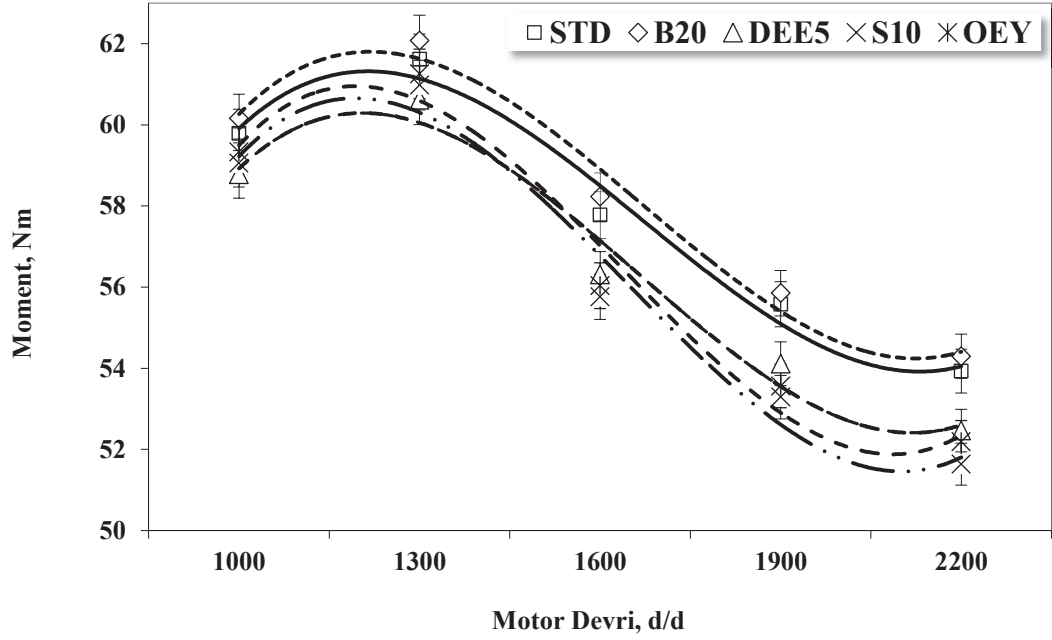
Biyodizel, DEE ve stabilize emülsifiye yakıtların motor performans ve emisyon değerleri açısından optimum değerleri dikkate alınarak hazırlanan optimum emülsifiye yakıt (OEY) deneysel çalışmalarına geçilmeden önce OEY'nin kullanılması durumunda motor performans açısından en uygun avans değeri araştırılmıştır. Şekil 5.55.'te farklı motor devirlerinde ölçülen NO ve ÖYS değerleri, 31°, 34° ve 37° krank mili açısı yakıt püskürtme avanslarında ölçülen NO ve ÖYS değerleri ve standart yakıt ile OEY kullanımı durumunda ölçülen NO ve ÖYS ortalama değerlerinde meydana gelen değişimler verilmiştir. ÖYS açısından en iyi sonucun standart motor deneylerinin gerçekleştirildiği 34° krank mili açısı statik püskürtme avansı değerinde elde edildiği tespit edilmiştir. OEY kullanılarak yapılan deneysel çalışmalar bu statik püskürtme avans değerinde gerçekleştirilmiştir (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 841-854).



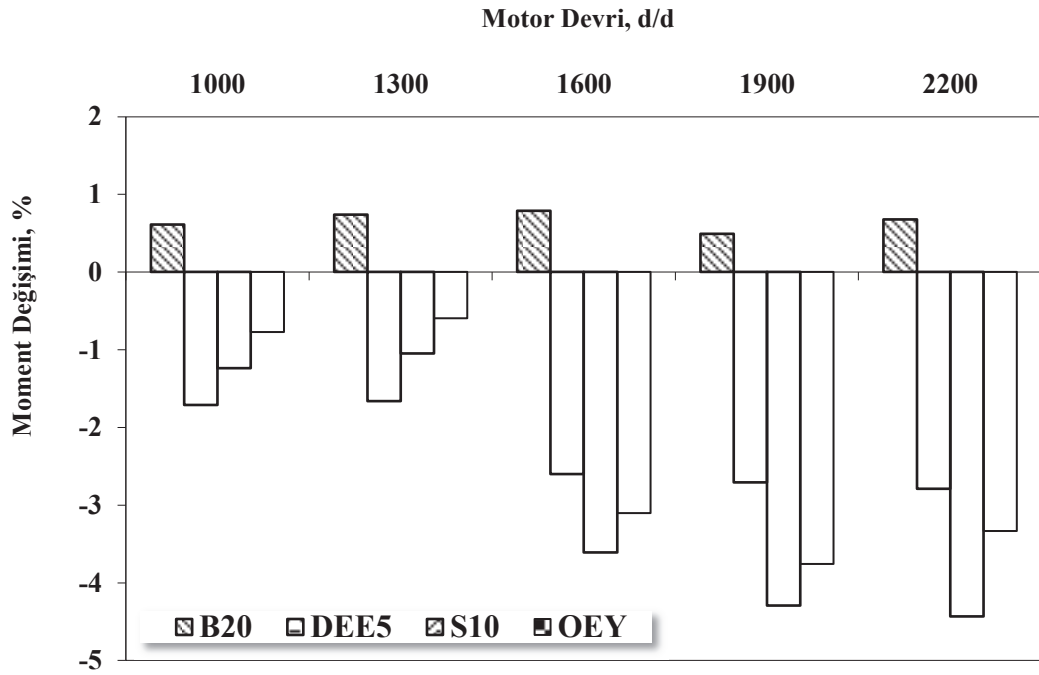
Şekil 5.55. NO emisyonu ve özgül yakıt sarfiyatı değişimleri.

Tam yük şartlarında farklı motor devirlerinde dizel, B20, DEE5, S10 ve OEY kullanılarak elde edilen; motor döndürme momenti değerlerinde meydana gelen değişimler sırasıyla Şekil 5.56. ve Şekil 5.57.'de, motor efektif gücü değerlerinde meydana gelen değişimler sırasıyla Şekil 5.58. ve Şekil 5.59.'da verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi stabilize emülsifiye yakıt kullanımına göre biyoyakıt katkılı OEY kullanımında motor döndürme momentinde ve efektif gücündeki düşüşler azalmıştır. S10 kullanımında en yüksek azalmanın meydana geldiği 2200 d/d motor devride standart duruma göre %4,4 azalma meydana gelirken OEY kullanımında azalma miktarındaki değişim %3,3 olarak hesaplanmıştır. Standart durumda 1300 d/d motor devrinde 61,6 Nm olarak ölçülen motor döndürme momenti değeri, S10 kullanımında 60,9 Nm ve OEY kullanımında ise 61,2 Nm olarak ölçülmüştür. Standart durumda 2200 d/d motor devrinde en yüksek 12,4 kW olarak ölçülen efektif güç değeri S10 kullanımında 11,8 kW, OEY kullanımında ise 12 kW olarak ölçülmüştür. Bunun nedeni, stabilize emülsifiye yakıtlardaki su oranının artmasıyla yakıtın her kütlesinde aslında daha az dizel yakıt bulunmasıdır. Buna bağlı olarak motor döndürme momenti ve efektif gücü de bir miktar azalmıştır (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 841-854). Ayrıca stabilize emülsifiye yakıtın hızlı yanmasının, su damlacıklarının etrafındaki mikro

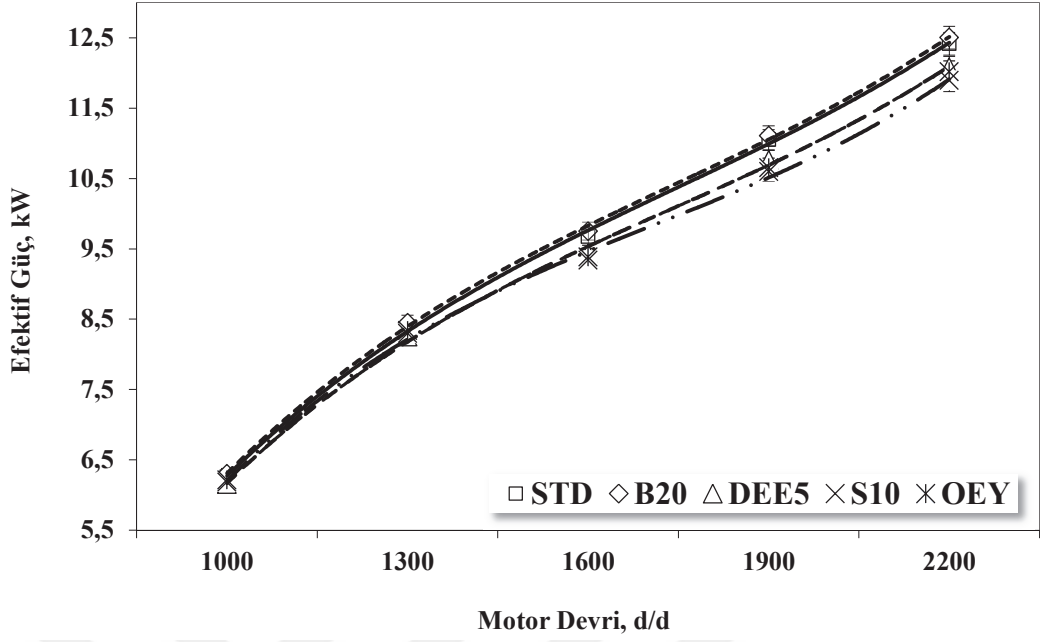
patlamalar nedeniyle püskürtme atomizasyonunun iyileşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Subramanian ve Ramesh, 2002, s. 353-360).



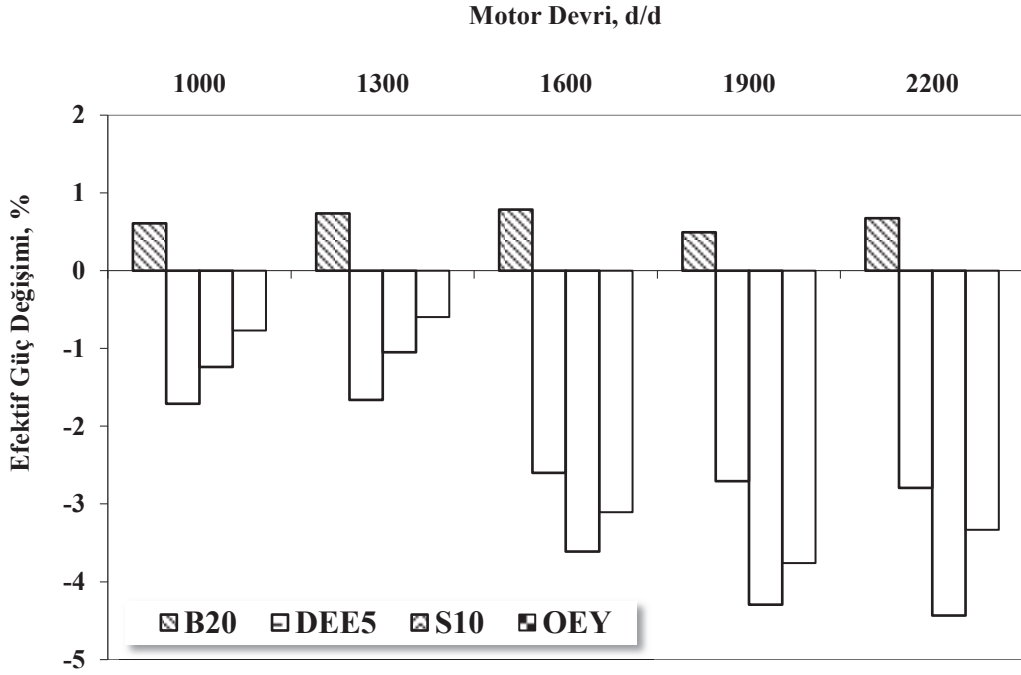
Şekil 5.56. Motor döndürme momenti değişimleri.



Şekil 5.57. Motor döndürme momenti oransal değişimleri.



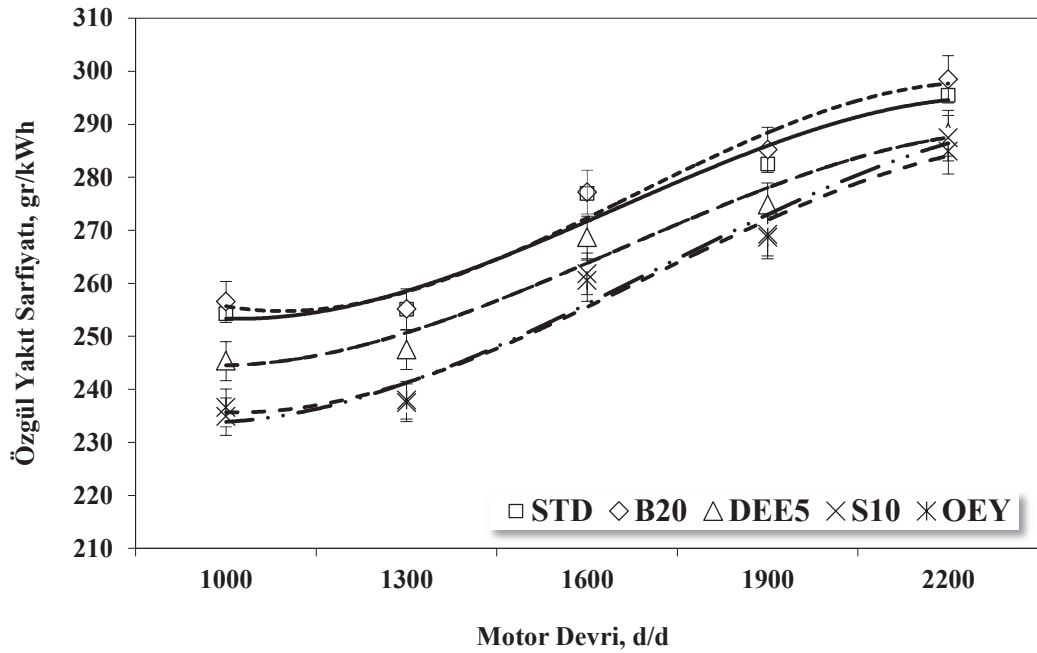
Şekil 5.58. Motor efektif gücü değişimleri.



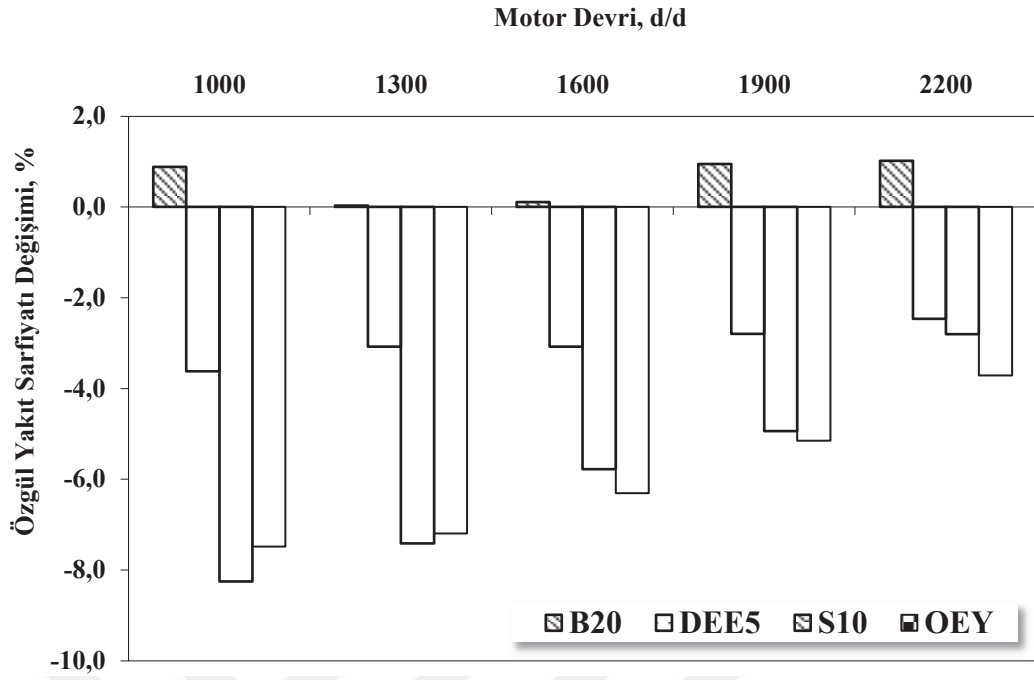
Şekil 5.59. Motor efektif gücü oransal değişimleri.

Dizel, B20, DEE5, S10 ve OEY yakıtların kullanılması durumunda elde edilen ÖYS'deki değişimler Şekil 5.60. ve Şekil 5.61.'de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi motorda OEY kullanılması durumunda standart motor verilerine göre ÖYS'de

%8'e varan oranlarda azalış tespit edilmiştir. Standart durumda 254,2 gr/kWh olarak hesaplanan ÖYS, S10 yakıtı kullanıldığında 234,8 gr/kWh, OEY kullanıldığında ise 236,5 gr/kWh olarak hesaplanmıştır (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 841-854). Dryer (1976, s. 321-336), emülsifiye yakıt içerisindeki suyun gizli buharlaşma ısısının düşük olmasından dolayı daha erken buharlaşarak yakıt ve havanın daha iyi karışmasına neden olduğunu ve bu sayede yanma veriminde artış meydana geldiğini ileri sürmektedir. Harbach ve Agosa (1991, s. 356-363), sıkıştırma stroku sonuna doğru suyun buharlaşma ısısının daha düşük olmasından dolayı tutuşma gecikmesinden sonraki kontrolsüz yanma safhasında silindir içerisinde daha yüksek basıncın elde edildiği ve bu sayede genişleme strokunda elde edilen güç miktarında artış olduğunu ileri sürmüşlerdir. Aynı zamanda emülsifiye yakıt kullanımında bir çevrimde silindire gönderilen yakıt, emülsifiye yakıt içerisindeki su oranı kadar azalmaktadır. Bu da ÖYS'nin azalmasına neden olmaktadır.

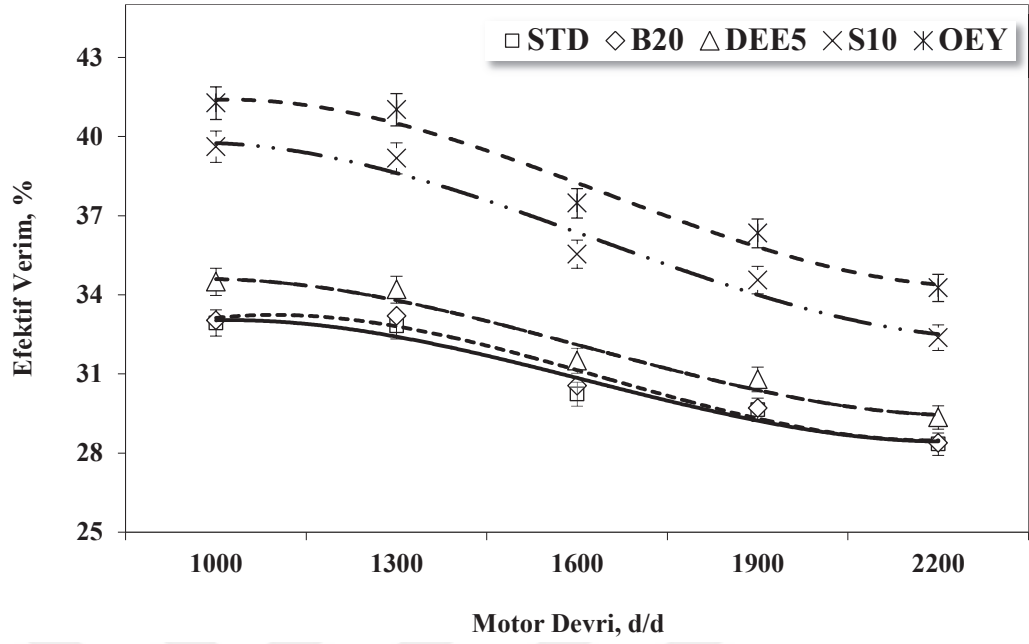


Şekil 5.60. Özgül yakıt sarfıyatı değişimleri.

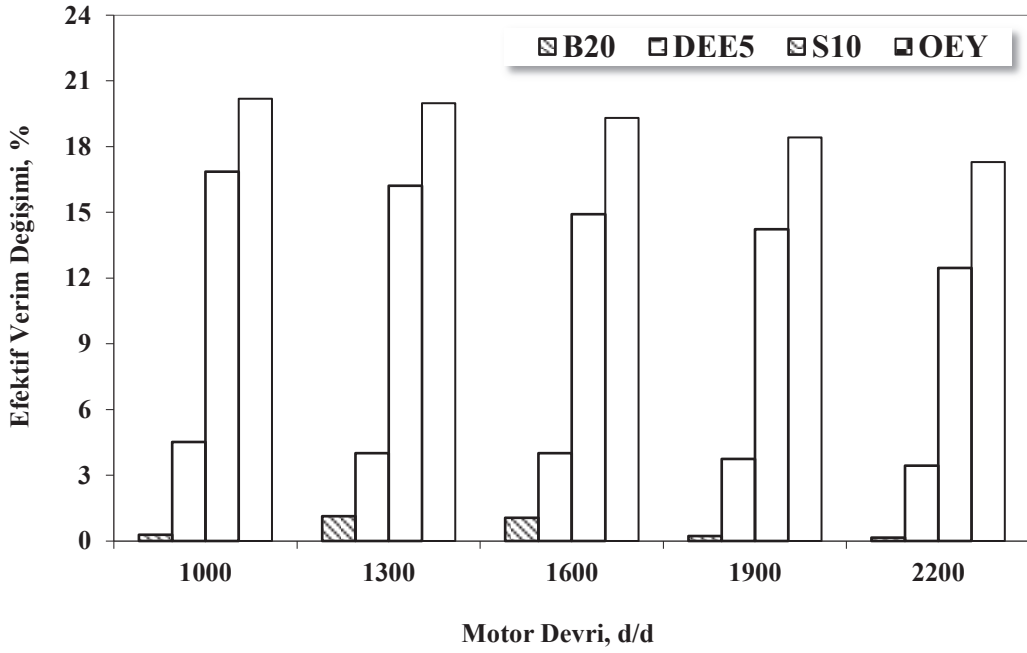


Şekil 5.61. Özgül yakıt sarfiyatı oransal değişimleri.

Şekil 5.62. ve Şekil 5.63.'te tam yük şartlarında farklı motor devirlerinde dizel, B20, DEE5, S10 ve OEY kullanılarak elde edilen efektif verim değerleri ve standart duruma göre meydana gelen değişimler verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi motorda emülsifiye yakıt kullanıldığında efektif verimde önemli oranda artış saptanmıştır. Standart dizel yakıtı ile ölçülen en yüksek efektif verim değeri %32,9 iken S10 yakıtı kullanıldığında %39,6, OEY kullanıldığında ise %41,3 olarak ölçülmüştür. Standart duruma göre S10 yakıtı kullanıldığında efektif verimde %16,7 iyileşme elde edilirken OEY yakıt kullanıldığında %20,1 oranında iyileşme elde edilmiştir. OEY içeriğinde su ile birlikte oksijen içeriği yüksek DEE ve biyodizelin olması efektif verimi, S10 stabilize emülsifiye yakıtı göre daha da artırmasını sağlamıştır. Yakıt sarfiyatının azalmasına neden olan etkenler efektif verimin de artmasına neden olmuştur (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 841-854).



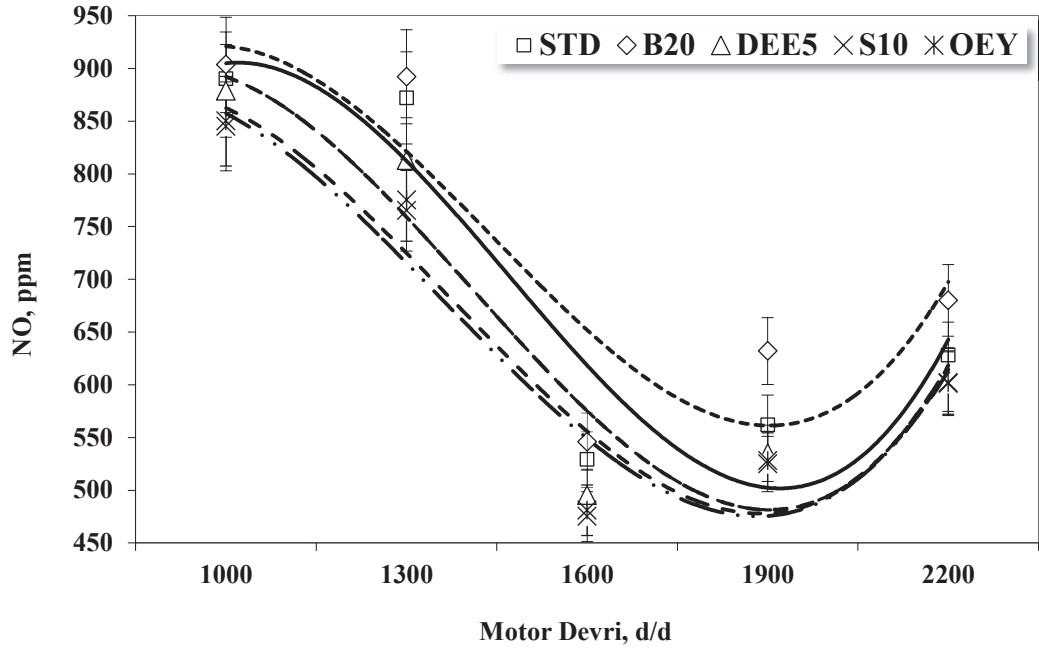
Şekil 5.62. Motor efektif verimi değişimleri.



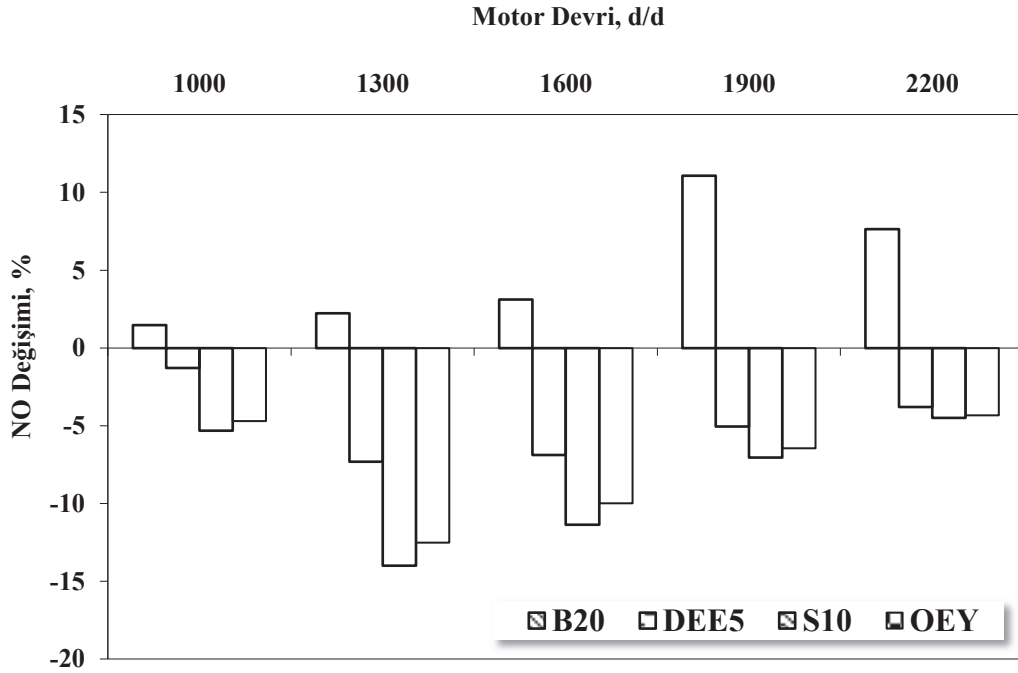
Şekil 5.63. Motor efektif verimi oransal değişimleri.

5.1.8. Optimum emülsifiye yakıtın emisyon karakteristiklerine etkileri

Motorda dizel, B20, DEE5, S10 ve OEY yakıtları kullanılarak tam yük şartlarında ve farklı motor hızlarında ölçülen NO değerleri ve standart motor verilerine göre meydana gelen değişim oranları Şekil 5.64. ve Şekil 5.65.'te verilmiştir. NO emisyonlarının oluşmasını etkileyen ana mekanizma silindir içerisinde meydana gelen yüksek sıcaklık değerleridir. Silindir içi sıcaklığın düşürülmesi NO emisyonlarının azalmasını sağlayacaktır. Silindir içerisine emülsifiye yakıt içinde gönderilen su, buharlaşma esnasında silindir içerisinden ısı çekmekte ve yüksek özgül ısı kapasitesi nedeni ile silindir içi en yüksek sıcaklığın düşmesini sağlamaktadır (Monyem ve Van Gerpen, 2001, s. 317-325). Şekiller incelendiğinde S10 ve OEY kullanımında standart duruma göre NO emisyonlarında dikkate değer oranda azalış meydana geldiği görülmektedir. Standart duruma göre S10 kullanımında NO emisyonlarında %14 oranında, OEY yakıt kullanımında ise %12,5 oranında azalış elde edilmiştir. Standart durumda 2103,07 K olarak hesaplanan adyabatik alev sıcaklığı, S10 stabilize emülsifiye yakıt ile 2073,34 K, OEY kullanıldığında ise 2081,43 K olarak hesaplanmıştır. Sıcaklığın düşmesine bağlı olarak hesaplanan NO oluşum hızı değerinde standart duruma göre S10 kullanımında %60, OEY kullanımında ise %43 oranında azalış meydana geldiği görülmektedir. OEY'nin içerisinde bulunan biyodizel, S10 yakıtına göre NO emisyonlarındaki azalma miktarının bir miktar artmasına neden olmuştur. B20 kullanımına göre mukayese edildiğinde OEY'nin kullanılması durumunda NO emisyonlarında %24'e varan oranlarda azalış elde edilmiştir (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 841-854).



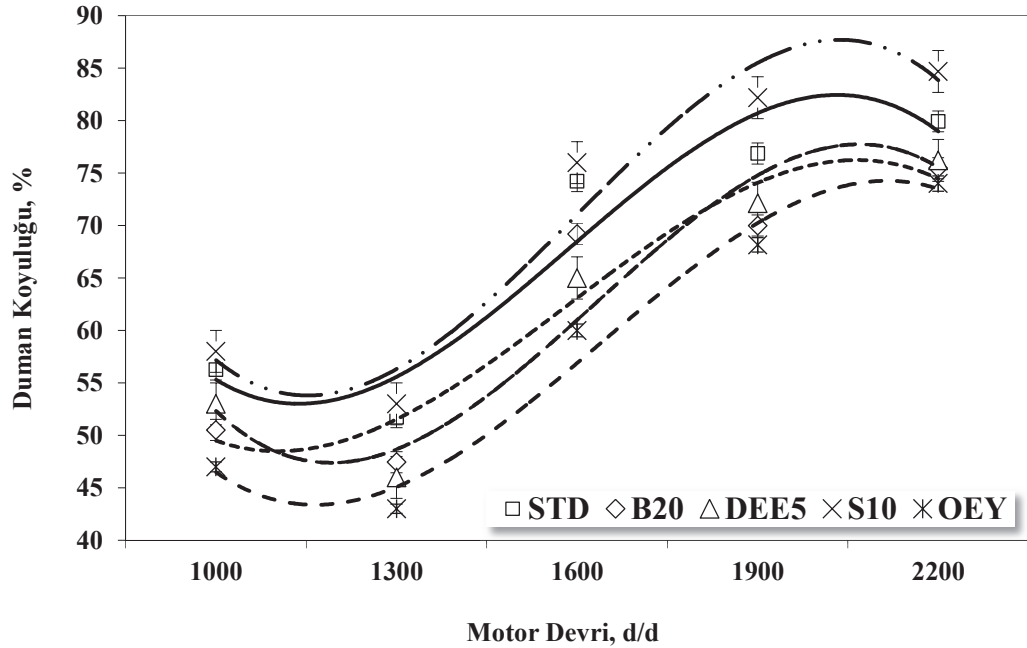
Şekil 5.64. NO emisyonu değışimleri.



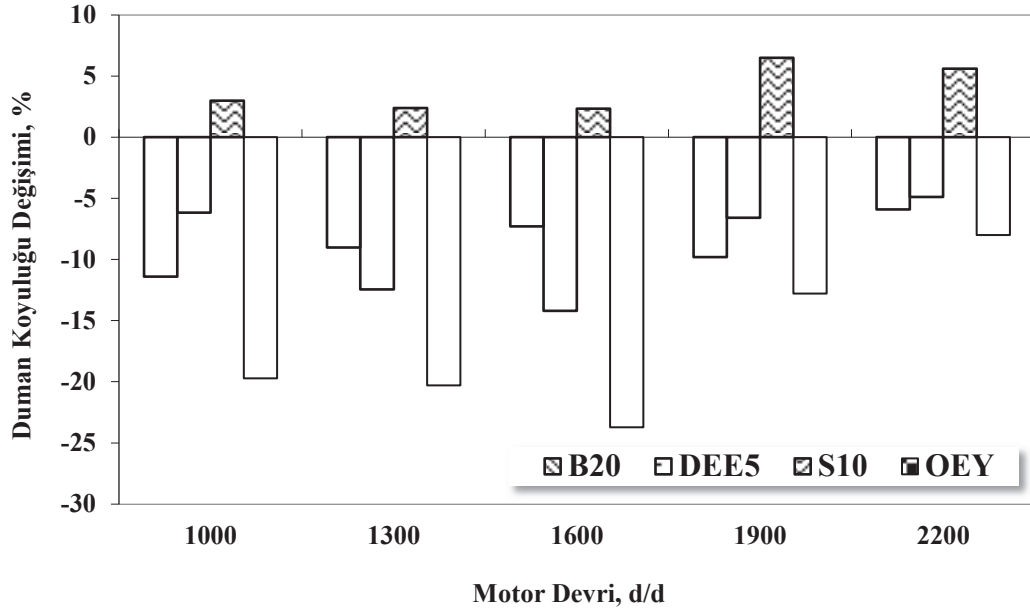
Şekil 5.65. NO emisyonu oransal değışimleri.

Şekil 5.66. ve Şekil 5.67.'de dizel, B20, DEE5, S10 ve OEY kullanılarak elde edilen is emisyonu değeri ve standart duruma göre meydana gelen değışimler verilmiştir. Dizel motorlarında silindir içerisinde yakıt/hava karışımının yeterince karışmaması ve

lokal zengin karışım bölgelerinin oluşması, dizel motorlarının yüksek HFK ile çalışmasına rağmen is emisyonlarının oluşmasına sebep olmaktadır. Ayrıca is emisyonlarının oluşumunu etkileyen diğer bir etken de yanma için yeterli zamanın kalmamasıdır. Şekiller incelendiğinde oksijen içeriği yüksek olan biyodizel ve DEE karışımları kullanıldığında is emisyonlarında azalış meydana geldiği görülmektedir. Stabilize emülsifiye yakıt kullanımında ise standart duruma göre is emisyonlarının arttığı görülmektedir. Emülsifiye yakıt üzerine yapılan bazı çalışmalarda emülsifiye yakıt kullanımında tutuşma gecikmesi süresinin uzadığı vurgulanmaktadır (Ayhan, 2013, s. 91-98). Tutuşma gecikme süresinin uzaması yanma için yeterli zamanın kalmamasına neden olabileceğinden S10 kullanımında is emisyonlarının artmasına neden olduğu düşünülmektedir. OEY içeriğinde setan sayısı 125 gibi yüksek bir değere sahip DEE katkısı bulunmaktadır. Bu yakıt sayesinde tutuşma gecikme süresinin kısaldığı ve standart motor ile aynı püskürtme avansı değerinde optimum performansın elde edildiğinden daha önce bahsedilmiştir. Ayrıca biyodizel ve DEE oksijen içeriği yüksek alternatif yakıtlardandır. Bu yakıtların kullanılması ile motor daha fakir karışım bölgesinde çalıştığından is emisyonlarının azalması sağlanabilmektedir. Standart duruma göre OEY kullanıldığında %23'e varan oranlarda azalış elde edilmiştir (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 841-854).

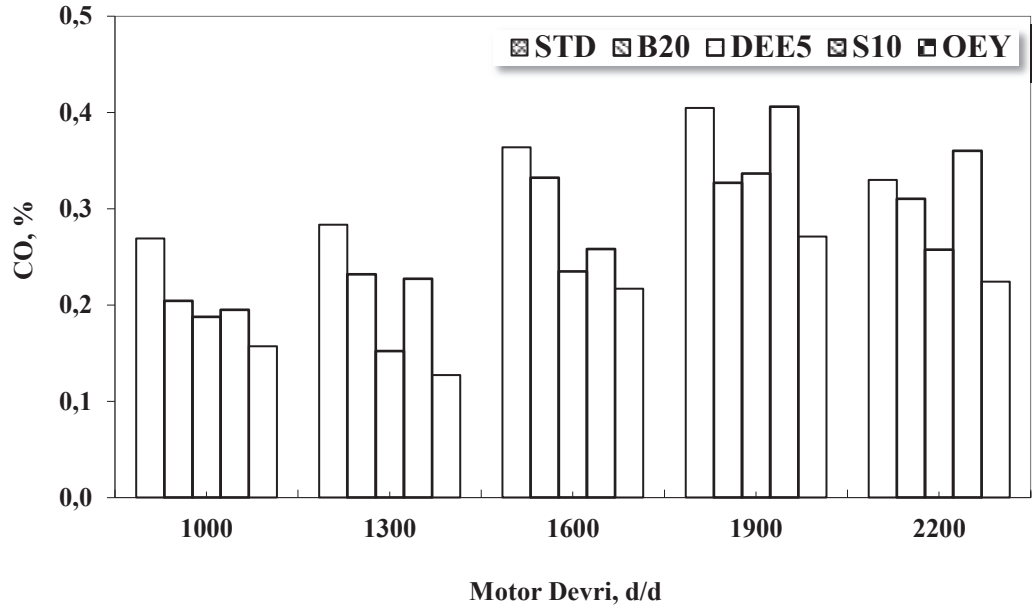


Şekil 5.66. Duman koyuluğu (is) emisyonu değişimleri.



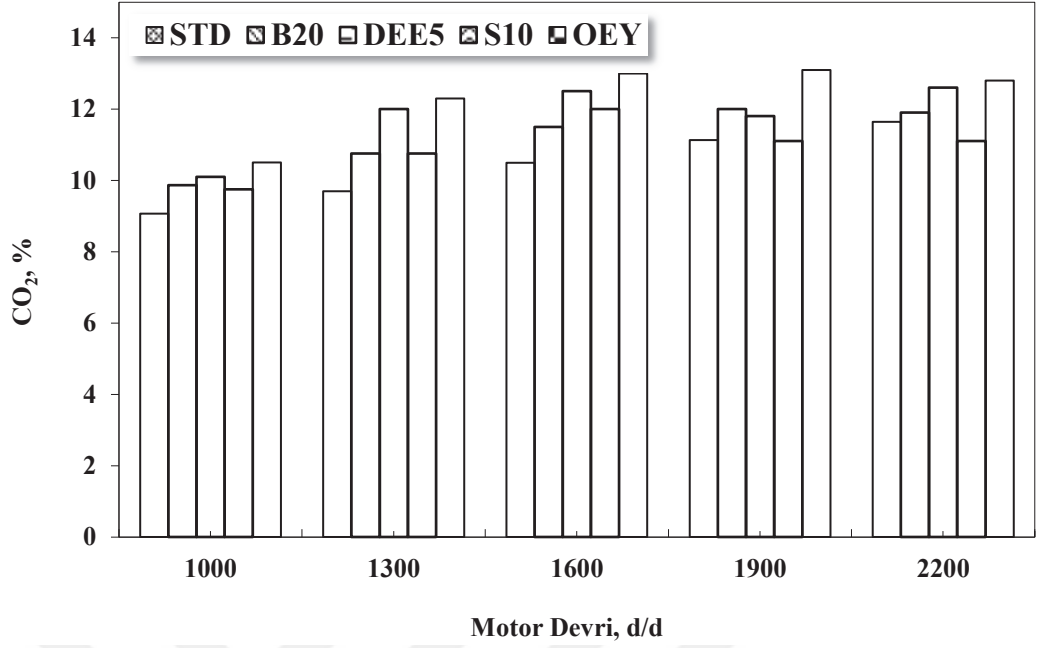
Şekil 5.67. Duman koyuluğu (is) emisyonu oransal değişimleri.

Şekil 5.68.'de tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde dizel, B20, DEE5, S10 ve OEY kullanılarak ölçülen CO emisyonu değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde standart duruma ve diğer yakıtlara göre OEY kullanımında CO emisyonlarında tüm motor devirlerinde azalış olduğu görülmektedir. Standart duruma göre diğer yakıtların (B20, DEE5, S10) kullanılması durumunda CO emisyon değerlerinde azalış elde edilmiş olmasına karşın en yüksek azalma miktarı OEY ile elde edilmiştir. Şekil 5.70.'te egzozdan salınan O₂ değerleri ve Şekil 5.72.'de ise HFK değişimleri verilmiştir. Şekiller incelendiğinde OEY karışımı kullanıldığında motorun diğer tüm yakıtlara ve standart duruma göre daha yüksek HFK ile çalıştığı görülmektedir. Oksijen içeriğinin artması ve mikro patlamaların etkisiyle CO emisyonlarının azaldığı düşünülmektedir (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 841-854).



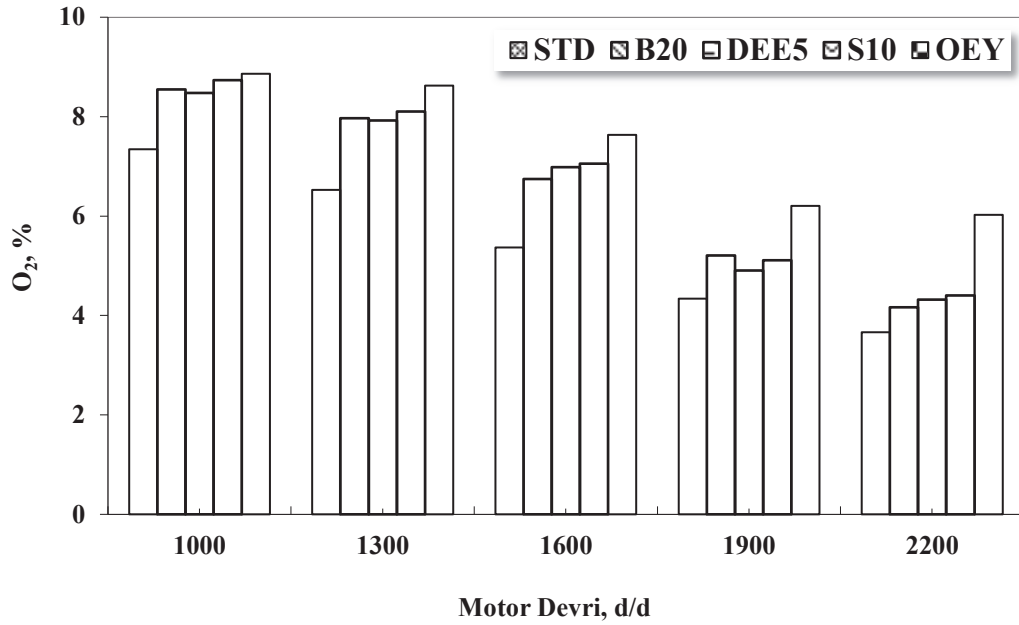
Şekil 5.68. CO emisyonu değişimleri.

Motorda dizel, B20, DEE5, S10 ve OEY yakıtları kullanılarak tam yük şartlarında ve farklı motor hızlarında ölçülen CO₂ emisyon değerleri Şekil 5.69.'da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi standart duruma göre B20, DEE5, S10 ve OEY yakıtları kullanımlarında neredeyse tüm motor devirlerinde CO₂ emisyonlarında artış meydana geldiği görülmektedir. 1000 ila 1600 d/d motor hızlarında en düşük CO₂ emisyonu salınımı değerlerini veren yakıt dizel yakıtı olarak görülürken en yüksek motor gücüne ulaşılan 1900 ila 2200 d/d motor hızlarında S10 yakıtıyla en düşük CO₂ emisyonlarının salındığı görülmektedir. DEE5 ile OEY yakıtlarının CO₂ emisyonu artış oranları birbirine yakın seyretmektedir (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 841-854).



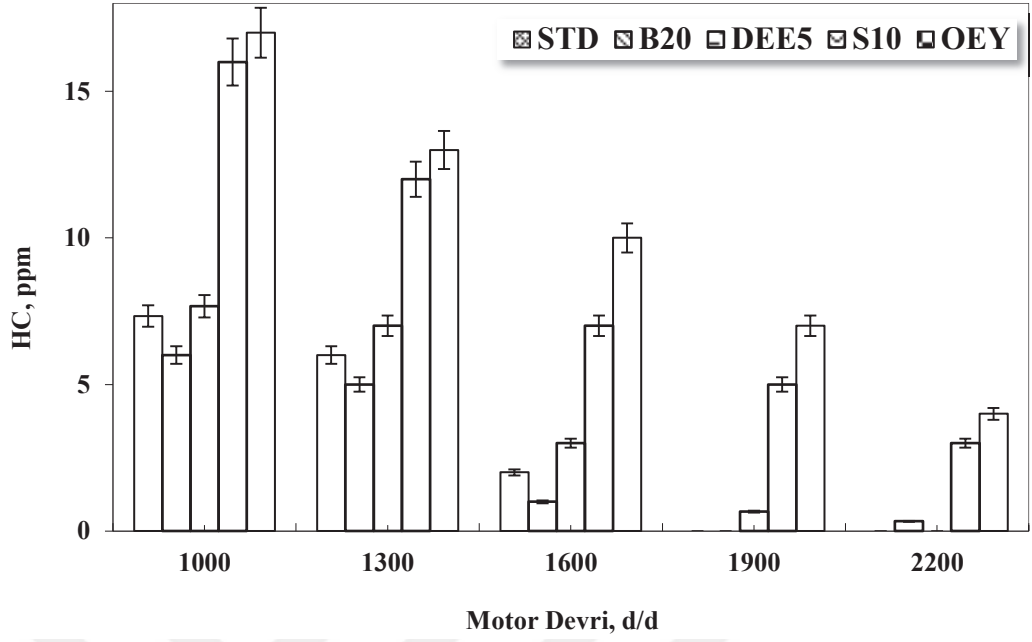
Şekil 5.69. CO₂ emisyonu değişimleri.

Şekil 5.70. ve Şekil 5.72.'de sırasıyla dizel, B20, DEE5, S10 ve OEY kullanılarak ölçülen O₂ emisyonu değerleri ve HFK değerleri verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi standart duruma göre diğer tüm yakıtların (B20, DEE5, S10 ve OEY) kullanılması durumunda egzozdan salınan O₂ değerlerinde ve HFK değerlerinde artış meydana gelmiştir. Biyodizel, DEE ve Span 80 oksijen içeriği yüksek maddelerdir. Dolayısıyla standart dizele göre diğer yakıtların kullanılması durumunda O₂ ve HFK artışı kimyasal yapılarında sahip oldukları O₂ içeriğinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca emülsifiye yakıt kullanımında silindir içerisine gönderilen yakıt debisinde, yakıt içerisindeki su oranı kadar azalma meydana gelmektedir. Bu da emülsifiye yakıt kullanımında meydana gelen artışın diğer bir sebebidir (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 841-854).

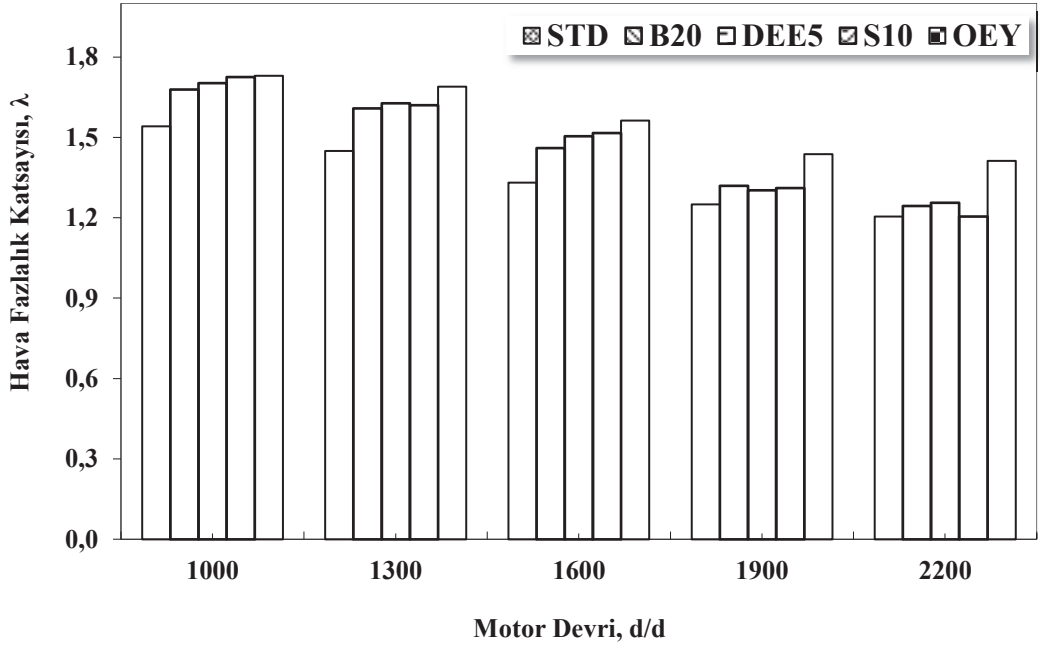


Şekil 5.70. O₂ emisyonu değişimleri.

Motorda dizel, B20, DEE5, S10 ve OEY yakıtları kullanılarak tam yük şartlarında ve farklı motor hızlarında ölçülen HC emisyon değerleri Şekil 5.71.'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi özellikle S10 ve OEY karışımları kullanıldığında HC emisyonlarında artış meydana geldiği tespit edilmiştir. HC emisyonlarının artmasının birkaç sebebi olabilir. Bunlardan birincisi, DEE'nin dizele göre daha yüksek buharlaşma ısısına sahip olmasıdır. Bundan ötürü DEE, silindir içerisine enjekte edilen yakıtın buharlaşmasını geciktirmiş ve bu sebeple H/Y karışımı oluşumu zayıflamış olabilir. İkincisi, emülsifiye yakıtların kullanılması durumunda silindir içi sıcaklığın azalmasına bağlı olarak silindir cidarlarına yakın bölgelerde (silindir içi en soğuk bölgeler) alev sönmeleri meydana gelmiş olabilir. Dolayısıyla HC emisyonlarını artmış olabilir (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 841-854).



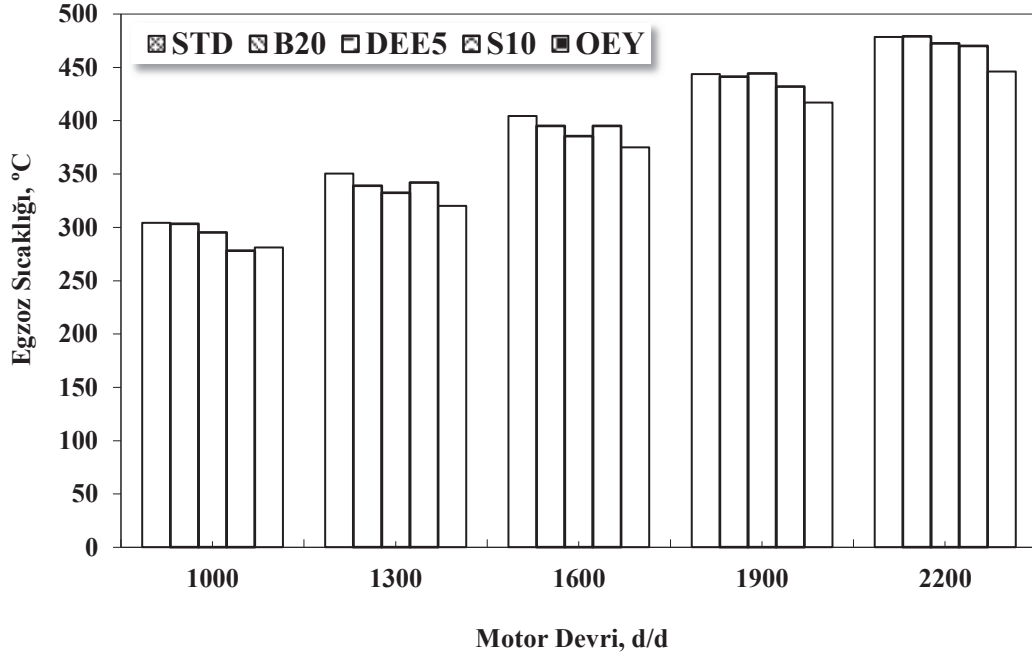
Şekil 5.71. HC emisyonu değişimleri.



Şekil 5.72. Hava fazlalık katsayısı değişimleri.

Şekil 5.73.'te sırasıyla dizel, B20, DEE5, S10 ve OEY kullanılarak ölçülen egzoz sıcaklığı değerleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi standart duruma göre diğer tüm yakıtların (B20, DEE5, S10 ve OEY) kullanılması durumunda egzoz sıcaklığı

değerlerinde azalış meydana gelmiştir. Bu durum emülsifiye yakıt kullanımında silindir içerisine gönderilen yakıt debisinde, yakıt içerisindeki su oranı kadar azalma meydana gelmesinden ve DEE'nin gizli buharlaşma ısısından kaynaklanmaktadır. Tüm bunlara bağlı olarak silindir içi sıcaklık değerleri azalmış dolayısıyla egzoz sıcaklığı da azalmıştır (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 841-854).



Şekil 5.73. Egzoz sıcaklığı değişimleri.

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Biyodizel Kullanımıyla Elde Edilen Sonuçlar

Bu çalışmada direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda transesterifikasyon yöntemi ile ayçiçek yağından elde edilen metil esterin B10, B20 ve B50 oranlarında kullanımının motor performans parametreleri ve emisyon karakteristiklerine etkileri deneysel olarak incelenmiştir (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).

Çalışmanın sonucunda standart duruma kıyasla motor döndürme momenti ve efektif gücün B10 ve B20 karışım oranlarında arttığı, B50 karışım oranında ise azaldığı tespit edilmiştir. En yüksek artış B20 kullanımında meydana gelmiştir. Biyodizel karışımlarının kullanılması durumunda ÖYS’de bir miktar artışın meydana geldiği, karışım içerisindeki biyodizel oranı arttıkça ÖYS’nin de arttığı tespit edilmiştir. B20 kullanımında tüm motor devirlerinde efektif verimde artışın meydana geldiği, B50 kullanımında ise azalışın meydana geldiği tespit edilmiştir (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).

Biyodizel karışımları kullanılması durumunda NO emisyonlarında artışın meydana geldiği gözlemlenirken is emisyonlarında dikkate değer oranda azalışın meydana geldiği gözlemlenmiştir. Biyodizel karışımları kullanılması durumunda CO emisyonlarında azalışın meydana geldiği gözlemlenirken HC emisyonlarında düşük motor devirlerinde azalışın, yüksek motor devirlerinde ise bazı karışım oranlarında artışın meydana geldiği gözlemlenmiştir (Ayhan, Tunca, Cesur, Özsert ve Ergen, 2019, s. 67-73).

6.2. Dietil Eter Kullanımıyla Elde Edilen Sonuçlar

Bu çalışmada tek silindirli bir dizel motorunda DEE-Dizel karışımlarının motor performans parametrelerine ve emisyon karakteristiklerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmamızda saf dizel ve 3 farklı DEE3 DEE5 ve DEE7 karışımları motorda yakıt olarak kullanılarak farklı motor devirlerinde tam yük şartlarında deneyler gerçekleştirilmiştir (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 710-718).

Deneyler sonucunda motorda DEE karışımları kullanıldığında standart motor verilerine göre motor döndürme momenti ve efektif gücünde ve YS’de azalış, efektif verimde ise artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Performans parametreleri açısından en uygun karışım DEE5 olduğu gözlemlenmiştir (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 710-718).

DEE karışımlarının kullanılması durumunda dizel yakıtı göre NO emisyonlarında %12’ye varan oranda azalma, duman koyuluğu (is) emisyonlarında %11’e varan oranda azalma, CO emisyonlarında dikkate değer oranda azalma, CO₂ emisyonlarında azalma ve HC emisyonlarında ise artımların meydana geldiği tespit edilmiştir. Egzoz sıcaklığında ise DEE karışımları kullanıldığında genel olarak azalmanın meydana geldiği tespit edilmiştir (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 710-718).

Genel olarak değerlendirildiğinde dizel motorlarında DEE kullanımı özellikle NO ve is emisyonlarında dikkate değer oranda azalma sağlamaktadır. Aynı zamanda YS ve efektif verimde de iyileşmelere neden olduğu tespit edilmiştir (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 710-718).

6.3. Stabilize Emülsifiye Yakıt Kullanımıyla Elde Edilen Sonuçlar

Bu çalışmada stabilize emülsifiye yakıt kullanımının motor performansına ve emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Elde edilen veriler standart motor verileri ile karışılaştırılmıştır (Tunca, Ayhan, ay ve Cesur, 2017, s. 41-48).

Çalışma sonucunda stabilize emülsifiye yakıt kullanımı durumunda motor döndürme momentinde ve efektif gücünde azalış meydana geldiği tespit edilmiştir. Emülsifiye yakıt kullanımında standart duruma göre ÖYS ve efektif verimde dikkate değer oranlarda iyileşmelerin meydana geldiği gözlemlenmiştir. Dizel motorları için büyük problem olan NO emisyonlarında emülsifiye yakıt kullanımı durumunda %21'lere varan oranlarda azalış sağlanmıştır. İS emisyonlarında düşük motor devirlerinde standart duruma göre dikkate değer bir değişim gözlemlenmezken yüksek motor devirlerinde emülsifiye yakıtların İS emisyon değerlerini olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. CO emisyonlarında S10 ve S15 kullanımı ile düşük motor devirlerinde azalış meydana gelirken yüksek motor devirlerinde artış meydana geldiği saptanmıştır. CO₂ emisyonlarında emülsifiye yakıtların kullanılması durumunda tüm motor devirlerinde azalış meydana geldiği tespit edilmiştir. Emülsifiye yakıt kullanımının HC emisyonlarını olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir (Tunca, Ayhan, Çay ve Cesur, 2017, s. 41-48).

6.4. Optimum Emülsifiye Yakıt Kullanımıyla Elde Edilen Sonuçlar

Bu çalışmada farklı biyoyakıt katkılı emülsifiye yakıtların motor performans parametrelerine ve emisyon karakteristiklerine etkileri tek silindirli bir dizel motor kullanılarak tam yük şartlarında deneysel olarak incelenmiştir. OEY içerisindeki biyoyakıt ve su oranının belirlenmesi için deneysel çalışmalar aşamalı olarak yürütülmüştür. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilerden aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 841-854).

Biyodizel-Dizel karışımları (B10, B20 ve B50) ile yapılan çalışmalar sonucunda performans açısından optimum sonucun B20 karışımı kullanımında elde edildiği tespit edilmiştir. DEE-Dizel karışımları (DEE3, DEE5 ve DEE7) kullanılarak yapılan çalışmalar sonucunda motor performans ve emisyon değerleri açısından en iyi sonucun DEE5 ile elde edildiği saptanmıştır. Stabilize emülsifiye yakıt kullanımı ile yapılan deneysel çalışmalar sonucunda performans ve emisyon değerleri açısından optimum su oranının %10 su içerikli S10 yakıtı ile elde edildiği tespit edilmiştir. Çıkan sonuçlar değerlendirilerek hazırlanan OEY, kütleli olarak B20+DEE5+%10 Su+%2

Sürfektant+%63 dizel yakıtı karıştırılarak elde edilmiştir (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 841-854).

OEY'nin motorda yakıt olarak kullanımında standart motor değerlerine göre motor döndürme momenti ve efektif gücünde bir miktar azalmanın olduğu, ÖYS'de %5,7 azalma, efektif verimde %19'a varan oranda iyileşme, NO emisyonlarında %12,5, is emisyonlarında %29, CO emisyonlarında dikkate değer oranlarda azalmalar tespit edilmiştir. CO₂ ve HC emisyonlarında ise artış meydana geldiği tespit edilmiştir (Ayhan ve Tunca, 2018, s. 841-854).



KAYNAKLAR

- Agarwal A. K., Das L., (2007). Biodiesel Development and Characterization for Use as a Fuel in Compression Ignition Engines, *Journal of Engineering Gas Turbines Power*, Cilt: 123, Sayfa: 440-447.
- Arcoumanis C., Bae C., Crookes R., Kinoshita E., (2008). The Potential of Di-Methyl Ether (DME) as an Alternative Fuel for Compression-Ignition Engines: A Review, *Fuel*, Cilt: 87, Sayfa: 1014-1030.
- Armas O., Ballesteros R., Martos F. J., Agudelo J. R., (2005). Characterization of Light-Duty Diesel Engine Pollutant Emissions Using Water-Emulsified Fuel, *Fuel*, Cilt: 84, Sayfa: 1011-1018.
- Aydın S., Aydın H., İlkılıç C., (2012). Biyodizelin Hava Kirliliğine Etkisi, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, Cilt: 1, Sayı: 2.
- Ayhan V., (2009). *Bir Dizel Motoruna Buhar Enjeksiyonunun NO_x ve İş Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması*, SAÜ, FBE, Makine Eğitimi Bölümü, Doktora Tezi.
- Ayhan V., (2016). Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motoruna Buhar ve Farklı Yöntemlerle Su Gönderiminin Performans ve NO_x Emisyonlarına Etkilerinin İncelenmesi, *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt: 20, Sayı: 3, Sayfa: 463-471.
- Ayhan V., (2013). Effects of Emulsified Fuel on The Performance and Emission of Direct Injection Diesel Engine, *Journal of Energy Engineering*, Cilt: 139, Sayfa: 91-98.
- Ayhan V., Tunca S., Cesur İ., Özsert İ., Ergen G., (2019). Ayçiçek Yağı Metil Esteri Karışımlarının DI Bir Dizel Motorunun Performans ve Emisyonlarına Etkisi, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, Cilt: 7-1, Sayfa: 67-73.
- Ayhan V., Tunca S., (2018). Dietil Eter-Dizel Karışımlarının Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorunun Performans ve Emisyonlarına Etkisi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt: 22 (2), Sayfa: 710-718.
- Ayhan V., Tunca S., (2018). Experimental Investigation on Using Emulsified Fuels with Different Biofuel Additives in a DI Diesel Engine for Performance and Emissions, *Applied Thermal Engineering*, Cilt: 129, Sayfa: 841-854.

- Baskar P., Kumar A. S., (2017). Experimental Investigation on Performance Characteristics of a Diesel Engine Using Diesel-Water Emulsion with Oxygen Enriched Air, *Alexandria Engineering Journal Cilt: 56*, Sayfa: 137–146.
- Bayrakçeken H., Kuş R., (2004). Taşıtlarda Kullanılan Alternatif Yakıtlar, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt: 6*, Sayı: 1, Sayfa: 125-144.
- Bolkan H., (2015). Otomobilcilerin 2020 Kâbusu, *Oto Haber Dergisi*, Sayı: 05.
- Bosch H., Bongers A., Enoch G., Snel R., Ross J. R. H., (1989). Lithium–Vanadium Bronzes as Model Catalysts for the Selective Reduction of Nitric Oxide, *Catal Today, Cilt: 4(2)*, Sayfa: 139–54.
- BP Enerji Görünümü 2017 Raporu Basın Bülteni*, (2017). British Petroleum (BP), İstanbul, TR.
- BP Statistical Review of World Energy*, (2017). 66th Edition, UK.
- Can Ö., (2014). Combustion Characteristics, Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Fueled with a Waste Cooking Oil Biodiesel Mixture, *Energy Convers. Manag., Cilt: 87*, Sayfa: 676-686.
- Canfield C. A., (1999). *Effects of Diesel-Water Emulsion Combustion on Diesel Engine NO_x Emissions*, M. Sc. Thesis, University of Florida, Gainesville, FL.
- Chandran D., Ng H. K., Lau H. L. N., Gan S., Choo Y. M., (2016). Investigation of the Effects of Palm Biodiesel Dissolved Oxygen and Conductivity on Metal Corrosion and Elastomer Degradation Under Novel Immersion Method, *Applied Thermal Engineering, Cilt: 104*, Sayfa: 294-308.
- Cheng A. S., Dibble R. W., (1999). Emissions Performance of Oxygenate-in-diesel Blends and Fischer-Tropsch Diesel in a Compression Ignition Engine, *SAE, Sayfa: 1999-01-3606*.
- Crookes R. J., Nazha M. A. A., Kiannajad F., (1990). A Comparison of Ignition and Emissions Characteristics for Alternative Diesel Fuels and Emulsions, *International Mechanical Engineering Seminar Publication*, Sayfa: 47–52.
- Çanakçı M., (2005). Performance and Emissions Characteristics of Biodiesel from Soybean Oil, *P. I. Mech. Eng. D-J. Aut. Cilt: 219*, Sayfa: 915-922.
- Dryer F. L., (1976). Water Addition to Practical Combustion Systems Concepts and Applications, *16th International Symposium on Combustion*, The Combustion Institute, Sayfa: 321–336, Cambridge MA.
- Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü*, (2017). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Strateji Geliştirme Başkanlığı, Sayı: 15.

- Erduranlı P., Sekmen Y., Çınar C., (2001). Buji İle Ateşlemeli Değişken Sıkıştırma Oranlı Motorların Egzoz Emisyonları Açısından İncelenmesi, *Selçuk-Teknik Online Dergisi / Issn 1302- 6178, Cilt: 2, Sayı: 1, Konya.*
- Ergeneman M., Arslan H., Mutlu M., (1998). *Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Fahd M. E. A., Wenming Y., Lee P. S., Chou S. K., Yap C. R., (2013). Experimental Investigation of the Performance and Emission Characteristics of Direct Injection Diesel Engine by Water Emulsion Diesel Under Varying Engine Load Condition, *Applied Energy*, Sayı: 102, Sayfa: 1042-1049.
- Gonca G., (2014). Investigation of the Effect of Steam Injection on Performance and NO Emissions of a Diesel Engine Running with Ethanol-Diesel Blend, *Energy Conversion and Management*, Sayı: 77, Sayfa: 450-457.
- Graboski M. S., McCormick R. L., (1998). Combustion of Fat and Vegetable Oil Derived Fuels in Diesel Engines, *Prog Energy Combust Sci, Cilt: 24, Sayfa: 125-64.*
- Greeves G., Khan I. M., Omion G., (1976). Effects of Water Introduction on Diesel Engine Combustion and Emissions, *in Proceedings of the 16th Annual Symposium (International) on Combustion (Williams and Wilkins Co., Baltimore)*, Sayfa: 321–336.
- Gürü M., Koca A., Can Ö., Çınar C., Şahin F., (2010). Biodiesel Production from Waste Chicken Fat-Based Sources and Evaluation with Mg Based Additive in a Diesel Engine, *Renew Energy, Cilt: 35, Sayı: 3, Sayfa: 637-643.*
- Harbach J. A., Agosa V., (1991). Effects of Emulsified Fuel on Combustion in a Four-Stroke Diesel Engine, *J Ship Rest, Cilt: 35(4), Sayfa: 356–363.*
- Haşimoğlu C., (2000). *Dizel Motorlarında Egzoz Gazları Resirkülasyonunun (EGR) Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Haşimoğlu C., (2005). *Düşük Isı Kayıplı Bir Dizel Motorunda Biyodizel Kullanılmasının Performans ve Emisyon Parametrelerine Etkisi*, SAÜ, FBE, Doktora Tezi, Sakarya.
- Haşimoğlu C., İçingür Y., Özsert İ., (2008). Turbo Şarjlı Bir Dizel Motorda Yakıt Olarak Biyodizel Kullanılmasının Motor Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt: 23, Sayı: 1, Sayfa: 207-213.*
- He B., Shao Y., Ren Y., Li J., Cheng Y., (2015). Continuous Biodiesel Production from Acidic Oil Using a Combination of Cation and Anion-Exchange Resins, *Fuel Processing Technology, Cilt: 130, Sayfa: 1-6.*

- Heywood J. B., (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, Inc., New York, USA.
- Iranmanesh M., Subrahmanyam J. P., Babu M. K. G., (2008). Application of Diethyl Ether to Reduce Smoke and NO_x Emissions Simultaneously with Diesel and Biodiesel Fueled Engines, *In: Proceedings of 2008 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE2008)*, Boston, MA, Oct. 31 - Nov. 6, Sayfa: 77-83.
- Ithnin A. M., Ahmad M. A., Abu Bakar M. A., Rajoo S., Yahya W. J., (2015). Combustion Performance and Emission Analysis of Diesel Engine Fuelled with Water-in-Diesel Emulsion Fuel Made from Low-Grade Diesel Fuel, *Energy Conversion and Management*, Sayı: 90, Sayfa: 375-382.
- İçingür Y., Yamık H., (2003). Metil ve Etil Esterin Dizel Yakıtı Olarak Kullanılma İmkânlarının Deneysel Olarak Araştırılması, *Politeknik Dergisi*, Sayı: 2, Sayfa: 459-464.
- İlkılıç C., Yücesu H. S., (2002). Ayçiçek Yağı Metil Esteri ile Dizel Yakıtı Karışımının Farklı Enjeksiyon Basınçlarında Motor Performansına Etkisinin İncelenmesi, 7. *Uluslararası Yanma Sempozyumu*, Ankara.
- Kaplan C., Arslan R., Surmen A., (2006). Performance Characteristics of Sunflower Methyl Esters as Biodiesel, *Energy Sources, Bölüm A, Cilt: 28*, Sayfa: 751-755.
- Karabektaş M., Ergen G., Hoşöz M., (2008). The Effects of Preheated Cottonseed Oil Methyl Ester on The Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine, *Applied Thermal Engineering, Cilt: 28*, Sayfa: 2136-2143.
- Karatepe N., Yavuz R., Meriçboyu A. E., Öztürk M., *Kömürün Yakılmasından Kaynaklanan Kirleticiler ve Emisyon Değerleri*, Enerji, Çevre ve Hukuku Ders Notları.
- Karimi E. R., Jane A. H., A Combustion System Investigation to Achieve Low Emissions on a Heavy Duty Diesel Engine, *Imech, MEP*, Sayfa: 143-149, Londra.
- Kenty K. L., Poor N. D., Kronmiller K. G., Mc. Clenny W., King C., Atkeson T., Campbell S. W., (2007). Application of Caline 4 to Roadside NO/NO₂ Transformations, *Atmospheric Environment 41*, Sayfa: 4270-4280.
- Koç E., Kaplan E., (2008). Dünyada ve Türkiye’de Genel Enerji Durumu-I Dünya Değerlendirmesi, *Termodinamik Dergisi*, Sayı: 187, Sayfa: 70-80.
- Koç E., Kaplan E., (2008). Dünyada ve Türkiye’de Genel Enerji Durumu-II Türkiye Değerlendirmesi, *Termodinamik Dergisi*, Sayı: 188, Sayfa: 106-118.

- Koç E., Şenel M. C., (2013). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu-Genel Değerlendirme, *Mühendis ve Makine, Cilt: 54, Sayı: 639, Sayfa: 32-44.*
- Lee S., Kim T. Y., (2017). Performance and Emission Characteristics of a DI Diesel Engine Operated with Diesel/DEE Blended Fuel, *Applied Thermal Engineering, Cilt: 121, Sayfa: 454-461.*
- Lif A., Holmberg K., (2006). Water-in-Diesel Emulsions and Related Sytems, *Advanced Colloid Interface Science, Sayfa: 231-239.*
- Lin C. Y., Wang K. H., (2004). Effects of Diesel Engine Speed and Water Content on Emissions Characteristics of Three-Phase Emulsions, *Journal of Environment Science Health, Cilt: 39, Sayı: 5, Sayfa: 1345-1359.*
- Mcdonald J. F., Purcell D. L., McClure B. T., Kittelson D. B., (1995). Emission Characteristics of Soy Methyl Ester Fuels in an IDI Compression Ignition Engine, *SAE Technical Paper: 950400.*
- Mello J. P., Mellor A. M., (1999). NO_x Emissions from Direct Injection Diesel Engines with Water/Steam Dilution, *SAE Technical Paper: 1999-01-0836.*
- MMO, (2012). Türkiye’nin Enerji Görünümü, Yayın Numarası: MMO/588, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara.*
- Mohan P., Kapılan N., Reddy R. P., (2003). Effect of Diethyl Ether on the Performance and Emission of a 4-S DI Diesel Engine, *SAE, Sayfa: 2003-01-0760.*
- Monyem A., Van Gerpen J. H., (2001). The Effect of Biodiesel Oxidation on Engine Performance and Emissions, *Biomass and Bioenergy, Cilt: 20, Sayfa: 317-325.*
- O’neal G. B., Storment J. O., Waytulonis R. W., (1981). Control of Diesel Exhaust Emissions in Underground Coal Mines, SAE SP-495, Diesel Combustion and Emission Part 3, *Int. Off-Highway Meeting and Exposition, Milwaukee, WI, Sayfa: 13-23.*
- Özener O., Yüksek L., Ergenç A. T., Özkan M., (2014). Effects of Soybean Biodiesel on a DI Diesel Engine Performance, Emission and Combustion Characteristics, *Fuel, Cilt: 115, Sayfa: 875-883.*
- Özsezen A. N., Çanakçı M., (2008). An Investigation of The Effect of Methyl Ester Produced from Waste Frying Oil on The Performance and Emissions of an IDI Diesel Engine, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt: 23, Sayı: 2, Sayfa: 395-404.*
- Öztürk E., (2015). Performance, Emissions, Combustion and Injection Characteristics of a Diesel Engine Fuelled with Canola Oil-Hazelnut Soapstock Biodiesel Mixture, *Fuel Processing Technology, Cilt: 129, Sayfa: 183-191.*

- Paul A., Bose P. K., Panua R., Debroy D., (2014). Study of Performance and Emission Characteristics of a Single Cylinder CI Engine Using Diethyl Ether and Ethanol Blends, *Journal of the Energy Institute*, Sayfa: 1-10.
- Pushparaj T., Ramabalan S., (2013). Green Fuel Design For Diesel Engine, Combustion, Performance and Emission Analysis, *Procedia Engineering*, Sayı: 64, Sayfa: 701-709.
- Raheman H., Phadatare A. G., (2004). Diesel Engine Emissions and Performance from Blends of Karanja Methyl Ester and Diesel, *Biomass and Bioenergy*, Cilt: 27, Sayfa: 393-397.
- Rakopoulos C. D., Rakopoulos D. C., Hountalas D. T., Giakoumis E. G., Andritsakis E. C., (2008). Performance and Emissions of Bus Engine Using Blends of Diesel Fuel with Bio-Diesel of Sunflower or Cottonseed Oils Derived from Greek Feedstock, *Fuel*, Cilt: 87, Sayfa: 147-157.
- Rakopoulos D. C., Rakopoulos C. D., Giakoumis E. G., Dimaratos A. M., (2012). Characteristics of Performance and Emissions in High-Speed Direct Injection Diesel Engine Fueled with Diethyl Ether/Diesel Fuel Blends, *Energy*, Sayı: 43, Sayfa: 214-224.
- Samec N., Dibble R. W., Chen J. Y., Pagon A., (2000, 12–15 Haziran). Reduction of NO_x and Soot Emission by Water Injection During Combustion in a Diesel Engine, *FISITA*, Seoul/KOREA.
- Selim M. Y. E., Elfeky S. M. S., (2001). Effects of Diesel/Water Emulsion on Heat Flow and Thermal Loading in a Pre-Combustion Chamber Diesel Engine, *Applied Thermal Engineering*, Cilt: 21, Sayı: 15, Sayfa: 1565–1582.
- Sezer İ., (2012). Dietil Eter-Motorin Karışımlarının Motor Performansına Etkilerinin Deneysel İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt: 27, Sayı: 1, Sayfa: 117-124.
- Sharp C. A., Ryan T. W., Knothe G., (2005). Heavy-duty Diesel Engine Emissions Tests Using Special Biodiesel Fuels, *SAE Technical Paper*.
- Shehata M. S., (2013). Emissions, Performance and Cylinder Pressure of Diesel Engine Fuelled by Biodiesel Fuel, *Fuel*, Sayı: 112, Sayfa: 513-522.
- Sirman M. B., Owens E. C., Whitney K. A., (2000). Emissions Comparison of Alternative Fuels in an Advanced Automotive Diesel Engine, *SAE Technical Paper*.
- Soruşbay C., (1999). *İçten Yanmalı Motorlarda Egzoz Gazları Emisyonu*, Ders Notları, İTÜ.

- Stone R., (1989). *Motor Vehicle Fuel Economy*, Macmillan Educational Ltd., Houndsmills.
- Subramanian K. A., Ramesh A., (2002). Operation of a Compression Ignition Engine on Diesel-Diethyl Ether Blends, *In Proceedings of 2002 ASME Internal Combustion Engines Division Fall Technical Conference (ICEF2002)*, New Orleans, LA, Cilt: 39, Sayfa: 353-360.
- Sugözü İ., Aksoy F., Baydır Ş. A., (2009). Bir Dizel Motorunda Ayçiçeği Metil Esteri Kullanımının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt: 6, Sayı: 2, Sayfa: 49-56.
- Sundaresan M., Chandrasekaran S., Porai P. T., (2007). Analysis of Combustion, Performance and Emission Characteristics of Blends of Methyl Esters of Jatropa Oil (MEJ) in DI Diesel Engine, *SAE Technical Paper*.
- Suryawanshi J., Deshpande N., (2005). Overview of EGR, Injection Timing and Pressure on Emissions and Performance of CI Engine with Pongamia Methyl Ester, *SAE Technical Paper*.
- Şenel M. C., (2012). *Rüzgâr Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları-Dinamik Davranış*, Yüksek Lisans Tezi, On dokuz Mayıs Üniversitesi, FBE, Samsun.
- Tudu K., Murugan S., Patel S. K., (2016). Effect of Diethyl Ether in a DI Diesel Engine Run on A Tyre Derived Fuel-Diesel Blend, *Journal Of The Energy Institute*, 89, 525-535.
- Tunca S., Ayhan V., Çay Y., Cesur İ., (2017). Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorunda Stabilize Emülsifiye Yakıt Kullanımının Etkilerinin İncelenmesi, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, Cilt: 5-3, Sayfa: 41-48.
- TÜİK, (2019). Haber Bülteni, Sayı: 30630.
- Usta N., Can Ö., Öztürk E., (2005). Alternatif Dizel Motor Yakıtı Olarak Biyodizel ve Etanolün Karşılaştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilim Dergisi*, Cilt: 11, Sayı: 3, Sayfa: 325-334.
- Velzen D., (1991). Sulphur Dioxide and Nitrogen Oxides in industrial Waste Gases, Emission, Legislation and Abatement, *Kluwer Academic Publishers*.
- Vicente S. E., Montanari T., Busca G., (2005). Low Temperature Selective Catalytic Reduction of NO_x by Ammonia over H-ZSM-5: an IR Study, *Appl Catal B*, Cilt: 58(8), Sayfa: 19–231.
- Yamık H., (2002). *Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi FBE.

Yılmaz E., Solmaz H., Polat S., Altın M., (2013). Üç Fazlı Dizel Emülsiyon Yakıtlarının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt: 28, Sayı: 1, Sayfa: 127-134.

Yoshimoto Y., Tsukahara M., Muryama T., (1989). Studies on the Microexplosion of Emulsified Fuels, *Nippon Kikai Gakkai Ronbunshun B Hen*, Cilt: 519, Sayı: 55, Sayfa: 3538–3543.

Yücesu H. S., Altın R., Çetinkaya S., (2001). Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelenmesi, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, Cilt: 25, Sayfa: 39-49.

<https://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>, Erişim Tarihi: 15.08.2018.



ÖZ GEÇMİŞ

Adı Soyadı : Serdar TUNCA
Doğum Tarihi ve Yeri : 08.03.1984 / Karasu
E-posta : serdartunca54@gmail.com
Telefon : + 90 536 459 32 54



ÖĞRENİM DURUMU

Lise : 2003, Kdz. Ereğli Anadolu Teknik Lisesi, Bilgisayar, Yazılım
Lisans : 2009, SAÜ, Teknik Eğitim Fakültesi, Otomotiv Öğretmenliği
Yüksek Lisans : 2019, SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER

- 06-07.2000'de Erdemir'de yazılım stajyerliği yaptı.
- 01-08.2002'de Eket Reklam Ajansı'nda grafikçilik yaptı.
- 06-07.2006'da Otokar'da iş geliştirme stajyerliği yaptı.
- 06-10.2007'de Kfz-Kurt Kia Yetkili Servisi'nde, Almanya'da bakım-onarım stajyerliği yaptı.
- 08.2010-06.2011'de Karasu Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezi'nde matematik, geometri ve motor bölümü meslek dersleri öğretmenliği yaptı.
- 06.2011-04.2016'da Solak Otomotiv Scania Yetkili Servisi'nde sırasıyla teknisyenlik, formenlik, test sürücülüğü, atölye şefliği ve servis müdürlüğü yaptı.
- 04.2016'dan beri TÜVTÜRK Sakarya Araç Muayene İstasyonu'nda istasyon amirliği yapmaktadır.

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

- **Ayhan V., Tunca S., Cesur İ., Özsert İ., Ergen G.,** (2019). Ayçiçek Yağı Metil Esteri Karışımlarının DI Bir Dizel Motorunun Performans ve Emisyonlarına Etkisi, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, Cilt: 7-1, Sayfa: 67-73.
- **Ayhan V., Tunca S.,** (2018). Dietil Eter-Dizel Karışımlarının Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorunun Performans ve Emisyonlarına Etkisi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt: 22 (2), Sayfa: 710-718.
- **Ayhan V., Tunca S.,** (2018). Experimental Investigation on Using Emulsified Fuels with Different Biofuel Additives in a DI Diesel Engine for Performance and Emissions, *Applied Thermal Engineering*, Cilt: 129, Sayfa: 841-854.
- **Tunca S., Ayhan V., Çay Y., Cesur İ.,** (2017). Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorunda Stabilize Emülsifiye Yakıt Kullanımının Etkilerinin İncelenmesi, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, Cilt: 5-3, Sayfa: 41-48.