



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ETANOL-BENZİN KARIŞIMLARININ MOTOR
PERFORMANSI VE EMİSYONLARINA ETKİSİ**

NECATİ TÜRKÖZ

Doç. Dr. M. İhsan KARAMANGİL
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA - 2012
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

NECATİ TÜRKÖZ tarafından hazırlanan “ETANOL-BENZİN KARIŞIMLARININ MOTOR PERFORMANSI VE EMİSYONLARINA ETKİSİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. M. İhsan KARAMANGİL

Başkan : Doç. Dr. M. İhsan KARAMANGİL **İmza**
U.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Ali SÜRMEŒ **İmza**
U.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Atakan AVCI **İmza**
U.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Kadri ARSLAN
Enstitü Müdürü
.../.../2012

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
 - atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
 - kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
 - ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı
- beyan ederim.**

12/03/2012

Necati TÜRKÖZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ETANOL-BENZİN KARIŞIMLARININ MOTOR PERFORMANSI VE EMİSYONLARINA ETKİSİ

Necati TÜRKÖZ

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. M. İhsan KARAMANGİL

Biyolojik yenilenebilir yakıtlar, güvenli bir şekilde ve çevreye zarar vermeden toprakta kolayca çözünebilir, bu yüzden özellikle de çevre için uygundur. Etanol, ısıl değerinin daha yüksek olması ve buharlaşma ısısının daha düşük olması nedeniyle metanole göre daha üstün özelliklere sahiptir. Motorda yakıt olarak etil alkol kullanımı, ham petrol tüketimini ve çevre kirliliğini azaltmanın bir yoludur. Etanolün, oktan sayısı, geniş alev alma sınırları, alev hızları ve buharlaşma ısısı benzinden daha yüksektir.

Motorlu taşıtlar için alternatif bir yakıt olarak etanol (etanol yakıtı) ile benzini karıştırmak popüler hale gelmektedir. Şu anda piyasada etanol-benzinin iki tip karışımı vardır: %10 etanol ve %90 benzin (E10) karışımları ile %85 etanol ve %15 benzin (E85) karışımlarıdır.

Bu çalışmada kurşunsuz benzin, etanol-benzin (E5, E10, E30 ve E85) karışımlarının motor performansı, yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler dört zamanlı, dört silindri, buji ateşlemeli motora sahip bir taşıt kullanılmıştır. E5, E10, E30 ve E85 yakıtlarından elde edilen sonuçlar, benzin ile yapılan test verileri referans alınarak karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre;

1. Motor test sonuçları, kurşunsuz benzine etanol ilavesi motor tork, güç ve yakıt tüketimini artırdığını; CO, CO₂, HC ve NO_x emisyonlarını düşürdüğünü gösterdi.
2. Ateşleme zamanlaması, buji ateşlemeli motorların performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Motorlarda etanol kullanarak ateşleme avansını artırmak ((+4) KA'na kadar), önemli ölçüde motorun performansını artırdığı ve egzoz emisyonlarını azalttığı söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Buji ateşlemeli motorlar, etanol, performans, emisyon, ateşleme zamanı.

2012, xiii + 129 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

THE EFFECTS ON ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS OF ETHANOL-GASOLINE BLENDS

Necati TÜRKÖZ

Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Dr. M. İhsan KARAMANGİL

Biorenewable fuels are safely and easily biodegradable and so are particularly well suited to the environment. Properties of ethanol generally appear more favorable than those of methanol since its calorific value is higher and its latent heat is lower than methanol. Utilization of ethyl alcohol as engine fuel is one way to reduce both the consumption of crude oil and environmental pollution. Ethanol has a higher octane number, broader flammability limits, higher flame speeds, and higher heats of vaporization than gasoline.

Gasoline blended with ethanol (fuel ethanol) is becoming increasingly popular as an alternative fuel for motor vehicles. Currently there are two types of ethanol-gasoline blends on the market: blends of 10% ethanol and 90% gasoline (E10) and blends of 85% ethanol and 15% gasoline (E85).

In this study, the effects of unleaded gasoline, ethanol-gasoline (E5, E10, E30 ve E85) blends on combustion characteristics and exhaust emissions were investigated experimentally. In the experiments, a vehicle which has a four-cylinder and four-stroke spark ignition engine was used. The results obtained from E5, E10, E30 and E85 were compared with the reference unleaded gasoline fuel.

According to the results obtained;

1. The results of the engine test showed that ethanol addition to unleaded gasoline increases the engine torque, power and fuel consumption; reduces CO, CO₂, HC and NO_x emissions.
2. The ignition timing has a significant effect on the performance of spark ignition engines. It can be said that using ethanol at advancing the ignition timing (up to (+4) CA) in the engines significantly improves the engine performance and decreases the exhaust emissions.

Keywords: Spark ignition engines, ethanol, performance, emission, ignition timing.

2012, xiii + 129 pages

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Fosil yakıtların sınırlı miktarda olması ve çevreyi daha fazla kirletiyor olması insanları farklı yakıt seçeneklerine yönlendirmektedir. Bu yakıt seçeneklerinin kısa vadede şu an kullanılan yakıt türlerine yakın özelliklerde olması geçiş sürecinin daha kolay olmasını sağlayacaktır. Bu nedenle alkol yakıtlardan etanol yakıtı diğerlerine göre üstün bazı özellikleri nedeniyle daha çok tercih edilmektedir.

Gün geçtikçe yaygın olarak kullanılmaya başlayan ve yakıt içeriğindeki miktarı artırılan etanol, popüler yakıt olmaya adaydır. Bu çalışmamızda etanol yakıtının benzin yakıtına göre performans ve emisyonlar bakımından en uygun kullanımının nasıl olması gerektiği incelenmiştir.

Çalışmalarım boyunca her türlü maddi ve manevi katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Doç. Dr. M. İhsan KARAMANGİL'e, kıymetli fikirlerinden yararlandığım hocam Prof. Dr. Ali SÜRMEŒ'e, deneylerde yardımcı olan Dr. Barış ERKUŞ'a ve her türlü desteğini esirgemeyip özveride bulunan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|--------------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT | ii |
| TEŞEKKÜR | iii |
| SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ..... | vii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | ix |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ..... | 4 |
| 2.1. Genel Bilgiler | 4 |
| 2.2. Biyoetanolün üretim aşamaları | 4 |
| 2.2.1. Hazırlama | 5 |
| 2.2.2. Fremantasyon | 5 |
| 2.2.3. Distilasyon | 5 |
| 2.3. Türkiye’de Etanol Kullanımı ve Üretim Kapasitesi..... | 6 |
| 2.4. Değişik Ülkelerde Etanolün Üretimi ve Yakıt Olarak Kullanılması | 8 |
| 2.5. Benzinli Motorlarda Alkol Yakıtların Kullanılma Nedenleri..... | 10 |
| 2.6. Alkol Yakıtların Avantaj ve Dezavantajları | 10 |
| 2.6.1. Avantajları | 10 |
| 2.6.2. Dezavantajları | 11 |
| 2.7. Etanolün Yakıt Olarak Kullanılma Metotları | 12 |
| 2.7.1. Benzinle karıştırmak..... | 12 |
| 2.7.2. Çift yakıtlılık..... | 12 |
| 2.7.3. Doğrudan alkollerini kullanmak | 13 |
| 2.8. Alkollü Yakıt Kullanımında Malzeme Seçimi | 14 |
| 2.8.1. Polimerler..... | 14 |
| 2.8.2. Galvanik korozyon | 14 |
| 2.9. Etanolün Yakıt Olarak Kullanımında Araçta Yapılabilecek Değişimler | 15 |
| 2.10. Etanol ve Benzin Yakıtlarının Kimyasal Özelliklerinin Karşılaştırılması | 16 |
| 2.10.1. Etanol-Benzin karışımlarında yoğunluğun etkisi..... | 16 |
| 2.10.2. Etanol-Benzin karışımlarında alt ısı değerinin etkisi | 17 |
| 2.10.3. Etanol-Benzin karışımlarında oktan sayısının etkisi | 17 |
| 2.10.4. Etanol-Benzin karışımlarında buhar basıncının etkisi..... | 18 |
| 2.10.5. Etanol-Benzin karışımlarında alev sıcaklığı ve yanma hızının etkisi | 20 |
| 2.10.6. Etanol-Benzin karışımlarının yağlama yağına etkisi..... | 21 |
| 2.11. Ateşleme Zamanlamasının Etkisi..... | 22 |
| 2.12. Kaynak Araştırması | 23 |

| | |
|--|----|
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM..... | 35 |
| 3.1. Deney Düzenegi..... | 35 |
| 3.1.1. Deney motoru..... | 37 |
| 3.1.2. Deneyde kullanılan yakıt memeleri..... | 38 |
| 3.1.3. Deneyde kullanılan yakıtlar ve yakıt tüketim miktarının ölçülmesi | 39 |
| 3.1.4. Motor test dinamometresi..... | 40 |
| 3.1.5. Motor soğutma suyu sıcaklığının kontrolü | 41 |
| 3.1.6. Osiloskop | 42 |
| 3.1.7. Egzoz emisyon cihazı..... | 43 |
| 3.1.8. Araç motoru emme hava debisinin ölçülmesi | 43 |
| 3.1.9. Motor soğutma suyu debisinin ölçülmesi | 44 |
| 3.2. Matematiksel Hesaplamalar..... | 45 |
| 3.2.1. Karbüratör meme çapının hesaplanması..... | 45 |
| 3.2.2. Araç motoru emme hava debisinin ve yakıt tüketiminin hesaplanması..... | 47 |
| 3.2.3. Motor soğutma suyu debisinin hesaplanması | 47 |
| 3.2.4. Araç motorunun performans ve ısı enerjisi değerlerinin hesaplanması..... | 48 |
| 3.2.5. Benzin ve etanol yakıtlarının egzoz emisyonlarındaki karbon oranlarının yüzdesel hesabı | 50 |
| 4. BULGULAR ve TARTIŞMA | 52 |
| 4.1. Etanol İlaveli Yakıtların Performans ve Emisyonlara Etkilerinin İncelenmesi..... | 52 |
| 4.1.1. Etanol İlaveli Yakıtların %25 GKP’da performansa etkilerinin incelenmesi..... | 52 |
| 4.1.2. Etanol İlaveli Yakıtların %25 GKP’da egzoz emisyonuna etkilerinin incelenmesi | 56 |
| 4.1.3. %25 GKP’da yakıtla verilen enerjilerin incelenmesi | 59 |
| 4.1.4. Etanol İlaveli Yakıtların %50 GKP’da performansa etkilerinin incelenmesi..... | 63 |
| 4.1.5. Etanol İlaveli Yakıtların %50 GKP’da egzoz emisyonuna etkilerinin incelenmesi | 66 |
| 4.1.6. %50 GKP’da yakıtla verilen enerjilerin incelenmesi | 69 |
| 4.1.7. Etanol İlaveli Yakıtların %100 GKP’da performansa etkilerinin incelenmesi..... | 72 |
| 4.1.8. Etanol İlaveli Yakıtların %100 GKP’da egzoz emisyonuna etkilerinin incelenmesi | 75 |
| 4.1.9. Etanol ilaveli yakıtların ısı değerleri yönünden incelenmesi..... | 78 |
| 4.2. E10 ve E85 Yakıtlarının Değişik Avans Değerlerinde Performans ve Emisyonlara Etkilerinin İncelenmesi..... | 82 |
| 4.2.1. E10 yakıtının değişik avans değerlerinde performansa etkilerinin incelenmesi... | 82 |
| 4.2.2. E10 yakıtının değişik avans değerlerinde egzoz emisyonlarına etkilerinin incelenmesi | 86 |
| 4.2.3. E10 yakıtındaki avans değişimlerinin ısı değerleri yönünden incelenmesi..... | 90 |
| 4.2.4. E85 yakıtının değişik avans değerlerinde performansa etkilerinin incelenmesi... | 94 |

| | |
|---|-----|
| 4.2.5. E85 yakıtının değişik avans değerlerinde egzoz emisyonlarına etkilerinin incelenmesi | 97 |
| 4.2.6. E85 yakıtındaki avans değişiminin ısı değerler yönünden incelenmesi..... | 101 |
| 5. SONUÇ..... | 105 |
| 5.1. Değişik Yakıt Oranları ile Yapılan Deneylerin Değerlendirmeleri | 105 |
| 5.1.1. Performans yönünden değerlendirilmesi | 105 |
| 5.1.2. Egzoz emisyonları yönünden değerlendirilmesi | 106 |
| 5.2. Değişik Avans Açılımları ile Yapılan Deneylerin Değerlendirmeleri | 108 |
| 5.2.1. Performans yönünden değerlendirilmesi | 108 |
| 5.2.2. Egzoz emisyonları yönünden değerlendirilmesi | 109 |
| 5.3. Öneriler | 110 |
| KAYNAKLAR | 111 |
| EKLER | 114 |
| EK A. Motorun Orijinal Avansında Değişik Yakıtlarla Yapılan Deney Değerleri | 114 |
| EK B. Motora Değişik Avanslar Verilerek Yapılan Deney Değerleri..... | 120 |
| EK C. Orijinal Avansında Değişik Yakıtlarla Yapılan Deneylerdeki Enerji Değerleri | 124 |
| EK D. Motora Değişik Avanslar Verilerek Yapılan Deneylerdeki Enerji Değerleri | 127 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 129 |

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| Simgeler | Açıklama |
|-----------------|--|
| b | Özgül yakıt sarfiyatı [g/kWh] |
| F | Kuvvet [N] |
| h | Yükseklik [m] |
| H _u | Yakıtın alt ısı değeri [kJ/kg] |
| l | Fren düzeneği moment kolu [m] |
| m | Kütle [kg] |
| n | Motor devri [d/d] |
| P | Güç [kW] |
| Q | Enerji [kW] |
| ρ | Yoğunluk [kg/m ³] |
| Δ | İki büyüklük arasındaki fark |
| t | Sıcaklık [°C] |
| M | Moment [Nm] |
| η | Verim |
| λ | Karışımın hava fazlalık katsayısı değeri |

| Alt İndisler | Açıklama |
|---------------------|-----------------|
| b | Bağlı |
| c | Civa |
| d | Döndürme |
| e | Efektif |
| g | Gerçek |
| h | Hava |
| m | Mekanik |
| s | Su |
| t | Teorik |
| v | Volumetrik |
| y,b | Benzin yakıtı |
| y,e | Etanol yakıtı |

| Üst İndisler | Açıklama |
|---------------------|-----------------|
| ° | Derece |
| . | Debi |

| Kısaltmalar | Açıklama |
|---|---|
| (0) | Orijinal ateşleme avansı |
| (+2) | İki derece artırılmış ateşleme avansı ((+4), (+6) gibi) |
| (-2) | İki derece düşürülmüş ateşleme avansı ((-4), (-6) gibi) |
| BMEP | Ortalama efektif basınç |
| BSFC | Yakıt tüketim miktarı |
| C | Karbon |
| CA | Krank açısı (Avans miktarı) |
| CNG | Sıkıştırılmış doğal gaz |
| CO | Karbonmonoksit |
| CO ₂ | Karbondioksit |
| C ₂ H ₅ OH | Etil alkol (Etanol) |
| C ₆ H ₁₂ O ₆ | Glikoz |
| E5 | Hacimsel Olarak %95 Benzin %5 Etanol olduğunu gösterir. (E harfi etanolü yanındaki sayı ise etanolün yüzdesel ifadesidir). |
| EKÜ (ECU) | Elektronik kontrol ünitesi |
| EFI | Elektronik yakıt enjeksiyonu |
| FFV | Esnek yakıtlı araçlar (Flexible Fuel Vehicles) |
| GKP | Gaz kelebeği pozisyonu |
| H ₂ | Hidrojen |
| H ₂ O | Su |
| HC | Hidrokarbon |
| HFK | Hava fazlalık katsayısı |
| KLCR | Sıkıştırma oranının vuruntu sınırı |
| LPG | Sıvılaştırılmış petrol gazı |
| MBT | En yüksek efektif tork zamanlaması |
| MFB | Tutuşma kütle kesri |
| N | Azot |
| NIMEP | Net ortalama indike efektif basınç |
| NO _x | Nitrojen oksit |
| O ₂ | Oksijen |
| PO | Petrol ofisi |
| RON | Araştırma oktan sayısı |
| RVP | Reid buhar basıncı |
| S.O. (C.R.) | Sıkıştırma oranı |
| THC | Toplam hidrokarbon |
| Ü.Ö.N. | Üst ölü nokta |
| WOT | Gaz kelebeğinin tam açık olması konumu |
| Y/H | Yakıt kütesinin hava kütesine oranı |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|--------------|
| Şekil 2.1. Çift yakıtlı deney düzeneğinin şematik yapısı..... | 13 |
| Şekil 2.2. Yeniden dizayn edilmiş çift yakıtlı karbüratörün şematik diyagramı..... | 13 |
| Şekil 2.3. Motor sıkıştırma oranına bağlı olarak gerekli olan oktan sayısı..... | 18 |
| Şekil 2.4. Etanol ile benzin bileşenlerinin buhar basınçlarının karşılaştırılması | 19 |
| Şekil 2.5. Etanolün yüzdesel hacimsel olarak benzine karıştırılmasının Reid Buhar Basıncına (~38 °C’de) etkisi | 20 |
| Şekil 2.6. Ateşleme zamanlamasının silindir basıncına tipik etkisi | 22 |
| Şekil.3.1. Deney düzeneğinin şematik olarak gösterilmesi | 35 |
| Şekil 3.2. Test düzeneği blok diyagramı..... | 36 |
| Şekil 3.3.(a)(b) Test düzeneğinin farklı açılardan görünümü | 38 |
| Şekil. 3.4. Deneyde kullanılan farklı çaplardaki yakıt memeleri | 38 |
| Şekil .3.5. Dereceli yakıt tüketimi ölçüm düzeneği..... | 39 |
| Şekil 3.6. Motor test dinamometresi bilgisayar veri gösterge ekranı | 41 |
| Şekil 3.7. Bir “Duration Test” süreci tanımlama örneği..... | 41 |
| Şekil 3.8. a) Soğutma fanı destekli radyatör sistemi, b) Şebeke suyu beslemeli eşanjör..... | 42 |
| Şekil 3.9. Deneylede kullanılan egzoz emisyon ölçüm cihazı..... | 43 |
| Şekil .3.10. Hava debisi ölçümünde kullanılan sönmleme tankı ve manometre..... | 44 |
| Şekil .3.11. Civalı manometre ve orifis düzeneği | 44 |
| Şekil 4.1. %25 GKP’da değişik yakıt karışımlarının döndürme momenti eğrileri | 53 |
| Şekil 4.2. %25 GKP’da değişik yakıt karışımlarının efektif güç eğrileri | 53 |
| Şekil 4.3. %25 GKP’da değişik yakıt karışımlarının özgül yakıt tüketimi eğrileri..... | 53 |
| Şekil 4.4. %25 GKP’da değişik yakıt karışımlarının hacimsel verim eğrileri..... | 54 |
| Şekil 4.5. %25 GKP’da değişik yakıt karışımlarının efektif verim eğrileri..... | 54 |
| Şekil 4.6. %25 GKP’da değişik yakıt karışımlarının CO emisyonu eğrileri | 56 |
| Şekil 4.7. %25 GKP’da değişik yakıt karışımlarının CO ₂ emisyonu eğrileri..... | 57 |
| Şekil 4.8. %25 GKP’da değişik yakıt karışımlarının HC emisyonu eğrileri | 57 |
| Şekil 4.9. %25 GKP’da değişik yakıt karışımlarının NO _x emisyonu eğrileri..... | 57 |
| Şekil 4.10. %25 GKP’da değişik yakıt karışımlarının λ eğrileri..... | 58 |
| Şekil 4.11. Etanol ilaveli yakıtların motora verilen enerjilerin grafiği..... | 59 |
| Şekil 4.12. Etanol ilaveli yakıtların motordan alınan enerjilerin grafiği | 60 |
| Şekil 4.13. Etanol ilaveli yakıtların egzozu verilen enerjilerin grafiği | 60 |
| Şekil 4.14. Etanol ilaveli yakıtların soğutma suyuna verilen enerjilerin grafiği..... | 60 |
| Şekil 4.15. Etanol ilaveli yakıtların diğer kayıp enerjilerin grafiği | 61 |
| Şekil 4.16. %50 GKP’da değişik yakıt karışımlarının döndürme momenti eğrileri .. | 63 |
| Şekil 4.17. %50 GKP’da değişik yakıt karışımlarının efektif güç eğrileri | 63 |
| Şekil 4.18. %50 GKP’da değişik yakıt karışımlarının özgül yakıt tüketimi eğrileri... | 64 |

| | |
|--|----|
| Şekil 4.19. %50 GKP’da değişik yakıt karışımlarının hacimsel verim eğrileri | 64 |
| Şekil 4.20. %50 GKP’da değişik yakıt karışımlarının efektif verim eğrileri..... | 64 |
| Şekil 4.21. %50 GKP’da değişik yakıt karışımlarının CO emisyonu eğrileri | 66 |
| Şekil 4.22. %50 GKP’da değişik yakıt karışımlarının CO ₂ emisyonu eğrileri | 67 |
| Şekil 4.23. %50 GKP’da değişik yakıt karışımlarının HC emisyonu eğrileri | 67 |
| Şekil 4.24. %50 GKP’da değişik yakıt karışımlarının NO _x emisyonu eğrileri..... | 67 |
| Şekil 4.25. %50 GKP’da değişik yakıt karışımlarının λ eğrileri..... | 68 |
| Şekil 4.26. Etanol ilaveli yakıtların motora verilen enerjilerin grafiği..... | 69 |
| Şekil 4.27. Etanol ilaveli yakıtların motordan alınan enerjilerin grafiği | 70 |
| Şekil 4.28. Etanol ilaveli yakıtların egzozu verilen enerjilerin grafiği | 70 |
| Şekil 4.29. Etanol ilaveli yakıtların soğutma suyuna verilen enerjilerin grafiği..... | 70 |
| Şekil 4.30. Etanol ilaveli yakıtların diğer kayıp enerjilerin grafiği | 71 |
| Şekil 4.31. %100 GKP’da değişik yakıt karışımlarının döndürme momenti eğrileri | 72 |
| Şekil 4.32. %100 GKP’da değişik yakıt karışımlarının efektif güç eğrileri | 73 |
| Şekil 4.33. %100 GKP’da değişik yakıt karışımlarının özgül yakıt tüketimi eğrileri. | 73 |
| Şekil 4.34. %100 GKP’da değişik yakıt karışımlarının hacimsel verim eğrileri | 73 |
| Şekil 4.35. %100 GKP’da değişik yakıt karışımlarının efektif verim eğrileri..... | 74 |
| Şekil 4.36. %100 GKP’da değişik yakıt karışımlarının CO emisyonu eğrileri | 76 |
| Şekil 4.37. %100 GKP’da değişik yakıt karışımlarının CO ₂ emisyonu eğrileri | 76 |
| Şekil 4.38. %100 GKP’da değişik yakıt karışımlarının HC emisyonu eğrileri | 76 |
| Şekil 4.39. %100 GKP’da değişik yakıt karışımlarının NO _x emisyonu eğrileri..... | 77 |
| Şekil 4.40. %100 GKP’da değişik yakıt karışımlarının λ eğrileri..... | 77 |
| Şekil 4.41. Etanol ilaveli yakıtların motora verilen enerjinin grafiği..... | 79 |
| Şekil 4.42. Etanol ilaveli yakıtların motordan alınan enerjinin grafiği | 79 |
| Şekil 4.43. Etanol ilaveli yakıtların motor egzozuna verilen enerjinin grafiği | 79 |
| Şekil 4.44. Etanol ilaveli yakıtların motor soğutma suyuna verilen enerjinin grafiği. | 80 |
| Şekil 4.45. Etanol ilaveli yakıtların diğer kayıp enerjilerin grafiği | 80 |
| Şekil 4.46. E10 yakıtının değişik avanslardaki döndürme momenti eğrileri..... | 83 |
| Şekil 4.47. E10 yakıtının değişik avanslardaki efektif güç eğrileri..... | 83 |
| Şekil 4.48. E10 yakıtının değişik avanslardaki özgül yakıt tüketimi eğrileri | 83 |
| Şekil 4.49. E10 yakıtının değişik avanslardaki hacimsel verim eğrileri..... | 84 |
| Şekil 4.50. E10 yakıtının değişik avanslardaki efektif verim eğrileri | 84 |
| Şekil 4.51. E10 yakıtının değişik avanslardaki CO emisyonu eğrileri..... | 87 |
| Şekil 4.52. E10 yakıtının değişik avanslardaki CO ₂ emisyonu eğrileri..... | 87 |
| Şekil 4.53. E10 yakıtının değişik avanslardaki HC emisyonu eğrileri | 87 |
| Şekil 4.54. E10 yakıtının değişik avanslardaki NO _x emisyonu eğrileri | 88 |
| Şekil 4.55. E10 yakıtının değişik avanslardaki λ eğrileri | 88 |
| Şekil 4.56. E10 yakıtında değişik avans açılarının motora verilen enerjinin grafiği .. | 90 |
| Şekil 4.57. E10 yakıtında değişik avans açılarının motora alınan enerjinin grafiği.... | 91 |

| | |
|--|-----|
| Şekil 4.58. E10 yakıtında değişik avans açılarının egzozaya verilen enerjinin grafiği... | 91 |
| Şekil 4.59. E10 yakıtında değişik avans açılarının suya verilen enerjinin grafiği | 91 |
| Şekil 4.60. E10 yakıtında değişik avans açılarının diğer kayıp enerjilerin grafiği | 92 |
| Şekil 4.61. E85 yakıtının değişik avanslardaki döndürme momenti eğrileri | 94 |
| Şekil 4.62. E85 yakıtının değişik avanslardaki efektif güç eğrileri..... | 95 |
| Şekil 4.63. E85 yakıtının değişik avanslardaki özgül yakıt tüketimi eğrileri | 95 |
| Şekil 4.64. E85 yakıtının değişik avanslardaki hacimsel verim eğrileri..... | 95 |
| Şekil 4.65. E85 yakıtının değişik avanslardaki efektif verim eğrileri | 96 |
| Şekil 4.66. E85 yakıtının değişik avanslardaki CO emisyonu eğrileri | 98 |
| Şekil 4.67. E85 yakıtının değişik avanslardaki CO ₂ emisyonu eğrileri..... | 98 |
| Şekil 4.68. E85 yakıtının değişik avanslardaki HC emisyonu eğrileri..... | 98 |
| Şekil 4.69. E85 yakıtının değişik avanslardaki NO _x emisyonu eğrileri | 99 |
| Şekil 4.70. E85 yakıtının değişik avanslardaki λ eğrileri | 99 |
| Şekil 4.71. E85 yakıtında değişik avans açılarının motora verilen enerjinin grafiği .. | 101 |
| Şekil 4.72. E85 yakıtında değişik avans açılarının motora alınan enerjinin grafiği.... | 102 |
| Şekil 4.73. E85 yakıtında değişik avans açılarının egzozaya verilen enerjinin grafiği... | 102 |
| Şekil 4.74. E85 yakıtında değişik avans açılarının suya verilen enerjinin grafiği | 102 |
| Şekil 4.75. E85 yakıtında değişik avans açılarının diğer kayıp enerjilerin grafiği | 103 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | Sayfa |
|---|--------------|
| Çizelge 2.1. Etanol üretiminde şeker içeren kaynaklar ve etanol verimleri..... | 4 |
| Çizelge 2.2. Etanolün üretim aşamaları | 6 |
| Çizelge 2.3. Türkiye’de biyoetanol üretimi yapan/yapabilecek olan fabrikaların üretim kapasiteleri..... | 7 |
| Çizelge 2.4. Etanol yakıtının farklı karışımlarının benzinli motorlarda kullanılması için gerekli olan düzenlemeler..... | 15 |
| Çizelge 2.5. Benzin ve etanol yakıtlarının kimyasal özelliklerinin karşılaştırılması .. | 16 |
| Çizelge 3.1. Deney motoru teknik özellikleri..... | 37 |
| Çizelge 3.2. Dinamometre teknik özellikleri..... | 40 |
| Çizelge 3.3. Egzoz emisyonlarındaki toplam karbon yüzdelerinin gösterilmesi | 50 |
| Çizelge 4.1. %25 GKP’da performans değerlerinin E0 yakıtına göre karşılaştırılması..... | 54 |
| Çizelge 4.2. %25 GKP’da egzoz emisyonlarının E0 yakıtına göre karşılaştırılması .. | 58 |
| Çizelge 4.3. %25 GKP’da etanol ilaveli yakıtların E0 yakıtına göre enerji dağılımlarının karşılaştırılması..... | 61 |
| Çizelge 4.4. %25 GKP’da etanol ilaveli yakıtların 3000 d/d’deki enerji dağılımları.. | 62 |
| Çizelge 4.5. %50 GKP’da performans değerlerinin E0 yakıtına göre karşılaştırılması..... | 65 |
| Çizelge 4.6. %50 GKP’da egzoz emisyonlarının E0 yakıtına göre karşılaştırılması .. | 68 |
| Çizelge 4.7. Etanol ilaveli yakıtların E0 yakıtına göre enerjilerinin karşılaştırılması..... | 71 |
| Çizelge 4.8. %100 GKP’da performans değerlerinin E0 yakıtına göre karşılaştırılması..... | 74 |
| Çizelge 4.9. %100 GKP’da egzoz emisyonlarının E0 yakıtına göre karşılaştırılması..... | 77 |
| Çizelge 4.10. Etanol ilaveli yakıtların E0 yakıtına göre enerjilerinin karşılaştırılması..... | 81 |
| Çizelge 4.11. Etanol ilaveli yakıtların 3500 d/d’deki enerjilerinin dağılımları..... | 81 |
| Çizelge 4.12. E10 yakıtında performans değerlerinin orijinal avansa göre karşılaştırılması..... | 85 |
| Çizelge 4.13. E10 yakıtında egzoz emisyonu değerlerinin orijinal avansa göre karşılaştırılması..... | 89 |
| Çizelge 4.14. E10 yakıtında farklı avans açılarının orijinal avans açısına göre ısı enerji değerlerinin karşılaştırılması | 93 |
| Çizelge 4.15. E85 yakıtında performans değerlerinin orijinal avansa göre karşılaştırılması..... | 97 |
| Çizelge 4.16. E85 yakıtında egzoz emisyonu değerlerinin orijinal avansa göre karşılaştırılması..... | 100 |

| | |
|---|-----|
| Çizelge 4.17. E85 yakıtında farklı avans açılarının orijinal avans açısına göre ısı değerlerinin karşılaştırılması | 103 |
|---|-----|

1. GİRİŞ

İnsanoğlu yeryüzünü sorumsuz bir şekilde kullanmış ve hala kullanmaya da devam etmektedir. Bilim ve teknolojinin gelişmesiyle insanların çevreye verdikleri zararlar artarak devam etmiştir. Aynı zamanda çevreye vermiş olduğu zararlar da daha kolay tespit edilebilir hale gelmiştir.

Özellikle son yüzyıl içerisindeki gelişmeler hayatı daha kolay ve yaşanacak hale getirmenin yanında doğal hayat içinde tehditler oluşturmaya başlamıştır. Nüfus artışına paralel olarak enerji ihtiyacının da artması ekolojik dengenin bozulmasını hızlandırmıştır. Daha kolay elde edilir ve ucuz olması nedeniyle yer altı kaynakları daha çok tercih edilmiştir. Önceleri fosil kaynaklı enerji çeşitleri çok yaygındı ve hala revaçtadır. Bunlar kömür, petrol ve doğalgaz gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır. Sınırlı miktarda olduklarından belirli bir süre yetebilecek miktardadırlar.

Diğer taraftan yenilenebilir enerji kaynakları olarak ifade edilen ve devamlılığı olan enerji kaynakları vardır. Bunlar ise güneş, rüzgar, hidrojen gibi çevreye zarar vermeyen enerji kaynaklarıdır. Bu enerji kaynakları diğer enerji türlerinin sınırlı ve çevreyi kirletici olması nedeniyle her geçen gün daha fazla rağbet görmeye başlamıştır.

Motorlu taşıtlar açısından da enerji ihtiyacı fosil yakıt diye tabir edilen petrol ve türevleri olan yakıtlarla karşılanmaktadır. 1900'lü yılların başından itibaren motorlu araçlar benzinli ve dizel olarak iki yakıt türünde yakıtı kullanabilecek şekilde üretilmişlerdir. Bu yüzyıllık teknolojik gelişmeler hep bu doğrultuda ilerlemiştir. Günümüzde ise yavaş yavaş güneş enerjili ve yakıt pilli araçlar bu yapılardan farklı teknolojide kendine yer edinmeye çalışmaktadır. Çünkü çalışma prensibi ve teknolojik alt yapıları farklıdır. Bu nedenle hem maliyeti daha yüksek hem de yaygın olmaması nedeniyle pek tercih edilmemektedirler. Bu geçiş sürecinin daha uzun süreceği görülmektedir.

Bunun yerine hem günümüz araçlarının kullanıldığı hem de çevreye daha az zarar veren yakıtların kullanılması daha fazla rağbet görmektedir. Bunlar ilk başlarda LPG ve doğalgazın yakıt olarak kullanılması ile başlamıştır. Zamanla bunlardan daha az zararlı olan alkol yakıtlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu yakılardan da metanole nazaran etanol

daha fazla tutulmuştur. Metanol doğalgazdan ve daha ucuz elde edilebildiği için tercih edilmiştir. Ancak etanol ile karşılaştırıldığında, h/y oranının düşüklüğünden çok yer kaplaması ve motor parçalarında korozif etkisinin fazla olması nedeniyle fazla tercih edilmemektedir. Etanol ise biyolojik yollarla üretilebildiği ve metanole nazaran daha az zararlı olması nedeniyle tercih edilmektedir.

Ülkemizde etanolün yakıt olarak kullanılması halinde, petrole olan bağımlılığımız azalacak ve petrol daha az ithal edilecektir. Yine ekonomik açıdan çiftçiler ürettikleri üründen yeterli kazanç elde edemediklerinden, ya çiftçiliği bırakarak başka mesleklere yöneliyorlar ya da ekili alan sayısını azaltıyorlar. Etanol üretimi için yörelere uygun bitkilerin ekilmesi sağlanabilirse hem bu topraklar değerlendirilir hem de işsizlik oranı azalmış olur. Ayrıca devlet çiftçiye vermiş olduğu destekleme alımlarını ve maddi desteği azaltarak ekonomiye katabilir.

Etanol yakıtı ile ilgili çalışmalar yapılırken, bu yakıttan en iyi şekilde nasıl istifade edilebileceği üzerinde durulmuştur. Bu amaçla yapılan deneylerde sıkıştırma oranları, yakıt içerisine katılan etanol miktarı ve avans ayarları çeşitli oranlarda değiştirilerek motor için en uygun olan çalışma şartları ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bütün bu çalışmalarda etanol yakıtı için yakıt miktarının artmasıyla birlikte, yakıt sistemi parçaları ve motora yakıt gönderim elemanlarında bazı düzenlemeler yapılmak durumunda kalmıştır.

Ülkemizde kullanılan araçlardan, karbüratörlü araçların sayısı azımsanmayacak derecededir. Bu araçlar enjeksiyonlu araçlara nazaran çevreye daha fazla zararlı emisyon yaymaktadır. Enjeksiyonlu araçlar oksijen sensörü, katalitik konvertör ve ECU sayesinde hem daha az yakıt harcarlar hem de daha az zararlı emisyonu çevreye yayarlar.

Şimdiye kadar yapılan deneylerde çoğunlukla araç motoru olmayan deney motorlarında çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalara göre, bir araçta etanolün uygun kullanımı için ya avans ayarında düzenleme yapılmalı ya da sıkıştırma oranı değiştirilmelidir. Sıkıştırma oranının değişimi hem masraflı ve kalıcıdır hem de değişik yakıt oranlarına uyumu sağlanamaz. Avans değişimi için sadece uygun olan yakıt değerine ayar yapmak yeterli olacaktır.

Bu çalışmada, benzine değişik oranlarda etanol katmak suretiyle elde edilen yakıtları değişik avans değerlerinde test edilerek, en uygun performans ve emisyon değerlerinin tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla avans tertibatı ve araç ateşleme sistemini kontrol edebilmek amacıyla başka bir projede tasarlanan bir ECU (Elektronik Kontrol Ünitesi) kullanılmıştır. Böylece karbüratörlü bir araca verilen avans miktarının tespiti daha kolay olmuştur. Bu sistem olmasaydı, avans tabancası kullanılarak yapılan bir çalışma okuma hataları yüzünden istenen sonucu veremeyecektir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Genel Bilgiler

Biyoetanol üretimi, nişasta ve/veya şeker içeren mısır, buğday, arpa, triticale gibi tahıl türleri; şeker pancarı, melas, şeker kamışı, patates, yerelması gibi bitkisel ürünler ham madde olarak kullanılmaktadır. Bu hammaddelerden şeker içerenler doğrudan fermantasyonda kullanılmakla, nişasta içerenler ise glikoza dönüştürülerek fermantasyona tabi tutulmaktadır (Oruç 2008).

Ayrıca söğüt, kavak gibi ağaç türleri, mısır, buğday ve pamuk sapları, hızar talaşı gibi selülozla zengin maddelerden de seyreltik asit hidrolizi- konsantre asit hidrolizi ve enzimatik hidroliz yöntemiyle şeker üretimini takiben fermantasyon işlemi ile etanol elde edilebilmektedir. Karbonca zengin evsel katı atıklardan metan gazı üretiminden etanol üretimi konusunda araştırmalar yapılmaktadır (Oruç 2008).

2.2. Biyoetanolün Üretim Aşamaları

Biyoetanol üretimi; nişastanın önce şekere, daha sonra da şekerin doğrudan fermente edilmesiyle biyoetanolle dönüştürülmesi ile sağlanır. Teorik olarak 180 g glikozdan 96 g etanol üretilebilir. Ancak pratikte bu değere ulaşamadığı Çizelge 2.1'de görülmektedir.

Çizelge 2.1. Etanol üretiminde şeker içeren kaynaklar ve etanol verimleri (Oruç 2008)

| Kaynak Verimi (100 g) | Etanol |
|---------------------------------|---------------|
| Glikoz | 40 - 48 g |
| Sakkoroz | 45 - 47 g |
| Ş.Pancarı Melası (%50 sakkaroz) | 20 - 24 g |
| Mısır | 40 - 42 g |
| Buğday | 36 - 38 g |
| Patates | 40 - 42 g |

Biyoetanol üretimini üç aşamada ele alabiliriz.

2.2.1. Hazırlama

Hazırlama sürecinde biyoetanol üretimi için kullanılacak olan nişasta kaynağı (buğday, mısır, şeker pancarı vb.) çekiçli değirmenden geçirilerek öğütülür ve enzim yardımı ile hücresel yapısı parçalanır (liquefying enzyme). Bu şekilde içindeki nişastanın ortaya çıkması ve biyoetanol üretimi için daha iyi bir verim elde edilmesi sağlanır. Ortaya çıkan bu nişasta bir başka enzim yardımı ile şekerlere çevrilir.

Üretimin bu noktasında parçalanmış nişasta kaynağı, enzim ve sudan oluşmuş bir bulamaç halindeki sıvı, içine maya konularak bir sonraki işlem olan fermantasyon ünitesine aktarılır (<http://www.eie.gov.tr>, 2011).

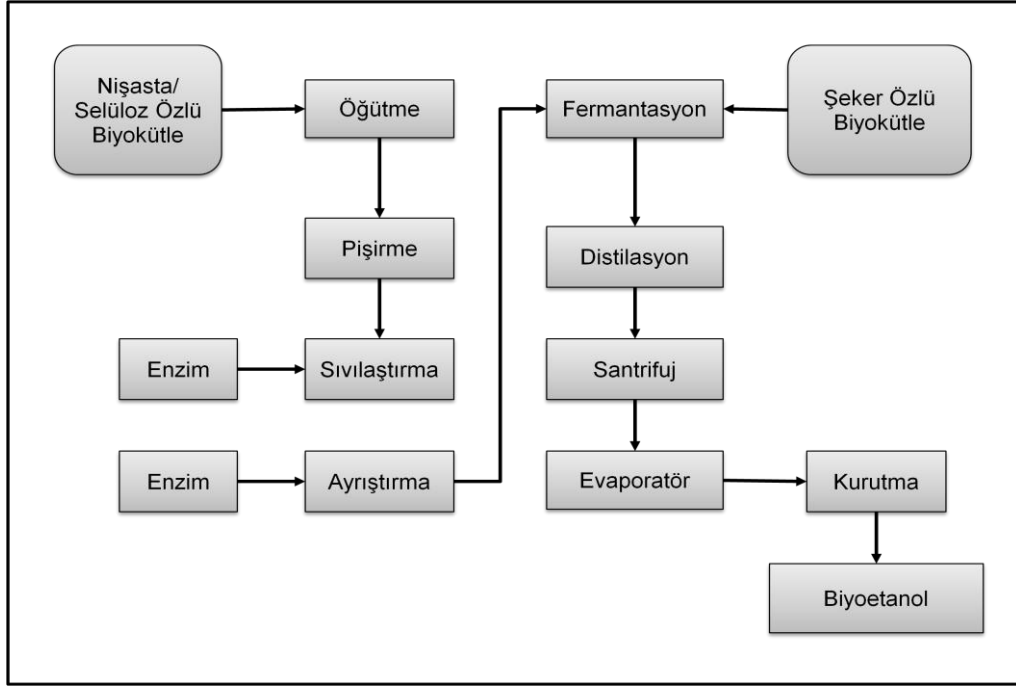
2.2.2. Fermantasyon

Fermantasyon sürecinde eklenen maya bulamaçta bulunan şeker moleküllerini biyoetanol moleküllerine çevirir. Bu işlem 60 – 80 saat arası sürer. Mayanın yüksek verimle çalışması için gereken koşullar bu süre boyunca denetlenir. Fermantasyon sonunda bulamacın içinde %10-12 arası biyoetanol elde edilmesi hedeflenir. Ayrıca fermantasyon süresince açığa çıkan karbondioksit de ayrılmış olur (<http://www.eie.gov.tr>, 2011).

2.2.3. Distilasyon

Fermantasyon sonucu elde edilen bulamaç distile edilerek içindeki biyoetanol ayrıştırılır. Bu ayrıştırma işlemi distilasyon kulelerinde sıvının ısıtılması ile sağlanır. Distilasyon sonucu %95-96 oranında biyoetanol, fermantasyondan gelen bulamaçtan ayrıştırılmış olur. Ayrıştırılan bu biyoetanol içindeki su, moleküler elek teknolojisi yardımı ile süzülerek biyoetanolün saflığını %99,80-99,95'e kadar yükseltir (<http://www.eie.gov.tr>, 2011).

Çizelge 2.2. Etanolün üretim aşamaları (<http://www.eie.gov.tr>, 2011)



Fermantasyon yöntemi ile üretilen etanol sonucunda suda çözülmüş etanol elde edilir. Etanolün bir yakıt olarak kullanılabilmesi için suyun uzaklaştırılması gerekmektedir. En eski yöntem, basitçe damıtmaktır, fakat bu yöntemle, su etanol karışımı azotrop olduğu için %95-96 saflıktan öteye gitmek mümkün değildir. Çözelti karışımı damıtmayı sürdürerek, %96'dan daha saf etanol elde edilmesi mümkün değildir. Benzinle karıştırılabilmek için, en az %95.5 ile %99.9 arasında bir saflığa ihtiyaç duyulmaktadır. En yaygın saflaştırma yöntemi, moleküler elek kullanarak fiziksel absorblama sürecidir (<http://tr.wikipedia.org>, 2011).

2.3. Türkiye’de Etanol Kullanımı ve Üretim Kapasitesi

Türkiye’de etanol ve benzinin karışım oranı yasal olarak % 5 ile sınırlandırılmakla birlikte, PO tarafından satışı yapılan biyobenzinde % 2 oranında etanol katkısı bulunmaktadır. Oranın düşük tutulmasının nedeni, Maliye Bakanlığı tarafından yapılan düzenleme ile benzine katılan biyoetanol için tanınan Özel Tüketim Vergisi muafiyetinin, % 2 ile sınırlandırılmış olmasıdır (Taşdan 2005).

1 m³ etanol üretebilmek için ortalama olarak 2,60 ton buğday veya 2,68 ton mısır ya da 10,30 ton şekerpancarı kullanılması gerekmektedir. Bu durumda, PO'nun ortalama 12.500 m³/yıl civarındaki etanol ihtiyacının karşılanabilmesi için yaklaşık olarak, 2,60 ton x 12.500 m³ = 32.500 ton buğday veya buna alternatif olarak, 2,68 ton x 12.500 m³ = 33.500 ton mısır ya da 10,30 ton x 12.500 m³ = 128.750 ton şekerpancarı kullanılması gereklidir.

Hesaplanan bu miktarlar etanolün tek çeşit hammaddeden üretilmesi koşulu göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla hammaddelerin kullanım oranına göre bu miktarlar da değişebilir (Oruç 2008).

Türkiye'nin buğday üretimi 2003 yılı itibarıyla 19 milyon ton, mısır üretimi 2,8 milyon ton, şekerpancarı üretimi ise 13 milyon ton civarındadır. Bu durum göz önüne alındığında, etanol üretimi amacıyla kullanılacak ürün miktarlarının, üretime oranının oldukça küçük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla etanol üretiminin tarımsal ürün piyasalarını oldukça düşük seviyede etkileyebileceği düşünülebilir (Taşdan 2005). Türkiye'de biyoetanol üretimi yapan ve yapabilecek olan resmi (Eskişehir, Turhal, Malatya ve Erzurum) ve özel kuruluşlara ait fabrikaların üretim kapasitelerine ilişkin bilgiler Çizelge 2.3'te verilmiştir (Oruç 2008).

Çizelge 2.3. Türkiye'de biyoetanol üretimi yapan/yapabilecek olan fabrikaların üretim kapasiteleri (Oruç 2008)

| Fabrika Ham Madde | Üretim Kapasitesi (Milyon lt/yıl) |
|-----------------------------------|--|
| Eskişehir Alkol Fb. Şeker Pancarı | 21 |
| Turhal Alkol Fb. Şeker Pancarı | 14 |
| Malatya Alkol Fb. Şeker Pancarı | 12.5 |
| Erzurum Alkol Fb. Şeker Pancarı | 12.5 |
| Çumra Şeker-Alkol Şeker Pancarı | 84 |
| Tarkim (M.Kemalpaşa) Buğday-Mısır | 40 |
| Tezkim (Adana) Buğday-Mısır | 26 |
| Toplam : | 170 Milyon lt/yıl |

2.4. Değişik Ülkelerde Etanolün Üretimi ve Yakıt Olarak Kullanılması

Etanol yakıtı içten yanmalı motorlar için yeni bir kavram değildir. Nitekim ilk içten yanmalı motorları ve araçları (N. Otto 1877'de, H. Ford 1880'de) çalıştırmak için saf alkol (metanol veya etanol) kullanılmıştır. ABD ve birçok ülkede de 1920, 1930 yıllarında birçok araştırma yapılmıştır (Jeuland 2004).

Son yıllarda daha katı emisyon sınırları konulması nedeniyle etanolün yakıt olarak kullanımı tekrardan gündeme gelmiştir. Kyoto Protokolü ve sera gazı emisyonları için artan endişe sebebiyle aralarında etanolün de bulunduğu biyoyakıt üretimi ve kullanımı önümüzdeki yıllarda önemli rol oynayacaktır (Jeuland 2004).

Biyobenzin üretiminde katkı olarak kullanılan etanolün, 2004 yılı itibarıyla dünya üretimi, yaklaşık 30 milyar litredir. Üretimde en fazla paya sahip olan ülkeler, Brezilya (% 37), ABD (% 33), Çin (% 9) ve Hindistan (% 4) iken, Fransa dünya üretiminden aldığı % 2'lik pay ile AB ülkeleri arasındaki en önemli üretici ülkedir. Dünya etanol üretiminin büyük bölümü mısır ve şeker kamışı ya da şeker pancarı kökenli şekerden elde edilmekle birlikte, etanol üretiminde kullanılan tarım ürünleri, ülkeler arasında farklılık gösterebilmektedir. Örneğin, Brezilya'da şeker kamışı kullanılırken, ABD'de mısır, Çin'de mısır ve buğday, Hindistan'da şeker kamışı, Fransa'da şeker pancarı, mısır ve buğday, Tayland'da ise cassava ve pirinç kullanılmaktadır (Taşdan 2005).

Brezilya'da şeker kamışından elde edilen ve saf olarak veya benzinle karıştırılarak kullanılan biyoetanol gasohol (%24 biyoetanol, %76 benzin) olarak ifade edilir. ABD'nin çeşitli eyaletlerinde etanolün küçük bir miktarı (hacimsel olarak %10) benzine ilavesi E10 veya gasohol diye bilinir. Benzine etanolün değişik yüzdeleri katılmak suretiyle çeşitli ülkelerde kullanım politikaları vardır. Örneğin; ABD'de (E10 ve esnek yakıtlı araçlar (FFV) için E85), Kanada (E10 ve FFV için E85), İsveç (E5 ve FFV için E85), Hindistan (E5), Avustralya (E10), Tayland (E10), Çin (E10), Kolombiya (E10), Peru (E10), Paraguay (E7), ve Brezilya (E20, E25 ve FFV için her karışım kullanılmaktadır (Demirbaş 2009).

Brezilya yakıt olarak etanolün en yaygın kullanıcısı konumundadır. Esnek yakıtlı araçlarda (FFV) E85 kullanımının haricinde, konsantrasyonlarında %10'dan daha

yüksek etanol karışımları kullanan tek ülkedir. Brezilya'daki araçların yaklaşık olarak %20'si %100 etanol ile çalışmaktadır. Kalan araçlar ise %22 etanol karışımında (%20-24 karışım aralığı) çalışmak üzere optimize edilmiştir (Jeuland 2004).

Etanol ülkelerde yakıt olarak üç şekilde kullanılır:

1. Devlet politikası tarafından belirlenen oranlarda (hacimsel olarak % 5, %10 veya %25 gibi değişen oranlarda) etanolün benzine ilave edilerek kullanılması şeklinde,
2. Esnek yakıtlı araçlarda (FFV) E85 yakıtının kullanılması şeklinde,
3. E100 etanol yakıtlı araçlarda (FFV) (yanmayı iyileştirici ve diğer katkı maddeleri ilave edilmek suretiyle) kullanılması şeklinde.

Amerikan otomobil üreticileri garanti koşulları değiştirmeden, kendi araçlarda benzine % 10 etanol karışımlarının kullanımını konusunda anlaşmaya varmışlardır. Avrupa ve Japonya'da birçok otomobil üreticisi Kuzey Amerika'ya araç satmaktadır. Bu nedenle, şu anda Türkiye de dahil olmak üzere Avrupa pazarında, mevcut tasarımlarla, benzine en az % 10 etanol karışımlarının kullanımına izin verilebilir. Ancak eski model araçlarda kullanımında oluşacak olumsuzluklardan dolayı gerekli araştırmaların yapılması daha yerinde olur (Westerholm ve ark. 2005).

Araç özellikleri, yakıtlar, emisyon sınır değerleri ve iklim koşulları ülkeden ülkeye değişkenlik gösterebilir. Mesela buharlaşma ısının yüksekliğinden kaynaklanan soğukta ilk çalıştırma güçlüğü veya yüksek sıcaklıklarda kolay buharlaşabildiğinden sıcak ülkelerde ise buhar tıkaçı oluşturma riskleri göz önünde bulundurulmalıdır. İlk etapta üst sınır olarak %10 içerik üst sınırı konulabilir. 2010 yılından daha sonraki yıllarda ise %10 daha yüksek içerik önem kazanmaya başlayacaktır (Westerholm ve ark. 2005).

Etanol ile çalışan FFV araçlar benzinli araçlarla aynı özelliklere sahip araçlardır. Temel farklılıklar yakıt yönetim sisteminde kullanılan malzemeler ve motor kalibrasyon sistemindeki (özellikle yakıt ve ateşleme sistemlerinde) değişikliklerdir. Esnek yakıtlı araçların kullanılması halinde ilave bir yakıt tankına ve yakıt değişimi için anahtar kullanmaya gereksinim kalmaz. Çünkü yakıt türünü algılayan FFV araçlar sayesinde istenilen yakıt ve istenilen yakıt oranını kullanmak mümkün hale gelmiştir.

2.5. Benzinli Motorlarda Alkol Yakıtların Kullanılma Nedenleri

Bir otomotiv yakıtı olarak alkol yakıtların kullanımı neredeyse içten yanmalı motoru kadar eskidir. Taşıma amaçlı otomotiv motorlarında etanol ve metanolün benzin ile karışımlarının kullanımı aşağıdaki nedenlerden dolayı cazip görünür:

1. Araç motor işletim sistemlerinde en az tasarım değişikliklerinin yeterli olması
2. Motor performans ve egzoz emisyonları bakımından tutarlı sonuçlar vermesi
3. Yenilenebilir kaynaklardan alkol üretim imkanlarının olması (Khalifa 1985).

2.6. Alkol Yakıtların Avantaj ve Dezavantajları

Alkol kullanımının yaygınlaşmasını engelleyen temel faktörler ise; dünya petrol üretiminin talebi karşılayabilir olmasının yanı sıra alkollerin birim kütesinin ısı değeri düşük, dolayısıyla birim kütle başına maliyetinin benzine göre yüksek olmasıdır. Alkollerin alternatif yakıt olarak kullanılmasının avantaj ve dezavantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

2.6.1. Avantajları

- Alkoller ham petrolden elde edilen yakıtların yerine geçebilirler,
- Ham petrol yataklarına sahip olmayan ülkeler enerji ihtiyaçlarını petrole bağımlı olmadan karşılayabilirler,
- Alkol üretimi (özellikle etil alkol), zirai imkanları geniş olan ülkelerin çiftçileri için iyi bir gelir kaynağı oluşturabilir,
- Alkoller benzinle karıştırıldığında karışımın oktan sayısını arttırıcı etki gösterirler. Bu özelliği sayesinde vuruntuya karşı güçlü bir direnç ve motorun düzenli çalışmasını sağlar.
- Biyoetanol, benzine göre daha geniş alev alma sınırına, yüksek alev hızına ve yüksek buharlaşma ısısına sahiptir. Bu özellikler daha yüksek bir sıkıştırma oranı sağlar. Motorda daha kısa ateşleme zamanı ve fakir yanma sağlar. Başka bir deyişle daha küçük hacme sahip motorlardan daha büyük güçler alınabilir,
- Yakıt olarak alkol ve alkol-benzin karışımı yakıt kullanılan bir motorun performansında aynı motorun benzine çalıştırılmasına göre güç artışı görülmüştür,

- Formülündeki oksijen varlığı sebebiyle daha homojen yakıt-hava karışımı ve dolayısıyla yanmamış veya kısmen yanmamış moleküllerin yanmasını sağlayarak emisyonlarda iyileştirmelere neden olur (HC,CO).
- Yüksek olan gizli buharlaşma ısısı emiş havasında soğuma etkisi yapar. Bunun sonucunda artırılabilir dolum verimliliği sağlanmış olur (Öğüt ve Kuş 1999, Jeuland 2004). Bunun sonucunda güç artışı meydana gelir.

2.6.2. Dezavantajları

- Alkollerin yapısında oksijenin bulunması (etanolda ağırlık olarak %30) yakıtın hacimsel tüketiminde bir artışa neden olur.
- Eğer alkol - benzin karışımları içerisinde az miktarda da olsa su karışmış ise, özellikle soğuk havalarda faz ayrışması oluşur. Faz ayrışması daha çok metanol içeren karışımlarda ortaya çıkar,
- Bazı benzin yakıt sistemi parçaları alkole uyumlu değildir. Özellikle kalay-kurşun alaşımı ile kaplı tanklarda bu durum öne çıkar. Küçük miktardaki etanol-benzin karışımları için önemli olmamakla beraber saf alkol yakıt sistemlerinde önemli hasarlara neden olur,
- Özellikle soğuk havalarda ilk hareket zorluğu olabilmektedir. Bunu önlemek için, alkoller uçucu maddeler ile karıştırılırlar, yardımcı çalıştırma yakıtları kullanılır (eter, benzin, hidrojen vs.), elektrikli yakıt buharlaştırıcılar kullanılır, karbüratörden daha etkin olarak yakıtı buharlaştıracak püskürtme sistemi kullanılır,
- Alkoller atmosferden nem kapma özelliğine sahiptirler. Bu nedenle alkol yakıt tanklarındaki yakıt filtreleri yenilenmelidir. Yakıt tankı ve karbüratörün atmosfere açık olmasının oluşturacağı alkolün nemlenmesi probleminin önüne geçilmelidir,
- Alkollerin nem tutma özellikleri dolayısıyla taşınmaları ve dağıtımı esnasında dikkat gerekmektedir,
- Eğer alkoller benzin yerini alacak olursa, yeni alkol üretim ve dağıtım istasyonları çok büyük mali sıkıntılara sebebiyet verecektir.
- Motorlarda etanolün yakıt olarak kullanılması aldehit emisyonlarının yükselmesine neden olur. Bu emisyonlar ise insan sağlığını olumsuz etkiler (Öğüt ve Kuş 1999, Jeuland 2004).

2.7. Etanolün Yakıt Olarak Kullanılma Metotları

Buji ateşlemeli motorlarda alkol yakıtları kullanımında, farklı metotlar tercih edilir ve kullanılır:

1. Benzinle karışım
2. Çift yakıtlılık
3. Doğrudan alkoller kullanmak

Bütün bu yöntemlerin kullanımında da yakıt karbüratörden motora verilir.

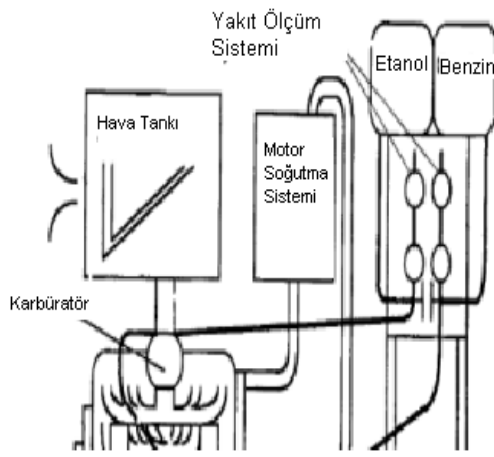
2.7.1. Benzinle karıştırmak

Etanol ve benzini tüm oranlarda karıştırmaya imkanı vardır. Karışımlar normalde suya karşı duyarlıdır ve çok düşük toleransa sahiptir, yakıt içeriğindeki etanol oranı arttıkça su toleransı da artar. Susuz etanol-benzin karışımlarını kullanmak en iyisidir. Karışımlar etanol yüzdesine bağlı olarak oktan sayısını yükseltmiştir.

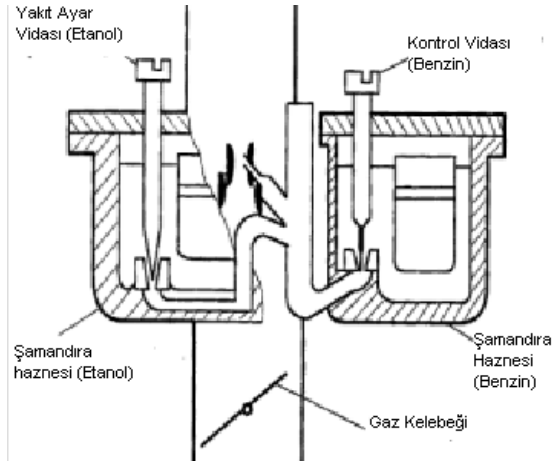
- Dolgu verimini iyileştirir.
- Karışımın %10-60 arasındaki damıtmanın çoğunun doğal buharlaşabilmesi nedeniyle, daha fazla karbürasyon verimi sağlar. Çoğu tamamlanmış olan buharlaşma ile en iyi şekilde emme manifolduna dağılım sağlanmış olur. Damıtma eğrileri bize özellikle kış mevsiminde, iyi bir ilk çalıştırma, buhar tıkaçı oluşmayan ve iyileştirilmiş bir performans elde edebileceğimizi göstermektedir.
- Düşük miktarlardaki etanol ilavelerinde olağan dışı yıpranma ve motor bozulması olmamıştır.
- Benzine göre daha fazla güç ve verim, daha düşük CO ve HC emisyon değerleri elde edilir (Khalifa 1985).

2.7.2. Çift yakıtlılık

Çift yakıt kullanılan deneyler karbüratörlü araçlarda yapılmıştır. Deneylerde karbüratör iki kısımdan oluşmaktadır. Bir tarafından benzin yakıtı, diğerinden alkol yakıtını iki ayrı debi ayar vidası ile miktarları ayarlanmaktadır. İki yakıt içinde ayrı ayrı yakıt pompaları, yakıt depoları ve ölçüm aletleri vardır.



Şekil 2.1. Çift yakıtlı deney düzeneğinin şematik yapısı (Yüksel ve Yüksel 2004)



Şekil 2.2. Yeniden dizayn edilmiş çift yakıtlı karbüratörün şematik diyagramı (Yüksel ve Yüksel 2004)

Bu yöntemde debi ayar vidaları sayesinde ihtiyaca uygun, ayarlanabilir bir yakıt kontrol sistemi elde edilmiş olur. Dezavantajları ise; yeniden dizayn edilmiş bir karbüratör gereksinim duyulması, fazladan yakıt ekipmanına ihtiyaç duyulması, enjektörlü araçlarda uygulanmasının mümkün olmamasıdır (Yüksel ve Yüksel 2004).

2.7.3. Doğrudan alkoller kullanmak

Buji ateşlemeli motorlar için ölçüm sistemi, sadece belirli bir karışım için ayarlanabilir. Su/alkol konsantrasyonlarındaki değişimler tolere edilemez. Buji ateşlemeli motorlarda alkol yakıtlar ile en iyi yakıt ekonomisine sahip olabilmek için gerekli olan değişimler:

1. Yakıt sistemini yeniden düzenleyerek gerekli olan yakıt/hava oranı korunmalı,
2. Ateşleme avansı için gereken düzenlemeler yapılmalı,
3. Yakıt sistemindeki bazı materyaller alkolle reaksiyona girebilir. Bu yüzden bu materyallerin değiştirilmesi gerekebilir,
4. Alkol yakıtın daha iyi buharlaşmasını sağlamak için emme manifoldunun ısıtılması gerekebilir,
5. İlk çalıştırma esnasındaki yardımcı düzenekler özellikle soğuk havalarda gerekli olabilir,
6. Yüksek oktan sayısının avantajından dolayı kompresyon oranı yükseltmek suretiyle daha iyi bir yakıt ekonomisi sağlanabilir,

7. Alkol yakıtların düşük enerjileri nedeniyle büyük yakıt tanklarına ihtiyaç olabilir.

Genel olarak birçok araştırmacı sadece yakıt sisteminde değişiklik yaparak deneylerinde alkolü yakıt olarak kullanmışlardır. Aracın genel performansı yeterli kullanıldığı sürece yukarıdaki değişikliklere gerek olmayabilir (Khalifa 1985).

2.8. Alkollü Yakıt Kullanımında Malzeme Seçimi

2.8.1. Polimerler

Yakıt lastiğe emilir emilmez, alkoldeki oksijen lastiğin karbon-karbon çift bağlarını kırar. Etanol lastik bileşenlerinin şişmesine ve zayıflamasına sebep olur. Bu şişme ve zayıflama sonucunda yakıt sızıntısı oluşabileceğinden araç sürücüleri tehlike altında olabilirler. Şişme ve parçanın bozulması sorunu yüksek dayanımlı, uyumlu malzemeler kullanmak suretiyle önlenabilir. Naylon sadece düşük sıcaklıklarda (< 30°C) dirençli olabilir. Bu polimer, yakıt alım hattı sıcaklığının düşük olması nedeniyle burada kullanılabilir (Jeuland 2004).

2.8.2. Galvanik korozyon

Galvanik korozyon iki metalin birbirine temas etmesiyle genellikle bir iletken elektrolitin içinde oluşur. Örneğin, paslanmaz çelik ve alüminyum yan yana yerleştirilirse galvanik korozyona maruz kalabilir. Tipik yakıtlar (katkı içermeyen) 10^{-6} ile 10^{-8} $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında elektrik iletkenliğine sahiptir. Etanolün elektrik iletkenliği $1.35 \cdot 10^{-3}$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. Ayrıca asetik asit içindeki etanolün oksidasyonu elektriksel iletkenliği hızlı bir şekilde artmasına sebep olur (0.1M asetik asit çözeltisi için 41 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Dolayısıyla asetik asidin varlığı, galvanik korozyon ve kimyasal etkileri artırabilir. Metallerden, karbon çelik, paslanmaz çelik ve bronz içerenlerinin etanol ile kullanılması önerilir. Magnezyum gibi metaller, çinko muhafazaları, pirinç ve bakır tavsiye edilmez (Bechtold 1997, Jeuland 2004)

Önceki paragrafta etanolün “kuru” olduğu varsayılmıştır, yani su içermediği anlamındadır. Su etanol ile karışabilir. Geçmişte çok yüksek su oranı etanol içinde bulunmuştur (hacimsel olarak %5 üzeri). Susuz etanol kullanımı motor korozyonunu

önlemek için zorunludur. Bu durum etanolün yakıt olarak geliştirilmesinde, yakıt lojistik ve depolamaya göre en önemli sınırlamadır (Jeuland 2004).

Etanolün en önemli zaaflarından biri de içerisinde bulunan suyun yakıt donanımı ve emme sistemi üzerindeki korozif etkisidir. Etanolün korozif özellikleri nedeniyle korozyonu önlemek için yakıt ve emme sistemi, koruyucu maddelerle kaplanmaktadır (Jeuland 2004).

2.9. Etanolün Yakıt Olarak Kullanımında Araçta Yapılabilecek Değişimler

Çizelge 2.4'te de görüldüğü gibi alkol yakıtların kullanılması için aracın motor ve aksamalarında bazı değişimlere ihtiyaç duyulabilir. Benzinli araçlar benzin yakıtını kullanmaya elverişli halde üretilirler. Alkol yakıtlardan kimyasal özellikleri nedeniyle ve yakıttan en iyi performansı elde etmek amacıyla bu değişimleri yapmamız gerekir.

Çizelge 2.4. Etanol yakıtının farklı karışımlarının benzinli motorlarda kullanılması için gerekli olan düzenlemeler (Pickett ve ark. 2008)

| Etanol Yakıtı | Karbüratör | Yakıt Enjeksiyon | Yakıt Pompası | Yakıt Basınç cihazı | Yakıt Filtresi | Ateşleme Sistemi | Buharlaştırıcı Sistem | Yakıt Tankı | Katalitik konverter | Ana Motor | Motor Yağı | Emme Manifoldu | Egzoz Sistemi | Soğukta Çalıştırma Sistemi |
|---------------|------------|------------------|---------------|---------------------|----------------|------------------|-----------------------|-------------|---------------------|-----------|------------|----------------|---------------|----------------------------|
| ≤ %5 | | | | | | | | | | | | | | |
| % 5-10 | | | | | | | | | | | | | | |
| % 10-15 | | | | | | | | | | | | | | |
| % 25-85 | | | | | | | | | | | | | | |
| ≥ %85 | | | | | | | | | | | | | | |

Bütün araçlar için

15-20 yaşın üzerindeki araçlar için

Özel üretilmiş araçlar için

Değişimi gerekli
 Değişimi gerekli olmayabilir

Çizelge 2.4'te etanol miktarındaki artışla birlikte aracın motor ve aksamlarındaki değişimler artış göstermektedir. Özel üretilmiş araçlar için bölümünün dışında kalan ekipmanlarda, ekipman değişimi gerekli olmayabileceği ifade edilmiştir.

2.10. Etanol ve Benzin Yakıtlarının Kimyasal Özelliklerinin Karşılaştırılması

2.10.1. Etanol-Benzin karışımlarında yoğunluğun etkisi

Etanol ile benzinin yoğunluklarının farklı olması nedeniyle bir araya geldiklerinde bir faz ayrışması oluşur. Etanol yakıtının yoğunluğu benzinin yoğunluğundan fazla olmasından dolayı yakıt deposuna konulduklarından bir süre sonra alkol deponun alt tarafına, benzin ise deponun üst tarafına toplanır. Bunun sonucu olarak motor yakıt ihtiyacını sadece alkolle karşılama durumu ile karşı karşıya gelinir. Tek başına yakıt olarak alkol kullanılması da alt ısıl değerinin düşüklüğünden dolayı motor gücünde azalma ve teklemler meydana getirir. Yine faz ayrışması nedeniyle motorun ilk çalıştırılması güçleşir (Çolak 2006).

Çizelge 2.5. Benzin ve etanol yakıtlarının kimyasal özelliklerinin karşılaştırılması (Eyidoğan ve ark. 2010)

| | BENZİN | ETANOL |
|----------------------------------|---------------------|------------|
| Kimyasal formül | $C_{6,97}H_{14,02}$ | C_2H_5OH |
| Molekül kütlesi (kg/kmol) | 97,66 | 46 |
| C/H oranı | 0,497 | 0,333 |
| Donma noktası (K, 0.1 MPa) | 243-263 | 155 |
| Kaynama noktası (K, 0.1 MPa) | 305-490 | 351 |
| Yoğunluk (kg/m ³) | 750,8 | 809,9 |
| Alt ısıl değer (MJ/kg) | 42,6 | 26,7 |
| Hava-yakıt oranı | 14,73 | 9,1 |
| Tutuşma sınırları (hacimsel %) | 1-6 | 4,3-18 |
| Buhar basıncı (23,5°C, kPa) | 60-90 | 17 |
| Araştırma oktan sayısı | 95 | 108,6 |
| Motor oktan sayısı | 85 | 89,7 |
| Buharlaşma ısısı (kJ/kg) | 490 | 921,1 |
| Kendi kendine tutuşma sic.(°C) | 257 | 425 |

Bu durumun önüne geçmek ve homojen bir yakıt karışımı elde etmek için alkollü benzinlere çeşitli katkı maddeleri katılır. İzopropanol, tersiyel bütanol, siklohegzanol, izobütanol, n-bütanol ve okaliptus yağı faz ayrışma sıcaklığını düşürebilecek etkin katkı maddeleridir (Çolak 2006).

Etanol-benzin karışımlarında yoğunluk değerleri sıcaklık ile doğrusal değişimler gösterir. Yüksek alkol yüzdelerinde ve düşük sıcaklıklarda yoğunluk artar. Benzinin sıcaklığa göre yoğunluk değişimi azdır. Buna karşın etanolün sıcaklık değişimlerinde yoğunluğu çok fazla değişir. Karışımda etanol oranı arttıkça yoğunluk değişimi de doğal olarak artmaktadır (Çolak 2006).

2.10.2. Etanol-Benzin karışımlarında alt ısı değerinin etkisi

Aracınızda kullanacağınız yakıtın alt ısı değeri ne kadar yüksek olursa, aracınızda taşıdığınız aynı hacim veya ağırlıktaki yakıtla o kadar daha mesafe gidebilirsiniz. Yakıtın sahip olduğu ısı değerinin yüksek olması taşıtta kullanılacak depo hacminin ve ağırlığının küçülmesini sağlayacaktır.

Etanolün alt ısı değerinin benzinin yaklaşık %60'ı kadar olması nedeniyle, etanolü çalışmalarda özgül yakıt tüketimi, karışımdaki etanol miktarı ile orantılı olarak artmaktadır. Benzin yerine etanol kullanıldığında aynı yolu gitmek için yaklaşık benzinin 1,4 katı kadar yakıt deposu gerekmektedir (Sürmen ve ark. 2004).

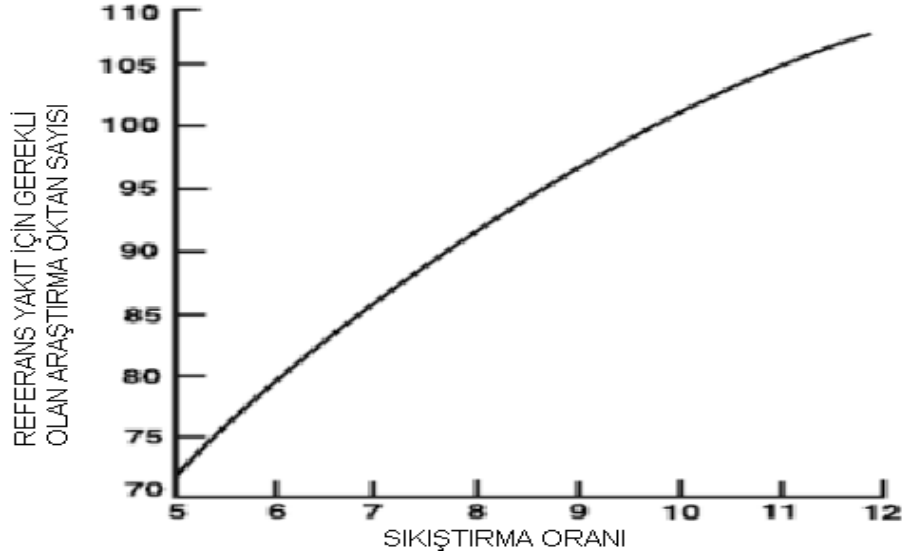
Böyle bir durumda etanolün yakıt olarak seçilmesi durumunda, 1,4 katı kadar yakıt deposuna, depolama tesislerinde, tankerlerde, yakıt iletim borularında ve yakıt dolun istasyonlarında yine aynı oranda bir artışa ihtiyaç duyulacaktır.

Etanolün düşük alt ısı değerinin olmasına rağmen yine de benzin ile hemen hemen aynı güç değerini vermektedir. Bunun sebeplerinden bir tanesi düşük hava-yakıt oranına ihtiyaç duymasıdır.

2.10.3. Etanol-Benzin karışımlarında oktan sayısının etkisi

Etanolün oktan sayısı benzinin oktan sayısından yüksektir. Etanolün oktan sayısının yüksek oluşu, benzine etanol ilavesinin aynı zamanda oktan sayısı artırıcı rol oynadığını

göstermektedir. Motor verimliliğini artırmak için özel bir motor kullanılması halinde etanolün oktan sayısını artırıcı özelliğinden yararlanılarak vuruntu oluşturmadan sıkıştırma oranı artırabilme imkânımız vardır (Jeuland 2004).



Şekil 2.3. Motor sıkıştırma oranına bağlı olarak gerekli olan oktan sayısı (RON)

Bir motorun sıkıştırma oranı arttıkça, oktan sayısının artırılmasına ihtiyaç duyar (Şekil 2.3). Bu durum motor tasarımının temel hususlarından biridir. Bu fiziksel özellik, özellikle buji ateşlemeli motorların CO₂ emisyonlarını azaltmak için yararlıdır. En umut verici yollarından biri ise küçük turbo dolgulu motorların yaygınlaştırılması ile motorların küçültülmesi gibi görünüyor. Bu motorlarda yüksek oktanlı yakıt kullanılması sayesinde, yüksek sıkıştırma oranlarına imkân vermektedir (Jeuland 2004).

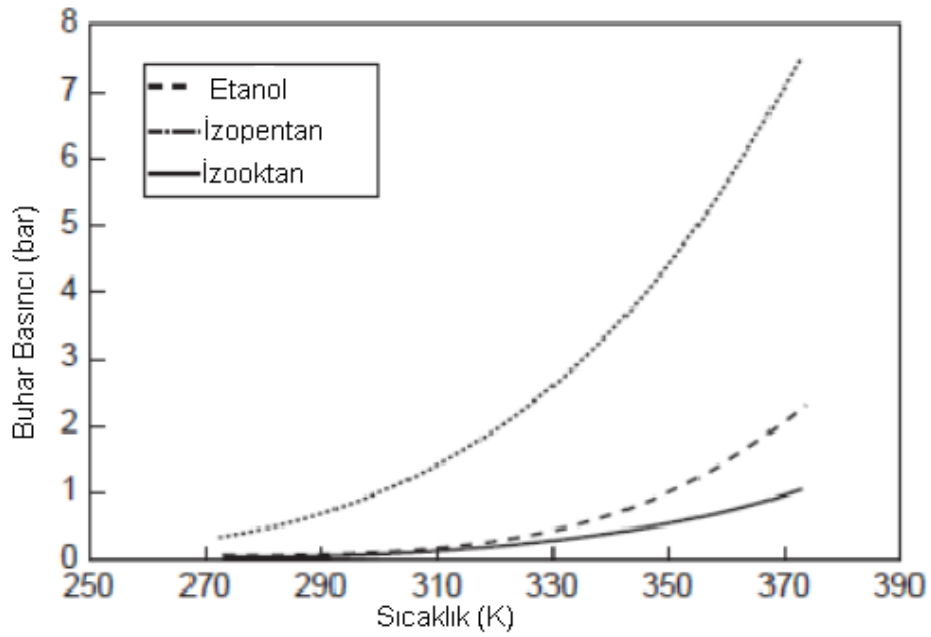
Sıkıştırma oranı hesaplanmasında kullanılan tipik bir korelasyona göre yaklaşık 5 puanlık bir oktan artışı için 1 puanlık S.O. artış değerini verir. Etanol tipik bir buji ateşlemeli motorda kullanıldığı zaman (C.R. = 9, RON 95), sıkıştırma oranı 13-14'e kadar yükseltilebilerek önemli bir termal verimlilik artışı sağlanabilir (Jeuland 2004).

2.10.4. Etanol-Benzin karışımlarında buhar basıncının etkisi

Buharlaştırma ısısının düşük olması, ilk çalışma ve soğuk havalarda çalışma performansının iyi olması ve daha homojen bir karışım için daha elverişli olması

bakımından istenen bir özelliktir. Buna karşılık yangın emniyeti, yüksek sıcaklıklarda tank basıncının yüksek olması ve buhar tıkaçına sebep olma gibi istenmeyen yönleri de vardır (Sürmen ve ark. 2004).

Buhar basıncı yüksek karışimli yakıtların motorlarda kullanılması durumunda yüksek ortam sıcaklıklarında buhar tıkaçı oluşarak, motorda ilk hareket güçlüklerine ya da motor durmasına neden olmaktadır. Çok düşük ortam sıcaklıklarında da motorun çalışması olumsuz yönde etkilenmektedir.



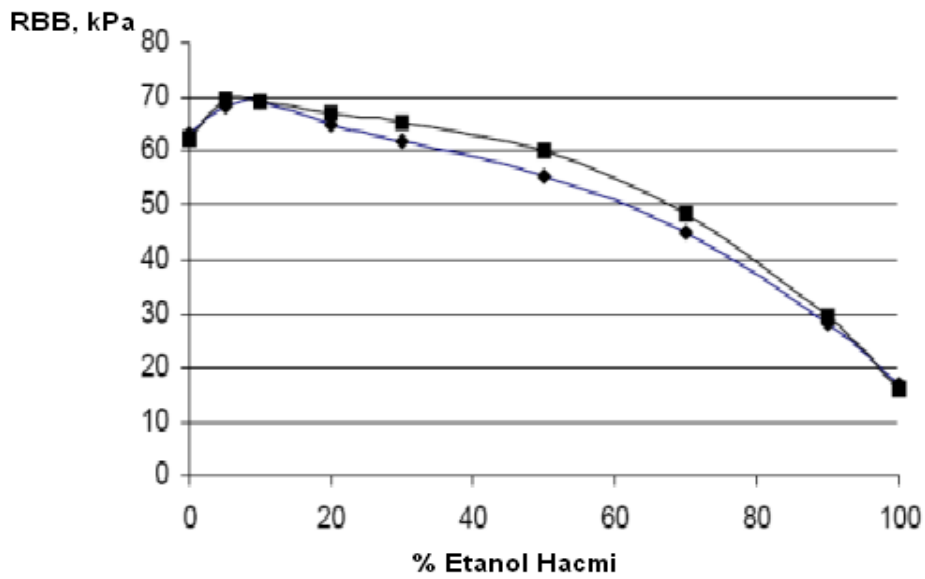
Şekil 2.4. Etanol ile benzin bileşenlerinin buhar basınçlarının karşılaştırılması (Jeuland 2004)

Şekil 2.5'ten de anlaşılacağı gibi en yüksek RVP her iki araştırmada da E10 yakıtında elde edilmiştir. Yüksek RVP istenilmesi halinde benzine katılması gereken etanol ilavesinin %5 - %10 arasında olması muhtemeldir (Westerholm 2005).

Bu sorun karbüratörlü araçlarda daha fazla kendini göstermektedir. Buhar tıkaçı oluşması durumunda motora istenilenden daha az oranda yakıt sevk edildiği için çalışma problemleri ile karşı karşıya gelinir (Westerholm ve ark. 2005).

Etanolün buhar basıncı benzin bileşenlerinin buhar basınçlarından daha yüksektir. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi sıcaklığın artmasıyla birlikte etanolün buhar basıncı, benzin bileşenlerinin buhar basınçlarına göre daha fazla oranda artış göstermektedir.

Soğuk havalarda ilk çalıştırma probleminin üstesinden gelebilmek için özellikle Brezilya'da değişik çalışmalar yapılmıştır. Bunlar arasında en yaygın olanları ise yakıt enjeksiyon sistemini ısıtmak (özellikle yakıt borularını) veya yüksek uçucu benzin ile dolu ikinci bir yakıt tankı kullanmak suretiyle motor çalışmaya başlamasından birkaç saniye sonra etanol yakıtına geçilmesidir (Jeuland 2004).



Şekil 2.5. Etanolün yüzdesel hacimsel olarak benzine karıştırılmasının Reid Buhar Basıncına (~38 °C'de) etkisi (Westerholm 2005)

Soğuk kış günlerinde, etanol karışımlarının buhar basıncı 45 kPa'ın altına düşerse yakıtın ateşlenmesi garanti edilemez. Bu yüzden, soğuk aylarda etanol karışımlarının hacimsel yüzdesi için maksimum sınır E75 olmalıdır. Çünkü Şekil 2.5'te de görüldüğü gibi E75'in üzeri karışımlarda buhar basıncı 45 kPa'ın altına düşmektedir (Pickett 2008).

2.10.5. Etanol-Benzin karışımlarında alev sıcaklığı ve yanma hızının etkisi

Bir yakıtın laminer alev hızı ne kadar yüksek ise, yanmanın tamamlanması için geçen süre o kadar az demektir. O zaman motoru daha düşük bir avansla çalıştırmak

mümkündür. Yani ideal motora daha yakın, verimi daha yüksek olur. Adyabatik alev sıcaklığı özellikle alev cephesine yakın bölgede oluşabilecek ortam sıcaklığının bir ölçüsüdür. Yüksek olması termodinamik verim bakımından iyi ise de yanma verimi, ısı kayıpları ve emisyonlar bakımından bazı olumsuzluklar oluşturabilir (Sürmen ve ark. 2004).

Etanolün yanma sıcaklığının düşük olması, silindir cidarlarından kaçan ısının azalmasına dolayısıyla termik verimin artmasına sebep olur. Düşük sıcaklıkta oluşan yanma reaksiyonu, soğutma sistemlerinde basitleştirmeye gidilmesini sağlar.

Ayrıca etanolün benzine göre daha düşük alev sıcaklığının olması, yanmanın iyileşmesini, yanma ürünleri içindeki azot oksitlerin NO_x ve CO'nin azalmasını sağlamaktadır. NO_x motor silindiri içinde yüksek sıcaklık ve basınç altında, havadaki azot ve oksijenin birleşmesi ile oluşur. Etanolün yanması ile oluşan ısı azdır; dolayısıyla çok fazla miktarda NO_x meydana gelmesi için gerekli koşul oluşmaz.

2.10.6. Etanol-Benzin karışımlarının yağlama yağına etkisi

Yakıt olarak incelenmesine ilave olarak aracın geriye kalan kısımlarının da etkilenmesi göz önüne alınmalıdır. Bu alanlarda biri de motor yağlama yağı ve kullanılan yakıt arasındaki uyumluluktur.

Alkol yakıtlarla doğal olmayan geleneksel yağlayıcı katkıların uyum göstermediği gözlemlenmiştir. Blowby gazlarının içindeki krank milinde alkol birikmesi oluşur ve bunlar yağ katkı maddelerinin bazıları ile reaksiyona girerler. Reaksiyona giren yağların, motor katmanları ve yataklarda araya girmeler sonucu aşınmalara sebebiyet vermektedir. Bu sebeple bunların kontrol altına alınması gerekir (Khalifa 1985).

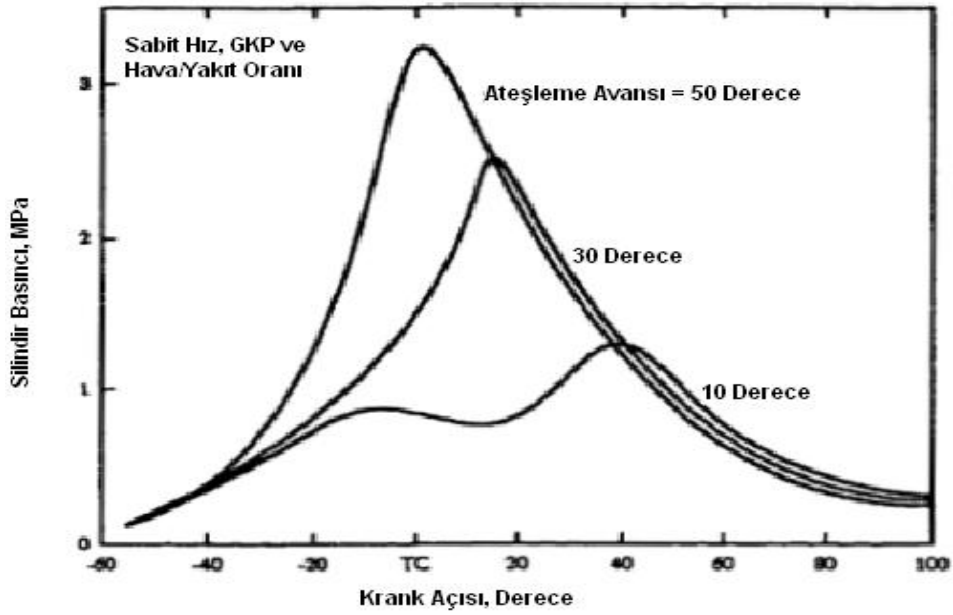
Gizli buharlaşma ısısı yüksek olan etanol emme manifoldunda buhar fazına geçerek benzine göre daha fazla ısı çekmektedir. Bu durum volumetrik verimi artırıcı yönde etki yapar. Ancak emme manifolduna dışarıdan ısı verilmiyorsa, karbüratörden çıkışta buharlaşmak için yeterli ısıyı bulamayan etanol silindir içerisine sıvı fazda gireceğinden HC emisyonlarını artırır. Bununla beraber sıvı yakıtın silindir cidarlarındaki yağ filmini

bozacağı, kartere inen sıvı etanolün motor yağını da bozucu etki yapar (Öğüt ve Kuş 1999).

2.11. Ateşleme Zamanlamasının Etkisi

Ateşleme zamanlaması, krank milinin açısına bağlı olarak buji elektrotları arasında kıvılcım meydana gelmesi olayıdır. Kıvılcım genellikle, sıkıştırma zamanının sonuna yakın ve üst ölü noktadan önce oluşur. Bu nedenle ateşleme zamanlamasının; motor performansı, yanma ürünleri ve yanma karakteristikleri üzerinde önemli bir etkisi vardır.

Şekil 2.6'da üç değişik ateşleme zamanlamasının silindir basıncına etkisini göstermektedir. Ateşleme avansı çok fazla verildiği (burada ÜÖN'dan 50 derece önce) durumlarda, silindir basıncı hızla yükselecek ve sıkıştırma zamanı sonlanmadan hızlıca sona erecektir (ÜÖN'ya gelmeden). Bu tür sıkıştırma işlemi, iş kayıplarını artırır ve bu nedenle motor gücünde düşmelere sebep olur.



Şekil 2.6. Ateşleme zamanlamasının silindir basıncına tipik etkisi (Al-Dawood 1998)

Öte yandan çok geç ateşleme durumunda ise (ÜÖN' dan 10 derece önce), çok düşük bir tepe basıncı olarak genişleme zamanında oluşacaktır. Bu genişleyen gazlar yeterli piston gücü oluşturamayacaktır. En uygun ateşleme zamanlaması (bu durumda ÜÖN'dan 30

derece önce) verilmesi halinde, piston tepe noktayı geçer geçmez (genişleme zamanının başlangıcında) oluşur ve tatmin edici yükseklikte silindir basıncını verir. Genişleme zamanı sürecinde minimum sıkıştırma işi ve maksimum iş transferi sağlanmış olur. Bu değişkenlerin motor performans parametreleri üzerinde önemli bir etkisi vardır (Al-Dawood 1998).

Ateşleme zamanlamasının seçiminde dikkat edilmesi gereken diğer önemli nokta ise vuruntu olayıdır. Vuruntu, ateşleme avansının yüksek verildiği durumlarda meydana gelir. Sıkıştırma zamanının sonlarına doğru, buji ateşlenmeden önce, sıcaklığın basıncın etkisiyle yükselerek kendi kendine ateşlemenin meydana gelmesidir. Kendiliğinden ateşlenen bölgede ses dalgası oluşur ve bujini ateşlemesiyle oluşan ses dalgasıyla çakışma meydana getirir. Bu durumda maksimum tork elde edilemez ve ayrıca motor gürültülü çalışır. Yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları üzerinde de önemli bir etkisi bulunmaktadır. Bu sebeplerden dolayı ateşleme zamanlamasının seçimi çok önemlidir (Al-Dawood 1998).

2.12. Kaynak Araştırması

Abdel-Rahman ve Osman (1997) çalışmalarında, buji ateşlemeli bir motorda değişik benzin-etanol yakıt karışımlarının kullanılması halinde, sıkıştırma oranının değişiminin motor performansına etkilerini incelemişlerdir. Bunun için değişken sıkıştırma oranlı motor kullanmışlardır. Performans testlerini, benzine % 40'a kadar değişik oranlarda etanolün katılması (%10,20,30,40) ile değişken sıkıştırma oranları (8,10,12,13) koşulunda gerçekleştirmişlerdir.

Sonuçlara göre, yakıt karışımına etanolün yüzdesel ilavesi ile motor gücünün iyileştirilebilir olduğunu ve maksimum iyileşmenin etanolün %10, benzinin %90 olduğu yakıt karışımında meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Benzine etanol ilavesinin motor indike gücünde düşmelere neden olduğunu görmüşlerdir. İlave edilen miktarın artması ile o oranda indike gücü düşürdüğü ve yine etanolün %10 ilavesinde sıkıştırma oranı arttıkça indike güçte düşme tespit etmişlerdir. %20 ilavesinde ise sıkıştırma oranı 10 olana kadar arttığını, sonra düştüğünü, %30 ve %40 ilavelerinde ise sıkıştırma oranının artması indike gücü artırdığını görmüşlerdir. Etanol miktarına göre en iyi sıkıştırma

oranları E10 için 8, E20 için 10, E30 ve üzerindeki karışımlar için 12 olarak bulmuşlardır.

Bayındır ve Yücesu (2000) çalışmalarında, etanol-benzin karışımlarının teknik yönleri incelemişler, faz ayrışması sorununun giderilmesi ve yanma ürünlerinden en önemli olan CO ve HC emisyonları araştırmışlardır. Bu amaçla, dört zamanlı, hava soğutmalı, tek silindirli buji ile ateşlemeli bir motor ve motoru yüklemek için bir elektrikli dinamometre ünitesi kullanmışlardır. Etanol-benzin karışımlarında yaşanan faz ayrışması sorununu gidermek için depoya bir adet karıştırıcı monte ederek, deneyler sırasında çalıştırmışlardır. Yakıt olarak normal benzin ve üç değişik orandaki etanol-benzin karışımları test etmişlerdir. Testleri, tam gaz ve değişik yük durumlarında önce normal benzinle yapmışlar ve daha sonra değişik oranlardaki etanol-benzin karışımlarıyla aynı işletme şartlarında tekrarlamışlardır.

Normal benzinli çalışmada, tam gaz durumunda boşta çalışma ve 1/4 yük durumunda emisyon değerleri düşük, 1/2 ve özellikle tam yük altında emisyon değerleri yüksek çıktığını tespit etmişlerdir. Aynı çalışma koşullarında etanol-benzin karışımlarından elde edilen emisyon değerleri benzine göre daha düşük çıktığını söylemişlerdir. Özellikle karışımdaki etanol miktarının artması, boşta çalışma ve 1/2 oranındaki yük durumunda egzoz emisyonlarında büyük oranda düşüş sağladığını görmüşlerdir. Sonuçları bir birleri ile karşılaştırarak grafikler halinde vermişlerdir.

Hsieh ve ark. (2001) çalışmalarında, bir ticari SI motorunda değişik karışım oranlarında (%0, %5, %10, %20, %30) etanol-benzin karışımlarını kullanarak motor performans ve kirlenici emisyonlarını araştırmışlardır. Deneyler motor 1000,2000,3000 ve 4000 d/d; gaz kelebeği %(0,20,40,60,80 ve 100) açıklıklarında gerçekleştirmişlerdir. Etanol-benzin karışimli yakıtların yakıt özellikleri önce standart ASTM metotlarıyla incelemişlerdir.

Elde ettikleri sonuçlara göre, etanol içeriği artan karışimli yakıtların ısıl değeri düşerken, oktan sayıları arttığını; etanol oranının artmasıyla, % 10 etanol ilaveli yakıtların, Reid buhar basıncı başlangıçta en yüksek seviyeye çıkmış ve sonra azaldığını tespit etmişlerdir. Etanol ilavesi ile CO ve HC emisyonlarında önemli ölçüde bir düşüş olduğunu, yanma iyileştirildiğinden CO₂ emisyonları arttığını söylemişlerdir. NO_x

emisyonu ise etanol oranıyla değil çalışma koşulları ile ilgili olduğu tespitinde bulunmuşlardır.

He ve ark. (2002) çalışmalarında, elektronik yakıt enjeksiyonlu (EFI) sisteme sahip bir buji ateşlemeli motorda benzin yakıtına etanol karışımlarının, emisyonlara ve katalizör dönüşüm verimlerine etkilerini incelemişlerdir. Deneyleerde yakıt olarak benzin ve E10, E30 etanol-benzin karışimli yakıtlar kullanılmıştır. Benzine etanol ilave edilmesi, yakıt karışımlarının oktan sayısını ve damıtma sıcaklığını yükseltirken motor çıkış emisyon değerlerini düşürdüğünü görmüşlerdir.

Hacimsel olarak % 10 etanol kullanılması relantide iken emisyonlarda küçük bir azalmanın olduğu tespit etmişlerdir. Hacimce % 30 etanol içeren yakıtta ise, çalışma koşullarında motor çıkış toplam hidrokarbon emisyonlarını (THC) ve relantide iken motor çıkış THC, CO, NO_x emisyonlarını büyük ölçüde azalttığı görülürken buna karşılık yanmamış etanol ve asetaldehit emisyonlarında ise yükselme olduğunu göstermişlerdir. Pt/Rh esaslı üç yollu katalizörler asetaldehit emisyonlarında azalma etkisi gösterirken, yanmamış etanol dönüşümünün düşük olduğunu tespit etmişlerdir. THC, CO ve NO_x'in egzoz ucu emisyonları; motor çıkış emisyonları, katalizör dönüşüm verimi, motorun çalışma koşulları (hız ve yükü), hava/yakıt eküvalans oranı ile yakın ilişkisinin olduğunu, etanol karışimli yakıtların efektif enerji tüketimini düşürdüğü söylemişlerdir.

Al-Hasan (2002) çalışmasında, buji ateşlemeli bir motorda kurşunsuz benzin-etanol karışımlarının motor performans ve emisyonlarına etkilerini incelemiştir. Deneylelerinde dört zamanlı, dört silindirli, buji ateşlemeli bir Toyota motoru kullanmıştır. Etanolün hacimsel olarak kurşunsuz benzine % 25'e kadar ilavesini %2.5'lik adımlarla gerçekleştirmiştir. Performans testleri ile eküvalans hava/yakıt oranı, yakıt tüketimi, volumetrik verim, efektif verim, efektif gücü, motor torku ve efektif yakıt tüketimi üzerindeki etkileri ile egzoz emisyonlarında ise karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve yanmamış hidrokarbon (HC) analizi incelemiştir. Yapılan deneyleri gaz kelebeğinin 3/4 açıklık konumunda ve 1000-4000 d/d aralığında 1000 d/d'lık adımlarla gerçekleştirmiştir.

Araştırmasının sonucunda, kurşunsuz benzin-etanol karışımlarında efektif güç, tork, volumetrik ve efektif verimlilikleri ile yakıt tüketiminde artış görüldüğünü; eküvalans hava/yakıt oranında düşüş olduğu tespit etmiştir. Eküvalans hava/yakıt oranı tüm devirler için hemen hemen aynı oranda hacimsel olarak etanolün %20 ilavesine kadar düştüğünü, daha sonra yükseldiğini söylemiştir. Motor egzozunda CO ve HC emisyonlarında düşüş, CO₂ emisyonlarında ise artış olduğu görmüştür. Motorun bütün hızlarındaki ölçülen bütün parametreleri için etanolün hacimsel olarak en iyi yakıt karışım oranının % 20, en uygun devir sayısının ise 3000 d/d olduğu sonucuna varmıştır.

Yüksel ve Yüksel (2004) çalışmalarında, benzin-alkol karışımlarının başarılı uygulamalarında temel sorunlarından birinin, motor yakıtının uygun bir homojen sıvı fazındaki gerçekleşmesini sağlamak olduğu tespitinde bulunmuşlardır. Bu sorunu aşmak için yeni bir karbüratör tasarlamışlardır. Deneylerinde dört silindirli, buji ateşlemeli bir motor kullanmışlardır. Gaz kelebeği %25,%50,%75 ve %100 (WOT) açıklıklarında test etmişlerdir. Bu yeni karbüratörün kullanımıyla sadece faz sorununun çözüldüğünü ancak toplam yakıt içindeki alkol oranının yükseldiğini gözlemlemişlerdir. Yakıt tüketimi, egzoz emisyonları ve performans testlerinde, %60 etanol ve % 40 benzin karışımını kullanmışlardır.

Etanol miktarındaki yüzdesel artış 1500 d/d'ya kadar olmuş sonrasında ise %60 etanol oranı civarında kaldığını söylemişlerdir. Deneysel sonuçlara göre, etanol-benzin karışimli yakıt kullanımının motorun tork çıkış değerini hafif düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Etanol-benzin karışimli yakıt kullanımı ile yaklaşık olarak CO emisyonunda %80 ve HC emisyonunda % 50 oranında düşüş olurken, CO₂ emisyonunda ise geliştirilmiş yanma sebebiyle %20 oranında artış olacağını bulmuşlardır. Bu çalışmanın sonucunda, bu yeni çift yakıtlı karbüratöre dayanarak, karbüratörde basit değişiklikler yapıldığı zaman, yapılan değişikliklerin karbüratör sisteminde herhangi bir karışıklığa neden olmadığı tespitinde bulunmuşlardır.

Bayraktar ve Durgun (2003) çalışmalarında, bir buji-ateşlemeli otomobil motorunda, benzin, etanol ve propan yakıtlarının kullanılması durumunda motorun performans özelliklerinin teorik incelenmesini amaçlanmışlardır. Bu amaçla, sanki-boyutlu bir

termodinamik matematik çevrim modeli geliştirmişlerdir. Çevrim modelinde, yanma işlemleri, bir türbülanslı alev yayılması matematik modeliyle hesaplamışlardır. Geliştirilen bu çevrim modeli bir bilgisayar programı şeklinde düzenlenmiş ve bir buji-ateşlemeli otomobil motorunun çeşitli çalışma koşullarındaki performansı, sözü edilen yakıtların her biri için hesaplamışlardır. Sayısal uygulamalar, belirtilen yakıtların motorda aynı koşullarda kullanıldığı varsayılarak gerçekleştirilmişlerdir.

Etanolün; benzin ve propana göre en yüksek efektif güç, efektif verim ve özgül yakıt tüketim değerlerini verdiğini tespit etmişlerdir. Emisyonlar açısından CO ve NO değerleri en düşük etanolün çıktığını söylemişlerdir. Günümüz taşıt motorlarında, hiçbir yapısal değişlik yapılmaksızın etanol ve propan kullanılması, sadece egzoz emisyonları açısından önemli bir avantaj oluşturduğunu söylemişlerdir. Üretim maliyeti, güç ve verim açılarından değerlendirildiğinde; petrolden üretilen konvansiyonel (alışlagelmiş) benzinin buji-ateşlemeli motorlar için en uygun yakıt olduğu tespitinde bulunmuşlardır.

Wu ve ark. (2004) çalışmalarında, etanol-benzin karışımı yakıtların geleneksel motorlardaki değişken hava-yakıt eküvalans oranları altındaki performans ve emisyonları test etmişlerdir. Deneyleri için dört silindri, sekiz supaplı bir ticari motor kullanmışlardır. Deneylerini iki farklı devirde (3000 ve 4000 d/d) ve gaz kelebeğinin altı farklı açıklık konumunda (%0,%20,%40,%60,%80 ve %100) yapmışlardır. Yakıt olarak ise E0, E5, E10, E20 ve E30 kullanmışlardır. Yakıt enjeksiyon miktarı, bir açık döngü sisteminde CONSULT kontrol edici kullanılmak suretiyle manuel olarak ayarlamışlardır. Etanol içeriği arttıkça, enjeksiyon stratejisini ve gaz kelebeği açıklığını değiştirmeden bir zayıf durumu genişletmek için CONSULT kontrol edici kullanılabilir olduğu bulmuşlardır.

Motor performans test sonuçlarındaki tork çıkış değerlerine göre, etanol-benzin karışımı yakıt kullanıldığı zaman, gaz kelebeği valfinin açıklığı hafif artırılabilir olduğunu tespit etmişlerdir. Etanol miktarının artması, oksijen oranını artırdığı için, HC ve CO emisyon değerlerini düşürdüğünü görmüşlerdir. Lambda bir olduğunda; CO, HC ve yakıt tüketimi minimum seviyelerde iken CO₂ ve tork çıkışı maksimum seviyede olduğunu gözlemlemişlerdir. Lambda birin üzerinde ise CO ve HC minimum

seviyelerini korurken CO₂ seviyesinde azalmanın olduğunu, E10 yakıtı kirletici emisyonlar bakımından ise en iyi sonuçları verdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Ceviz ve Yüksel (2005) çalışmalarında, etanol-kurşunsuz benzin karışımlarının buji ateşlemeli bir motorda tüketimin çevrimsel değişkenliği ve emisyonlarının etkileri incelemiştir. Etanolün benzine hacimsel olarak % 5, % 10, %15, %20 oranında karışımları incelemiştir. Deney için dört silindirli, buji ateşlemeli, sıkıştırma oranı 9.2:1 olan bir Fiat motoru kullanmışlardır.

Çalışmasının sonuçlarına göre, etanol-kurşunsuz benzin karışımlarının yakıt olarak kullanımında, ortalama efektif basıncın değişim katsayısı ile CO ve HC emisyonlarının konsantrasyonlarındaki azalma, hacimsel olarak etanolün %(0-10) yakıt aralığı karışımlarına kadar olmakta iken CO₂ konsantrasyonu ise artmış olduğunu gözlemlemiştir. Etanolün benzin içerisindeki hacimsel oranının % 10'nun üzerinde olduğu durumlarda ise CO ve HC konsantrasyonlarında artış ve CO₂ konsantrasyonunda azalma tespit etmişlerdir. Hacimsel olarak % 10 etanol kullanılan yakıt karışımı emisyonlara açısından en iyi sonuçları elde ettiğini söylemişlerdir.

Varde ve ark. (2006) çalışmalarında, dört silindirli, sekiz supaplı, buji ateşlemeli otomobil motoru kullanmışlardır. Araştırmalarında benzin ile etanol-benzin karışımlarının (E10, E22 ve E85), egzoz emisyonlarının karakteristikleri ve yanma değerlendirmesini yapmışlardır.

Stokiyometrik hava-yakıt oranında, alkol karışımlarında düşük değerlerde CO egzoz emisyonlarına iyileştirdiğini; özellikle E85 karışımında, NO_x emisyon değerleri, diğer yakıtlara (benzin, E10 ve E22) göre daha düşük sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. E85'in efektif verimi, 1500 ve 2100 d/d'da E10 ve benzine göre daha yüksek değer verirken, E10 ve benzin ise hemen hemen aynı değerleri verdiğini görmüşlerdir. Asetaldehid emisyonlarında ise, E10, E22 ve benzin birbirine yakın sonuçlar verirken, E85 yakıtı bu yakıtlara göre daha yüksek emisyon değeri verdiğini söylemişlerdir. E85 karışımının hızlı yanma süresi sayesinde benzinle kıyasla, çok hafif yükler hariç, ateşleme zamanlamasında önemli değişiklikler olmadan buji ateşlemeli motorlarda etkili yanmanın olabildiğini göstermişlerdir. Küçük bir ateşleme zamanlama avansı, E85

benzinle karşılaştırıldığında, yavaş olan alevin ilerleme zamanını eşitlemek için gerekli olabileceği tespitinde bulunmuşlardır.

Yücesu ve ark. (2006) çalışmalarında, sıkıştırma oranının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemek için, buji ateşlemeli, değiştirilebilir sıkıştırma oranlı, dört zamanlı, tek silindirli bir motor kullanmışlardır. Motorun en iyi tork MBT (En yüksek efektif tork zamanlaması) için stokiyometrik hava-yakıt oranı, tam yük ve en düşük ateşleme avansında incelemiştirler. Deneyleri 2000, 3500, 5000 d/d devirlerinde, etanol ilavesi hacimsel olarak E0, E10, E20, E40 ve E60 ve sıkıştırma oranları ise 8:1 ile 13:1 arasında değişen oranlarda yapmışlardır.

CO emisyonu için E60 yakıtı 11:1 sıkıştırma oranında her üç devirde de en iyi sonuçları elde ettiklerini söylemişlerdir. HC emisyonunda ise yükselen devirlerle birlikte tüm yakıtlar için emisyon değerlerinin düştüğünü, 5000 d/d'da 8:1 ve 10:1 sıkıştırma oranlarında ise en düşük değerlere geldiğini gözlemlemişlerdir. Her üç devirde en düşük egzoz gazı sıcaklığını E60 yakıtının vermiş olduğu tespitinde bulunmuşlardır.

Bayındır (2006) çalışmasında, şeker pancarından üretilmiş olan etanol, benzine değişik oranlarda katarak test etmiştir. Çalışmalarını etanol-benzin karışımlarının egzoz emisyonu üzerindeki etkilerini bulmak amacıyla sürdürmüştür. Deneylerinde, öncelikle benzinin 1/4, 1/2 ve 1/1 kelebek açıklığı durumlarında egzoz emisyonuna etkileri incelemiştir. Daha sonra benzine hacimsel olarak %15, %25 ve %35 oranında etanol katılarak test etmiştir. Deneylerinde tek silindirli, 4 zamanlı ve hava soğutmalı, buji ile ateşlemeli bir motor kullanmıştır. Deneylerini 3500 d/d sabit devir ve 9:1 sabit sıkıştırma oranında yapmıştır.

Benzinle karşılaştırıldığında etanol-benzin karışımları daha temiz CO (Karbon monoksit) ve HC (Hidrokarbon) emisyonu verdiğini tespit etmiştir. Gaz kelebeğinin 1/4 açıklığında CO değerleri birbirine yakın sonuçlar verirken gaz kelebeği açıklığı arttıkça CO değerleri arasındaki farklar artış gözlemlemiştir. Benzin ve etanol-benzin karışımlarının lambda değerlerinin artması, CO değerlerinin ve arasındaki farkların azalmasına neden olduğunu söylemiştir.

Topgöl ve ark. (2006) çalışmalarında, kurşunsuz benzin (E0) ve kurşunsuz benzin-etanol karışımları (E10, E20, E40 ve E60) kullanımının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelemişlerdir. İncelemelerini tek silindirli, dört zamanlı, buji ateşlemeli bir su motorunda yapmışlardır. Deneylerini ateşleme zamanının 2000 d/d sabit hız ve gaz keleşinin tam açıklığında (WOT) yapmışlardır. Çalışmalarında, sıkıştırma oranı (8:1, 9:1 ve 10:1) değişimlerinin performansını incelemişlerdir.

Elde ettikleri deneysel sonuçlara göre, kurşunsuz benzinin etanol ile karışımlarında, motorun efektif torkunu biraz yükselttiğini ve karbon monoksit (CO) ile hidrokarbon (HC) emisyonlarını düşürdüğünü görmüşlerdir. E40, 9:1 sıkıştırma oranında en iyi karbon monoksit (CO), E60 ise 10:1 sıkıştırma oranında en iyi hidrokarbon (HC) emisyon değerini verdiği tespitinde bulunmuşlardır. Ayrıca etanol karışımlarında vurutu olayı olmadan sıkıştırma oranının artırılabilğini bulmuşlardır. Kurşunsuz benzin içerisindeki etanol miktarının artması, yakıt tüketim miktarının (BSFC) artmasına ve egzoz sıcaklığının düşmesine neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Ateşleme avansının geciktirilmesinin, egzoz sıcaklığının yükselmesine neden olduğunu görmüşlerdir. 8:1 ve 9:1 sıkıştırma oranındaki tork değerleri hemen hemen yakın çıktığını gözlemlemişlerdir (8:1 sıkıştırma oranındaki ateşleme avansının 10-20 aralığındaki E60 yakıtının diğerlerine göre yüksek olduğu sayılmaz ise). Ancak 10:1 sıkıştırma oranındaki tork değerleri bakımından en fazla E40, daha sonra E20 verdiğini söylemişlerdir. Sıkıştırma oranı 10:1 iken kurşunsuz benzin (E0) ateşleme avansı 24° CA olduğunda vurutu meydana geldiğini görmüşlerdir. Buna karşılık, kurşunsuz benzin-etanol karışımlarında (E40 ve E60) ateşleme avansı 36° CA olduğu halde vurutu meydana gelmediğini belirtmişlerdir.

Çelik (2008) çalışmasında, biyokütleden üretilen etanol yüksek oktan numarası ve düşük emisyon sağladığını, bu nedenle benzinli motorlarda alternatif yakıt olarak kullanıldığını söylemiştir. Çalışmasında, düşük verimli küçük bir benzinli motor (4 zamanlı tek silindirli) performansını artırmak ve emisyonlarını düşürmek amacıyla yüksek sıkıştırma oranlarında etanol yakıt olarak kullanmıştır.

Başlangıçta sıkıştırma oranı 6/1 olan motor kullanılarak; benzin, E25 (%75 benzin+ %25 etanol), E50, E75 ve E100 yakıtları sabit yük ve hızda test etmiştir. Performans ve emisyonlar açısından en uygun yakıtın E50 olduğu deneysel sonuçlardan tespit etmiştir.

Daha sonra sıkıştırma oranı 6/1'den 10/1'e yükseltmiş ve motor sıkıştırma oranı 6/1 iken E0 yakıtını kullanarak ve sıkıştırma oranı 10/1 iken E50 yakıtı kullanılarak tam yük ve değişik hızlarda hiç vuruntu olmadan test etmiştir. Her sıkıştırma oranı ve yakıt için ayrı ayrı silindir basınçları kaydetmiştir. E0 yakıtı ile çalışma durumu ve E50 yakıtı ile çalışma durumu karşılaştırıldığında, E50 yakıtının motor gücünü % 29 oranında artırdığı göstermiştir. Ayrıca, özgül yakıt tüketimi ve CO, CO₂, HC ve NO_x emisyonlarının yaklaşık % 3,% 53,% 10,% 12 ve% 19 oranlarında azaldığı göstermiştir.

Çelik ve Çolak (2008) çalışmalarında, değişken sıkıştırma oranlı bir motorda, saf etanol kullanılmasının motor performansı ve emisyonları üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerinde tek silindirli, dört zamanlı, buji ateşlemeli, sıkıştırma oranı değiştirilebilen bir araştırma motoru kullanmışlardır. Deneyler motorun 6/1 sıkıştırma oranında benzin ve etanol ile; 8/1 ve 10/1 sıkıştırma oranında etanol ile çalıştırılmasıyla gerçekleştirmişlerdir.

Deneyler sonucunda 6/1 sıkıştırma oranında etanol kullanılmasıyla benzine göre önemli bir güç kaybı olmadan CO, CO₂ ve NO_x emisyonlarında azalma olduğu belirlemişlerdir. Sıkıştırma oranının 10/1'e kadar artırılmasıyla, etanol benzine göre %25 güç artışı sağlamışlardır. Ayrıca CO, CO₂ ve NO_x emisyonlarında sırayla %41, %21 ve %26 azalma elde edilirken, HC emisyonunda %40 artış gözlemişlerdir. Etanolun alt ısı değerinin düşük olması nedeniyle etanol miktarı arttıkça özgül yakıt tüketimi de arttığını söylemişlerdir. Sonuçlar; motorlarda yüksek sıkıştırma oranında etanol kullanımının, motor performansını önemli ölçüde artırdığını ve emisyonları azalttığını tespit etmişlerdir.

Cooney ve ark. (2009) çalışmalarında, etanol ve benzinin değişik karışımlarının arasındaki farklılıkları, en uygun yanma safhası, erken ve hacimsel tutuşma oranları ile yanma değişkenliğine sıkıştırma oranlarının etkisi, tutuşma kütle kesri (MFB) kullanılarak incelemişlerdir. Testleri, modifiye edilmiş, tek silindirli, ortak yakıt hazneli

araştırma motorunda, bir porttan yakıt enjeksiyonlu, elektronik kontrollü, stokiyometrik hava/yakıt oranında ve kararlı durum çalışma koşullarına uygun şekilde enjekte etmişlerdir.

Deneyleerde geniş kapsamlı ateşleme zamanlamasını yönetebilmek amacıyla, etanol konsantrasyonları (E0, E20, E40, E60 ve E84) ve sıkıştırma oranları (8, 10, 12, 14 ve 16), 330 kPa net ortalama indike efektif basıncındaki (NIMEP) sabit motor yükü ile 900 d/d sabit motor devrinde yapmışlardır. Yanma sürecini karakterize etmek için silindir içi basıncı verisi, MFB profilleri hesaplamasında kullanmışlardır. Yanma; etanol konsantrasyonu, ateşleme zamanlaması ve sıkıştırma oranının bir fonksiyonu olarak incelemişlerdir.

Deney sonuçları, sıkıştırma oranının vuruntu sınırı (KLCR) daha yüksek etanol karışımlarında artış gösterdiği sonucuna varmışlardır. KLCR için yük ve hız testlerinde araştırma oktan numarası (RON) 91 olan benzin için sıkıştırma oranı 8, etanolü %84 (E84) olan bir etanol karışımı için sıkıştırma oranı ise 16 seçilerek karşılaştırılması yapmışlardır. Etanol konsantrasyonu artan bir yakıt, tutuşma kütle kesri (MFB) süresi azaldığını tespit etmişlerdir. Bütün yakıt karışımlarının testinde, saf benzin, % 0-10 ve % 10-90 MFB aralıklarının ikisinde de en uzun yanma süresine sahip olduğu görmüşlerdir.

Wen ve ark. (2009) alışmalarında, benzin karışımlı yakıtlara oksijen katkı maddelerinin ilavesinin egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Oksijenli yakıtların kurşunsuz benzine ilaveleri hacimsel olarak, etanol için E5, E10 ve E15; DMC için D5, D10 ve D15 olarak test etmişlerdir. Araştırma için tek silindirli, dört zamanlı, buji ateşlemeli motor farklı devirlerde test etmişlerdir.

Elde ettikleri sonuçlara göre, CO ve HC emisyonları, etanol-benzin ve DMC-benzin karışımlarında kurşunsuz benzin kullanımına kıyasla daha düşük emisyon değerleri elde etmişlerdir. CO ve HC emisyonlarında etanol karışımlı yakıtlardan E10, DMC karışımlı yakıtlardan D5 yakıtı; 5000 d/d ise D5, E10 yakıtından daha az emisyon değeri verdiğini söylemişlerdir. Öte yandan etanol-benzin ve DMC-benzin karışımlı yakıtların NO_x egzoz emisyonlarına etkisi önemsiz olduğu tespitinde bulunmuşlardır. Sebep olarak ise oksijenli yakıtların ekuvalans hava-yakıt oranları daha fazla olduğunu

söylemişlerdir. Oksijen katkı maddeleri içeren yakıtların, kurşunsuz benzine oranla daha düşük enerjilerinin olması nedeniyle yakıt tüketimini artırabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Örs ve ark. (2009) çalışmalarında, elektronik ateşleme sistemine ve enjeksiyonlu yakıt sistemine sahip bir taşıtta, yakıt olarak benzin-etanol karışımları kullanımının tekerlek tahrik gücüne, CO, HC ve CO₂ emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Deneyle 2-3 ve 4. Vites durumlarında yapmışlardır.

Deney sonuçlarına göre; her bir vites durumu için en yüksek tekerlek tahrik gücü; 2. vites durumunda E10 yakıtı ile (47,6 kW/60km/h), 3. vites durumunda E10 yakıtı ile (51,1 kW/100 km/h), 4. vites durumunda E20 yakıtı ile (49,3 kW/130 km/h) elde etmişlerdir. Her bir vites durumu için elde edilen maksimum tekerlek tahrik gücü durumlarında, en düşük CO emisyonu değerleri; 2. Vites durumunda E10 yakıtı ile (hacimsel olarak %0,208), 3. vites durumunda E20 yakıtı ile (hacimsel olarak %0,228) ve 4. vites durumunda E20 yakıtı ile (hacimsel olarak %0,412) olarak ölçmüşlerdir. En düşük HC emisyonu değerleri; 2. vites durumunda E10 yakıtı ile (7 ppm), 3. vites durumunda E30 yakıtı ile (4 ppm), 4. vites durumunda E10 yakıtı ile (5 ppm) olarak ölçmüşlerdir.

Koç ve ark. (2009) çalışmalarında, kurşunsuz benzin ve kurşunsuz benzin-etanol karışımlarının (E50 ve E85), farklı sıkıştırma oranlarındaki (10:1 ve 11:1) motor performans ve kirletici emisyonlarına etkisi incelemişlerdir. Deney için, tek silindri, dört zamanlı, buji ateşlemeli deneysel bir motor kullanmışlardır. Motor devrini, gaz keleşbeği açık konumda (WOT) 1500 ile 5000 d/d aralığında değiştirmişlerdir.

Motor test sonuçlarına göre, kurşunsuz benzinde etanol miktarının artması motor torku, gücü, yakıt tüketimini arttırmış ve karbon monoksit (CO), nitrojen oksit (NO), hidrokarbon (HC) emisyonlarında düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Ayrıca uygun sıkıştırma oranı yükseltmelerinde, etanol-benzin karışımlarının vuruntusuz çalıştığını tespit etmişlerdir. Sıkıştırma oranı 10:1 iken E50'nin torku 3000 d/d'ya kadar E85'den yüksek iken 3000 d/d'dan sonra E85'den düşük sonuç verdiğini görmüşlerdir. HC emisyon oranlarının yüksek motor devirlerinde E0,E50 ve E85'in birbirine yaklaştığı görmüşlerdir.

Costa ve Sodr  (2010) alışmalarında, sulu etanol ve %78 benzin-%22 etanol karışımlarının emisyonlara ve performansa etkileri karşılaştırmışlardır. Bunun için 1.0-1, sekiz supaplı ve dört zamanlı bir motor kullanmışlardır. Performans parametreleri olarak tork, ortalama efektif basıncı (BMEP), efektif gücü, spesifik yakıt tüketime (SFC) ve ısıl verim incelemişlerdir. Ayrıca CO, CO₂, HC ve NO_x egzoz emisyon değerlerini de vermişlerdir.

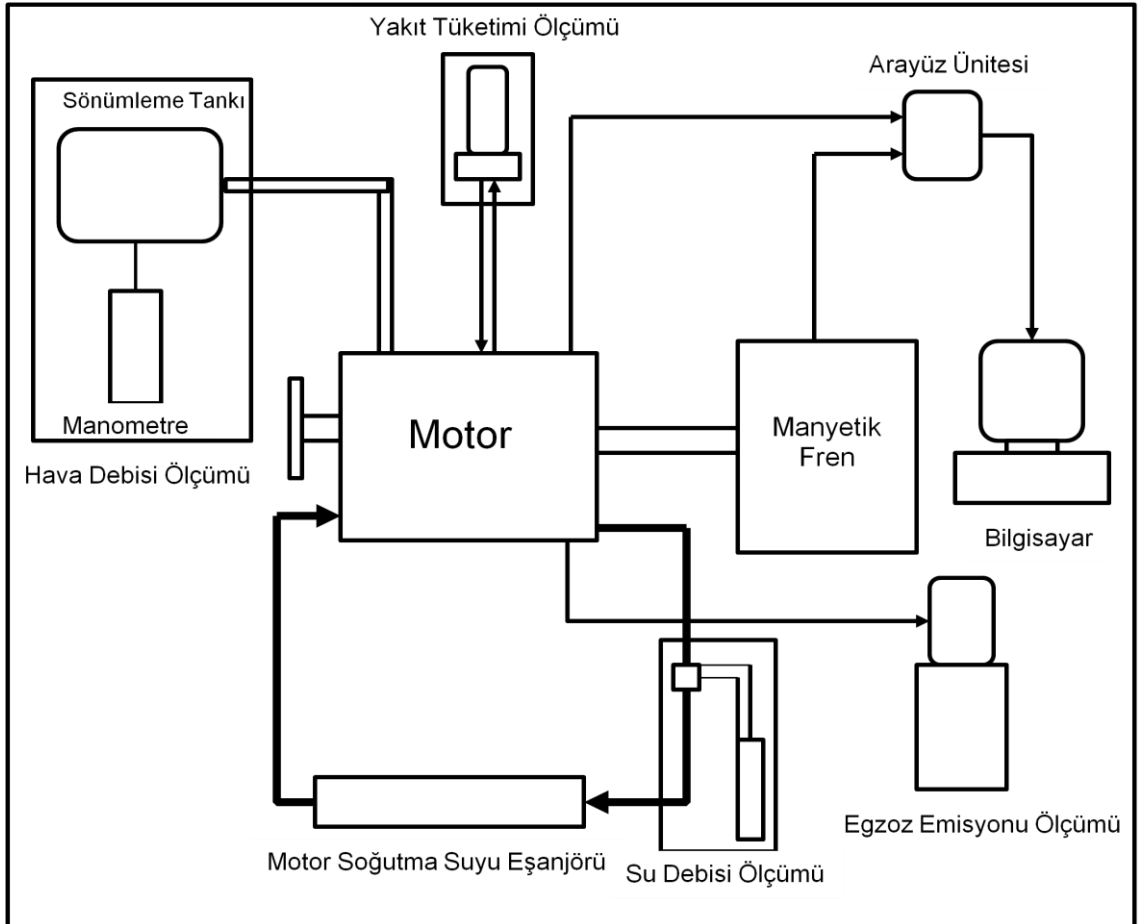
Sulu etanol ve etanol-benzin karışımlı yakıtlarda 4250 d/d'ya kadar tork ve BMEP artış gösterirken, 4250 d/d'dan sonra düşüş sergilediğini söylemişlerdir. Tork ve BMEP olarak 4250 d/d'ya kadar etanol-benzin karışımı daha yüksek iken 4250 d/d'dan sonra sulu etanol daha yüksek sonuç verdiğini tespit etmişlerdir. G c bakımından ise 5000 d/d'ya kadar aynı oranlarda artış gösterirken da sonrasında sulu etanol daha yüksek g c verdiği sonucuna ulaşmışlardır. Spesifik yakıt tüketime ve ısıl verim bakımından ise sulu etanol, etanol-benzin karışımına göre çalışılan motor devir aralığında daha yüksek değerler verdiğini söylemişlerdir. Egzoz emisyonlarında ise sulu etanol kullanımında CO ve HC değerleri düşük çıkarken, CO ve NO_x değerleri yüksek çıktığı, sulu etanolün CO seviyesi ise yok denecek kadar az çıktığını belirtmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

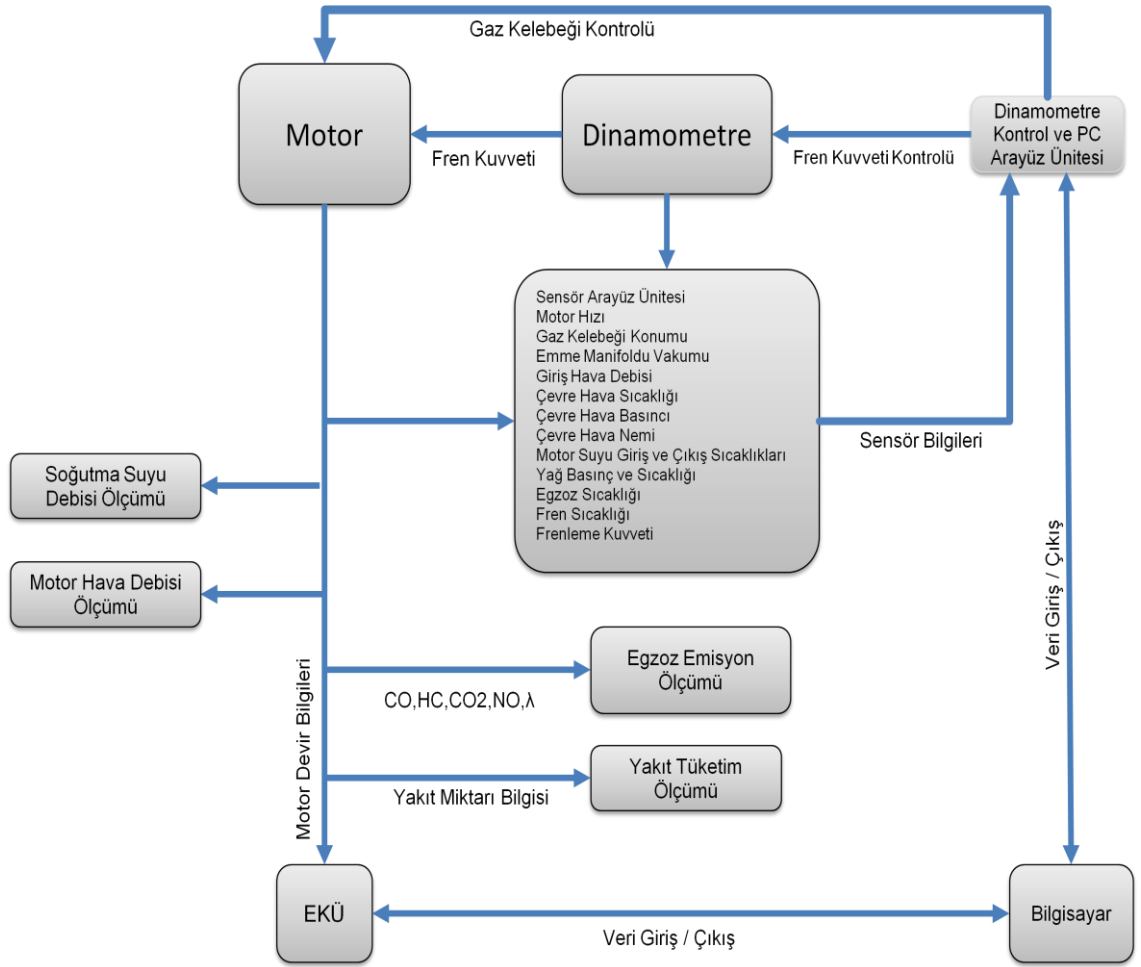
Bir buji ateşlemeli motorda benzin-etanol karışımlarının, avans değişimlerine bağlı, motor performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen deneyler Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Motor Laboratuvarında yapılmıştır.

3. 1. Deney Düzenegi

Motorlardaki performans karakteristiklerinin tespiti kendi doğal ortamlarında mümkün olamamaktadır. Çünkü bir araç motorunun performansını ölçmek için devir sayıları, yük durumu, egzoz emisyonları, gaz keleşi açıklığı vb. gibi durumlarının araç hareket halinde iken tespiti zordur.



Şekil 3.1. Deney düzeneginin şematik olarak gösterilmesi



Şekil 3.2. Test düzeneği blok diyagramı

Bunun yerine sanki araç hareket halindeymiş gibi yüklemeler yapılarak ve değişik değişkenler uygulanarak istediğimiz verileri almak mümkündür. Böylelikle birçok değişkeni aynı şartlar için karşılaştırma imkânına sahip olunabilir. Bu amaçla günümüzde fren tertibatı denilen düzenekler kullanılmaktadır. Fren düzenekleri frenleme esasına bağlı olarak su freni veya elektromanyetik fren adını alırlar.

Bu düzeneklerin çalışma prensibi, motor çıkış miline kontrollü engelleyici kuvvet (su veya manyetik alan) uygulanarak iş alınması olayıdır. Frenleme esnasında motorun döndürme momentine karşılık gelen fren momenti ölçülerek motorun ürettiği iş veya güç bulunabilir.

3.1.1. Deney motoru

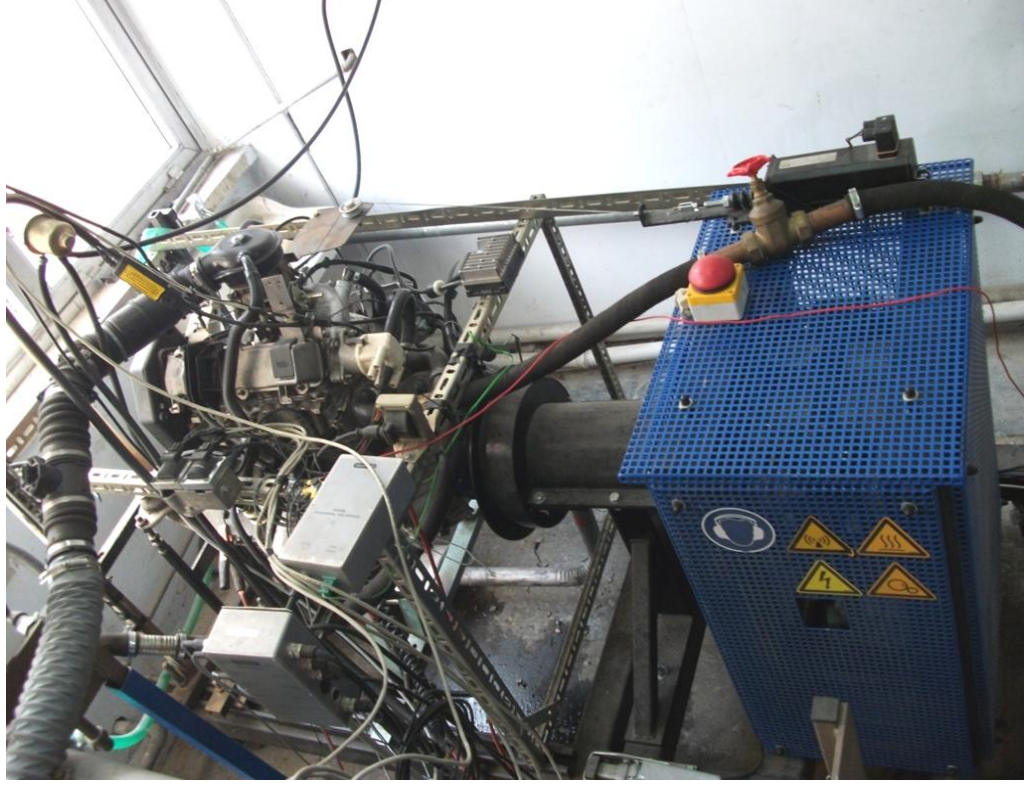
Teknik detaylarının Çizelge 3.1’de verilen deney motorunun, karbüratörlü yakıt besleme sistemi ve ticari markası Digiplex olarak adlandırılan distribütörlü tip ateşleme kontrol ünitesine sahiptir.

Çizelge 3.1. Deney motoru teknik özellikleri

| Motor Özellikleri | |
|--|--------------------------------|
| Üretici | Fiat |
| Soğutma Türü | Su soğutmalı |
| Silindir Başına Subap Sayısı | 2 (Toplam 8 Adet) |
| Silindir Sayısı ve Yerleşimi | 4 - Sıra tipi |
| Hacmi ve Sıkıştırma Oranı | 1581 cc - 9,2:1 |
| Yakıt Besleme Tipi - Hava Besleme Türü | Karbüratör – Tabii emişli |
| Katalitik Konvertör | Yok |
| Maksimum Güç - Maksimum Güç Devri | 86 HP (64,1 kW) - 5800 d/dak |
| Maksimum Tork - Maksimum Tork Devri | 130 Nm (13,3 kgm) - 2900 d/dak |
| Maksimum Güç Devrinde Tork | 105,6 Nm (5800 d/dak) |



(a)

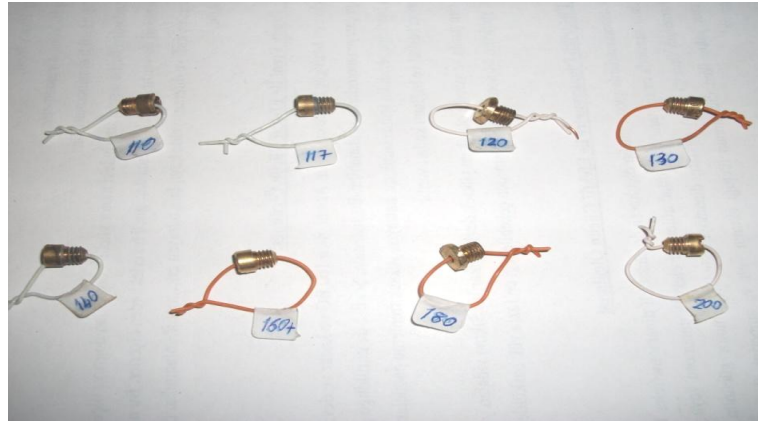


(b)

Şekil 3.3.(a)(b) Test düzeneğinin farklı açılardan görünümü

3.1.2. Deneyde kullanılan yakıt memeleri

Araç karbüratörü çift boğaza sahip olup iki ayrı yakıt memesinden yakıt sevk edilmektedir. Etanol karışımlarında daha fazla yakıt ihtiyacı duyulacağından yakıt memelerinin çaplarının büyütülmesine ihtiyaç duyulacaktır.



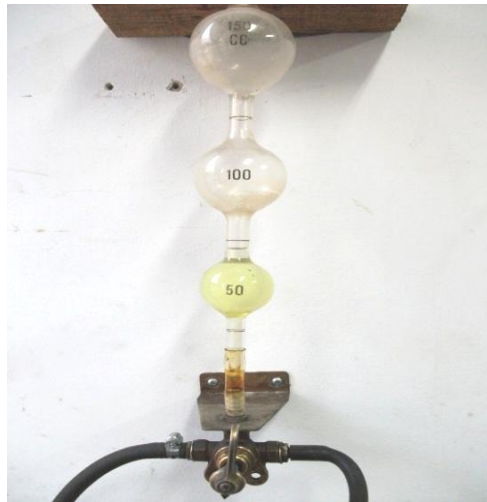
Şekil 3.4. Deneyde kullanılan farklı çaplardaki yakıt memeleri

%25 ve %50 gaz keleşbeği açıklığında birinci boğazı besleyen yakıt memesi yakıtı sevk ederken, gaz keleşbeğinin tam açık olduğu durumda birinci ve ikinci boğazlar besleyen yakıt memeleri yakıtı birlikte sevk ederler. Birinci boğazın yakıt memesi 110 numara (1,1 mm) ve ikinci boğazın yakıt memesi 130 numara (1,3 mm)'dir.

3.1.3. Deneyde kullanılan yakıtlar ve yakıt tükretim miktarının ölçülmesi

Deneylerde benzin ve benzine hacimsel olarak farklı oranlarda etanol ilave edilmiş yakıtlar kullanılmıştır. Benzin ve etanol yakıtları bir yakıt deposunda karıştırılmak suretiyle yakıt sistemine verilmiştir. Benzine ilave edilen etanol %99,9 saflıktadır. E0, E5, E10, E30 ve E85 olmak üzere beş farklı yakıt kullanılmıştır. Bu etanol karışımı E5, E10 ve E85 yakıtları dünya üzerinde en yaygın olarak kullanılan etanol yakıt karışımları olmasından dolayı tercih edilmiştir. E30 yakıtı ise E20 yakıtından E30 yakıt aralığında yaygın olarak kullanılan etanol ilaveli yakıtların (E20, E22, E24, E25 gibi) temsili için bir üst karışım değeri olarak seçilmiştir.

Avans verilerek yapılan deneylerde E10 yakıtının seçilme nedeni günümüzde bütün araç türlerinde ilave bir değişiklik yapılmadan kullanılabiliyor olması ve bu özelliklerdeki en yaygın yakıt karışımı olması sebebiyle tercih edilmiştir. E85 yakıtı ise esnek yakıtlı araçlarda kullanılan en yaygın ve en çok bilinen yakıt karışımı olmasından dolayı tercih edilmiştir.



Şekil 3.5. Dereceli yakıt tüketimi ölçüm düzeneği

Şamandıralı sisteme sahip karbüratörlü araçlarda yakıt tüketim miktarının hassas olarak ölçülmesi çok zordur. Çünkü karbüratör şamandırasının açılma-kapanma zamanlaması belirli bir periyoda ve hassasiyete sahip değildir. Yakıt ölçümü yapıldığı esnada bu açılma-kapanmadan kaynaklanan hatalı ölçümü giderebilmek amacıyla her devirde en az üç ölçüm alınmıştır. Bu alınan ölçümlerin de ortalamaları alınarak hassasiyet sağlanmaya çalışılmıştır.

Bu amaçla vanalı, dereceli ölçeğe sahip balon ölçü materyali kullanılmıştır. Şekil 3.5’de görüldüğü gibi ölçüm balonlarının boğumları hassas ölçümü sağlamaktadır. Deneyleerde 50 ml’lik yakıt ölçümleri yapılmıştır. Yapılan bu ölçümler 1 salise hassasiyete sahip kronometre yardımıyla süreye dayalı olarak yapılmıştır.

3.1.4. Motor test dinamometresi

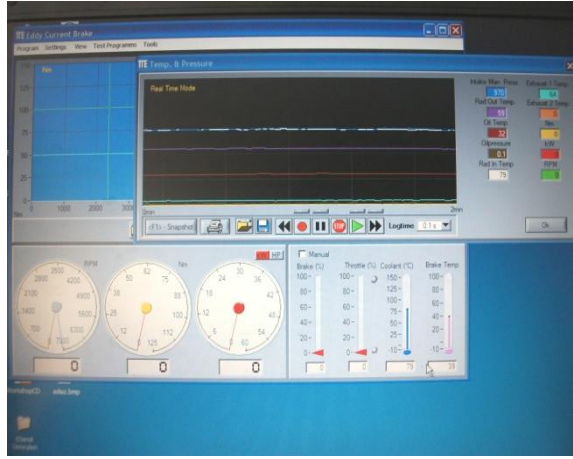
Bilgisayar kontrollü ve girdap akımlarını kullanarak frenleme enerjisi üreten bir dinamometredir. Manuel ve otomatik test yapılabilmesine olanak sağlayan dinamometre ile söz konusu dinamometrenin test prosedürleri içinde yer alan ve “duration test” olarak adlandırılan test algoritmasının yapılacak işlere daha uygun olması sonucundan hareketle süreç içinde yer alan tüm deneyler bu algoritmanın kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Dinamometrenin teknik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir (Erkuş, 2011).

Çizelge 3.2. Dinamometre teknik özellikleri

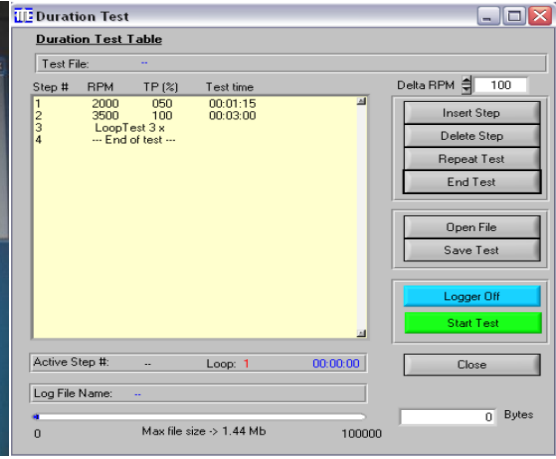
| Teknik Özellikler: | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| Maksimum Güç: | 185 kW durağan (Girdap akımlı fren) |
| Maksimum Devir: | 7000 d/dak |
| Hava Soğutmalı Girdap Akımlı Fren: | Maksimum 1000 Nm moment |
| Toplam Atalet: | 0,75 Kgm ² |
| Titreşim Sönümleyici: | Superflex –S coupling |
| Dinamometre Güç Kaynağı: | 230 V, 1 faz, 12 A maksimum |
| Kalibrasyon: | Kalibrasyon ağırlıkları ile manual |

Şekil 3.6’da motor ve manyetik fren düzeneğinden alınan verilerin bilgisayar ekranında gösterimi yer almaktadır. Bu gösterilen değerler test esnasında belirli aralıklarla otomatik olarak kayıt edilmektedir.

Tam otomatik bir test algoritması olan “duration test” algoritması ile istenilen motor devrinde istenilen sürede, istenilen gaz kelebeği açıklığında ve istenilen tekrarda deney yapabilmek mümkündür.



Şekil 3.6. Motor test dinamometresi bilgisayar veri gösterge ekranı



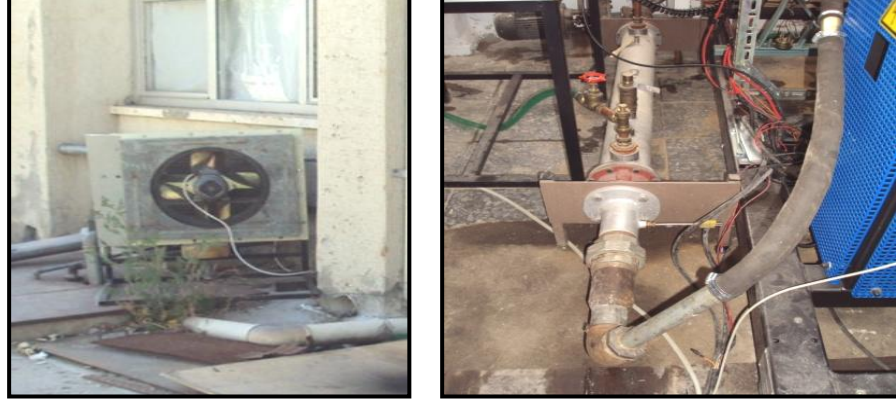
Şekil 3.7. Bir “Duration Test” süreci tanımlama örneği (Erkuş, 2011)

Örneğin Şekil 3.7’de verilen bir “duration test” içerik tanımlaması ile ilk olarak 2000 dev/dk’da %50 gaz kelebeği açıklığında 75 saniye motor çalıştırılacak ardından 2. aşamada 3500 dev/dk’da gaz kelebeğinin tam açık pozisyonunda 3 dakika süresince motorun çalıştırılmasına devam edilecek ve son olarak bahsi geçen iki aşama 3 kez tekrarlanacaktır (Erkuş, 2011).

3.1.5. Motor soğutma suyu sıcaklığının kontrolü

Sağlıklı deney sonuçlarının elde edilmesi anlamında motorun ve motorun bulunduğu test odasının sıcaklığının sabit tutulmasına azami ölçüde dikkat edilmelidir. Motor soğutma suyunu soğutabilmek amacıyla Şekil 3.8.a’daki fan ile soğutmalı radyatör düşünülmüştür. Bu sistemin yeterli olmadığı görülmüştür. Şekil 3.8.b’de verilen egzoz gazı kalorimetresi, şebeke suyu beslemeli motor suyu soğutma ünitesi haline dönüştürülmüştür.

Bu sistemde motor soğutma suyu iç borudan, şebeke suyu ise dış borudan rotametre basıncı kontrol altında tutularak verilmiştir. Ayrıca eşanjör yardımıyla yapılan bu soğutmanın sağlıklı olabilmesi için motor soğutma suyu termostatu sökülüştür.



(a)

(b)

Şekil 3.8. a) Soğutma fanı destekli radyatör sistemi, **b)** Şebeke suyu beslemeli eşanjör (Erkuş, 2011)

Eşanjörü soğutan şebeke suyunun debisi, deneyler sırasında motor soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklık farkı 5 °C olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu ayarlamalar, deney aşamalarına ve ortam sıcaklığı koşullarına göre sürekli olarak kontrol altında tutulmuştur. Deney adımları aynı koşulları sağlaması için motor soğutma suyu çıkış sıcaklığı 80 °C olunca başlatılmış ve 90 °C civarında sonlanacak şekilde kontrol altına alınmıştır.

3.1.6. Osiloskop

Gerek elektronik kontrol ünitesine girişi yapılan ve gerekse kontrol ünitesince üretilen sinyallerin gözlenebilmesi amacıyla 4 kanallı, 200 MHz band genişliğine, 2mV/div ~ 5V/div gösterge hassasiyetine, 1Gs/saniye örnekleme hızına sahip ve Fourier dönüşümü yapabilme kabiliyeti olan dijital GWINSTEK GDS-2204 osiloskopu kullanılmıştır (Erkuş, 2011). Bu sayede vermiş olduğumuz avans değerlerinin kontrolü mümkün olmuştur.

3.1.7. Egzoz emisyon cihazı

Deneylerde, Şekil 3.9'de verilen BOSCH BEA-250 EU egzoz emisyon cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile egzoz gazının CO, CO₂, HC, NO, O₂ ve hava fazlalık katsayısı değerleri ölçülebilmektedir. Deneyler esnasında alınan verilerin daha sağlıklı olabilmesi için en az üç ölçüm değeri alınmış ve bu değerlerin ortalamaları alınarak hassas ölçüm değerleri elde edilmeye çalışılmıştır.

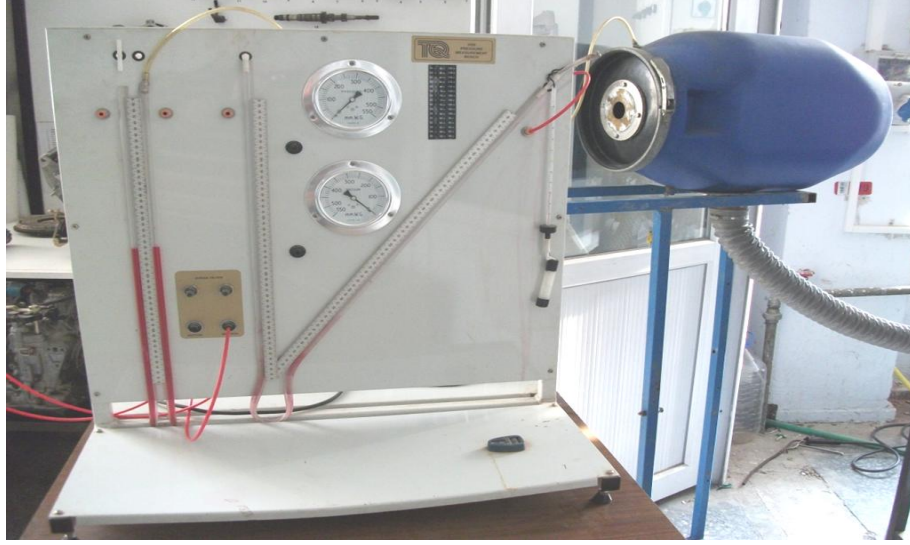


Şekil 3.9. Deneylerde kullanılan egzoz emisyon ölçüm cihazı (Erkuş, 2011)

3.1.8. Araç motoru emme hava debisinin ölçülmesi

Araç motorunun hava tüketim miktarı iki nedenle yapılmıştır. Birincisi hava tüketim miktarını ölçmek, ikincisi ise egzoz emisyon cihazından alınan λ değerinin doğruluğunu, farklı etkenlerden etkilenip etkilenmediğini kontrol etmek amacıyla yapılmıştır.

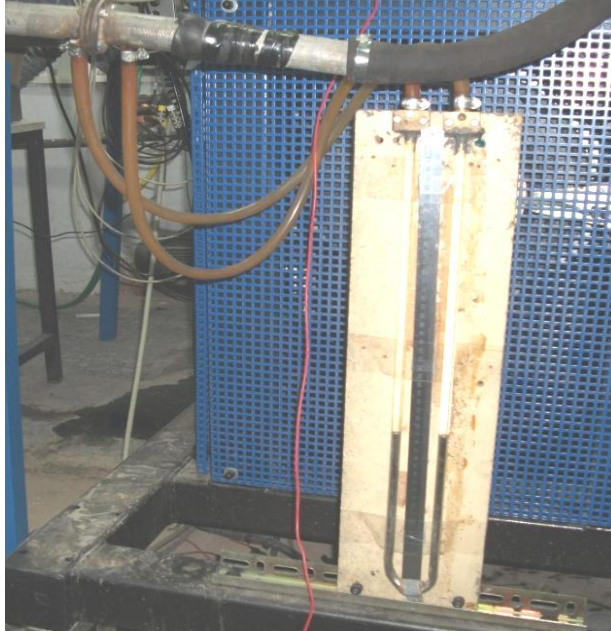
Egzoz emisyon cihazından alınan λ değeri ve doğal olarak diğer değerler, egzoz sistemi ile emisyon cihazı prop ve hortum bağlantılarının hava alması sonucu hatalı sonuçlar almamıza neden olur. Hava debisinin miktarı, Şekil 3.10'da görüldüğü gibi sönümleme tankı ve manometre yardımıyla ölçülmüştür. Manometrede sıvı olarak, renklendirilmiş su kullanılmıştır.



Şekil 3.10. Hava debisi ölçümünde kullanılan sönümleme tankı ve manometre

3.1.9. Motor soğutma suyu debisinin ölçülmesi

Suya verilen enerji miktarını hesaplayabilmek için araç motorunun soğutma suyunun debisini bilmemiz gerekir. Bu hesabı yapabilmek için motor soğutma suyu giriş-çıkış sıcaklıkları ile motor soğutma suyunun debi miktarı ölçülmüştür.



Şekil 3.11. Civalı manometre ve orifis düzeneği

Motor soğutma suyunun debisini ölçmek için motor ile eşanjör arasındaki hat üzerine orifis düzeneği ve civalı u manometre yerleştirilmiştir. Şekil 3.11’de görüldüğü gibi soğutma sisteminin hava yapması durumunda düzeneğin etkilenmemesi için soğutma sistemi seviyesinin altında tutulmuştur.

3.2. Matematiksel Hesaplamalar

Deneylerde; yakıt tüketimi, emme havası giriş debisi, motor soğutma suyu debisi, emisyonlar, hava fazlalık katsayısı, motor devri, gaz keleşliği açıklığı, deney ortamının; sıcaklık, motor soğutma suyu giriş-çıkış sıcaklıkları, egzoz sıcaklığı, moment ve efektif güç değerleri ölçüm yoluyla elde edilmiştir.

3.2.1. Karbüratör meme çapının hesaplanması

Karbüratör memesinden birim zamanda sevk edilen yakıt miktarı:

$$\dot{m}_y = c_y \cdot A_y \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_y \cdot \Delta P} \quad \text{formülüyle hesaplanır.} \quad (3.1)$$

$$A_y = \frac{\pi \cdot (D)^2}{4}, \quad \rho_{y,b} = 750,8 \text{ kg/m}^3, \quad \rho_{y,e} = 809,9 \text{ kg/m}^3$$

Karbüratör birinci ve ikinci boğazları yakıt memelerinin çapları benzin yakıtı için $D_1=1,1$ mm ve $D_2=1,3$ mm olmak üzere;

Benzin yakıtı kullanımında birim zamanda sevk edilen yakıt miktarını diğer karışımlarda da elde edebilmek için gerekli olan yakıt memesi çapları şu şekilde hesaplanır.

E85 yakıtının meme çapı hesabı;

$$\dot{m}_{y,E0} = \dot{m}_{y,E85}, \quad c_y \cdot \frac{\pi \cdot (D_{E0})^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{y,E0} \cdot \Delta P} = c_y \cdot \frac{\pi \cdot (D_{E85})^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{y,E85} \cdot \Delta P}$$

$$(D_{E0})^2 \cdot \sqrt{\rho_{y,E0}} = (D_{E85})^2 \cdot \sqrt{\rho_{y,E85}} \quad (3.2)$$

E85 yakıtının yoğunluğu;

$$\rho_{y,E85} = 809,9.0,85 + 750,8.0,15 = 801,035 \text{ kg/m}^3;$$

Benzin ve etanol yakıtları için teorik H/Y oranları sırasıyla 14,7/1 ve 9/1 olarak alınarak

(H/Y)_{E85} oranı; 14,7.0,85 = 12,495 ve 9.0,15 = 1,35 (H/Y)_{E85} = 12,495 + 1,35 = 13,845

$$(1,1)^2 \cdot \sqrt{750,8} = (D_{E85})_1^2 \cdot \sqrt{801}, (D_{E85})_1 = 1,082 \text{ mm}$$

$$(1,3)^2 \cdot \sqrt{750,8} = (D_{E85})_2^2 \cdot \sqrt{801}, (D_{E85})_2 = 1,279 \text{ mm}$$

E85 yakıtında bu meme çaplarından alınabilecek yakıt miktarı için;

$$\lambda = \frac{\left(\frac{m_h}{m_y}\right)_g}{\left(\frac{m_h}{m_y}\right)_t} \quad (3.3)$$

$$m_{y,g} = m_{y,t}, \lambda = \frac{m_{h,g}}{m_{h,t}} \text{ ise } \lambda = \frac{13,845}{9} = 1,538 \text{ olarak bulunur. } \lambda=1 \text{ için doğru orantıyla;}$$

$D_{E85;1} = 1,082.1,538 = 1,664 \text{ mm}$ ve $D_{E85;2} = 1,279.1,538 = 1,967 \text{ mm}$ olarak bulunur.

Aynı şekilde diğer yakıt meme çaplarının hesabı yapılarak;

E30 yakıtı için; $\rho_{y,E30} = 768,53 \text{ kg/m}^3$, H/Y oranı = 10,71 ve $\lambda=1,19$ ise;

$D_{E30;1} = 1,301 \text{ mm}$ ve $D_{E30;2} = 1,538 \text{ mm}$ olarak,

E10 yakıtı için; $\rho_{y,E10} = 756,71 \text{ kg/m}^3$, H/Y oranı = 9,57 ve $\lambda=1,063$ ise;

$D_{E10;1} = 1,167 \text{ mm}$ ve $D_{E10;2} = 1,379 \text{ mm}$ olarak,

E5 yakıtı için; $\rho_{y,E5} = 753,76 \text{ kg/m}^3$, H/Y oranı = 9,57 ve $\lambda=1,034$ ise;

$D_{E5;1} = 1,136 \text{ mm}$ ve $D_{E5;2} = 1,343 \text{ mm}$ olarak bulunur.

3.2.2. Araç motoru emme hava debisinin ve yakıt tüketiminin hesaplanması

Orifismetre için debinin hesaplanmasında;

$$\dot{V}_x = C_D \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (\rho_2 - \rho_1)}{\rho_1 \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right]} \cdot g \cdot \Delta h} \quad \text{formülü kullanılır.} \quad (3.4)$$

Bu formül hava debisi için;

$$\dot{V}_h = C_D \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (\rho_s - \rho_h)}{\rho_h \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right]} \cdot g \cdot \Delta h} \quad \text{ve} \quad \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right) \approx 1 \quad (3.5)$$

$$C_D = 0,61 \quad \rho_s = 998 \text{ kg / m}^3 \quad \rho_h = 1,225 \text{ kg / m}^3 (15 \text{ }^\circ\text{C}) \quad d = 0,04 \text{ m} \quad D = 0,4 \text{ m}$$

$$\dot{m}_h = \dot{V}_h \cdot \rho_h = \text{lt / s} \cdot \text{kg / m}^3 = \text{g / s}$$

$$\dot{m}_h = 0,61 \cdot \frac{\pi \cdot (0,04)^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (998 - 1,225)}{1,225} \cdot 9,81 \cdot \Delta h} \quad (\text{lt/s}) * 1,225 (\text{kg / m}^3)$$

$$\Delta h \text{ (m) olarak alınırsa } \dot{m}_h = 143,01 \cdot \sqrt{\Delta h} \text{ (g/s) olur.} \quad (3.6)$$

Birim zamandaki yakıt tüketimi ise şu şekilde hesaplanır.

2000 d/d'da 50 ml yakıt 33 sn'de tüketilirse;

$$\dot{m}_y = V_y \cdot \rho_y = 0,05 \cdot 750,8 = 37,54 \text{ g} \quad \dot{m}_y = \frac{37,54}{33} = 1,137 \text{ g/s olarak bulunur.}$$

3.2.3. Motor soğutma suyu debisinin hesaplanması

Su debisi için orifis formülü kullanılarak;

$$\dot{m}_s = C_D \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho_s \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (\rho_c - \rho_s)}{\rho_s \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right]} \cdot g \cdot \Delta h} \quad \text{olarak yazılır.} \quad (3.7)$$

$$\rho_c = 13600 \text{ kg / m}^3, C_D=0,61, d=0,018 \text{ m}, D=0,027 \text{ m}$$

$$\rho_s = \frac{\rho_{an.} + \rho_{su}}{2} = \frac{1120,2 + 998,2}{2} = 1059,2 \text{ kg / m}^3 \text{ (15}^\circ \text{C için \%50 antifiriz + \%50 su)}$$

$$\dot{m}_s = 0,61 \cdot \frac{\pi \cdot (0,018)^2}{4} \cdot 1059,2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (13600 - 1059,2)}{1059,2 \cdot \left[1 - \left(\frac{18}{27}\right)^4\right]}} \cdot 9,81 \cdot \Delta h$$

$$\Delta h \text{ (mm) olarak alınırsa } \dot{m}_s = 0,08614 \cdot \sqrt{\Delta h} \text{ (g/s) olur.} \quad (3.8)$$

3.2.4. Araç motorunun performans ve enerji değerlerinin hesaplanması

Araç motorunun performans değerleri hesaplanırken $\dot{m}_y \text{ (kg/sn)}$ motorun birim zamanda tükettiği yakıt kütlesi, $H_u \text{ (kJ/kg)}$ yakıtın alt ısıl değeri, $\dot{m}_{h,g} \text{ (kg/sn)}$ motorun birim zamanda emdiği hava kütlesi ve $\dot{m}_{h,t} \text{ (kg/sn)}$ motorun teorik olarak birim zamanda emebileceği hava kütlesi, $F \text{ (N)}$ fren düzeneğinin uyguladığı kuvvet, moment kolu $l=0,4672 \text{ (m)}$ ve $n \text{ (d/d)}$ motor devri olmak üzere; motor test düzeneği, moment ve efektif güç değerlerini aşağıda verilen formülleri kullanarak hesaplamaktadır.

Döndürme momenti;

$$M_d = F \cdot 0,467 \text{ (Nm)} \quad (3.9)$$

Efektif güç;

$$P_e = M_d \cdot \frac{2\pi n}{60} \text{ (kW)} \quad (3.10)$$

Efektif özgül yakıt sarfiyatı;

$$b_e = \frac{\dot{m}_y \cdot 3600}{P_e} \text{ (g/kWh)} \quad (3.11)$$

Efektif verim;

$$\eta_e = \frac{P_e}{\dot{m}_y \cdot H_u} \quad (3.12)$$

Volumetrik verim;

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_{h,g}}{\dot{m}_{h,t}} \quad \text{değerleri hesaplanmıştır.} \quad (3.13)$$

Enerji değerlerinin hesaplamasında; c_{p,N_2} (kJ/kgK) N_2 gazının sıcaklığa bağlı özgül ısısı, T_{eg} ($^{\circ}C$) egzoz gazının sıcaklığı, T_{or} ($^{\circ}C$) deney ortamının sıcaklığı, $c_{p,su}$ (kJ/kgK) soğutma suyunun sıcaklığa bağlı özgül ısısı, $c_{p,an}$ (kJ/kgK) soğutma suyu içindeki antifirizin sıcaklığa bağlı özgül ısısı, $T_{r,g}$ ($^{\circ}C$) radyatör giriş sıcaklığı, $T_{r,\phi}$ ($^{\circ}C$) radyatör çıkış sıcaklığı olmak üzere;

Yakıtın enerji değeri;

$$\dot{Q}_{yak.} = \dot{m}_y \cdot H_u \quad (kW) \quad (3.14)$$

Egzozu verilen enerji değeri;

$$\dot{Q}_{eg.} = (\dot{m}_y + \dot{m}_h) \cdot c_{p,N_2} \cdot (T_{eg} - T_{or.}) \quad (kW) \quad (3.15)$$

Soğutma suyuna verilen enerji değeri;

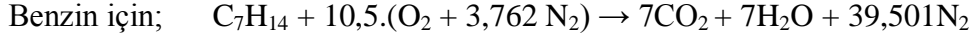
$$\dot{Q}_{su} = \dot{m}_{su} \cdot \left(\frac{c_{p,su} + c_{p,an.}}{2} \right) \cdot (T_{s,\phi} - T_{s,g.}) \quad (kW) \quad (3.16)$$

t_{ortam} ortamın deney esnasındaki $^{\circ}C$ cinsinden sıcaklık değeri olmak üzere ortamın hava sıcaklığındaki değişimleri ifade etmektedir. Volumetrik verim, döndürme momenti ve efektif güç büyüklüklerinin sıcaklık açısından aynı şartlar altında kıyaslanabilir olması gerekir. $25^{\circ}C$ ortam sıcaklığı değerine eşitlemek amacıyla (3.21) formülü kullanılmıştır.

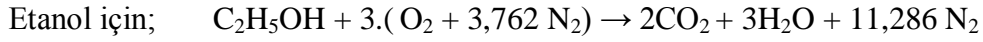
$$\frac{M_{d,2}}{M_{d,1}} = \frac{P_{e,2}}{P_{e,1}} = \frac{\eta_{v,1}}{\eta_{v,2}} = \sqrt{\frac{273 + t_{ortam}}{298}} \quad (3.17)$$

3.2.5. Benzin ve etanol yakıtlarının egzoz emisyonlarındaki karbon oranlarının yüzdesel hesabı

Kuru egzoz emisyonlarının karbon oranını yüzdesel olarak hesaplırsak;



$$\text{Karbon oranı} = \frac{7}{46,5} = 15,053$$



$$\text{Karbon oranı} = \frac{2}{13,286} = 15,053$$

Görüldüğü üzere her iki yakıtında $\lambda=1$ olduğu durumda egzoz emisyonlarındaki karbon yüzdeleri eşit çıkmaktadır. Bu durum bize $\lambda=1$ olduğu durumlarda karbon yüzdelerinin değişmeyeceğini göstermektedir. Ancak kuru egzoz emisyonlarının içeriğindeki O_2 , yanmamış etanol, asetaldehit ve H_2O dışındaki emisyonların yüzdesindeki değişimin denklemde yer alması halinde emisyon yüzdelerinde farklılık oluşturacağını gösterir.

Çizelge 3.3. Egzoz emisyonlarındaki toplam karbon yüzdelerinin gösterilmesi

| GKP/Yakıt türü | n (d/d) | CO (%) | CO ₂ (%) | HC (ppm) | O ₂ (%) | λ | NO (ppm) | Top. Karbon yüzdesi |
|----------------|---------|--------|---------------------|----------|--------------------|-----------|----------|---------------------|
| %25/ E0 | 3000 | 0,489 | 14,14 | 140 | 0,48 | 1,001 | 4179 | 14,63 |
| | 3500 | 0,506 | 14,07 | 168 | 0,53 | 1,001 | 3921 | 14,58 |
| | 3500 | 0,505 | 14,11 | 138 | 0,47 | 1 | 4021 | 14,62 |
| %50 /E10 | 2000 | 0,812 | 13,76 | 137 | 0,69 | 1,001 | 3765 | 14,57 |
| %100/ E10 | 2500 | 0,585 | 13,94 | 105 | 0,48 | 1,000 | 3974 | 14,53 |
| %25 /E30 | 2500 | 0,561 | 13,94 | 192 | 0,55 | 0,999 | 4082 | 14,50 |
| %25/ E85 | 3000 | 0,384 | 14,02 | 108 | 0,39 | 1,001 | 3036 | 14,40 |
| | 3500 | 0,456 | 13,98 | 93 | 0,36 | 0,999 | 2730 | 14,44 |
| | 3500 | 0,437 | 14 | 90 | 0,35 | 0,999 | 2792 | 14,44 |

Çizelge 3.3'de $\lambda=1$ olduğu durumlardaki değişik yakıtların toplam karbon yüzdeleri (TKY) verilmiştir. E0 yakıtının TKY'sinin etanol ilaveli yakıtlardan fazla olduğu

görülmektedir. Ayrıca etanol içeriği arttıkça TKY'lerinde düşme görülmektedir. Bu durum bize bir önceki paragrafta değinilen durumun göstergesi niteliğindedir. Egzoz emisyon cihazında ölçülemeyen diğer kuru emisyonların yüzdelerindeki etanol içeriğine bağlı artış miktarı TKY'lerinin de düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle de egzoz emisyonlarında ölçülebilen büyüklükler düşük çıkmaktadır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Yapmış olduğumuz deneylerde iki boğazlı olan karbüratörün 1. ve 2. boğaz ana memeleri değiştirilmek suretiyle yapılmıştır. Bu sayede deneylerde $\lambda=1$ civarında tutturulmaya çalışılmıştır.

Deneylei iki aşamada yapılmıştır. Bunlar;

- A. Benzin ile benzine hacimsel olarak etanol ilave edilmiş yakıtların (E0, E5, E10, E30 ve E85 yakıtları) performans ve egzoz emisyonları üzerine etkisinin incelenmesidir.
- B. E10 ve E85 yakıtlarının değişik avanslar verilmesi sonucu E0 yakıtına kıyasla performans ve emisyonlar üzerindeki etkilerinin incelenmesi şeklindedir.

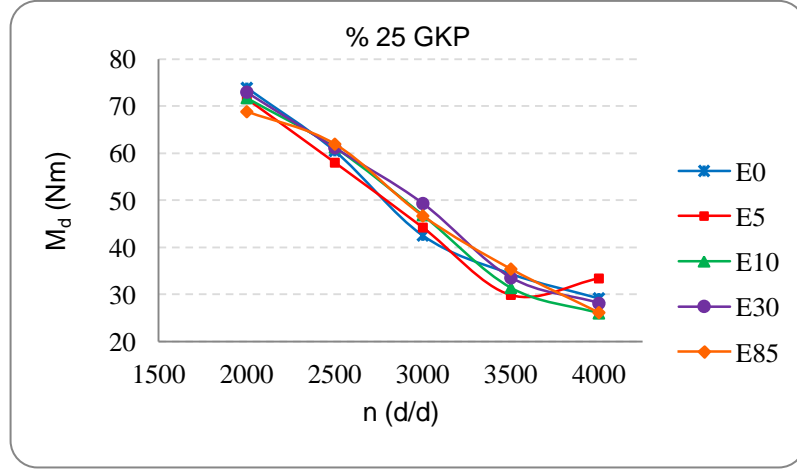
Avans verilmek suretiyle yapılan deneylerdeki avans verme işlemi, başka bir projede tasarlanan bir ECU (Elektronik Kontrol Ünitesi) kullanılmıştır. Bu sayede avans açığı değerlerini okuma hatalarının önüne geçilmeye çalışılmıştır.

4.1. Etanol İlaveli Yakıtların Performans ve Emisyonlara Etkilerinin İncelenmesi

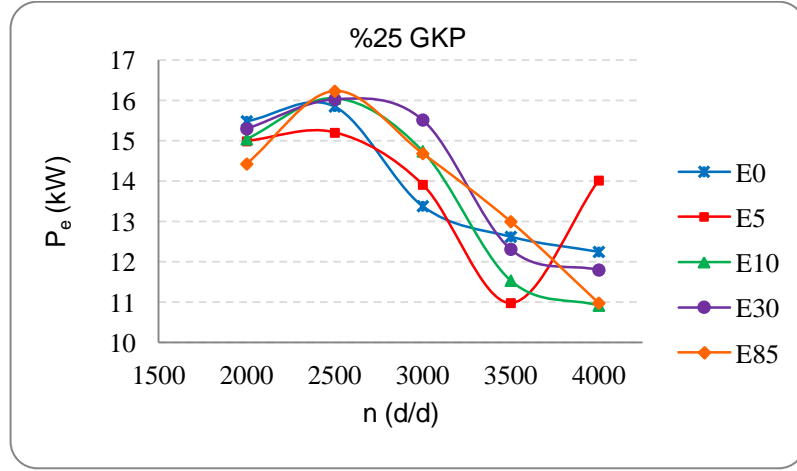
Deneyleirimizin ilk bölümünde E0, E5, E10, E30 ve E85 yakıtlarının %25, %50 ve %100 gaz kelebeği açıklıklarındaki performans ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Ayrıca motora verilen ve alınan enerji değerleri ile egzoz, suya ve diğer kayıplara harcanan enerji değerleri de incelenmiştir.

4.1.1. Etanol ilaveli yakıtların %25 GKP'da performansa etkilerinin incelenmesi

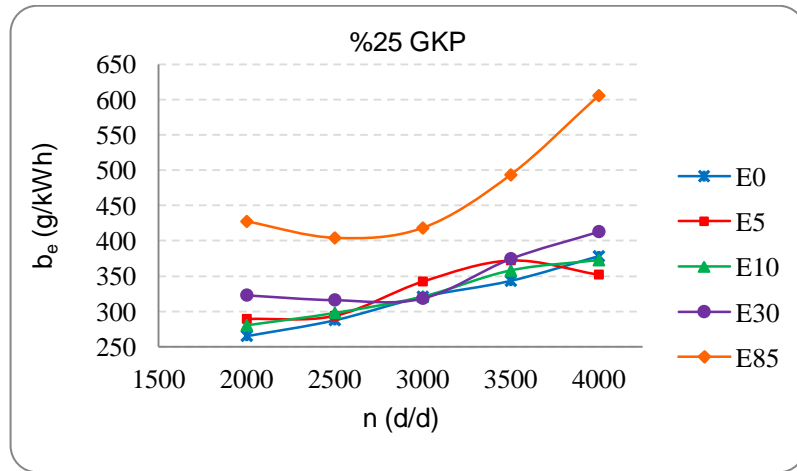
Deneyleimizin bu bölümünde %25 GKP'da efektif güç, döndürme momenti, volumetrik verim, özgül yakıt tüketimi ve efektif verim gibi performansa ait deney sonuçları yer alacaktır. Şekil 4.1 ile Şekil 4.5 arasındaki şekillerde grafik eğrilerinde gösterilmektedir. Çizelge 4.1'de ise E0 yakıtına göre karşılaştırılmaları verilmiştir.



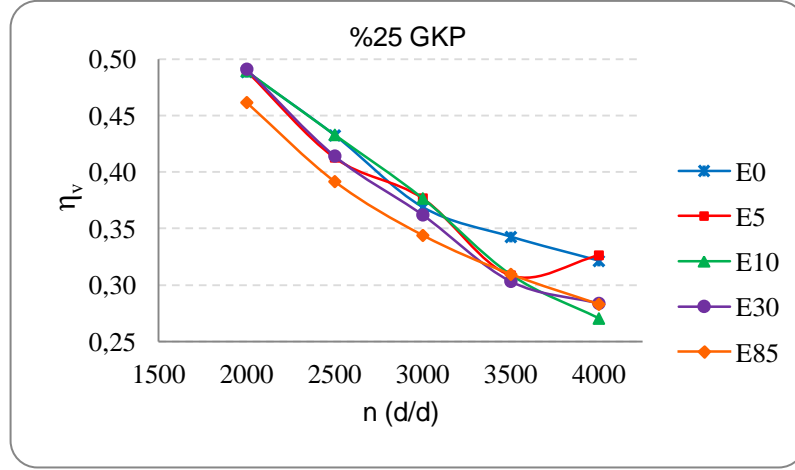
Şekil 4.1. %25 GKP’da etanol ilaveli yakıtların döndürme momenti eğrileri



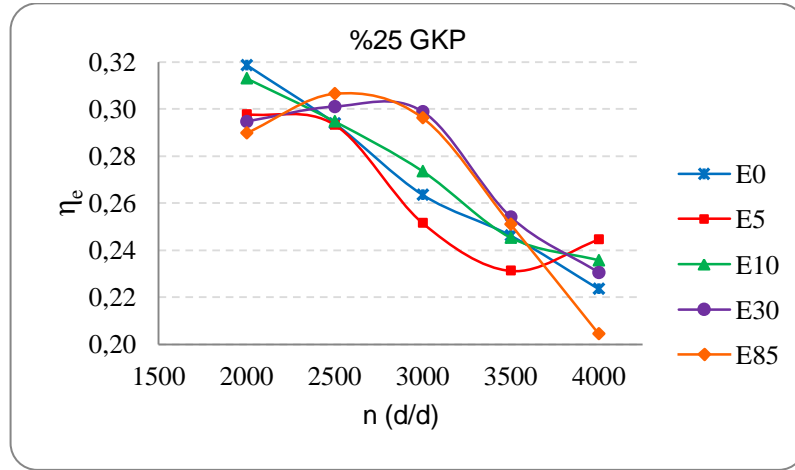
Şekil 4.2. %25 GKP’da etanol ilaveli yakıtların efektif güç eğrileri



Şekil 4.3. %25 GKP’da etanol ilaveli yakıtların özgül yakıt tüketimi eğrileri



Şekil 4.4. %25 GKP’da etanol ilaveli yakıtların volumetrik verim eğrileri



Şekil 4.5. %25 GKP’da etanol ilaveli yakıtların efektif verim eğrileri

Çizelge 4.1. %25 GKP’da performans değerlerinin E0 yakıtına göre karşılaştırılması

| n (d/d) | P _e (%) | | | | b _e (%) | | | | η _v (%) | | | | η _e (%) | | | |
|---------|--------------------|--------|-------|--------|--------------------|-------|-------|-------|--------------------|--------|--------|--------|--------------------|-------|-------|-------|
| | E5 | E10 | E30 | E85 | E5 | E10 | E30 | E85 | E5 | E10 | E30 | E85 | E5 | E10 | E30 | E85 |
| 2000 | -3,21 | -2,89 | -1,21 | -6,84 | 9,03 | 5,72 | 21,76 | 61,02 | 0,19 | 0,17 | 0,52 | -5,52 | -6,54 | -1,75 | -7,52 | -9,04 |
| 2500 | -4,1 | 1,26 | 1,12 | 2,4 | 2,11 | 3,56 | 9,95 | 40,42 | -4,54 | 0,12 | -4,21 | -9,44 | -0,21 | 0,3 | 2,42 | 4,31 |
| 3000 | 3,96 | 10,16 | 15,95 | 9,74 | 6,74 | 0,08 | -0,68 | 30,32 | 2,19 | 2,15 | -1,79 | -6,72 | -4,53 | 3,79 | 13,38 | 12,39 |
| 3500 | -13,01 | -8,6 | -2,45 | 2,96 | 8,46 | 4,27 | 9,14 | 43,68 | -9,89 | -9,76 | -11,44 | -9,64 | -6,05 | -0,38 | 3,18 | 1,94 |
| 4000 | 14,44 | -10,85 | -3,66 | -10,36 | -6,84 | -1,44 | 9,25 | 60,15 | 1,56 | -15,83 | -11,66 | -11,94 | 9,39 | 5,4 | 3,07 | -8,54 |

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'deki grafikler incelendiğinde 3000 d/d'da etanol katkılı yakıtlar daha iyi güç ve moment değerleri vermiştir. E30 yakıtı, E0 yakıtına göre %15,95 daha yüksek efektif güç değerine ulaşmıştır (Çizelge 4.1).

Efektif özgül yakıt sarfiyatında ise λ değerlerinin E0 yakıtından yüksek olması nedeniyle farklılık göstermekle beraber karışımın etanol miktarının artmasıyla artışlar göstermiştir (Şekil 4.3).

Volumetrik verimde ise Şekil 4.4'de görüldüğü gibi genel itibariyle etanol ilaveli yakıtlar E0 yakıtından daha düşük sonuçlar verdiği görülmektedir. Devir sayısının artması ile tüm yakıtlarda volumetrik verim daha düşük sonuçlar vermiştir. Şekil 4.5'de efektif verimde orta devirlerde E0 yakıtına göre en iyi sonuçları E30 ve E85 yakıtları vermiştir. E30 yakıtı 3000 d/d'da %13,38'lik artış ile en yüksek artış değerini sağladığı Çizelge 4.1'de görülmektedir.

%25 GKP'da λ değerleri 3000 d/d ve 3500 d/d'da hemen hemen aynı olan E0 ile E85 yakıtlarını kıyaslamak genel bir fikir sahibi olmamıza yardımcı olacaktır. Her iki devirde de güç, moment, özgül yakıt tüketimi ve efektif verim değerleri bakımından E85 yakıtının E0 yakıtından daha yüksek sonuçlar verdiği görülmektedir. Diğer taraftan volumetrik verim değerlerinde E0 yakıtı E85 yakıtından daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu karşılaştırma doğrultusunda deneylerimizin genel sonuçları ve yapılmış olan diğer araştırmacıların sonuçları ile örtüşmektedir.

Etanolün ısısal değerinin düşük olması nedeniyle daha yüksek miktarda yakıt tüketimine sebebiyet vermesi b_e değerlerini etanol ilavesine bağlı olarak artırmıştır. Yakıtın kapladığı hacme bağlı olarak da volumetrik verim değerlerinde düşmeye neden olmuştur. Artan etanol miktarının meydana getirmiş olduğu soğutma etkisi volumetrik verimi artırmada yeterli olamamıştır. Artan etanol miktarıyla yakıtın dolgu havasının içerisinde yer kaplamasının etkisi, volumetrik verimin artmamasında daha etkili olmuştur. Yine yakıt sarfiyatı artan devirlerde gaz keleşinin altındaki basıncın düşmesinden kaynaklanan yakıt tüketiminin artmasıyla da alakalıdır.

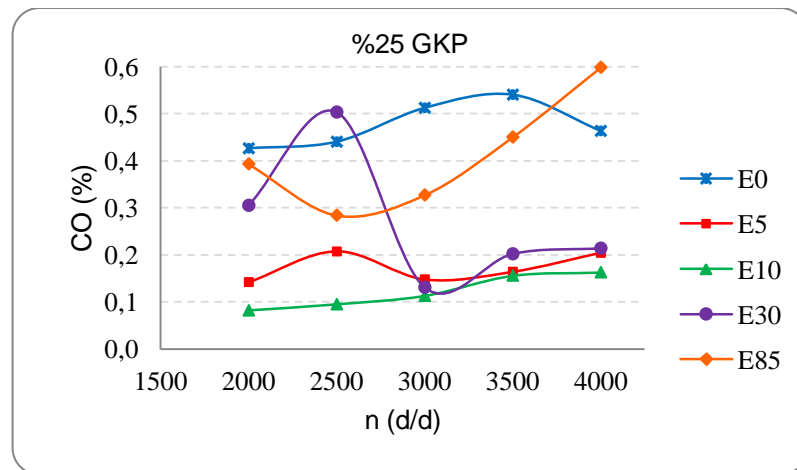
%25 GKP'da tüm yakıtların M_d , P_e , η_v ve η_e değerlerinin genel itibariyle devir artışıyla düştüğü görülmektedir. Burada λ değerlerinin 1'den büyük olduğu durumlarda devir

artışı E0 yakıtına göre performansın düşmesine neden olmuştur. Düşük devirde gaz kelebeğinin altında basıncın fazla düşük olamaması, yüksek devirlerde ise gaz kelebeğinin az açıklığı η_v 'in dolayısıyla performans değerlerinin düşmesine neden olmuştur.

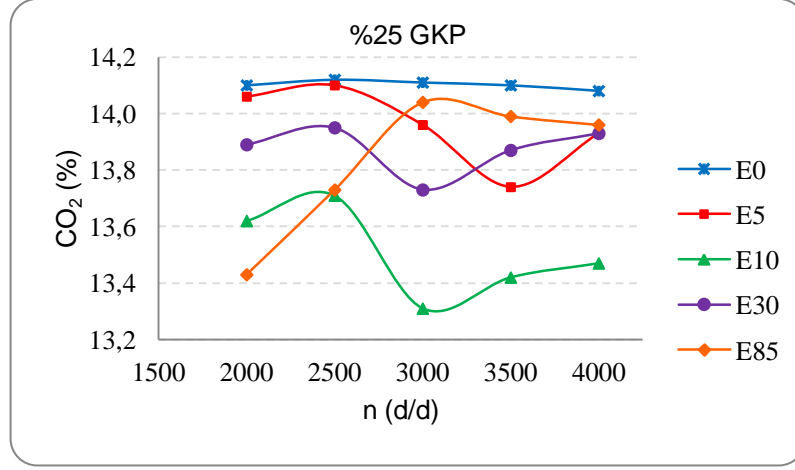
Efektif verimde ise E0 yakıtı ile 2500 d/d'daki E30 yakıtı ve 3500 d/d'daki E85 yakıtları aynı λ değerlerine sahip olmaları nedeniyle daha doğru kıyaslanabilir. E30 yakıtı 2500 d/d'da %2,42; E85 yakıtı 3500 d/d'da %1,94 oranlarında E0 yakıtından daha iyi sonuçlar vermişlerdir (Çizelge 4.1). Burada her iki yakıtın güç değerlerinin E0 yakıtından fazla olması etkindir. Diğer taraftan E30 yakıtının E0 yakıtından bu devirde daha az yakıt enerjisinin motora verilmesi de efektif verimin yükselmesinde etkindir. E85 yakıtında ise E0 yakıtından %1 fazla yakıt enerjisi verilmesine rağmen güç değerinin yüksek olması daha baskın gelerek efektif veriminin artmasında etkili olmuştur.

4.1.2. Etanol ilaveli yakıtların %25 GKP'da egzoz emisyonuna etkilerinin incelenmesi

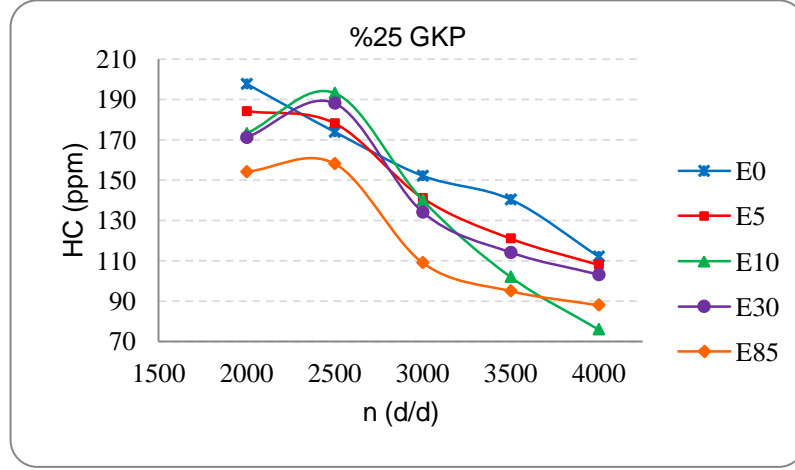
Bu bölümde %25 GKP'da etanol ilaveli yakıtların egzoz emisyonlarına etkileri yer alacaktır. Şekil 4.6 ve Şekil 4.10 aralığında CO, CO₂, HC, NO_x ve λ 'ya ait grafik eğrileri verilecektir. Çizelge 4.2'de ise E0 yakıtına göre karşılaştırılmaları verilmiştir.



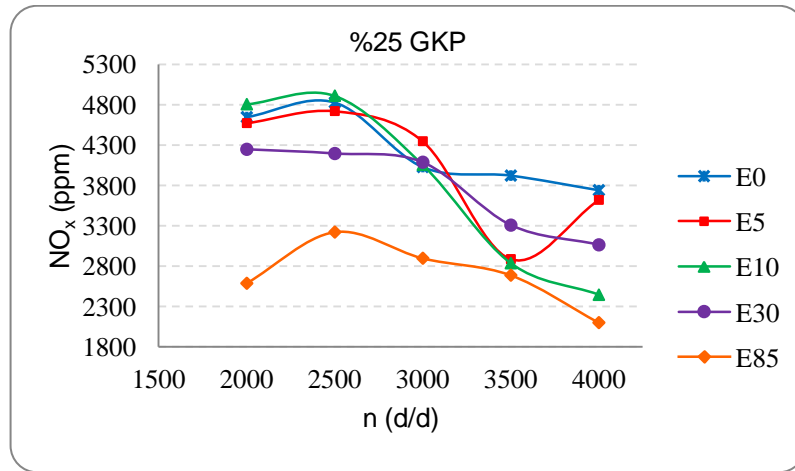
Şekil 4.6. %25 GKP'da etanol ilaveli yakıtların CO emisyonu eğrileri



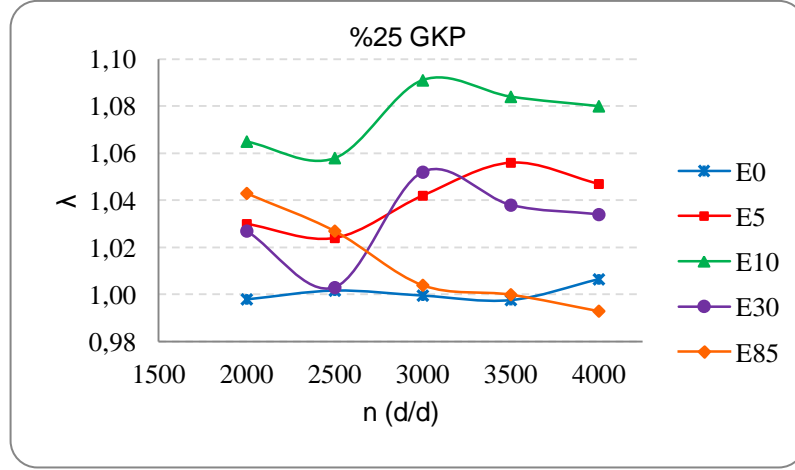
Şekil 4.7. %25 GKP’da etanol ilaveli yakıtların CO₂ emisyonu eğrileri



Şekil 4.8. %25 GKP’da etanol ilaveli yakıtların HC emisyonu eğrileri



Şekil 4.9. %25 GKP’da etanol ilaveli yakıtların NO_x emisyonu eğrileri



Şekil 4.10. %25 GKP’da etanol ilaveli yakıtların λ eğrileri

Çizelge 4.2. %25 GKP’da egzoz emisyonlarının E0 yakıtına göre karşılaştırılması

| n (d/d) | CO (%) | | | | CO ₂ (%) | | | | HC (%) | | | | NO _x (%) | | | |
|---------|--------|--------|--------|--------|---------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------------------|--------|--------|--------|
| | E5 | E10 | E30 | E85 | E5 | E10 | E30 | E85 | E5 | E10 | E30 | E85 | E5 | E10 | E30 | E85 |
| 2000 | -66,67 | -80,75 | -28,40 | -7,75 | -0,28 | -3,40 | -1,49 | -4,75 | -6,84 | -12,41 | -13,42 | -22,03 | -1,59 | 3,45 | -8,59 | -44,32 |
| 2500 | -52,95 | -78,41 | 14,32 | -35,45 | -0,14 | -2,90 | -1,20 | -2,76 | 2,45 | 11,08 | 8,20 | -9,06 | -2,22 | 1,72 | -13,12 | -33,28 |
| 3000 | -71,09 | -77,93 | -74,41 | -36,13 | -1,06 | -5,67 | -2,69 | -0,50 | -7,24 | -7,89 | -11,84 | -28,29 | 7,95 | 0,70 | 1,47 | -28,07 |
| 3500 | -69,63 | -71,11 | -62,59 | -16,67 | -2,55 | -4,82 | -1,63 | -0,78 | -13,73 | -27,27 | -18,72 | -32,26 | -26,38 | -27,69 | -15,67 | -31,49 |
| 4000 | -55,94 | -64,79 | -53,78 | 29,16 | -1,07 | -4,33 | -1,07 | -0,85 | -3,57 | -32,14 | -8,04 | -21,43 | -3,21 | -34,64 | -18,11 | -43,87 |

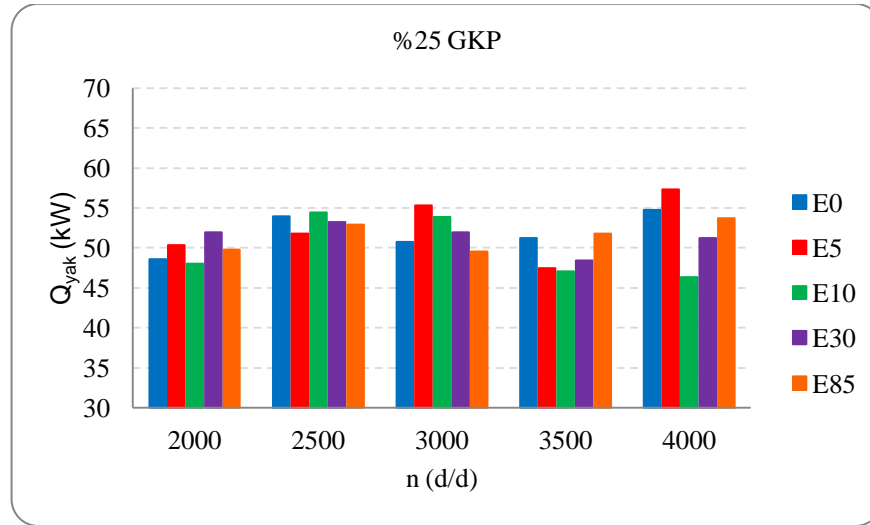
%25 GKP’da emisyon değerlerini incelerken Şekil 4.10’daki λ değerlerini göz önüne almak gerekir. Çünkü λ değerlerinin 1’den ve E0 yakıtı ile çalışmadaki λ değerinden büyük olması emisyon değerlerinin düşmesine neden olmuştur. Ayrıca kuru egzoz emisyonlarının içeriğindeki O₂, yanmamış etanol, asetaldehit ve H₂O dışındaki emisyonların yüzdesindeki değişimin denklemde yer alması egzoz emisyon yüzdeslerini de düşürmüştür.

Şekil 4.6’ya bakıldığında CO emisyonunda en iyi sonuçları E10 yakıtı, daha sonra E5 yakıtı vermiştir. E30 yakıtı ise yüksek devirlerde iyi sonuçlar vermiştir. CO₂ emisyonunda ise en iyi sonuçları E0 yakıtı vermiştir. E0 yakıtından sonra yüksek devirlerde E85, düşük devirlerde ise E5 yakıtları daha iyi sonuçlar vermiştir. CO ve CO₂

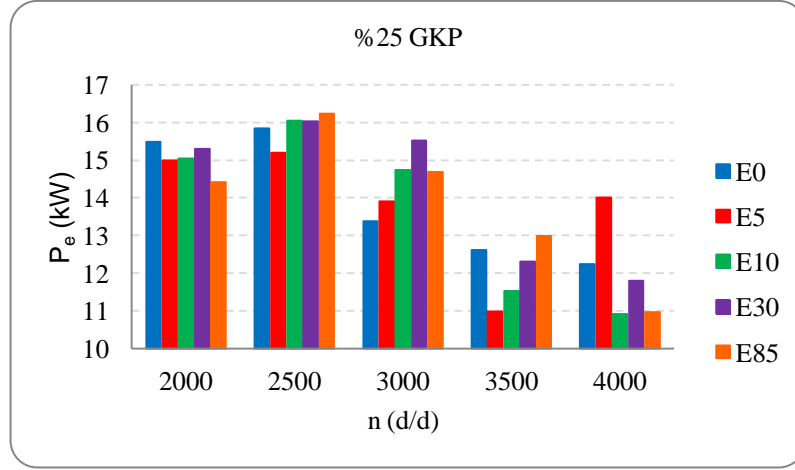
emisyonları birbirini tamamladığından CO değerlerinin azalması CO₂ değerlerinin yükselmesi şeklinde sonuçlanmıştır. Motorun devir sayısının artmasıyla birlikte silindir içi sıcaklığı artmaktadır. Silindir içi sıcaklığın artışını Şekil 4.14’de soğutma suyuna verilen enerjilerdeki yükselmelerle izah edebiliriz. Böylece yanma iyileşerek HC emisyonunda artan devirle düştüğü görülmektedir (Şekil 4.8). 2500 d/d hariç diğer devirlerde etanol katkılı yakıtlar daha iyi sonuçlar vermiştir. Etanolün buharlaşma ısının yüksekliğinden kaynaklanan soğuma etkisi, artan etanol içeriğine bağlı olarak artmasıyla Şekil 4.9’da görüldüğü gibi NO_x emisyonlarının düşmesine sebep olmuştur. HC ve NO_x emisyonlarında en iyi sonuçları E85 yakıtı vermiştir.

4.1.3. %25 GKP’da yakıtla verilen enerjilerin incelenmesi

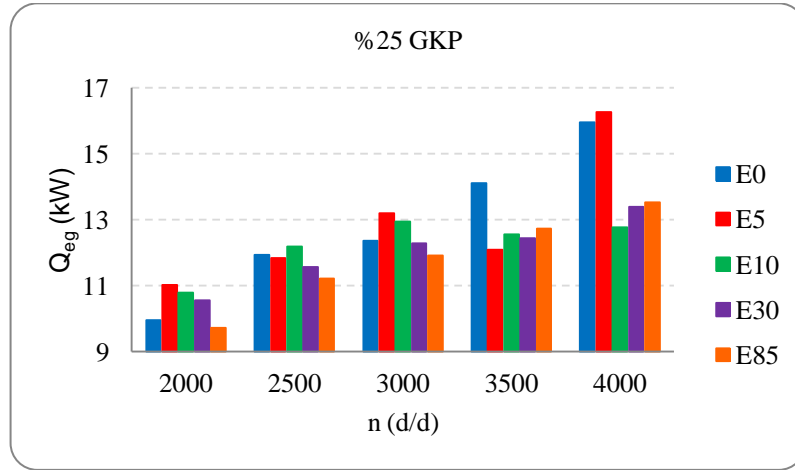
Bu kısımda benzin ve etanol katkılı yakıtlarla (E0, E5, E10, E30 ve E85) %25 GKP’da verilen enerjiler incelenmiş ve bu enerjinin dağılımı (P_e , \dot{Q}_{eg} , \dot{Q}_{su} ve \dot{Q}_{dk}) belirlenmiştir. Bu enerjilerin dağılımlarının grafikleri Şekil 4.11 ve Şekil 4.15 aralığında verilmiş olup, karşılaştırmaları Çizelge 4.7’de yapılmıştır.



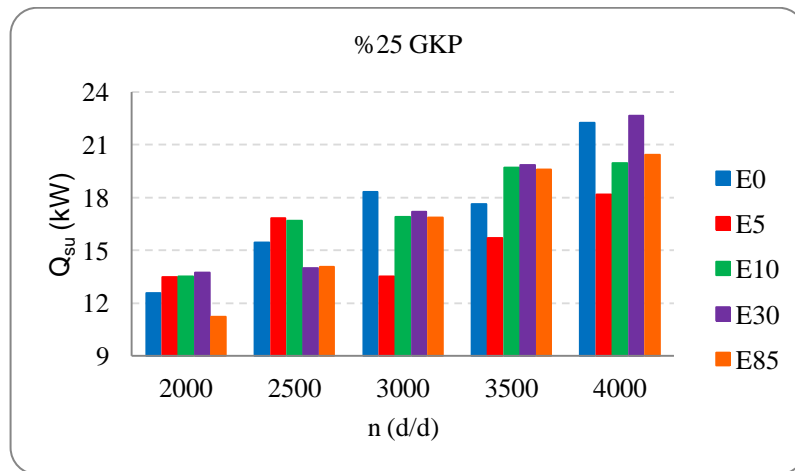
Şekil 4.11. Etanol ilaveli yakıtların motora verilen enerjilerin grafiği



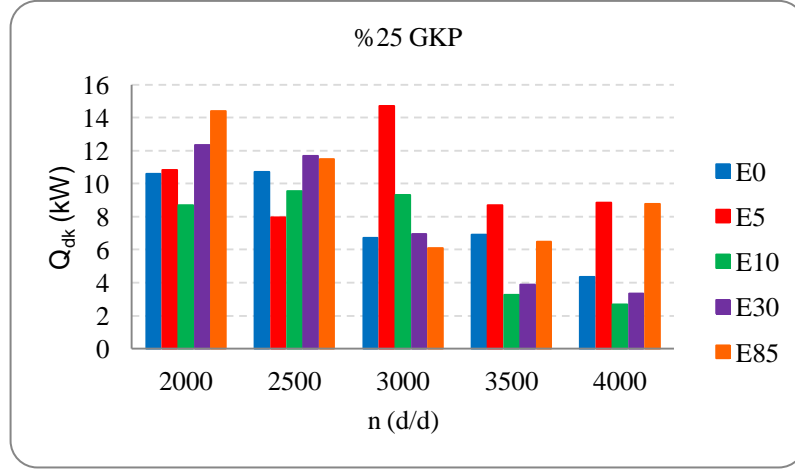
Şekil 4.12. Etanol ilaveli yakıtların motordan alınan enerjilerin grafiği



Şekil 4.13. Etanol ilaveli yakıtların egzozu verilen enerjilerin grafiği



Şekil 4.14. Etanol ilaveli yakıtların soğutma suyuna verilen enerjilerin grafiği



Şekil 4.15. Etanol ilaveli yakıtların diğer kayıp enerjilerin grafiği

Çizelge 4.3. %25 GKP’da etanol ilaveli yakıtların E0 yakıtına göre enerji dağılımlarının karşılaştırılması

| Yakıt Türü | n (d/d) | \dot{Q}_{yak} (%) | P_e (%) | \dot{Q}_{eg} (%) | \dot{Q}_{su} (%) | \dot{Q}_{dk} (%) |
|------------|---------|---------------------|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| E5 | 2000 | 3,56 | -3,21 | 10,88 | 7,17 | 2,31 |
| | 2500 | -3,90 | -4,10 | -0,78 | 9,02 | -25,72 |
| | 3000 | 8,90 | 3,96 | 6,71 | -26,25 | 118,35 |
| | 3500 | -7,41 | -13,01 | -14,36 | -10,98 | 26,17 |
| | 4000 | 4,62 | 14,44 | 1,93 | -18,30 | 104,46 |
| E10 | 2000 | -1,16 | -2,89 | 8,57 | 7,50 | -18,05 |
| | 2500 | 0,95 | 1,26 | 2,16 | 7,87 | -10,82 |
| | 3000 | 6,13 | 10,16 | 4,72 | -7,73 | 38,45 |
| | 3500 | -8,26 | -8,60 | -11,06 | 11,70 | -52,90 |
| | 4000 | -15,42 | -10,85 | -19,96 | -10,24 | -38,19 |
| E30 | 2000 | 6,82 | -1,21 | 6,18 | 9,00 | 16,55 |
| | 2500 | -1,27 | 1,12 | -3,10 | -9,37 | 8,92 |
| | 3000 | 2,27 | 15,95 | -0,57 | -6,19 | 3,30 |
| | 3500 | -5,46 | -2,45 | -11,90 | 12,48 | -43,61 |
| | 4000 | -6,53 | -3,66 | -16,04 | 1,89 | -22,87 |
| E85 | 2000 | 2,41 | -6,84 | -2,16 | -10,76 | 35,87 |
| | 2500 | -1,83 | 2,40 | -6,03 | -9,09 | 7,05 |
| | 3000 | -2,36 | 9,74 | -3,65 | -7,81 | -9,26 |
| | 3500 | 1,00 | 2,96 | -9,84 | 11,07 | -6,14 |
| | 4000 | -1,99 | -10,36 | -15,24 | -8,17 | 102,24 |

E0 ve etanol ilaveli yakıtlarda motora verilen enerjiler devirlere göre farklılık göstermiştir. Verilen bu enerjilerin büyük bir bölümü soğutma suyuna, egzozu, yağlama yağına ve sürtünmeye verilmek suretiyle kayba uğrarlar. Motor devirlerinin artışıyla motora verilen enerjilerde net bir artış eğilimi görülmemektedir. Ancak soğutma suyuna ve egzozu verilen enerjilerdeki kayıplar devir sayısının artmasıyla tüm yakıtlarda artış göstermektedir. Bunun doğal sonucu olarak elde edilen güç değerlerinde de düşüş görülmektedir (Şekil 4.12).

Çizelge 4.4. %25 GKP’da etanol ilaveli yakıtların 3000 d/d’deki enerji dağılımları

| Yakıt Türü | n (d/d) | $\dot{Q}_{yak} (kW)$ | $P_e (kW)$ | $\dot{Q}_{eg} (kW)$ | $\dot{Q}_{su} (kW)$ | $\dot{Q}_{dk} (kW)$ |
|------------|---------|----------------------|------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| E0 | 3000 | 50,768 | 13,378 | 12,355 | 18,307 | 6,728 |
| E5 | 3000 | 55,285 | 13,908 | 13,184 | 13,503 | 14,690 |
| E10 | 3000 | 53,883 | 14,738 | 12,938 | 16,892 | 9,315 |
| E30 | 3000 | 51,922 | 15,513 | 12,285 | 17,175 | 6,950 |
| E85 | 3000 | 49,568 | 14,681 | 11,904 | 16,878 | 6,105 |

Çizelge 4.4’de de görüldüğü gibi yakıtlara verilen enerjilere göre aynı oranlarda enerji kayıpları oluşmamıştır. Örneğin hemen hemen aynı λ değerlerine sahip olan E0 ve E85 yakıtlarını ele alırsak; $\dot{Q}_{yak,E0}$ ile $\dot{Q}_{yak,E85}$ arasında 1,2 kW’lık bir motora verilen enerji fazlalığı vardır. Ancak \dot{Q}_{eg} , \dot{Q}_{su} ve \dot{Q}_{dk} ’larda sırasıyla 0,45 kW, 1,43 kW ve 0,62 kW E0 yakıtının E85 yakıtından daha fazla enerji kaybına uğraması elde edilen güçlere yansımıştır. Böylece E85 yakıtı E0 yakıtından 1,3 kW daha fazla efektif güç değeri verir. Buradan hareketle 3000 d/d’da efektif verimlerde ise;

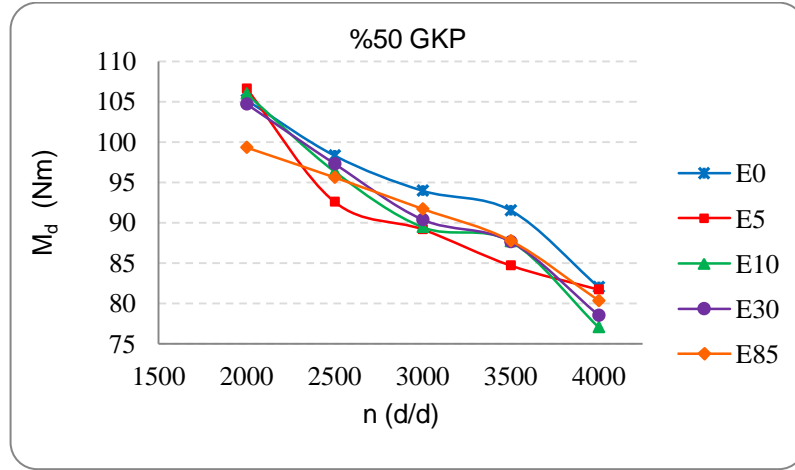
$$\text{E0 yakıtı için; } \eta_e = \frac{P_e}{\dot{Q}_{yak}} = \frac{13,378}{50,768} = 0,263$$

$$\text{E85 yakıtı için; } \eta_e = \frac{P_e}{\dot{Q}_{yak}} = \frac{14,681}{49,568} = 0,296 \text{ değerlerini elde ederiz.}$$

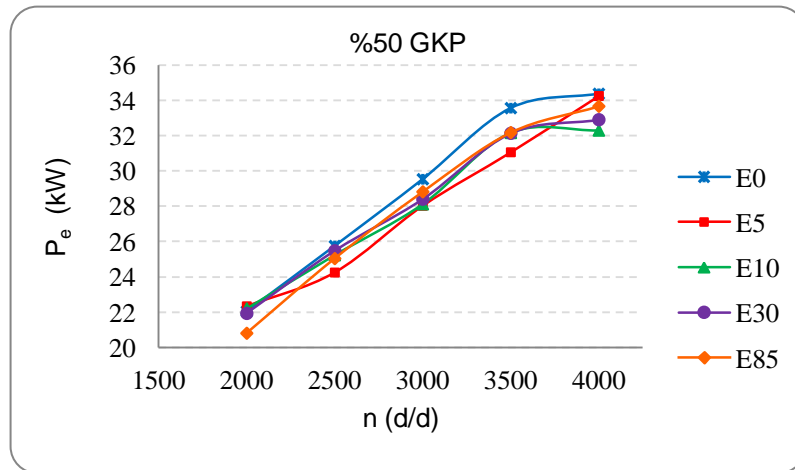
Bu örnekte de görüldüğü üzere motora E0 yakıtı E85 yakıtından daha fazla yakıt enerjisi vermesine rağmen enerji kayıplarının daha fazla olması nedeniyle %9,74 daha düşük efektif güç ve %12,39 daha düşük efektif verim değerleri elde etmiştir.

4.1.4. Etanol ilaveli yakıtların %50 GKP’da performansa etkilerinin incelenmesi

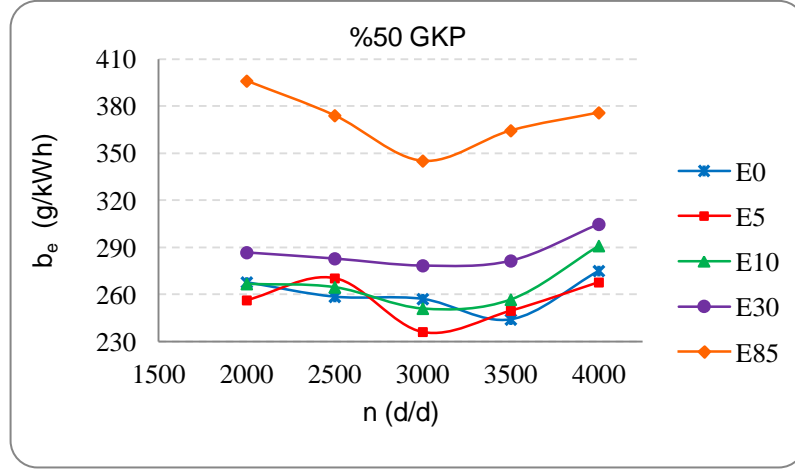
Deneyimizin bu bölümünde %50 GKP’da efektif güç, döndürme momenti, volumetrik verim, özgül yakıt tüketimi ve efektif verim gibi performansa ait deney sonuçları yer alacaktır. Şekil 4.16 ile Şekil 4.20 arasındaki şekillerde grafik eğrilerinde gösterilmektedir. Çizelge 4.5’de ise E0 yakıtına göre karşılaştırılmaları verilmiştir.



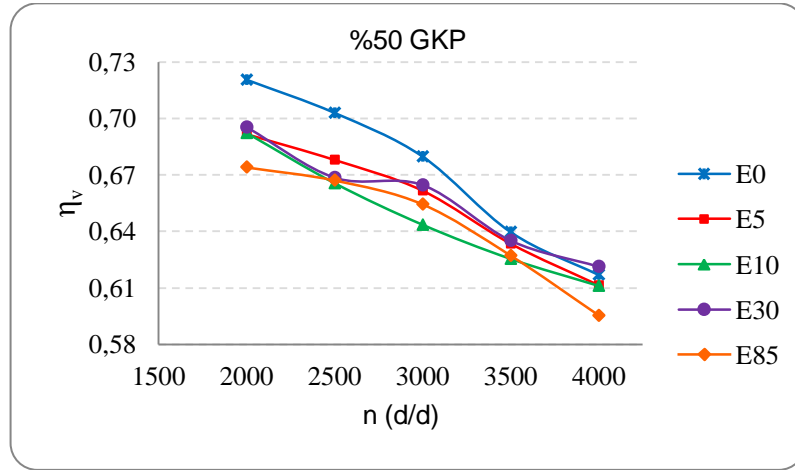
Şekil 4.16. %50 GKP’da etanol ilaveli yakıtların döndürme momenti eğrileri



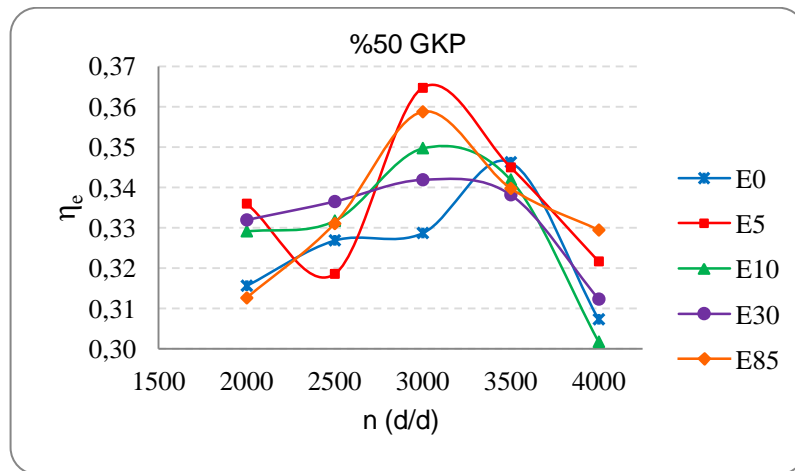
Şekil 4.17. %50 GKP’da etanol ilaveli yakıtların efektif güç eğrileri



Şekil 4.18. %50 GKP’da etanol ilaveli yakıtların özgül yakıt tüketimi eğrileri



Şekil 4.19. %50 GKP’da etanol ilaveli yakıtların volumetrik verim eğrileri



Şekil 4.20. %50 GKP’da etanol ilaveli yakıtların efektif verim eğrileri

Çizelge 4.5. %50 GKP’da performans değerlerinin E0 yakıtına göre karşılaştırılması

| n (d/d) | P _e (%) | | | | b _e (%) | | | | η _v (%) | | | | η _e (%) | | | |
|---------|--------------------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------|
| | E5 | E10 | E30 | E85 | E5 | E10 | E30 | E85 | E5 | E10 | E30 | E85 | E5 | E10 | E30 | E85 |
| 2000 | 1,33 | 0,75 | -0,49 | -5,60 | -4,26 | -0,38 | 7,08 | 47,89 | -3,99 | -3,92 | -3,49 | -6,44 | 6,44 | 4,28 | 5,16 | -0,96 |
| 2500 | -5,83 | -2,00 | -1,06 | -2,76 | 4,56 | 2,35 | 9,39 | 44,63 | -3,54 | -5,31 | -4,89 | -5,08 | -2,54 | 1,49 | 2,94 | 1,27 |
| 3000 | -5,09 | -4,78 | -3,82 | -2,42 | -8,15 | -2,37 | 8,27 | 34,21 | -2,67 | -5,33 | -2,23 | -3,72 | 10,94 | 6,40 | 4,01 | 9,13 |
| 3500 | -7,45 | -4,17 | -4,24 | -4,12 | 2,28 | 5,18 | 15,29 | 49,26 | -0,98 | -2,24 | -0,71 | -1,96 | -0,37 | -1,24 | -2,33 | -1,87 |
| 4000 | -0,36 | -6,03 | -4,26 | -2,06 | -2,64 | 5,79 | 10,81 | 36,64 | -0,92 | -0,96 | 0,71 | -3,51 | 4,67 | -1,81 | 1,63 | 7,19 |

Şekil 4.16 ile Şekil 4.17’ye bakıldığında güç ve moment değerlerinde E0 yakıtının etanol ilaveli yakıtlardan daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Burada gaz keleşinin yeteri miktarda hava geçişini engellemesi etkili olmuştur. Bu durum devir artışına bağlı olarak moment değerlerinin düşmesine neden olmuştur. Güç değerlerindeki yükselme ise moment değerlerinin fazla değerlerde düşmemesi ve devir çarpanıyla izah edilebilir (2000-4000 d/d aralığında %25 GKP’da 50Nm, %50 GKP’da 30Nm’lik düşme).

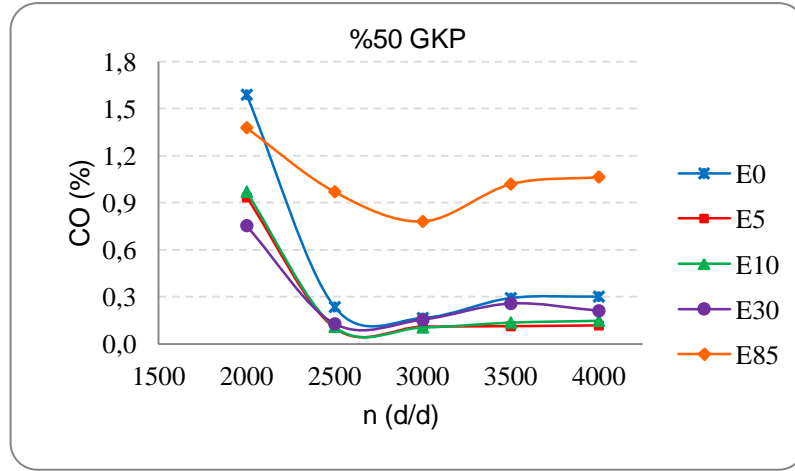
E0 yakıtı efektif güç olarak genel itibariyle diğer yakıtlara göre daha iyi sonuçlar vermiştir (Şekil 4.17). E5 ve E10 yakıtları 2000 d/d’da E0 yakıtına göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 4.19’da volumetrik verimde devir sayısının artmasıyla düşüş görülmektedir. En iyi volumetrik verim sonuçlarını genel olarak E0 yakıtı vermiştir. Etanol yakıtlarında ise E10 ve E85 yakıtları daha düşük sonuçlar vermiştir.

Etanollü yakıtların E0 yakıtından daha düşük güç ve moment değerleri almasını volumetrik verim ile izah edebiliriz. Etanollü yakıtlarda yakıtın kapladığı alanın büyüklüğü volumetrik verimin E0 yakıtına göre daha düşük değerler almasını sağlar. Yakıtı göre yeteri miktarda hava gönderilememesi etanollü yakıtların performansını düşürmüştür. Diğer taraftan etanolün buharlaşma ısısının yüksekliğinden olan soğuma etkisi, volumetrik verimin biraz yükselmesini sağlasa da yeterli olamamaktadır. Özgül yakıt tüketiminde en yüksek değerleri E85 yakıtı, daha sonra E30 yakıtı vermiştir. Diğer yakıtlarda ise λ değerinin durumu belirleyici olmuştur.

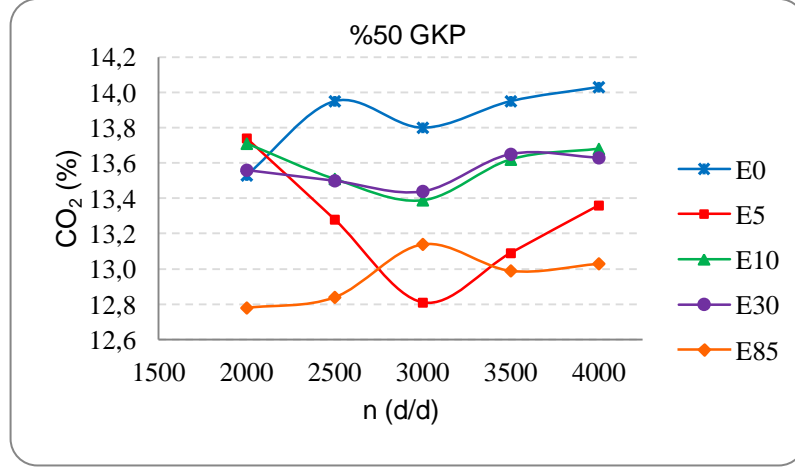
Efektif verimde 3500 d/d haricinde etanol katkılı yakıtlar E0 yakıtına göre daha iyi sonuçlar vermiştir. En yüksek efektif verim değerleri 3000 d/d'da elde edilmiştir. Bu devirde E5 yakıtı E0 yakıtına göre %10,94 daha iyi bir sonuç verdiği Çizelge 4.5'de görülmektedir. 3500 d/d'da E0 ve E85 yakıtlarının aynı λ değerlerinde olması nedeniyle bir kıyaslama yapılabilir. E85 yakıtı E0 yakıtına göre %1,87 daha düşük sonuç vermiştir. Burada E85 yakıtının E0 yakıtından %4,12 daha düşük güç değeri ve %2,29 daha düşük yakıt enerjisi vermesinin etkisi olmuştur. Güç değerlerindeki yüzde farkının büyük olması efektif verimi etkilemiştir.

4.1.5. Etanol ilaveli yakıtların %50 GKP'da egzoz emisyonuna etkilerinin incelenmesi

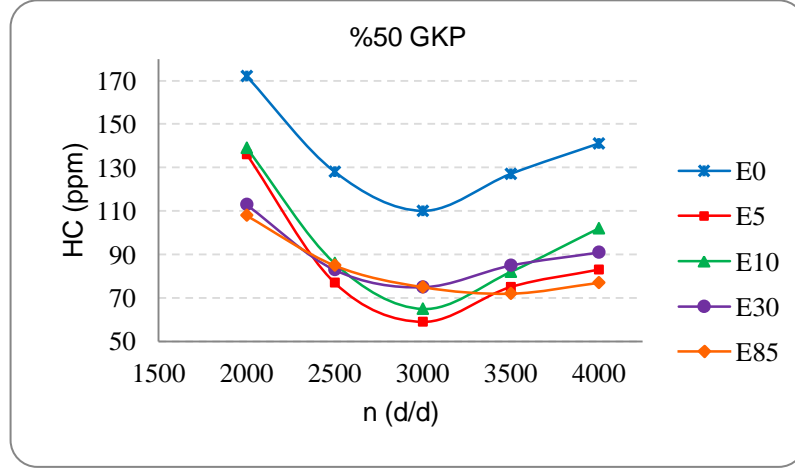
Bu bölümde %50 GKP'da etanol ilaveli yakıtların egzoz emisyonlarına etkileri yer alacaktır. Şekil 4.21 ve Şekil 4.25 aralığında CO, CO₂, HC, NO_x ve λ 'ya ait grafik eğrileri verilecektir. Çizelge 4.6'da ise E0 yakıtına göre karşılaştırmaları verilmiştir.



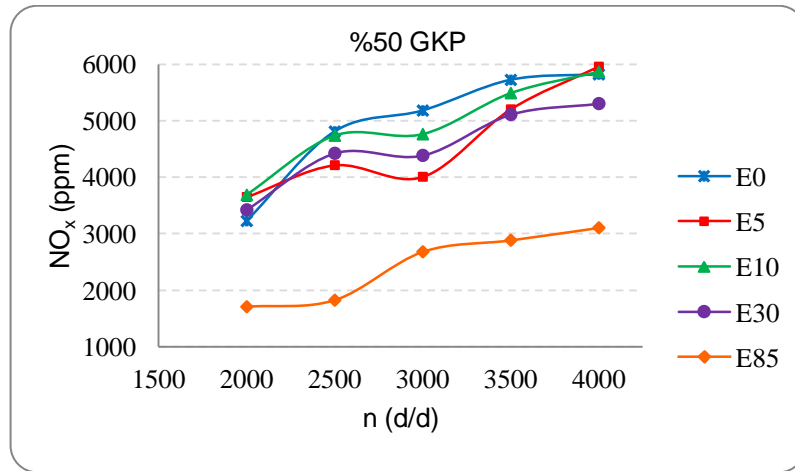
Şekil 4.21. %50 GKP'da etanol ilaveli yakıtların CO emisyonu eğrileri



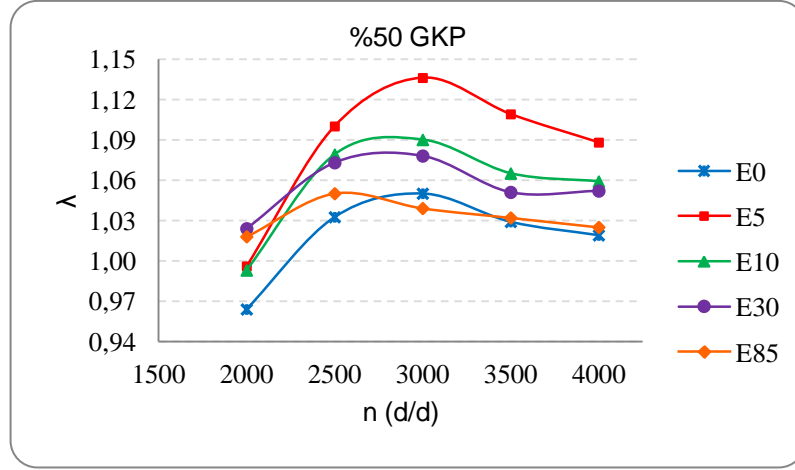
Şekil 4.22. %50 GKP'da etanol ilaveli yakıtların CO₂ emisyonu eğrileri



Şekil 4.23. %50 GKP'da etanol ilaveli yakıtların HC emisyonu eğrileri



Şekil 4.24. %50 GKP'da etanol ilaveli yakıtların NO_x emisyonu eğrileri



Şekil 4.25. %50 GKP’da etanol ilaveli yakıtların λ eğrileri

Çizelge 4.6. %50 GKP’da egzoz emisyonlarının E0 yakıtına göre karşılaştırılması

| n (d/d) | CO (%) | | | | CO ₂ (%) | | | | HC (%) | | | | NO _x (%) | | | |
|---------|--------|--------|--------|--------|---------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------------------|-------|--------|--------|
| | E5 | E10 | E30 | E85 | E5 | E10 | E30 | E85 | E5 | E10 | E30 | E85 | E5 | E10 | E30 | E85 |
| 2000 | -41,18 | -38,92 | -52,52 | -13,22 | 1,55 | 1,33 | 0,22 | -5,54 | -20,93 | -19,19 | -34,30 | -37,21 | 13,22 | 14,33 | 6,14 | -47,07 |
| 2500 | -56,78 | -53,39 | -45,34 | 311,02 | -4,80 | -3,15 | -3,23 | -7,96 | -39,84 | -32,81 | -35,16 | -33,59 | -12,38 | -1,50 | -8,01 | -62,09 |
| 3000 | -33,73 | -36,14 | -6,63 | 370,48 | -7,17 | -2,97 | -2,61 | -4,78 | -46,36 | -40,91 | -31,82 | -31,82 | -22,62 | -8,07 | -15,32 | -48,27 |
| 3500 | -61,43 | -53,24 | -11,95 | 247,78 | -6,16 | -2,37 | -2,15 | -6,88 | -40,94 | -35,43 | -33,07 | -43,31 | -9,09 | -4,07 | -10,70 | -49,59 |
| 4000 | -60,93 | -50,66 | -29,80 | 252,32 | -4,78 | -2,49 | -2,85 | -7,13 | -41,13 | -27,66 | -35,46 | -45,39 | 2,36 | 0,83 | -8,87 | -46,66 |

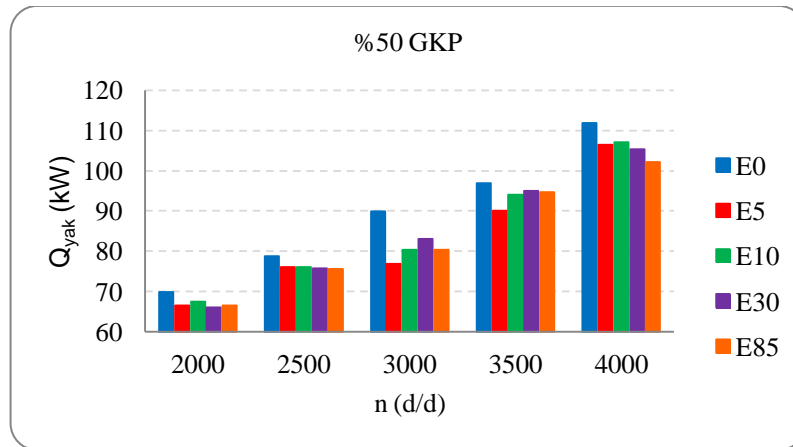
%50 GKP’da 2000 d/d’da motor dizaynından kaynaklanan λ değerinin biraz zengin çalışması motorun düzensiz çalışmasına neden olmuştur. Bu durumun emisyonlar üzerinde etkisi olmuştur. Genel itibariyle CO emisyonunda Şekil 4.21’de görüldüğü gibi E85 yakıtı daha yüksek sonuçlar vermiştir. %50 GKP’da E85 yakıtının yakıt tüketim miktarının ve yakıt içeriğindeki etanol miktarının fazlalığı soğutucu etkiyi artırarak yanmanın verimli olmamasına, CO emisyonlarının kötüleşmesine sebep olmuştur. Yeteri miktarda gönderilemeyen havanın içeriğindeki O₂’nin yetersizliği CO emisyonlarını CO₂’ye dönüştüremeyerek, yüksek CO değerleri şeklinde kendini gösterecektir. Diğer yakıtlarda ise E0 yakıtına göre daha düşük CO emisyon değerleri elde edilmiştir. Yine burada da λ değerlerinin 1’den yüksek olması belirleyici olmuştur. E5 yakıtı diğer yakıtlara göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Çizelge 4.6’da görüldüğü gibi 4000 d/d’da E5 yakıtı E0 yakıtından %60,93 daha düşük CO emisyon değeri vermiştir. CO₂ emisyonunda E0 yakıtı daha yüksek değerler vermiştir.

Egzoz emisyonlarında toplam karbon yüzde oranının kullanılan yakıtlarda sabit olması nedeniyle E85 yakıtının E0 yakıtına yakın λ değerleri alması, CO değerlerini yükseltirken HC emisyon değerlerinde düşmeye sebep olmuştur. Etanol katkılı yakıtlar E0 yakıtına göre bütün devirlerde daha düşük HC emisyon değerleri vermiştir (Şekil 4.23). En düşük HC emisyon değerini Çizelge 4.6'da görüldüğü gibi E5 yakıtı 3000 d/d'da E0 yakıtına göre %46,36 daha düşük değerle elde etmiştir. NO_x emisyonlarında ise E85 yakıtı daha düşük değerler vermiştir.

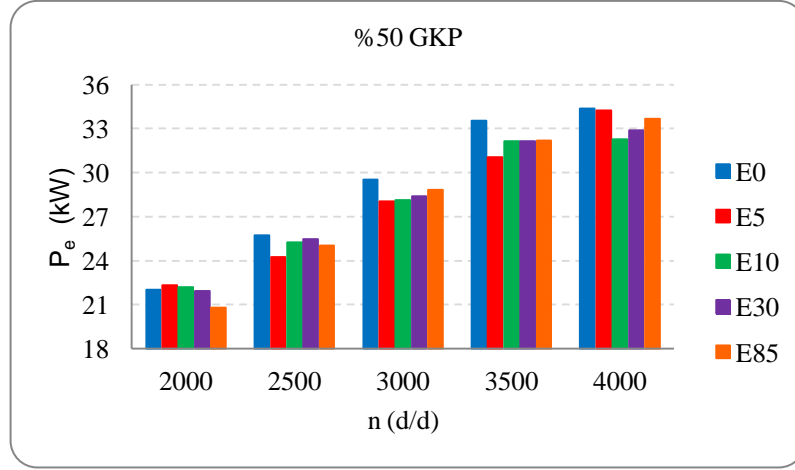
Etanol içeriğinin artmasıyla yakıt tüketim miktarının artması silindir içi sıcaklığı düşürür. Etanol içeriği arttıkça yakıtların daha düşük NO_x emisyonu verdiği Şekil 4.24'da görülmektedir. Devir artışıyla tüm yakıtlarda, genel itibariyle E0 yakıtı daha yüksek NO_x değerleri vermiştir. Çünkü devirin artması silindir içi sıcaklığın genel olarak yükselmesini sağlayacaktır. Sıcaklığın artması da yüksek sıcaklıklarda ortaya çıkan NO_x'lerin oluşmasını sağlayacaktır. E5 yakıtının genel itibariyle λ değerlerinin diğer yakıtlardan yüksek olması, E10 ve E30 yakıtına göre daha düşük NO_x emisyonları vermesinde etkili olmuştur.

4.1.6. %50 GKP'da yakıtla verilen enerjilerin incelenmesi

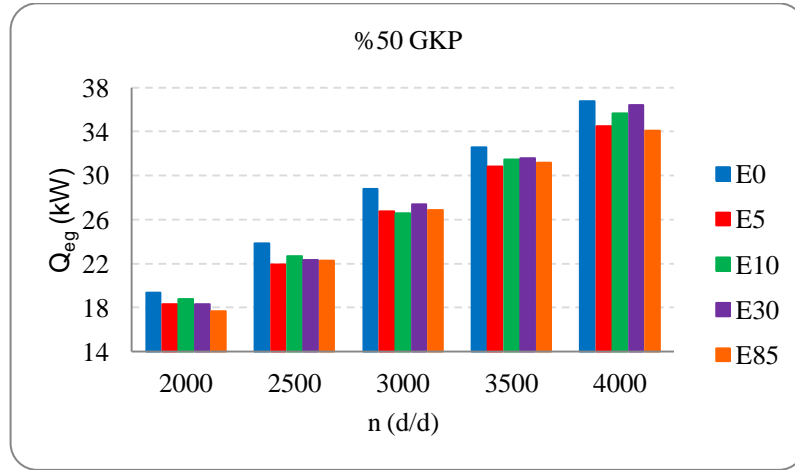
Bu kısımda benzin ve etanol katkılı yakıtlarla (E0, E5, E10, E30 ve E85) %50 GKP'da verilen enerjiler incelenmiş ve bu enerjinin dağılımı (P_e , \dot{Q}_{eg} , \dot{Q}_{su} ve \dot{Q}_{dk}) belirlenmiştir. Bu enerjilerin dağılımlarının grafikleri Şekil 4.26 ve Şekil 4.30 aralığında verilmiş olup, karşılaştırmaları Çizelge 4.7'de yapılmıştır.



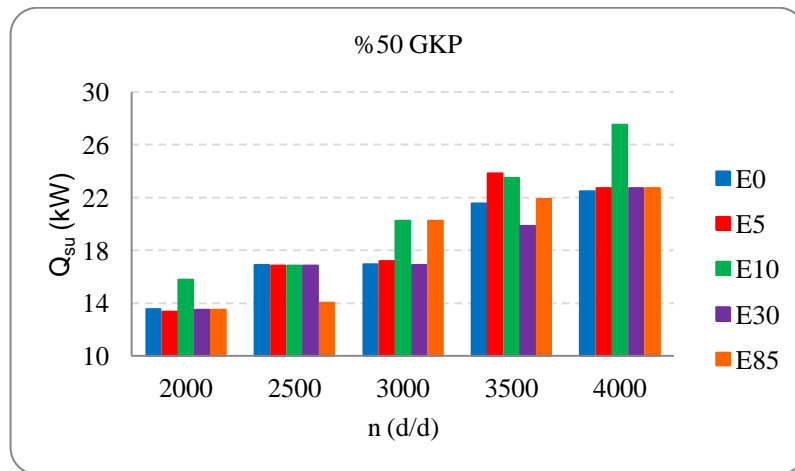
Şekil 4.26. Etanol ilaveli yakıtların motora verilen enerjilerin grafiği



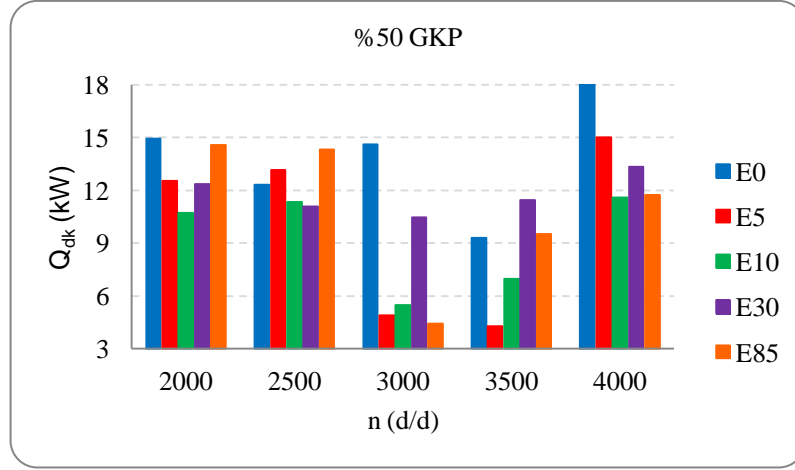
Şekil 4.27. Etanol ilaveli yakıtların motordan alınan enerjilerin grafiği



Şekil 4.28. Etanol ilaveli yakıtların egzozu verilen enerjilerin grafiği



Şekil 4.29. Etanol ilaveli yakıtların soğutma suyuna verilen enerjilerin grafiği



Şekil 4.30. Etanol ilaveli yakıtların diğer kayıp enerjilerin grafiği

Çizelge 4.7. Etanol ilaveli yakıtların E0 yakıtına göre enerjilerinin karşılaştırılması

| Yakıt Türü | n (d/d) | \dot{Q}_{yak} (%) | P_e (%) | \dot{Q}_{eg} (%) | \dot{Q}_{su} (%) | \dot{Q}_{dk} (%) |
|------------|---------|---------------------|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| E5 | 2000 | -4,80 | 1,33 | -5,39 | -1,42 | -16,15 |
| | 2500 | -3,38 | -5,83 | -8,15 | -0,31 | 6,80 |
| | 3000 | -14,45 | -5,09 | -7,05 | 1,52 | -66,49 |
| | 3500 | -7,10 | -7,45 | -5,26 | 10,75 | -53,75 |
| | 4000 | -4,80 | -0,36 | -6,23 | 1,11 | -17,60 |
| E10 | 2000 | -3,38 | 0,75 | -2,84 | 16,59 | -28,29 |
| | 2500 | -3,44 | -2,00 | -4,97 | -0,16 | -7,99 |
| | 3000 | -10,50 | -4,78 | -7,64 | 19,47 | -62,52 |
| | 3500 | -2,96 | -4,17 | -3,42 | 9,11 | -25,03 |
| | 4000 | -4,30 | -6,03 | -3,08 | 22,35 | -36,36 |
| E30 | 2000 | -5,37 | -0,49 | -5,20 | -0,39 | -17,33 |
| | 2500 | -3,88 | -1,06 | -6,40 | -0,23 | -9,95 |
| | 3000 | -7,53 | -3,82 | -4,89 | -0,44 | -28,48 |
| | 3500 | -1,96 | -4,24 | -2,97 | -7,78 | 23,32 |
| | 4000 | -5,80 | -4,26 | -0,98 | 1,03 | -26,84 |
| E85 | 2000 | -4,68 | -5,60 | -8,58 | -0,23 | -2,33 |
| | 2500 | -3,98 | -2,76 | -6,64 | -16,92 | 16,37 |
| | 3000 | -10,58 | -2,42 | -6,69 | 19,47 | -69,65 |
| | 3500 | -2,29 | -4,12 | -4,31 | 1,52 | 2,58 |
| | 4000 | -8,63 | -2,06 | -7,34 | 1,03 | -35,54 |

%50 GKP'da motora verilen, soğutma suyuna verilen ve egzozla verilen enerjilerde devir artışıyla artış gözlenmektedir. Motora verilen enerjilerde E0 yakıtı daha yüksek değerler almıştır (Şekil 4.26). E0 yakıtı diğer yakıtlara göre, egzozla daha fazla enerji verirken (Şekil 4.28), soğutma suyuna daha az enerji vermiştir (Şekil 4.29). Diğer enerji kayıplarında E0 yakıtı genelde daha fazladır (Şekil 4.30). Motora verilen enerjilere göre

toplamda daha az enerji kaybının oluşması E0 yakıtının daha yüksek güç değeri elde etmesinde etkili olmuştur (Şekil 4.27).

3500 d/d'da E0 ve E85 yakıtları aynı λ değerleri verdiği için kıyaslayabiliriz. Motora E0 yakıtı, E85 yakıtından 2,2 kW daha fazla yakıt enerjisi vermiştir. E0 yakıtı E85 yakıtından 0,84 kW daha fazla enerji kaybına uğramasına rağmen, 1,38 kW daha fazla güç değeri elde etmiştir. 3500 d/d'da efektif verimler için;

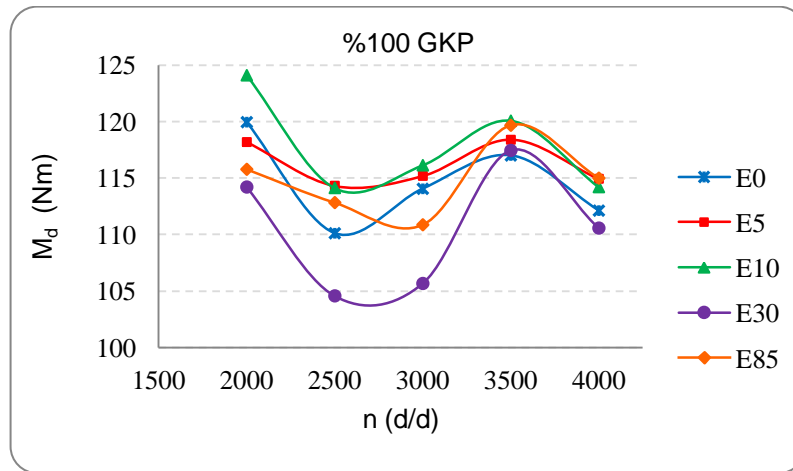
$$\text{E0 yakıtı için; } \eta_e = \frac{P_e}{\dot{Q}_{yak}} = \frac{33,552}{96,921} = 0,346$$

$$\text{E85 yakıtı için; } \eta_e = \frac{P_e}{\dot{Q}_{yak}} = \frac{32,170}{94,704} = 0,339 \text{ değerlerini elde ederiz.}$$

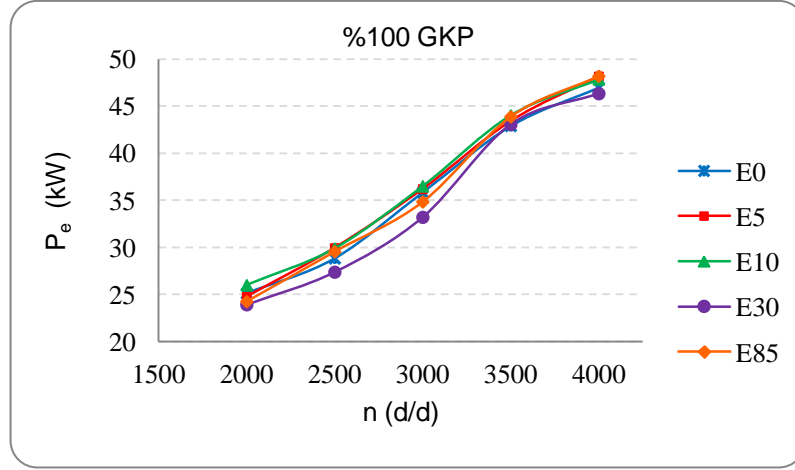
Buradan hareketle E85 yakıtının motora verilen enerji bakımından E0 yakıtına göre daha düşük olması efektif veriminin düşmesine neden olmuştur.

4.1.7. Etanol ilaveli yakıtların %100 GKP'da performansa etkilerinin incelenmesi

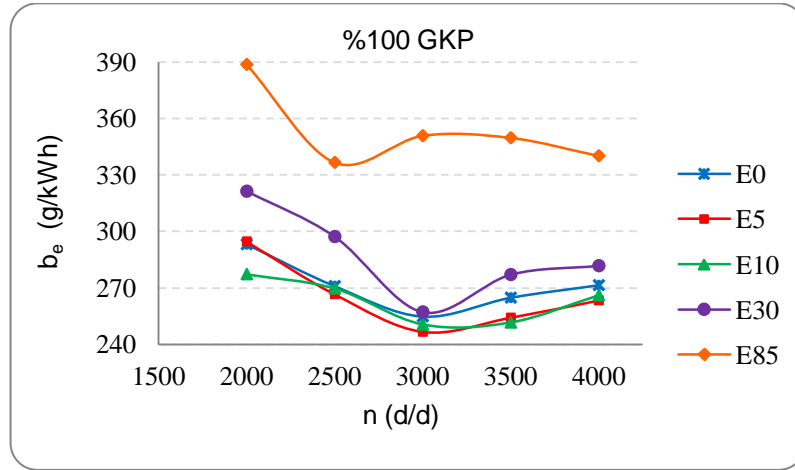
Deneyimizin bu bölümünde %100 GKP'da efektif güç, döndürme momenti, volumetrik verim, özgül yakıt tüketimi ve efektif verim gibi performansa ait deney sonuçları yer alacaktır. Şekil 4.31 ile Şekil 4.35 arasındaki şekillerde grafik eğrilerinde gösterilmektedir. Çizelge 4.8'de ise E0 yakıtına göre karşılaştırmaları verilmiştir.



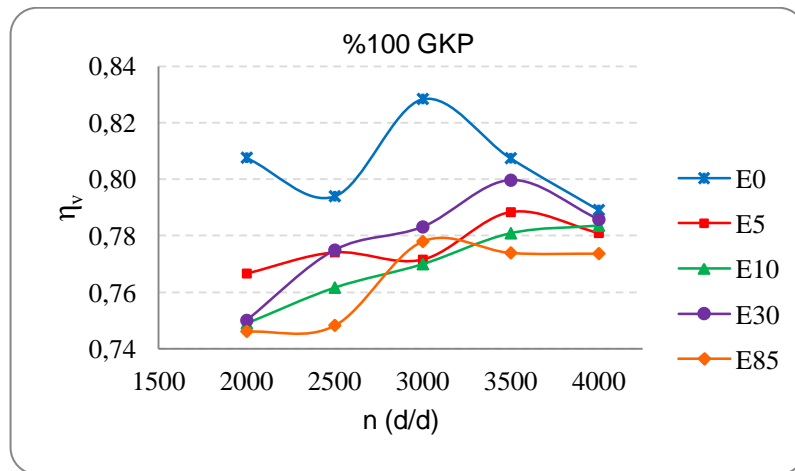
Şekil 4.31. %100 GKP'da etanol ilaveli yakıtların döndürme momenti eğrileri



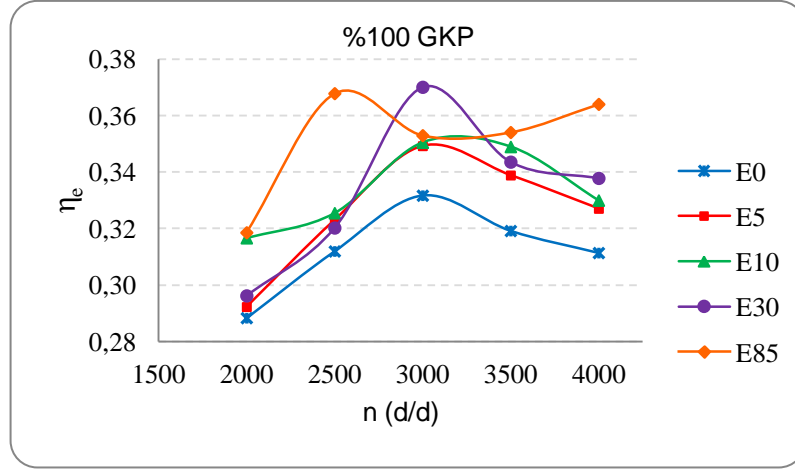
Şekil 4.32. %100 GKP’da etanol ilaveli yakıtların efektif güç eğrileri



Şekil 4.33. %100 GKP’da etanol ilaveli yakıtların özgül yakıt tüketimi eğrileri



Şekil 4.34. %100 GKP’da etanol ilaveli yakıtların volumetrik verim eğrileri



Şekil 4.35. %100 GKP'da etanol ilaveli yakıtların efektif verim eğrileri

Çizelge 4.8. %100 GKP'da performans değerlerinin E0 yakıtına göre karşılaştırılması

| n (d/d) | P _e (%) | | | | b _e (%) | | | | η _v (%) | | | | η _e (%) | | | |
|---------|--------------------|------|-------|-------|--------------------|-------|------|-------|--------------------|-------|-------|-------|--------------------|------|-------|-------|
| | E5 | E10 | E30 | E85 | E5 | E10 | E30 | E85 | E5 | E10 | E30 | E85 | E5 | E10 | E30 | E85 |
| 2000 | -1,47 | 3,46 | -4,79 | -3,48 | 0,53 | -5,41 | 9,61 | 32,57 | -5,07 | -7,26 | -7,13 | -7,61 | 1,37 | 9,81 | 2,74 | 10,48 |
| 2500 | 3,82 | 3,64 | -5,03 | 2,46 | -1,59 | -0,44 | 9,69 | 24,23 | -2,50 | -4,07 | -2,40 | -5,76 | 3,55 | 4,34 | 2,66 | 17,90 |
| 3000 | 1,00 | 1,83 | -7,34 | -2,79 | -3,21 | -1,68 | 0,94 | 37,65 | -6,86 | -7,06 | -5,47 | -6,09 | 5,29 | 5,65 | 11,56 | 6,41 |
| 3500 | 1,19 | 2,63 | 0,38 | 2,28 | -4,01 | -4,98 | 4,62 | 32,05 | -2,37 | -3,29 | -0,97 | -4,15 | 6,16 | 9,32 | 7,64 | 10,92 |
| 4000 | 2,51 | 1,86 | -1,38 | 2,56 | -2,98 | -1,97 | 3,80 | 25,30 | -1,04 | -0,70 | -0,43 | -1,96 | 5,03 | 5,96 | 8,48 | 16,89 |

%100 GKP'da karbüratörün her iki gaz keleşi de tam açık konuma gelerek engellemelerin ortadan kalktığı (gaz keleşi açısından) durumdur. Böylece motora istenilen miktarda hava alınabilmesi sağlanabilecektir. Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'deki E0 yakıtına göre E30 ve E85 yakıtındaki moment ve güç değerlerindeki düşük değerler, λ değerlerinin yüksekliği, verimli bir yanmanın sağlanabilmesi için gerekli avans açısının verilememesi ve silindir içi sıcaklığın yeterince yükselememesinden kaynaklandığı söylenebilir. E5 ve E10 yakıtları bu iki etkenden fazla etkilenmemişlerdir. E30 ve E85 yakıtında λ değerleri 1'e yaklaştıkça güç ve moment değerleri diğer yakıtlara yaklaşarak bazen geçmiştir.

Efektif güç değerleri bakımından 3500 d/d'da etanol katkılı yakıtlar E0 yakıtına göre daha iyi sonuçlar vermiştir. En yüksek efektif güç değerini 4000 d/d'da E85 yakıtı vermiştir. Bu devirde E0 yakıtına göre %2,56 daha iyi sonuç vermiştir (Çizelge 4.8).

Şekil 4.33’de efektif özgül yakıt tüketiminde en yüksek değerleri E85 yakıtı, daha sonra E30 yakıtı vermiştir. Diğer yakıtlarda ise λ değerleri belirleyici olmuştur.

En yüksek volumetrik verim değerlerini Şekil 4.34’te görüldüğü gibi E0 yakıtı, en düşük değerleri ise E85 yakıtı vermiştir. Etanol katkılı yakıtlarda devir sayısı arttıkça volumetrik verim de artmıştır. Bu durum bize artan devir sayısının emme manifoldundan geçen yakıt miktarının artmasını, bunun da soğuma etkisini artırmamasını sağladığı yorumunu yapmamızı sağlar. Etanol içeriğinin artması bu etkiyi belirli bir orana kadar etkiler. Volumetrik verimde de yine λ değerleri belirleyici olmuş ve yüksek değerler alması volumetrik verim değerlerinde yükselmeye neden olmuştur.

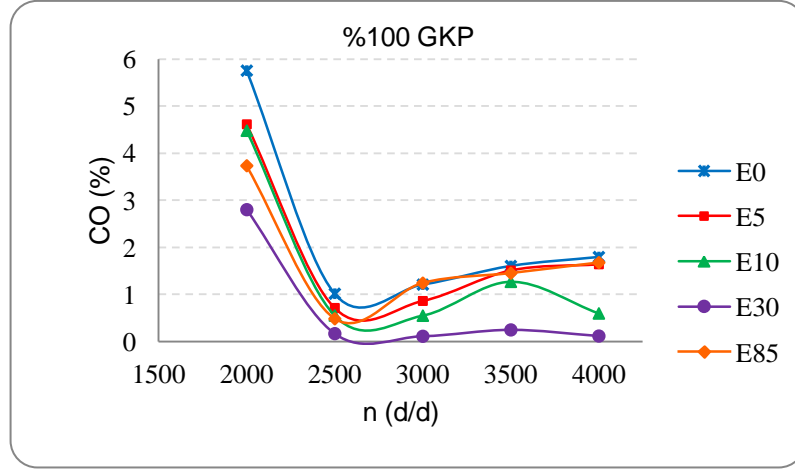
Efektif verim açısından değerlendirilirse, formülünde bulunan değişkenlerin durumuna göre değer alır. Etanol miktarının artışıyla ısıl değerinin düşmesi efektif verimi çalışma koşullarından bağımsız olarak artırıcı etki yapar. Çalışma koşullarından güç ve yakıt tüketiminin durumu efektif verimi tayin eder. Etanol ilavesiyle yakıtlarda güç artışına göre yakıt tüketimi fazla olsa da ısıl değerdeki düşüşün fazlalığı nedeniyle efektif verimde artış görülür.

Efektif verim bakımından en yüksek değerleri 3000 d/d hariç E85 yakıtı verdiği Şekil 4.35’de görülmektedir. E0 yakıtı bütün devirlerde diğer yakıtlara göre daha düşük sonuçlar vermiştir. En yüksek efektif verim değerini 3000 d/d’da E30 yakıtı vermiştir.

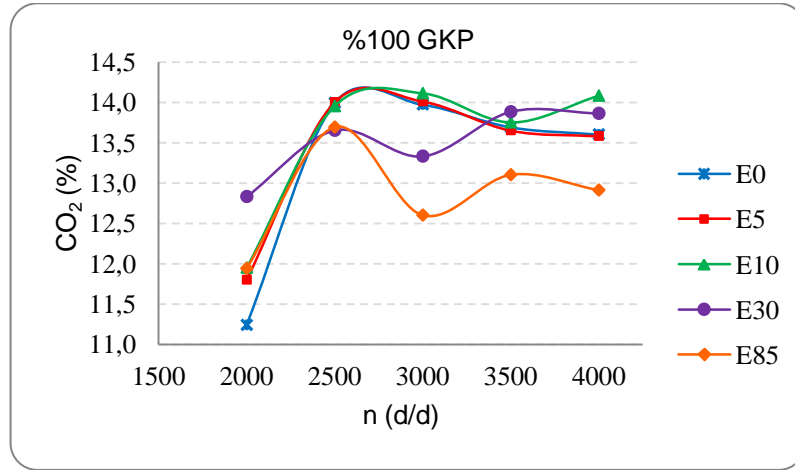
3500 d/d’da hemen hemen aynı λ değerini veren E0, E5 ve E10 yakıtlarını kıyaslamak daha doğru olacaktır. Bu devirde E5 ve E10 yakıtları, E0 yakıtından daha az yakıt enerjisini motora vermelerine rağmen ($\dot{Q}_{yak.E0}=134,387$ kW, $\dot{Q}_{yak.E5}=128,1$ kW, $\dot{Q}_{yak.E10}=126,164$ kW), daha yüksek güç değerleri ($P_{e,E0}=42,895$ kW, $P_{e,E5}=43,405$ kW, $P_{e,E10}=44,022$ kW) elde etmişlerdir.

4.1.8. Etanol ilaveli yakıtların %100 GKP’da egzoz emisyonuna etkilerinin incelenmesi

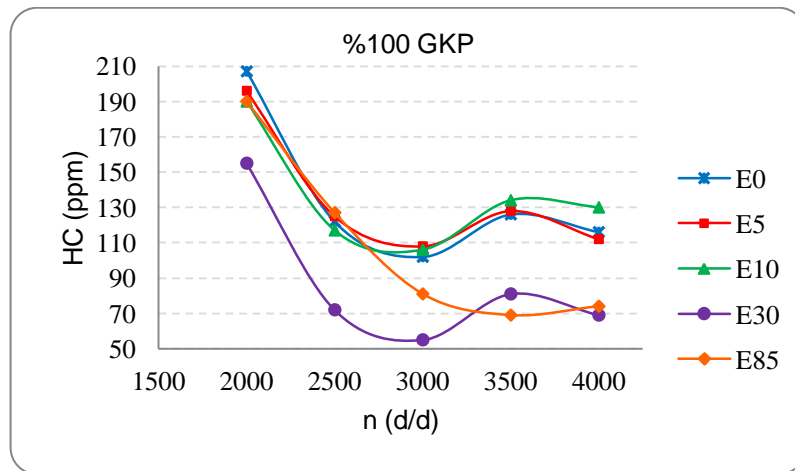
Bu bölümde %100 GKP’da etanol ilaveli yakıtların egzoz emisyonlarına etkileri yer alacaktır. Şekil 4.36 ve Şekil 4.40 aralığında CO, CO₂, HC, NO_x ve λ ’ya ait grafik eğrileri verilecektir. Çizelge 4.9’da ise E0 yakıtına göre karşılaştırılmaları verilmiştir.



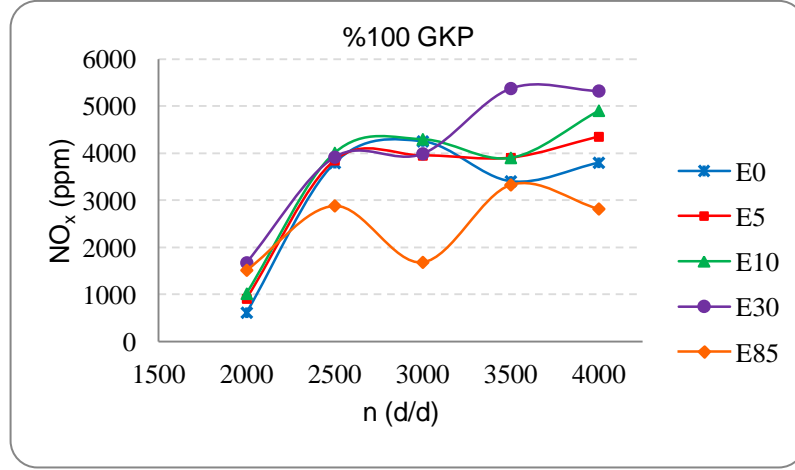
Şekil 4.36. %100 GKP’da etanol ilaveli yakıtların CO emisyonu eğrileri



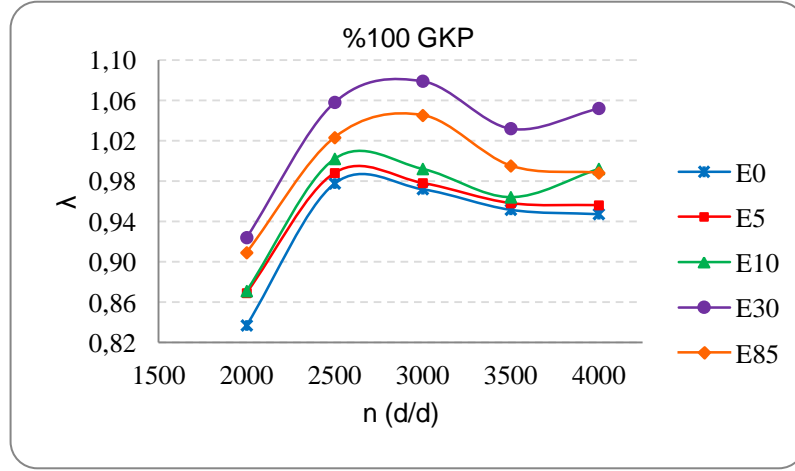
Şekil 4.37. %100 GKP’da etanol ilaveli yakıtların CO₂ emisyonu eğrileri



Şekil 4.38. %100 GKP’da etanol ilaveli yakıtların HC emisyonu eğrileri



Şekil 4.39. %100 GKP'da etanol ilaveli yakıtların NO_x emisyonu eğrileri



Şekil 4.40. %100 GKP'da etanol ilaveli yakıtların λ eğrileri

Çizelge 4.9. %100 GKP'da egzoz emisyonlarının E0 yakıtına göre karşılaştırılması

| n (d/d) | CO (%) | | | | CO ₂ (%) | | | | HC (%) | | | | NO _x (%) | | | |
|---------|--------|--------|--------|--------|---------------------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|---------------------|-------|--------|--------|
| | E5 | E10 | E30 | E85 | E5 | E10 | E30 | E85 | E5 | E10 | E30 | E85 | E5 | E10 | E30 | E85 |
| 2000 | -19,78 | -22,15 | -51,28 | -35,09 | 4,98 | 6,32 | 14,15 | 6,23 | -5,31 | -8,21 | -25,12 | -8,21 | 47,65 | 65,32 | 171,80 | 146,03 |
| 2500 | -29,58 | -45,35 | -83,06 | -52,20 | 0,07 | -0,29 | -2,43 | -2,14 | 2,46 | -4,10 | -40,98 | 4,10 | 1,45 | 5,69 | 3,32 | -23,97 |
| 3000 | -28,58 | -54,28 | -90,36 | 2,64 | 0,29 | 1,00 | -4,58 | -9,81 | 5,88 | 3,92 | -46,08 | -20,59 | -7,15 | 1,06 | -6,18 | -60,37 |
| 3500 | -5,90 | -20,82 | -84,34 | -9,51 | -0,29 | 0,44 | 1,39 | -4,31 | 1,59 | 6,35 | -35,71 | -45,24 | 14,59 | 14,59 | 57,87 | -2,23 |
| 4000 | -8,56 | -66,54 | -93,22 | -6,56 | -0,15 | 3,53 | 1,91 | -5,07 | -3,45 | 12,07 | -40,52 | -36,21 | 14,53 | 29,08 | 40,11 | -25,82 |

%100 GKP'da da tüm yakıtlarda 2000d/d'da motor daha zengin karışımlarla çalıştığından daha kötü emisyon değerleri vermiştir. Diğer GKP'larında olduğu gibi λ

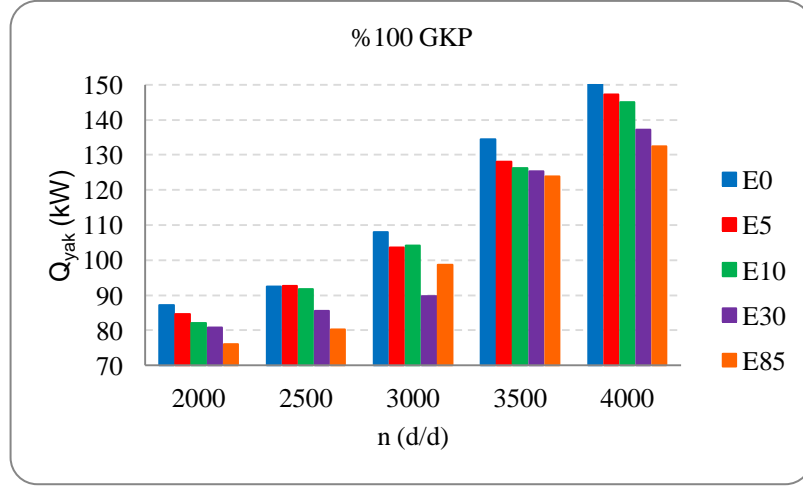
değerleri egzoz emisyon değerlerinde belirleyici rol oynamıştır. $\lambda > 1$ olması halinde egzoz emisyonları içindeki O_2 yüzdesinin değerindeki artışa bağlı olarak diğer emisyon değerlerinin düşmesine sebep olacaktır. E85 yakıtı hariç diğer yakıtlarda bu yönde değerler alınmıştır. E85 yakıtının etanol içeriğinin fazlalığından kaynaklanan yapısında bulunan fazla O_2 durumu lehine çevirmiştir. Ancak fazla soğuma etkisi oluşturması da NO_x emisyonları açısından daha düşük değerler almasına sebep olmuştur.

E0 yakıtının CO emisyon değerleri E85 yakıtının 3000 d/d'daki değeri haricinde daha yüksek değerler vermiştir (Şekil 4.36). En düşük CO emisyon değerlerini bütün devirlerde E30 yakıtı vermiştir. Şekil 4.37'de görüldüğü gibi CO_2 emisyonları bakımından genel itibariyle en düşük sonuçları E85 yakıtı vermiştir. Önceki GKP'lerinde bahsedildiği üzere E85 yakıtı hariç diğer yakıtlarda CO değerlerinin durumu CO_2 değerlerinin oluşmasında etkilidir. HC emisyonunda 3500 d/d dışındaki diğer devirlerde E30 yakıtının daha düşük emisyon değerleri aldığı Şekil 4.38'de verilmiştir. E30 yakıtı diğer yakıtlara göre en düşük değerini 3000 d/d'da E0 yakıtına göre %46,08 daha düşük değerle elde ettiği Çizelge 4.9'da görülmektedir.

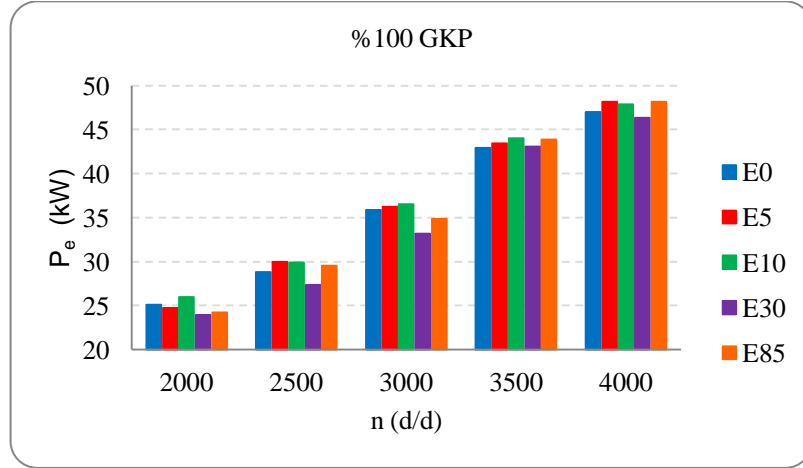
Şekil 4.39'da görüldüğü gibi NO_x emisyonları bakımından 2000 d/d hariç diğer devirlerde en düşük sonuçları E85 yakıtı vermiştir. En yüksek değerleri ise 3500 ve 4000 d/d'larda E30 yakıtı vermiştir. NO_x emisyon değerlerinde $1 < \lambda < 1,05$ aralığında değer alan veya daha yakın olan yakıtlar (E85 hariç) diğer yakıtlara göre daha yüksek değerler almışlardır. Artan silindir içi sıcaklığın etkisi ve yakıt içeriğindeki O_2 'nin fazlalığının etkisi etkili olmuştur. 3500 d/d'da E0, E5 ve E10 yakıtları aynı λ değerlerinde olmasına rağmen $\lambda < 1$ olması emisyonları etkilemiştir. Buna rağmen E5 ve E10 yakıtlarının CO emisyonları E0 yakıtından daha düşük çıkarken, HC ve NO_x emisyonları yüksek çıkmıştır.

4.1.9. %100 GKP'da yakıtla verilen enerjilerin incelenmesi

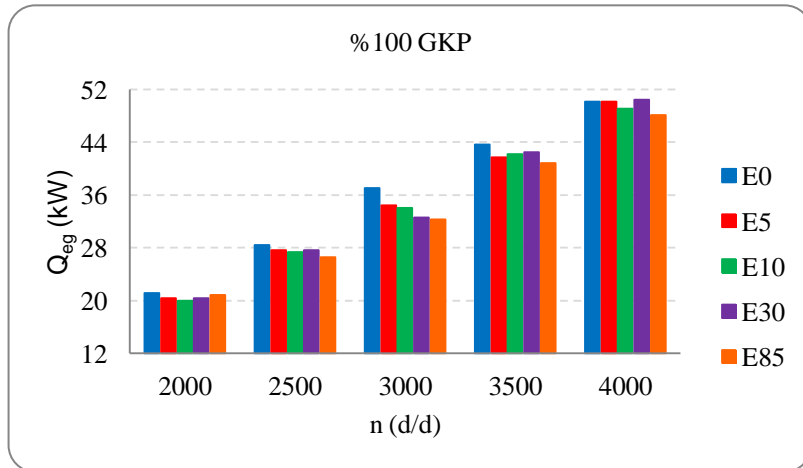
Bu kısımda benzin ve etanol katkılı yakıtlarla (E0, E5, E10, E30 ve E85) %100 GKP'da verilen enerjiler incelenmiş ve bu enerjinin dağılımı (P_e , \dot{Q}_{eg} , \dot{Q}_{su} ve \dot{Q}_{dk}) belirlenmiştir. Bu enerjilerin dağılımlarının grafikleri Şekil 4.41 ve Şekil 4.45 aralığında verilmiş olup, karşılaştırmaları Çizelge 4.10'da yapılmıştır.



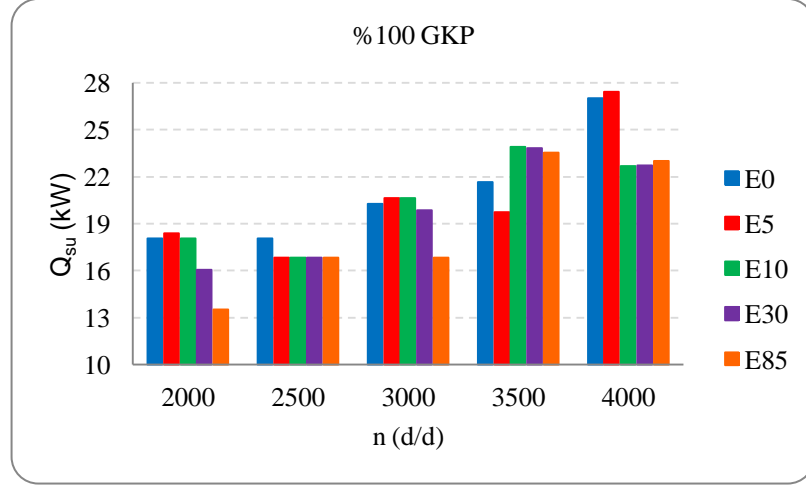
Şekil 4.41. Etanol ilaveli yakıtların motora verilen enerjilerin grafiği



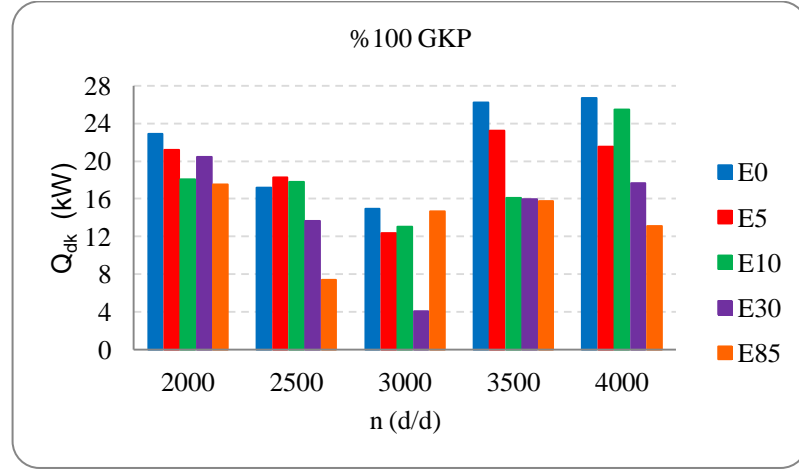
Şekil 4.42. Etanol ilaveli yakıtların motordan alınan enerjilerin grafiği



Şekil 4.43. Etanol ilaveli yakıtların motor egzozuna verilen enerjilerin grafiği



Şekil 4.44. Etanol ilaveli yakıtların soğutma suyuna verilen enerjilerin grafiği



Şekil 4.45. Etanol ilaveli yakıtların diğer kayıp enerjilerin grafiği

Artan devirle yakıt tüketiminin artışına bağlı olarak bütün yakıt enerjisi değerlerinde yükselme olmuştur. Şekil 4.42’de ise motordan alınan net iş enerjisinde (P_e) ise genel olarak E10 yakıtının üstünlüğü görülmektedir. Önceki bölümde %100 GKP’deki efektif güç için yapılan değerlendirmeler geçerlidir.

Şekil 4.43’deki egzoz giden enerjine (\dot{Q}_{eg}) bakacak olursak en yüksek değerleri E0 yakıtının verdiği görülmektedir. Etanol ilaveli yakıtlarda artan etanol miktarıyla, etanolün soğutucu etkisinden dolayı düşmeler görülmektedir.

Suya verilen enerji (\dot{Q}_{su}) yönünden orta devirlerde (3000-3500 d/d) etanol ilaveli yakıtların daha verimli yanmasından kaynaklanan bir artış söz konusudur (Şekil 4.44).

Diğer devirlerde ise E0 yakıtı ve etanol içeriği düşük olan yakıtlar (E5 ve E10) soğutma suyuna daha fazla enerji vermiştir (Çizelge 4.10). Motor soğutma suyuna verilen ısının yüksekliği silindir içi sıcaklığın yükseldiği anlamını taşır ki, bu durum etanol ilaveli yakıtlardaki soğuma etkisini azaltıcı etki yaparak yanmanın iyileşmesiyle sonuçlanacaktır.

Çizelge 4.10. Etanol ilaveli yakıtların E0 yakıtına göre enerjilerinin karşılaştırılması

| Yakıt Türü | n (d/d) | \dot{Q}_{yak} (%) | P_e (%) | \dot{Q}_{eg} (%) | \dot{Q}_{su} (%) | \dot{Q}_{dk} (%) |
|------------|---------|---------------------|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| E5 | 2000 | -2,80 | -1,47 | -3,37 | 1,79 | -7,36 |
| | 2500 | 0,26 | 3,82 | -2,62 | -6,86 | 6,54 |
| | 3000 | -4,07 | 1,00 | -7,08 | 1,90 | -16,88 |
| | 3500 | -4,68 | 1,19 | -4,40 | -8,98 | -11,19 |
| | 4000 | -2,39 | 2,51 | -0,09 | 1,51 | -19,31 |
| E10 | 2000 | -5,79 | 3,46 | -5,51 | 0,15 | -20,89 |
| | 2500 | -0,67 | 3,64 | -3,73 | -6,78 | 3,59 |
| | 3000 | -3,61 | 1,83 | -8,20 | 1,82 | -12,70 |
| | 3500 | -6,12 | 2,63 | -3,41 | 10,22 | -38,48 |
| | 4000 | -3,87 | 1,86 | -2,27 | -16,16 | -4,52 |
| E30 | 2000 | -7,32 | -4,79 | -3,54 | -11,13 | -10,60 |
| | 2500 | -7,49 | -5,03 | -2,57 | -6,72 | -20,54 |
| | 3000 | -16,95 | -7,34 | -11,94 | -2,02 | -72,75 |
| | 3500 | -6,74 | 0,38 | -2,67 | 9,97 | -39,01 |
| | 4000 | -9,09 | -1,38 | 0,56 | -15,97 | -33,83 |
| E85 | 2000 | -12,64 | -3,48 | -1,32 | -25,17 | -23,26 |
| | 2500 | -13,09 | 2,46 | -6,40 | -6,86 | -56,83 |
| | 3000 | -8,64 | -2,79 | -12,71 | -16,85 | -1,44 |
| | 3500 | -7,79 | 2,28 | -6,55 | 8,52 | -39,84 |
| | 4000 | -12,26 | 2,56 | -4,16 | -14,95 | -50,83 |

Çizelge 4.11. Etanol ilaveli yakıtların 3500 d/d'daki enerjilerinin dağılımları

| Yakıt Türü | n (d/d) | \dot{Q}_{yak} (kW) | P_e (kW) | \dot{Q}_{eg} (kW) | \dot{Q}_{su} (kW) | \dot{Q}_{dk} (kW) |
|------------|---------|----------------------|------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| E0 | 3500 | 134,387 | 42,895 | 43,630 | 21,672 | 26,190 |
| E5 | 3500 | 128,100 | 43,405 | 41,709 | 19,726 | 23,260 |
| E10 | 3500 | 126,164 | 44,022 | 42,143 | 23,888 | 16,111 |
| E30 | 3500 | 125,328 | 43,059 | 42,463 | 23,833 | 15,974 |
| E85 | 3500 | 123,921 | 43,874 | 40,774 | 23,518 | 15,755 |

Motora verilen yakıt enerjisi ($\dot{Q}_{yak.}$) yönünden bakılırsa artan etanol miktarına bağlı olarak düştüğü Çizelge 4.11’de görülmektedir. Etanolün ısıl değerinin düşük olması nedeniyle yakıt içeriğindeki etanol miktarının artışı yakıt enerjisini düşürmüştür.

$$\text{E0 yakıtı için; } \eta_e = \frac{P_e}{\dot{Q}_{yak}} = \frac{42,895}{134,387} = 0,319$$

$$\text{E5 yakıtı için; } \eta_e = \frac{P_e}{\dot{Q}_{yak}} = \frac{43,405}{128,1} = 0,339$$

$$\text{E10 yakıtı için; } \eta_e = \frac{P_e}{\dot{Q}_{yak}} = \frac{44,022}{126,164} = 0,349 \text{ değerlerini elde ederiz.}$$

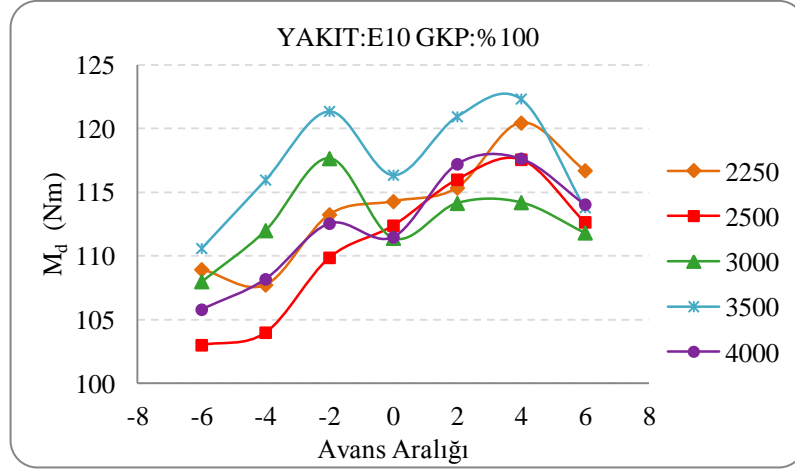
Bu yakıtlardan E0 yakıtının motora daha fazla yakıt enerjisi vermesine karşılık toplamda daha fazla enerji kaybına uğraması güç değerini, dolayısıyla da efektif verimini düşürmüştür.

4.2. E10 ve E85 Yakıtlarının Değişik Avans Değerlerinde Performans ve Emisyonlara Etkilerinin İncelenmesi

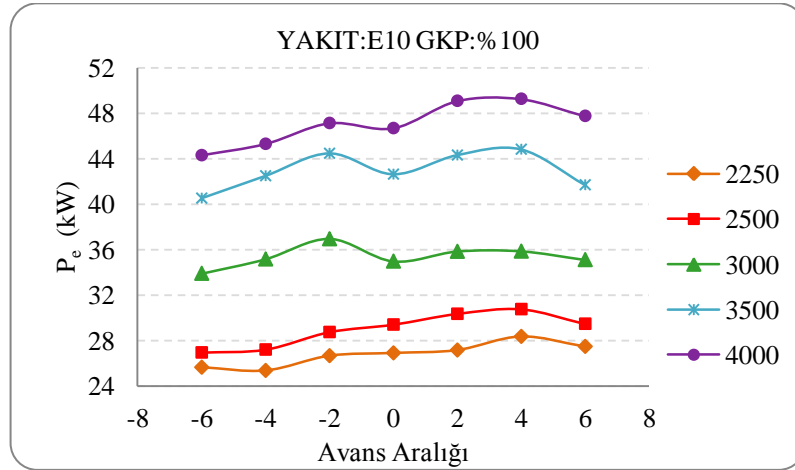
Deneyimizin ikinci bölümünde ise E10 ve E85 yakıtlarının (+) ve (-) yönde değişik avanslar verilmek suretiyle performans ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Burada 0 (sıfır) orijinal avansı, (+) artırılmış avansı yani erken ateşlemeyi, (-) geciktirilmiş avansı yani geç ateşlemeyi ifade etmektedir. E10 ve E85 yakıtları ile değişik avanslarda yapılan deneyler %100 GKP’da yapılmıştır. Avanslar ise (+) ve (-) yönde 6’ya kadar 2 artırmalı olarak verilmiştir. Ayrıca her iki yakıtında motora verilen ve alınan enerji değerleri ile kayıplara harcanan enerji değerleri incelenmiştir.

4.2.1. E10 yakıtına değişik avans değerlerinin performansa etkilerinin incelenmesi

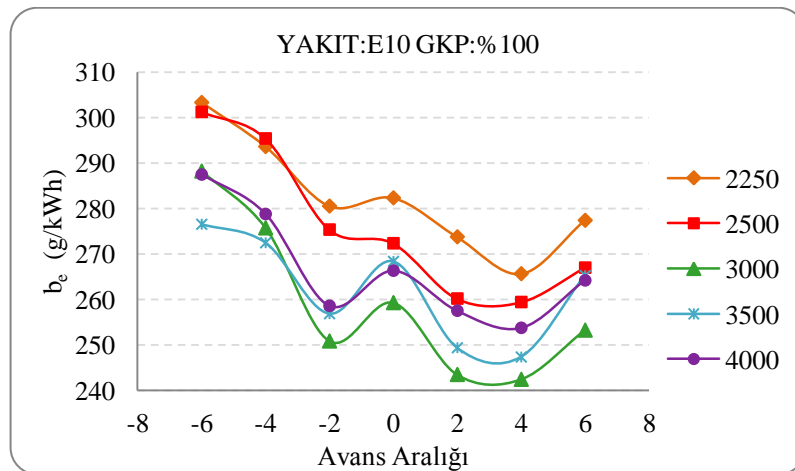
Deneyimizin bu aşamasında %100 GKP’da, E10 yakıtının değişik avanslardaki döndürme momenti, efektif güç, özgül yakıt tüketimi, volumetrik verim ve efektif verim gibi performans kriterleri incelenmiştir. Yapılan bu çalışmalar Şekil 4.46 ve Şekil 4.50 aralığında gösterilmiştir. Çizelge 4.12’de ise orijinal avans değerine göre diğer avansların performans değerlerinin karşılaştırılmaları verilmiştir.



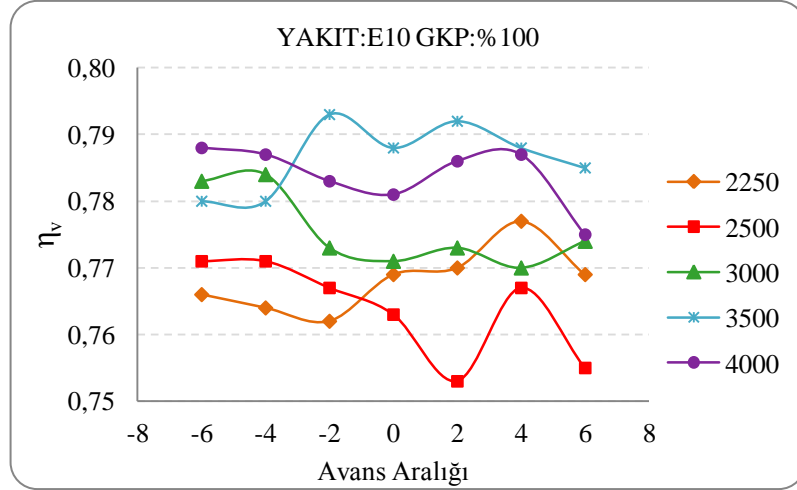
Şekil 4.46. E10 yakıtının değişik avanslardaki döndürme momenti eğrileri



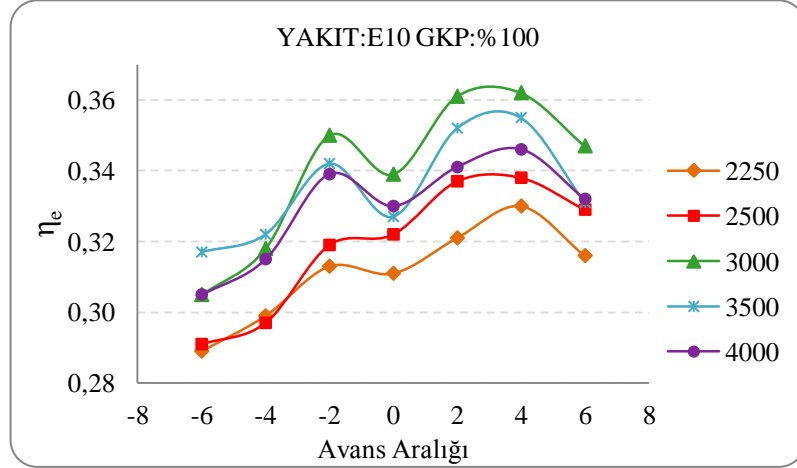
Şekil 4.47. E10 yakıtının değişik avanslardaki efektif güç eğrileri



Şekil 4.48. E10 yakıtının değişik avanslardaki özgül yakıt tüketimi eğrileri



Şekil 4.49. E10 yakıtının değişik avanslardaki volumetrik verim eğrileri



Şekil 4.50. E10 yakıtının değişik avanslardaki efektif verim eğrileri

Egzoz gazlarının sıcaklığı (+) avanslara gidildikçe düşerken, (-) avanslara gidildikçe yükselmektedir. Bu durum (+) yöndeki avanslara gidildikçe yanmanın daha erken tamamlanarak en yüksek güç ve moment değerleri ile daha düşük emisyon değerleri elde edilebilmesini mümkün kılar. (-) yöndeki avanslara gidildikçe de yanmanın yeterince tamamlanmadan ve yanma olayının egzoz supabının açılmasına yakın açılara kadar devam etmesi nedeniyle sıcaklık yükselmesiyle sonuçlanmaktadır. Bu nedenle de silindir iç basıncını, güç ve moment değerlerini düşürmekte, daha kötü emisyon değerlerine sebebiyet vermektedir.

Çizelge 4.12. E10 yakıtında performans değerlerinin orijinal avansa göre karşılaştırılması

| Yakıt Türü | n (d/d) | P _e (%) | b _e (%) | η _v (%) | η _e (%) |
|------------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| (-6) | 2250 | -4,68 | 7,42 | -0,38 | -6,91 |
| | 2500 | -8,34 | 10,60 | 0,97 | -9,58 |
| | 3000 | -3,06 | 11,15 | 1,56 | -10,03 |
| | 3500 | -4,94 | 3,04 | -1,00 | -2,95 |
| | 4000 | -5,10 | 7,93 | 0,85 | -7,35 |
| (-4) | 2250 | -5,73 | 3,99 | -0,59 | -3,84 |
| | 2500 | -7,47 | 8,45 | 0,97 | -7,79 |
| | 3000 | 0,54 | 6,33 | 1,63 | -5,96 |
| | 3500 | -0,33 | 1,52 | -1,03 | -1,50 |
| | 4000 | -2,96 | 4,67 | 0,78 | -4,46 |
| (-2) | 2250 | -0,90 | -0,64 | -0,90 | 0,64 |
| | 2500 | -2,24 | 1,10 | 0,51 | -1,09 |
| | 3000 | 5,61 | -3,25 | 0,19 | 3,36 |
| | 3500 | 4,30 | -4,29 | 0,64 | 4,48 |
| | 4000 | 0,96 | -2,90 | 0,29 | 2,99 |
| (+2) | 2250 | 0,93 | -3,03 | 0,13 | 3,13 |
| | 2500 | 3,21 | -4,46 | -1,35 | 4,67 |
| | 3000 | 2,46 | -6,09 | 0,24 | 6,48 |
| | 3500 | 3,94 | -7,07 | 0,53 | 7,61 |
| | 4000 | 5,14 | -3,30 | 0,69 | 3,42 |
| (+4) | 2250 | 5,39 | -5,90 | 1,10 | 6,27 |
| | 2500 | 4,61 | -4,74 | 0,52 | 4,98 |
| | 3000 | 2,51 | -6,50 | -0,14 | 6,95 |
| | 3500 | 5,14 | -7,83 | 0,05 | 8,49 |
| | 4000 | 5,53 | -4,72 | 0,76 | 4,95 |
| (+6) | 2250 | 2,12 | -1,75 | -0,03 | 1,78 |
| | 2500 | 0,24 | -1,97 | -1,07 | 2,01 |
| | 3000 | 0,38 | -2,33 | 0,38 | 2,38 |
| | 3500 | -2,19 | -1,16 | -0,35 | 1,18 |
| | 4000 | 2,30 | -0,80 | -0,72 | 0,81 |

Silindir içindeki yanmanın (+) avanslarda (-) avanslara göre erken tamamlanmış olması, silindir iç cidarlarını, emme süpablarını ve emme manifoldunu sıcak tutacaktır. Böylelikle etanolün buharlaşma ısısının yüksekliğinden kaynaklanan soğuma etkisinin önüne geçilerek yakıtın daha homojen bir biçimde silindirlerde bulunmasını sağlayacaktır. Bu durum yanmayı iyileştireceğinden, performans ve emisyonları olumlu yönde etkileyecektir. Böylece moment, güç ve efektif verim değerleri (+) avans yönünde tüm devirlerde artış gösterir.

Şekil 4.46'da görüldüğü gibi döndürme momenti için (+6) avans değeri hariç diğer avans değerlerinde 3500 d/d'da en yüksek değerlerini almışlardır. (+4) avans değerinde

en yüksek değerine ulaşmıştır. Genel itibariyle (-) avanslardan (+) avanslara gidildikçe döndürme moment değerleri artmıştır. Efektif güç değerleri ise devir sayısının artışıyla artmıştır (Şekil 4.47). 3000 d/d hariç diğer devirlerde (+) avans değerlerine gidildikçe efektif güç artmıştır. En yüksek güç değerleri 4000 d/d'da alınmıştır.

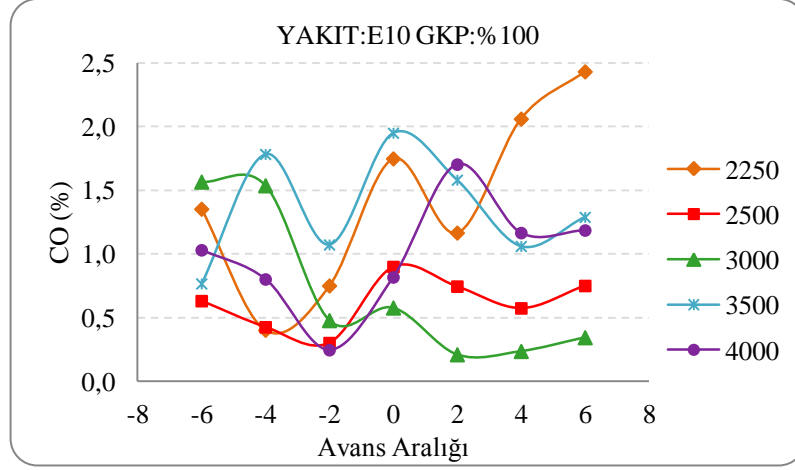
Volumetrik verim bakımından avans değişiminin net bir etkisi görülmemektedir. (+6) değerinde volumetrik verim genel itibariyle düşmüştür (Şekil 4.49). Bu düşüş güç ve moment değerlerinde de düşme şeklinde kendini göstermiştir. Çizelge 4.12'ye bakıldığında da volumetrik verimler arasındaki farkların en fazla %1 civarına ulaştığı görülmektedir.

Efektif özgül yakıt tüketimi değerlerinde (+) avanslara gidildikçe düşüş görülmektedir (Şekil 4.48). En düşük değerlerini (+4) ve (+2) avans değerlerinde almışlardır. Volumetrik verimde en düşük değerleri 3000 d/d'da (+4) avansla, en yüksek değerleri ise 2250 d/d'da (-6) avans değeri ile elde edilmiştir. Şekil 4.49'da görüldüğü gibi volumetrik verim değerleri (+) avanslara gidildikçe düşmüştür.

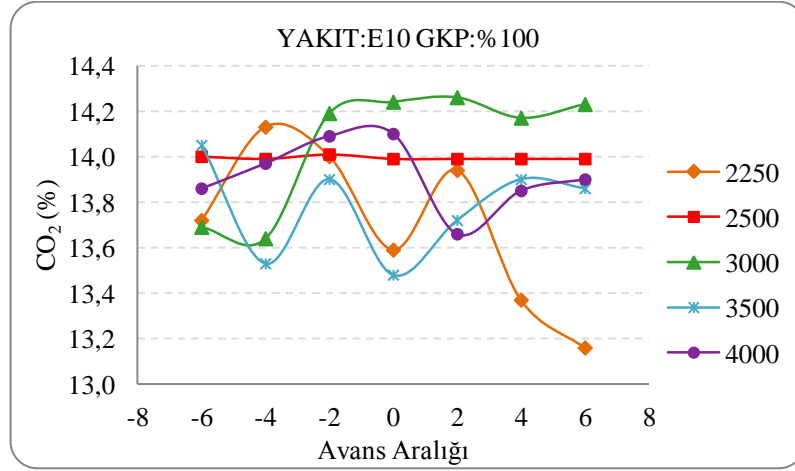
Efektif verim açısından karşılaştırma yapacak olursak, efektif özgül yakıt tüketiminin tam tersi durumdur. Ancak motora verilen enerjilerdeki farklılıklar nedeniyle değerler değişecektir. Efektif verim değerleri (+) avanslarda yükselecektir. Efektif verimde en yüksek değerler 3000 d/d'da (+4) ve (+2) avans değerlerinde elde edilmiştir (Şekil 4.50). En düşük değerler ise 2250 d/d'da ve (-6) avans değerinde elde edilmiştir. Genel olarak (+) avans değerlerine gidildikçe efektif verim artmıştır.

4.2.2. E10 yakıtına değişik avans değerlerinin egzoz emisyonlarına etkilerinin incelenmesi

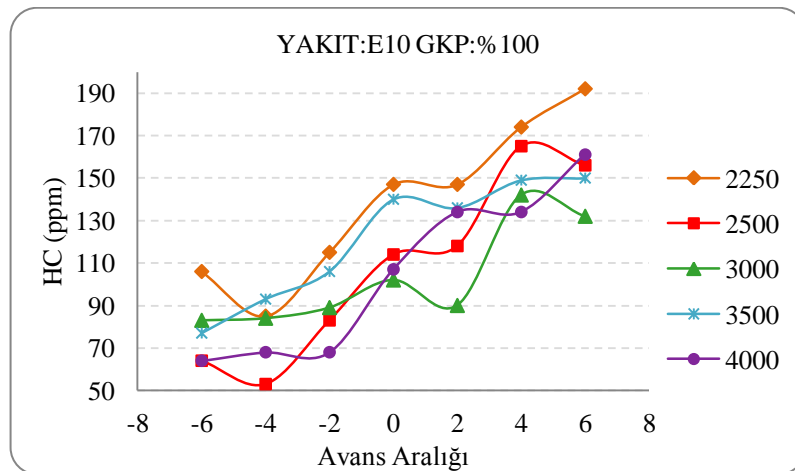
Bu bölümde %100 GKP'da, E10 yakıtının değişik avanslardaki egzoz emisyonlarına etkileri verilmiştir. Şekil 4.51 ve Şekil 4.55 aralığında CO, CO₂, HC, NO_x ve λ'ya ait grafik eğrileri verilmiştir. Çizelge 4.13'de ise orijinal avans değerine göre diğer avansların egzoz emisyonlarının karşılaştırılmaları verilmiştir.



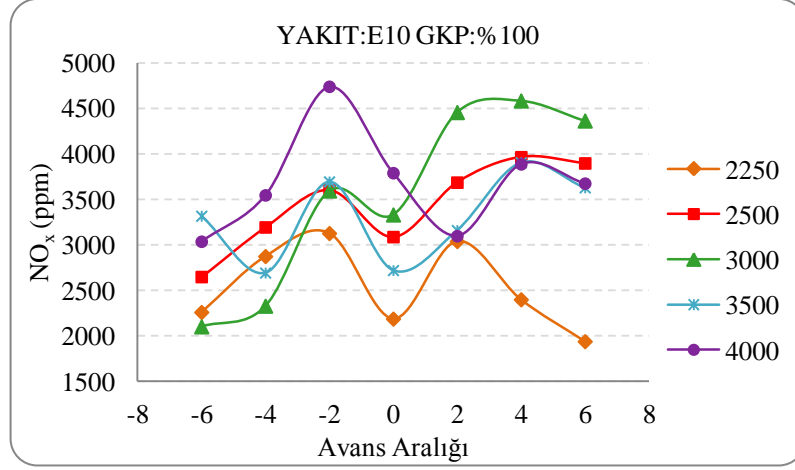
Şekil 4.51. E10 yakıtının değişik avanslardaki CO emisyonu eğrileri



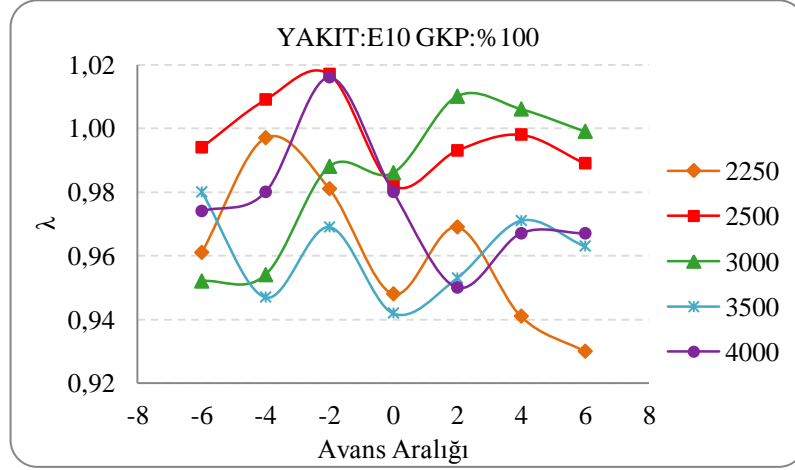
Şekil 4.52. E10 yakıtının değişik avanslardaki CO₂ emisyonu eğrileri



Şekil 4.53. E10 yakıtının değişik avanslardaki HC emisyonu eğrileri



Şekil 4.54. E10 yakıtının değişik avanslardaki NO_x emisyonu eğrileri



Şekil 4.55. E10 yakıtının değişik avanslardaki λ eğrileri

Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi emisyonlarda belirleyici λ değerleridir. Bu doğrultuda $\lambda > 1$ olduğunda CO emisyonları azalmış, $\lambda < 1$ olduğunda ise CO emisyonları artmıştır. CO₂ emisyonları ise CO emisyonlarının artışıyla azalmış, CO emisyonlarının azalmasıyla artmıştır. E10 yakıtı için avans açısının değişiminin CO ve CO₂ emisyonlarına fazla bir etkisi olmamıştır.

Şekil 4.51’de CO emisyonları bakımından en düşük değerler (+2) ve (+4) avanslarda, 3000 d/d’da alındığı görülmektedir. CO emisyonlarında λ değeri 1’e yaklaştıkça düşüş elde edilmiştir. CO₂ emisyonlarında ise Şekil 4.52’de görüldüğü gibi CO

emisyollarının tam tersi söz konusudur. 2500 d/d'da bütün avans değerlerinde hemen hemen aynı sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.13. E10 yakıtında egzoz emisyonu değerlerinin orijinal avansa göre karşılaştırılması

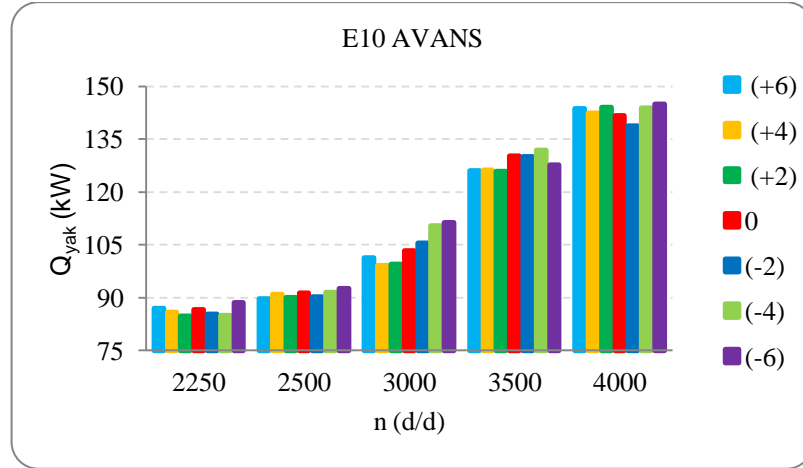
| Yakıt Türü | n (d/d) | CO (%) | CO ₂ (%) | HC (%) | NO _x (%) | λ (%) |
|------------|---------|--------|---------------------|--------|---------------------|-------|
| (-6) | 2250 | -22,61 | 0,96 | -27,89 | 3,34 | 1,37 |
| | 2500 | -29,81 | 0,07 | -43,86 | -14,22 | 1,22 |
| | 3000 | 171,23 | -3,86 | -18,63 | -36,91 | -3,45 |
| | 3500 | -60,68 | 4,23 | -45,00 | 21,96 | 4,03 |
| | 4000 | 26,07 | -1,70 | -40,19 | -19,87 | -0,61 |
| (-4) | 2250 | -76,99 | 3,97 | -42,18 | 31,43 | 5,17 |
| | 2500 | -52,61 | 0,00 | -53,51 | 3,43 | 2,75 |
| | 3000 | 166,20 | -4,21 | -17,65 | -30,09 | -3,25 |
| | 3500 | -8,52 | 0,37 | -33,57 | -0,99 | 0,53 |
| | 4000 | -1,96 | -0,92 | -36,45 | -6,44 | 0,00 |
| (-2) | 2250 | -57,07 | 3,02 | -21,77 | 43,00 | 3,48 |
| | 2500 | -66,41 | 0,14 | -27,19 | 16,62 | 3,56 |
| | 3000 | -17,16 | -0,35 | -12,75 | 7,90 | 0,20 |
| | 3500 | -44,97 | 3,12 | -24,29 | 35,82 | 2,87 |
| | 4000 | -69,89 | -0,07 | -36,45 | 25,05 | 3,67 |
| (+2) | 2250 | -33,31 | 2,58 | 0,00 | 38,98 | 2,22 |
| | 2500 | -17,13 | 0,00 | 3,51 | 19,37 | 1,12 |
| | 3000 | -63,60 | 0,14 | -11,76 | 33,78 | 2,43 |
| | 3500 | -18,89 | 1,78 | -2,86 | 16,18 | 1,17 |
| | 4000 | 108,32 | -3,12 | 25,23 | -18,26 | -3,06 |
| (+4) | 2250 | 17,86 | -1,62 | 18,37 | 9,70 | -0,74 |
| | 2500 | -36,15 | 0,00 | 44,74 | 28,41 | 1,63 |
| | 3000 | -59,10 | -0,49 | 39,22 | 37,60 | 2,03 |
| | 3500 | -45,59 | 3,12 | 6,43 | 43,58 | 3,08 |
| | 4000 | 42,59 | -1,77 | 25,23 | 2,56 | -1,33 |
| (+6) | 2250 | 39,10 | -3,16 | 30,61 | -11,34 | -1,90 |
| | 2500 | -16,57 | 0,00 | 36,84 | 26,21 | 0,71 |
| | 3000 | -40,38 | -0,07 | 29,41 | 30,99 | 1,32 |
| | 3500 | -33,88 | 2,82 | 7,14 | 33,43 | 2,23 |
| | 4000 | 45,04 | -1,42 | 50,47 | -3,04 | -1,33 |

HC emisyonlarında ise E10 yakıtına (+) yönde avans verildikçe artış, (-) yönde avans verildikçe de azalma görülmüştür (Şekil 4.53). (+) avans açılarında yanmanın daha erken tamamlanması nedeniyle yanma odasında alev tam olarak yayılınca ortaya çıkan azot veya yanmamış gazların h/y karışımına karışmasının etkili olduğu söylenebilir.

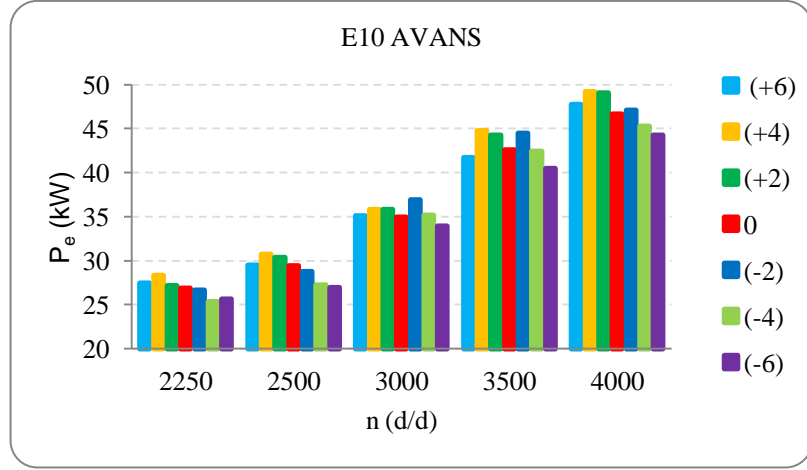
HC emisyonlarında en yüksek değerler 2250 d/d'da elde edilmiştir. Burada düşük devirlerde yanmanın iyi olmadığı dolayısıyla verimli bir yanma sıcaklığı elde edilemediği sonucunu çıkarabiliriz. (+) avanslara gidildikçe HC emisyonları artmıştır. Silindir içi sıcaklığın (+) avanslar yönünde yükselmesi genel olarak NO_x emisyonlarını da yükseltmiştir (Şekil 4.54). En yüksek NO_x emisyon değeri 4000 d/d'da (-2) avansta elde edilmiştir. En düşük değeri ise 2250 d/d'da (+6) avansta elde edilmiştir.

4.2.3. E10 yakıtındaki avans değişimlerinin enerjiler yönünden incelenmesi

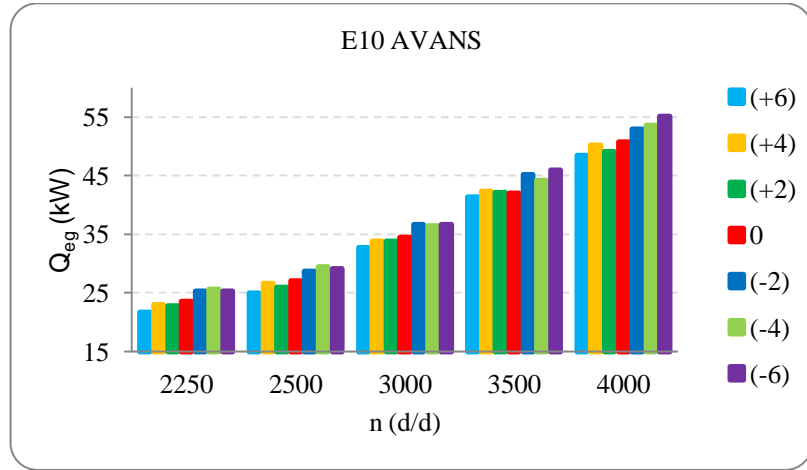
E10 yakıtında değişik avans açılarının enerjiler yönünden incelenmesi yapılmıştır. Alınan sonuçlar Şekil 4.56 ve Şekil 4.60 aralığında gösterilmiş olup, Çizelge 4.14'de ise orijinal avans açısına göre karşılaştırmaları yapılmıştır.



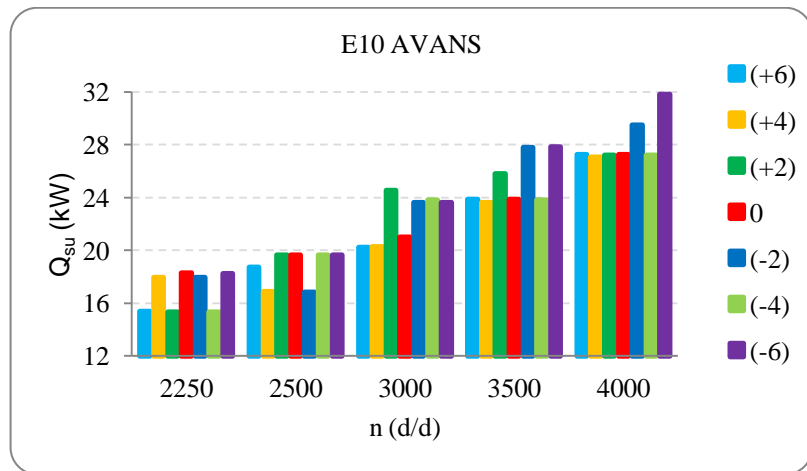
Şekil 4.56. E10 yakıtında değişik avans açılarının motora verilen enerjilerin grafiği



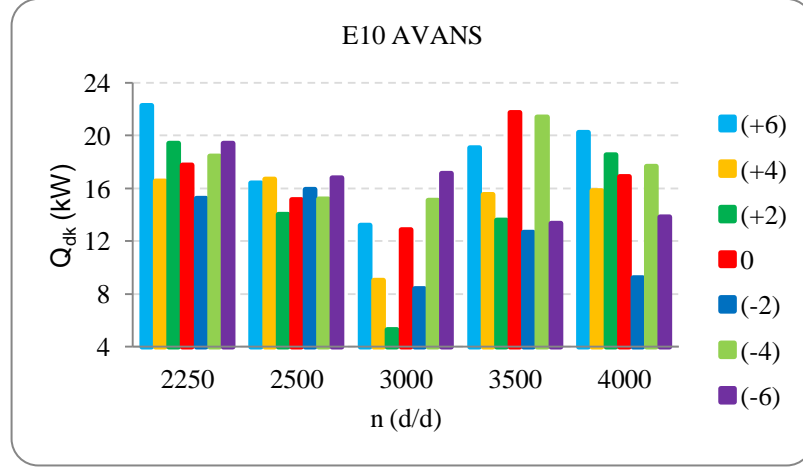
Şekil 4.57. E10 yakıtında değişik avans açılarının motordan alınan enerjilerin grafiği



Şekil 4.58. E10 yakıtında değişik avans açılarının egzozu verilen enerjilerin grafiği



Şekil 4.59. E10 yakıtında değişik avans açılarının suya verilen enerjilerin grafiği



Şekil 4.60. E10 yakıtında değişik avans açılarının diğer kayıp enerjilerin grafiği

Şekil 4.56'ya bakıldığında aynı yakıt kullanılmasına rağmen motora verilen enerjilerin farklı olduğu görülmektedir. Devir artışıyla tüm avans değerlerinde motora verilen enerji değeri de artmıştır. Burada λ 'nın almış olduğu değerlerin düşmesiyle yakıt tüketim miktarının yükseldiği söylenebilir. Yani λ değerleri motora verilen enerjileri belirlemiştir. Şekil 4.57'ye bakıldığında ise motora verilen enerjilerle orantılı bir efektif enerji alınamamıştır. (+) avanslar yönünde daha yüksek enerji değerleri alınmıştır. Genel itibariyle en iyi sonuçları öncelikle (+4) avans açısı, sonra ise (+2) avans açısı vermiştir.

Doğal olarak bir kayıp söz konusudur ve bu kayıplar soğutma suyu ile egzoz verilecek ve diğer kayıp enerjilerden kaynaklanmaktadır. (-) avans açısı değerlerinde yanmanın silindir içinde geç tamamlanması ve genişlemenin egzoz supapının açılmasına kadar devam etmesi alınan ısı değeri düşürecektir.

Şekil 4.58'de görüldüğü gibi (-) avans açısı değerlerine doğru egzoz verilecek enerji değeri yükselirken, (+) avans açısı değerlerine doğru ise egzoz verilecek enerji değerleri düşmektedir. Soğutma suyuna verilen enerji yönünden ise genel olarak yakın değerlerde enerji kaybı oluşmuştur (Şekil 4.59). Ancak yanma performansına bağlı olarak değişerek genel itibariyle (-) avans açısı değerleri yönünde daha fazla enerji soğutma suyuna verilmiştir.

Çizelge 4.14. E10 yakıtında farklı avans açılarının orijinal avans açısına göre enerji değerlerinin karşılaştırılması

| Yakıt Türü | n (d/d) | $\dot{Q}_{yak} (\%)$ | $P_e (\%)$ | $\dot{Q}_{eg} (\%)$ | $\dot{Q}_{su} (\%)$ | $\dot{Q}_{dk} (\%)$ |
|------------|---------|----------------------|------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| (-6) | 2250 | 2,40 | -4,68 | 7,18 | -0,08 | 9,32 |
| | 2500 | 1,37 | -8,34 | 7,67 | 0,00 | 10,76 |
| | 3000 | 7,75 | -3,06 | 6,39 | 12,42 | 33,12 |
| | 3500 | -2,06 | -4,94 | 9,23 | 16,67 | -38,75 |
| | 4000 | 2,43 | -5,10 | 8,56 | 16,57 | -18,06 |
| (-4) | 2250 | -1,97 | -5,73 | 8,68 | -15,95 | 3,95 |
| | 2500 | 0,35 | -7,47 | 9,06 | 0,07 | 0,38 |
| | 3000 | 6,90 | 0,54 | 5,68 | 13,21 | 17,19 |
| | 3500 | 1,19 | -0,33 | 5,06 | -0,23 | -1,76 |
| | 4000 | 1,58 | -2,96 | 5,66 | -0,23 | 4,73 |
| (-2) | 2250 | -1,54 | -0,90 | 7,32 | -1,72 | -14,11 |
| | 2500 | -1,16 | -2,24 | 6,08 | -14,29 | 5,03 |
| | 3000 | 2,18 | 5,61 | 6,32 | 12,35 | -34,85 |
| | 3500 | -0,17 | 4,30 | 7,36 | 16,57 | -41,83 |
| | 4000 | -1,97 | 0,96 | 4,34 | 8,16 | -45,39 |
| (+2) | 2250 | -2,13 | 0,93 | -3,46 | -15,95 | 9,23 |
| | 2500 | -1,39 | 3,21 | -4,00 | 0,07 | -7,56 |
| | 3000 | -3,78 | 2,46 | -1,94 | 16,67 | -59,06 |
| | 3500 | -3,41 | 3,94 | 0,28 | 8,18 | -37,62 |
| | 4000 | 1,67 | 5,14 | -3,21 | -0,31 | 9,94 |
| (+4) | 2250 | -0,83 | 5,39 | -2,69 | -1,72 | -6,86 |
| | 2500 | -0,35 | 4,61 | -1,64 | -14,16 | 10,24 |
| | 3000 | -4,15 | 2,51 | -1,67 | -3,56 | -29,85 |
| | 3500 | -3,09 | 5,14 | 0,67 | -1,04 | -28,74 |
| | 4000 | 0,55 | 5,53 | -1,02 | -0,80 | -6,30 |
| (+6) | 2250 | 0,34 | 2,12 | -8,14 | -15,88 | 25,61 |
| | 2500 | -1,73 | 0,24 | -7,34 | -4,60 | 8,16 |
| | 3000 | -1,96 | 0,38 | -4,94 | -3,70 | 2,52 |
| | 3500 | -3,33 | -2,19 | -1,73 | 0,00 | -12,30 |
| | 4000 | 1,48 | 2,30 | -4,50 | -0,08 | 19,73 |

Efektif verimler bakımından 3500 d/d'da bir karşılaştırma yapacak olursak;

$$\text{E10 yakıtı için (-4) avans değerinde; } \eta_e = \frac{P_e}{\dot{Q}_{yak}} = \frac{42,481}{131,845} = 0,322$$

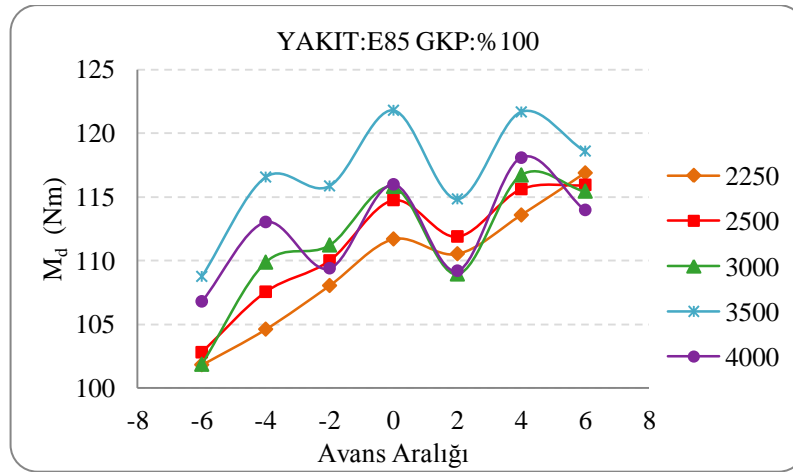
$$\text{E10 yakıtı için (0) avans değerinde; } \eta_e = \frac{P_e}{\dot{Q}_{yak}} = \frac{42,621}{130,295} = 0,327$$

E10 yakıtı için (+4) avans değerinde; $\eta_e = \frac{P_e}{\dot{Q}_{yak}} = \frac{44,811}{126,267} = 0,355$ değerlerini elde ederiz.

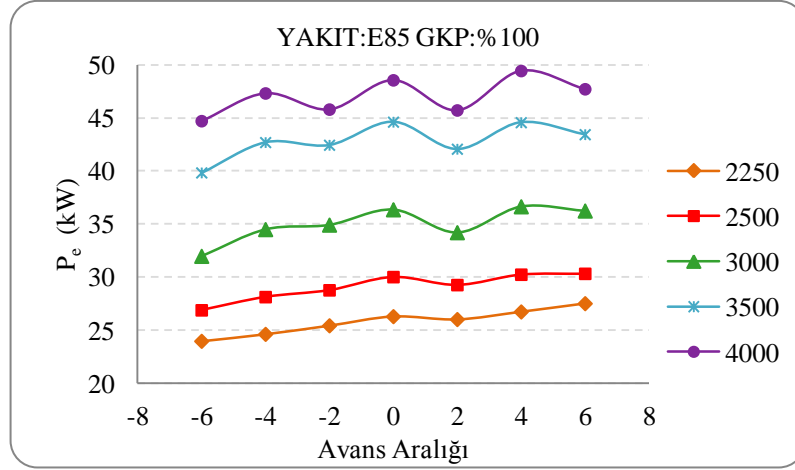
Buradan hareketle (+4) avans değeri için motora vermiş olduğu yakıt enerjisi daha düşük değerde olmasına rağmen motordan alınan güç değerinin daha yüksek değerde olması, efektif verim değerini diğer avans değerlerinden daha yüksek çıkmasını sağlamıştır.

4.2.4. E85 yakıtının değişik avans değerlerinde performansa etkilerinin incelenmesi

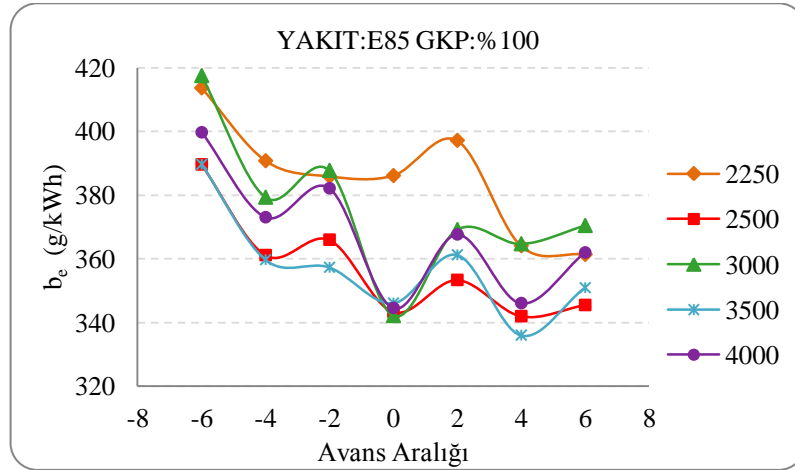
Deneyimizin bu aşamasında %100 GKP'da, E85 yakıtının değişik avanslardaki döndürme momenti, efektif güç, özgül yakıt tüketimi, volumetrik verim ve efektif verim gibi performans kriterleri incelenmiştir. Yapılan bu çalışmalar Şekil 4.61 ve Şekil 4.65 aralığında gösterilmiştir. Çizelge 4.15'de ise orijinal avans değerine göre diğer avansların performans değerlerinin karşılaştırılmaları verilmiştir.



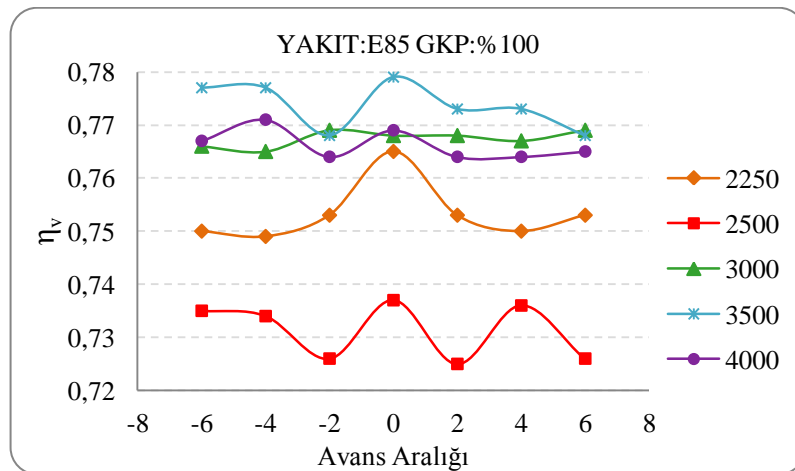
Şekil 4.61. E85 yakıtının değişik avanslardaki döndürme momenti eğrileri



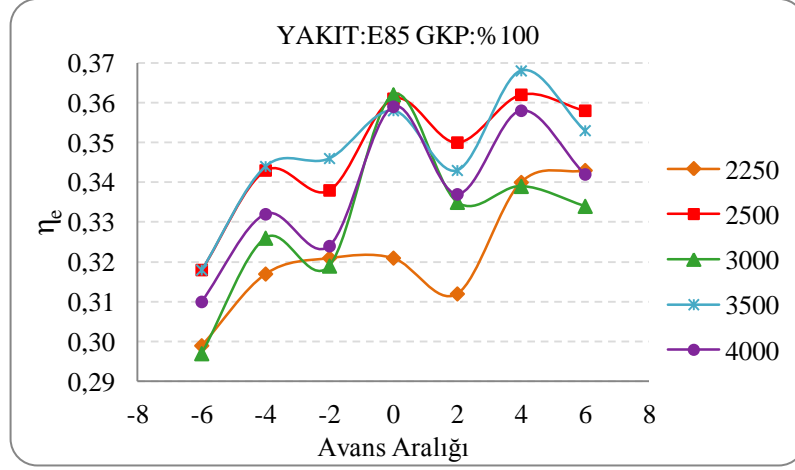
Şekil 4.62. E85 yakıtının değişik avanslardaki efektif güç eğrileri



Şekil 4.63. E85 yakıtının değişik avanslardaki özgül yakıt tüketimi eğrileri



Şekil 4.64. E85 yakıtının değişik avanslardaki volumetrik verim eğrileri



Şekil 4.65. E85 yakıtının değişik avanslardaki efektif verim eğrileri

E10 yakıtında olduğu gibi E85 yakıtında da benzer değerlendirmeler yapılabilir. Şekil 4.61’de görüldüğü gibi en yüksek döndürme momenti değerleri bütün avanslarda 3500 d/d’da elde edilmiştir. Yine bu devirde en yüksek değerleri orijinal avans ve (+4) avanslar vermiştir.

Devir sayısının artmasıyla efektif güç değerleri de artmıştır (Şekil 4.62). Efektif güç açısından en iyi sonuçlar (+4) avansla elde edilmiştir. Efektif özgül yakıt tüketiminde λ değerleri yine belirleyici rol oynamıştır ve (+) avanslara gidildikçe değerlerde düşüşler görülmektedir (Şekil 4.63). (+2) avans açısı değerinde (+) avans açısı değerlerindeki performans yükselmesinin aksine düşüş görülmektedir.

Volumetrik verim değerleri E10 yakıtında da olduğu gibi belirgin bir yön izlememiştir (Şekil 4.64). λ değerlerinin düşük olduğu durumlarda yakıtın soğutucu etkisiyle daha fazla dolgu girişi sağlamıştır. En yüksek volumetrik verim değerleri bütün avanslar için 3500 d/d’da, en düşük değerler ise 2500 d/d’da elde edilmiştir.

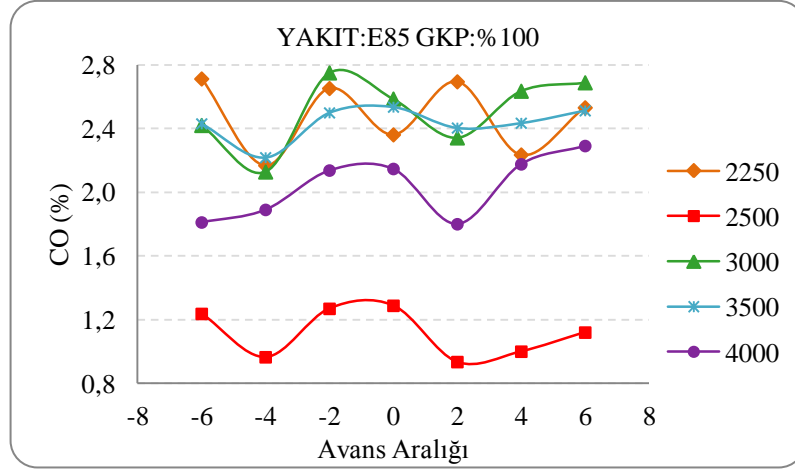
Efektif verimde ise Şekil 4.65’te en yüksek değerleri orijinal avans ve (+4) avanslar verdiği görülmektedir. Genel olarak (+) avanslara gidildikçe efektif verim değerleri de artmıştır. Motora verilen enerjilerin birbirine yakın olması nedeniyle formülünde bulunan ısı değerinin çok fazla bir önemi kalmayacaktır ($\eta_e=1/b_e$).

Çizelge 4.15. E85 yakıtında performans değerlerinin orijinal avansa göre karşılaştırılması

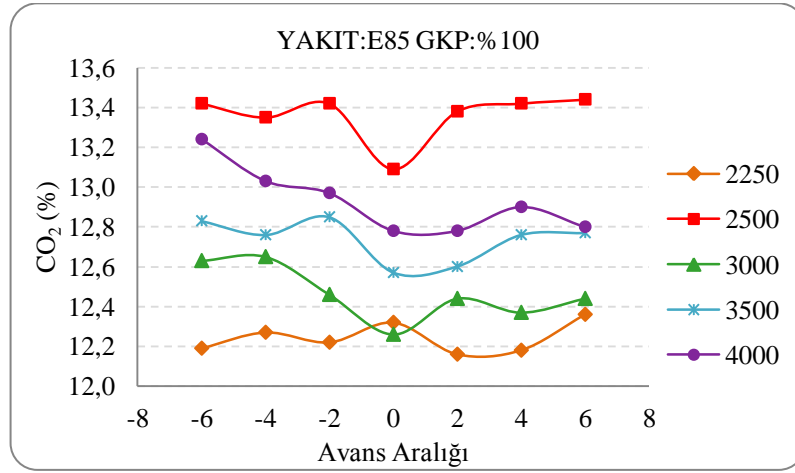
| Yakıt Türü | n (d/d) | P _e (%) | b _e (%) | η _v (%) | η _e (%) |
|------------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| (-6) | 2250 | -8,84 | 7,13 | -1,87 | -6,65 |
| | 2500 | -10,41 | 13,49 | -0,17 | -11,89 |
| | 3000 | -12,05 | 22,02 | -0,21 | -18,04 |
| | 3500 | -10,70 | 12,59 | -0,24 | -11,18 |
| | 4000 | -7,92 | 16,00 | -0,31 | -13,79 |
| (-4) | 2250 | -6,34 | 1,21 | -2,01 | -1,19 |
| | 2500 | -6,28 | 5,20 | -0,31 | -4,94 |
| | 3000 | -5,13 | 10,86 | -0,31 | -9,80 |
| | 3500 | -4,30 | 3,94 | -0,28 | -3,79 |
| | 4000 | -2,54 | 8,26 | 0,21 | -7,63 |
| (-2) | 2250 | -3,27 | -0,06 | -1,56 | 0,06 |
| | 2500 | -4,14 | 6,60 | -1,44 | -6,20 |
| | 3000 | -3,97 | 13,32 | 0,10 | -11,76 |
| | 3500 | -4,87 | 3,24 | -1,47 | -3,14 |
| | 4000 | -5,67 | 10,90 | -0,74 | -9,83 |
| (+2) | 2250 | -1,04 | 2,86 | -1,53 | -2,78 |
| | 2500 | -2,50 | 2,93 | -1,51 | -2,84 |
| | 3000 | -5,93 | 7,89 | 0,00 | -7,31 |
| | 3500 | -5,71 | 4,38 | -0,79 | -4,20 |
| | 4000 | -5,84 | -0,74 | -0,74 | -6,28 |
| (+4) | 2250 | 1,68 | -1,87 | -1,87 | 6,05 |
| | 2500 | 0,75 | -0,10 | -0,10 | 0,39 |
| | 3000 | 0,78 | -0,07 | -0,07 | -6,18 |
| | 3500 | -0,10 | -0,82 | -0,82 | 3,00 |
| | 4000 | 1,81 | -0,70 | -0,70 | -0,44 |
| (+6) | 2250 | 4,64 | -1,56 | -1,56 | 6,85 |
| | 2500 | 1,03 | -1,40 | -1,40 | -0,63 |
| | 3000 | -0,32 | 0,10 | 0,10 | -7,63 |
| | 3500 | -2,63 | -1,40 | -1,40 | -1,38 |
| | 4000 | -1,73 | -0,60 | -0,60 | -4,81 |

4.2.5. E85 yakıtının değişik avans değerlerinde egzoz emisyonlarına etkilerinin incelenmesi

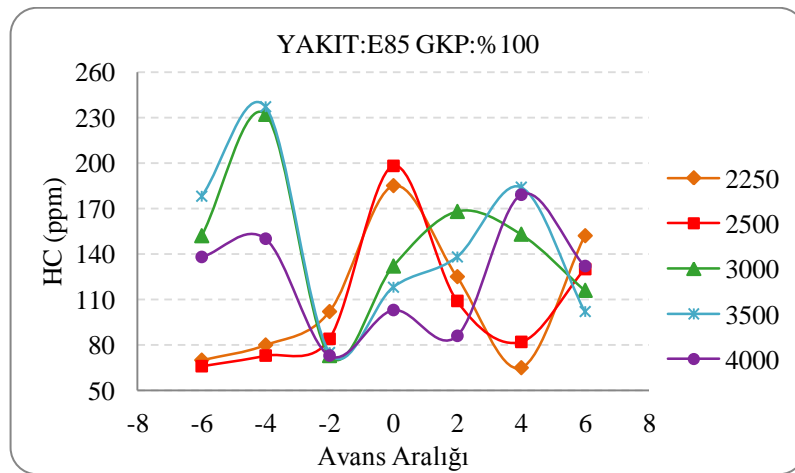
Bu bölümde %100 GKP'da, E85 yakıtının değişik avanslardaki egzoz emisyonlarına etkileri verilmiştir. Şekil 4.66 ve Şekil 4.70 aralığında CO, CO₂, HC, NO_x ve λ'ya ait grafik eğrileri verilmiştir. Çizelge 4.15'de ise orijinal avans değerine göre diğer avansların egzoz emisyonu değerlerinin karşılaştırılmaları verilmiştir.



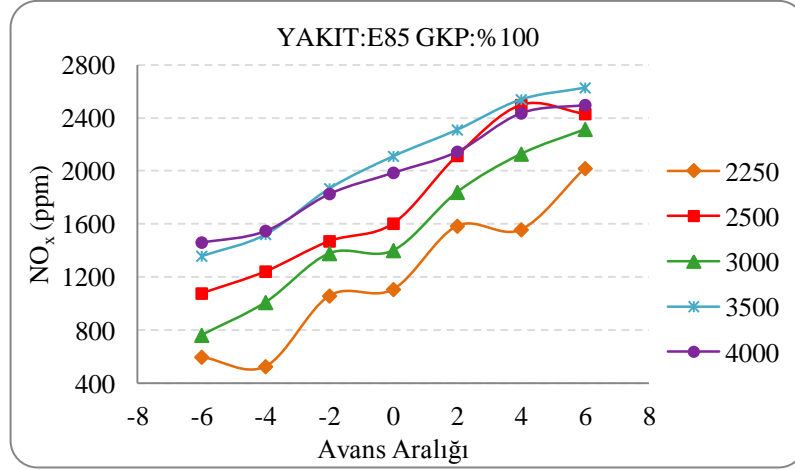
Şekil 4.66. E85 yakıtının değişik avanslardaki CO emisyonu eğrileri



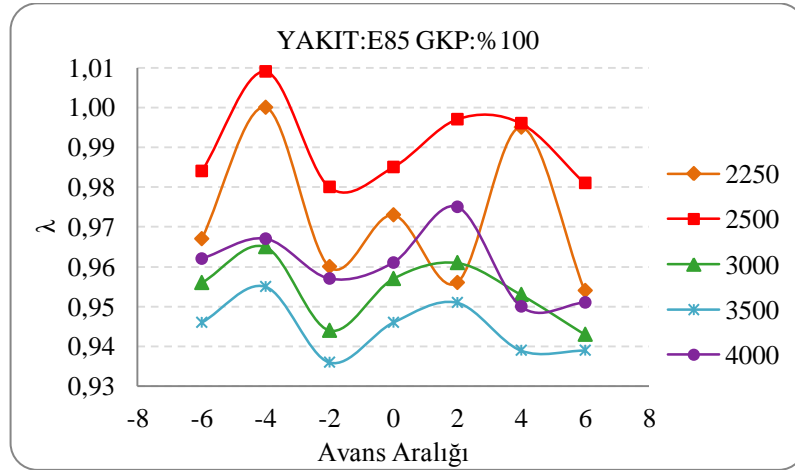
Şekil 4.67. E85 yakıtının değişik avanslardaki CO₂ emisyonu eğrileri



Şekil 4.68. E85 yakıtının değişik avanslardaki HC emisyonu eğrileri



Şekil 4.69. E85 yakıtının değişik avanslardaki NO_x emisyonu eğrileri



Şekil 4.70. E85 yakıtının değişik avanslardaki λ eğrileri

Genel itibariyle NO_x emisyonu hariç diğer emisyon değerlerinin avans açısı değerine bağlı net bir değişimi söz konusu değildir. Egzoz emisyonu değerlerinde E85 yakıtının daha fazla soğuma etkisi yapması ve yanmayı kötüleştirmesinin etkileri görülmektedir. E10 yakıtında olduğu gibi λ değerleri CO ve CO₂ değerlerinde belirleyici olamamıştır ancak etkisi olmuştur.

Şekil 4.66'da bakıldığında CO emisyonunun bütün avanslarda en düşük değerleri 2500 d/d'da, daha sonra 4000 d/d'da elde ettiği görülmektedir. En iyi CO emisyon değeri (+2) avansta 2500 d/d'da elde edilmiştir. CO₂ emisyonunu ise CO ve HC

emisyollarının durumu yani yanma performansı ile λ değerleri belirlemiştir. Şekil 4.67'de da grldği gibi en yüksek değerler 2500 d/d'da elde edilmiştir.

Çizelge 4.16. E85 yakıtında egzoz emisyonu değerlerinin orijinal avansa göre karşılaştırılması

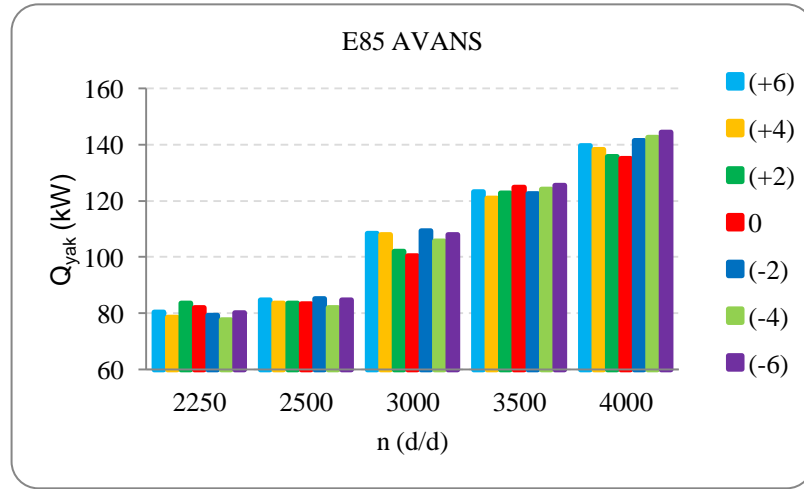
| Yakıt Tr | n (d/d) | CO (%) | CO ₂ (%) | HC (%) | NO _x (%) | λ (%) |
|------------|---------|--------|---------------------|--------|---------------------|---------------|
| (-6) | 2250 | 14,87 | -1,06 | -62,16 | -46,03 | -0,62 |
| | 2500 | -3,96 | 2,52 | -66,67 | -32,79 | -0,10 |
| | 3000 | -6,42 | 3,02 | 15,15 | -45,54 | -0,10 |
| | 3500 | -4,14 | 2,07 | 50,85 | -35,62 | 0,00 |
| | 4000 | -15,65 | 3,60 | 33,98 | -26,42 | 0,10 |
| (-4) | 2250 | -8,17 | -0,41 | -56,76 | -52,44 | 2,77 |
| | 2500 | -25,08 | 1,99 | -63,13 | -22,51 | 2,44 |
| | 3000 | -17,71 | 3,18 | 75,76 | -27,91 | 0,84 |
| | 3500 | -12,50 | 1,51 | 100,85 | -27,90 | 0,95 |
| | 4000 | -11,97 | 1,96 | 45,63 | -22,04 | 0,62 |
| (-2) | 2250 | 12,33 | -0,81 | -44,86 | -4,42 | -1,34 |
| | 2500 | -1,48 | 2,52 | -57,58 | -8,29 | -0,51 |
| | 3000 | 6,34 | 1,63 | -44,70 | -1,57 | -1,36 |
| | 3500 | -1,42 | 2,23 | -36,44 | -11,51 | -1,06 |
| | 4000 | -0,47 | 1,49 | -29,13 | -8,00 | -0,42 |
| (+2) | 2250 | 14,10 | -1,30 | -32,43 | 43,05 | -1,75 |
| | 2500 | -27,41 | 2,22 | -44,95 | 31,86 | 1,22 |
| | 3000 | -9,44 | 1,47 | 27,27 | 31,33 | 0,42 |
| | 3500 | -5,17 | 0,24 | 16,95 | 9,43 | 0,53 |
| | 4000 | -16,16 | 0,00 | -16,50 | 7,95 | 1,46 |
| (+4) | 2250 | -5,34 | -1,14 | -64,86 | 40,61 | 2,26 |
| | 2500 | -22,36 | 2,52 | -58,59 | 55,67 | 1,12 |
| | 3000 | 1,89 | 0,90 | 15,91 | 51,89 | -0,42 |
| | 3500 | -3,98 | 1,51 | 55,93 | 20,23 | -0,74 |
| | 4000 | 1,35 | 0,94 | 73,79 | 22,55 | -1,14 |
| (+6) | 2250 | 7,20 | 0,32 | -17,84 | 82,22 | -1,95 |
| | 2500 | -13,04 | 2,67 | -34,34 | 51,50 | -0,41 |
| | 3000 | 3,94 | 1,47 | -12,12 | 65,17 | -1,46 |
| | 3500 | -0,91 | 1,59 | -13,56 | 24,44 | -0,74 |
| | 4000 | 6,71 | 0,16 | 28,16 | 25,67 | -1,04 |

E85 yakıtında avans açısıyla HC emisyonları bakımından pek farklılık görülmemiştir (Şekil 4.68). HC emisyonunda en yüksek emisyon değerlerini 3000 d/d ve 3500 d/d'larda (+4) avans vermiştir. En düşük HC emisyon değerini ise 2500 d/d'da (-6) avans vermiştir.

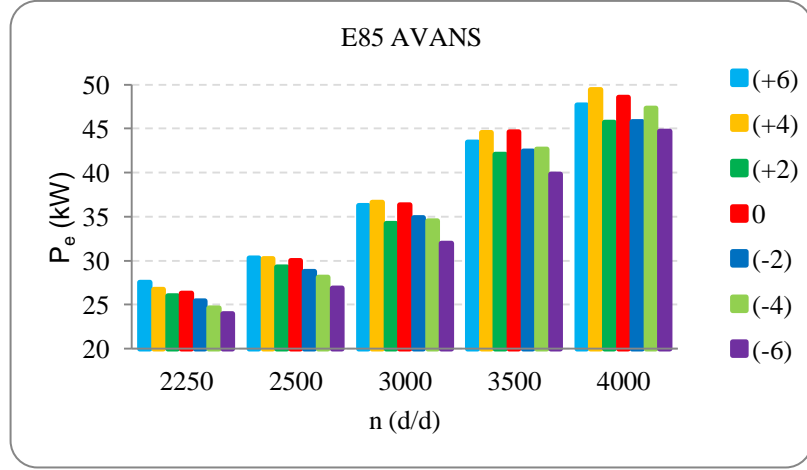
Şekil 4.69’da da görüldüğü üzere (+) avanslar yönünde yanmanın silindir içinde erken tamamlanmasından kaynaklanan artan sıcaklık değeri, NO_x emisyon değerlerini de artırmıştır. (-) avans yönünde ise yanmanın geç tamamlanarak genişlemenin egzoz supabının açılma açılara yakın açılara kadar devam ettiğinden silindir içi sıcaklığı düşmüş ve NO_x emisyonlarını da düşürmüştür. Şekil 4.73’e bakıldığında (-) avanslar yönünde egzoz sıcaklığının yükselmesinden kaynaklanan egzoz verilen enerji değerleri yükselmektedir. NO_x emisyonlarında (+) avanslara gidildikçe artışlar görülmüştür. En düşük NO_x emisyon değerleri bütün avanslar için 2250 d/d’da elde edilmiştir. En düşük NO_x emisyon değeri 2250 d/d’da (-4) avansta elde edilmiştir. En yüksek değeri ise 3500 d/d’da (+6) avansla elde edilmiştir.

4.2.6. E85 yakıtındaki avans değişiminin enerjiler yönünden incelenmesi

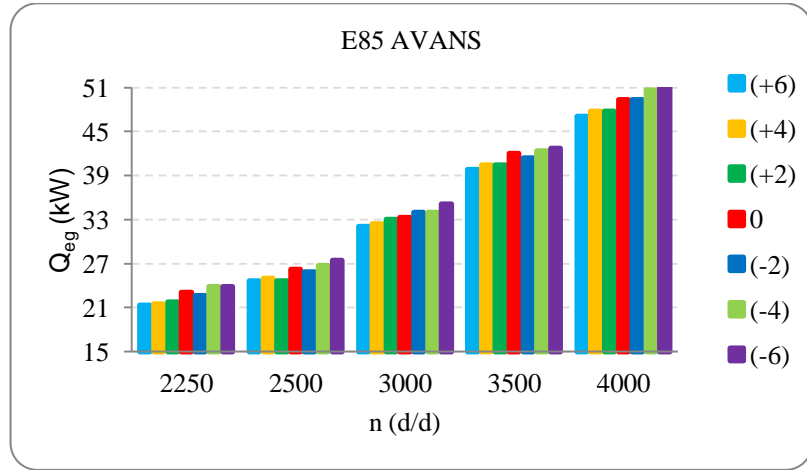
E85 yakıtında değişik avans açılarının enerjiler yönünden incelenmesi yapılmıştır. Alınan sonuçlar Şekil 4.71 ve Şekil 4.75 aralığında gösterilmiş olup, Çizelge 4.17’de ise orijinal avans açısına göre karşılaştırmaları yapılmıştır.



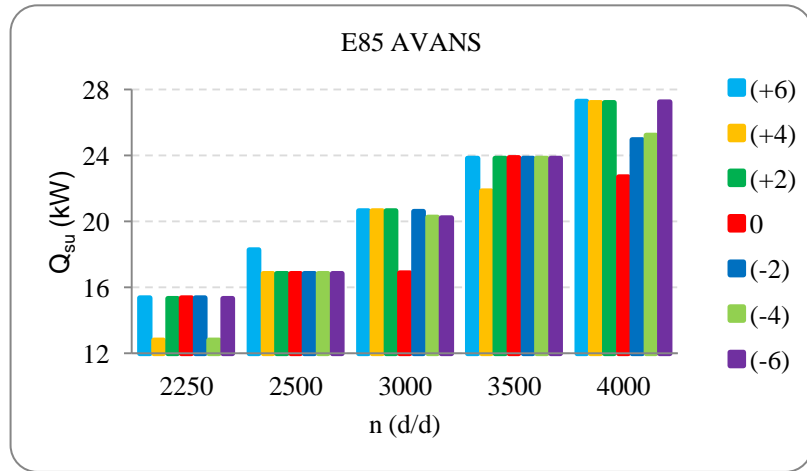
Şekil 4.71. E85 yakıtında değişik avans açılarının motora verilen enerjinin grafiği



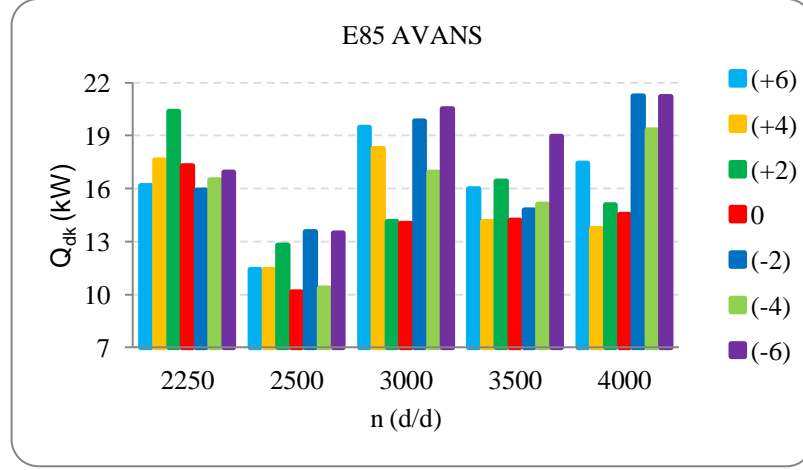
Şekil 4.72. E85 yakıtında değişik avans açılarının motordan alınan enerjinin grafiği



Şekil 4.73. E85 yakıtında değişik avans açılarının egzozu verilen enerjinin grafiği



Şekil 4.74. E85 yakıtında değişik avans açılarının suya verilen enerjinin grafiği



Şekil 4.75. E85 yakıtında değişik avans açılarının diğer kayıp enerjilerin grafiği

Çizelge 4.17. E85 yakıtında farklı avans açılarının orijinal avans açısına göre enerji değerlerinin karşılaştırılması

| Yakıt Türü | n (d/d) | \dot{Q}_{yak} (%) | P_e (%) | \dot{Q}_{eg} (%) | \dot{Q}_{su} (%) | \dot{Q}_{dk} (%) |
|------------|---------|---------------------|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| (-6) | 2250 | -2,34 | -8,84 | 3,31 | -0,08 | -2,01 |
| | 2500 | 1,67 | -10,41 | 4,42 | 0,15 | 32,83 |
| | 3000 | 7,31 | -12,05 | 5,61 | 20,00 | 46,31 |
| | 3500 | 0,54 | -10,70 | 1,75 | -0,08 | 33,24 |
| | 4000 | 6,82 | -7,92 | 3,77 | 20,00 | 45,77 |
| (-4) | 2250 | -5,21 | -6,34 | 3,15 | -16,67 | -4,49 |
| | 2500 | -1,41 | -6,28 | 1,83 | 0,00 | 2,28 |
| | 3000 | 5,17 | -5,13 | 2,30 | 20,17 | 20,68 |
| | 3500 | -0,53 | -4,30 | 0,92 | -0,08 | 6,22 |
| | 4000 | 5,51 | -2,54 | 2,72 | 11,16 | 33,01 |
| (-2) | 2250 | -3,34 | -3,27 | -2,15 | 0,00 | -7,98 |
| | 2500 | 2,19 | -4,14 | -1,36 | 0,00 | 33,73 |
| | 3000 | 8,83 | -3,97 | 2,27 | 22,29 | 41,37 |
| | 3500 | -1,79 | -4,87 | -1,44 | -0,08 | 4,00 |
| | 4000 | 4,61 | -5,67 | 0,01 | 10,00 | 46,15 |
| (+2) | 2250 | 1,79 | -1,04 | -5,87 | -0,08 | 18,01 |
| | 2500 | 0,36 | -2,50 | -6,19 | 0,08 | 26,22 |
| | 3000 | 1,49 | -5,93 | -0,75 | 22,46 | 0,84 |
| | 3500 | -1,58 | -5,71 | -3,73 | -0,15 | 15,32 |
| | 4000 | 0,47 | -5,84 | -3,24 | 19,92 | 3,75 |
| (+4) | 2250 | -4,12 | 1,68 | -6,92 | -16,67 | 1,94 |
| | 2500 | 0,36 | 0,75 | -4,69 | 0,15 | 12,61 |
| | 3000 | 7,41 | 0,78 | -2,58 | 22,38 | 30,34 |
| | 3500 | -3,01 | -0,10 | -3,83 | -8,41 | -0,67 |
| | 4000 | 2,25 | 1,81 | -3,12 | 19,92 | -5,59 |
| (+6) | 2250 | -2,07 | 4,64 | -7,83 | 0,00 | -6,42 |
| | 2500 | 1,67 | 1,03 | -6,17 | 8,49 | 12,55 |
| | 3000 | 7,91 | -0,32 | -3,47 | 22,38 | 38,88 |
| | 3500 | -1,27 | -2,63 | -5,16 | -0,08 | 12,50 |
| | 4000 | 3,23 | -1,73 | -4,56 | 20,10 | 19,93 |

Silindir içine verilen enerjiler bakımından Şekil 4.71'e bakıldığında hemen hemen aynı değerler olduğu görülmektedir. Alınan efektif enerjiler yönünden bakıldığında ise (+) avans açısı değerlerine doğru bir artış söz konusudur (Şekil 4.72).

Şekil 4.73'de görüldüğü gibi (-) avans açıları yönünde yanmanın geç tamamlanması dolayısıyla genleşmenin giderek egzoz supabının açılmasına yakın tamamlanmasından kaynaklanan egzozaya verilen enerji değerlerinde yükselmeler görülmektedir. Diğer taraftan (+) avans açısı değerlerine gidildikçe ise yanmanın (-) avans açılarına göre erken tamamlanmasından dolayı egzozaya verilen enerji değerlerinde düşmeler görülmektedir. Soğutma suyuna verilen enerjilerde ise avans açısına bağlı net bir sonuç görülmemektedir (Şekil 4.74).

Efektif verimler bakımından 3500 d/d'da bir karşılaştırma yapacak olursak;

$$\text{E85 yakıtı için (-4) avans değerinde; } \eta_e = \frac{P_e}{\dot{Q}_{yak}} = \frac{42,69}{124,053} = 0,344$$

$$\text{E85 yakıtı için (0) avans değerinde; } \eta_e = \frac{P_e}{\dot{Q}_{yak}} = \frac{44,61}{124,717} = 0,358$$

$$\text{E85 yakıtı için (+4) avans değerinde; } \eta_e = \frac{P_e}{\dot{Q}_{yak}} = \frac{44,56}{120,961} = 0,368 \text{ değerlerini elde ederiz.}$$

Elde edilen efektif verim değerlerine bakıldığında (+4) avans açısı değerinin yüksek olduğunu görürüz. Burada orijinal avans değerinden elde etmiş olduğumuz güç değeri (+4) avans açısının değerinden yüksek olmasına karşın motora (+4) avans açısından daha fazla yakıt enerjisi göndermesi efektif veriminin düşmesine neden olmuştur. Diğer taraftan (-4) avans açısı motora (+4) avans açısından daha fazla yakıt enerjisi göndermesine rağmen elde etmiş olduğu güç değerinin düşük olması nedeniyle efektif verimi (+4) avans açısı değerinden daha düşük değerde çıkmıştır.

5. SONUÇ

Deneysel çalışmalarımızın ilk bölümünde değişik oranlarda benzine etanol ilavesinin, ikinci bölümünde ise farklı avans açılarının E10 ve E85 yakıtlarına performans ve emisyonlar açısından durumları incelenmiştir. Yapılan bu deneylerde $\lambda=1$ civarında tutulmaya gayret edilmiştir.

Benzine etanol ilavesiyle elde edilen yakıtlarla yapılan deneyler incelendiğinde performans ve egzoz emisyonları bakımından olumlu sonuçlar alındığı görülmüştür. Bizim yapmış olduğumuz çalışmalarda da bu yönde tespitler ortaya çıkmıştır.

5.1. Değişik Yakıt Oranları ile Yapılan Deneylerin Değerlendirmeleri

5.1.1. Performans yönünden değerlendirilmesi

Silindir içindeki karışımın türbülans hareketi, alevin sönmesi, seyrelmesi ve ısı kaybı yanma sürecinde daha baskındır. Bu etkenlerin yanında, etanol konsantrasyonunun artmasıyla, laminar alev hızının artmasının etkisi önemsiz kalır (Cooney 2009).

Yakıttaki etanol içeriğinin artmasına bağlı olarak oluşan soğuma etkisi, buhar miktarındaki artışın önüne geçerek güç ve moment artışını düşürür.

Karbüratör gaz kelebeği açıklığının az olduğu durumlarda (%25, %50 gibi), devir artışıyla gaz kelebeğinin altında basınç düşmesi olur. Bu durumda devir artışıyla moment değerlerinde de düşme görülür. Devir artışıyla %25 GKP'da güçte de düşüş görülürken, %50 GKP'da yükselişe geçer.

Etanol ilaveli yakıtlarda %25 GKP'da etanolün soğutucu etkisinden dolayı güç ve moment değerleri E0 yakıtına göre daha iyi çıkmıştır. Ancak %50 GKP'da bu etki yeterli miktarda Y-H karışımı göndermeye yetmez ve E0 yakıtına göre daha az güç ve moment değerleri verir.

%100 GKP'da ise her iki gaz kelebeği de tam açık olduğundan basınç düşüşü olmadan yeterli miktardaki Y-H karışımı sevk edilebilmektedir. Etanol ilavesinin etkileri burada

kendini göstermiştir. Yakıttaki etanol miktarının artışıyla güç ve moment değerleri bakımından artışlar görülmektedir.

Etanolün buharlaşma ısısının yüksekliğinden dolayı artan etanol miktarıyla volumetrik veriminde artırması gerekir. Bu özelliğin tek başına yeterli olmadığı deneysel çalışmamızın sonuçlarında ortaya çıkmıştır. Gaz kelebeğinin açısı, volumetrik verim oranında tüm yakıtlar için belirleyicidir. Artan gaz kelebeği açıklığıyla volumetrik verim miktarı da artar.

Etanolün ısı değerinin düşüklüğü nedeniyle $\lambda=1$ olabilmesi için etanol ilavesine bağlı olarak daha fazla miktarda yakıtın motora gönderilmesi gerekir. Gönderilen yakıtın hacminin büyüklüğü yeteri miktarda hava alınmasına imkan tanımaz ve bu durumda E0 yakıtına göre volumetrik verim artan etanol miktarıyla düşer.

Efektif verim açısından değerlendirilirse, çalışma koşullarından güç ve yakıt tüketiminin durumu efektif verimi tayin eder. Etanol ilavesiyle yakıtlarda güç artışına göre yakıt tüketimi fazla olsa da ısı değerindeki düşüşün fazlalığı nedeniyle efektif verimde artış görülür.

Efektif özgül yakıt tüketiminde yakıtların enerjileri önemli rol oynar. Etanolün ısı değerinin benzinden düşük olması, motorun $\lambda=1$ 'de çalışması durumunda yakıt içeriğindeki artan etanol miktarına bağlı olarak özgül yakıt tüketimlerinde artış gösterir.

5.1.2. Egzoz emisyonları yönünden değerlendirilmesi

Alkoller tek bir kaynama noktasına sahip olmaları nedeniyle, benzine göre çok daha iyi buharlaşmakta ve daha temiz yanmaktadır (Çelik ve Çolak 2008).

Etanolün benzine göre C/H oranının düşük olması ve yapısında daha az karbon (Benzin: C_7H_{14} , Etanol: C_2H_5OH) bulundurması nedeniyle CO, HC ve CO_2 emisyonlarının daha düşük değerler vermesini gerektirir. Ancak teorik hesaplamalarda aynı lamda değerinde C/H oranı kuru emisyonlar için eşit çıkmaktadır. Egzoz emisyon cihazları bize kuru emisyonların yüzdelerini verdiği için çıkan emisyonlarda su (H_2O) ve diğer sıvı emisyonlar (yanmamış yakıt gibi) hesaplamalara katılmaz. Bu durumda da karbon yüzdeleri eşit çıkar. Bütün emisyon değerlerinde etanollü yakıtların düşük emisyon

değeri vermesini λ değerinin yüksek oluşu ve ayrıca kuru egzoz emisyonlarının içeriğindeki yanmamış etanol, asetaldehit ve H₂O dışındaki emisyonların yüzdesindeki değişimin denklemde yer alması egzoz emisyon yüzdelelerini de düşürdüğü şeklinde izah edebiliriz.

Ayrıca oksijen içermesinden dolayı etanolün fakirleştirici etkisi olduğu (leaning effect) söylenir (Hsieh 2002) (Koç ve ark. 2009). Bu sebeple de etanol içeriğinin artışına bağlı olarak oksijen zenginleşen Y-H karışımı CO, HC ve NO_x emisyonlarını düşürür.

CO emisyonları esas olarak hava-yakıt oranına bağlıdır (Çelik 2008) (Wu ve ark. 2004). Deneysel elde ettiğimiz emisyon değerlerine baktığımızda, λ değerlerinin yükselmesi CO emisyon değerinde düşüşe neden olmaktadır. Etanol katkılı yakıtlarda E0 yakıtına göre hacimsel olarak %30 oranına kadar etanol ilavesi oran artışına bağlı olarak CO emisyon değerini düşürmüştür.

E85 yakıtında ise etanolün soğutucu etkisinin artması ve avans verilememesinden dolayı %25 ve %100 GKP'lerinde etanolü yakıtlara göre, %50 GKP'da ise tüm yakıtlara göre CO emisyon değeri yüksek çıkmıştır. %50 ve %100 GKP'lerinde 2000 d/d'da ise motorun $\lambda < 1$ 'de çalışmaya göre yapıldığından CO değerleri tüm yakıtlarda yüksek çıkmıştır.

Deney sonuçlarımızda, CO₂ emisyonunu λ ve CO emisyonunun durumları belirlemiştir. Etanolü yakıtların daha az karbon içermesi CO₂ emisyonunu E0 yakıtına göre daha düşük seviyelerde tutmuştur.

Benzin esaslı yakıtta buharlaşma ısısı yüksek olan etanol gibi bir yakıt ilave edilirse emme strokunun sonunda karışımın sıcaklığını düşürecek. Bunun sonucunda yanma sıcaklığı da düşecektir. Böylece NO_x emisyonları da düşecektir. Etanol-benzin karışımli yakıtlarda etanol içeriği arttıkça NO_x emisyon değeri azalır.

Bu doğrultuda yaptığımız deneylerdeki sonuçlarla birebir örtüşmektedir. Etanol içeriğinin artışına bağlı olarak NO_x emisyon değerleri azalmıştır.

5.2. Değişik Avans Açıları ile Yapılan Deneylerin Değerlendirmeleri

5.2.1. Performans yönünden değerlendirilmesi

Etanolün oktan sayısını artırıcı özelliğinden dolayı sıkıştırma oranını artırmaya ve avans açısı değerini yükseltilebilmeye imkan sağlar. Bu sayede yüksek silindir içi basıncı elde ederek, daha yüksek performans ve daha iyi emisyon değerleri elde edilebilmektedir. Sıkıştırma oranını değiştirmek tek tip bir yakıtı verimli kullanmaya olanak sağlayan değişikliktir. Avans açısının değişimi değişik şekillerde yapılabilen bir ayarlama işlemi olup, diğerine göre daha basittir.

E10 ve E85 yakıtlarıyla yapılan deneylerde orijinal avans değerine göre (+) ve (-) yönlerde avans verilmek suretiyle performans ve egzoz emisyonları açısından karşılaştırılmaları yapılmıştır.

Egzoz gazlarının sıcaklığı (+) avanslara gidildikçe düşerken, (-) avanslara gidildikçe yükselmektedir. Bu durum bize (+) yöndeki avanslara gidildikçe yanmanın daha erken tamamlandığını, bu sayede en yüksek güç ve moment değerleri elde edilebilmektedir. (-) yöndeki avanslara gidildikçe de yanmanın erken tamamlanamadığı ve genleşmenin giderek egzoz supapının açılmasına yakın tamamlanmasından kaynaklanan sıcaklık yükselmesi söz konusudur. Bu nedenle de silindir içi basıncını, güç ve moment değerlerini düşürmekte, daha kötü emisyon değerlerine sebebiyet vermektedir.

Silindir içindeki yanmanın (+) avanslarda (-) avanslara göre erken tamamlanmış olması, silindir iç cidarlarını, emme supaplarını ve emme manifoldunu sıcak tutacaktır. Böylelikle etanolün buharlaşma ısısının yüksekliğinden kaynaklanan soğuma etkisinin önüne geçilerek yakıtın daha homojen bir biçimde silindirlerde bulunmasını sağlayacaktır. Bu durum yanmayı iyileştireceğinden, performans ve emisyonları olumlu yönde etkileyecektir.

Efektif verim açısından karşılaştırma yapacak olursak, efektif özgül yakıt tüketiminin tam tersi durumdur. Çünkü aynı yakıt karşılaştırıldığı için formülünde bulunan ısı değerinin bir önemi kalmayacaktır. Yine de motora verilen yakıt enerjilerindeki küçük

farkların olması bu durumun değişmesinde fazla etkili olamayacaktır. Bu nedenle efektif verim (+) avanslarda yükselecektir.

5.2.2. Egzoz emisyonları yönünden değerlendirilmesi

Bilindiği zere CO emisyonlarında λ belirleyicidir. Avans vererek yapmış olduğumuz deneylerde CO emisyonlarını λ 'nın almış olduğu değerler tayin etmiştir. Bu doğrultuda $\lambda > 1$ olduğunda CO emisyonları azalmış, $\lambda < 1$ olduğunda ise CO emisyonları artmıştır. CO₂ emisyonları ise CO emisyonlarının artışıyla azalmış, CO emisyonlarının azalmasıyla artmıştır. Her iki yakıt (E10 ve E85) için de avans açısının değişiminin CO ve CO₂ emisyonlarına fazla bir etkisi olmamıştır.

HC emisyonlarında ise E10 yakıtına (+) yönde avans verildikçe artış, (-) yönde avans verildikçe de azalma grlmştir. (+) avans açılarında yanmanın daha erken tamamlanması nedeniyle yanma odasında alev tam olarak yayılınca ortaya çıkan azot veya yanmamış gazların h/y karışımına karışmasının etkili olduğu söylenebilir. E85 yakıtında avans açısıyla HC emisyonları bakımından pek farklılık görülmemiştir. Daha çok λ değerinin durumuyla artış veya azalma göstermiştir.

(+) avans açılarına gidildikçe yanmanın erken tamamlanmasından kaynaklanan sıcaklık yükselmesiyle NO_x emisyonlarında yükselme grlmştir. (-) avans açılarında ise yanma gecikerek genleşmenin egzoz supabının açılmasına yakın açılara kadar devam etmesi silindir içerisinde yüksek sıcaklık oluşmasına imkan tanımaz. Bu durum E85 yakıtında daha net bir şekilde görülmektedir.

E10 ve E85 yakıtlarına avanslar verilerek yapılan deneyler sonucunda (+) yönde verilen avansların P_e , M_d , η_e değerlerini artırdığı, b_e değerini ise dşrdğu tespit edilmiştir. E10 yakıtında HC emisyonlarını artırmıştır. E10 ve E85 yakıtlarının avans açılarının değişmesi η_v değerinde net bir değişikliğe neden olmamıştır. E85 yakıtında ise NO_x değerlerini yükseltmiştir. E10 yakıtı için en uygun avans açısı değeri (+4) ve bu değere çok yakın sonuçlar veren (+2) aı değerleridir. E85 yakıtında ise (+4) avans açı değeri en iyi sonuçları vermiştir.

5.3. Öneriler

Araç motorlarında fazla bir değişiklik yapılmadan E10 yakıtının kullanılması halinde daha yüksek performans değerleri ve daha düşük egzoz emisyon değerleri elde edilebileceği tespit edilmiştir. Yakıt içeriğindeki etanol miktarını artırmanın alev hızını artırmaya karşılık soğutucu özelliğinin daha baskın gelmesi yanmayı kötüleştirdiğinden E10 yakıtına göre iyi sonuçlar verememektedir. Ayrıca artan etanol miktarıyla yakıtın kaplamış olduğu hacim artarak volumetrik verimi düşürmesi de bu durumun bir sebebidir.

Avans verilmek suretiyle yapılan deneylerde ise (+4) avans değerine kadar avans vermenin olumlu etki yaptığı görülmüştür. Eğer motorumuzu (+4) avans açısı değerinde E10 yakıtıyla kullanırsak, en iyi performans ve daha düşük emisyon değerleri elde edebiliriz. Bunun için karbüratör uygun çaplı yakıt memesini kullanmak yeterli olabilecektir. Ancak E85 yakıtını veya etanol içeriği yüksek bir yakıtı araç motorunda verimli bir şekilde kullanabilmemiz için; yeni bir yakıt sistemi (yakıt pompası, karbüratör veya enjektörler gibi), daha kuvvetli ateşleme sistemi, ilk harekete geçirmeyi kolaylaştırmak (emme manifoldunu ısıtmak gibi), genel ekipmanların etanolden etkilenmeyecek malzemelerden oluşmasını sağlamak ve faz ayrışması sorununu önlemek gibi önlemler gerekecektir.

Daha iyi bir indüksiyon sistemine sahip olunması halinde bujinin daha kuvvetli bir kıvılcım verebilmesi sağlanabilir. Bu bize etanol miktarının artışıyla gelen soğumanın sebep olduğu kötü kıvılcım kalitesinin üstesinden gelerek yanmayı iyileştirmemize olanak sağlayacaktır. Böylece yanma daha da iyileşerek performans ve emisyonlarda daha iyi sonuçlar almamızı sağlayacaktır.

Günümüzde kullanılan fosil yakıtlara alternatif yakıt olarak etanol karışımli yakıtlar; ucuz olması, kolay elde edilebilmesi, organik yollarla elde edilebildiği için uzun yıllar boyu kullanılabilmeye imkan tanınması diğer alternatiflerinin önünde yer almasını sağlar.

KAYNAKLAR

Abdel-Rahman, A.A., Osman, M.M. 1997. Experimental investigation on varying the compression ratio of SI engine working under different ethanol-gasoline fuel blends, *International journal of energy research*, vol. 21, 31-40 (1997).

Al-Dawood, A.M. 1998. Effects of blending MTBE, methanol, or ethanol with gasoline on Performance and Exhaust Emissions of engines, Master of science in mechanical engineering, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran, Saudi Arabia.

Al-Farayedhi, A.A., Al-Dawood, A.M., Gandhidasan, P., 2004. Experimental Investigation of SI Engine Performance Using Oxygenated Fuel, *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, January 2004, Vol. 126 / 179.

Al-Hasan, M. 2003. Effect of Ethanol-Unleaded Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emission, *Energ Conversion and Management*, 44:1547-1561.

Anonim, 2011. Etanol yakıtı.

http://tr.wikipedia.org/wiki/Etanol_yak%C4%B1t%C4%B1-(Erişim tarihi: 26.07.2011).

Anonim, 2011. Biyoenerji, Biyoetanol.

<http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenerji/biyoenerji.html>-(Erişim tarihi: 26.07.2011).

Bayındır, H. 2006. Effect of ethanol-gasoline blends on exhaust emission in a SI engine; ethanol potential in gap, *e-Journal of New World Sciences Academy Natural and Applied Sciences*, 1, (4), A0012, 121-130.

Bayındır, H., Yücesu, H.S. 2000. Buji ile ateşlemeli motorlarda etanol-benzin karışımlarının çevre kirliliğine etkileri, *TEKNOLOJİ*, Cilt 3, (2000), Sayı 2-3, 249-256.

Bayraktar, H. 1997. Benzin-etanol karışımlarının benzin motorlarında yanma ve motor çevrimi üzerindeki etkilerinin teorik olarak incelenmesi, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Bayraktar, H., Durgun, O. 2003. Buji ateşlemeli motorlar için alternatif yakıtların teorik değerlendirilmesi ve pratik kullanılabilirliği, *Mühendis ve Makina* - Cilt: 45 Sayı: 533.

Bechtold, R.L. (1997). *Alternative Fuels Handbook*. SAE Press, ISBN 0-7680-0052-1.

Ceviz, M.A., Yüksel, F. 2005. Effects of Ethanol-Unleaded Gasoline Blends on Cyclic Variability and Emissions in an SI Engine, *Applied Thermal Engineering*, 25:917-925.

Cooney, C.P., Yeliana, *, Worm, J.J., Naber, J.D. 2009. Combustion Characterization in an Internal Combustion Engine with Ethanol-Gasoline Blended Fuels Varying Compression Ratios and Ignition Timing, *Energy & Fuels*, Vol. 23, May 2009.

Costa, R.C., Sodr , J.R. 2010. Hydrous ethanol vs. gasoline-ethanol blend: Engine performance and emissions, *Fuel* 89 (2010) 287–293.

- Çelik, M.B. 2008.** Experimental determination of suitable ethanol–gasoline blend rate at high compression ratio for gasoline engine, *Applied Thermal Engineering* 28 (2008) 396–404
- Çelik, M.,B., Çolak, A. 2008.** Buji ateşlemeli bir motorda alternatif yakıt olarak saf etanolün kullanılması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt 23, No 3, 619-626, 2008.
- Çolak, A. 2006.** Buji ateşlemeli bir motorda farklı sıkıştırma oranlarında etanol kullanımının performans ve emisyonlara etkileri, *Bilim Uzmanlığı Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Demirbaş, A. 2009.** Biorenewable Liquid Fuels: Biofuels, Editörler: Demirbaş, A., Springer, s. 103-122.
- Dillon, S.E., Carpenter, A.R., Ogle, R.A. 2009.** Comparative Fire Risk of Motor Vehicle Fuels: Gasoline versus Ethanol, *Process Safety Progress* (Vol.28, No.2).
- Erkuş, B. 2011.** Otto motorlarının farklı yakıt tiplerinde optimum performanslarının araştırılması. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Eyidoğan, M. 2009.** Etanol-bezin ve metanol-benzin karışımlarının buji ateşlemeli bir motorun yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarına etkisinin incelemesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Eyidoğan, M., Özsezen, A.N., Çanakcı, M., Türkcan, A. 2010.** Impact of alcohol–gasoline fuel blends on the performance and combustion characteristics of an SI engine, *Fuel*, Volume 89, Issue 10, Pages 2713-2720.
- He, B.Q., Wang, J.X., Hao, J.M., Yan, X.G., Xiao, J.H. 2003.** A Study on Emission Characteristics of an EFI Engine with Ethanol Blended Gasoline Fuels, *Atmospheric Environment*, 37:949-957.
- Hsieh, W., Chen, R., Wu, T. and Lin, T. 2002.** Engine Performance and Pollutant Emissions of an SI Engine Using Ethanol-Gasoline Blended Fuels, *Atmospheric Environment* 36. 403-410.
- Jeuland, N., Montagne, X., Gautrot, X. 2004.** Potentiality of Ethanol as a Fuel for Dedicated Engine Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP, Vol. 59 (2004), No. 6, pp. 559-570.
- Khalifa, G.A. 1985.** Effect of Hydrous Ethanol on Crankcase Oil Dilution, Doctor of Philosophy, A Thesis submitted to Oregon State University.
- Koç, M., Sekmen, Y., Topgül, T., Yücesu, H.S. 2009.** The effects of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark-ignition engine, *Renewable Energy* 34 (2009) 2101–2106.
- Niven, R.K. 2005.** Ethanol in gasoline: environmental impacts and sustainability review article, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9 (2005) 535–555.

Oruç, N. 2008. Şeker pancarından alternatif yakıt kaynaklı olarak biyoetanol üretimi: Eskişehir şeker-alkol fabrikası örneği, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008.

Öğüt, H., Kuş, R. 1999. Motorlu taşıtlarda alternatif yakıt kullanımı, II. Ulaşım ve Trafik Kongresi – Sergisi, 1999.

Örs, İ. 2007. Benzin-Etanol karışımlarının taşıt performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Örs, İ., Tarakçıoğlu, N. Cinviz, M. 2009. Bir taşıtta yakıt olarak benzin-etanol karışımlarının kullanımının tekerlek tahrik gücüne ve egzoz emisyonlarına etkisi, *e-Journal of New World Sciences Academy Technological Applied Sciences*, 2A0017, 4, (2), 192-201.

Pickett, J. 2008. Sustainable biofuels: prospects and challenges. Typeset by The Clyvedon Press Ltd, London, 82 s.

Sürmen, A., Karamangil, M.İ., Arslan, R. 2004. Motor termodinamiği. Aktüel Yayınları, İstanbul, 240 s.

Taşdan, K. 2005. Biyoyakıtların Türkiye tarım ürünleri piyasalarına olası etkileri, biyobenzin – etanol. *Tarım ve Mühendislik*, 75: 27-29.

Topgül, T., Yücesu, H.S., Çınar, C., Koca, A. 2006. The effects of ethanol–unleaded gasoline blends and ignition timing on engine performance and exhaust emissions, *Renewable Energy* 31 (2006) 2534–2542.

Varde, K., Jones, A., Knutsen, A., Mertz, D., Yu, P. 2006. Exhaust emissions and energy release rates from a controlled spark ignition engine using ethanol blendsProc. IMechE Vol. 221 Part D: J. Automobile Engineering.

Wu, C.W., Chen, R.H., Pu, J.Y., Lin, T.H. 2004. The Influence of Air-Fuel Ratio on Engine Performance and Pollutant Emission of an SI Engine Using Ethanol-Gasoline-Blended Fuels, *Atmospheric Environment*, 7093-7100.

Wen, L.B., Xin, C.Y., Yang, S.C. 2010. The effect of adding dimethyl carbonate (DMC) and ethanol to unleaded gasoline on exhaust emission, *Applied Energy* 87 (2010) 115–12.

Westerholm, R., Egeback, K.E., Rehnlund, B., Henke, M. 2005. Blending of ethanol in gasoline for spark ignition engines, Problem inventory and evaporative measurements. *Avl,mtc, İsveç*, 133 s.

Yücesu, H.S., Topgül, T., Çınar, C., Okur, M. 2006. Effect of ethanol–gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in different compression ratios, *Applied Thermal Engineering* 26 (2006) 2272–2278.

Yüksel, F., Yüksel, B. 2004. The Use of Ethanol-Gasoline Blend as a Fuel in an SI Engine, *Renewable Energy*, 29:1181-1191.

EKLER

EK A. Motorun Orijinal Avansında Değişik Yakıtlarla Yapılan Deney Değerleri

Çizelge A.1. %25 GKP'da Değişik Yakıtlarla Yapılan Deneylerin Performans Değerleri

| Yakıtın Cinsi | G.K.P. | n (d/d) | M _d (Nm) | P _e (kW) | b _e (g/kWh) | η _v | η _e |
|---------------|--------|---------|---------------------|---------------------|------------------------|----------------|----------------|
| E0 | 25 | 2000 | 73,897 | 15,483 | 265,301 | 0,489 | 0,319 |
| | | 2500 | 60,505 | 15,847 | 287,632 | 0,433 | 0,294 |
| | | 3000 | 42,567 | 13,378 | 320,690 | 0,369 | 0,264 |
| | | 3500 | 34,420 | 12,621 | 343,213 | 0,343 | 0,246 |
| | | 4000 | 29,223 | 12,246 | 377,946 | 0,321 | 0,224 |
| E5 | 25 | 2000 | 71,523 | 14,986 | 289,269 | 0,490 | 0,298 |
| | | 2500 | 58,022 | 15,196 | 293,711 | 0,413 | 0,293 |
| | | 3000 | 44,254 | 13,908 | 342,301 | 0,377 | 0,252 |
| | | 3500 | 29,942 | 10,979 | 372,250 | 0,309 | 0,231 |
| | | 4000 | 33,442 | 14,014 | 352,078 | 0,326 | 0,245 |
| E10 | 25 | 2000 | 71,765 | 15,036 | 280,483 | 0,489 | 0,313 |
| | | 2500 | 61,267 | 16,046 | 297,878 | 0,433 | 0,295 |
| | | 3000 | 46,893 | 14,738 | 320,945 | 0,377 | 0,274 |
| | | 3500 | 31,459 | 11,535 | 357,874 | 0,309 | 0,245 |
| | | 4000 | 26,052 | 10,917 | 372,487 | 0,271 | 0,236 |
| E30 | 25 | 2000 | 73,000 | 15,295 | 323,042 | 0,491 | 0,295 |
| | | 2500 | 61,183 | 16,024 | 316,253 | 0,414 | 0,301 |
| | | 3000 | 49,358 | 15,513 | 318,515 | 0,362 | 0,299 |
| | | 3500 | 33,575 | 12,311 | 374,595 | 0,303 | 0,254 |
| | | 4000 | 28,154 | 11,798 | 412,912 | 0,284 | 0,230 |
| E85 | 25 | 2000 | 68,839 | 14,423 | 427,188 | 0,462 | 0,290 |
| | | 2500 | 61,955 | 16,226 | 403,887 | 0,392 | 0,306 |
| | | 3000 | 46,712 | 14,681 | 417,907 | 0,344 | 0,296 |
| | | 3500 | 35,440 | 12,995 | 493,126 | 0,310 | 0,251 |
| | | 4000 | 26,195 | 10,977 | 605,284 | 0,283 | 0,204 |

Çizelge A.2. %50 GKP’da Değişik Yakıtlarla Yapılan Deneylerin Performans Değerleri

| Yakıtın Cinsi | G.K.P. | n (d/d) | M _d (Nm) | P _e (kW) | b _e (g/kWh) | η _v | η _e |
|---------------|--------|---------|---------------------|---------------------|------------------------|----------------|----------------|
| E0 | 50 | 2000 | 105,189 | 22,040 | 267,766 | 0,720 | 0,316 |
| | | 2500 | 98,308 | 25,747 | 258,565 | 0,703 | 0,327 |
| | | 3000 | 93,949 | 29,527 | 257,134 | 0,680 | 0,329 |
| | | 3500 | 91,506 | 33,552 | 244,115 | 0,640 | 0,346 |
| | | 4000 | 82,004 | 34,364 | 275,018 | 0,617 | 0,307 |
| E5 | 50 | 2000 | 106,590 | 22,333 | 256,349 | 0,692 | 0,336 |
| | | 2500 | 92,574 | 24,246 | 270,350 | 0,678 | 0,319 |
| | | 3000 | 89,165 | 28,023 | 236,186 | 0,662 | 0,365 |
| | | 3500 | 84,691 | 31,054 | 249,678 | 0,633 | 0,345 |
| | | 4000 | 81,709 | 34,240 | 267,753 | 0,611 | 0,322 |
| E10 | 50 | 2000 | 105,976 | 22,204 | 266,738 | 0,692 | 0,329 |
| | | 2500 | 96,342 | 25,232 | 264,646 | 0,666 | 0,332 |
| | | 3000 | 89,460 | 28,116 | 251,040 | 0,643 | 0,350 |
| | | 3500 | 87,691 | 32,153 | 256,771 | 0,625 | 0,342 |
| | | 4000 | 77,055 | 32,290 | 290,951 | 0,611 | 0,302 |
| E30 | 50 | 2000 | 104,676 | 21,932 | 286,729 | 0,695 | 0,332 |
| | | 2500 | 97,269 | 25,475 | 282,848 | 0,669 | 0,336 |
| | | 3000 | 90,357 | 28,398 | 278,387 | 0,665 | 0,342 |
| | | 3500 | 87,621 | 32,128 | 281,449 | 0,635 | 0,338 |
| | | 4000 | 78,507 | 32,898 | 304,736 | 0,621 | 0,312 |
| E85 | 50 | 2000 | 99,301 | 20,806 | 395,988 | 0,674 | 0,313 |
| | | 2500 | 95,590 | 25,035 | 373,962 | 0,667 | 0,331 |
| | | 3000 | 91,680 | 28,814 | 345,095 | 0,654 | 0,359 |
| | | 3500 | 87,737 | 32,170 | 364,374 | 0,627 | 0,340 |
| | | 4000 | 80,315 | 33,656 | 375,784 | 0,595 | 0,329 |

Çizelge A.3. %100 GKP’da Değişik Yakıtlarla Yapılan Deneylerin Performans Değerleri

| Yakıtın Cinsi | G.K.P. | n (d/d) | M _d (Nm) | P _e (kW) | b _e (g/kWh) | η _v | η _e |
|---------------|--------|---------|---------------------|---------------------|------------------------|----------------|----------------|
| E0 | 100 | 2000 | 119,936 | 25,129 | 293,075 | 0,808 | 0,288 |
| | | 2500 | 110,105 | 28,837 | 270,895 | 0,794 | 0,312 |
| | | 3000 | 114,037 | 35,840 | 254,779 | 0,828 | 0,332 |
| | | 3500 | 116,986 | 42,895 | 264,754 | 0,807 | 0,319 |
| | | 4000 | 112,110 | 46,979 | 271,384 | 0,789 | 0,311 |
| E5 | 100 | 2000 | 118,174 | 24,760 | 294,619 | 0,767 | 0,292 |
| | | 2500 | 114,314 | 29,939 | 266,586 | 0,774 | 0,323 |
| | | 3000 | 115,182 | 36,200 | 246,591 | 0,772 | 0,349 |
| | | 3500 | 118,378 | 43,405 | 254,144 | 0,788 | 0,339 |
| | | 4000 | 114,926 | 48,159 | 263,308 | 0,781 | 0,327 |
| E10 | 100 | 2000 | 124,083 | 25,998 | 277,234 | 0,749 | 0,317 |
| | | 2500 | 114,116 | 29,888 | 269,697 | 0,762 | 0,325 |
| | | 3000 | 116,124 | 36,496 | 250,507 | 0,770 | 0,350 |
| | | 3500 | 120,060 | 44,022 | 251,581 | 0,781 | 0,349 |
| | | 4000 | 114,195 | 47,853 | 266,047 | 0,784 | 0,330 |
| E30 | 100 | 2000 | 114,196 | 23,927 | 321,231 | 0,750 | 0,296 |
| | | 2500 | 104,568 | 27,387 | 297,156 | 0,775 | 0,320 |
| | | 3000 | 105,663 | 33,208 | 257,164 | 0,783 | 0,370 |
| | | 3500 | 117,432 | 43,059 | 276,985 | 0,800 | 0,344 |
| | | 4000 | 110,563 | 46,331 | 281,706 | 0,786 | 0,338 |
| E85 | 100 | 2000 | 115,761 | 24,255 | 388,523 | 0,746 | 0,319 |
| | | 2500 | 112,818 | 29,548 | 336,523 | 0,748 | 0,368 |
| | | 3000 | 110,856 | 34,841 | 350,702 | 0,778 | 0,353 |
| | | 3500 | 119,656 | 43,874 | 349,601 | 0,774 | 0,354 |
| | | 4000 | 114,980 | 48,182 | 340,045 | 0,774 | 0,364 |

Çizelge A.4. %25 GKP’da Değişik Yakıtlarla Yapılan Deneylein Egzoz Emisyon Değerleri

| Yakıtın Cinsi | G.K.P. | n (d/d) | CO (%) | CO ₂ (%) | HC (ppm) | NO _x (ppm) | λ |
|---------------|--------|---------|--------|---------------------|----------|-----------------------|-------|
| E0 | 25 | 2000 | 0,426 | 14,10 | 198 | 4643 | 0,998 |
| | | 2500 | 0,440 | 14,12 | 174 | 4825 | 1,002 |
| | | 3000 | 0,512 | 14,11 | 152 | 4025 | 1,000 |
| | | 3500 | 0,540 | 14,10 | 140 | 3919 | 0,998 |
| | | 4000 | 0,463 | 14,08 | 112 | 3738 | 1,007 |
| E5 | 25 | 2000 | 0,142 | 14,06 | 184 | 4569 | 1,030 |
| | | 2500 | 0,207 | 14,10 | 178 | 4718 | 1,024 |
| | | 3000 | 0,148 | 13,96 | 141 | 4345 | 1,042 |
| | | 3500 | 0,164 | 13,74 | 121 | 2885 | 1,056 |
| | | 4000 | 0,204 | 13,93 | 108 | 3618 | 1,047 |
| E10 | 25 | 2000 | 0,082 | 13,62 | 173 | 4803 | 1,065 |
| | | 2500 | 0,095 | 13,71 | 193 | 4908 | 1,058 |
| | | 3000 | 0,113 | 13,31 | 140 | 4053 | 1,091 |
| | | 3500 | 0,156 | 13,42 | 102 | 2834 | 1,084 |
| | | 4000 | 0,163 | 13,47 | 76 | 2443 | 1,080 |
| E30 | 25 | 2000 | 0,305 | 13,89 | 171 | 4244 | 1,027 |
| | | 2500 | 0,503 | 13,95 | 188 | 4192 | 1,003 |
| | | 3000 | 0,131 | 13,73 | 134 | 4084 | 1,052 |
| | | 3500 | 0,202 | 13,87 | 114 | 3305 | 1,038 |
| | | 4000 | 0,214 | 13,93 | 103 | 3061 | 1,034 |
| E85 | 25 | 2000 | 0,393 | 13,43 | 154 | 2585 | 1,043 |
| | | 2500 | 0,284 | 13,73 | 158 | 3219 | 1,027 |
| | | 3000 | 0,327 | 14,04 | 109 | 2895 | 1,004 |
| | | 3500 | 0,450 | 13,99 | 95 | 2685 | 1,000 |
| | | 4000 | 0,598 | 13,96 | 88 | 2098 | 0,993 |

Çizelge A.5. %50 GKP'da Değişik Yakıtlarla Yapılan Deneylein Egzoz Emisyon Değerleri

| Yakıtın Cinsi | G.K.P. | n (d/d) | CO (%) | CO ₂ (%) | HC (ppm) | NO _x (ppm) | λ |
|---------------|--------|---------|--------|---------------------|----------|-----------------------|-------|
| E0 | 50 | 2000 | 1,588 | 13,53 | 172 | 3223 | 0,964 |
| | | 2500 | 0,236 | 13,95 | 128 | 4806 | 1,033 |
| | | 3000 | 0,166 | 13,80 | 110 | 5177 | 1,050 |
| | | 3500 | 0,293 | 13,95 | 127 | 5719 | 1,029 |
| | | 4000 | 0,302 | 14,03 | 141 | 5817 | 1,019 |
| E5 | 50 | 2000 | 0,934 | 13,74 | 136 | 3649 | 0,996 |
| | | 2500 | 0,102 | 13,28 | 77 | 4211 | 1,100 |
| | | 3000 | 0,110 | 12,81 | 59 | 4006 | 1,136 |
| | | 3500 | 0,113 | 13,09 | 75 | 5199 | 1,109 |
| | | 4000 | 0,118 | 13,36 | 83 | 5954 | 1,088 |
| E10 | 50 | 2000 | 0,970 | 13,71 | 139 | 3685 | 0,993 |
| | | 2500 | 0,110 | 13,51 | 86 | 4734 | 1,079 |
| | | 3000 | 0,106 | 13,39 | 65 | 4759 | 1,090 |
| | | 3500 | 0,137 | 13,62 | 82 | 5486 | 1,065 |
| | | 4000 | 0,149 | 13,68 | 102 | 5865 | 1,059 |
| E30 | 50 | 2000 | 0,754 | 13,56 | 113 | 3421 | 1,024 |
| | | 2500 | 0,129 | 13,50 | 83 | 4421 | 1,073 |
| | | 3000 | 0,155 | 13,44 | 75 | 4384 | 1,078 |
| | | 3500 | 0,258 | 13,65 | 85 | 5107 | 1,051 |
| | | 4000 | 0,212 | 13,63 | 91 | 5301 | 1,052 |
| E85 | 50 | 2000 | 1,378 | 12,78 | 108 | 1706 | 1,018 |
| | | 2500 | 0,970 | 12,84 | 85 | 1822 | 1,050 |
| | | 3000 | 0,781 | 13,14 | 75 | 2678 | 1,039 |
| | | 3500 | 1,019 | 12,99 | 72 | 2883 | 1,032 |
| | | 4000 | 1,064 | 13,03 | 77 | 3103 | 1,025 |

Çizelge A.6. %100 GKP’da Değişik Yakıtlarla Yapılan Deneilerin Egzoz Emisyon Değerleri

| Yakıtın Cinsi | G.K.P. | n (d/d) | CO (%) | CO ₂ (%) | HC (ppm) | NO _x (ppm) | λ |
|---------------|--------|---------|--------|---------------------|----------|-----------------------|-----------|
| E0 | 100 | 2000 | 5,757 | 11,24 | 207 | 617 | 0,837 |
| | | 2500 | 1,021 | 13,99 | 122 | 3793 | 0,978 |
| | | 3000 | 1,214 | 13,97 | 102 | 4254 | 0,972 |
| | | 3500 | 1,609 | 13,69 | 126 | 3406 | 0,952 |
| | | 4000 | 1,799 | 13,60 | 116 | 3800 | 0,947 |
| E5 | 100 | 2000 | 4,618 | 11,80 | 196 | 911 | 0,869 |
| | | 2500 | 0,719 | 14,00 | 125 | 3848 | 0,988 |
| | | 3000 | 0,867 | 14,01 | 108 | 3950 | 0,978 |
| | | 3500 | 1,514 | 13,65 | 128 | 3903 | 0,958 |
| | | 4000 | 1,645 | 13,58 | 112 | 4352 | 0,956 |
| E10 | 100 | 2000 | 4,482 | 11,95 | 190 | 1020 | 0,871 |
| | | 2500 | 0,558 | 13,95 | 117 | 4009 | 1,002 |
| | | 3000 | 0,555 | 14,11 | 106 | 4299 | 0,992 |
| | | 3500 | 1,274 | 13,75 | 134 | 3903 | 0,964 |
| | | 4000 | 0,602 | 14,08 | 130 | 4905 | 0,992 |
| E30 | 100 | 2000 | 2,805 | 12,83 | 155 | 1677 | 0,924 |
| | | 2500 | 0,173 | 13,65 | 72 | 3919 | 1,058 |
| | | 3000 | 0,117 | 13,33 | 55 | 3991 | 1,079 |
| | | 3500 | 0,252 | 13,88 | 81 | 5377 | 1,032 |
| | | 4000 | 0,122 | 13,86 | 69 | 5324 | 1,052 |
| E85 | 100 | 2000 | 3,737 | 11,94 | 190 | 1518 | 0,909 |
| | | 2500 | 0,488 | 13,69 | 127 | 2884 | 1,023 |
| | | 3000 | 1,246 | 12,60 | 81 | 1686 | 1,045 |
| | | 3500 | 1,456 | 13,10 | 69 | 3330 | 0,995 |
| | | 4000 | 1,681 | 12,91 | 74 | 2819 | 0,988 |

EK B. Motora Değişik Avanslar Verilerek Yapılan Deneysel Değerleri

Çizelge B.1. %100 GKP'da E10 Yakıtı ile Değişik Avanslarla Yapılan Deneylerin Performans Değerleri

| Avans Değeri | n (d/d) | M _d (Nm) | P _e (kW) | b _e (g/kWh) | η _v | η _e |
|--------------|---------|---------------------|---------------------|------------------------|----------------|----------------|
| (-6) | 2250 | 108,932 | 25,654 | 303,264 | 0,766 | 0,289 |
| | 2500 | 103,008 | 26,954 | 301,191 | 0,771 | 0,291 |
| | 3000 | 107,988 | 33,908 | 288,194 | 0,783 | 0,305 |
| | 3500 | 110,596 | 40,515 | 276,505 | 0,780 | 0,317 |
| | 4000 | 105,791 | 44,291 | 287,444 | 0,788 | 0,305 |
| (-4) | 2250 | 107,725 | 25,369 | 293,585 | 0,764 | 0,299 |
| | 2500 | 103,989 | 27,210 | 295,358 | 0,771 | 0,297 |
| | 3000 | 111,993 | 35,166 | 275,713 | 0,784 | 0,318 |
| | 3500 | 115,963 | 42,481 | 272,447 | 0,780 | 0,322 |
| | 4000 | 108,176 | 45,290 | 278,761 | 0,787 | 0,315 |
| (-2) | 2250 | 113,242 | 26,669 | 280,507 | 0,762 | 0,313 |
| | 2500 | 109,864 | 28,748 | 275,339 | 0,767 | 0,319 |
| | 3000 | 117,647 | 36,941 | 250,857 | 0,773 | 0,350 |
| | 3500 | 121,350 | 44,455 | 256,860 | 0,793 | 0,342 |
| | 4000 | 112,543 | 47,118 | 258,599 | 0,783 | 0,339 |
| (0) | 2250 | 114,274 | 26,912 | 282,315 | 0,769 | 0,311 |
| | 2500 | 112,382 | 29,407 | 272,336 | 0,763 | 0,322 |
| | 3000 | 111,396 | 34,978 | 259,289 | 0,771 | 0,339 |
| | 3500 | 116,345 | 42,621 | 268,360 | 0,788 | 0,327 |
| | 4000 | 111,473 | 46,670 | 266,321 | 0,781 | 0,330 |
| (+2) | 2250 | 115,339 | 27,162 | 273,754 | 0,770 | 0,321 |
| | 2500 | 115,992 | 30,351 | 260,188 | 0,753 | 0,337 |
| | 3000 | 114,135 | 35,839 | 243,501 | 0,773 | 0,361 |
| | 3500 | 120,931 | 44,301 | 249,389 | 0,792 | 0,352 |
| | 4000 | 117,205 | 49,070 | 257,525 | 0,786 | 0,341 |
| (+4) | 2250 | 120,434 | 28,362 | 265,653 | 0,777 | 0,330 |
| | 2500 | 117,559 | 30,761 | 259,426 | 0,767 | 0,338 |
| | 3000 | 114,195 | 35,857 | 242,441 | 0,770 | 0,362 |
| | 3500 | 122,324 | 44,811 | 247,350 | 0,788 | 0,355 |
| | 4000 | 117,634 | 49,250 | 253,761 | 0,787 | 0,346 |
| (+6) | 2250 | 116,697 | 27,482 | 277,382 | 0,769 | 0,316 |
| | 2500 | 112,649 | 29,476 | 266,982 | 0,755 | 0,329 |
| | 3000 | 111,818 | 35,111 | 253,252 | 0,774 | 0,347 |
| | 3500 | 113,797 | 41,688 | 265,237 | 0,785 | 0,331 |
| | 4000 | 114,038 | 47,744 | 264,187 | 0,775 | 0,332 |

Çizelge B.2. %100 GKP’da E10 Yakıtı ile Değişik Avanslarla Yapılan Deneylerin Egzoz Emisyon Değerleri

| Avans Değeri | n (d/d) | CO (%) | CO ₂ (%) | HC (ppm) | NO _x (ppm) | λ |
|--------------|---------|--------|---------------------|----------|-----------------------|-------|
| (-6) | 2250 | 1,352 | 13,72 | 106 | 2259 | 0,961 |
| | 2500 | 0,631 | 14,00 | 64 | 2648 | 0,994 |
| | 3000 | 1,565 | 13,69 | 83 | 2101 | 0,952 |
| | 3500 | 0,766 | 14,05 | 77 | 3316 | 0,980 |
| | 4000 | 1,030 | 13,86 | 64 | 3036 | 0,974 |
| (-4) | 2250 | 0,402 | 14,13 | 85 | 2873 | 0,997 |
| | 2500 | 0,426 | 13,99 | 53 | 3193 | 1,009 |
| | 3000 | 1,536 | 13,64 | 84 | 2328 | 0,954 |
| | 3500 | 1,782 | 13,53 | 93 | 2692 | 0,947 |
| | 4000 | 0,801 | 13,97 | 68 | 3545 | 0,980 |
| (-2) | 2250 | 0,750 | 14,00 | 115 | 3126 | 0,981 |
| | 2500 | 0,302 | 14,01 | 83 | 3600 | 1,017 |
| | 3000 | 0,478 | 14,19 | 89 | 3593 | 0,988 |
| | 3500 | 1,072 | 13,90 | 106 | 3693 | 0,969 |
| | 4000 | 0,246 | 14,09 | 68 | 4738 | 1,016 |
| (0) | 2250 | 1,747 | 13,59 | 147 | 2186 | 0,948 |
| | 2500 | 0,899 | 13,99 | 114 | 3087 | 0,982 |
| | 3000 | 0,577 | 14,24 | 102 | 3330 | 0,986 |
| | 3500 | 1,948 | 13,48 | 140 | 2719 | 0,942 |
| | 4000 | 0,817 | 14,10 | 107 | 3789 | 0,980 |
| (+2) | 2250 | 1,165 | 13,94 | 147 | 3038 | 0,969 |
| | 2500 | 0,745 | 13,99 | 118 | 3685 | 0,993 |
| | 3000 | 0,210 | 14,26 | 90 | 4455 | 1,010 |
| | 3500 | 1,580 | 13,72 | 136 | 3159 | 0,953 |
| | 4000 | 1,702 | 13,66 | 134 | 3097 | 0,950 |
| (+4) | 2250 | 2,059 | 13,37 | 174 | 2398 | 0,941 |
| | 2500 | 0,574 | 13,99 | 165 | 3964 | 0,998 |
| | 3000 | 0,236 | 14,17 | 142 | 4582 | 1,006 |
| | 3500 | 1,060 | 13,90 | 149 | 3904 | 0,971 |
| | 4000 | 1,165 | 13,85 | 134 | 3886 | 0,967 |
| (+6) | 2250 | 2,430 | 13,16 | 192 | 1938 | 0,930 |
| | 2500 | 0,750 | 13,99 | 156 | 3896 | 0,989 |
| | 3000 | 0,344 | 14,23 | 132 | 4362 | 0,999 |
| | 3500 | 1,288 | 13,86 | 150 | 3628 | 0,963 |
| | 4000 | 1,185 | 13,90 | 161 | 3674 | 0,967 |

Çizelge B.3. %100 GKP’da E85 Yakıtı ile Değişik Avanslarla Yapılan Deneylerin Performans Değerleri

| Avans Değeri | n (d/d) | M _d (Nm) | P _e (kW) | b _e (g/kWh) | η _v | η _e |
|--------------|---------|---------------------|---------------------|------------------------|----------------|----------------|
| (-6) | 2250 | 101,813 | 23,977 | 413,567 | 0,750 | 0,299 |
| | 2500 | 102,792 | 26,897 | 389,563 | 0,735 | 0,318 |
| | 3000 | 101,849 | 31,981 | 417,441 | 0,766 | 0,297 |
| | 3500 | 108,742 | 39,836 | 389,596 | 0,777 | 0,318 |
| | 4000 | 106,783 | 44,706 | 399,633 | 0,767 | 0,310 |
| (-4) | 2250 | 104,603 | 24,634 | 390,712 | 0,749 | 0,317 |
| | 2500 | 107,536 | 28,139 | 361,094 | 0,734 | 0,343 |
| | 3000 | 109,862 | 34,497 | 379,269 | 0,765 | 0,326 |
| | 3500 | 116,539 | 42,692 | 359,661 | 0,777 | 0,344 |
| | 4000 | 113,013 | 47,315 | 372,980 | 0,771 | 0,332 |
| (-2) | 2250 | 108,026 | 25,440 | 385,802 | 0,753 | 0,321 |
| | 2500 | 109,990 | 28,781 | 365,932 | 0,726 | 0,338 |
| | 3000 | 111,207 | 34,919 | 387,698 | 0,769 | 0,319 |
| | 3500 | 115,842 | 42,437 | 357,258 | 0,768 | 0,346 |
| | 4000 | 109,385 | 45,796 | 382,079 | 0,764 | 0,324 |
| (0) | 2250 | 111,681 | 26,301 | 386,052 | 0,765 | 0,321 |
| | 2500 | 114,740 | 30,024 | 343,260 | 0,737 | 0,361 |
| | 3000 | 115,802 | 36,362 | 342,119 | 0,768 | 0,362 |
| | 3500 | 121,775 | 44,610 | 346,039 | 0,779 | 0,358 |
| | 4000 | 115,963 | 48,550 | 344,517 | 0,769 | 0,359 |
| (+2) | 2250 | 110,519 | 26,027 | 397,101 | 0,753 | 0,312 |
| | 2500 | 111,876 | 29,274 | 353,310 | 0,725 | 0,350 |
| | 3000 | 108,932 | 34,205 | 369,108 | 0,768 | 0,335 |
| | 3500 | 114,820 | 42,063 | 361,197 | 0,773 | 0,343 |
| | 4000 | 109,188 | 45,714 | 367,598 | 0,764 | 0,337 |
| (+4) | 2250 | 113,561 | 26,744 | 364,024 | 0,750 | 0,340 |
| | 2500 | 115,600 | 30,249 | 341,930 | 0,736 | 0,362 |
| | 3000 | 116,702 | 36,644 | 364,651 | 0,767 | 0,339 |
| | 3500 | 121,647 | 44,564 | 335,969 | 0,773 | 0,368 |
| | 4000 | 118,059 | 49,427 | 346,028 | 0,764 | 0,358 |
| (+6) | 2250 | 116,864 | 27,522 | 361,297 | 0,753 | 0,343 |
| | 2500 | 115,923 | 30,333 | 345,438 | 0,726 | 0,358 |
| | 3000 | 115,431 | 36,245 | 370,379 | 0,769 | 0,334 |
| | 3500 | 118,575 | 43,438 | 350,868 | 0,768 | 0,353 |
| | 4000 | 113,958 | 47,710 | 361,914 | 0,765 | 0,342 |

Çizelge B.4. %100 GKP’da E85 Yakıtı ile Değişik Avanslarla Yapılan Deneylerin Egzoz Emisyon Değerleri

| Avans Değeri | n (d/d) | CO (%) | CO ₂ (%) | HC (ppm) | NO _x (ppm) | λ |
|--------------|---------|--------|---------------------|----------|-----------------------|-------|
| (-6) | 2250 | 2,712 | 12,19 | 70 | 598 | 0,967 |
| | 2500 | 1,237 | 13,42 | 66 | 1078 | 0,984 |
| | 3000 | 2,420 | 12,63 | 152 | 763 | 0,956 |
| | 3500 | 2,430 | 12,83 | 178 | 1359 | 0,946 |
| | 4000 | 1,811 | 13,24 | 138 | 1462 | 0,962 |
| (-4) | 2250 | 2,168 | 12,27 | 80 | 527 | 1,000 |
| | 2500 | 0,965 | 13,35 | 73 | 1243 | 1,009 |
| | 3000 | 2,128 | 12,65 | 232 | 1010 | 0,965 |
| | 3500 | 2,218 | 12,76 | 237 | 1522 | 0,955 |
| | 4000 | 1,890 | 13,03 | 150 | 1549 | 0,967 |
| (-2) | 2250 | 2,652 | 12,22 | 102 | 1059 | 0,960 |
| | 2500 | 1,269 | 13,42 | 84 | 1471 | 0,980 |
| | 3000 | 2,750 | 12,46 | 73 | 1379 | 0,944 |
| | 3500 | 2,499 | 12,85 | 75 | 1868 | 0,936 |
| | 4000 | 2,137 | 12,97 | 73 | 1828 | 0,957 |
| (0) | 2250 | 2,361 | 12,32 | 185 | 1108 | 0,973 |
| | 2500 | 1,288 | 13,09 | 198 | 1604 | 0,985 |
| | 3000 | 2,586 | 12,26 | 132 | 1401 | 0,957 |
| | 3500 | 2,535 | 12,57 | 118 | 2111 | 0,946 |
| | 4000 | 2,147 | 12,78 | 103 | 1987 | 0,961 |
| (+2) | 2250 | 2,694 | 12,16 | 125 | 1585 | 0,956 |
| | 2500 | 0,935 | 13,38 | 109 | 2115 | 0,997 |
| | 3000 | 2,342 | 12,44 | 168 | 1840 | 0,961 |
| | 3500 | 2,404 | 12,60 | 138 | 2310 | 0,951 |
| | 4000 | 1,800 | 12,78 | 86 | 2145 | 0,975 |
| (+4) | 2250 | 2,235 | 12,18 | 65 | 1558 | 0,995 |
| | 2500 | 1,000 | 13,42 | 82 | 2497 | 0,996 |
| | 3000 | 2,635 | 12,37 | 153 | 2128 | 0,953 |
| | 3500 | 2,434 | 12,76 | 184 | 2538 | 0,939 |
| | 4000 | 2,176 | 12,90 | 179 | 2435 | 0,950 |
| (+6) | 2250 | 2,531 | 12,36 | 152 | 2019 | 0,954 |
| | 2500 | 1,120 | 13,44 | 130 | 2430 | 0,981 |
| | 3000 | 2,688 | 12,44 | 116 | 2314 | 0,943 |
| | 3500 | 2,512 | 12,77 | 102 | 2627 | 0,939 |
| | 4000 | 2,291 | 12,80 | 132 | 2497 | 0,951 |

EK C. Orijinal Avanza Değişik Yakıtlarla Yapılan Deneylerdeki Enerji Değerleri**Çizelge C.1. %25 GKP'daki Değişik Yakıtlarla Yapılan Deneylerdeki Enerji Değerleri**

| Yakıt Türü | n (d/d) | \dot{Q}_{yak} (kW) | P_e (kW) | \dot{Q}_{eg} (kW) | \dot{Q}_{su} (kW) | \dot{Q}_{dk} (kW) |
|------------|---------|----------------------|------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| E0 | 2000 | 48,608 | 15,483 | 9,944 | 12,585 | 10,596 |
| | 2500 | 53,936 | 15,847 | 11,927 | 15,448 | 10,714 |
| | 3000 | 50,768 | 13,378 | 12,355 | 18,307 | 6,728 |
| | 3500 | 51,257 | 12,621 | 14,106 | 17,631 | 6,899 |
| | 4000 | 54,767 | 12,246 | 15,951 | 22,239 | 4,331 |
| E5 | 2000 | 50,340 | 14,986 | 11,026 | 13,487 | 10,841 |
| | 2500 | 51,830 | 15,196 | 11,834 | 16,841 | 7,959 |
| | 3000 | 55,285 | 13,908 | 13,184 | 13,503 | 14,690 |
| | 3500 | 47,459 | 10,979 | 12,080 | 15,695 | 8,705 |
| | 4000 | 57,296 | 14,014 | 16,259 | 18,169 | 8,854 |
| E10 | 2000 | 48,044 | 15,036 | 10,796 | 13,529 | 8,683 |
| | 2500 | 54,450 | 16,046 | 12,185 | 16,664 | 9,555 |
| | 3000 | 53,883 | 14,738 | 12,938 | 16,892 | 9,315 |
| | 3500 | 47,025 | 11,535 | 12,546 | 19,694 | 3,250 |
| | 4000 | 46,323 | 10,917 | 12,767 | 19,962 | 2,677 |
| E30 | 2000 | 51,922 | 15,295 | 10,559 | 13,718 | 12,350 |
| | 2500 | 53,253 | 16,024 | 11,558 | 14,001 | 11,670 |
| | 3000 | 51,922 | 15,513 | 12,285 | 17,175 | 6,950 |
| | 3500 | 48,460 | 12,311 | 12,427 | 19,832 | 3,890 |
| | 4000 | 51,190 | 11,798 | 13,393 | 22,660 | 3,340 |
| E85 | 2000 | 49,780 | 14,423 | 9,729 | 11,230 | 14,397 |
| | 2500 | 52,948 | 16,226 | 11,208 | 14,044 | 11,470 |
| | 3000 | 49,568 | 14,681 | 11,904 | 16,878 | 6,105 |
| | 3500 | 51,771 | 12,995 | 12,718 | 19,583 | 6,476 |
| | 4000 | 53,680 | 10,977 | 13,521 | 20,424 | 8,758 |

Çizelge C.2. %50 GKP'daki Değişik Yakıtlarla Yapılan Deneylerdeki Enerji Değerleri

| Yakıt Türü | n (d/d) | $\dot{Q}_{yak} (kW)$ | $P_e (kW)$ | $\dot{Q}_{eg} (kW)$ | $\dot{Q}_{su} (kW)$ | $\dot{Q}_{dk} (kW)$ |
|------------|---------|----------------------|------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| E0 | 2000 | 69,834 | 22,040 | 19,337 | 13,529 | 14,929 |
| | 2500 | 78,779 | 25,747 | 23,853 | 16,879 | 12,299 |
| | 3000 | 89,843 | 29,527 | 28,773 | 16,942 | 14,601 |
| | 3500 | 96,921 | 33,552 | 32,550 | 21,536 | 9,283 |
| | 4000 | 111,832 | 34,364 | 36,766 | 22,479 | 18,224 |
| E5 | 2000 | 66,482 | 22,333 | 18,294 | 13,336 | 12,519 |
| | 2500 | 76,117 | 24,246 | 21,909 | 16,828 | 13,135 |
| | 3000 | 76,860 | 28,023 | 26,744 | 17,200 | 4,893 |
| | 3500 | 90,036 | 31,054 | 30,837 | 23,852 | 4,294 |
| | 4000 | 106,462 | 34,240 | 34,476 | 22,729 | 15,017 |
| E10 | 2000 | 67,470 | 22,204 | 18,788 | 15,773 | 10,705 |
| | 2500 | 76,070 | 25,232 | 22,668 | 16,852 | 11,317 |
| | 3000 | 80,405 | 28,116 | 26,575 | 20,241 | 5,473 |
| | 3500 | 94,050 | 32,153 | 31,438 | 23,499 | 6,959 |
| | 4000 | 107,022 | 32,290 | 35,633 | 27,502 | 11,598 |
| E30 | 2000 | 66,082 | 21,932 | 18,332 | 13,476 | 12,342 |
| | 2500 | 75,719 | 25,475 | 22,327 | 16,841 | 11,076 |
| | 3000 | 83,075 | 28,398 | 27,367 | 16,867 | 10,443 |
| | 3500 | 95,020 | 32,128 | 31,584 | 19,861 | 11,448 |
| | 4000 | 105,348 | 32,898 | 36,407 | 22,711 | 13,332 |
| E85 | 2000 | 66,563 | 20,806 | 17,679 | 13,498 | 14,581 |
| | 2500 | 75,640 | 25,035 | 22,268 | 14,023 | 14,313 |
| | 3000 | 80,335 | 28,814 | 26,850 | 20,241 | 4,431 |
| | 3500 | 94,704 | 32,170 | 31,147 | 21,864 | 9,522 |
| | 4000 | 102,180 | 33,656 | 34,066 | 22,711 | 11,747 |

Çizelge C.3. %100 GKP'daki Değişik Yakıtlarla Yapılan Deneylerdeki Enerji Değerleri

| Yakıt Türü | n (d/d) | $\dot{Q}_{yak} (kW)$ | $P_e (kW)$ | $\dot{Q}_{eg} (kW)$ | $\dot{Q}_{su} (kW)$ | $\dot{Q}_{dk} (kW)$ |
|------------|---------|----------------------|------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| E0 | 2000 | 87,150 | 25,129 | 21,099 | 18,052 | 22,869 |
| | 2500 | 92,440 | 28,837 | 28,360 | 18,067 | 17,175 |
| | 3000 | 108,054 | 35,840 | 37,030 | 20,270 | 14,914 |
| | 3500 | 134,387 | 42,895 | 43,630 | 21,672 | 26,190 |
| | 4000 | 150,868 | 46,979 | 50,163 | 27,027 | 26,699 |
| E5 | 2000 | 84,711 | 24,760 | 20,389 | 18,376 | 21,187 |
| | 2500 | 92,684 | 29,939 | 27,618 | 16,828 | 18,299 |
| | 3000 | 103,660 | 36,200 | 34,407 | 20,656 | 12,397 |
| | 3500 | 128,100 | 43,405 | 41,709 | 19,726 | 23,260 |
| | 4000 | 147,255 | 48,159 | 50,116 | 27,435 | 21,545 |
| E10 | 2000 | 82,107 | 25,998 | 19,937 | 18,080 | 18,091 |
| | 2500 | 91,824 | 29,888 | 27,304 | 16,841 | 17,791 |
| | 3000 | 104,149 | 36,496 | 33,993 | 20,640 | 13,020 |
| | 3500 | 126,164 | 44,022 | 42,143 | 23,888 | 16,111 |
| | 4000 | 145,030 | 47,853 | 49,025 | 22,660 | 25,492 |
| E30 | 2000 | 80,767 | 23,927 | 20,352 | 16,043 | 20,446 |
| | 2500 | 85,518 | 27,387 | 27,631 | 16,852 | 13,648 |
| | 3000 | 89,741 | 33,208 | 32,608 | 19,861 | 4,064 |
| | 3500 | 125,328 | 43,059 | 42,463 | 23,833 | 15,974 |
| | 4000 | 137,152 | 46,331 | 50,444 | 22,711 | 17,666 |
| E85 | 2000 | 76,134 | 24,255 | 20,821 | 13,509 | 17,550 |
| | 2500 | 80,335 | 29,548 | 26,545 | 16,828 | 7,415 |
| | 3000 | 98,716 | 34,841 | 32,323 | 16,854 | 14,699 |
| | 3500 | 123,921 | 43,874 | 40,774 | 23,518 | 15,755 |
| | 4000 | 132,370 | 48,182 | 48,074 | 22,986 | 13,127 |

EK D. Motora Değişik Avanslar Verilerek Yapılan Deneylerdeki Enerji Değerleri

Çizelge D.1. E10 Yakıtı ile Değişik Avanslar Verilerek Yapılan Deneylerdeki Enerji Değerleri

| Yakıt Türü | n (d/d) | $\dot{Q}_{yak.} (kW)$ | $P_e (kW)$ | $\dot{Q}_{eg} (kW)$ | $\dot{Q}_{su} (kW)$ | $\dot{Q}_{dk} (kW)$ |
|------------|---------|-----------------------|------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| E10 (-6) | 2250 | 88,625 | 25,654 | 25,326 | 18,247 | 19,398 |
| | 2500 | 92,480 | 26,954 | 29,105 | 19,648 | 16,773 |
| | 3000 | 111,321 | 33,908 | 36,651 | 23,629 | 17,132 |
| | 3500 | 127,617 | 40,515 | 45,949 | 27,827 | 13,326 |
| | 4000 | 145,030 | 44,291 | 55,115 | 31,795 | 13,829 |
| E10 (-4) | 2250 | 84,845 | 25,369 | 25,681 | 15,349 | 18,446 |
| | 2500 | 91,553 | 27,210 | 29,481 | 19,661 | 15,201 |
| | 3000 | 110,450 | 35,166 | 36,408 | 23,795 | 15,081 |
| | 3500 | 131,845 | 42,481 | 44,195 | 23,798 | 21,371 |
| | 4000 | 143,820 | 45,290 | 53,641 | 27,214 | 17,676 |
| E10 (-2) | 2250 | 85,218 | 26,669 | 25,359 | 17,948 | 15,242 |
| | 2500 | 90,170 | 28,748 | 28,675 | 16,841 | 15,905 |
| | 3000 | 105,566 | 36,941 | 36,626 | 23,614 | 8,384 |
| | 3500 | 130,077 | 44,455 | 45,163 | 27,805 | 12,655 |
| | 4000 | 138,803 | 47,118 | 52,969 | 29,501 | 9,216 |
| E10 (0) | 2250 | 86,549 | 26,912 | 23,630 | 18,262 | 17,745 |
| | 2500 | 91,230 | 29,407 | 27,031 | 19,648 | 15,144 |
| | 3000 | 103,317 | 34,978 | 34,451 | 21,018 | 12,869 |
| | 3500 | 130,295 | 42,621 | 42,067 | 23,852 | 21,755 |
| | 4000 | 141,589 | 46,670 | 50,767 | 27,275 | 16,877 |
| E10 (+2) | 2250 | 84,706 | 27,162 | 22,811 | 15,349 | 19,383 |
| | 2500 | 89,960 | 30,351 | 25,949 | 19,661 | 13,999 |
| | 3000 | 99,412 | 35,839 | 33,783 | 24,521 | 5,269 |
| | 3500 | 125,857 | 44,301 | 42,183 | 25,802 | 13,571 |
| | 4000 | 143,953 | 49,070 | 49,137 | 27,192 | 18,555 |
| E10 (+4) | 2250 | 85,831 | 28,362 | 22,993 | 17,948 | 16,527 |
| | 2500 | 90,909 | 30,761 | 26,588 | 16,866 | 16,694 |
| | 3000 | 99,031 | 35,857 | 33,876 | 20,270 | 9,027 |
| | 3500 | 126,267 | 44,811 | 42,348 | 23,604 | 15,504 |
| | 4000 | 142,369 | 49,250 | 50,249 | 27,057 | 15,814 |
| E10 (+6) | 2250 | 86,839 | 27,482 | 21,707 | 15,362 | 22,289 |
| | 2500 | 89,649 | 29,476 | 25,048 | 18,745 | 16,380 |
| | 3000 | 101,294 | 35,111 | 32,749 | 20,241 | 13,193 |
| | 3500 | 125,959 | 41,688 | 41,340 | 23,852 | 19,079 |
| | 4000 | 143,687 | 47,744 | 48,482 | 27,253 | 20,208 |

Çizelge D.2. E85 Yakıtı ile Değişik Avanslar Verilerek Yapılan Deneylerdeki Enerji Değerleri

| Yakıt Türü | n (d/d) | $\dot{Q}_{yak} (kW)$ | $P_e (kW)$ | $\dot{Q}_{eg} (kW)$ | $\dot{Q}_{su} (kW)$ | $\dot{Q}_{dk} (kW)$ |
|------------|---------|----------------------|------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| E85 (-6) | 2250 | 80,114 | 23,98 | 23,871 | 15,337 | 16,929 |
| | 2500 | 84,655 | 26,90 | 27,424 | 16,852 | 13,482 |
| | 3000 | 107,857 | 31,98 | 35,133 | 20,224 | 20,519 |
| | 3500 | 125,388 | 39,84 | 42,763 | 23,833 | 18,956 |
| | 4000 | 144,344 | 44,71 | 51,208 | 27,231 | 21,198 |
| E85 (-4) | 2250 | 77,761 | 24,63 | 23,834 | 12,791 | 16,502 |
| | 2500 | 82,090 | 28,14 | 26,743 | 16,828 | 10,380 |
| | 3000 | 105,704 | 34,50 | 34,029 | 20,254 | 16,924 |
| | 3500 | 124,053 | 42,69 | 42,415 | 23,833 | 15,113 |
| | 4000 | 142,577 | 47,31 | 50,693 | 25,226 | 19,342 |
| E85 (-2) | 2250 | 79,296 | 25,44 | 22,608 | 15,349 | 15,899 |
| | 2500 | 85,088 | 28,78 | 25,906 | 16,828 | 13,573 |
| | 3000 | 109,376 | 34,92 | 34,021 | 20,610 | 19,826 |
| | 3500 | 122,487 | 42,44 | 41,421 | 23,833 | 14,797 |
| | 4000 | 141,366 | 45,80 | 49,355 | 24,962 | 21,253 |
| E85 (0) | 2250 | 82,032 | 26,30 | 23,105 | 15,349 | 17,277 |
| | 2500 | 83,263 | 30,02 | 26,262 | 16,828 | 10,149 |
| | 3000 | 100,505 | 36,36 | 33,265 | 16,854 | 14,024 |
| | 3500 | 124,717 | 44,61 | 42,027 | 23,852 | 14,227 |
| | 4000 | 135,134 | 48,55 | 49,350 | 22,693 | 14,542 |
| E85 (+2) | 2250 | 83,502 | 26,03 | 21,749 | 15,337 | 20,389 |
| | 2500 | 83,562 | 29,27 | 24,636 | 16,841 | 12,811 |
| | 3000 | 102,001 | 34,20 | 33,015 | 20,640 | 14,142 |
| | 3500 | 122,745 | 42,06 | 40,459 | 23,817 | 16,407 |
| | 4000 | 135,764 | 45,71 | 47,749 | 27,214 | 15,088 |
| E85 (+4) | 2250 | 78,653 | 26,74 | 21,507 | 12,791 | 17,612 |
| | 2500 | 83,562 | 30,25 | 25,032 | 16,852 | 11,429 |
| | 3000 | 107,957 | 36,64 | 32,407 | 20,626 | 18,279 |
| | 3500 | 120,961 | 44,56 | 40,418 | 21,847 | 14,132 |
| | 4000 | 138,180 | 49,43 | 47,810 | 27,214 | 13,729 |
| E85 (+6) | 2250 | 80,335 | 27,52 | 21,296 | 15,349 | 16,168 |
| | 2500 | 84,655 | 30,33 | 24,642 | 18,257 | 11,423 |
| | 3000 | 108,459 | 36,25 | 32,110 | 20,626 | 19,478 |
| | 3500 | 123,135 | 43,44 | 39,858 | 23,833 | 16,006 |
| | 4000 | 139,504 | 47,71 | 47,100 | 27,253 | 17,440 |

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Necati TÜRKÖZ
Doğum Yeri ve Tarihi : Tokat / 1974
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Tokat Teknik Lisesi / 1993
Lisans : Marmara Üniversitesi – Otomotiv Öğretmenliği / 2001

Çalıştığı Kurumlar : Dekor Cam San./ Robot Operatörü /2003-2005
: Uludağ Üniversitesi / 2005-Devam

İletişim : nturkoz@msn.com