

TURBOŞARJLI ÖN YANMA ODALI BİR DİZEL MOTORUNDA ETANOL FUMİGASYONUNUN DENEYSEL İNCELENMESİ

Zehra ŞAHİN^{1*}, Orhan DURGUN², Mustafa KURT³

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sürmene Deniz Bil. Fak., Gemi İnşaatı ve Gemi Mak. Müh. Böl., Trabzon

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fak. Makine Müh. Böl., Trabzon

³KTU – KOSGEB Teknoloji Geliştirme Merkezi

Özet

Sunulan çalışmada turboşarjlı ön yanma odalı bir dizel motorunda; etanol fumigasyonunun motor karakteristikleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri, 1/1, 3/4 ve 1/2 gaz gibi üç farklı gaz kolu konumunda ve değişik devir sayılarında deneysel olarak incelenmiştir. Bu deneysel çalışma sonunda; etanol fumigasyonu ile NO konsantrasyonunun seçilen gaz kolu konumlarında ve devir sayılarında saf dizel yakıtına göre azaldığı, ayrıca 1/1 ve 3/4 gaz kolu konumlarında efektif gücün ve efektif verimin arttığı belirlenmiştir. ÖYT'nin ise bu gaz kolu konumlarında; % (6-10) etanol fumigasyonu oranları için azaldığı veya dizel yakıtına yakın değerler aldığı görülmüştür. Buna karşın 1/2 gaz kolu konumunda etanol fumigasyonu ile, bir karbüratör ana meme açıklığı ayarı dışında efektif gücün ve efektif verimin azaldığı ve ÖYT'nin arttığı belirlenmiştir. Etanol fumigasyonunun uygulanması ile; eksoz sıcaklığı 1/1 ve 3/4 gaz kolu konumlarında artmış, 1/2 gaz kolu konumunda ise azalmıştır. Yağlama yağı sıcaklığı ise; genel olarak azalma eğilimi göstermiştir. Etanol fumigasyonu ile silindir basıncının; yanma işlemi başlangıcında arttığı, yanmanın daha sonraki evrelerinde azaldığı ve genişlemenin sonlarına doğru ise yeniden artma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ön yanma odalı dizel motoru, etanol fumigasyonu, NO konsantrasyonu

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ETHANOL FUMIGATION IN A TURBOCHARGED IDI DIESEL ENGINE

Abstract

In the present study the effects of ethanol fumigation on engine performance and combustion characteristics and NO concentration were investigated experimentally at three different gas positions such as 1/1, 3/4 and 1/2 throttle and at various engine speeds in a turbocharged IDI diesel engine. It is determined that; NO concentration is lower than that of diesel fuel for ethanol fumigation at all of the selected gas throttle positions and engine speeds. Effective power and effective efficiency increase with ethanol fumigation at 1/1 and 3/4 gas throttle positions. Brake specific fuel consumption decreases at (6-10) % ethanol ratios or it is near to diesel fuel. However effective power and effective efficiency decrease and brake specific fuel consumption increases with increasing ethanol fumigation. In spite of this, at 1/2 gas throttle position, except from one carburetor main jet opening adjustment effective power and effective efficiency decrease and specific fuel consumption increases. Exhaust gas temperature increases at 1/1 and 3/4 gas throttle positions but it decreases at 1/2 gas throttle position with increasing ethanol fumigation. Oil temperature shows generally decreasing tendency at all of the gas throttle positions. It was determined that cylinder gas pressure increased at the beginning of the combustion process and decreased during the last phase of combustion and it showed again an increasing tendency at the end of the expansion process.

Key Words: Prechamber diesel engine, ethanol fumigation, NO concentration

* E-posta: zsahin@ktu.edu.tr

Semboller:

b_e	: Özgül yakıt tüketimi [kg/kWh]
h_{min}	: 1 kg yakıtı yakmak için gerekli teorik havanın kütlesi [kg hava/kg yakıt]
H_u	: Yakıtın alt ısı değeri [kJ/kg]
KA	: Krank mili açısı
m_d	: Dizel yakıtının kütlesi [gr]
m_e	: Etonalün kütlesi [gr]
M_d	: Döndürme moment [Nm]
n	: Devir sayısı [d/d]
N_e	: Efektif güç [kW]
NO	: Azot oksit [ppm]
O_2	: Oksijen [%]
ÖYT	: Özgül yakıt tüketimi [kg/kWh]
p	: Basınç [bar]
p_0	: Ortam basıncı [mmHg]
T_0	: Ortam sıcaklığı [$^{\circ}$ C]
ÜÖN	: Üst ölü nokta
x_d	: Dizel yakıtının hacimsel oranı
x_e	: Etonalün yakıtının hacimsel oranı
x_{nem}	: Nem düzeltme katsayısı
ρ_e	: Etonalün yoğunluğu [kg/m ³]
ρ_d	: Dizel yakıtının yoğunluğu [kg/m ³]
η_e	: Efektif verim
ω	: Açısal hız (rad/s)
Δt	: Belirli miktardaki dizel yakıtının tüketilme süresi [s]

1. Giriş

Dizel motorları termik verimleri yaklaşık % 40 düzeylerine kadar ulaşabilen en verimli termik makinelerdir. Dizel motorlarının verimini daha da artırmak ve aynı zamanda çevre kirliliğini azaltmak amaçları ile değişik çalışmalar yapılmaktadır. Yanma işleminin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar bunların en önemli bölümünü oluşturmaktadır. Bilindiği gibi yanma işleminin iyileştirilmesi ile; motorun veriminin yükseltilmesi yanında çevre kirliliği de azaltılmış olmaktadır. Bu nedenle son yıllarda dizel motorlarında yanma işlemini iyileştirmeye yönelik; hem yapısal (konstrüktif) çalışmalar, hem de yakıtlarla ilgili çalışmalar sürdürülmektedir. Yapısal çalışmalar arasında yanma odasının şeklinin geliştirilmesi, supap sayısının ve supap kesit alanının artırılması, püskürtme sistemindeki düzenlemeler ve geliştirmeler, turboşarj uygulamasının yaygınlaşması vb. yer almaktadır. Yakıtlarla ilgili çalışmalara ise; mevcut yakıtların daha ekonomik kullanımı ve değişik alternatif yakıtlar ile ilgili çalışmalar örnekler olarak verilebilir [1].

Bu bağlamda son yıllarda etanolün hem benzin hem de dizel motorlarında kullanımı ile ilgili çok değişik çalışmalar yapılmıştır [2-10]. Bilindiği gibi etanol çevre kirliliği açısından temiz bir yakıttır ve etanol oktan sayısı yüksek olduğundan benzine karıştırılarak kullanılmaya uygundur [2, 3]. Buna karşın etanol, setan sayısı çok düşük olduğundan, doğrudan dizel yakıtına karıştırılarak pek kullanılmamaktadır. Bu nedenle dizel motorlarında etanolün kullanılmasında, çoğunlukla fumigasyon yöntemi yeğlenmektedir. Literatürde etanol fumigasyonunun direkt püskürtmeli dizel motorunda uygulanması ile ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır [4-10]. Bununla birlikte etanol fumigasyonunun indirekt püskürtmeli (ön yanma odalı) dizel motorlarında uygulanması ile ilgili her hangi bir çalışmaya ulaşılamamıştır. Aslında literatürde alternatif yakıtların ön yanma odalı dizel motorlarında kullanımı ile ilgili çalışmalar çok sınırlıdır [11]. Bu nedenle sunulan çalışmada, değişik bir uygulama olarak, ön yanma odalı turboşarjlı bir dizel motorlarında etanol fumigasyonunun etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

2. Deneysel Çalışma

Sunulan çalışmada; turboşarjlı ön yanma odalı bir dizel motorunda etanol fumigasyonunun etkilerini deneysel olarak incelenmek amacı ile Cussons firması tarafından üretilmiş olan bir deney sistemi kullanılmıştır. Burada yükleme su freni ile yapılmakta, yakıt tüketimi kütleli olarak ölçülmekte, ayrıca p- θ basınç-krank açısı ve p-V basınç-hacim (indikatör) diyagramları belirlenebilmektedir. Deneylerde kullanılan motorun teknik özellikleri Tablo 1'de

verilmiştir. Şekil 1’de görülebileceği gibi deney sistemine ayrıca Cussons firması tarafından üretilmiş olan bir eksoz gazı kalorimetresi de eklenmiştir. Deney sisteminde ortam sıcaklığı, yağlama yağı sıcaklığı, yakıt sıcaklığı, soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları, eksoz sıcaklığı, eksoz kalorimetresinden geçen eksoz gazlarının giriş ve çıkış sıcaklıkları ve soğutma suyunun eksoz gazı kalorimetresine giriş ve çıkış sıcaklıkları K tipi termokupullar yardımı ile ölçülebilmektedir. Deney sisteminde azot oksit (NO) konsantrasyonu ve eksozdaki oksijen miktarı (% olarak) Horiba tarafından üretilmiş olan MEXA-720 NO_x eksoz gazı analiz cihazı ile belirlenebilmektedir. Ayrıca, az önce de belirtildiği gibi; sunulan çalışmada silindir basıncı bir basınç sensörü ile algılanabilmekte, ardından algılanan basınç verileri bir veri toplama kartı (data akuzeyşin kartı) ile bilgisayara aktarılabilen ve böylece indikatör diyagramı elde edilebilmektedir. Yalnız etanol deneyleri yapılırken 2. Açıklık ve 6. Açıklık durumlarında deneylerde kullanılan basınç sensörünün duyarlılığında bir azalma olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle söz konusu sensör yenisi ile değiştirmiş ve belirtilen durumlar için basınç verilerinin belirlenmesine ilişkin deneysel çalışmalar, sonradan, yeniden yapılmıştır. Sunulan çalışmada, sayfa sınırlaması sorunu nedeni ile deneysel olarak belirlenen bu p-V ve p-θ diyagramlarından ancak birkaç örnek sunulabilmektedir. Söz konusu motorda ısı dengesi ve ısı analizi ile ilgili başka bir yayının da hazırlıkları yazarlar tarafından sürdürülmektedir. Bu konuda hazırlanacak olan yayında belirtilen diyagramların ve ilgili yorumların daha ayrıntılı biçimde sunulması planlanmaktadır.

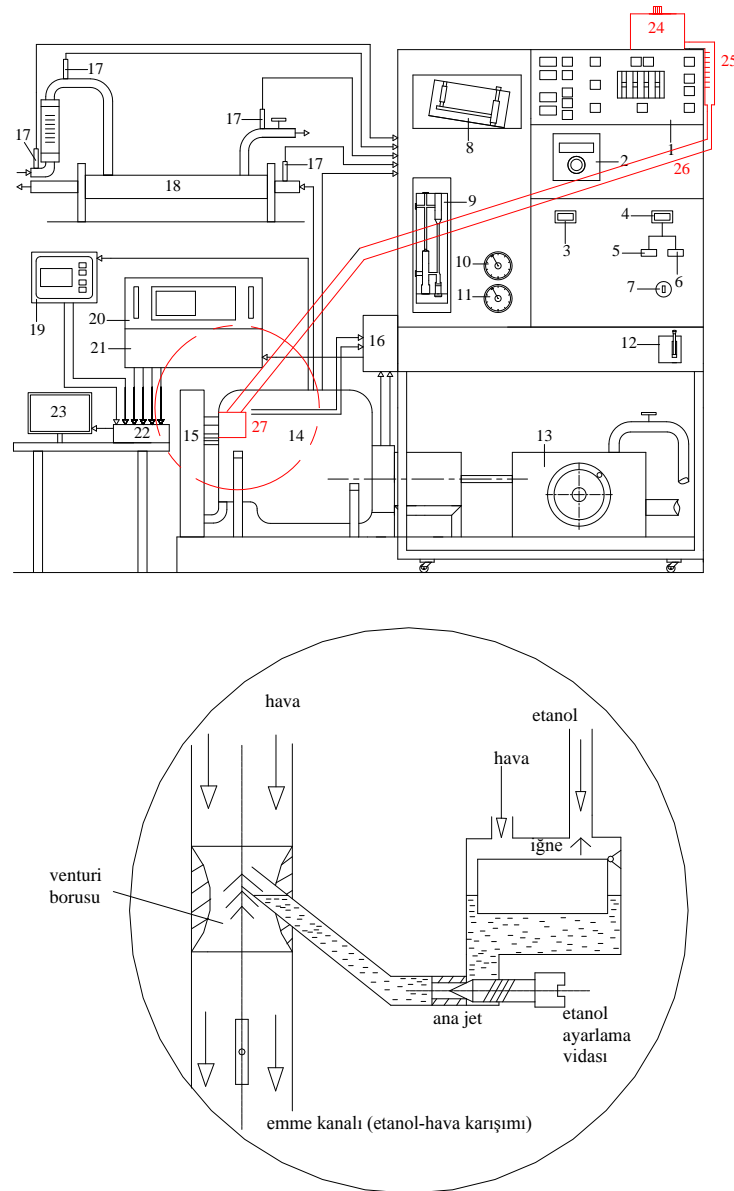
Tablo 1. Deney motorunun teknik özellikleri

Motor	Ford XLD 418 T, turboşarjlı ön yanma odalı
Strok hacmi ve silindir sayısı	1.753 [litre], 4
Çap ve strok	82 ve 82.5 [mm]
Sıkıştırma oranı ve püskürtme basıncı	21.5, 150 [bar]
Maksimum güç	55 [kW], 4500 [d/d]’da
Maksimum moment	152 [Nm], 2200 [d/d]’da
Biyelin eksenler arası uzunluğu	130 [mm]

Fumigasyon deneylerine başlamadan önce; her gazda ve devir sayısında saf dizel yakıtı için deneyler yapılmıştır. Daha sonra Şekil 1’de görüldüğü gibi, emme kanalına bir basit karbüratör eklenerek etanol fumigasyonu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan karbüratörün hava ve gaz kelekleri sökülmiş ve diğer yardımcı donanımları da devre dışı bırakılmıştır. Karbüratörün hava girişi uygun bir ara parça ve şekil değiştirebilir bir hortumla hava sızdırmayacak biçimde hava tüketiminin ölçümünde kullanılan hava tankının çıkışına bağlanmıştır. Etanol fumigasyonu oranları; yazarlar tarafından özel olarak tasarlanıp üretilmiş olan ve karbüratör ana memesinin kesitini değiştirebilen ince dişli bir ayar vidası aracılığı ile ayarlanmıştır.

Sunulan çalışmada, deneyler tam (1/1) gaz, üç çeyrek (3/4) gaz ve yarım (1/2) gaz gibi üç ayrı gaz kolu konumunda ve farklı devir sayılarında yapılmıştır. Her gaz kolu konumu için 6 farklı devir sayısı seçilmiştir. *Önce saf dizel yakıtı için deneyler yapılmıştır. Doğal olarak saf dizel yakıtı durumunda emme kanalında karbüratör bulunmamaktadır.* Daha sonra emme kanalına ana meme kesiti değiştirilebilen basit karbüratör eklenerek fumigasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Fumigasyon deneylerinde 6 farklı ana meme ayarı durumunda (6 farklı etanol memesi açıklığında) değişik etanol fumigasyonu oranları sağlanmıştır. Fumigasyon deneylerinin başlangıcında önce (1/1, 3/4 veya 1/2 gazlardan biri için) gaz kolu konumu seçilmiştir. Örneğin gaz kolu konumu tam gaza (1/1 gaz kolu konumuna) getirildikten sonra karbüratör açıklığı önce yaklaşık olarak % 2’ye yakın etanol oranını verecek şekilde ayarlanmıştır. Böylece belirli gaz kolu konumu ve ana meme açıklığı için, devir sayısı yüklemenin değiştirilmesi ile, 1500 [d/d]’dan 4000 [d/d]’ya kadar 500 [d/d]’lık adımlarda ayarlanarak deneyler yapılmıştır. Belirirli bir ayar durumu için devir sayısı değiştirildikçe karbüratör açıklığı aynı kalmakta ve doğal olarak basit karbüratörün çalışma ilkesi gereği karışım oranı değişmektedir. Yani aynı açıklıkta düşük devirlerde karışım oranı yaklaşık % 1’e denk gelirken yüksek devirlerde yaklaşık olarak % 2.5’e karşılık gelmektedir. Karbüratör açıklığına göre yaklaşık karışım oranı belirlenirken genellikle (2500- 3000) [d/d]’da % 2 oranı sağlanmaya çalışılmıştır. Daha sonra yine gaz kolu konumu tam gaz durumunda iken tekrar karbüratör açıklığı değiştirilmiştir. (2500-3000) [d/d]’da 2. Açıklıkta ise yaklaşık % 4’lük karışımı verecek şekilde ayarlama yapılmıştır. Böylece tam gazda 6 açıklık için deneyler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra gaz kolu 3/4 gaza ayarlanarak yukarıdakine benzer deneyler söz konusu gaz kolu konumu için tekrarlanmıştır. Son olarak da 1/2 gaz için aynı deneyler yapılmıştır. Doğal olarak; sabit gaz kolu konumlarında, ana meme açıklık ayarına göre, dizel yakıtı yanında ek fumigasyon yakıtı da kullanılmaktadır.

Öte yandan deneysel verilere hata analizini uygulayabilmek için her değer 3’er kez ölçülmüştür. Böylece 3 farklı gazda 6 devir sayısında ve 6 açıklıkta olmak üzere toplam 324 deney ve saf dizel yakıtı durumunda ise, yine aynı şekilde 3 gazda 6 devir sayısında 3’er ölçüm alındığı için, 54 deney yapılmıştır. Sonuçta 6 fumigasyon durumu ile birlikte sunulan çalışmada toplam olarak 378 tane deney gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Deney sisteminin şematik görünüşü. 1-yakıt ölçme ünitesi, 2-sıcaklık göstergesi, 3-hız, 4-kuvvet, (5-6)-yüklenme ünitesi, 7-başlatma düğmesi, 8-eğik manometre, 9-rotametre, 10-yağlama yağı basıncı, 11-emme manifoldundaki basınç, 12-gaz kolu, 13-hidrolik dinamometre, 14-motor, 15-soğutma ünitesi, 16-basınç sensörü ara yüzey ünitesi, 17-termokupullar, 18-eksoz gazı kalorimetresi, 19-NOx analiz cihazı, 20-osiloskop, 21-elektronik indikatör ünitesi, 22-veri toplama kartı, 23-bilgisayar, 24-etanol tankı, 25-ölçekli cam tüp, 26-şekil değiştirilebilir boru, 27-karbüratör.

Yeniden özetlemek gerekirse, yukarıda açıklandığı gibi saf dizel yakıtı deneylerinden sonra karbüratör ana memesini kontrol eden ayar vidası 1. açıklık durumuna getirilmiştir ve bu açıklıkta devir sayısı, yüklemenin ayarlanması ile, 1500 [d/d]'dan 4000 [d/d]'ya kadar değiştirilerek gerekli ölçümler yapılmıştır. Daha sonra tüm deneyler diğer açıklıklar ve gaz kolu konumları için benzeri şekilde tekrarlanmıştır. Böylece etanol fumigasyonunun motor karakteristikleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri; devir sayısının yanında değişik gazlarda da belirlenmiştir. Söz konusu gazlarda, seçilen devir sayılarında ve seçilen açıklıklarda elde edilen etanol fumigasyonu oranları Tablo 2-4'te devir sayılarına göre verilmiştir. Bu tablolarda ve aşağıdaki şekillerde; örneğin 1. A EF kısaltması 1. karbüratör ana meme açıklığındaki etanol fumigasyon oranlarını göstermektedir. Seçilen gaz konumlarında, özellikle 1/1 ve 3/4 gaz konumlarında, ana meme açıklıkları etanol fumigasyon oranları % 15'i geçmeyecek şekilde ayarlanmıştır. Çünkü yüksek fumigasyon oranlarında dizel vuruntusu sorunu ile karşılaşılabilir. Ancak sunulan çalışmada yapılan deneylerde seçilen açıklıkların hiçbirinde herhangi bir vuruntu durumu gözlenmemiştir.

2.1. Deneysel ölçümlerin değerlendirilmesi

2.1.1. Motor karakteristiklerinin belirlenmesi

Deney sonuçlarının saf dizel yakıtı ve etanol fumigasyonu için değerlendirilmesinde ayrıntıları Durgun [3, 12] da verilmiş olan hesap yöntemi uygulanmıştır. Burada uygulanan hesap yöntemi yalnızca ana hatları ile kısaca tanıtılacaktır. Motor milinden elde edilen efektif güç standart koşullara dönüştürülmüş ve nem düzeltmesi yapılmış olarak

$$N_e[\text{kW}] = 0,1013 \frac{M_d \omega}{p_0} \sqrt{T_0/293} X_{nem} \quad (1)$$

bağıntısından hesaplanmıştır. Burada ω [rad/s] açısal hız, n [d/d] motor devir sayısı ve M_d [Nm] döndürme momenti, p_0 ve T_0 ortam basıncı ve sıcaklığı ve X_{nem} nem düzeltme faktörüdür. Kullanılan deney sisteminde motorun yakıt tüketimi kütle yöntemine göre belirlenmektedir. Sunulan çalışmada 40 [gr] dizel yakıtının harcanma süresi ölçülmüş ve bu süre boyunca tüketilen etanol miktarı ise ölçekli bir cam tüpten belirlenmiştir. Bu durumda özgül yakıt tüketimi (ÖYT) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$b_e[\text{kg/kWh}] = \frac{(m_d + m_e)3600}{1000\Delta t N_e} = \frac{(40 + V_e \rho_e)}{1000\Delta t N_e} \quad (2)$$

Burada m_d ve m_e [gr] harcanan dizel yakıtının ve etanolün [gr] olarak miktarlarını (kütlelerini), Δt [s] ise 40 [gr] dizel yakıtının harcanma süresini V_e [ml] Δt süresince harcanan etanolün hacmini ve ρ_e [kg/m³] etanolün yoğunluğunu göstermektedir.

Etanol fumigasyonu için karışımın yoğunluğu, stokiyometrik hava miktarı ve karışımın alt ısıl değeri aşağıdaki bağıntılardan belirlenmiştir [2].

$$\rho_{fum}(\text{kg/m}^3) = \frac{x_e \rho_e + x_d \rho_d}{100} \quad (3)$$

$$h_{min,fum} = \frac{x_e \rho_e h_{min,e} + x_d \rho_d h_{min,d}}{x_e \rho_e + x_d \rho_d} \quad (4)$$

$$H_{u,fum} = \frac{x_e \rho_e H_{u,e} + x_d \rho_d H_{u,d}}{(x_e \rho_e + x_d \rho_d)} \quad (5)$$

Tablo 2. 1/1 gaz kolu konumunda farklı karbüratör açıklıkları için belirlenen etanol fumigasyon oranları

n [d/d]	1. A EF [%]	2. A EF [%]	3. A EF [%]	4. A EF [%]	5. A EF [%]	6. A EF [%]
1500	1.425	1.353	3.326	5.020	7.530	8.649
2000	2.239	2.375	4.478	6.512	9.701	12.753
2500	2.171	2.985	5.871	8.344	11.667	11.583
3000	1.832	2.916	5.592	8.886	12.074	11.667
3500	1.018	2.781	4.486	8.886	12.871	13.092
4000	1.018	1.968	3.730	8.208	8.598	10.582

Tablo 3. 3/4 gaz kolu konumunda da farklı karbüratör açıklıkları için belirlenen etanol fumigasyon oranları

n [d/d]	1. A EF [%]	2. A EF [%]	3. A EF [%]	4. A EF [%]	5. A EF [%]	6. A EF [%]
1500	0.611	1.832	2.578	3.326	2.578	5.495
2000	0.865	2.306	3.663	6.105	4.206	7.190
2500	1.425	3.188	4.748	8.683	6.105	10.175
3000	2.137	3.867	5.562	9.565	7.190	12.210
3500	2.103	4.341	5.698	10.446	7.801	15.059
4000	2.442	5.088	10.107	12.865	9.632	18.044

Tablo 4. 1/2 gaz kolu konumunda farklı karbüratör açıklıkları için belirlenen etanol fumigasyon oranları

n [d/d]	1. A EF [%]	2. A EF [%]	3. A EF [%]	4. A EF [%]	5. A EF [%]	6. A EF [%]
1500	0.611	1.176	1.696	3.256	5.291	6.109
2000	0.814	2.578	3.867	5.630	7.666	9.158
2500	1.288	3.731	5.155	6.783	9.021	12.007
2750	1.764	4.341	6.173	7.467	10.175	13.341
3000	2.103	5.155	7.394	7.937	13.783	17.026
3250	2.171	6.173	8.954	8.547	15.873	22.182

Bu bağıntılarda x_e ve x_d etanolün ve dizel yakıtının hacimsel oranları, ρ_e ve ρ_d etanolün ve dizel yakıtının yoğunluklarıdır. Sunulan çalışmada yakıtların alt ısıl değerleri Mendeleyev formülünden yararlanılarak hesaplanmıştır [14]

2.1.2. Hata analizi

Sunulan çalışmada tüm ölçümler 3'er kez yapılmıştır. Ölçülen değerlere, Durgun [12] tarafından verilen, Kline ve McClintock'un [13] yöntemi uygulanarak hata analizi gerçekleştirilmiştir. Hata analizinde, her bir büyüklük için 3'er kez ölçüm yapıldığından, deney sonuçlarına aşağıdaki gibi Student's-t dağılımı uygulanmıştır.

$$\Delta = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

Burada n ölçüm sayısı ve $v=n-1$ serbestlik derecesidir. Sunulan çalışmada her ölçüm 3'er kez tekrarlandığı için $n=3$ ve serbestlik derecesi $v=n-1=2$ 'dir. Böylece % 5 anlamlılık düzeyi olasılığı % 95'tir ve t değeri ilgili tablolardan $v=2$ için $t=0.403$ olarak elde edilmiştir.

Çeşitli terimlerdeki hatalar, iyi bilinen deneysel verilerin analizi yöntemi uygulanarak, belirlenmiştir. Örneğin moment değerlerinin belirsizlik aralığı % (0.5-5) olarak bulunmuştur. Efektif güç, ÖYT ve efektif verim gibi türetilmiş büyüklükler için de hata analizi uygulanmıştır. Kline ve McClintock'un yönteminin kullanıldığı hata analizi sonunda örneğin efektif güçteki belirsizlik aralığının % (0.02-1.2) olduğu belirlenmiştir. Diğer hata analizi sonuçları da incelendiğinde temel ölçümlerin tahmin edilen hatalarının, ayrıca ÖYT ve efektif verimdeki belirsizliklerin % (0.002-5) aralığında olduğu açıkça görülebilir. Buradan temel büyüklüklerin ölçülmesindeki ve türetilmiş büyüklüklerdeki tahmin edilen hataların sonuçların belirsizliğini belirgin şekilde etkilemeyeceği söylenebilir.

3. Sonuçlar ve Değerlendirmeler

Sunulan çalışmadan elde edilmiş olan sonuçların bazı örnekleri; aşağıda şekiller ve tablolar biçiminde özetlenmiştir. Bu şekillerin ve tabloların incelenmesine ve değerlendirilmesine geçmeden önce; fumigasyon yönteminin tanıtılmasında ve bu yöntemin dizel yanması üzerindeki olası etkilerinin kısaca açıklanmasında yarar görülmektedir.

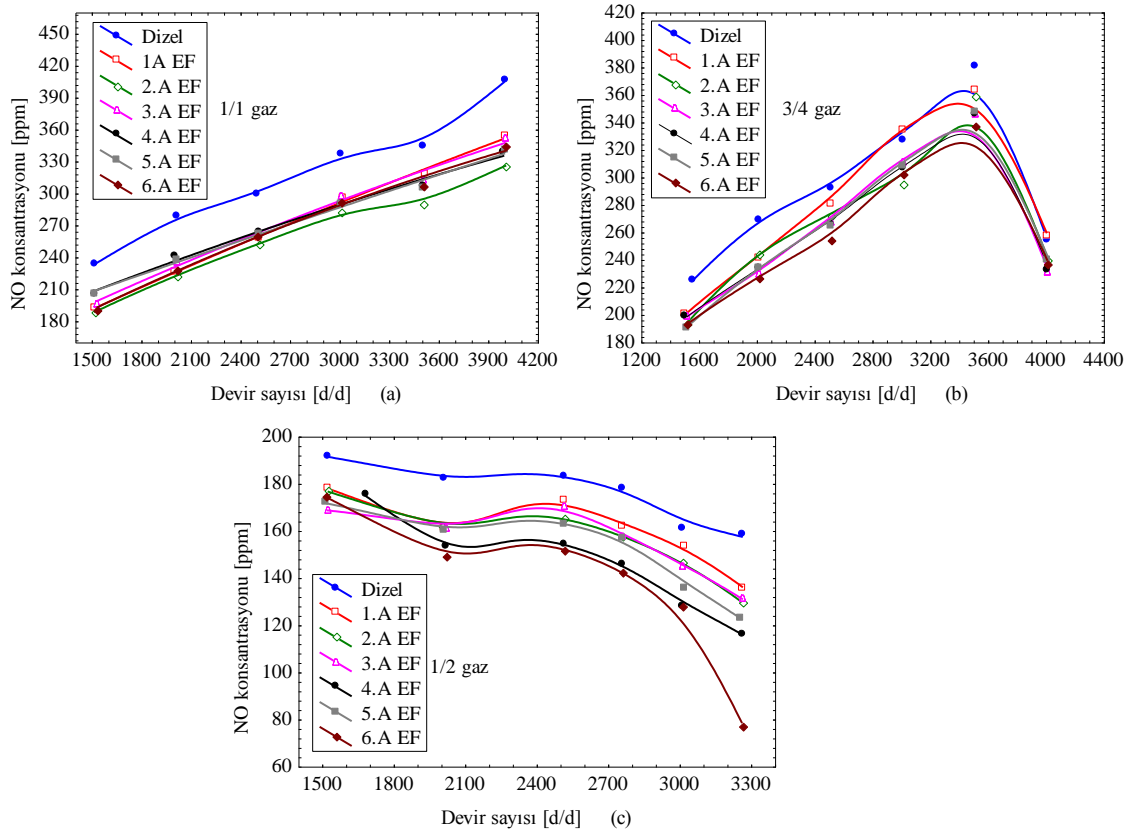
Fumigasyon yönteminde; hafif yakıt (sunulan çalışmada etanol) yukarıda açıklanan özelliklerdeki bir karbüratör veya bilgisayar kontrollü bir yakıt püskürtme donanımı aracılığı ile emilmekte olan havanın içerisine püskürtülmektedir. Böylece hafif yakıt-hava karışımı sıkıştırma işlemi boyunca sıkıştırılmakta ve buharlaşarak tutuşmaya hazır duruma gelmektedir. Ancak etanol (veya benzin) kendi kendine kolay tutuşamadığından yanamamaktadır. Sıkıştırmanın sonuna doğru, püskürtme avansı altında, dizel yakıtı bu karışımın içerisine püskürtülmektedir. Tutuşma gecikmesi sonunda, bu süre boyunca birikmiş olan dizel yakıtı, kendi kendine tutuşarak aniden yanmaktadır. Bu sırada hafif yakıt tamamen buharlaşmıştır ve yanma için bir kıvılcım beklemektedir. Dizel yakıtının aniden yanması; buharlaşmış, tutuşmaya hazır bu hafif yakıt-hava karışımının yanmasında kıvılcıma benzer bir işlev görmektedir. Böylece tutuşma gecikmesinden sonra dizel yakıtının kendi kendine tutuşmasının ardından oluşan yanmış gazların etkisi ile çevredeki hafif yakıt-hava karışımının çok hızlı bir biçimde yandığı tahmin edilmektedir. Bu durumda hafif yakıtın aniden yanmasının ek gaz hareketleri doğurabileceği ve sonuçta daha sonra püskürtülen dizel yakıtının hava ile çok daha hızlı ve homojen biçimde karışabileceği düşünülmektedir [14, 7]. Bilindiği gibi dizel motorlarında yanma işlemi dizel yakıtı ile havanın hızlı ve homojen karışması ile kontrol edilmektedir [15, 16]. Yanma işlemi ise motorun karakteristiklerini etkileyen en önemli işlemdir. Yakıt-hava karışımının bu ek gaz hareketleri ile iyileştirilmesi; yanma işleminin de düzeleceği ve motorun performans parametrelerinin iyileşebileceği ve çevre kirliliğinin azalacağı anlamına gelmektedir [15]. Fumigasyon yönteminin

ve olası etkilerinin bu kısa açıklanmasından sonra, etanol fumigasyonu deneylerinin ayrıntılı değerlendirilmesine ve irdelenmesine geçebiliriz.

Şekil 2 (a-c) de görüldüğü gibi her üç gaz kolu konumunda, seçilen etanol fumigasyon aralıklarının tümünde; NO konsantrasyonları saf dizel yakıtından düşük çıkmıştır. Böylece NO konsantrasyonunda yaklaşık olarak % 10 düzeyinde azalma belirlenmiştir. Bu durumun, yukarıda ayrıntılı şekilde açıklandığı gibi, fumigasyon yönteminin yanmayı iyileştirmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Yani hafif yakıtın anlık yanmasının ek gaz hareketleri doğurabileceği ve sonuçta daha sonra püskürtülen dizel yakıtının hava ile çok daha hızlı ve homojen biçimde karışabileceği düşünülmektedir. Bunun sonunda yanma, yanma odasına yayıldığından noktasal yüksek (pik) sıcaklık değerleri oluşmayacağı için NO oluşumunun azalacağı, öte yandan yakıtça zengin bölgeler küçüleceğinden is oluşumunun da azalacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca değişik kaynaklarda fumigasyon yöntemine benzer bir uygulamanın yapıldığı HCCI (Homojen Dolgulu Sıkıştırma Ateşlemeli) motorlarda da aynı nedenlerle NO ve is oluşumunun azaldığı belirtilmektedir [17]. Bunun yanında etanolün kimyasal yapısında bulunan oksijenin de yanma üzerindeki olası olumlu etkisinin NO konsantrasyonunun azalmasına katkı sağlayacağı tahmin edilmektedir [7].

Şekil 3 (a-c)'de deney sisteminden elde edilen p-θ diyagramlarından biri örnek olarak verilmiştir. Burada sonuçların daha iyi görülebilmesi amacı ile, verileri daha iyi olduğu için sonuçlar bölümünde kullanılması önerilen açıklıklarla ilgili değerler, Şekil 3'a ve 3b'de sunulmuştur. Bütün açıklıkların yer aldığı eğriler ise Şekil 3c'de verilmiştir. Şekil 3a'da görüldüğü gibi etanol fumigasyonu durumunda; silindir basınçları yanmanın başladığı andan ÜÖN'yu (15-20) °KMA geçene kadar dizel yakıtından daha yüksek değerler almakta ve daha sonra ise daha düşük olmaktadır. Bu şekilden ayrıca etanol fumigasyonu ile yanmanın daha erken başladığı ve ÜÖN civarında daha fazla enerji açığa çıktığı görülmektedir. İdeal gaz denklemi gereği sıcaklıkların basınçlarla orantılı olacağı varsayılabilir. Bu durumda etanol fumigasyonu ile sıcaklıkların genişleme işleminin başlangıcında (karışım kontrollü yanma evresinin sonuna doğru ve son yanma evresinde) daha düşük olacağı tahmin edilebilir. Bunun sonucunda da NO konsantrasyonunun azalacağı söylenebilir. Şekil 3b'de sonuçların daha iyi görülebilmesi için ÜÖN'dan sonra (50-300) °KMA arasındaki basınç değişimleri verilmiştir. Bu şekilde de; değişimlerin daha iyi görülebilmesi amacı ile, sonuçların daha iyi olduğu ve sunulan makalenin sonunda uygulanması önerilen açıklıklardaki basınç değerleri sunulmuştur. Söz konusu şekilden; ÜÖN'yu (40-50) °KMA geçtikten sonra, fumigasyon durumunda bulunan basınçların yeniden saf dizel yakıtının üstüne çıktığı görülmektedir. Sıcaklığın basınçla orantılı olduğu düşünülürse; etanol fumigasyonu durumunda, sıcaklıkların genişleme işleminin sonlarına doğru ve eksoz işlemi boyunca saf dizel yakıtından yüksek olacağı söylenebilir. Bu durumun; etanolün saf dizel yakıtına ek olarak emme manifoldundan geçmekte olan havanın içerisine püskürtülmesi sonucunda, yanma ile silindire daha fazla ısı sokulmasından kaynaklandığı açıktır.

Bütün açıklıkların yer aldığı basınç eğrileri ise Şekil 3c'de sunulmuştur. Söz konusu şekilden; etanol fumigasyonu ile silindir basıncının yanma işleminin başlarında (ilk yanma evresi olarak bilinen tutuşma gecikmesi evresinde ve 2. yanma evresi olarak bilinen karışım kontrollü yanma evresinin başlarında) yüksek değerler aldığı, ÜÖN'dan (15-20) °KMA sonra (yani karışım kontrollü yanma evresinin sonuna doğru ve son yanma evresinde) azaldığı ve ÜÖN'yu (40-50) °KMA geçtikten sonra ise yeniden arttığı görülmektedir. Tutuşma gecikmesi sonunda ve karışım kontrollü yanma evresinin başlarında basıncının yüksek çıkması şöyle açıklanabilir: Etanol fumigasyonu ile tutuşma gecikmesi artacağından, tutuşma gecikmesi süresince biriken yakıt miktarının artacağı ve bu yakıtın aniden yanması sonucunda da basıncın hızla yükseleceği tahmin edilebilir [5, 7-10]. Ayrıca, en önemlisi, tutuşma gecikmesinden sonra dizel yakıtı demetinin çevresinde bulunan etanol-hava karışımının çok hızlı biçimde yanacağı düşünülebilir. Böylece hem tutuşma gecikmesi süresince daha fazla dizel yakıtının yanması ver hem de daha sonra etanol-hava karışımının tamamının aniden yanması nedenleri ile basınçlar saf dizel yakıtından daha yüksek olmaktadır. Bununla birlikte şekillerden, yanma ilerledikçe maksimum basınçların dizel yakıtına yaklaştığı ve bu maksimum basınçların hemen hemen aynı açılarda oluştuğu görülmektedir. Bunun ardından yanma daha da ilerledikçe, yaklaşık olarak ÜÖN'dan (15-20) °KMA sonra, etanol fumigasyonu durumunda basınçlar saf dizel yakıtına göre daha düşük değerler almaya başlamaktadır. İşte bu bulgular etanol fumigasyonunun iyileştirici etkilerini daha iyi açıklamaktadır. Çünkü karışım kontrollü yanma evresinde püskürtülen dizel yakıtı; etanol-hava karışımının aniden yanması sonucu oluşan ek gaz hareketlerinin etkisi ile, hava ile hızlı ve homojen olarak karıştığından, yanma iyileşmektedir. Hem yanmanın ÜÖN civarında olmasından ve hem de daha sonraki yanma işleminin iyileşmesinden dolayı; fumigasyon durumunda Şekil 3d'de görülebileceği gibi; p-V diyagramının artı bölümünün alanı yani indike iş artmaktadır. Başka bir anlatımla etanol fumigasyonu sonucunda indike güç ve dolayısı ile efektif güç artmaktadır. Literatürden tutuşma gecikmesi aşamasında, vuruşu yaratmayacak şekilde, fazla miktarda yakıtın yakılmasının motorun gücünü artıracığı ve yakıt tüketimini azaltacağı bilinmektedir [5, 7, 10, 14, 18].



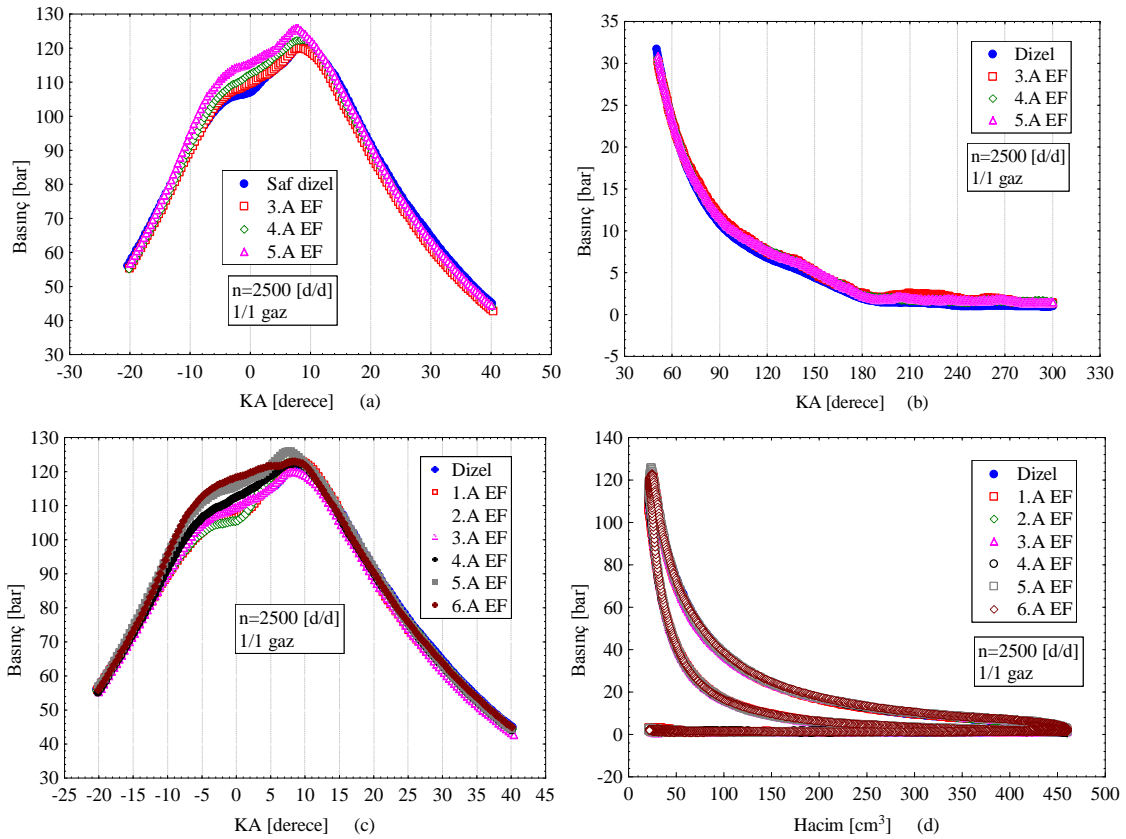
Şekil 2. (a-c) 1/1, 3/4 ve 1/2 gaz kolu konumlarında farklı etanol fumigasyon oranlarında NO konsantrasyonunun devir sayısına göre değişimleri

Şekil 4 (a-c)'de görüldüğü gibi, 1/1 ve 3/4 gaz kolu konumlarında eksoz sıcaklığı etanol fumigasyonu ile artmaktadır. Bu artışın olası nedenleri daha önce sunulan Şekil 3b'den yararlanarak açıklanabilir. Bu şekilde açıkça görülebileceği gibi; etanol fumigasyonu ile, ÜÖN'yu yaklaşık (40-50) °KMA geçtikten sonraki eksoz sıcaklıkları saf dizel yakıtından daha yüksek değerler almaktadır. Bu durum yukarıda da belirtildiği gibi, etanolün saf dizel yakıtına ek olarak emme manifolduna püskürtülmesi sonucunda silindire yanma ile daha fazla yakıt ısısının sokulmasından kaynaklandığı açıktır. Fakat 1/2 gaz kolu konumunda, etanol fumigasyonu durumunda eksoz sıcaklıkları saf dizel yakıtından daha düşük çıkmıştır.

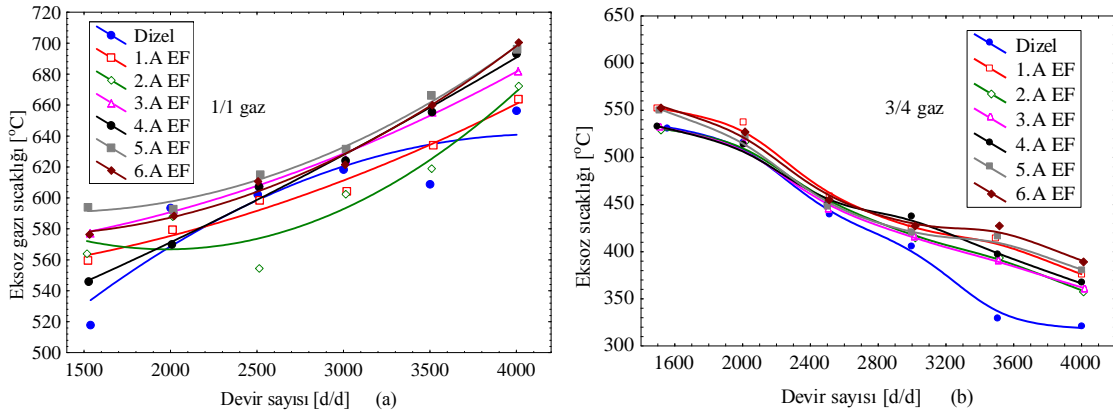
Şekil 4 (d-f)'de de görüldüğü gibi yağlama yağı sıcaklığı 1/1, 3/4 ve 1/2 gaz kolu konumlarında etanol fumigasyonu ile genel olarak azalmaktadır. Yağlama yağı sıcaklığı, 1/1 gaz kolu konumunda düşük devirlerde saf dizel yakıtından yüksek olmakla birlikte yüksek devirlerde tüm fumigasyon oranlarında saf dizel yakıtından daha düşük değerler almaktadır. 3/4 gaz kolu konumunda 1., 5. ve 6. açıklık durumlarında ise yağlama yağı sıcaklığının; dizel yakıtından daha yüksek, diğer açıklık durumlarında ise düşük olduğu görülmektedir. Buna karşın 3500 [d/d]'dan sonra tüm açıklıklarda yağlama yağı sıcaklığı yine dizel yakıtından düşük değerler almaktadır. 1/2 gaz kolu konumunda ise yağlama yağı sıcaklığı genel olarak fumigasyon oranı ile azalmaktadır.

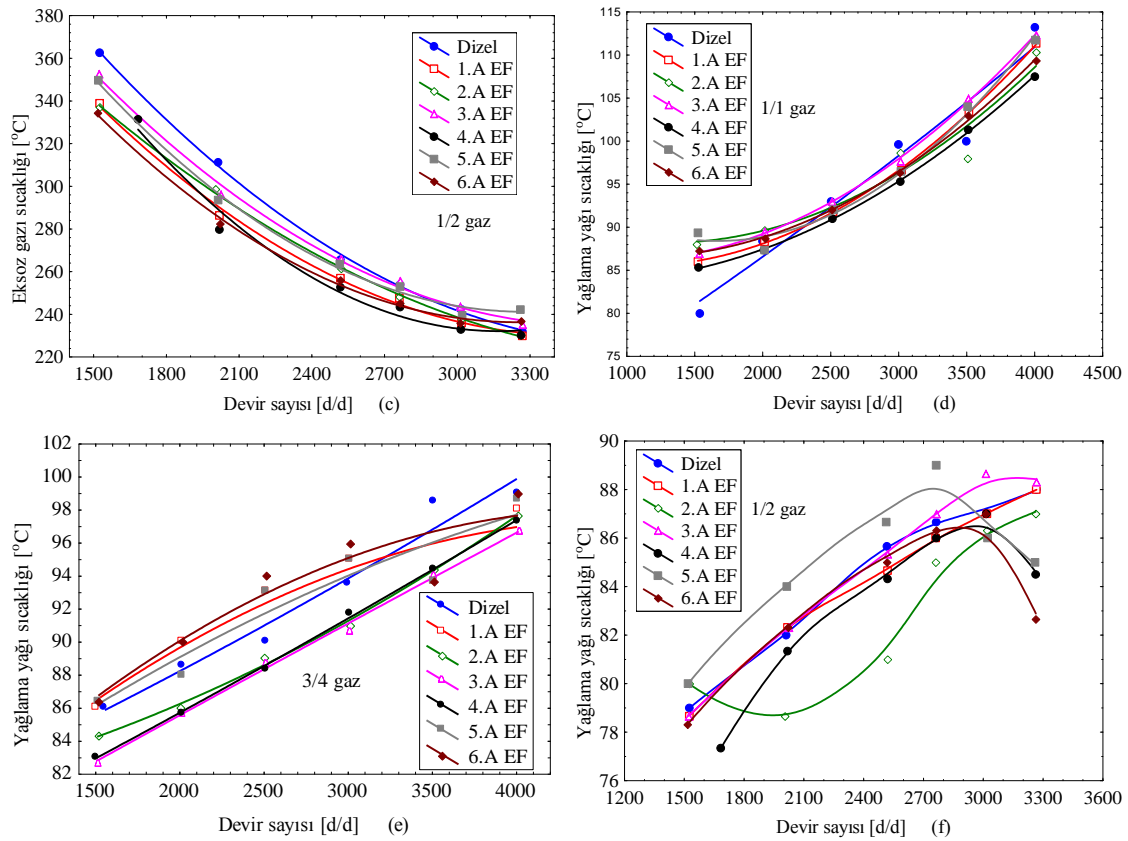
Şekil 5 (a-c)'de üç gaz kolu konumu için eksozdaki oksijen oranının değişimleri gösterilmiştir. Buradan görülebileceği gibi 1/1 ve 3/4 gaz kolu konumları için seçilen etanol fumigasyonu durumlarının hemen hemen tümünde oksijen oranları azalmaktadır. Sunulan çalışmada yanma odasına püskürtülen dizel yakıtının miktarında herhangi bir değişiklik olmamaktadır ve etanol emme kanalındaki havanın içerisine ek olarak püskürtülmektedir. Burada emilen hava miktarının yaklaşık olarak değişmediği varsayılabilir. Ancak etanolün emme kanalında kısmen buharlaşması nedeniyle sıcaklıklar azalacağından karışımın yoğunluğunun ve dolayısı ile emilen taze dolgu miktarının artacağı tahmin edilebilir. Başka bir deyişle etanol fumigasyonu ile volumetrik verimin artacağı söylenebilir [5]. Bu bilgilerin ışığı altında eksozdaki oksijen oranının azalması nedenini aşağıdaki gibi açıklayabiliriz: Etanol fumigasyonu ile emme kanalına eklenen etanolü yakmak için havanın oksijeninin bir bölümünün kullanılması gerekmektedir. Ayrıca dizel yakıtını yakmak için de saf dizel yakıtına eşdeğer miktarda oksijen harcanmaktadır. Böylece etanol fumigasyonunun bu olumlu ve olumsuz iki etkisi birbirini dengeleyerek

sonuçta saf dizel yakıtı durumundan daha fazla oksijen kullanılmış olmaktadır. Ayrıca etanol eklenmesi ile yanma iyileştiğinden, yanmadan dışarı atılabilecek yakıt-hava karışımı oranının azalabileceği söylenebilir. Etanol fumigasyonu ile yanmanın iyileşmesi sonucu efektif gücün ve verimin de arttığı aşağıdaki şekillerden görülebilmektedir. Öte yandan Şekil 5c'de görüldüğü gibi 1/2 gaz konumunda eksozdaki oksijen oranı saf dizel yakıtından yüksek çıkmaktadır. Buradan da; 1/2 gaz durumunda dizel yakıtı miktarı az olduğundan oksijenin bir bölümünün yanmada kullanılmadığı ve doğrudan doğruya eksoz gazları ile dışarı atıldığı söylenebilir. Çünkü 1/2 gazda hava zaten boldur ve etanolün oksijenine ve ek gaz hareketlerine pek gerek kalmamaktadır. Bu nedenle 1/2 gaz kolu konumunda etanol fumigasyonunun yararlı etkisi pek fark edilememektedir. Zaten aşağıdaki şekillerde görülebileceği gibi 1/2 gaz kolu konumunda seçilen etanol fumigasyon açıklıkları için efektif güç ve efektif verim çoğunlukla azalmaktadır.



Şekil 3. (a-d) 1/1 gaz kolu konumunda farklı etanol fumigasyon oranlarında basıncın krank mili açısına ve hacme göre değişimleri





Şekil 4. (a-c) 1/1, 3/4 ve 1/2 kolu konumlarında farklı etanol fumigasyon oranlarında eksoz gazı sıcaklığının devir sayısına göre değişimleri. (d-e) 1/1, 3/4 ve 1/2 gaz kolu konumunda yağlama yağı sıcaklığının devir sayısına göre değişimleri.

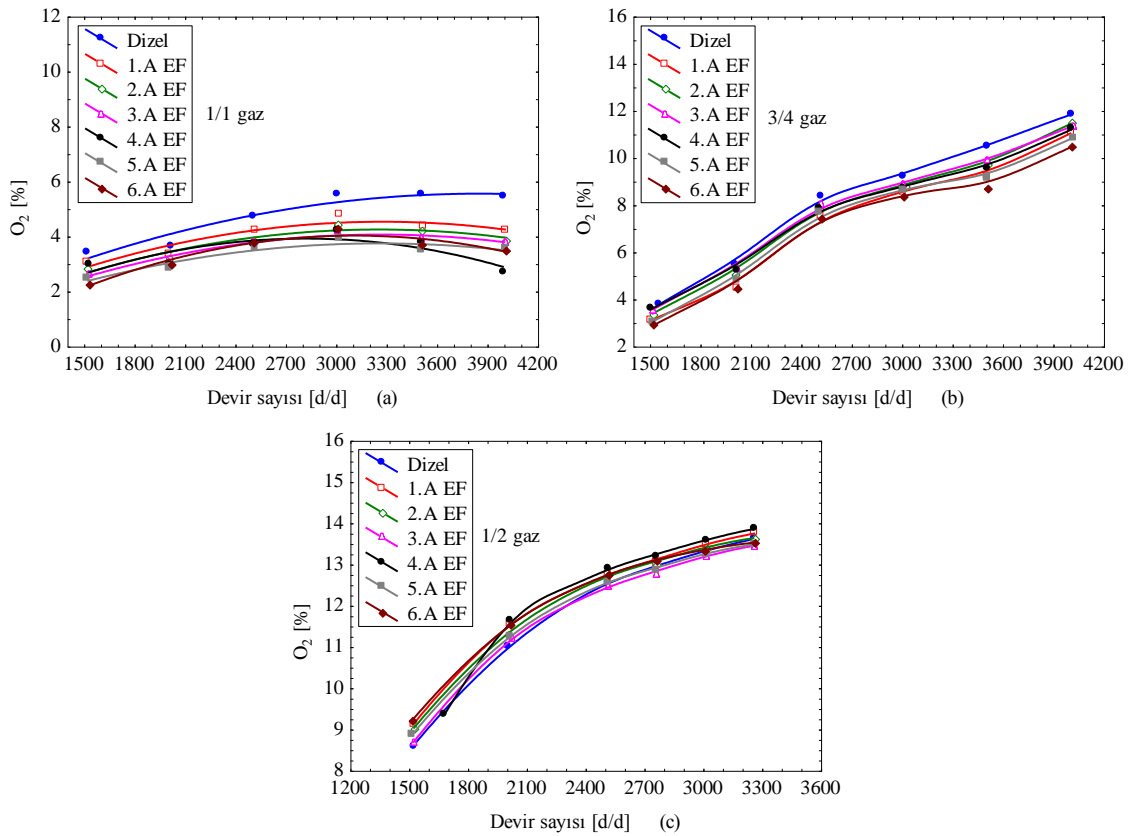
Şekil 6 (a-c)'de görüldüğü gibi efektif güç; 1/1 ve 3/4 gaz konumlarında seçilen fumigasyon oranlarında artmakta, 1/2 gaz kolu konumunda ise tüm etanol fumigasyon oranlarında azalmaktadır. Benzer şekilde Şekil 7 (a-c)'de görüldüğü gibi; efektif verim, 1/1 ve 3/4 gaz kolu konumlarında artmakta ve 1/2 gaz kolu konumunda ise çoğunlukla azalmaktadır. 1/1 gaz kolu konumunda Şekil 6a'da görüldüğü gibi, genel olarak 5. ana meme açıklığına kadar efektif güç artmaktadır. Bu açıklıklar genel olarak % (5-8) fumigasyon oranlarına karşılık gelmektedir. Böylece yüksek fumigasyon oranlarında fumigasyonun yararlı etkisinin yavaş yavaş azalmaya başladığı tahmin edilmektedir. 3/4 gaz kolu konumunda ise seçilen tüm açıklıklarda efektif güç artmaktadır. Efektif güçteki iyileşme daha önce sunulan Şekil 3a'dan yararlanarak daha iyi açıklanabilir. Söz konusu şekilden de görüldüğü gibi etanol fumigasyonu ile yanma, saf dizel yakıtına göre daha erken başlamakta ve ÜÖN civarında daha fazla enerji açığa çıkmaktadır. Bilindiği gibi yakıtın mümkün olduğu kadar fazla bölümünün ÜÖN civarında yanması istenir ve bu durumda motor performansı iyileşir [5, 10]. Böylece motor performansında belirtilen iyileşmenin olduğu söylenebilir. Fakat asıl iyileşmeyi; etanolün anlık yanmasının doğurduğu akım karışıklıklarının, karışım kontrollü yanma evresinde oluşturduğu hızlı ve homojen yanmadır.

Efektif güç 1/2 gaz kolu konumunda ise çoğunlukla azalmaktadır. Bu gaz kolu konumunda efektif güç, 3. ve 5. açıklık durumlarında saf dizel yakıtına çok yakın değer almakta, aynı açıklıklarda özellikle yüksek devirlerde saf dizel yakıtına daha da yaklaşmaktadır.

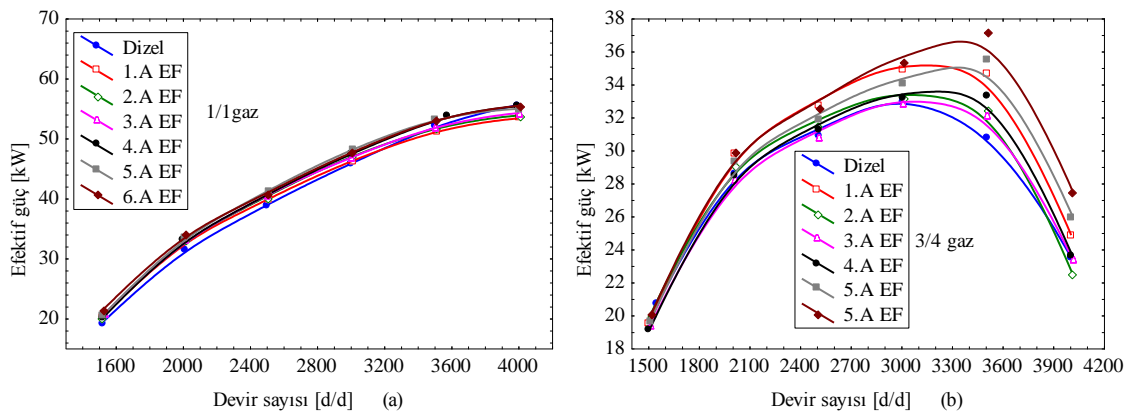
1/1 ve 3/4 gaz kolu konumlarında efektif güçteki artma oranları, özellikle tam gazdaki artma oranı, beklenenden daha düşük çıkmıştır. Böyle bir durumla karşılaşılmasının olası nedenleri şöyle açıklanabilir: Sunulan çalışmada deneylerde kullanılan motor turboşarjlı ve ön yanma odalı bir dizel motordur. Bilindiği gibi; ön yanma odalı dizel motorlarında ana yanma odasının yaklaşık % 30'u büyüklüğündeki bir ön yanma odası da bulunmaktadır ve ön yanma odasında ön yanma sonucu oluşan yarı yanmış gazların bu ilk yanmanın basıncının etkisiyle ana yanma odasına püskürmesinin etkisi ile yakıt ve yarı yanmış gazlar hava ile daha iyi ve homojen bir şekilde karışmaktadır. Bu nedenle etanol fumigasyonunun yukarıda açıklanan yararlı etkileri ön yanma odalı dizel motorlarında pek kendini gösterememektedir. Kuşkusuz söz konusu iyileşmeler ön yanma odalı dizel motorlarında da oluşmaktadır.

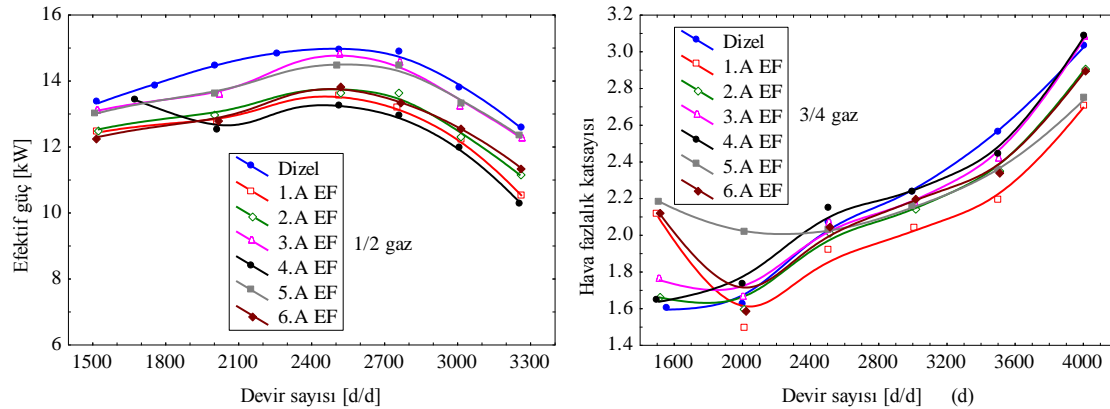
Fakat burada ön yanma odası etanolün anlık yanması sonucu oluşan akım karışıklıklarının benzeri etkiyi zaten yapmaktadır. Yine de yüksek devirlerde ve 1/1 ve 3/4 gaz kolu konumlarında etanol fumigasyonu durumunda motor karakteristiklerinin (efektif güç, efektif verim vs) iyileştiği görülmektedir. Bununla birlikte direkt püskürtmeli dizel motorlarında etanol fumigasyonunun motor karakteristikleri üzerindeki olumlu etkilerinin tüm gaz konumlarında daha belirgin olacağı tahmin edilebilir [7, 9, 10].

Şekil 6'de görüldüğü gibi, etanol fumigasyonu ile hava fazlalık katsayısı azalmakta, başka bir anlatımla ekivalans oranı artmaktadır. Bunun sonucunda yüksek fumigasyon oranlarında yanmanın bozulması beklenebilir. Bu nedenle 3/4 gaz kolu konumunda diğer gaz kolu konumlarına göre daha iyi sonuçlar çıkmaktadır. Bu olumsuzluğu önlemek için; fumigasyon oranı artırılırken dizel yakıtının kütlesi en uygun hava fazlalık katsayısını sağlayacak şekilde azaltılmalıdır. Söz konusu ayar uygun şekilde programlanmış ECU ile gerçekleştirilebilir.



Şekil 5. (a-c) 1/1, 3/4 ve 1/2 gaz kolu konumlarında farklı etanol fumigasyon oranlarında O₂'nin devir sayısına göre değişimleri





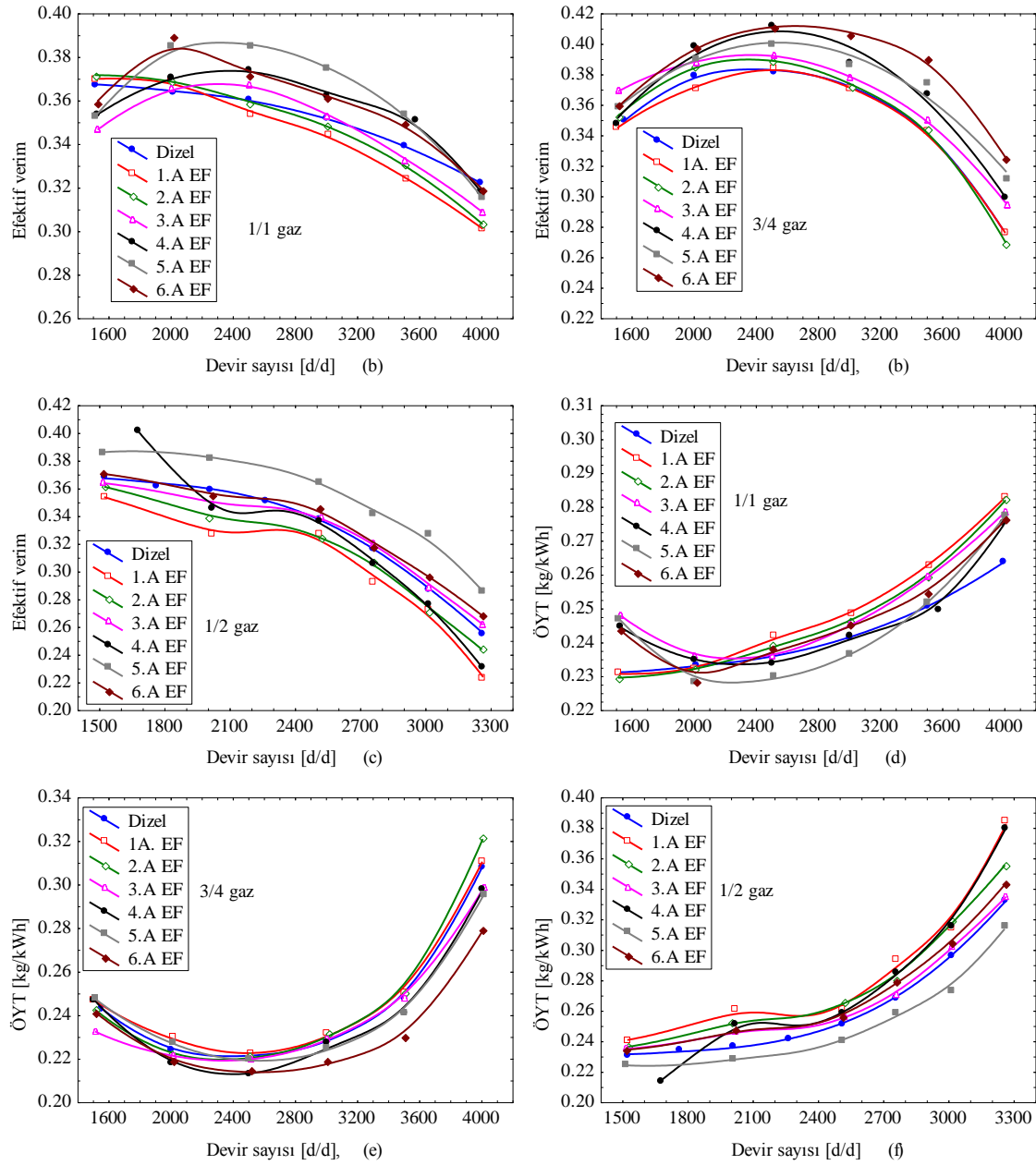
Şekil 6. (a-c) 1/1, 3/4 ve 1/2 gaz kolu konumlarında farklı etanol fumigasyon oranlarında efektif gücün devir sayısına göre değişimleri. (d) 3/4 gaz kolu konumunda farklı etanol fumigasyon oranlarında hava fazlalık katsayısının devir sayısına göre değişimleri

Şekil 7 (a-f)'de her üç gaz kolu konumu için efektif verimin ve ÖYT'nin değişimleri sunulmuştur. Bu şekillerden görüldüğü gibi 1/1 gaz ve 3/4 gaz kolu konumlarında, düşük etanol fumigasyonu oranlarına denk gelen açıklıklarda efektif verimin azaldığı veya ÖYT'nin arttığı görülmektedir. Bu durumun; kullanılan motor turboşarjlı olduğundan, düşük etanol fumigasyonu oranlarına denk gelen açıklıklarda etanolün bol hava ile çok fakir bir karışım oluşturmasından ve bu karışım için (etanol-hava karışımı için) hava fazlalık katsayısının yanma sınırları dışına çıkmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yani düşük etanol oranlarında, özellikle % (2-3)'ten düşük oranlarda, etanolün hava içerisinde anlık olarak yanmadığı tahmin edilmektedir. Ayrıca yüksek etanol fumigasyonu oranlarında da, örneğin yaklaşık % (10-12) etanol fumigasyonu oranlarından sonra, efektif verim azalmaya başlamaktadır. Benzer şekilde, Şekil 2 (a-b)'de görüldüğü gibi, yaklaşık bu fumigasyon oranlarından sonra NO konsantrasyonu da artmaya başlamaktadır. Bu durumla ilgili kısaca aşağıdaki yorumlar yapılabilir:

Literatürde belirtildiği gibi; turboşarjsız dizel motorlarında en iyi fumigasyon oranının ~ % (4-6) olmasına karşın, sunulan çalışmada kullanılan turboşarjlı dizel motorunda bu oranın ~ % (6-9) olduğu belirlenmiştir [7, 14]. Aslında turboşarjlı durumda silindire daha fazla miktarda hava doldurulduğundan en uygun hava fazlalık katsayısını sağlamak için; doğal emişli motorlara göre, fumigasyonla daha fazla etanol gönderilmelidir. Böylece aşırı doldurmalı motorlarda en uygun fumigasyon oranı daha yüksek olmaktadır.

Şekil 7d'de görüldüğü gibi 1/1 gazda ÖYT, düşük etanol fumigasyonu oranlarına karşı gelen ilk iki ana meme açıklığında artmakta, fakat bu iki açıklıktan sonra azalmaktadır. Yaklaşık 3300 [d/d]'dan yüksek devir sayılarında ise, seçilen tüm açıklıklar için ÖYT artmaktadır. ÖYT; 1/1 gaz kolu konumunda ve orta devirlerde, 4. ve 5. açıklık durumlarında saf dizel yakıtından düşük çıkmıştır. Şekil 6e'de görüldüğü gibi, 3/4 gaz kolu konumunda da buna benzer sonuçlar elde edilmiştir. Fakat 3/4 gaz kolu konumunda ÖYT'ndeki azalma oranları 1/1 gaz kolu konumuna göre daha fazla olmuştur.

1/2 gaz kolu konumunda ise; Şekil 7f'de görülebildiği gibi, ÖYT 5. açıklık dışında tüm etanol fumigasyonu oranlarında artmaktadır. 3. açıklık durumunda ise ÖYT düşük devir sayılarında artmakta ve yüksek devir sayılarında ise dizel yakıtına yakın değerler almaktadır. Aynı şekilden; 5. açıklık durumunda ÖYT'nin tüm devirlerde dizel yakıtından düşük olduğu görülmektedir. 3. ve 5. açıklıklarda efektif güçteki azalma oranı da nispeten daha düşük olmaktadır. Ayrıca 1/2 gaz kolu konumunda; efektif verim, 5. açıklıkta saf dizel yakıtından yüksek ve 3. açıklık durumunda ise saf dizel yakıtına yakın değerler almaktadır. Bu nedenle söz konusu motor 1/2 gaz kolu konumunda çalıştırılacaksa 3. ve 5. açıklığa karşı gelen etanol fumigasyonu tercih edilebilir. Bununla birlikte hem motor karakteristiği ve hem de NO konsantrasyonu açısından 5. açıklığın uygulanmasının daha iyi olacağı ilgili şekillerden görülebilir.



Şekil 7. (a-f) 1/1, 3/4 ve 1/2 gaz konumlarında farklı etanol fumigasyon oranlarında efektif verimin ve ÖYT'nin devir sayısına göre değişimleri

Tablo 5. 1/1 gaz kolu konumunda farklı etanol fumigasyon oranları için efektif gücün dizel yakıtına göre karşılaştırma oranları.

1/1, n [d/d]	$(\Delta N_e/N_e)*100$					
	1.A EF	2.A EF	3.A EF	4.A EF	5.A EF	6.A EF
1500	4.431	4.980	7.520	4.395	5.779	11.720
2000	4.290	4.911	4.679	4.876	6.440	8.380
2500	2.384	3.722	4.406	4.458	6.211	4.866
3000	1.075	2.585	2.145	3.451	5.064	3.970
3500	-1.614	-0.779	-0.289	3.056	2.095	2.058
4000	-3.968	-3.103	-2.373	-0.431	-1.175	-0.202

Tablo 6. 3/4 gaz kolu konumunda farklı etanol fumigasyon oranları için efektif gücün dizel yakıtına göre karşılaştırma oranları.

3/4, n [d/d]	$(\Delta N_e/N_e)*100$					
	1.A EF	2.A EF	3.A EF	4.A EF	5.A EF	6.A EF
1500	-5.692	-3.533	-6.505	-7.638	-5.227	-3.134
2000	4.157	1.396	-1.218	-0.416	2.327	4.556
2500	5.704	1.820	-0.314	1.000	3.096	5.496
3000	5.898	0.713	-0.282	0.655	3.196	15.117
3500	12.666	5.676	4.267	7.939	15.244	20.787
4000	5.346	-4.094	-0.830	0.519	10.215	16.928

Tablo 7. 1/1 gaz kolu konumunda farklı etanol fumigasyon oranları için ÖYT'nin dizel yakıtına göre karşılaştırma oranları.

1/1, n [d/d]	$(\Delta b_e/b_e)*100$					
	1.A EF	2.A EF	3.A EF	4.A EF	5.A EF	6.A EF
1500	-0.121	-0.857	7.359	6.070	6.936	5.636
2000	-0.600	-0.429	1.288	0.858	-2.146	-2.146
2500	2.542	1.271	0	-0.847	-2.669	0.847
3000	2.905	2.075	1.660	0.415	-1.660	1.660
3500	5.200	3.600	3.600	0	0.400	2.000
4000	7.197	7.224	5.703	4.167	4.924	4.545

Tablo 8. 3/4 gaz kolu konumunda farklı etanol fumigasyon oranları için ÖYT'nin dizel yakıtına göre karşılaştırma oranları.

3/4, n [d/d]	$(\Delta b_e/b_e)*100$					
	1.A EF	2.A EF	3.A EF	4.A EF	5.A EF	6.A EF
1500	1.646	-0.412	-4.527	1.646	1.646	-0.823
2000	2.679	-0.893	-0.893	-2.679	1.339	-2.231
2500	0.450	-0.450	-0.901	-3.604	-1.351	-3.604
3000	1.316	1.316	0.439	-0.439	-1.754	-4.386
3500	0.806	0.806	0	-3.226	-2.823	-7.258
4000	0.974	4.221	-2.922	-3.247	-3.909	-9.416

Tablo 9. 1/1 gaz kolu konumunda farklı etanol fumigasyon oranları için efektif verimin dizel yakıtına göre karşılaştırma oranları.

1/1, n [d/d]	$(\Delta \eta_e/\eta_e)*100$					
	1.A EF	2.A EF	3.A EF	4.A EF	5.A EF	6.A EF
1500	0.817	1.090	-5.722	-3.815	-3.815	-2.180
2000	1.374	1.364	0.275	1.648	5.495	6.868
2500	-1.667	-0.278	1.944	3.889	6.944	3.056
3000	-1.994	-0.855	0.570	3.133	6.553	2.849
3500	-4.425	-2.655	-2.065	3.008	4.130	2.950
4000	-6.522	-5.901	-4.037	-1.242	-1.863	-0.932

Tablo 10. 3/4 gaz kolu konumunda farklı etanol fumigasyon oranları için efektif verimin dizel yakıtına göre karşılaştırma oranları.

3/4, n [d/d]	$(\Delta \eta_e/\eta_e)*100$					
	1.A EF	2.A EF	3.A EF	4.A EF	5.A EF	6.A EF
1500	-1.146	0.860	5.731	-0.287	2.865	2.865
2000	-2.374	1.583	2.375	5.013	2.902	4.749
2500	0.542	1.837	2.887	7.874	4.724	7.612
3000	-0.270	0	1.617	4.313	4.043	9.433
3500	-0.292	0.292	1.749	6.706	9.038	13.703
4000	-0.362	-2.536	6.522	7.971	13.043	17.391

Tablo 11. 1/1 gaz kolu konumunda farklı etanol fumigasyon oranları için NO konsantrasyonunun dizel yakıtına göre karşılaştırma oranları.

1/1, n [d/d]	$(\Delta\text{NO}/\text{NO})*100$					
	1.A EF	2.A EF	3.A EF	4.A EF	5.A EF	6.A EF
1500	-17.811	-19.313	-15.880	-11.588	-11.588	-18.240
2000	-18.585	-20.024	-15.708	-13.669	-14.628	-17.866
2500	-14.016	-16.074	-12.125	-11.902	-12.403	-13.070
3000	-11.905	-16.171	-11.706	-13.542	-13.790	-12.996
3500	-8.027	-15.861	-9.478	-10.832	-11.799	-11.122
4000	-12.747	-19.490	-13.240	-16.530	-15.810	-15.049

Tablo 12. 3/4 gaz kolu konumunda farklı etanol fumigasyon oranları için NO konsantrasyonunun dizel yakıtına göre karşılaştırma oranları.

3/4, n [d/d]	$(\Delta\text{NO}/\text{NO})*100$					
	1.A EF	2.A EF	3.A EF	4.A EF	5.A EF	6.A EF
1500	-10.682	-14.095	-11.573	-11.276	-15.134	-13.947
2000	-10.019	-8.933	-14.640	-13.152	-13.027	-15.385
2500	-3.716	-6.918	-8.291	-8.748	-9.205	-12.979
3000	2.009	-10.173	-5.188	-6.613	-5.901	-7.833
3500	-4.298	-5.526	-8.947	-9.035	-8.509	-11.403
4000	1.445	-5.782	-9.199	-8.147	-5.388	-6.439

Tablo 13. 1/2 gaz kolu konumunda farklı etanol fumigasyon oranları için NO konsantrasyonunun, efektif gücün ve ÖYT'nin dizel yakıtına göre karşılaştırma oranları.

1/2, n [d/d]	$(\Delta\text{NO}/\text{NO})*100$		$(\Delta b_e/b_e)*100$		$(\Delta N_e/N_e)*100$	
	3.A EF	5.A EF	3.A EF	5.A EF	3.A EF	5.A EF
1500	-11.846	-10.278	1.702	-3.125	-1.839	-2.485
2000	-11.517	-12.066	4.661	-3.390	-6.071	-5.745
2500	-6.572	-10.949	1.594	-4.382	-1.085	-3.396
2750	-11.776	-11.962	0.746	-3.731	-2.188	-3.242
3000	-10.145	-15.683	2.373	-8.138	-4.142	-3.938
3250	-17.089	-22.152	0.602	-5.442	-2.114	-1.596

Yukarıdaki şekillerden ve Tablo 5-13'ten görülebileceği gibi; 1/1 gaz kolu konumunda 4.A ana meme açıklık ayarı ve 3/4 gaz kolu konumunda ise 4. ve 5. ana meme açıklık ayarları tercih edilebilir. Bu durumlarda saf dizel yakıtına göre efektif güç ve efektif verim değerleri yüksek ve ÖYT ise düşük olmakta ve ayrıca söz konusu açıklıklarda NO konsantrasyonu da düşük değerler almaktadır. 1/2 gaz kolu konumunda ise 5. açıklığa karşı gelen etanol fumigasyon oranları tercih edilebilir. Bu durumda ÖYT biraz azalmakta, buna karşılık efektif güç çok az düşmektedir.

Yine söz konusu motorun uzun süreli kullanımında 3/4 gaz kolu konumunda ve 3000 [d/d] hızlarında ve 4. ve 5. ana meme açıklığı ayarlarında (~ % (6-9) etanol oranında) fumigasyon uygulanmasının hem çevre kirliliği hem de motor karakteristikleri açısından tercih edilebileceği, sunulan deneysel çalışmadan, anlaşılmaktadır.

4. Sonuçlar

Sunulan çalışmadan elde edilen başlıca sonuçlar ve yapılabilecek öneriler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Deneylerde kullanılan motor için; etanol fumigasyonu ile efektif güç 1/1 gaz kolu konumunda yaklaşık olarak % 5, 3/4 gaz kolu konumunda ise yaklaşık % 3 oranında artmaktadır. 1/2 gaz durumunda ise efektif güç azalmaktadır.
2. Etanol fumigasyonu ile ÖYT 1/1 gaz kolu konumunda artmakta veya saf dizel yakıtına yakın değerler almaktadır. 3/4 gaz kolu konumunda ise ÖYT ortalama olarak % 2 oranında azalmaktadır. Buna karşılık 1/2 gaz kolu konumunda ise ÖYT artmaktadır. Yalnız 1/2 gaz kolu konumunda 5. açıklıkta, ÖYT'nde ortalama olarak % (3.5-4)'lük azalma belirlenmiştir.
3. Efektif verim 1/1 ve 3/4 gaz kolu konumlarında ortalama olarak % 4 oranında artmaktadır. 1/2 gaz kolu konumunda ise efektif verim 5. açıklık dışında saf dizel yakıtına yakın değerler almakta veya çok az azalmaktadır.

4. Her üç gaz kolu konumunda NO konsantrasyonu azalmakta ve 1/1 gaz kolu konumunda azalma oranı ortalama olarak % 15 ve 3/4 ve 1/2 gaz kolu konumlarında ise % 10 düzeylerinde olmaktadır.
5. Etanol fumigasyonu ile; 1/1 ve 3/4 gaz konumlarında eksoz sıcaklığı arttığı için eksoza aktarılan ısı miktarının arttığı, buna karşın yağlama yağı sıcaklığı azaldığı için yağlama yağına giden ısının azaldığı tahmin edilmektedir.
6. Bu çalışma sonunda elde edilen verilere göre; deneylerde kullanılan Ford XLD 418T motorunda etanol fumigasyonu uygulanırken; 2500-3500 [d/d] aralığında 1/1 gaz kolu konumunda 4.A, 3/4 gaz kolu konumunda ise 4.A ve 5.A ayarları, 1/2 gaz kolu konumunda ise 5.A ayarı tercih edilebilir.
7. Genel olarak en iyi fumigasyon oranının; hem etanol miktarının hem de püskürtülen dizel yakıtı miktarının uygun şekilde programlanmış ECU sisteminin kumandası ile, en uygun hava fazlalık katsayısını sağlayacak şekilde, ayarlanması sonunda elde edilmesi gerekir.

Teşekkür:

Öncelikle bu projeyi maddi olarak destekleyen **Devlet Planlama Teşkilatına** ve ayrıca KTÜ Müh. Fak. Makine Mühendisliği Bölümü Motorlar Laboratuvarı **Teknisyeni Sayın Şenol DÜBÜŞ'e**, veri toplama kartı için bilgisayar programını hazırlayan **Dr. Elektrik-Elektronik Mühendisi Sayın Mehmet TURHAL'a** ve deneyler yapılmasında yardımcı olan **Öğretim Görevlisi Sayın Coşkun BAYRAM'a** çok teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Şahin Z., Durgun O., “Dizel motorlarında püskürtme parametrelerinin motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerinin sayısal olarak incelenmesi”, IV Ege Enerji Sempozyumu 21-23 Mayıs İzmir, (2008).
- [2] Durgun, O., “Benzin motorlarında etil alkol kullanılması”, TMMOB Müh. ve Mak. Derg., 29, 347 , 24-26, 1988.
- [3] Kızıltan, E., “Motor Yakıtlarına Alkol Katılmasının Motor Performansına Etkisi”, Yüksek Lisans tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, (1988).
- [4] Bilgin, A., Durgun, O., Şahin, Z. “The effect of diesel-ethanol blends on diesel engine performance”, *Energy Sources*, 24, 431-440, (2002).
- [5] Abu-Qudais M, Haddad O, Qudaisat M. “The effect of alcohol fumigation on diesel engine performance and emissions”, *Energy Conversion and Management*, 41: 389–99, 2000.
- [6] Rakopoulos, C.D., Antonopoulos, K.A., Rakopoulos “Experimental heat release analysis and emissions of a HSDI diesel engine fueled with ethanol–diesel fuel blends” *Energy*, 32 (10), 1791–1808, (2007).
- [7] Şahin, Z., Durgun, O. “Theoretical investigation of effects of light fuel fumigation on Diesel engine performance and emissions”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 48, pp.1952-1964 (2007).
- [8] Ottikkutti, P. “Multizone modeling of a fumigated diesel engine.” Ph.D. Thesis, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa (1989).
- [9] Ajay, E.A. and Singh, B. and Bhattacharya, T.K. “Thermal balance of a single cylinder diesel engine operating on alternative fuels”, *Energy Conv. & Management* 41 pp. 1533-1541 (2000).
- [10] Jiang O., Ottikkutti P., Gerpen J., Van Meter D. “The effect of alcohol fumigation on diesel flame temperature and emissions”. *SAE 1990;900386:1–24*, (1990).
- [11] Turkcan, A., Canakci, M. “Experimental investigation of combustion characteristics and emissions of an indirect injection diesel engine under different operating conditions”, *Energy & Fuels*, 22(2), 1297-1305, (2008).
- [12] Durgun O. Motorlarda deneysel yöntemler, laboratuvar ders notları, KTU, Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü, 1990.
- [13] Holman JP. “*Experimental methods for engineers*”, seventh ed. McGraw-Hill; (2001).
- [14] Durgun, O., Şahin, Z., “Theoretical investigation of heat balance in direct injection (DI) diesel engines for neat diesel fuel and gasoline fumigation”, *Energy Conversion and Management*, 50,43-51, (2009).
- [15] Heywood JB. ,“Internal Combustion Engine Fundamentals”, New York, McGraw Hill Book Company, (1989).
- [16] Hsu BD. “Practical diesel-engine combustion analysis”, USA, SAE International; (2002).
- [17] Merker, G.P, Schwarz C, Stiesch G ve Otto F. “Simulation Combustion, Simulation of Combustion and Pollution Formation for Engine-development”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, (2006).
- [18] Şahin Z., Durgun O., Bayram C. “Experimental investigation of gasoline fumigation in a single cylinder direct injection (DI) diesel engine”, *Energy*, 33 (8), 1298–1310, (2008).