

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİR DİZEL MOTORUNDA AMONYAK KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSI**  
**VE EKSOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK**  
**İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mak. Müh. İmdat Ziya AKCANCA**

**KASIM 2016**  
**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİR DİZEL MOTORUNDA AMONYAK KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSI  
VE EKSOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK  
İNCELENMESİ**

**İmdat Ziya AKCANCA**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
"MAKİNA YÜKSEK MÜHENDİSİ"  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02 / 11 / 2016**

**Tezin Savunma Tarihi : 25 / 11 / 2016**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Zehra ŞAHİN**

**Trabzon 2016**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalında  
İmdat Ziya AKCANCA Tarafından Hazırlanan**

**BİR DİZEL MOTORUNDA AMONYAK KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSI  
VE EKSOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK  
İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 08 / 11 / 2016 gün ve 1675 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Zehra ŞAHİN .....**

**Üye : Prof. Dr. Atilla BİLGİN .....**

**Üye : Prof. Dr. Orhan DURGUN .....**

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Günümüz dünyasında enerjinin önemi; artan dünya nüfusuna bağlı olarak fosil kaynaklı yakıtlara ait rezervlerin tükenme tehlikesi, yakıt kaynaklı çevresel sorunların artması ve gelişen teknolojinin beraberinde getirdiği enerji tüketim alanının genişlemesi ile artarak devam etmektedir. İçten yanmalı motorlara sahip taşıtların küresel ısınma ve iklim değişiklikleri gibi çevresel sorunlarda büyük pay sahibi olduğu çok iyi bilinmektedir. Ayrıca söz konusu motorların enerji gereksinimi büyük oranda fosil kaynaklı yakıtlara bağlıdır ve bu bağlılığın uzun yıllar boyunca süreceği tahmin edilmektedir. Bu nedenlerle; sürdürülebilir alternatif enerji kaynakları ile ilgili çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Son birkaç yıldır sürdürülebilir yakıtlar arasında sayılan amonyak ile ilgili çalışmalar da yapılmaktadır. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan NO<sub>x</sub>, CO ve HC gibi zararlı eksoz gazları, eksoz sisteminde kullanılan amonyak ile kimyasal tepkimeye girerek zararsız N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O (su buharı) emisyonlarına dönüşmektedir. Amonyakın bu özelliği göz önünde bulundurularak, emme havasına eklenmesiyle, yanma sırasında meydana gelen zararlı gazların oluşumunun azaltılabileceği de düşünülmektedir. Bu amaçla; sunulan tez çalışmasında, farklı oranlardaki amonyakın emilen havanın üzerine püskürtülmesi (amonyak fumigasyonu) deneysel olarak incelenmiş ve amonyak fumigasyonunun motor performansı, eksoz emisyonları ve yakıt maliyeti üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

Sunulan tez çalışmasının hazırlanmasında, bilgi ve birikimlerinden yararlanmamın yanında değerli zamanını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Zehra ŞAHİN'e; tez konumu belirleyen, bilgi ve birikimlerini esirgemeyen, tez çalışmam boyunca yol gösterici olan, laboratuvar imkânlarının oluşmasında etkinliğini esirgemeyen, emekliliğine kadar tez danışmanlığımı yürüten, daha sonra da yardımlarını sürdüren Sayın Prof. Dr. Orhan DURGUN'a; ilgi ve alakasını eksik etmeyen Otomotiv Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Atilla BİLGİN'e teşekkür eder saygılarımı sunarım. Deney sisteminin kurulumundan itibaren deneysel çalışma boyunca teknik desteğini esirgemeyen laboratuvar sorumlusu Tek. Şenol DÜBÜŞ'e teşekkür ederim. Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini sürdüren aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

**İmdat Ziya AKCANCA**  
**Trabzon 2016**

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Bir Dizel Motorunda Amonyak Kullanımının Motor Performansı ve Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar ilk tez danışmanım Prof. Dr. Orhan DURGUN ve daha sonra yeni tez danışmanım Prof. Dr. Zehra ŞAHİN’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, deneyleri ilgili laboratuvarıda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

02/11/2016

İmdat Ziya AKCANCA

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Araştırması .....	2
1.2.1. Dizel Motorlarında Kullanılabilecek Alternatif Yakıtlar .....	2
1.2.2. Motorlarda Farklı Alternatif Yakıtların ve Suyun Kullanımı ile İlgili Çalışmalar.....	9
1.2.3. Motorlarda Yakıt Olarak Amonyak Kullanımıyla İlgili Çalışmalar .....	14
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	17
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	19
2.1. Malzemeler.....	19
2.1.1. Dizel Yakıtı .....	19
2.1.2. Amonyak .....	19
2.1.3. Deney Düzeneği .....	21
2.1.3.1. Küçük Deney Motoru Ünitesi .....	21
2.1.3.2. Dizel Deney Motoru.....	22
2.1.3.3. Fumigasyon Karbüratörü.....	24
2.1.3.4. Dinamometre .....	25
2.1.3.5. Gösterge Panosu .....	25
2.1.3.6. Dizel Yakıtı Deposu .....	26
2.1.3.7. Dizel Yakıtı Büreti .....	27
2.1.3.8. Amonyak Katkı Büreti .....	28

2.1.3.9.	Eksoz Sistemi .....	28
2.1.3.10.	Eksoz Emisyon Ölçüm Cihazı .....	29
2.2.	Deneysel Ölçüm ve Hesaplama Yöntemleri .....	30
2.2.1.	Deneylein Yapılışı ve Deney Sistematiği .....	31
2.2.1.1.	Dinamometrenin Kalibrasyonu .....	32
2.2.1.2.	Deney Motorunun Çalıştırılması ve Durdurulması .....	33
2.2.2.	Hesaplama Yöntemleri .....	34
2.2.2.1.	Efektif Güç .....	34
2.2.2.2.	Ortalama Efektif Basınç .....	35
2.2.2.3.	Özgöl Yakıt Tüketimi ve Efektif Verim .....	35
2.2.2.4.	Hava Fazlalık Katsayısı .....	38
2.2.2.5.	AF Durumunda Amonyak-Dizel Yakıtı Karışımlarının; Yoğunluğunun, Alt Isıl Değerinin ve Teorik Hava Miktarının Hesaplanması .....	39
2.2.2.6.	Motor Performans Karakteristikleri ve Eksoz Emisyonları Değerlerinin Değişim Oranlarının Hesaplanması .....	40
2.2.2.7.	Yakıt Maliyet Analizi .....	40
2.2.2.8.	Hata Analizi ve Belirsizlikler .....	41
2.3.	Amonyak Kullanımının Malzeme Üzerindeki Etkileri .....	42
3.	BULGULAR VE TARTIşMA .....	44
3.1.	Giriş .....	44
3.2.	Farklı Devir Sayılarında Motor Karakteristiklerinin Efektif Güce Göre Değerimleri .....	44
3.2.1.	2200 d/d Devir Sayısında Motor Karakteristiklerinin Efektif Güce Göre Değerimleri .....	44
3.2.2.	2600 d/d Devir Sayısında Motor Karakteristiklerinin Efektif Güce Göre Değerimleri .....	50
3.2.3.	3000 d/d Devir Sayısında Motor Karakteristiklerinin Efektif Güce Göre Değerimleri .....	54
3.3.	Farklı Devir Sayılarında Amonyak Fumigasyonunun Motor Karakteristikleri Üzerindeki Etkileri ve Değerim Oranları .....	58
3.3.1.	2200 d/d Devir Sayısında Amonyak Fumigasyonunun Motor Karakteristikleri Üzerindeki Etkileri ve Değerim Oranları .....	58
3.3.2.	2600 d/d Devir Sayısında Amonyak Fumigasyonunun Motor Karakteristikleri Üzerindeki Etkileri ve Değerim Oranları .....	63
3.3.3.	3000 d/d Devir Sayısında Amonyak Fumigasyonunun Motor Karakteristikleri Üzerindeki Etkileri ve Değerim Oranları .....	67

3.4.	Farklı Devir Sayılarında Amonyak Fumigasyonunun Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkileri.....	71
3.4.1.	2200 d/d Devir Sayısında Amonyak Fumigasyonunun Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkileri ve Değişim Oranları .....	71
3.4.2.	2600 d/d Devir Sayısında Amonyak Fumigasyonunun Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkileri ve Değişim Oranları .....	79
3.5.	Farklı Devir Sayılarında Amonyak Fumigasyonunun Yakıt Maliyeti Üzerindeki Etkisi .....	87
4.	SONUÇLAR .....	90
5.	ÖNERİLER .....	93
6.	KAYNAKLAR.....	95

ÖZGEÇMİŞ





## Yüksek Lisans Tezi

### ÖZET

# BİR DİZEL MOTORUNDA AMONYAK KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSI VE EKSOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

İmdat Ziya AKCANCA

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Zehra ŞAHİN  
2016, 99 Sayfa

Sunulan çalışmada, tek silindirli küçük bir dizel motorunda dizel yakıtına ek olarak amonyak kullanımının motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenerek dizel yakıtına göre karşılaştırması yapılmıştır. Deneyler; (2200, 2600 ve 3000) d/d gibi farklı motor devirlerinde, (2, 4, 6, 8 ve 10) Nm gibi farklı yüklemelerde ve % (2, 4, 6, 8 ve 10) gibi 5 farklı amonyak oranlarında gerçekleştirilmiştir. Söz konusu çalışmada amonyak; motorlarda daha kolay uygulanabileceği düşünülen % 25'lik amonyak sulu çözeltisi şeklinde kullanılmıştır. İlgili amonyak çözeltisi, emme havasının içerisine, ana meme kesit alanı değiştirilebilen bir karbüratör aracılığıyla püskürtülmüştür.

Çalışma sonunda; (2000 ve 3000) d/d devir sayılarında özgül yakıt tüketiminin (ÖYT) arttığı, bununla birlikte 2600 d/d da ise ÖYT'nin azaldığı belirlenmiştir. 2600 d/d'da ÖYT'deki maksimum azalmanın % 5,48 amonyak oranında % 7,28 düzeyinde olduğu belirlenmiştir. Efektif verim ise seçilen tüm devir sayılarında artmıştır fakat 2600 d/d'daki artış oranları daha yüksektir. Eksoz emisyonları; 2200 d/d'da farklı yükler ve farklı amonyak oranları için ve 2600 d/d'da ise yalnızca 6 Nm yük değerinde farklı amonyak oranlarında ölçülmüştür. Her iki devir sayısında da karbondioksitin azaldığı belirlenmiştir. Fakat azot oksitler, hidrokarbonlar ve karbon monoksit genel olarak artmıştır. Amonyak kullanımı ile yakıt maliyetinin 2600 d/d'da azaldığı, (2200 ve 3000) d/d ise bazı durumlarda azalma bazı durumlarda da artma olduğu belirlenmiştir. 2600 d/d'da % 5,48 amonyak oranında yakıt maliyetinde % 8,87'lik bir azalma sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Emme havasına amonyak püskürtülmesi (amonyak fumigasyonu), Eksoz emisyonları, Motor karakteristikleri, Dizel motoru

Master Thesis

SUMMARY

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF USING AMMONIA ON  
ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS  
IN A DIESEL ENGINE

İmdat Ziya AKCANCA

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Mechanical Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Zehra ŞAHİN  
2016, 99 Pages

In the present study, the effects of ammonia fumigation on the engine performance and exhaust emissions have been investigated in a single cylinder diesel engine. Experiments have been performed for (2, 4, 6, 8, 10) % (by vol) ammonia ratios at (2200, 2600 and 3000) rpms engine speeds and (2, 4, 6, 8 and 10) Nm loads. Here, 25 % ammonium hydroxide solution (25 % ammonia + 75 % water) have been used because this solution can be used very easily in diesel engine. Ammonium hydroxide solution has been injected into intake air by a carburetor, which main nozzle section is adjustable.

The test results showed that brake specific fuel consumption (BSFC) increases at 2000 and 3000 rpms, but it decreases at 2600 rpm. The maximum reduction of BSFC has been determined as 7,28 % for 5,48 % ammonia ratio at 2600 rpm. Effective efficiency increases at all of the selected engine speeds and loads. However, the increase ratios of effective efficiency at 2600 rpm are higher than that of the other engine speeds. Exhaust emissions have been measured at 2000 rpm for different ammonia ratios and different loads and at 2600 rpm for different ammonia ratios and 6 Nm loads. It has been determined that carbon dioxide reduces at selected two engine speeds. However, nitrogen oxides, hydrocarbons and carbon monoxide generally increase. Total fuel cost for used different ammonia ratios becomes lower than that of neat diesel fuel at 2600 rpm. The other selected engine speeds; although total fuel cost decreases in some working conditions, it increases in some operating conditions. The maximum reduction of total fuel cost has been obtained as 8,87 % for 5,48 % ammonia ratio at 2600 rpm.

**Key words:** Ammonia injection into intake air (ammonia fumigation), Exhaust emissions, Engine characteristics, Diesel engine

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.	TD114 küçük araştırma motor deney düzeneği .....	21
Şekil 2.	Küçük deney motoru ünitesi .....	22
Şekil 3.	Deneyleerde kullanılan Palmera PA-HP170F dizel motoru .....	22
Şekil 4.	Deneyleerde kullanılan Palmera PA-HP170F dizel motoru karakteristikleri..	23
Şekil 5.	Deneyleerde kullanılan modifiye karbüratör ve motor gövdesine bağlantısı .....	24
Şekil 6.	Deneyleerde kullanılan dinamometre .....	25
Şekil 7.	Deney düzeneğine ait gösterge panosu .....	26
Şekil 8.	Dizel yakıtı deposu.....	27
Şekil 9.	Deney düzeneğinde kullanılan yakıt büretleri.....	28
Şekil 10.	Deney düzeneğine ait eksoz sistemi.....	29
Şekil 11.	AVL DiCom eksoz gazı analiz cihazı .....	30
Şekil 12.	Motor deneylelerinde $X_{nem}$ nem düzeltme katsayısı .....	37
Şekil 13.	Karbüratör iç yüzeyinde oluşan kalıntı ve tahribat .....	42
Şekil 14.	Karbüratör parçalarında oluşan tahribatlar.....	43
Şekil 15.	2200 d/d’da farklı AF oranları için ÖYT’nin efektif güce göre değişimleri.....	47
Şekil 16.	2200 d/d’da farklı AF oranları için efektif verimin efektif güce göre değişimleri.....	48
Şekil 17.	2200 d/d’da farklı AF oranları için hava fazlalık katsayısının efektif güce göre değişimleri.....	49
Şekil 18.	2600 d/d’da farklı AF oranları için ÖYT’nin efektif güce göre değişimleri.....	51
Şekil 19.	2600 d/d’da farklı AF oranları için efektif verimin efektif güce göre değişimleri.....	52
Şekil 20.	2600 d/d’da farklı AF oranları için hava fazlalık katsayısının efektif güce göre değişimleri.....	53
Şekil 21.	3000 d/d’da farklı AF oranları için ÖYT’nin efektif güce göre değişimleri.....	55
Şekil 22.	3000 d/d’da farklı AF oranları için efektif verimin efektif güce göre değişimleri.....	56

Şekil 23.	3000 d/d'da farklı AF oranları için hava fazlalık katsayısının efektif güce göre değişimleri.....	57
Şekil 24.	2200 d/d'da; (a) ÖYT'nin AF oranlarına göre değişimleri, (b) ÖYT değişiminin AF oranlarına göre değişimleri.....	60
Şekil 25.	2200 d/d'da; (a) Efektif verimin AF oranlarına göre değişimleri, (b) Efektif verim değişiminin AF oranlarına göre değişimleri .....	61
Şekil 26.	2200 d/d'da; (a) Hava fazlalık katsayısının AF oranlarına göre değişimleri, (b) Hava fazlalık katsayısı değişiminin AF oranlarına göre değişimleri.....	62
Şekil 27.	2600 d/d'da; (a) ÖYT'nin AF oranlarına göre değişimleri, (b) ÖYT değişiminin AF oranlarına göre değişimleri.....	64
Şekil 28.	2600 d/d'da; (a) Efektif verimin AF oranlarına göre değişimleri, (b) Efektif verim değişiminin AF oranlarına göre değişimleri .....	65
Şekil 29.	2600 d/d'da; (a) Hava fazlalık katsayısının AF oranlarına göre değişimleri, (b) Hava fazlalık katsayısı değişiminin AF oranlarına göre değişimleri.....	66
Şekil 30.	3000 d/d'da; (a) ÖYT'nin AF oranlarına göre değişimleri, (b) ÖYT değişiminin AF oranlarına göre değişimleri.....	68
Şekil 31.	3000 d/d'da; (a) Efektif verimin AF oranlarına göre değişimleri, (b) Efektif verim değişiminin AF oranlarına göre değişimleri .....	69
Şekil 32.	3000 d/d'da; (a) Hava fazlalık katsayısının AF oranlarına göre değişimleri, (b) Hava fazlalık katsayısı değişiminin AF oranlarına göre değişimleri.....	70
Şekil 33.	2200 d/d'da farklı yük değerleri için CO emisyonunun AF oranına göre değişimleri.....	72
Şekil 34.	2200 d/d'da farklı yük değerleri için CO emisyonu değişim oranının AF oranına göre değişimleri.....	73
Şekil 35.	2200 d/d'da farklı yük değerleri için CO <sub>2</sub> emisyonunun AF oranına göre değişimleri.....	74
Şekil 36.	2200 d/d'da farklı yük değerleri için CO <sub>2</sub> emisyonu değişim oranının AF oranına göre değişimleri.....	75
Şekil 37.	2200 d/d'da farklı yük değerleri için HC emisyonunun AF oranına göre değişimleri.....	76
Şekil 38.	2200 d/d'da farklı yük değerleri için HC emisyonu değişim oranının AF oranına göre değişimleri.....	77
Şekil 39.	2200 d/d'da farklı yük değerleri için NO <sub>x</sub> emisyonunun AF oranına göre değişimleri.....	78
Şekil 40.	2200 d/d'da farklı yük değerleri için NO <sub>x</sub> emisyonu değişim oranının AF oranına göre değişimleri.....	79

Şekil 41.	2600 d/d'da 6 Nm yük değeri için CO emisyonunun AF oranına göre değışimi.....	80
Şekil 42.	2600 d/d'da 6 Nm yük değeri için CO emisyonu değışim oranının AF oranına göre değışimleri.....	81
Şekil 43.	2600 d/d'da 6 Nm yük değeri için CO <sub>2</sub> emisyonunun AF oranına göre değışimi.....	82
Şekil 44.	2600 d/d'da 6 Nm yük değeri için CO <sub>2</sub> emisyonu değışim oranının AF oranına göre değışimleri.....	83
Şekil 45.	2600 d/d'da 6 Nm yük değeri için HC emisyonunun AF oranına göre değışimi.....	84
Şekil 46.	2600 d/d'da 6 Nm yük değeri için HC emisyonu değışim oranının AF oranına göre değışimleri.....	85
Şekil 47.	2600 d/d'da 6 Nm yük değeri için NO <sub>x</sub> emisyonunun AF oranına göre değışimi.....	86
Şekil 48.	2600 d/d'da 6 Nm yük değeri için NO <sub>x</sub> emisyonu değışim oranının AF oranına göre değışimleri.....	87
Şekil 49.	2200 d/d'da farklı yük değeri için yakıt maliyetinin AF ile değışimleri.....	88
Şekil 50.	2600 d/d'da farklı yük değeri için yakıt maliyetinin AF ile değışimleri.....	89
Şekil 51.	3000 d/d'da farklı yük değeri için yakıt maliyetinin AF ile değışimleri.....	89

## TABLULAR DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1.	Dizel yakıtı ve amonyağın başlıca özellikleri .....	20
Tablo 2.	Deneylerde kullanılan Palmera PA-HP170F dizel motoruna ait temel özellikler .....	23
Tablo 3.	AVL DiCom 4000 eksoz gazı analiz cihazı ölçüm aralıkları.....	30



## SEMBOLLER DİZİNİ

AF	: Amonyak fumigasyonu
A <sub>0</sub>	: Orifis alanı [m <sup>2</sup> ]
B	: Saatlik toplam yakıt tüketimi [kg/h]
b <sub>e</sub>	: Özgül yakıt tüketimi [kg/kWh]
BF	: Benzin fumigasyonu
BG	: Beygir gücü
BSU	: Bosch is ölçüm birimi
C <sub>d</sub>	: Orifis katsayısı
CI	: Sıkıştırma ateşlemeli motor, dizel motoru
CNG	: Sıkıştırılmış doğal gaz
CO	: Karbonmonoksit
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
d	: Kullanılan deney düzeneğine ait orifis çapı
EF	: Etil alkol fumigasyonu
EGR	: Eksoz gaz resirkülasyonu
h	: Gerçek çalışma durumundaki hava miktarı [kg Hava/kg Yakıt]
h <sub>min</sub>	: Stokiyometrik hava miktarı [kg Hava/ kg Yakıt]
H <sub>u</sub>	: Yakıtın alt ısıl değeri [kJ/kg]
HC	: Hidrokarbonlar
k	: Sabit (4 zamanlı motorlar için k = 2, iki zamanlı motorlar için k = 1)
LNG	: Sıvılaştırılmış doğal gaz
LPG	: Sıvılaştırılmış petrol gazı
M <sub>d</sub>	: Döndürme momenti
n	: Motor çalışma devri sayısı [d/d]
N <sub>e</sub>	: Efektif güç [N]
N <sub>e,1</sub>	: Deney sonunda belirlenen efektif güç [kW]
N <sub>e,2</sub>	: Nem düzeltmesi uygulanmış efektif güç [kW]
n <sub>N</sub>	: Nominal devir
NH <sub>3</sub>	: Amonyak
NH <sub>4</sub> OH	: Amonyum hidroksit
NO <sub>x</sub>	: Azotoksitler

ÖYT	: Özgül yakıt tüketimi
$P_{me}$	: Ortalama efektif basınç [MPa]
ppm	: Milyon başına parçacık
ppmv	: Hacimsel olarak milyon başına parçacık
$P_0$	: Ortam basıncı [mmHg]
R	: Havanın gaz sabiti [kJ/kg]
SDY	: Saf dizel yakıtı
SI	: Buji ateşlemeli motor
$T_0$	: Ortam sıcaklığı [K]
$T_y$	: Yaş termometre sıcaklığı [K]
$V_H$	: Strok hacmi [lt]
$V_0$	: Hacim [lt]
$\omega$	: Açısal hız [1/s]
XLR99	: Roket motoru modeli
$X_{nem}$	: Nem düzeltme katsayısı
X-15	: Araştırma uçağı adı
Z	: Silindir sayısı
$\alpha$	: Hava fazlalık katsayısı
$\Delta h$	: Emme kanalı girişi ile orifis girişi arasındaki basınç farkı [mmH <sub>2</sub> O]
$\Delta v$	: Ölçekli kaptaki yakıt hacmi [cm <sup>3</sup> ]
$\Delta t$	: $\Delta v$ cm <sup>3</sup> yakıtın harcanması için geçen zaman [s]
$\dot{m}_h$	: Motorun emdiği havanın debisi [kg/s]
$\eta_e$	: Efektif verim
$\rho_a$	: Amonyak yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_h$	: Ortam havası yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_d$	: Dizel yakıtının yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{AF}$	: Fumigasyon karışımının yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ]



## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Günümüzde hızla gelişen teknolojik ilerlemeler beraberinde bir takım çevresel sorunları da getirmektedirler. Bu nedenle, günümüz dünyasının temel araştırma konuları; artan nüfusa hitap eden teknolojik yeniliklerin getirmiş olduğu enerji gereksiniminin karşılanması ve bunlara bağlı olarak ortaya çıkan çevresel sorunların önlenmesi veya azaltılması üzerinedir.

1800'lü yılların ikinci yarısından başlayarak geliştirilen içten yanmalı motorlara sahip karayolu taşıtları, hem enerji gereksinimi hem de çevre kirliliği üzerindeki etkileri nedeniyle süregelen araştırma alanlarına sahiptir. İçten yanmalı motorlarda ilk başlarda alkoller ve bitkisel yağlar kullanılmış olsa da, petrol kökenli fosil yakıtlar yaklaşık 130 yıldır bu motorların ana yakıtını oluşturmaktadır. Petrolden üretilen yakıtlar, çok değişik alanlarda kullanılmakta ve pek çok ülkede olduğu gibi ülkemiz ekonomisinde de önemli bir yer tutmaktadır. Son yıllarda dünya petrol rezervlerinin gittikçe azalması, tükenme tehlikesi ve eksoz emisyonlarının çevreye verdiği zararlar nedeniyle bir çok otomotiv firması çevreye daha az zarar verecek ve daha sürdürülebilir yakıt arayışına girmiştir. Özellikle çevre bilincinin artması ile yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi giderek artmaktadır.

Gelecek yılların kaçınılmaz güç ünitesi olarak görülen elektrik motorlu taşıtlara en erken 2050 yılında geçiş yapılabileceği ve bu tarihe kadar içten yanmalı motorların aktif şekilde kullanımda olacağı otomotiv firmalarınca açıklanmaktadır. Ayrıca fosil yakıtların yanması sonunda havaya karbondioksit ( $CO_2$ ), su ( $H_2O$ ), oksijen ( $O_2$ ) ve azot ( $N_2$ ) gibi tam yanmış ve zararsız maddeler yanında çoğu zehirli olan karbon monoksit ( $CO$ ), azot oksitler ( $NO_x$ ), hidrokarbonlar ( $HC$ ) gibi emisyonlar ve ayrıca is, kül vb. gibi birçok kirlenici maddeler yayılmaktadır. Bunun yanında, ilk bakışta zararsızmış gibi görünen  $CO_2$ , atmosferin üst tabakalarında birikerek sera etkisi oluşturmakta ve dünya ikliminin değişmesine neden olmaktadır. Motor performansının iyileştirilmesi ve yukarıda belirtilen zararlı gazların yayılımının azaltılması amacıyla alternatif yakıtlara ilişkin çalışmalar gittikçe artmaktadır.

Dizel yakıtına bazı katkıları eklenerek, motorlardan çevreye atılan zararlı eksoz emisyonlarının azaltılması, bununla beraber motor performansının da iyileştirilebilmesi amacıyla günümüze kadar pek çok çalışma yapılmıştır (Vostmeier vd., 2003; Kahraman vd., 2007; Şahin vd., 2009; Şahin vd., 2012; Can, 2014; Fayyazbakhsh ve Pirouzfard, 2015). Yapılan literatür araştırmasında, gerek eksoz emisyonlarını azaltmak gerekse motor performansını iyileştirmek için hem sıkıştırma ateşlemeli motorlarda (CI) hem de buji ateşlemeli (SI) motorlarda, motor yakıtlarına eklenen katkı maddelerinden birinin de amonyak olduğu görülmüştür (Starkman vd., 1968; Zamfirescu ve Dincer, 2008; Reiter ve Kong, 2011; Gill vd., 2012; Ryu vd., 2014a; Ryu vd., 2014b; Mathieu ve Petersen, 2015). Fakat literatürde; dizel yakıtına ek olarak amonyak kullanılmasının motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmaların sınırlı olduğu görülmüştür. Hatta amonyakın emme manifoldundan emme havasının içerisine püskürtüldüğü fumigasyon yöntemi ile ilgili çalışmalar ise yok denecek kadar azdır ve yeni yeni bu konu ile ilgili çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu nedenle amonyak fumigasyonunun, tek silindirli bir dizel motorun performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesinin bilim dünyası için önemli olduğu ve bu çalışmanın literatürdeki ilgili boşluğu doldurabileceği düşünülmektedir.

## **1.2. Literatür Araştırması**

Sunulan çalışmanın literatür araştırması bölümünde ilk olarak dizel motorlarında kullanılacak alternatif yakıtlar hakkında kısa bilgiler sunulmuştur. Ardından ise literatürde geçen farklı alternatif yakıtların kullanılmasına ve emme havasına su püskürtülmesine ilişkin çalışmalardan bazılarının sonuçları ve daha sonra ise amonyak ile ilgili yapılan çalışmalar kısaca özetlenmiş ve irdelenmiştir.

### **1.2.1. Dizel Motorlarında Kullanılacak Alternatif Yakıtlar**

1880'lerden sonra Rusya, Romanya ve ABD'de petrol kullanılmaya başlanmıştır. 1859'da ABD'nin Pennsylvania eyaletinde ilk petrol kuyusu açılmıştır. Motorların ve diğer makinaların yaygınlaşması ile 1950'lerde dünya petrol tüketimi kömürü geçmiştir. Başlangıçta petrol alanlarında istenmeyen bir gaz olarak çıkan doğal gazın kullanımı

zamanla artmış ve 1950'lerden sonra birçok doğal gaz boru hattı ve dev tankerler inşa edilmiştir (Durgun, 1988; Durgun, 2013a; Durgun, 2013b).

Motorlar yaklaşık 130 yıl boyunca ham petrolden üretilen sıvı yakıtlara (benzine ve dizel yakıtına) uygun olacak şekilde geliştirilmiştir. Ancak dünya petrol rezervlerinin sınırlı oluşu, tükenme tehlikesi ve eksoz gazlarının çevreyi ve atmosferi gittikçe daha fazla kirletmesi nedenleriyle, motorlarda petrole alternatif olarak havayı daha az kirleten yakıtlar kullanılmaya veya değişik enerji kaynaklarından yararlanılmaya çalışılmaktadır. Bunlara örnek olarak, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerji, jeotermal enerji ve biokütle verilebilir (Durgun, 1988; Durgun, 2013a; Durgun, 2013b).

Dizel motorunda kullanılacak başlıca alternatif yakıtları sıvı, gaz ve diğer yakıtlar olmak üzere üçe ayrılabilir (Şahin ve Durgun, 2009; Durgun, 2013a).

1. Sıvı yakıtlar : Etil alkol ve metil alkol gibi alkoller ve biyodizeldir.
2. Gaz yakıtlar : Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), doğal gaz (LNG, CNG), hidrojen ve biyogazdır.
3. Diğer yakıtlar : Kömür, bor ve amonyaktır.

#### 1. Sıvı Yakıtlar

##### a) Alkoller

En yaygın alternatif sıvı yakıtlar çeşitli alkollerdir. Alkollerin oktan sayıları yüksektir (~110). Vuruntuya dayanıklı olduklarından yüksek sıkıştırma oranlı, yüksek verimli, buji ateşlemeli motorlarda kullanılabilirler. Ayrıca yapılarında oksijen bulunduğu için yanmaları daha iyidir. Alkollerin buharlaşma ısıları benzinden daha yüksek olduğu için; emme sonu, sıkıştırma sonu ve yanma sonu sıcaklıkları daha düşük olur. Böylece parçalanma reaksiyonları ve vuruntu tehlikesi azalır. Sonuçta motorun verimi ve gücü artar, eksoz kirliliği azalır. Ayrıca yüksek buharlaşma ısısı nedeniyle emme sonu sıcaklığı düşeceğinden emilen karışımın yoğunluğu ve kütlesi artar. Sonuç olarak, volümetrik verim de artmış olur. Buna karşılık alkollerin su çekici özelliği vardır. Bu nedenle alkol karışımları kullanıldığında yakıt donanımında korozyona karşı önlemler alınmalıdır. Ayrıca alkollerin güncel tekniklerle üretimi petrole göre pahalıdır (Durgun, 1988; Sürmen vd., 2004; Durgun, 2013a; Şahin vd., 2015).

Etil alkol ( $C_2H_5OH$ ), şeker, şekerpancarı, patates gibi tarımsal ürünlerin fermantasyonu (mayalanması) yolu ile üretilmektedir. Bu nedenle etil alkole, dolaylı yolla güneş enerjisine dayalı alternatif bir enerji kaynağı olarak bakılabilir. Güncel tekniklerle üretilmesi pahalı olduğu için motorlarda saf olarak kullanılmaları ekonomik değildir. Etil

alkol dizel motorlarında değişik yöntemlerle kullanılmıştır. Söz konusu alkolün % 10'un altındaki hacimsel oranlarda dizel motorlarında kullanılması ile genel olarak motor performansının iyileştiği ve çevre kirliliğinin azaldığı görülmüştür. (Abu-Qudais vd., 2000; Bilgin vd., 2002; Durgun, 2013a; Goldsworthy, 2013; Şahin vd., 2015).

Metil alkol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), kömürün su buharı ile ısı işlemi sonucunda elde edilmektedir ve zehirlidir. Etil alkole benzer özellikleri vardır. Ancak üretimi kömür ve ısıya dayalı olduğu için tam bir alternatif oluşturmaz (Sürmen vd., 2004; Durgun, 2013a; Durgun 2013b).

#### b) Biyodizel

Dizel yakıtlarında bitkisel yağların kullanılabileceği öteden beri bilinmektedir. Ancak bitkisel yağların viskoziteleri yüksek olduğundan dizel yakıtı olarak doğrudan kullanıldıklarında bazı sorunlar ortaya çıkmıştır. Bitkisel yağlar alkollerle reaksiyona sokularak, esterifikasyon işlemi sonrasında, daha düşük viskoziteli ve dizel motoruna uygun esterlere dönüştürülmektedir. Biyodizel saf olarak veya dizel yakıtına karıştırılarak dizel motorlarında kullanılabilir. Bu durumda motorun veriminde ve gücünde önemli bir değişiklik olmaz. Fakat uzun vadeli kullanımında yakıt donanımlarında tıkanmalar ve yanma odasında birikintiler oluşabilir. Ayrıca biyodizel uzun süreli depolandığında, bakteriler tarafından bozunuma uğratılabilir. Biyodizel bol yetişen bitkilerden üretilebilirse ekonomik olabilir (Sürmen vd., 2004; Durgun, 2013a; Gülüm, 2014).

Biyoyakıtlar bitkilere dayalı olduğundan ve bitkiler de fotosentez olayı ile güneş ışığı altında havanın karbondioksitini ve suyu kullanarak büyüdüğünden, yakıldıklarında ek  $\text{CO}_2$  kirliliğine neden olmazlar (Sürmen vd., 2004; Durgun, 2013a).

### 2. Gaz Yakıtlar

#### a) Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)

Sıvılaştırılmış petrol gazının ana maddesi propan ve bütandır ve rafinerilerden yan ürün olarak elde edilmektedir. Basınç altında sıvılaştırılarak kolayca depolanabilen LPG, oktan sayısı yüksek olduğundan, buji ateşlemeli motorlarda kullanıma uygundur. Günümüzde genellikle benzin motorlu taşıtlar bir dönüşüm sistemi ile LPG ile çalışabilir duruma getirilmektedir. Genel olarak gaz yakıtlar, emilen havanın içerisinde fazla yer kapladığından, emilen havanın miktarının, dolayısıyla yakılabilecek yakıt miktarının, volümetrik verimin ve motorun gücünün düşmesine neden olurlar. Ayrıca LPG kullanıldığında daha yüksek basınç ve sıcaklıklar oluştuğundan, motor elemanları zarar görebilir ve yağlama yağı bozulabilir. LPG kullanımıyla taşıtın çekişi düşer, ancak gaz

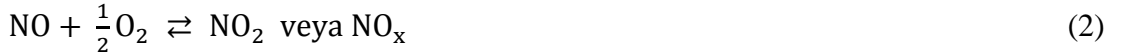
yakıtlar hava ile daha iyi karıştığından eksoz kirliliği azalır. Ayrıca LPG, tüketimi kütleli olarak % 10 fazla olmakla birlikte ülkemizde fiyatının düşük olması nedeniyle benzine göre daha ekonomik bir yakıt olarak gözükmektedir (Sürmen vd., 2004; Durgun, 2013a).

#### b) Doğal Gaz

Doğal gazların ana maddesi metandır. Dünyada çok yaygın doğalgaz kaynakları bulunmaktadır. Çok yüksek basınçta soğutulmuş sıvılaştırılabilir (LNG) veya sıkıştırılarak (CNG) depolanabilir. Büyük ve ağır yakıt depoları gerektirdiğinden otobüs ve kamyon dizel motorları çift yakıtlı motora dönüştürülerek kullanılmaktadır. Özellikle belediye otobüslerinde, daha az hava kirliliğine yol açtığı için tercih edilmektedir (Papagiannakis vd., 2004; Sürmen vd., 2004; Krishnan vd., 2007; Durgun, 2013a;).

#### c) Hidrojen

Güncel olarak elektroliz yoluyla üretildiğinden kullanımında enerji dengesi negatiftir. Yani yanması sonucunda elde edilecek enerji, suyun elektrolizinde harcanacak enerjiden daha azdır. Bu nedenle, kullanımı ekonomik değildir. Ancak, iyi yanma özellikleri vardır. Yanması sonunda, normal koşullarda yalnızca su buharı oluşur. Bununla birlikte yüksek sıcaklıklarda denge reaksiyonları sonucu zehirli bileşikler olan azot oksitler ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ) meydana gelebilir (Sürmen vd., 2004; Durgun, 2013a).



Hidrojen, direkt enerji dönüşümü yönteminin uygulandığı yakıt hücrelerinde kullanılabilir veya içten yanmalı motorlarda doğrudan yakıt olarak kullanılabilir. Ancak hidrojen molekülleri çok küçük olduğundan yakıt molekülleri arasından sızma (difüzyon) özelliği gösterebilir. Bu nedenle, basınç altında depolanması güçtür. Piston, supaplar gibi motor elemanlarında kırılabilirlik oluşturabilir. Borhidrür veya çeşitli metalhidrürler gibi süngerimsi malzemelerde depolanabilmektedirler. Ayrıca hidrojen kullanıldığında, motor elemanlarının yüzeyleri daha dayanıklı seramik ürünlerle kaplanmaktadır. Hidrojenin ekonomik ve bol miktarda üretimi gerçekleştirilebilirse, hidrojene, geleceğin alternatif yakıtı olarak bakılabilir (Sürmen vd., 2004; Durgun, 2013a; Durgun, 2013b).

#### d) Biyogaz

Gübre ve bazı çöpler gibi biyolojik artıklar tanklarda bozunuma uğratarak ana maddesi metan olan biyogaz üretilmektedir. Böylece artıkların miktarı azaltılarak daha kaliteli gübre de elde edilmektedir. Biyogaz ev ihtiyaçlarında kullanılabilir. Bazı tarım araçlarının motorlarında da kullanılabilir (Durgun, 2013a; Durgun, 2013b).

### 3. Diğer Yakıtlar

#### a) Kömür Tozu

İlk dizel motorlarında kömür tozu kullanılması düşünülmüştür. Günümüzde de çok ince kömür tozlarının su ile karıştırılarak, dizel motorlarında kullanılması üzerinde çalışılmaktadır. Ancak kömür tozları, püskürtme sisteminde ve bazı motor elemanlarında tıkanmalar, aşınmalar ve kalıntılar oluşturabilir (Durgun, 2013a; Durgun, 2013b).

#### b) Bor

Bor, dünyada bol bulunan ve dünya rezervlerinin % 72,8'nin Türkiye'de yer aldığı bir elementtir. Güncel olarak malzeme teknolojisinde, yağlarda, cam sanayisi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bor ayrıca yüksek sıcaklıklarda yanabilir ve ısı değeri yüksektir. Bunun yanında borun füzyon reaksiyonu çok az radyasyon yaydığından süper temiz nükleer reaksiyon diye adlandırılmaktadır. Borun yanma ve nükleer reaksiyon özelliklerinden yararlanılabilir. Bor parçacıklarının su ile karıştırılarak yakılması ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Motorlarda kullanılacak alternatif bir yakıt olarak da düşünülebilir. Ancak burada oluşacak bor oksitlerin insan sağlığına ve çevreye etkileri de incelenmelidir (Durgun, 2013a; URL-1: 2016).

Petrol yerine kullanılacak alternatif bir yakıt bulursa bile bu yakıt bir termik makinede kullanılacaktır ve kuvvetli olasılıkla en gelişmiş ve en yüksek verimli termik makine olan dizel motorlarına veya benzin motorlarına benzer makineler tercih edilecektir. Bu da, içten yanmalı motorların daha uzun bir süre geçerliliğini koruyacağını göstermektedir (Sürmen vd., 2004; Durgun 2013a).

#### c) Amonyak

Amonyak azot ve hidrojenlerden oluşan bir bileşiktir ve kimyasal formülü  $NH_3$ 'tür. Amonyakın sulu çözeltisi olan amonyum hidroksit formülü ise  $NH_4OH$ 'dır. Amonyak, birçok azot bileşiği için temel kullanım ürünüdür. Havadan daha hafiftir, renksizdir ve gaz halinde keskin bir kokusu vardır. Ticari anlamda kullanılan amonyak, genelde "susuz amonyak" şeklinde ifade edilir. Bu terim, amonyakın içinde su bulunmadığını vurgulamaktadır. Ancak amonyak suda yüksek hızda çözünür. Amonyak sıkıştırılarak ya

da  $-33^{\circ}\text{C}$ 'ye getirilerek gaz halinden, sıvı hale dönüştürülebilir. Gaz haline dönerken, çevresinden önemli miktarda ısı emer. Bu nedenle genellikle klima ve soğutma ekipmanlarında soğutucu gaz olarak kullanılır (Gay ve Ehsani, 2003; Brohi, 2014; URL-2, 2016).

Sanayide amonyak elde etmek için uygulanan başlıca yöntem azot ile hidrojen gazlarını doğrudan birleştirmektir. Bu yöntemde, havadan elde edilen azot ile sudan ya da doğal gazdan (metan) elde edilen hidrojen gazları filtreden geçirilerek süzülür, kurutulur, sıkıştırılır ve yaklaşık  $500^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılır. Sonra demir tozu ile çeşitli tuzlardan oluşan bir karışımın içinden geçirilir. Tepkimeyi hızlandıran bu katalizörlerin de etkisiyle azot ve hidrojen gazları belirli oranlarda birleşerek amonyak gazını oluşturur. Haber-Bosch yöntemi adıyla bilinen bu yöntem ilk kez Almanya'da, patlayıcı madde yapımında kullanılan azotlu bileşiklerin çok gerekli olduğu I. Dünya Savaşı yıllarında geliştirilmiştir (Brohi, 2014; URL-3, 2016).

Havagazı ve kok üretimi sırasında da yan ürün olarak önemli miktarda amonyak açığa çıkar, ancak bu gaz katışıksız halde değildir. Ayrıca herhangi bir amonyum tuzunun sönmüş kireç (kalsiyum hidroksit) ya da başka bir alkaliyle tepkimeye girmesiyle de az miktarda amonyak elde edilebilir (URL-3, 2016).

Amonyakın en önemli kullanım alanlarından biri gübre üretimidir. Doğrudan sıvı halde veya amonyum nitrat, amonyum fosfat ve diğer tuz formlarında kullanılabilir. Amonyak doğrudan veya dolaylı olarak, birçok ilacın üretiminde temel rol oynamasının yanı sıra roket yakıtı olarak da kullanılmaktadır (URL-2, 2016).

Amonyak asitlerle birleştiğinde amonyum tuzlarını verir. I. Dünya Savaşı'ndaki deniz çarpışmalarında gemiler sıvı amonyak dolu tanklardan çevreye amonyak gazı yayar, sonra üzerine asit buharı gönderirlerdi. Böylece geminin çevresinde yoğun duman bulutları oluştuğu için kendilerini düşman denizaltılarından gizleyebilirlerdi. II. Dünya Savaşı yıllarında daha gelişmiş gizlenme yöntemleri bulununca amonyak bu amaçla kullanılmaz oldu (URL-3, 2016).

Amonyum tuzlarının çoğu yararlıdır. Örneğin amonyum klorür ya da nişadır; pillerde, lehim işlerinde ve tıpta kullanılır. Amonyum nitrat bazı patlayıcıların ve yapay gübrelerin temel bileşenlerindedir. Bitkilerin sağlıklı gelişmesi ve tarımda verimin artırılması için gerekli olan azotu toprağa kazandıran yapay gübrelerde amonyum sülfat da çok kullanılır. Sırasıyla hidrojen klorür, nitrik asit ve sülfürik asidin amonyakla tepkimesinde elde edilen bütün bu tuzlar doğada kendiliğinden de oluşabilir. Doğal

amonyum tuzları özellikle verimli topraklarda, volkanik bölgelerde, deniz suyunda, çürümüş bitkilerde ve hayvan leşlerinde bulunur (URL-3, 2016).

Amonyak, alternatif bir motor yakıtı olan hidrojen taşıyıcısı olarak da kullanılabilir. Sıkıştırılmış hidrojenin kamyon ve demiryolu ile taşınması çok pahalı olmaktadır. Sıvı hidrojen ucuzdur fakat günümüz şartlarında hidrojeni sıvılaştırabilmek için enerji içeriğinin %30'u bu işlem için harcanır. Bu yüzden hidrojenin sıvılaştırılmasının önemli bir enerji katkısı yoktur. Amonyaklı bu yöntem hidrojen moleküllerini taşıyan başka bir malzeme olarak tanımlanmaktadır, böylece hidrojen üretmek için gerekli olan dönüşüme göre daha az enerji kullanmakta ve maliyet daha düşük olmaktadır. Hidrojen taşıyıcısının etkili olabilmesi için çeşitli kriterleri karşılaması gerekir. Örneğin yüksek etkin enerji yoğunluğu (sıvı veya katı), yüksek hidrojenasyon-dehidrojenasyon süreci verimli olmalı, aynı zamanda basit, güvenli ve çevre dostu olmalıdır. İki yönlü taşıyıcılar; "hidrojene" formda dağıtım merkezine hidrojen taşıyan ve "dehidrojene" forma gelerek hidrojeni bırakan tekrar "hidrojene" forma geçebilen bir malzemedir. Tek yönlü taşıyıcılar, ürün olarak hidrojen ve hiçbir değeri olmayan bir yan ürün elde edilebilecek bir parçalanmaya uygun olan malzemelerdir. Amonyak tek yönlü taşıyıcı olarak en büyük potansiyele sahip bir taşıyıcı olabilir. Amonyak ucuzca elde edilebilir, verimli bir şekilde taşınması kolay ve hidrojen üretiminde yan ürün olarak kirletici ürün doğurmayan bir malzemedir. Amonyakın hidrojen taşıyıcısı olarak kullanılmasında daha ekonomik ve yeni teknolojik cihazlarla işlem yapılması gerekliliği ön plana çıkmaktadır. Bunun yanında amonyak kırma işlemi daha verimli bir şekilde geliştirilmiş olmalıdır (Gay ve Ehsani, 2003; Thomas ve Parks, 2006).

Böylece amonyak, hidrojen depolamak için bir araç olarak kullanımı tavsiye edilebilecek özelliklere sahiptir. En önemlisi; orta sıcaklıklarda sıvılaştırılabilir, oda sıcaklığında buhar basıncı yaklaşık olarak 9,234 atm'dir ve bu değer paropana çok benzerdir. Bu amonyağın basit bir basınçlı kaptaki saklanabileceği anlamına gelmektedir. Ayrıca, amonyağın yapısında hidrojenin büyük bir kütle oranı vardır. Başka bir anlatımla, hidrojen amonyağın kütle oranının %17,65'ini oluşturmaktadır. Sıvılaştırılmış durumda karşılaştırmanın daha doğru olduğu düşünülürse sıvılaştırılmış amonyağın yoğunluğu sıvı hidrojene göre % 45 daha yüksektir (Gay ve Ehsani, 2003; Thomas ve Parks, 2006).



Yakıt olarak amonyak II. Dünya savaşında, motor ve güneş enerjisi çalışmalarında kullanılmıştır. İlk olarak 1900 yılında Belçika'da bir otobüste kullanılmıştır. Sıvı amonyaklı roket motoru XLR99 ise X-15 araştırma uçağına güç vermiştir. Isıl değeri diğer yakıtlar kadar yüksek olmasa da, yeniden kullanılabilir olan roket motorunda kurum bırakmamak ve yoğunluğu yaklaşık olarak uçağın tasarımı ile bütünleşen yakıcı sıvı oksijenin yoğunluğu ile eşit düzeyde olması gibi üstünlükleri vardır. Amonyak içten yanmalı motorlarda fosil yakıtlara pratik bir alternatif olarak önerilmiştir (URL-4, 2016). Amonyakın ısıl değeri 22,5 MJ/kg'dır ve bu değer yaklaşık olarak dizel yakıtının yarısı kadardır. Amonyak, motorlarda ve amonyağa göre dizayn edilmiş makinelerde bir yakıt olarak zaman zaman kullanılmaktadır. Yanmanın olmadığı lokomotiflerde, buhar veya basınçlı hava kullanımına benzer bir ilke ile çalıştırma sıvısı olarak da kullanılmıştır (Reiter, 2009; Yurttaş, 2013; Ryu vd., 2013, Brohi, 2014; URL-5, 2016).

### **1.2.2. Motorlarda Farklı Alternatif Yakıtların ve Suyun Kullanımı ile İlgili Çalışmalar**

Ayvaz (1991) tarafından tek silindirli bir dizel motorlarında benzin fumigasyonunu (BF) deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda, BF ile motorun yanma veriminin, efektif verimin ve efektif gücün arttığı ve özgül yakıt tüketiminin (ÖYT) azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca BF ile yakıt maliyetinin de genellikle azaldığı belirlenmiştir.

Şahin vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada, BF'nin etkileri tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda deneysel olarak araştırılmıştır. İlgili çalışmada benzin emilmekte olan havanın içerisine basit bir karbüratörle püskürtülmüştür. Söz konusu çalışmada BF'nin etkileri; hacimsel olarak % (2, 4, 6, 8 ve 10) BF, (900-1600) d/d gibi farklı devir sayılarında ve seçilen (18-23) arasındaki sıkıştırma oranlarında deneysel olarak incelenmiştir. Deney sonuçlarından, BF uygulanmasıyla, efektif gücün % (4-9) seviyelerine kadar arttığı, efektif verimin yaklaşık olarak % (1,5-4) oranında arttığı ve ÖYT'nin ise yaklaşık olarak % (1,5-4) oranında düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca bu motor için seçilen sıkıştırma oranlarında, % (4-6) BF oranlarının uygulanmasının daha uygun olacağı belirtilmiştir. BF durumunda yakıt maliyetinin arttığı görülmüştür. Söz konusu çalışmada BF'nin enerji dengesi üzerindeki etkileri de deneysel olarak incelenmiştir. Enerji dengesi açısından ise yine % (4-6) fumigasyon oranlarının uygulanmasının yararlı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Şahin vd. (2012) tarafından BF'nin, turbo-şarjlı indirekt püskürtmeli bir otomobil dizel motorunun performansına ve eksoz emisyonlarına etkilerine ilişkin deneysel bir çalışma da yapılmıştır. Bu çalışmada, BF için kullanılan karbüratörün ana jeti ayarlanabilen bir vida ile kontrol edilmiştir. Böylece istenilen miktarda benzinin, emilmekte olan havanın içerisine püskürtülmesi sağlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, BF ile efektif gücün genellikle azaldığı ve efektif verimin ise arttığı belirtilmiştir. BF ile ÖYT'nin yaklaşık olarak % 5 ve yakıt maliyetinde de ortalama olarak % 5 oranında azaldığı deneysel olarak görülmüştür. BF ile; NO<sub>x</sub> konsantrasyonunun yaklaşık olarak % (5-10) oranlarında azaldığı belirlenmiştir. Duman koyuluğunun ise % (8-12) benzin oranına kadar azaldığı, bu orandan sonra ise artmaya başladığı belirtilmektedir. Maksimum azalma miktarının ise 2500 d/d devir sayısında % 8 BF oranında % 20 oranında olduğu görülmüştür.

Baliç (2007) tarafından bir dizel motorunda etil alkol fumigasyonunun (EF) motor performansı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. İlgili çalışmada; % 20 etanol-dizel yakıtı karışımı, % 10 ve % 15 oranlarında EF durumları farklı devirlerde incelenmiştir. Döndürme momenti değerlerinin hem fumigasyon ve hem de karışım yönteminde azaldığı görülmüştür. Fakat fumigasyon yöntemi durumundaki azalmaların karışım yöntemine göre daha az olduğu belirlenmiştir. % 10 EF sonuçlarının saf dizel yakıtına daha yakın olduğu görülmüştür. Öte yandan ÖYT, hem fumigasyon hem de karışım uygulamalarında artmıştır. Karışım yöntemindeki artışların daha yüksek olduğu görülmüştür. Tam yük konumunda ÖYT'nin değerleri; 1500 d/d devir sayısında, saf dizel yakıtı için 525,776 g/kWh olurken, aynı devirde % 10 EF için 612,233 g/kWh, % 15 fumigasyon oranı için 700,477 g/kWh ve % 20 etanol karışımı durumu için ise 805,682 g/kWh olarak belirlenmiştir. Volümetrik verim ve efektif verim her iki durumda da artmıştır.

Şahin vd. (2009) tarafından turbo-şarjlı ön yanma odalı bir dizel motorunda; EF'nin motor karakteristikleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri (1/1, 3/4 ve 1/2) olmak üzere üç farklı gaz kolu konumunda ve değişik devir sayılarında deneysel olarak incelenmiştir. Bu deneysel çalışma sonunda; EF ile NO<sub>x</sub> emisyonu 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 seçilen gaz kolu konumlarında; % (6-10) etanol fumigasyonu oranları için azaldığı veya dizel yakıtına yakın değerler aldığı görülmüştür. Buna karşın 1/2 gaz kolu

konumunda EF ile sadece bir karbüratör ana meme açıklığı ayarı dışında efektif gücün ve efektif verimin azaldığı ve ÖYT'nin arttığı belirlenmiştir. EF uygulamasıyla, 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. EF uygulamasıyla, silindir basıncının yanma prosesi başlangıcında arttığı, yanmanın daha sonraki evrelerinde azaldığı ve genişlemenin sonlarına doğru ise yeniden artma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir.

Yapılan literatür araştırması sonunda farklı alternatif yakıtların dizel motorlarında fumigasyon yöntemi ile kullanılması ile motor performansının genellikle iyileştiği ve eksoz emisyonların azaldığı görülmüştür. Emme manifolduna emilen havanın içerisine kolay buharlaşabilen her hangi bir alternatif yakıtın eklenmesi ile silindir içerisinde homojen bir alternatif yakıt-hava karışımı meydana gelmektedir. İlgili karışımın içerisine dizel yakıtı püskürtülmektedir. Dizel yakıtının tutuşma gecikmesi sonunda, kendi kendine tutuşması sonrasında alternatif yakıt-hava karışımı yanmaktadır. Söz konusu ek fumigasyon yakıtının anlık yanmasının daha sonra püskürtülen dizel yakıtı ile havanın karışmasına yardım ettiği ve bu olayın da dizel yakıtının yanmasını iyileştirdiği literatürden bilinmektedir (Goldsworthy, 2013; Şahin vd., 2009).

Dizel motorlarında alternatif yakıtlar, alternatif yakıt-dizel yakıtı karışımları şeklinde de kullanılmıştır (Bilgin vd., 2002; Dorado vd., 2003; Park vd., 2011; Fayyazbakhsh ve Pirouzfard, 2015) . Bu uygulama şeklinde de motor karakteristikleri ve eksoz emisyonları açısından yararlı sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca bu yöntem çok pratik olarak uygulanabilmektedir. Dizel motorlarında özellikle biyodizel-dizel yakıtı karışımları ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır ve günümüzde de çalışmalar yoğun bir biçimde devam etmektedir (Nişancı, 2007; Özsezen ve Çanakçı, 2008; Soysal, 2008; Özsezen ve Çanakçı, 2009; Can, 2014; Çakmak, 2014). Biyodizel ile ilgili yapılan çalışmalardan, biyodizel kullanımı ile motor performansında biraz kötüleşme olmasına rağmen çevre kirliliği açısından yararlı sonuçlar elde edilmiştir (Dorado vd., 2003; Nişancı, 2007; Özsezen ve Çanakçı, 2008; Soysal, 2008; Özsezen ve Çanakçı, 2009; Can, 2014; Çakmak, 2014).

Dizel motorlarında doğal gaz ve LPG gibi gaz yakıtlar ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır ve gaz yakıtlar genellikle pilot dizel uygulaması ile kullanılmaktadır (Ciniviz , 2001; Papagiannakis vd., 2004; Krishnan vd., 2007; Yiğit, 2008). Bu yöntem; emilen “gaz yakıt-hava” karışımının püskürtülen dizel yakıtı ile ateşlenmesi ilkesine dayanmaktadır. Burada karışımın % 80'ni gaz yakıt ve % 20'sini de dizel yakıtı oluşturmaktadır. Doğal

gazın ve LPG'nin çift yakıt yöntemi ile kullanılması durumunda normal dizel motorlarında önemli bir değişiklik yapmaya gerek duyulmamaktadır. Ayrıca söz konusu yöntemde doğal gaz ve LPG kullanıldığında; motor performansı sonuçları genellikle dizel yakıtı durumuna benzer değişimler göstermekle birlikte eksoz emisyonlarının azaldığı belirlenmiştir (Ciniviz, 2001; Papagiannakis vd., 2004; Krishnan vd., 2007; Yiğit, 2008).

Motorlarda su kullanımı ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır. Sunulan çalışmada da sulu amonyak çözeltisi kullanıldığından, bu bölümde literatürdeki su ile ilgili çalışmalardan bazılarının sonuçları kısaca sunulmuştur (Tiryaki, 2008; Orak, 2011; Subramanian, 2011; Tuti, 2012). Subramanian (2011); tek silindirli hava soğutmalı bir test motorunda, su-dizel yakıtı karışımlarının ve emme manifoldundan emilmekte olan havanın içerisine su püskürtülmesinin motor performansı, yanma işlemi ve emisyon karakteristikleri üzerine etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Karışım ve su püskürtülmesi durumları için kütlece su-dizel oranı 0,4:1 olarak alınmıştır. Tüm testler 1500 d/d sabit devir sayısında, farklı yüklemelerde yapılmış ve tüm deneylerde püskürtme avansı sabit tutulmuştur. İlk olarak su-dizel yakıtı karışımları için deneyler yapılmıştır ve bu durumda; motorun performansı, yanma ve emisyon karakteristikleri belirlenmiştir. Suyun dizel yakıtı ile iyi karışabilmesi için surfaktant madde (HLB:7) kullanılmıştır. Ayrıca suyun dizel yakıtı ile iyi karışabilmesi için bir karıştırıcı donanımından da yararlanılmıştır. Su-dizel yakıtı deneylerinden sonra ise suyun emme kanalından geçmekte olan havanın içerisine püskürtüldüğü deneyler yapılmıştır. Suyun püskürtülebilmesi için ayrı bir injektör kullanılmıştır. Deneyler sonunda her iki yöntemde de NO<sub>x</sub> emisyonunun önemli düzeyde azaldığı görülmüştür. Tam yükte NO<sub>x</sub> emisyonları, su-dizel yakıtı karışımı durumunda 1034 ppm'den 645 ppm'e, emme manifolduna püskürtülmesi durumunda ise 1034 ppm'den 643 ppm'e düşmüştür. İS ise su-dizel yakıtı karışımı durumunda 3,6 BSU'dan (BSU; Bosch is ölçüm birimi) 2,7 BSU'ya, emme manifolduna püskürtülmesi durumunda ise 3,2 BSU'ya azalmıştır. NO<sub>x</sub> ve isin azalması, tüm yükleme durumlarında su-dizel yakıtı karışımı için daha iyi olmuştur. Su-dizel yakıtı karışımı için CO ve HC emisyonlarının, suyun emme manifolduna püskürtülmesi durumundan daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Tiryaki (2008) tarafından benzin motorlarında emme havasına su eklenmesinin motor performansına ve eksoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler (1/4, 2/4, 3/4 ve 4/4) gaz konumlarında, farklı motor hızlarında ve farklı su oranlarında gerçekleştirilmiştir. Su, emme havasına yaklaşık % (5, 6,25, 7,5, 8,75 ve 11,25) oranlarında püskürtülmüştür. Benzine istenen oranlarda su eklemek amacı ile

orijinal karbüratörden önce ana meme kesiti değiştirilebilen bir karbüratör tasarlanarak sisteme eklenmiştir. Böylece motorda önemli değişiklik yapılmadan emme havasının içerisine farklı oranlarda su püskürtülmesi sağlanmıştır. Deneysel sonuçlarından elde edilen döndürme momenti, efektif güç, ortalama efektif basınç, ÖYT, efektif verim ve CO, HC emisyon değerleri farklı çalışma koşullarında irdelenerek değerlendirilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlara göre, benzin motorlarında emme havasına su püskürtülmesinin motor performansını ve eksoz emisyonlarını iyileştirici yönde etkilediği belirlenmiştir. En iyi sonuçlar % 6,25 su oranında elde edilmiştir. Bu durum için tam gaz konumunda efektif güçte yaklaşık % 7 düzeylerinde artış, ÖYT’de ise % 6 düzeylerinde azalma sağlanmıştır. Ayrıca CO ve HC emisyonlarında sırasıyla yaklaşık % 30 ve % 25 oranlarında azalmalar belirlenmiştir.

Orak (2011) tarafından tek silindirli bir dizel motorda emme manifolduna su püskürtülmesinin, motor performansına ve eksoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda, kütlece % 150 su/dizel oranıyla emme manifolduna püskürtme yapıldığında NO<sub>x</sub> emisyonlarında % 70’lere varan ciddi düşüşler gerçekleştiği bulunmuştur. Suyun püskürtülmesiyle meydana gelen soğumanın eksoz gazı sıcaklıklarını düşürdüğü belirlenmiştir. Tüm püskürtme oranlarında kısmi yüklerde ÖYT’de iyileşme sağlandığı belirlenmiştir. NO<sub>x</sub> açısından inceleme yapıldığında su püskürtmenin yapılmadığı duruma göre, kütlece % 150 su/dizel püskürtme oranlarında % 74’e, kütlece % 100 su/dizel püskürtme oranlarında % 70’e ve kütlece % 50 su/dizel püskürtme oranlarında % 54’e ulaşan azalmalar elde edildiği belirlenmiştir. Su/dizel oranı arttıkça elde edilen iyileşmelerin arttığı gözlenmiştir. NO<sub>x</sub> emisyonlarındaki en büyük düşüş kısmi yük şartlarında görülmüştür. İlgili çalışmada; emme manifolduna su püskürtülmesi yönteminde, suyun buharlaşırken çevreden ısı çektiği için silindir sıcaklıklarının düştüğü şeklinde yorum yapılmıştır. Böylece yanma sıcaklıklarının düşmesi ile yanma odasının bazı bölgelerinde eksik yanmaların meydana gelmesi nedeniyle CO ve HC emisyonlarının arttığı söz konusu çalışmada açıklanmıştır. Söz konusu çalışmada, isin de arttığı belirtilmiştir. İlgili çalışmada su eklenmesi ile ilgili aşağıdaki yorumlar da yapılmıştır.

Emme manifolduna su püskürtme yöntemi dizel motorlarında NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılmasında etkili olarak kullanılabilir. Fakat sistemde, püskürtülecek su/yakıt oranı HC ve CO emisyonlarında meydana gelen artıştan dolayı optimize edilmelidir. Parçacık madde sayısında artış meydana getirmesinden dolayı ek önlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemde, motor konstrüksiyonunda büyük değişikliklere gerek duyulmadığı için ilk

kurulum maliyeti oldukça düşüktür. Püskürtülen suyun yanma odası duvarlarına yapışması, yağlama yağının viskozitesini değiştirebileceğinden aşınmalar artabilir. Bu yöntemin uygulanmasının önündeki bir başka zorluk, suyun depolanması için ayrı bir hacim bulundurma zorunluluğudur. EGR (eksoz gazı resirkülasyonu) ile beraber kullanılması  $\text{NO}_x$  emisyonlarında çok ciddi düşüşler elde etmemizi sağlayacaktır. Bu sistem, emisyon salınımı açısından en büyük problemi  $\text{NO}_x$  emisyonu olan, hidrojen yakıtıyla çalışan motorlarda da kullanılabilir (Orak, 2011).

Tuti (2012) Renault K9K 700 tipi turbo-şarjlı common-rail püskürtme sistemine sahip bir otomobil dizel motorunda emme havasına su eklenmesinin motor performansı,  $\text{NO}_x$  ve K is faktörü üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Deneyler; farklı yüklemelerde, farklı motor devirlerinde ve farklı su oranlarında gerçekleştirilmiştir. Su, emme havasının içerisine, ana memesi değiştirilebilen bir karbüratör aracılığıyla % (2, 4, 6, 8 ve 10) oranlarında püskürtülmüştür. Çalışma sonunda; dizel motorlarında emme havasının içerisine su püskürtülmesinin motor performansını iyileştirdiği,  $\text{NO}_x$  emisyonlarını ve K is faktörünü azalttığı belirlenmiştir. (2000, 2500 ve 3000) d/d gibi motor hızlarında karışımdaki su oranı arttıkça K is faktörü azalmıştır. K is faktöründeki maksimum azalma 3000 d/d'da % 11,71 su oranında % 41,75 olarak belirlenmiştir. Seçilen yük ve devir sayılarında su oranı arttıkça  $\text{NO}_x$  emisyonları azalmıştır. Özellikle % 6 su oranından sonraki azalmalar daha etkin olmuştur. 2500 d/d'da tam gazda tam yükte (520 N) maksimum azalma % 9,400 su oranında % 12,489 olarak belirlenmiştir. Su oranı arttıkça, ÖYT genel olarak saf dizel yakıtına yakın değerler almış ve bazı durumlarda ise azalmıştır. 2500 d/d'da, % (4-6) su oranlarında ÖYT'de, ortalama olarak % 0,5 azalma sağlanmıştır. Efektif güç ise saf dizel yakıtının değerlerine yakın değerler almıştır. 3000 d/d'da tam gazda tam yükte (460 N) en büyük artma % 6,543 su oranında % 1,173 olmuştur.

Su ile ilgili yapılan çalışmalardan; suyun dizel motorlarında kullanılması ile motor performans parametrelerinin dizel yakıtı ile hemen hemen aynı olduğu, fakat  $\text{NO}_x$ 'lerin ve isin önemli düzeyde azaldığı belirtilmiştir (Orak, 2011; Subramanian, 2011; Tuti, 2012).

### **1.2.3. Motorlarda Yakıt Olarak Amonyak Kullanımıyla İlgili Çalışmalar**

Starkman vd. (1968) tarafından yapılan çalışma, amonyağın dizel motorlarında kullanımı ile ilgili yapılan eski çalışmalardan biridir. Deneyler tek silindirli bir dizel

motorunda yapılmıştır. Burada saf amonyak dizel püskürtücüsü kullanılarak direkt olarak yanma odasına püskürtülmüştür. Amonyanın oktan sayısı yüksek olduğundan dizel yakıtı gibi kendi kendine yanmadığı için silindir kafasına bir buji eklenmiştir. Püskürtme ve ateşleme avansı amonyak için yeniden optimize edilmiştir. Uygulamada saf amonyak kullanımı ile gücün %10 oranında azaldığı, yakıt tüketimi ve isin arttığı belirlenmiştir. Söz konusu çalışmada, gücün azalmasının ve yakıt tüketiminin artmasının amonyanın eksik yanma karakteristiğinden kaynaklandığı şeklinde yorum yapılmıştır. Bu çalışmada, dizel çevriminin hesaplanabildiği bir model kullanılarak amonyanın kullanımının teorik incelemesi de yapılmıştır. Sayısal çalışma sonunda da deneysel sonuçlara benzer sonuçlar bulunmuştur.

Reiter ve Kong (2011) tarafından 4 silindirli, turbo-şarjlı bir dizel motorunda amonyak fumigasyonu (AF) deneysel olarak incelenmiş ve AF'nin yanma ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri belirlenmiştir. İlgili çalışmada, amonyak buharı emme manifoldundan emilmekte olan havanın içerisine püskürtülmüş, dizel yakıtı ise yanmayı başlatmak için doğrudan silindir içerisine söz konusu hava ve amonyak karışımına püskürtülmüştür. Amonyanın emme manifoldundaki havanın içerisine püskürtülebilmesi için bir yakıt püskürtme sistemi kullanılmıştır. En iyi yakıt tüketiminin sağlandığı çalışma durumu, enerjinin % (60-40) dizel yakıtından ve enerjinin % (40-60) amonyaktan sağlandığı durum olarak belirlenmiştir. Isı oluşum analizinin de yapıldığı çalışmada; amonyak eklenmesi ile tutuşma gecikmesinin arttığı, yanma sonu sıcaklıklarının azaldığı ve yanma işleminin genişleme işlemine doğru uzadığı belirlenmiştir. Dizel yakıtı ile eklenen enerji % 60 üzerine çıktığında, yani karışımdaki amonyak oranı azaldığında, yanmanın bozulmakta olduğu ve bazı durumlarda amonyanın yanma sınırına ulaşmadığı belirlenmiştir. AF ile; ÖYT ve CO, HC emisyonlarının arttığı belirlenmiştir. Enerjinin % 60'ının dizel yakıtından ve % 40'ının amonyaktan karşılandığı durumda NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaldığı, bununla birlikte enerjinin % 40'ının dizel yakıtından ve % 60'ının amonyaktan karşılandığı durumda ise NO<sub>x</sub> emisyonlarının arttığı görülmüştür. Dizel yakıtı enerjisinin % 60'ın altında olduğu durumlarda is önemli ölçüde azalmıştır, fakat dizel yakıtı ile eklenen enerji % 60'ın üzerine çıktığında ise is artmıştır.

Gill vd. (2012) tarafından; saf amonyanın, saf hidrojenin ve çözünmüş amonyanın (NH<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>) emme kanalından emilmekte olan havanın içerisine gönderildiği deneysel bir çalışma yapılmıştır. Burada emme manifolduna, emme havasının kütleli olarak % 3'ü kadar saf amonyak veya çözünmüş amonyak eklenmiştir. Burada çözünmüş amonyak için

iki farklı karışım kullanılmıştır ( $1-2\%NH_3 + 75\%H_2 + 23-24\%N_2$ ). İlgili çalışma tek silindirli bir dizel motorunda yapılmış olup, motorun orijinal püskürtme sisteminde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır ve motor dizel motoru ilkesine göre çalıştırılmıştır. Çalışma sonucunda; yüksek yük durumunda saf  $NH_3$  kullanıldığında, motorun çalışmasının daha kararlı ve efektif verimin de çözülmüş amonyak durumuna göre daha iyi olduğu belirlenmiştir. Yine düşük yük durumunda da benzer değişimler görülmüştür. Ayrıca saf amonyağın kullanıldığı durumda yakıt tüketimi ve HC,  $NO_x$  emisyonları artmıştır. Saf  $H_2$  kullanılması durumunda ise yakıt tüketiminin azaldığı ve yüksek yanma sıcaklıklarının oluşması nedeniyle  $NO_x$  emisyonunun arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte; seçilen yakıtlar arasında  $H_2$ 'nin, hem motor performansı hem de eksoz emisyonları açısından en iyi sonuçları verdiği belirlenmiştir. Ayrıca çözülmüş amonyağın içerisinde  $H_2$  bulunmasının, motor performansı ve eksoz emisyonları sonuçlarını iyileştirdiği, hatta sonuçların  $H_2$  kullanımı durumuna benzediği belirlenmiştir. Çalışmada,  $H_2$ 'nin iyi bir motor yakıtı olabileceği ama amonyaktan membran tekniği ile saf  $H_2$ 'nin üretimi sırasında yüksek basınçlar ve sıcaklıklar gerektireceği için taşıtlarda kullanımının pek pratik olmadığı belirtilmiştir. Bu nedenle amonyaktan  $H_2$ 'nin kısmi şekilde üretildiği çözülmüş amonyağın motor yakıtı olarak kullanılmasının daha uygun olabileceği önerilmiştir.

Ryu vd. (2014a) tarafından, bir benzin motorunda gaz halindeki amonyağın kullanılmasının motor karakteristikleri, yanma özellikleri ve eksoz emisyonları üzerine etkileri araştırılmıştır. Söz konusu çalışmada, uygun bir püskürtme sistemi tasarlanarak, gaz fazındaki amonyak doğrudan yanma odasına püskürtülmüştür. Benzin ise emme manifoldundan emilmekte olan havanın içerisine püskürtülmüştür. Uygulama sonunda amonyak kullanımı ile motor karakteristiklerinin saf benzin kullanımına benzer olduğu, HC ve  $NO_x$  emisyonlarının arttığı, CO emisyonunun ise çok az azaldığı belirlenmiştir.

Ryu vd. (2014b), yukarıda sunulan çalışmadan sonra; bir katalizör sistemi ile amonyak kullanımını deneysel olarak incelemişlerdir. Söz konusu uygulamada amonyak; geliştirilen katalizör sistemi ile  $H_2$  ve  $N_2$ 'ye parçalanmıştır (ayrıştırılmıştır). Böylece yakıt tankından gelen amonyak, bu sistemde  $H_2$  ve  $N_2$  olarak ayrıştırılarak oluşan karışım yanma odasına püskürtülmektedir.  $H_2$ 'nin bu şekilde üretilip motorda kullanılması ile motor performansının iyileştiği ve eksoz emisyonlarının azaldığı belirlenmiştir. İlgili uygulamada CO, HC ve  $NO_x$  emisyonlarının önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Bu şekilde amonyaktan katalizör sistemi ile hidrojen üretiminin, ilgili sistemin ve oluşan yakıt karışımının ( $H_2+N_2$ ) buji ateşlemeli motorlarda kullanılabileceği önerilmiştir.



Araştırmacılar aynı motorda aynı şartlarda saf amonyak kullanımını da incelemişler ama sonuçların katalizör sistemine göre iyi olmadığını hatta saf amonyak kullanımı ile eksoz emisyonlarının önemli ölçüde arttığını belirlemişlerdir.

Yukarıda yapılan literatür araştırmasından amonyağın hem benzin hem de dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılabilceğı anlaşılabilir. Literatürde, amonyak hidrojene benzer şekilde, fosil yakıtlardan, bunun yanında en önemlisi biyokütleden veya diğer yenilenebilir kaynaklardan sentetik olarak elde edilebilen sürdürülebilir yakıt olarak tanımlanmaktadır (Zamfirescu ve Dincer, 2008). Dizel motorlarında amonyağın emme kanalından emilen havanın içerisine eklenmesi ile ilgili yapılan çalışmalarından, amonyak kullanımının motor performansı ve eksoz emisyonları açısından ümit verici sonuçlar verdiği görülmektedir. Fakat bu konuda yapılan çalışmalar çok azdır ve ilgili çalışmalar da genellikle seçilen çalışma koşulları ile sınırlıdır. Söz konusu çalışmalarda; tek devir sayısında, birkaç yük durumu için farklı amonyak oranlarında veya birkaç devirde ve sınırlı yük durumlarında, yalnızca tek karışım oranında amonyak kullanımı incelenmiştir. Ayrıca seçilen amonyak çözeltilerinin kimyasal bileşimleri de farklıdır. Literatürde yapılan çalışmalarda amonyak kullanımının maliyet üzerindeki etkileri ile ilgili herhangi bir değerlendirme de yapılmamıştır.

### **1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Uluslararası standartların getirdiğı eksoz emisyon sınırlandırmalarının sağlanması amacıyla yolcu ve yük taşımacılığında kullanılan dizel motorlu ağır taşıtların eksoz sistemlerinde çeşitli firma patentli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu katkı maddeleri benzer yapıya sahip renksiz, kokusuz, zararsız değışken oranlarda üre ve su karışımlarıdır. Bu karışım eksoz gazlarının içinde parçalanarak amonyağa dönüşmektedir. Amonyak, motordan çıkan zararlı NO<sub>x</sub>, CO ve HC gazları ile kimyasal tepkimeye girerek zararsız N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O (su buharı) olarak çevreye salınımını sağlamaktadır.

Amonyacağın yukarıda bahsedilen etkisi göz önüne alınarak, dizel yakıtına eklenmesiyle, yanma sırasında meydana gelen zararlı gazların oluşumunun önlenebileceğı düşünülmektedir. Amonyacağın normal şartlar altında gaz fazında bulunmasından dolayı, amonyak eklenmesi uygulamasında bazı zorluklarla karşılaşılabilir. Bu zorlukları ortadan kaldırmak için, deneylerde katkı maddesi olarak, amonyağın %25 derişiklikteki sulu çözeltisi kullanılmıştır. Gerek suyun korozyon etkisi gerekse homojen ve stabil bir

karışım elde edilmesinin mümkün olmaması nedenleriyle, amonyağın dizel yakıtına tankta karıştırılıp kullanılmasının pek uygun olmayacağı düşünülerek sunulan çalışmada amonyak fumigasyonu (AF) yönteminin uygulanması tercih edilmiştir.

Bu nedenle de; sunulan tez çalışmasında emme kanalından emilmekte olan havanın içerisine amonyağın (% 25 amonyak oranlı) sulu çözelti olarak püskürtülmesinin, motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerinin tek silindirli bir dizel motorunda deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan literatür araştırması sonucunda amonyağın, bir alternatif yakıt olarak, dizel motorlarında kullanımına yönelik çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmüştür. AF ile ilgili çalışmalar ise yok denecek kadar azdır. Burada amonyağın emilmekte olan havanın içerisine gönderilmesinde, ana meme kesiti değiştirilebilen, basit bir karbüratör kullanılmıştır. Motorda başka herhangi bir değişiklik yapılmamıştır ve bu nedenle sistem ekonomik ve pratik uygulanabilir olmaktadır.

Sunulan tez çalışmasında deneyler, sistematik bir şekilde farklı devirlerde ve farklı yüklerde yapılmıştır. Deneylerde hacimsel olarak % (2, 4, 6, 8 ve 10) oranlarındaki amonyak çözeltisi, emilmekte olan havanın içerisine, ana meme kesiti değiştirilebilen, bir karbüratörle püskürtülmüştür. Deneyler (2200, 2600 ve 3000) d/d gibi 3 farklı motor hızlarında ve farklı yükleme durumunda yapılmıştır. Deneylerde ölçümler ve ölçülen değerlerden yararlanarak motor karakteristikleri hesabı sistematik bir biçimde yapılmıştır. Böylece deneylerden elde edilen motor karakteristikleriyle ilgili sonuçlar, eksoz gazı ölçümlerinden elde edilen veriler karşılaştırmalı olarak sunulmuş ve irdelenmiştir. Ayrıca orijinal olarak Durgun'un (1988) geliştirmiş olduğu basit bir maliyet analizi bağıntısı kullanılarak amonyak kullanımının yakıt maliyeti üzerindeki etkisi de incelenmiştir.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Sunulan çalışmada, dizel motorlarında dizel yakıtına ek olarak amonyak fumigasyonu uygulamasının motorun performansı üzerindeki etkilerini ve aynı zamanda eksoz emisyonlarında oluşacak değişimleri incelemek için deneyler yapılmıştır. Deneyler; Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarı'nda, tek silindirli küçük bir dizel motoru kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmadaki motor performansı ve eksoz emisyonu ölçüm deneyleri, bir referans noktası elde edebilmek için, öncelikli olarak sadece dizel yakıtıyla gerçekleştirilmiş, daha sonra dizel yakıtına % (2, 4, 6, 8 ve 10) oranlarında amonyak fumigasyonu uygulanarak yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar, sadece dizel yakıtıyla yapılan deneyler baz alınarak karşılaştırmalı olarak irdelenmiş ve sonuçta değişik tablolar ve eğriler oluşturularak yorumlanmıştır.

### 2.1. Malzemeler

Deneylerde kullanılan ana malzemeler, dizel yakıtı ve toplam karışım ağırlığının yüzdesi olarak kullanılan amonyaktır.

#### 2.1.1. Dizel Yakıtı

Çalışmada dizel yakıtı olarak, piyasadan temin edilen hafif dizel yakıtı ( $C_{12,3}H_{22,2}$ ) kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan dizel yakıtının  $\rho_d$  yoğunluğu, 18,5 °C termometre sıcaklığı ve 762 mmHg basınç koşullarında ölçülmüş ve 0,817 g/cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir.

#### 2.1.2. Amonyak

Normal şartlar altında gaz fazında bulunan amonyanın, uygulama kolaylığı sağlaması açısından % 25 amonyak oranlı sulu çözelti şeklinde kullanımı tercih edilmiştir. Piyasadan ticari bir ürün olarak temin edilen % 25 amonyak oranlı solüsyona ait bazı fiziksel ve

kimyasal özellikler Tablo 1’de verilmiştir. Ayrıca ilgili tabloda dizel yakıtının özellikleri de sunulmuştur. Deneysel çalışmada kullanılan % 25 amonyak oranlı sulu çözelti için bundan sonra sadece amonyak katkısı olarak söz edilecektir.

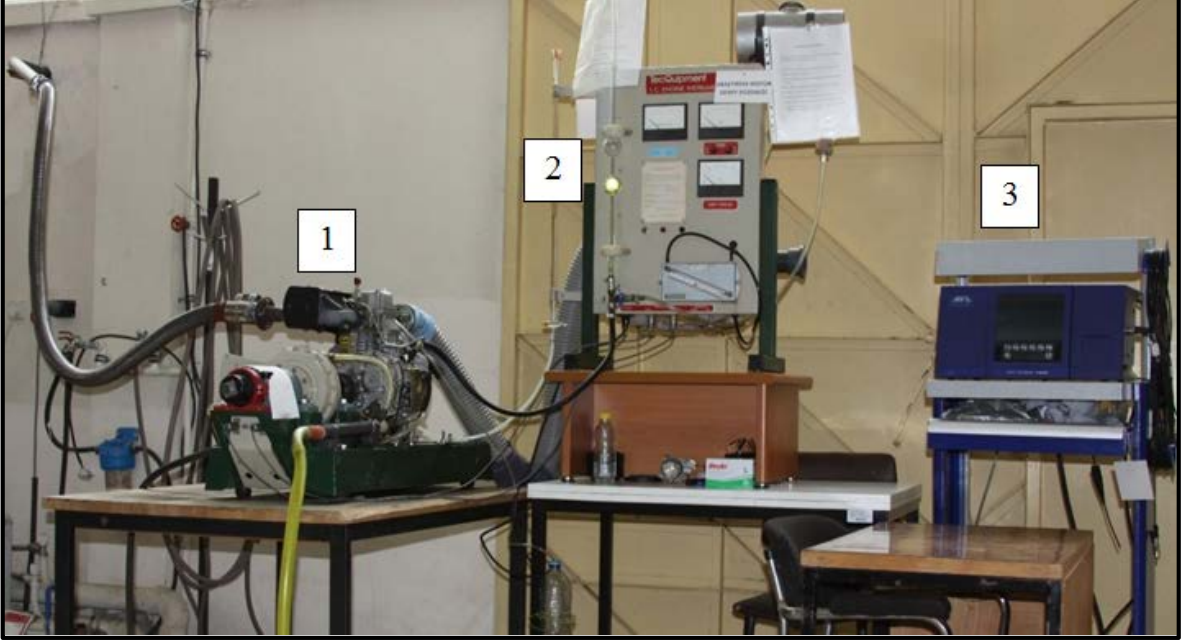
Tablo 1. Dizel yakıtı ve amonyağın başlıca özellikleri (Heywood, 1988; Durgun, 2013a; Şahin vd., 2015)

	<b>Dizel yakıtı</b>	<b>Amonyak (sulu çözelti)</b>
Kimyasal formül (kapalı formül)	$C_{12,3}H_{22,2}$	$NH_4OH$
Mol kütlesi [kg/kmol]	170,1079	35,046
Yoğunluk [ $kg/m^3$ ]	0,8165 *	0,8903*
Alt ısı değer [kJ/kg]	42994,28**	9839**
Setan sayısı	45	-
Buharlaşma gizli ısı [ $kJ/kg$ ]	270	-
Kaynama noktası [ $^{\circ}C$ ]	180-360	37,7
Buharlaşma basıncı [kPa]	-	-
Buharlaşma sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]	-	-
Parlama noktası [ $^{\circ}C$ ]	$\geq 55$	-
Kinematik vizkozite, 20 $^{\circ}C$ 'de, [ $mm^2/s$ ]	3,4	-
Elemansel bileşim	$c' = 0,8685$ $h' = 0,1315$	$n' = 0,3997$ $h' = 0,1438$ $o'_y = 0,4565$
Fiyat [TL/lt], 26 Nisan 2016	3,64	2,83
Fiziksel bazı özellikler	-	Berrak, tortusuz, renksiz keskin kokulu suda tamamen çözünebilen ve stabil

\*Laboratuvarda ölçülmüştür. \*\* Mendeleyev formülünden hesaplanmıştır.

### 2.1.3. Deney Düzeneği

Motor performansı ve eksoz emisyonu ölçüm deneylerinde TecQuipment firması tarafından üretilen TD114 küçük araştırma motor deney düzeneği kullanılmıştır. şekil 1’de araştırma motor deney düzeneğinin genel görünüşü sunulmuştur.

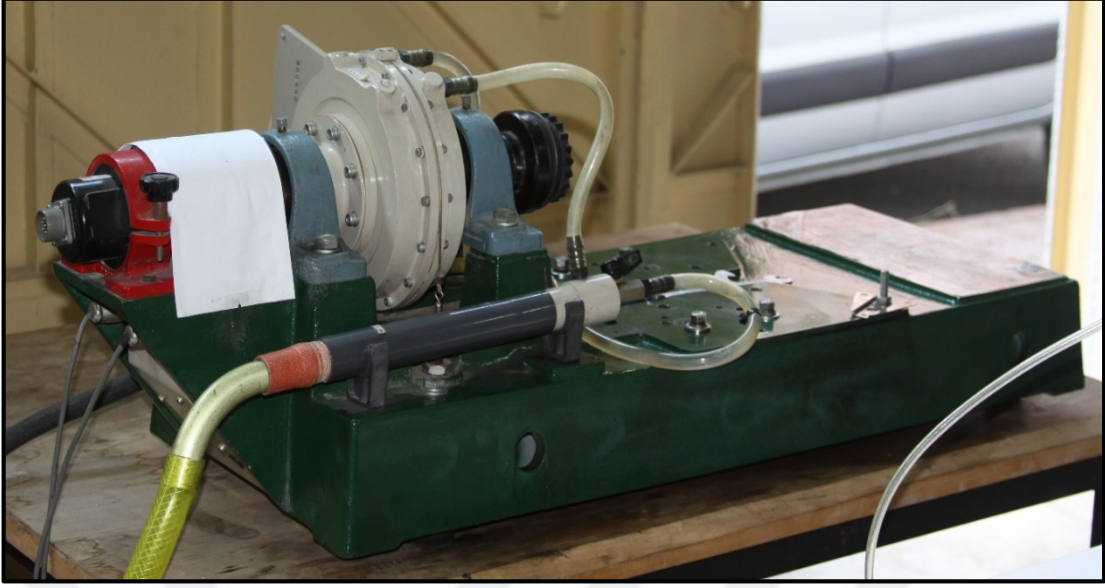


şekil 1. TD114 küçük araştırma motor deney düzeneği (1-Araştırma deney motoru, 2-Gösterge panosu, 3-Eksoz gazı analiz cihazı).

#### 2.1.3.1. Küçük Deney Motoru Ünitesi

Küçük deney motoru ünitesi, deney motorunu sabitleyen ünitedir. Bu ünite, yüksek titreşimle çalışan dizel motorunun etkisi altında, oturtulan zeminde stabil kalabilmesini sağlayan elastik ayaklara sahiptir. şekil 2’de küçük deney motoru ünitesi gösterilmiştir.

şekil 2’de görülebileceği gibi, deney donanımında yükleme elemanı olarak hidrolik dinamometre ve motorun devir sayısını ölçen ölçüm cihazı da yer almaktadır. İlgili elemanlar deney motorunun krank miline bağlanmıştır.



Şekil 2. Küçük deney motoru ünitesi

### 2.1.3.2. Dizel Deney Motoru

Deneyleerde kullanılan dizel motoru, hem boyut hem de ölçüm kapasitesi olarak TecQuipment TD114 deney düzeneğine uygunluğu gözetilerek piyasadan satın alınmıştır. Yapılan fiyat araştırması sonucunda deney motoru olarak 4 zamanlı, tek silindirli, direkt püskürtmeli hava soğutmalı Palmera PA-HP170F dizel motoru satın alınarak deneyleerde kullanılmıştır. Şekil 3'te deneyleerde kullanılan motor görülebilmektedir.

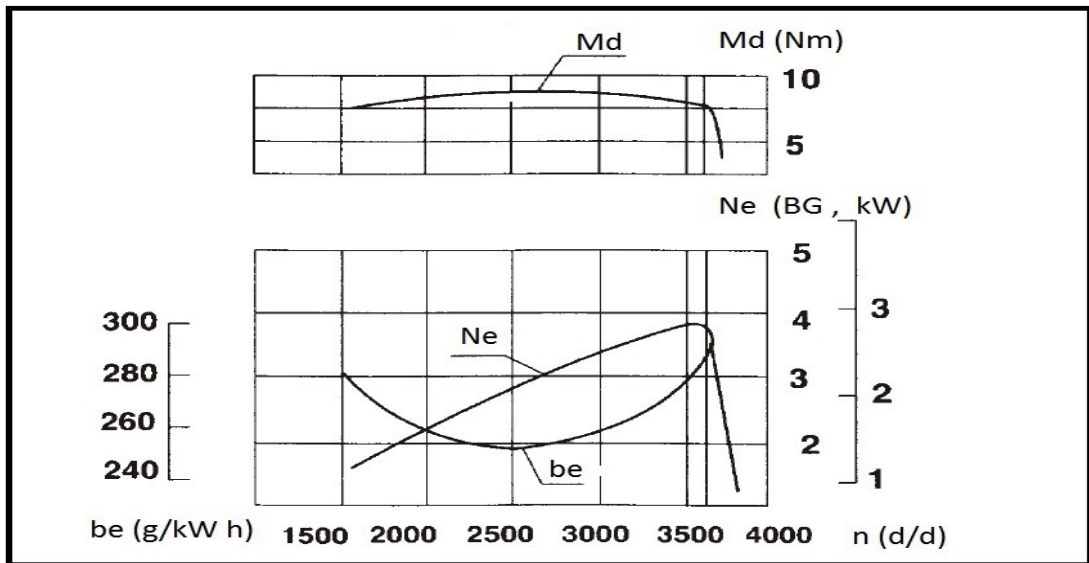


Şekil 3. Deneyleerde kullanılan Palmera PA-HP170F dizel motoru

Kullanılan motor genel kullanım amacı olarak tarım makineleri için üretilmiştir. Motorda, yükleme halinde kararlı bir çalışma gösterebilmesi için dahili bir devir regülatörü kullanılmıştır. Üretici firma tarafından verilen motora ait temel özellikler Tablo 2’de verilmiştir. Şekil 4’de ise motor karakteristikleri ile ilgili şekil sunulmuştur.

Tablo 2. Deneyleerde kullanılan Palmera PA-HP170F dizel motoruna ait temel özellikler

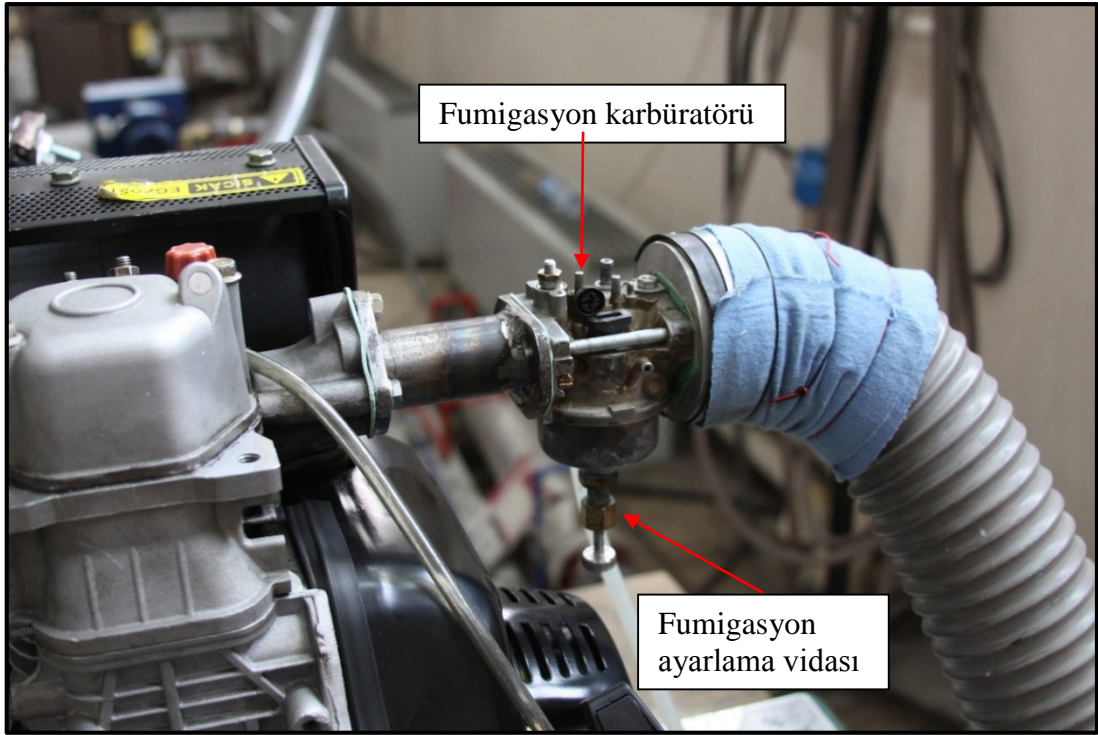
Özellik	Tanımlama
Motor	4 zamanlı, tek silindirli, direkt püskürtmeli, hava soğutmalı PA-HP170F dizel motoru
Strok uzunluğu	55 mm
Silindir çapı	70 mm
Silindir hacmi	211 cm <sup>3</sup>
Sıkıştırma oranı	20:1
Maksimum efektif güç, 3600 d/d	3,1 kW (4,2 hp)
Nominal efektif güç	2,8 kW (3,8 hp)
Çalıştırma sistemi	Geri tepmeli çalıştırıcı (ipli)
Yağ hacmi	0,8 lt
Kütle	26 kg



Şekil 4. Deneyleerde kullanılan Palmera PA-HP170F dizel motor karakteristikleri

### 2.1.3.3. Fumigasyon Karbüratörü

Deneyleerde fumigasyon işleminin yapılabilmesi için, deney motorunda mevcut olan yağsız hava filtresi sökülmiştir. Hava emişini sağlamak için, hava debisi ölçüm sistemi ile modifiye karbüratör arasında esnek bir bağlantı elemanı kullanılmıştır. Bu şekilde, ölçüm yapan haznedan gelen havaya katkı maddesini (% 25'lik amonyak sulu çözeltisini) istenilen oranda eklemek mümkün olmuştur. Şekil 5'te yukarıda sözü edilen modifiye karbüratör ve bu karbüratörün emme manifolduna bağlantısı görülebilmektedir.



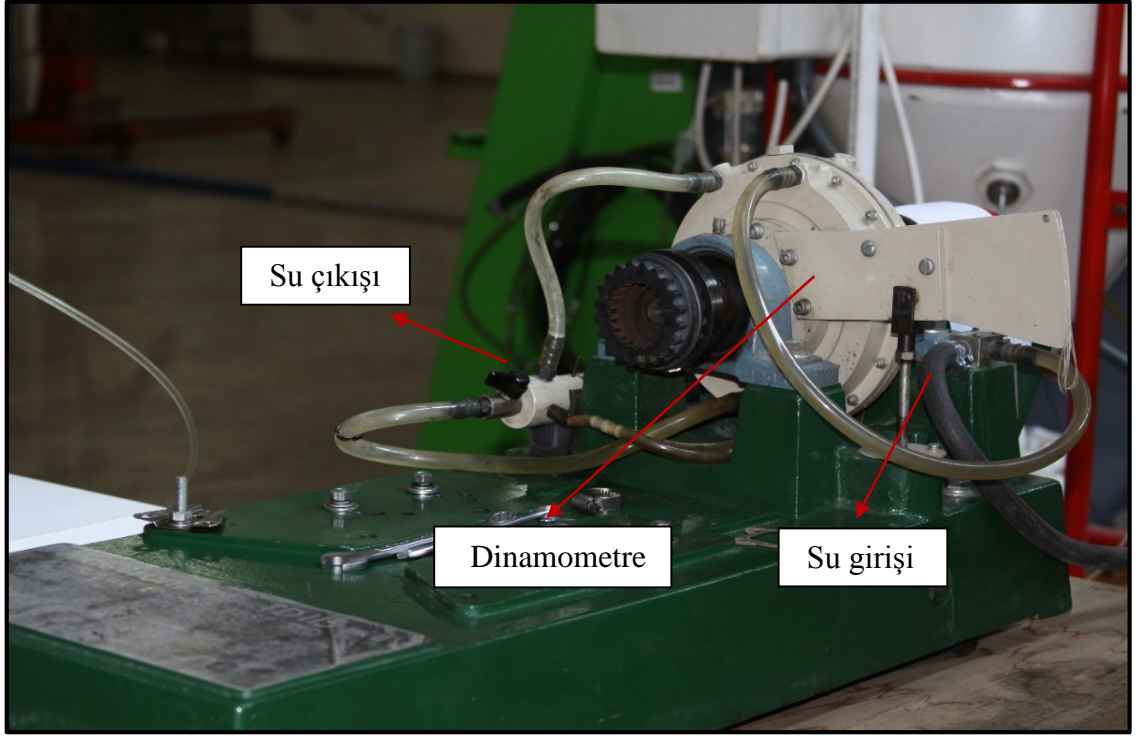
Şekil 5. Deneyleerde kullanılan modifiye karbüratör ve motor gövdesine bağlantısı

Karbüratörde yapılan modifiye ile ana meme kesitinin değiştirilebilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle şamandıra kapağındaki sabitleme vidası yerine, konik uçlu bir ayar vidası kullanılmıştır. Böylece ana meme kesitinde, yaklaşık olarak % (2, 4, 6, 8 ve 10) AF oranlarının elde edilebilmesi sağlanmıştır.



#### 2.1.3.4. Dinamometre

Dinamometre, içerisinde bir rotor ve stator bulunan, yüklemenin su ile yapıldığı, bir giriş ve çoklu çıkışa sahip bir yükleme elemanıdır. Dinamometre içerisine su girişiyle yükleme başlar ve su miktarının artmasıyla yükleme artar. Şekil 6'da deneylerde kullanılan dinamometreye ait bir görsel verilmiştir.



Şekil 6. Deneylerde kullanılan dinamometre

#### 2.1.3.5. Gösterge Panosu

Deney düzeneği; 12 Nm'ye kadar yüklemeyi ve 6000 d/d'ya kadar kam mili hızını gösterebilen, eğik manometrenin yer aldığı, yakıt ve katkı büretlerini üzerinde bulunduran bir gösterge panosuna sahiptir. Deney düzeneği kapsamındaki gösterge panosu Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. Deney düzeneğine ait gösterge panosu

### 2.1.3.6. Dizel Yakıtı Deposu

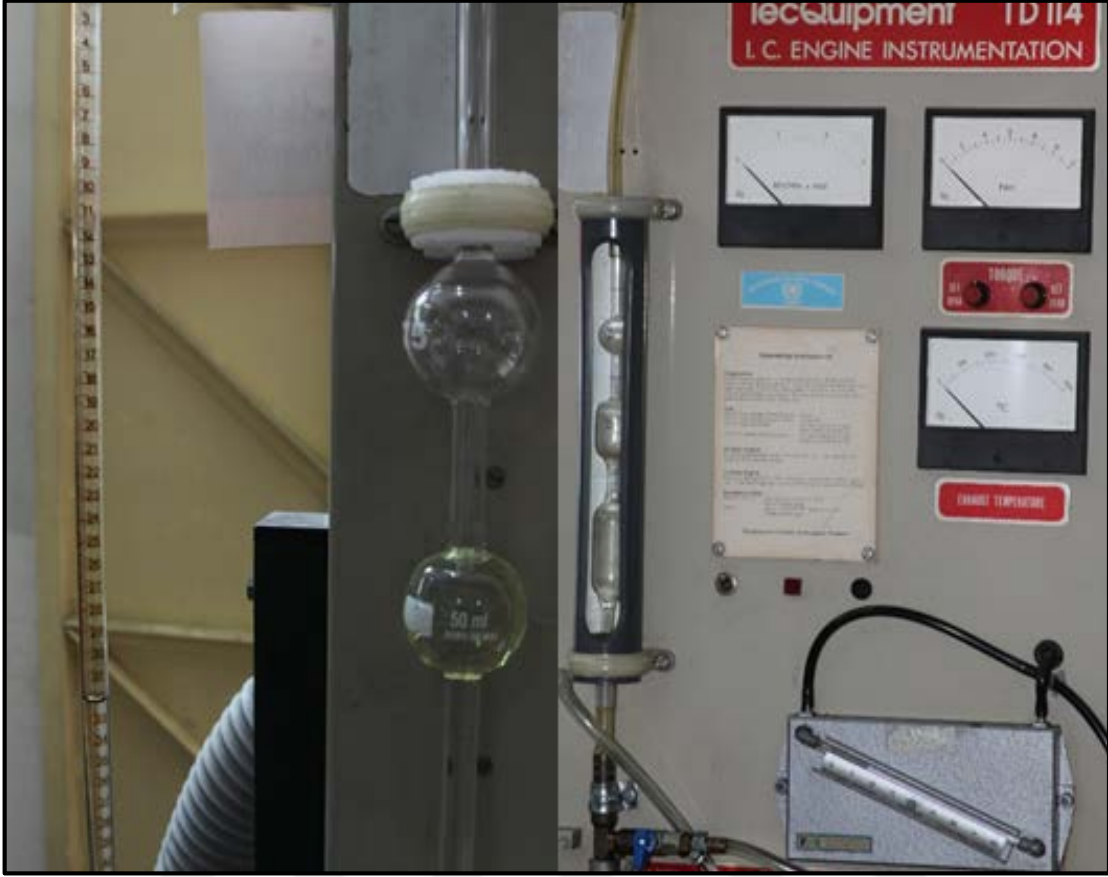
Şekil 8’de görülebileceği gibi, motor gövdesi üzerinde harici olarak mevcut olan dizel yakıtı deposu, yakıt ölçümünün sağlanması amacıyla deney düzeneği gösterge panosunun üst seviyesine montajlanmıştır.



Şekil 8. Dizel yakıtı deposu

#### 2.1.3.7. Dizel Yakıtı Büreti

Şekil 9’da görülebileceği gibi mevcut deney düzeneğindeki benzin veya dizel yakıtı için seçilmiş olan 8 ml ölçüm kapasiteli yakıt büreti, % (2, 4, 6, 8 ve 10) oranlarında amonyak sulu çözeltisi ile deney yapılacağından ve amonyak için kullanılacak katkı büretinin 0,1 ml’lik hassasiyete sahip olması istendiğinden, 50 ml ölçüm kapasiteli bir yakıt büretiyle değiştirilmiştir.



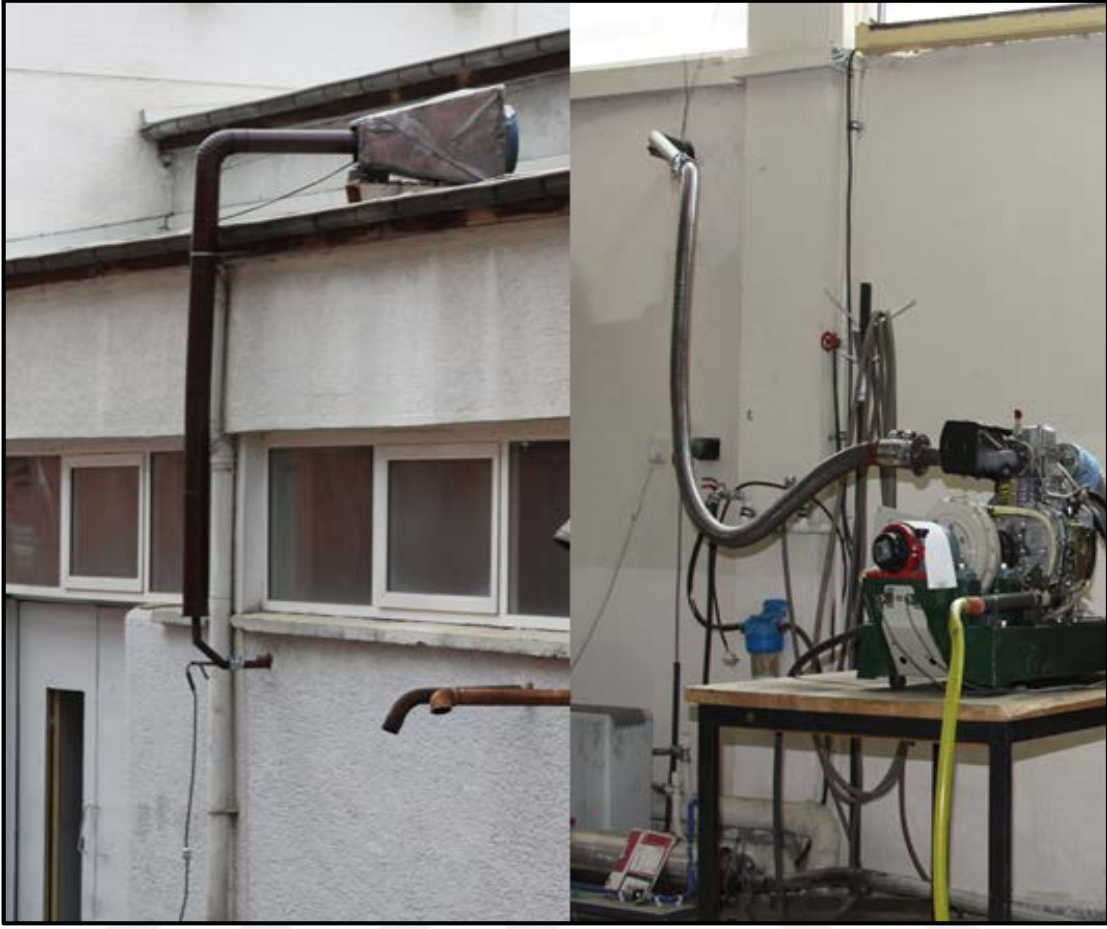
Şekil 9. Deney düzeneğinde kullanılan yakıt büretleri

#### 2.1.3.8. Amonyak Katkı Büreti

% 25'lik amonyak sulu çözeltisi için, 50 ml ölçekli 0,1 ml'lik hassasiyete sahip bir ölçüm tübü amonyak katkı büreti olarak kullanılmıştır. Kullanılan büret Şekil 9'da gösterilmiştir.

#### 2.1.3.9. Eksoz Sistemi

Küçük hacimli deney motorunun performansının etkilenmemesi için eksoz sisteminin uzunluğu Şekil 10'da görülebileceği gibi laboratuvar çıkışının hemen sonrasına kadar sınırlı tutulmuş ve yığılma önleyici (kısıtlanmış bir alandan elektrikli pervane ile açık havaya emiş yapılan) bir baca eksoz sistemine eklenmiştir.



Şekil 10. Deney düzeneğine ait eksoz sistemi

#### 2.1.3.10. Eksoz Emisyon Ölçüm Cihazı

Deneyleerde; eksoz emisyonlarının ölçümünde AVL DiCom 4000 marka ve modelindeki eksoz emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihazla, önce 2200 d/d devir sayısı için karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), oksijen (O<sub>2</sub>), hidrokarbonlar (HC) ve azot oksitlerin (NO<sub>x</sub>) ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek sonraki deneyin 6 Nm yük altında 2600 d/d'da yapılmasına karar verilmiş ve yukarıda sayılan ölçümler tekrarlanmıştır. Şekil 11'de eksoz emisyon ölçümünde kullanılan eksoz gazı analiz cihazına ait görsel ve Tablo 3'te ilgili cihazın hassasiyet aralıkları verilmiştir.



Şekil 11. AVL DiCom eksoz gazı analiz cihazı

Tablo 3. AVL DiCom 4000 eksoz gazı analiz cihazı ölçüm aralığı

AVL DiCom 4000		
Eksoz gazları	Ölçüm aralığı	Duyarlılık
HC	0-20 ppm Vol.	1 ppm Vol.
CO <sub>2</sub>	0-20 % Vol.	0,1 % Vol
CO	0-10 % Vol.	0,01 % Vol.
O <sub>2</sub>	0-25 % Vol.	0,01 % Vol.
Hava fazlalık katsayısı ( $\alpha$ )	0-9,999	0,001

## 2.2. Deneysel Ölçüm ve Hesaplama Yöntemleri

Bu bölümde, deneylerin yapılması sırasında nasıl bir yöntem izlendiği, karşılaşılan sorunlara hangi yaklaşımlarla çözüm bulunduğu açıklanmıştır. Buna ek olarak, deney sonuçlarından elde edilen verilerin hangi hesap yöntemleri kullanılarak yorumlanabilir hale getirildiğinden de söz edilmiştir.

### 2.2.1. DeneYlerin Yapılışı ve Deney Sistematiği

DeneYler referans değer elde etmek amacıyla önce saf dizel yakıtı (motorin) ile yapılmıştır. Deney motoru y¼kl¼ durumda kararlı halde çalışmasını sağlayan dahili bir devir reg¼lat¼r¼ne sahiptir. Bu nedenle, deneysel çalışmada deneYlerin (2200, 2600 ve 3000 d/d) sabit devirlerinde, (2, 4, 6, 8 ve 10) Nm y¼kleme değerlerinde saf dizel yakıtı (SDY) için ve bu y¼k durumlarının her biri için ( $\pm 0,5$ ) % (2, 4, 6, 8 ve 10) oranlarında amonyak katkıları için yapılması planlanmıştır. EĞer genelde kullanılan belirli kısmi gaz durumları için deney y¼ntemi tercih edilmiş olsaydı, devir reg¼lat¼r¼n¼n ortaya çıkaracağı belirsiz kısmi gaz durumundan dolayı, deneYler sonucunda sağlıklı bir karşılaştırma yapılamayacaktı. DeneYlerin yapılmasında tercih edilen sabit devirlerin her birinde y¼kleme y¼ntemi sayesinde deney sonuçları daha sağlıklı bir şekilde karşılaştırılıp yorumlanabilmiştir.

DeneYlere başlamadan önce dizel yakıtı ve amonyak katkısına ait yoğunluklar hassas şekilde ¼l¼lm¼řt¼r. Referans değerler elde edebilmek için, ilk olarak SDY deneYleri yapılmıştır. Daha sonra % (2, 4, 6, 8 ve 10) oranlarındaki amonyak katkısı (% 25 amonyak oranlı sulu çözeltisi) emilmekte olan havanın içerisine p¼sk¼rt¼lm¼řt¼r ve s¼z konusu karışımlar için deneYler yapılmıştır. B¼t¼n deneYlerde aşağıda sunulan deney sistematiği takip edilmiştir:

- 1) Her bir deney ¼ncesinde ortam koşulları; ortam sıcaklığı ( $T_0$ ), yaş termometre sıcaklığı ( $T_y$ ) ve ortam basıncı ( $P_0$ ) ayrı ayrı ¼l¼lerek kaydedilmiştir.
- 2) Deney d¼zeneĐi g¼sterge panosunda bulunan eğik manometredeki sıvı kontrol edilerek, sıfır seviyesine ayarlanmıştır ve eğer bir eksiklik varsa giderilmiştir.
- 3) Deney anında yakıtın t¼kenip deneyin yarıda kesilmemesi için yakıt tankı maksimum noktaya kadar doldurulmuş ve yakıt hortumu kontrol edilerek varsa yakıt hortumundaki hava boşaltılmıştır.
- 4) Deney motoru çalıştırılmadan önce, deney d¼zeneĐine ait elektrik d¼Đmesi açılarak dinamometrenin kalibrasyonu yapılmıştır.
- 5) Eksoz çıkışında yığılmayı ¼nlemek için baca fanı aktif hale getirildikten sonra katalogundaki alıştırma talimatlarına uyularak deney motoru çalıştırılmıştır.
- 6) Kısa bir s¼re deney motorunun ısınması beklenerek motorun y¼klemeye hazır hale gelmesi sağlanmıştır.

- 7) Ardından deney motoru istenilen çalışma devri değerine gelene kadar gaz kolu hareket ettirilerek sabitlenmiştir.
- 8) Su giriş vanası kısmi açılarak dinamometreye su akışı sağlanmış ve motorun uygun şekilde yüklenmesi sağlanmıştır. Yükleme yapılırken motor devir sayısındaki düşüş gaz kolunun uygun pozisyona getirilmesi ile ayarlanmış ve sabitlenmiştir.
- 9) Ölçümler, her bir çalışma devri ve her yük durumu için ve seçilen fumigasyon oranında üçer kez tekrarlanmıştır. Seçilen devir sayıları, yük durumları ve AF oranları için toplamda 234 tane deney yapılmıştır.
- 10) Deneyler boyunca, deney motoru kataloğundaki bakım talimatları gereğince yağ değişimi sistematik olarak yapılmıştır.

#### **2.2.1.1. Dinamometrenin Kalibrasyonu**

Deneylerin güvenilirliği için dinamometre kalibrasyonu son derece önemlidir. Dinamometre, her deney öncesinde kalibre edilmiş ve sıfırlanmıştır. Kalibrasyon için, üretici firmanın talimatlarına uygun olarak, sırasıyla aşağıdaki işlemler uygulanmaktadır:

- 1) *SPAN* kontrol anahtarı saat ibreleri yönünde maksimum konuma çevrilir,
- 2) Tutuklukları önlemek için motor sarsılır,
- 3) *ZERO* kontrol anahtarı moment göstergesinde sıfır (0) okunacak şekilde ayarlanır,
- 4) Motor yeniden sarsılarak sıfırlamanın doğru olup olmadığı kontrol edilir,
- 5) Kalibrasyon koluna 3,5 kg'lık bir kütle asılır,
- 6) Moment göstergesi sabit bir değer gösterene kadar motor sarsılır,
- 7) *SPAN* kontrol anahtarı göstergedan 8,6 Nm okunacak şekilde ayarlanır,
- 8) Kalibrasyon kütlesi kaldırılır,
- 9) 2 ve 8 işlemleri, sıfırlamanın ve okumanın doğruluğuna emin olununcaya kadar tekrarlanır.



### 2.2.1.2. Deney Motorunun Çalıştırılması ve Durdurulması

Sunulan çalışmada; tarımsal kullanım amaçlı üretilen yeni bir dizel motoru deney sistemine monte edilmiştir. Bilindiği gibi, yeni bir motor için bir ilk alışma süreci söz konusudur. Bu ilk alışma sürecinde, üretici firma tarafından yüksek yüklemelerin yapılmaması tavsiye edilmektedir. Hem bu süreçte hem de asıl deneyler yapılırken; önce motor düşük hızlarda 5 dakika çalıştırılarak ısıtılmış ve ardından yavaş yavaş yükleme yapılmıştır. 20 saatlik alışma sürecinden sonra motor sıcaklığını tamamen yitirmeden, eski motor yağı tamamen boşaltılarak yeni motor yağı ile değiştirilmiştir.

Sunulan çalışmanın deneyleri sırasında motorun çalıştırılmasında sırası ile aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

- 1) Motor çalıştırılırken, öncelikle yakıt tankında ve yakıt hortumlarında bulunan açma-kapama anahtarları açık hale getirilmiştir.
- 2) Sabitlenebilen ayarlı gaz kolu kapalı durumdan kısmi açık duruma getirilmiştir.
- 3) Çalıştırma ipi direnç hissedene kadar çekilerek mevcut boşluk alınmıştır. Ardından, silindir kapağı yanında bulunan basınç azaltma (dekompresyon) kolu basınçsız duruma getirilerek, çalıştırma ipi kuvvetli ve ani bir şekilde çekilerek motor çalıştırılmaktadır. Bu arada basınç azaltma kolu otomatik olarak kapalı konuma gelecektir.
- 4) Soğuk havalarda motoru çalıştırmak zorlaşabilir. Bunun için silindir kapağı üzerinde bulunan kauçuk tıkaç çıkarılır ve çalıştırmadan önce az bir miktar (2 cc kadar) motor yağı damlatılır.

Deney sistemindeki motorun durdurulmasında ise aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

- 1) Motor durdurulurken, gaz kolu önce kapalıya yakın bir konuma alınarak, motorun düşük hızda 5 dakika kadar yüksüz halde çalışması beklenir ve gaz kolu kapalı konuma getirilerek motor durdurulur.
- 2) Yakıt deposu üzerindeki ve hortumlardaki anahtarlar kapalı konuma getirilir.
- 3) Emme ve eksoz supaplarının ikisi de kapalı durumdayken çalıştırma ipi direnç hissedilene kadar yavaşça çekilerek silindir içerisindeki basınç azaltılır. Bu şekilde silindirde oluşabilecek paslanmalar önlenmiş olur.
- 4) Motor gövdesi ve motor deney ünitesi yüzeylerinde kirlenmelerin olup olmadığı gözlenerek temizlenir. Böylece bir sonraki çalıştırma öncesinde yapılacak kontrolde, motorda olası bir arıza belirtisinin anlaşılması kolaylaşır.

### 2.2.2. Hesaplama Yöntemleri

Sunulan tez çalışmasındaki deneylerde, seçilen devir sayısı ve yük değeri için aşağıdaki büyüklükler ölçülmüştür.

- 1)  $T_0$  [K] ortam sıcaklığı,  $P_0$  [MPa] ortam basıncı ve  $T_y$  [K] yağ termometre sıcaklığı
- 2)  $\Delta V$  [cm<sup>3</sup>] dizel yakıtının  $\Delta t$  [s] harcanma süresi,
- 3)  $\Delta t$  [s] süresince harcanan amonyak sulu çözeltisinin  $\Delta v_a$  [cm<sup>3</sup>] hacmi,
- 4) Eğik manometredeki sıvının  $\Delta h$  [mm] sapması,
- 5) Dizel yakıtının ve amonyak sulu çözeltisinin yoğunlukları ( $\rho_d$ ,  $\rho_a$ ),
- 6) Eksoz emisyonları (CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>).

Bu çalışmada, yukarıda ölçülen değerler yardımıyla hesaplanan motor karakteristikleri; efektif güç, ortalama efektif basınç, efektif verim, özgül yakıt tüketimi ve hava fazlalık katsayısıdır. Bunlardan efektif güç ve ortalama efektif basıncın, deney yönteminden dolayı dış ortam şartlarına bağlı olduğu görülmektedir. Aşağıdaki paragraflarda deneysel verilerden yararlanarak yapılan hesaplamaların ana hatları verilmiştir. Söz konusu hesap yönteminin ayrıntıları Durgun'da (1993) bulunabilir.

#### 2.2.2.1. Efektif Güç

Deneyler sırasında motorun devir sayısı ve döndürme momenti uygun şekilde ayarlanmaktadır. Böylece ilgili değerler kullanılarak  $N_e$  (kW) efektif güç;

$$N_{e,1} [\text{kW}] = \frac{M_d \cdot \omega}{1000} \quad (3)$$

şeklinde belirlenmiştir. Burada  $\omega$  açısal hızdır ve aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır.

$$\omega [1/\text{s}] = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (4)$$

Deneyin yapıldığı  $P_0$  ve  $T_0$  dış ortam koşulları ve havanın nemi motor performansını etkileyebilir. Farklı koşullarda yapılan motor deney sonuçlarının, birbiri ile sağlıklı bir

şekilde karşılaştırılabilmesi için, standart koşullara dönüştürülmeleri ve nem açısından düzeltilmeleri gerekir. Yaş ve kuru termometre sıcaklıklarına göre, Durgun (1993) tarafından verilen düzeltme eğrisi Şekil 12'den,  $X_{nem}$  nem düzeltme katsayısı okunmuştur. Standart atmosfer koşulları 20 [°C] ve 1,013 10<sup>5</sup> [Pa] alınır ve deney koşullarındaki sıcaklık  $T_0$  ve basınç  $P_0$  ise deney sonunda belirlenen  $N_{e,1}$  efektif gücü dizel motorları için verilen,

$$N_e[\text{kW}] = N_{e,1} \cdot X_{nem} \cdot \frac{0.1013}{p_0} \cdot \frac{T_0}{293} \quad (5)$$

bağıntısı kullanılarak standart koşullara dönüştürülebilir.

#### 2.2.2.2. Ortalama Efektif Basınç

$$N_e = \frac{P_{me} \cdot V_h \cdot Z \cdot n}{k \cdot 60} \quad (6)$$

bağıntısı kullanılarak belirlenebilir. (6) bağıntısında  $V_h= 0.211$  lt strok hacmini,  $Z=1$  silindir sayısını ve  $k=2$  strok sayısı ile ilgili katsayıyı göstermektedir. Ortalama efektif basınç, (6) bağıntısının düzenlenmesiyle aşağıdaki biçimde yazılabilir.

$$P_{me} [\text{MPa}] = 568,7204 \frac{N_e}{n} \quad (7)$$

#### 2.2.2.3. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT) ve Efektif Verim

Deney düzeneğinde bulunan deney tüpünden  $\Delta V=50$  ml yakıtın  $\Delta t$  [s] harcanma süresi ölçülerek yakıt tüketimi belirlenmektedir. Yani sunulan çalışmada 50 ml dizel yakıtının harcanma süresi ölçülmüştür. Buna göre saatlik toplam yakıt tüketimi;

$$B[\text{kg/h}] = \frac{\Delta V \cdot \rho_d \cdot 3600}{\Delta t \cdot 10^6} , \text{ saf dizel yakıtı} \quad (8a)$$

bağıntısından bulunabilir. Amonyak fumigasyonu durumunda ise toplam yakıt tüketimi aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$B[\text{kg/h}] = \frac{(50 \cdot \rho_d + V_a \rho_a) \cdot 3600}{\Delta t \cdot 10^6}, \text{ amonyak fumigasyonu} \quad (8b)$$

Burada  $V_a$ ,  $\Delta t$  [s] süresince harcanan amonyak çözeltisinin hacmi,  $\rho_d$  dizel yakıtının yoğunluğu,  $\rho_a$  ise amonyak sulu çözeltisinin yoğunluğudur. Toplam yakıt tüketimi belirlendikten sonra; motorun ÖYT ve efektif verimi ise;

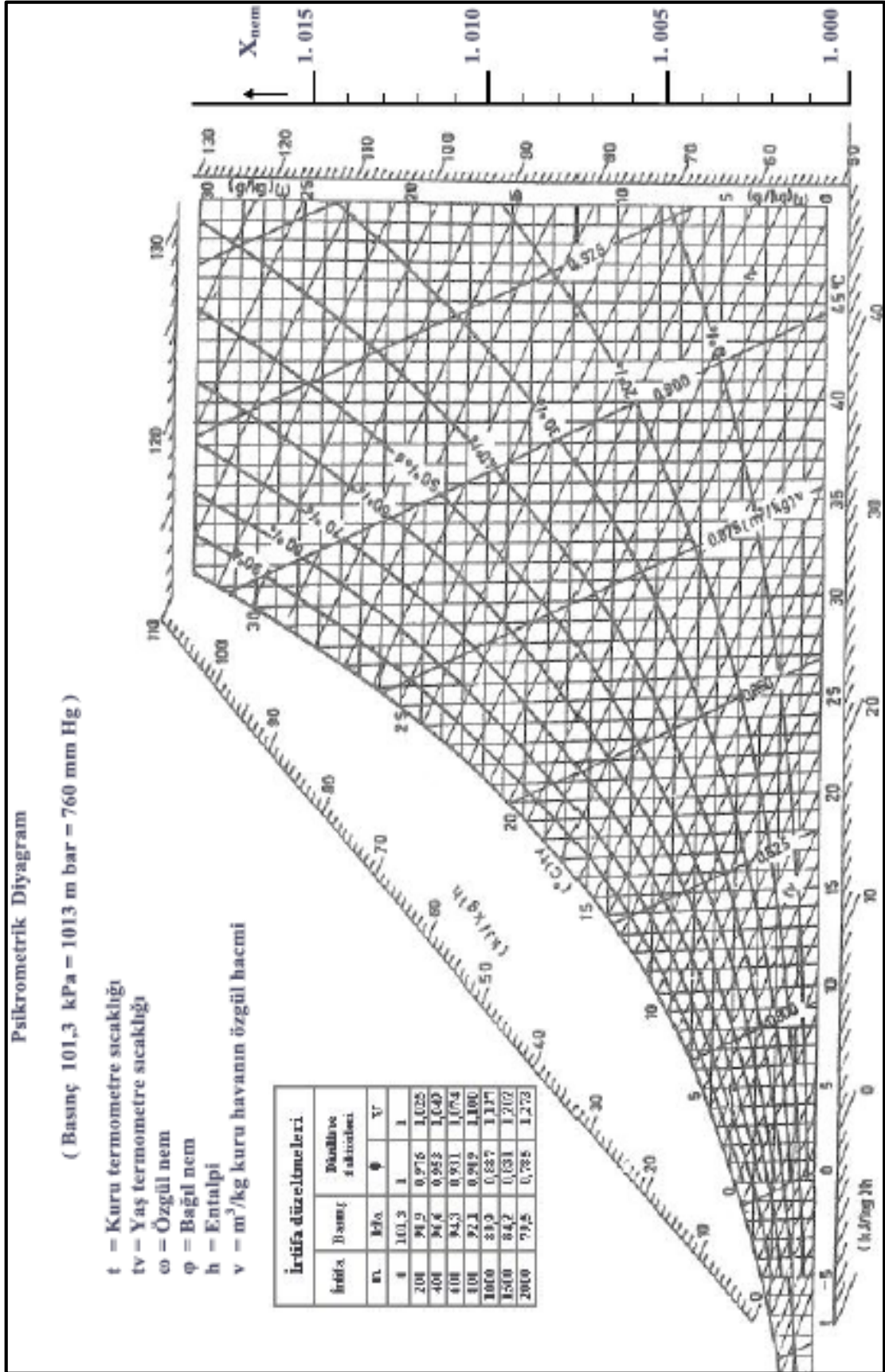
$$b_e[\text{kg/kWh}] = \frac{B}{N_e} \quad (9)$$

$$\eta_e = \frac{3600}{H_u \cdot b_e} \quad (10)$$

bağıntılarından belirlenebilir. Burada yakıtın alt ısı değeri çok iyi bilinen;

$$H_u[\text{kJ/kg}] = [33,91 \cdot c' + 125,6 \cdot h' - 10,89 \cdot (o_y' - s') - 2,512 \cdot (9h' - w')] \cdot 10^{-3} \quad (11)$$

Mendeleyev formülünden hesaplanmıştır (Durgun, 1993). Isıl değer hesabında ve diğer yanma hesaplarında gerekli olan; yakıtın elemansel bileşimi ile ilgili  $c'$ ,  $h'$ ,  $o_y'$ ,  $s'$  ve  $w'$  değerleri yakıtın kapalı (kimyasal) formülünden yararlanılarak belirlenmiştir. Söz konusu büyüklüklerin sayısal değerleri Tablo 1'de sunulmuştur.



Şekil 12. Motor deneylerinde  $X_{nem}$  nem düzeltme katsayısı (Durgun, 1993).

#### 2.2.2.4. Hava Fazlalık Katsayısı

Hava fazlalık katsayısı, 1 kg yakıtı tam yakmak için gerekli olan gerçek hava kütlesinin, 1 kg yakıtı yakmak için gerekli olan teorik hava kütlesine oranı olarak tanımlanır. Eğik manometredeki yükseklik değişimi  $\Delta h$  (mmSS) olarak okunduktan sonra, motorun emdiği havanın debisi ( $\dot{m}_h$ );

$$\dot{m}_h = C_d \cdot A_0 \cdot (2 \cdot \Delta h \cdot g \cdot \rho_h)^{1/2} \quad (12)$$

bağıntısından bulunabilir. Burada;  $\dot{m}_h$  [kg/s] emilen havanın debisi,  $A_0$  ( $\pi d^2/4$ ) [m<sup>2</sup>] orifis alanı,  $C_d$  orifis katsayısı,  $d$  [m] orifis kesiti,  $\Delta h$  [mmSS] eğik manometrede okunan değer,  $\rho_h$  [kg/m<sup>3</sup>] deney ortamındaki havanın yoğunluğu,  $g$  [m/s<sup>2</sup>] yer çekimi ivmesidir. Gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra (12) bağıntısı aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\dot{m}_h \text{ [kg/s]} = 2,0873 \cdot d^2 \cdot (\Delta h \cdot \rho_h)^{1/2} \quad (13)$$

$\rho_h$  hava yoğunluğu dış ortam koşullarına bağlıdır. Dış ortam deney anındaki  $T_0$  (K) ortam sıcaklığı ve  $P_0$  (mmHg) ortam basıncı olarak bir termometre ve bir barometreden ölçülüp,  $\rho_h$  hava yoğunluğu, gazların genel denkleminde kütlenin hacme oranı olarak bilinen;

$$\rho_h = \frac{M}{V_0} = \frac{P_0}{R \cdot T_0} \quad (14)$$

bağıntısından hesaplanmıştır. (13) bağıntısındaki  $d$  orifisin çapı 0,25 m ve eğik manometredeki sıvının yoğunluğu 0,784 g/cm<sup>3</sup> olarak alınmıştır. Manometreye doldurulan renkli ispirtonun yoğunluğu da ölçülmüş ve aynı değerde olduğu görülmüştür. (13) bağıntısından havanın kütleli debisi belirlendikten sonra toplam yakıt tüketimi de dikkate alınarak 1 kg yakıt için gerekli gerçek hava miktarı aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır.

$$h \left[ \frac{\text{kg hava}}{\text{kg yakıt}} \right] = \frac{\dot{m}_h \cdot 3600}{B} \quad (15)$$

Böylece hava fazlalık katsayısı;

$$\alpha = \frac{h}{h_{\min}} \quad (16)$$

bağıntısından belirlenmiştir. Burada,  $h_{\min}$  teorik hava miktarıdır ve sunulan çalışmada deneylerde kullanılan hafif dizel yakıtı ( $C_{12,3}H_{22,2}$ ) için  $h_{\min}=14,5172$  (kg.hava/kg.yakıt) şeklinde hesaplanmıştır.

#### 2.2.2.5. AF Durumunda Amonyak-Dizel Yakıtı Karışımlarının; Yoğunluğunun, Alt Isıl Değerinin ve Teorik Hava Miktarının Hesaplanması

AF yoğunluğunun, alt ısıl değerinin ve teorik hava miktarı değerlerinin hesaplamasıyla ilgili bağıntılar aşağıdaki gibidir. Burada sıvı yakıt karışımları ile ilgili, (Durgun, 1993; Şahin vd., 2015) tarafından uygulanmış olan yaklaşım kullanılmıştır.

$$\rho_{AF} \left[ \text{kg/m}^3 \right] = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot \rho_i)}{100} \quad (17)$$

$$H_{u,AF} \left[ \text{kJ/kg} \right] = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot \rho_i \cdot H_{u,i})}{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot \rho_i)} \quad (18)$$

$$h_{\min,AF} \left[ \text{kg hava / kg yakıt} \right] = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot \rho_i \cdot h_{\min,i})}{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot \rho_i)} \quad (19)$$

Buradaki  $x_i$  dizel yakıtının ve amonyağın karışımdaki hacimsel oranları,  $\rho_i$  dizel yakıtının ve amonyağın yoğunlukları,  $H_{ui}$  dizel yakıtının ve amonyağın alt ısıl değerleri,  $h_{min,i}$  ise dizel yakıtının ve amonyağın teorik hava miktarı değerleridir.  $\rho_i$ ,  $H_{ui}$  ve  $h_{min,i}$  ifadelerinin de birimleri sırasıyla [ $\text{kg/m}^3$ ], [ $\text{kJ/kg}$ ] ve [ $\text{kg hava/kg yakıt}$ ]’tır. Dizel yakıtının ve amonyağın özellikleri Tablo 1’de verilmektedir.

### 2.2.2.6. Motor Performans Karakteristikleri ve Eksoz Emisyonları Değerlerinin Değişim Oranlarının Hesaplanması

ÖYT ve diğer motor performans karakteristiklerinin değişim oranları ile eksoz emisyonlarının değişim oranları aşağıdaki yaklaşımda verildiği gibi benzer şekilde hesaplanmaktadır (Kızıltan, 1988; Şahin vd., 2015).

$$\frac{\Delta b_e}{b_e} 100[\%] = ((b_{e,AF} - b_{e,d}) / b_{e,d}) 100 \quad (20)$$

Buradaki  $b_{e,AF}$  ve  $b_{e,d}$  sırasıyla AF ve SDY ile yapılan deneyler sonucu hesaplanan özgül yakıt tüketimleridir.

### 2.2.2.7. Yakıt Maliyeti Analizi

Prof. Dr. Orhan Durgun (1988) tarafından geliştirilen pratik maliyet analizi bağıntısı kullanılarak AF durumu için maliyet analizi yapılmıştır ve SDY’ye göre karşılaştırmalar sunulmuştur. Söz konusu bağıntı;

$$\frac{\Delta F}{F_1} \cdot 100[\%] = \frac{F_2 - F_1}{F_1} \cdot 100 = \left[ \frac{x_1 + \sum_{i=1}^n x_i \cdot r_i}{x_1 + \sum_{i=1}^n x_i \cdot s_i} \left( 1 + \frac{\Delta b_e}{b_e} \right) - 1 \right] \cdot 100 \quad (21)$$

şeklindedir. Burada;



$$r_1 = F_1/F_1, \quad r_1 = F_1/F_1 = 1, \quad r_2 = F_2/F_1 = 2,83/3,64 = 0,777$$

$$S_1 = \rho_i/\rho_d, \quad S_1 = \rho_d/\rho_d = 1, \quad S_2 = \rho_a/\rho_d = 0,890/0,817 = 1,089$$

Ayrıca buradaki  $F_1$  dizel yakıtının,  $F_2$  ise amonyağın fiyatıdır,  $\rho_d$  ve  $\rho_a$  sırasıyla dizel yakıtının ve amonyağın yoğunluklarıdır.  $\Delta b_e/b_e$  ise ÖYT'nin değişim oranıdır.  $(F_1, F_2)$ ,  $(\rho_d, \rho_a)$  ve  $b_e$  büyüklüklerinin birimleri sırasıyla [TL/L], [kg/m<sup>3</sup>] ve [kg/kWh] dir (Kızıltan, 1988; Durgun, 1988; Durgun, 1993; Şahin vd., 2015). Dizel yakıtının ve amonyağın başlıca özellikleri ise Tablo 1'de verilmektedir.

#### 2.2.2.8. Hata Analizi ve Belirsizlikler

Sunulan tez çalışmasının, emme kanalına amonyak püskürtülmesi (amonyak fumigasyonu) ve saf dizel yakıtı deneylerinde; tüm ölçümler 3'er kez yapılmış ve bu ölçümler kullanılarak hata analizi gerçekleştirilmiştir. Burada Kline ve McClintock'un (Holman, 2001) yöntemi uygulanarak hata analizi yapılmıştır. Ayrıntılarının Durgun'da (2013c) bulunabileceği hata analizinde, her bir değer 3'er kez ölçüldüğünden, deney sonuçlarına aşağıdaki gibi Student's-t dağılımı uygulanmıştır.

$$\Delta = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}} \quad (22)$$

Burada % 10 anlamlılık düzeyi olasılığı % 90'dır ve böylece t değeri ilgili tablodan  $v=2$  için  $t=2,920$  olarak okunabilir. Ayrıca n ölçüm sayısıdır ve dolayısı ile serbestlik derecesi  $v = n - 1$ 'dir. Sunulan çalışmada her ölçüm 3'er kez tekrarlandığı için  $n=3$  ve  $v=2$ 'dir.

Çeşitli terimlerdeki hatalar, iyi bilinen deneysel verilerin analizi yöntemi uygulanarak, belirlenmiştir. Kline ve McClintock'un yönteminin uygulanması ile yapılan hata analizi sonunda ÖYT ve efektif verimdeki belirsizlik aralığının % (0,297-1,565) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, % 90 doğruluk payı için Student's-t dağılımı göz önüne alındığında ÖYT ve efektif verimdeki belirsizlik aralığının % (2,196-8,975)

olduğu belirlenmiştir. Buradan temel büyüklüklerin ölçülmesindeki ve türetilmiş büyüklüklerdeki tahmin edilen hataların sonuçların belirsizliğini belirgin şekilde etkilemeyeceği söylenebilir.

### 2.3. Amonyak Kullanımının Malzeme zerindeki Etkileri

şekil (13 ve 14)'de fumigasyon uygulaması için kullanılan karbüratörün parçalarında ve AF oranını düzenlemesi için dizayn edilen ayar mekanizmasında amonyak sulu çözeltisinin temas yüzeylerinde doğurduğu etkiler gösterilmiştir.



şekil 13. Karbüratör i yüzeyinde oluşan kalıntı ve tahribat

Amonyak sulu çözeltisinin karbüratör i yüzeyinde oluşturduğu tortu kalıntılarının yanında malzeme yapısını da deforme etmiş olduğu ilgili şekillerden gözükmektedir.



Şekil 14. Karbüratör parçalarında oluşan tahribatlar



### **3. BULGULAR VE TARTIŞMA**

#### **3.1. Giriş**

Çalışmanın bu bölümünde deneysel sonuçlar sunulmuş ve irdelenmiştir. Deneysel sonuçlar; (2200, 2600 ve 3000) d/d devir sayılarında (2, 4, 6, 8 ve 10) Nm sabit yük oranlarında ~ % (2, 4, 6, 8 ve 10) gibi farklı AF oranlarında yapılmıştır. Burada ilk olarak ÖYT, efektif verim ve hava fazlalık katsayısı gibi motorun başlıca karakteristiklerinin efektif güce göre değişimleri sunulmuştur. Daha sonra; ÖYT, efektif verim ve hava fazlalık katsayısı gibi başlıca motor karakteristiklerinin ve eksoz emisyonlarının AF oranına göre değişimleri ve ilgili büyüklüklerin SDY'ye göre artma ve azalma oranlarını gösteren değişim oranı eğrileri verilmiştir. Bu bölümde ayrıca seçilen her üç devir için yakıt maliyet analizi sonuçları da sunulmuştur.

#### **3.2. Farklı Devir Sayılarında Motor Karakteristiklerinin Efektif Güce Göre Değişimleri**

##### **3.2.1. 2200 d/d Devir Sayısında Motor Karakteristiklerinin Efektif Güce Göre Değişimleri**

2200 d/d devir sayısında farklı AF oranları için ÖYT, efektif verim ve hava fazlalık katsayılarının efektif güce göre değişimleri Şekil (15-17)'de gösterilmiştir. Burada (2, 4, 6 ve 8) Nm yük değerlerine ~(0,5-2) kW efektif güç değerleri karşılık gelmektedir. Şekil 15'te görülebileceği gibi ~(1-1,5) kW güç aralığında % 2 ve % 4 AF oranlarında ÖYT azalmıştır. ÖYT, seçilen diğer çalışma durumları ve AF oranlarında ise genel olarak artma eğilimi göstermiştir. Söz konusu şekilden de görülebileceği gibi AF oranı arttıkça ÖYT de artmıştır. 2200 d/d'da ÖYT'deki maksimum azalma; 1,38 kW güç için % 2,34 AF oranında % 1,74 düzeyinde belirlenmiştir. Literatürde Reiter (2009) ve "Reiter ve arkadaşları" (2011) tarafından yapılan çalışmalarda da ÖYT'nin AF oranı ile arttığı belirlenmiştir. Yalnız söz konusu çalışmada kullanılan amonyağın kimyasal formülünde (NH<sub>3</sub>) oksijen bulunmamaktadır.

Sunulan tez çalışmasında; amonyak, emilmekte olan havanın içerisine basit bir karbüratörle püskürtülmüştür. Dizel yakıtı, sıkıştırma işlemi sonunda amonyak hava karışımı içerisine püskürtülmüştür ve bu çalışmada dizel yakıtı miktarında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Dizel yakıtının tutuşma gecikmesi sonunda yandığı ve ardından da dizel yakıtının çevresindeki amonyak hava karışımının birden bire yandığı düşünülmektedir. Amonyagin anlık yanmasının daha sonra püskürtülen dizel yakıtı ile havanın daha homojen karışmasına yardım ettiği ve böylece yanma işlemini iyileştirdiği düşünülmektedir (Şahin. vd., 2009; Şahin, vd., 2015; Şahin ve Aksu, 2015). Sonuçta, yanmanın iyileşeceği ve ÖYT'nin azalacağı tahmin edilebilir. Fakat yüksek oranlarda amonyagin alt ısı değerinin daha etkili duruma geçtiği ve aynı gücü üretmek için daha fazla yakıtı ihtiyaç olduğu tahmin edilebilir. Sonuç olarak yüksek amonyak oranlarında ÖYT artmaktadır. Sunulan tez çalışmasında % 25 sulu amonyak çözeltisi (% 25 amonyak + % 75 su) kullanılmıştır. Burada kullanılan karışımın büyük oranını su oluşturduğu için suyun da ÖYT'yi etkilediği düşünülmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda, su kullanımı ile ÖYT'nin arttığı bilinmektedir (Udayakumar vd., 2003; Subramanian, 2011; Tuti, 2012).

Şekil 16'da farklı AF oranları için efektif verimin efektif güce göre değişimleri verilmiştir. İlgili şekilden görülebileceği gibi seçilen tüm güçlerde ve AF oranlarında efektif verim artmıştır. Efektif verim;

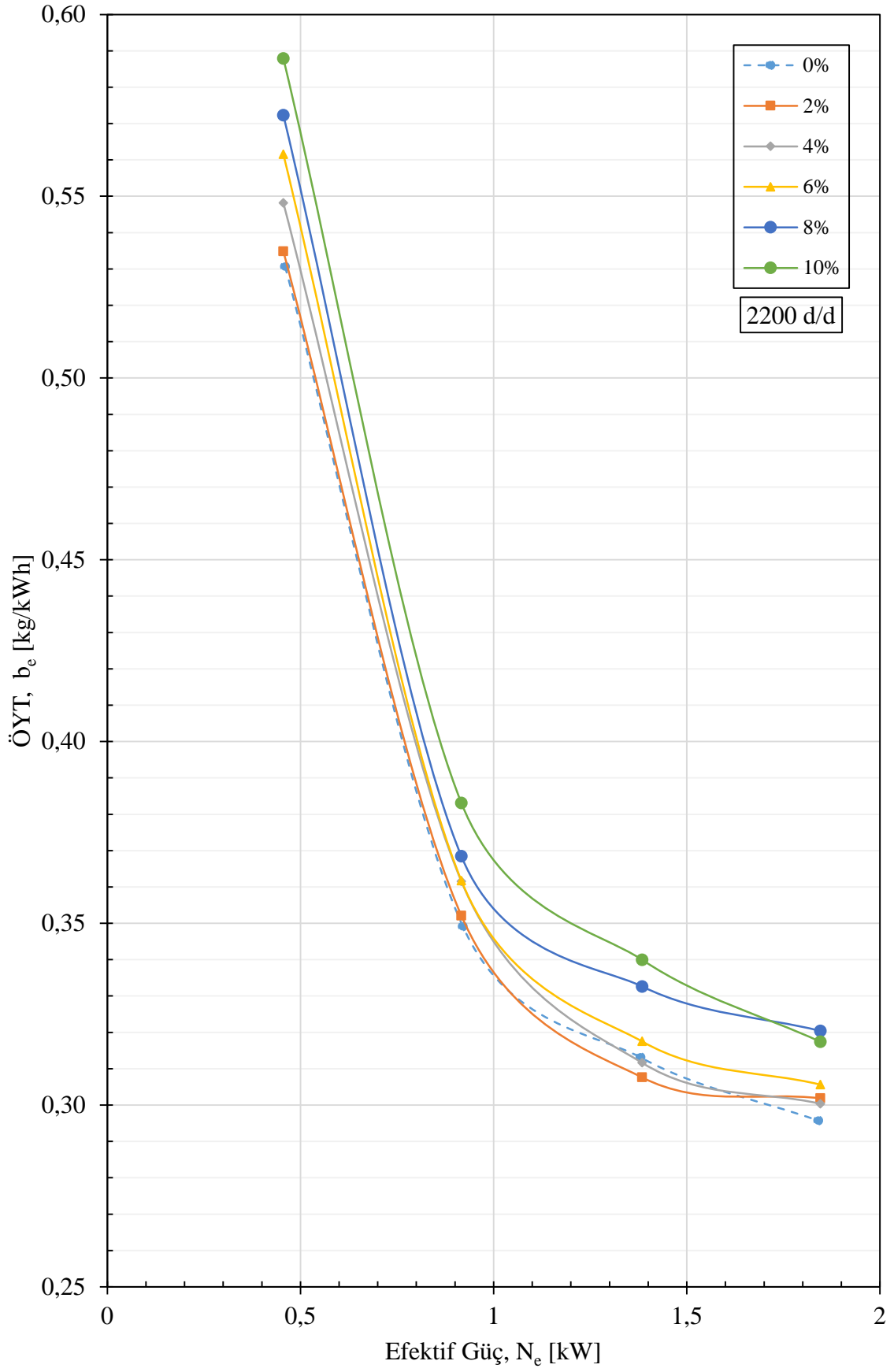
$$\eta_e = \frac{3600}{H_u \cdot b_e} \quad (23)$$

bağıntısından hesaplanmaktadır. Buradan da görülebileceği gibi; AF durumunda yakıtın alt ısı değeri ( $H_{u,amonyak} = 9839$  kJ/kg) azalacağından efektif verim artmaktadır. Söz konusu şekilden 1 kW'ın üzerindeki güçlerde efektif verimdeki artışların daha etkili olduğu görülmektedir. 2200 d/d'da efektif verimdeki maksimum artma; 1,38 kW güç için % 6,10 AF oranında % 5,24 düzeyinde belirlenmiştir.

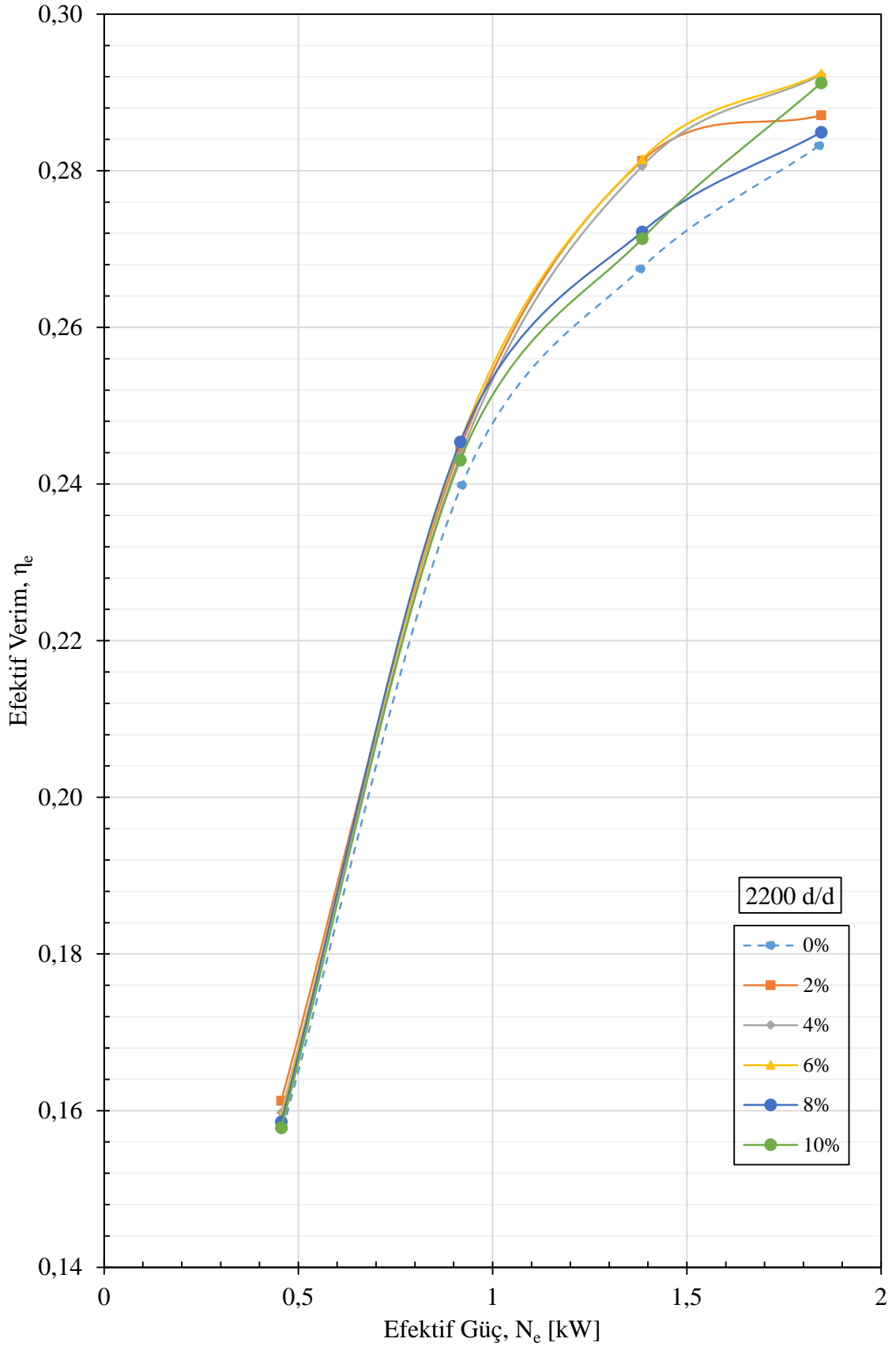
Şekil 17'de farklı AF oranlarına göre hava fazlalık katsayılarının efektif güce göre değişimleri verilmiştir. İlgili şekilden görülebileceği gibi hem SDY durumunda, hem de seçilen tüm AF oranlarında efektif güç (yük) arttıkça hava fazlalık katsayısı azalmıştır. Hem düşük hem de yüksek güç değerleri için AF durumlarındaki hava fazlalık katsayısı değerleri SDY değerlerinden daha yüksektir. Bununla birlikte yüksek güç değerleri için

hava fazlalık katsayısı değerlerindeki artma oranları daha yüksek çıkmıştır. Bu durum; amonyağın kimyasal formülünde oksijen bulunması nedeniyle, karışımdaki amonyak oranı arttıkça hava fazlalık katsayısı değerlerinin arttığı şeklinde düşünülebilir. Ayrıca emme manifolduna püskürtülen sulu amonyak çözeltisinin buharlaştığı ve söz konusu buharlaşma sonunda silindire daha fazla hava girdiği düşünülebilir. Yani AF ile volümetrik verimin attığı söylenebilir. Söz konusu devir sayında hava fazlalık katsayısındaki maksimum artma; 1,85 kW güç için % 4,03 AF oranında % 3,85 düzeyinde belirlenmiştir.



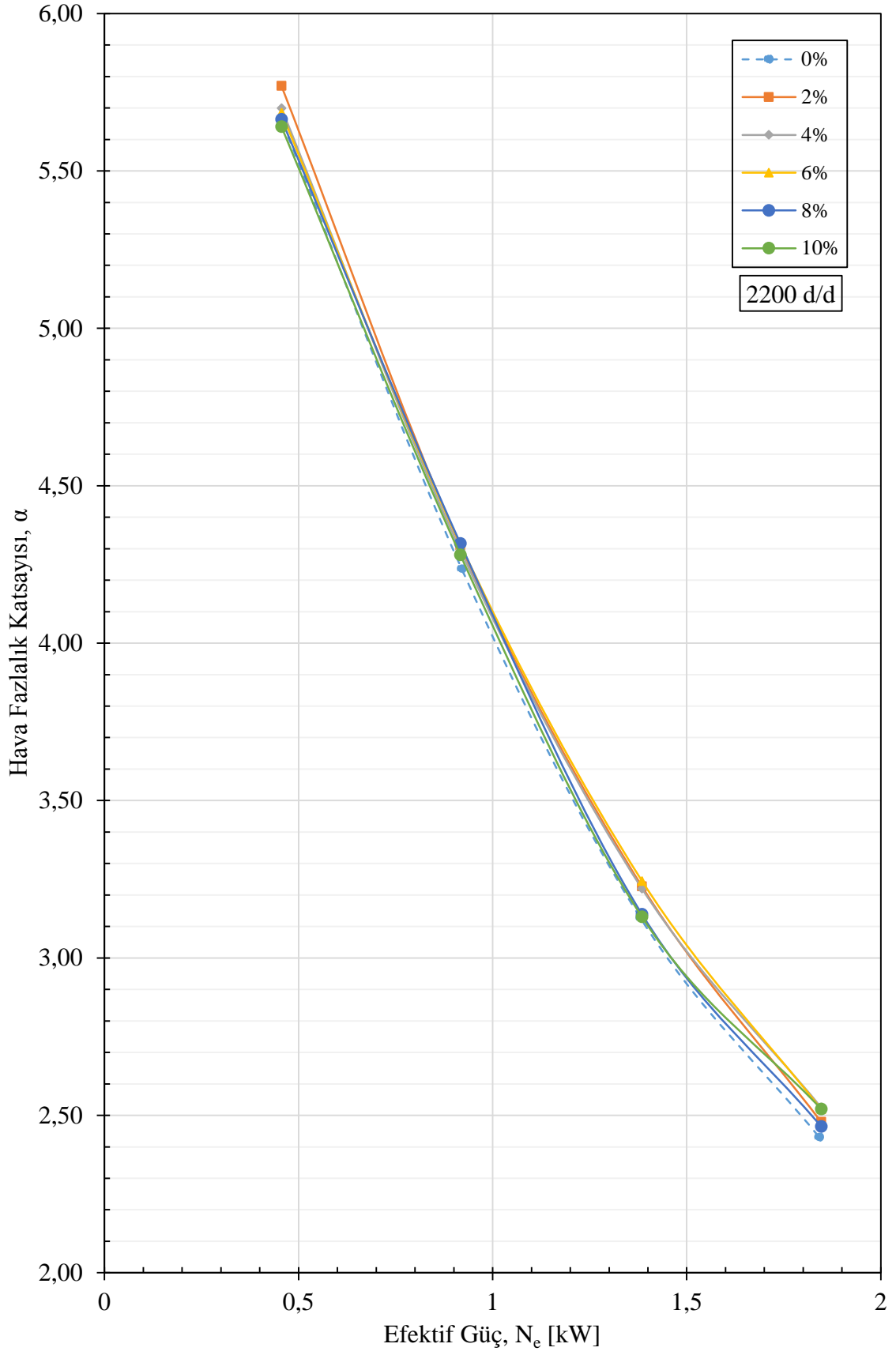


Şekil 15. 2200 d/d'da farklı AF oranları için ÖYT'nin efektif güce göre değişimleri



Şekil 16. 2200 d/d'da farklı AF oranları için efektif verimin efektif güce göre değişimleri





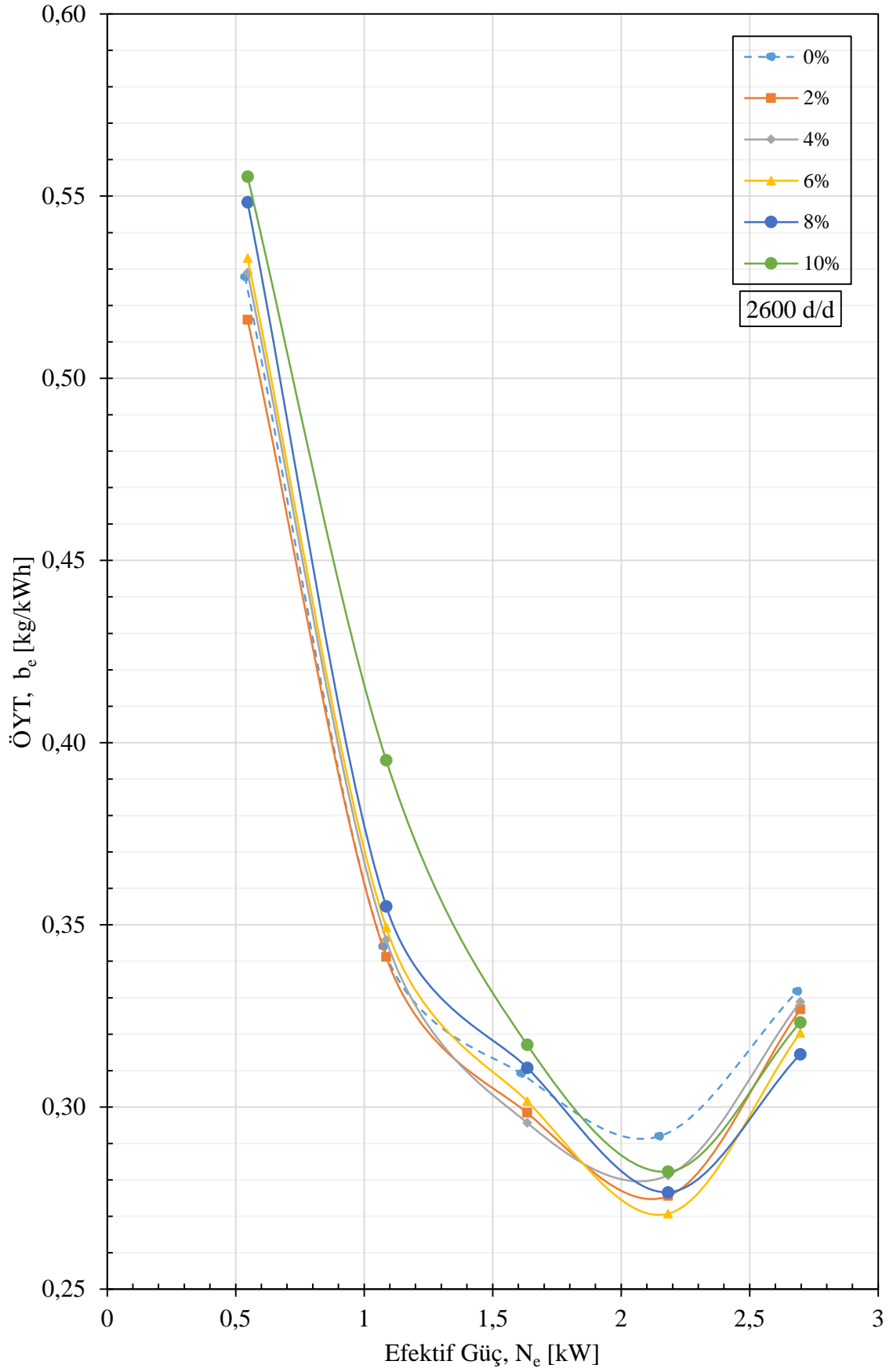
Şekil 17. 2200 d/d'da farklı AF oranları için hava fazlalık katsayısının efektif güce göre değişimleri

### 3.2.2. 2600 d/d Devir Sayısında Motor Karakteristiklerinin Efektif Güce Göre Değişimleri

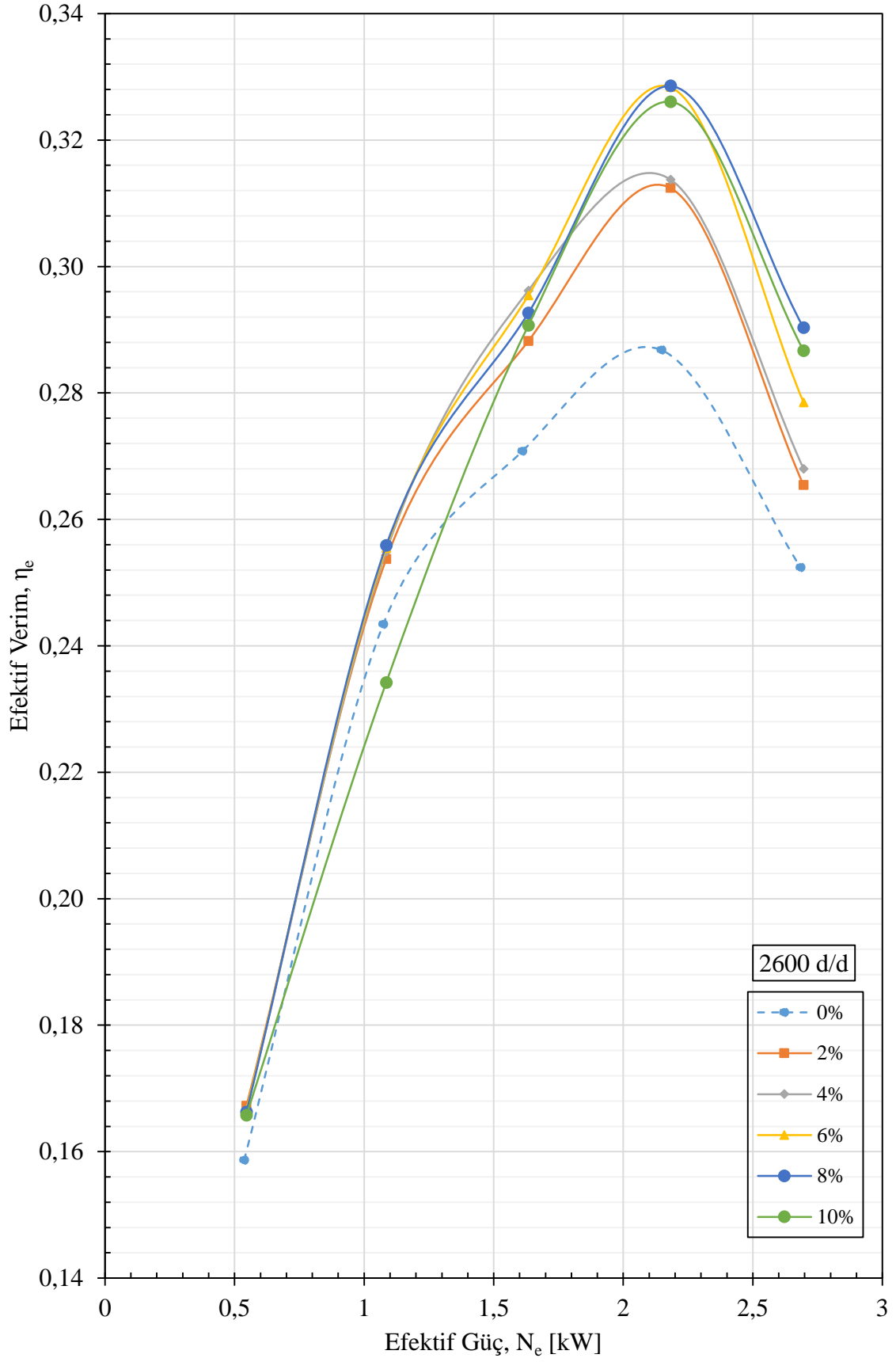
2600 d/d'daki motor karakteristiklerinin sonuçları Şekil (18-20)'de sunulmuştur. İlgili şekillerden görülebileceği gibi burada efektif güç  $\sim (0,5-3)$  kW aralığındadır. 2600 d/d'da motor diğer devirlere göre daha kararlı çalışmaktadır. Söz konusu devirde amonyak fumigasyonu daha yararlı sonuçlar vermiştir.  $\sim(1,5-3)$  kW arasındaki yüksek güç değerlerinde ÖYT seçilen tüm AF oranlarında genellikle azalmıştır. Buna karşın % 10 AF oranında düşük güçlerde ÖYT önemli düzeyde artmıştır. 2600 d/d'da ÖYT'deki maksimum azalma; 2,18 kW güç için % 5,48 AF oranında % 7,28 düzeyinde belirlenmiştir.

Şekil 19'da farklı AF oranları için efektif verimin efektif güce göre değişimleri sunulmuştur. İlgili şekilden görülebileceği gibi seçilen tüm AF oranlarında efektif verim artmıştır. Efektif güçteki maksimum artma; 2,7 kW güç için % 8,51 AF oranında % 15,02 düzeyinde belirlenmiştir.

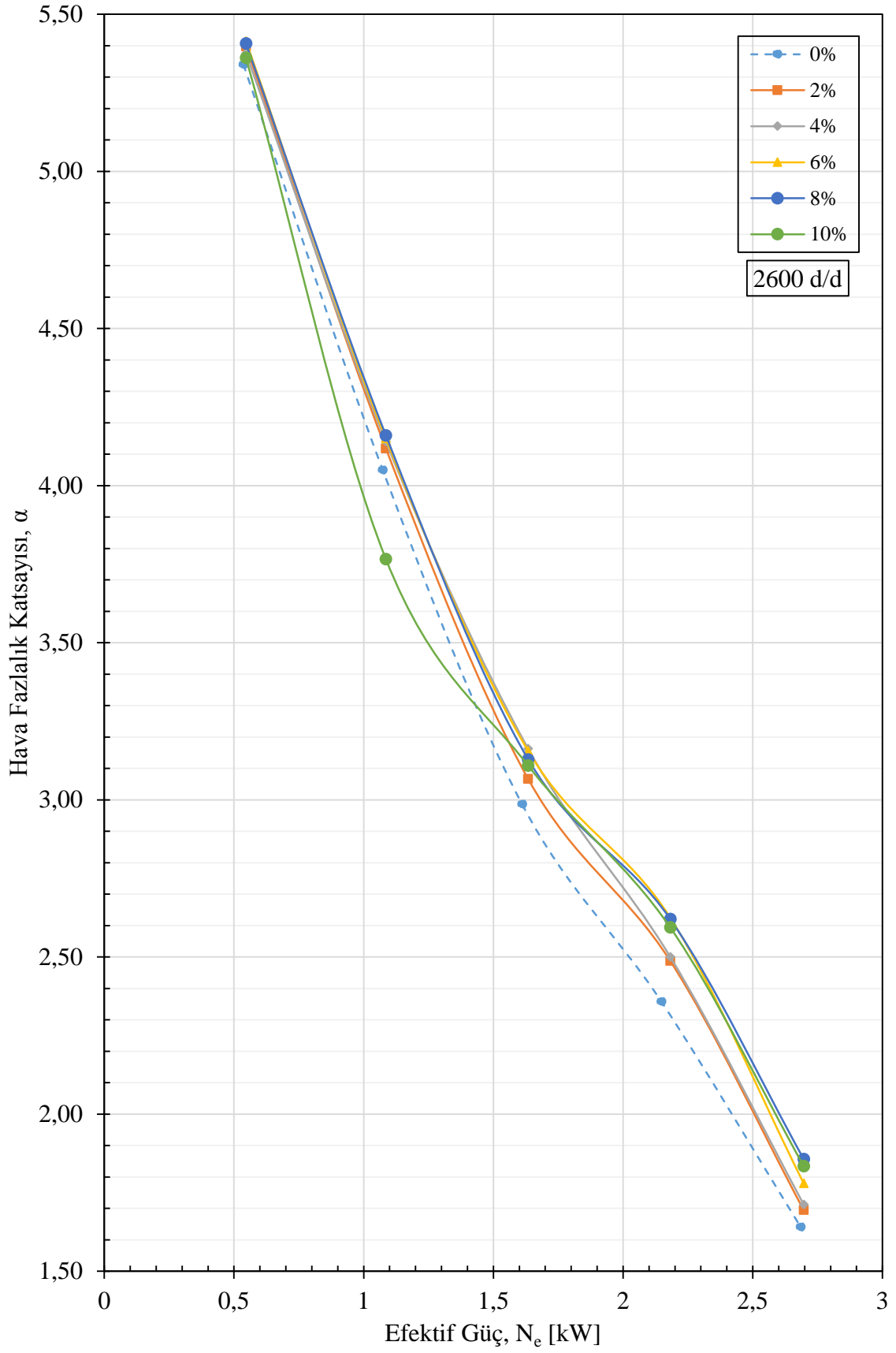
Şekil 20'de ise farklı AF oranları için hava fazlalık katsayılarının efektif güce göre değişimleri verilmiştir. İlgili şekilden görülebileceği gibi hem SDY için hem de seçilen tüm AF oranları için efektif güç arttıkça hava fazlalık katsayısı azalmıştır. Seçilen güç değerleri için AF durumlarındaki hava fazlalık katsayısı değerleri SDY değerlerinden daha yüksektir. Bununla birlikte düşük güç değerleri için % 10 AF durumunda hava fazlalık katsayısı değerleri SDY'nin hava fazlalık katsayısı değerlerinden daha düşük çıkmıştır. Ayrıca ilgili şekilden görülebileceği gibi yüksek güçlerde hava fazlalık katsayısı değerlerindeki artma oranları düşük güçlere göre daha yüksek çıkmıştır. Söz konusu devir sayısında hava fazlalık katsayısındaki maksimum artma; 2,70 kW güç için % 8,51 AF oranında % 13,17 düzeyinde olmuştur.



Şekil 18. 2600 d/d'da farklı AF oranları için ÖYT'nin efektif güce göre değişimleri



Şekil 19. 2600 d/d'da farklı AF oranları için efektif verimin efektif güce göre değişimleri



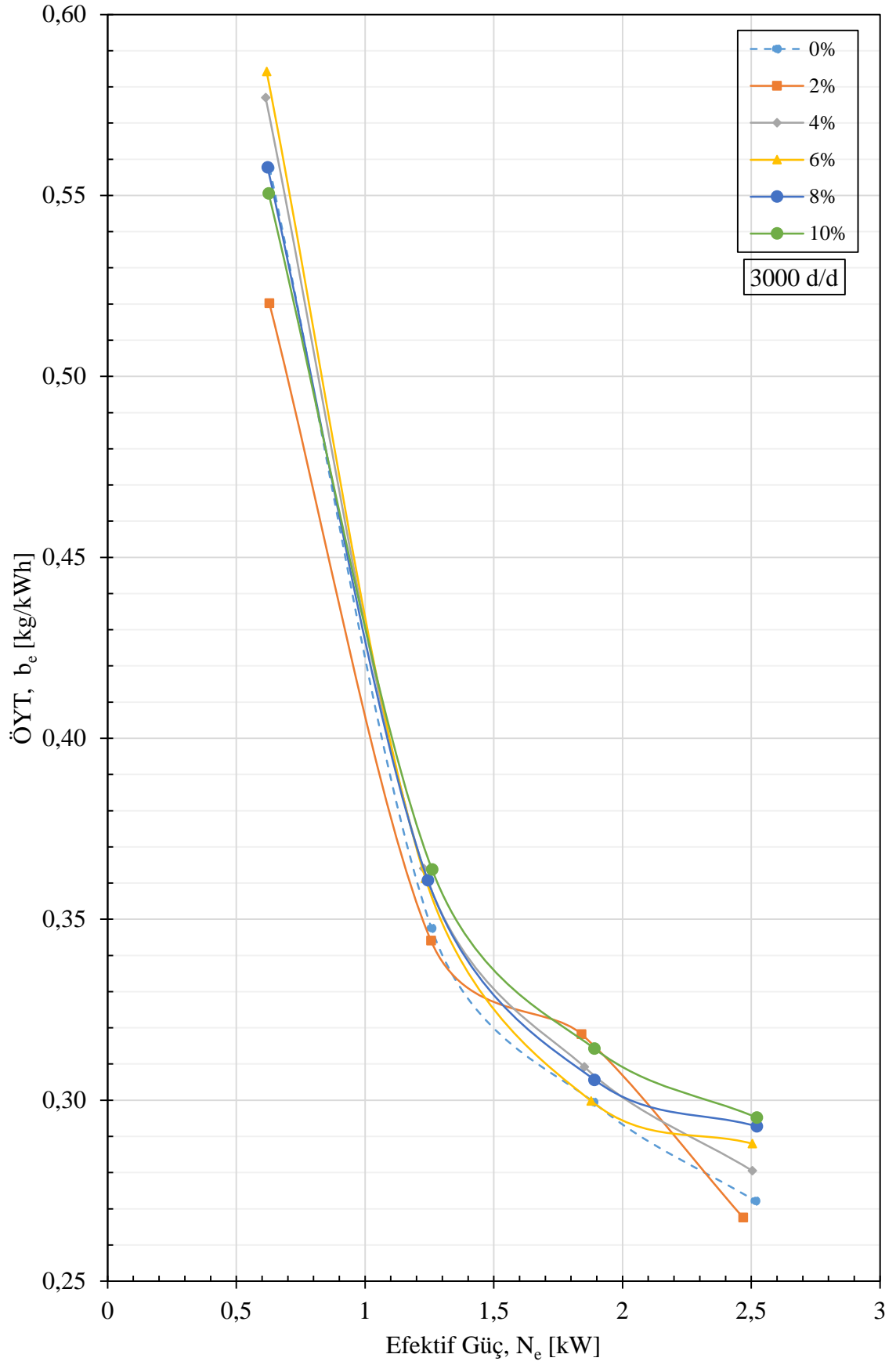
Şekil 20. 2600 d/d'da farklı AF oranları için hava fazlalık katsayısının efektif güce göre değişimleri

### 3.2.3. 3000 d/d Devir Sayısında Motor Karakteristiklerinin Efektif Güce Göre Değişimleri

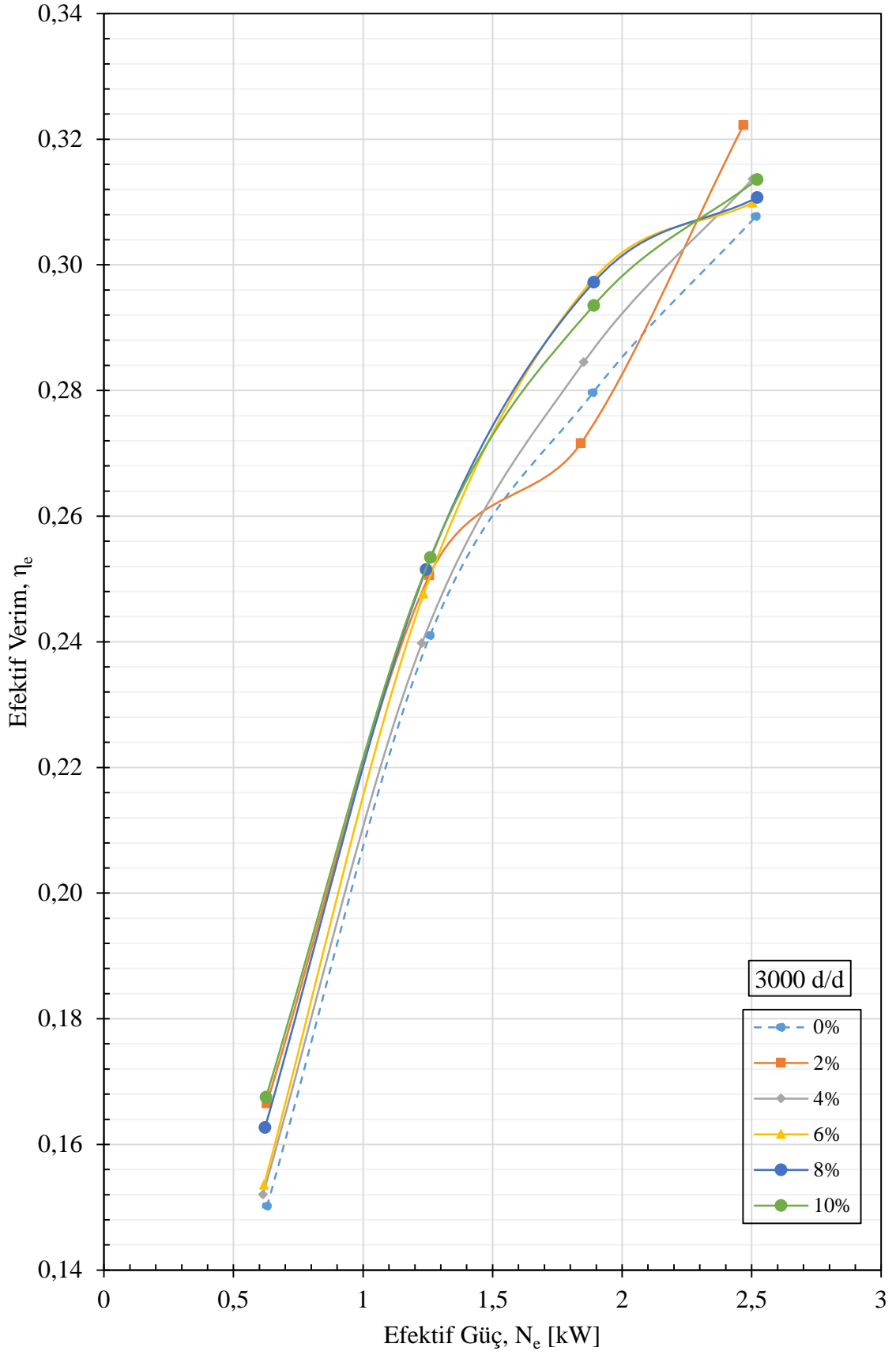
3000 d/d'daki motor karakteristiklerinin sonuçları Şekil (21-23)'de sunulmuştur. İlgili şekillerden görülebileceği gibi burada efektif güç  $\sim (0,5-2,5)$  kW aralığındadır. Şekil 21'den, hem SDY hem de AF uygulamaları için efektif güç (yük) artışıyla ÖYT'nin, 1,5 kW güç değerlerine kadar daha dik, bu noktadan sonra biraz daha düşük eğimle azaldığı görülmektedir. Söz konusu devirde  $\sim (0,5-1,3)$  kW arasındaki güç değerlerinde  $\sim \% 2$  AF oranında ÖYT azalmıştır. Buna karşın diğer bütün AF oranlarında ÖYT artma eğilimindedir. 3000 d/d'da ÖYT'deki maksimum azalma oranı; 0,63 kW güç için  $\% 2,47$  AF oranında  $\% 6,70$  düzeyinde belirlenmiştir.

Şekil 22'den SDY için ve bütün AF oranları için efektif gücün (yükün) artmasıyla efektif verimin genel olarak arttığı görülmektedir. Düşük güçlerde efektif verimdeki artma oranları, yüksek yüklerdeki artma oranlarından daha yüksek çıkmıştır. Burada efektif verimdeki en olumsuz sonucun; 1,84 kW güç için  $\% 2,22$  AF oranında  $\% 2,89$  düzeyinde azalma olduğu, en iyi iyileşmenin ise 0,63 kW güç için  $\% 9,67$  AF oranında  $\% 11,54$  düzeyinde artma olduğu görülmektedir.

Şekil 23'te farklı AF oranları için hava fazlalık katsayılarının efektif güce göre değişimleri verilmiştir. Buna göre, efektif güç (yük) artışıyla SDY için ve tüm AF oranları için hava fazlalık katsayısı azalmıştır. Şekil 23'te, seçilen tüm yük değerleri için, AF ile hava fazlalık katsayısı değerlerinin genel olarak arttığı görülebilir. Yalnızca yüksek güç değerlerinde  $\% 2$  AF oranında hava fazlalık katsayısı değerleri SDY'nin hava fazlalık katsayısı değerlerinden daha düşük çıkmıştır. Ayrıca yaklaşık 2,5 kW güç değeri için;  $\% (6, 8$  ve  $10)$  AF oranlarındaki hava fazlalık katsayısı değerleri de SDY'nin değerinden düşük olduğu belirlenmiştir. Söz konusu devir sayısında hava fazlalık katsayısındaki maksimum artma; 0,63 kW güç için  $\% 9,67$  AF oranında  $\% 9,58$  düzeyinde belirlenmiştir.

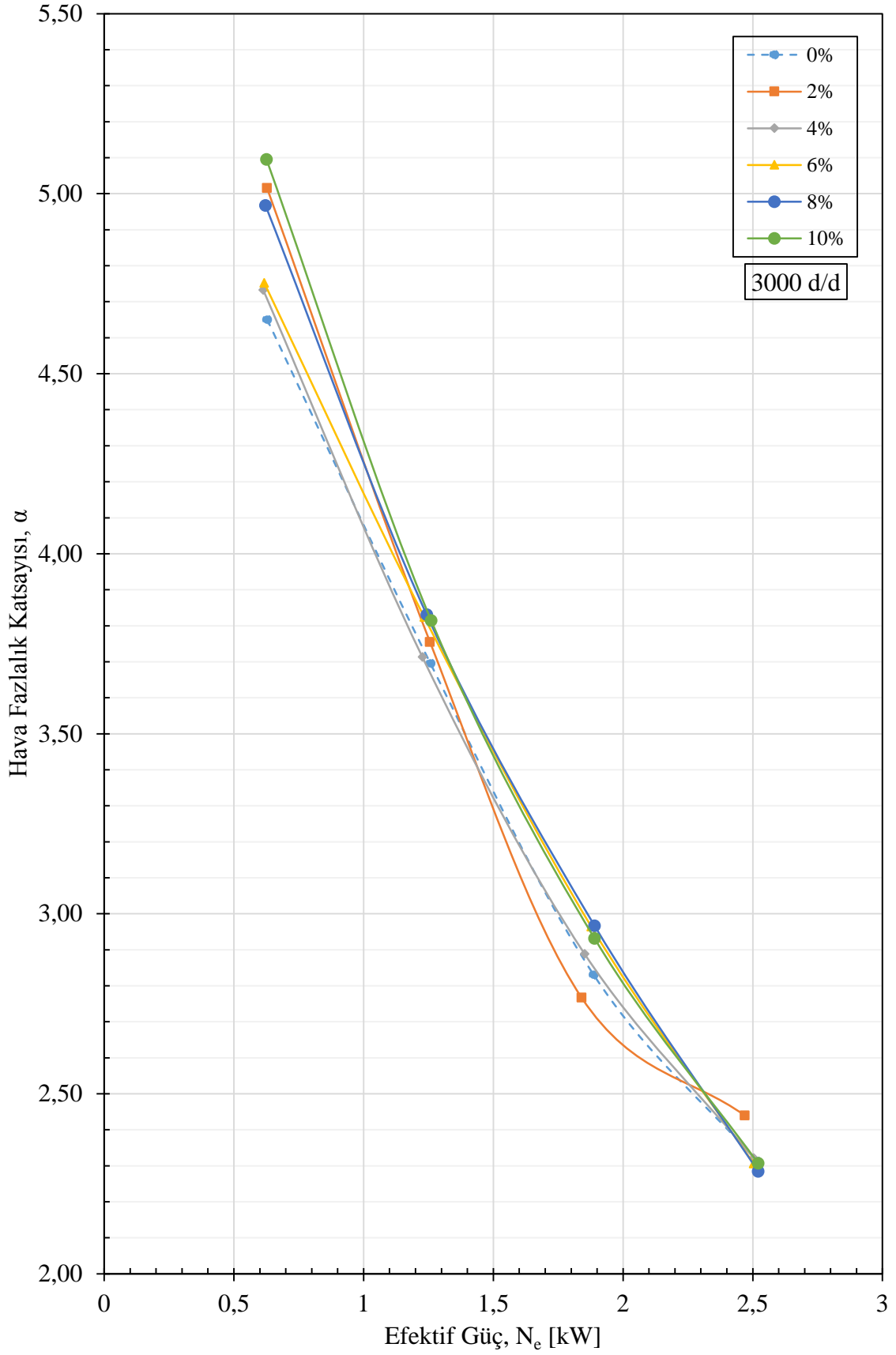


Şekil 21. 3000 d/d'da farklı AF oranları için ÖYT'nin efektif güce göre değişimleri



Şekil 22. 3000 d/d'da farklı AF oranları için efektif verimin efektif güce göre değişimleri





Şekil 23. 3000 d/d'da farklı AF oranları için hava fazlalık katsayısının efektif güce göre değişimleri

### 3.3. Farklı Devir Sayılarında Amonyak Fumigasyonunun Motor Karakteristikleri Üzerindeki Etkileri ve Değişim Oranları

#### 3.3.1. 2200 d/d Devir Sayısında Amonyak Fumigasyonunun Motor Karakteristikleri Üzerindeki Etkileri ve Değişim Oranları

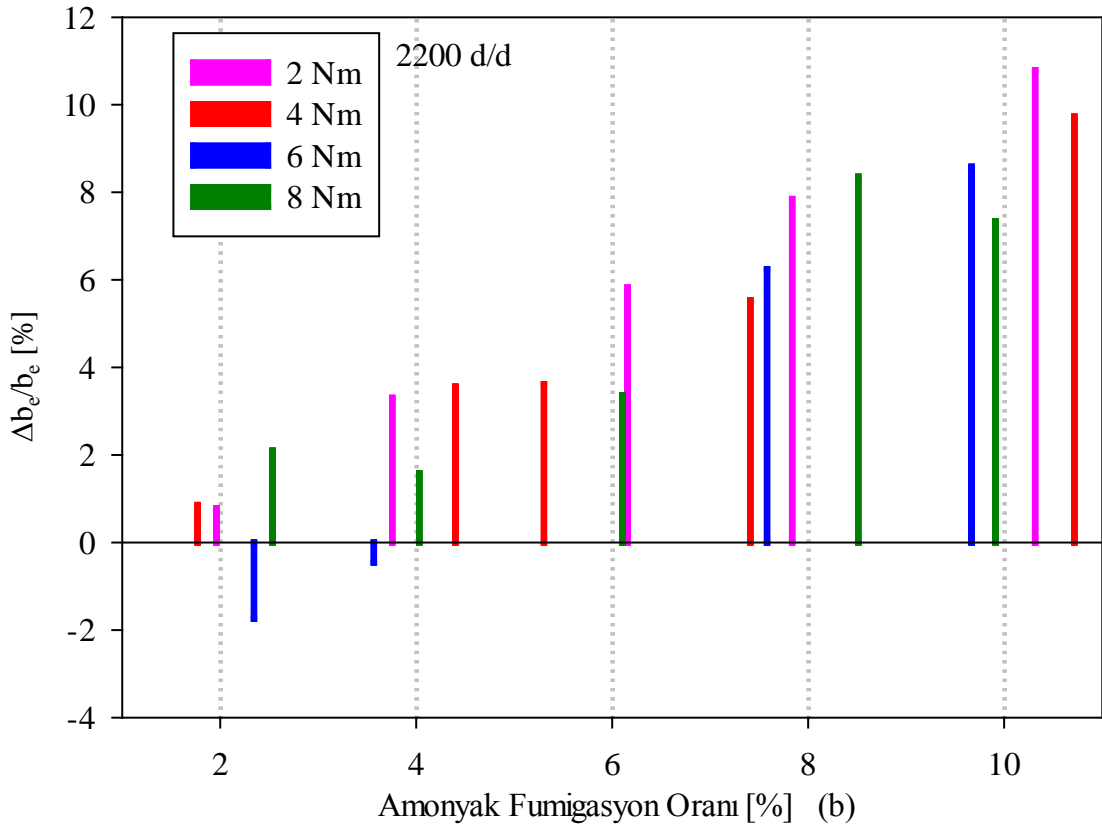
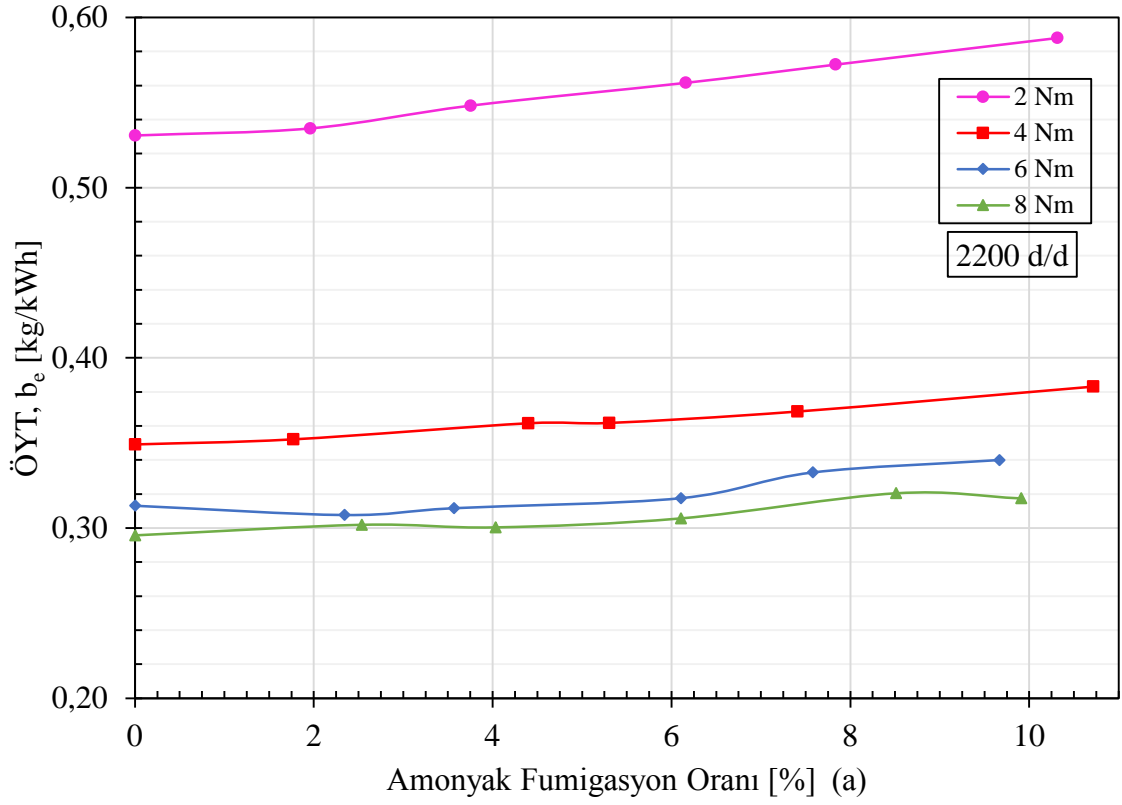
Bu bölümde amonyak çözeltilerinin etkisinin daha iyi görülebilmesi için sonuçlar AF oranlarına göre sunulmuştur. Şekil (24-26)'da ÖYT'nin, efektif verimin ve hava fazlalık katsayısının farklı yükleme durumları için AF oranlarına göre değişimleri verilmiştir. Ayrıca bu bölümde ÖYT, efektif verim ve hava fazlalık katsayısı eğrilerinin hemen ardından söz konusu deneysel değerlerin SDY'ye göre artma ve azalma oranlarını gösteren bar şekilleri de sunulmuştur.

Şekil 24'te görüldüğü gibi, sadece 6 Nm yük değerinde, ~ % 2 ve ~ % 4 gibi düşük AF oranlarında ÖYT azalmıştır. Söz konusu yükte AF oranı arttıkça ÖYT artmaya başlamıştır. 6 Nm yük dışındaki diğer yüklerde, seçilen tüm AF oranlarında ÖYT artmıştır. Fakat karışımdaki AF oranı arttıkça ÖYT'deki artma oranları daha yüksek çıkmıştır. 2200 d/d devir sayısında ÖYT'deki maksimum artma; % 10,31 AF oranı ve 2 Nm yük değeri için % 10,79 düzeyinde olduğu görülmüştür. Literatürde amonyak ile ilgili yapılan çalışmalarda da ÖYT'nin arttığı belirtilmektedir (Reiter ve Kong, 2011; Gill vd., 2012). Amonyagin kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksek olduğundan emilen hava üzerine amonyak eklenmesi ile tutuşma gecikmesinin arttığı tahmin edilebilir. Düşük yük değerlerinde de tutuşma gecikmesinin yüksek yüklere göre daha uzun olacağı ve bu durumda yanma genişlemeye doğru kayacağından ÖYT'nin yüksek yüklere oranla daha fazla artacağı düşünülebilir. Ayrıca AF durumunda yanma sıcaklıklarının azalacağı tahmin edilebilir. Bu durumda yüksek AF oranlarında sıcaklığın azalması ile yanma odası içerisinde eksik yanma bölgelerinin artacağı ve yanma kalitesinin bozulması ile ÖYT'nin artacağı söylenebilir. Yanmanın bozulması ile eksoz emisyonlarının, özellikle HC'lerin arttığı da Şekil 37'de görülebilir. Bunların yanında, çok iyi bilindiği gibi amonyağın alt ısı değeri dizel yakıtının alt ısı değerinden düşüktür. Bu nedenle de amonyak oranı arttıkça ÖYT'nin artacağı düşünülebilir.

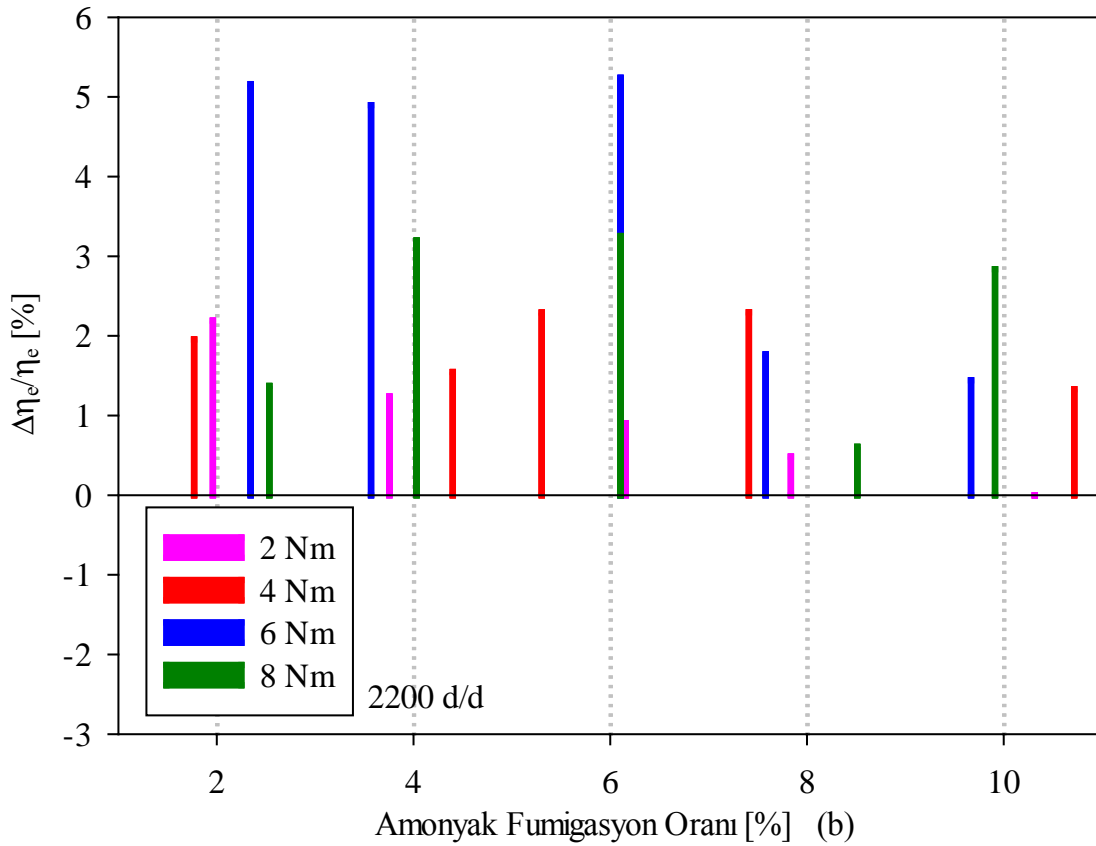
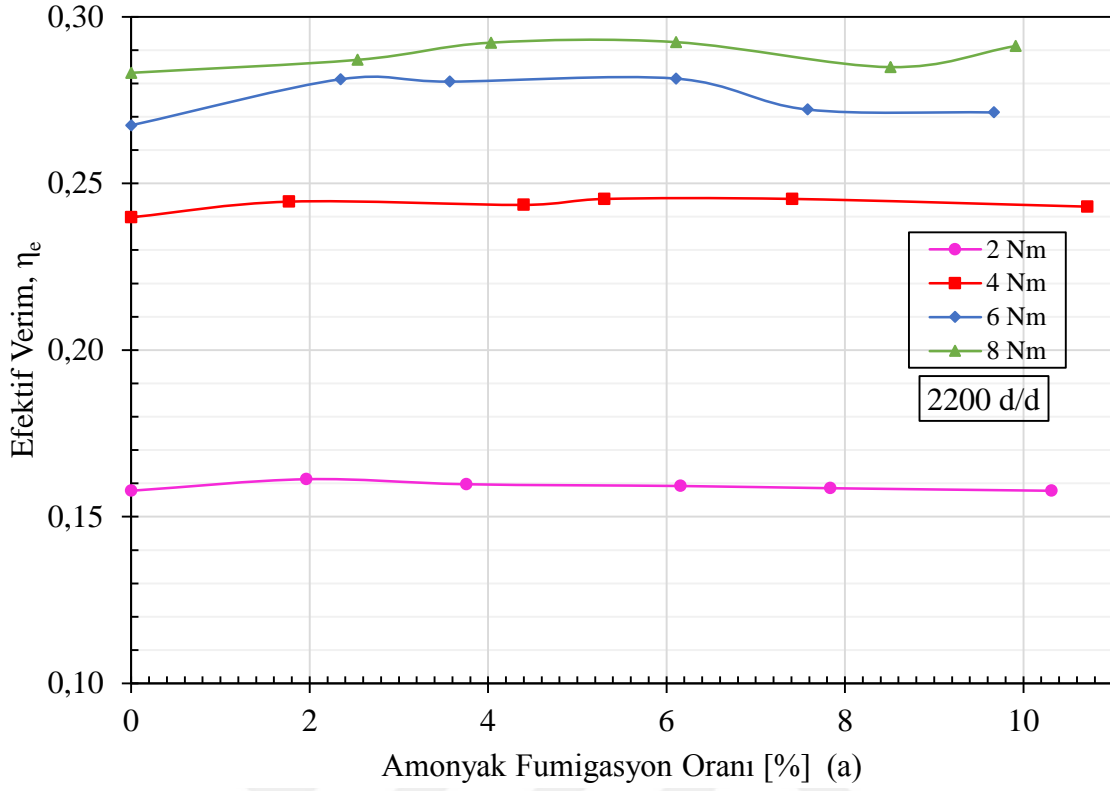
Şekil 25 (a ve b)'de sırasıyla efektif verimin AF oranlarına göre değişimi ve efektif verimde SDY'ye göre meydana gelen artma ve azalma oranlarını gösteren bar şekli sunulmuştur. İlgili şekillerden görülebileceği seçilen tüm yük ve AF oranları için efektif verim artmıştır. Yüksek yük ve düşük AF oranları durumundaki artma değerleri daha etkili

olmuştur. Efektif verimdeki maksimum artma; % 6,10 AF oranı ve 6 Nm yük değeri için % 5,24 olarak belirlenmiştir.

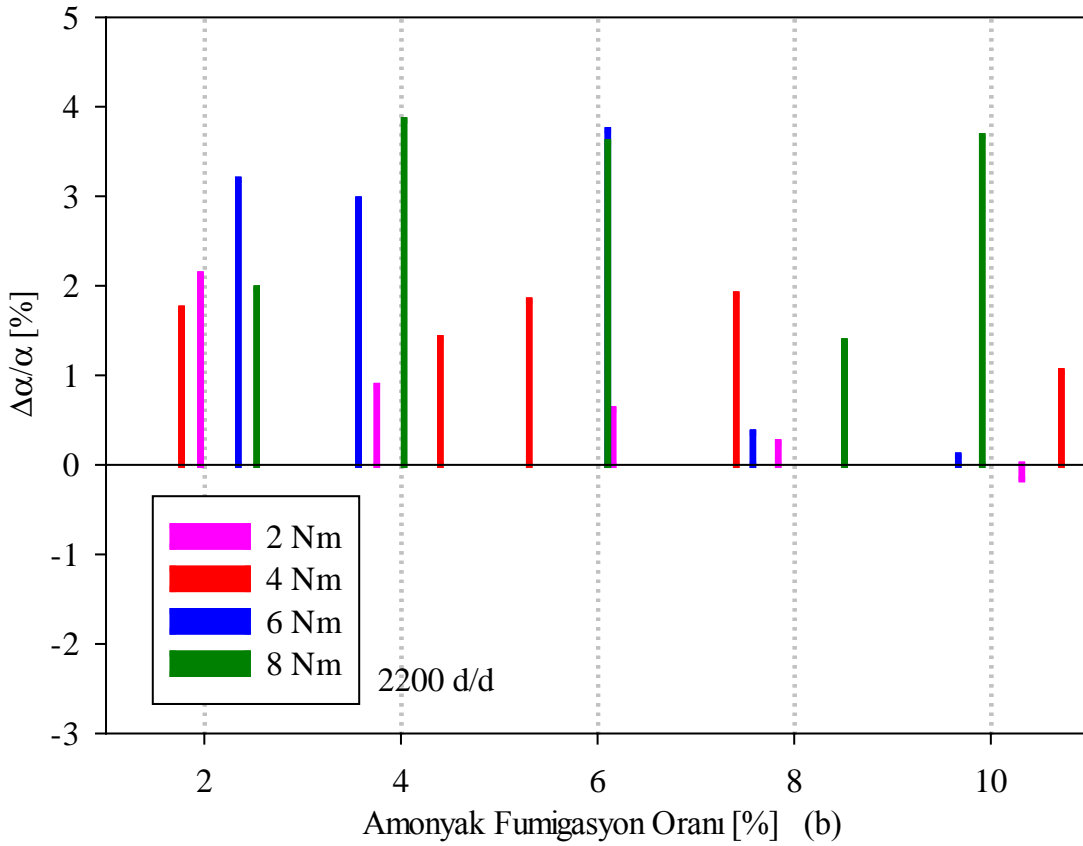
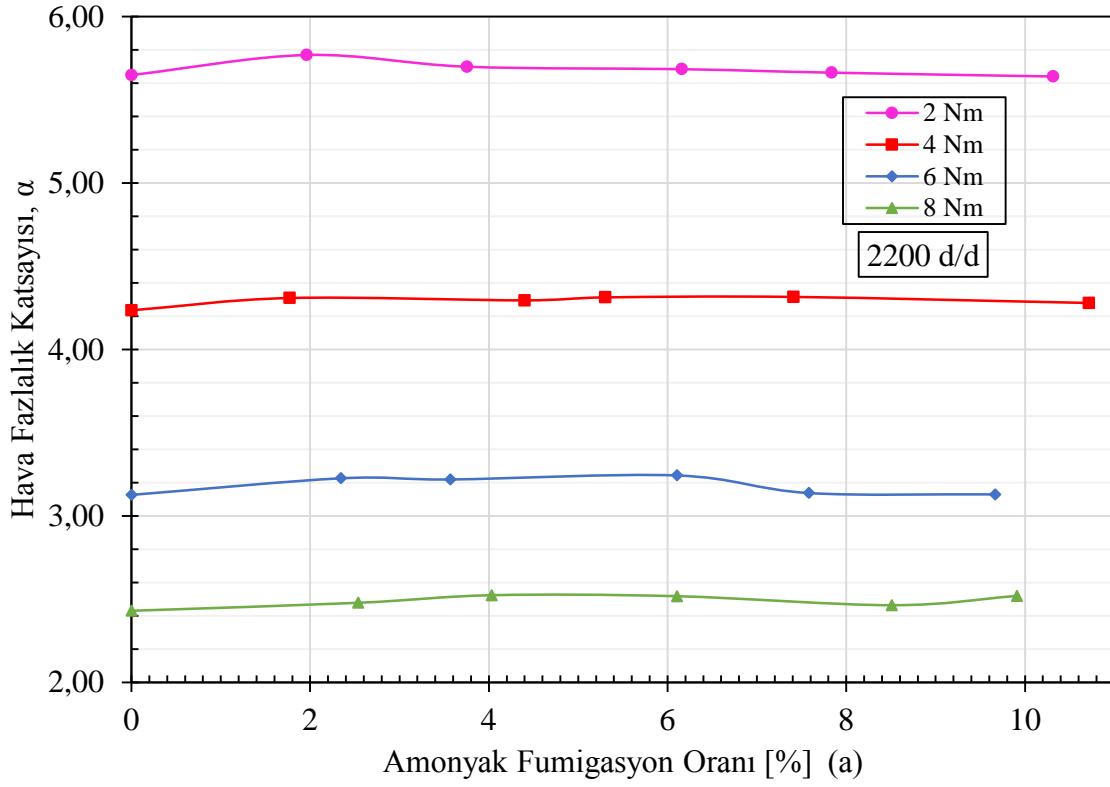
Şekil 26'da yukarıda seçilen yükler için hava fazlalık katsayılarının AF oranlarına göre değişimleri ve SDY'ye göre değişim oranları verilmiştir. Söz konusu şekillerden de görülebileceği gibi seçilen tüm yük ve AF oranlarında hava fazlalık katsayısı artmıştır. % (2, 4 ve 6) AF oranlarında hava fazlalık katsayısındaki artma oranları diğer AF oranlarına göre daha yüksek çıkmıştır. Hava fazlalık katsayısındaki maksimum artma; % 4,03 AF oranı ve 8 Nm yük değeri için % 3,85 düzeyinde belirlenmiştir. 2200 d/d'de ÖYT, efektif verim ve hava fazlalık katsayısı eğrileri birlikte incelendiğinde yaklaşık % 6 AF oranına kadar söz konusu motor karakteristiklerinin az da olsa iyileştiği, fakat yaklaşık % 6 AF oranından sonra ise motor karakteristiklerinin kötüleştiği görülebilir.



Şekil 24. 2200 d/d'da; (a) ÖYT'nin AF oranlarına göre değişimleri, (b) ÖYT değişiminin AF oranlarına göre değişimleri



Şekil 25. 2200 d/d'da; (a) Etkif verimin AF oranlarına göre değişimleri, (b) Etkif verim değişiminin AF oranlarına göre değişimleri

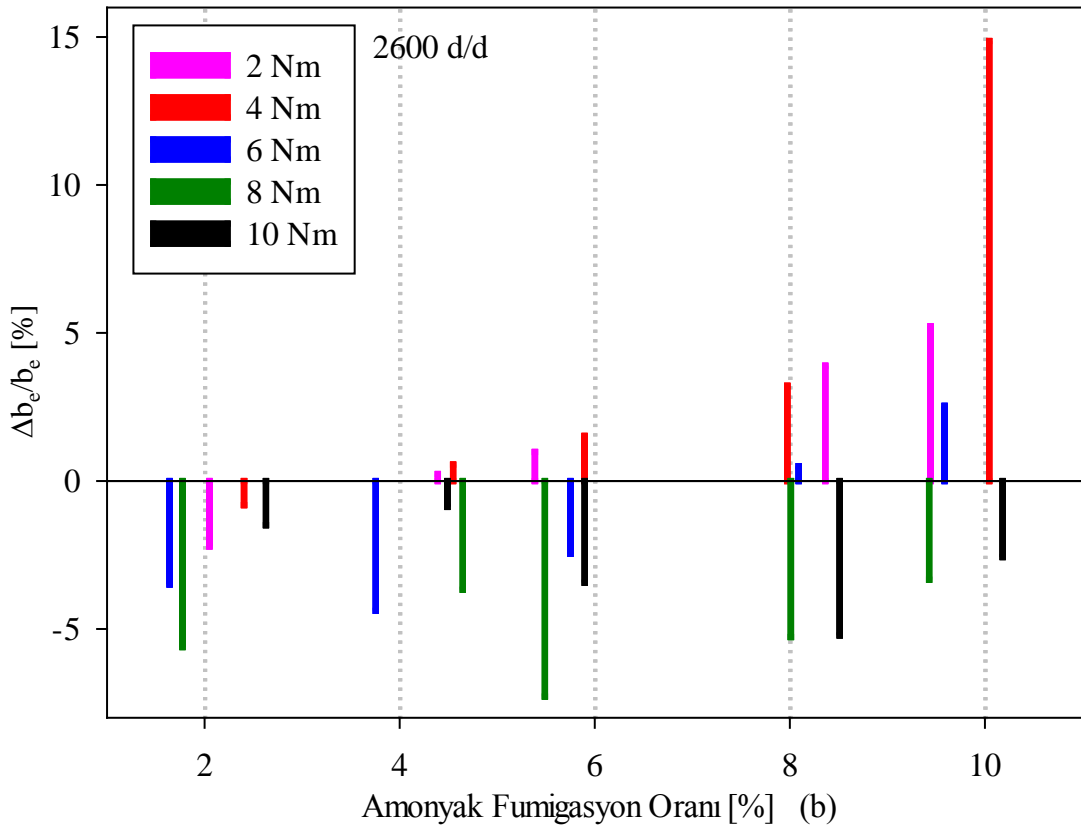
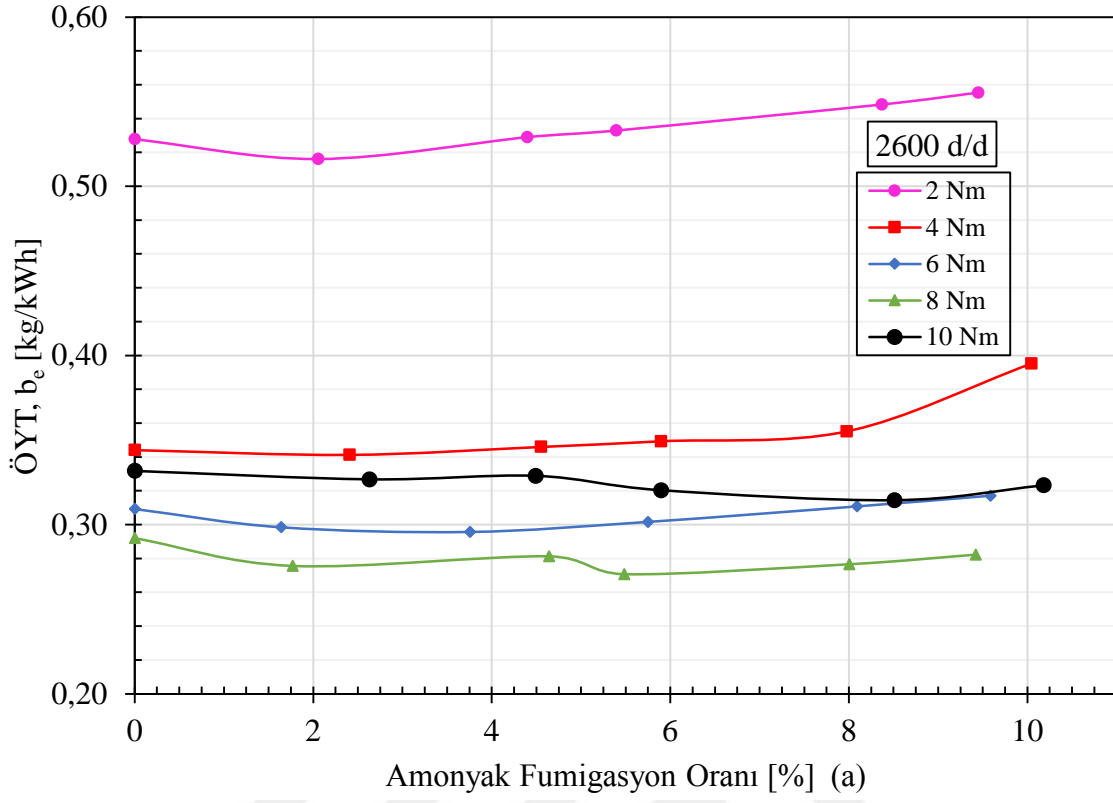


Şekil 26. 2200 d/d'da; (a) Hava fazlalık katsayısının AF oranlarına göre değişimleri, (b) Hava fazlalık katsayısı değişiminin AF oranlarına göre değişimleri

### 3.3.2. 2600 d/d Devir Sayısında Amonyak Fumigasyonunun Motor Karakteristikleri Üzerindeki Etkileri ve Değişim Oranları

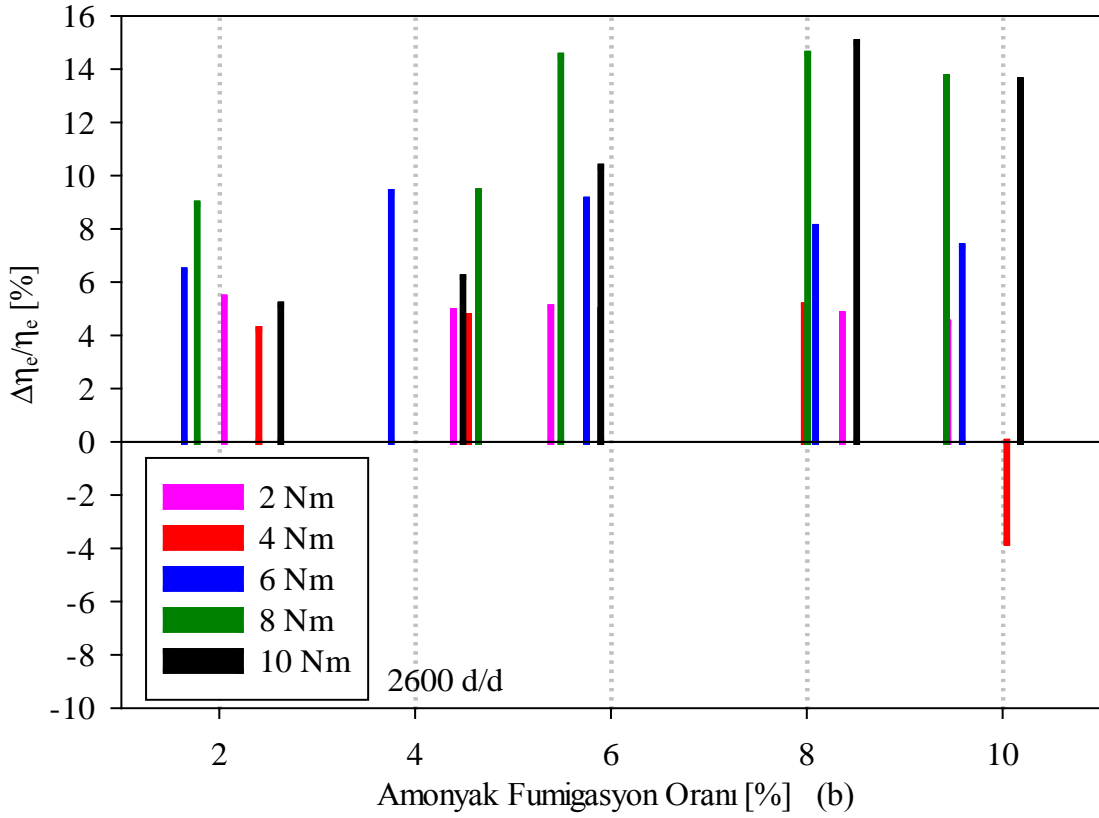
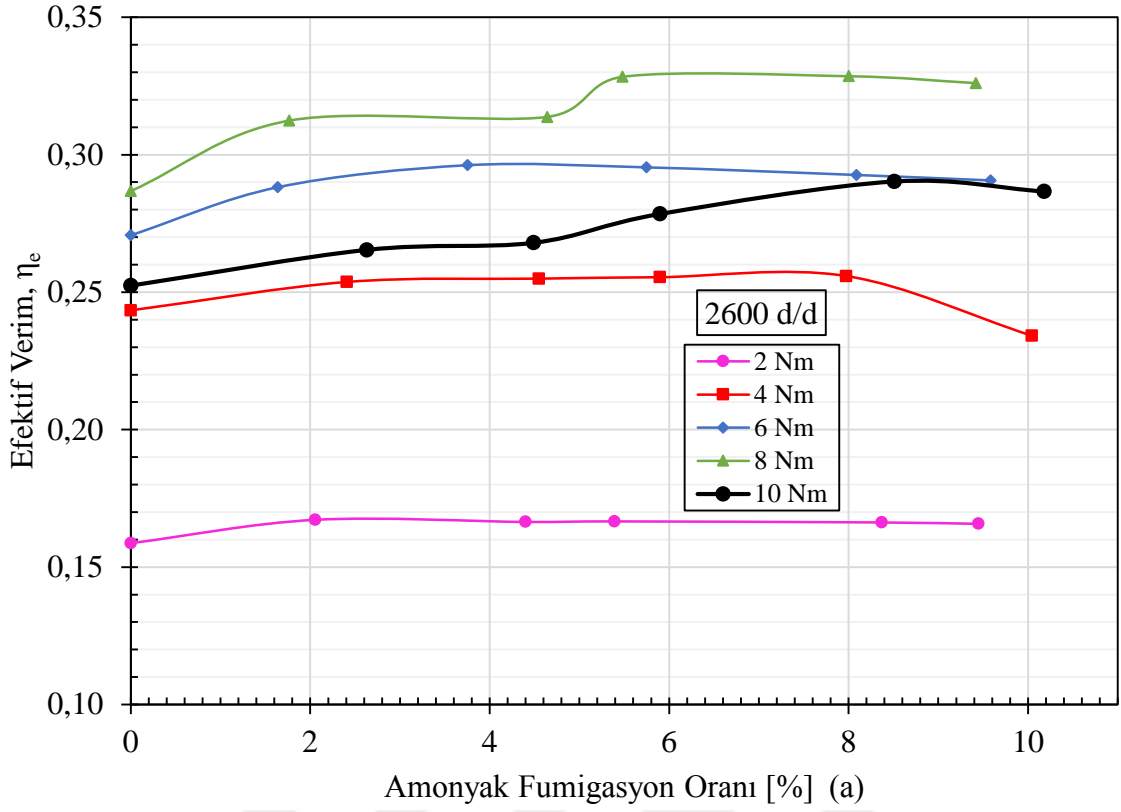
Şekil 27 (a ve b)'de sırasıyla ÖYT'nin AF oranlarına göre değişimleri ve ÖYT'de SDY'ye göre meydana gelen artma ve azalma oranlarını gösteren bar şekilleri sunulmuştur. İlgili şekillerden görülebileceği gibi; 2 Nm ve 4 Nm yük değerlerinde ÖYT genel olarak artma eğilimi göstermiştir. Fakat söz konusu yük değerlerinde ÖYT, yaklaşık % 2 AF oranında azalmıştır. Seçilen diğer (6, 8 ve 10) Nm gibi yüksek yük değerlerinde seçilen AF oranlarında ÖYT azalmıştır. Fakat 6 Nm yük değeri için ÖYT'de, yaklaşık % (8 ve 10) AF oranlarında az da olsa artış görülmüştür. ÖYT'deki maksimum artma; % 10,04 AF oranı ve 4 Nm yük değeri için % 14,87, en iyi iyileşme ise % 5,48 AF oranı ve 8 Nm yük değeri için % 7,28 olarak belirlenmiştir. ÖYT'deki iyileşmenin yukarıdaki bölümlerde ayrıntılı şekilde açıklandığı gibi yanma işleminin AF ile iyileşmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Aynı şekilde Şekil 28 (a ve b)'den görülebileceği gibi efektif verimin de seçilen tüm çalışma koşullarında artmıştır. Efektif verimdeki en iyi iyileşme; % 8,5 AF oranı ve 10 Nm yük değeri için % 15,02 olarak belirlenmiştir. Fakat % 10,04 AF oranı ve 4 Nm yük değeri için efektif verimin kötüleştiği görülebilir.

Şekil 29'da yukarıda belirtilen yükler için hava fazlalık katsayısının AF oranına göre değişimleri ve SDY'ye göre değişim oranları verilmiştir. Söz konusu şekillerden de görülebileceği gibi hava fazlalık katsayısında, % 10,04 AF oranı ve 4 Nm yük değeri için % 7,01'lik azalma dışında, tüm AF oranları ve yük değerleri için artma görülmektedir.

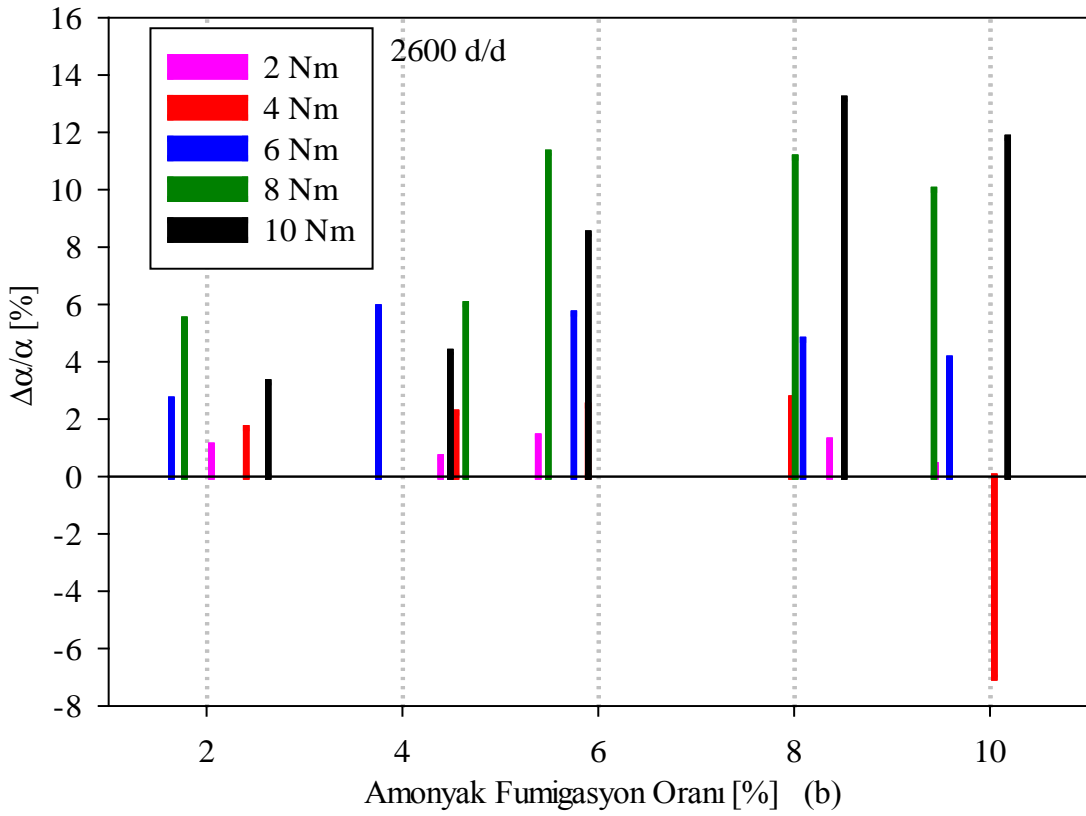
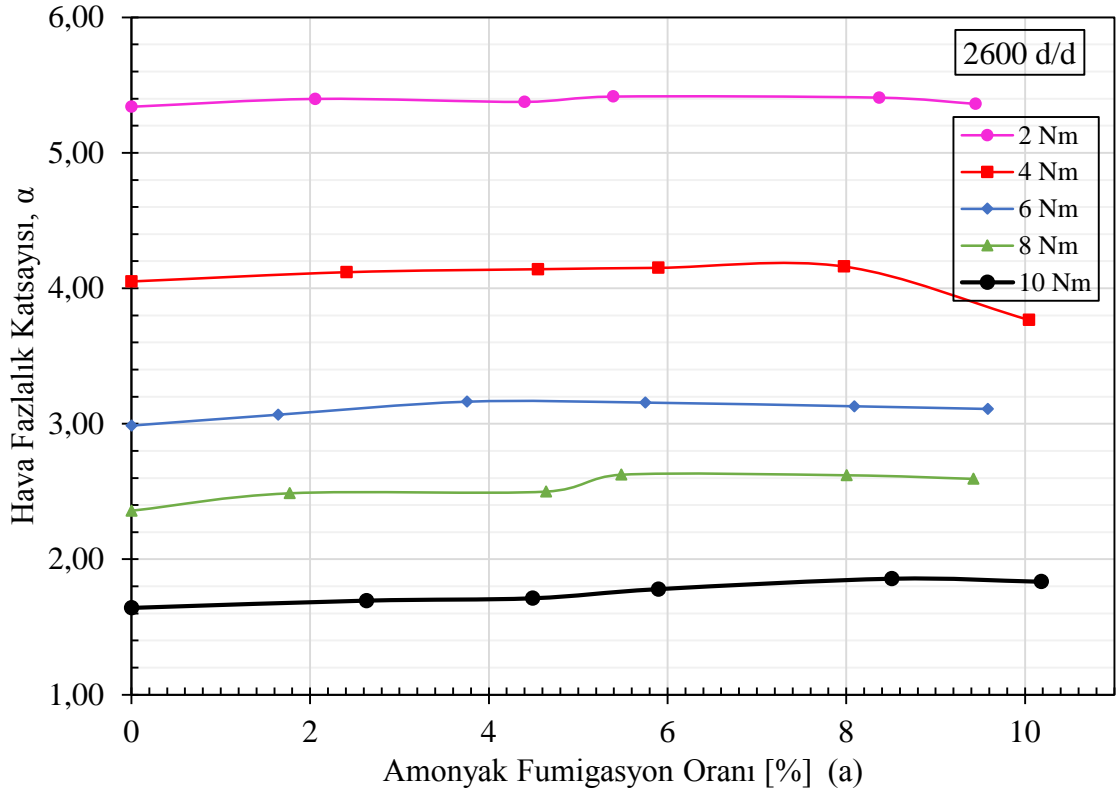


Şekil 27. 2600 d/d'da; (a) ÖYT'nin AF oranlarına göre değişimleri, (b) ÖYT değişiminin AF oranlarına göre değişimleri





Şekil 28. 2600 d/d'da; (a) Etkif verimin AF oranlarına göre değişimleri, (b) Etkif verim değişiminin AF oranlarına göre değişimleri

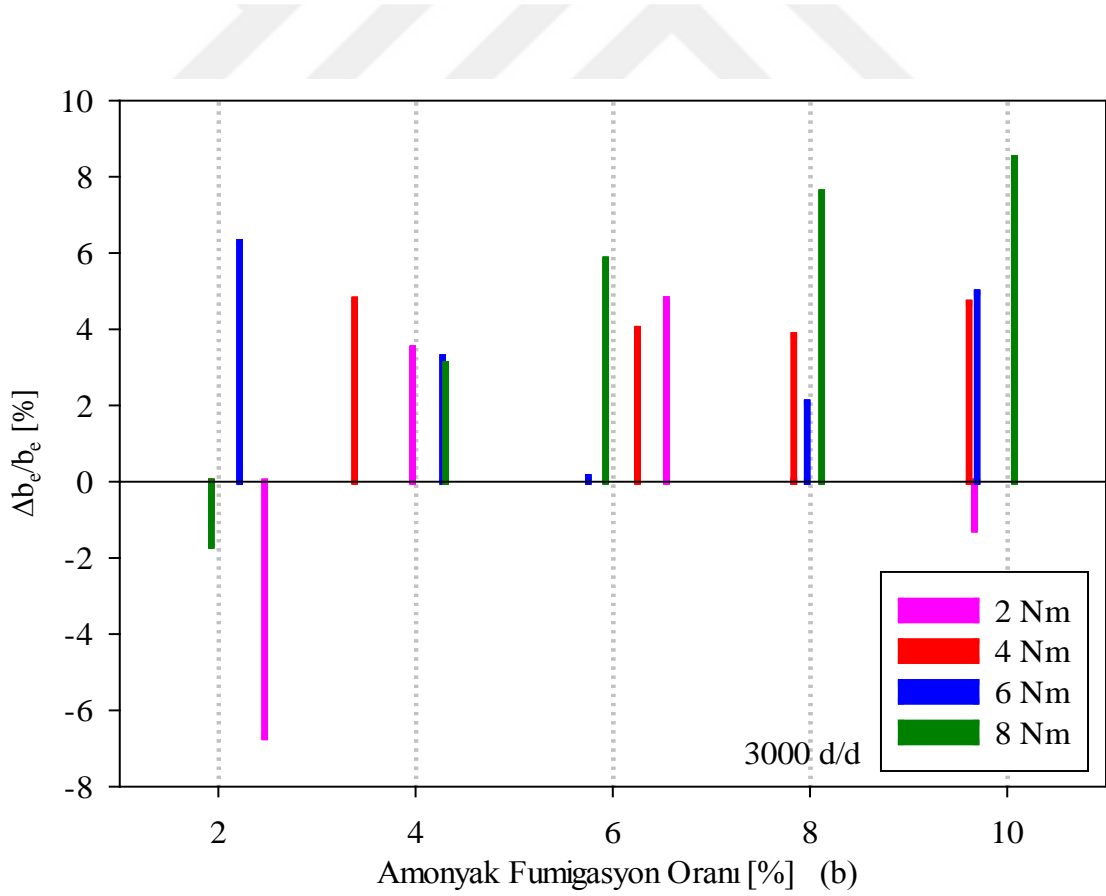
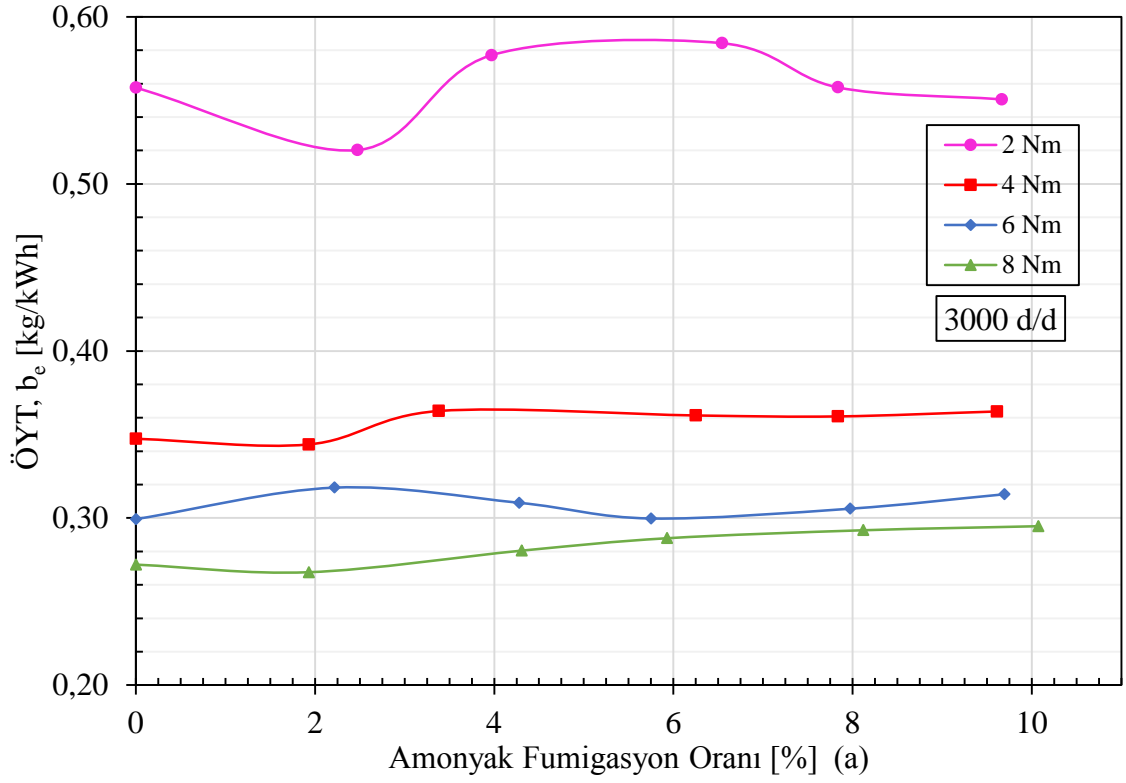


Şekil 29. 2600 d/d'da; (a) Hava fazlalık katsayısının AF oranlarına göre değişimleri, (b) Hava fazlalık katsayısı değişiminin AF oranlarına göre değişimleri

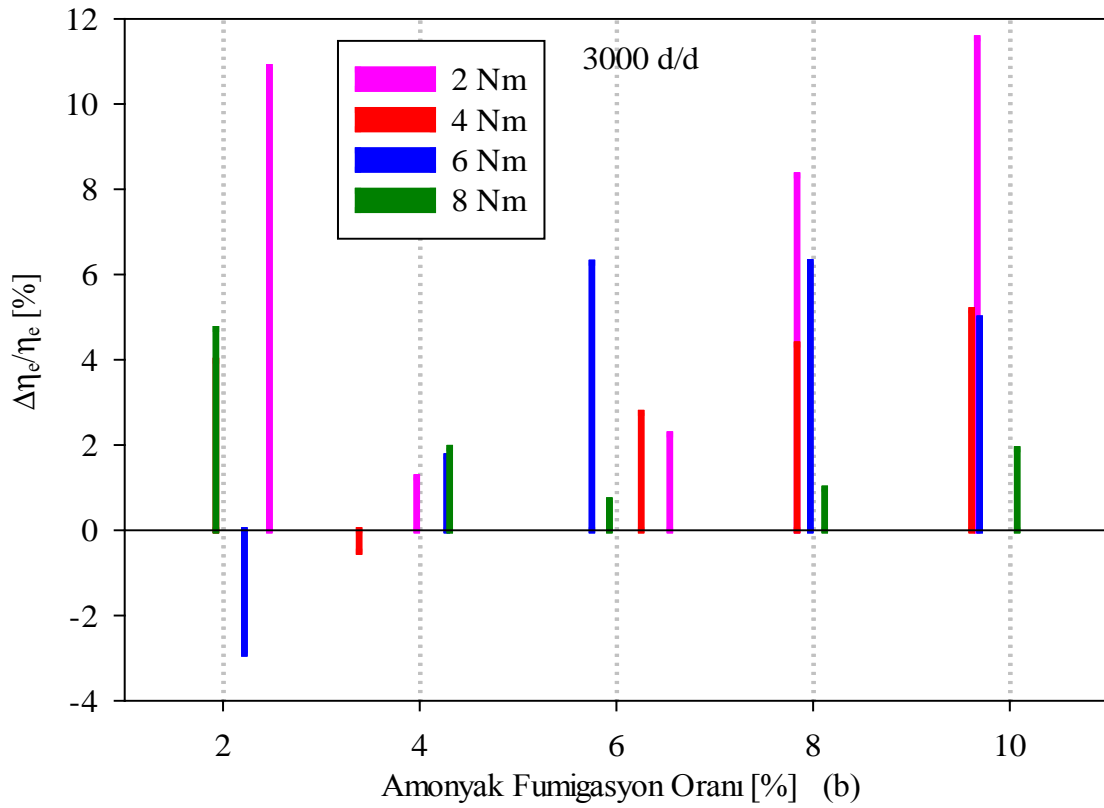
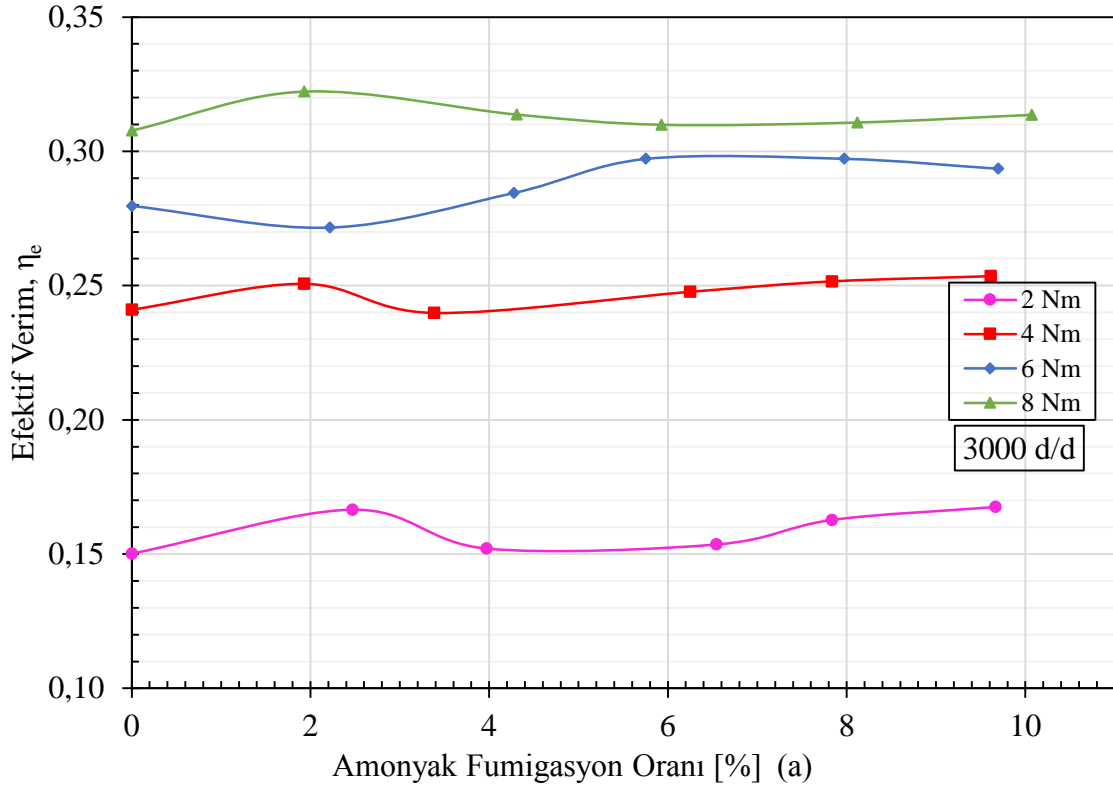
### 3.3.3. 3000 d/d Devir Sayısında Amonyak Fumigasyonunun Motor Karakteristikleri Üzerindeki Etkileri ve Değişim Oranları

Şekil 30 (a ve b)'de sırasıyla ÖYT'nin AF oranlarına göre değişimleri ve ÖYT'de SDY'ye göre meydana gelen artma ve azalma oranlarını gösteren bar şekilleri sunulmuştur. İlgili şekillerden görülebileceği gibi; ÖYT, yaklaşık % 2 AF oranı için (2 ve 8) Nm yük değerlerinde azalmıştır. Bununla birlikte söz konusu şekillerden görülebileceği gibi 3000 d/d devir sayısında ÖYT genel olarak artmıştır. ÖYT'deki maksimum artma oranı; % 10,07 AF oranı ve 8 Nm yük değeri için % 8,49 düzeyinde belirlenmiştir. Şekil 31 (a ve b)'den görülebileceği gibi efektif verim genel olarak artmıştır. Yalnızca düşük AF oranları için, 4 Nm ve 6 Nm yük değerlerinde efektif verimin azaldığı belirlenmiştir. Sunulan eğrilerin incelenmesinden görülebileceği gibi efektif verimdeki maksimum artma oranı; % 9,67 AF oranı ve 2 Nm yük değeri için % 11,54 düzeyinde olmuştur. Yukarıdaki paragrafta da açıklandığı gibi; AF durumunda yakıtın alt ısıl değeri ( $H_{u,amonyak}=9839$  kJ/kg) dizel yakıtına göre çok daha düşük olduğundan, efektif verim (10) bağıntısı gereği artmaktadır.

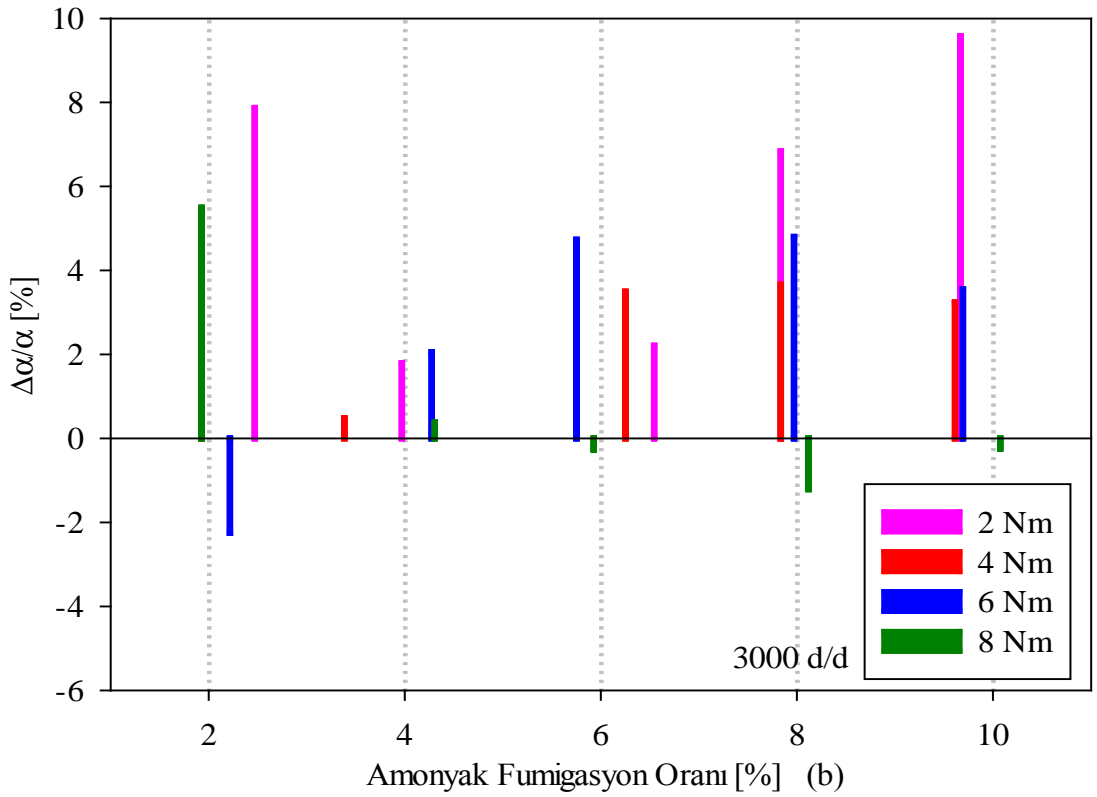
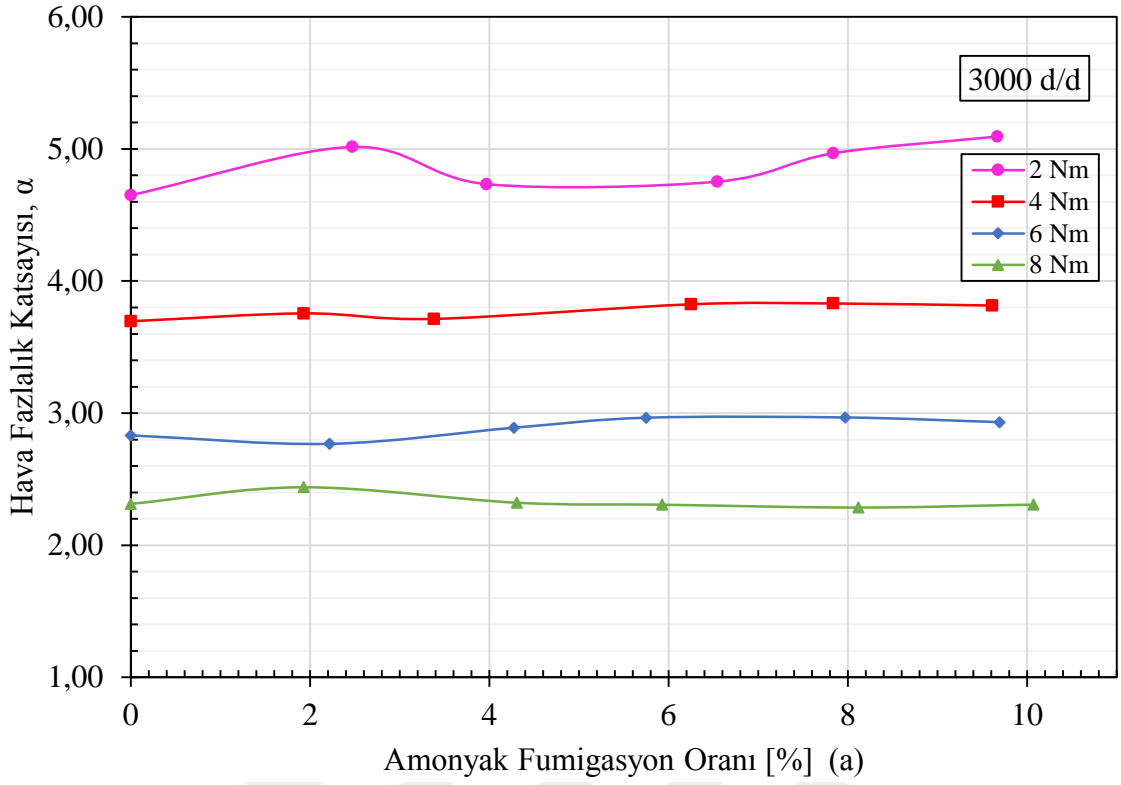
Şekil 32'de yukarıda belirtilen yükler için hava fazlalık katsayısının AF oranına göre değişimleri ve SDY'ye göre değişim oranları verilmiştir. Söz konusu şekillerden de görülebileceği gibi hava fazlalık katsayısı AF oranıyla genellikle artma eğilimi göstermiştir. Hava fazlalık katsayısındaki maksimum artma oranı; yaklaşık % 10 AF oranı ve 2 Nm yük değeri için % 9,58 düzeyinde belirlenmiştir. Hava fazlalık katsayısının seçilen yük değerleri için AF oranına göre değişimleri çok düzgün değildir. Bu durumun, deney sisteminin çalışmasındaki kararsızlıklardan kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 30. 3000 d/d'da; (a) ÖYT'nin AF oranlarına göre değişimleri, (b) ÖYT değişiminin AF oranlarına göre değişimleri



Şekil 31. 3000 d/d'da; (a) Efektif verimin AF oranlarına göre değişimleri, (b) Efektif verim değişiminin AF oranlarına göre değişimleri



Şekil 32. 3000 d/d'da; (a) Hava fazlalık katsayısının AF oranlarına göre değişimleri, (b) Hava fazlalık katsayısı değişim oranlarının AF oranlarına göre değişimleri

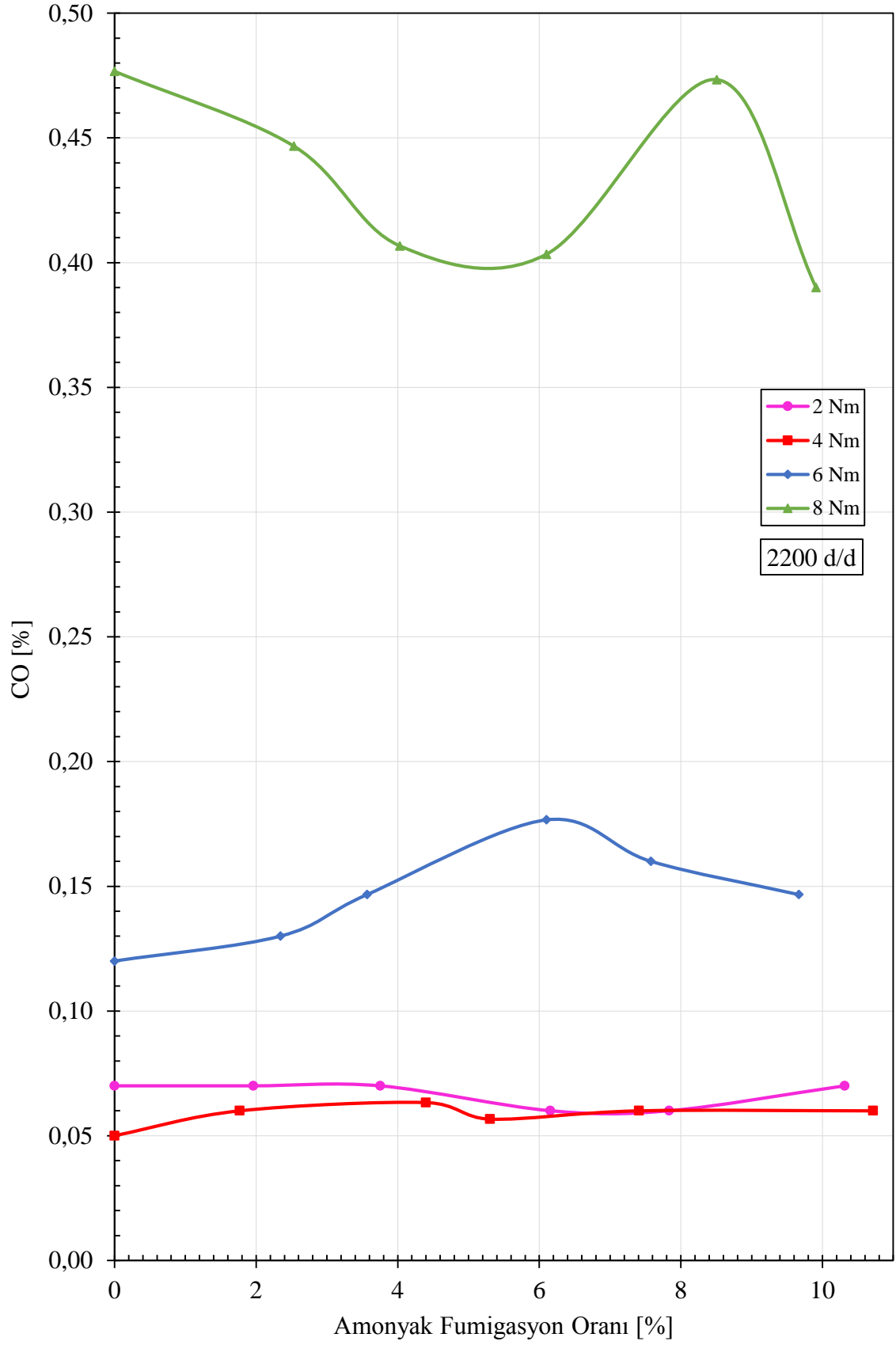
### **3.4. Farklı Devir Sayılarında Amonyak Fumigasyonunun Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkileri**

Bu bölümünde, deneylerde yapılan eksoz emisyonu ölçümleri ve hesaplamalar sonunda belirlenen CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, HC ve NO<sub>x</sub> gibi başlıca eksoz emisyonlarının AF oranlarına göre değişimleri sunulmuştur.

CO, CO<sub>2</sub>, HC ve NO<sub>x</sub> emisyonları; 2200 d/d devir sayısında (2, 4, 6 ve 8) Nm sabit yük oranlarında % (2, 4, 6, 8 ve 10) AF oranları için ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar ışığında, 2600 d/d devir sayısında ve 6 Nm yük altında bir deney daha yapılmasına karar verilerek, yukarıda sayılan eksoz emisyon ölçümleri tekrarlanmıştır. Elde edilen verilerden eksoz emisyonlarının AF oranlarına göre değişimleri çizilmiştir. Çizilen grafikler, Şekil (33-45) arasında sunulmuş ve irdelenmiştir.

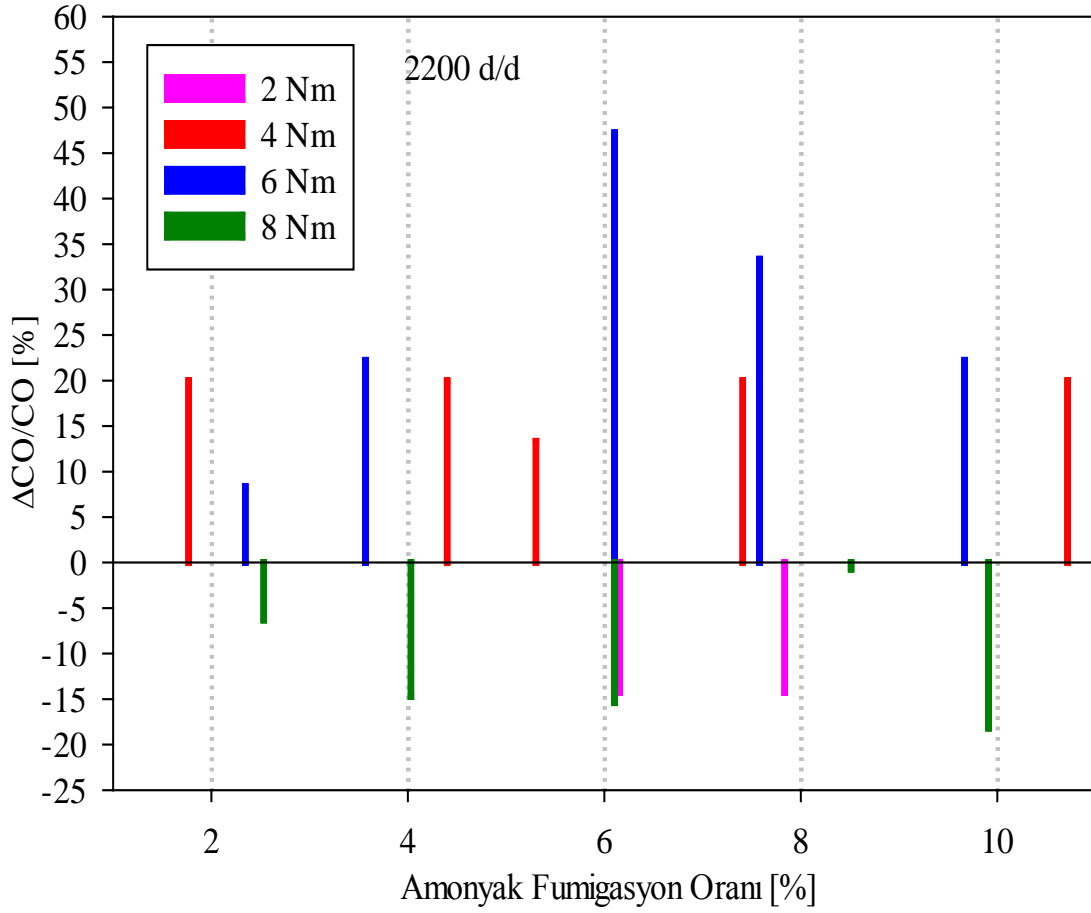
#### **3.4.1. 2200 d/d Devir Sayısında Amonyak Fumigasyonunun Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkileri ve Değişim Oranları**

2200 d/d devir sayısında; (2, 4, 6 ve 8) Nm sabit yük değerleri için, AF'nin CO, CO<sub>2</sub>, HC ve NO<sub>x</sub>'ler üzerindeki etkileri ve aynı zamanda SDY'ye göre değişim oranları Şekil (33-40)'da gösterilmiştir. Yukarıdaki paragraflarda sunulmuş olan, Şekil 24'ten de görülebileceği gibi, 2200 d/d'da ÖYT seçilen AF oranları için genel olarak artmıştır. İlgili eğrilerden görülebileceği gibi 6 Nm yük değeri için ÖYT, yaklaşık % (2 ve 4) AF oranlarında az da olsa azalmıştır. Aynı şekilde Şekil (33 ve 34)'ten de görülebileceği gibi AF oranı ile CO oranı da genel olarak artma eğilimi göstermiştir. CO'daki maksimum artma; yaklaşık % 6 AF oranı ve 6 Nm yük değeri için % 47 düzeyinde olmuştur. ÖYT'nin artması ile eksoz kirliliğinin de artacağı tahmin edilebilir. Söz konusu eğrilerden görülebileceği gibi; 8 Nm yük değeri için CO oranı seçilen tüm AF oranları için genel olarak azalmıştır. Ayrıca 2 Nm yük değerinde yaklaşık % (2 ve 4) AF oranlarında CO oranında herhangi bir artma veya azalma gözlenmemiş, % (6 ve 8) AF oranlarında ise CO belirgin bir şekilde azalmıştır. (4 ve 6) Nm yük değerlerinde ise CO oranı artmıştır. Literatürde de (Reiter vd., 2009; Reiter, 2011) söz konusu değişime paralel sonuçlar bulunmuştur.



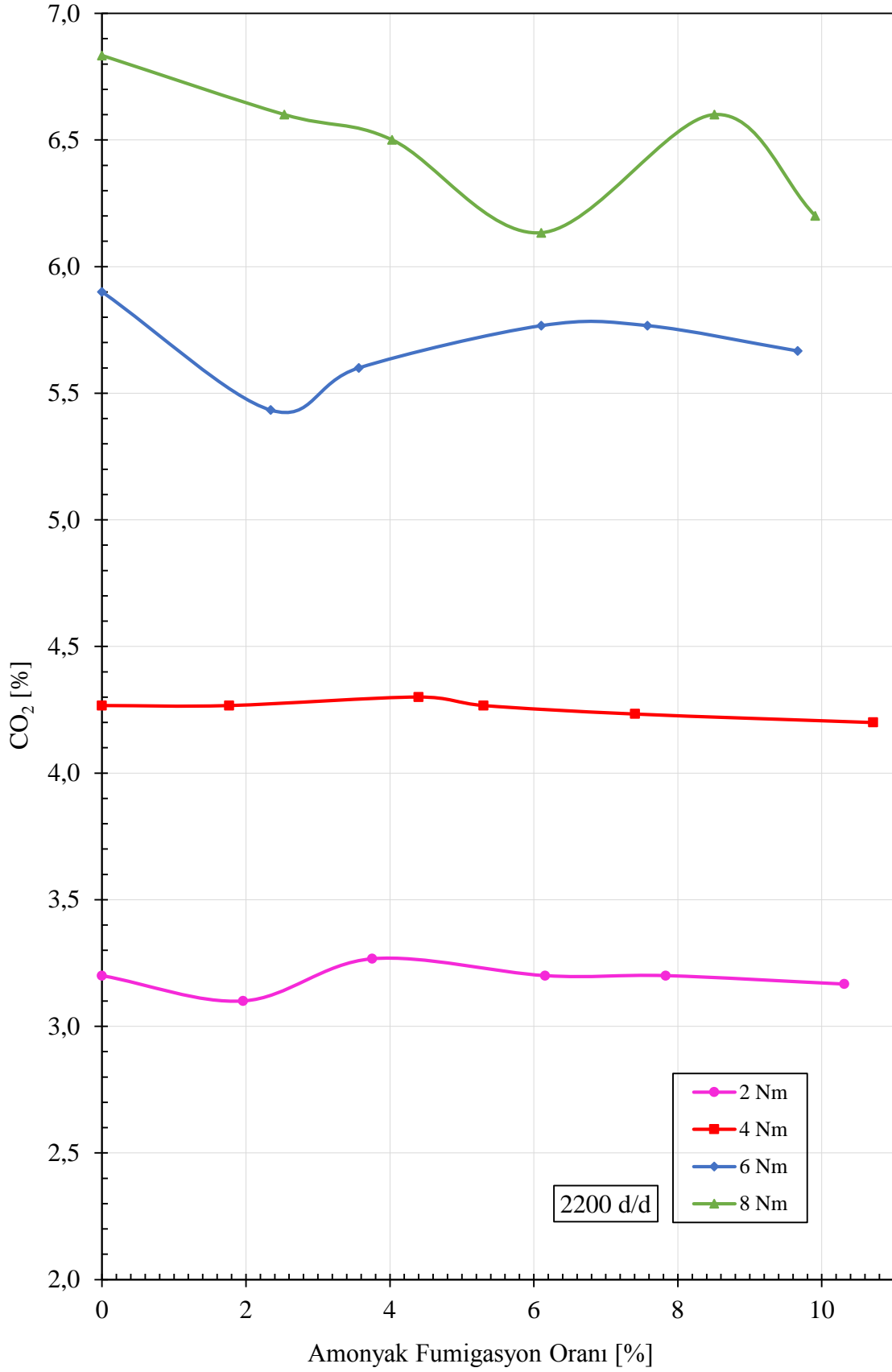
Şekil 33. 2200 d/d'da farklı yük değerleri için CO emisyonunun amonyak fumigasyon oranına göre değişimleri



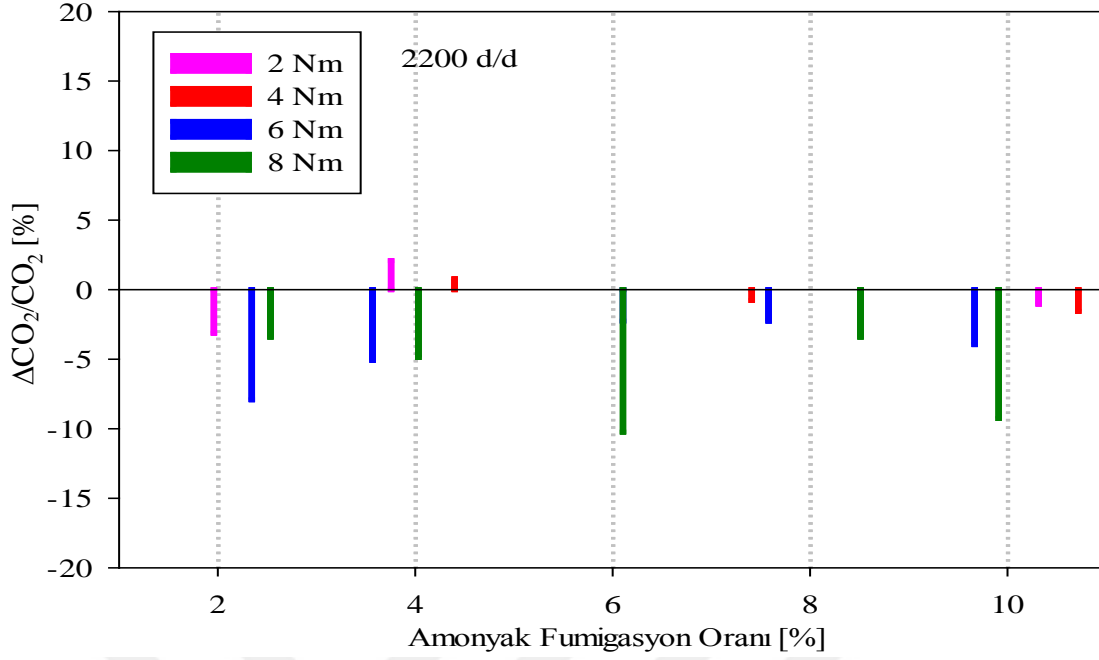


Şekil 34. 2200 d/d'da farklı yük değerleri için CO emisyonu değişim oranının AF oranına göre değişimleri

Şekil (35 ve 36)'da görülebileceği gibi; seçilen tüm yük değerleri için CO<sub>2</sub> oranı AF oranına göre genel olarak azalmıştır. Literatürden de bilindiği gibi amonyağın alev sıcaklığı dizel yakıtının alev sıcaklığından düşüktür. Ayrıca söz konusu tez çalışmasında kullanılan amonyak, sulu çözelti şeklinde olduğu için suyun etkisi ile de yanma sonu sıcaklıklarının azaldığı tahmin edilebilir (Şahin vd., 2014). Bu nedenle AF ile yanma sonu sıcaklıkları azaldığından tam yanma olayı gerçekleşmemektedir ve sonuçta tam yanma ürünü olan CO<sub>2</sub> azalmaktadır. Ayrıca amonyağın kimyasal formülünde karbonun bulunmaması nedeniyle karışımdaki AF oranı arttıkça CO<sub>2</sub>'nin azalacağı tahmin edilebilir (Ryu vd., 2013). CO<sub>2</sub>'deki maksimum azalma; yaklaşık % 6 AF oranı ve 8 Nm yük değeri için % 10 düzeyinde belirlenmiştir.



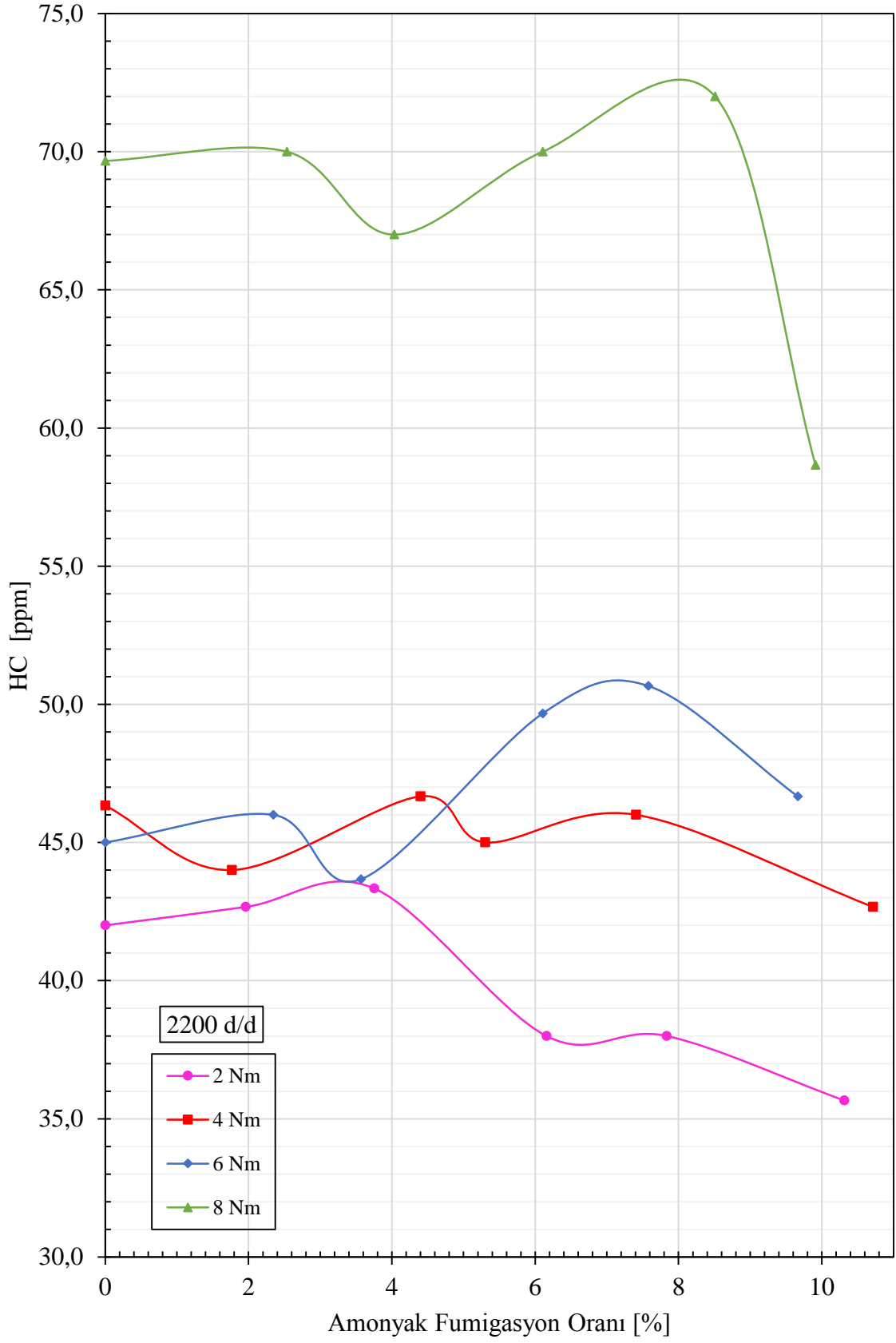
Şekil 35. 2200 d/d'da farklı yük değerleri için CO<sub>2</sub> emisyonunun amonyak fumigasyon oranına göre değişimleri



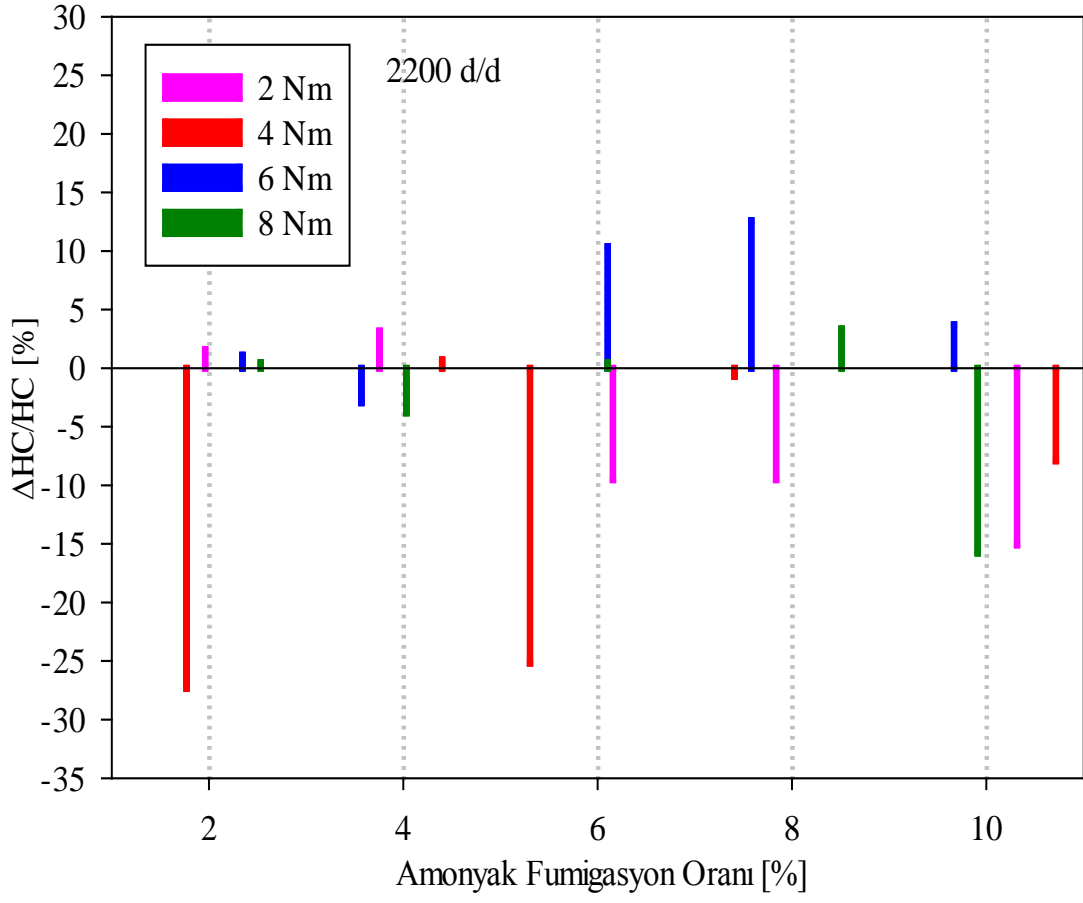
Şekil 36. 2200 d/d'da farklı yük değerleri için CO<sub>2</sub> emisyonu değişim oranının amonyak fumigasyon oranına göre değişimleri

Şekil (37 ve 38)'de AF'nin HC'ler üzerindeki etkisi gösterilmiştir. İlgili şekillerden görülebileceği gibi HC değişimi pek kararlı değildir. Yukarıda da belirtildiği gibi deney düzeneği 2200 d/d'da pek kararlı çalışmamaktadır. Şekil 38'den görülebileceği gibi 4 Nm yük değerinin dışındaki diğer yük değerleri için yaklaşık % 6 AF oranına kadar HC'lerdeki değişimlerin hemen hemen SDY ile aynı olduğu görülmektedir. Yaklaşık % 6 AF oranından sonra ise HC değişimi çok kararsız olmuştur. Yüksek AF oranlarında yanmanın bozulduğu ve bununla HC'leri arttırdığı tahmin edilebilir.

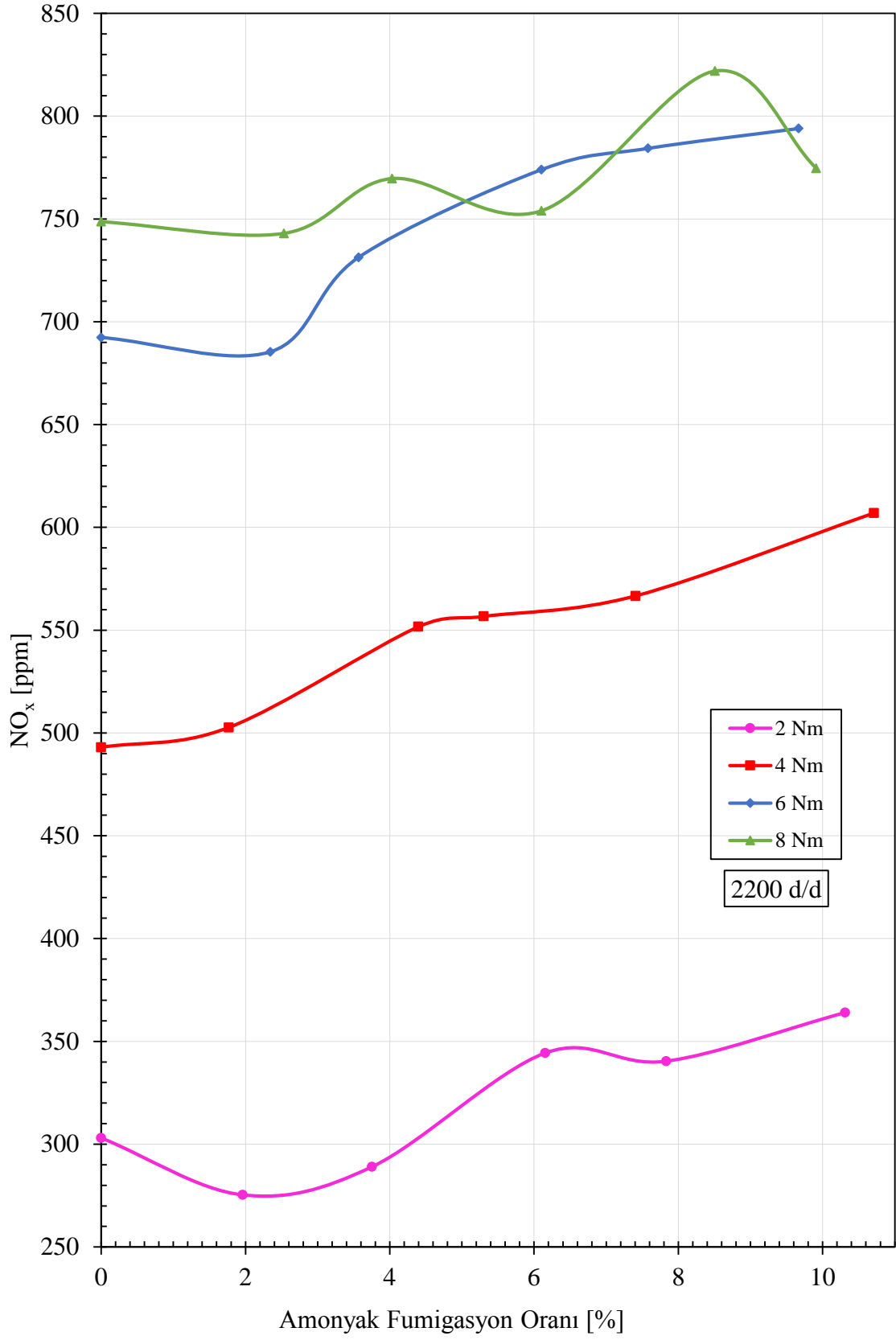
Şekil (39 ve 40)'da görülebildiği gibi AF oranı arttıkça NO<sub>x</sub>'ler de artmıştır. Ayrıca AF oranı arttıkça NO<sub>x</sub>'lerdeki değişim oranı da artmıştır. Bu durumun amonyağın kimyasal yapısında bulunan azot miktarından kaynaklandığı söylenebilir. Ayrıca AF ile yanma sonu sıcaklıklarının azaldığı tahmin edilmektedir. Bu nedenle, AF ile yanmanın bozulduğu ve kısmi eksik yanmanın meydana geldiği; bu durumda da NO<sub>x</sub>'lerin arttığı söylenebilir. Ayrıca AF ile hava fazlalık katsayısının arttığı, bunun da NO<sub>x</sub>'ler üzerinde bozucu etkisinin olduğu bilinmektedir (Heywood, 1988; Reiter, 2009). NO<sub>x</sub>'lerdeki maksimum artma; yaklaşık % 11 AF oranı ve 4 Nm yük değeri için % 23 düzeyinde olmuştur. Sonuç olarak 2200 d/d'da AF ile yanmanın istenildiği gibi iyileşmediği ve bunun sonucu olarak hem ÖYT'nin hem de eksoz emisyonlarının arttığı belirlenmiştir.



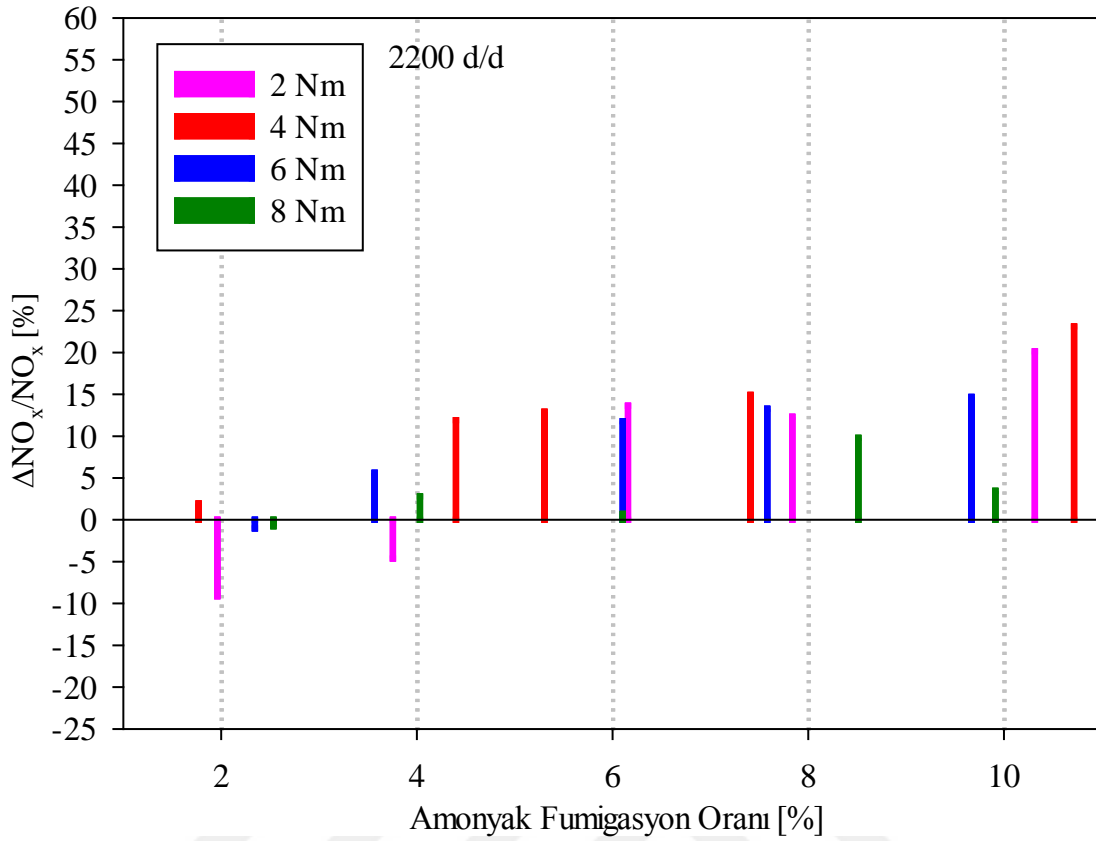
Şekil 37. 2200 d/d'da farklı yük değerleri için HC emisyonunun amonyak fumigasyon oranına göre değişimleri



Şekil 38. 2200 d/d'da farklı yük değerleri için HC emisyonu değişim oranının amonyak fumigasyon oranına göre değişimleri



Şekil 39. 2200 d/d'da farklı yük değerleri için NO<sub>x</sub> emisyonunun amonyak AF oranına göre değişimleri

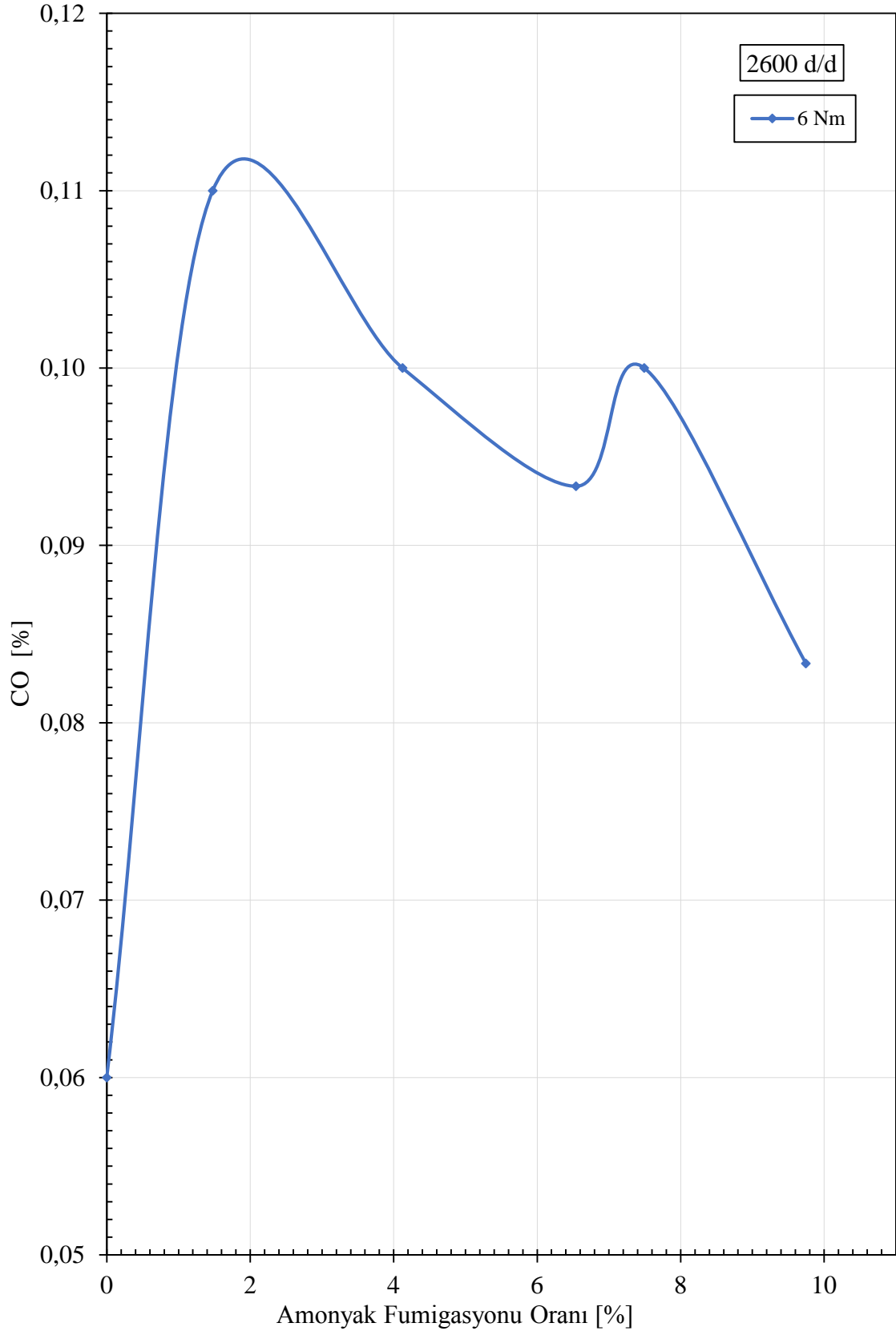


Şekil 40. 2200 d/d'da farklı yük değerleri için NO<sub>x</sub> emisyonu değişim oranının AF oranına göre değişimleri

### 3.4.2. 2600 d/d Devir Sayısında Amonyak Fumigasyonunun Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkileri ve Değişim Oranları

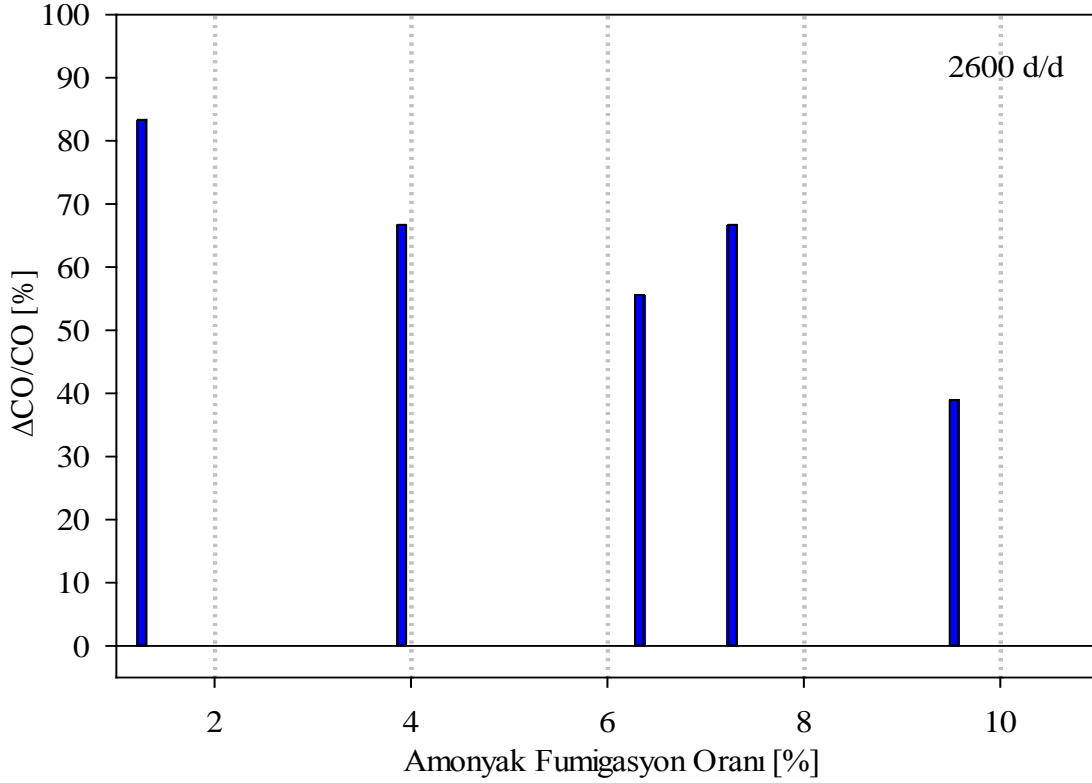
Şekil (41-48)'de; 2600 d/d devir sayısında, 6 Nm yük için, farklı AF oranlarının CO, CO<sub>2</sub>, HC ve NO<sub>x</sub> emisyonları üzerindeki etkilerini ve aynı zamanda söz konusu eksoz gazlarının SDY'ye göre artma ve azalma oranlarını gösteren şekiller sunulmuştur. İlgili devir sayısı ve 6 Nm yük durumu motorun en kararlı çalışma durumu olduğu için yalnızca bu çalışma durumu için eksoz gazları ölçülmüştür. Kullanılan motor tarımsal amaçlı üretildiği için değişken devir sayılarındaki çalışmasında kararsızlıklar meydana gelmektedir.

Şekil (41 ve 42)'de görülebileceği gibi, AF ile CO genel olarak artmıştır. Karışımındaki amonyak oranı arttıkça artma oranının azaldığı görülebilir.



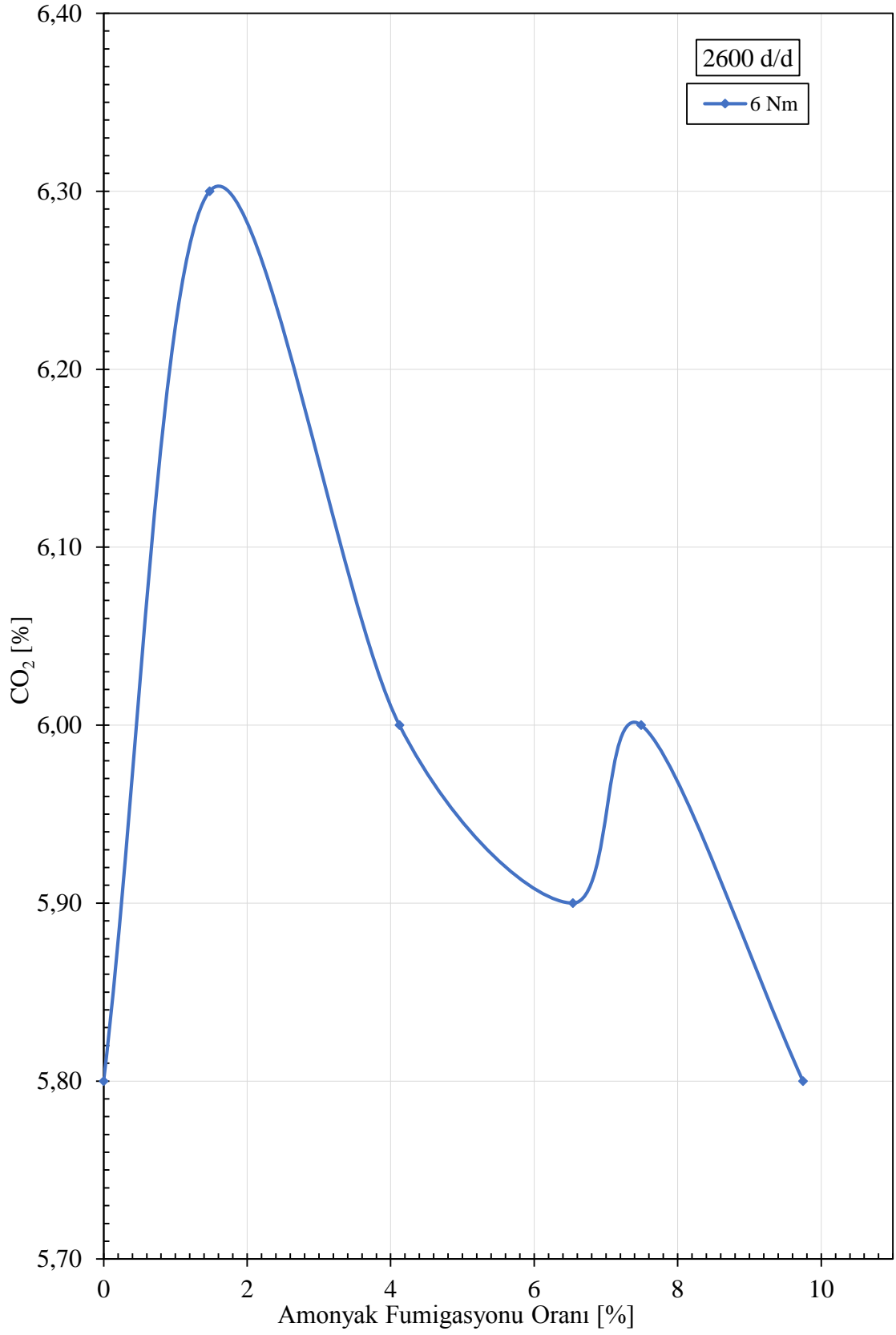
Şekil 41. 2600 d/d'da 6 Nm yük değeri için CO emisyonunun AF oranına göre değişimi



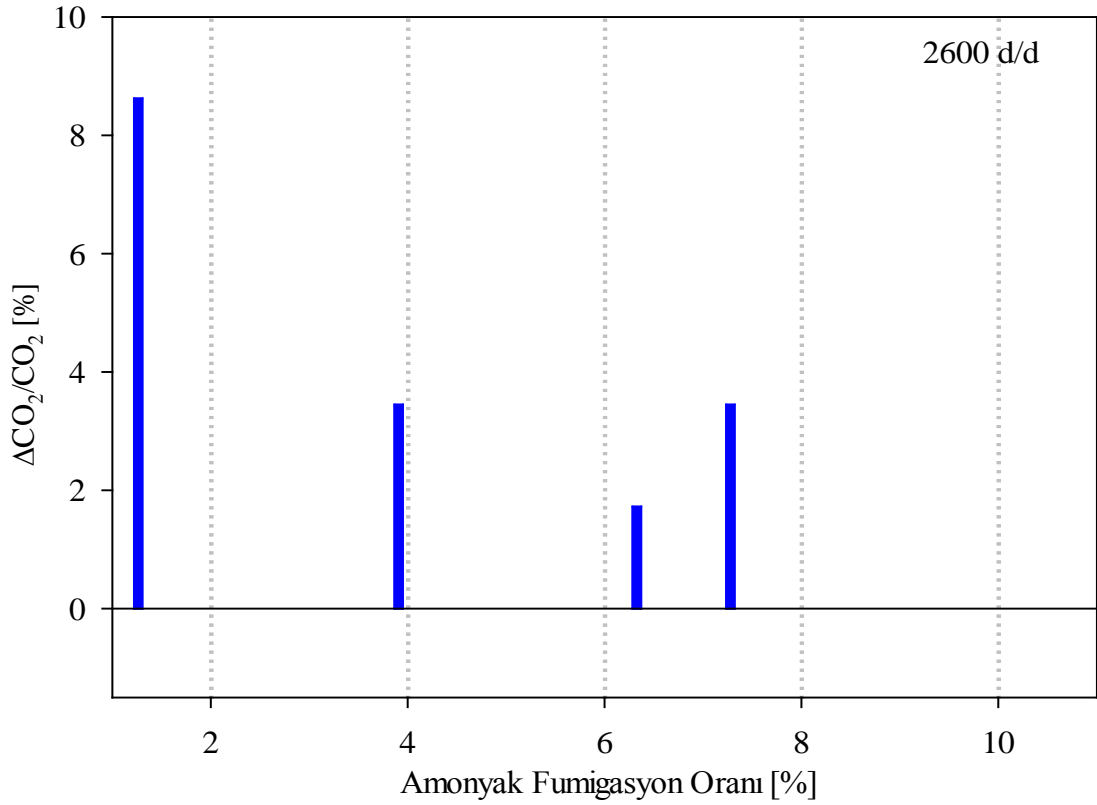


Şekil 42. 2600 d/d'da 6 Nm yük değeri için CO emisyonu değişim oranının AF oranına göre değişimleri

CO oranındaki maksimum artma, yaklaşık % 1,5 AF oranı için % 83 düzeyinde olmuştur. Bunun da olası nedeninin amonyağın kimyasal formülünde karbon olmamasından kaynaklandığı söylenebilir. Kullanılan amonyak suda çözülmüş *sulu amonyak çözeltisidir* ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ). Bu nedenle AF ile alev sıcaklıklarının azalacağı tahmin edilmektedir. Önceki paragraflarda da belirtildiği gibi sıcaklığın azalması ile iyi bir yanma gerçekleşmeyeceğinden CO oranının arttığı düşünülmektedir (Reiter vd., 2011; Reiter, 2009). Şekil 27'de de görüldüğü gibi 2600 d/d'da ÖYT, % 6 AF oranına kadar azalmış ve daha sonra ise artmaya başlamıştır. Buradan da yüksek AF oranlarında yanmanın daha fazla kötüleşmiş olduğu tahmin edilebilir. Bu durum, Şekil (43 ve 44)'te  $\text{CO}_2$ 'nin değişiminden de anlaşılabilir. İlgili şekillerden de görülebileceği gibi AF ile  $\text{CO}_2$  genellikle artmıştır, fakat karışımdaki amonyak oranı arttıkça  $\text{CO}_2$ 'deki artma oranı azalmıştır. Hatta  $\text{CO}_2$ , yaklaşık % 10 AF oranında SDY ile aynı değeri almıştır.  $\text{CO}_2$ 'deki maksimum artma, yaklaşık % 1,5 AF oranı için % 8,6 düzeyinde olmuştur. Yanmanın, genellikle % 6 AF oranına kadar iyileştiği ve bu orandan sonra ise yanmanın kötüleşmeye başladığı ilgili şekillerden görülebilir.

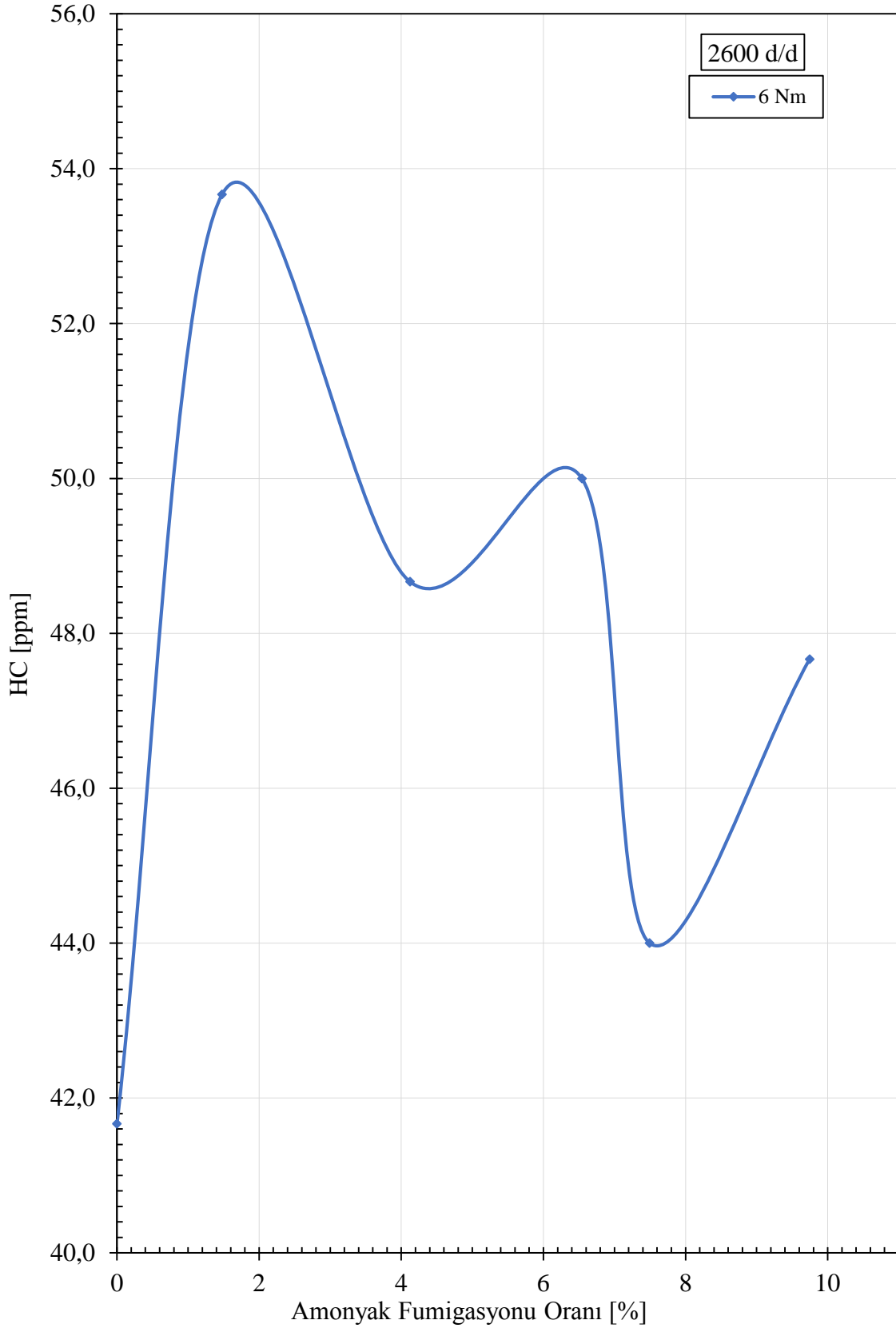


Şekil 43. 2600 d/d'da 6 Nm yük değeri için CO<sub>2</sub> emisyonunun AF oranına göre değışimi

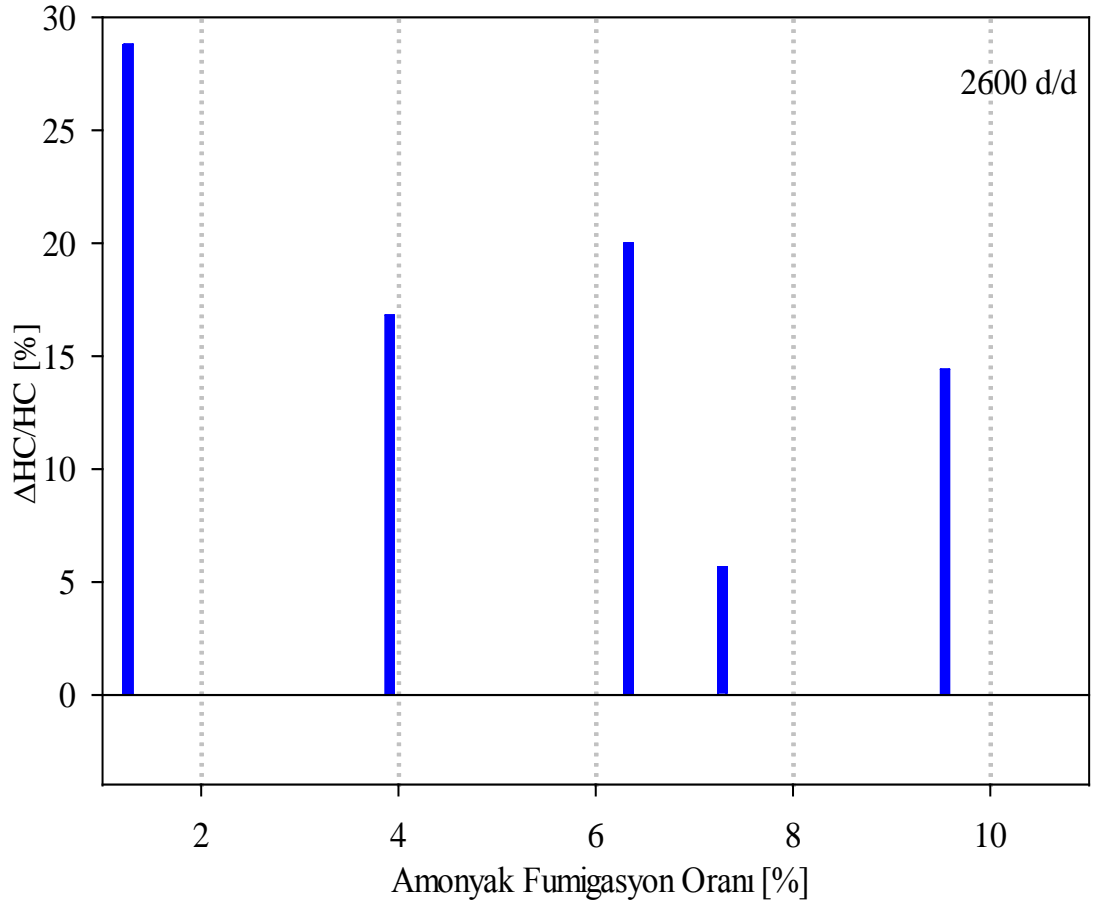


Şekil 44. 2600 d/d'da 6 Nm yük değeri için CO<sub>2</sub> emisyonu değişim oranının AF oranına göre değişimleri

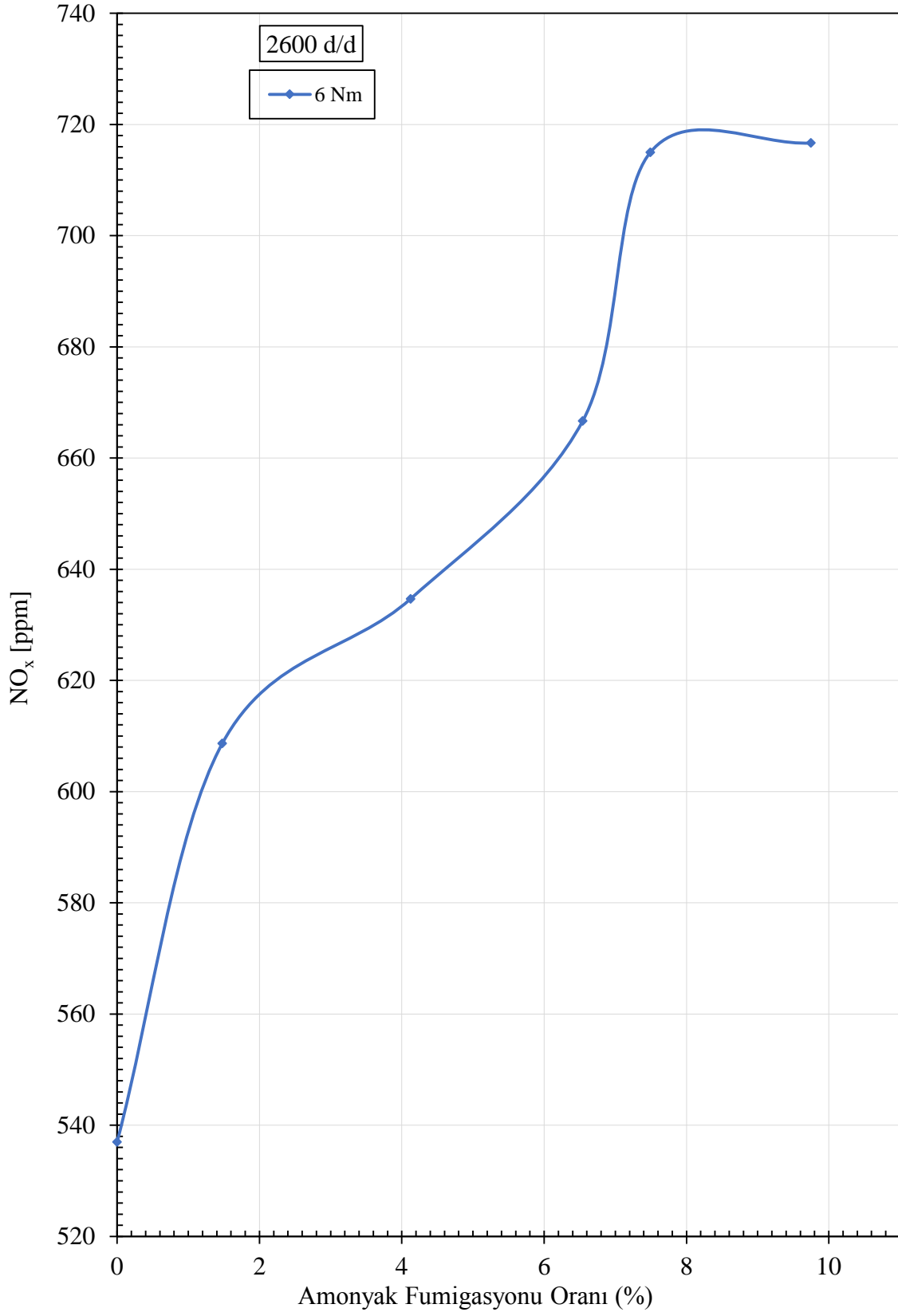
Şekil (45 ve 46)'da ise AF'nin HC'ler üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Söz konusu şekillerden AF oranı arttıkça HC'lerin de arttığı görülebilir. HC'lerdeki artmanın AF ile alev sıcaklıklarının azalmasından kaynaklandığı söylenebilir (Reiter vd., 2011; Reiter, 2009). Ayrıca kullanılan amonyak, sulu çözelti olduğu için karışımın içerisinde su bulunmaktadır. Dizel motorlarında su kullanımının HC'ler üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu literatürde belirtilmektedir (Subramanian, 2011). HC'lerdeki maksimum artma, yaklaşık % 1,5 AF oranı için % 28,8 düzeyinde olmuştur. Şekil (47 ve 48)'de de AF'nin NO<sub>x</sub> üzerindeki etkisi gösterilmiştir. İlgili şekillerden de görülebileceği gibi NO<sub>x</sub>'ler AF ile genel olarak artmıştır. Karışımındaki AF oranı arttıkça NO<sub>x</sub>'lerdeki artma oranı daha fazla olmuştur. Bu durum, amonyağın yapısında azotun bulunmasından kaynaklanabilir. Ayrıca yüksek AF oranlarında yanmanın bozulmasının NO<sub>x</sub>'leri arttırdığı da söylenebilir. Şekil 29'da da görülebileceği gibi AF ile hava fazlalık katsayısı genel olarak artmıştır. Bu durumun da NO<sub>x</sub>'ler üzerinde olumsuz etkisi olduğu belirtilmektedir (Heywood, 1988). NO<sub>x</sub>'lerdeki maksimum artma, yaklaşık % 10 AF oranı için % 33 düzeyinde olmuştur.



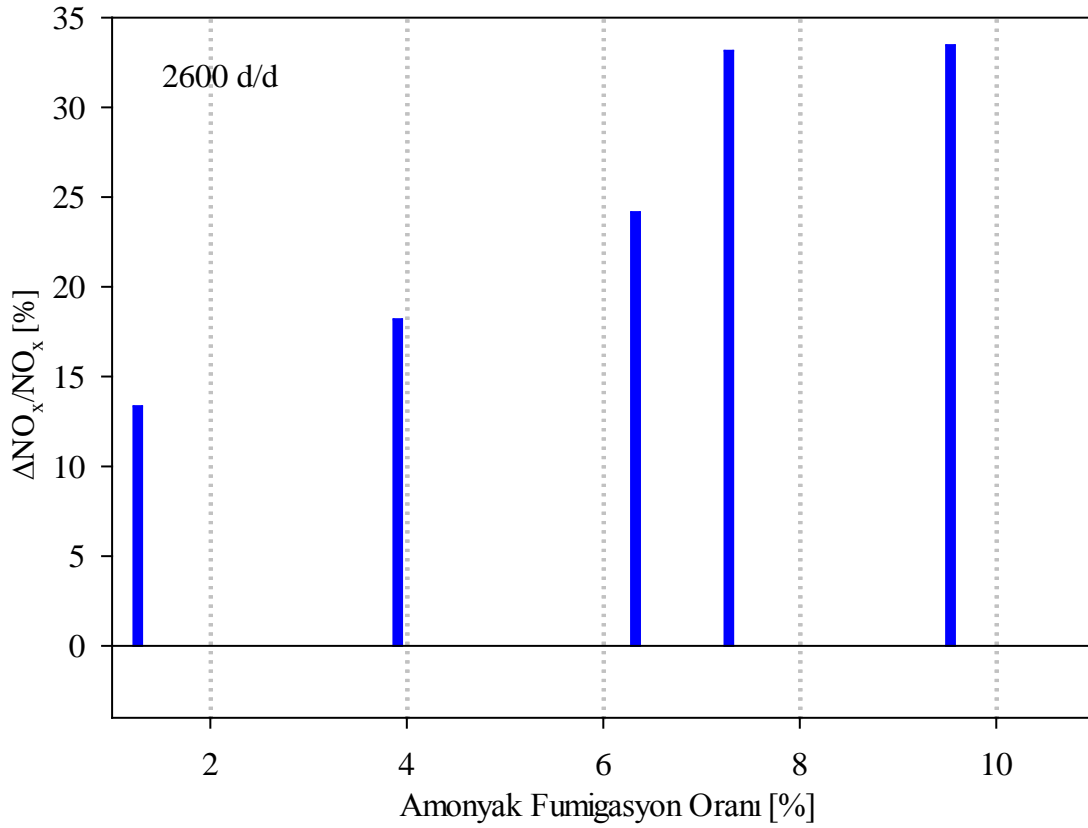
Şekil 45. 2600 d/d'da 6 Nm yük değeri için HC emisyonunun AF oranına göre değişimi



Şekil 46. 2600 d/d'da 6 Nm yük değeri için HC emisyonu değışim oranının AF oranına göre değışimleri



Şekil 47. 2600 d/d'da 6 Nm yük değeri için NO<sub>x</sub> emisyonunun AF oranına göre değişimi

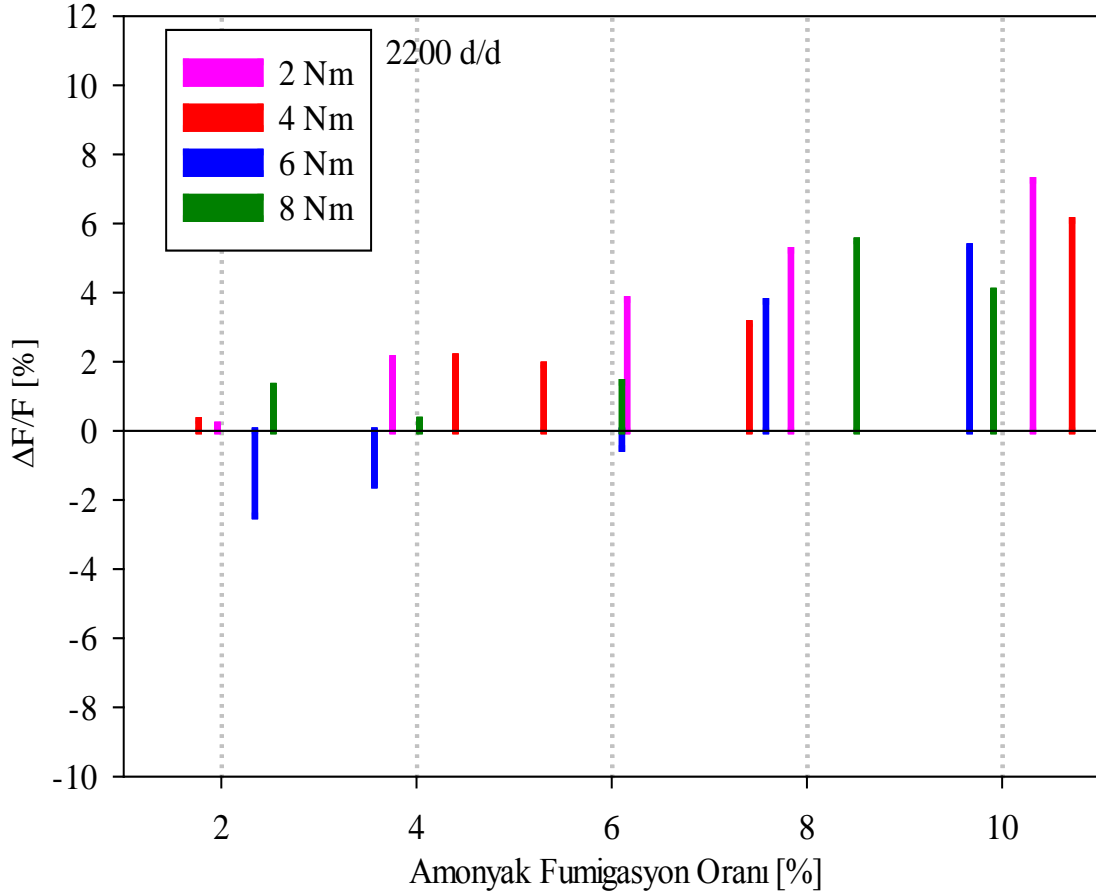


Şekil 48. 2600 d/d'da 6 Nm yük değeri için NO<sub>x</sub> emisyonu değışim oranının AF oranına göre değışimleri

### 3.5. Farklı Devir Sayılarında Amonyak Fumigasyonunun Yakıt Maliyeti Üzerindeki Etkisi

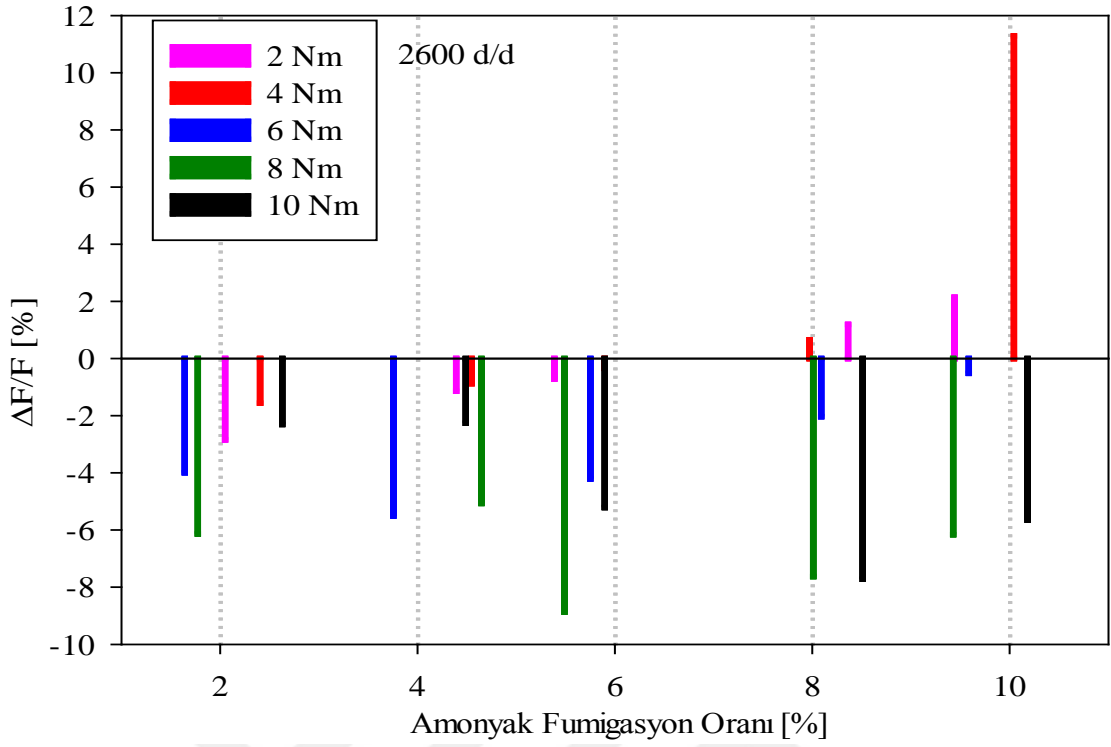
Şekil (49-51)'de ise AF'nin, farklı yük ve devir sayıları için yakıt maliyeti üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Sunulan çalışmada kullanılan 1 litre dizel yakıtının fiyatı 3,64 TL ve amonyak çözeltilisinin fiyatı ise 2,83 TL dir. Yani amonyak çözeltilisinin litre fiyatı dizel yakıtının litre fiyatından daha düşüktür. İlgili şekillerden de görülebileceği gibi AF ile yakıt maliyeti; 2600 d/d'da azalmış, 2200 d/d ve 3000 d/d devir sayılarında ise bazı durumlarda azalma bazı durumlarda ise artma görülmüştür. Seçilen her üç devir sayısında da maliyetteki değışimin ÖYT'deki değışime benzediği görülebilir. 2200 d/d devir sayısında ÖYT genel olarak arttığı için maliyet de artmıştır. Düşük AF oranlarında maliyette az da olsa azalmalar sağlanmıştır. Söz konusu devir sayısında yakıt maliyetindeki maksimum artma, % 10,31 AF oranı ve 2 Nm yük değeri için % 7,25 düzeyinde olmuştur. 2600 d/d devir sayısında ÖYT azaldığı için ve amonyağın fiyatıda dizel yakıtından düşük olduğu için maliyet genel olarak azalmıştır. İlgili devir sayısında yakıt maliyetindeki

maksimum azalma, % 5,48 AF oranı ve 8 Nm yük değeri için % 8,87 olarak belirlenmiştir. 3000 d/d devir sayısında ise ÖYT arttığı için amonyak çözeltilisinin fiyatı düşük olmasına rağmen söz konusu uygulama pahalı çıkmıştır. Söz konusu devir sayısında yakıt maliyetindeki maksimum artma, % 2,22 AF oranı ve 6 Nm yük değeri için % 5,55 düzeyinde olmuştur.

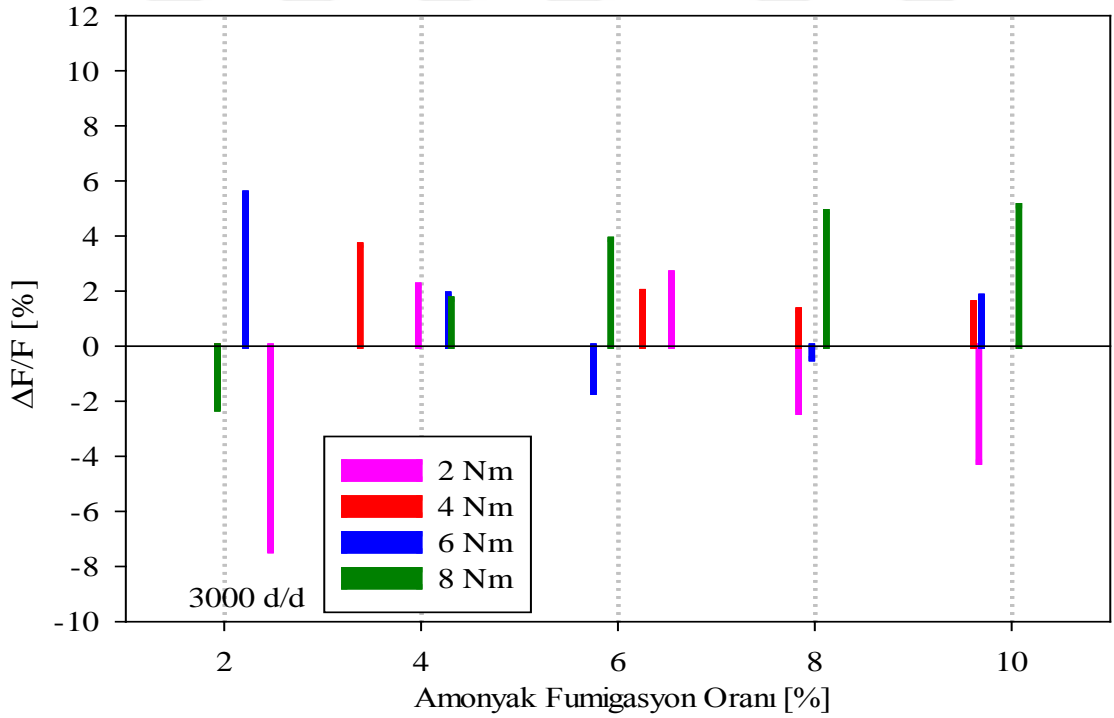


Şekil 49. 2200 d/d'da farklı yük değerleri için yakıt maliyetinin AF ile değişimi





Şekil 50. 2600 d/d'da farklı yük değerleri için yakıt maliyetinin AF ile değişimi



Şekil 51. 3000 d/d'da farklı yük değerleri için yakıt maliyetinin AF ile değişimi

#### 4. SONUÇLAR

Sunulan yüksek lisans tez çalışmasında; amonyak çözeltisinin % (2, 4, 6, 8 ve 10) oranlarında emme manifoldundan emilen havanın içerisine püskürtüldüğü amonyak fumigasyonunun; farklı devir sayıları ve farklı döndürme momentleri için motor performans parametreleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmada 4 zamanlı, tek silindirli, direkt püskürtmeli ve hava soğutmalı Palmera marka PA-HP170F dizel motoru kullanılmıştır. Sunulan tez çalışmasından elde edilen başlıca sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir. Burada amonyak fumigasyonunun motor karakteristikleri, eksoz emisyonları ve maliyet üzerindeki etkilerine ilişkin sonuçlar sırasıyla sunulmuştur.

- 1) Seçilen amonyak fumigasyonu oranları ve yük değerleri için; özgül yakıt tüketimi, 2200 d/d ve 3000 d/d devir sayılarında genel olarak artmıştır. 2200 d/d devir sayısında özgül yakıt tüketimindeki maksimum artış 2 Nm yük değerinde % 10,31 amonyak fumigasyon oranında % 10,79 düzeyinde olmuştur. 3000 d/d devir sayısında ise özgül yakıt tüketimindeki maksimum artış 8 Nm yük değerinde % 10,07 amonyak fumigasyon oranında % 8,49 mertebesinde belirlenmiştir. Öte yandan 2600 d/d devir sayısı ise motorun en kararlı çalıştığı devir sayısıdır ve söz konusu devir sayısında seçilen yük değerlerinde özgül yakıt tüketimi genel olarak azalma eğilimi göstermiştir. Bu devir sayısında en iyi iyileşme yaklaşık % 5,48 amonyak fumigasyon oranı ve 8 Nm yük durumunda % 7,28 olarak bulunmuştur. Amonyak fumigasyonu için hem motor karakteristikleri ve hem de eksoz gazları açısından en iyi sonuçlar 2600 d/d devir sayısında elde edilmiştir.
- 2) Amonyak fumigasyonu ile efektif verim genel olarak seçilen tüm yük ve devir sayıları için artmıştır. Amonyakın alt ısıl değeri dizel yakıtının ait ısıl değerinden düşük olduğundan efektif verim artmıştır. Efektif verimdeki maksimum artış, 2200 d/d' devir sayısında 6 Nm yük değeri ve % 6,10 amonyak fumigasyon oranı için % 5,24; 2600 d/d' devir sayısında 10 Nm yük değeri ve yaklaşık % 8,5 amonyak fumigasyon oranı için % 15,02 ve 3000 d/d devir sayısında 2 Nm yük değeri ve yaklaşık % 9,67 amonyak fumigasyon oranı için % 11,54 olarak belirlenmiştir.

- 3) Amonyak fumigasyonunun eksoz gazları üzerindeki etkisi seçilen amonyak fumigasyonu oranları için; 2200 d/d'da (2, 4, 6, 8) Nm yük değerleri ve 2600 d/d'da ise yalnızca 6 Nm yük değeri için deneysel olarak incelenmiştir. 2200 d/d'da amonyak fumigasyonu ile özgül yakıt tüketiminin arttığı ve bunun yanında da CO emisyonunun da genel olarak arttığı belirlenmiştir. İlgili devir sayısında CO'daki maksimum artış 6 Nm yük değerinde yaklaşık % 6 AF oranında; % 47 düzeyinde olmuştur. Dizel motorları için önemli kirleticiler arasında yer alan NO<sub>x</sub> ise yine seçilen çalışma koşulları için amonyak fumigasyonu ile genel olarak artmıştır. 2200 d/d'da NO<sub>x</sub>'deki maksimum artış 4 Nm yük değerinde yaklaşık % 11 AF oranında; % 23 düzeyinde olmuştur. Düşük amonyak fumigasyon oranlarındaki artışlar daha azdır. NO<sub>x</sub>'deki artışın; amonyak fumigasyonu ile yanmanın beklenildiği gibi iyileşmemesinden ve amonyağın kapalı formülünde bulunan azottan kaynaklandığı söylenebilir. HC'lerdeki değişimlerin; 4 Nm yük değerinin dışındaki diğer yük değerleri için yaklaşık % 6 AF oranına kadar SDY'ye benzer, yaklaşık % 6 AF oranından sonra ise karasız olduğu belirlenmiştir. 2200 d/d'da AF ile yanmanın istenildiği gibi iyileşmediği ve bunun sonucu olarak hem ÖYT'nin hem de eksoz gazı emisyonlarının arttığı görülmüştür. 2600 d/d ise amonyak fumigasyonu ile CO genel olarak artmıştır. CO oranındaki maksimum artış yaklaşık % 1,5 AF oranı için; % 83 düzeyinde belirlenmiştir. NO<sub>x</sub>'ler de amonyak fumigasyonu ile genel olarak artmıştır. Karışımdaki amonyak fumigasyon oranı arttıkça NO<sub>x</sub>'lerdeki artış oranı daha fazla olmuştur. NO<sub>x</sub>'lerdeki maksimum artış yaklaşık % 10 AF oranında; % 33 mertebesinde bulunmuştur. Söz konusu devir sayısında amonyak fumigasyonu ile HC'lerin de arttığı belirlenmiştir. HC'lerdeki artmanın; amonyak fumigasyonu ile alev sıcaklıklarının azalmasından ve kullanılan amonyak çözeltisi içerisinde su bulunmasından kaynaklandığı söylenebilir. HC'lerdeki maksimum artış yaklaşık % 1,5 AF oranında; % 28,8 düzeyinde olmuştur.
- 4) Amonyak fumigasyonu ile yakıt maliyeti; 2600 d/d'de azalmış, 2200 d/d ve 3000 d/d devir sayılarında ise bazı durumlarda azalmış bazı durumlarda ise artmıştır. 2600 d/d devir sayısında maliyetteki maksimum azalma 8 Nm yük değerinde % 5,48 AF oranında; % 8,87 olarak belirlenmiştir. 2200 d/d'da maliyetteki maksimum artış 2 Nm yük değerinde % 10,31 AF oranında; % 7,25 oranında olmuştur. 3000 d/d devir sayısında ise ÖYT arttığı için amonyağın fiyatının

düşük olmasına karşın söz konusu uygulama pahalı olmuştur. Bu devir sayısında maliyetteki maksimum artış 6 Nm yük değerinde % 2,22 AF oranında; % 5,55 oranında olmuştur.



## 5. ÖNERİLER

1) Sunulan çalışmada; 4 zamanlı, tek silindirli, direkt püskürtmeli ve hava soğutmalı Palmera PA-HP170F marka ve modelinde, tarımsal kullanım amaçlı üretilen, bir dizel motorunda fumigasyon yöntemiyle dizel yakıtına farklı oranlarda amonyak eklenmesinin motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri, farklı devir sayıları ve farklı yükler için deneysel olarak incelenmiştir. Burada sunulan sonuçlar yalnızca bu motor için geçerlidir. Amonyak fumigasyonunun motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini deneysel olarak daha iyi anlayabilmek ve sonuçları daha genelleştirebilmek için farklı sıkıştırma oranları olan değişik tip dizel motorlarında benzer deneylerin yapılması önerilebilir.

2) Sunulan çalışmaya ait deneylerde kullanılan test motoru tarımsal amaçlı üretilen bir dizel motordur ve çalışma devrini düzenleyen dâhili bir devir regülatörüne sahiptir. Bu regülatör, motorun çalışma hızının sabit kalması için belli aralıklar dahilinde gaz konumuna artan ve azalan şekilde kumanda edebilme özelliği taşımaktadır. Bu nedenle ilk etapta belirli gaz durumları şeklinde yapılması düşünülen deneyler, belirli çalışma devirlerini sağlamak üzere uygun yükleme ve gaz ayarları yapılarak gerçekleştirilmiştir. Sabit gaz durumu koşullarının sağlanabildiği bir test motoru kullanılarak sabit gaz ve değişik devirlerde deneylerin yapılması önerilebilir.

3) Sunulan çalışmadaki deneylerde, laboratuvarında mevcut olan eski bir deney düzeneği (küçük deney düzeneği) kullanılmıştır ve söz konusu düzenekteki ölçümler genellikle analog olarak gerçekleştirilmiştir. Bu durum tanımlanamayan bazı ölçüm hatalarına neden olabilir. Bu nedenle yeni deneysel çalışmaların dijital ölçüm sistemlerine sahip modern bir deney düzeneğinde yapılması önerilebilir.

4) Amonyak; doğada normal koşullar altında gaz fazında bulunmaktadır. Amonyakın deneylerde gaz olarak fumigasyon yöntemiyle kullanımı mevcut laboratuvar koşullarında mümkün olmadığı için sulu çözelti ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) halinde kullanılmıştır. Ölçüm büretindeki amonyak sulu çözeltisinin açık hava ortamından ilişkisinin kesilmesi de mümkün olmadığından; suyun içinde çözülmüş olan amonyağın çözelti oranında belirsiz değişimlerin olabildiği düşünülebilir. Bu belirsizliğin mümkün olduğu kadar giderilmesi için deney motorunda yapılacak modifikasyonlar ile amonyağın saf halde kontrollü bir şekilde yanma odasına gönderilmesi sağlanabilir.

Burada yaklaşık olarak (% 25 amonyak + % 75 su) karışimli amonyak sulu çözeltilisi kullanılmıştır. Dolayısı ile aslında saf amonyağın motorlarda kullanımının etkileri belirlenememiştir. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlarda amonyağın etkisinden daha çok suyun etkisinin baskın olduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle yukarıda söylenildiği gibi motorlarda saf amonyak kullanımının etkilerinin belirlenmesi için daha farklı çalışmaların yapılması önerilebilir.

5) Deneysel çalışmada kullanılan amonyak karbüratörün bazı elemanlarının tahrip olmasına ve elemanlar üzerinde tortu birikimlerine neden olmuştur. Bu nedenle ileride amonyak kullanımı ile ilgili yapılacak çalışmalarda, amonyağın emme havasının içerisine püskürtülecek olan karbüratörde veya elektronik kontrollü püskürtme donanımında daha dayanıklı malzemelerin kullanılması önerilebilir.

6) Elektronik kontrollü bir amonyak püskürtme donanımı, motorun özelliklerine göre programlanarak, her çalışma koşulu için en uygun miktarda amonyağın veya amonyak çözeltilisinin püskürtülmesi sağlanabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Abu-Qudais M., Haddad O. ve Qudaisat M., 2000. The Effect of Alcohol Fumigation on Diesel Engine Performance and Emissions, Energy Conversion & Management, 41, 4, 389-399.
- Ayvaz, Y., 1991. Dizel Motorlarında Dizel Yakıtı-Benzin Karışımlarının Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Baliç, F., 2007. Dizel Motorunda Etil Alkol Fumigasyonunun Motor Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Bilgin, A., Durgun, O. ve Şahin, Z., 2002. The Effects of Diesel-Ethanol Blends on Diesel Engine Performance, Energy Sources, 24, 5, 431-440.
- Brohi, E.A., 2014. Ammonia as Fuel for Internal Combustion Engines? An Evaluation of The Feasibility of Using Nitrogen-Based Fuels in ICE, Master's Thesis, Department of Applied Mechanics Division of Combustion Chalmers University of Technology, Sweden.
- Can, Ö., 2014. Combustion Characteristics, Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Fueled with a Waste Cooking Oil Biodiesel Mixture, Energy Conversion and Management, 87, 676-686.
- Ciniviz, M., 2001. Dizel Motorlarında Dizel Yakıtı ve LPG Kullanımının Performans ve Emisyona Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Çakmak, A., 2014. Yakıt Olarak Biyodizel-Dizel Yakıtı Karışımlarının Kullanıldığı Tek Silindirli Bir Dizel Motoruna Ekserji Analizinin Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Dorado, M.P., Ballesteros, E., Arnal, J.M., Gomez, J. ve Lopez, F.J., 2003. Exhaust Emissions From a Diesel Engine Fueled with Transesterified Waste Olive Oil, Fuel, 82, 11, 1311-1315.
- Durgun, O., 1988. Using Ethanol in Spark Ignition Engine, Union of Chambers of Turkish Engineers and Architects-Chamber of Mech. Eng's, 29, 24-26.
- Durgun, O., 1993. Motorlarda Deneysel Yöntemler Laboratuvar Ders Notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Trabzon.
- Durgun, O., 2013a. Yakıtlar ve Yanma Ders Notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Basılmamış, Trabzon.

- Durgun, O., 2013b. İçten Yanmalı Motorlar Ders Notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Basılmamış, Trabzon.
- Durgun, O., 2013c. Motorlarda Deneysel Yöntemler Ders Notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Basılmamış, Trabzon.
- Fayyazbakhsh, A. ve Pirouzfard, V., 2016. Investigating The Influence of Additives-Fuel on Diesel Engine Performance and Emissions: Analytical Modeling and Experimental Validation, Fuel, 171, 167-177.
- Gay, S.E. ve Ehsani, M., 2003. Ammonia Hydrogen Carrier for Fuel Cell Based Transportation, SAE Technical Paper, 01, 2251, 03-26.
- Gill, S.S., Chatha, G.S., Tsolakis, A., Golunski, S.E. ve York, A.P.E., 2012. Assessing The Effects of Partially Decarbonising a Diesel Engine by Co-Fuelling with Dissociated Ammonia, International Journal of Hydrogen Energy, 37, 7, 6074-6083.
- Goldsworthy L., 2013. Fumigation of a Heavy Duty Common Rail Marine Diesel Engine with Ethanol-Water Mixtures, Experimental Thermal and Fluid Science, 47, 48-59.
- Gülüm, M., 2014. Çeşitli Üretim Parametrelerinin Mısır ve Fındık Yağından Üretilen Biyodizellerin Önemli Yakıt Özelliklerine Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Heywood, J.B., 1988. Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, New York.
- Holman JP., 2001. Experimental Methods for Engineers. 7th ed., McGraw-Hill, New York.
- Kahraman, N., Akansu, S.O. ve Albayrak, B., 2007. İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Hidrojen Kullanılması, Mühendis ve Makine, 48, 569, 9-15.
- Kızıltan, E., 1988. Motor Yakıtlarına Alkol Katılmasının Motor Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Krishnan, S.R., Srinivasan, K.K. ve Midkiff, K.C., 2007. Phenomenological Modeling of Low-Temperature Advanced Low Pilot-Ignited Natural Gas Combustion, SAE Technical Paper, 01,0942, 03-16.
- Mathieu, O. ve Petersen, E.L., 2015. Experimental and Modeling Study on The High-Temperature Oxidation of Ammonia and Related NOx Chemistry, Combustion and Flame, 162, 3, 554-570.
- Nişancı, S., 2007. Biyodizel Yakıt Karışımlarının Performans ve Emisyon Üzerine Etkilerinin Deneysel Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.



- Orak, E., 2011. Tek Silindirli Dizel Motorlarda Emme Portuna Su Püskürtmenin, Performans ve Emisyona Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özsezen, A.N., ve Çanakçı, M., 2008. Atık Kızartma Yağından Elde Edilen Metil Esterin Ön Yanma Odalı Bir Dizel Motorda Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 23, 2, 395-404.
- Özsezen, A.N., ve Çanakçı, M., 2009. Biyodizel ve Karışımlarının Kullanıldığı Bir Dizel Motorda Performans ve Emisyon Analizi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15, 2, 173-180.
- Papagiannakis, R.G. ve Hountalas, D.T., 2004. Combustion and Exhaust Emission Characteristics of a Dual Fuel Compression Ignition Engine Operated with Pilot Diesel Fuel and Natural Gas, Energy Conversion & Management, 45, 18, 2971-2987.
- Park, S.H., Youn, I.M. ve Lee, C.S., 2011. Influence of Ethanol Blends on The Combustion Performance and Exhaust Emission Characteristics of a Four-Cylinder Diesel Engine at Various Engine Loads and Injection Timings, Fuel, 90, 2, 748-755.
- Reiter, A.J., 2009. Combustion and Emissions Characteristics of Compression-Ignition Engine Using Dual Ammonia-Diesel Fuel, Master of Science, Iowa State University, Iowa.
- Reiter, A.J. ve Kong, S.C., 2011. Combustion and Emissions Characteristics of Compression-Ignition Engine Using Dual Ammonia-Diesel Fuel, Fuel, 90, 1, 87-97.
- Ryu, K., Zacharakis-Jutz G.E. ve Kong S.C., 2013. Effects of Fuel Compositions on Diesel Engine Performance Using Ammonia-DME Mixtures, SAE Technical Paper, 01, 1133, 1-6.
- Ryu, K., Zacharakis-Jutz, G.E. ve Kong, S.C., 2014a. Effects of Gaseous Ammonia Direct Injection on Performance Characteristics of a Spark-Ignition Engine, Applied Energy, 116, 206-215.
- Ryu, K., Zacharakis-Jutz, G.E. ve Kong, S.C., 2014b. Performance Enhancement of Ammonia-Fueled Engine by Using Dissociation Catalyst for Hydrogen Generation, International Journal of Hydrogen Energy, 39, 5, 2390-2398.
- Soysal, C., 2008. Dizel Motorlarında Biyodizel-Dizel Yakıtı Karışımlarının Kullanılmasının Motor Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Starkman, E.S., James, G.E. ve Newhall, H.K., 1968. Ammonia as a Diesel Engine Fuel: Theory and Application, Society of Automotive Engineers, 76, 3193-3212.

- Subramanian, K.A., 2011. A Comparison of Water-Diesel Emulsion and Timed Injection of Water Into The Intake Manifold of a Diesel Engine for Simultaneous Control of NO and Smoke Emissions, Energy Conversion and Management; 52, 2, 849-857.
- Sürmen, A., Karamangil, M.İ. ve Arslan, R., 2004. Motor Termodinamiği, Alfa Akademi Ltd. Şti., İstanbul.
- Şahin, Z., Durgun, O. ve Bayram, C., 2008. Experimental Investigation of Gasoline Fumigation in a Single Cylinder Direct Injection (DI) Diesel Engine, Energy, 33, 8, 1298–1310.
- Şahin, Z. ve Durgun, O., 2009. Dizel Motorları İçin Klasik ve Alternatif Yakıtlar ve Kullanım Yöntemleri, 17. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Sivas.
- Şahin, Z., Durgun, O. ve Kurt, M., 2009. Turboşarjlı Ön Yanma Odalı Bir Dizel Motorunda Etanol Fumigasyonunun Deneysel İncelenmesi, TÜBAV Bilim Dergisi, 2, 4, 446-461.
- Şahin, Z., Durgun, O. ve Bayram, C., 2012. Experimental Investigation of Gasoline Fumigation in a Turbocharged IDI Diesel Engine, Fuel, 95, 113-121.
- Şahin, Z. ve Aksu, O.N., 2015. Experimental Investigation of the Effects of Using Low Ratio n-Butanol/Diesel Fuel Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in a Turbocharged DI Diesel Engine, Renewable Energy, 77; 279-290.
- Şahin, Z., Durgun, O., ve Kurt, M., 2015. Experimental Investigation of Improving Diesel Combustion and Engine Performance by Ethanol Fumigation-Heat Release and Flammability Analysis, Energy Conversion and Management, 89, 175-187.
- Thomas, G. ve Parks, G., 2006. Potential Roles of Ammonia in a Hydrogen Economy, Raport Published by U.S. Department of Energy, 23s.
- Tiryaki, D., 2008. Benzin Motorlarında Emme Havaına Su Eklenmesinin Motor Performansına ve Eksoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Tuti, M., 2012. Dizel Motorlarında Emme Havaı İçerisine Su Eklenmesinin Motor Karakteristikleri ve Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Udayakumar, U., Sundaram, S. ve Sriram, R., 2003. Reduction of NOx Emissions by Water Injection Into The Inlet Manifold of a DI Diesel Engine. SAE Technical Paper, 01, 0264, 3-8.
- Votsmeier, M., Kreuzer, T. ve Lepperhoff, G., 2003. Automobile Exhaust Control: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Online Published, DOI: 10.1002/14356007.a03-189.

Yiğit, A., 2008. Bir Dizel Motorda LPG Kullanılması ve Farklı Özellikteki Pilot Dizel Yakıtının Motor Performans ve Emisyonuna Etkisinin İncelenmesi, Bilim Uzmanlığı Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

Yurttaş, İ.İ., 2013. Hidrojene Amonyak İlavesinin İçten Yanmalı Motorlarda Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

Zamfirescu, C. ve Dincer, I., 2008. Using Ammonia as a Sustainable Fuel, Journal of Power Sources, 185, 1, 459–465.

URL-1, <http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-rezervleri>, 13 Ocak 2016.

URL-2, <http://www.oknal.com.tr/urunler/endustriyel-gazlar/amonyak.aspx>, 13 Ocak 2016.

URL-3, <http://www.msxlab.org/forum/kimya/198993-amonyak-ve-kullanim-alanlari.html>, 13 Ocak 2016.

URL-4, [http://nh3fuel.files.wordpress.com/2012/05/olson\\_2008.pdf](http://nh3fuel.files.wordpress.com/2012/05/olson_2008.pdf), 13 Ocak 2016.

URL-5, <http://www.douglas-self.com/MUSEUM/POWER/ammonia/ammonia.htm>, 13 Ocak 2016.

## ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Rize ili, Ardeşen ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ardeşen’de tamamladı. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü’nden 2011 yılında mezun olup Makina Mühendisi ünvanı aldı. 2011-2012 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2013 yılında Anadolu Üniversitesi İşletme Bölümünden de mezun oldu ve halen KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Bilim Dalında yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.

