

**T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEK SİLİNDİRLİ DİZEL MOTORDA YAKITA ÜRE
İLAVESİNİN MOTOR PERFORMANS VE EMİSYON
DEĞERLERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AVNİ KOZAN

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TEZ DANIŞMANI
Dr. Öğr. Üyesi Üsame DEMİR**

**İKİNCİ TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Salih ÖZER**

BİNGÖL-2022

ÖNSÖZ

Dizel yakıtların özellikle ağır taşıtlar başta olmak üzere, günümüzde kullanımı ve talepleri oldukça artmıştır. Bu artışla beraber dizel motorların verimliliği ve çalışma sistemleri hakkında oldukça merak uyandıran çalışmalar ortaya çıkmıştır. Başta ülkemiz olmak üzere, gelişmiş ülkelerde dahil bu pazarın içinde sıkı bir rekabete kapılmış ve bunun yanı sıra bu rekabet, dizel motorların anlaşılmasında ve geliştirilmesinde oldukça önemli bir rol izlemiştir.

Dizel yakıtların egzoz emisyonu, yakıt maddeleri ve performansı üzerine gerekli araştırmalar yapılmış ve bu araştırmalar yeni sonuçlar doğurmuştur. Dizel yakıt üzerine yaptığımız bu çalışmada, amaç dizel motoruna eklenen üre kimyasalının etkisi değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada yardımını asla esirgemeyen ve her daim destek olan, emeklerinden ve sabrından dolayı sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Üsame DEMİR'e, deney çalışmalarında sürekli yanımızda olan ve bize desteğini karşılıksız sunan, gerekli analizlerin ve raporların yazımında büyük katkısı olan sayın hocamız Doç. Dr. Salih ÖZER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Avni KOZAN

Bingöl 2022

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Üre'nin Tarihi ve Kimyasal Özellikleri	2
1.2. Dizel Motorlarının Tanımı, Önemi ve Çalışma Alanları.....	3
1.2.1. Avantajları	4
1.2.2. Dezavantajları	4
1.3. Dizel Motorlarının Çalışma Prensibi	4
1.3.1. Emme Zamanı.....	4
1.3.2. Sıkıştırma Zamanı.....	5
1.3.3. Ateşleme Zamanı	5
1.3.4. Egzoz Zamanı	5
1.3.5. Dizel Motorlarında Yanma	5
1.3.6. Tutuşma Gecikmesi	6
1.3.7. Kontrolsüz(Hızlı) Yanma	7
1.3.8. Kontrollü Yanma	7
1.3.9. Gecikmiş Yanma	7
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM	31
3.1. Ürenin çözeltisinin Labaratuvar Ortamında Hazırlanış Evresi.....	31

3.2. Motor ve Test Düzenekinin Kurulumu	32
3.3. Deney Motorunun Yükleme Aşamaları	33
3.4. Silindir İçi Basınç Ölçümü	33
3.5. Yakıt Hattı Basınç Ölçümü	34
3.6. Motor Krank Açısı Ölçümü	36
3.7. Egzoz Gazı Sıcaklık Ölçülmesi	37
3.8. Yakıt Tüketim Değerinin Ölçülmesi	38
3.9. Motor Test Verilerinin Kontrolü ve Kaydedilmesi	39
 4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	 42
4.1. Dizel ve Dizel+%5 AdBlue karışımı	43
4.1.1. Silindir İçi Basınç Değerleri	43
4.1.2. Isı Yayılım Oranı	45
4.1.3. Kümülatif Isı Yayılımı.....	48
4.1.4. Basınç Artış Oranı	50
4.1.5. CO Emisyonu	53
4.1.6. CO ₂ Emisyonu	54
4.1.7. NO _x Emisyonu.....	55
4.1.8. Egzoz Gazı Sıcaklığı	56
4.1.9. O ₂ Emisyonu.....	57
4.1.10. HC Emisyonu	58
4.1.11. Partikül Emisyonu	59
4.1.12. Fren Özgül Yakıt Tüketimi.....	60
4.2. Dizel ve Dizel+%5 Üre Karışımı.....	61
4.2.1. Silindir İçi Basınç Değerleri	61
4.2.2. Isı Yayılım Oranları.....	64
4.2.3. Kümülatif Isı Yayılımı.....	67
4.2.4. Basınç Artış Oranı	69
4.2.5. CO Emisyonu	71
4.2.6. CO ₂ Emisyonu	71
4.2.7. NO _x Emisyonu.....	72
4.2.8. Egzoz Gazı Sıcaklığı	73
4.2.9. O ₂ Emisyonu.....	74
4.2.10. HC Emisyonu	75

4.2.11. Partikül Emisyonu	75
4.2.12. Fren Özgöl Yakıt Tüketimi.....	76
4.3. Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit Karışımı.....	77
4.3.1. Silindir İçi Basınç Değerleri	77
4.3.2. Isı Yayılım Oranları.....	80
4.3.3. Kümülatif Isı Yayılımı.....	82
4.3.4. Basınç Artış Oranı	84
4.3.5. CO Emisyonu	86
4.3.6. CO ₂ Emisyonu	86
4.3.7. NO _x Emisyonu.....	87
4.3.8. Egzoz Gazı Sıcaklığı	88
4.3.9. O ₂ Emisyonu.....	89
4.3.10. HC Emisyonu	90
4.3.11. Partikül Emisyonu	91
4.3.12. Fren Özgöl Yakıt Tüketimi.....	92
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	94
KAYNAKLAR	96
ÖZGEÇMİŞ	99

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

NO _x	: Azot Oksit
CO	: Karbon Mono Oksit
CO ₂	: Karbon Di Oksit
HC	: Hidro Karbon
kW	: Kilowatt
J	: Joule
°C	: Celsius
KMA	: Krank Mili Açısı
PPM	: Milyonda Bir
mg	: Miligram
g	: Gram
m ³	: Metreküp
kWh	: Kilowatt saat
H ₂ N-CO-NH ₂	: Üre
NH ₃	: Amonyak
cm ³	: Santimetreküp
kVA	: Kilovolt
Hz	: Hertz
V	: Volt
DC	: Doğru Akım
kHz	: Kilo Hertz
MHz	: Mega Hertz
AC	: Alternatif Akım
mV	: Mili Volt
GS	: Giga Siemens
S	: Saniye
MS	:: Mega Siemens

Ms : Mikro Saniye
SCR : Selektif Katalitik Reaktör
ppm : Parts Per Million (milyonda bir parça



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Dizel motorlarda yanma diyagramı.....	6
Şekil 3.1.	Silindir içi basınç sensörünün deney motoruna montajı	34
Şekil 3.2.	Yakıt hattı basınç sensörü ara bağlantı parçasının yakıt hattı borusuna montajı	35
Şekil 3.3.	Encoderın Puls diyagramı	36
Şekil 3.4.	Encoverin motor üzerine montajı.....	37
Şekil 3.5.	Deney düzeneği üzerinde termokupl montajının gösterimi	38
Şekil 3.6.	RADWAG PS 6000, R2.H marka hassas terazi.....	38
Şekil 3.7.	PicoScope marka 2406B Model 4 kanallı Osiloskop görüntüsü	39
Şekil 3.8.	Osiloskoptan elde edilen verilerin anlık görüntüsü.....	40
Şekil 3.9.	Deney düzeneyi genel görünüm.....	41
Şekil 3.10.	Deney düzeneği şematik görünüm	41
Şekil 4.1.	Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için silindir içi basınç değerleri ...	44
Şekil 4.2.	Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için ısı yayılım oranları	46
Şekil 4.3.	Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için kümütatif ısı yayılımı	49
Şekil 4.4.	Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için basınç artış oranı	51
Şekil 4.5.	Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için CO emisyonu	53
Şekil 4.6.	Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için CO ₂ emisyonu	54
Şekil 4.7.	Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için NO _x emisyonu.....	55
Şekil 4.8.	Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için egzoz gazı sıcaklıkları	57
Şekil 4.9.	Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için O ₂ emisyonu.....	57
Şekil 4.10.	Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için HC emisyonu	58
Şekil 4.11.	Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için partikül emisyonu.....	59
Şekil 4.12.	Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için silindir içi fren özgül yakıt tüketimi	60
Şekil 4.13.	Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için silindir içi basınç değerleri	62

Şekil 4.14.	Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için ısı yayılım oranları	65
Şekil 4.15.	Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için kümütatif ısı yayılımı	68
Şekil 4.16.	Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için basınç artış oranları	70
Şekil 4.17.	Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için CO emisyon değerleri	71
Şekil 4.18.	Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için CO ₂ emisyon değerleri	72
Şekil 4.19.	Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için NO _x emisyon değerleri.....	73
Şekil 4.20.	Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için egzoz gazı sıcaklık değerleri .	73
Şekil 4.21.	Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için O ₂ emisyon değerleri.....	74
Şekil 4.22.	Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için HC emisyon değerleri	75
Şekil 4.23.	Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için partikül emisyon değerleri	76
Şekil 4.24.	Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için silindir için fren özgül yakıt tüketim değerleri	77
Şekil 4.25.	Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için silindir içi basınç değerleri	78
Şekil 4.26.	Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için ısı yayılım oranları	81
Şekil 4.27.	Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için kümütatif ısı yayılım değerleri	83
Şekil 4.28.	Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için basınç artış oranları	85
Şekil 4.29.	Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için CO emisyon değerleri.....	86
Şekil 4.30.	Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için CO ₂ emisyon değerleri.....	87
Şekil 4.31.	Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için NO _x emisyon değerleri.....	88
Şekil 4.32.	Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için egzoz gazı sıcaklık değerleri.....	89
Şekil 4.33.	Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için O ₂ emisyon değerleri.....	90
Şekil 4.34.	Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için HC emisyon değerleri.....	91

Şekil 4.35. Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için partikül emisyon değerleri.....	92
Şekil 4.35. Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için fren özgül yakıt tüketim değerleri	93



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Tablo 2.1. Sembol ve birimler	22
Tablo 3.1.	GENPOWER GDG 7000 jeneratörünün teknik özellikleri	32
Tablo 3.2.	Kistler 4065B0200DS1-2,0 silindir içi basınç sensörü özellikleri	33
Tablo 3.3.	Oprant AutoPSI basınç sensörü	35
Tablo 3.4.	FNC 50B artımlı optik encoder teknik özellikleri	36
Tablo 3.5.	PicoScope marka 2406B Model 4 kanallı Osiloskop teknik özellikleri	40

TEK SİLİNDİRLİ DİZEL MOTORDA YAKITA ÜRE İLAVESİNİN MOTOR PERFORMANS VE EMİSYON DEĞERLERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde artan araç sayısı ile birlikte egzoz emisyonu çok önemli bir konu haline gelmiştir. Zorunlu olarak motorlara getirilen emisyon sınırlamaları nedeniyle motor üreticileri Ar-Ge çalışmaları yapmaktadır. Özellikle dizel motorlarda NO_x emisyonunu azaltmak için Selective Catalytic Reactor ve AdBlue püskürtme sistemleri kullanılmaya başlamıştır. Bu nedenle dizel motorlarda ikinci bir enjektör ile emisyonu düşürmek için egzoz manifoldun da AdBlue püskürtülmektedir. Bu çalışmada dizel tek silindirli bir motorda emisyonları düşürmek için egzoz manifolduna AdBlue püskürtmek yerine, dizel yakıtı katkı olarak ticari AdBlue, Üre ve saf su karışımı ve üre, saf su ve sitrik asit karışımları eklenmesinin egzoz emisyonu ve motor performansına etkisi incelenmiştir. 8 farklı yükte dizel ve 3 farklı yakıt katkılarının etkisini inceleyebilmek için silindir içi basınç, egzoz gaz sıcaklığı, yakıt tüketimi, hava tüketim ve egzoz emisyonları deneysel olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak dizele katkı olarak eklenen karışımların yanmayı kötüleştirmesine rağmen özellikle CO, HC ve NO_x emisyonunda iyileşme sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Dizel motora sitrik asit AdBlue ve üre eklenmesi, motor performansı, motor emisyonları, dizel motor, üre katkılı yakıt karışımı.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF UREA ADDITION TO THE FUEL ON ENGINE PERFORMANCE AND EMISSION VALUES IN A SINGLE CYLINDER DIESEL ENGINE

ABSTRACT

Today, with the increasing number of vehicles, exhaust emissions have become a very important issue. Due to the emission limitations imposed on the engines, engine manufacturers carry out R&D studies. Especially in diesel engines, Selective Catalytic Reactor and AdBlue injection systems have started to be used to reduce NO_x emissions. For this reason, AdBlue is sprayed in the exhaust manifold to reduce emissions with a second injector in diesel engines. In this study, the effect of adding commercial AdBlue, urea and pure water mixture and urea, pure water, and citric acid mixtures as an additive to diesel fuel, instead of spraying AdBlue to the exhaust manifold in order to reduce emissions in a diesel single-cylinder engine, on the exhaust emission and engine performance was investigated. In order to examine the effects of diesel and 3 different fuel additives at 8 different loads, in-cylinder pressure, exhaust gas temperature, fuel consumption, air consumption and exhaust emissions were measured experimentally. As a result, although the mixtures added to the diesel as additives worsened the combustion, especially CO, HC and NO_x emissions improved.

Keywords: Adding citric acid AdBlue and urea to diesel engine, engine performance, engine emissions, diesel engine, urea additive fuel mixture.

1. GİRİŞ

Öncelikle AdBlue'nun çalışma sisteminin yakıtta kullanılacak olan sıvı üreyle aynı olmadığını anlamak gerekmektedir. Dünyada ağır vasıta olarak tanımlanan taşıtların kullanımı oldukça artmış ve bu durum dizel motorlarda çevre kirliliğine fazlasıyla sebep olmuştur. AdBlue mantığı ekolojik olarak düşünülmüş ve egzoz gazından çıkan zararlı gaz karışımlarına engel olmak amaçlanmıştır. Günümüzde binek araçlarda da sıklıkla kullanılmaya başlanmış ve ekolojiye katkısı oldukça artmıştır. Bu sebeple AdBlue'nun çalışma mantığı iyi anlaşılmalıdır. Silindirler içinde sıkıştırılan yakıt-hava karışımının yanması ile elde edilen NO_x , CO (karbon monoksit) ve yanmamış hidrokarbon zengini zehirli gazlar, katalitik konvertöre girerek CO gazına ve yanmamış CO_2 gazı ile birlikte suya dönüşürler. Lakin NO_x gazı filtre edilemez. Bunun için Selective Catalytic Reactor (SCR) sistemi kullanılır. Katalitik konvertörden çıkan bu gazlar SCR sistemine girmeden hemen önce üzerlerine AdBlue sıvısı püskürtülür. Daha sonra SCR sistemine girer ve buradan zararsız nitrojen gazı ve su buharı olarak çıkarlar. Zehirli CO ve NO_x bileşenleri büyük oranda CO_2 , nitrojen ve su buharına dönüştükten hemen sonra egzoz gazına dönüşürler. Buradan egzoz gazı içinde bulunan zararlı partiküllerin filtre edilmesi için partikül firtresine girerler. Partiküller gazlardan arandıktan sonra CO_2 , nitrojen ve su buharı olarak egzoz borusundan atmosfere yayılır. Bu işlem sonucunda zehirli gazların neredeyse %90 ı filtre edilerek çevreye ve ekolojiye verilecek olan zarardan kurtulmuş olunur. Çalışmamızda üç adet yakıt karışımı dizel motorlu jeneratöre ayrı ayrı verilmiş ve bu jeneratöre bağlı olan projektörler sırayla bağlanarak çalıştırılmıştır. Egzoz gazına termokupl bağlanarak sıcaklık ölçümü yapılmış, silindir içine yerleştirilen sensör ile silindir içi basınç değerleri ölçülmüş ve osiloskop yardımıyla Krank açısı değerleri ölçülmüştür. Bu çalışmada içten yanmalı tek silindirli dizel bir motorda dizel yakıtına karışım olarak %50 üre %50 saf su karışımı, ticari olarak satılan AdBlue içerik olarak %30 Üre-%70 saf su olan ve %50 üre %48 saf su ve %2 sitrik asit içeren üç farklı karışımın eklenmesi ile motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir.

Literatür incelendiğinde ürenin egzoz manifoldunda yanmış gazlara püskürtülmesi ile NO_x emisyonları ve diğer önemli egzoz gazlarını düşürülmeye çalışıldığı anlaşılmaktadır. Buda motor üreticileri için ekstra bir masraf ve tüketiciler için hem motorin hem de AdBlue olarak karmaşaya sebep olmaktadır. Bu karmaşayı gidermek için bu çalışmada dizel yakıtta katkı olarak ürenin ilavesinin etkileri incelenmiştir.

1.1. Üre'nin Tarihi ve Kimyasal Özellikleri

Latince ismi Urea Pura olan ve H₂N-CO-NH₂ (Karbonik Asidin Diamidi) kimyasal formülüne sahip organik maddedir. Karbamik Asidin De Amidi veya Karbamid isimleriyle de bilinmektedir.

Üre tarihte ilk defa 1773 yılında keşfedilmiştir. Ancak bilimsel ve deneysel olarak laboratuvar ortamında 1828 yılında ilk sentezleyen kimyacı Wöhler tarafından keşfedilmiştir. Keşfedildiğinden bu zamana kadar 50'den fazla tepkimede neredeyse hep bir ürün olarak sentezlenmiştir. Gübre ve hayvan yemi olarak tarım endüstrisinde, ilaç ve tıbbi malzemelerin yanı sıra plastik yapımında dahil birçok üretimde kullanılmaktadır. Üre asit ve tuzlarla kimyasal tepkime sonucu bileşikler oluşturabilmektedir. Asitler ile girdiği tepkimelerin bazılarında, kondensasyon ürünü veya ürediler oluşturmaktadır. Naftalin ve türevleriyle girdiği tepkimelerde oluşan bileşikler aynı zamanda terapi işlemlerinde de kullanılmaktadır. Boya endüstrisi içinde olmazsa olmaz olan üre, bitkiler için aynı zamanda iyi bir besin kaynağıdır. Savunma sanayinde, gübre nitrik asit ile tepkimelerinde patlayıcı madde olan nitrat adı verilen tuzu oluşturmaktadır. Üre, azot içerikli organik bileşiklerin yapıları için oldukça önemlidir. Memelilerin idrarlarında temel azot içeren maddedir. Kokusuzdur ve renksizdir. Suda çok iyi çözünür ve toksik içermez. Vücut, metabolizmadaki birçok proste ve azot atılımında kullanır. Karaciğer üre döngüsü için, amonyak ve karbondioksit molekülünü birleştirerek üreyi oluşturur. Üre, azot kaynağı olarak gübre üretiminde oldukça yaygın kullanılır ve kimya endüstrisi için önemli bir hammaddedir.

Üre, kimya biliminde laboratuvar ortamında sentezlenir. Aynı zamanda biyolojik olarak da vücudun ürettiği bir maddedir. Kullanım alanına ve özelliklerine değinecek olursak;

- Üre, iki ana sınıf malzemeyi üretmek için kullanılan hammaddedir. Bunlar: Üre-formaldehit reçineler ve deniz kontrplaklarında kullanılan üre-melamin-formaldehittir.
- Üre, endüstriyel olarak patlayıcı malzeme ve kimyasal üretmek için kullanılan üre-nitrat bileşimini elde etmek için kullanılır.
- Dünyadaki endüstriyel üre üretiminin %90'ından fazlası, azot bazlı gübreler olarak için üretilmektedir.
- Üre, azotlu gübreler arasında en yüksek azot oranına sahiptir. Bu nedenle besin maddelerinin taşınmasını kolaylaştırır.
- Çimlenme olasılığı nedeniyle sondaj tohum ile temas halinde olmamalıdır.
- Üre, tarım alanında sılama sistemleri sayesinde rahatlıkla çözünür.
- Tahıl ve pamuk ekinlerinde, üre ekimden önce ve son ekim esnasında uygulanır. Yüksek yağış alan bölgelerde ve kum bazlı topraklarda yağışın çok olması durumunda mera, yem bitkileri ve şeker kamışı gibi ürünlerin üretiminde oldukça verimli sonuç alınabilir.
- Sulama işleminden sonra üre bazlı gübreler toprağa susuz uygulanabilir. Islak olan toprakta kendi ağırlığı ile suda çözünür. Fakat yoğunluğu arttıkça bu çözünme olayı zorlaşır. Suda eritilme işlemi uygulanırsa üre, endotermik bir ürün haline dönüşür ve çözülme sıcaklığı eriyene kadar düşer.

1.2. Dizel Motorlarının Tanımı, Önemi ve Çalışma Alanları

Dizel motor, sınıflama olarak içten yanmalı ve öteleme hareketi yapan motor sınıfına görmektedir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan içten yanmalı ve öteleme hareketi yapan sıkıştırırmalı ateşlemeli ve buji ateşlemeli motor olarak iki tür mevcuttur. Bunlardan özellikle ağırlık ve kuvvetin daha çok talep edildiği araçlarda yaygın bir şekilde dizel motor kullanılmaktadır. Sistem olarak benzinli motorlara benzemektedir. Her iki motor da içten yanmalı motorlardır, yani silindirlerdeki yakıt-hava karışımını yakarlar. Parçalarının çoğu birbirine benzer. Dizel motor özellikle torkun yani çekiş gücünün talep edildiği özellikle ağır vasıta araçlarda yaygın bir şekilde kullanılmakla birlikte günümüzde binek araçlarda da kullanılmaktadır.

1.2.1. Avantajları

Dizel motorlar diğer motorlarla kıyaslandığında bazı avantajlara sahiptir. Bu avantajları değinecek olursak;

Tüm içten yanmalı motorlar arasında yüksek sıkıştırma oranı sayesinde en yüksek etkin verime sahiptir. Dizel motor çok çeşitli yakıtları yakabilir ve düşük yakıt maliyeti sunar, ekonomiktir. Yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Yağlama sistemi çok iyidir. Yanıcı buhar üretilmediği için, yanma ve hasar görme riski daha düşüktür. Yakıt doğrudan yanma odasına püskürtüldüğü için, hava filtreleri dışında hava girişi kesinlikle olmaz. Benzinli motora kıyasla HC ve CO emisyonları açısından çok iyi egzoz emisyonları sunmaktadır.

1.2.2. Dezavantajları

Genel olarak dizel motorların dezavantajları; dizel motorlu taşıtların satış fiyatlarının yüksekliği, yakıt sistemlerinin daha hassas olması, benzinli motorlara göre gürültülü ve sarsıntılı çalışması (günümüzde dizel motorlarında gürültü azaltılmıştır), bakım masraflarının benzinli motora göre daha yüksek olmasıdır. Ayrıca NO_x emisyonu açısından hava kirliliği sebebiyle çoğu ülke tarafından özellikle şehir merkezlerinde kullanılmasına kısıtlama getirilmiştir.

1.3. Dizel Motorlarının Çalışma Prensibi

1.3.1. Emme Stroku

Emme zamanında, piston üst ölü noktadan, alt ölü noktaya doğru hareket ederken emme supabı açılır. Pistonun alt ölü noktaya hareket etmesiyle piston silindiri içerisinde hacim artacağından dolayı piston üstünde alçak bir basınç durumu görülür. Açık hava basıncının, 1 bar olması durumunda emme manifold yolunu ve emme supabı yolu yardımıyla silindire dolar. Emme zamanı sonunda yanma odası içindeki basınç; 0,7-0,9 bar olmakla birlikte sıcaklık 80 -120 °C aralığında görülür. Piston alt ölü noktaya geldiği zaman emme açılma avansı bulunmaması durumunda emme supabı kapanır. Dizel motorlarda emme zamanında manifold ve porttan silindire sadece hava emilir. Böylece emme zamanı tamamlanır.

1.3.2. Sıkıştırma Stroku

Piston alt ölü noktadan üst ölü noktaya doğru hareketiyle emme supabı kapanır ve piston, silindir içerisindeki havayı sıkıştırmaya başlar. Havanın sıkıştırılması nedeninden dolayı basınç ve sıcaklık değerlerinde artış meydana gelir. Sıkıştırma sonunda piston silindiri içerisindeki hava basıncı 30-45 bar, sıcaklığı ise 600-900 °C derece aralığına kadar yükselmiş olur.

1.3.3. Genişleme Stroku

Sıkıştırma sonunda piston üst ölü noktaya ulaşırken basınç ile sıcaklığı artmış olan havanın üzerine enjektör sisteminden dizel yakıt püskürtülür ve püskürtme sonucu yanma olayı başlar. Yanma olayı sonucunda açığa çıkan basınç kuvveti pistonu etkileyerek, pistonu hızlı bir şekilde aşağıya doğru itiş hareketi yapar. Yanma başladığında silindir içerisindeki basınç değeri 60-80 bar sıcaklık değeri 2000 °C dir.

1.3.4. Egzoz Stroku

Ateşleme sonunda piston alt ölü noktaya geldiği anda motorun yeni bir çevrime başlayabilmesi için silindir içerisindeki yanmış gazların dışarıya atılması gerekmektedir. Egzoz supabı açıldıktan sonra piston alt ölü noktadan üst ölü noktaya hareket ederek yanmış gazlar egzoz supabından atılabilmesi için egzoz manifolduna gönderilir. Ekzoz zamanının sonunda basınç değeri 3-4 bar ve sıcaklık değeri 80-120 °C'dir.

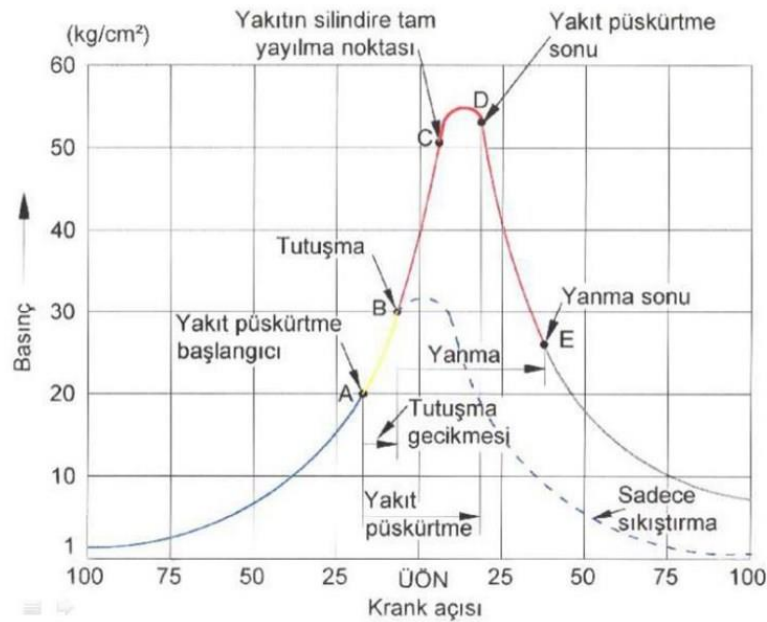
1.3.5. Dizel Motorda Yanma Safhaları

Yanma olayı; oksijenin yakıcı özelliğinden dolayı yakıt ile birleşerek su ve karbondioksit açığa çıkması olayıdır. Tepkime sırasında ısı açığa çıkar. İçten yanmalı motorlar, kimyasal tepkime ile ortaya çıkan ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştürürler. Dizel motorlarında yanma; sıkıştırma zamanı sonuna doğru silindire emme zamanında alınan havanın sıcaklığı yaklaşık olarak 600-900 C° 11 yükseltilmesiyle, sıcaklığı ve basıncı artan havanın üzerine enjektör tarafından dizel yakıtın püskürtülmesi sonucu gerçekleşir (Avrupa standartlarına

göre yanma sonunda oluşan eksoz emisyonlarını kontrol altına almak için taşıt motorları Euro 4 normlarına uygun olarak üretilmelidir). Yanma olayı:

- Tutuşma gecikmesi
- Kontrolsüz yanma (Hızlı yanma)
- Kontrollü yanma
- Gecikmiş yanma olmak üzere dört aşamada gerçekleşir.

Dizel motorlarda yanma diyagramı Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Dizel motor yanma diyagramı

1.3.6. Tutuşma Gecikmesi

Sıkıştırma zamanı sonunda silindir içine püskürtülen dizel yakıtın tutuşması hemen gerçekleşmemektedir. Tutuşma olabilmesi için oksijenle karışıp sıcaklığın yükselmesi gerekir. Bu sebeple, enjektörün dizel yakıtı silindir içine püskürtmesinden ilk kıvılcımın olduğu zamana kadar geçen süreye tutuşma gecikmesi denir. Şekilde 1.1’de görüldüğü gibi, A-B arasında gösterilen bu gecikme süresi 2000d/d ile çalışan bir motorda 0,0009 saniyedir.

1.3.7. Kontrolsüz (Hızlı) Yanma

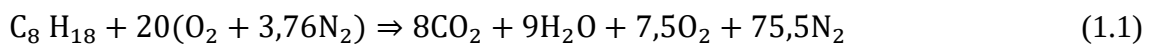
Tutuşma gecikmesi süresi içerisinde silindir içine püskürtülen dizel yakıt ısınarak oksijenle karışıp buharlaşır. İlk kıvılcım oluştuğu anda, dizel yakıtın hepsi bir yanma olayına girer ve hızlı bir yanma olayı meydana gelir. Hızlı yanma, silindir içindeki basıncın aniden yükselmesine ve motor parçaları arasında bulunan boşluklara kuvvet uygulayarak motorun vuruntulu ve sert çalışmasına sebep olur. Bu vuruntu, dizel vuruntusu olarak bilinir. Günümüzde bu vuruntunun azaltılması için yapılan çalışmalar, başlangıçta püskürtülen yakıt miktarının düşürülmesi için kademeli püskürtme yöntemi ile ilgilidir. Şekil 1.1’de B-C arasında bu durum görülebilmektedir.

1.3.8. Kontrollü Yanma

Kontrolsüz yanma sonunda silindir içerisindeki basınç ve sıcaklık, püskürtülen dizel yakıtı direk yakabilecek değerlere ulaşırlar. Bu nedenle püskürmeye devam eden dizel yakıt gecikmeye girmeden yanar ve basınç değeri en yüksek noktaya erişene kadar yükselir. Şekil 1.1’de C-D arasında bu durum gösterilmiştir.

1.3.9. Gecikmiş Yanma

Dizel motorlarda yakıtın püskürtülmesi piston üst ölü noktaya yaklaşırken başlar ve piston üst ölü noktaya varmadan önce biter. Yanma piston üst ölü noktaya varmadan başlar ve piston alt ölü noktaya doğru ilerlerken devam eder. Yanma üst ölü noktayı geçtikten hemen sonra bitmesi istenir. Fakat yanmamış yakıtların genişleme strokunda oksijenle tepkimeye girerek yanmaya devam eder. Bu yanmamış yakıtın üst ölü noktadan sonra yanma işlemine gecikmiş yanma denir. Şekil 1.1’de D-E aralığında bu durum gösterilmiştir. Benzin ve motorin yakıtları içerisinde en çok bulunan ve izo-oktan olarak bilinen yakıtın kimyasal yanma denklemi aşağıda gösterilmiştir.



Bu bölümde deney süresince kullandığımız ürenin kimyasal özelliği ve dizel motorlar hakkında öncü bilgilendirme yapılması amaçlanmıştır. Deney hakkında gerekli bilgiler ve süreç işlemleri açıklanarak tüm değerler ve analizler ilerleyen bölümlerde sunulacaktır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Seçici Katalitik İndirgeme (SCR) teknolojilerinin hafif binek ve ticari araçlara hızlı bir şekilde uygulanması, büyük ölçüde damlacık teorisinin çalışma alanıyla ilgili, güven sorunu oluşturan bazı temel araştırmaların yapılmamasına yol açmıştır (Yarusevych and Van Der Geld 2019). SCR testleri laboratuvar ortamında örnek olarak, AdBlue ve NH_3 karıştırılırken, 250 ve 400 ° C arasında birbirine en yakın performans gösteren ticari bir $\text{V}_2\text{O}_5 / \text{WO}_3 / \text{TiO}_2$ petek katalizörü ile yapılabilmektedir. Yapılan bir deneyde, 200 ° C'nin altında, üre-SCR'nin aktivitesi, ürenin dönüşümü ve motor çeperini kaplayan tortuların, NH_3 -SCR ile yapılan deneylerden açıkça daha az görüldüğü ortaya çıkmıştır. ATR-IR analizleri, bu tortuların ürenin yanı sıra, izosiyanik asidin yan reaksiyonlarından kaynaklanan siyanürik asitten oluştuğunu kanıtlamıştır. Dahası, üre-SCR'nin sıcaklığının arttırılmasından sonra birikintilerin ve tortuların esas olarak siyanürik asitten kaynaklandığı ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak bu deney çalışması, dizel egzozdaki güvenilirlikle birleştirilerek, motor içinde de dinamik ayrışma veya başka bir deyişle ürenin nasıl davranacağı hakkında bilgi sağlamıştır. (Roppertz et al. 2017). Üre deneyinin ek olarak CFD sistemi dahilinde de uygulandığı görülmektedir. Modelleme seçimlerinin üre-SCR sistemlerinin Euler-Lagrangian CFD simülasyonları için elde edilen sonuçların doğruluğu, egzoz borusu cidarına ve egzoz gazı akışına doğru sıkılan bir AdBlue-spreyi yapılmıştır. Ürenin ayrışması, ısı transferinin sınırlı olması ve sabit bir sıcaklıkta (425 K) meydana gelmesi şeklinde modellenmiştir. Modelleme seçimleri yapılırken, cidara çarpmanın tahmin edilen bölümünü, cidara çarpacağı tahmin edilen damlacık türleri ve sayısı gösterilmiştir.

Sürtünme, kaldırma kuvveti, kaldırma etkileri, termoforez ve farklı kuvvetlerin etkisi incelenmiş ve bu sistemdeki damlacık hareketini doğru bir şekilde tanımlamak için yalnızca sürtünme ve kaldırma kuvvetinden kaynaklanan kuvvetlerin gerekli olduğu kanıtlanmıştır.

Stokastik bir parçacık izleme modeli, türbülanslı dağılımın etkilerini tanımlayacak, ancak aynı zamanda simülasyon sonuçlarını ve türbülans modelinin, türbülanslı dalgalanan hızlarla ilişkisi kontrol edilmiştir. Böyle bir modelin kullanılması, motor sisteminde oluşan türbülans, ısı ve kütle transferinin ne kadar artacağını da göstermiştir (Ström et al. 2009). Benzinli ve dizel motorlar, emisyon düzenlemelerinin aşamalı olarak sıkılaştırılmasıyla başa çıkmak için sürekli olarak son derece egzoz sisteminde bir son işlem olayı gerekli olacaktır. Dizel motorlar söz konusu olduğunda, seçici katalitik indirgeme (SCR), NO_x (nitrojen oksitler) emisyonlarını azaltmak için yaygın olarak benimsenen teknolojilerden biri olarak görünmektedir. Egzoz gazından elde edilen mevcut ısıyla, enjekte edilen üre-su çözeltisi (UWS), karışımın buharlaşması ve ürenin termal ayrışması ile egzoz portunun içini hemen gaz amonyağa (NH_3) dönüştürür. Tepkime ve dönüştürme verimliliği, çoğunlukla buharlaşmaya ve ardından NH_3 'ün egzoz gazına karışmasına bağlıdır ve bu da motor yükleme koşullarına bağlıdır. Şimdiye kadar, suyun buharlaşmasından sonra ve ürenin termal ayrışması sırasında ürenin toplanması net olarak anlaşılamamıştır. Bu nedenle, öngörülebilecek gaz fazındaki üre tüketimi için, uygun bir buharlaştırma çalışması yapılarak, SCR çalışma koşulları altında değerlendirilmesi gerekir. Model varyantlarının tahminiye sınırları, elde edilen sonuçların birbirleriyle ve deneysel verilerle karşılaştırılmasıyla değerlendirilir. Üre için "Wilke ve Lee" ve "Fuller ve ark." gibi korelasyonlar kullanılarak çok çeşitli çalışma sıcaklıkları için deney ve sayısal tahminler arasında tatmin edici bir anlaşma sağlandığı ortaya çıkmıştır. Sonuçlar esasen yer çekimine duyarlıdır. Gaz halindeki üredeki termal ayrışmayı hesaba katmak için farklı yolların müteakip karşılaştırmalarından önemli bir fark gözlemlenir (Nishad 2018).

Ek olarak Azot oksit bileşikler (NO_x), çevre ve insan sağlığı için endişe kaynağı olmaya devam eden kirleticilerdir. Önlem olarak SCR, zararlı NO_x 'i kontrol etmek için etkili bir yöntemdir. Araç motorlarında indirgeyici olarak amonyak, (NH_3) SCR katalizörünün yukarı doğru akışına eklenir. Otomotiv uygulamalarında ve motorlarda, performans ve uygun tüketimi sağlamak için sürekli üre-su çözeltisi (UWS) ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca üre, toksisite ve kullanım açısından katı amonyağa göre önemli ve performans için iyi avantajlara sahiptir (Habchi et al. 2018). Ürenin nitrik asitle kimyasal olarak birleşimini incelemekte fayda vardır. Üre-nitrat yanma sistemi orta derecede alev üretir ve daha az miktarda yanma ısısı, daha fazla miktarda gaz üretir. Bu olay, nispeten küçük ve dağınık (Ni) parçacıklar içeren yüksek aktif bir katalizörün sentezine elverişlidir.

Üre-nitrat çözeltisinin yanması metal oksit tozlarının hazırlanmasında potansiyel bir öneme sahip olsa da birçok durumda bu tür bir sistemin uygulanması geliştirilmeye müsait bir konudur. Birçok araştırmacı, metal oksit partiküllerinin kabalaşması ve sinterlenmesinin, katalizörün deaktivasyonunun ana nedenleri olduğunu ortaya çıkarmıştır. Büyük miktarda ısının anında açığa çıkması ve yanma reaksiyonundan türetilen tek tip olmayan sıcaklık dağılımı, bunun meydana gelme olasılığını artırır. Bu sorunu çözmek için Aruna ve ark - Al_2O_3 nanomalzemelerin çözeltinin yanma sentezi sırasında amonyum asetatını theüre-nitrat sistemine dahil etmişlerdir. Tek başına bir neden olan yanma yoğunluğunun, ekzotermikliğin büyük ölçüde azalmasını ve parçacık boyutunu etkili bir şekilde 37 nm'den 10 nm'ye düşürdüğü görülmüştür. Öte yandan, desteklenen metal katalizörlerin spesifik yüzey alanı, aktif türlerin dağılımında ve reaktantın adsorpsiyonunda kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, yüksek spesifik yüzey alanına sahip nanomateriyallerin yanma sentezi zorlu bir konu olmuştur. Nano ölçekli MgAl_2O_4 tozları, ilave nişasta ilavesiyle bir üre-nitrat çözeltisini yakma işlemi yoluyla sentezlenebilmektedir. Deneysel sonuçlar, nişasta ilavesinin, yanma işleminden ortaya çıkan gaz miktarını önemli ölçüde artırdığını, bu da tozların özgül yüzey alanının büyük ölçüde artmasına ve nanopartiküllerin dağılmasına neden olmuştur. Partikül etkileşimi ve üründen elde edilen yanmanın morfolojisi, başka bir spesifik yakıttan meydana gelen katkı maddesinden elde edilen alan sınırlama etkisi ile de ayarlanabilir. Yapılan deneysel çalışmalar, monofazik $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$: Eu^{2+} + 'nin üre-nitrat çözeltisi yanma sentezi sırasında, polietilen glikol (PEG) ilavesinin çekirdeklenme sürecini ve parçacık etkileşimini değiştiren sterik bir engelleme etkisi uyguladığı görülmüştür. Sonuç olarak, sentezlenmiş fosforlar neredeyse küresel morfolojiye ve PEG ilavesi olmayan malzemelere kıyasla dar boyutta dağılmaya elverişlidir. Bu amaçla, üre-nitrat sistemlerinde yakıt özelliklerini değiştirmek için yakıt katkı maddelerinin eklenmesi, yanma sıcaklığı, yanma yoğunluğu ve süresinin yanı sıra, ortaya çıkan gazlar dahil olmak üzere yanma işlemi sırasında kilit faktörlerin tümünü etkileyecektir. Bu ince işlemlerde, $\text{Ni-Al}_2\text{O}_3$ katalizörünün aktivitesini partiküllerin büyümesi ve çekirdeklenmesi, yüzey alanı, morfoloji ve metal-destek etkileşimi açısından önem arz etmektedir. Burada belirtilmek istenen, $\text{Ni-Al}_2\text{O}_3$ katalizörlerinin üre-nitrat yanma sentezinde yakıt katkılarının ilave edilmesinin yanma sürecinde önemli etkiye neden olduğu belirtilmektedir. Katkı maddelerinin, CO_2 'nin karışım fazmetanasyonunda orta düzey parçacık boyutu, kristalin fazları, morfolojisi, kimyasal bileşimi, metal dispersiyonu ve

katalitik aktivite üzerindeki etkilerinin araştırılmış ve deneylenmiş olmasıdır (Gao et al. 2017).

Dizel motorların üre çözeltisine olan davranış ve karakteristiklerine bakılmasında fayda vardır. Dizel motorlar üstün verimlilikleriyle, karayolu ve ağır hizmet sektör faaliyetlerinde, güç üretimi için kullanılır. Yolcu ve yük taşımacılığının yanı sıra, geniş bir denklik yelpazesini kapsayan enerji dönüşüm sürecinin doğası, ister istemez zararlı emisyonlara yol açar. Bunlara, NO_x ve is diyebiliriz. İlkinin azaltılması, mevcut ve gelecek mevzuatı karşılamak için farklı teknikler kullanılmaktadır. Bir yandan, yanma sıcaklığını düşürmeyi amaçlayan motor silindirin iç bölümü için bazı teknikler kullanılmaktadır. İkinci yaygın benimsenen yaklaşımda Seçici Katalitik İndirgeme (SCR) kullanılır. Üzerinde, indirgeyici madde olan amonyak vasıtasıyla egzoz gazı akışı Vanadia veya Zeolite bazlı katalizörler ile sağlanır. Düşük motor sıcaklıkları silindir içinde kullanılan önlemsel teknikler nedeniyle NO_x emisyonunu azaltabilir, aynı zamanda motor verimini düşürürler. İkinci yaklaşım bu nedenle doğal bir termodinamik avantaja sahiptir. Katalizör girişindeki NH_3 'ün oranı daha az incelenmiştir. Bu durum, bir üre-su çözeltisinin bir çapraz akış konfigürasyonu olup, termoliz ve hidroliz sıcak gazlarda, meydana gelen reaksiyonlar sonucu indirgenen madde olarak göze çarpar. Dizel motorlar geniş bir aralıkta çalıştırıldığı için yüklerin ve motor hızlarının sayısı, egzoz akışındaki basınç ve sıcaklık koşulları açısından değişir. Yüksek amonyak gereksinimlerinin yanı sıra özellikle düşük sıcaklıklarda katalizör girişinde tekdüzelik veya minimum amonyak için optimal motor çalışma seviyesi sağlanmalıdır. SCR enjeksiyon sistemleri işlem sonrası tortu oluşumuna dikkat edilmelidir. Tortu birikintisi çevrim verimini olumsuz etkiler ve sistem arızalanmasına neden olur. Bu konuyla ilgili birçok çalışma, SCR performansının teorik, sayısal modelleme ve analiz adı altında yapılmıştır. Meydana gelen olası karışma etkileri, atomizasyona odaklanan çalışmalarda tartışılmıştır. Lakin bunlar özellikle SCR'nin sprey uygulamalarında henüz uygulanmamıştır. Girdap oluşumuna ve çapraz akışta zayıflamaya sebep olduğu düşünülmektedir. Akış koşulları, sprey yapısını önemli ölçüde etkiler ve SCR performansı için çok önem arz etmektedir. Çoğu SCR çalışması, dönüştürme performansının küresel tekdüzelik ve akış koşullarına bağımlılığına odaklanır. Yukarıda bahsedilen temel SCR sprey çalışmaları genel olarak üre-SCR enjeksiyonu ile ilgilidirler. Genel SCR performansı, özellikle konuyla ilgili sınırlı deneysel veri içerir. Veriler ya açık

olarak belli olmayan kaynaklara ya da birkaç kaynaktan oluşmaktadır. Ayrıca, temel çarpışma ve karıştırma süreçlerinin önemli yönlerinden bahsedilmemektedir.

Dikkate alınan koşullar geniş bir aralığı kapsamaz. Özellikle düşük sıcaklıklarda ve gaz akışlarında bu durum geçerlidir. Yeni çalışmalar büyük ölçüde toplanan deneysel verilere dayanmaktadır. Daha önce bahsedilen durumlarda ve özellikle son zamanlarda veriler; sürüklenme, karıştırma, buharlaştırma ve çarpma ile ilgili sunulan çalışmalarda deneysel olarak incelenmiştir. Çok çeşitli koşullarda püskürtme yoğunluğu yani damlacık buharlaşması incelenmiştir. Dolayısıyla, burada anlatılmak istenen amaç üç yönlüdür, ilk olarak SCR enjektöründe kullanılan spreylere için deneysel verilerin tipik dizel egzoz gazında optik olarak erişilebilen olması, ikinci olarak SCR için sayısal verilerin daha fazla doğrulanabilir olması, son olarak deneysel verilerin derinlik analizi ve modele uygulanabilirlik bakımından uygun olabilmesidir (Varna et al. 2015).

Dizel motorlarda performans için NO_x emisyon azaltımı, mevcut üre-SCR sistemlerinin daha fazla optimizasyonu ve iyileştirilmesi ile mümkündür. Ana zorluklardan biri NO_x azaltımını maksimize edebilmektir. Eksikliklerin meydana gelmesi esas olarak üre kullanımının yetersizliği nedeniyle. Şimdiye kadar, çalışmaların çoğu ana reaksiyonlara odaklanmış ve NO_x 'in amonyak ile seçici katalizi, üre ayrışma sürecinin amonyağa verimli bir sistem tasarımı için çok değerli olduğunu göstermiştir. Üre ayrışması, gerekli karıştırma uzunluklarını büyük ölçüde belirler. Ancak SCR için enjeksiyonla ilgili deneysel azdır. Bu alandaki bilgi eksikliği başlangıç koşullarından beri mevcut sistemleri optimize etme seçeneklerini kısıtlamasıdır. Ürenin karıştırma işlemi sadece NO_x dönüşümünü kolaylaştırmakla kalmaz ve NH_3 kayması nedeniyle oluşan ve tortu boyutunu en aza indirger. Ancak otomotiv sektörünün sonucundan kaynaklı doğal olarak molekül sayısının artmasına yol açar. Bu sorunu çözmek için bazı girişimlerde bulunulmuştur. Farklı karıştırma cihazlarının ve akış homojenizatörlerinin kurulumu, yapılandırılmış metal alt tabakalar, tel örgüler veya iki aşamalı karıştırıcılar gibi farklı karşılaştırma tekniği olan cihazlar hem deneysel hem de sayısal olarak denenmiştir. Bu amaçla, enjeksiyon tipi, yeri ve basıncının etkisi üre buharlaşma hızı ve amonyakın homojenliği hakkında bir egzoz kanalı içindeki dağılımın incelenme fırsatı ele geçmiştir. Bu deneyler optimum sistem tasarımının özelliklerini belirler.

SCR sistemlerinin modellenmesi, simülasyonu ve optimizasyonu hakkında bazı analizler yapılmıştır. Farklı üre enjeksiyon konfigürasyonlarının sayısal simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Bir CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) modeli için girdi olarak kullanılan üre püskürtme modeli parametrelerini belirlemek için yüksek hızlı fotoğraflama ve partikül boyutlandırma kullanılmıştır. Egzoz boruları ile etkileşimi hesaba katılarak, üre enjeksiyonu için bir model de geliştirilmiştir. Araç egzoz gazlarındaki püskürtme dinamiği ve türbülansın kimyasal reaksiyonlarla birleşmesi de analiz raporlarına eklenmiştir. Bu durumda, SCR sistemlerinin yönlerine ilişkin deneysel veriler birkaç kaynakla sınırlı olmasından ya ispatlanamıyor ya da söz konusu çalışma için özel olarak üretilmesi gerekiyordu. Örnek verecek olursak 6 delikli bir SCR enjektör spreyinin akışkan dinamiği davranışı, makro sprey özelliklerini karakterize ederek kapsamlı bir şekilde araştırıldı. Sprey morfolojisi ve damlacık boyutu dağılımları sayısal simülasyonları doğrulamak için egzoz akış koşulları referans alınmıştır. İki farklı enjektörün bir SCR katalizörünün NO_x dönüşümü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Üre su spreyinin çarptığı egzoz gazı kanalındaki sıcaklık değişimi de gözlenmiştir. Mevcut çalışma şartları, ticari olarak temin edilebilen dört enjektörü karşılaştırmaktadır. Deneysel olarak toplu sprey analizi, damlacık boyutu ve damlacık hızı dağılımları SCR uygulamaları için uygun görülebilmektedir (Liao et al. 2015).

Modern zamanlarda en çok tercih edilen ana motor tipi dizel motordur. Daha büyük sıkıştırma oranı nedeniyle dizel motorlar doğası gereği zayıf hava-yakıt karışımli çalışması benzinli motorlardan daha verimlidir. Binek araçlara ek olarak, kamyon ve toplu taşıma araçları gibi ağır araçlara güç sağlamak için dizel yakıt kullanılır. Daha yüksek verimliliğin dezavantajı ise, daha yüksek NO_x emisyonlarıdır. Daha yüksek NO_x emisyonlarının ana nedenleri, silindir içi daha yüksek sıcaklıklar ve zayıf hava-yakıt karışımlarıdır. NO , NO_2 , NO_3 gibi mono-nitrojen oksitleri bu karışımları belirtmek için kullanılan terimlerdir. Otomobil motorlarından kaynaklanan üç temel emisyonlardan biri olan NO_x emisyonu, CI motorlarında daha belirgindir. NO_x , yüksek sıcaklıklarda yakıt-hava karışımındaki nitrojen ve oksijenin endotermik reaksiyonlarıyla üretilir. Bu gazlar, duman üretmek için fotokimyasal reaksiyonlara girerler. Dizel yakıtın artan kullanımı aynı zamanda giderek artan bir talebe ve alternatif yakıt arayışlarına da yol açmıştır. Biyoyakıttan üretilen biyodizel, dizel motorlara yakıt ikmali için uygun bir alternatif olmuştur. Biyodizel üretimi için kullanılan hammaddelerin bazıları geri dönüştürülmüş işlenmiş hayvansal yağlar ve

bitkisel yağlardır. Yapılan kapsamlı bir literatür taraması, araştırmacıların yaklaşık %80'inin biyodizel kullanımının hidrokarbon (HC), karbon monoksit (CO) ve partikül madde (PM) emisyonlarını azalttığını göstermiştir. Bunun nedeni biyodizelde daha yüksek oksijen içeriğinin bulunmasıdır. Ayrıca araştırmacıların %65'i biyodizel kullanımı ile NO_x emisyonlarının arttığını belirtmiştir. Biyodizel ile NO_x emisyonundaki bu artışa biyodizel NO_x etkisi adı verilir ve bu artış yüksek doymamış bileşiklerin varlığı, daha az kurum emisyonu nedeniyle azalan radyatif ısı transferi, daha kısa tutuşma gecikmeleri ve ayrıca daha yüksek yakıtla bağlı oksijen gibi birçok nedenden kaynaklanır. Şu anda, Yalın NO_x Tuzakları (LNT), egzoz gazı devridaimi (EGR) ve seçici katalitik indirgeme (SCR), kullanılan NO_x kontrol tekniklerinden bazılarıdır. LNT, sistemi pahalı hale getiren PGM'yi (platin, paladyum gibi platin grubu metalleri) kullanır. Daha yüksek sirkülasyon hızlarında EGR, güç ve kilometre kaybı ile düzensiz yanmaya neden olur. Öte yandan SCR, nispeten daha ucuz ve çok verimlidir. SCR'de NO_x , katalitik bir yüzey üzerinde bir indirgeme ajanı yardımıyla azaltılır. Ticari araçlarda optimize edilmiş üre-SCR sistemleri kullanılarak NO_x 'in %90'ı azaltılsa da yine de büyük bir soğuk çalıştırma emisyonları ve zayıf düşük sıcaklık NO_x dönüşümü (150C'nin altında) sorunu yaşanmaktadır. Ticari olarak suyla karıştırılmış %32,5 üre çözeltisi AdBlue olarak bilinen, bir amonyak kaynağı mevcuttur. AdBlue ayrışarak amonyak gazı üretir, üç aşamalı bir süreçten geçer ve çeşitli dezavantajlar ortaya çıkarır. Kendi kendine aşındırıcı sıvı özelliği gösterebilir ve AdBlue -11C'nin altında donar. Yavaşça 60 ° C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kristaller oluşturmak için ayrışmaya başlar. Bunun sonucunda enjeksiyon sisteminde ve SCR katalizöründe 200C'nin altındaki sıcaklıklarda kristal tıkanma meydana gelir. Ayrıca, AdBlue enjekte edildiğinde egzoz, başlangıçta su içeriğinin buharlaşmasına neden olur ve sonunda egzoz gazı sıcaklığını düşürür. Zorlu karmaşık bir egzoz sistemi ve ayrı bir karıştırıcı gerektirdiğinden, homojen bir amonyak konsantrasyonu oluşturur. Üre, izosiyanik asit ve amonyak olarak yaklaşık 200 ° C'de ayrışmaya başlar. 150 C'den önce enjekte edildiğinde, egzoz borusu içinde beyaz renkli üre birikintilerinin oluşmasına neden olur. İzosiyanik asidin hidroliz yoluyla amonyağa dönüşümü, üre SCR'nin en büyük dezavantajlarından biridir. Yukarıda tartışılan konular belirgin olmakla birlikte amonyak gazı doğrudan egzozla enjekte edilebilirse birçok sorun ortadan kalkar. Ancak gaz halindeki amonyağın depolanması ve kullanılması birçok güvenlik sorununa neden olur. Bu nedenle araştırmacılar, ısıtıldığında gaz halinde amonyak açığa çıkaran birkaç katı kaynağı araştırmaya yönelmiştir. Amonyak yoğunluğu, ayrışma sıcaklığı, buhar basıncı gibi

özelliklere göre katı üre, amonyum karbamat ($\text{NH}_2\text{COONH}_4$), amonyum karbonat (NH_4) 2CO_3 , magnezyum ammin klorür $\text{Mg} (\text{NH}_3) 6\text{Cl}_2$, stronsiyum ammin klorür $\text{Sr} (\text{NH}_3) 8\text{Cl}_2$ ve kalsiyum ammin klorür $\text{Ca} (\text{NH}_3) 8\text{Cl}_2$ gibi en uygun amonyak kaynaklarının içinde bulundu. Yüksek amonyak yoğunluğuna sahip olan amonyum karbonat ve karbamat tuzları, katı kalıntı bırakmadan amonyak gazı üretmek için ayrıştırılır. Her iki tuz da bozunma sıcaklığı ve buhar basıncı gibi çok benzer özelliklere sahipti. Ayrıştırma, her iki tuz için de tek aşamalı bir işlem olarak gerçekleşir ve herhangi bir kısmi ara ürün vermezler. Pahalı olan amonyum karbamat, yüksek maliyetli bir üretim birikimi gerektirir. Bununla beraber, amonyum karbonat ise kolaylıkla elde edilebilir ve karbamattan nispeten daha ucuzdur. Katı üre ($[\text{NH}_2] 2\text{CO}$), nitrojen salgilayan bir gübre olarak tarım alanında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Karşılaştırıldığında yukarıda bahsedilen diğer kimyasallara göre daha ucuz ve kolay elde edilebilir bir bileşiktir. Ancak daha önceki deneyler, katı ürenin 130°C 'de ayrılmaya başlayabileceğini ve ara ürünlerle çok aşamalı bir süreç girebileceğini gösteriyor. Bununla birlikte, düşük fiyatı, kolay bulunabilirliği ve mükemmel amonyak yoğunluğu nedeniyle, SCR işleminde AdBlue için en uygun alternatifler olarak amonyum karbonat ile katı üre uygun görüldü. SCR sisteminin genel performansını belirleyen bir diğer önemli özellik, kullanılan katalizördür. Egzoz gazı sıcaklığı, egzoz gazı konsantrasyonu, alan hızı, maliyet, zehirlenmeye karşı direnç vb. gibi çok sayıda faktör dikkate alınarak en uygun katalizör seçilir. Katalizörlerin işlevi, zararlı egzoz türlerinin daha güvenli bileşiklere dönüşüm oranını artırmaktır. Bu dönüşüm, aydınlatma sıcaklığı (LOT) adı verilen bir eşik sıcaklık aralığında gerçekleşir. Soğuk çalıştırma ve ısınma aşamalarında, katalizörün tam olarak işlevsel hale gelmemesi ve zararlı gazların önemli ölçüde dönüştürülmemesi nedeniyle LOT'a bu kimyasal değişimde denk gelinememiştir. NO_x azaltma katalizörlerinin çoğu, yalnızca yüksek ve orta sıcaklık aralıklarında etkilidir. Ağır araç motorları üzerinde yapılan bir araştırma, $190 \sim 200$ saniye aralığı, LOT'a ulaşmak için SCR katalizörünün harcadığı en uygun süre olduğunu göstermiştir. Katalizörün LOT'unu termal yönetimi ve yeni katalizörler geliştirerek iyileştirmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Egzoz sıcaklığını önemli ölçüde azaltan bir diğer faktör, SCR ünitesinin egzoz sistemindeki konumudur. SCR sistemi genellikle turboşarjdan sonra aşağı doğru inilince görüşür ve ardından DOC, DPF sistemleri gelir. Bu nedenle, egzoz valfinden SCR sistemine kadar önemli miktarda ısı kaybına yol açan bir mesafe vardır. Şu anda platin, vanadyum, zeolit, tungsten ve manganez bazlı malzemeler SCR sistemleri için katalizör olarak kullanılmaktadır. Vanadyum bazlı katalizörler, Euro 1

V / V emisyon normları, 250 ile 450 C arasında en iyi dönüşüm verimliliğini sergiler. Ancak aynı zamanda sülfüre karşı oldukça hassastırlar.

Bakır ve demir zeolitler üzerine yapılan kapsamlı araştırmalar, Fe bazlı zeolit katalizörlerinin orta ila yüksek sıcaklık aralığında 400 ila 550 C arasında en iyi dönüşümlerini sergilediğini ve zayıf dönüşümün 300 C'nin altında gerçekleştiğini göstermiştir. Bakır zeolit (CuZ) katalizörlerinin ise çok iyi olduğunu göstermektedir. NO_x dönüşüm verimliliği için (yaklaşık %95) özellikle 200 ile 350 C arasında, düşük sıcaklık performansları nedeniyle bakır zeolit bazlı katalizörler tercih edilen katalizörlerden biridir. CuZ bazlı SCR katalizörü, modern araçlar için ticari bazda üretilmiştir. Manganez (Mn) bazlı SCR katalizörleri nispeten yenidir ve 50 C'ye kadar düşük sıcaklıklar için %90 NO_x dönüşüm verimliliği gösterdikleri kanıtlanmıştır. Bu, özellikle SCR sistemlerinin soğuk başlatma yönüyle tasarlanması gerektiğine ve düşük sıcaklık performansları için uygun bir seçenektir. Mn bazlı katalizörler yalnızca son yıllarda gelişmiş ve vanadyum ve CuZ katalizör sistemleri gibi ticari olarak kullanılamazlar. Bu nedenle laboratuvarı özel olarak hazırlanması gerekmektedir.

Dolayısıyla, bu literatür bulgularına dayanarak, mevcut araştırmanın Mn bazlı katalizör ile katı bir indirgeme ajanı benimseyerek düşük sıcaklıktaki NO_x dönüşümünü iyileştirmeye odaklanılmış ve NO_x azaltma performansı bir SCR ile karşılaştırılmıştır (Joseph et al. 2021)

NO_x, NMHC ve CO dizel egzoz gazında bulunan üç ana kimyasaldır ve US EPA topluluğu, şu anda insan sağlığını ve doğal çevreyi korumak için bu üç madde arasında araştırmalar yapmaktadır. Dizel egzoz gazındaki NO_x (NO ve NO₂) emisyonunun azaltılması, son on yılda büyük bir zorluk haline geldi. Dizel motorlar için devam eden katı emisyon gereklilikleri nedeniyle, gelecekte de araştırmalar için ana odak noktası olmaya devam edecek. Motor egzoz NO_x azaltımı, yanma optimizasyonu ve / veya egzoz gazı son işlemiyle sağlanabilir. Gerçekte, Egzoz Gazı Devridaimi (EGR) ile yanma optimizasyonu, egzoz gazındaki NO_x'i yalnızca 1,5 g / bhp-saat civarında belirli bir seviyeye etkili bir şekilde azaltabilir. Emisyon standardı, EPA'nın 2002/2004 standardına göre %90'dan fazla bir azalma olan ultra düşük 0,2 g / bhp-saat NO_x emisyonunu gerektirir. Bu nedenle, 2007 emisyon standardına ancak egzoz gazı son işleminin yardımı ile ulaşılabilir. Üre SCR (Seçici Katalitik İndirgeme) egzoz son işlem teknolojisi, başlıca son işlem

teknolojilerinden biridir ve maliyet analizine göre en uygun maliyetli olduğu kabul edilmektedir. NO_x emici sistem, plazma oluşturma sistemi gibi diğer tüm ana alternatifler, üre SCR sisteminden daha büyük dezavantajlara sahiptir. Üre SCR, çok katı emisyon gereksinimleri olan dizel motorlar tarafından çalıştırılan sabit elektrik jeneratör setine başarıyla uygulanan çok verimli bir kararlı durum NO_x azaltma yaklaşımıdır. Yakın zamanda Siemens Otomotiv, karayolu ağır hizmet kamyonlarına uygulanabilen SINO_x sistemini tanıtmıştır. Bununla birlikte, sistem temel olarak ağır hizmet kamyonlarının EPA 2002/2004 ve Euro 4 standartını karşılaması için tasarlanmıştır. Bu nedenle, sistem açık döngü kontrollüdür ve kullanım ömrü boyunca yeniden kalibre edilmesi gerekir. Bu sistemlerin tümü açık döngü kontrollüdür ve %60-80 NO_x azaltımı sağlayabilir ve 1,2 ila 2,4 g / bhp-saate ulaşabilir. Yukarıda sunulan tüm demo sistemlerinin yol ve motor tezgâh testleri, üre SCR'nin kamyon için egzoz gazındaki NO_x seviyesini etkili bir şekilde düşürmek için uygun bir teknoloji olduğunu göstermektedir. Etkili bir kontrol stratejisi olmadan, emisyon hedefine yeterli doğrulukla ulaşamaz.

Üre çözültisi ile NO_x indirgeme süreci içindeki temel kimyasal reaksiyonlar iyi bilinmelidir. Egzoz gazıyla belirli bir sıcaklığın ötesinde karıştırıldığında, üre çözültisi atomize olur ve amonyak (NH₃) ve karbondioksit (CO₂) olarak çözülür:



Daha sonra NH₃, egzoz gazındaki NO ve NO₂ ile reaksiyona girer:



Dolayısıyla, egzoz gazında tam olarak ne kadar NO ve NO₂ bulunduğunu bilirsek ve tüm kimyasal reaksiyonlar uygun şekilde gerçekleşirse, o zaman enjekte edilen belirli üre tüm zararlıları azaltmalıdır. Katalizör yalnızca %100'ün altında belirli bir seçicilik elde edebilir, bu da %100 NO_x azaltımına asla ulaşamayacağımız anlamına gelir.

Kusurlu karıştırma vb. Nedeniyle kimyasal reaksiyon mükemmel olmayacaktır. En önemlisi, egzoz gazında ne kadar NO_x olduğunu asla bilemeyiz. Emisyonlar yaklaşık 2 g /

bhp-saat veya üzeri hedeflendiğinde zaman uygun olabilir. Ancak emisyon hedefi 1g / bhp-saat'in altına düştüğünde bu büyük bir sorun olacaktır. Özellikle ağır yük kamyonu gibi karayolu uygulamalarında, olası hızlı geçici çalışma koşulu değiştirme ve ultra düşük emisyon hedefi nedeniyle ürenin ne kadar enjekte edilmesi gerektiğine karar vermek zorlaşır. Kararlı durum ve geçici kontrol, hedefe ulaşmak ve amonyak (NH₃) kaymasını önlemek için yeterince doğru olmalıdır (Song and Zhu 2002).

Dizel motor, güç ve ekonomik performans üzerindeki avantajı nedeniyle ağır hizmet tipi araçlar için tercih edilen motor haline gelmiştir. Çevrenin korunması her geçen gün daha fazla dikkat çekiyor ve dizel motorun neden olduğu kirlilik sorunu giderek daha fazla öne çıkıyor. Veriler, ağır hizmet tipi (HD) dizel araçların miktarının Çin'deki tüm motorlu araçların%3'ünden daha az olduğunu, ancak bunlardan kaynaklanan NO_x ve PM emisyonlarının, tüm motorlu araçlardan salınan emisyonların %60'ından fazlasını oluşturduğunu gösterdi. PM çeşitli kanserojen maddeler içerir ve solunduğunda solunum hastalıklarına ve hatta kansere neden olur. NO_x, fotokimyasal dumana neden olan ana suçlu olarak kabul edilir ve ayrıca asit yağmuruna, ozonun incelmeye ve sera etkisine neden olabilir. Bununla birlikte, bir HD dizel motordan kaynaklanan NO_x ve PM emisyonlarını kontrol etmek oldukça zordur, çünkü bu iki kirletici arasında değiş tokuş ilişkisi mevcuttur. Euro V emisyon limiti veya daha katı emisyon mevzuatı gerekliliklerini karşılamak için dizel motorlar, NO_x ve PM emisyonlarını azaltmak için karmaşık son işlem cihazları ile donatılmalıdır. Şu anda, Çin'deki ticari aracın HD dizel motoru için Euro IV'ten sonra egzoz emisyon mevzuatını karşılamak için normal olarak üre-SCR teknik yolunu benimseme eğilimindedir. Genellikle üre-SCR teknik rotasında, önce yakıt enjeksiyon zamanlamasını ve yanma sürecini optimize ederek orijinal PM emisyonlarını kontrol etmeye çalışır ve NO_x emisyonunu Euro III mevzuatının emisyon sınırının iki katı kadar yapar, kabaca 10 g / kWh'ye ulaşır, Üre-SCR sistemi ile Euro IV veya Euro V için 3,5 g / kWh veya 2 g / kWh elimine edilir. Bu şekilde, üre-SCR sisteminin fiili uygulamasında ortaya çıkan birkaç problem vardır. İlk sorun, üre-SCR sisteminin düşük egzoz gazı sıcaklığı koşullarında çalışmamasıdır. Bu durumda, üre çözeltilisinin egzoz borusundaki NO_x katalizöründe tortu oluşturması oldukça kolaydır. Ayrıca üre-SCR sisteminin uygulanması sırasında kül kokusu, yüksek işletme maliyeti ve karmaşık sistem yerleşimi gibi sorunlar da mevcuttur. Bu sorunlar arasında, yüksek çalıştırma maliyeti, sürücüler için üre-SCR sisteminin yaygınlaşması sırasında en büyük zorluktur. Bir Euro V ağır hizmet

aracı için SCR sisteminin normal çalışmasını sağlamak için, üre çözeltili tüketimi dizel yakıt tüketiminin yaklaşık %6'sıdır. Hepimizin bildiği gibi, üre çözeltilisinin tüketimine karşılık gelen bir güç çıkışı yoktur, ancak artan işletme maliyeti sadece sosyal sorumluluğa ait emisyon mevzuatını karşılamak içindir. Sonuç olarak, sürücülerin başlangıçta üre solüsyonu ekleme motivasyonunu zayıflatır. Tüm bu sorunlar, araştırmaları üre-SCR sisteminin yerini alabilecek yeni bir teknoloji aramaya itiyor.

Metanol molekülü oksijen atomu içerir ve karbon-karbon çift bağı içermez, bu nedenle bir motor metanol yakıtla yakıt aldığında daha az PM oluşumuna neden olur. Ayrıca, metanolün üretim kaynakları çok geniştir. Doğal gaz, kömür, kok fırın gazı ve biyokütle (ekin artıkları, yem, çimen, mahsuller, odun kaynakları, orman artıkları, kısa rotasyonlu odun enerjisi mahsulleri ve belediye atıklarının odunsu selülozik bileşenleri gibi atık biyokütle) hepsi metanol üretmek için kullanılabilir. Bu nedenle metanol, motor için umut verici bir alternatif yakıt olarak tanımlanmıştır. Önceki çalışmalar, saf dizel yakıtla yakıt ikmali ile karşılaştırıldığında, dizel metanol çift yakıt (DMDF) ile beslenen motorun HC ve CO emisyonlarında artışa yol açarken NO_x ve PM emisyonlarının aynı anda azaldığını göstermiştir. Bir dizel metanol çift yakıtlı motorun performansını ve emisyon özelliklerini araştırmak için Masimalai, pilot yakıt olarak dizel ve indüklenmiş birincil yakıt olarak metanol ile tek silindirli su soğutmalı dizel motor üzerinde bir deney gerçekleştirdi. Sonuçlar, saf dizel modu ile karşılaştırıldığında, metanol ilavesinin HC ve CO emisyonlarında belirgin artışa neden olabileceğini, ancak bu arada NO_x ve PM emisyonlarının etkili bir şekilde azaldığını gösterdi. Metanol, dizel motorun NO_x ve PM emisyonlarını aynı anda azaltma potansiyeline sahip olduğundan, dikkate alınabilecek bir seçenek, dizel motorun Euro V emisyon mevzuatını karşılaması için yeni bir teknik rota oluşturmak üzere dizel yakıtın bir kısmını değiştirmek için metanol kullanmaktır. Bununla birlikte, metanol ve dizel yakıtın karışmazlığı, sadece doğrudan karıştırıldığında yakıtın ayrılmasına neden olabilir. Ek olarak, metanolün setan sayısı, buji yardımcısı olmadan dizel motorda ateşlenemeyecek kadar düşüktür. Bu nedenle geçmiş yıllarda geliştirilen dizel metanol emülsiyonu, çift enjektör gibi yöntemler bulunmaktadır. Bu yollar arasında, metanol fümigasyonu, metanolün dizel motorda, özellikle de DMCC teknolojisinde uygulanmasının avantajlarını gösterdi. DMCC sistemi, motor DMDF modunda çalışırken yalnızca yüksek metanol ikame oranını (MSR) gerçekleştirmekle kalmaz, aynı zamanda saf dizel modu ile DMDF modu arasında esnek çalışma modu geçişi özelliğine de sahiptir.

Dahası, DMCC teknolojisi, temel dizel motorda küçük modifikasyon avantajına sahiptir. Sonuç olarak, metanol fümigasyonu, metanolün dizel motora uygulanması için ümit verici bir yöntem gibi görünmektedir. Metanol fümigasyon yönteminin dizel motora uygulanmasına ilişkin araştırma, araştırma ekibimiz tarafından on yılı aşkın süredir yürütülmektedir. DMCC sisteminin güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamak için metanol korozyona dayanıklı bileşenler (metanol dirençli pompa, metanol seviye göstergesi, metanol filtresi ve basınç regülatörü gibi) ve metanol enjeksiyon miktarının ve zamanlamasının kontrolü için elektronik kontrol sistemi (ECU) vardır, geliştirilmiştir. Wei et al. (2017) bir DMCC motorunun düzenlenmiş emisyonlarını araştırdı. DMCC motoru yüksek metanol ikame oranı modunda çalıştırıldığında, NO_x ve PM emisyonları arasındaki ödünleşim ilişkisinin ortadan kalktığını buldular. Dahası, DOC kullanımı, DMCC motorundan kaynaklanan önemli ölçüde artan HC ve CO emisyonlarını etkili bir şekilde ortadan kaldırabilir.

Önceki çalışmalardan DMCC motorunun ileriye dönük bir geleceğe sahip olacağını görebiliyoruz. Bunun bir nedeni, fümigasyona tabi tutulan metanolün dizel yakıtla birlikte çalışması ve güç çıkışı sağlamasıdır; diğer bir neden, metanolün dizel yakıttan daha ucuz olmasıdır, kabaca Çin'deki dizel yakıtın fiyatının üçte biri olduğunu söyler. Sürücülerin dizel yakıt yerine metanol kullanmalarını teşvik edecektir. Bu nedenle, HD dizel motorun DMCC sistemi ile donatılması yeni bir isimlendirme sağlayacaktır (Wei et al. 2017).

Çevresel kaygılar ve yakıt tüketimi, içten yanmalı motor geliştirme ile ilgili ana forumlarda hala sıcak konulardır. Emisyon zorlukları ve motor verimliliği, içten yanmalı motorların sürekli iyileştirilmesi için talimatlara hükmediyor. Endüstrinin ve bilimsel topluluğun çabaları sayesinde, teknolojiler, özellikle yakıt enjeksiyon bileşenleri, yanma sistemi ve son işlem gibi çeşitli alt sistemlerin iyileştirilmesinde hızla gelişmektedir. Örneğin, Triantafyllopoulos ve ark. NO_x teknolojilerindeki iyileştirme için tercihli çözümün, gerçek sürücü emisyonlarını azaltan Seçici Katalitik İndirgeme (SCR) uygulaması olduğunu gösterdi. SCR, Üre-Su enjeksiyonu ile bağlantılı olarak kimyasal bir reaktör olarak çalışır. Egzoz borusunda yukarı yönde çözüm (UWS). UWS, yanmanın NO_x yan ürünlerinin amonyak (NH_3) ile su ve nitrojene indirgendiği bir katalizörden geçerek yanma gazlarıyla karışır. Etkili bir NO_x giderme işlemi sağlamak için, UWS, akış SCR'nin giriş bölümüne ulaşmadan önce yeterli bir dağıtım ve doğru miktarda buharlaşmalıdır. Bu nedenle, iyi bir

tasarım, ürenin hızlı ayrışmasını ve homojen dağılımını içermelidir. UWS enjektörü, damlacıkların doğru dozajlanmasından ve homojen dağılımından sorumludur. Literatür, bu sistemlerin anlaşılması ve iyileştirilmesi için, özellikle de UWS sprey özelliklerinin küresel perspektiften (sıvı sprey penetrasyonu ve yayılma açısı) ve yerel bakış açısından daha iyi anlaşılması için önemli çabaların yapıldığını göstermektedir.

Tablo 2.1. Sembol ve birimler

α	Droplet Area	pL	Density Of the Fluid
CO ₂	Carbon Dioxide	ASOE	As Of Start of Energizing
D _d	Droplet Diameter	CFD	Computational Fluid Dynamics
D _{eq}	Equivalent Diameter	DBI	Diffused Back Illumination
NO ₂	Nitrogen Dioxide	ET	Energizing Time
NO _x	Nitrogen Oxide	LED	Light Emitting Diode
ΔP	Pressure Difference	SCR	Selective Catalytic Reduction
p _g	Density Of the Flow	UWS	Urea Water Solution

Son yıllarda, farklı egzoz akış koşullarında küresel ve yerel sprey özelliklerinin belirlenmesine olan ilgi artmıştır, çünkü temel olarak uygun olmayan miktarlarda üre-su spreyi, egzoz hatlarını tıkalayabilecek ve sistemin verimliliğini düşürebilecek tortular oluşturabilir. Birçok araştırmacı hem sayısal hem de deneysel yaklaşımları kullanarak UWS'nin püskürtme modelini araştırmıştır. Deneysel açıdan, basitleştirilmiş tesislerde, çapraz akışlarda sıvı jetini incelemeye izin veren optik teknikler kullanılarak birkaç çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları fiziksel özellikler benzer olduğu için UWS çözümü yerine su enjekte edilerek yapılmıştır. Bununla birlikte, diğer durumlarda, özellikle tortular ilgi konusu olduğunda üre kullanımı tercih edilir. Varna et al. (2015) tarafından yapılan çalışmalar, çökelti oluşumu ve NO_x dönüşüm verimliliği üzerindeki sprey dağılımının, damlacık çapının ve duvar çarpmasının önemini göstermiştir. Küresel perspektiften bakıldığında, sprey görüntüleme ölçümleri Van Vuuren et al. (2015) bir sıcak hava test tezgahında sulu bir üre çözeltisi (AUS-32) kullanarak, sırasıyla 130 °C ve 490 °C hem sıvı hem de hava sıcaklıklarına ulaşır. Sıvının atmosferik kaynama noktası nedeniyle sıvının sıcaklığının küresel sprey parametreleri üzerinde güçlü bir etkisi olduğu sonucuna vardılar. Bu arada, gaz sıcaklığı sprey gelişimini biraz etkiler. Ayrıca optik teşhis kullanarak egzoz borusu geometrisi, karıştırıcı konumu ve gaz sıcaklığının karışımın buharlaşması ve homojenizasyonu üzerindeki etkisini değerlendirdi. Damlacık ve hız dağılımları da incelenmiştir. Hız alanıyla ilgili olarak, Spiteri ve Dimopoulos-Eggenschwiker, ortalama

hız alanlarını sağlayan bir parçacık görüntü hız ölçüm cihazı kullanarak püskürtme akış alanını karakterize etmek için bir test düzeneği tanımladı. Liao et al. (2015) yapılan ölçümler aynı test teçhizatında, duvara çarpmadan önce faz doppler anemometrisi (PDA) kullanarak damlacık boyutunu ve hızını belirlemek için yapıldı. Bu lazer tabanlı optik yaklaşım yaygın olarak kullanılmasına rağmen, tamamen küresel parçacıkların varsayımı, düşük enjeksiyon basınçları ve lekelerin ve bağların da görüldüğü nozül çıkışı yakınında olduğu gibi bazı sınır koşulları için uygulanmasını sınırlayabilir. Postrioti ve arkadaşları, çap belirleme için arka ışık görüntülemeye dayalı uygun bir alternatif önerdi ve sonuçları PDA'ya karşı doğruladı. Bu makalenin amacı, basınç, hava akışı ve sıcaklık için bir yanmalı motorun egzoz borusundaki koşullara benzer koşullarda damlacık boyutu dağılımı ve hızı açısından üre spre yayısını belirlemektir. Damlacık boyutu dağılımının tahminleri, püskürtme bulutunun üç farklı pozisyonunda bir arka ışık tekniği kullanılarak yapılır: meme çıkışının yakınında ve püskürtmenin gelişmiş bölgesinde. Ayrıca, damlacık hızının belirlenmesi için, yüksek hızlı edinim hızında arka ışık görüntülemesine ve bir parçacık izleme algoritmasına dayalı olarak yeni bir prosedür kullanılır. Bu yöntem, yalnızca ortalama akış hızları sağlayan PIV'e veya PDA'ya ve küresel damlacıklara dayanan diğer ilgili yöntemlere bir alternatiftir. Sınır koşulları olarak veya doğrulama amacıyla hesaplamalı akışkan dinamiği (CFD) modelleri için sağlam deneysel veriler sağlamak amacıyla damlacık boyutu dağılımı ve hızının nicelendirilmesi gereklidir (Payri et al. 2019).

Dizel motorlar, orta ve ağır hizmet tipi araç uygulamaları için baskın güç kaynakları olmuştur. Ayrıca benzinli emsallerine kıyasla daha iyi yakıt ekonomisi ve daha düşük sera gazı emisyonları nedeniyle son yıllarda otomotiv endüstrisinden giderek daha fazla ilgi görmüştür. Bununla birlikte, zayıf yanma doğası nedeniyle, Dizel motorlar tipik olarak benzinli motorlardan daha fazla NO_x emisyonu üretir. Stokiyometrik yanmalı motorlar tarafından başarıyla kullanılan üç yollu katalizörler, zayıf egzoz gazları ile düzgün bir şekilde çalışmaz. Son zamanlarda, dünya çapındaki katı NO_x emisyon düzenlemelerine göre, zayıf yanmalı motorla çalışan araçların egzoz borusu NO_x emisyonlarını azaltmak için farklı son işlem sistemleri önerilmiştir. Bu teknolojiler arasında, üre seçici katalitik indirgeme (üre-SCR, devamında SCR olarak kısaltılmıştır), Dizel motor çıkış NO_x emisyonlarının %90'ından fazlasını azaltabildiği kanıtlanmış en umut verici sistemlerden biridir. SCR sistemleri, NO_x azaltımı (HC-SCR'ler) veya rejenerasyonlar (zayıf NO_x tuzakları, LNT'ler) için indirgeyici olarak ekstra yakıt gerektiren diğer NO_x azaltma son

işlemlerine kıyasla daha düşük kullanım maliyetleri nedeniyle son yıllarda otomotiv endüstrisi tarafından tercih edilmektedir. SCR sistemleri, orada Dizel motorlu araçların popülaritesi nedeniyle 2008 yılından beri Avrupa'da yaygın olarak kullanılmaktadır. ABD'de, Dizel araç sayısı / benzinli araç sayısı oranı artık çok daha küçük olsa da daha katı NO_x emisyon standartlarını karşılamak için SCR'ler, 2010 yılından itibaren Dizel motorlu araçların çoğunda da kullanılmaya başlanmıştır. SCR, SCR katalizöründe katalitik reaksiyonlar yoluyla NO_x'i nitrojen moleküllerine ve suya dönüştürmek için indirgeyici olarak katalizörün yukarı akışına enjekte edilen %32,5 sulu üre çözeltisinden (AdBlue) dönüştürülen amonyak. Amonyak bir sağlık tehlikesi olarak kabul edildiğinden ve hoş olmayan bir koku oluşturabildiğinden, egzoz borusu amonyak kaçağı, mevcut araç emisyon düzenlemelerinde belirtilmemiş olsa bile, son derece istenmeyen bir durumdur. Gelecekteki emisyon standartları, ör. Euro VI, amonyak emisyonlarını düzenlemelere dahil etti. Bununla birlikte, bir SCR sisteminin yüksek NO_x indirgeme verimliliği elde etmesi için, SCR katalizöründe yeterli indirgeyici, yani zengin amonyak depolaması gereklidir, bu da genel olarak katalizörde daha az amonyak bulunan duruma kıyasla daha fazla amonyak kaymasına neden olabilir. Bu çelişki, SCR sistemlerinin ana zorluklarından biri olmaya devam etmektedir. Donanım iyileştirmelerini hedefleyen farklı yaklaşımlar, etkili SCR NO_x azaltımı sağlarken egzoz borusu amonyak kaymasını azaltmak için kullanılmıştır, örnek olarak SCR katalizör hacmini artırmak ve / veya SCR katalizörünün aşağı akışında amonyak kayması oksidasyon katalizörü kullanmak verilebilir. Bu yaklaşımlar, SCR NO_x azaltma kapasitesini doğrudan artırabilmelerine ve amonyak kaçışını azaltabilmelerine rağmen, genellikle uygulamada maliyet ve alan endişelerine yol açmaktadır. Katalizör amonyak depolama kapasitesini ve katalizör verimliliğini artırmak için SCR katalizör formülünün iyileştirilmesi üzerinde birçok başka çalışma yapılmaktadır. Mevcut durumda, SCR performansını ilerletmek için en acil ve ekonomik yaklaşımın, yani NO_x azaltımının arttırılması ve amonyak kaçışının azaltılmasının, üre dozlama kontrolünün iyileştirilmesinden geçtiğine inanılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, sistematik bir SCR kontrol metodolojisi geliştirerek SCR sistemi performansını önemli ölçüde artırmaktır. Son yıllarda otomotiv ve ticari araç uygulamaları için çeşitli üre-SCR kontrol tasarımları önerilmiştir. Birçoğu ileri beslemeli kontrolör tasarımlarına odaklandı veya geri besleme kontrolör tasarımları için doğrusallaştırılmış SCR modelleri kullandı. Çalışma, açık döngü ileri besleme kontrolünün motorun geçici

egzoz gazı koşullarını iyi idare edemediğini ve test döngülerinin yanı sıra normal sürüş sırasında belirsizlikleri telafi etmek için geri bildirim kontrolünün gerekli olduğunu belirtti. En son katı emisyon standartlarını karşılamak için NO_x sensörlerini kullanan bazı geri besleme kontrolörleri önerilmiştir. Bununla birlikte, mevcut yerleşik NO_x sensörlerinin amonyağa çapraz duyarlı olduğu bilinmektedir. SCR sistemlerindeki olası egzoz borusu amonyak kayması nedeniyle, NO_x tabanlı geri bildirim kontrolünün kontrol hedeflerini karşılamasını zorlaştırır. Son zamanlarda, Delphi'nin otomotiv amonyak sensörünün bulunmasıyla birlikte, bazı NH_3 tabanlı geri bildirim kontrolleri üzerinde çalışılmıştır. Delphi amonyak sensörü NO_x veya diğer büyük egzoz gazı türlerine çapraz duyarlı değildir ve endüstri tarafından üre-SCR sistem kontrolü için alternatif bir geri bildirim sensörü olarak kabul edilmektedir. Ancak sensör henüz üretilmediğinden, amonyak sensörü tabanlı SCR kontrolünün pratik uygulamaları nadiren görülür. Öte yandan, doğrusallaştırılmış model tabanlı kontrolör tasarımlarına odaklanan güncel araştırma çalışmalarının çoğu ve doğrusal olmayan model tabanlı kontrol tasarımı açık literatürde çok az rapor edilmiştir. SCR dinamiklerinin karmaşıklığı ve doğrusal olmaması nedeniyle, araç SCR sistemleri için doğrusal olmayan model tabanlı denetleyicinin gerekli olduğuna inanılmaktadır. Mevcut duruma ilişkin yukarıdaki gözlemlerle, sistem modelleme, sensör çalışması ve kontrol tasarımını içeren bir SCR kontrol çalışması, sistemin temel dinamikleri ve özelliklerine ilişkin fiziksel kavrayışa dayalı olarak yürütülür. SCR kontrolü birçok pratik zorluğa sahiptir. Öncelikle, SCR birçok karmaşık kimyasal reaksiyonu içerir. Bu reaksiyonlar, farklı katalizör formüllerinden farklılık gösterebilir ve ilgili dinamikler, farklı katalizör tasarımları arasında farklılık gösterebilir. Ayrıca, SCR katalizörleri içindeki bazı kritik durumların mevcut yerleşik emisyon sensörleri tarafından ölçülmesi zordur. Örneğin, ana NO_x bileşenleri, yani NO ve NO_2 , önemli ölçüde farklı SCR reaksiyon özelliklerine sahiptir, ancak bunlar yerleşik bir NO_x sensörü ile ayırt edilemez. Ayrıca katalizör tarafından adsorbe edilen amonyak miktarı, yani NO_x indirgeme indirgeyicisi doğrudan ölçülemez. Öte yandan NO_x sensörü amonyak çapraz duyarlılığı, yukarıda bahsedildiği gibi, sadece üre enjeksiyon kontrolünde değil, aynı zamanda yönetmeliklerin gerektirdiği yerleşik teşhislerde (OBD) de sorunlara neden olur. Geri bildirim için alternatif olarak amonyak sensörlerinin kullanılması mümkündür. Ancak OBD sistemleri, son işlem sistemlerinin performansını ve emisyonu azaltmayı sağlamak için doğru egzoz borusu NO_x konsantrasyon ölçümünü gerektirir. Son fakat en az değil, üre enjeksiyon kontrolünün zorluğudur. SCR sistemleri aşağıdaki özelliklerde fark edilir: katalizör kimyasal

reaksiyonları ve fiziksel mekanizmalara bağlı karmaşık dinamikler, tek giriş (üre enjeksiyon hızı) ve çift çıkışlar (çakışan egzoz borusu NO_x ve amonyak emisyon azaltmaları) özellikleri, zamanla değişen harici sinyallerin güçlü varlığı (motor egzoz gazı koşulları), sınırlı geribildirim bilgisi ve sınırlı ve kısıtlı kontrol yetkisi (yalnızca pozitif üre enjeksiyon hızı, yani kontrolör yalnızca SCR katalizör amonyak depolamasını artırabilir, ancak amonyak depolamasını azaltamaz). Bu tür özellikler, kontrol tasarımını zorlaştırır ve tesis dinamikleri ve kontrol stratejileri hakkında gelişmiş bilgi gerektirir.

Laboratuvar ortamları kullanılarak temel SCR reaksiyonlarının keşiflerine odaklanan birkaç çalışma yapılmıştır. Bununla birlikte, SCR katalizörlerinin gelişimi hala devam etmektedir ve mevcut katalizörlerde farklı SCR katalizör formülleri bulunabilir. En yaygın görülen formüller Vanadyum, Fe-Zeolit ve Bakır-Zeolit'tir ve her biri farklı amonyak adsorpsiyon / desorpsiyon / depolama, NO_x azaltma ve oksidasyon özelliklerine sahiptir. Ayrıca, farklı katalizör (geometri) tasarımlarıyla, SCR sistemleri çok farklı dinamikler sunabilir, örn. üre karıştırıcı ve katalizör giriş geometrisi tasarımları, üre-amonyak dönüşümü üzerinde dikkate değer etkilere sahiptir. Ek olarak, kontrol odaklı modeller ve gerçek motor son işlem sistemleri ve yerleşik emisyon sensörlerine (genellikle NO_x ve / veya NH_3 sensörleri) dayalı deneysel raporlara ilişkin çalışmalar nispeten sınırlıdır. Bu noktaların üzerinde durarak, yerleşik NO_x ve NH_3 sensörleri ile eksiksiz bir motor-SCR sisteminin deneysel analizleri sunulur ve deneysel sonuçlara dayalı olarak kontrol odaklı bir SCR modeli geliştirilir (Hsieh 2010)

Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün III. Kademe standartları, deniz araçlarının 2016 yılında NO_x emisyonlarını azaltmayı karşılamasını gerektirmektedir. Yönetmeliğin yürürlüğe girdiği tarihten sonra inşa edilen gemiler için yönetmeliğin yerine getirilmesi gerekmektedir. Seçici Katalitik İndirgeme (SCR) kullanılır. Nitrojen oksit (NO_x) emisyonlarını azaltmak ve genellikle elektrik üretim kazanları dizel motorlu araçlar ve deniz araçları gibi birçok sektörde kullanılır. İndirgeyici bir ajan bir egzoz borusuna enjekte edilir ve NO_x emisyonlarını birkaç adımda ortadan kaldırır. İndirgeyici bir ajan olarak, üre su çözeltisi (UWS), toksisitesi ve depolama sorunları nedeniyle gaz halindeki NH_3 'e tercih edilir. UWS ayrıştır ve gaz halinde NH_3 üretir.

NO_x indirgeme reaksiyonunun yanı sıra üre ayrıştırma işlemleri çoğunlukla bir katalizör filtresinde gerçekleşir. Akışı ve UWS'yi harmanlayan bir karıştırıcı kullanılması gerekir ve ayrıca reaksiyonları hızlandırması beklenir. Mikser tipi seçimi ve deney ve simülasyon yoluyla üre ayrıştırması ile ilgili pek çok araştırma bulunmaktadır. Thakur vd. statik karıştırıcıların seçimi için bazı maddeler yayınlamıştır. Zhang vd. türbülanslı akışın etkilerini değerlendirdi. NH₃ karışımında dönen akış. Sung vd. Farklı kanat açıları altında akış karıştırma özellikleri ile basınç düşüşü arasındaki ilişki üzerinde sayısal olarak çalıştı (Choi et al. 2015).

Dizel motorlar için gelecekteki emisyon seviyelerinin artık sadece motor ayarı ile karşılanmayacağı öngörülmektedir. Sıkı emisyon standartlarını karşılamak için uygun gelişmiş son işlem cihazları şeklinde ek çabalar gerekecektir. Son işlem teknolojisi yoluyla dizel motor egzozundan NO_x ve PM'nin azaltılması, bu kirleticiler arasında bir denge olduğu için birbirine bağlıdır. Bu ikilemin üstesinden gelmek için bir dizi olası teknik konular değerlendirilmektedir. Örneğin, motor azaltılmış PM ve daha yüksek NO_x emisyonları verecek şekilde ayarlanıp ve ardından SCR kullanılarak NO_x azaltılabilir. Tersine, motor, azaltılmış NO_x ve artan PM ile sonuçlanacak şekilde kalibre edilebilir ve ardından PM, sürekli yenilenen dizel partikül filtresi (CRDPF) teknolojisi kullanılarak azaltılabilir. Bununla birlikte, bir üre-SCR sistemi ile optimize edilmiş bir motor, Euro V emisyon standartlarına uysa bile dizel partikül filtresi (DPF) ihtiyacını ortadan kaldırır ve böylece toplam sistemin karmaşıklığını azaltır. Bir üre-SCR sistemi sadece NO_x'in azaltılmasında değil, aynı zamanda motorun ekonomisinin iyileştirilmesinde de önemli bir rol oynar. İyi bilinen bir teknolojidir ve hem sabit hem de mobil uygulamalar için kullanılabilir. Kompakt üre-SCR, NO_x kirletici maddelerini Avrupa geçici döngü (ETC) ve Avrupa sabit durum döngüsünde (ESC) %70'in üzerinde azaltılabilir. Wurzenberger ve Wanker'e (2005) göre, Avrupa komisyonu "Üre-SCR sistemlerinin Euro IV ve Euro V emisyon standardına uymak için en umut verici yaklaşımlar olduğunu" idda ettiler. Verimli ve etkili bir üre-SCR sistemi için, amonyum nitrat (NH₄NO₃), siyanürik asit ((HNCO) 3) gibi yan ürünlerin olası üretimini önlemek için enjekte edilen üre çözeltisinin tamamen 200 °C'nin altında ayrıştırılması son derece önemlidir. Ayrıca, enjeksiyon sisteminin yüksek hassasiyete sahip olması ve kolayca yanıt verebilmesi de büyük bir endişe kaynağıdır. Bu nedenle, indirgeyici miktarını kontrol etmek için bir darbe genişlik modülasyonlu (PWM) enjektör kullanan bir motor kontrol modülü (ECM) ile birleştirilmiş bir SCR sistemi ve

egzozdaki indirgeyicinin eşit dağılımını sağlamak için bir hava destek sistemi geliştirmek zorunludur (Shah et al. 2010).

Otomotiv emisyonlarının artan şekilleri nedeniyle yönetmelikler, yüksek verimli ve kirlilik içermeyen otomobillerin geliştirilmesine acilen ihtiyaç duyulmaktadır. Yalın yanan motorlar, yüksek verimli otomobillerin geliştirilmesi için çok önemlidir, özellikle de dizel motorlu araçlar, giderek daha katı olan emisyon düzenlemelerinin karşılanması için alternatifler olarak değerlendirilecekse. Dizel motorlardan PM (partikül madde) ve NO_x çıkışını azaltan yeni cihazların geliştirilmesi, otomotiv endüstrisinin çevresel gereksinimlerini karşılamak için gereklidir. Bu nedenle, DPF (dizel partikül filtresi) ve SCR (seçici katalitik indirgeme)de NO_x katalizör teknolojisinin geliştirilmesi kaçınılmazdır. On yıldan fazla bir süredir SCR, dizel otomobil motorlarında NO_x 'i azaltmak için umut verici bir teknoloji olarak bahsediliyor. SCR sadece O_2 değil, aynı zamanda su, karbon monoksit, karbondioksit ve sülfür dioksit varlığında NO_x 'i seçici olarak ortadan kaldırabildiğinden, ağır hizmet araçlarından, özellikle kamyonlardan kaynaklanan NO_x emisyonlarını azaltmanın en umut verici yolu olarak gözükmüyor.

Üre, otomotiv uygulamaları için tercih edilen indirgeyici ajandır çünkü toksisite ve kullanım açısından önemli avantajlara sahiptir. Bununla birlikte, ürenin NH_3 ve karbondioksit temeli termal ayrışması, de NO_x sürecini karmaşık hale getirir. Termal bozunma genellikle üre solüsyonlarının (normalde %32,5) doğrudan sıcak egzoz gazı akımına püskürtülmesi ile gerçekleştirilir. Bu, ürenin önce termolize edilmesi ve ardından NH_3 'e hidrolize edilmesi gerektiği anlamına gelir. Bununla birlikte, SCR sistemlerinin geometrik konfigürasyonları belirli tasarım kısıtlamalarından etkilenir. Özellikle, bir mobil SCR sistemi yalnızca bir üre enjeksiyon pozisyonu ile katalizör girişi arasındaki kısa mesafe, bu eksik üre NH_3 ve HNCO 'ya ayrışmasına yol açabilir. Bu nedenle, üre ayrıştırma işlemi sırasında SCR katalizöründe önemli bir performans düşüşü meydana gelebilir. Bu nedenle, bir otomobil SCR sisteminin başarılı bir şekilde uygulanması, su buharlaşmasının ve üre çözelti damlacıklarının termolizinin hızla tamamlanmasına bağlıdır. SCR sisteminin performansı, NH_3 / NO_x karışımının homojenliği, katalizör sıcaklığı, boşluk hızı, akışın homojenliği ve üre çözeltisinin püskürtme kalitesi gibi çeşitli ek faktörlere bağlıdır. Stokiyometrik NH_3 / NO_x 'in molar oranı, SCR katalizörünün NO_x indirgeme reaksiyonunda yaklaşık 1'dir. NH_3 , SCR katalizörünün yerel bölgesinde NO_x 'e göre bolsa,

reaksiyona girmemiş NH_3 egzoz borusu emisyonları olacaktır. Enjektör egzoz gazı akışına NO_x miktarı için çok fazla indirgeyici besler (" NH_3 slip" olarak adlandırılır). Uygulamada yetersiz karıştırma ve yetersiz püskürtme kalitesi nedeniyle $\text{NH}_3 / \text{NO}_x$ 'in stokiyometrik olmayan koşulları kolayca ve lokal olarak meydana gelebilir. Bu nedenle, çevresel bir bakış açısıyla, NH_3 , Avrupa işyerinde düzenlenmemiş bir bileşik olduğu için NH_3 kaymasının en aza indirilmesi kritik önem taşır. Amerika Birleşik Devletleri'nde düzenlenmiş bir otomotiv emisyonu. İçin NH_3 kaymasının minimizasyonu içerisinde NO_x dönüşüm verimliliğinin maksimizasyonu, standardın $\text{NH}_3 / \text{NO}_x$ molar oranının girişinde sapması Ortalama $\text{NH}_3 / \text{NO}_x$ molar iken SCR katalizörü en aza indirilir ve oran, stokiyometrik değerine eşitlenir. Bu amaca ulaşmak için, üre çözeltisi damlacıkları ve egzoz gazının SCR katalizöründen önce homojen olarak karıştırılması gerekir çünkü NO_x dönüşüm verimliliği ve NH_3 kayma, NH_3 dağılımına ve homojen olmayan egzoz akışına büyük ölçüde bağlıdır ve bu da bu bölgelerde daha hızlı yaşlanma etkileri yaratabilir. Bu nedenle, çeşitli çalışma koşullarında enjektörün geometrisi ve üre çözeltisinin püskürtme işlemi, tasarımın erken aşamasında optimize edilmelidir çünkü enjektör memesi, enjektör konumu ve püskürtme kalitesi, buharlaşma ve termoliz verimliliği, mekansal dağılım için çok önemli faktörlerdir.

Bununla birlikte, SCR sisteminin önceki çalışmalarının çoğu, NO_x 'in dönüşümü için SCR katalizörünün yalnızca ana reaksiyonlarına ve ardından üre ayrışmasının tamamlanmasına odaklanmıştır. Öte yandan, ürenin NH_3 'e etkin bir şekilde ayrışması ile ilgili çalışmalar literatürde azdır. Bu, enjektör geometrisinin anlaşılması ve SCR sistemlerinde üre çözeltisi damlacıklarının termoliz verimliliği üzerindeki çalışma koşulu etkilerinin anlaşılmasında ilgi uyandırmıştır.

Üre çözeltisi sıcak egzoz gazı akımına püskürtüldüğünde, damlacıklardan suyun buharlaşmasından sonra katı veya erimiş üre üretilen olacaktır. Schaber vd. ürenin $133\text{ }^\circ\text{C}$ 'de eridiğini ve ürenin NH_3 ve HNCO 'ya termal ayrışmasının başladığını bulmuştur. Üre pirolizini incelediler ve tam bir $135\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar üre erimesi sağlanamaz. Ayrıca bu kütle üre kaybı $140\text{ }^\circ\text{C}$ civarında başladı. Stradella ve Argentero, ürenin termal ayrışmasının $152\text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerinde tamamen belirgin hale geldiğini yayınladı. Yim vd. sıvı veya gaz üreyi gösterdi ve kalış süresi 0,1 saniyeden uzun olduğunda ürenin $350\text{ }^\circ\text{C}$ 'de NH_3 ve izosiyanik aside tamamen ayrıştığını gösterdi. Caton ve Siebers, kuru ürenin nitrojende

ayrışmasını inceledi ve yaklaşık 720 K sıcaklıkta ürenin kabaca eşit miktarlarda NH_3 ve HNCO 'ya ayrıştığını gösterdi. Gentemann ve Canton, bir laminar akış reaktörü kullanarak üre-su çözeltilerinin ayrışma ve oksidasyon süreçlerini inceledi. Elde ettikleri sonuçları oran ifadeleri açısından açıklayabildiler. Cremer vd. saf suyun buharlaşmasından sonra ürenin hızlı bir şekilde ayrıştığını varsaydılar, çünkü odak noktaları 1,100 K'nin üzerindeki sıcaklıklarda seçici katalitik olmayan reaksiyondur. Deur ve ark. termal ayrışmanın buharlaşma sürecine göre anında oluşur.

NH_3 'e üre dönüşümü için kinetik verilerinin eksikliğinden dolayı hızlı bir kimya olarak proses ve yüksek egzoz sıcaklığında sabit durum koşulu altında üre-su çözeltilisinin sabit özellikleri kullanıldı. Wurzenberger ve Wanker, yapay taşıma denklemlerini model üreyi gaz fazında eritmiş ve üç boyutlu modellemede üre ayrışma reaksiyonları homojen bir gaz fazı reaksiyonu olarak ortaya çıkardı. Helden vd. sıcak gaz akımında enjekte edilen üre çözeltilisinin karıştırma etkinliği ve katalizördeki üre konsantrasyonunun NO_x 'in bir indirgeme maddesi olarak su ile homojenliği sayısal olarak tahmin etmiştir. Alzueta vd. Üre ayrışma yollarının ve hızlarının SNCR (seçici katalitik olmayan indirgeme) süreçlerinin modellenmesi üzerindeki etkisini inceledi ve “Ürenin ayrışması hakkında ayrıntılar SNCR süreçlerinin doğru modellemesi için bilgi önemlidir” açıklamasını yaptılar. Bütünleşmiş bir CFD metodolojisi, yalnızca verimli ve optimize edilmiş SCR sistemlerinin tasarımına yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda tasarım döngülerinin sayısını ve geliştirme giderlerini de azaltır. Üre spreyinin özelliklerini, kimyasal türlerin karışımını ve karmaşık türbülans karışım akış modelini birleştiren SCR sistemlerinin ayrıntılı üç boyutlu sayısal modellemesi, tasarım değişikliklerinin etkilerini ve üre ayrışmasının verimliliğini tahmin etmek için bu çalışmada tartışılmıştır. Bu nedenle, enjektör konumunun, konfigürasyonunun ve çalışma koşullarının termoliz verimliliği ve NH_3 konsantrasyonunun yerel homojenliği üzerindeki etkileri simülasyonlardan incelenmiştir.

Nagaoka ve arkadaşlarının deneysel ve mevcut sayısal sonuçları arasındaki çözümler, bu çalışmada kullanılan dağılım ve çarpma modelinin, sıcak egzoz gazı akışındaki püskürtülmüş üre çözeltilisi damlacıklarının termal davranışını ve duvar sonrası davranışı tahmin edebildiğini göstermektedir (Jeong et al. 2008)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Üre Çözeltisinin ve Yakıt Karışımlarının Hazırlanış Evresi

Üre çözeltisi, yapılacak olan çalışma için en uygun kimyasal özelliklerde hazırlanarak deney düzeneğine uygun hale getirilmiştir. Çözelti hazırlama evresi aşağıdaki düzen ve şekilde hazırlanmıştır.

- 550 gr ürenin hassas terazi ile tartımı yapılır ve 1000'lik balon jojeye alınır. Tartım işlemi yapılan üre üzerine bir miktar saf su eklenerek sürekli çalkalanarak karıştırma işlemi yapılmıştır. Total hacim 1 litre oluncaya kadar saf su ilave edilerek %55 üre ve %45'lik saf su karışımı hazırlanmıştır. Ardından sitrik asit karışımı için %0,05 mg sitrik asit eklenmesi yapılarak %55 üre, %2,5 sitrik asit ve %42,5 saf su karışımı elde edilmiştir. Sitrik asit eklenme sebebi, ürenin su içinde çözünürlüğünü arttırmaktır. Süreci hızlandırmak ve kolaylaştırmak için Manyetik karıştırıcıda manyetik balık yardımıyla karıştırma işlemi yapılmıştır. Çözünme işlemi tamamıyla gerçekleştiğinde üre çözeltisi manyetik karıştırıcıdan alınır ve muhafaza etmek için belirlenen 1 litrelik şişelere doldurulmuştur. Bu çözeltilerin yanında standart olarak piyasada satılan AdBlue olarak adlandırılan %32,5 üre %67,5 saf su karışımı satın alınmıştır.
- Hazırlanan iki karışım ve AdBlue yakıt içerisine karışımı için ise literatürde gerekli incelemeler yapılmış ve üre-saf su karışımı için en çok %9 en az %3 ve ideal karışımın ise %5-6 bandında olduğu görülmüştür. Buna göre de hazırlanan iki karışım ve AdBlue yakıtı %5 karıştırılmasına karar verilmiştir. Bu karışımlar içinde piyasada satılan katkısız motorin satın alınarak %5 karışımlar ilave edilerek ultrasonik karıştırıcı ile karıştırılmış ve motorda kullanılacak seviyede hazır hale getirilmiştir.

3.2. Motor ve Test Düzeneğinin Kurulumu

Bu bölümde üre ile motorinin motor performansı ve yakıta katkısını incelemek ve gözlemlemek için kullandığımız ana malzemelerden ve materyallerden bahsedilecek ve ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

Öncelikle deney için test düzeneği oluşturmak amacıyla kullanılan dizel motorlu jeneratörün sisteminden ve eklenen yakıtlar hakkında bilgi verilmesinde fayda vardır. Tablo 3.1.'de dizel motorlu jeneratör için teknik bilgiler verilmiştir.

Tablo 3.1. GENPOWER GDG 7000 jeneratörünün teknik özellikleri

	Model	186 FAG
MOTOR	Tip	Hava Soğutmalı- 4 Zamanlı
	Silindir Hacmi	418 cm ³
	Maksimum Çıkış Gücü	7 kW
	Çalıştırma Şekli	Marşlı
JENERATÖR	Maksimum Çıkış Gücü	7 kVA
	Sürekli Çalıştırma Gücü	6 kVA
	Frekans	50 Hz

Elektrikli ve gerçek otomotiv sektöründe kullanılan motorların fiyatları oldukça yüksektir. Yurtdışından gelişleri oldukça sıkıntılı bir durumdur. Ekonomik olması ve ülke standartına uygun olması için daha net sonuçlar vereceğinden dizel motorlu jeneratör uygun görülmüştür. Literatür özetinde de bahsedildiği gibi, dizel motorlu jeneratörler ile ilave aparatlar ve ek parçalar ile de bu deney ve analizlerin yapılabilirdiği görülmüştür. Bu ihtimaller baz alınarak tabloda da görüldüğü gibi maksimum çalışma gücü 7 kW olan alternatöre sahip dizel motorlu jeneratör tercih edilmiştir. Bu jeneratörün motoru 4 zamanlı, hava soğutmalı ve enjeksiyonlu sistem olarak 10 HP(BG) gücündedir. Motorun yüklenmesi işlemi için deney düzeneğine 250 W ve 1000 W'lık projektörler ile yükleme ünitesi hazırlanmış ve bağlantıları yapılmıştır. Motor üzerinde yapılan değişiklikler ile motorun silindir içi basınç, yakıt hat basıncı, motor devri ve egzoz gazı sıcaklığı değerleri ölçülmüş ve yüksek frekanslı dijital osiloskop ile kayıt altına alınarak tüm veriler değerlendirilip tablolanmıştır.

3.3. Deney Motorunun Yükleme Aşamaları

Dizel motorunun yüklenmesi işlemi, jeneratörün çektiği akımın kontrol edilmesi ile sağlanmaktadır. Bu amaçla 250 W ve 1000 W gücünde metal halide ampüllü projektörler kullanılmış ve jeneratörden çekilen güce bağlı olarak kontrol edilerek dizel motorunun yüklenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Dizel motoru 7 kW gücündedir. Dolayısıyla jeneratöre bağlanan 3 adet 1000 W, 2 adet 500 W gücündeki projektör ile dizel motorunun yüklenmesi sağlanarak üre+yakıt karışımındaki performans ve davranışı gözlemlenecektir. Her bir projektöre farklı güçte yükleme işlemi için ayrı ayrı anahtar devreleri kurulmuş ve jeneratör ile elektrik bağlantıları 3x2,5 elektrik kabloları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Literatürde deney motorunun yüklenmesi işleminde benzer uygulamalara rastlamak mümkündür. Yükleme işlemi aşama aşama gerçekleşecektir. İlk önce 500 W lık projektör bağlanacak ve motor çalıştırılıp tüm parametreler göz önüne alınarak performans gözlemlenecektir. Daha sonra sırasıyla 1000-1500-2000-2500-3000 ve 3500 W lık projektörler ile çalışma sağlanacak ve her bir projektörde her parametre incelenip değerlendirilmek için tablolastırılacaktır.

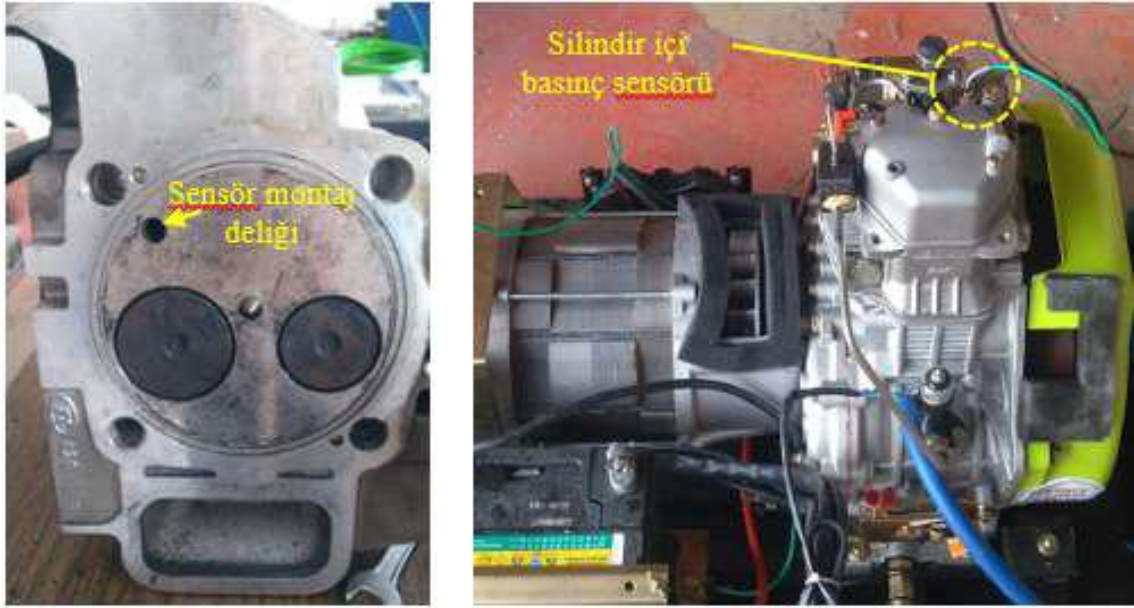
3.4. Silindir İçi Basınç Ölçümü

Silindir içi basıncın anlık ölçülmesi amacıyla bir adet KİSTLER marka silindir içi basınç sensörü ve bir adet de gerilim yükselticisi kullanılmıştır. İçten yanmalı motorlar üzerine yapılan çalışmalarda literatür özetinde de görüleceği gibi silindir içi basıncın ölçülmesi işleminde KİSTLER Piezo dirençli sensörlerin kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur. Silindir içi basınç sensörünün özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Kistler 4065B0200DS1-2,0 silindir içi basınç sensörü özellikleri

ÖZELLİK	DEĞER	BİRİM
Ölçüm Aralığı	0-200	Bar
Aşırı Yükleme	300	Bar
Besleme Gerilimi	10-39	V DC
Çıkış Voltajı	0-5($\pm 0,25$)	V DC
Frekans	0-40	kHz
Maksimum Sapma Basıncı	$\pm 1,5$	%
Lineerlik	$\leq \pm 0,3$	%
Çalışma Sıcaklığı	-40-+140	$^{\circ}\text{C}$

Silindir içi basınç sensörünün montaj işlemi için öncelikle dizel motorun silindir kapağı üzerine M6 matkap ile delik delinmiştir. Daha sonra bu deliğin içerisine M7x0,75 dış açılarak silindir içi basınç sensörünün montajı gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1’de basınç sensörünün montajı için silindir kapağına açılan delik ve sensörün montajlı hali görülmektedir.



Şekil 3.1. Silindir içi basınç sensörünün deney motoruna montajı

3.5. Yakıt Hattı Basınç Ölçümü

Dizel motorunun yakıt hattı basıncının anlık olarak ölçülmesi amacıyla bir adet OPRANT marka basınç sensörü kullanılmıştır. Literatür özetinde de görüleceği gibi dizel motorlarında yakıt hat basıncının ölçülmesi işleminde Oprant AutoPSI Basınç Sensörünün oldukça sık kullanıldığı çalışmalara rastlamak mümkündür. Yakıt hattı basınç sensörünün özellikleri Tablo 3.3’te verilmiştir.

Tablo 3.3. Oprant AutoPSI basınç sensörü özellikleri

ÖZELLİK	DEĞER	BİRİM
Ölçüm Aralığı	0-340	Bar
Aşırı Yükleme	680	Bar
Giriş Voltajı	9-18	V DC
Çıkış Voltajı	0,5-5	V DC
Frekans	0,1-20	kHz
Hassasiyet	Yanma gerçekleştiğinde ± 1	%
	Yanma gerçekleşmediğinde $\pm 0,5$	%
Çalışma Sıcaklığı	-40-+140	$^{\circ}\text{C}$

Yakıt hattı basınç sensörünün montajını gerçekleştirebilmek için, öncelikle çelik malzemeden bir ara bağlantı parçasının imalatı gerçekleştirilmiştir. Ara bağlantı parçasına gerekli ölçülerde delikler açılarak, yakıt hat basınç sensörünün montajı gerçekleştirilmiştir. Yakıt hattı borusu motor üzerinden sökülmüş ve yakıt enjektörüne mümkün olduğunca yakın bir bölümünden kesilerek ikiye ayrılmıştır. Yakıt hattı boyunun uzamasından kaynaklanabilecek ateşleme gecikmesi ve benzeri olumsuzlukların önüne geçmek amacıyla ara bağlantı parçasının genişliği kadar, yakıt hattı borusundan kesilerek yakıt borusunun boyu kısaltılmıştır. İki parçalı bakır alaşımlı yakıt hattı borusunun arasına, imalatı yapılmış olan ara bağlantı parçası yerleştirilerek kaynaklı birleştirme işlemi ile birleştirilmiştir. Şekil 3.2’de yakıt hattı basınç sensörünün montajı için imal edilen ara bağlantı parçası ve yakıt hattı borusuna montajı görülmektedir.



Şekil 3.2. Yakıt hattı basınç sensörü ara bağlantı parçasının yakıt hattı borusuna montajı

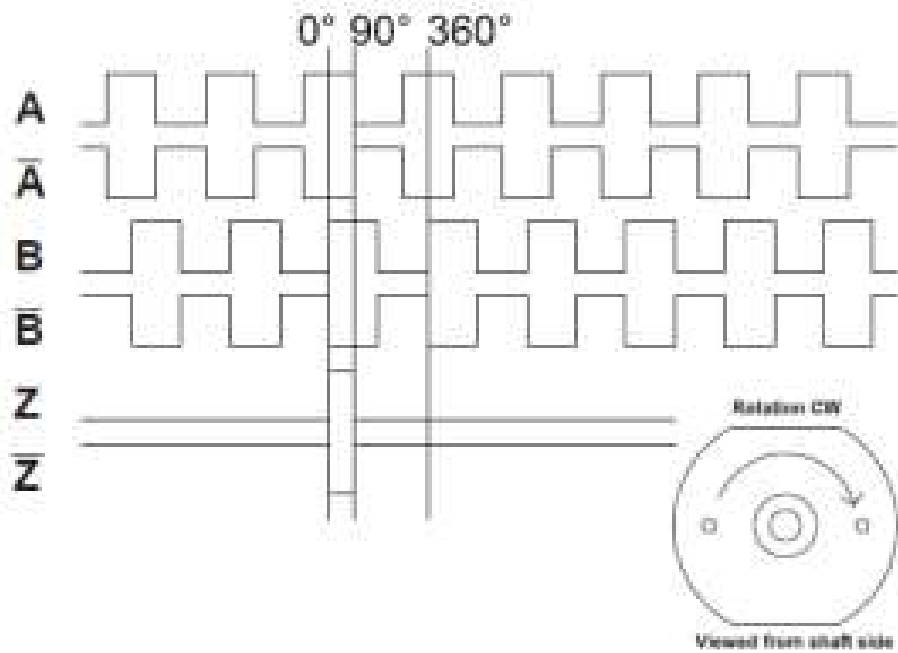
3.6. Motor Krank Açısı Ölçümü

Motor krank mili dönüşünün derece olarak ölçülmesi amacıyla 50B model artımlı encoder kullanılmıştır. Encoder'ın özellikleri Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4. FNC 50B artımlı optik encoder teknik özellikleri

ÖZELLİK	DEĞER	BİRİM
Besleme Gerilimi	4,75-30	V DC
Pulse Hızı	500	Puls/Devir
Çıkış Sinyali	90° kaymış A ve B, Z	
Çalışma Sıcaklığı	-20-+85	°C
Maksimum Çalışma Hızı	5000	Devir/Dakika
Mil Yüğü	≤60 eksenel	N
	≤80 radyal	N
Frekans	<300	kHz

Şekil 3.3'te artımlı encoderin puls diyagramı görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, enkoder A, B ve Z olmak üzere üç çıkışa sahiptir. Kanal B, Kanal A'yı 90 derece faz kayması ile yönlendirmektedir. Z kanalı, encoderin her dönüşünde bir pulse oluşturmaktadır. A ve B kanalları dönüş yönü ve konum bilgisi için kullanılırken, Z kanalları devir sayısı ölçümü için kullanılmaktadır.



Şekil 3.3. Encoder Puls diyagramı

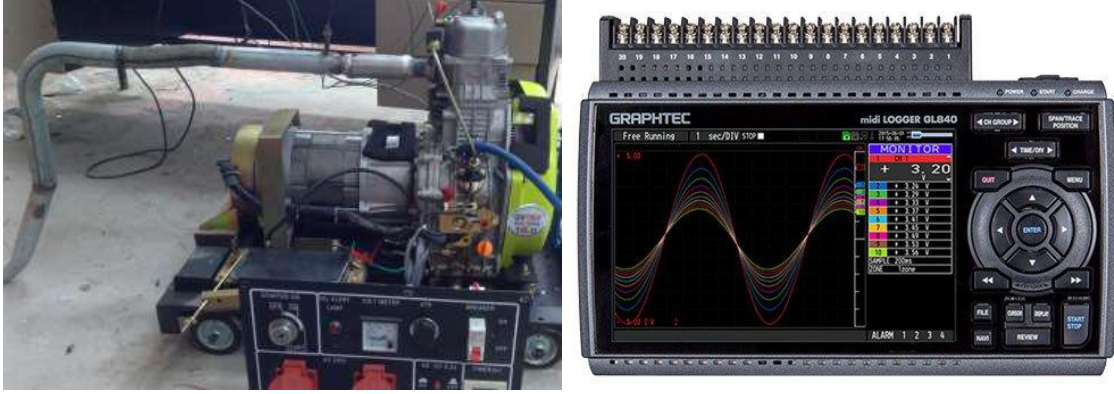
Encoder'ın krank mili eksenine dik olarak bağlantısını gerçekleştirebilmek amacıyla krank kasnağı önüne 3 mm kalınlığındaki çelik sacdan destek parçası imal edilmiştir. Ayrıca encoder ile krank milini aynı eksende bileştirerek krank milinin dairesel hareketini doğrudan encodere iletmek amacıyla bağlantı parçası imal edilmiştir. Encoderin 8 mm çapındaki mili ile bağlantı parçasının mili, bir kaplin yardımı ile aynı eksen üzerinde montajları gerçekleştirilmiştir. Encoderin motor üzerinde montajı gerçekleştirilmiş hali Şekil 3.4'te görülmektedir. Literatür özetinde, motor devrinin hassas bir şekilde ölçülmesi amacıyla çeşitli marka ve modellerde encoderlerin yaygın olarak kullanılmakta olduğu görülmektedir.



Şekil 3.4. Encoderin motor üzerine montajı

3.7. Egzoz Gazı Sıcaklık Ölçülmesi

Deney motorunun egzoz gazı sıcaklığının ölçülmesi işleminde bir K tipi termokupl kullanılmıştır. Literatür özetinde benzer şekilde egzoz gazı sıcaklığının ölçülmesi işleminde K tipi termokupl yaygın olarak kullanılmaktadır. Egzoz borusu üzerine, motor çıkışından 20 cm ileriye K tipi termokupl yerleştirilmiş ve buradan egzoz gazı sıcaklıklarının ölçülmesi işlemi gerçekleştirilmektedir. Egzoz gazı sıcaklığının ölçülmesinde kullanılan K tipi termokuplun deney düzeneğindeki montajı Şekil 3.5'de görülmektedir.



Şekil 3.5. Deney düzeneği üzerinde termokupl montajının gösterimi ve termokupl göstergesi

3.8. Yakıt Tüketim Değerinin Ölçülmesi

İçten yanmalı motorlarda performans testlerinin gerçekleştirilmesi işlemlerinde, çalışma koşullarına göre motorun yakıt tüketiminin belirlenmesi oldukça önemlidir. Yakıt tüketimi değeri, belirli bir kütle ya da hacimdeki yakıtın tükenme süresi ile hesaplanabilmektedir. Yapılan bu çalışmada da yakıt deposunun altına hassas bir terazi yerleştirilmiş, 10 gr yakıtın tükenmesi için geçen süre bir kronometre yardımı ile tespit edilmiştir. Daha sonra elde edilen bu değer kullanılarak saatteki yakıt tüketim değeri hesaplanmıştır. Çalışmada, 0,01 gram hassasiyete sahip RADWAG PS 6000, R2.H marka hassas terazi kullanılmıştır. Şekil 3.6’da terazi gösterilmiştir.



Şekil 3.6. RADWAG PS 6000, R2.H marka hassas terazi

3.9. Motor Test Verilerinin Kontrolü ve Kaydedilmesi

Motor testlerinde ve analiz işlemlerinde ve gerektiğinde kalite kontrol sistemlerinde sabit hız jeneratörü oldukça yaygın kullanılmaktadır. Literatür çalışmalarına bakıldığında da açıkça görülebilmektedir. Dolayısıyla, jeneratör motoru standart olarak dakikada 3000 devir dönecek şekilde ayarlanmıştır. Motor devri, jeneratör üzerinde bulunan elektronik hız kontrol devresi tarafından kontrol edilmektedir. 3000 devir/dakika ile çalışmakta olan deney motorunun her bir krank açısı için veri kaydını gerçekleştirebilmek amacıyla yüksek örnekleme hızına sahip PicoScope marka 2406B Model 4 kanallı dijital osiloskop kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmaya benzer şekilde, literatürde osiloskop kullanılarak veri kaydı işlemi gerçekleştirilen çalışmalara rastlamak mümkündür. Şekil 3.7’de PicoScope marka 2406B Model 4 kanallı Osiloskop görülmektedir. Osiloskopun genel özellikleri Tablo 3.5’te verilmiştir.

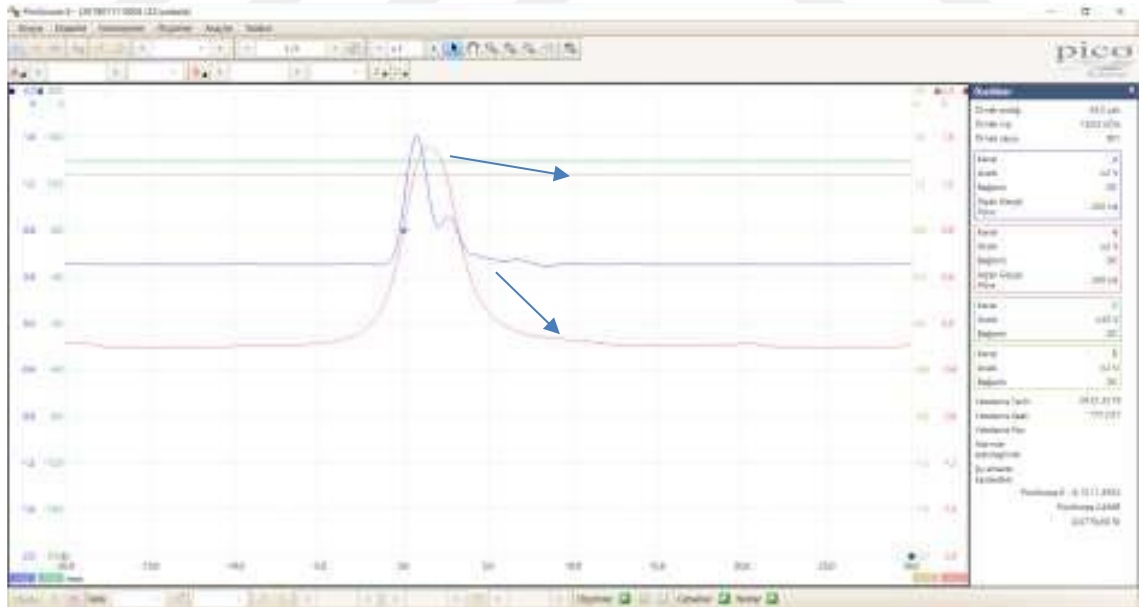


Şekil 3.7. PicoScope marka 2406B Model 4 kanallı Osiloskop

Tablo 3.5. PicoScope marka 2406B Model 4 kanallı Osiloskop teknik özellikleri

ÖZELLİK	DEĞER	BİRİM
Kanal Sayısı	4	
Band Genişliği	50	MHz
Giriş Aralıkları	± 20 - ± 20	mV-V
Giriş Hassasiyeti	4-4	mV/div-V/div
Giriş Akımı		AC/DC
DC doğruluğu	± 3	%
Giriş konektörü	Tek Üçlü	
Frekans	<300	kHz
Maksimum Örnekleme Hızı	1.Kanal	1 GS/s
	1.Kanal	500 MS/s
	3 ve 4.Kanal	250 MS/s
Eřdeđer zaman örnekleme oranı	10	GS/s
En kısa zaman tabanı	2	ns/div
En uzun zaman tabanı	5000	s/div

PicoScope osiloskopun yazılımı bilgisayara yüklendikten sonra bağlantı kablosu ile bilgisayara bağlanmaktadır. Elde edilen veriler osiloskop ara yüzü üzerinden bilgisayar ortamına aktarılmakta, kontrol ve kayıt işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Osiloskop ile elde edilen verilerin bilgisayar ekranındaki anlık görüntüsü Şekil 3.8’de verilmiştir.

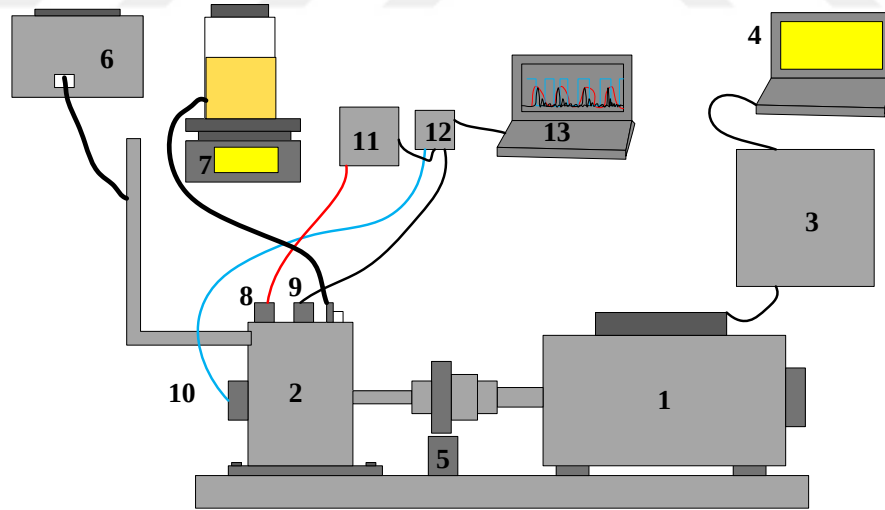


Şekil 3.8. Osiloskoptan elde edilen verilerin anlık görüntüsü

Kurulumu gerçekleştirilen ve deneysel çalışmaya hazır hale getirilen motor test ünitesinin genel görünümü ve şematik resmi Şekil 3.9’da ve Şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.9. Deney düzeneği genel görünüm



Şekil 3.10. Deney düzeneği şematik görünüm (1. Dinamometre 2. Dizel motor 3. Kontrol paneli 4. Dinamometre kontrol bilgisayarı 5. Tork ölçer 6. Emisyon gazı analizörü 7. Hassas terazi 8. Silindir basınç sensörü 9. Yakıt Hattı Basıncı 10. Enkoder 11. Amplifikasyon 12. Osiloskop 13. Bilgisayar)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneye başlamadan önce, ilk olarak motor saf motorinde çalıştırılarak elde edilen tüm değerler not edilmiştir. Bu değerler;

- Silindir İç Basıncı,
- Isı Oluşumu,
- Kümülatif Isı Oluşumu,
- Basınç Artış Oranı,
- Emisyon Değerleri (CO, CO₂, NO_x, O₂, HC, Partükül),
- Egzoz Gazı Sıcaklığı,
- Fren Özgöl Yakıt Tüketimi olmak üzere adlandırılır

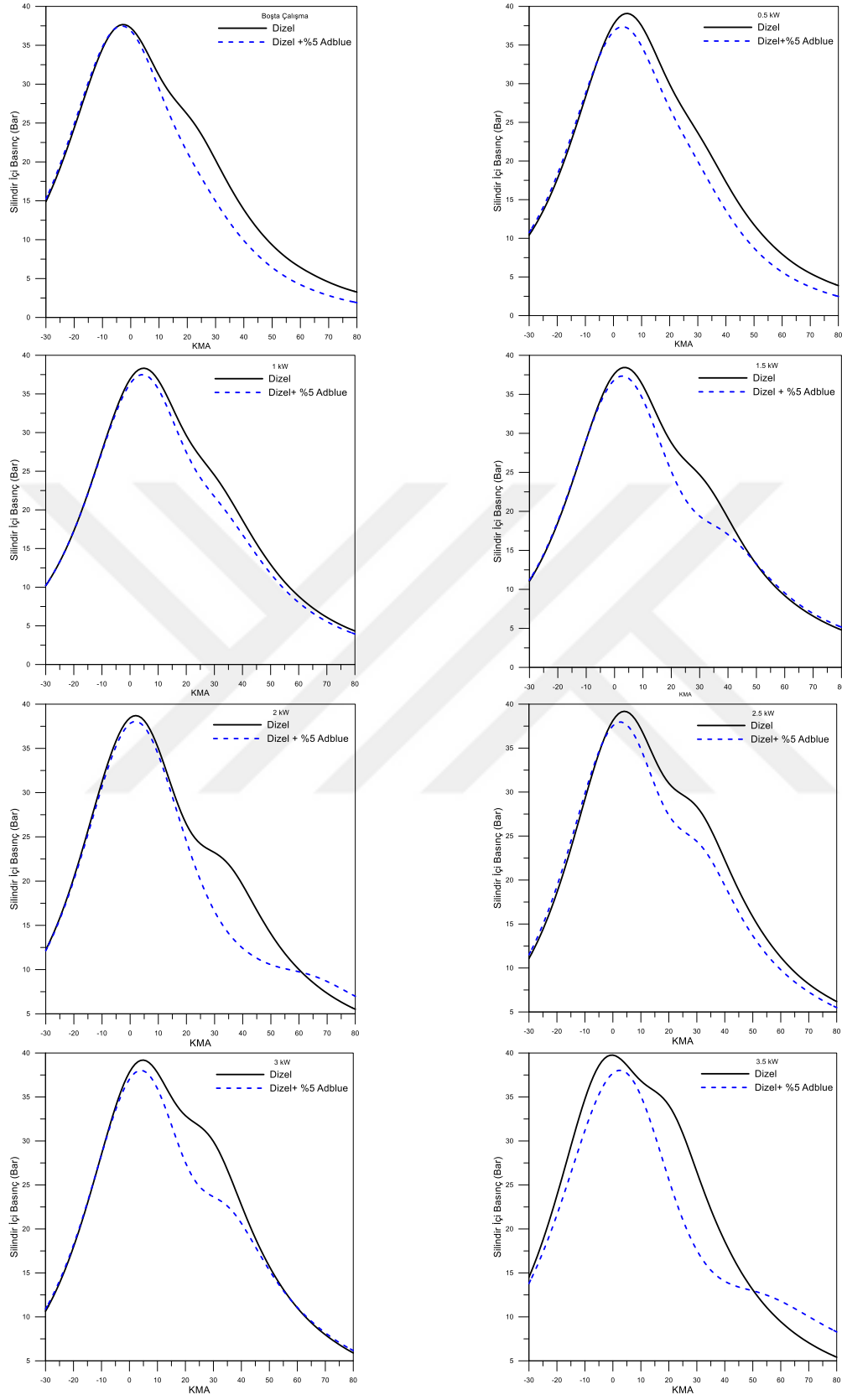
Elde edilen verilerden çizilen grafikler bu bölümde verilmektedir. Elde edilen grafiklerdeki değişimler açıklanmaya çalışılmıştır. Deney öncesi, K tipi termokupl egzoz borusu içine kilitlenmiştir. Hassas terazi üzerinde olan huni yardımıyla 1 litrelik motorin karbüratöre gönderilmiş, motor kontak anahtarı ile çalıştırılarak devri alması beklenmiştir. Daha sonra 500 W lık ilk projektör motora bağlanarak, terazi üzerindeki değer ile her 1 dakikada ne kadar yakıt tüketildiği not edilmiştir. Silindir için basınç değeri, artış oranı ve ısı değerleri sensörler yardımıyla bilgisayara aktarılan grafik verileri kaydedilmiştir. Son olarak termokupl dan ölçülen egzoz gazı sıcaklığı kaydedilerek 500 W lık diğer projektör bağlanmış ve motorun 1000 W lık projektör' de ne kadar değer performans sergilediği gözlemlenmeye başlanılmıştır. Aynı işlemler tek tek 1500, 2000, 2500, 3000 ve 3500 W lık tüm güçlerde yapılmış ve tüm değerler kaydedilerek motor performansı değerlendirilmiştir. 1 litrelik motorinin hepsi tükendiğinde ilk başta hazırladığımız karışım olan Motorin+AdBlue heterojen karışımı hassas terazi üzerinde bulunan huni yardımıyla karbüratöre gönderilmiştir. Projektörler sırayla 500 W tan, 3500 W a kadar bağlanmış ve tüm performans analizi yapılarak tüm veriler not edilmiştir.

Bu işlemler diğer kullanılacak olan, Motorin+Üre ve Motorin+Üre+ $C_6H_8O_7$ karışımları aynı yüzdelik oranda hazırlanmış ve motor sistemine gönderilmiştir. Değerler tek tek not alınmış ve performans analizi gözlemlenmiştir. Deney sonrası tüm veriler excel ortamında kaydedilerek grafik haline getirilmiştir. Dizel yakıtın diğer karışımlarla kıyaslanması yapılacak ve yukarıda verilen 7 madde de yer alan tüm değerler tek tek açıklanacaktır.

4.1. Dizel ve Dizel+ %5 AdBlue Karışımı

4.1.1. Silindir İçi Basınç Değerleri

Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için silindir içi basınç değerleri Şekil 4.1’de verilmiştir. Buna göre silindir için basınç değeri boşta çalışma durumunda 35,5 bar’a kadar neredeyse eşit ilerlemiştir. Basınç düşüşü esnasında dizel yakıt daha yüksek basınçta ilerlemiştir. Krank mili açısı (KMA) arttıkça neredeyse eşit olan basınç değerleri değişmiş ve dizel daha yüksek basınç değerine ulaşmıştır. Dizel yakıtın daha yüksek performans gösterdiği görülebilir. 0,5 kW yüklenme esnasında dizel yakıt 40 bar’a kadar çıkmıştır. Dizel+%0,5 AdBlue karışımı daha düşük basınç sergilemiştir. Bu durum daha düşük sıcaklık değerini gösterebilir. Basınç düşüşü yine boşta çalışma durumuyla benzerlik göstermiştir. Dizel yakıt daha yüksek basınçta düşüş gerçekleştirmiştir. Dizel yakıtın her iki durumda da daha yüksek performans gösterdiği görülebilir. 1 kW lık projektör ile tahrik durumunda, 0,5 kW lık projektör ile oluşan basınç verileri ortalama benzerlik göstermektedir. KMA’nın artmasıyla karışımların basınçlarının birbirine daha da yaklaştığı görülmektedir. 30° de basınç farkı meydana geldiği görülmektedir. Ürenin etkisi burda devreye girebilmektedir. Dizel yakıtın Maksimum basınç değeri, dizel+AdBlue karışımından 1 kW yüklemeye göre artmıştır. KMA’nın artmasıyla karışımların basınçlarının birbirine yaklaştığı görülmüştür. 1,5 kW lık yüklemeye üst değer dizel yakıtta olsa da KMA 30° ye geldiğinde iki karışımın basınç değerlerinde, 1 kW yüklemeye göre daha fazla sapma meydana gelmiştir. Bu durumun KMA arttıkça değişeceği düşünülebilir. Çünkü KMA’nın artması, dizel+AdBlue karışımının daha yüksek basınca çıkmasına sebep olmuştur.

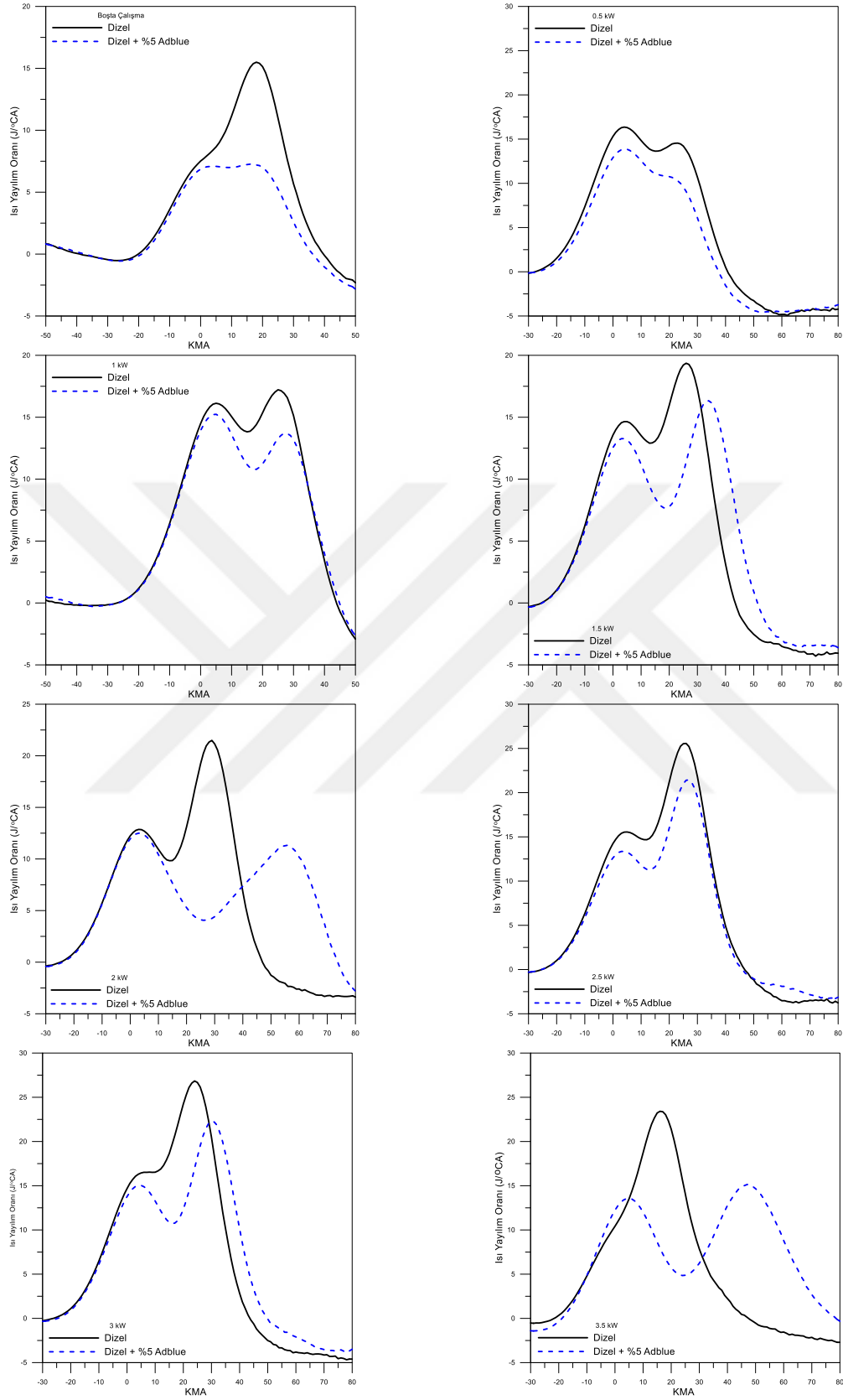


Şekil 4.1. Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için silindir içi basınç değerleri

Dizel yakıtın önceki durumlarda olduğu gibi 40 bara yakın değerlerde Dizel+AdBlue dan daha yüksek değeri koruduğu görülür. Basınç azalmasından itibaren oluşan fark 35⁰-40⁰'lik KMA'nda meydana geldiği görülür. Güç arttıkça bu fark dahada yükselmiştir. 60 KMA sonra Dizel+AdBlue, dizel yakıta göre daha yüksek basınçta azalmaya geçmiştir. Gücün artması ürenin etkisini daha fazla gösterdiği görülebilir. 2,5 kW lık yükleme esnasında meydana gelen en yüksek basınç değerinden sonra meydana gelen azalma bu kez dizel+AdBlue ile dizel yakıtın basınç farkı ile görülebilir. Oluşan bu fark diğer tahrik durumlarına göre daha fazla ve en üst noktadan itibaren oluşmaktadır. Bu tahrikte dizel yakıt daha performanslıdır. 500 W lık projektör eklemesi yapıldıktan sonra en yüksek basınç noktasına varmadan iki karışım yine daha farklı değerler göstermektedir. 1500 ve 2000 W'lık yüklemelerde görülen sapma burada da 25 KMA'nda meydana geldiğini söyleyebiliriz. Yükün artması ilk durumlarda olduğu gibi, en düşük basınç değerlerinde iki karışımın birbirine yaklaşmasına sebep olmuştur. Yük arttıkça düşük basınçta bu iki karışım benzer özellikler göstermektedir. En yüksek tahrik durumuna gelindiğinde, yukarıda verilen değerlerden farklı bir yükseliş göstermiştir. Dizel+AdBlue karışımı ile dizel yakıtın birbirlerinden ayrı bir basınç yükselişine girerek en yüksek basınç değerine gelindiğinde tekrar ayrı bir şekilde azalmaya girdiği görülür. 50 KMA ve neredeyse 10,5 bar'da iki yakıt türünde aynı basınç değerlerini göstermiş olsalarda, en yüksek noktaya gelindiğinde ayrı değerleri izlemişlerdir. Bu durum bazı kritik noktalarda iki karışımın benzer özellik gösterdiğini belirtir. Dizel+AdBlue karışımı daha düşük değerler vermektedir. 50⁰'lik KMA'ndan sonra dizel+AdBlue daha yüksek basınca ulaşmıştır.

4.1.2. Isı Yayılım Oranı

Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için ısı yayılım oranları Şekil 4.2'de verilmiştir. Buna göre; ilk olarak boşa çalışma durumunu incelersek, AdBlue katkılı dizel karışımının, dizel yakıta göre daha düşük ısı yayılımı gerçekleştirdiği ve bu sebepten daha geç yandığı görülmektedir. Bu durumun yakıt karışımındaki su oranı ile açıklamak mümkündür. Yakıt karışımındaki suyun artması yanmayı geciktirdiği düşünülebilir. Bu sebepten ısı salınımı dizel yakıta göre daha düşük kalmıştır.



Şekil 4.2. Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için ısı yayılım oranları

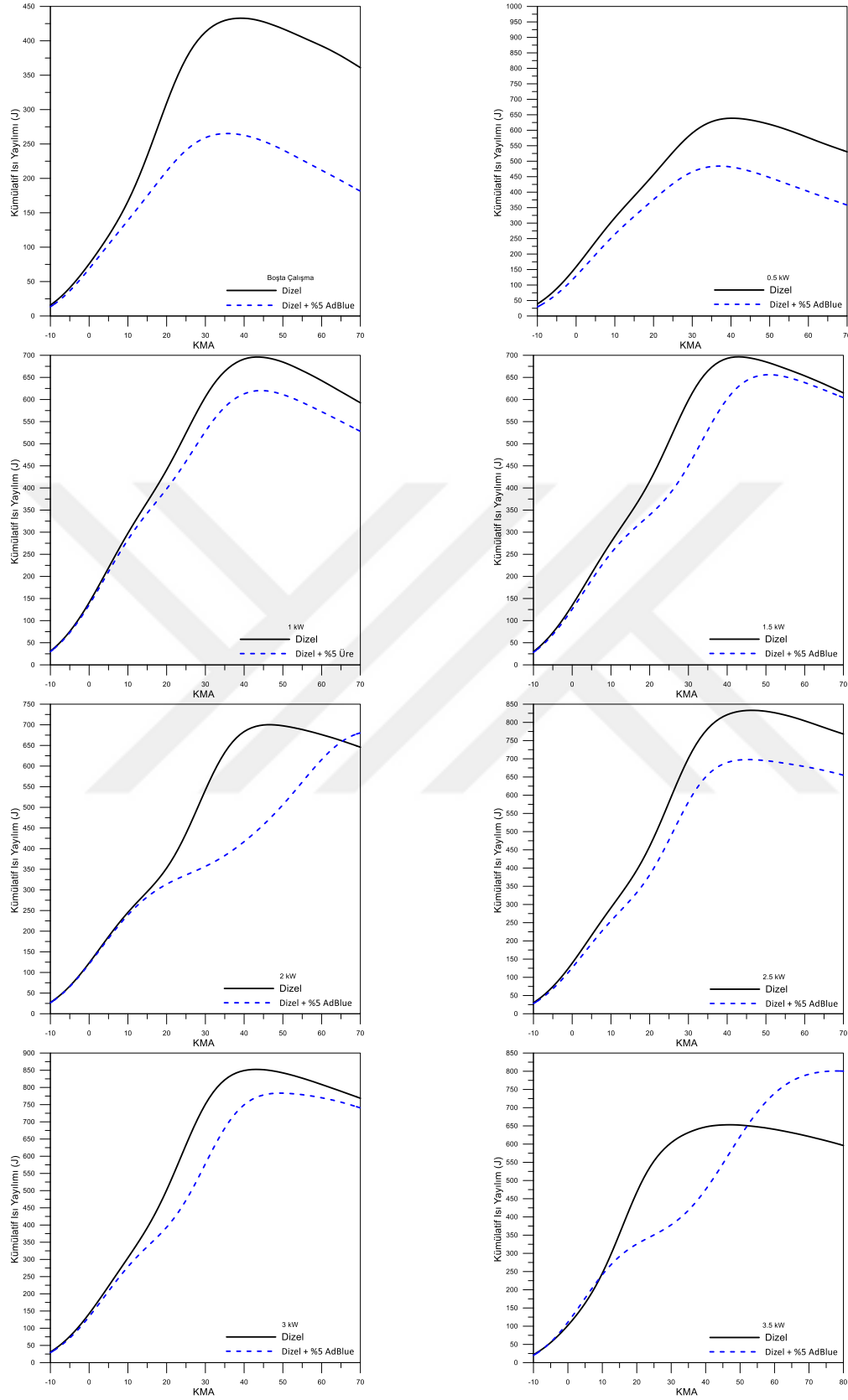
Başlangıçta aynı $j/^{\circ}\text{CA}$ 'de başlayan ısı yayılımı motor devrinin artmasıyla dizel yakıtında farkla yükseldiği görülmektedir. $15 j/^{\circ}\text{CA}$ ye çıkan dizel yakıtla, $7,5 j/^{\circ}\text{CA}$ ye çıkan AdBlue katkılı yakıt karışımının arasında oluşan farkın AdBlue katkılı yakıt karışımındaki su oranından olduğu söylenebilir. KMA'nın artmasıyla ısı yayılımı azalan iki karışımın son evrelerde ısı yayılımlarının birbirine yaklaştığı görülmektedir. $0,5 \text{ kW}$ yükleme durumunda, dizel yakıt ile AdBlue katkılı karışımın yakın değerler verdiği görülmüştür. Bu durumun motor yüke ilk bindiği andan dolayı kaynaklandığı düşünülebilir. 0° KMA'nda iki karışımında en yüksek ısı yayılım değerlerine ulaşmışlardır. 60° 'lık KMA'nda iki karışımında eksi değerleri görmüştür. KMA'nın artması ısı yayılımının azalmasına sebep olmuştur. Devir ile ilişkisinin orantılı olduğu görülmektedir. 1 kW yükleme durumunda iki karışımında ısı yayılım oranlarının arttığı görülmektedir. Yükün henüz fazla artmaması silindir içine alınan su miktarının daha az olmasından dolayı ısı yayılımlarının arttığı düşünülebilir. Her iki karışımında $0,5 \text{ kW}$ 'lık yüklemeye göre birbirlerine yakın değerler göstermişlerdir. 35 KMA 'ndan sonra iki karışımın aynı değerlerde ısı yayılım oranlarına sahip olduğu ve aynı oranda azaldığı görülmektedir. Açının artması değerlerin yaklaşmasına sebep olmuştur. $1,5 \text{ kW}$ yükleme durumunda yük arttıkça dizel yakıtın ısı yayılımının arttığı görülmektedir. $20 j/^{\circ}\text{CA}$ ye yakın değere ulaşmıştır. Yük arttıkça silindir içine alınan yakıtın artmasından dolayı ısı yayılım oranının yükseldiği açıktır. 25° ile 30° arasında dizel yakıt en yüksek ısı yayılımına sahiptir. AdBlue katkılı yakıt karışımının dizel yakıtı göre daha düşük olduğu ve bir önceki yükleme durumuna göre daha düşük ısı yayılımı gerçekleştirdiği görülmektedir. Silindir içine giren suyun artması bu durumu gerçekleştirdiği düşünülebilir. 60 KMA 'nda dizel yakıt ile AdBlue katkılı yakıt karışımı yakın ısı yayılımı göstermektedir. 2 kW yükleme durumunda dizel yakıt grafik olarak bir önceki yükleme durumuna benzer bir eğri çizmektedir. AdBlue katkılı yakıt karışımı 25 KMA 'nda en düşük değerini göstermiş lakin dizel karışımı en yüksek ısı yayılım değerini göstermiştir. İki karışım arasındaki en büyük ısı yayılım farkı burada görülmektedir. Silindir içindeki ısı yayılımının iyice azaldığı görülmektedir. Silindir içinde biriken su miktarı bu durumu iyice ortaya çıkarmıştır. Yüklemenin artması AdBlue katkılı yakıt karışımının ısı yayılımını düşürmüştür. $2,5 \text{ kW}$ yükleme durumunda dizel ve AdBlue katkılı yakıt karışımının birbirlerine yaklaştığı görülmektedir. Bu durum yükün artması ve harcanan yakıtın artmasına bağlıdır. Silindir içine giren su miktarının artması aynı zamanda silindire giren yakıtın artması sebep olduğundan bu durumun ortaya çıktığı görülebilir. 3 kW yükleme durumunda dizel yakıt grafik olarak benzer eğriler çizmiştir. 15° 'lık

KMA'nda AdBlue katkılı yakıt karışımı en düşük değeri gösterirken 30 KMA'nda en yüksek değerini gösterirken dizel yakıtın ısı yayılımı azalmaya başlamıştır. AdBlue katkılı yakıt karışımı dizel yakıtı benzer bir eğriyle ısı yayılımının 30 KMA'ndan sonra azaldığı görülmektedir. 3,5 kW yükleme durumunu incelersek dizel yakıtın daha parabolik bir eğri çizdiği görülmektedir. Yakıtın düzgün yanmasından dolayı ısı yayılım oranı AdBlue katkılı yakıt karışımına göre daha düzgündür. AdBlue katkılı yakıt karışımının ilk yükseldiği değerle son yükseldiği değerler birbirine çok yakındır. Silindir içindeki su oranının artması ve yakıtın yanmasından dolayı ısı yayılımı azalmaya girmiş ve tekrar ilk yükseldiği değere yaklaşmıştır.

Genel olarak dizel motorda motor yükünün artması, silindir içindeki yakıt miktarının artmasıyla mümkündür. Artan yakıt miktarı aynı zamanda ısı yayılım oranında da artışa neden olur. Artan yakıt miktarı ile silindirdeki yakıt/hava karışım oranı zenginleşir. Böylece hava/yakıt oranındaki dengesizlikler yanmayı kısmen kötüleştirir.

4.1.3. Kümülatif Isı Yayılımı

Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için kümülatif ısı yayılımı Şekil 4.3'te verilmiştir. Bilindiği üzere kümülatif ısı yayılımı krank açısına bağlı olarak ısı dağılımlarının ardışık toplanması ile elde edilmektedir. Dolayısıyla yanma odasında açığa çıkan toplam ısı ve yanmış kütle miktarı hakkında bilgi vermektedir. Haliyle grafiklerde okunacak değerler yanan yakıt kütlesi ile de bilgi verebilmektedir. Boşta çalışma durumunda dizel yakıt 425 J değerine ulaşarak AdBlue katkılı yakıtı göre oldukça yüksek kümülatif ısı yayılımına ulaşmıştır. Yanma odasına oluşan ısı miktarı AdBlue katkılı yakıtı göre yüksektir. 0,5 kW yükleme durumunda Dizel yakıt 650 J değerine ulaşmıştır. AdBlue katkılı yakıt neredeyse 200 J farkla daha az ısı yayılımına sebep olmuştur. AdBlue da yer alan su miktarı yanma odasının içinde ısının oluşmasını ve yakıtın kütleli olarak azalmasını engellediğinden dolayı bu durumun oluştuğu yorumlanabilir. Boşta çalışma durumuna göre yükselsede, Dizel yakıtı göre oldukça düşük kalmıştır. 1 kW yükleme durumunda AdBlue katkılı yakıtın ısı yayılımı artmıştır. Bu durumun silindir içine giren yakıt miktarının artmasından kaynaklanmıştır.

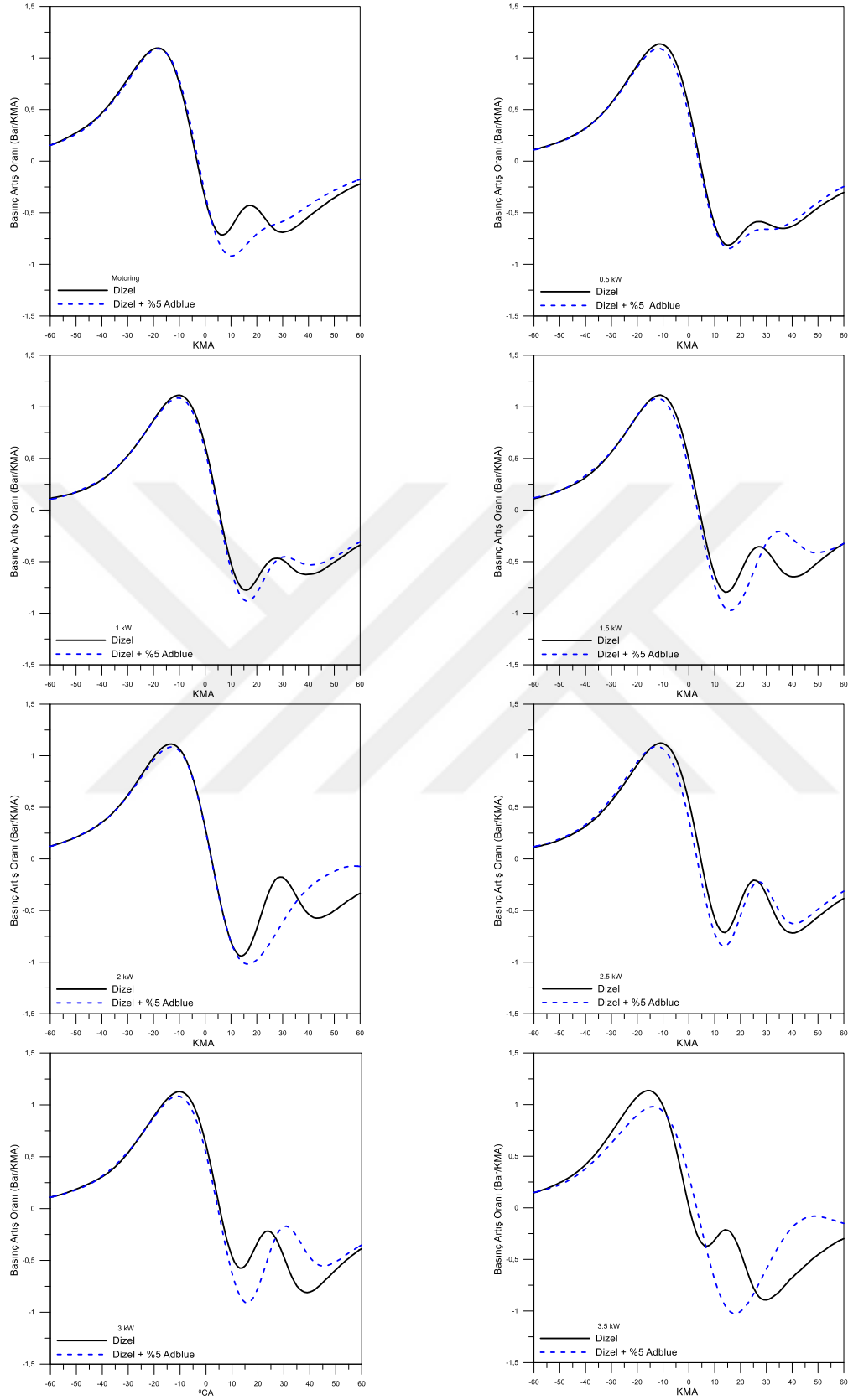


Şekil 4.3. Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için kümütatif ısı yayılımı

Dizel yakıtı göre aralarındaki farkı 75 J değerine kadar yaklaşmıştır. 1,5 kW'lık yükleme durumuna bakacak olursak Dizel yakıtta çok fazla değişim olmadığı lakin AdBlue katkılı yakıtın kümülatif ısı yayılım değerinin neredenyse 50 J arttığı görülebilir. 1 kW çalışma durumuna göre bu artış daha yüksek KMA'nda meydana gelmiştir. 2 kW yükleme durumunda AdBlue katkılı yakıt karışımında kümülatif ısı yayılımı çok düzgün olmayan bir artışa girmiştir. Yanma odası içindeki yakıtın tam yanamaması, yakıtta katılan AdBlue çözeltisi içerisindeki su nedeniyle yakıt içerisindeki suyun artması ve ek olarak yüklemenin artması bu durumu göstermiştir. 70 KMA'da dizel yakıtın üstüne çıkarak en yüksek değere ulaşmıştır. 2,5 kW yükleme durumunda dizel yakıtın ısı yayılımı 825 J değerine kadar çıkmıştır. Yüklemenin artması yanma odasındaki yakıtın fazlalaşması ısı yayılımını olumlu etkilemiştir. AdBlue katkılı yakıt karışımı bir önceki yükleme durumuna göre aynı değere çıkmış fakat artış biraz daha düzgünleşmiştir. 3 kW yükleme durumunda iki karışımda da ısı yayılımının arttığı görülmüştür. Yanma odasındaki sıcaklığın artması ve yüklemenin fazlalaşmasından kaynaklı olduğu düşünülebilir. AdBlue katkılı yakıt karışımı 775 J değerine ulaşmıştır. 70 KMA'da iki yakıt karışımının değerleri birbirlerine yaklaşmaktadır. 3,5 kW yükleme durumunda AdBlue katkılı yakıt karışımı en yüksek değere ulaşmıştır. Dizel yakıtın ısı yayılımı son durumda daha düşük kalmıştır. Yanma odasında biriken yakıtın artmasından dolayı ısı yayılımının dahada artması AdBlue karışımının dizel yakıt karışımından daha yüksek ısı yayılımına sebep olduğu yorumlanabilmektedir.

4.1.4. Basınç Artış Oranı

Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için basınç artış oranı Şekil 4.4'te verilmiştir. Dizel motorlarda yakıtların vuruntu yapıp yapmadığını anlamak için basınç artış oranı kullanılmaktadır. Vuruntu, yakıt özellikleriyle değişebilen önemli bir parametredir. Yakıtta katkı olarak eklenen karışımların vuruntu oluşturma durumu bu grafiklerden anlaşılabildiği için incelenmiştir.



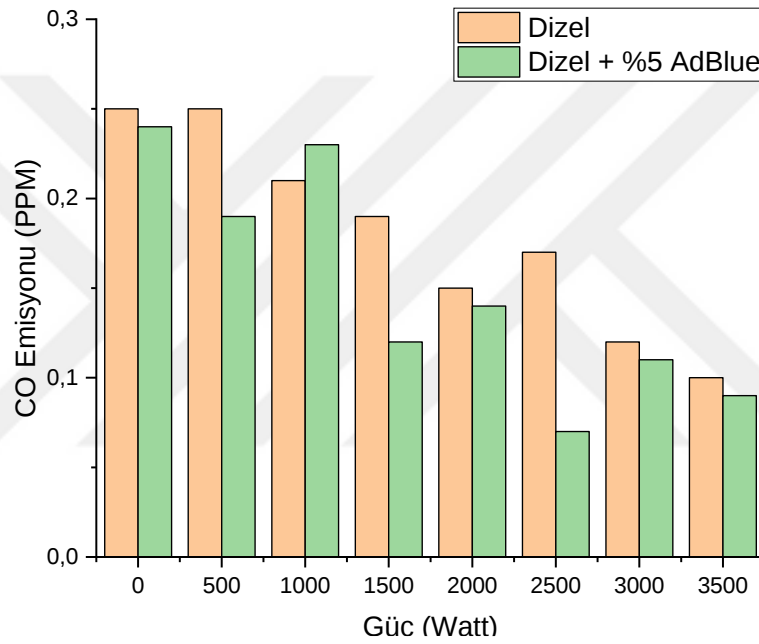
Şekil 4.4. Dizel ve Dizel+Adblue karışımları için basınç artış oranı

Boşta çalışma esnasında basınç artış oranı yaklaşık -0,75 bar/KMA değerine kadar dizel yakıt ile AdBlue katkılı yakıt karışımı birbirlerine çok yakın bir eğri çizmişlerdir. Vuruntunun neredeyse aynı olduğu söylenebilir. 10-30 KMA aralığında AdBlue katkılı yakıt karışımının vuruntusunda azalma olmuş, 30 KMA'dan sonra dizel yakıttan daha yüksek değerlere ulaşmıştır. 0,5 kW'lık yükleme esnasında basınç artış oranları benzer bir trend sergilemiştir. Bu da vuruntunun ortalama aynı olduğu anlamına gelmektedir. 1 kW'lık yükleme durumunda bir önceki yükleme durumunda olduğu gibi dizel yakıt ve AdBlue katkılı yakıt karışımı benzer eğriler çizerek eşit vuruntulara sahip olduğu söylenebilir. 15 KMA'da AdBlue katkılı yakıt karışımı daha düşük vuruntuya ulaşmıştır. Yakıtın tam yanamaması bu durumu oluşturduğu düşünülebilir. KMA'nın artmasıyla iki yakıt türü de birbirlerine yakın değerlere yaklaşmaya başlamıştır. 1,5 kW'lık yükleme durumunda ise 1 kW'lık yükleme durumundan farkı 35 KMA'da AdBlue katkılı yakıt karışımı daha yüksek değerlere çıkmıştır. 2 kW'lık yükleme durumunda neredeyse -1 bar/KMA ve 15 KMA'ya kadar iki farklı yakıt türü aynı değerlerle ilerlemiştir. Bu gelinen değerden sonar AdBlue katkılı yakıt karışımı, dizel yakıtın değerinin altına düşmüş ve düzgün bir eğriyle dizel motordan daha yüksek basınç artış oranına ulaşmıştır. Dizel yakıt neredeyse önceki yükleme durumlarıyla aynı değerleri göstermiştir. 2,5 kW lık yükleme durumunda dizel yakıt ve AdBlue katkılı yakıt karışımı neredeyse aynı eğriyi çizmiştir. Aynı krank mili açılarında, aynı oranlarda vuruntulara sebep olmuşlardır. Vuruntunun düşüşü esnasında AdBlue katkılı yakıt karışımı daha yüksekken 15⁰ lik KMA'nda AdBlue katkılı yakıt karışımı dizel yakıttan daha düşük değerlere ulaşmıştır. Bu noktadan sonar dizel yakıtı göre daha yüksek basınç artış oranına sahip olarak ilerlemiştir. 3 kW lık yükleme durumunda iki karışımı 2,5 kW'lık yükleme durumunda olduğu gibi benzer eğrilerle ilerlemiştir. AdBlue katkılı yakıt karışımı, ilk başta daha düşük vuruntularla ilerleyerek 25 ile 30 KMA arasında yükselerek ilerlemiştir. Yüklemenin artması, yanma odasına giren yakıtın ve suyun artmasından dolayı sonlara doğru AdBlue katkılı yakıt karışımının basınç artış oranında artma meydana getirdiği söylenebilir. Son olarak 3,5 kW lık yükleme durumunda 2 kW yükleme durumunda olduğu gibi AdBlue katkılı yakıt karışımı benzer bir eğri çizmiştir. -15 KMA'da dizel yakıtı en büyük vuruntuya sebep olmuştur. Düşüş esnasında AdBlue katkılı yakıt karışımı daha yüksek vuruntulara sebep olmuş ve yaklaşık 15 KMA'da en düşük değere ulaştıktan sonra vuruntu değeri artmış ve dizel yakıttan daha yüksek basınç artış oranına ulaşmıştır. Dizel motorlarında basınç artış hızı (dp/dt) genellikle 0,2-0,3 Mpa/KMA mertebelerindedir. Bu değer 0,4-0,5 Mpa/KMA değerlerine

ulaştığında motor sert çalışmaktadır. Kabul edilebilen en yüksek basınç artış hızı da 1 Mpa/KMA değerindedir. Bu sınırın aşılması için TG'nin azaltılması gerekmektedir (Safgönül vd. 1995). Deneysel sonuçlarda elde edilen değerler bakıldığında katkı olarak eklenen AdBlue'nun vuruntu oluşturmadığı söylenebilir.

4.1.5. CO Emisyonu

Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için CO Emisyon grafiği Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için CO Emisyonu

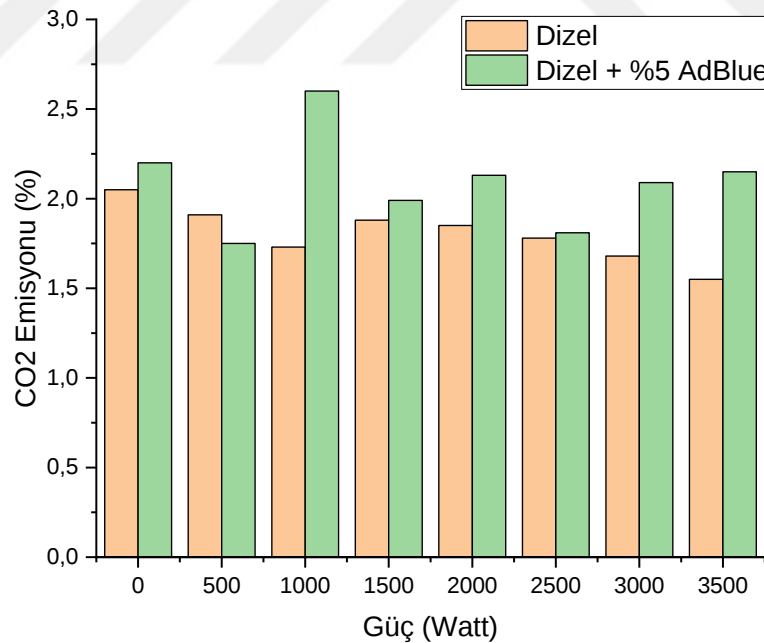
Bilindiği gibi dizel motorlar büyük miktarda hava ile çalışırlar. Bu nedenle, CO emisyonları neredeyse yok denecek kadar azdır. Ancak kullanılan yakıt karışımlarına göre yanma odasında kısmen yanmamış alanlar oluşmaktadır. Aynı zamanda, yakıt parçacıklarının eksik yanması sonucu silindir duvarlarına çarpması sonucu CO emisyonları meydana gelebilir. Dizel yakıtı üre ilavesi ile tüm motor yüklerinde ve tüm yakıt karışımlarında CO emisyonları azalma eğiliminde olmuştur.

Çalışmalar, dizel motorlarda oksijen açısından zengin kimyasalların kullanılmasıyla CO emisyonlarının azalma eğiliminde olduğunu göstermiştir. Ayrıca dizel yakıtlara su içeren

karışımların eklenmesi üzerine yapılan çalışmalar, suyun püskürtme sırasında mikro patlama etkisi yaparak ideal bir hava/yakıt karışımı sağladığının altını çizmektedir. Bu durumun oksijen zengin yakıtlarla birleşerek CO emisyonlarında azalmaya neden olduğu düşünülmektedir. Grafiğe bakıldığında görüldüğü üzere en yüksek emisyon değerleri Dizel yakıtta görülmektedir. Yükleme arttıkça her iki yakıt türü içinde CO emisyonlarında azalma meydana gelmiştir. Bunun sebebi, yüklemenin artması silindir içine giren yakıt miktarıyla doğru orantılı olmasından kaynaklanmaktadır. 1000 W'lık yükleme durumunda AdBlue katkılı yakıt karışımı dizel yakıttan daha fazla CO emisyonuna sebep olmuştur. Silindir içine giren su miktarının yanma odasından sonra çıkış sıcaklığının azalmasına sebep olacağından dolayı böyle bir fark oluştuğu düşünülebilir. Diğer yük durumlarında ise AdBlue eklenmesi ile CO emisyonunda azalma meydana gelmiştir.

4.1.6. CO₂ Emisyonu

Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için CO₂ Emisyon grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir.



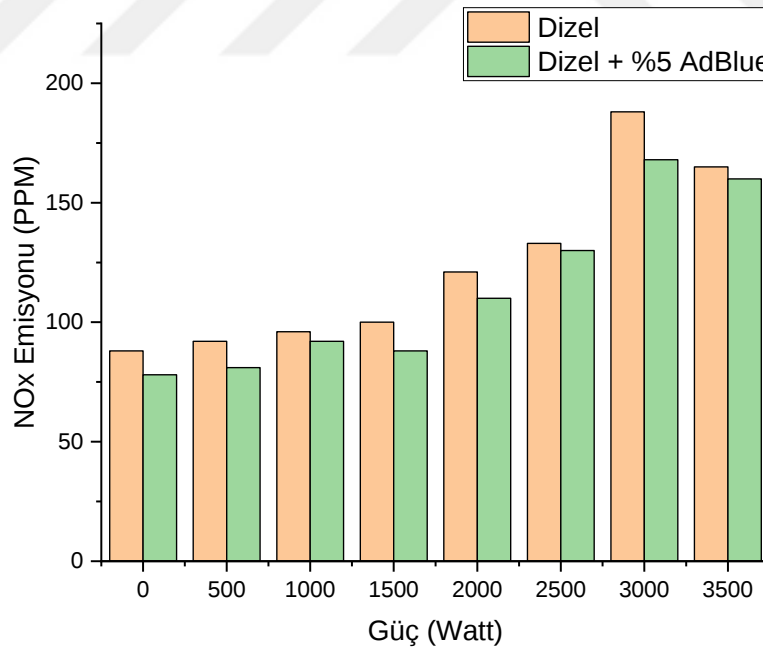
Şekil 4.6. Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için CO₂ Emisyonu

Dizel motorlardaki CO₂ emisyonları, tam yanma ürünlerinin oluşumunu temsil etmektedir. Dizel motorlar, yüksek hava fazlalık katsayısı ile çalıştıkları için yanma verimi olarak CO₂

emisyonlarının oluşumunu kısmen etkilerler. Silindirdeki ideal hava/yakıt karışımı ile yanma kısmen artar ve bunun sonucu olarak CO₂ emisyonları artar. Ancak hava/yakıt oranı zengin karışıma doğru gidildikçe yanma verimi düşer ve CO₂ emisyonları azalır. Grafikte görüldüğü üzere en düşük CO₂ emisyon değerleri 3500 W'lık yükleme durumunda dizel yakıtta gerçekleşmiştir. Bunun sonucu silindir içine giren hava/yakıt karışımının zengin karışıma doğru gitmesinden kaynaklanmasıdır. En yüksek emisyon değeri ise 1000 W'lık yükleme durumunda AdBlue katkılı dizel yakıtta gerçekleşmiştir. Zengin karışımın en az olduğu yükleme durumudur. Genel olarak bakıldığında AdBlue katkılı yakıt karışımının dizel yakıtı göre daha az zengin karışım olarak yandığı söylenebilir. Bunun sebebi ise AdBlue katkılı yakıt karışımının içinde bulunan su miktarıdır. Bu durum hava/yakıt karışımının yanmasının kısmen etkilediği söylenebilir.

4.1.7. NO_x Emisyonu

Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için NO_x Emisyon grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir.



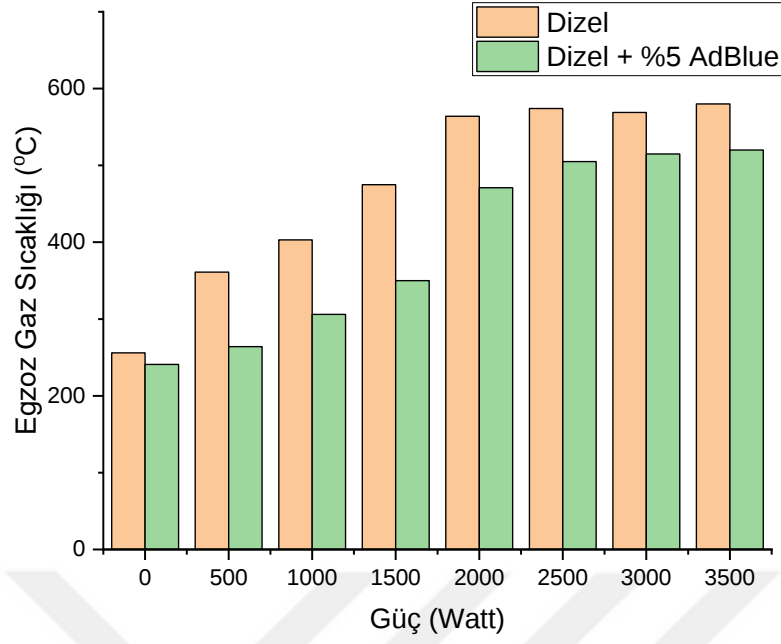
Şekil 4.7. Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için NO_x Emisyonu

Dizel motorlarda kontrolsüz yanma sonucu oluşan NO_x emisyonları istenmeyen bir emisyon değeridir. Havadaki nitrojenin yüksek sıcaklıklarda oksijenle reaksiyona girmesi

sonucu oluşmaktadır. Bu konu hakkındaki çalışmalar, silindirde çok zengin yakıt/hava karışımları oluştuğunda veya yanmanın birikerek aniden arttığı durumlarda NO_x emisyonlarının artma eğiliminde olduğunu bildirmektedir. Üre katkılı yakıtta bulunan su miktarının, yapılan çalışmalarla benzer etkilere neden olduğu ve NO_x emisyonlarında azalmaya neden olduğu düşünülmektedir. Grafikte anlaşılabileceği gibi Dizel yakıt ile AdBlue katkılı yakıt karışımı kıyaslandığında en yüksek NO_x eminyonları dizel yakıtta görülmektedir. Dizel motorlarda NO_x emisyonunun artması, yanma odasına giren hava/yakıt karışımının zengin karışımdan meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. AdBlue katkılı yakıt karışımının dizel yakıtı göre daha az NO_x emisyon değeri verdiği görülmektedir. Boşta çalışma durumunda Dizel yakıt 75-100 PPM arasında NO_x değeri gösterirken, 3000 W'lık yükleme durumunda bu değer neredeyse 200 PPM'e ulaşmıştır. AdBlue katkılı yakıt karışımı ise neredeyse 75 PPM'de olan NO_x değeri 3000 W'lık yükleme durumunda 175 PPM değerlerine kadar ulaşmıştır. AdBlue katkısında yüksek oranda su içeriği olması ve buda maksimum yanma sıcaklığını azaltması ve üre içeriği nedeniyle azot-oksijen bağlanmasının azalması nedeniyle AdBlue katkılı yakıt karışımı daha az NO_x emisyonuna sebep olmuştur.

4.1.8. Egzoz Gazı Sıcaklığı

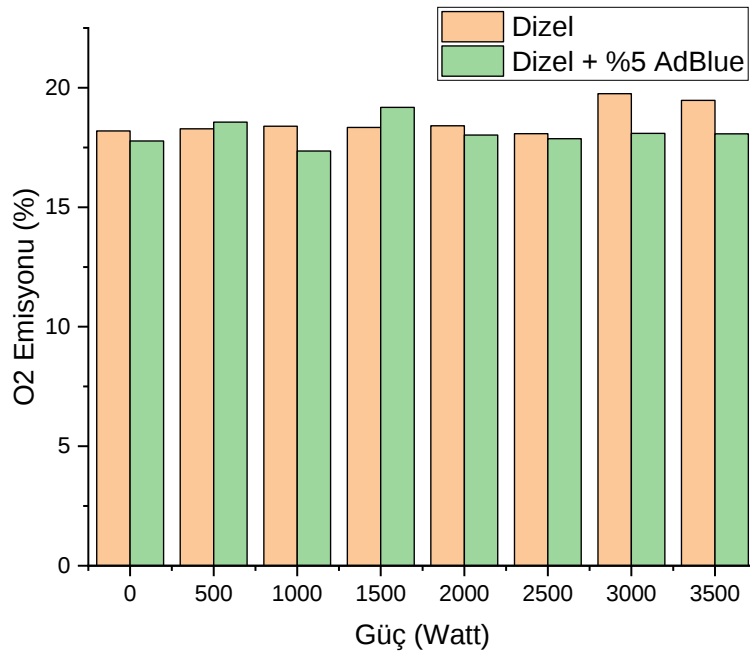
Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için egzoz gazı sıcaklık grafiği Şekil 4.8'de verilmiştir. Egzoz gazı sıcaklığı bilindiği üzere silindir içinde gerçekleşen yanmanın bir göstergesidir. Ayrıca yakıtların setan sayısı, yoğunluğu ve viskozitesi gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri de yanma sonu sıcaklığı için belirleyici bir parametrelerdir. Görüldüğü üzere dizel yakıtın egzoz gazı sıcaklığı AdBlue katkılı yakıt karışımına göre daha yüksektir. Dizel yakıt için silindir içindeki yakıt/hava karışımı, AdBlue katkılı yakıt karışımına göre daha iyi yanmasından dolayı dizel yakıtın egzoz gazı sıcaklığı dahada artmıştır. Dizel yakıt 2000, 2500, 3000 ve 3500 W lık yüklemelerde neredeyse aynı egzoz gazı sıcaklık değerlerini göstermiştir. AdBlue katkılı yakıt karışımı ise 2500, 3000 ve 3500 W'lık yükleme durumlarında benzer değerleri göstermiştir. Tahrik artmasına rağmen yakıt türlerinin bir önceki yükleme durumlarına göre benzer değer gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4.8. Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için egzoz gazı sıcaklıkları

4.1.9. O₂ Emisyonu

Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için O₂ emisyon grafiği Şekil 4.9'de verilmiştir.

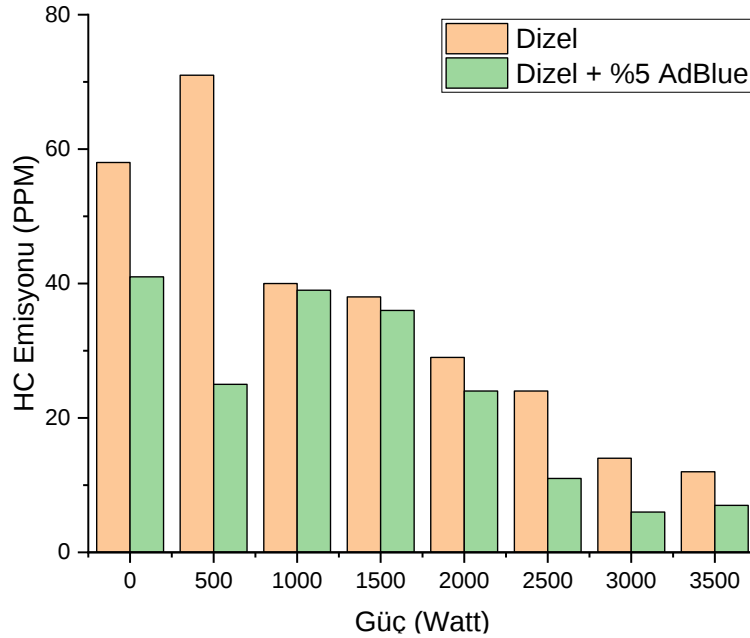


Şekil 4.9. Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için O₂ emisyonu

Silindire alınan havanın bir kısmı oksijen atomlarından oluşur. Hava ile alınan oksijen atomlarının bir kısmı yanarken yanmamış oksijen egzozdan dışarı atılır. Oksijence zengin su içeriğine sahip kimyasalların dizel yakıtlara karıştırılması üzerine yapılan çalışmalarda silindirde salınan oksijen miktarının oksijen emisyon miktarında artışa neden olduğu görülmektedir. Elde edilen değerlere göre oksijen emisyon verileri her iki yakıt türü içinde benzer değerler göstermiştir. Silindir içine alınan hava/yakıt karışımının benzer oranlarda bulundurdıkları oksijeni yakın değerler göstererek emisyonla sebep oldukları görülmektedir. Tahrik durumunun artması oksijen emisyonunda benzer değerler göstermiştir. Her iki yakıt türü de yanma odasında benzer oranda yandıkları için oksijen emisyonlarında benzer şekilde ilerlemiştir. AdBlue katkılı yakıt karışımı 1500 W tahrik durumunda en yüksek değeri gösterirken dizel yakıt 3000 ve 3500 W tahrik durumunda en yüksek emisyon değerini göstermiştir. Tahriğin artmasıyla silindir içine alınan yakıt/hava miktarının da doğru orantılı olarak artması bu yüksek emisyon değerlerine sebep olmuştur.

4.1.10. HC Emisyonu

Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için HC emisyon grafiği Şekil 4.10'da verilmiştir.



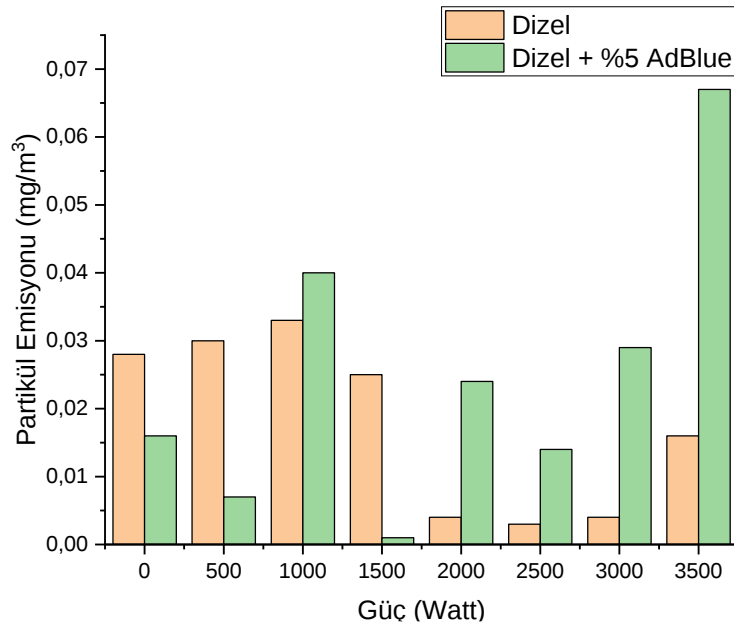
Şekil 4.10. Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için HC emisyonu

İçten yanmalı motorlardaki HC emisyonları, silindirde yanmayan yağları ve yakıtları ifade etmektedir. Bazı araştırmacılar sıklıkla bu emisyonların oksijenle tam olarak birleşmeyen yakıt karışımlarından kaynaklandığını belirtmektedirler. Çalışmalar bu durumu düşük yanma sonu sıcaklığı ile açıklamaktadır. Ayrıca oksijence zengin yakıtların HC emisyonlarını azalttığını bildiren birçok çalışma bulunmaktadır (Hasan et al. 2018; Yuvarajan et al. 2018).

Deney esnasında motor gücünün artması HC emisyonlarında azalmaya sebep olmuştur. Bu durumu yanma sonu sıcaklığı ile açıklamak mümkündür. Tahriğin artması ile artan yanma sonu sıcaklığının, HC emisyon değerlerinde azalmaya sebep olduğu görülmektedir. AdBlue katkılı yakıt karışımı dizel yakıta göre daha düşük HC emisyon değerlerine sahiptir. AdBlue katkılı yakıt karışımının yanma sonu sıcaklığının, dizel yakıta göre daha fazla olması, bu durumu gerçekleştirmiştir. Özellikle 3000 W tahrik durumunda AdBlue katkılı yakıt karışımı en düşük HC emisyon değerini göstererek en fazla yanma sonu sıcaklığına maruz kaldığını açıklamaktadır.

4.1.11. Partikül Emisyonu

Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için partikül emisyon grafiği Şekil 4.11’de verilmiştir.

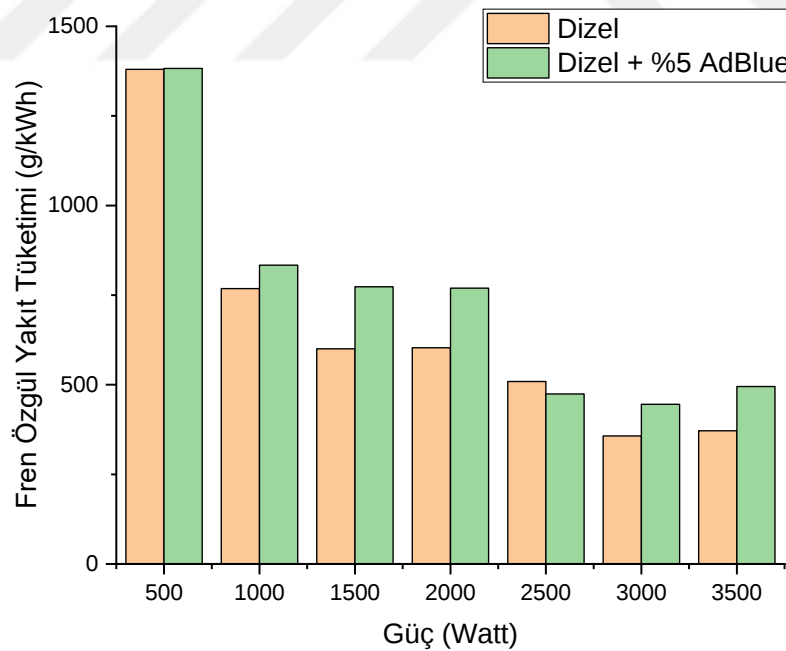


Şekil 4.11. Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için partikül emisyonu

PM emisyonları insan sağığı için son derece önemlidir. Yakıt karışımları ile karıştırılarak kullanılan kimyasalların oksijen içeriğinin bu emisyonlar üzerinde etkili olduğunu bildiren birçok çalışma bulunmaktadır (Park et al. 2017). Görüldüğü üzere en yüksek partikül emisyon değeri AdBlue katkılı dizel yakıtta görülmektedir. 3500 W tahrik durumunda $0,067 \text{ mg/m}^3$ değeri partikül emisyon değeri ölçülmüştür. Bu durum, oksijen konsantrasyonunun ve ısıtma değerinin çok fazla düşmesinden kaynaklandığı düşünülebilir. AdBlue katkılı yakıt karışımı 1500 W tahrik durumunda en düşük partikül emisyon değerini vermiştir. Dizel yakıt en yüksek partikül emisyon değerini 1000 W tahrik durumunda neredeyse $0,035 \text{ mg/m}^3$ değeri gösterirken, en düşük partikül değeri ise 2500 W tahrik durumunda göstermiştir.

4.1.12. Fren Özgöl Yakıt Tüketimi

Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için fren özgöl yakıt tüketim grafiğı Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. Dizel ve Dizel+AdBlue karışımları için fren özgöl yakıt tüketimi

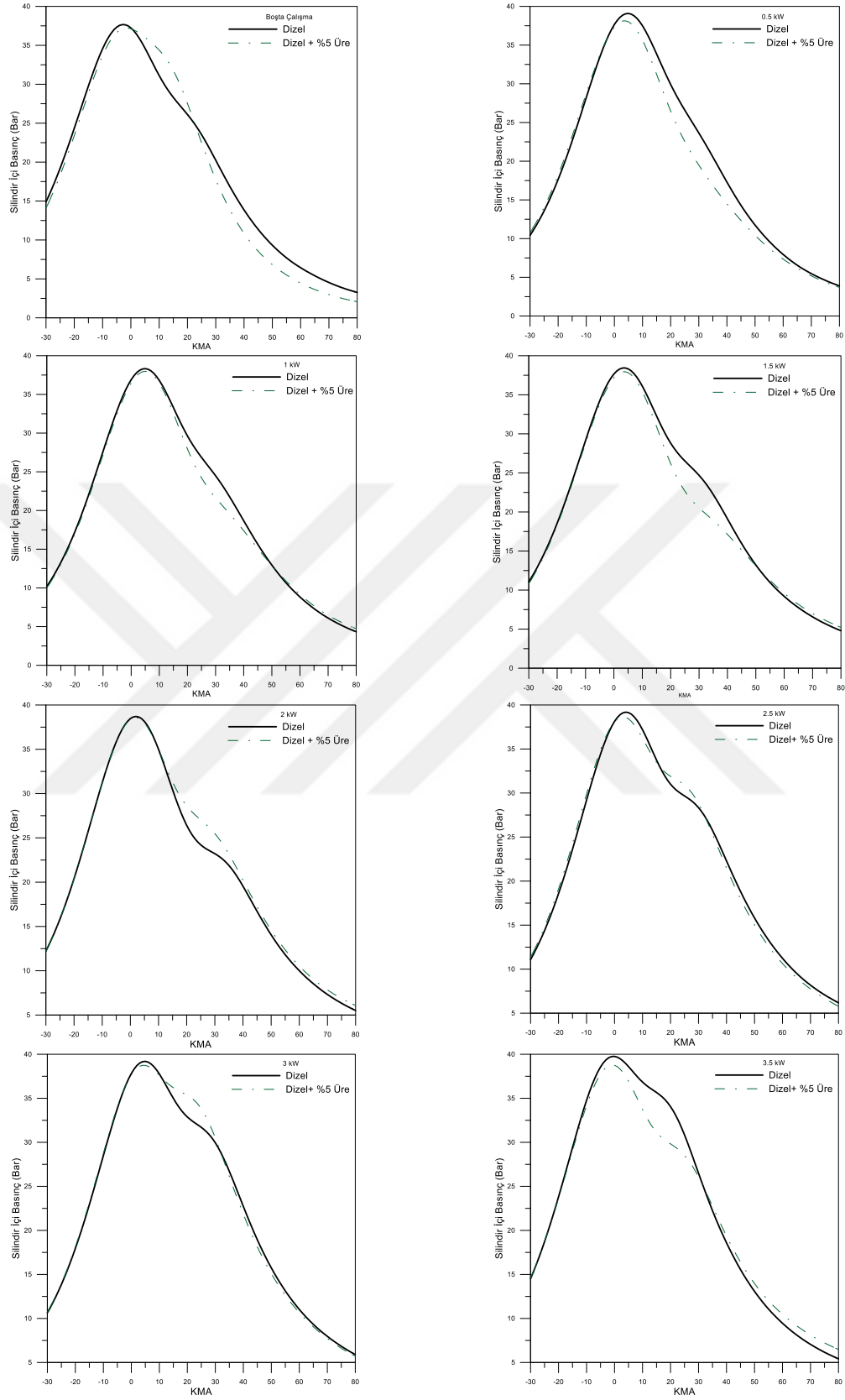
Dizel motorlar için alternatif yakıt çalışmalarında fren özgöl yakıt tüketim değeri önemli bir parametredir. Ekonomik olduğu için gelecekte alternatif yakıtlar içten yanmalı

motorlarda yaygın olarak kullanılabilir. Fren özgül yakıt tüketimi, bir saatte bir kW güç üretmek için gereken yakıt miktarını ifade eder. Bu açıdan silindirde fren özgül yakıt tüketimi değerinin ne kadarının verimli kullanıldığını anlamak faydalı olacaktır. Yüksek yanma verimi ve yakıtın tamamının kullanılması fren özgül yakıt tüketim değerinde düşüşe neden olabilir. Grafikte görüleceği gibi tahriğin artması durumunda AdBlue katkılı yakıt karışımı dizel yakıtı göre daha fazla özgül yakıt tüketiminde artış göstermektedir. Bunun sebebi AdBlue katkılı yakıt karışımında bulunan su miktarıdır. Düşük motor yüklerinde düşük yanma sonucu sıcaklıkları oluşur. Bu durum ise, yakıt karışımlarının tamamen buharlaşamayacağından dolayı yakıt tüketim değerleri artmış ve yanma verimi düşmüş olabileceği yorumu yapılabilir. 500 W tahrik durumunda her iki yakıtta da aynı özgül yakıt tüketim değerini göstermişlerdir. En yüksek tahrik durumunda her iki yakıtta da özgül yakıt tüketimi düşmüştür. Genel olarak AdBlue katkılı yakıt karışımı dizel yakıtı göre daha yüksek özgül yakıt tüketim değeri göstermiştir.

4.2. Dizel ve Dizel+%5 Üre Karışımı

4.2.1. Silindir İçi Basınç Değerleri

Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için silindir içi basınç değerleri Şekil 4.13'te verilmiştir. Dizel ve Dizel+%5 Üre yakıt karışımı için silindir içi basınç değeri boşta çalışma durumunda 37,5 bar'a kadar neredeyse eşit ilerlemiştir. Basınç düşüşü esnasında üre katkılı yakıt karışımı 25 bara kadar dizel yakıttan daha yüksek değerlerde ilerlerken, 25 bardan sonra dizel yakıt daha yüksek basınç değeriyle düşüşe geçmiştir. Silindir içine giren üre miktarının artması basıncın dizel yakıtı göre daha hızlı düşmesine sebep olmuştur. KMA arttıkça bu durum devam etmiş ve sonlara doğru iki yakıt türünün basınç değerleri yaklaştırmaya başlamıştır. Dizel yakıtın az da olsa daha iyi bir performans gösterdiği söylenebilir. 0,5 kW yüklenme esnasında dizel yakıt 40 bar'a kadar çıkarken üre katkılı yakıt karışımı boşta çalışma durumuyla neredeyse aynı değerde kalmıştır. Fark olarak bu durum neredeyse üst ölü noktada gerçekleşmiştir. Dizel+%0,5 Üre karışımı daha düşük basınç değerleri sergilerken KMA arttıkça dizel yakıtı yakın değerlere doğru ilerlemiştir. Bu basınç değerleri sıcaklık ile doğru orantılı olduğundan üre katkılı yakıt karışımı dizel yakıtı göre daha düşük sıcaklık sergilemiştir.



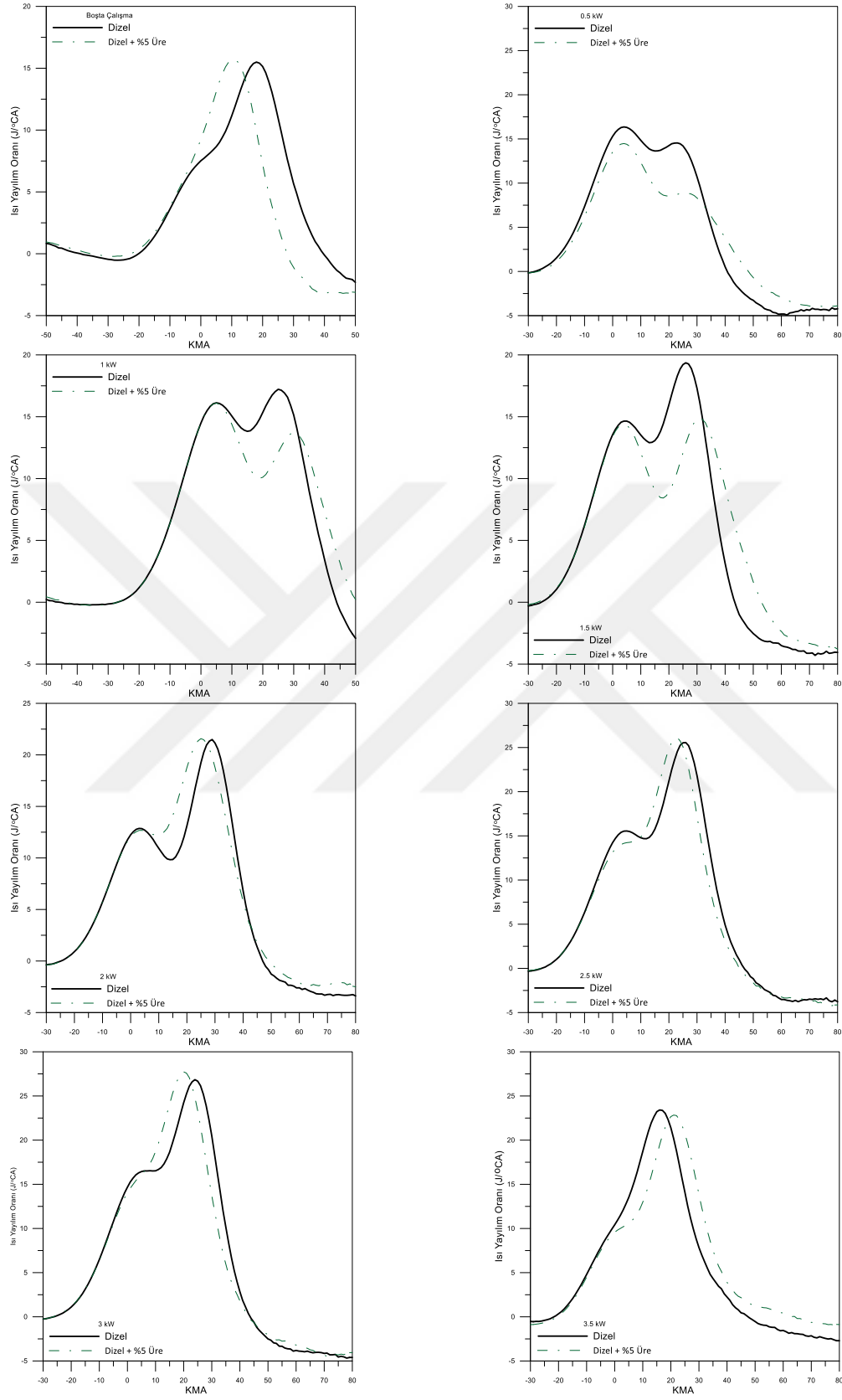
Şekil 4.13. Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için silindir içi basınç değerleri

Basınç düşüşü yine boşta çalışma durumuyla benzerlik göstermiştir. Dizel yakıt daha yüksek basınçta düşüş gerçekleştirmiştir. Dizel yakıtın boşta çalışma ve 0,5 kW lık yükleme durumunda her iki yakıt türü için (Dizel ve Dizel+%5 Üre) daha yüksek performans gösterdiği görülebilir. 1 kW'lık projektör ile tahrik durumunda, 0,5 kW'lık projektör ile oluşan basınç verileri ortalama benzerlik gösterirken dizel yakıt bir önceki yükleme durumuna göre daha düşük basınç değerinden sonra düşüşe geçmiştir. KMA'nın artmasıyla karışımların basınçlarının birbirine daha da yaklaştığı lakin üre katkılı yakıt karışımı birazda olsa yüksek değerlerde ilerlemiştir. 15 ve 45 KMA aralarında basınç farkı meydana geldiği görülmektedir. Ürenin etkisi burda devreye girebilmektedir. Dizel yakıtın maksimum basınç değeri, 0,5 kW yüklemeye göre azalmıştır. 1,5 kW lık yükleme durumunda, üst değer dizel yakıtta olsada, 15 ve 45 KMA aralarında iki karışımın basınç değerlerinde, 1 kW yüklemeye göre daha geniş sapma meydana gelmiştir. Bu durumun KMA arttıkça değişeceği düşünülebilir. Çünkü açının artması, Dizel+Üre karışımının az da olsa daha yüksek basınca çıkmasına sebep olmuştur. Dizel yakıtın önceki durumlarda olduğu gibi 40 bar basınca yakın değerlerde Dizel+Üre karışımından daha yüksek değeri koruduğu görülür. Basınç azalmasından itibaren oluşan en geniş fark 35-40 KMA'da meydana geldiği görülmüştür. KMA arttıkça bu fark azalmaya başlamıştır. 60 KMA'dan sonra Dizel+Üre, Dizel yakıtı göre daha yüksek basınçta azalmaya geçmiştir. Gücün artması ürenin etkisini daha fazla gösterdiği görülebilir. 2 kW'lık yükleme esnasında her iki yakıt türünün de en yüksek basınç değerleri eşittir. 15 ve 35 KMA aralarında bir önceki tahrik türünde meydana gelen sapmadan farklı olarak bu kez, üre katkılı yakıt karışımı daha yüksek basınç değeri elde etmiştir. Silindir içinde yer alan üre miktarının artması bu sapmaya sebebiyet verdiği düşünülebilir. 2,5 kW'lık yükleme durumunda üre katkılı yakıt karışımı en yüksek noktaya dizel yakıttan daha yüksek basınç değerlerinde ulaşmıştır. Her iki yakıt türünde 40 bar basınca kadar neredeyse aynı basınç değerinden sonra basınç düşüşüne geçmişlerdir. 10-30 KMA arasında meydana gelen sapma bir önceki tahrik durumuna göre daha kısadır. Üre katkılı yakıt karışımı bu noktada daha yüksek performans göstermiştir. 30 KMA'dan sonra dizel yakıt daha yüksek basınç değerlerinde düşüşe geçmiştir. Silindir içinde yanan yakıtın, yanma odasında oluşturduğu sıcaklık, üre katkılı yakıt karışımından az da olsa daha fazla olması bu durumu ortaya çıkarmıştır. 3 kW'lık yükleme durumunda, yakıtlar arası sapma en yüksek basınç değerinden hemen sonra gerçekleşmiştir. Yanma odasında giren su ve üre miktarın arttıkça basıncın hemen düşmesinde bu sapmanın meydana geldiği varsayılmaktadır. Üre katkılı yakıt karışımı

dizel yakıtı göre daha düşük bir değerde ilerlemiştir. KMA'nın artması üre katkılı yakıt karışımının dizel yakıtla aynı değerlere yaklaşmasına sebep olmuştur. Son yükleme durumunda her iki yakıt türünün de en yüksek değerleri diğer yükleme durumlarından daha fazladır. Dizel yakıt neredeyse 40 bar basıncı görmüştür. Yanma odasındaki artan sıcaklığın basıncıda doğrudan etkilemesi bu durumu ortaya çıkarmıştır. Dizel yakıt daha iyi yandığından son yükleme durumunda sapma bölgesinde üre katkılı yakıt karışımının önüne geçmiştir. Neredeyse 35 KMA'da her iki yakıt türü aynı değerleri görürken, üre katkılı yakıt karışımı daha yüksek değerlerde ilerlemiştir. Ürenin bu kıyaslamada iyi bir etken olduğu görülmektedir. KMA'nın en yüksek olduğu değerlerde dizel yakıtın performansı üre katkılı yakıt karışımına göre daha düşük kalmıştır.

4.2.2. Isı Yayılım Oranları

Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için ısı yayılım oranları Şekil 4.14'te verilmiştir. İlk olarak boşta çalışma durumunu incelersek, üre katkılı dizel karışımının, dizel yakıtı göre daha yüksek ısı yayılımı gerçekleştirdiği ve bu sebepten yakıt/hava karışımının daha erken yandığı görülmektedir. Bu durumun yakıt karışımındaki üre ile açıklamak mümkündür. Yakıt karışımında bulunan üre, yanmayı daha erken zamana getirdiği düşünülebilir. Bu sebepten ısı salınımı dizel yakıtı göre daha yüksek kalmıştır. Başlangıçta az da olsa daha yüksek $j/^{\circ}\text{CA}$ 'de başlayan ısı yayılımı $-25 j/^{\circ}\text{CA}$ 'da üre katkılı yakıt karışımı dizel yakıtı göre daha hızlı yükselişe geçtiği görülmektedir. $15 j/^{\circ}\text{CA}$ ye çıkan dizel yakıtı göre üre katkılı yakıt karışımı daha yüksek değere ulaşmıştır. Ürenin ısı yayılımına olumlu etki gösterdiği görülmektedir. KMA'nın artmasıyla üre katkılı yakıt karışımının daha hızlı ısı yayılım değerlerinin düştüğü görülmektedir. Karışımında bulunan su miktarının buna neden olduğu varsayılmaktadır. 50 KMA'ya yaklaşmasından sonra iki yakıt türünün de ısı yayılımlarının birbirine yaklaştığı görülmektedir. 0,5 kW yükleme durumunda, üre katkılı yakıt karışımının geldiği en üst ısı yayılım değeri, boşta çalışma durumuna benzer değerlerde olduğu görülmektedir. Dizel yakıtın, bu evrede üre katkılı yakıt karışımına göre daha yüksek ısı yayılım değerine ulaştığı görülmektedir. Yakıt daha iyi yanmasından dolayı bu durum gerçekleşebilir. 0 ile 5 KMA'da iki yakıt karışımında en yüksek ısı yayılım değerlerine ulaşmışlardır. 60 KMA'da dizel ile AdBlue katkılı yakıt karışımının kıyaslanmasında olduğu gibi, iki karışımında eksi değerleri görmüştür.



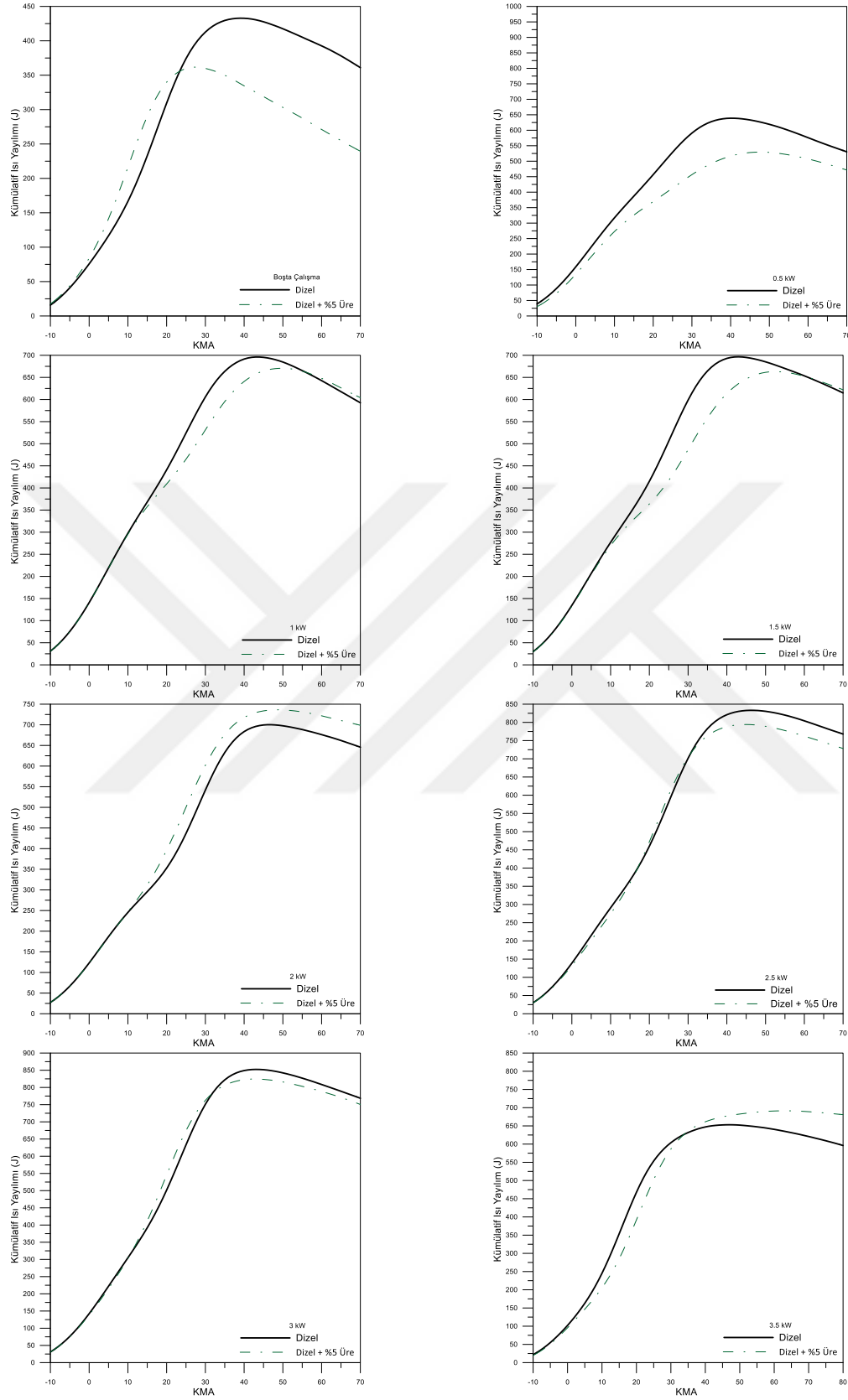
Şekil 4.14. Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için ısı yayılım oranları

KMA'nın artması ısı yayılımının azalmasına sebep olmuştur. 70 KMA'da iki yakıt türü eşit ısı yayılım değerine ulaşmışlardır. 1 kW yükleme durumunda iki karışımında da ısı yayılım oranlarının arttığı görülmektedir. Yükün henüz fazla artmaması silindir içine alınan su miktarının daha az olmasından dolayı ısı yayılımlarının arttığı görülebilir. Her iki karışım da 0,5 kW'lık yüklemeye göre başlangıçta eşit olarak ilerlemiş, 0-5 KMA arasında ayrı değerlerde ilerlemişlerdir. Bu ısı yayılım değeri üre katkılı yakıt karışımının en yüksek ısı yayılım değeridir. Dizel yakıtın geldiği en yüksek ısı yayılım değeri neredeyse $17,5 \text{ j}^0\text{CA}$ değeridir. Bu kademeli yükselik silindir için basıncın değişmesi ve yanma odasında bulunan dizel yakıtın artmasıdır. 30 ile 35 KMA arasında iki yakıt türünde eşit değerleri alarak ısı yayılım değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Üre katkılı yakıt karışımı daha yüksek ısı yayılım yaparak düşmüştür. 1,5 kW yükleme durumunda üre katkılı yakıt karışımının ısı yayılımında geldiği en yüksek nokta bir önceki yükleme durumuna göre daha düşüktür. Silindir içine giren su miktarının artması böyle bir sonucu doğurmuştur. Lakin dizel yakıtın ısı yayılımı artarak neredeyse $20 \text{ j}^0\text{CA}$ değerine geldiği görülmüştür. Dizel yakıt ısı yayılım değeri bir önceki yükleme durumuna göre daha dik bir düşüş yaşamıştır. Üre katkılı yakıt karışımı bir önceki duruma benzer bir düşüş yaşamıştır. Bilindiği üzere üre katkılı yakıt karışımında bulunan su miktarı, ürenin dizele göre daha stabilize bir yol izlemesine sebep olmaktadır. 2 kW yükleme durumunda üre katkılı yakıt karışımı ısı yayılım değeri, dizel yakıtın birazda olsa üstüne çıkmıştır. İki yakıt türünde neredeyse $22,5 \text{ j}^0\text{CA}$ değerine ulaşmıştır. Devrin ve tahriğin artması motorun ısınmasına ve silindir içinde ki ısı transferinin artmasına sebep olmuştur. İki yakıt türünde birbirlerine yakın bir şekilde ısı yayılım değerlerinde düşüş gerçekleştirmiştir. Üre katkılı yakıt karışımı KMA'nın yüksek olduğu noktalarda daha dizel yakıtı göre daha fazla ısı yayılımı yaparak performansı yüksek tutmuştur. 2,5 kW yükleme durumunda dizel yakıt önceki yükleme durumlarına göre anlık azalma yaşamadan ilerlemiştir. Tahriğin artmasıyla ısı yayılımının doğru orantılı olması bu durumu gerçekleştirmiştir. İki yakıt türünde eğrisel olarak birbirlerine yakın ilerlemişlerdir. Üre katkılı yakıt karışımı dizel yakıtı göre daha düşük değerlerde ısı yayılım değerlerinde azalma gerçekleştirmiştir. Dizel yakıtın düşüş değerlerinin, üre katkılı yakıt türüne göre daha fazla olması bu durumda daha iyi bir performans sergilemesine sebep olmuştur. 3 kW yükleme durumunda üre katkılı yakıt karışımı en yüksek ısı yayılım değerine ulaşmıştır. AdBlue katkılı yakıt karışımına göre, üre katkılı yakıt karışımı daha iyi bir performans sunmuştur. Dizel yakıt içinde neredeyse aynı değerler söz konusudur. Üre katkılı yakıt karışımına benzer bir eğri çizmiştir. Isı

yayılımının düştüğü durumlarda dizel yakıt üre katkılı yakıt karışımına göre daha yüksek değerlerde kalmıştır. 3,5 kW yükleme durumunu incelersek neredeyse aynı şekilde iki yakıt türünde ısı yayılım değerlerinde yükselme göstermiştir. Bir önceki yükleme durumuna göre gelinen en yüksek noktalar, daha düşük değerlerde kalmıştır. Üre katkılı yakıt karışımı KMA'nın yüksek olduğu yerlerde düşüşe geçmiştir. Yanmanın biraz daha geç olmasından kaynaklanan bu durum, dizel yakıtın daha erken ısı yayılım oranında düşüş gerçekleştirmesine sebep olmuştur.

4.2.3. Kümülatif Isı Yayılımı

Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için kümülatif ısı yayılım değerleri Şekil 4.15'te verilmiştir. Boşta çalışma durumunda üre katkılı yakıt karışımı neredeyse 375 J değerine ulaşmıştır. AdBlue katkılı yakıt karışımına göre bu değer daha yüksektir. Isı yayılım olarak üre katkılı yakıt karışımı daha yüksek performans göstermiştir. En yüksek değerde KMA 25⁰ söylenebilir. Dizel yakıt neredeyse 40⁰ de bu değeri göstermiştir. 0,5 kW yükleme durumunda üre katkılı yakıt karışımı dizel yakıtı daha yakınlamıştır. Eğrisel olarak dizel yakıtı benzer bir grafik çizmiştir. En yüksek değeri 500 J ve 40 KMA'dır. Saf üre neredeyse dizel yakıt kadar iyi yanma değeri göstermektedir. 1 kW yükleme durumunda üre katkılı yakıt karışımı neredeyse 650 J değerine ulaşmıştır. Motora ilk ilave edildiğinde dizel yakıtı benzer bir ilerleme sergilemiş daha sonra dizel yakıtı benzer bir düşüş yaşamıştır. Isı yayılım değeri yükselmiştir. 1,5 kW yükleme durumunda üre katkılı yakıt karışımı bir önceki yükleme durumuyla neredeyse aynı değerleri sergilemiştir. 2 kW yükleme durumunda 750 J değerini neredeyse görmüştür. Dizel yakıttan daha fazla kümülatif ısı değeri elde edilmiştir. Üre nin dizel yakıt içindeki karışımı yanma olayına olumlu etki göstermiştir. 2,5 kW yükleme durumunda ürenin ısı yayılımı daha da arttırdığı görülür. Lakin dizel yakıtın çıktığı üst değer daha fazladır. Dizel yakıt ve üre karışımının içinde yer alan su miktarı faz oluşturduğu için yanma bazı eksiklikler meydana gelmiştir. Artış ve azalış oranları dizel yakıtı benzer şekilde gerçekleşmiştir. 3 kW yükleme durumunda dizel yakıtı yaklaşmıştır. 825 J değerine neredeyse ulaşan üre katkılı yakıt karışımı silindir içine giren su miktarının artmasına rağmen iyi bir ısı yayılımı gerçekleştirmiştir.

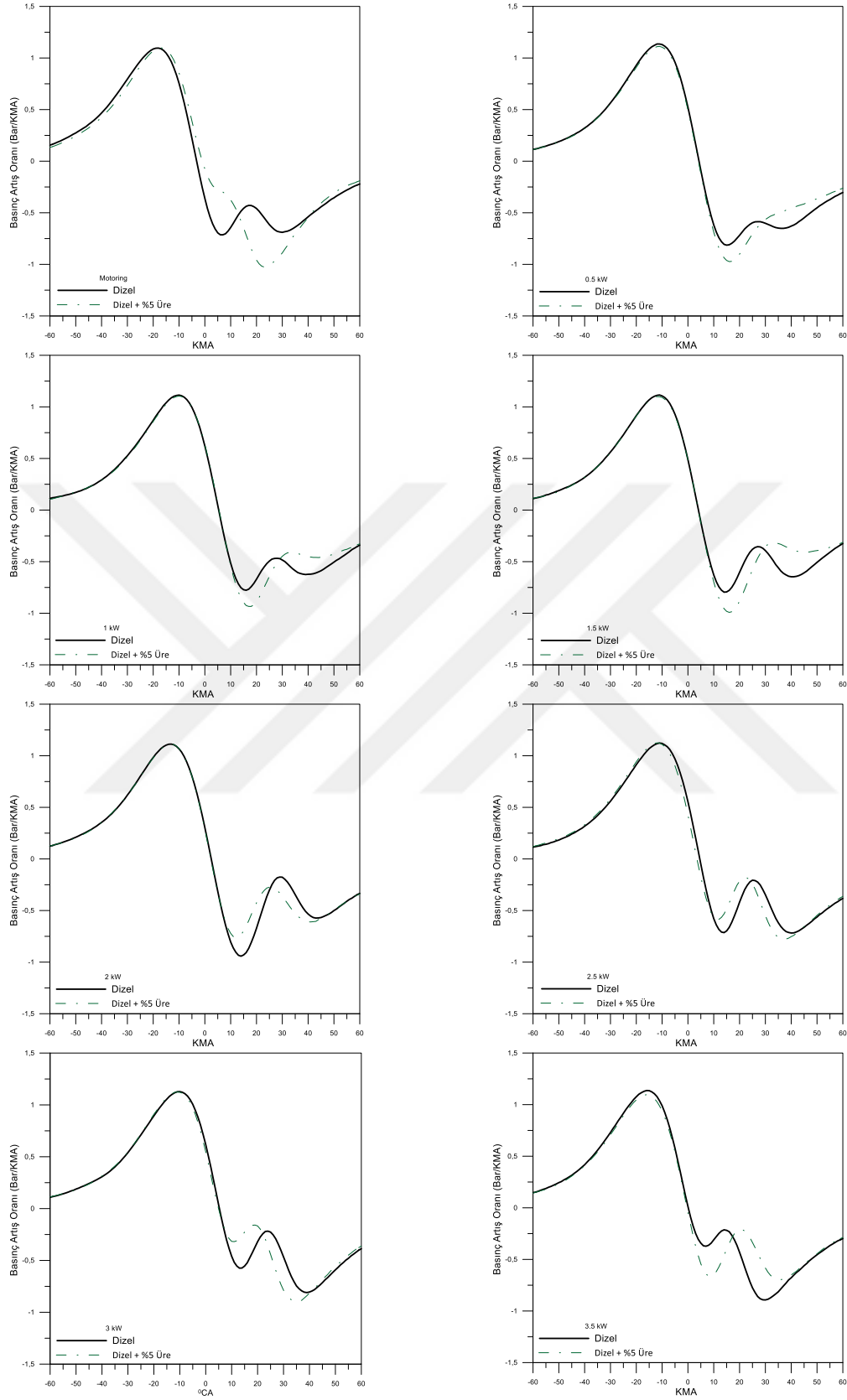


Şekil 4.15. Dizele ve Dizele+%5 Üre karışımları için kümütatif ısı yayılım

3,5 kW yükleme durumuna gelirsek üre katkılı yakıt karışımı dizel yakıtın üstüne çıkmıştır. KMA'nın yüksek olduğu bölgelerde dizel yakıt azalarak ilerlemiş, üre katkılı yakıt karışımı ise daha lineer bir yol izlemiştir. Performans olarak olumlu ısı yayılımı gerçekleşmiştir.

4.2.4. Basınç Artış Oranı

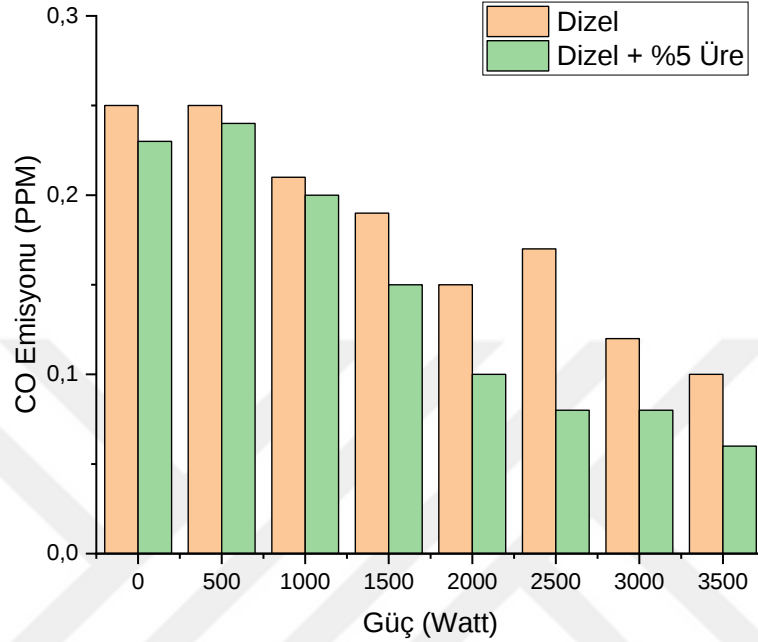
Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için basınç artış oranları Şekil 4.16'da verilmiştir. Boşta çalışma durumunda üre katkılı yakıt karışımı dizel yakıtı çok yakın değerler ile yükselmiştir. Basınç düşüş esnasında dizel motordan az da olsa daha fazla vurutuya sebep olmuştur. 0,5 kW yükleme durumunda üre katkılı yakıt karışımı dizel yakıt ile aynı basınç artışına girmiştir. En yüksek değerde üre katkılı yakıt karışımı dizel yakıttan daha düşük ilerleme kaydetmiştir. Basınç azalışında görüldüğü gibi 15 KMA'da dizel yakıtın altına inmiştir. 1 kW yükleme durumunda 15 KMA'a kadar dizel yakıt ile aynı vurutu değeriyle ilerlemiştir. 15 KMA'dan sonra bir önceki tahrik durumuna benzer şekilde ilerlemiştir. 2,5 kW yükleme durumuna kadar dizel yakıt ile çok benzer değerler sergilemiştir. 2,5 kW durumunda dizel yakıttan daha fazla vurutuya sebep olmuştur. Yakıtın içinde bulunan su nedeniyle faz oluşumu vurutuyu az da olsa arttırmıştır. 3 kW yükleme durumunda dizel yakıt ile aynı oranda yükselmiştir. Basınç düşüşünden hemen sonra olan basınç yükselme evrelerinde üre katkılı yakıt karışımı daha fazla vurutu meyili ile ilerlemiştir. 3,5 kW yükleme durumunda dizel yakıt, üre katkılı yakıt karışımına göre küçük değerde yükselmiştir. Üre katkılı yakıt karışımının genel olarak dizel yakıt ile aynı vurutu değerlerinde ilerlediği görülmektedir.



Şekil 4.16. Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için basınç artış oranları

4.2.5. CO Emisyonu

Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için CO emisyon değerleri Şekil 4.17’de verilmiştir.

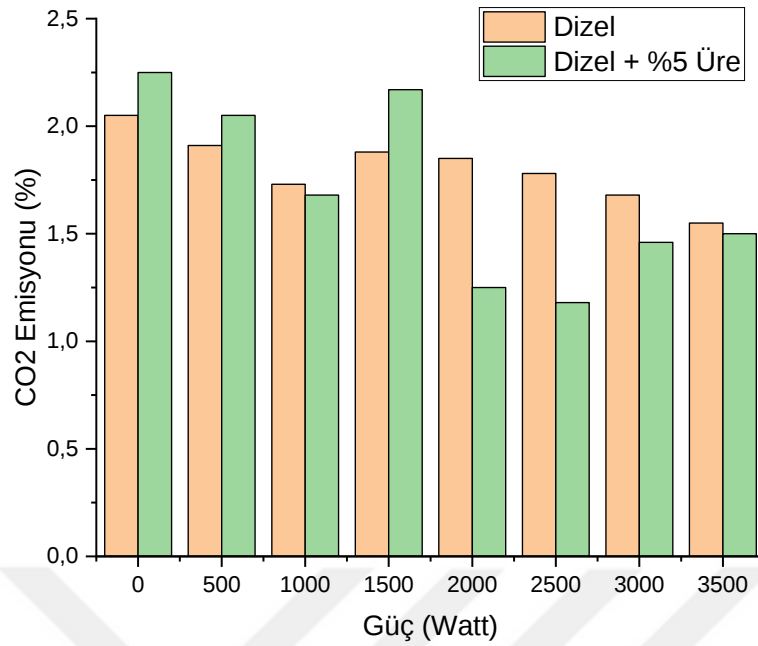


Şekil 4.17. Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için CO emisyon değerleri

Grafikte görüleceği gibi üre katkılı yakıt karışımı dizel yakıtı göre daha az CO emisyonu gerçekleştirmiştir. Üre katkılı yakıt karışımının dizel yakıttan daha iyi yandığı görülmektedir. Tahrik arttıkça dizel yakıtında emisyon değerlerinin arttığı ve yanma olayında orantılı olarak yükseldiği görülür. Üre katkılı yakıt karışımı 500 W hariç düzenli olarak CO emisyo değerlerini azaltmıştır. Gücün artması üre katkılı yakıt karışımının daha iyi yanmasına sebep olmuştur. 2500-3000 W yükleme durumlarında üre katkılı yakıt karışımı aynı CO emisyon değerlerine sahiptir.

4.2.6. CO₂ Emisyonu

Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için CO₂ emisyon değerleri Şekil 4.18’de verilmiştir.

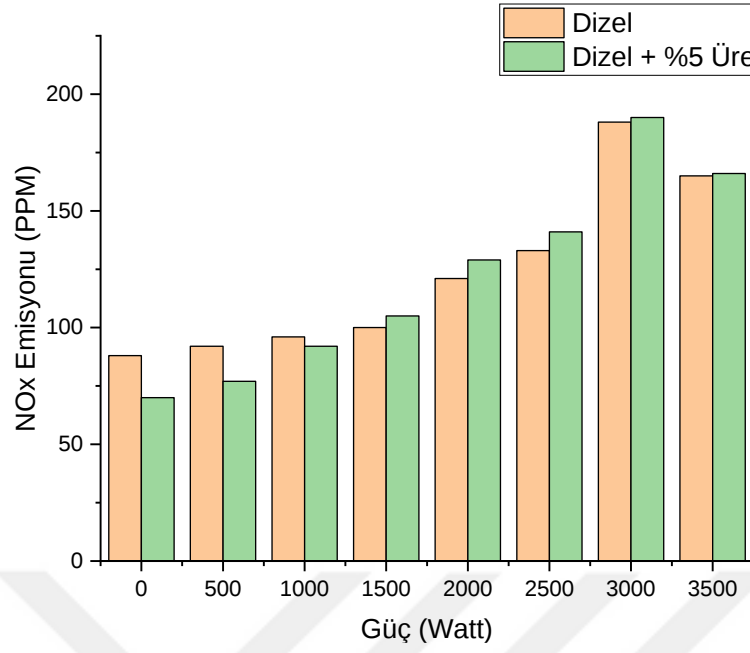


Şekil 4.18. Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için CO₂ emisyon değerleri

Üre katkılı yakıt karışımı başlangıç durumundan 500 W yükleme durumuna kadar dizel yakıtı göre daha fazla atmosfere CO₂ girmesine sebep olmuştur. Dizel yakıt kadar iyi yanmamasına rağmen, dizel yakıt ile yakın değerler göstermiştir. 1000 W durumunda dizel yakıttan daha düşük seviyede ilerlemiştir. 1500 W tan sonra dizel yakıtın CO₂ değerleri yükselmiştir. Silindir içindeki yanma değerlerinin artması CO₂ emisyonunun artmasına sebep olmuştur.

4.2.7. NO_x Emisyonu

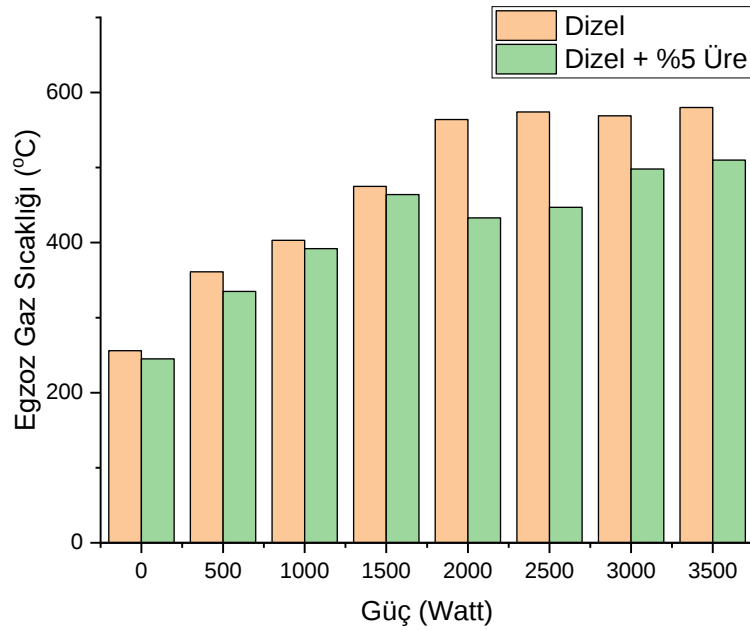
Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için NO_x emisyon değerleri Şekil 4.19’da verilmiştir. Buna göre; güç arttıkça azot oksit değerleri artmıştır. Güç ile doğru orantılı olarak ilerlemiştir. 1500 W değerine kadar üre katkılı yakıt karışımı dizel yakıttan daha düşük azot oksit emisyon değerlerine sahip olmuştur. 1500 W tan sonra iki yakıt türünde eşit oranda yükselmiştir. 3000 W değerinde dizel yakıt üre katkılı yakıt karışımına yaklaşıp ve 3500 W değerinde neredeyse eşitlenmişlerdir.



Şekil 4.19. Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için NO_x emisyon değerleri

4.2.8. Egzoz Gazı Sıcaklığı

Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için egzoz gazı sıcaklık değerleri Şekil 4.20’de verilmiştir.

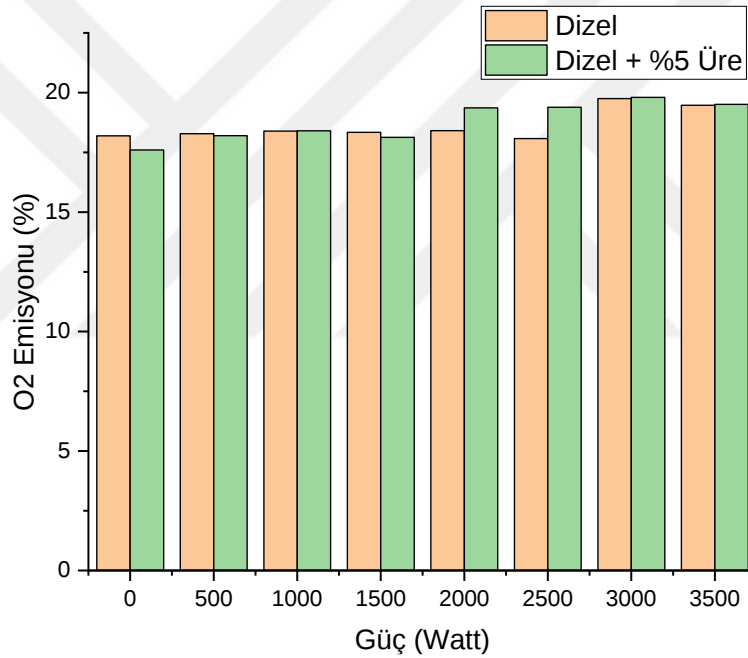


Şekil 4.20. Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için egzoz gazı sıcaklık değerleri

Dizel yakıt tüm güçlerde daha fazla egzoz gazı sıcaklık değeri göstermiştir. Üre katkılı yakıt karışımı çoğu durumda dizel yakıtı benzer değerler gösterse de, egzoz gazı sıcaklık değeri olarak daha düşük kalmıştır. Üre katkılı yakıt karışımında bulunan su miktarının oluşturduğu faz evresi, yakıtın performansını etkilemektedir. Son 4 durumda dizel yakıt benzer sıcaklık değeri gösterip 600 °C ye yaklaşmıştır. Üre katkılı yakıt karışımı daha değişken sıcaklık değerleri göstermiştir.

4.2.9. O₂ Emisyonu

Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için O₂ emisyon değerleri Şekil 4.21’de verilmiştir.

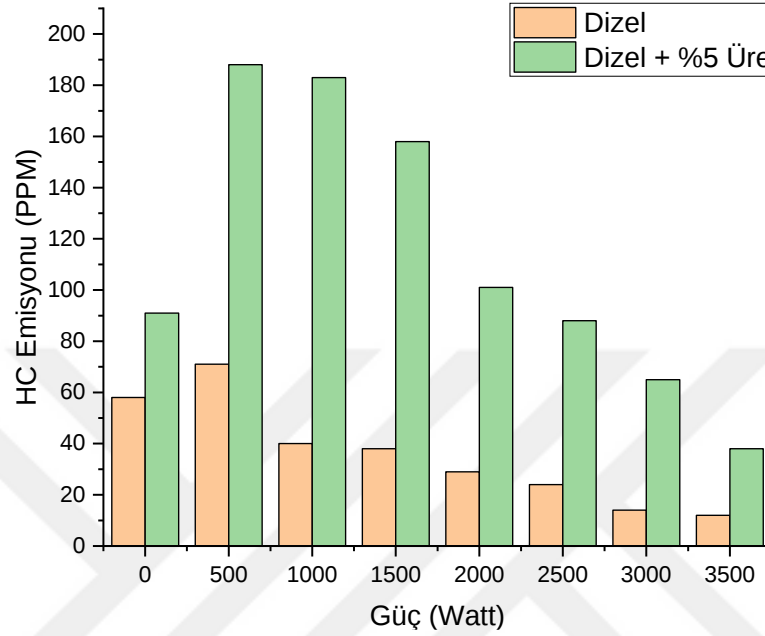


Şekil 4.21. Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için O₂ emisyon değerleri

Üre katkılı yakıt karışımı ile dizel yakıt tüm yüklerde neredeyse aynı oranda ilerlemiş ve aynı değerleri göstermiştir. Atmosfere verilen yanmamış oksijen miktarları aynı kalmıştır. Silindir içinde bulunan oksijenin bir kısmı yanarken bir kısmı dışarı atılmaktadır. Grafikten anlaşılabileceği gibi her iki yakıt türünde birbirlerine yakın olarak oksijen atomlarında yanma göstermişlerdir.

4.2.10. HC Emisyonu

Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için HC emisyon değerleri Şekil 4.22’de verilmiştir.

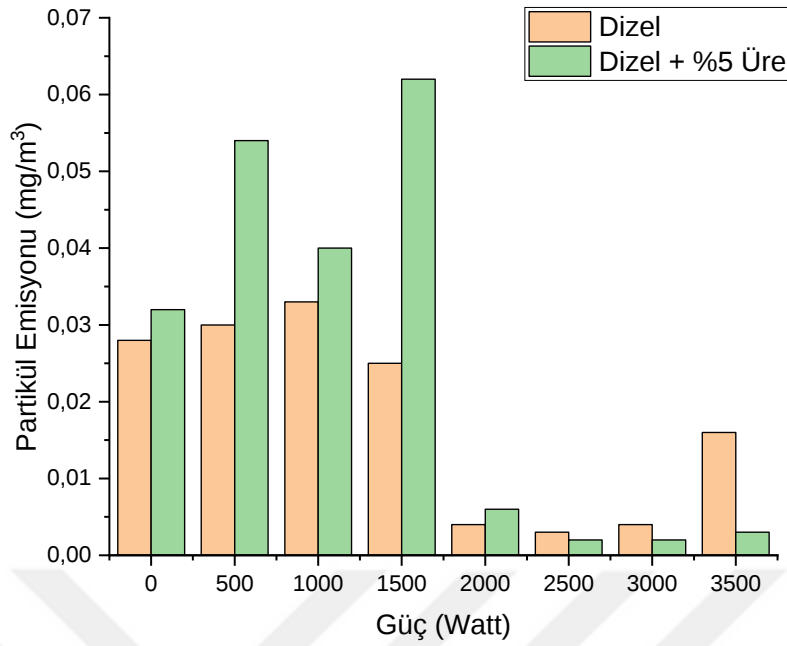


Şekil 4.22. Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için HC emisyon değerleri

HC emisyon değerleri silindir içinde yanmamış olan yakıt miktarı ile doğru orantılıdır. Kısmen oksijen ile tam reaksiyona giremeyen yakıt karışımları için ifade edilebilir. Üre katkılı yakıt karışımı su oranından dolayı düşük yanma sonu sıcaklığı yaşamış ve yanmamış yakıt miktarından dolayı HC artmıştır. Dizel yakıtı göre yanmamış yakıt miktarı daha fazladır. Güç arttıkça bu oran azalsada üre katkılı yakıt karışımı daha fazla HC emisyonuna sebep olmuştur.

4.2.11. Partikül Emisyonu

Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için partikül emisyon değerleri Şekil 4.23’te verilmiştir.

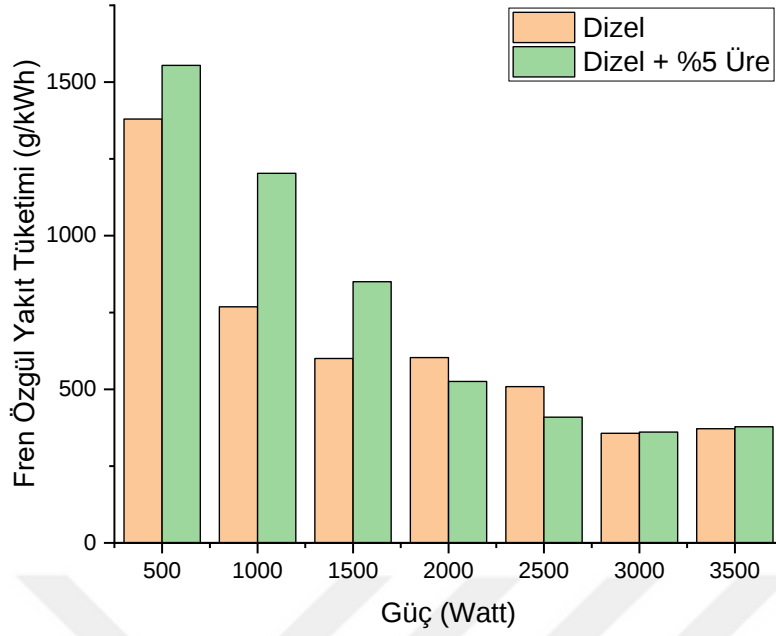


Şekil 4.23. Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için partikül emisyon değerleri

Üre katkılı yakıt karışımının dizel yakıtı göre partikül emisyon değeri oldukça fazladır. 500 W ile 1500 W değerinde oldukça yüksek değerler elde edilmiştir. Oksijen ile tepkimenin kötü olmasından dolayı emisyon değerleri artmıştır. 2000 W tan sonra iki yakıt karışımında emisyon değerleri düşmüştür. KMA'nın artmasından dolayı devrin orantılı büyümesi emisyonları düşürmüştür. 3500 W değerinde dizel yakıt üre katkılı yakıt karışımından daha fazla emisyonu sebep olmuştur. Tek durum budur.

4.2.12. Fren Özgül Yakıt Tüketimi

Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için fren özgül yakıt tüketim değerleri Şekil 4.24'te verilmiştir.



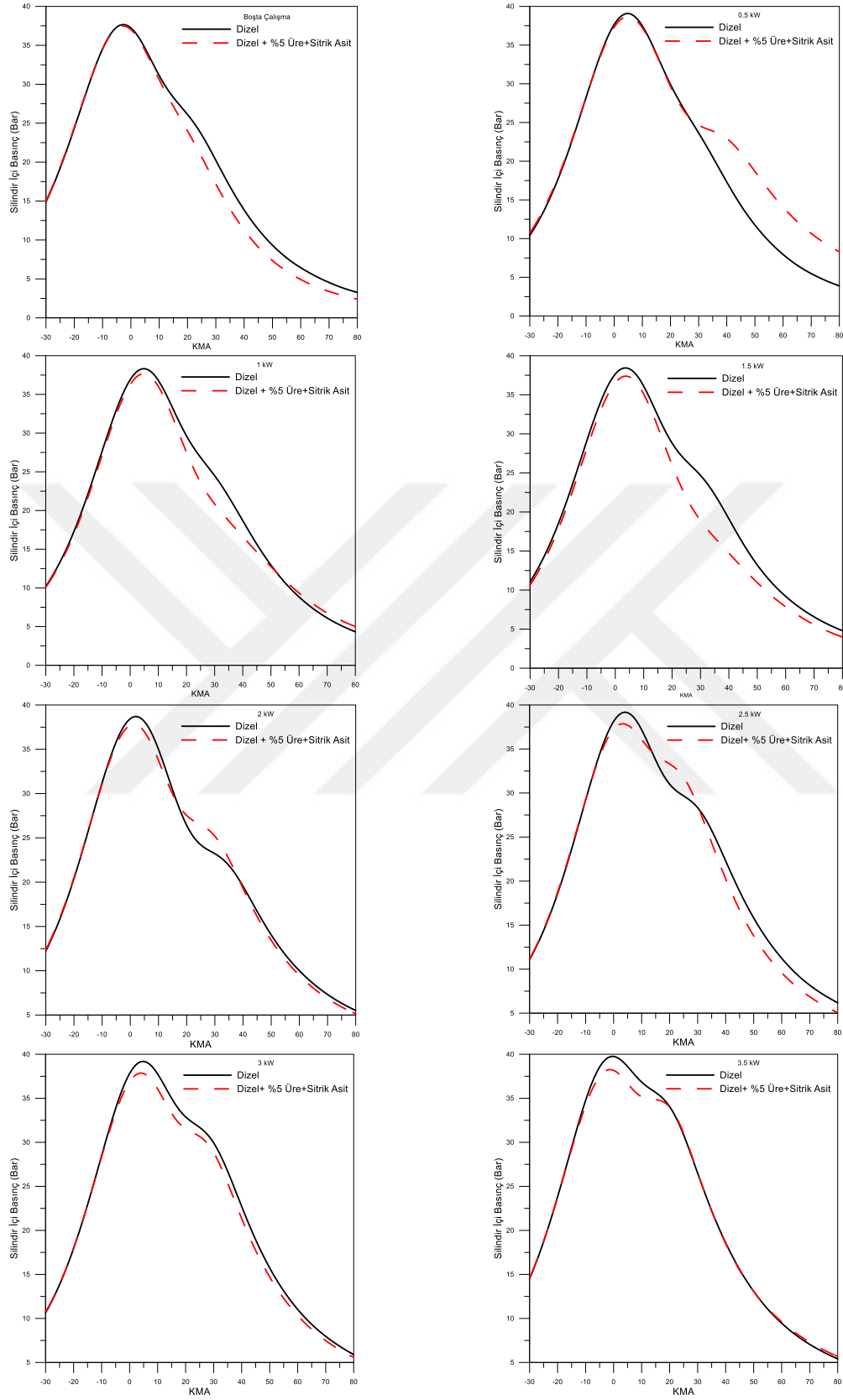
Şekil 4.24. Dizel ve Dizel+%5 Üre karışımları için fren özgül yakıt tüketim değerleri

Görüldüğü üzere üre katkılı yakıt karışımı 1 kW güç için tükettiğin yakıt miktarı genel olarak dizel yakıttan daha fazladır. 2500 W değerinden sonra üre katkılı yakıt karışımı dizel yakıtla aynı değerlerde özgül yakıt tüketimini elde etmiştir. Gücün artması iki yakıt karışımının eşit değerler elde etmesine sebep olmuştur.

4.3. Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit Karışımı

4.3.1. Silindir İçi Basınç Değerleri

Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için silindir içi basınç değerleri Şekil 4.25'te verilmiştir.

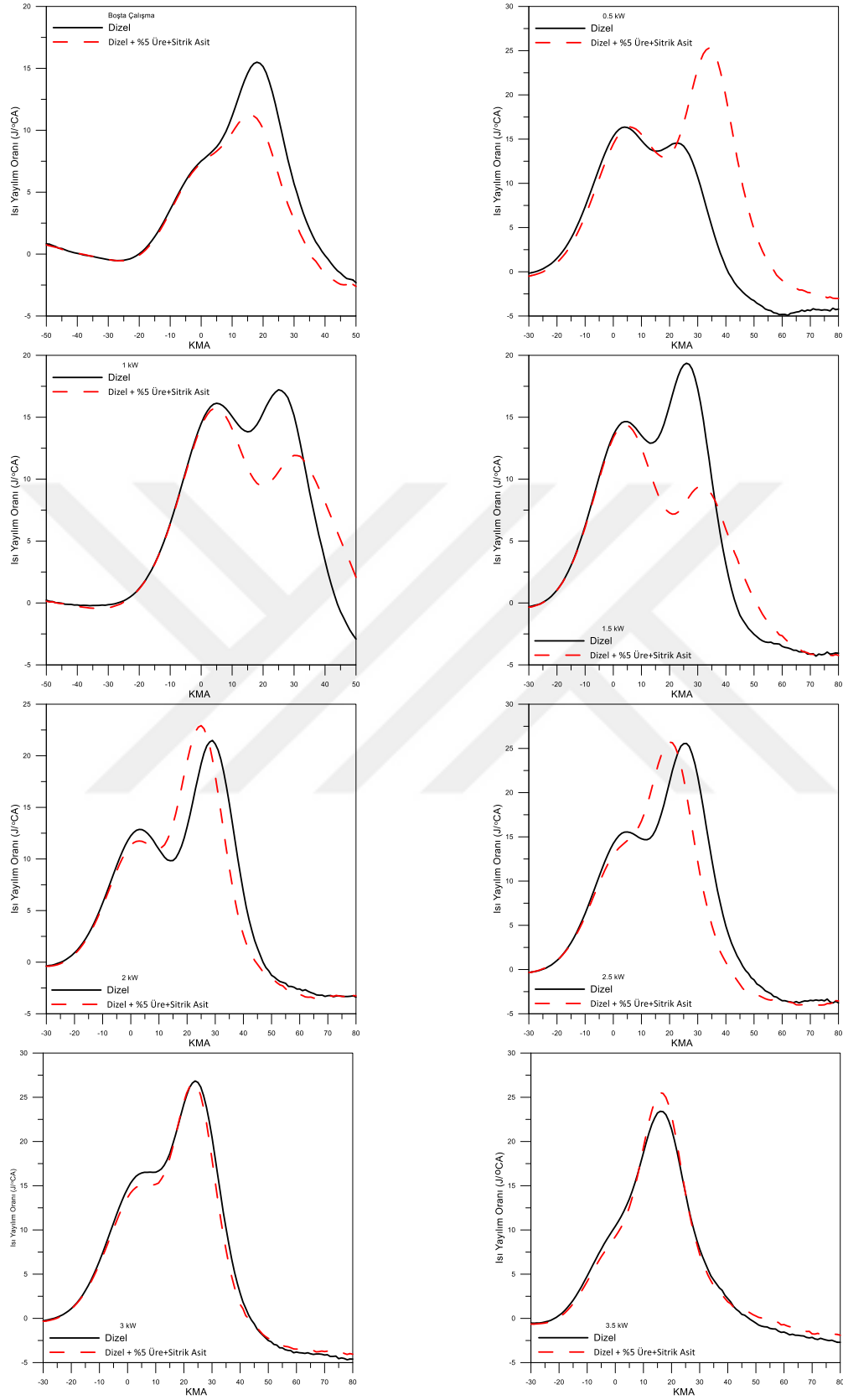


Şekil 4.25. Dizel ve Dizel+%5 Üre- Sitrik Asit karışımları için silindir içi basınç değerleri

Boşta çalışma durumunda sitrik asit katkılı yakıt karışımı 37,5 bara kadar dizel yakıt ile aynı değeri göstermiştir. Basınç düşüşü esnasında dizel yakıtın silindir içi basınç değeri daha yüksek kalmıştır. Neredeyse ortalama 2,5 bar kadar sitrik asit katkılı yakıt karışımı KMA'nın sonuna doğru dizel yakıttan daha düşük ilerlemiştir. 0,5 kW yükleme durumunda sitrik asit dizel yakıtı çok yakın değerlerde yükselmiş ve basınç düşüşünden sonra 25 bara kadar beraber ilerlemiştir. Sitrik asit ürenin su içindeki çözünürlüğünü arttırdığından silindir içine giren üre miktarı normal üre katkılı yakıt karışımına göre daha fazladır. Sitrik asit katkılı yakıt karışımı 25 bar basınçtan sonra dizel yakıttan çok daha fazla basınç değerinde ilerlemiştir. 1 kW yükleme durumunda sitrik asit katkılı yakıt karışımı dizel yakıtı göre daha düşük ilerleme kaydetmiştir. Bir önceki yükleme durumuna göre çıktığı en yüksek değer düşük kalmıştır. Basınç düşüşünde 50 KMA'dan sonra dizel yakıttan daha fazla basınç değeri elde etmiştir. 1,5 kW yükleme durumunda sitrik asit katkılı yakıt karışımı aynı değere ulaşmıştır. 20 KMA'dan sonra dizel yakıtla daha fazla fark oluşturarak basınç düşüşü elde etmiştir. Silindir içine giren su miktarı arttığı için verim düşmüştür. 2 kW yükleme durumunda dizel yakıt ile aynı ilerleme kaydetmiş ve yine 20 KMA'da dizel yakıtı kıyasla daha fazla basınç değeri elde edilmiştir. 40 KMA'dan sonra basınç değeri dizel yakıtı göre az da olsa yakın değerlerde ilerlemiştir. 2,5 kW yükleme durumunda en yüksek değerden sonra neredeyse 10 KMA'da dizel yakıttan daha fazla değer elde etmiş lakin hemen sonra 35 KMA'ya yakınında dizel yakıttan daha düşük değerlerde kalmıştır. Sitrik asit katkılı yakıt karışımında da gözlenen faz oluşum evresi yanmada eksikliklere sebep olmaktadır. Bu durumda basınç değerlerinde doğru orantılı değişkenler göstermektedir. 3 kW yükleme durumunda -5 KMA'dan sonra sitrik asit katkılı yakıt karışımı dizel yakıtın altında ilerleme kaydetmiştir. Yanmanın gitgide kötüleşmesi basıncın düşmesine sebep olmaktadır. Sitrik asitin suyun çözünürlüğünü arttırması ürenin daha fazla çözünmesine sebep olduğundan, saf üre katkılı yakıt karışımına göre performans az da olsa artmış lakin bu yükleme durumunda dizel yakıttan daha düşük değerlere sebep olmuştur. 3,5 kW yükleme durumunda silindir içi sıcaklığın artması ürenin yanma değerlerine etkisini ortaya çıkarmıştır. 25 KMA'dan sonra sitrik asit katkılı yakıt karışımı dizel yakıtla neredeyse aynı değerleri gösterdiği için eşit oranda ilerlemiştir. KMA'nın yüksek olduğu yerlerde dizel yakıttan daha iyi basınç değeri gösterdiğinden yanmayı olumlu etkilemiştir.

4.3.2. Isı Yayılım Oranları

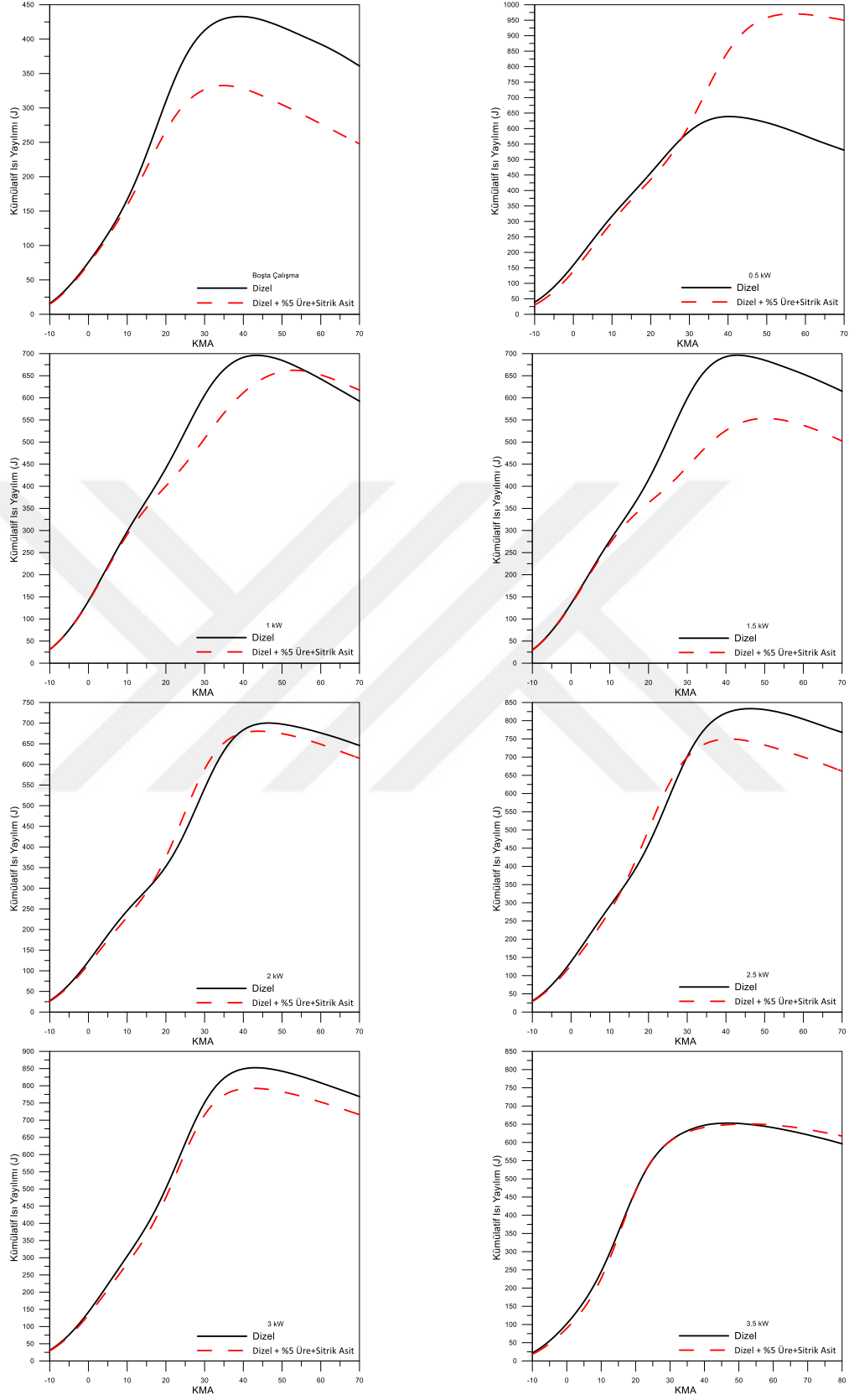
Dizel ve Dizel+%5 Üre- Sitrik Asit karışımları için ısı yayılım oranları Şekil 4.26'da verilmiştir. Boşta çalışma durumunda sitrik asit katkılı yakıt karışımı dizel yakıt ile aynı değerlerde ilerlemiş ve geldiği en yüksek ısı yayılım değerinde dizel yakıtın altında kalmıştır. KMA'nın yüksek olduğu yerlerde dizel yakıtı daha yakın değerler elde edilmiştir. 0,5 kW yükleme durumunda sitrik asit katkılı yakıt karışımı dizel yakıttan dahada yüksek değerlerde ısı yayılımına sahiptir. Neredeyse $25 \text{ j}^{\circ}\text{CA}$ değerine ulaşmıştır. Dizel yakıtın ısı yayılım değerinin düştüğü sırada sitrik asit katkılı yakıt karışımının değerleri en yüksek değere doğru ilerlemiştir. 1 kW yükleme durumunda sitrik asit değeri dizel yakıtı iyice yaklaşmıştır. Silindir içine giren su miktarının yanmayı kötüleştirdiğinden ısı salınım hızında azalma görülmektedir. Dizel yakıtta motor gücünün artması silindir içine giren yakıt oranıyla gerçekleştiği için sitrik asite göre daha fazla yakıt miktarı silindir içine girmektedir. Böylece dizel motorun yükü daha artmıştır. 1,5 kW yükleme durumunda sitrik asitin dizel yakıtı göre ısı yayılımının azaldığı görülmektedir. %5'lik üre ve sitrik asit karışımının geri kalan kısmında bulunan su miktarı güç arttıkça arttığından bu durumu ortaya çıkarmaktadır. 2 kW yükleme durumunda sitrik asitin ısı yayılımında yükselme meydana gelmiştir. Üre miktarının bu yakıt karışımında daha fazla çözünmesi bu duruma sebep olduğu düşünülebilir. 2,5 kW yükleme durumunda sitrik asit katkılı yakıt karışımı dizel yakıtın değerlerine oldukça yaklaşmış ve 3 kW yükleme durumunda neredeyse eşitlenmiştir. Bu durum sitrik asit katkılı yakıt karışımının kalorifik değerinin diğer yakıt karışımlarına göre daha yüksek olması ile açıklanabilir. Artan yakıt miktarı silindir içine giren hava/yakıt oranını zenginleştirir bu yanmana kısmen olumsuz etki ortaya çıkarır. 3,5 kW yükleme durumunda sitrik asit katkılı karışım dizel yakıttan daha yüksek ısı yayılım sergilemiştir.



Şekil 4.26. Dizel ve Dizel+%5 Üre- Sitrik Asit karışımları için ısı yayılım oranları

4.3.3. Kümülatif Isı Yayılımı

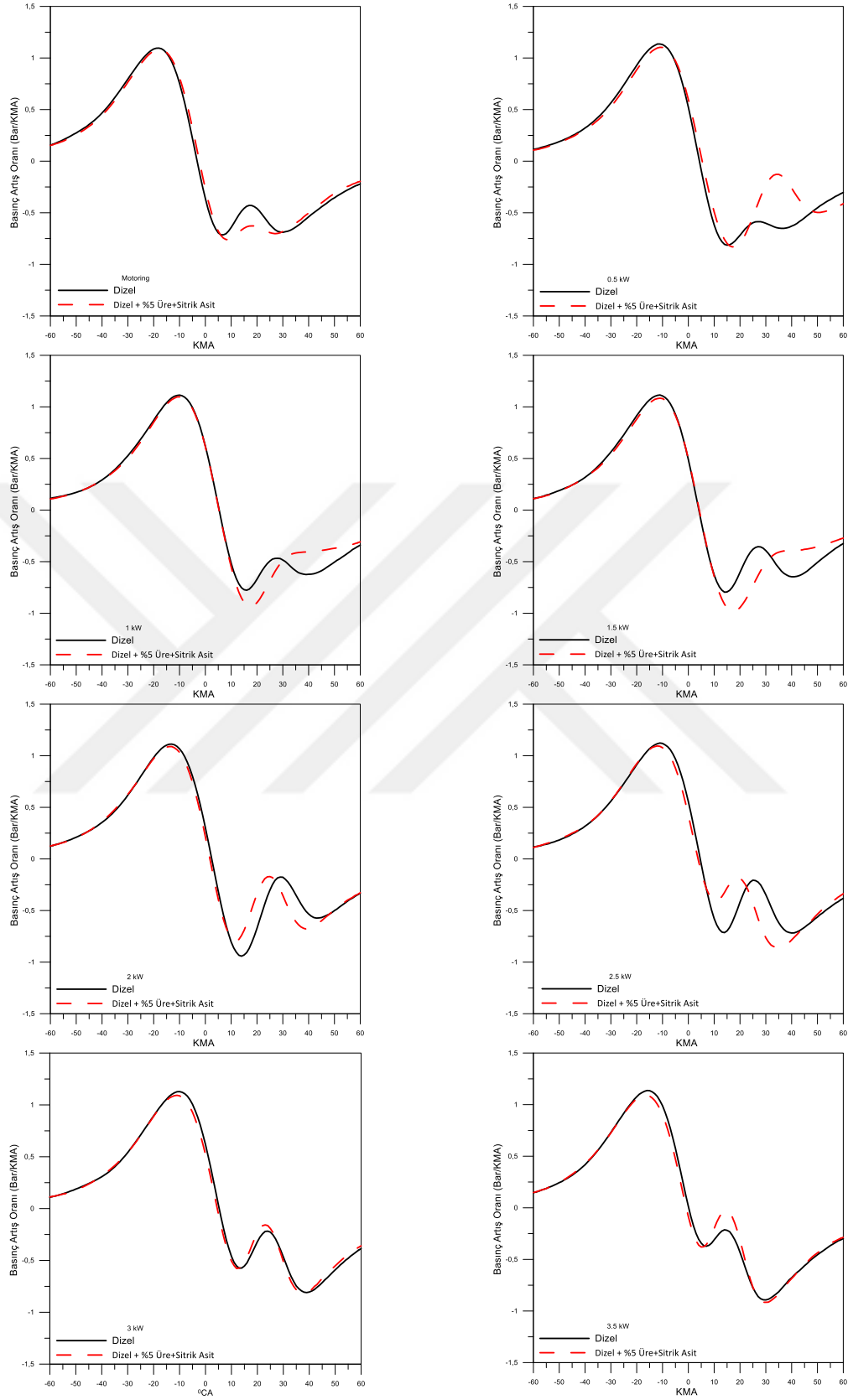
Dizel ve Dizel+%5 Üre- Sitrik Asit karışımları için kümülatif ısı yayılım değerleri Şekil 4.27’de verilmiştir. Boşta çalışma durumunda sitrik asit katkılı yakıt karışımı kümülatif olarak dizel yakıtın altında bir değer sergilemiştir. 0,5 kW yükleme durumunda sitrik asit katkılı yakıt karışımı dizel yakıttan daha yüksek değer elde etmiştir. İki yakıt karışımında kümülatif ısı yayılım değerleri artmıştır. Tahriğin artması bu duruma sebep olmuştur. 1 kW yükleme durumunda sitrik asit katkılı yakıt karışımının ısı değeri dizel yakıtın alt değerine düşmüştür. Silindir içindeki yanmanın düzensiz oluşu bu duruma sebep olduğu düşünülebilir. 50 KMA’dan sonra sitrik asit katkılı yakıt karışımının ısı değerlerinde azalma meydana gelmiştir. 1,5 kW yükleme durumunda kümülatif ısı değeri 550 J değerine kadar düşmüştür. 2 kW yükleme durumunda dizel yakıtın ısı değerlerine iyice yaklaşmıştır. Silindir içine giren sitrik asit katkılı yakıt/hava karışımının artması bu duruma sebep olmuştur. 2,5 kW yükleme durumunda sitrik asit katkılı yakıt karışımı 750 J değerini görmüştür. Dizel yakıtın gösterdiği kümülatif ısı değerlerine yaklaşmıştır. 3 kW yükleme durumun da sitrik asit katkılı yakıt karışımı neredeyse 800 J değerine ulaşmış ve dizel yakıtı yakın kümülatif ısı yayılım performans değeri göstermiştir. 3,5 kW yükleme durumunda sitrik asit katkılı yakıt karışımı neredeyse dizel yakıt ile aynı değerleri göstermiştir.



Şekil 4.27. Dizel ve Dizel+%5 Üre- Sitrik Asit karışımları için kümülatif ısı yayılım değerleri

4.3.4. Basınç Artış Oranı

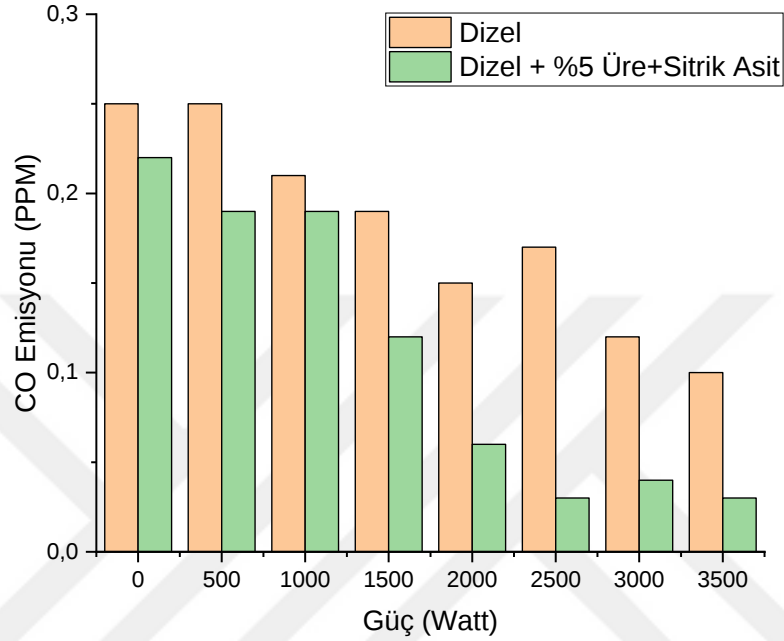
Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için basınç artış oranları Şekil 4.28’de verilmiştir. Buna göre; genel olarak sitrik asit katkılı yakıt karışımı ile dizel yakıt ortalama aynı değerlerde vuruñu tesirine maruz kalmıştır. Boşta çalışma durumunu incelediğimizde yalnızca 20 KMA’da sitrik asitin dizel yakıtı göre daha düşük bir eğri çizdiği görülür. 0,5 kW yükleme durumunda 30 KMA’da ve neredeyse -0,25 bar noktalarında sitrik asitin dizel yakıtı göre daha fazla vuruñuya sebep olduğu görölmektedir. 1 kW ve 1,5 kW yükleme durumuna baktığımızda 15 KMA’da sitrik asitin vuruñu değeri düşükken 30 KMA’dan sonra dizel yakıtı göre daha yüksektir. 2 ile 2,5 kW yükleme durumunda 20 ile 25 KMA’da sitrik asit katkılı yakıt karışımı tekrar düşüşe geçerek -0,75 ile -0,5 bar değeri arasında değeri gösterdikten sonra dizel yakıt ile eşit şekilde ilerlemiştir. 3 kW yükleme durumunda sitrik asit görüldüğü üzere neredeyse dizel yakıt ile aynı vuruñu değeri göstermiştir. 3,5 kW yükleme durumunda 15 KMA’da sitrik asit katkılı yakıt karışımı neredeyse 0 bara ulaşarak dizel yakıtın üstünde kalmıştır. Vuruñunun azaldığı durumlarda dizel yakıt ile aynı basınç değeri ile ilerlemiştir.



Şekil 4.28. Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için basınç artış oranları

4.3.5. CO Emisyonu

Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için CO emisyon değerleri Şekil 4.29'da verilmiştir.

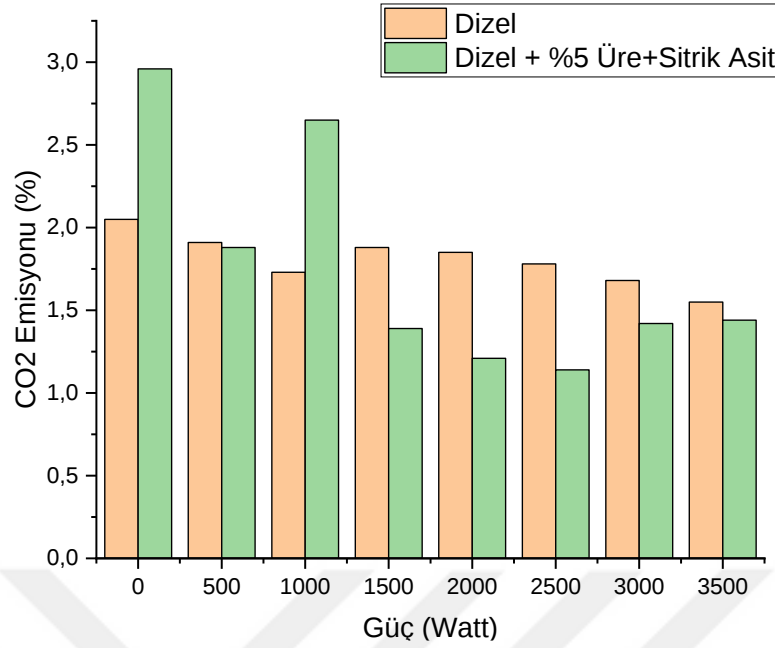


Şekil 4.29. Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için CO emisyon değerleri

Görüldüğü üzere sitrik asit katkılı yakıt karışımı dizel yakıtı göre daha az emisyonu neden olmuştur. Dizel yakıtı karıştırılan su etkili karışımlar mikro patlama etkisi yapmaktadır. Buda yakıt/hava karışımının daha iyi performans vermesine sebep olur. Oksijence zengin karışımların daha az emisyonu sebep olduğu bilinmektedir. Bu sebeple sitrik asit ve üre katkılı yakıt karışımında tıpkı saf üre katkılı yakıt karışımı gibi CO emisyonunda dizel yakıtı göre azalma meydana gelmiştir. 2500 W gücünde sitrik asit ve üre katkılı yakıt karışımı en düşük seviyeye inmiştir.

4.3.6. CO₂ Emisyonu

Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için CO₂ emisyon değerleri Şekil 4.30'da verilmiştir.

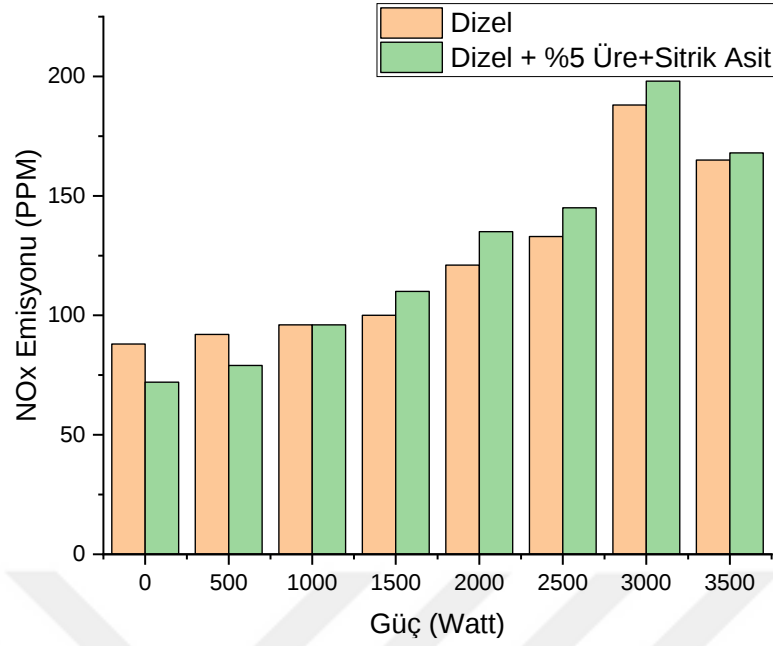


Şekil 4.30. Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için CO₂ emisyon değerleri

Gücün artması grafikte de görüleceği gibi sitrik asit ve üre katkılı yakıt karışımında CO₂ emisyonlarında azalmaya sebep olmuştur. Dizel yakıtla kıyasladığımız diğer yakıt karışımları için en yüksek CO₂ emisyon değerleri sitrik asit ve üre katkılı yakıt karışımında görülmüştür. Su bazlı karışımların emisyon değerine etkisi burada da görülmektedir. Dizel yakıtı göre daha düşük emisyon değerleri görülmüştür. Gücün ilk verilmesi durumunda silindir içinde gerçekleşen yanma ısısı daha düşük olduğundan dizel yakıtın CO₂ emisyon değeri daha düşüktür. 1000 W'tan sonra sitrik asit ve üre katkılı yakıt karışımının CO₂ emisyon değerleri dizel yakıtın altına düşmüştür.

4.3.7. NO_x Emisyonu

Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için NO_x emisyon değerleri Şekil 4.31'de verilmiştir.

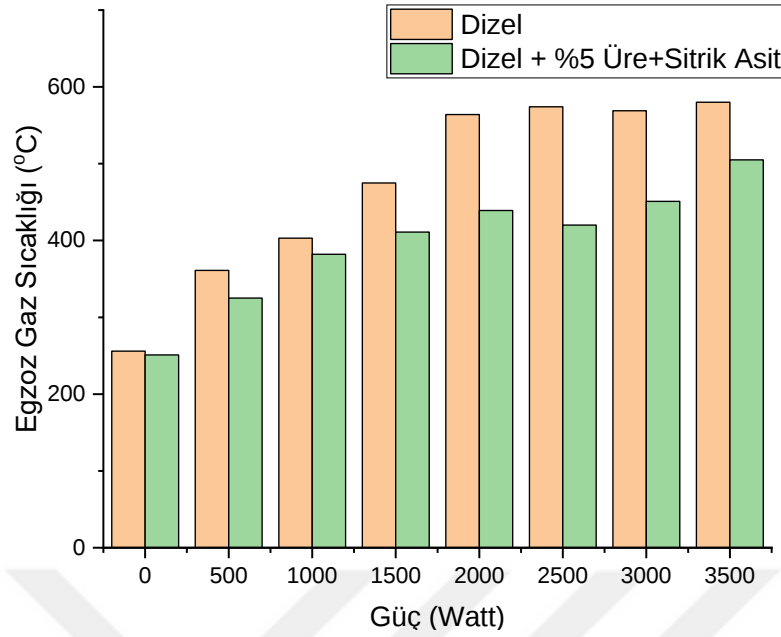


Şekil 4.31. Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için NO_x emisyon değerleri

NO_x emisyon değerleri bilindiği zengin hava/yakıt karışımının oluşması ve silindir içinde gerçekleşen yanmanın birikerek aniden artması durumlarında meydana gelmektedir. Su bazlı karışımlar genel olarak mikro patlamaya sebep olduğundan ve kısmen zengin bölgelerin oluşmasına sebep olduğundan NO_x emisyonlarında artışa biraz olsun artış beklenir. Bu durum üre katkılı yakıt karışımında da görülmüştür. Gücün artması silindir içine giren yakıt miktarının arttırdığından ve çeperlerde oluşan kuvveti arttırdığından iki yakıt türünde de NO_x emisyon değerlerinde artış görülmektedir. Dizel yakıtın NO_x emisyon değerleri sitrik asit ve üre katkılı yakıt karışımına göre daha azdır. Sitrik asit ve üre katkılı yakıt karışımında bulunan su miktarı üre katkılı yakıt karışımında da görüldüğü gibi, NO_x emisyonunun da artışa sebep olmuştur.

4.3.8. Egzoz Gazı Sıcaklığı

Dizel ve Dizel + %5 Üre-Sitrik Asit karışımları için egzoz gazı sıcaklık değerleri Şekil 4.32’de verilmiştir.

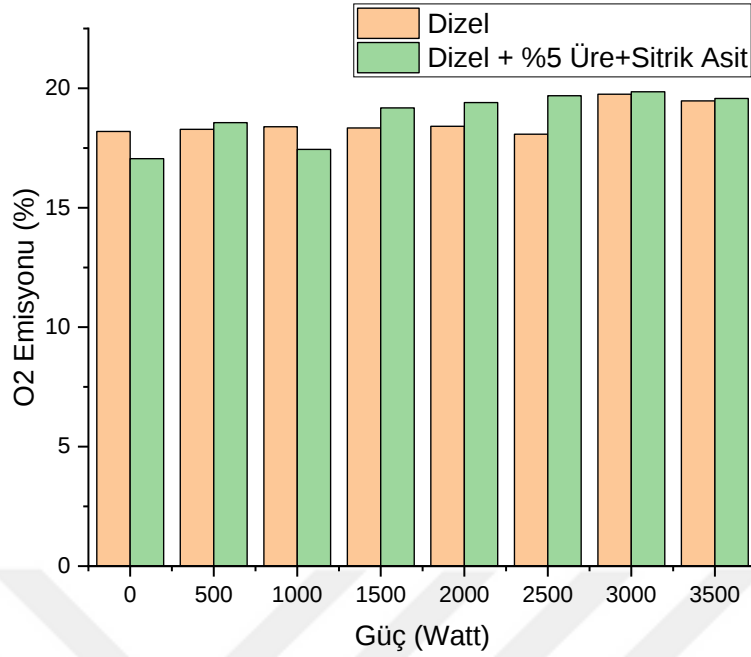


Şekil 4.32. Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için egzoz gazı sıcaklık değerleri

Setan sayısı yanma sonu sıcaklığına etkiyen bir parametredir. Egzoz gazı sıcaklığı silindir içindeki yanma ile doğru orantılıdır. Yakıtta üre ilavesi, setan sayısında azalmaya sebep olmuştur. Bu sebeple üre katkılı yakıt karışımlarının egzoz gazı sıcaklıklarında azalma görülmektedir. Sitrik asit ve üre karışımında, suda çözünen üre miktarı daha fazla olduğundan setan egzoz gazı sıcaklığında azalma daha fazla gözlenmiştir. Güç arttıkça silindir içinde oluşan yanma arttığı için egzoz gazı sıcaklıkları doğru orantılı olarak artmıştır. Lakin grafikte görüldüğü üzere sitrik asit ve üre katkılı yakıt karışımı dizel yakıtı göre daha düşük egzoz gazı sıcaklığına sebep olmuştur.

4.3.9. O₂ Emisyonu

Dizel ve Dizel + %5 Üre-Sitrik Asit karışımları için O₂ emisyon değerleri Şekil 4.33'te verilmiştir.

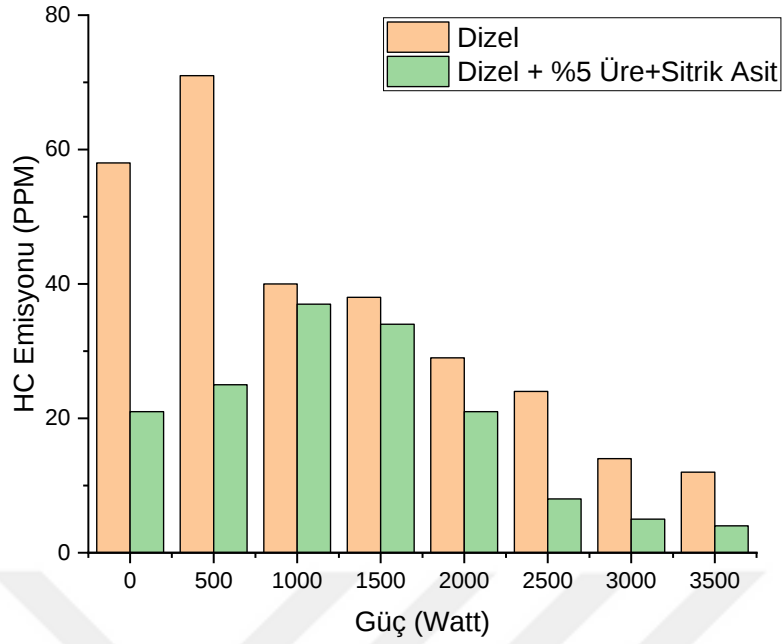


Şekil 4.33. Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için O₂ emisyon değerleri

Oksijen emisyonu, oksijence zengin karışımların dizel yakıt ile karıştırılmasıyla oluşturulan yakıtlarda yükselmektedir. Silindire giren yakıt/hava karışımları oksijen atomları içerdiğinden oksijen emisyonlarında artış görülmektedir. Üre ve sitrik asit katkılı yakıt karışımları ise bu sınıfa girdiğinden grafikte görüldüğü üzere oksijen emisyonlarındaki artış dizel yakıtı göre güç arttıkça artmıştır. 3500 W'lık tahrik durumunda üre ve sitrik asit katkılı yakıt karışımında görülen oksijen emisyon değeri, dizel yakıtı oldukça yaklaşmıştır.

4.3.10. HC Emisyonu

Dizel ve Dizel + %5 Üre-Sitrik Asit karışımları için HC emisyon değerleri Şekil 4.34'te verilmiştir.

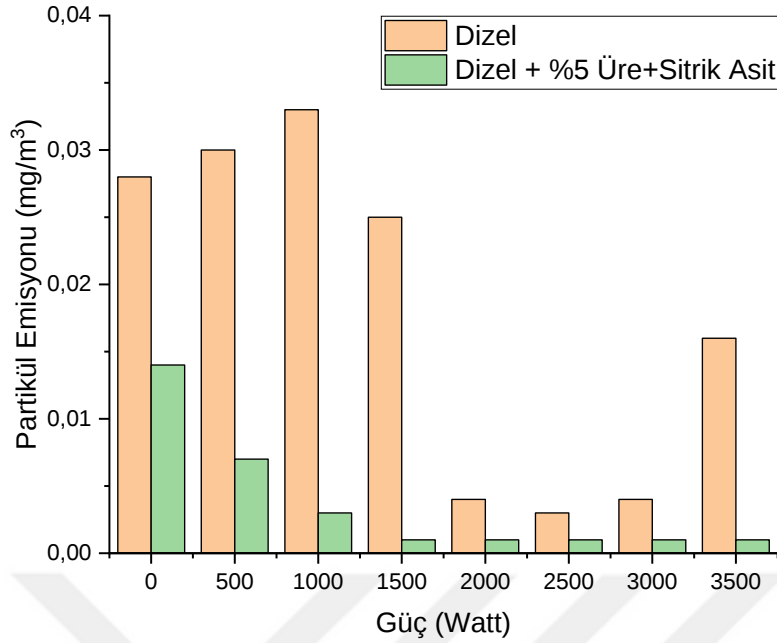


Şekil 4.34. Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için HC emisyon değerleri

Oksijence zengin yakıtlar düşük yanma sonu sıcaklığına sebep olduğundan HC emisyon değerlerinde azalma görülmektedir. Bilindiği üzere, HC emisyonları silindir içinde yanmamış yakıt miktarıyla doğru orantılıdır. Grafikte de görüleceği gibi, sitrik asit ve üre katkılı yakıt karışımının dizel yakıtı göre daha düşük yanma sonu sıcaklığı gösterdiğinden HC emisyon değerleri daha düşük sonuçlara sebep olmuştur. Sonuç olarak sitrik asit ve üre katkılı yakıt karışımının dizel yakıtı göre, silindir içinde daha az yanmamış yakıt miktarına sebep olduğu söylenebilir.

4.3.11. Partikül Emisyonu

Dizel ve Dizel + %5 Üre-Sitrik Asit karışımları için partikül emisyon değerleri Şekil 4.35'te verilmiştir.

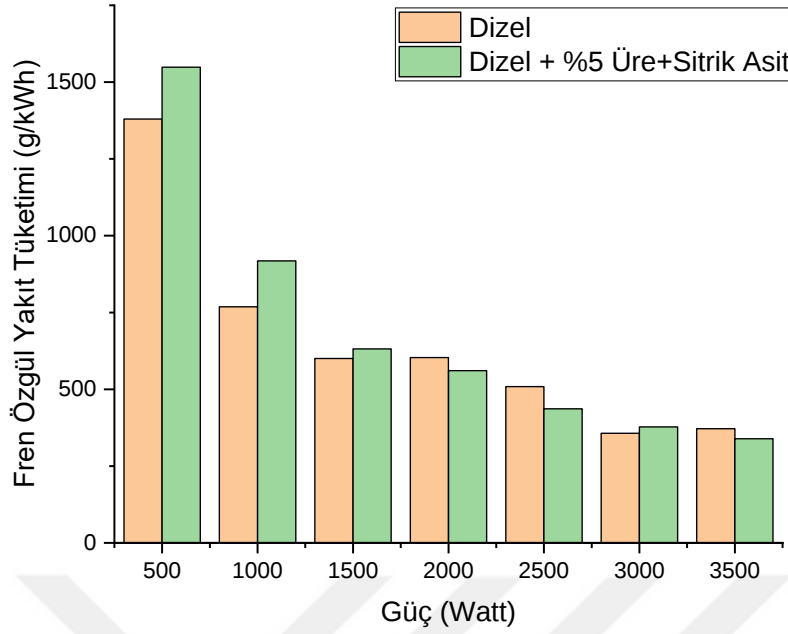


Şekil 4.35. Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için partikül emisyon değerleri

Partikül emisyonları insan sağlığı açısından oldukça önemli bir parametredir. Dışarı salınan partikül emisyon değerinin yüksek olması tehdit oluşturabilir. Bu sebeple, sitrik asit ve üre katkılı yakıt karışımı için partikül emisyon değerlerine baktığımızda diğer yakıt karışımlarına kıyasla en iyi değerleri sitrik asit ve üre katkılı yakıt karışımında görmek mümkündür. Dizel yakıta kıyasla çok iyi değerler elde edilmiştir. Bu durumu sitrik asitteki oksijen konsantrasyonunun ve ısıtma değerinin çok fazla düşmemesi ile açıklamak mümkündür. Sitrik asit ve üre katkılı yakıt karışımı düşük yüklerde minimum partikül emisyonu oluştururken yüksek yüklerde sıfıra yakın sonuçlar vermiştir.

4.3.12. Fren Özgöl Yakıt Tüketimi

Dizel ve Dizel + %5 Üre-Sitrik Asit karışımları için fren özgöl yakıt tüketim değerleri Şekil 4.36'da verilmiştir.



Şekil 4.36. Dizel ve Dizel+%5 Üre-Sitrik Asit karışımları için fren özgül yakıt tüketim değerleri

Fren özgül yakıt tüketimi, motorun 1 kW güç elde etmek için harcadığı yakıt miktarı olduğu bilindiğine göre, silindir içerisinde fren özgül yakıt değerinin ne kadarının verimli kullanıldığını anlamak faydalı olacaktır. Nedeni ise yüksek yanma verimi ve yakıtın tamamının kullanılması fren özgül yakıt değerinde düşüşe neden olabilmektedir. Düşük motor yüklerinde düşük yanma sonu sıcaklığı oluştuğundan ve yakıt karışımları tamamen buharlaşamayacağından, yakıt tüketimi artabilir ve yanma verimi düşebilir. Motor yükünün artması ile yakıt içeriğindeki oksijenin ve yanma sonu sıcaklığının etkisiyle, daha güçlü bir yakıt karışımı oluşacağından fren özgül yakıt tüketim değerleri düşebilir. Grafikte de görüleceği gibi sitrik asit ve üre katkılı yakıt karışımında 3,5 kW motor yükünde en düşük BSFC 339,12 g/kWh oluşmuş ve dizel yakıtı benzer bir fren özgül yakıt tüketim değeri göstermiştir. Daha önceki saf üre katkılı yakıt karışımında da olduğu gibi ürenin kalorifik değeri daha düşük olduğundan fren özgül yakıt tüketimi diğer yakıt türlerine göre kıyasla, sitrik asit ve üre katkılı yakıt karışımı diğer yakıt karışımlarına göre daha düşük su içeriğine sahip olduğundan dizel yakıtı daha yakın bir performansa ulaşmıştır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada direk enjeksiyonlu dizel bir motorda AdBlue, Üre ve Üre+Sitrik asit karışımlarının yakıta ilavesinin egzoz emisyonları ve motor performansına etkisi incelenmiştir.

Yapılan çalışmada motor gücü sabit tutularak diğer parametrelere etkisi incelenmiştir.

- Ticari AdBlue katılmasının Silindir içi maksimum basınç değeri düşürmüştür. Ayrıca ticari AdBlue yakıta eklenmesinin yanmayı geciktirdiği ve kötüleştirdiği söylenebilir. Dizel+Üre+Sitrik Asit karışımının dizel yakıta yakın yanma performansı vermiştir.
- Isıl yayılım oranı değerlendirildiğinde ise silindir içi basınç grafiklerinde ticari AdBlue eklenmesinin yanmayı kötüleştirdiği ve geciktirdiği sadece 2,5 kW değerinde yanmayı geciktirmemiş fakat yanmayı kötüleştirmiştir. Dizel+Üre ve Dizel+Üre+Sitrik Asit karışımlarının dizele göre yanmayı öne çektiği ifade edilebilir.
- CO₂ emisyon değerleri incelendiğinde ise genel olarak yakıta katılan ilavelerin CO₂ emisyon seviyesini düşürdüğü fakat Dizel+AdBlue yakıt karışımının tüm güçlerde dizel yakıta göre emisyonu arttırdığı maksimum artış ise 3,5 kW değerinde gerçekleşmiştir. Dizel yakıta göre CO₂ emisyonunu %38 arttırmıştır. Dizel yakıta göre en yüksek CO₂ emisyon artışı 1 kW güçte %53 ile Dizel+Üre+Sitrik Asit karışımında olmuştur.
- CO emisyon değerleri incelendiğinde ise dizel yakıta göre en iyi iyileştirmenin %233 ile Dizel+Üre+Sitrik Asit karışımında olduğu söylenebilir. Genel olarak Üre ve karışımlarının ilavesinin CO emisyonunu düşürdüğü söylenebilir.
- Normal şartlar altında en çok düşmesi beklenen emisyon NO_x emisyonu idi. Fakat beklenen düşüş tam olarak sağlanamamıştır. En büyük düşüş Dizel yakıta ticari AdBlue eklenmesi ile %12 iyileşme meydana gelmiştir. Dizel+Üre+Sitrik Asit karışımı beklenenin tam tersi bir etki göstererek NO_x emisyonunu bazı güçlerde arttırmıştır.

- Egzoz gaz sıcaklığı güç arttıkça genel olarak artış göstermiştir. Ticari AdBlue ilavesi egzoz gaz sıcaklığını dizel yakıta göre arttırmıştır. Dizel+Üre+Sitrik Asit karışımı ise 2 kW gücünden sonra egzoz gaz sıcaklığı dizele göre düşüş göstermiş ve 2,5 kW güç değerinde %16,83'lük bir düşüş göstermiştir.
- HC emisyonu açısından değerlendirildiğinde ise Dizel+Üre karışımı dışında diğer karışımların HC emisyonunu ciddi oranda düşürmüştür. Özellikle Dizel+Üre+Sitrik Asit karışımı maksimum güç değerinde %300 iyileşme sağlamıştır.
- Partikül madde emisyon değerleri ticari AdBlue eklenmesi partikül madde miktarını arttırmıştır. Diğer karışımlar ise Dizel yakıta benzer emisyon değeri oluşturmuştur.
- BSFC değerleri incelendiğinde ise ticari AdBlue ilavesinin yakıt tüketimini arttırdığı diğer karışımların dizel yakıta yakın bir sonuç verdiği ve Dizel+Üre+Sitrik Asit karışımının 3,5 kW güç değeri için minimum yakıt seviyesini sağladığı ve %8 bir iyileşme gerçekleşmiştir.

Sonuç olarak Dizel motorlarda Euro emisyon standardına uyum için zorunluluk haline gelen egzoz manifoldunda AdBlue püskürtme yerine yakıta katkı olarak kullanılabilmesi özellikle HC emisyonlarında iyileştirme yapmıştır. Araç üreticilerinin emisyon sınırı geçmemek için maliyeti düşürmek adına özellikle daha net bir şekilde belirlenebilecek bir üre ve su karışımının yakıta ilavesi çalışmanın devamında çalışabilecek bir konu olarak gözükmektedir.

KAYNAKLAR

Aghbashlo M, Tabatabaei M, Mohammadi P, Khoshnevisan B, Rajaeifar MA, Pakzad M (2017) Neat diesel beats waste-oriented biodiesel from the exergoeconomic and exergoenvironmental point of views. *Energy Conversion and Management* 148: 1-15

Choi C, Sung Y, Choi G, Kim D (2015) Numerical analysis of urea decomposition with static mixers in marine SCR system. *Journal of Clean Energy Technologies* 3(1): 39-42

Gao Y, Meng F, Cheng Y, Li Z (2017) Influence of fuel additives in the urea-nitrates solution combustion synthesis of Ni-Al₂O₃ catalyst for slurry phase CO methanation. *Applied Catalysis A-General* 534: 12-21

Habchi C, Nicolle A, Gillet N (2018) Numerical study of deposits formation in SCR systems using urea-water. *Journal of Materials Science & Nanotechnology* 6(2): 201

Hasan AO, Elghawi UM, Ala'a H, Abu-Jrai A, Al-Rawashdeh H, Tsolakis A (2018) Influence of composite after-treatment catalyst on particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons–vapor-phase emitted from modern advanced GDI engines. *Fuel* 222: 424-433

Hsieh MF (2010) Control of diesel engine urea selective catalytic reduction systems. Athens, Columbus, USA, Graduate Program in Mechanical Engineering, The Ohio State University, p. 205 http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=osu1281463739

Jeong SJ, Lee SJ, Kim WS (2008) Numerical study on the optimum injection of urea-water solution for SCR DeNO_x system of a heavy-duty diesel engine to improve DeNO_x performance and reduce NH₃ slip. *Environmental Engineering Science* 25(7): 1017-1036

Joseph J, Pachamuthu S, Solomon J, Sathiyamurthy R (2021) Experimental investigation to enhance the low-temperature nitrogen oxide emission reduction in biodiesel exhaust using selective catalytic reduction with direct ammonia injection and manganese cerium zirconia catalyst. *Environmental Progress & Sustainable Energy* 40(4): 13622

Liao Y, Spiteri A, Nocivelli L, Boulouchos K (2015) Fluid dynamic comparison of AdBlue injectors for SCR applications. *SAE International* 8(5): 2303-2311

Nishad K (2018) Numerical investigation of AdBlue droplet evaporation and thermal decomposition in the context of NO_x-SCR using a multi-component evaporation mode. *Energies* 11(1): 222

Park W, Park S, Reitz RD, Kurtz E (2017) The effect of oxygenated fuel properties on diesel spray combustion and soot formation. *Combustion and Flame* 180: 276-283

Payri R, Gabriela B, Gimeno J, Moreno A (2019) Investigation of the urea-water solution atomization process in engine exhaust-like conditions. *Experimental Thermal and Fluid Science* 108: 75-84

Yuvarajan D, Babu MD, BeemKumar N, Kishore PA (2018) Experimental investigation on the influence of titanium dioxide nanofluid on emission pattern of biodiesel in a diesel engine. *Atmospheric Pollution Research* 9(1): 47-52
 Roppertz A, Fügen S, Kureti S (2017) Investigation of urea-SCR at low temperatures. *Topics in Catalysis* 60(3): 199-203

Safgönül B, Ergeneman M, Arslan E, Soruşbay C (1995) İçten yanmalı motorlar. İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Birsen Yayınevi, s. 128-130

Shah A, Ge YS, Jiang L, Liu ZH (2010) Performance evaluation of a urea-water selective catalytic reduction (SCR) for controlling the exhaust emissions from a diesel engine. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* 33(4): 259-272

Song Q, Zhu G (2002) Model-based closed-loop control of urea SCR exhaust aftertreatment system for diesel engine. *SAE Transactions* 111(4): 102-110

Ström H, Lundström A, Andersson B (2009) Choice of urea-spray models in CFD simulations of urea-SCR systems. *Chemical Engineering Journal* 150(1): 69-82

Van Vuuren N, Brizi G, Buitoni G, Postrioti L et al. (2015) AUS-32 injector spray imaging on hot air flow bench. SAE Technical Paper: 2015-01-1031 <https://doi.org/10.4271/2015-01-1031>

Varna A, Spiteri A, Wright Y, Eggenschwiler P, Boulouchos K (2015) Experimental and numerical assessment of impingement and mixing of urea-water sprays for nitric oxide reduction in diesel exhaust. *Applied Energy* 157: 824-837

Wei H, Yao C, Pan W, Han G, Dou Z, Wu T, Shi J (2017) To meet demand of Euro V emission legislation urea free for HD diesel engine with DMCC. *Fuel* 207: 33-46

Yarusevych S, Van Der Geld C (2019) Splashing characteristics of diesel exhaust fluid (AdBlue) droplets impacting on urea-water solution films. *International Journal of Experimental Heat Transfer, Thermodynamics, and Fluid Mechanics* 102: 152-162



