

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TURBOŞARJLI BİR DİZEL MOTORUNDA N-BÜTANOL-DİZEL YAKITI
KARIŞIMLARININ KULLANILMASININ MOTOR KARAKTERİSTİKLERİ VE
EKSOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gemi İnşaatı Mühendisi Orhan Nazım AKSU

**OCAK 2013
TRABZON**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TURBOŞARJLI BİR DİZEL MOTORUNDA N-BÜTANOL-DİZEL YAKITI
KARIŞIMLARININ KULLANILMASININ MOTOR KARAKTERİSTİKLERİ VE
EKSOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL
İNCELENMESİ**

Gemi İnşaatı Mühendisi Orhan Nazım AKSU

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04.01.2013

Tezin Savunma Tarihi : 24.01.2013

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Zehra ŞAHİN

Trabzon 2013

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Anabilim Dalında
Orhan Nazım AKSU tarafından hazırlanan

**TURBOŞARJLI BİR DİZEL MOTORUNDA N-BÜTANOL-DİZEL YAKITI
KARIŞIMLARININ KULLANILMASININ MOTOR KARAKTERİSTİKLERİ VE
EKSOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL
İNCELENMESİ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 08 / 01 / 2013 gün ve 2013/01 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda

YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Orhan DURGUN

Orhan Durgun
.....

Üye : Doç. Dr. Zehra ŞAHİN

Z. Şahin
.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. İsmail ALTIN

İ. Altın
.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Dünya nüfusunun artışı, yaşam standartlarının yükselişi ve ekonomik gelişmeler enerji tüketimini ve gereksinimini hızla arttırmaktadır. Günümüzün başlıca etkin enerji kaynaklarını kömür ve petrol gibi fosil yakıtlar, doğal gaz, nükleer enerji ve hidroelektrik enerji oluşturmaktadır. Öte yandan çevre kirliliğine neden olan önemli etkenlerden birisi de motorlardan kaynaklanan eksoz emisyonlarıdır. Aşırı kullanım sonucu fosil kaynaklı yakıtların rezervlerinin gittikçe azalması ve yakın gelecekte tükenme tehlikesi, ayrıca artan çevre kirliliği; çevreyi daha az kirleten ve yenilenebilir alternatif yakıtların araştırılmasını gündeme getirmiştir. Sunulan çalışmada, farklı oranlarda n-bütanolün dizel yakıtına karıştırılarak dizel motorlarında kullanılmasının motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca 2000 d/d'da iki farklı yükleme durumu için n-bütanolün emme kanalından geçen havanın içerisine püskürtüldüğü fumigasyon yöntemi de uygulanarak karışım yöntemiyle karşılaştırmalar yapılmıştır.

Sunulan tez çalışmasının hazırlanmasında tecrübe ve bilgi birikimini benimle paylaşan ve bu konuda araştırma yapmam için beni teşvik eden bana her türlü desteği sağlayan tez danışmanım Sayın Doç.Dr. Zehra ŞAHİN'e, ve tez çalışmasındaki yönlendirici katkılarından dolayı Sayın Prof.Dr. Orhan DURGUN'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Tez çalışmasının yapıldığı deney düzeneğinin kurulmasında maddi destek sağlayan KTÜ Bilimsel Araştırmalar Birimine, tez çalışması boyunca desteklerinden dolayı KTÜ Abdullah Kanca Meslek Yüksekokulu Müd. Sayın Prof.Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ'a, ve yüksekokuldaki öğretim görevlisi çalışma arkadaşlarıma, deneylerin yapıldığı K.T.Ü. Müh. Fak. Makina Müh. Bölümü'ne, deneylerinin yapılmasındaki katkılarından dolayı Arş.Gör. Mustafa TUTİ'ye, tez çalışmamda kullanılan motorun deney sistemine montajındaki çabalarından dolayı Yrd.Doç.Dr. Coşkun BAYRAM'a, deney sistemindeki elektronik sistemin çalıştırılmasındaki desteklerinden dolayı, veri derleme kartı için programı da hazırlamış olan Dr. Elektrik-Elektronik Müh. Mehmet TURHAL'a ve Makina Yük. Müh. Mustafa KURT'a, laboratuardaki her türlü yardımlarından dolayı Tek. Şenol DÜBÜŞ'e ve Renault Firması Trabzon Bölge Temsilcilerine çok teşekkür ederim.

Eğitim ve öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Orhan Nazım AKSU
TRABZON 2013

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Turboşarjlı Bir Dizel Motorunda n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Kullanılmasının Motor Karakteristikleri ve Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Zehra ŞAHİN’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, deneyleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Orhan Nazım AKSU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Araştırması	4
1.3. Tez Çalışmasının Konusu ve Amacı	15
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	17
2.1. Deney Sisteminde Kullanılan Donanımlar ve Uygulanan Ölçüm Yöntemleri..	18
2.2. Deney Düzeneginin Çalıştırılması	26
2.2.1. Saf Dizel Yakıtı ve n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımları İçin Yapılan Deneyler.....	27
2.3. Deneysel Ölçümlerin Değerlendirilmesi ve Motor Performans Karakteristiklerinin Hesabı	30
2.3.1. Döndürme Momenti	33
2.3.2. Efektif Güç	33
2.3.3. Özgül Yakıt Tüketimi.....	34
2.3.4. Hava Fazlalık Katsayısı.....	36
2.3.5. Soğutma Suyunun Debitinin Ölçülmesi	37
2.3.6. n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Yoğunluğunun, Alt Isıl Değerinin ve Teorik Hava Miktarının Hesaplanması.....	39
2.3.7. Motor Performans Karakteristikleri ve Eksoz Emisyonları Değerlerinin Değişim Oranlarının Hesaplanması ve Yakıt Maliyeti Analizi	40
2.3.8. Silindir İçindeki Gazların Basınç Değişiminin (İndikatör Diyagramının) Elde Edilmesi.....	41

2.3.9.	Renault K9K 700 Tipi Dizel Motorunun ÜÖN'nin Belirlenmesi.....	44
2.4.	Hata Analizi.....	46
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA	47
3.1.	Renault K9K 700 Tipi Dizel Motorunun Saf Dizel Yakıtı Durumunda Tam Gazdaki Hız Karakteristikleri.....	48
3.2.	n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının K İs Faktörü Üzerindeki Etkileri.....	49
3.3.	2000 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Performans Karakteristikleri ve Yakıt Maliyeti Üzerindeki Etkileri.....	52
3.4.	2000 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkileri	54
3.5.	2000 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Silindir Basıncı ve İndikatör Diyagramı Üzerindeki Etkileri	56
3.6.	2500 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Performans Karakteristikleri ve Yakıt Maliyeti Üzerindeki Etkileri.....	69
3.7.	2500 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkileri	70
3.8.	3000 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Performans Karakteristikleri ve Yakıt Maliyeti Üzerindeki Etkileri.....	78
3.9.	3000 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkileri	79
3.10.	3500 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Performans Karakteristikleri ve Yakıt Maliyeti Üzerindeki Etkileri.....	87
3.11.	3500 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkileri	88
3.12.	4000 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Performans Karakteristikleri ve Yakıt Maliyeti Üzerindeki Etkileri.....	96
3.13.	4000 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkileri	97
3.14.	4000 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Silindir Basıncı ve İndikatör Diyagramı Üzerindeki Etkileri	98
3.15.	n-Bütanol Fumigasyonunun K İs Faktörü Üzerindeki Etkileri	111
3.16.	2000 d/d'da n-Bütanol Fumigasyonunun Motor Performans Karakteristikleri ve Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkileri.....	112
4.	SONUÇLAR	122
5.	ÖNERİLER	127
6.	KAYNAKLAR.....	128

ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

TURBOŞARJLI BİR DİZEL MOTORUNDA N-BÜTANOL-DİZEL YAKITI
KARIŞIMLARININ KULLANILMASININ MOTOR KARAKTERİSTİKLERİ VE
EKSOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Orhan Nazım AKSU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Zehra ŞAHİN
2013, 130 Sayfa

Sunulan çalışmada, Renault K9K 700 tipi turboşarjlı common-rail püskürtme sistemine sahip bir taşıt dizel motorunda n-bütanol-dizel yakıtı karışımlarının (nBDYK) kullanılmasının motor performansı, NO_x ve K is faktörü üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiş ve geleneksel dizel yakıtına göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Deneyle; farklı motor devirlerinde, farklı yüklemelerde ve % (2, 4 ve 6) gibi üç farklı n-bütanol oranında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 2000 d/d'da farklı iki yük değerinde n-bütanolün % (2, 4 ve 6) hacimsel oranlarında emme kanalından emme havasının içerisine püskürtülmesinin (n-bütanol fumigasyonunun) motor karakteristikleri, NO_x ve K is faktörü üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiş ve sonuçlar nBDYK sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Çalışma sonunda; motor performans karakteristiklerinin ve NO_x emisyonunun seçilen tüm devirlerde ve yüklerde % (2 ve 4) nBDYK'ları için azaldığı ancak % 6 nBDYK için arttığı belirlenmiştir. Motor karakteristikleri ve NO_x için % 2 n-bütanol oranı en uygun karışım olarak belirlenmiştir. Bu karışımda örneğin 2500 d/d'da seçilen tüm yüklerde özgül yakıt tüketimi % 0.57, NO_x % 0.31 oranlarında azalmış, efektif verim ise % 1.01 oranında artmıştır. K is faktörü; % (2, 4 ve 6) nBDYK'ları için seçilen tüm devirlerde azalmıştır. En yüksek azalmalar 2500 d/d'da , % 2 nBDYK'nda % 17.38, % 4 nBDYK'nda % 25.16 ve % 6 nBDYK'nda ise % 20.97 şeklinde olmuştur. 2000 d/d'da % (2 ve 4) n-bütanol fumigasyonunda ise; motor karakteristiklerinde önemli bir değişiklik olmadan NO_x emisyonu % 7.13 ve K is faktörü % 11.33 oranlarında azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Turboşarjlı dizel motoru, n-Bütanol-dizel yakıtı karışımları, n-Bütanol fumigasyonu, Motor karakteristikleri, NO_x emisyonu, K is faktörü

Master Thesis

SUMMARY

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF USING N-BUTANOL-DIESEL FUEL BLENDS ON ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS IN A TURBOCHARGED DIESEL ENGINE

Orhan Nazım AKSU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Naval Architecture and Marine Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Zehra ŞAHİN
2013, 130 Pages

In the present study, the effects of n-butanol-diesel fuel blends (nBDFBs) on the engine performance and exhaust emissions have been investigated in a Renault K9K 700 type turbocharged automobile diesel engine which has common-rail injection system. Experiments have been performed for (2, 4 ve 6) % (by vol.) n-butanol ratios at different engine speeds and loads. Also, the effects of injecting of n-butanol at ratios of (2, 4 and 6) % (by vol.) into intake air (n-butanol fumigation) on the engine performance and exhaust emissions have been investigated at 2000 rpm for two different engine loads and the obtained results have been compared to the nBDFBs results.

The test results showed that engine characteristics and nitrogen oxide emission (NO_x) improve for (2 and 4) % nBDFBs at selected engine speeds and loads. However they deteriorate for 6 % nBDFB. 2 % nBDFB was determined as the most suitable blend for engine characteristics and NO_x . For this blend, for instance at 2500 rpm, brake specific fuel consumption and NO_x reduce at the levels of 0.57 % and 0.31 % respectively and also effective efficiency increase at the level of 1.01 % for chosen engine loads. Smoke index K reduce for (2, 4 and 6) % nBDFBs at all of the selected engine speeds. At 2500 rpm, maximum decrement of K smoke index has been obtained at the levels of 17.38 %, 25.16 %, 20.97 % respectively for (2, 4 and 6) % nBDFBs. At 2000 rpm, NO_x emission and smoke index K decrease respectively at the levels of 7.13 % and % 11.33 for (2 and 4) % n-butanol fumigation ratios without occurring any significant variation in engine characteristics.

Key Words: Turbocharged diesel engine, n-Butanol-diesel fuel blends, n-Butanol fumigation, Engine characteristics, NO_x emission, Smoke index K

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Motorlarda ekivalans oranı ve sıcaklığa bağlı olarak is ve NO _x oluşum bölgeleri.....	6
Şekil 2.	Deney düzeneğinin genel görünüşü	17
Şekil 3.	(a) Renault K9K 700 tipi motorunun firma tarafından toplanmış durumu, (b) Deney sisteminin motorsuz boş durumu, (c) Deney sisteminin, Renault K9K tipi motorunun monte edilmiş durumunun önden görünüşü, (d) Deney sisteminin Renault K9K tipi motoru monte edilmiş durumunun yandan görünüşü	19
Şekil 4.	(a) Deney sisteminde kullanılan indikatör sistemi, veri derleme kartı, bilgisayar ve NO _x ölçüm cihazı, (b) Deney sistemindeki ölçme panosunun önden görünüşü	20
Şekil 5.	(a) Deney panosunun arkadan görünümü, (b) Deney panosunun sol yandan görünümü	21
Şekil 6.	Eksoz gazı kalorimetresi	22
Şekil 7.	(a) Termokupul soketleri, (b) Termokupul soketlerin deney panosuna bağlantıları.....	22
Şekil 8.	Basınç sensörü bağlantısı	23
Şekil 9.	MEXA-720 NO _x eksoz gazı analiz cihazı.....	24
Şekil 10.	Azot oksit analiz cihazının çalışma ilkesini gösteren şematik resim.....	24
Şekil 11.	MGA 1500 is ölçüm cihazı	26
Şekil 12.	Deney sisteminin şematik görünüşü.....	28
Şekil 13.	Deney sistemine yerleştirilen sensörlerden alınan sinyallerin elektronik kontrol ünitesi ve veri derleme kartı ile bilgisayara aktarılmasını gösteren şematik resim	42
Şekil 14.	Dört zamanlı turboşarjlı motorların karakteristik indikatör diyagramı	43
Şekil 15.	60-2 Diş tip volanın şematik gösterimi	44
Şekil 16.	Renault K9K 700 tipi motorunun ÜÖN sensörünün ürettiği sinyal.....	45
Şekil 17.	Saf dizel yakıtı için tam gaz durumunda motorun hız karakteristikleri	49
Şekil 18.	(a) Farklı devirlerde K is faktörünün n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) Farklı devirlerde ve farklı karışım oranlarında K is faktörü değişim oranları	51

Şekil 19.	(a) 2000 d/d’da farklı yüklerde efektif gücün n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d’da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif güçteki değişim oranları.....	58
Şekil 20.	(a) 2000 d/d’da farklı yüklerde ÖYT’nin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d’da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında ÖYT’ndeki değişim oranları.....	59
Şekil 21.	(a) 2000 d/d’da farklı yüklerde efektif verimin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d’da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif verimdeki değişim oranları.....	60
Şekil 22.	(a) 2000 d/d’da farklı yüklerde yakıt maliyetinin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d’da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında yakıt maliyetindeki değişim oranları.....	61
Şekil 23.	(a) 2000 d/d’da farklı yüklerde NO _x emisyonunun n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d’da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında NO _x emisyonundaki değişim oranları	62
Şekil 24.	(a) 2000 d/d’da farklı yüklerde eksoz gazı sıcaklığının n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d’da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında eksoz gazı sıcaklığındaki değişim oranları	63
Şekil 25.	(a) 2000 d/d’da farklı yüklerde hava fazlalık katsayısının n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d’da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında hava fazlalık katsayısındaki değişim oranları	64
Şekil 26.	(a) 2000 d/d’da 149 Nm (tam gaz-tam yük) için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının ÜÖN civarında krank mili açısına göre değişimleri, (b) 2000 d/d’da 149 Nm (tam gaz-tam yük) için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının krank mili açısına göre değişimleri.....	65
Şekil 27.	(a) 2000 d/d’da 149 Nm (tam gaz-tam yük) durumunda farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının ÜÖN civarında silindir hacmine göre değişimleri, (b) 2000 d/d’da 149 Nm (tam gaz-tam yük) durumunda farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının silindir hacmine göre değişimleri.....	66
Şekil 28.	(a) 2000 d/d’da 132 Nm için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının ÜÖN civarında krank mili açısına göre değişimleri, (b) 2000 d/d’da 132 Nm için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının krank mili açısına göre değişimleri.....	67
Şekil 29.	(a) 2000 d/d’da 132 Nm için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının ÜÖN civarında silindir hacmine göre değişimleri, (b) 2000 d/d’da 132 Nm için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının silindir hacmine göre değişimleri	68
Şekil 30.	(a) 2500 d/d’da farklı yüklerde efektif gücün n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2500 d/d’da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif güçteki değişim oranları.....	71

Şekil 31.	(a) 2500 d/d'da farklı yüklerde ÖYT'nin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında ÖYT'ndeki değişim oranları.....	72
Şekil 32.	(a) 2500 d/d'da farklı yüklerde efektif verimin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif verimdeki değişim oranları.....	73
Şekil 33.	(a) 2500 d/d'da farklı yüklerde yakıt maliyetinin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında yakıt maliyetindeki değişim oranları.....	74
Şekil 34.	(a) 2500 d/d'da farklı yüklerde NO _x emisyonunun n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında NO _x emisyonundaki değişim oranları.....	75
Şekil 35.	(a) 2500 d/d'da farklı yüklerde eksoz gazı sıcaklığının n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında eksoz gazı sıcaklığındaki değişim oranları	76
Şekil 36.	(a) 2500 d/d'da farklı yüklerde hava fazlalık katsayısının n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında hava fazlalık katsayısındaki değişim oranları	77
Şekil 37.	(a) 3000 d/d'da farklı yüklerde efektif gücün n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif güçteki değişim oranları.....	80
Şekil 38.	(a) 3000 d/d'da farklı yüklerde ÖYT'nin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında ÖYT'ndeki değişim oranları.....	81
Şekil 39.	(a) 3000 d/d'da farklı yüklerde efektif verimin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif verimdeki değişim oranları.....	82
Şekil 40.	(a) 3000 d/d'da farklı yüklerde yakıt maliyetinin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında yakıt maliyetindeki değişim oranları.....	83
Şekil 41.	(a) 3000 d/d'da farklı yüklerde NO _x emisyonunun n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında NO _x emisyonundaki değişim oranları	84
Şekil 42.	(a) 3000 d/d'da farklı yüklerde eksoz gazı sıcaklığının n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında eksoz gazı sıcaklığındaki değişim oranları	85
Şekil 43.	(a) 3000 d/d'da farklı yüklerde hava fazlalık katsayısının n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında hava fazlalık katsayısındaki değişim oranları	86
Şekil 44.	(a) 3500 d/d'da farklı yüklerde efektif gücün n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif güçteki değişim oranları.....	89

Şekil 45.	(a) 3500 d/d'da farklı yüklerde ÖYT'nin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında ÖYT'ndeki değişim oranları.....	90
Şekil 46.	(a) 3500 d/d'da farklı yüklerde efektif verimin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif verimdeki değişim oranları.....	91
Şekil 47.	(a) 3500 d/d'da farklı yüklerde yakıt maliyetinin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında yakıt maliyetindeki değişim oranları.....	92
Şekil 48.	(a) 3500 d/d'da farklı yüklerde NO _x emisyonunun n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında NO _x emisyonundaki değişim oranları	93
Şekil 49.	(a) 3500 d/d'da farklı yüklerde eksoz gazı sıcaklığının n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında eksoz gazı sıcaklığındaki değişim oranları	94
Şekil 50.	(a) 3500 d/d'da farklı yüklerde hava fazlalık katsayısının n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında hava fazlalık katsayısındaki değişim oranları	95
Şekil 51.	(a) 4000 d/d'da farklı yüklerde efektif gücün n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 4000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif güçteki değişim oranları.....	100
Şekil 52.	(a) 4000 d/d'da farklı yüklerde ÖYT'nin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 4000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında ÖYT'ndeki değişim oranları.....	101
Şekil 53.	(a) 4000 d/d'da farklı yüklerde efektif verimin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 4000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif verimdeki değişim oranları.....	102
Şekil 54.	(a) 4000 d/d'da farklı yüklerde yakıt maliyetinin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 4000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında yakıt maliyetindeki değişim oranları.....	103
Şekil 55.	(a) 4000 d/d'da farklı yüklerde NO _x emisyonunun n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 4000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında NO _x emisyonundaki değişim oranları	104
Şekil 56.	(a) 4000 d/d'da farklı yüklerde eksoz gazı sıcaklığının n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 4000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında eksoz gazı sıcaklığındaki değişim oranları	105
Şekil 57.	(a) 4000 d/d'da farklı yüklerde hava fazlalık katsayısının n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 4000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında hava fazlalık katsayısındaki değişim oranları	106

Şekil 58.	(a) 4000 d/d'da 113 Nm (tam gaz-tam yük) için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının ÜÖN civarında krank mili açısına göre değişimleri, (b) 4000 d/d'da 113 Nm (tam gaz-tam yük) için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının krank mili açısına göre değişimleri.....	107
Şekil 59.	(a) 4000 d/d'da 113 Nm (tam gaz-tam yük) için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının ÜÖN civarında silindir hacmine göre değişimleri, (b) 4000 d/d'da 113 Nm (tam gaz-tam yük) için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının silindir hacmine göre değişimleri.....	108
Şekil 60.	(a) 4000 d/d'da 99 Nm için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının ÜÖN civarında krank mili açısına göre değişimleri, (b) 4000 d/d'da 99 Nm için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının krank mili açısına göre değişimleri.....	109
Şekil 61.	(a) 4000 d/d'da 99 Nm için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının ÜÖN civarında silindir hacmine göre değişimleri, (b) 4000 d/d'da 99 Nm için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının silindir hacmine göre değişimleri	110
Şekil 62.	(a) Farklı devirlerde K is faktörünün n-bütanol fumigasyon oranına göre değişimleri, (b) Farklı devirlerde ve farklı fumigasyon oranlarında K is faktörü değişim oranları.....	113
Şekil 63.	(a) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde efektif gücün n-bütanol fumigasyon oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde ve farklı fumigasyon oranlarında efektif güçteki değişim oranları	115
Şekil 64.	(a) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde ÖYT'nin n-bütanol fumigasyon oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde ve farklı fumigasyon oranlarında ÖYT'ndeki değişim oranları.....	116
Şekil 65.	(a) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde efektif verimin n-bütanol fumigasyon oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde ve farklı fumigasyon oranlarında efektif verimdeki değişim oranları.....	117
Şekil 66.	(a) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde yakıt maliyetinin n-bütanol fumigasyon oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde ve farklı fumigasyon oranlarında yakıt maliyetindeki değişim oranları	118
Şekil 67.	(a) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde NO _x emisyonunun n-bütanol fumigasyon oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde ve farklı fumigasyon oranlarında NO _x emisyonundaki değişim oranları.....	119

- Şekil 68. (a) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde eksoz gazı sıcaklığının n-bütanol fumigasyon oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde ve farklı fumigasyon oranlarında eksoz gazı sıcaklığındaki değişim oranları 120
- Şekil 69. (a) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde hava fazlalık katsayısının n-bütanol fumigasyon oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde ve farklı fumigasyon oranlarında hava fazlalık katsayısındaki değişim oranları 121

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Deney motorunun başlıca teknik özellikleri.....	18
Tablo 2. Basınç sensörünün başlıca özellikleri.....	23
Tablo 3. MEXA-720 NO _x eksoz gazı analiz cihazının ölçüm aralıkları.....	25
Tablo 4. Deneyde ölçülen büyüklüklere ait bir örnek.....	31
Tablo 5. Programdan hesaplanan motor performans karakteristiklerine bir örnek	32
Tablo 6. Dizel yakıtı, etanol ve n-bütanolün başlıca özellikleri	35
Tablo 7. Şekillerdeki ve deneysel karışım oran değerleri.....	48
Tablo 8. Farklı devirlerde, tam gaz ve tam yük durumunda farklı karbüratör açıklıkları için belirlenen n-bütanol fumigasyon oranları	111
Tablo 9. 2000 d/d ve 146 Nm ve 132 Nm döndürme momenti durumlarında farklı karbüratör açıklıkları için belirlenen n-bütanol fumigasyon oranları.....	112

SEMBOLLER DİZİNİ

b_e	: Özgül yakıt tüketimi [kg/kWh]
B	: Toplam yakıt tüketimi [kg/h]
C	: Orifis katsayısı
DP	: Direkt püskürtme
E	: Hız faktörü
ECU	: Elektronik kontrol ünitesi
F	: Kuvvet [N]
h_{min}	: 1 kg yakıtı yakmak için gerekli kütleli teorik hava miktarı [kg hava/kg yakıt]
H_u	: Yakıtın alt ısıl değeri [kJ/kg]
KMA	: Krank mili açısı [derece]
L	: Moment kolu uzunluğu [m]
\dot{m}_h	: Havanın kütleli debisi [kg/d]
M_d	: Döndürme moment [Nm]
n	: Devir sayısı [d/d]
$nBDYK$: n-Bütanol-dizel yakıtı karışımı
nBF	: n-Bütanol fumigasyonu
N_e	: Efektif güç [kW]
N_i	: İndike güç [kW]
N_m	: Mekanik kayıplar gücü [kW]
NO_x	: Azot oksit [ppm]
$\dot{O}YT$: Özgül yakıt tüketimi [kg/kWh]
p	: Basınç [bar]
p_{me}	: Ortalama efektif basınç [MPa]
p_0	: Ortam basıncı [mmHg]
PM	: Parçacık madde
\dot{Q}_h	: Havanın hacimsel debisi [L/d]
\dot{Q}_s	: Suyun hacimsel debisi [L/d]
R_d	: Reynolds sayısı
SDY	: Saf dizel yakıtı

T_0	: Ortam sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
T_1	: Yakıt sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
T_2	: Eksoz manifoldu sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
T_3	: Soğutma suyu giriş sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
T_4	: Soğutma suyu çıkış sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
T_5	: Eksoz gazlarının kalorimetreye giriş sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
T_6	: Soğutma suyunun kalorimetreye giriş sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
T_7	: Eksoz gazlarının kalorimetreden çıkış sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
T_8	: Soğutma suyunun kalorimetreden çıkış sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
$T_{\text{yaş}}$: Yaş termometre sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
ÜÖN	: Üst ölü nokta
x_{nem}	: Nem düzeltme katsayısı
V	: Hacim [cm^3]
V_c	: Ölü hacim [cm^3]
V_h	: Strok hacmi [cm^3]
Z_D	: Boru boyu düzeltme katsayısı
Z_R	: Reynolds sayısı düzeltme katsayısı
η_e	: Efektif verim
η_m	: Mekanik verim
θ	: Krank mili açısı [derece]
α	: Hava fazlalık katsayısı
ϕ	: Ekivalans oranı
μ, μ_s	: Havanın ve suyun mutlak viskoziteleri [g/cms]
ρ_{civa}	: Civanın yoğunluğu [kg/m^3]
ρ_d	: Dizel yakıtının yoğunluğu [kg/m^3]
ρ_b	: n-Bütanolün yoğunluğu [kg/m^3]
ρ_h	: Havanın yoğunluğu [kg/m^3]
ω	: Açısal hız [rad/s]
Δh	: Emme kanalı girişi ile orifis girişi arasındaki basınç farkı [mmSS]
Δh^*	: Soğutma suyu için U manometresindeki yükseklik değişimi [mmHg]
ΔV	: Δt zamanında harcanan dizel yakıtının veya n-bütanol-dizel yakıtı karışımının hacmi [mL]
Δt	: ΔV hacmindeki yakıtın harcanma süresi [s]

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Hızla artan sanayileşme ve motorlu araç kullanımı ile birlikte, petrol kökenli yakıtların kullanımı da artmaktadır. Günümüzde dünyada kullanılan enerjinin % 80'i fosil yakıtlardan sağlanmakta ve bunun da % 58'i taşımacılıkta kullanılmaktadır. Artan fosil yakıt kullanımına bağlı olarak petrol rezervleri hızla azalmakta, sera gazı emisyonları artmakta ve bunun sonucunda küresel ısınma, iklim değişiklikleri, buzulların erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi ve biyoçeşitliliğin azalması gibi pek çok olumsuz sonuç ortaya çıkmaktadır. Artan petrol talebi ile birlikte petrol fiyatları da giderek artmakta ve bu da küresel ekonomiyi doğrudan etkilemektedir. Bunların yanında dünyada petrol rezervlerinin yoğun olarak bulunduğu bölgelerde süregelen savaş ve kargaşa ortamı da fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak için alternatif, yenilenebilir ve atmosfere daha az zarar veren yeni enerji kaynakları arayışını doğurmuştur [1]. Bu anlamda son yıllarda alkollerin benzin veya dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanımı büyük önem kazanmıştır.

İçten yanmalı motorların bir çeşiti olan dizel motorları termik verimleri yaklaşık % 40 düzeylerine kadar ulaşabilen en verimli termik makinelerdir. Dizel motorlarının verimlerini daha da iyileştirmek ve aynı zamanda çevre kirliliğini de azaltmak için değişik çalışmalar yapılmaktadır. Yanma işleminin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar bunların en önemli bölümünü oluşturmaktadır. Yanma işleminin iyileştirilmesi ile motorun veriminin artırılması yanında çevre kirliliği de azaltılmış olmaktadır. Son yıllarda dizel motorlarında yanma işlemini iyileştirmek amacı ile hem yapısal, hem de yakıtlarla ilgili çalışmalar sürdürülmektedir. Yapısal çalışmalar arasında; yanma odasının şeklinin geliştirilmesi, supap sayısının ve supap kesit alanlarının artırılması, püskürtme sistemindeki düzenlemeler, turboşarj donanımlarının kullanımı vb. yer almaktadır. Yakıtlara ilişkin çalışmalara ise; mevcut yakıtların daha ekonomik kullanımı çalışmaları ve değişik alternatif yakıt çalışmaları örnekler olarak verilebilir [2].

İçten yanmalı motorlarda kullanılabilecek alternatif yakıtlarının değerlendirilmesinde; çevre kirliliğini ve yakıt tüketimini azaltma potansiyelleri ve azalan petrol kökenli yakıtlara bağımlılığı azaltacak geniş kaynaklara sahip olmaları en önemli faktörlerdendir. Ayrıca kullanılabilecek alternatif yakıtların modern konvansiyonel yakıtlar

gibi iyi sürüş özelliğine sahip olmaları, çok soğuk, çok sıcak ve yüksek nem gibi ekstrem iklim koşullarında kullanılabilir olmaları gerekir. Bunların yanı sıra söz konusu yakıtların mevcut motor donanımlarına ve yakıt sistemlerine uygun olmaları da önemlidir [3].

Alkoller, içten yanmalı motorlarda kullanılacak alternatif yakıtlar arasında yer almaktadır. Bilindiği gibi alkoller geleneksel fosil kökenli yakıtlara göre daha fazla oksijen, daha düşük karbon ve sülfür içermektedirler. Bu nedenlerle içten yanmalı motorlarda kullanıldıklarında daha az çevre kirliliğine neden olmaktadır. Alkoller geleneksel fosil yakıtlarından daha yüksek oktan sayısına sahiptirler ve benzin için oktan iyileştirici olarak kullanılabilirler. Ayrıca alkoller yüksek buharlaşma ısısına sahip olduklarından silindire emilen taze dolguyu soğutucu etkiye de sahiptirler. Bu etki motorların hacimsel veriminin artmasını sağlamaktadır. Ancak alkollerin fosil kökenli yakıtlara göre ısı değerlerinin düşük olması özgül yakıt tüketiminin artmasına yol açmaktadır [4, 5].

Alkoller 19. yüzyıldan bu yana motorlarda tek başlarına ya da fosil kökenli yakıtlara farklı oranlarda karıştırılarak kullanılmaktadırlar. Geçmişte fosil kökenli yakıtların alkollere göre daha ucuz olması alkollerin kullanım alanını kısıtlamıştır. Günümüzde ise petrol fiyatlarındaki anormal artışlar ve temininde yaşanan sorunlar alkollere olan ilgiyi arttırmaktadır. Böylece bilim insanları ve üretici firmalar alkoller üzerine olan çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır. Örneğin başta A.B.D., Brezilya, Kanada olmak üzere birçok ülkede alkollerin motor yakıtı olarak kullanımının yaygınlaşması amacıyla yasal düzenlemeler yapılmış ve kullanımı devletler tarafından kanunlarla teşvik edilmiştir. BP ve DuPont gelecekteki enerji gereksinimini karşılamakta kullanılacak yenilenebilir yakıt araştırmaları için ortaklık kurmuşlardır. Birçok araştırmacı çalışmalarında fosil kökenli yakıtlara alternatif olabilecek, yenilenebilir, ucuz, çevreci yakıtlar üzerine yoğunlaşmışlardır. Bu araştırmalar sonunda, marketlerde yer alacak ilk ürünlerden birinin bütanol olacağını savunulmaktadır [5, 6].

Etanol ve bütanol gibi alkoller biyokökenli kaynaklardan elde edildiğinden yenilenebilir yakıtlardır. Bunlardan etanolün içten yanmalı motorlarda kullanımı öteden beri ilgi çekmiştir ve buji ateşlemeli ve dizel motorlarında kullanımı ile ilgili çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Bilindiği gibi etanol, çevre kirliliği açısından temiz bir yakıttır ve oktan sayısı yüksek olduğundan, buji ateşlemeli motorlarda, benzine karıştırılarak veya saf olarak kullanılmaya uygundur. Etanolün benzine karıştırılarak

kullanıldığı çalışmalarda motorun gücünün arttığı ve eksoz emisyonlarının azaldığı belirtilmektedir [7, 8].

Etanolün oktan sayısı yüksek olmasına karşın setan sayısı düşük olduğundan saf olarak dizel motorlarında kullanılması zordur. Bu nedenle etanolün veya diğer alkollerin dizel motorlarında kullanılmasında karışım yöntemi uygulanmaktadır. Karışım yönteminde; etanol veya diğer alkoller belirli oranlarda dizel yakıtına doğrudan karıştırılarak kullanılmaktadır [2]. İlgili yöntemde motorda pek fazla değişiklik yapılmamaktadır. Bu nedenle karışım yönteminin uygulanması pratik ve basittir. Alkollerin dışında başka alternatif olabilecek sıvı yakıtlar da karışım yöntemi ile dizel motorlarında kullanılabilir [2]. Ancak etanolün karışım yöntemi ile dizel motorlarında kullanılmasında bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır [9, 10]. Etanolün kendi kendine tutuşma eğilimi düşük olduğundan tutuşma gecikmesinin artmasına yol açmaktadır. Bu durumda tutuşma gecikmesi sonunda biriken yakıt miktarının artması ve hızlı bir şekilde yanması dizel vuruntusuna yol açabilir. Bu nedenle etanolün dizel yakıtına karıştırılarak kullanılabilmesi için karışıma bazı setan iyileştiriciler eklenmelidir. Ayrıca etanol, dizel yakıtı ile homojen karışmaz ve yağlayıcılık özelliği de düşüktür. Bu olumsuzlukları gidermek üzere etanolün dizel motorlarında kullanımı ile ilgili değişik teknikler geliştirilmiştir [9-11]. Bunlar arasında en yaygın olarak uygulananı etanol fumigasyonudur. Bu yöntemde, etanol emme kanalından geçmekte olan havanın içerisine püskürtülmektedir. Söz konusu etanol-hava karışımının içerisine ise sıkıştırma işlemi sonunda dizel yakıtı püskürtülmektedir. Bu yöntemde, tutuşma gecikmesi süresince biriken dizel yakıtının kendi kendine tutuşmasının hemen ardından çevredeki etanol-hava karışımının birden bire yandığı ve söz konusu etanol-hava karışımının anlık olarak yanmasının akım karışıklıkları doğurduğu düşünülmektedir. Böylece daha sonra püskürtülen dizel yakıtı ile hava daha hızlı ve homojen bir şekilde karışacağından yanmanın iyileştiği tahmin edilmektedir [11, 12]. Etanol ve ayrıca metanol gibi alkoller dizel motorlarında fumigasyon yöntemi ile kullanıldıklarında motor gücünün arttığı, ÖYT'nin ve eksoz emisyonlarının azaldığı bilinmektedir [9, 11-15].

Bütanol ise; içten yanmalı motorlar için alternatif yakıt olarak etanolden daha farklı üstünlükleri olan diğer alkollerden biridir. Bütanolün yakıt özelliklerinin birçoğu fosil kökenli yakıtlara çok yakındır. Bütanol; etanolden daha düşük tutuşma sıcaklığına sahiptir. Bu yüzden bütanol, dizel motorlarında dizel yakıtına karıştırılarak kullanıldığında daha kolay tutuşabilir. Bunun yanı sıra etanolden birim kütle başına daha fazla enerji elde

edilebilmektedir, yani ısı değeri daha yüksektir. Bütanol aynı zamanda daha yüksek setan sayısı sayesinde dizel yakıtlar için etanolden daha uygun katkı maddesidir. Bütanol daha az koroziftir ve uçuculuğu etanolden düşüktür. Ayrıca bütanol faz ayrışması olmaksızın dizel yakıtı ile karışabilmektedir. Bütanolün bu fiziksel ve kimyasal özellikleri düşük karbonlu etanolün getirmiş olduğu kısıtlamaların üstesinden gelebilecek potansiyele sahip olduğunu göstermektedir [4].

Bütanol biyokütle kökenli yenilenebilir bir alkol türüdür ve biyokütlenin fermentasyonu ile üretilir. Biyokütle yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yolu ile kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu oluşan biyolojik kökenli madde kütlesidir. Ana bileşenleri, karbonhidrat bileşikler olan bitkisel veya hayvansal kökenli tüm doğal maddeler biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan elde edilen enerji ise, biyokütle enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Enerji üretiminde kullanılan biyokütle; şeker kamışı, mısır, arpa, patates, şeker pancarı gibi çeşitli bitkisel kaynaklardan, hayvansal atıklardan, şehir ve endüstri atıklarından elde edilebilmektedir [4, 5].

Bütanolün kimyasal bağ formülü C_4H_9OH olup 4 karbon ve 10 hidrojen atomundan oluşmaktadır. Bununla birlikte 4 izomere sahip olup, bunların isimleri; n-bütanol $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$ (normal bütanol), 2-bütanol $CH_3CH_2CHOHCH_3$ (ikincil bütanol), i-bütanol $(CH_3)_2CH_2CHOH$ (izobütanol), ve t-bütanol $(CH_3)_3COH$ (ter-bütanol) dır. Bu 4 izomer aynı formüle ve aynı ısı değere sahiptir fakat farklı moleküler yapıda olmaları özellikle yanma özelliklerini etkilemektedir. Benzer mol kütleye ve kapalı formüle sahip olmalarına karşın çözünürlükleri de farklıdır [4]. Sunulan tez çalışmasında bütanolün izomeri olan n-bütanol kullanılmıştır.

1.2. Literatür Araştırması

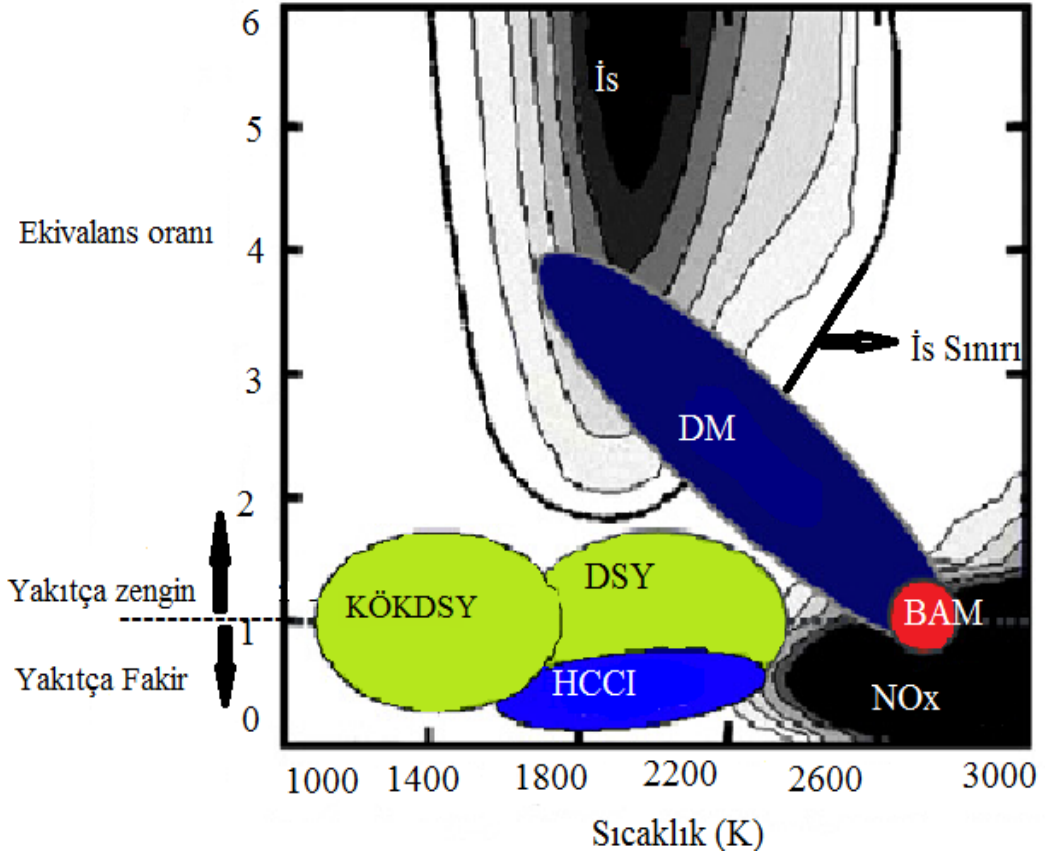
Çağımızda diğer tüm alanlarda olduğu gibi, ulaşım sektöründe de enerji kaynaklarını ve çevreyi korumak çok önemlidir. Bu nedenle; hem otomotiv firmaları, hem de bilim insanları belirtilen amaçları sağlamak üzere yeni motor teknolojileri üzerinde çok yoğun olarak çalışmalarına devam etmektedir. İlgili çalışmalarda temel amaç, daha verimli yani daha az yakıt tüketen ve aynı zamanda çevreyi daha az kirleten teknolojilerin geliştirilmesidir. Dizel motorlarının yakıt tüketimi buji ateşlemeli motorlara göre daha düşük olmasına karşın, eksozlarında daha fazla NO_x ve is bulundururlar. Çok iyi bilindiği gibi söz konusu gazların hem çevreye, hem de insan sağlığına çok zararlı etkileri vardır.

Aşağıda öncelikle buji ateşlemeli motorlarda ve dizel motorlarında is ve NO_x emisyonları oluşumu ile ilgili açıklamalar verilecektir [16].

Şekil 1’de içten yanmalı motorlarda ekivalans oranı ve sıcaklığa bağlı olarak is ve NO_x emisyonları oluşum bölgeleri gösterilmiştir. Burada buji ateşlemeli motorların (BAM) yanma sonu sıcaklıkları yüksek olduğundan NO_x emisyonu açısından tehlikeli motorlar olduğu anlaşılır. Dizel motorlarında (DM) da yüksek yanma sıcaklıklarında, ekivalans oranı 1’e yakındır. Bu değerler aldığıında söz konusu motorlarda hem is, hem de NO_x emisyonları artmaktadır. Ancak Şekil 1’den görülebileceği gibi homojen dolgulu dizel motorları (HCCI) fakir karışimli motorlar olduğundan yanma sıcaklıkları düşüktür. Bunun sonucu olarak söz konusu motorlar, is ve NO_x emisyonları açısından tehlikesizdirler. Yani bu motorlar NO_x ve is emisyonları oluşumu bölgesinin dışında çalışmaktadırlar. Şekil 1’de ekivalans oranı 1 civarında olan bölge düşük sıcaklıklı yanma (DSY) bölgesidir ve bu bölgeden daha sola gidildiğinde ise kısmi ön karışmış düşük sıcaklıklı yanma (KÖKDSY) bölgesi gelmektedir. HCCI bölgesi ise ekivalans oranının 1’in altında olduğu bölgedir. Şekil 1’den NO_x emisyon değerlerinin oluşmasında yüksek sıcaklıkların ve isin oluşmasında ise yakıtça zengin karışım durumlarının etkin olduğu anlaşılabilir. Yakıtça zengin bölgeden uzaklaştıkça yani Şekil 1’de sola doğru gidildikçe ve ekivalans oranı 1’in altına inildikçe hem is, hem de NO_x emisyonları oluşum bölgelerinden uzaklaşılabilir. Söz konusu bölgelerden uzaklaşmak için eksoz gazı resirkülasyonu, yakıt hava karışımının hızlı ve homojen şekilde karıştırılması, yakıt ile havayı önceden kısmi olarak karıştırma, yakıt özelliklerini iyileştirme, motorlarında su kullanımı ve alkol fumigasyonu vb. gibi düzenlemeler yapılabilir. Ayrıca setan sayısı düşük, kolay buharlaşabilen ve kendi kendine tutuşma sıcaklığı dizel yakıtına göre daha yüksek olan hafif yakıtların dizel yakıtına karıştırılması ile yanmanın KÖKDSY bölgesinde oluşması sağlanabilir. Böylece dizel motorları is ve NO_x emisyonları açısından tehlikesiz bölgede çalıştırılmış olur [12, 17].

n-Bütanolün, etanole göre; setan sayısı ve alt ısıl değeri daha yüksek, tutuşma sıcaklığı ise daha düşüktür. Ayrıca n-bütanol, etanole göre dizel yakıtı ile daha kolay karışabilen ve yağlayıcılık özelliği iyi olan alternatif bir yakıttır. n-Bütanolün dizel yakıtına karıştırılarak kullanılması durumunda dizel motorları KÖKDSY bölgesinde çalışabileceğinden is ve NO_x emisyonlarının azalacağı tahmin edilebilir. Yenilenebilir yakıtlar arasında başı çeken etanolün dizel motorlarında kullanımına ilişkin çok sayıda çalışma olmasına karşın [7-13, 16], n-bütanolün dizel motorlarında kullanımı ile ilgili çalışmalar daha sınırlıdır. n-Bütanol ile ilgili çalışmalar ancak 2010 yılından sonra

yaygınlaşmaya başlamıştır [10, 18-21]. Literatürde yapılan çalışmalarda n-bütanol genellikle dizel yakıtına karıştırılarak kullanılmıştır. Aşağıdaki bölümde, literatürde n-bütanolün dizel motorlarında kullanılması durumunda motor performans parametrelerinde ve eksoz emisyonlarında ne gibi değişiklikler meydana getirdiği ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Söz konusu çalışmalar özetlenirken n-bütanolün motor performans parametreleri ve eksoz emisyonları üzerindeki olası etkileri de irdelenmiştir.



Şekil 1. Motorlarda ekivalans oranı ve sıcaklığa bağlı olarak is ve NO_x oluşum bölgeleri. Burada DM dizel motoru, BAM buji ateşlemeli motoru, HCCI homojen dolgu dizel motoru, DSY düşük sıcaklıkta yanma ve KÖKDSY kısmi ön karışmış düşük sıcaklıkta yanmayı simgelemektedir [17].

Chen ve arkadaşları [7]; n-bütanol-dizel yakıtı karışımlarının motor performans karakteristikleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini turbosarjlı, common-rail püskürtme sistemine sahip bir dizel motorunda deneysel olarak incelemiştir. Söz konusu deneysel çalışma 1600 d/d ve 2600 d/d gibi iki farklı devir sayısında gerçekleştirilmiştir. İlgili devir sayılarında 0.154 MPa ve 0.766 MPa gibi iki farklı

ortalama efektif basınç durumunu sağlayan yüklemeler seçilmiştir. Deneylerde yakıt tüketimini ve CO, CO₂, HC ve NO_x gibi eksoz emisyonlarını ölçmüşlerdir. 20 °C’de 860 kg/m³ yoğunlukta ticari dizel yakıtına % 10 ve % 30 gibi iki ayrı hacimsel oranda n-bütanol karıştırmışlardır. Deneylerde 20 °C’de 810 kg/m³ yoğunlukta % 99 saflıkta n-bütanol kullanmışlardır. Soğutma suyu sıcaklığının 80 °C’ye kadar gelmesi beklenmiştir ve motorun tamamen ısındığından emin olunduktan sonra deneylere başlanmıştır [7]. Bu deneysel çalışma sonunda bulunan sonuçlar aşağıda ayrıntılı şekilde verilmiştir. Çünkü bu çalışmada n-bütanol-dizel yakıtı karışımlarının etkisinin güncel common-rail püskürtme sistemine sahip bir dizel motorunda yapılmış olması önemlidir. Ayrıca söz konusu çalışmada, dizel motoru için önemli olan tüm eksoz emisyonları da ölçülmüştür [7].

Yapılan deneysel çalışma sonunda; n-bütanol-dizel yakıt karışımları durumunda, eksoz gazı sıcaklığının 2600 d/d ve 0.154 MPa ortalama efektif basınç durumu dışında genellikle azaldığı görülmüştür. Eksoz gazı sıcaklığının azalma nedeni ilgili çalışmada şu şekilde açıklanmıştır: n-Bütanol’un alt ısıl değeri dizel yakıtının alt ısıl değerinden daha düşüktür. Bu nedenle n-bütanol-dizel yakıtı karışımı durumlarında ısı salınımının azaldığı düşünülmektedir. Bunun yanı sıra n-bütanol daha yüksek buharlaşma ısısına sahip olduğundan karışımdaki n-bütanolün buharlaşabilmesi için daha fazla miktarda ısıya gereksinim duyulmaktadır. Bu iki faktör eksoz gaz sıcaklığının azalmasını sağlamıştır [7].

Motor performans parametreleri açısından deneysel sonuçlar incelendiğinde; ÖYT, n-bütanolün dizel yakıtına eklenmesiyle arttığı görülmüştür. Düşük yüklerde ÖYT’ndeki artış daha etkin olmuştur. Bu durumun nedeni ise yayında şu şekilde belirtilmiştir: n-Bütanolün dizel yakıtına göre daha düşük alt ısıl değerine sahip olması nedeniyle aynı efektif gücü elde etmek için daha fazla yakıt gereksinim duyulmaktadır [7].

Eksoz emisyonları açısından deneysel sonuçlar incelendiğinde; dizel motorlarda yanmanın oksijence zengin olması (yani hava fazlalık katsayısının 1’den büyük olması) ve yüksek basınçlı common-rail yakıt püskürtme sisteminin yakıt-hava karışımını daha iyi karıştırması nedenleriyle CO emisyonu bütün çalışma koşullarında düşük çıkmıştır. Fakat seçilen n-bütanol oranlarında ve devir sayılarında, düşük yük durumunda CO emisyonunda çok az artış olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte her iki devir sayısında yüksek yükte ise CO değerlerinin saf dizel yakıtı değerlerine çok yakın değerler aldığı görülmüştür. Seçilen devir sayılarında, yük durumlarında ve n-bütanol oranlarında CO₂ emisyonu değerlerinin de saf dizel yakıtı değerlerine çok yakın değerler aldığı belirtilmektedir. Fakat ilgili deneysel çalışmada n-bütanol-dizel yakıtı karışımları için HC emisyonları önemli düzeyde

artmıştır. Bunun nedeni yayında şu şekilde açıklanmıştır: HC emisyonları hidrokarbon yakıtların tam olarak yanamaması sonucunda oluşur. Dizel motorlarında HC emisyonlarının oluşmasının iki önemli nedeni vardır: 1) Fakir yanma sınırından çok daha fakir olan yakıt-hava karışımı durumu; 2) Kendi kendine tutuşabilecek zengin karışımdan çok daha zengin karışım durumu. Dizel yakıtına n-bütanol katılması, karışımın viskozitesini azaltır bu da yakıt demetinin şeklini ve parçalanmasını etkiler. Düşük viskozite genel anlamda daha küçük yakıt damlacıklarının oluşmasına yol açar. Daha da önemlisi dizel yakıtından daha yüksek uçuculuğa sahip olan n-bütanol dizel yakıtı ile püskürtüldüğünde yakıt demetinde mikro düzeyde patlamalara neden olur. Böylece hem viskozitedeki azalma ve hem de mikro patlamaların oluşması nedeniyle n-bütanol-dizel yakıtı karışımları için, yakıt-hava karışımı daha homojen olacağından yanma iyileşir. Fakat ilgili çalışmada; karışımdaki n-bütanol oranı arttığında (özellikle % 30 bütanol oranında) karışım fakirleştiğinden HC emisyonlarının arttığı söylenmektedir. Yine bu deneysel çalışmada n-bütanol oranının artmasıyla birlikte NO_x emisyonunun çok az azaldığı belirlenmiştir. Bunun nedeni ise ilgili yayında şu şekilde açıklanmıştır: n-Bütanol-dizel yakıtı karışımlarında yanma sıcaklıklarının düşmesi NO_x emisyonunu azaltıcı yönde etki etmiştir. Fakat n-bütanol-dizel yakıtı karışımlarında hava fazlalık katsayısı arttığından düşük sıcaklığın olumlu etkisi biraz azalmıştır. Ayrıca parçacık madde (PM) sayısı da n-bütanol karışımı ile önemli ölçüde azalmıştır. Bunun ise; n-bütanolün dizel yakıtına karıştırılması ile yakıt-hava karışımının daha hızlı ve homojen oluşmasından ve dolayısı ile yanmanın iyileşmesinden kaynaklandığı ilgili yayında belirtilmiştir. Özet olarak söz konusu çalışma sonunda n-bütanol-dizel yakıtı karışımları ile yakıt tüketiminde ve CO, CO₂ emisyonlarında çok fazla kötüleşme olmadan NO_x ve PM'lerin azaldığı fakat HC'lerin ise önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir [7].

Rakopoulos ve arkadaşları [10]; n-bütanolün geleneksel dizel yakıtına hacimsel olarak % 8, % 16, % 24 oranlarda karıştırılması durumlarında ÖYT'ni ve eksoz emisyonlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Söz konusu deneysel çalışmada; 4 zamanlı, yüksek hızlı direk püskürtmeli Ricardo/Cussons 'Hydra' dizel motorunu kullanmışlardır. Deneyler 2000 d/d ve 1.40 bar, 2.57 bar ve 5.37 bar gibi üç farklı yükleme durumunda gerçekleştirilmiştir [10].

Deneysel çalışma sonunda n-bütanolün dizel yakıtına karıştırılması durumunda is emisyonunun önemli ölçüde azaldığı görülmüştür ve isteki azalma karışımdaki n-bütanolün oranı arttıkça daha da yüksek olmuştur. Bunun nedeni yayında, n-bütanolün

dizel yakıtına karıştırılması ile karışımın fakirleşmesi ve motorun daha fakir karışımla çalışmasından kaynaklandığı şeklinde belirtilmiştir. Ayrıca bu yayında Rakopoulos ve arkadaşları, Chen ve arkadaşlarının etanol-dizel yakıtı karışımlarında yanmanın fotoğraflarını çektiklerini ve ilgili fotoğraflardan etanol karışımları durumunda daha düşük parlaklıkta alevlerin oluştuğunu belirtmektedirler. Yazarlar benzer etkinin n-bütanol karışımlarında da olacağını düşündüklerini ve söz konusu durumun is oluşumunun azalması anlamına geldiğini belirtmişlerdir [10].

Söz konusu deneysel çalışmada; n-bütanol-dizel yakıtı karışımları için NO_x emisyon değerlerinin çok az azaldığı belirlenmiştir. Karışımdaki n-bütanol oranı arttıkça NO_x emisyonunun azalma oranı da artmıştır. NO_x emisyon değerlerinin azalma nedeni bu yayında şu şekilde açıklanmıştır: n-Bütanolün dizel yakıtına karıştırılması ile yanma sonucu sıcaklıklarının azalması ve yanmanın daha fakir karışımda oluşması NO_x emisyonunun azalmasına yol açmıştır [10].

n-Bütanol-dizel yakıtı karışımları durumunda HC emisyonları artmıştır ve bu artış karışımdaki n-bütanolün oranı arttıkça daha da yüksek olmuştur. Bunun nedeninin ise yayında, n-bütanol karışımı ile yanmanın çok fakirleşmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. n-Bütanol-dizel yakıtı karışımları için ÖYT'nin çok az azaldığı ve efektif verimin çok az arttığı deneysel olarak belirlenmiştir [10].

Doğan [4]; % 5, % 10, % 15 ve % 20 hacimsel oranlarında n-bütanol-dizel yakıt karışımlarının motor performans parametreleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Bu deneysel çalışma; 2600 d/d devir sayısında ve 13.1 Nm, 9.8 Nm, 6.6 Nm ve 3.3 Nm gibi dört farklı yükleme durumunda gerçekleştirilmiştir ve deneylerde tek silindirli, 4 zamanlı, doğal emişli ve yüksek hızlı DP bir dizel motoru kullanılmıştır [4].

n-Bütanol-dizel yakıtı karışımları için ÖYT ve efektif verim artmıştır. n-Bütanol-dizel yakıtı karışımları için yakıt tüketiminin artmasına karşın efektif verim de artmıştır. Bunun nedeni yayında şu şekilde açıklanmıştır: n-Bütanolün kimyasal yapısında oksijen olmasının yanmaya katkıda bulunduğu ve bu nedenle efektif verimin arttığı düşünülmüştür. Ayrıca n-bütanolün dizel yakıtına karıştırılması durumunda tutuşma gecikmesinin arttığı ve tutuşma gecikmesi sonunda daha fazla miktarda yakıtın ÜÖN'ya daha yakın konumda yandığı açıklanmıştır. Bu durumun da efektif verime katkı sağladığı düşünülmüştür. Efektif verimin artmasında yakıtların alev/yanma hızı önemli etkiye sahiptir. Daha yüksek alev hızı genellikle yüksek verim sağlar. n-Bütanol dört karbonlu

uzun zincirli bir alkoldür ve bundan dolayı daha yüksek yanma hızına sahiptir. n-Bütanolün laminer alev hızı hem etanol hem de benzinden daha yüksektir. Sonuç olarak yazar bu faktörlerin hepsinin efektif verim üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu belirtmiştir [4].

Eksoz gaz sıcaklığında ise n-bütanol-dizel yakıt karışımları durumunda çok az azalma görülmüştür. Bunun nedenleri ise; n-bütanolün alt ısı değerinin daha düşük olması, kimyasal yapısında oksijenin bulunması ve buharlaşma gizli ısının yüksek olması şeklinde açıklanmıştır. n-Bütanol-dizel yakıtı karışımları için NO_x emisyonunda azalma görülmüştür. n-Bütanol-dizel yakıtı karışımlarında yanma sonu sıcaklıklarının azaldığı ve bu nedenle NO_x emisyonunun azaldığı yazar tarafından açıklanmıştır. Yazar, n-bütanol-dizel yakıtı karışımları için tutuşma gecikmesinin arttığını ve bunun sonucu olarak da yanmanın ilk aşamasında sıcaklıklarının yüksek olabileceğini söylemektedir. Ancak n-bütanol-dizel yakıtı karışımlarında alev sıcaklığının daha düşük olduğunu ve bu nedenle NO_x emisyonunun azaldığını belirtmiştir. HC emisyonları ise n-bütanol karışimli yakıtlarla artmıştır. Çalışmada bu durum, n-bütanol karışımlarının yüksek buharlaşma ısısı nedeniyle daha yavaş buharlaşmanın olduğu ve böylece HC emisyonlarının arttığı şeklinde açıklanmıştır. CO emisyonu ise n-bütanol katkısıyla azalmıştır. Yazar, n-bütanol karışimli yakıtların oksijen konsantrasyonunun arttığını (hava fazlalık katsayısının arttığını) ve bu durumun yanmanın iyileşmesine neden olduğunu ve sonuçta CO emisyonunun azaldığını belirtmiştir. Eksozdaki duman koyuluğunu gösteren K is faktörü ise n-bütanol karışımı durumları için azalmıştır. Bunun nedeni; n-bütanol-dizel yakıtı karışımlarının içeriğindeki karbon oranının düşük ve oksijen oranının yüksek olmasından kaynaklandığı şeklinde açıklanmıştır [4].

Valentino ve arkadaşları [17]; modern 4 silindirli, turboşarjlı, su soğutmalı, common-rail püskürtme sistemine sahip DP bir dizel motorunda farklı n-bütanol-dizel yakıtı karışımlarının kullanılmasının etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Burada % 20 ve % 40 n-bütanol oranları karışım oranı olarak seçilmiştir. Deneyler 2500 d/d ve 0.8 MPa ortalama efektif basınçta gerçekleştirilmiştir. İlgili çalışmada, püskürtme başlangıcının, püskürtme avansının, eksoz gazı resirkülasyonunun (EGR) ve n-bütanol oranlarının motor performans parametreleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini incelemiştir [17].

Bu çalışmada püskürtme basıncının artırılması ve püskürtme avansının azaltılması ile is miktarının önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Yüksek püskürtme basıncı uygulandığında; püskürtülen yakıt, hava ile daha hızlı ve homojen olarak karışacağı için

yanmanın iyileştiği ve böylece isin azaldığı belirtilmiştir. Yalnız, bu durumda tutuşma gecikmesi küçüldüğünden NO_x emisyonunun arttığı belirlenmiştir. EGR uygulandığında tutuşma gecikmesi artmaktadır. EGR ile birlikte yüksek püskürtme basınçları seçilip püskürtme avansının ayarlanması ile hem is miktarının hem de NO_x emisyonunun azaltılması sağlanmıştır. % 20 ve % 40 n-bütanol karışımları için tutuşma gecikmesinin saf dizel yakıtına göre arttığı görülmüştür. Yazarlar bu sonuçlardan yararlanarak; daha düşük püskürtme basınçları kullanarak püskürtmeyi daha erkenden başlatmış ve yakıtın tamamına yakınına yanma başlamadan önce püskürtmüşlerdir. Söz konusu uygulamada EGR de kullanılmıştır. Bu uygulama sonunda, kısmi ön karışmış düşük sıcaklıkta yanma sağlandığından, NO_x emisyonu ve is değerlerinin azaldığı, ancak ÖYT'nin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca % 20 n-bütanol karışımı sonuçlarının % 40 n-bütanol karışımı sonuçlarından daha iyi olduğunu da belirtmişlerdir [17].

Rakopoulos ve arkadaşları [18]; dizel yakıtına n-bütanolün % 8 ve % 16 hacimsel oranlarında karıştırılması durumlarında motor performans parametreleri ve eksoz emisyonlarında meydana gelebilecek değişiklikleri deneysel olarak incelemişlerdir. Söz konusu deneysel çalışmada DP, 6 silindirli su soğutmalı, turboşarjlı bir Mercedes-Benz dizel motoru kullanılmıştır. Bu motor Yunanistan'da minibüslerde yaygın olarak kullanılmaktaydı. Deneyleri 1200 d/d ve 1500 d/d gibi iki farklı devir sayısında yapmışlardır. Her bir devir sayısı için 3.56 bar, 7.04 bar ve 10.52 bar'lık yüklemeler seçilmiştir (sırasıyla tam yükün % 20, % 40 ve % 60'ı düzeylerinde yüklemeler). Burada ÖYT ve efektif verim gibi motor performans parametrelerini ve is, NO_x , CO, HC gibi eksoz emisyonlarını ölçmüşlerdir. Bu çalışmadaki deneylerde % 99.9 saflıkta n-bütanol kullanılmıştır [18].

n-Bütanol-dizel yakıtı karışımlarının kullanılması ile is miktarının önemli ölçüde azaldığı ve NO_x emisyonunun da bir ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Yüksek n-bütanol-dizel yakıtı karışımları için her iki emisyondaki azalmalar daha belirgin olmuştur. CO emisyonu ise saf dizel yakıtı değerlerine yakın değerler almıştır. Ancak n-bütanol-dizel yakıtı karışımları için toplam HC'lerin arttığı belirlenmiştir. İlgili çalışmada n-bütanol-dizel yakıtı karışımları için özgül yakıt tüketiminin arttığı ve efektif verimin ise çok az iyileştiği belirlenmiştir [18]. Söz konusu çalışmada; n-bütanolün dizel motorları için önemli bir alternatif yakıt olabileceği ve setan iyileştiricilere gerek kalmadan yüksek oranlarda n-bütanol-dizel yakıtı karışımlarının dizel motorlarında kullanılabileceği açıklanmıştır [18].

Armas ve arkadaşları [19]; alkol-dizel yakıtı karışımlarının motor performans parametreleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini deneysel olarak belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla deneyler için seçilen alkol karışımları; hacimsel olarak % 10 etanol-dizel yakıtı karışımı ve % 16 n-bütanol-dizel yakıtı karışımlarıdır. Yazarlar deneylerde; 4 silindirli, 4 zamanlı, turboşarjlı, ara soğutmalı, common-rail püskürtme sistemine sahip, 2 L hacimli bir NISSAN dizel motoru kullanılmışlardır. Deneyler motorun soğuk (soğutma suyu, yağlama yağı ve emme havası 17 °C sıcaklığında) ve sıcak (soğutma suyu, yağlama yağı 90 °C ve emme havası 17 °C sıcaklıklarında) çalışma koşullarında yapılmıştır. Motor hızı sıcak çalışma koşullarında yaklaşık 850 d/d ve soğuk çalışma koşullarında ise yaklaşık 950 d/d şeklinde seçilmiştir [19]. Yakıt karışımları, karışımdaki oksijen miktarı kütleli olarak ~% 3.3 oranında olacak şekilde hazırlanmıştır.

Çalışma sonunda; etanol-dizel yakıtı karışımı veya n-bütanol-dizel yakıtı karışımı veya saf dizel yakıtı motorda soğuk çalışma koşullarında ayrı ayrı kullanıldığında NO_x emisyonunun arttığı görülmüştür. Ancak alkol karışımlarının soğuk çalışma koşullarında kullanılması durumunda NO_x emisyon değerlerinin saf dizel yakıtına göre daha çok arttığı belirlenmiştir. Alkol karışımları, motorda sıcak çalışma koşullarında kullanıldığında NO_x emisyon değerleri azalmış, ancak saf dizel yakıtı durumunda NO_x emisyonu sıcak ve soğuk çalışma şartlarında hemen hemen aynı kalmıştır.

Alkol karışımlarının sıcak çalışma koşullarında kullanılması ile HC'lerin çok az arttığı ancak soğuk çalışma koşullarında önemli ölçüde arttıkları belirlenmiştir. Yazarlar, alkol karışımlarının kullanılması ile yanma sıcaklıklarının saf dizel yakıtına göre daha düşük olacağını açıklamışlar, bu nedenle de HC'lerin arttığını belirtmişlerdir. Motor ve yanma sıcaklıkları soğuk çalışma durumunda düşük olduğundan ve alkol karışımı kullanılması ile motor daha da soğuyacağından HC'lerin daha çok arttığını belirtmişlerdir. Söz konusu çalışmada CO emisyonu değişiminin HC'lere benzediği ve alkol karışımları ile CO emisyonu miktarının arttığı belirlenmiştir. Alkol karışımları soğuk çalışma koşullarında kullanıldığında is miktarının arttığı, ancak sıcak çalışma koşullarında kullanıldığında ise isin önemli düzeyde azaldığı belirlenmiştir [19].

Yao ve arkadaşları [20]; % 5, % 10 ve % 15 (hacimsel oranlarda) n-bütanol-dizel yakıtı karışımlarının kullanılmasının etkilerini common-rail püskürtme sistemine sahip bir dizel motorunda deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler; 1849 d/d motor hızı ve 1.16 MPa yük durumunda farklı püskürtme yöntemlerinde (tek ana püskürtme; ön püskürtme-

ana püskürtme; ana püskürtme-ard püskürtme; ön püskürtme-ana püskürtme-ard püskürtme) durumlarında yapılmıştır [20].

Çalışma sonunda; n-bütanol-dizel yakıtı karışımlarının kullanılması ile özgül yakıt tüketiminde önemli bir değişiklik olmadan, CO ve is emisyonlarının önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. İlgili karışımların kullanılması ile NO_x emisyonunda ise pek değişme olmadığı görülmüştür [20]. n-Bütanol-dizel yakıtı karışımlarının özgül yakıt tüketimi ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri, tek ana püskürtme, ön püskürtme-ana püskürtme, ana püskürtme-ard püskürtme ve ön püskürtme-ana püskürtme-ard püskürtme durumlarında ayrı ayrı incelenmiştir. Ön püskürtme-ana püskürtme birlikte uygulandığında is miktarının azaldığı ancak CO emisyonunun önemli ölçüde arttığı, özgül yakıt tüketiminin ise arttığı belirlenmiştir. Ana püskürtme-ard püskürtme durumları birlikte uygulandığında ise hem is, hem de CO emisyonlarının önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Ancak bu durumda da özgül yakıt tüketiminin arttığı belirlenmiştir. Her üç püskürtme durumu birlikte uygulandığında en düşük is emisyonunun sağlandığı görülmüştür. Bu uygulamada özgül yakıt tüketiminde pek fazla kötüleşme olmamıştır.

%15 n-bütanol-dizel yakıtı karışımı için üç püskürtmenin birlikte uygulandığı durumda is miktarının saf dizel yakıtına ve diğer karışım durumlarına göre azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca % 10 n-bütanol-dizel yakıtı karışımı tek ana püskürtme ile yanma odasına püskürtüldüğünde; saf dizel yakıtının, ön püskürtme-ana püskürtme ve ana püskürtme-ard püskürtme durumlarına göre daha az is oluşumu doğurduğu belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarından; n-bütanol-dizel yakıtı karışımlarının kullanılması durumunda motorun eksoz emisyonlarının ve özgül yakıt tüketiminin daha etkili bir şekilde azaltılabilmesi için püskürtme sisteminin de uyarlanması gerektiği anlaşılmaktadır.

Wigg ve arkadaşları [21]; Ford marka tek silindirli, buji ateşlemeli bir araştırma motorunda saf n-bütanol, saf benzin ve saf etanol yakıtlarının motor performans karakteristikleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler 1100 d/d devirde ve 75 kPa motor yükünde gerçekleştirmişlerdir.

Yazarlar yaptıkları deneyler sonucunda saf benzine göre n-bütanolün % 2, etanolün ise % 4 daha düşük döndürme momenti ürettiği sonucuna varmışlardır. n-Bütanolün yanma sonu sıcaklığının etanole ve saf benzine göre daha düşük olması nedeni ile NO_x emisyonunun n-bütanol durumunda daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. NO_x emisyonu, saf benzine göre n-bütanol durumunda % 17, etanol durumunda ise % 6 oranında daha düşük olmuştur. Ancak n-bütanol ile HC'ler hem etanol hem de saf benzine göre yaklaşık

üç kat artmıştır. Yazarlar bunun nedenini makalede şöyle açıklamışlardır; n-bütanol, benzin ve etanol gibi yeterince ince parçacıklara parçalanamadığından HC'lerin arttığını belirtmişlerdir. Saf benzine göre CO emisyon değerleri ise n-bütanol ve etanol için azalmıştır. Her iki durumda da CO emisyonunda % 12 oranında azalma belirlenmiştir [21].

Keskin ve arkadaşları [5]; kurşunsuz benzine farklı hacimsel oranlarında etanol ve bütanol karıştırılmasının etkilerini incelemiştir. Kurşunsuz benzin, bütanol ve etanol karışımlarındaki hacimsel oranlar şu şekilde seçilmiştir: % 50 benzin-% 40 etanol -% 10 bütanol, % 50 benzin-% 20 etanol-% 30 bütanol ve % 50 benzin-% 10 etanol-% 40 bütanol. Deneyler tek silindirik, 4 zamanlı buji ile ateşlemeli bir motorda gerçekleştirilmiştir. Deneyler (600, 1200 ve 1800) W olmak üzere motorun 3 farklı yükte çalıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Deneylerde CO, NO_x, HC, O₂ ve CO₂ emisyonları ölçülmüştür [5].

Yapılan bu çalışmada, etanolün ve bütanolün kullanılmasıyla ÖYT'nin benzine göre arttığı görülmüştür. Bu artışın bütanolün ve etanolün alt ısı değerlerinin benzine göre daha düşük olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Alkollerin karışımlardaki oranları göz önüne alındığında etanol oranının artmasıyla ÖYT'nin arttığı görülmektedir. En yüksek özgül yakıt tüketimi artışı; % 50 benzin-% 10 bütanol- % 40 etanol karışımı durumunda ve 600 W motor yükünde % 41.82 oranında olmuştur [5].

İlgili deneysel çalışma sonunda; etanol-bütanol-benzin karışımları durumunda, CO emisyonunun seçilen yük değerleri için azaldığı belirlenmiştir. Bunun nedeni ilgili yayında şu şekilde açıklanmıştır: Etanolün ve bütanolün moleküler yapısında var olan oksijen miktarı, yüksek oktan sayısı, içeriğinde kükürt bileşiklerinin olmaması temiz yanmada etkili olmaktadır. Etanol ve bütanol CO emisyonu bakımından karşılaştırıldığında ikisi arasında büyük bir farkın olmadığı gözlenmiştir. Maksimum azalma; %50 benzin-% 20 bütanol-% 30 etanol karışımı durumunda 1800 W yükte % 91.85 oranında belirlenmiştir. Karışımların tümünde CO₂ emisyon değerleri benzine göre artış eğilimi göstermiştir. Yük arttıkça CO₂ emisyonu oranında artış gözlenmiştir. CO₂ emisyonundaki artışın; alkollerin içeriğinde bulundurulmuş oksijenin yanma olayını iyileştirmesinden kaynaklandığı yorumu yapılmıştır. HC'ler tam yanmadan dışarı atılan eksik yanma ürünlerinden oluşmaktadır. Etanol-bütanol-dizel yakıtı karışımları için, HC'ler (600 ve 1200) W yüklerinde arttığı fakat 1800 W yükünde ise azaldığı belirlenmiştir. HC'lerin artma nedenleri yayında şu şekilde açıklanmıştır: Karışımdaki alkollerin buharlaşma ısısının yüksek olması yanma odasının ve yüzeylerinin soğumasına neden olmaktadır. Bu durum silindir duvarlarına

yakın bölgelerde alev sönmeye neden olmakta ve karışım durumları için HC emisyonları benzine göre artış göstermektedir. Etanol-bütanol-dizel yakıtı karışımları için NO_x emisyon değerleri ise artmıştır. Karışımlardaki etanol oranının artmasıyla NO_x emisyon değerleri benzine ve bütanole göre düşüş gözlenmiştir. Eksoz emisyonlarındaki oksijen miktarına bakıldığında ise benzin ve karışım yakıtlarının benzerlik gösterdiği görülmüştür. Karışım yakıtlarındaki etanol oranı arttıkça O_2 miktarında artış olduğu görülmüştür. Bunun nedeni de ilgili yayında etanolün bütanole göre içeriğinde bulundurduğu O_2 miktarının daha fazla olmasından kaynaklandığı şeklinde açıklanmıştır [5].

Yukarıda farklı n-bütanol-dizel yakıtı karışımları ile ilgili literatürde yapılan çalışmaların özeti sunulmuştur. İlgili çalışmalarda; n-bütanolün dizel motorlarında kullanılması ile isin önemli ölçüde azaldığı, NO_x emisyon değerlerinin çok az azaldığı veya saf dizel yakıtına yakın değerler aldığı ancak HC'lerin arttığı belirlenmiştir. ÖYT'nin ise çok az arttığı veya saf dizel yakıtına yakın değerler aldığı belirtilmektedir. Ancak motorun püskürtme basıncı ve püskürtme avansı değerleri değiştirilerek n-bütanol karışımları için, motor performans parametrelerinde pek fazla kötüleşme doğurmadan, NO_x ve is emisyonlarının önemli düzeyde azaltılabileceği belirtilmektedir [5].

1.3. Tez Çalışmasının Konusu ve Amacı

Yukarıda açıklandığı gibi n-bütanol, dizel motorları için tercih edilebilecek yenilenebilir alternatif yakıtlar arasında yer almaktadır. n-Bütanol ile ilgili çalışmalar 2010 yılından sonra yaygınlaşmıştır ve genellikle farklı oranlardaki n-bütanol, dizel yakıtına karıştırılarak kullanılmıştır. Ancak yapılan çalışmalarda deneylerin sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Örneğin, deneyler 3 farklı hacimsel oranda n-bütanol-dizel yakıtı karışımları için tek devir sayısında 3 farklı yük durumunda veya 2 farklı hacimsel oranlı n-bütanol-dizel yakıtı karışımları için 2 farklı devir sayısında 2 farklı yük değerinde yapılmıştır. Ayrıca literatürde yapılan çalışmalarda n-bütanol oranları çok yüksek seçilmiştir ve yakıt maliyeti analizi ile ilgili herhangi bir sonuç sunulmamıştır.

Sunulan tez çalışmasında çeşitli hacimsel oranlarda n-bütanol-dizel yakıt karışımlarının motor performans karakteristikleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerinin 4 silindirli common-rail püskürtme sistemine sahip bir direkt püskürtmeli (DP) otomobil dizel motorunda deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Söz konusu motor günümüzde Renault Kango ticari taşıtında ve Renault Clio otomobilinde kullanılmaktadır.

Bu durumda elde edilecek sonuçların doğrudan otomobil sanayisinde uygulanabileceği söylenebilir. Burada hacimsel olarak % 2, % 4 ve % 6 hacimsel oranlarındaki n-bütanol, dizel yakıtına karıştırılarak kullanılmıştır. Motorda başka herhangi bir değişiklik yapılmamıştır ve bu nedenle sistem ekonomik ve pratik uygulanabilir olmaktadır.

Sunulan tez çalışmasında deneyler, sistematik bir şekilde; farklı devirlerde ve farklı yüklerde yapılmıştır. Deneylerde hacimsel olarak % 2, % 4 ve % 6 oranlarındaki n-bütanol-dizel yakıtı karışımı yanma odasında sıkıştırılmış olan havanın içerisine püskürtülmüştür. Daha yüksek n-bütanol oranlarına çıkılmamıştır. Çünkü % 6 oranından daha yüksek n-bütanol oranlarında hem motor performans parametreleri hem de eksoz emisyonları için ümit verici sonuçlar bulunamamıştır. Deneyler (2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000) d/d gibi 5 farklı motor hızında yapılmıştır. Her devir sayısı için 6 farklı yükleme durumu seçilmiştir. Deneylerde ölçümler ve ölçülen değerlerden yararlanarak motor performans karakteristikleri hesabı sistematik bir biçimde yapılmıştır. Böylece deneylerde motor performans karakteristiklerine ve eksoz emisyonlarına ilişkin ölçümlerden elde edilen veriler; karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve sunulmuştur. Ayrıca yakıt maliyeti analizi yapılarak n-bütanol kullanımının ekonomik olup olmadığı da irdelenmiştir. 2000 d/d için 149 Nm ve 135 Nm yüklerde ve 4000 d/d için 113 Nm ve 99 Nm yüklerde basınç-krank mili açısı ve basınç-hacim diyagramları da belirlenmiştir. Böylece n-bütanol-dizel yakıtı karışımının yanma olayı üzerindeki etkilerine ilişkin daha ayrıntılı bilgiler de sunulmuştur.

Sunulan çalışmada ayrıca literatürde henüz uygulanmamış n-bütanol fumigasyonu da incelenmiştir. Yani fumigasyon durumunda n-bütanol, dizel yakıtına karıştırılmadan, n-bütanol emme kanalından emilen hava içerisine basit bir karbüratör aracılığı ile püskürtülmüştür. Söz konusu uygulama yalnızca 2000 d/d için iki farklı yük değerinde yapılmıştır. Fumigasyon durumunda; K is faktörü incelenirken hacimsel olarak % (2, 4, 6, 8 ve 10) n-bütanol oranları seçilmesine karşın motor performans karakteristikleri ve NO_x emisyonu için hacimsel olarak % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları seçilmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Sunulan tez çalışmasında n-bütanol-dizel yakıt karışımlarının motor performans karakteristikleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, KTÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü İçten Yanmalı Motorlar Laboratuar'ındaki Cussons firması tarafından üretilen ve Şekil 2'de gösterilen deney düzeneği kullanılmıştır. Söz konusu deney sisteminde daha önceki araştırma projesi çalışmalarında monte edilmiş olan, Renault K9K 700 tipi common-rail püskürtme sistemine sahip direkt püskürtmeli (DP) bir taşıt dizel motoru mevcuttur. İlgili motorun özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Geleneksel dizel yakıtına alkol türevi olan n-bütanolün karışım yöntemi uygulanarak eklenmesinin dizel motorlarında doğuracağı etkiler, ilgili motor ve deney sistemi kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Deney sisteminde kullanılan donanımlar aşağıda başlıklar halinde tanıtılacaktır.



Şekil 2. Deney düzeneğinin genel görünüşü

2.1. Deney Sisteminde Kullanılan Donanımlar ve Uygulanan Ölçüm Yöntemleri

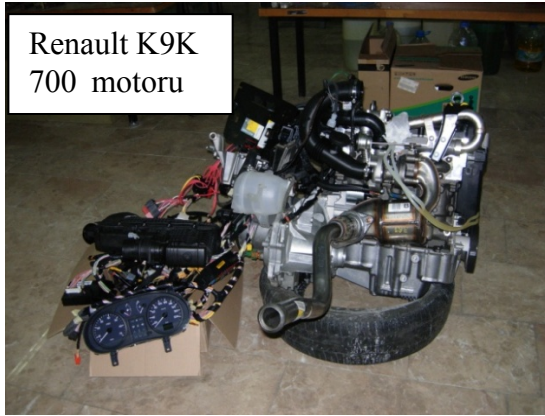
Deney sisteminde; Renault K9K 700 tipi taşıt dizel motoru monte edilmeden önce, Ford XLD 418 T tipi indirekt püskürtmeli bir dizel motoru bulunmaktaydı ve bu motor Cussons firması tarafından deney sistemine monte edilmişti. Fakat daha sonra gerçekleştirilen proje çalışmalarında ve sunulan tez çalışmasında güncel common-rail püskürtme sistemine sahip DP bir taşıt (otomobil) dizel motorunun kullanılması planlanmıştır. Bu amaçla daha önceden gerçekleştirilmiş olan "Dizel Motorlarında Hafif Yakıt Fumigasyonunun Etkilerinin ve Mekanik Kayıpların Deneysel ve Teorik İncelenmesi" başlıklı, Devlet Planlama Teşkilatı Projesi (Proje No: 2003K120750) kapsamında Renault K9K 700 tipi bir taşıt dizel motoru satın alınmıştır. İlgili motor Renault firması tarafından toplanmıştır. Daha sonra toplanan motor Prof.Dr. Orhan DURGUN, Doç.Dr. Zehra ŞAHİN, Yrd.Doç.Dr. Coşkun BAYRAM ve Makina Yüksek Mühendisi Mustafa KURT tarafından deney sistemine yaklaşık 1 yıl süren çalışmalar sonunda monte edilmiştir. Ardından bu motor; katalog değerlerini sağladığı deneysel olarak belirlendikten sonra, değişik deneysel çalışmalar için kullanılmaya başlanmıştır.

Tablo 1. Deney motorunun başlıca teknik özellikleri

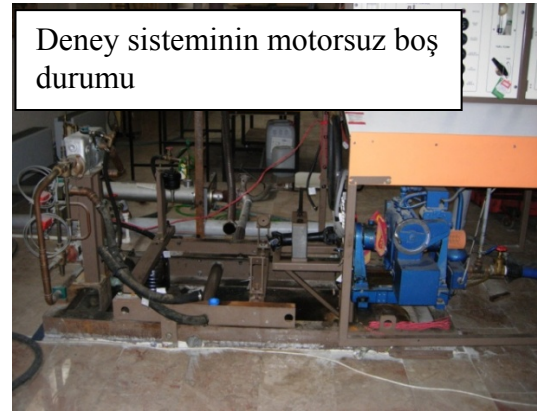
Motor	Renault K9K 700 Turboşarjlı DP Dizel Motoru
Toplam strok hacmi ve silindir sayısı	1.461 L, 4
Silindir çapı ve strok uzunluğu	76 mm ve 80.5 mm
Sıkıştırma oranı	18.25
Maksimum güç	48 kW, 4000 d/d'da
Maksimum moment	160 Nm, 1750 d/d'da
Biyelin eksenleri arasındaki uzaklık	130 mm

Renault K9K 700 tipi common-rail püskürtme sistemine sahip DP dizel motoru yetkili firma tarafından, deney sistemine monte edilmeden önce; değişik ek donanımları Şekil 3 (a)'da görüldüğü gibi bir araya toplanmıştır. Daha sonra söz konusu motor, deney sisteminde Şekil 3 (b)'de boş olarak görülen bölüme monte edilmiştir. Motorun monte edildikten sonraki görünüşleri Şekil 3 (c ve d)'de gösterilmiştir.

Deney düzeneğinde yer alan bazı ölçme düzenekleri ve deney ölçü panosunun önden görünüşü Şekil 4 (a ve b)'de gösterilmiştir. Şekil 4 (a)'dan görüldüğü gibi deney sisteminde; bilgisayar, osiloskop, veri derleme kartı, azot oksit (NO_x) ve K is faktörü ölçüm cihazları yer almaktadır. Şekil 4 (b)'de ise bazı ölçüm ve gösterge donanımlarını üzerinde bulunduran deney panosu gösterilmiştir. Burada; yakıt ölçme sistemi, sıcaklık göstergesi, yükleme ünitesi, eğik manometre, civalı U manometresi, gaz ayar kolu gibi donanımlar bulunmaktadır.



(a)



(b)

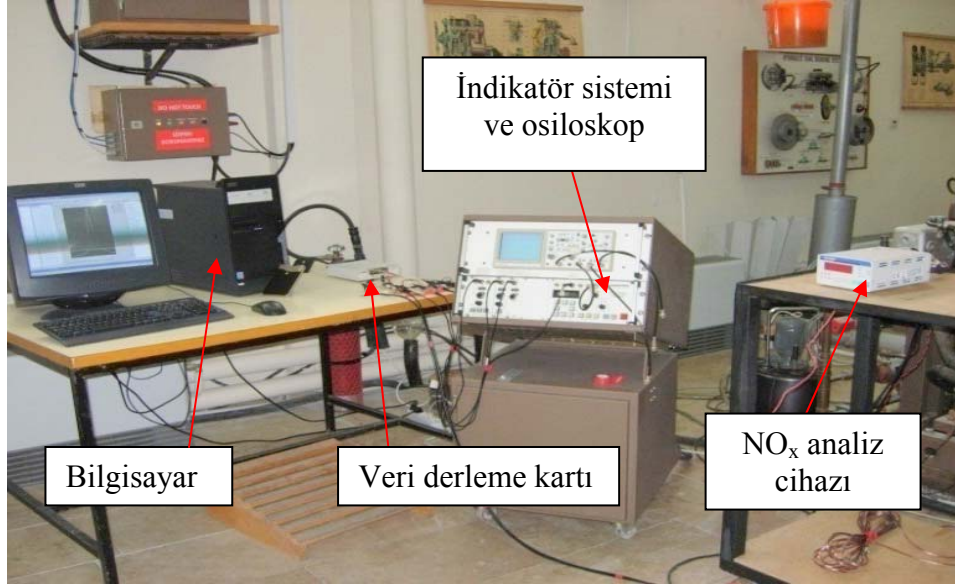


(c)

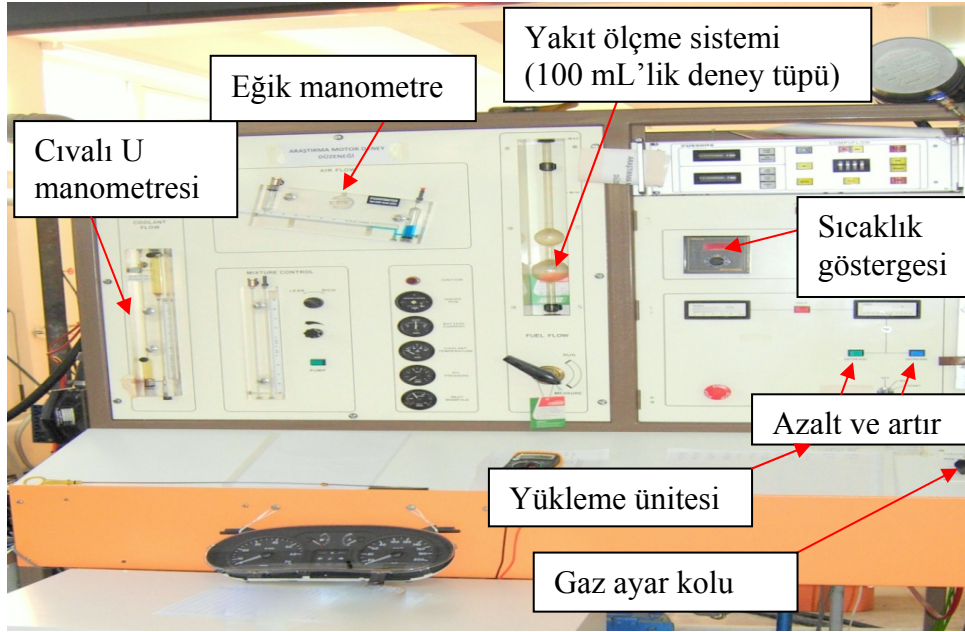


(d)

Şekil 3. (a) Renault K9K 700 tipi motorunun firma tarafından toplanmış durumu, (b) Deney sisteminin motorsuz boş durumu, (c) Deney sisteminin, Renault K9K tipi motorunun monte edilmiş durumunun önden görünüşü, (d) Deney sisteminin Renault K9K tipi motoru monte edilmiş durumunun yandan görünüşü



(a)



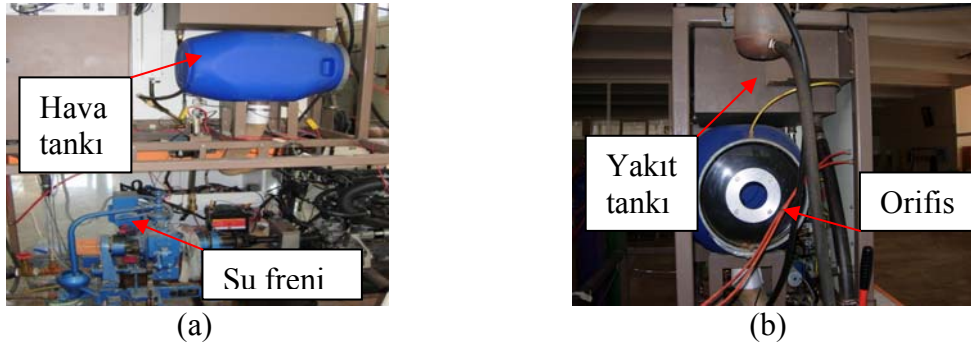
(b)

Şekil 4. (a) Deney sisteminde kullanılan indikatör sistemi, veri derleme kartı, bilgisayar ve NO_x ölçüm cihazı, (b) Deney sistemindeki ölçme panosunun önden görünüşü

Deney düzeneğinde motorun yüklenmesi, deney düzeneğinin arkasında bulunan ve Şekil 5 (a)'da gösterilen su freni ile yapılmaktadır. Su freni motor miline bağlı olarak dönen özel kanatlı bir rotordan, rotoru çevreleyen yataklar üzerine oturtulmuş bir statordan ve kuvvet ölçme düzeneğinden oluşmaktadır. Motor rotoru çevirmeye başladığında, rotorun kanatları statorun içindeki suyu dışarıya doğru fişkırtır ve girdap hareketi yapan bir

su tabakası oluşur. Böylece su bir taraftan ısınarak motorun ürettiği mekanik enerjiyi yutarken, öte yandan motorun döndürme momentine eşit bir momentle su freninin statorunu çevirmeye çalışır. Su zamanla ısınacağı için sürekli olarak değiştirilmelidir. Hidrolik dinamometrenin içindeki su miktarı arttıkça yutulan enerji de artar. Su girişine yerleştirilen ayarlanabilir bir vana ile su miktarı ve sonuçta motorun yüklenmesi istenilen şekilde değiştirilmektedir. Su vanası kumanda panosunda bulunan yükü azalt (decrease) ve yükü artır (increase) düğmeleri ile ayarlanabilmektedir. Bu düğmeler Şekil 4 (b)'de yükleme ünitesi bölümünde görülebilir. Laboratuarda bulunan şebeke suyunun debisinin ve basıncının yetersiz olmasından dolayı su freni için gerekli olan su, 7 tonluk bir depodan bir santrifüj pompa ile sağlanmaktadır.

Motor için gerekli olan hava, orifisten geçerek deney panosunun arkasında bulunan hava tankına ve oradan da motora gitmektedir. Bunun için hava deposundan gelen hortum motorun hava girişine uygun ara bağlantılar kullanarak bağlanmıştır. Şekil 5 (a ve b)'de hava tankı ve hava tankı girişindeki orifisin resmi gösterilmiştir.



Şekil 5. (a) Deney panosunun arkadan görünümü, (b) Deney panosunun sol yandan görünümü

Motorun yakıt tüketimi hacim (100 mL ölçekli tüp) yöntemine göre belirlenmektedir. Sunulan çalışmada yakıt tüketimi, 100 mL hacimdeki dizel yakıtının veya n-bütanol-dizel yakıt karışımının harcanma süresi ölçülerek, hesaplanmıştır. Şekil 5 (b)'de görülebileceği gibi; deney düzeneğinin üst bölümünde bulunan yakıt deposundan gelen dizel yakıtı veya n-bütanol-dizel yakıt karışımı önce Şekil 4 (b)'de gösterilen yakıt ölçme sistemine ve oradan da motora gönderilmektedir.

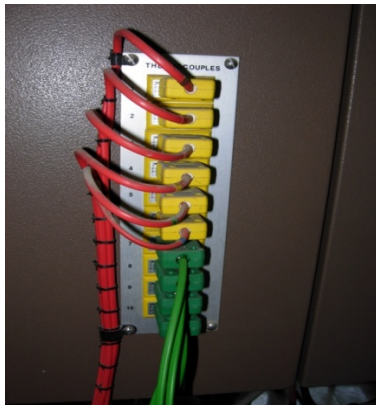
Deney sisteminde Cussons firması tarafından üretilen Şekil 6'da gösterilen eksoz gazı kalorimetresi de bulunmaktadır. Bu sistem kullanılarak ısı dengesi hesabı da

yapılabilir [23]. Deney sisteminde ortam, yakıt, soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları, eksoz sıcaklığı, eksoz kalorimetresinden geçen eksoz gazlarının giriş ve çıkış ve soğutma suyunun eksoz gazı kalorimetresine giriş ve çıkış sıcaklıkları Şekil 7 (a ve b)'de gösterilen K tipi termokupul soketler kullanılarak ölçülmektedir.

Motorlardaki deneysel çalışmalarda; basınç-hacim (p-V) ve basınç-krank mili açısı (p- θ) diyagramlarının, yani indikatör diyagramlarının, deneysel olarak belirlenmesi çok önemlidir. Sunulan tez çalışmasında kullanılan deney sisteminden indikatör diyagramları da belirlenebilmektedir. Söz konusu diyagramların elde edilebilmesi için Şekil 8'de görülen motorun 1. silindirinde mevcut olan kızdırma bujisi sökülmüş ve yerine AVL firmasından sağlanan basınç algılayıcısı (sensörü) takılmıştır. İlgili sensörün özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Deney sisteminden indikatör diyagramının elde edilmesi ile ilgili ayrıntılı bilgiler Bölüm 2.3.8'de sunulacaktır.



Şekil 6. Eksoz gazı kalorimetresi

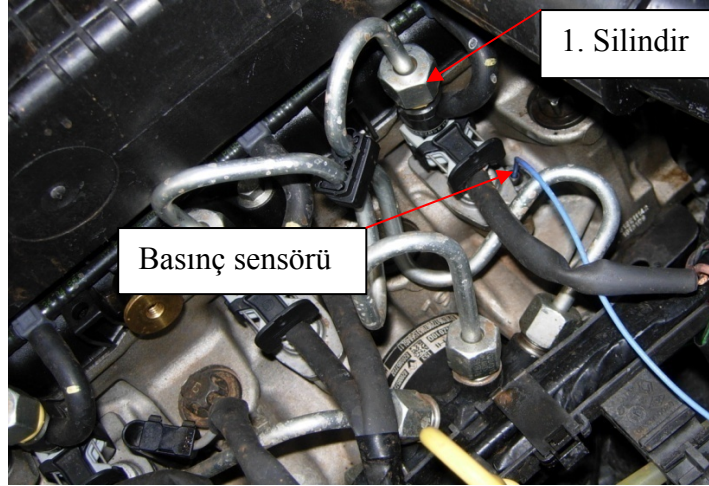


(a)



(b)

Şekil 7. (a) Termokupul soketleri, (b) Termokupul soketlerin deney panosuna bağlantıları



Şekil 8. Basınç sensörü bağlantısı

Tablo 2. Basınç sensörünün başlıca özellikleri

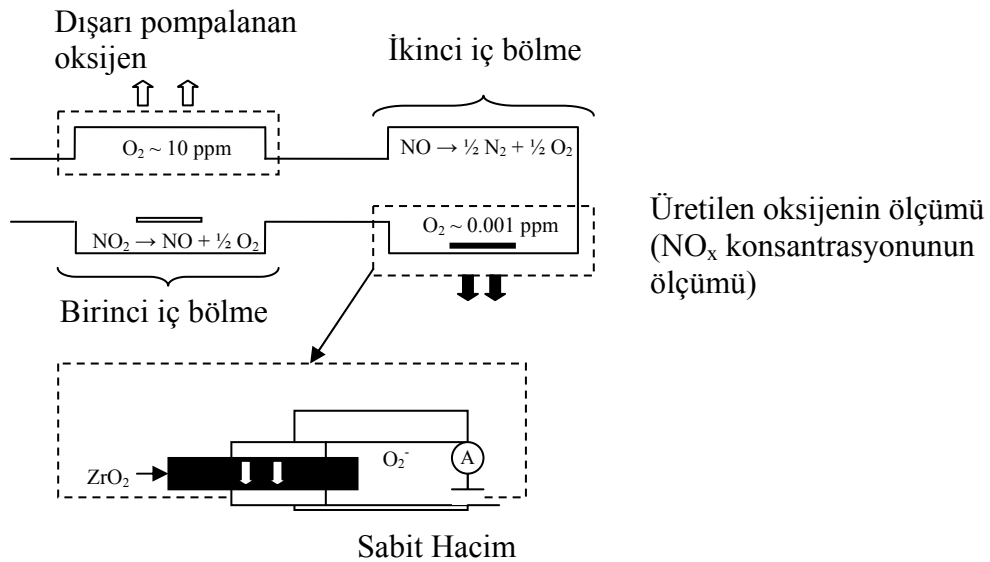
Sensör tipi	Piezoelectric (GH13P)
Ölçüm aralığı [bar]	0-150
Hassasiyeti [pC/bar]	15.25
Doğal frekansı [kHz]	115
Doğrusallığı	$\leq \pm 0.3 \%$

Deney sisteminde, Horiba tarafından üretilen MEXA-720 NO_x eksoz gazı analiz cihazı ile, azot oksit (NO_x) konsantrasyonu, ppm olarak ve eksozdaki oksijen miktarı, % olarak belirlenebilmektedir. NO_x eksoz gazı analiz cihazı, Şekil 9’da ve çalışma ilkesi Şekil 10’da gösterilmiştir. Cihaza ilişkin başlıca bilgiler Tablo 3’te verilmiştir. Bu cihaz, küçük boyutlu olmasına karşın, sistemde oluşan NO_x konsantrasyonunu duyarlı olarak ölçebilmektedir.

Azot oksit analiz cihazında zirkonya seramik sensör bulunmaktadır ve bu sensörün çalışması kısaca şöyle özetlenebilir. Şekil 10’da görüldüğü gibi örnekleme gazı sensörün ilk difüzyon hattından geçerek birinci iç bölmeye girer. Birinci bölgedeki oksijen konsantrasyonunu yaklaşık 10 ppm düzeyinde tutmak için oksijenin bir bölümü iyon pompası tarafından dışarı pompalanır [24].



Şekil 9. MEXA-720 NO_x eksoz gazı analiz cihazı



Şekil 10. Azot oksit analiz cihazının çalışma ilkesini gösteren şematik şekil [24].

Örnek gaz, içerisinde sensör bulunan ikinci iç bölmeye yayılır. İkinci bölmenin içerisindeki oksijen konsantrasyonu daha düşük bir seviyede (yaklaşık 0.001 ppm düzeyinde) tutulur ve NO, azot ve oksijene dönüştürülür. Bu reaksiyon sonucu ortaya çıkan oksijen yine dışarı pompalanır. Örnekleme gazının içerisindeki oksijen miktarına yani pompalanan oksijen miktarına, bağlı olarak akım şiddeti değiştiğinden elektrik akımının ölçülmesi ile bu oksijen miktarı belirlenmiş olmaktadır. Yani NO konsantrasyonu; ikinci bölmeden dışarıya pompalanan oksijen miktarına bağlı olarak ZrO₂ elemanındaki elektrik

akım şiddetinin ölçülmesi ile belirlenmiş olur. Örnek gaz içerisindeki NO_2 , ilk bölümde NO 'ya dönüştüğünden, böylece belirlenen NO konsantrasyonu aslında NO_x konsantrasyonuna karşılık gelmektedir.

Tablo 3. MEXA-720 NO_x eksoz gazı analiz cihazının ölçüm aralıkları [24].

Azot oksit (NO_x)	(0-3000) ppm	$\pm (3-5) \% \text{NO}_x$
Hava- yakıt oranı (H/Y)	(9.5-200) H/Y	$\pm (0.15-0.4)$
Hava fazlalık katsayısı (α)	(0.65-13.7) α	$\pm (0.15-0.4)$
Oksijen (O_2)	$\% (0.0-50) \text{O}_2$	± 0.5

Deney sisteminde, K is faktörünün ölçümü Şekil 11'de gösterilen, Sun firması tarafından üretilen MGA 1500 cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Cihazın çalışma ilkesi aşağıda kısaca sunulmuştur. Cihazın ısınma süresini tamamladıktan sonra “#” düğmesine basılır ve bu durumda “% vol CO_2 ” kısmında “Ptr” yanar ve tekerlekli düğme ile “d\$\$1” seçilir ve “#” tuşuna basılır. Ardından ısınma süresi gözükür. Bu süre bittikten sonra AFR ekranında “d\$\$6” görülür. Yeniden “#” tuşuna basılarak “% vol CO ” kısmında 6 dan geriye doğru sayılarak, 0'a ulaşıncaya “% vol O_2 ” kısmında “I----” işareti belirir. “I” işareti gözükürten sonra motorun gazı artırılarak 3000 d/d'ya kadar çıkılır ve gaz düşürülür. Daha sonra cihaz tekrar “I----” işaretini göstererek ardından “I” işaretine döner. Yine aynı şekilde gaz artırılır. Bundan sonra benzeri işlemler en az 3 kez tekrarlanmalıdır. 3. ölçümün sonunda cihaz otomatik olarak çıktı vermektedir. Cihaz ölçüm sonrasında tekrar “d\$\$6” mesajını göstermekte ve “#” tuşuna basılarak yeni bir ölçüm yapacak pozisyona gelmektedir [25].



Şekil 11. MGA 1500 is ölçüm cihazı

2.2. Deney Düzeneginin Çalıştırılması

Sunulan çalışmada kullanılan deney düzeneginin çalıştırılmasına ilişkin ayrıntılı bilgiler [29] nolu kaynakta bulunabilir. Burada deney düzeneginin çalıştırılması kısaca açıklanacaktır. Deneylere başlarken, motor çalıştırılmadan önce karterdeki yağ seviyesi ve soğutma suyu genleşme kabındaki su seviyesi kontrol edilmektedir. Yağ ve su seviyelerinde herhangi bir eksiklik görüldüğünde belirtilen düzeyleri sağlayacak şekilde yağ ve saf su eklenmelidir. Yağ ve su seviyeleri kontrol edildikten sonra motorun yükleme suyunun bulunduğu tankın dolu olup olmadığı kontrol edilmelidir. Daha sonra deney düzeneginde bulunan manometrelerin göstergelerinin sıfırlama kontrolü gerçekleştirilmektedir. Ardından osiloskop ve bilgisayar açılarak veri derleme kartı aktif duruma getirilmektedir. Ayrıca motorun elektronik kontrol ünitesinden de (ECU'dan), yani bilgisayarından yakıtın püskürtme basıncı, emme manifoldundaki sıcaklık ve basınç ayrıca motorun devir sayısı belirlenebilmektedir. Bu amaçla deney sistemine "OBD Scanner cihazı (on-board diagnostics)" bağlanmıştır. İlgili sistemin motora bağlantısı Makine Yüksek Mühendisi Mustafa KURT tarafından gerçekleştirilmiştir. Deneylere başlamadan önce OBD kablosu bilgisayara bağlanarak ilgili veriler bilgisayar ekranında görülebilmektedir.

Motor çalıştırılmadan önce kontak açılarak göstergeden ikaz ışıklarının sönmesi beklenmektedir. Daha sonra anahtar marş konumuna getirilerek motor çalıştırılıp, yaklaşık (10-15) dakika motorun ısınmasını beklemek gerekmektedir. Bu arada yağ termometre

sıcaklığını ölçmek için termometrenin ucuna sarılan pamuk ıslatılarak, fan çalıştırılıp ıslak pamuğun üzerine etki etmesi sağlanmaktadır. Ayrıca; son olarak ortam sıcaklığı ve basıncı okunmaktadır. Motorun soğutma suyu sıcaklığı (60-70) °C'a ulaştıktan sonra, yükleme işlemine geçmek için pompa çalıştırılıp, bir yandan yükleme yapılarak, bir yandan da gaz kolu konumu ayarlanarak motor devri ve motor yükü istenen düzeylere getirilmektedir.

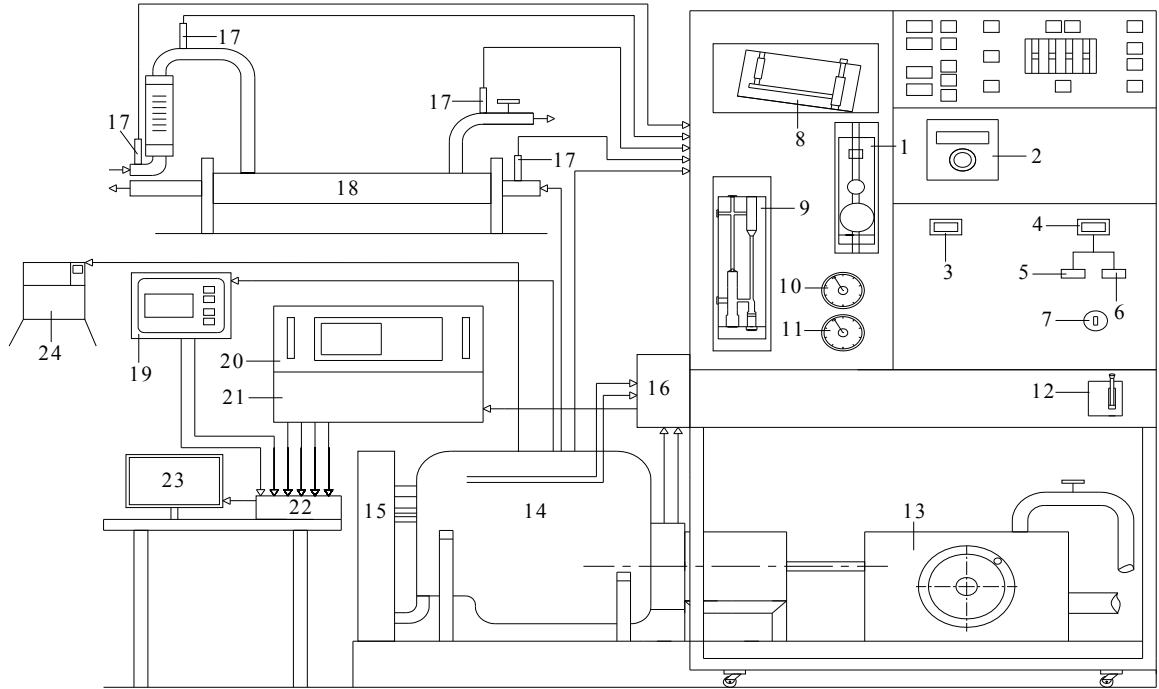
2.2.1. Saf Dizel Yakıtı ve n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımları İçin Yapılan Deneyler

Sunulan tez çalışmasının deneylerine başlamadan önce saf dizel yakıtı (SDY) için tam gazda farklı devirlerde deneyler yapılmıştır. Böylece motorun tam gazdaki hız karakteristikleri elde edilmiştir. Daha sonra tam gazdaki hız karakteristikleri motorun katalog değerleri ile karşılaştırılmıştır. Motor performans parametrelerinin Renault K9K 700 tipi motorunun katalog değerlerini sağladığı görüldükten sonra sunulan tez çalışmasının deneylerine geçilmiştir.

n-Bütanol-dizel yakıtı karışımları (nBDYK'ları) deneylerine başlamadan önce, SDY ile ilgili deneyler yapılmıştır. SDY ve nBDYK deneylerinde, deney sisteminde ve motorda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. SDY ile ilgili deneyler tamamlandıktan sonra nBDYK'ları ile ilgili deneyler yapılmıştır.

Hem SDY hem de nBDYK ile ilgili deneylerde, (2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000) d/d olmak üzere farklı 5 devir sayısı seçilmiştir ve deneyler farklı yüklemelerde gerçekleştirilmiştir. Örneğin 2000 d/d'da motor tam gaza getirilmiş ve o gazın ve devrin en yüksek yük değeri sağlanmıştır. Daha sonra yük yaklaşık 50 N'luk adımlarla düşürülmüştür. Bunu sağlamak için; yükleme ünitesi ile yük azaltılmakta ve gaz kolu biraz aşağıya çekilmektedir. Bu işlemler sırasında devir sayısının 2000 d/d'da sabit kalması gerekir. Devir sayısının tam ayarlanabilmesi için Şekil 4 (b)'de gösterilen yükleme ünitesiyle ince ayar yapılmaktadır. Ayrıca Şekil 12'de deney sisteminin ayrıntılı resmi verilmiştir. Şekil 12'de 5 ve 6 numara ile gösterilen yükleme ünitesi yardımıyla devir sayısının ince ayarı gerçekleştirilmektedir. Örneğin; 2000 d/d'da tam gazda 520 N'luk yükleme yapılabilmektedir. Daha sonra yük yaklaşık 50 N'luk adımlarla azaltılarak (470, 420, 370, 320 ve 270) N'luk yüklemeler sağlanmış böylece 2000 d/d'da veya buna çok yakın devirlerde deneyler yapılmıştır. Diğer devirlerdeki deneyler de benzeri şekilde gerçekleştirilmiştir.

SDY deneyleri tamamlandıktan sonra nBDYK'ları ile ilgili deneysel çalışmaya geçilmiştir. Söz konusu deneylere başlamadan önce ilgili deney için yakıt karışımlarının hazırlanmasında, dizel yakıtı için 6000 mL'lik A tipi mezur (hacimsel deney tüpü), n-bütanol yakıtı için 1000 mL'lik A tipi mezur kullanılarak (% 2, % 4 ve % 6) hacimsel oranda üç farklı karışım hazırlanmıştır. nBDYK çalışmasında deney sisteminde ve motorda başka herhangi bir değişiklik yapılmamıştır ve motor, dizel ilkesine göre çalıştırılmıştır. Her hacimsel orandaki deneye başlamadan önce yakıt filtresi temizlenmiştir. Daha sonra motor yeni nBDYK ile belirli hız ve yükleme durumu için 15 dakika çalıştırılmıştır. Böylece yakıt borularında önceki hacimsel oranlı karışımdan kalmış olabilecek yakıt artıklarının tamamen temizlenmesi sağlanmıştır.



Şekil 12. Deney sisteminin şematik görünüşü. 1-yakıt ölçme ünitesi, 2-sıcaklık göstergesi, 3-hız, 4-kuvvet, (5-6)-yükleme ünitesi, 7-başlama düğmesi, 8-eğik manometre, 9-civalı U manometre, 10-yağlama yağı basıncı, 11-emme manifoldu basıncı, 12-gaz kolu, 13-hidrolik dinamometre, 14-motor, 15-soğutma ünitesi, 16-basınç sensörü ara yüzey ünitesi, 17-termokupul soketler, 18-eksoz gazı kalorimetresi, 19-NO_x analiz cihazı, 20-osiloskop, 21-elektronik indikatör ünitesi, 22-veri derleme kartı, 23-bilgisayar, 24- is ölçüm düzeneği

nBDYK ile ilgili deneylerde, ilk olarak daha önceden hazırlanmış olan % 2 nBDYK depoya doldurularak motor, örneğin 2000 d/d'da tam gazda tam yükte çalıştırılmıştır. 2000

d/d için tam gazda 503 N yük değeri elde edilmiştir ve ilgili yük değeri için deneyler yapılmıştır. Daha sonra yük 50 N azaltılarak 451 N yük için deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde diğer 4 adet (401, 352, 301, 250) N yük değerleri için deneyler yapılmıştır. Benzeri deneyler (2500, 3000, 3500 ve 4000) d/d için aynı şekilde gerçekleştirilmiştir. Böylece % 2'lik nBDYK deneyleri tamamlanmıştır. Aynı şekilde daha önceden hazırlanmış olan % 4 nBDYK depoya doldurularak, motor örneğin 2000 d/d'da tam gazda tam yükte çalıştırılmıştır. Daha sonra yük 50 N azaltılarak farklı 6 yük için deneyler gerçekleştirilmiştir. Benzeri deneyler (2500, 3000, 3500 ve 4000) d/d için aynı şekilde yapılmıştır. Son olarak motor, aynı şekilde daha önceden hazırlanmış olan % 6 nBDYK ile çalıştırılmış ve yukarıda anlatıldığı gibi söz konusu karışımın deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Hem SDY hem de nBDYK ile ilgili deneylerde yük azaltılırken gaz kolu konumu da değiştirilmektedir; yani gaz düşürülmektedir. Karışım yakıtının etkisini tam olarak görebilmek için gaz kolu konumunun her bir durum için benzer konumda olması gerekir. Tüm deneylerde tam gazdan sonra yük yaklaşık 50 N'luk adımlarla azaltılırken gaz kolu konumları da devir sayısı göz önüne alınarak ayarlanmıştır. Böylece tüm deneylerde gaz kolunun yaklaşık aynı konumda kalması sağlanmıştır. Burada yük ve gaz ayarlanırken çok dikkatli ve titiz davranılmıştır.

Deneyler süresince verilerin okunabilmesi için en az 3 kişiye gerek duyulmuştur. Çünkü deneylerde Tablo 4'te gösterildiği gibi çok sayıda değişik veri okunmuştur ve bu ölçümler sistematik bir şekilde yapılmıştır. Deneylerin yapıldığı tarih, ortam basıncı ve sıcaklığı her deney için belirtilmiştir ve Tablo 4'te görüldüğü gibi tablonun üst bölümüne yazılmıştır. Tablo 4'te; 1. sütunda her yükleme için yapılan deney sayısı, 2. sütunda devir sayısı, 3. sütunda yük değeri, 4. sütunda sabit 100 mL yakıt hacmi, 5. sütunda 100 mL yakıt miktarının harcanma süresi, 6. sütunda eğik manometredeki Δh_{hava} yükseklik değişimi, 7. sütunda civalı U manometresindeki Δh_{su} yükseklik değişimi, 8. sütunda T_1 yakıt sıcaklığı, 9. sütunda T_2 eksoz manifoldundaki sıcaklığı, 10. sütunda T_3 soğutma suyu giriş sıcaklığı, 11. sütunda T_4 soğutma suyu çıkış sıcaklığı, 12. sütunda T_5 eksoz gazlarının kalorimetreye giriş sıcaklığı, 13. sütunda T_6 soğutma suyunun kalorimetreye giriş sıcaklığı, 14. sütunda T_7 eksoz gazlarının kalorimetreden çıkış sıcaklığı, 15. sütunda T_8 soğutma suyunun kalorimetreden çıkış sıcaklığı, 16. sütunda kalorimetredeki su debisi, 17. sütunda [ppm] olarak NO_x konsantrasyonu, 18. sütunda α hava fazlalık katsayısı, 19. sütunda O_2 yüzdesi, 20. sütunda hava-yakıt oranı değerleri yazılmıştır.

Bunların dışında OBD cihazının motorun ECU sistemine bağlanmasıyla yakıtın püskürtme basıncı, emme manifoldundaki basınç ve sıcaklık ve motor devri gibi niceliklerin ölçümü de yapılmıştır ve bu değerler de her deney için kaydedilmiştir. Ayrıca söz konusu tablodan görüleceği gibi; hata analizinin yapılabilmesi için her bir yükleme için tüm değerler 3'er kez okunarak değerlendirmeye alınmıştır.

SDY deneylerinde; 5 farklı devir sayısı için 6 farklı yükleme yapılmış ve her bir ölçüm 3 kez tekrarlandığından söz konusu devirlerde yaklaşık $5 \times 6 \times 3 = 90$ tane SDY deneyi gerçekleştirilmiştir. nBDYK deneylerinde ise; hacimsel olarak % (2, 4 ve 6) oranlarında nBDYK'larıyla birlikte bu işlemler her bir devir için, 6 farklı yükleme durumunda yapılmış ve SDY deneyindeki gibi ölçümler 3 kez tekrarlanmıştır. Böylece söz konusu devirlerde yaklaşık olarak $6 \times 3 \times 5 \times 3 = 270$ adet deney gerçekleştirilmiştir. Sonuçta; SDY ve nBDYK'ları için toplam olarak 360 tane deney yapılmıştır.

2.3. Deneysel Ölçümlerin Değerlendirilmesi ve Motor Performans Karakteristiklerinin Hesabı

Deneysel ölçülen verilerden bazıları örnek olarak Tablo 4'te gösterilmiştir. Tablo 4'teki değerlerden yararlanarak motor performans karakteristiklerinin hesabı aşağıda açıklandığı gibi yapılmıştır. Aşağıda sunulan çalışmada uygulanan hesap yöntemi kısaca tanıtılacaktır. Bu konu ile ilgili daha ayrıntılı bilgi [26, 27] nolu kaynaklardan bulunabilir. Burada uygulanan ve Durgun [26, 27] tarafından verilen hesap yöntemine göre; deneylerde ölçülen verilerden yararlanarak çeşitli motor performans karakteristikleri; MATLAB dilinde hazırlanmış bir program yardımı ile hesaplanabilmektedir. Söz konusu program daha önceden gerçekleştirilen proje çalışmaları için hazırlanmış ve kullanılmıştır. İlgili bilgisayar programı; Prof. Dr. Orhan DURGUN'un tavsiyeleri doğrultusunda, Doç. Dr. Zehra ŞAHİN, Yrd. Doç. Dr. Coşkun BAYRAM ve Makine Yüksek Mühendisi Mustafa KURT tarafından hazırlanmıştır. Program sonucunda hesaplanan değerler bilgisayardan tablolar şeklinde çıkmaktadır. Programdan hesaplanan motor performans karakteristikleri ile ilgili bir örnek, Tablo 5'te sunulmuştur. Motor performans karakteristiklerinin hesabına ilişkin başlıca bilgiler aşağıda alt başlıklar şeklinde sunulmuştur.

Tablo 4. Denede ölçülen büyüklüklere ait bir örnek

Tarih			Ortam Sıcaklığı T ₀ [°C]			Ortam Basıncı P ₀ [mmHg]		X _{nem}					Gaz Kolu Konumu				Yakıt Karşımı ve Oranı (%)			
03.10.2012			25.00			754.20		1.0093					2000 d/d sabit, gaz değişken				n-Bütanol		2.00	
Deney Kodu	Devir Sayısı n [d/d]	Yük F [N]	Yakıt Miktarı ΔV [mL]	Harcan. Süresi Δt [s]	Emme Havası Orifisi Δh[mmSS]	Soğutma Suyu Orifisi Δh[mmHg]	T1[°C]	T2[°C]	T3[°C]	T4[°C]	T5[°C]	T6[°C]	T7[°C]	T8[°C]	Kal. Su Debisi Q _{su} [L/d]	Azot Oksit NO _x [ppm]	Hava Fazlalık Katsayı α	Oksijen O ₂ [%]	Hava/ Yakıt H/Y	
1	2000	507	100	43.45	6.50	19.5	51	481	78	87	385	20	56	36	17.25	1220	1.303	4.62	18.97	
2	2011	502	"	43.5	6.50	20	53	482	78	87	403	20	58	36	"	1220	1.302	4.6	18.94	
3	2004	499	"	43.55	6.00	18	55	483	75	86	411	20	60	37	"	1210	1.293	4.48	18.77	
1-ORT	2,005.00	502.67	100	43.50	6.33	19.17	53.00	482.00	77.00	86.67	399.67	20.00	58.00	36.33	17.25	1,216.67	1.30	4.57	18.89	
1	2009	451	100	48.86	6.00	11	58	441	71	86	401	20	60	35	17.25	1260	1.444	6.11	20.97	
2	2008	452	"	48.39	6.50	10.5	59	439	71	86	399	20	60	35	"	1270	1.442	6.13	20.96	
3	2007	451	"	48.48	5.50	11	60	438	72	86	398	21	60	35	"	1288	1.445	6.16	21.05	
2-ORT	2,008.00	451.33	100	48.58	6.00	10.83	59.00	439.33	71.33	86.00	399.33	20.33	60.00	35.00	17.25	1,272.67	1.44	6.13	20.99	
1	2001	401	100	54.95	5.50	10.5	61	407	67	84	375	20	49	33	17.25	1163	1.576	7.32	22.91	
2	2005	401	"	54.72	5.50	9	61	406	65	84	373	20	49	34	"	1170	1.578	7.34	22.98	
3	2001	401	"	54.47	5.50	8.5	61	405	64	84	372	20	47	33	"	1165	1.581	7.36	22.98	
3-ORT	2,002.33	401.00	100	54.71	5.50	9.33	61.00	406.00	65.33	84.00	373.33	20.00	48.33	33.33	17.25	1,166.00	1.58	7.34	22.96	
1	2008	352	100	60.51	5.50	15	61	385	77	86	356	20	38	32	17.25	753	1.736	8.53	25.22	
2	2003	352	"	60.18	5.50	13.5	62	385	76	86	355	20	38	32	"	750	1.73	8.49	25.21	
3	2010	353	"	60.43	5.50	13.5	61	384	75	86	353	20	37	32	"	753	1.735	8.56	25.24	
4-ORT	2,007.00	352.33	100	60.37	5.50	14.00	61.33	384.67	76.00	86.00	354.67	20.00	37.67	32.00	17.25	752.00	1.73	8.53	25.22	
1	2009	301	100	69.39	5.00	23	60	360	80	85	336	20	35	31	17.25	504	1.941	9.78	28.21	
2	2016	301	"	68.85	5.00	12.5	61	357	74	84	332	20	35	31	"	493	1.941	9.81	28.21	
3	2010	301	"	68.74	5.50	9	61	357	70	84	330	20	35	31	"	494	1.942	9.8	28.21	
5-ORT	2,011.67	301.00	100	68.99	5.17	14.83	60.67	358.00	74.67	84.33	332.67	20.00	35.00	31.00	17.25	497.00	1.94	9.80	28.21	
1	2000	250	100	80.25	5.00	10	60	336	77	87	318	20	33	29	17.25	343	2.167	10.92	31.48	
2	2003	251	"	79.98	4.50	13	60	331	81	88	312	20	33	30	"	340	2.168	10.93	31.62	
3	2005	250	"	79.93	5.00	16	61	329	83	89	308	20	33	30	"	340	2.167	10.96	31.53	
6-ORT	2,002.67	250.33	100	80.05	4.83	13.00	60.33	332.00	80.33	88.00	312.67	20.00	33.00	29.67	17.25	341.00	2.17	10.94	31.54	

Tablo 5. Programdan hesaplanan motor performans karakteristiklerine bir örnek

Devir-n [d/d]	Döndürme momenti- M_d [Nm]	Efektif güç- N_e [kW]	Ortalama efektif basınç- P_{me} [MPa]	Özgül yakıt tüketimi- b_e [kg/kWh]	Efektif verim- η_e	Hava fazlalık katsayısı- α	Ekivalans- ϕ
2005.000	144.014	31.402	1.287	0.217	0.393	1.080	0.926
2008.000	129.307	28.237	1.155	0.216	0.395	1.174	0.852
2002.333	114.887	25.018	1.026	0.216	0.394	1.267	0.790
2007.000	100.944	22.033	0.902	0.223	0.383	1.398	0.716
2011.667	86.237	18.866	0.770	0.227	0.374	1.549	0.646
2002.667	71.721	15.620	0.641	0.237	0.360	1.739	0.575
Devir-n [d/d]	Döndürme momenti- M_d [Nm]	Efektif güç- N_e [kW]	Ortalama efektif basınç- P_{me} [MPa]	Özgül yakıt tüketimi- b_e [kg/kWh]	Efektif verim- η_e	Hava fazlalık katsayısı- α	Ekivalans- ϕ
2498.333	144.778	39.379	1.295	0.218	0.391	1.107	0.904
2503.000	131.695	35.887	1.178	0.218	0.391	1.203	0.831
2509.667	117.179	32.017	1.048	0.225	0.378	1.305	0.766
2505.333	103.236	28.158	0.923	0.228	0.374	1.444	0.693
2502.667	88.433	24.095	0.791	0.235	0.363	1.609	0.622
2502.667	75.732	20.634	0.677	0.242	0.352	1.805	0.554
Devir-n [d/d]	Döndürme momenti- M_d [Nm]	Efektif güç- N_e [kW]	Ortalama efektif basınç- P_{me} [MPa]	Özgül yakıt tüketimi- b_e [kg/kWh]	Efektif verim- η_e	Hava fazlalık katsayısı- α	Ekivalans- ϕ
2996.000	132.650	43.405	1.190	0.223	0.382	1.078	0.928
3003.333	120.044	39.376	1.077	0.232	0.367	1.140	0.877
3005.333	104.859	34.418	0.941	0.241	0.353	1.245	0.803
3009.000	91.489	30.066	0.821	0.245	0.348	1.404	0.712
3008.333	77.355	25.416	0.694	0.250	0.340	1.618	0.618
3005.000	62.839	20.623	0.564	0.262	0.325	1.884	0.531
Devir-n [d/d]	Döndürme momenti- M_d [Nm]	Efektif güç- N_e [kW]	Ortalama efektif basınç- P_{me} [MPa]	Özgül yakıt tüketimi- b_e [kg/kWh]	Efektif verim- η_e	Hava fazlalık katsayısı- α	Ekivalans- ϕ
3508.333	120.617	46.204	1.082	0.233	0.366	1.194	0.837
3510.000	105.432	40.406	0.946	0.241	0.353	1.296	0.771
3517.000	92.349	35.463	0.828	0.250	0.341	1.417	0.706
3510.667	79.074	30.310	0.709	0.262	0.325	1.570	0.637
3501.000	64.940	24.824	0.582	0.274	0.310	1.837	0.544
3496.333	50.138	19.140	0.450	0.294	0.290	2.204	0.454
Devir-n [d/d]	Döndürme momenti- M_d [Nm]	Efektif güç- N_e [kW]	Ortalama efektif basınç- P_{me} [MPa]	Özgül yakıt tüketimi- b_e [kg/kWh]	Efektif verim- η_e	Hava fazlalık katsayısı- α	Ekivalans- ϕ
3996.667	113.263	49.066	1.009	0.247	0.345	1.146	0.873
4023.333	99.893	43.563	0.889	0.246	0.346	1.257	0.796
4021.000	87.574	38.168	0.780	0.253	0.337	1.409	0.710
3997.333	73.535	31.861	0.655	0.262	0.325	1.603	0.624
3997.000	58.446	25.321	0.520	0.282	0.302	1.866	0.536
4017.333	44.885	19.545	0.400	0.312	0.273	2.192	0.456

2.3.1. Döndürme Momenti

Şekil 12’de görüldüğü gibi, deney düzeneğinde motorun yüklenmesini ve döndürme momentinin ölçülmesini sağlayacak hidrolik dinamometre (su freni) bulunmaktadır. Şekil 12’de (13) numara ile su freni gösterilmiştir. Motorun yüklenmesine bağlı F kuvveti, Şekil 12’de gösterildiği gibi deney düzeneğindeki konsolda bulunan ve (4) numara ile gösterilen dijital okuyucudan (Newton) biriminde okunmaktadır. Moment kolu uzunluğu deney sistemi kataloğunda $L=0.2865$ m olarak verilmiştir [28, 29]. Böylece motorun M_d döndürme momenti,

$$M_d[\text{Nm}] = F \cdot L \quad (1)$$

bağıntısından hesaplanabilir.

2.3.2. Efektif Güç

Motorun devir sayısı (n), hidrolik dinamometre mili üzerine yerleştirilen dişli-sensör çifti yardımıyla deney düzeneğindeki konsolda bulunan dijital okuyucudan, [devir/dakika] biriminde okunmaktadır. Motorun döndürme momenti de bilindiğine göre $N_{e,1}$ efektif gücü,

$$N_{e,1}[\text{kW}] = \frac{M_d \cdot \omega}{1000} \quad (2)$$

bağıntısından hesaplanabilir. Burada ω açısal hızı,

$$\omega[1/\text{s}] = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (3)$$

dır. Deneyin yapıldığı P_0 ve T_0 dış ortam koşulları ve havanın nemi motor performansını etkileyebilir. Farklı koşullarda yapılan motor deneylerinin sonuçlarının, birbiri ile sağlıklı bir şekilde karşılaştırılabilmesi için, standart koşullara dönüştürülmeleri ve nem açısından düzeltilmeleri gerekir. Yaş ve kuru termometre sıcaklıklarına göre, Durgun [26] tarafından

verilen düzeltme eğrisinden, x_{nem} nem düzeltme katsayısı okunmuştur. Standart atmosfer koşulları 20 [°C] ve 1.013 10⁵ [Pa] alınır ve deney koşullarındaki sıcaklık T_0 ve basınç P_0 ise deney sonunda belirlenen $N_{e,1}$ efektif gücü dizel motorları için verilen,

$$N_e[\text{kW}] = N_{e,1} \cdot X_{nem} \cdot \frac{0.1013}{p_0} \cdot \frac{T_0}{293} \quad (4)$$

bağıntısı kullanılarak standart koşullara dönüştürülebilir.

2.3.3. Özgül Yakıt Tüketimi

Deney düzeneğinde bulunan deney tüpünden $\Delta V=100$ mL yakıtın Δt [s] harcanma süresi ölçülerek yakıt tüketimi belirlenmektedir. Yani sunulan çalışmada 100 mL dizel yakıtının harcanma süresi ölçülmüştür. Buna göre saatlik toplam yakıt tüketimi;

$$B[\text{kg/h}] = \frac{\Delta m_y}{\Delta t} = \frac{\Delta V \cdot \rho_y \cdot 3600}{\Delta t \cdot 10^6} \quad (5)$$

bağıntısından bulunabilir. Motorun özgül yakıt tüketimi (ÖYT) ve efektif verimi ise;

$$b_e[\text{kg/kWh}] = \frac{B}{N_e} \quad (6)$$

$$\eta_e = \frac{3600}{H_u \cdot b_e} \quad (7)$$

bağıntılarından belirlenebilir. Burada yakıtın alt ısıl değeri çok iyi bilinen,

$$H_u[\text{kJ/kg}] = [33.91 \cdot c' + 125.6 \cdot h' - 10.89 \cdot (oy' - s') - 2.51 \cdot (9h' - w')] \cdot 10^{-3} \quad (8)$$

Mendeleyev formülünden hesaplanmıştır [29, 30]. Isıl değerin hesabında ve diğer yanma hesaplarında gerekli olan; yakıtın elemansel bileşimi ile ilgili c' , h' , oy' , s' ve w' değerleri yakıtın kapalı (kimyasal) formülünden yararlanarak belirlenmiştir. Söz konusu değerler Tablo 6'da verilmiştir. Ayrıca dizel yakıtının, etanol ve n-bütanol yakıtının başlıca özellikleri de Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Dizel yakıtı, etanol ve n-bütanolün başlıca özellikleri [4, 6, 20, 29]

	Dizel yakıtı	Etanol	n-Bütanol
Kimyasal formül (kapalı formül)	$C_{14.342}H_{24.75}O_{0.0495}$	C_2H_5OH	C_4H_9OH
Mol kütlesi [kg/kmol]	198.0017 ^{***}	46.07 ^{***}	74.123 ^{***}
Yoğunluk [kg/m ³]	823 *	785	794*
Alt ısıl değer [kJ/kg]	42437.34 ^{**}	27423.24 ^{**}	33630.8 ^{**}
Setan sayısı	45	8	25
Buharlaşma gizli ısısı [kJ/kg]	270	904	581,4
Kaynama noktası [°C]	180-360	78	118
Buharlaşma basıncı [kPa]	-	5.93	0.6
Buharlaşma sıcaklığı [°C]	-	20	20
Parlama noktası [°C]	≥55	13-14	35-37
Kinematik vizkozite, 20 °C'de, [mm ² /s]	3.4	1.20	3.64
Elemansel bileşim	$c' = 0.87,$ $h' = 0.126,$ $oy' = 0.004$	$c' = 0.521,$ $h' = 0.131,$ $oy' = 0.347$	$c' = 0.648,$ $h' = 0.136,$ $oy' = 0.216$
Fiyat [TL/L], Ekim 2012	4.28	9.44	26.28

* Laboratuarda ölçülmüştür. ** Mendeleyev formülünden hesaplanmıştır.

*** Kimyasal formülden hesaplanmıştır.

2.3.4. Hava Fazlalık Katsayısı

Emilen havanın motora mümkün olduğu kadar sabit debide girebilmesi için deney düzeneği girişinde bir hava deposu bulunmaktadır. Deponun hava giriş kısmında çapı, $d=71.92$ mm olan bir orifis yer almaktadır [28]. Eğik manometrenin bir ucu atmosfere açıktır ve diğer ucu hava deposuna bağlıdır. Motora emilen havanın debisini belirlemek amacıyla; deney düzeneğinde bulunan eğik manometredeki yükseklik değişimi (basınç farkı) Δh [mmSS] olarak, deney anındaki T_0 ortam sıcaklığı bir termometreden [$^{\circ}\text{C}$] cinsinden ve P_0 basıncı bir barometreden [mmHg] cinsinden ölçülmektedir. Böylece emilen havanın hacimsel debisi;

$$\dot{Q}_h [\text{L/d}] = 0.2087 \cdot C \cdot Z_D \cdot Z_R \cdot \varepsilon \cdot E \cdot d^2 \cdot \left[\frac{\Delta h}{\rho_h} \right]^{0.5} \quad (9)$$

ve havanın kütleli debisi;

$$\dot{m}_h [\text{kg/d}] = \dot{Q}_h \cdot \rho_h \cdot 10^{-3} \quad (10)$$

bağıntılarından hesaplanabilir. Burada havanın yoğunluğu;

$$\rho_h [\text{kg/m}^3] = \frac{p_0 \cdot (13.6) \cdot (9.81)}{287 \cdot T_0} \quad (11)$$

bağıntısından bulunmaktadır. (9) bağıntısındaki C orifis katsayısı 0.596, Z_D boru boyu düzeltme faktörü 1, Z_R Reynolds sayısı düzeltme katsayısı 1, ε genişleme faktörü 1, E hız faktörü 1 olarak, deney düzeneği kataloğundan yararlanarak, seçilmiştir. Bu değerlere göre havanın hacimsel debisi yeniden düzenlenirse,

$$\dot{Q}_h [\text{L/d}] = 643.4573 \cdot \left[\frac{\Delta h}{\rho_h} \right]^{0.5} \quad (12)$$

bağıntısı elde edilebilir. Bu bağıntı pratikte normal koşullarda bulunan havanın yoğunluğu için debiyi, yaklaşık olarak % 5'lik hata ile verir. Daha doğru bir debi hesabı için (12) bağıntısından bulunan debi; tahmini debi olarak alınarak,

$$R_d = (0.2124) \cdot \frac{\dot{Q}_h \cdot \rho_h}{\mu \cdot d} \quad (13)$$

Reynold sayısı yeniden hesaplanır. Burada μ [g/cm.s] havanın mutlak viskozitesidir. Hesaplanan Reynolds sayısına göre Z_R Reynolds sayısı düzeltme faktörü ve ε genişleme faktörü, deney düzeneği kataloğundan yeniden seçilir ve (9) bağıntısında yerlerine yazılarak havanın hacimsel debisi daha doğru bir şekilde belirlenebilir. Sunulan çalışmada bütün bu hesap aşamaları hazırlanan bilgisayar programı ile gerçekleştirilebilmektedir.

Birim zamanda (1 saatte) harcanan yakıt miktarı B [kg/h] toplam yakıt tüketimi olarak bilindiğine göre, hava fazlalık katsayısı,

$$\alpha = \frac{h}{h_{\min}} = \frac{1}{\phi} \quad (14)$$

bağıntısından kolayca hesaplanabilir. Burada ϕ ekivalans oranıdır. h gerçek ve h_{\min} teorik hava miktarları ise aşağıdaki bağıntılardan yararlanarak bulunabilir;

$$h \left[\frac{\text{kg hava}}{\text{kg yakıt}} \right] = \frac{60 \cdot m_h}{B} \quad (15)$$

$$h_{\min} \left[\frac{\text{kg hava}}{\text{kg yakıt}} \right] = \frac{1}{0.234} \cdot \left[\frac{8}{3} \cdot c' + 8 \cdot h' - o'_y \right] \quad (16)$$

2.3.5. Soğutma Suyunun Debisinin Ölçülmesi

Soğutma suyunun debisini belirlemek amacıyla deney düzeneğinde bir cıvalı U manometresi kullanılmaktadır. Soğutma suyunun hacimsel debisi deney düzeneği kataloğunda verilen,

$$\dot{Q}_s [\text{L/d}] = (0.2087) \cdot C \cdot Z_D \cdot Z_R \cdot E \cdot \left[\frac{\Delta h}{\rho_s} \right] \quad (17)$$

$$E = \frac{1}{\sqrt{(1-m^2)}} \quad (17a)$$

$$m = \left(\frac{d}{D} \right)^2 \quad (17b)$$

bağıntısından hesaplanabilir [28]. (17) bağıntısında Δh [mmSS] orifis girişindeki basınç farkı, ρ_s [kg/m³] suyun yoğunluğu (suyu saf varsayıp 20 °C’de ve 0.1 MPa atmosfer basıncında $\rho_{su} = 998.21$ kg/m³ alınabilir), C orifis katsayısı 0.6059, Z_D boru boyu düzeltme faktörü 1.0125, Z_R Reynolds sayısı düzeltme katsayısı 1, E hız faktörü, d orifisin çapı (23.5 mm) ve D orifis öncesi su borusunun çapı (39.6 mm) olarak deney düzeneği kataloğundan belirlenmiştir. Bu değerlere göre soğutma suyunun hacimsel debisi yeniden düzenlenirse,

$$\dot{Q}_s [\text{L/d}] = 75.524 \cdot Z_R \cdot \sqrt{\Delta h / \rho_s} \quad (18)$$

bağıntısı elde edilir. Burada Δh , [mmSS] biriminde orifisin girişindeki basınç farkıdır. Cıvalı U manometresinde [mmHg] biriminde okuma yapılır. Bu nedenle aşağıdaki gibi bir düzenleme ile yükseklik farkı Δh [mmSS]’ya dönüştürülebilir.

$$\Delta h = \frac{\rho_{civa}}{\rho_s} \cdot \Delta h^* \quad (19)$$

Burada Δh^* [mmHg], cıvalı U manometresinden okunan değerdir. Böylece 20 °C’de $\Delta h = 13.57 \cdot \Delta h^*$ alınabilir. Eşitlik 17’den hesaplanan suyun hacimsel debisi hatalı olabilir. (17) bağıntısından bulunan debi tahmini debi olarak alınarak Reynolds sayısı aşağıdaki gibi yeniden hesaplanır.

$$R_d = (0.2124) \cdot \left(\frac{\dot{Q}_s \cdot \rho_s}{\mu_s \cdot d} \right) \quad (20)$$

Burada μ [g/cm.s] suyun mutlak viskozitesidir. Hesaplanan Reynolds sayısına göre Z_R Reynolds sayısı düzeltme faktörü deney düzeneği kataloğundan yeniden seçilir ve 17 eşitliğinde yerine yazılarak soğutma suyunun hacimsel debisi daha doğru bir şekilde belirlenebilir. Sunulan çalışmada, bilgisayar programına; Reynolds sayısına göre Z_R Reynolds sayısı düzeltme faktörünü veren, deney düzeneği kataloğundan verilen verilere eğri uydurularak elde edilmiş, bir bağıntı eklenmiştir. Program hesaplanan Reynolds sayısına göre bu bağıntıdan yararlanarak Z_R düzeltme katsayısını doğrudan belirleyebilmektedir.

2.3.6. n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Yoğunluğunun, Alt Isıl Değerinin ve Teorik Hava Miktarının Hesaplanması

nBDYK'larının yoğunluğunun, alt ısıl değerinin ve teorik hava miktarı değerlerinin hesaplamasıyla ilgili bağıntılar aşağıdaki gibidir. Burada sıvı yakıt karışımları ile ilgili, Durgun [29] tarafından uygulanmış olan yaklaşım kullanılmıştır.

$$\rho_{nBDYK} [\text{kg/m}^3] = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot \rho_i) / 100 \quad (21)$$

$$H_{u,nBDYK} [\text{kJ/kg}] = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot \rho_i \cdot H_{u,i})}{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot \rho_i)} \quad (22)$$

$$h_{\min,nBDYK} [\text{kg hava/kg yakıt}] = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot \rho_i \cdot h_{\min,i})}{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot \rho_i)} \quad (23)$$

Buradaki x_i dizel yakıtının ve n-bütanolün karışımdaki hacimsel oranları, ρ_i dizel yakıtının ve n-bütanolün yoğunlukları, $H_{u,i}$ dizel yakıtının ve n-bütanolün alt ısıl değerleri, $h_{min,i}$ ise dizel yakıtının ve n-bütanolün teorik hava miktarı değerleridir. ρ_i , $H_{u,i}$ ve $h_{min,i}$ ifadelerinin de birimleri sırasıyla $[\text{kg}/\text{m}^3]$, $[\text{kJ}/\text{kg}]$ ve $[\text{kg hava}/\text{kg yakıt}]$ 'tır. Dizel yakıtının ve n-bütanolün başlıca özellikleri Tablo 6'da verilmektedir.

2.3.7. Motor Performans Karakteristikleri ve Eksoz Emisyonları Değerlerinin Değişim Oranlarının Hesaplanması ve Yakıt Maliyeti Analizi

Efektif güç ve diğer motor performans karakteristiklerinin değişim oranları ile eksoz emisyonlarının değişim oranları aşağıdaki yaklaşımda verildiği gibi benzer şekilde hesaplanmaktadır [29].

$$\frac{\Delta N_e}{N_e} \cdot 100[\%] = \left(\frac{\Delta N_{e,nBDYK} - \Delta N_{e,SDY}}{\Delta N_{e,SDY}} \right) \cdot 100 \quad (24)$$

Buradaki $N_{e,nBDYK}$ ve $N_{e,SDY}$ sırasıyla nBDYK'yla ve SDY'yla yapılan deneyler sonucu hesaplanan efektif güçleridir.

Prof. Dr. Orhan Durgun [29] tarafından geliştirilen pratik maliyet analizi bağıntısı kullanılarak n-bütanol karışımları için maliyet analizi yapılmıştır ve SDY'na göre karşılaştırmalar sunulmuştur. Söz konusu bağıntı;

$$\frac{\Delta F}{F_1} \cdot 100[\%] = \frac{F_2 - F_1}{F_1} \cdot 100 = \left[\frac{x_1 + \sum_{i=1}^n x_i \cdot r_i}{x_1 + \sum_{i=1}^n x_i \cdot s_i} \left(1 + \frac{\Delta b_e}{b_e} \right) - 1 \right] \cdot 100 \quad (25)$$

dır. Burada;

$$r_i = F_i / F_1, \quad r_1 = F_1 / F_1 = 1, \quad r_2 = F_2 / F_1 = 26.8 / 4.28 = 6.262$$

$$S_i = \rho_i / \rho_d, \quad S_1 = \rho_d / \rho_d = 1, \quad S_2 = \rho_b / \rho_d = 794 / 823 = 0.965$$

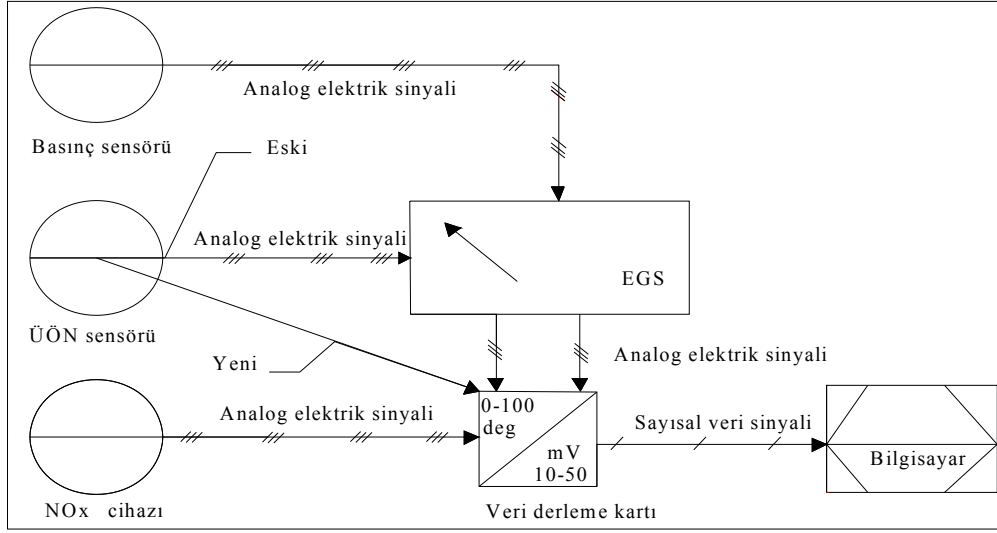
dır. Ayrıca buradaki F_1 dizel yakıtının, F_2 ise n-bütanolün fiyatıdır, ρ_d ve ρ_b sırasıyla dizel yakıtının ve n-bütanolün yoğunluklarıdır. $\Delta b_e/b_e$ ise ÖYT'nin değişim oranıdır. (F_1, F_2) , (ρ_1, ρ_2) ve b_e büyüklüklerinin birimleri sırasıyla [TL/L], [kg/m³] ve [kg/kWh] dir [11].

2.3.8. Silindir İçindeki Gazların Basınç Değişiminin (İndikatör Diyagramının) Elde Edilmesi

Deney düzeneğine bağlı bulunan Renault marka K9K 700 tipi taşıt dizel motorunun 1. silindirinde oluşan gaz basıncı; bir basınç sensörü tarafından düşük voltajlı sinyallere dönüştürülmektedir. Basınç sensöründen alınan bu sinyaller önce amplifikatörde yükseltilmekte, daha sonra elektronik gösterge sisteminde işlenerek krank mili açısına göre basınç verileri elde edilmektedir. Krank mili açısı değerleri için iki adet konum sensörü kullanılmaktadır. Motorda bulunan sensörlerin ve veri derleme kartına aktarılan değerlerin şematik gösterimi Şekil 13'te gösterilmiştir. Cussons firması tarafından sisteme monte edilmiş Ford motorunda kullanılan konum sensörleri eksoz çıkışına yakın olduğundan sürekli yanarak devre dışı kalmaktaydı. Bu yetersizliği gidermek üzere sistem üzerinde önceden yapılmış olan deneysel çalışmalarda motorun püskürtme basıncı için kullandığı üst ölü nokta (ÜÖN) sensöründen veri alınması başarılmış ve Cussons firması tarafından kullanılan ÜÖN sensörü devre dışı bırakılmıştır [29]. Krank mili açısına göre elde edilen basınç verileri bir veri derleme kartı aracılığı ile bilgisayara aktarılmaktadır. Burada 16 kanallı ve saniyede 250 adet örnek alabilen National Instrument tarafından üretilmiş NI PCI-6221 tipi veri derleme kartı kullanılmıştır. Sunulan çalışmada kullanılan indikatör sistemi ile ilgili ayrıntılı bilgiler [29]'da bulunabilir. Aşağıdaki paragraflarda indikatör sistemi kısaca tanıtılacaktır.

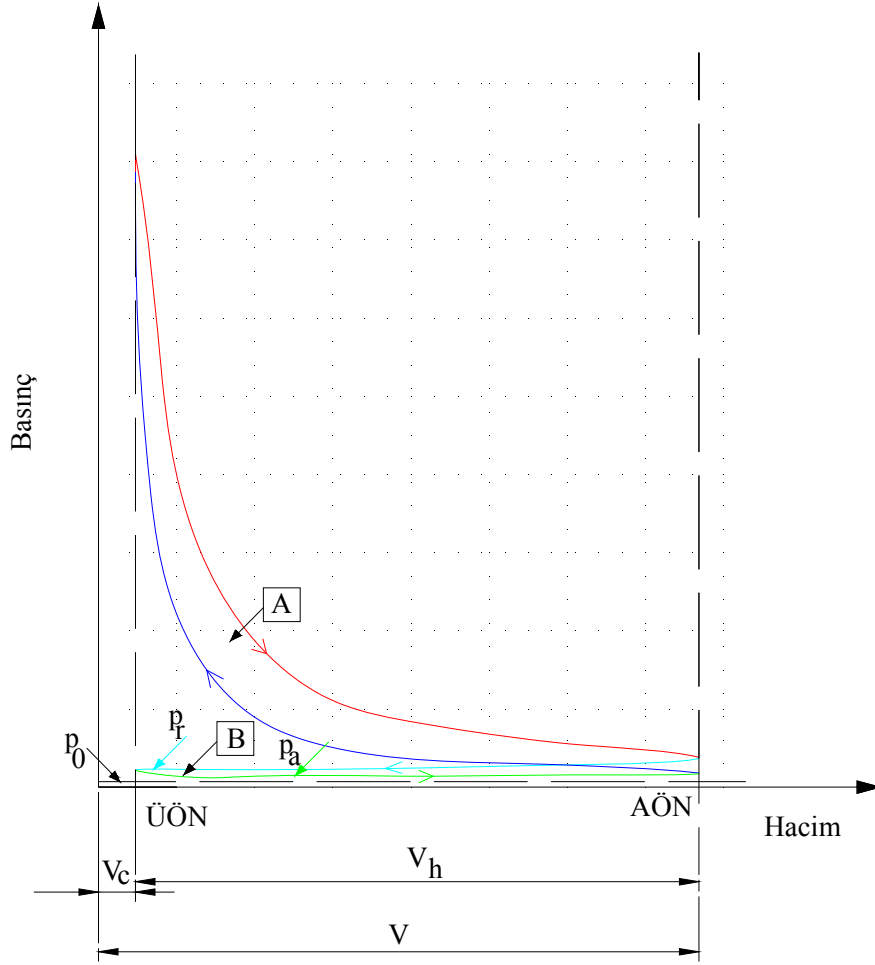
Motordan gelen sinyallerin işlenip, bilgisayara yeterli duyarlılıkta kalibre edilmiş biçimde aktarılabilmesi amacı ile veri derleme kartı için uygun bir program yazılmıştır. İlgili program Dr. Elektronik Mühendisi Mehmet TURHAL ve Makine Yüksek Mühendisi Mustafa KURT tarafından hazırlanmıştır. Bölüm 2.3.8'de açıklandığı şekilde elde edilen ÜÖN verileri ile silindir içerisinde gazlar için elde edilen basınç verilerinin birlikte değerlendirilmesi, MATLAB'da hazırlanan bir program ile sağlanmıştır. Bu programda; her seferinde alınan 320000 adet veri içerisinde, çevrim dizisinin başlangıç ve bitiş noktaları belirlenmiş ve arada kalan veriler arasından, ardışık şekilde, motor devrine de

bağlı olarak ortalama 100 adet çevrimin hesabı yapılmıştır. Bu çevrimlerin ortalaması alınarak veriler değerlendirilmektedir. Aynı zamanda ÜÖN'ya göre krank milinin konumu krank mili açısı olarak bilindiğine göre ilgili dönüşümler yapılarak basınç değerleri strok hacmine göre de belirlenebilir. Böylece 1. silindir için p- θ ve p-V diyagramları elde edilebilir.



Şekil 13. Deney sistemine yerleştirilen sensörlerden alınan sinyallerin elektronik kontrol ünitesi ve veri derleme kartı ile bilgisayara aktarılmasını gösteren şematik şekil

1. silindir için böylece elde edilmiş olan p- θ ve p-V diyagramlarının, diğer silindirlerde de benzer şekilde oluştuğu kabul edilebilir. Şekil 14'te görüldüğü gibi; indikatör diyagramının artı bölümünün A alanı silindir içindeki gazların gerçekte yaptığı işi yani indike işi vermektedir. İndike iş bir çevrim için geçen zamana bölünerek N_i indike gücü elde edilebilir. İndikatör diyagramının artı bölümünün alanı bir planimetre ile ölçülebilir veya sayısal alan hesaplama yöntemlerinden biri, örneğin Simpson yöntemi, uygulanarak belirlenebilir. Sunulan çalışmada indikatör diyagramının alanı bilgisayar programı ile sayısal olarak hesaplanmıştır. Şekil 14'te B ile gösterilen alan ise motorun dolgu değişim işlemine harcanan negatif işi göstermektedir.



Şekil 14. Dört zamanlı turboşarjlı motorların karakteristik indikatör diyagramı
(Burada p_r eksoz basıncı ve p_a emme sonu basıncıdır.)

Motorun krank milinden elde edilen N_e efektif gücü dinamometre aracılığı ile deneysel olarak belirlenmektedir. Böylece N_i ve N_e güçleri bu şekilde bulunarak mekanik kayıplara harcanan güç aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$N_m = N_i - N_e \quad (26a)$$

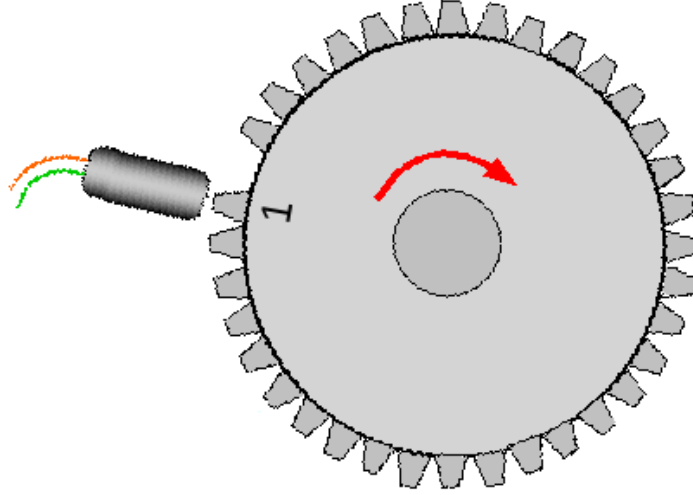
Böylece mekanik verim de yukarıdaki verilerden yararlanarak,

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} \quad (26b)$$

bağıntısından bulunabilir.

2.3.9. Renault K9K 700 Tipi Dizel Motorunun ÜÖN'nun Belirlenmesi

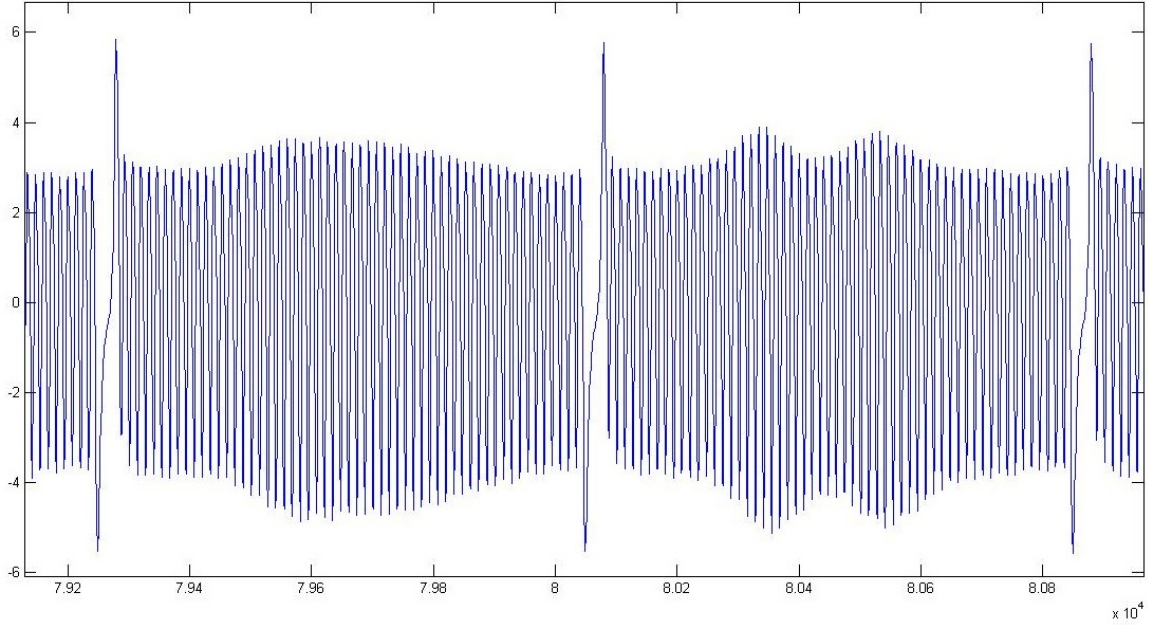
Renault K9K 700 tipli DP dizel motorun volanı “60-2 diş” olarak adlandırılan tiptedir. Volanın üzerinde 58 adet diş yer almaktadır ve iki adet diş yeri, referans noktası olarak belirlenmek üzere boş bırakılmıştır. Renault fabrikası ile yapılan görüşmelerde, bu referans noktasından sonraki 15. dişin tam orta noktasının, birinci silindir için ÜÖN pozisyonuna karşı geldiği öğrenilmiştir. Bu bilginin doğrulanması, orijinal Renault aksesuarları yardımı ile motor senteye alınarak yapılan gözlemler sonunda sağlanmıştır. Şekil 15'te 60-2 diş olarak adlandırılan volanın şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 15. 60-2 Diş tip volanın şematik gösterimi

Daha önceden deney sisteminde ÜÖN'nun belirlenmesi için konum sensörleri kullanılmaktaydı. Ancak sunulan çalışmada kullanılan motor için Makine Yüksek Mühendisi Mustafa KURT tarafından düzenlenen sistemden yararlanıldığından, konum sensörüne gerek kalmamış ve motorun üzerindeki sensör aracılığı ile ÜÖN belirlenmiştir. Bu amaçla; Renault K9K 700 tipi DP dizel motorunun volanından sinyal elde edebilmek için, ÜÖN sensörüne paralel bağlı, toplam 110 kOhm dirence sahip bir devre kullanılmıştır. Böylece sensörden geçen akımın çok küçük bir bölümü, motorun çalışmasına engel oluşturmayacak şekilde, veri kartına aktarılmıştır. Şekil 16'da, Renault K9K 700 tipi DP dizel motorunun ÜÖN sensörünün ürettiği sinyalin büyütülmüş görüntüsü verilmiştir. Şekil 16'da görülen sinyal veri grubu içerisinde, volan üzerinde

bulunan ve 2 diş boşluğuna karşı gelen boşluklar açıkça görülebilmektedir. Bu veri grubu, krank milinin iki devrini göstermektedir ve içerisinde 1 adet çevrimin yer aldığı bilinmektedir.



Şekil 16. Renault K9K 700 tipi motorunun ÜÖN sensörünün ürettiği sinyal

Yukarıda da açıklandığı gibi, Renault firması ile yapılan görüşmeler ve motorun senteye alınmasının ardından yapılan doğrulamalar sonucunda, referans olarak kullanılan boşluktan sonraki 15. dişin orta noktasının, birinci silindir için ÜÖN'ya karşı geldiği bilinmektedir. Sensörün ürettiği sinyal, "belirli bir değişimin olmadığı durumun orta noktasında" tam olarak sıfır noktasından geçmektedir. Örneğin, bir dişin başlangıç noktasında maksimum gerilim, bitiş noktasında minimum gerilim üretmekte ve dolayısı ile tam orta noktasında gerilim değeri sıfır olmaktadır. Bu bilgi doğrultusunda, 15. dişin tam orta noktasına karşı gelen sıfır geçişi, MATLAB programında belirlenerek, çevrim hesabı için gerekli düzenlemeler daha önceden gerçekleştirilmiş ve "Dizel Motorlarında Ek Oksijen Kullanımının Deneysel Olarak İncelenmesi" projesi kapsamında Makine Yüksek Mühendisi Mustafa KURT tarafından yapılmıştır [31].

2.4. Hata Analizi

Sunulan tezde, nBDYK ve SDY deneylerindeki tüm ölçümler 3'er kez yapılmıştır. Böylece 3'er ölçüm kullanılarak hata analizi gerçekleştirilmiştir. Ölçülen değerlere, Durgun [26] tarafından verilen, Kline ve McClintock'un [32] yöntemi uygulanarak hata analizi yapılmıştır. Hata analizinde, her bir değer için 3'er kez ölçüm yapıldığı için, deney sonuçlarına aşağıdaki gibi Student's-t dağılımı uygulanmıştır.

$$\Delta = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}} \quad (27)$$

Burada % 5 anlamlılık düzeyi olasılığı % 95'tir ve böylece t değeri ilgili tablodan $v=2$ için $t=0.403$ olarak elde edilebilir. Ayrıca n ölçüm sayısıdır ve dolayısı ile serbestlik derecesi $v = n - 1$ 'dir. Sunulan çalışmada her ölçüm 3'er kez tekrarlandığı için $n=3$ ve $v=2$ 'dir.

Çeşitli terimlerdeki hatalar, iyi bilinen deneysel verilerin analizi yöntemi uygulanarak, belirlenmiştir. Örneğin moment değerlerinin belirsizlik aralığı % (0.1-0.5) olarak bulunmuştur. Efektif güç, ÖYT ve efektif verim gibi türetilmiş büyüklükler için de hata analizi uygulanmıştır. Kline ve McClintock'un yönteminin uygulanması ile yapılan hata analizi sonunda; örneğin efektif güçteki belirsizlik aralığının % (0.04-0.5) olduğu belirlenmiştir. Diğer hata analizi sonuçları incelendiğinde temel ölçümlerin tahmin edilen hatalarının, ÖYT ve efektif verimdeki belirsizliklerin % (0.1-6.5) aralığında olduğu açıkça görülebilir. Buradan temel büyüklüklerin ölçülmesindeki ve türetilmiş büyüklüklerdeki tahmin edilen hataların sonuçların belirsizliğini belirgin şekilde etkilemeyeceği söylenebilir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sunulan tez çalışmasında; n-bütanol-dizel yakıtı karışımlarının (nBDYK'larının) kullanılmasının motor performans karakteristikleri, eksoz emisyonları, basınç-krank mili açısı ($p-\theta$) ve basınç-hacim ($p-V$) üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca 2000 d/d'da n-bütanolün emme kanalından emilen havanın içerisine püskürtüldüğü n-bütanol fumigasyonu da deneysel olarak incelenmiştir. n-Bütanol fumigasyonu deneyleri yalnızca 2000 d/d'da 146 Nm ve 132 Nm döndürme momenti durumlarında gerçekleştirilmiştir. Tezin bu bölümünde deneysel sonuçlar sunulmuştur. Burada önce Renault K9K 700 tipi turboşarjli common-rail püskürtme sistemine sahip DP dizel motorunun, tam gaz durumunda saf dizel yakıtı (SDY) için hız karakteristikleri sunulmuştur. Daha sonra nBDYK sonuçları ve ardından da n-bütanol fumigasyonu sonuçları verilmiştir.

nBDYK sonuçlarının sunulmasında izlenen yol şu şekildedir. Öncelikle nBDYK'larının duman koyuluğunu gösteren K is faktörü üzerindeki etkisine ilişkin sonuçlar verilmiştir. K is faktörü, cihazın niteliği dolayısı ile yalnızca tam gaz durumunda ölçülebilmektedir. (2000, 2500 ve 3000) d/d için ölçülebilen K is faktörünün n-bütanol oranlarına göre değişimleri sunulmuştur. Ardından da SDY'na göre K is faktöründeki artma-azalma oranları bar grafikleri şeklindeki değişimlerle verilmiştir.

Daha sonra nBDYK sonuçlarının sunulmasına devam edilmiştir. Burada nBDYK'larının (2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000) d/d'daki motor performans karakteristikleri ile yakıt maliyeti analizi ve eksoz emisyonları (NO_x , eksoz gazı sıcaklığı ve hava fazlalık katsayısı) üzerindeki etkileri şekiller halinde sırasıyla sunulmuştur. Önce nBDYK'larının herhangi bir karakteristik üzerindeki etkisinin eğrisi verilmiş hemen ardından ise o karakteristik büyüklükte SDY'na göre meydana gelen artma azalma bar grafikleri şeklindeki şekillerle sunulmuştur. Örneğin farklı yük değerleri için efektif gücün n-bütanol oranlarına göre değişimi çizilmiştir. Hemen ardından seçilen bazı yük değerleri için % 2, % 4 ve % 6 n-bütanol oranlarında bulunan efektif güç değerlerinin SDY'na göre artma ve azalma oranlarını gösteren bar grafiği verilmiştir. Sunulan tez çalışmasında sonuçların verilmesinde bu yol izlenmiştir. Yani önce farklı yük değerlerindeki bir karakteristik büyüklüğün n-bütanol oranlarına göre değişimleri, ardından da o karakteristik

büyükükte SDY'na göre meydana gelen değişim oranları sunulmuştur. Bütün devirlerde benzeri sunumlar yapılmıştır.

Sunulan tez çalışmasında, p- θ ve p-V değişimleri (2000 ve 4000) d/d'da tam gaz ve tam yükteki değişimleri de verilmiştir. Ardından ise tam yükten başlayarak yükün 50 N adımlarla azaltılması ile elde edilen yük değeri için p- θ ve p-V eğrileri verilmiştir. Motor deneylerinde kullanılan soğutmasız basınç sensörü çok kolay hasar görebildiğinden diğer devirlerde basınç değerleri alınmamıştır. Burada önemli olduğu için momentin yaklaşık olarak maksimum olduğu 2000 d/d ile gücün maksimum olduğu 4000 d/d (nominal devir), basınç değerleri için örnek devirler olarak seçilmiştir. Böylece 2000 d/d'daki motor performans karakteristikleri ve eksoz emisyonları ile ilgili sonuçların ardından p- θ ve p-V eğrileri de verilmiştir. Aynı şekilde 4000 d/d için de benzeri eğriler sunulmuştur.

Şekillerde nBDYK'larının deney sonuçları verilirken karışım oranları tamsayı olarak % 2, % 4 ve % 6 olarak belirtilmiştir. Ancak karışım yakıtının hacimsel kaplarda kolay hazırlanabilmesi için Tablo 7'de verildiği üzere bu oranlarında bazı düzeltmelere gidilmiştir.

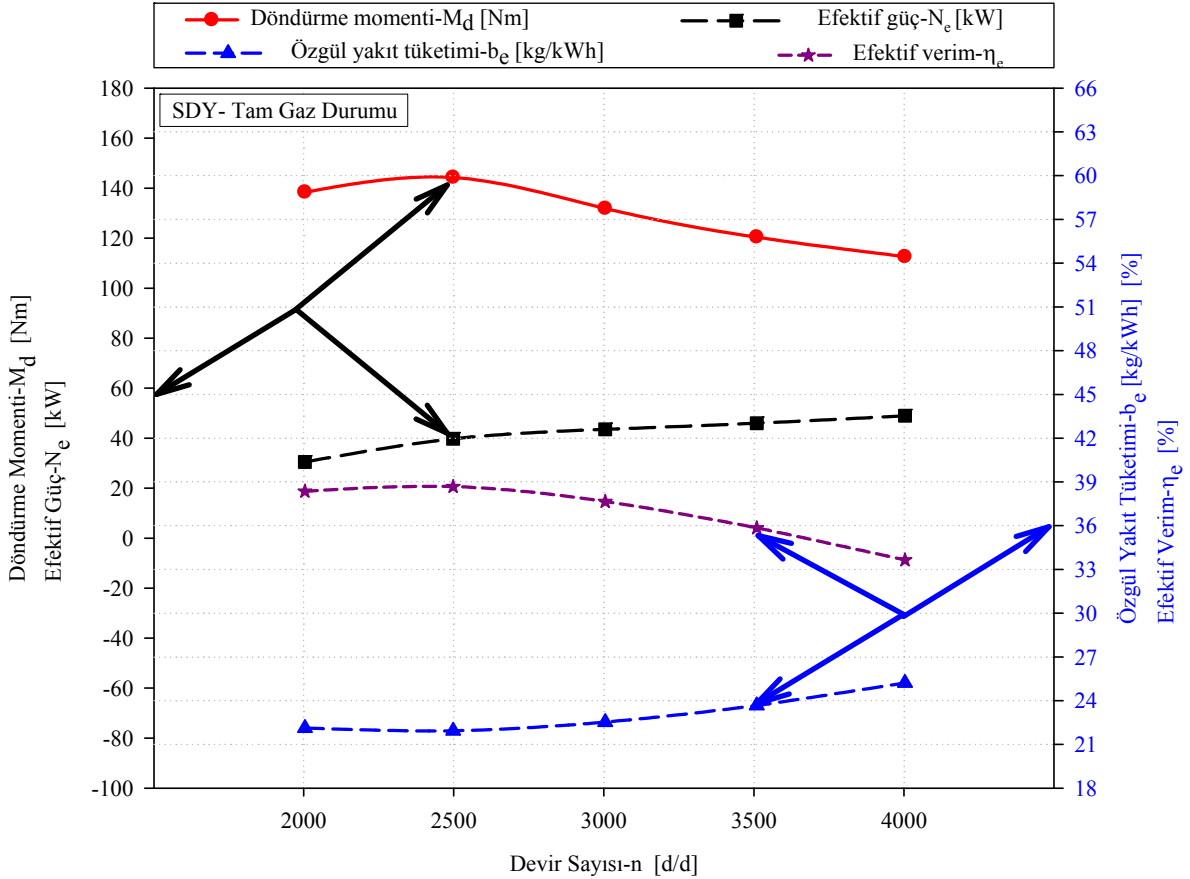
Tablo 7. Şekillerdeki ve deneysel karışım oran değerleri

Şekillerde belirtilen karışım yüzde oranı	Deneysel karışım yüzde oranı
% 2	% 1.961
% 4	% 3.846
% 6	% 5.660

3.1. Renault K9K 700 Tipi Dizel Motorunun Saf Dizel Yakıtı Durumunda Tam Gazdaki Hız Karakteristikleri

nBDYK'ları ve SDY deneylerine başlamadan önce motor, tam gaz durumunda SDY'yla çalıştırılmıştır. Buradaki amaç motorun katalog değerlerini sağlayıp sağlamadığının kontrolünün yapılmasıdır. Renault marka K9K 700 tipi turboşarjlı common-rail püskürtme sistemine sahip DP dizel motorunun katalog değerlerini sağladığı görüldükten sonra deneysel çalışmaya başlanmıştır. Söz konusu motorun tam gaz durumundaki hız karakteristikleri Şekil 17'de sunulmuştur. İlgili şekilden de görülebileceği

gibi, motorun maksimum döndürme momenti (2000-2500) d/d arasında 144 Nm olarak belirlenmiştir. Motorun nominal devir sayısı ise 4000 d/d'dır ve burada motorun maksimum gücü 49 kW'tır. Şekil 17'den görülebileceği gibi en iyi ÖYT (2000-2500) d/d arasında meydana gelmektedir. Örneğin 2500 d/d'da ÖYT 0.22 kg/kWh değerini almaktadır.



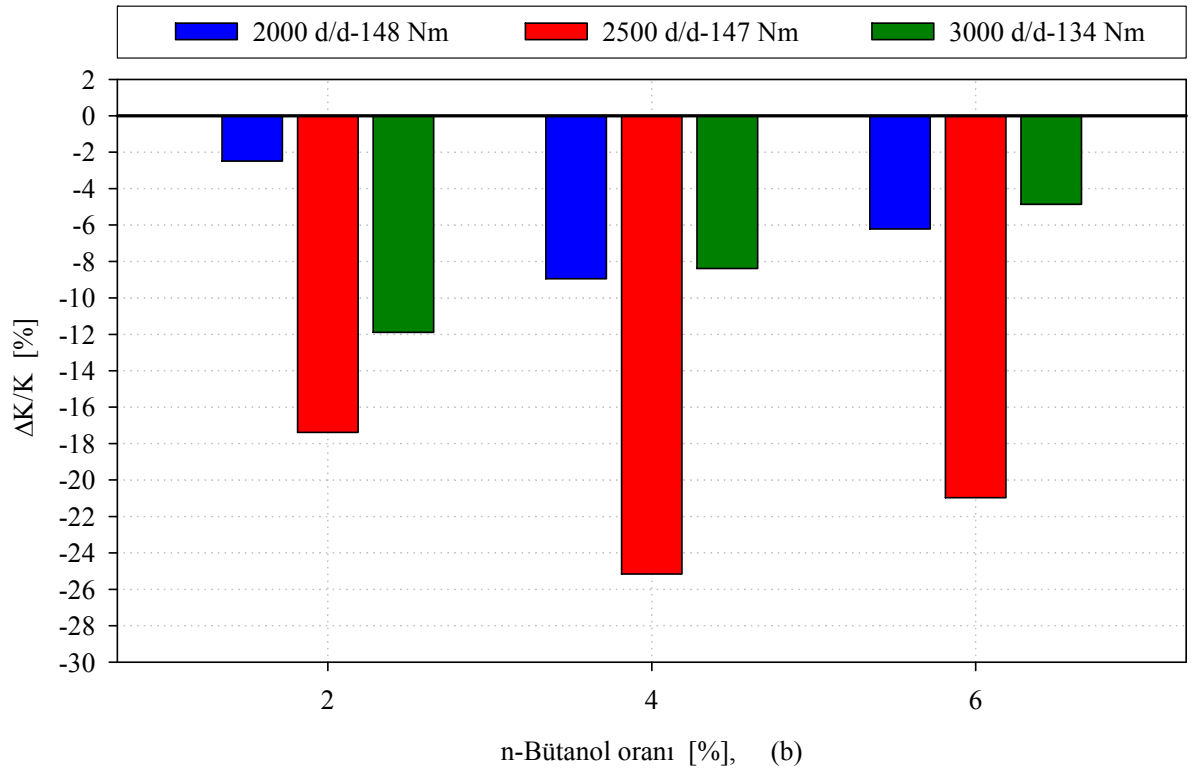
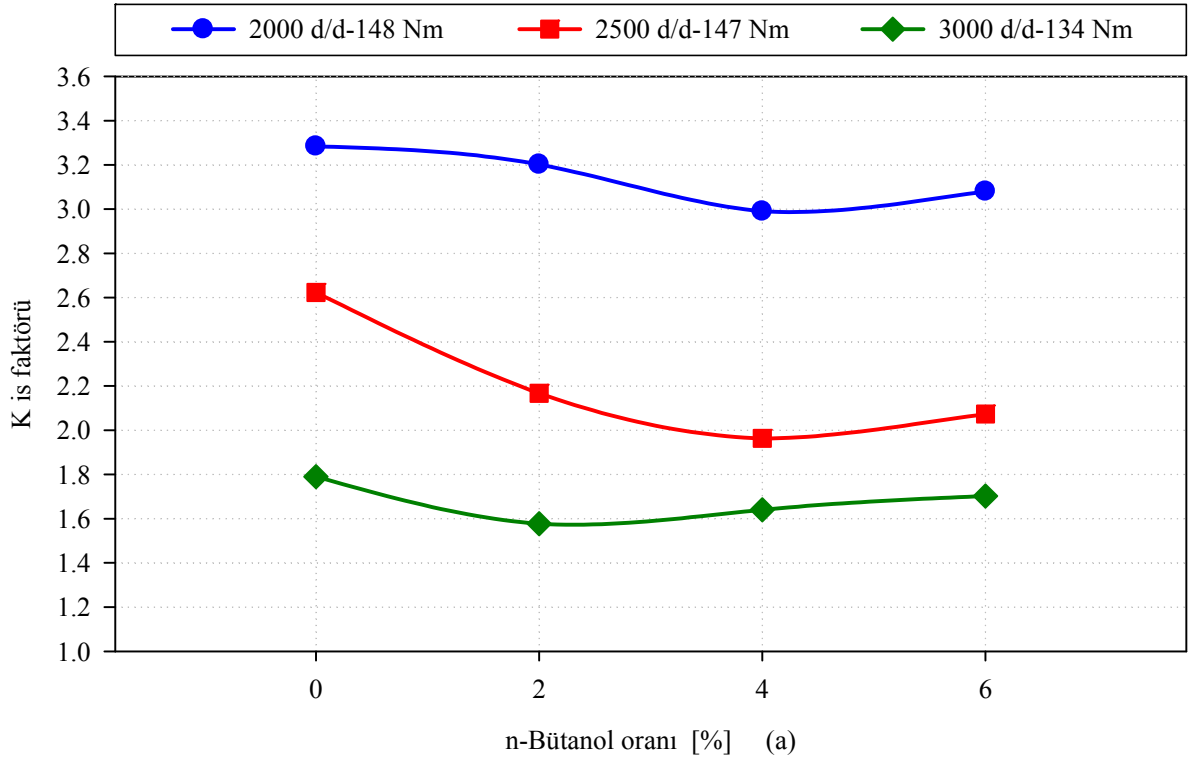
Şekil 17. Saf dizel yakıtı için tam gaz durumunda motorun hız karakteristikleri

3.2. n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının K İf Faktörü Üzerindeki Etkileri

Şekil 18'de n-bütanolün K is faktörü üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Burada K is faktörü (2000, 2500 ve 3000) d/d'da tam gazda ölçülmüştür. Şekil 18 (a)'da K is faktörünün (2000, 2500 ve 3000) d/d'da n-bütanol oranına göre değişimi ve Şekil 18 (b) de ise aynı devir sayılarında % (2, 4, ve 6) n-bütanol oranlarında ölçülen K is faktörünün SDY'na göre artma ve azalma oranları gösterilmiştir. İlgili şekillerden görüldüğü gibi seçilen tüm devirlerde, K is faktörü % 4 n-bütanol oranına kadar azalmış ve daha sonra ise artmaya

başlamıştır. 2500 d/d'da K is faktörü, % 2 n-bütanol oranında ortalama % 17.38, % 4 n-bütanol oranında ortalama % 25.16 ve % 6 n-bütanol oranında ise ortalama % 20.97 oranlarında azalmıştır.

Şekil 1'den görülebileceği gibi dizel motorları is açısından tehlikeli motorlardır. Homojen dolgulu sıkıştırma ateşlemeli motorlar (HCCI) ise fakir karışimli motorlar olduğundan yanma sıcaklıkları düşüktür. Bu nedenle HCCI motorları hem is ve hem de NO_x emisyonları açısından tehlikesizdirler. Şekil 1'den anlaşılabilceği gibi, yanma sıcaklıkları azaldıkça hem is hem de NO_x tehlikesi azalmaktadır. Burada n-bütanol eklenmesi ile eksoz gazı sıcaklıkları azalmaktadır. Buradan yanma sıcaklıklarının da düşük olacağı tahmin edilebilir. Ayrıca n-bütanolün kimyasal yapısında oksijenin bulunması nedeniyle karışımdaki n-bütanol oranı arttıkça hava fazlalık katsayısı artmaktadır. Böylece yanma mevcut dizel yanmasına göre daha fakir ortamda meydana geldiğinden K is faktörünün azaldığı tahmin edilebilir. Eksoz gazı sıcaklıkların ve hava fazlalık katsayısının n-bütanol oranları ile değişimleri aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur. Literatürde yapılan çalışmalarda da benzeri sonuçlar bulunmuştur [6, 7]. Rakopolous ve arkadaşları nBDYK'ları ile ilgili iki farklı dizel motorunda deneysel çalışma yapmışlardır. Deneysel çalışmalarında yüksek hızlı DP Ricardo/Cussons 'Hydra' dizel motoru ve DP, 6 silindirli su soğutmalı, turboşarjlı Mercedes-Benz minibüs dizel motoru kullanmışlardır. Söz konusu deneysel çalışmalarında % 8, % 16 ve % 24 oranlarında n-bütanolü dizel yakıtına karıştırmışlardır. İlgili deneysel çalışma sonunda her iki tip dizel motorunda n-bütanol karışımlarının kullanılmasıyla isin önemli ölçüde azaldığını belirlemişlerdir. Örneğin % 16 n-bütanol oranı için Mercedes-Benz minibüs dizel motorunda 1200 d/d'da 10.52 bar yükte is miktarında yaklaşık % 30'luk azalma sağlanmıştır.



Şekil 18. (a) Farklı devirlerde K is faktörünün n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) Farklı devirlerde ve farklı karışım oranlarında K is faktörü değişim oranları

3.3. 2000 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Performans Karakteristikleri ve Yakıt Maliyeti Üzerindeki Etkileri

Sunulan çalışmada incelenen motor performans karakteristikleri; efektif güç, özgül yakıt tüketimi (ÖYT) ve efektif verimdir. 2000 d/d'da; (145, 135, 125, 115, 105, 95, 85 ve 75) Nm gibi 8 farklı döndürme momenti (yük) için ilgili karakteristiklerin % 2, % 4 ve % 6 nBDYK'ları için değişimleri incelenmiştir.

Şekil 19 (a)'da 8 farklı döndürme momenti için efektif gücün n-bütanol oranlarına göre değişimleri gösterilmiştir. Şekil 19 (b)'de ise % 2, % 4 ve % 6 n-bütanol oranları için bulunan efektif güç değerlerinin SDY durumuna göre değişim oranları, seçilen (145, 135, 125, 105 ve 85) Nm döndürme momenti değerleri için bar grafikleri şeklinde sunulmuştur. Şekil 19 (a)'dan görülebileceği gibi efektif güç seçilen n-bütanol oranları için tüm döndürme momenti değerlerinde azalmıştır. Şekil 19 (b)'de, n-bütanol oranı arttıkça efektif güçteki azalma oranlarının arttığı görülmektedir. Seçilen döndürme momenti değerleri için efektif güçteki ortalama azalma; % 2 n-bütanol oranında % 0.95, % 4 n-bütanol oranında % 2.83 ve % 6 n-bütanol oranında ise % 4.29 oranında olmuştur.

Şekil 20 (a)'da 8 farklı döndürme momenti için ÖYT'nin n-bütanol oranlarına göre değişimleri gösterilmiştir. Şekil 20 (b)'de ise % 2, % 4 ve % 6 n-bütanol oranları için bulunan ÖYT değerlerinin SDY durumuna göre değişim oranları seçilen döndürme momentleri için sunulmuştur. Şekil 20 (a)'dan görülebileceği gibi ÖYT; % 2 ve % 4 n-bütanol oranlarında azalma gösterirken % 6 n-bütanol oranında ise artmıştır. Şekil 20 (b)'de seçilen döndürme momenti değerleri için SDY'na göre ÖYT'nde; % 2 n-bütanol oranında ortalama % 1.72 azalma, % 4 n-bütanol oranında ortalama % 0.29 azalma ve % 6 n-bütanol oranında ise ortalama % 1.54 artma olmuştur.

Şekil 21 (a)'da 8 farklı döndürme momenti için efektif verimin n-bütanol oranlarına göre değişimleri gösterilmiştir. Şekil 21 (b)'de ise % 2, % 4 ve % 6 n-bütanol oranları için bulunan efektif verim değerlerinin SDY durumuna göre değişim oranları seçilen döndürme momenti değerleri için sunulmuştur. Şekil 21 (a)'dan görülebileceği gibi efektif verim % 2 ve % 4 n-bütanol oranları için artma gösterirken % 6 n-bütanol oranı için azalma göstermiştir. Şekil 21 (b)'de seçilen döndürme momenti değerleri için SDY durumuna göre efektif verimde; % 2 n-bütanol oranında ortalama % 2.16 artma, % 4 n-bütanol oranında ortalama % 1.05 artma ve % 6 n-bütanol oranında ise ortalama % 0.48 azalma olmuştur.

2000 d/d'da % 2, % 4 ve % 6 n-bütanol oranlarında seçilen tüm döndürme momenti değerlerinde efektif gücün azaldığı görülmüştür. Aynı şekilde aşağıda; efektif güç için diğer

devir sayılarında çizilen eğrilerden görüleceği üzere, efektif güç n-bütanol oranları ile azalmıştır. Tablo 6'dan görülebileceği gibi, n-bütanolün alt ısıl değeri dizel yakıtının alt ısıl değerinden düşüktür. Bu durumda SDY'na göre daha fazla yakıtın yakılması gerektiği düşünülebilir. Karışımdaki n-bütanol oranı arttıkça karışımın alt ısıl değeri azaldığından yüksek n-bütanol oranlarında efektif güçteki azalma oranı daha büyük çıkmıştır. Sonuçların daha iyi anlaşılabilmesi için ÖYT, efektif verim ve efektif gücün n-bütanol oranı ile değişimlerini birlikte yorumlamak gerekir.

Aşağıda sunulan şekillerden efektif gücün 3500 d/d'nın dışındaki seçilen tüm devir sayılarında n-bütanol oranı ile azaldığı görülmüştür. Fakat ÖYT eğrileri incelendiğinde; % 2 n-bütanol oranında seçilen tüm devir sayılarında ve yüklerde ÖYT azalmıştır. % 4 n-bütanol durumunda ise ÖYT değerleri SDY değerine çok yakın değerler almıştır. Efektif verim ise % 2 ve % 4 n-bütanol oranlarında genel olarak artmıştır. Sunulan tez çalışmasında eğriler seçilen devir sayılarında farklı yük yani döndürme momenti değerleri için n-bütanol oranlarına göre çizilmiştir. Döndürme momentinin açısal hızla çarpımı efektif gücü vermektedir. Bu durumda eğriler incelendiğinde aynı güç için % 2 bütanol oranında ÖYT azaldığı görülebilir. n-Bütanol oranlarına göre efektif gücün azalma nedeni ise şöyle açıklanabilir:

Efektif güç azalmasına rağmen ÖYT'nin azalmasının nedeni % 2 n-bütanol oranında püskürtülen yakıtın kütleli debisinin azalması olarak düşünülebilir. Deneysel yük ve devir sayısı ayarlanırken gaz kolu pozisyonunu aynı seviyede tutmaya çalışılmıştır. Yalnız burada kullanılan deney motoru common-rail püskürtme sistemine sahiptir. Bu nedenle motor elektronik kontrol ünitesinden (ECU) aldığı bilgiye göre püskürteceği yakıt debisini elektronik olarak ayarlamaktadır. nBDYK durumlarında motorun ECU'dan aldığı bilgiye göre daha az yakıt püskürtüldüğü tahmin edilmektedir. Burada n-bütanol oranı ile efektif güç azaldığında, ilk bakışta ÖYT'nin artması beklenebilir. Ama eğriler iyi incelendiğinde aynı güç için özellikle % 2 n-bütanol oranında ÖYT'nin azaldığı görülebilir.

Efektif verim ise seçilen tüm devir sayısı ve döndürme momenti değerlerinde % 2 ve % 4 n-bütanol oranlarında artmıştır. Efektif verim;

$$\eta_e = \frac{3600}{H_u \cdot b_e}$$

bağıntısından hesaplanmaktadır. Buradan da görülebileceği gibi; n-bütanol karışımı durumunda yakıtın alt ısıl değeri azalacağından efektif verim artmaktadır. % 6 nBDYK oranında karışımın alt ısıl değerinin azalmasına rağmen ÖYT'ndeki artış daha baskın duruma geldiğinden efektif verim azalmıştır.

Genel olarak motor performans karakteristikleri açısından nBDYK'ları için eğriler incelendiğinde; % 2 ve % 4 n-bütanol oranlarının bu motor için tercih edilebileceği görülebilir.

Şekil 22 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için yakıt maliyetinin n-bütanol oranlarına göre değişimleri gösterilmiştir. Şekil 22 (b)'de ise % 2, % 4 ve % 6 n-bütanol oranları için bulunan maliyet değerlerinin SDY durumuna göre değişim oranları seçilen döndürme momenti değerleri için sunulmuştur. Şekil 22 (a)'dan görülebileceği gibi yakıt maliyeti tüm n-bütanol oranları için artış göstermiştir. Şekil 22 (b)'de, n-bütanol oranı arttıkça fiyatın daha da arttığı görülebilir. Seçilen döndürme momenti değerleri için fiyattaki ortalama artış; % 2 n-bütanol oranında % 8.50, % 4 n-bütanol oranında % 20.05 ve % 6 n-bütanol oranında ise % 32.04 oranlarında olmuştur. Bunun nedeni bilindiği gibi n-bütanolün birim fiyatının dizel yakıtına göre çok yüksek olmasındandır. Burada kullanılan n-bütanolün fiyatı Tablo 6'dan da görülebileceği gibi dizel yakıtının yaklaşık 6.5 katıdır. Ayrıca n-bütanol oranı ile ÖYT'ndeki azalma oranları da pek fazla olmadığından n-bütanol kullanımı ekonomik çıkmamıştır.

3.4. 2000 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkileri

Sunulan tez çalışmasında incelenen eksoz emisyon değerleri; NO_x emisyonu ve K is faktörüdür. Ayrıca NO_x emisyonunun oluşumunda sıcaklık ve hava fazlalık katsayısı değerleri etkili olduğundan söz konusu değerlerin n-bütanol oranlarına göre değişimleri de sunulmuştur. K is faktörü ile ilgili açıklamalar Bölüm 3.2'de verilmiştir. Aşağıdaki şekillerde (145, 135, 125, 115, 105, 95, 85 ve 75) Nm gibi 8 farklı döndürme momenti için ilgili karakteristiklerin % 2, % 4 ve % 6 nBDYK'larına göre değişimleri incelenmiştir.

Şekil 23 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için NO_x emisyonunun n-bütanol oranlarına göre değişimleri gösterilmiştir. Şekil 23 (b)'de ise % 2, % 4 ve % 6 n-bütanol oranları için ölçülen NO_x emisyonunun SDY durumuna göre değişim oranları seçilen (145, 135, 125, 105 ve 85) Nm için sunulmuştur. Şekil 23 (a)'dan görülebileceği gibi NO_x

emisyonu % 2 n-bütanol oranında azalma göstermesine rağmen % 4 ve % 6 nBDYK durumlarında artmıştır. Şekil 23 (b)'de seçilen döndürme momenti değerleri için SDY'na göre NO_x emisyonu; % 2 n-bütanol oranında ortalama % 1.47 azalma, % 4 n-bütanol oranında ortalama % 1.94 artma ve % 6 n-bütanol oranında ise ortalama % 10.40 artma göstermiştir.

Şekil 24 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için eksoz gazı sıcaklığının n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 24 (b)'de ise % 2, % 4 ve % 6 n-bütanol oranları için ölçülen eksoz gazı sıcaklığının SDY durumuna göre değişim oranları seçilen döndürme momenti değerleri için sunulmuştur. Şekil 24 (a)'dan görülebileceği gibi eksoz gazı sıcaklık değerleri seçilen n-bütanol oranları için tüm döndürme momenti değerlerinde azalmıştır. Şekil 24 (b)'de, n-bütanol oranı arttıkça eksoz gazı sıcaklıklarındaki azalma oranlarının arttığı görülmektedir. Seçilen yük değerleri için eksoz gazı sıcaklığındaki ortalama azalma; % 2, % 4 ve % 6 n-bütanol oranlarında sırasıyla % 1.96, % 4.20 ve % 5.92 oranlarında olmuştur.

Şekil 25 (a)'da 8 farklı döndürme momenti için hava fazlalık katsayısının n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 25 (b)'de ise % 2, % 4 ve % 6 n-bütanol oranları için ölçülen hava fazlalık katsayısının SDY durumuna göre değişim oranları seçilen döndürme momenti değerleri için sunulmuştur. Şekil 25 (a)'dan görülebileceği gibi hava fazlalık katsayısı % 2 n-bütanol oranında hemen hemen hiçbir değişim göstermemesine rağmen % 4 ve % 6 nBDYK durumlarında artmıştır. Şekil 25 (b)'de seçilen döndürme momenti değerleri için SDY'na göre hava fazlalık katsayısı; % 2 n-bütanol oranında ortalama % 0.54, % 4 n-bütanol oranında ortalama % 7.52, % 6 n-bütanol oranında ise ortalama % 8.41 artış göstermiştir.

2000 d/d'da seçilen döndürme momenti değerlerinde, % 2 nBDYK durumunda NO_x emisyonu azalmasına rağmen % 4 ve % 6 nBDYK durumlarında artmıştır. Şekil 24 (b)'den görülebileceği gibi, eksoz gazı sıcaklık değerleri % 2, % 4 ve % 6 n-bütanol oranlarında azalmıştır. Eksoz gazı sıcaklık değerlerinin azalmasına karşın NO_x emisyonunun artması başlangıçta yanıltıcı gibi görülebilir. Fakat bilindiği gibi NO_x emisyonunun oluşmasında yalnız sıcaklık değil hava fazlalık katsayısı da etkili parametrelerdendir. Burada sıcaklığın azalmasına karşın n-bütanol oranları ile hava fazlalık katsayısı değerleri arttığından NO_x emisyonu da artmıştır. % 2 n-bütanol oranında düşük yüklerde hava fazlalık katsayısının pek fazla artmamış olması NO_x emisyonunun azalmasına neden olmuştur. Literatürde yapılan çalışmalarda da benzeri sonuçlar bulunmuştur [18-21].

3.5. 2000 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Silindir Basıncı ve İndikatör Diyagramı Üzerindeki Etkileri

nBDYK'larının p- θ ve p-V diyagramları yani indikatör diyagramları üzerindeki etkileri 2000 d/d için Şekil 26-29'da sunulmuştur. 2000 d/d'da tam gaz ve tam yükte 149 Nm'de ve yine aynı devirde yüklemeye 50 N azaltılarak yani 132 Nm'de deneysel olarak elde edilen p- θ ve p-V diyagramları verilmiştir. Yukarıdaki bölümde anlatıldığı gibi soğutmasız sensör çok kolay hasar görebildiğinden yalnızca 2000 d/d için ilk iki yükte indikatör diyagramları deneysel olarak alınmıştır. İndikatör diyagramlarının daha iyi yorumlanabilmesi için ÜÖN civarındaki değişimler ayrıca büyütülmüş olarak da verilmiştir. Örneğin Şekil 26 (a-b)'de p- θ diyagramları sunulmuştur. Burada 2000 d/d ve 149 Nm için Şekil 26 (a)'da p- θ 'nin ÜÖN civarındaki büyütülmüş şekli ve Şekil 26 (b)'de ise p- θ 'nin çevrim boyunca en genel değişimi verilmiştir.

Şekil 26 (a ve b)'den görülebileceği gibi; 2000 d/d'da 149 Nm döndürme momenti durumunda, % 2 nBDYK'nda silindir basınçlarında pek fazla değişiklik olmadığı, % 4 nBDYK'nda silindir basınçlarının arttığı, % 6 nBDYK'nda silindir basınçlarının azaldığı anlaşılmaktadır. SDY durumunda maksimum silindir basıncı 10.588 °KMA'da 152.688 bar olarak belirlenmiştir. 2000 d/d'da 149 Nm döndürme momenti için % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranlarındaki maksimum basınçlar sırasıyla (152.602, 153.157 ve 151.666) bar şeklinde elde edilmiştir. İlgili basınçların meydana geldiği krank mili açıları ise sırasıyla (10.597, 10.753 ve 10.518) °KMA'dır. Buradan yalnızca % 4 n-bütanol oranında maksimum silindir basıncının SDY'nden daha yüksek değer aldığı ve maksimum basıncın meydana geldiği, açının ise SDY'ne göre daha büyük olduğu belirlenmiştir. Aslında n-bütanol karışımı durumlarında basınç değişimlerinin SDY değişimlerine çok yakın olduğu ve basınç değerlerinde pek fazla bir farklılık oluşmadığı Şekil 26 (a-b)'den görülebilir.

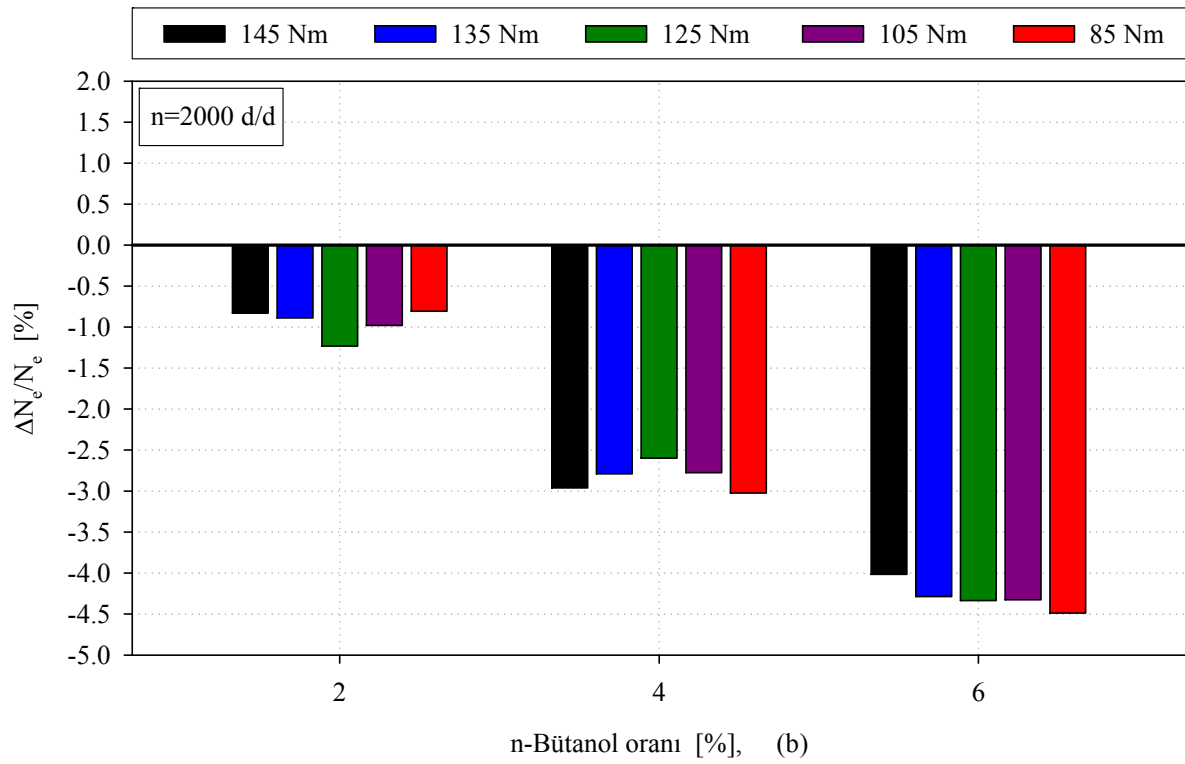
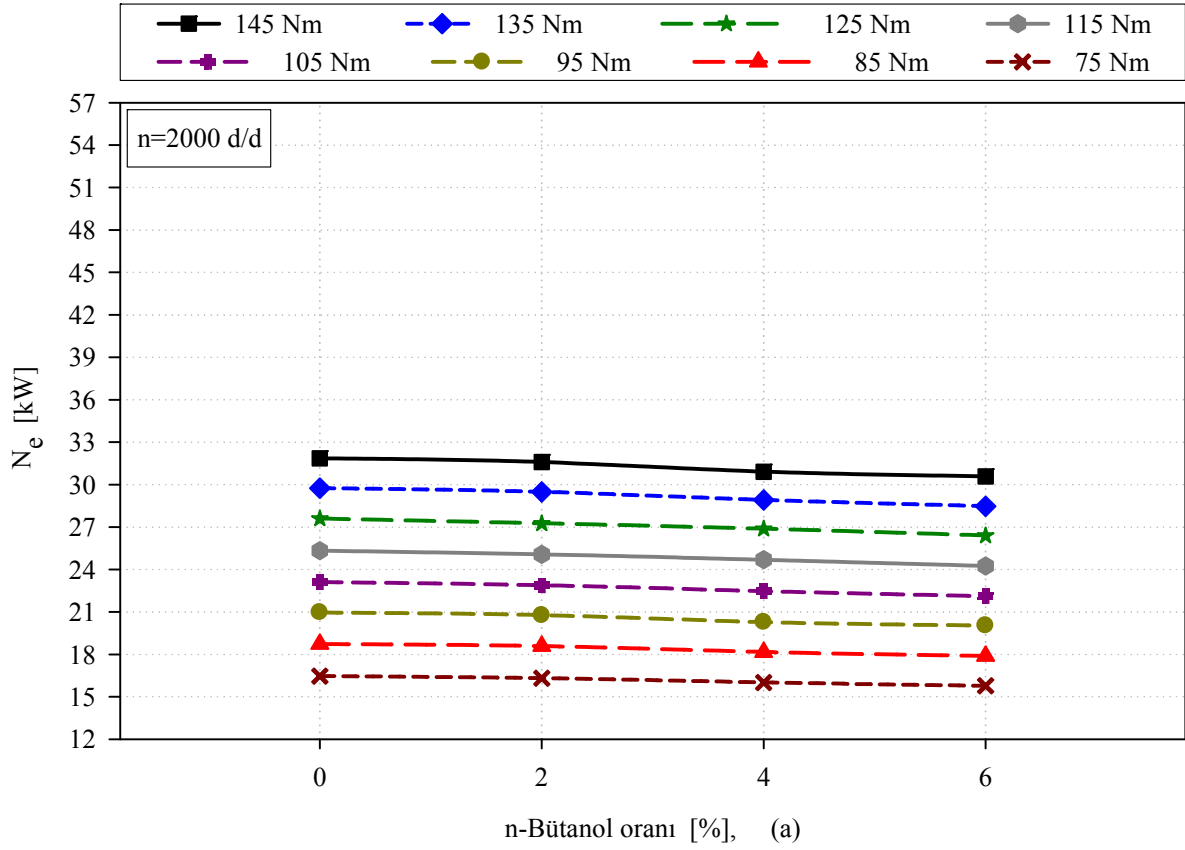
Şekil 27 (a ve b)'de basınç-hacim diyagramı görülmektedir. SDY durumunda indike güç 36.96 kW olarak belirlenmiştir. % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranlarına göre sırasıyla indike güçler (37.248, 36.804 ve 36.796) kW'tır. Buradan da görülebileceği gibi n-bütanol oranı arttıkça indike güçler, % 2 n-bütanol oranı dışındaki karışım oranlarında azalmıştır.

% 2 n-bütanol oranında maksimum basınç değeri SDY değerlerinden biraz düşüktür ve maksimum basıncın olduğu açı SDY'nden biraz daha yüksek çıkmıştır. Buradan % 2 n-bütanol oranı ile yanmanın biraz daha uzun yanma periyoduna yayıldığı ve bu nedenle de basınç değerinin daha düşük olduğu anlaşılabilir. İndike gücün yüksek olması ise

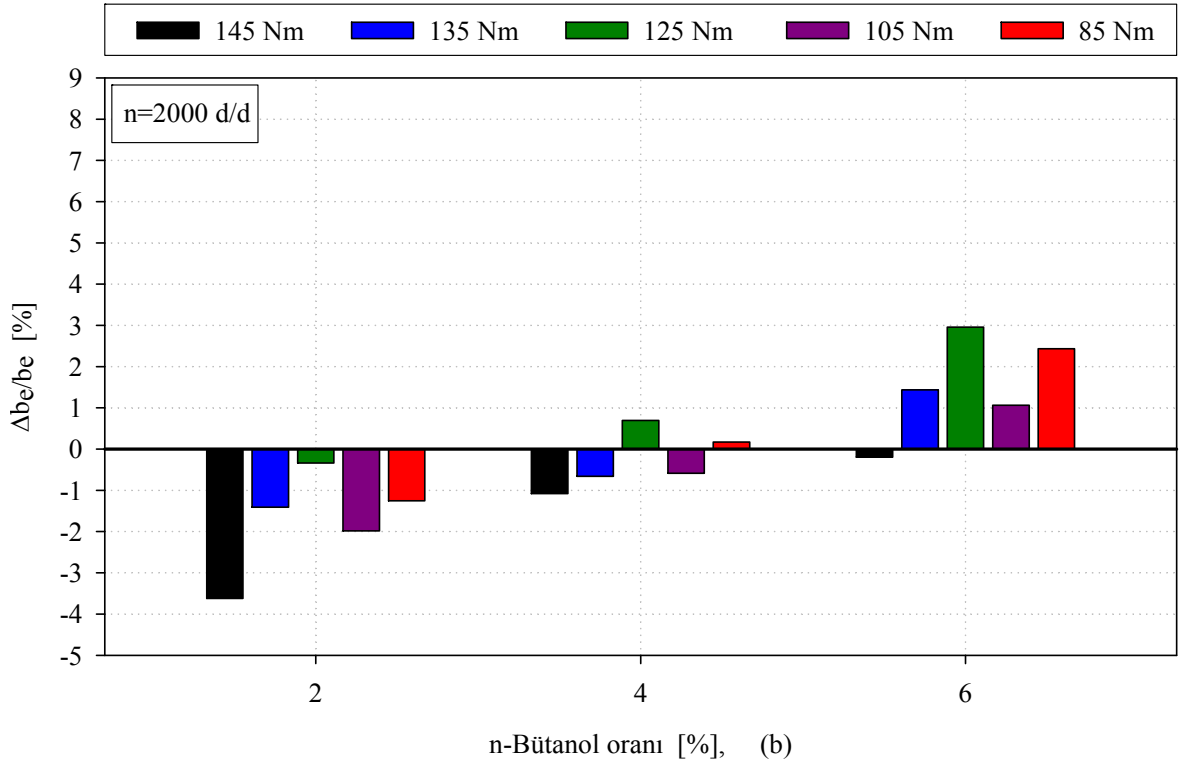
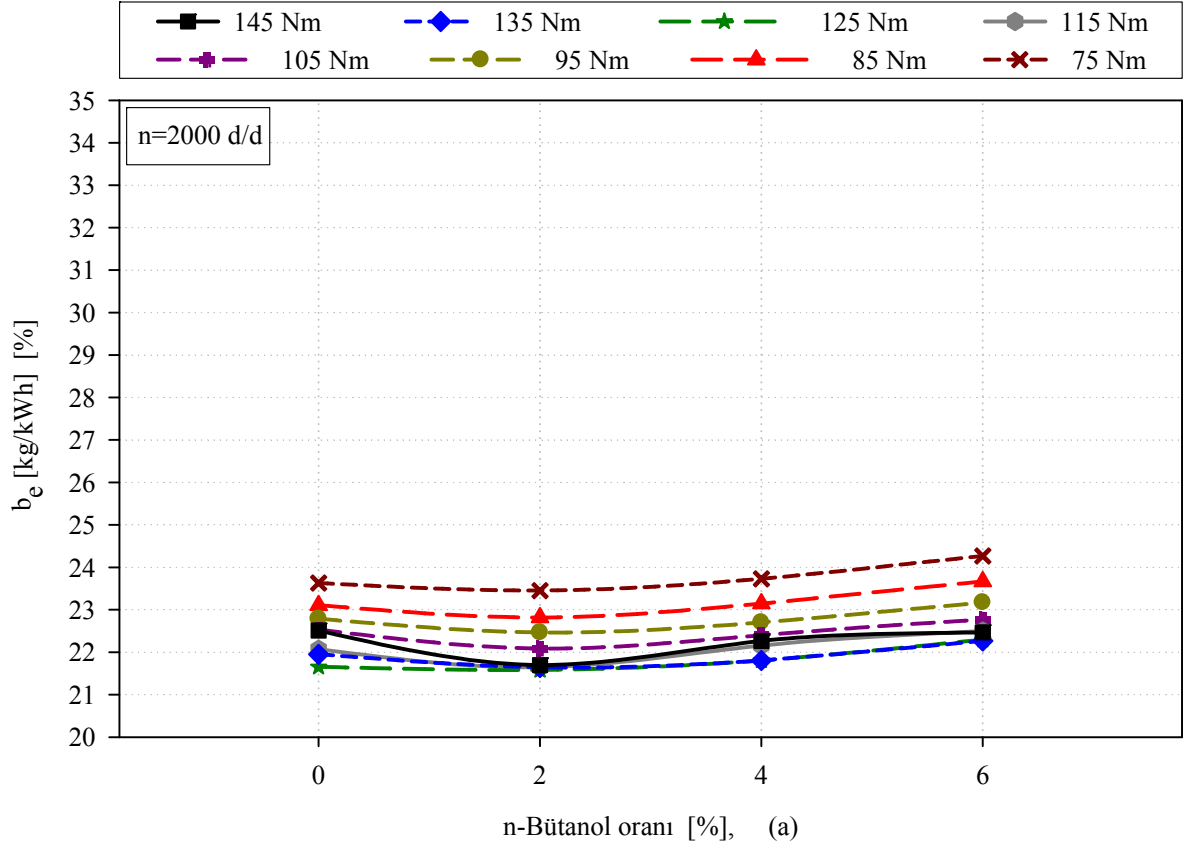
yanmanın daha verimli olmasından kaynaklandığı düşünülebilir. % 4 n-bütanol karışımı durumunda tutuşma gecikmesinin % 2 n-bütanole göre daha yüksek olduğu tahmin edilebilir. Böylece tutuşma gecikmesi süresince biriken yakıt daha fazla olacaktır. Bu nedenle söz konusu yakıtın yanması ile basınç artışının fazla olacağı düşünülebilir. Tutuşma gecikmesi süresince yanan yakıtın fazla olmasına karşın % 4-bütanol oranında yine yanma periyodu uzamaktadır. % 6 n-bütanol durumunda yanmanın istenilen seviyede iyi olmadığı ilgili şekillerden görülebilir.

2000 d/d'da 132 Nm döndürme momenti durumunda % (2, 4 ve 6) nBDYK'larında silindir basınçlarının SDY'na göre azaldığı Şekil 28 (a ve b)'den görülebilir. SDY durumunda maksimum silindir basıncı 11.321 °KMA'da 145.483 bar olarak belirlenmiştir. 2000 d/d'da 132 Nm döndürme momenti durumunda ise % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranlarındaki maksimum basınçlar sırasıyla (143.535, 143.897 ve 142.551) bar şeklinde elde edilmiştir. İlgili basınçların meydana geldiği krank mili açıları ise sırasıyla (11.193, 11.311 ve 11.156) °KMA'dır. Buradan tüm n-bütanol oranlarında silindir basıncının SDY'nden daha düşük değerler aldığı görülmektedir. Maksimum basınçların meydana geldiği açılar ise SDY'na göre daha küçüktür. Böylelikle tüm n-bütanol oranlarında yanmanın daha fakirleştiği ve maksimum basıncın ÜÖN'ya daha yakın açılarda oluştuğu söylenebilir. Aslında n-bütanol karışımı durumlarında basınç değişimlerinin SDY değişimlerine çok yakın olduğu ilgili şekillerden görülebilir. SDY durumunda döndürme momenti değerinin karışım durumlarına göre daha yüksek olduğu ilgili şekillerden görülebilir.

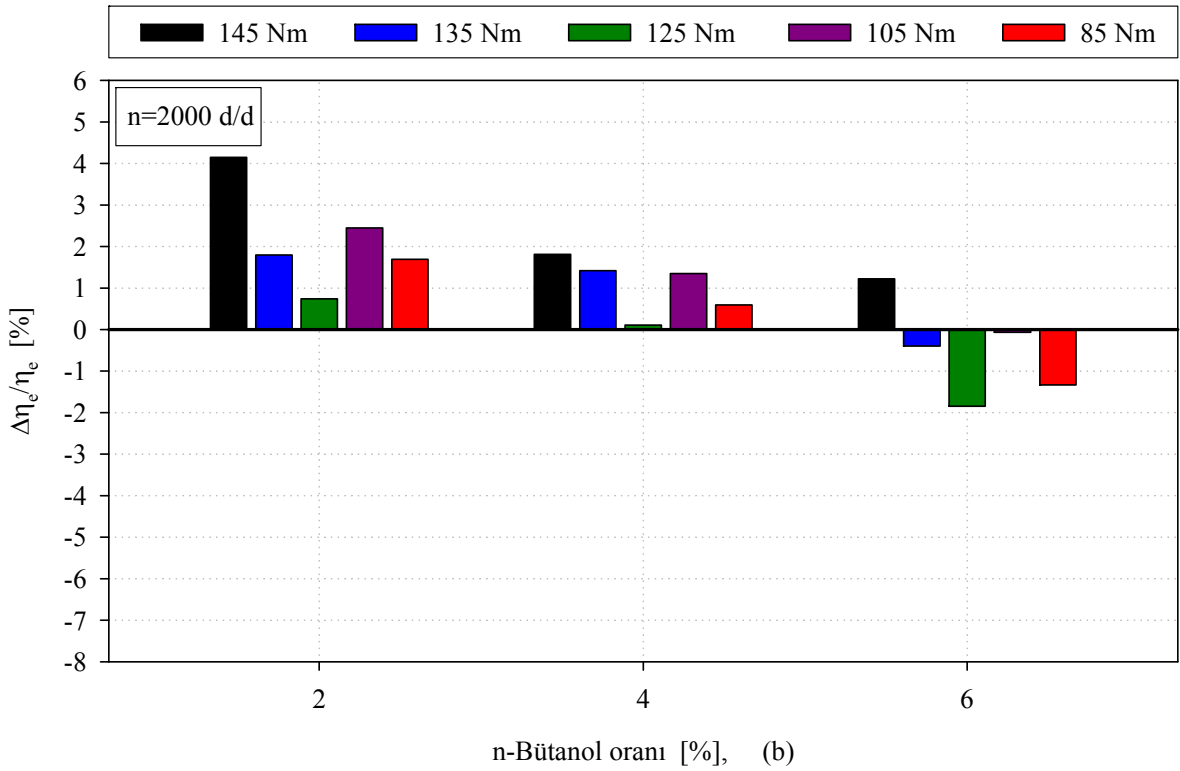
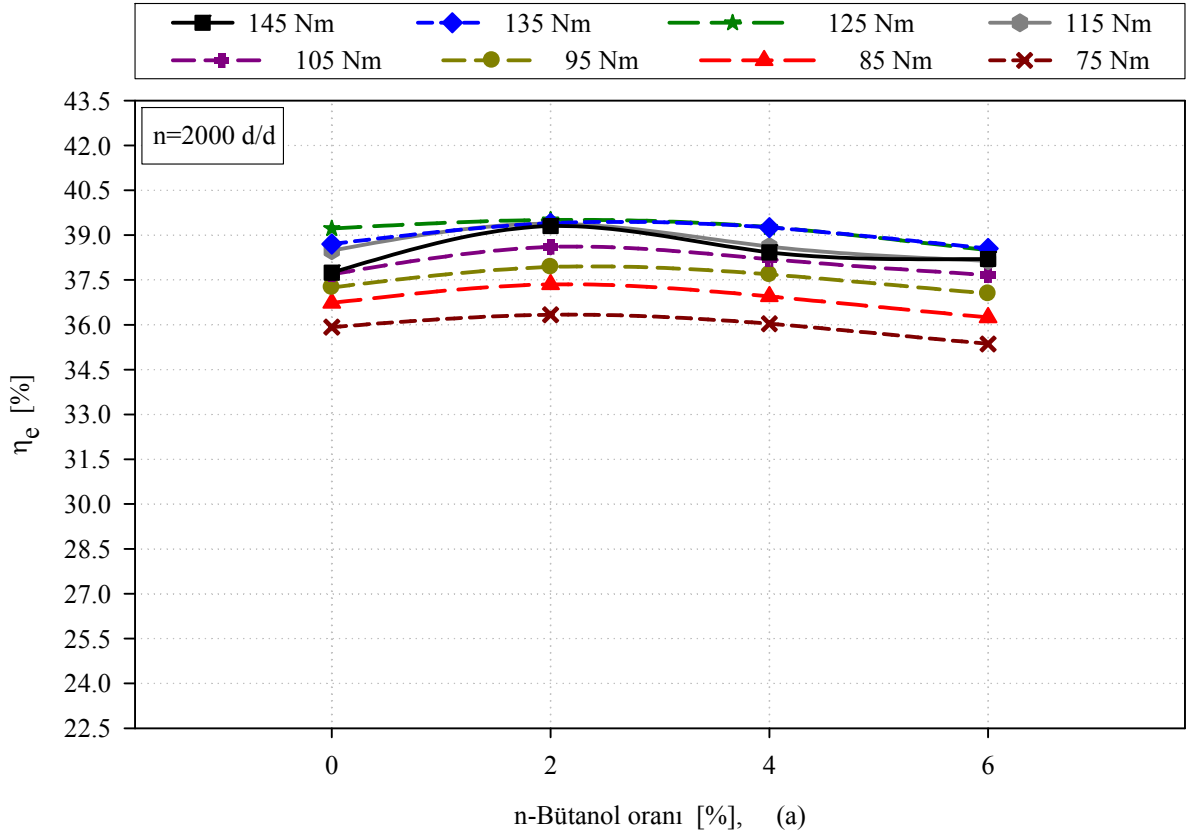
Şekil 29 (a ve b)'de p-V diyagramı gösterilmiştir. SDY durumunda indike güç 33.82 kW olarak belirlenmiştir. % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranlarına göre sırasıyla indike güçler (33.376, 33.432 ve 33.124) kW'tır. Buradan da görülebileceği gibi n-bütanol oranı arttıkça indike güçler azalmaktadır. Söz konusu azalmanın ısı değerinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



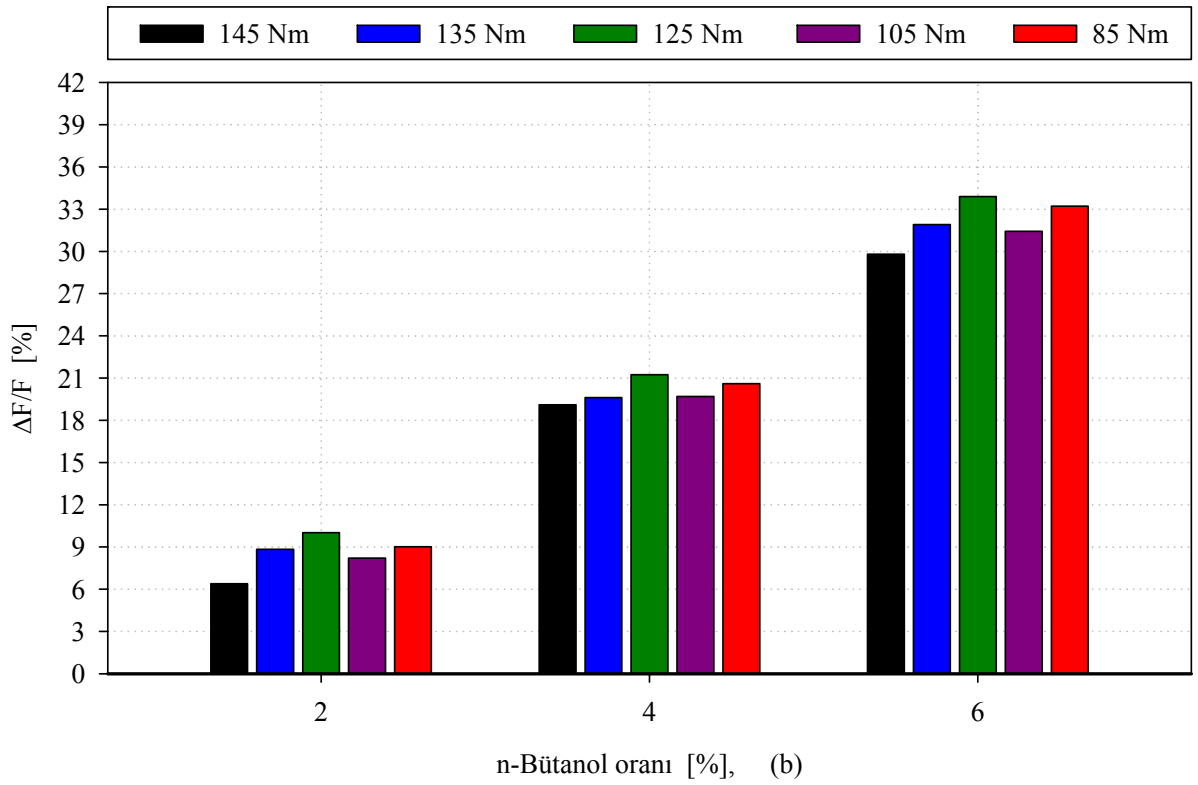
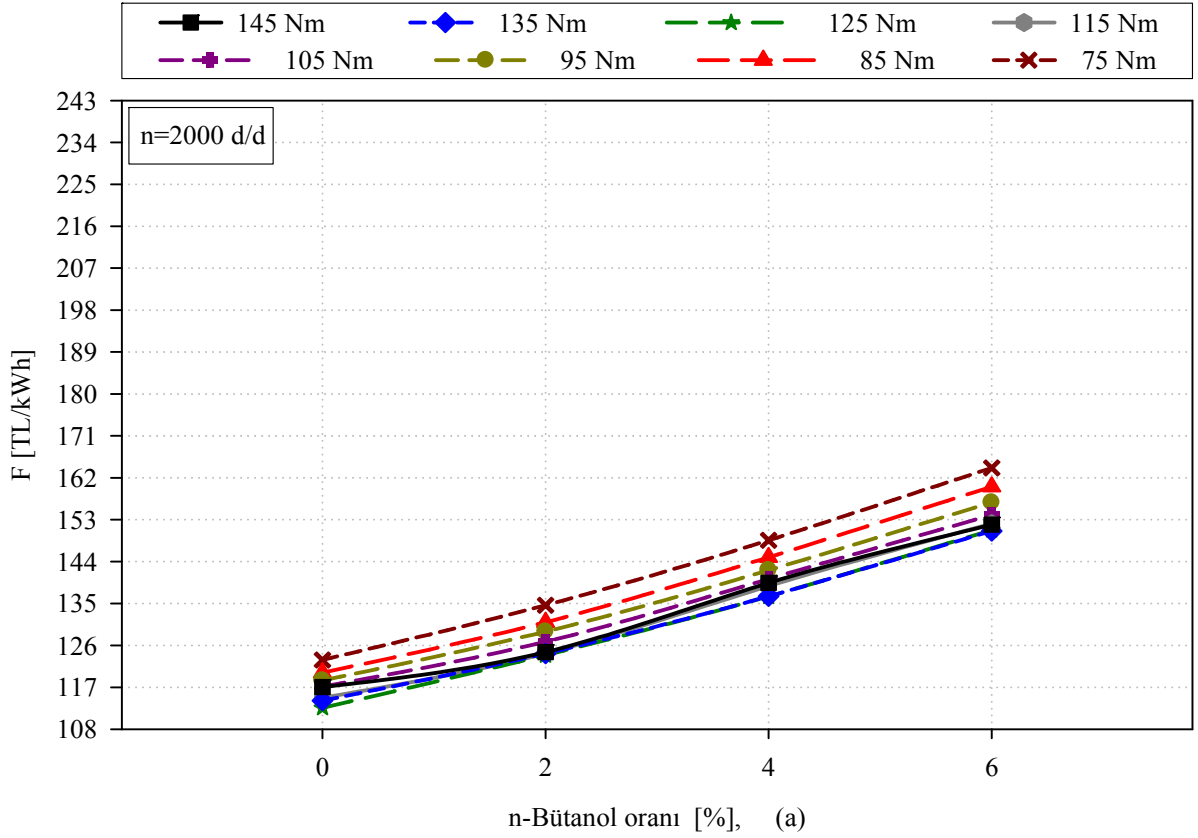
Şekil 19. (a) 2000 d/d'da farklı yüklerde efektif gücün n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif güçteki değişim oranları



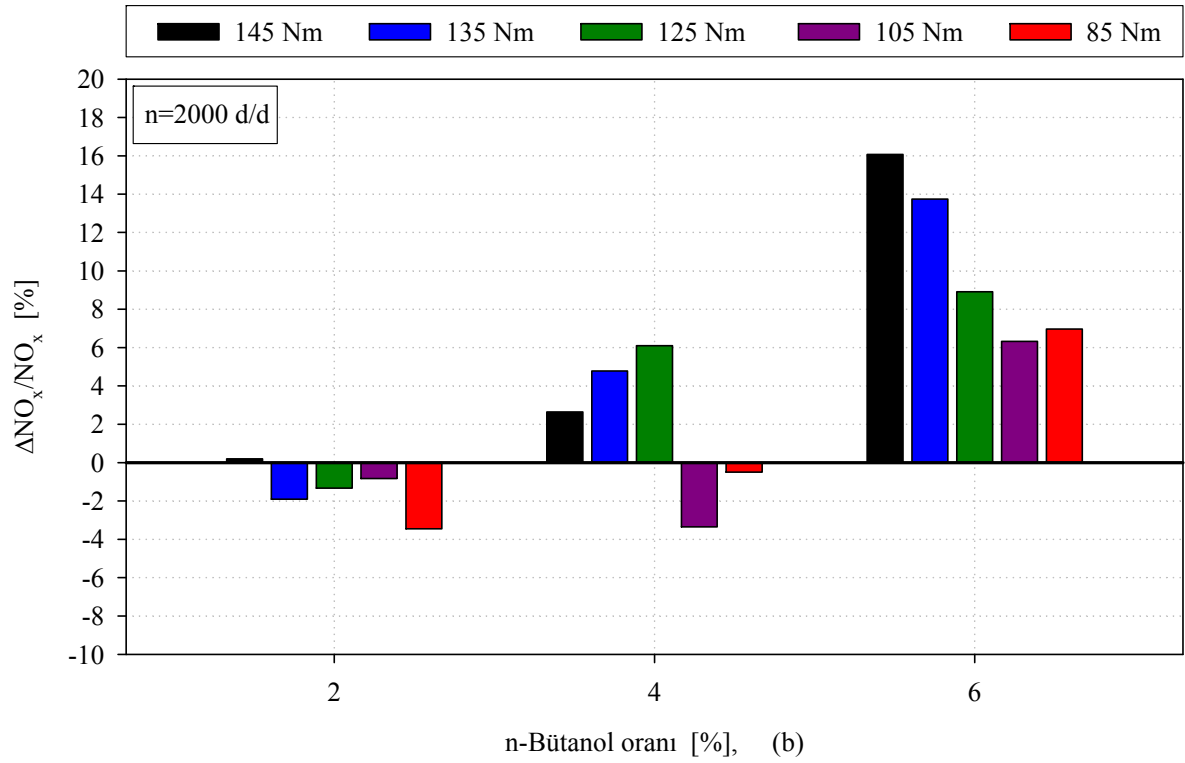
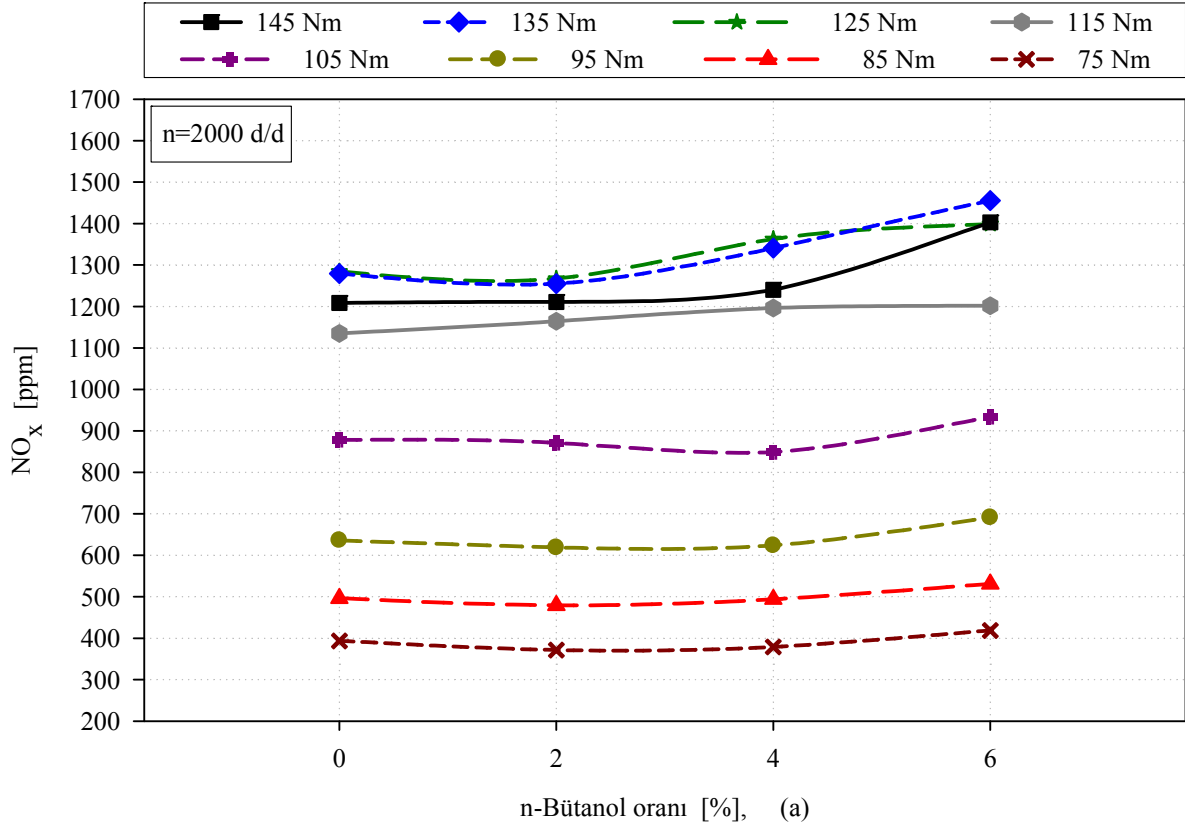
Şekil 20. (a) 2000 d/d'da farklı yüklerde ÖYT'nin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında ÖYT'ndeki değişim oranları



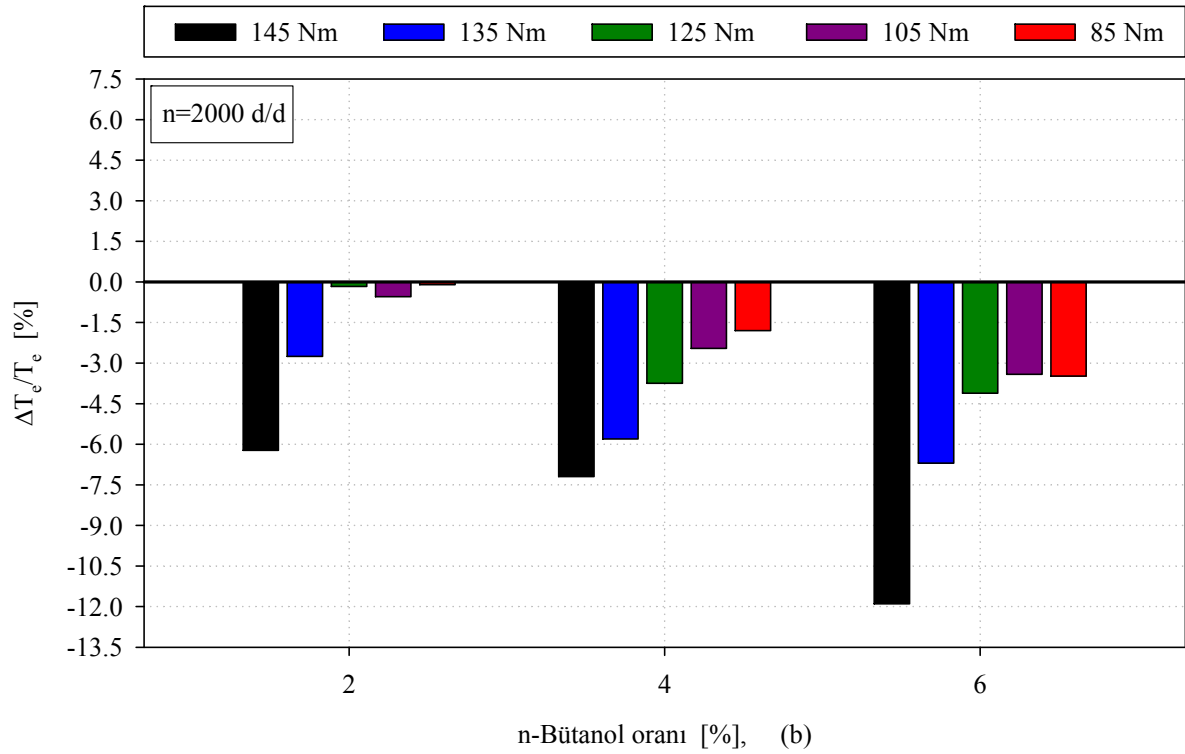
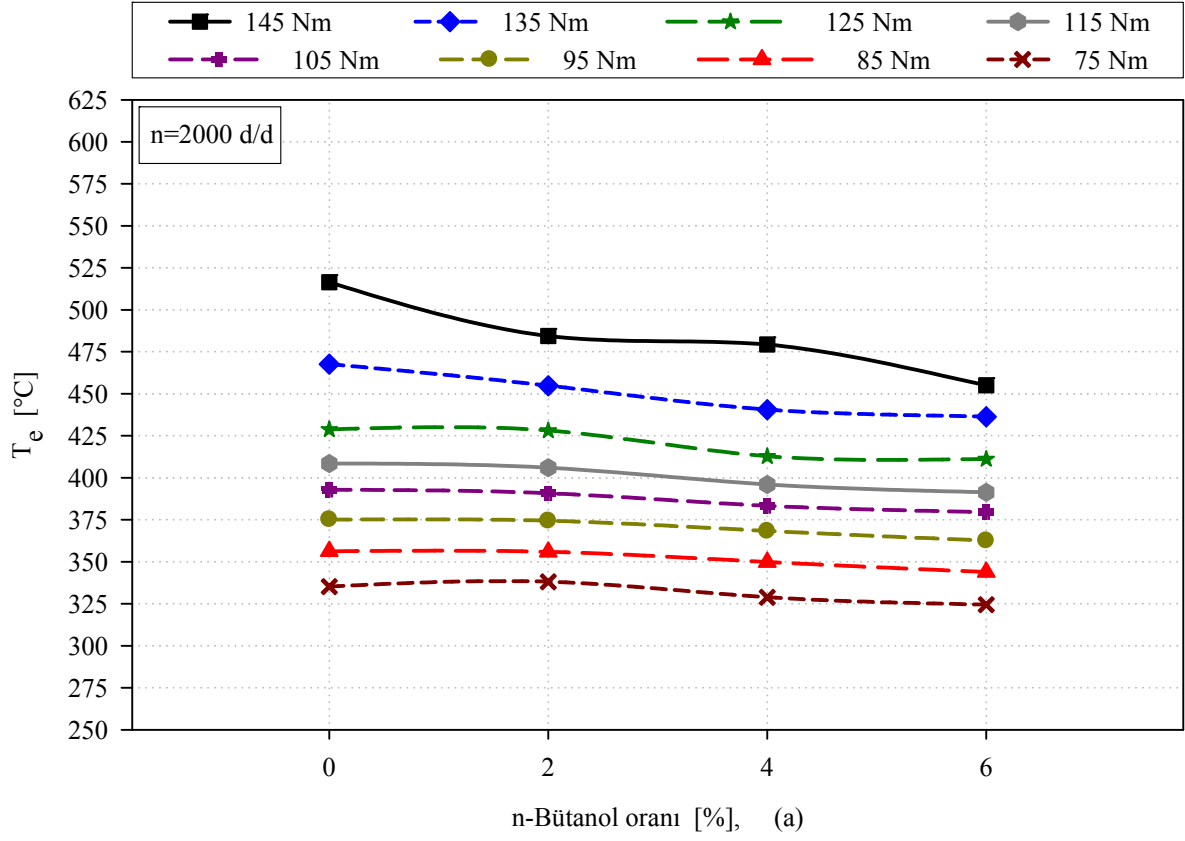
Şekil 21. (a) 2000 d/d’da farklı yüklerde efektif verimin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d’da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif verimdeki değişim oranları



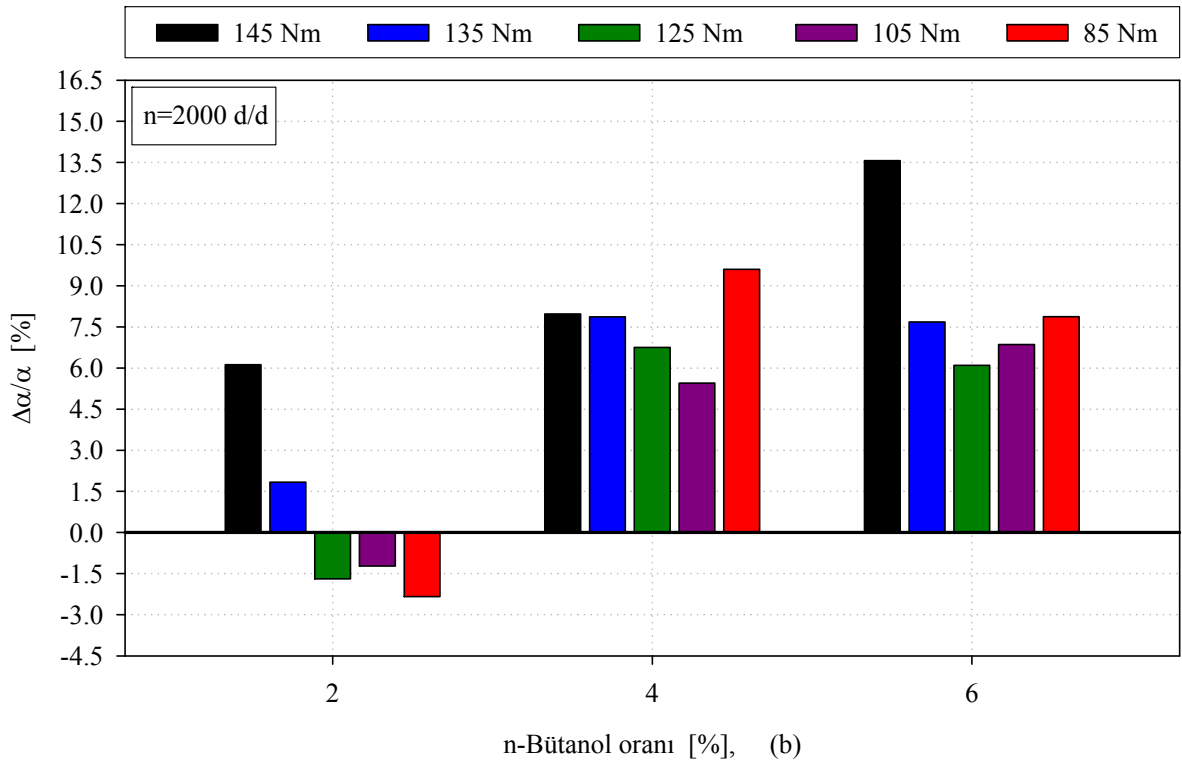
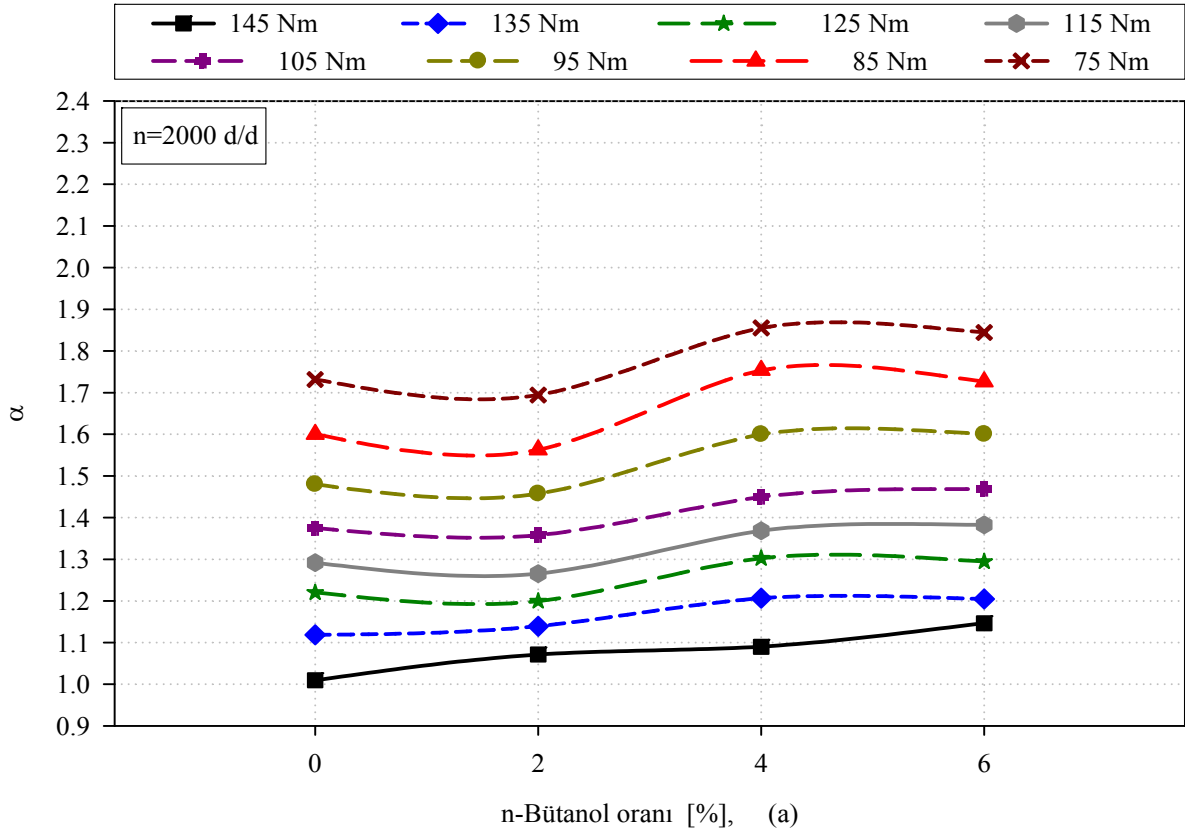
Şekil 22. (a) 2000 d/d'da farklı yüklerde yakıt maliyetinin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında yakıt maliyetindeki değişim oranları



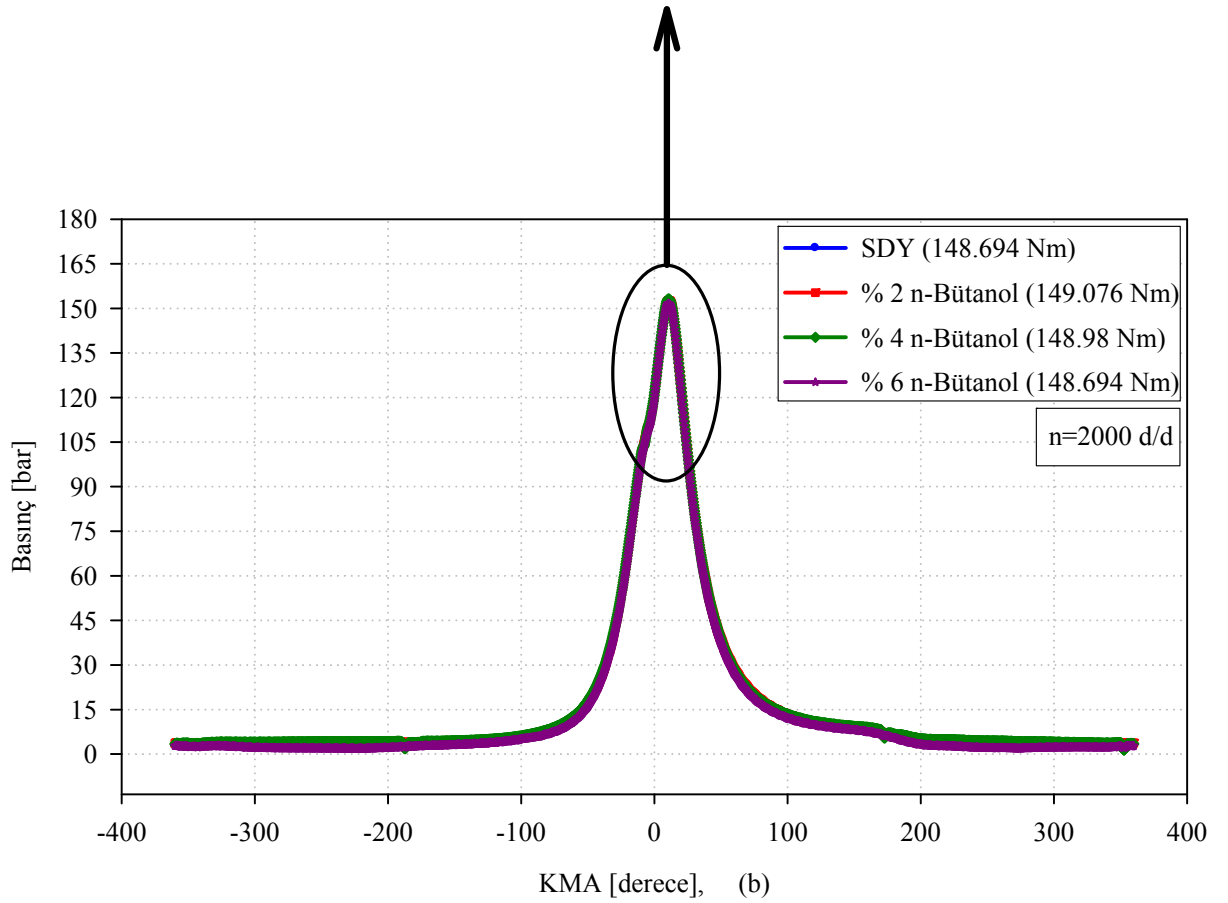
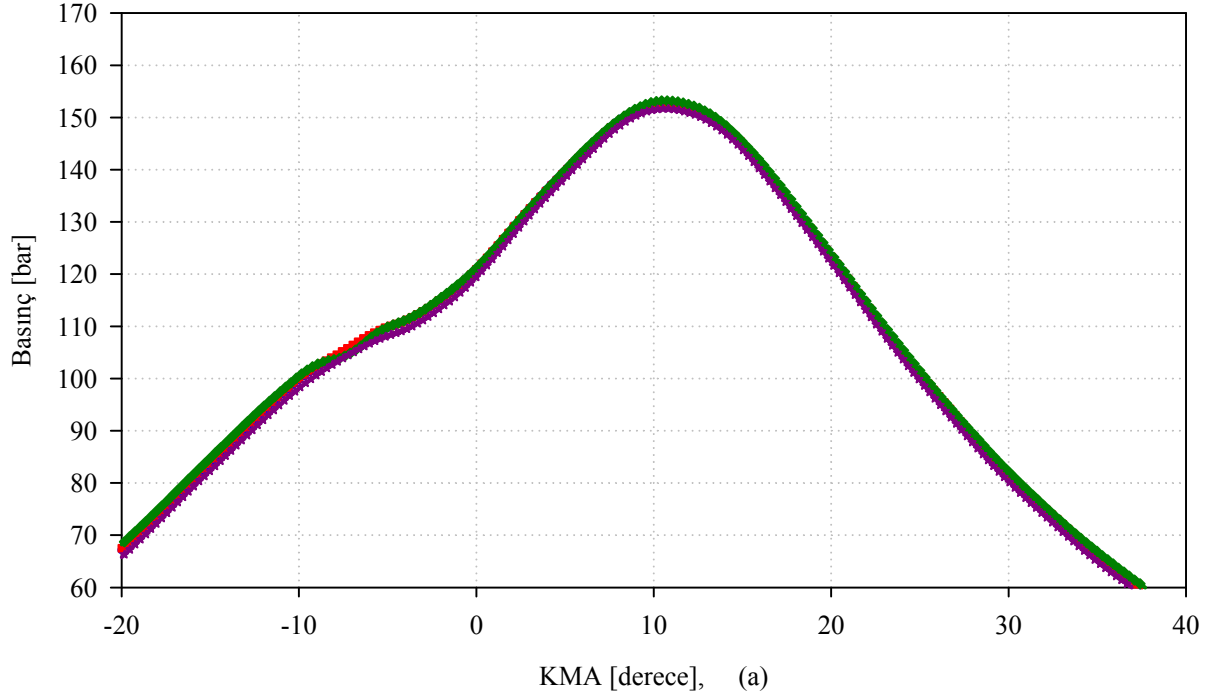
Şekil 23. (a) 2000 d/d'da farklı yüklerde NO_x emisyonunun n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında NO_x emisyonundaki değişim oranları



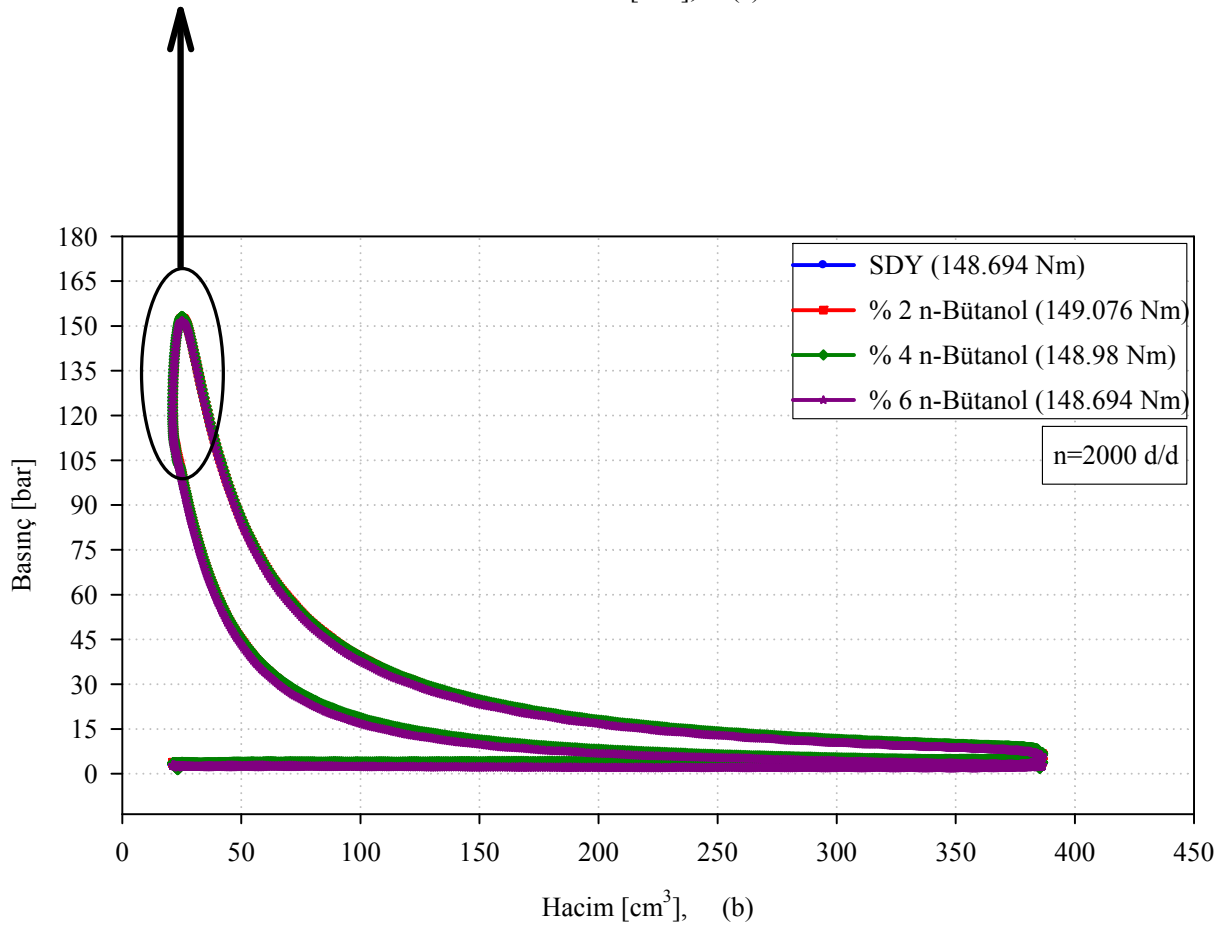
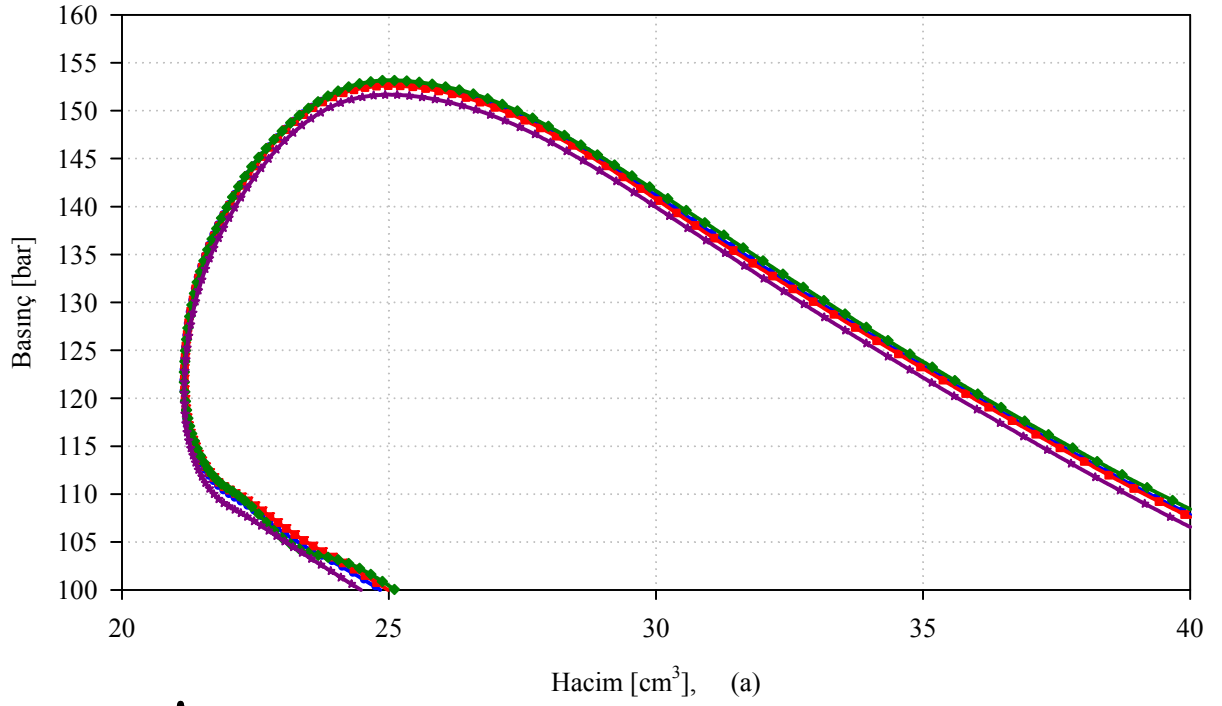
Şekil 24. (a) 2000 d/d'da farklı yüklerde eksoz gazı sıcaklığının n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında eksoz gazı sıcaklığındaki değişim oranları



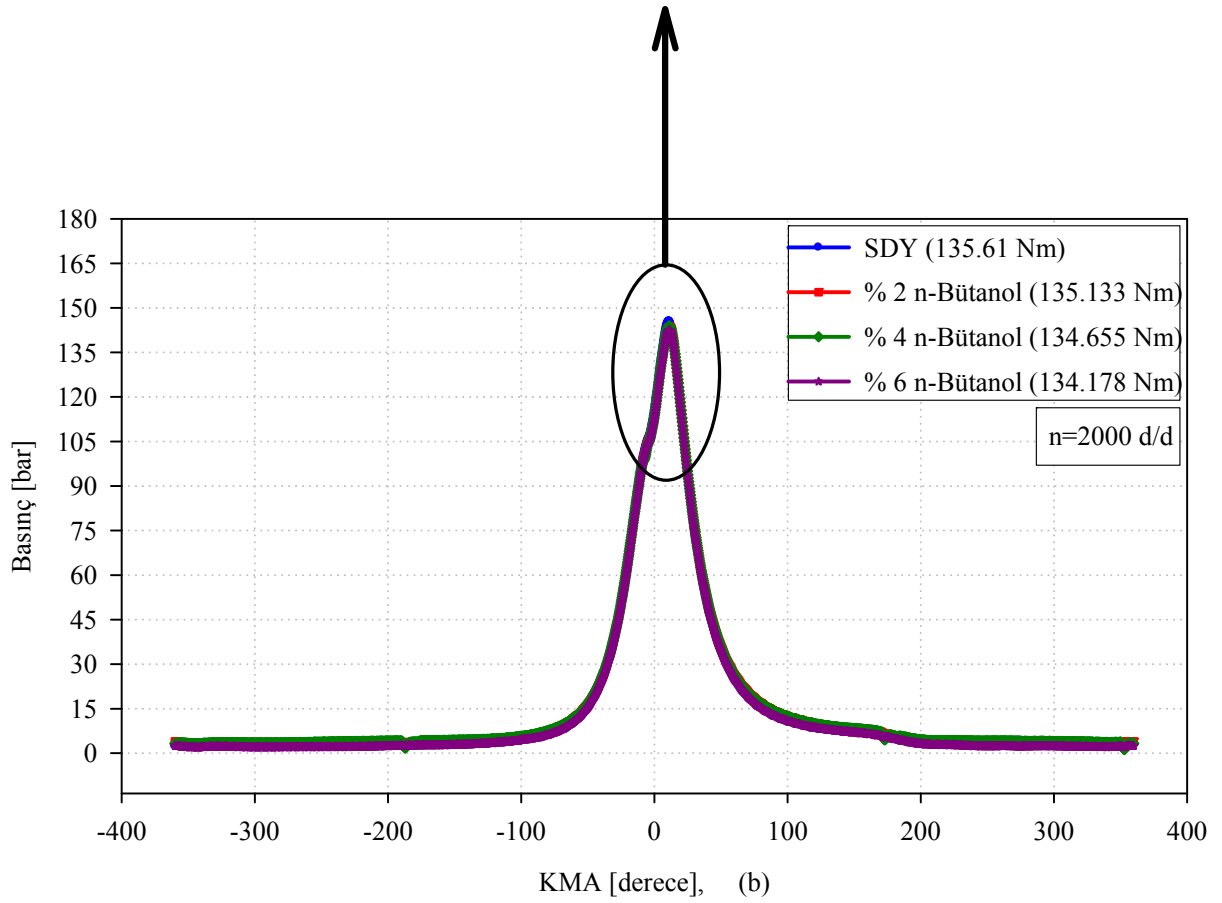
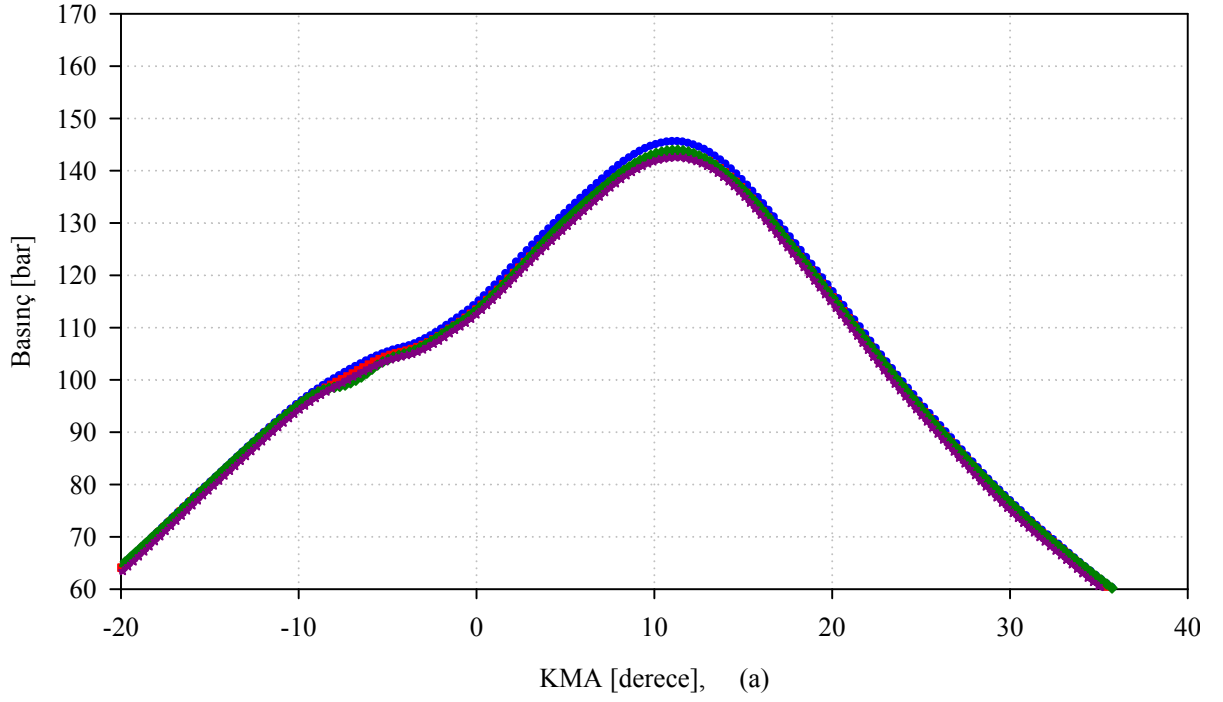
Şekil 25. (a) 2000 d/d'da farklı yüklerde hava fazlalık katsayısının n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında hava fazlalık katsayısındaki değişim oranları



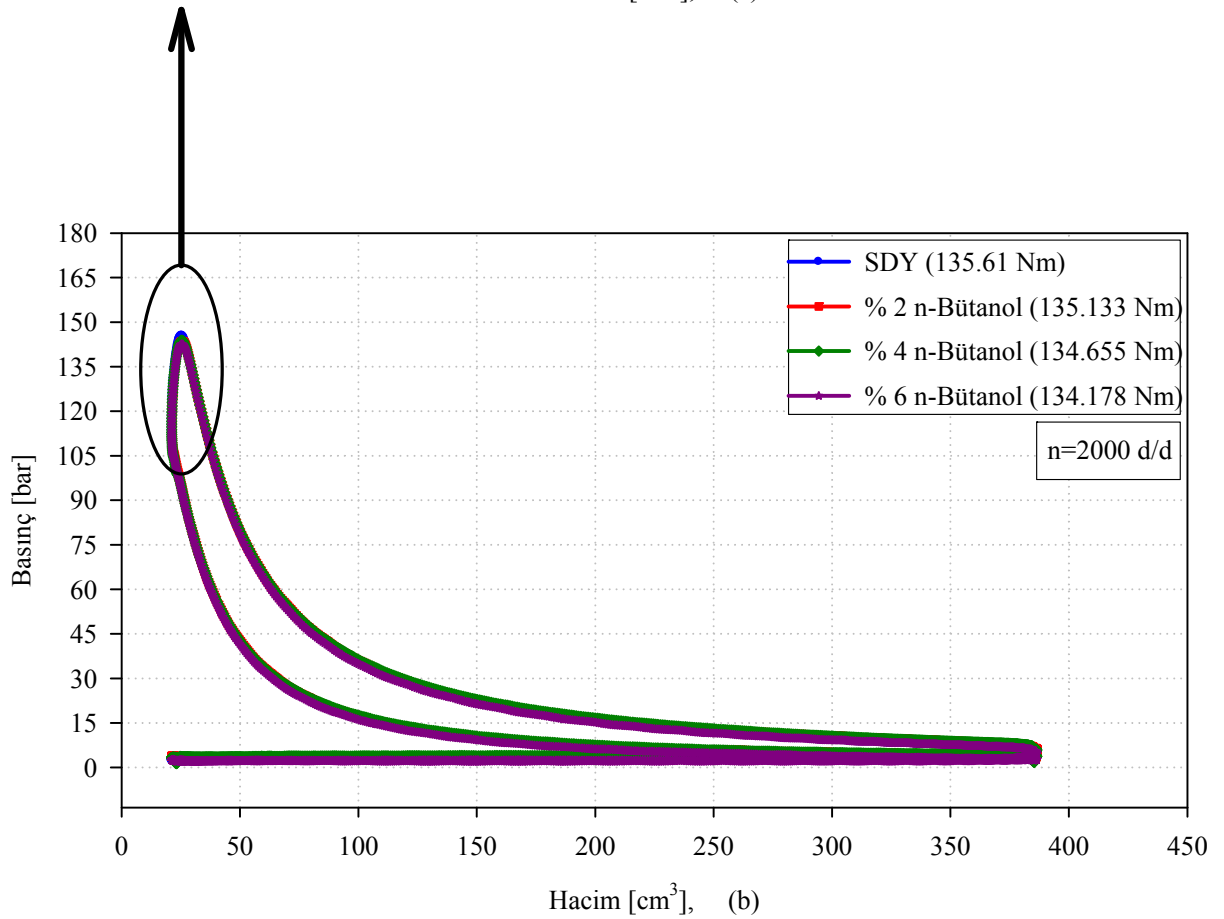
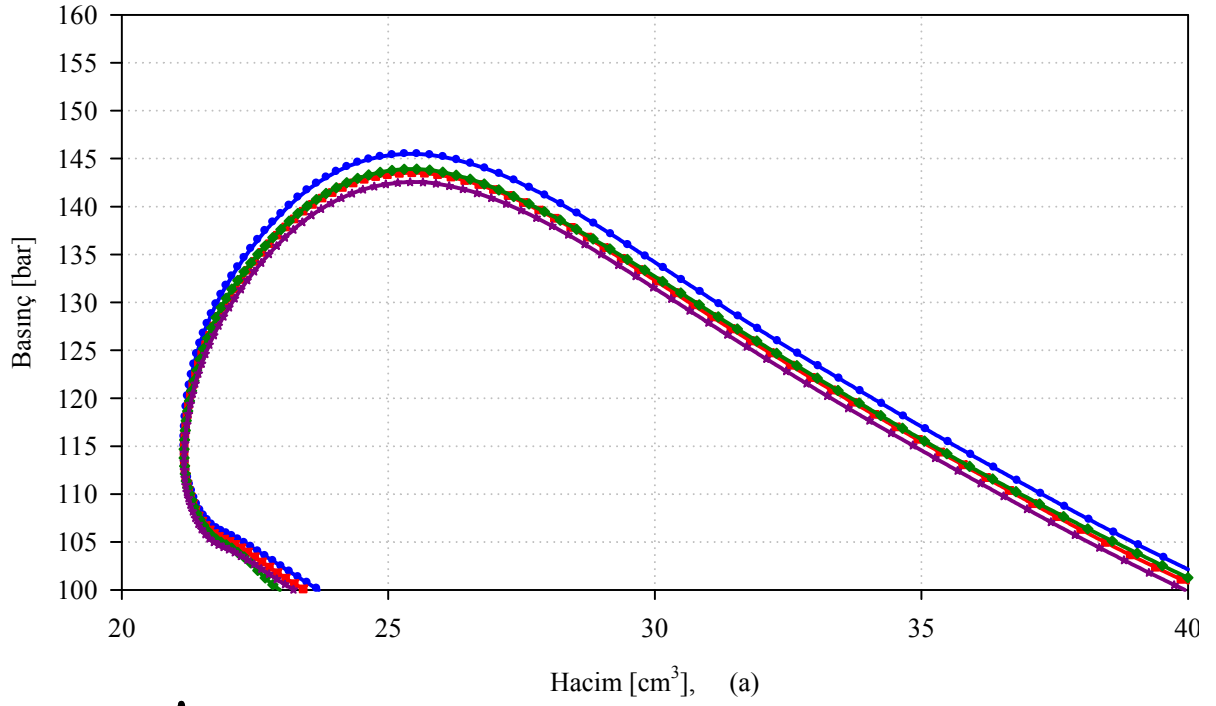
Şekil 26. (a) 2000 d/d'da 149 Nm (tam gaz-tam yük) için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının ÜÖN civarında krank mili açısına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da 149 Nm (tam gaz-tam yük) için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının krank mili açısına göre değişimleri



Şekil 27. (a) 2000 d/d'da 149 Nm (tam gaz-tam yük) durumunda farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının ÜÖN civarında silindir hacmine göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da 149 Nm (tam gaz-tam yük) durumunda farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının silindir hacmine göre değişimleri



Şekil 28. (a) 2000 d/d'da 132 Nm için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının ÜÖN civarında krank mili açısına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da 132 Nm için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının krank mili açısına göre değişimleri



Şekil 29. (a) 2000 d/d'da 132 Nm için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının ÜÖN civarında silindir hacmine göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da 132 Nm için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının silindir hacmine göre değişimleri

3.6. 2500 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Performans Karakteristikleri ve Yakıt Maliyeti Üzerindeki Etkileri

2500 d/d'da; (145, 135, 125, 115, 105, 95, 85 ve 75) Nm gibi 8 farklı döndürme momentleri için ilgili karakteristiklerin % (2, 4 ve 6) nBDYK'larına göre değişimleri Şekil 30-33'te gösterilmiştir. Şekil 30 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için efektif gücün n-bütanol oranlarına göre değişimleri gösterilmiştir. Şekil 30 (b)'de ise % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için bulunan efektif güçlerin SDY durumuna göre değişim oranları, seçilen döndürme momentleri için sunulmuştur. Şekil 30 (a)'dan görülebileceği gibi efektif güç seçilen n-bütanol oranları için tüm döndürme momentlerinde azalmıştır. Şekil 30 (b)'de, n-bütanol oranı arttıkça efektif güçteki azalma oranlarının arttığı görülmektedir. Seçilen döndürme momenti değerleri için efektif güçteki ortalama azalma; % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranlarında sırasıyla % 1.26, % 2.15 ve % 3.15 oranlarında olmuştur.

Şekil 31 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için ÖYT'nin n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 31 (b)'de ise % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için bulunan ÖYT'nin SDY durumuna göre değişim oranları seçilen döndürme momentleri için sunulmuştur. Şekil 31 (a)'dan görülebileceği gibi ÖYT, % 2 n-bütanol oranında azalmasına karşın % (4 ve 6) n-bütanol oranlarında ise artmıştır. Şekil 31 (b)'de seçilen döndürme momenti değerleri için SDY'na göre ÖYT'nde; % 2 n-bütanol oranında ortalama % 0.57 azalma, % (4 ve 6) n-bütanol oranlarında ise sırasıyla ortalama % 0.54 ve % 2.10 artma olmuştur.

Şekil 32 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için efektif verimin n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 32 (b)'de ise % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için bulunan efektif verim değerlerinin SDY durumuna göre değişim oranları seçilen döndürme momenti değerleri için sunulmuştur. Şekil 32 (a)'dan görülebileceği gibi efektif verim % 2 ve % 4 n-bütanol oranları için artış gösterirken % 6 n-bütanol oranı için azalma göstermiştir. Şekil 32 (b)'de seçilen döndürme momenti değerleri için SDY durumuna göre efektif verimde; % 2 ve % 4 n-bütanol oranlarında sırasıyla ortalama % 1.01 ve % 0.31 artma ve % 6 n-bütanol oranında ise ortalama % 0.78 azalma bulunmuştur.

Şekil 33 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için yakıt maliyetinin n-bütanol oranlarına göre değişimleri gösterilmiştir. Şekil 33 (b)'de ise % 2, % 4 ve % 6 n-bütanol oranları için bulunan maliyet değerlerinin SDY durumuna göre değişim oranları sunulmuştur. Şekil 33 (a)'dan görülebileceği gibi yakıt fiyatı tüm n-bütanol oranları için artma göstermiştir. Şekil 33 (b)'de, n-bütanol oranı arttıkça fiyatın daha da arttığı

görülebilmektedir. Seçilen döndürme momenti değerleri için fiyattaki ortalama artış; % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranlarında sırasıyla % 9.76, % 21.05 ve % 32.77 oranlarında olmuştur.

Söz konusu değişimlere ilişkin 2000 d/d için yukarıdaki paragraflarda verilmiş olan yorumların benzerleri 2500 d/d için de yapılabilir.

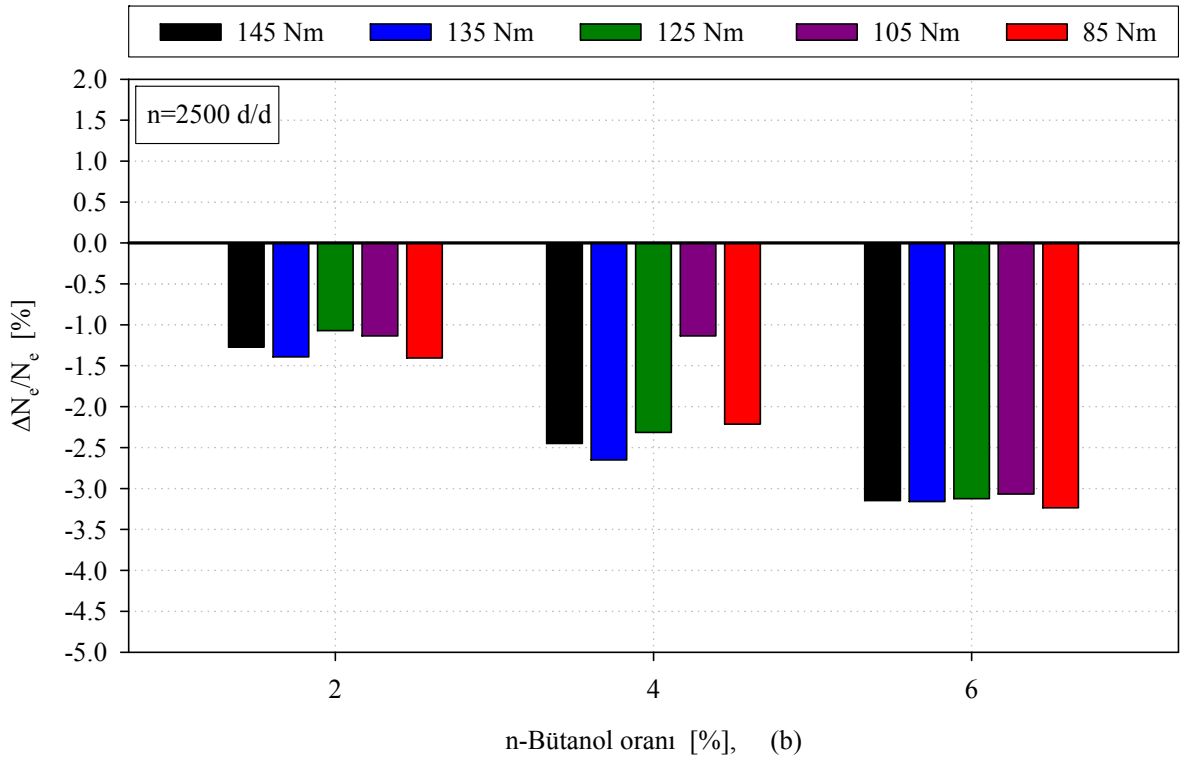
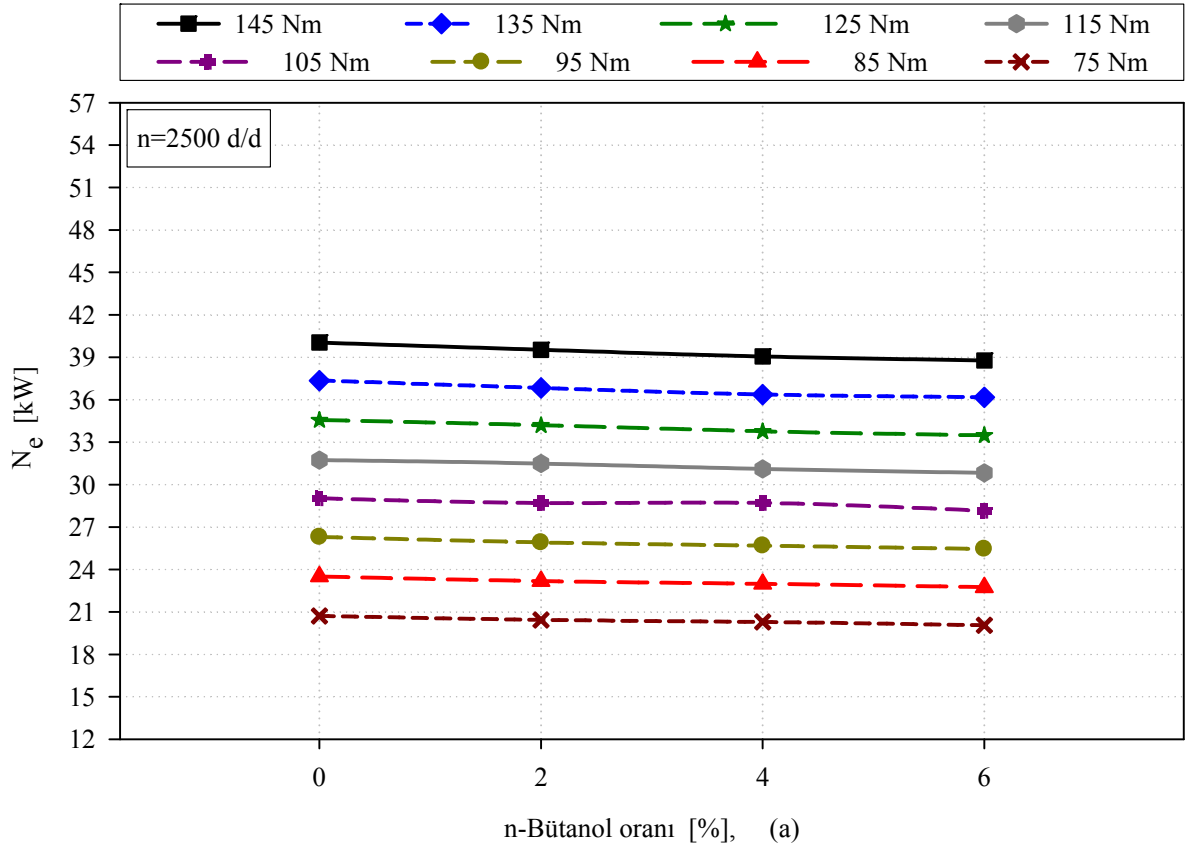
3.7. 2500 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkileri

Şekil 34 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için NO_x emisyonunun n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 34 (b)'de ise % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için ölçülen NO_x emisyonu değerlerinin SDY durumuna göre değişim oranları seçilen (145, 135, 125, 105 ve 85) Nm yükleri için sunulmuştur. Şekil 34 (a)'dan görülebileceği gibi NO_x emisyonu % 2 ve % 4 nBDYK oranlarında azalma göstermesine karşın % 6 nBDYK durumunda artmıştır. Şekil 34 (b)'de seçilen döndürme momenti değerleri için SDY'na göre NO_x emisyonu; % 2 ve % 4 n-bütanol oranlarında sırasıyla ortalama % 0.31 ve % 1.31 azalma, % 6 n-bütanol oranında ise ortalama % 1.03 artış göstermiştir.

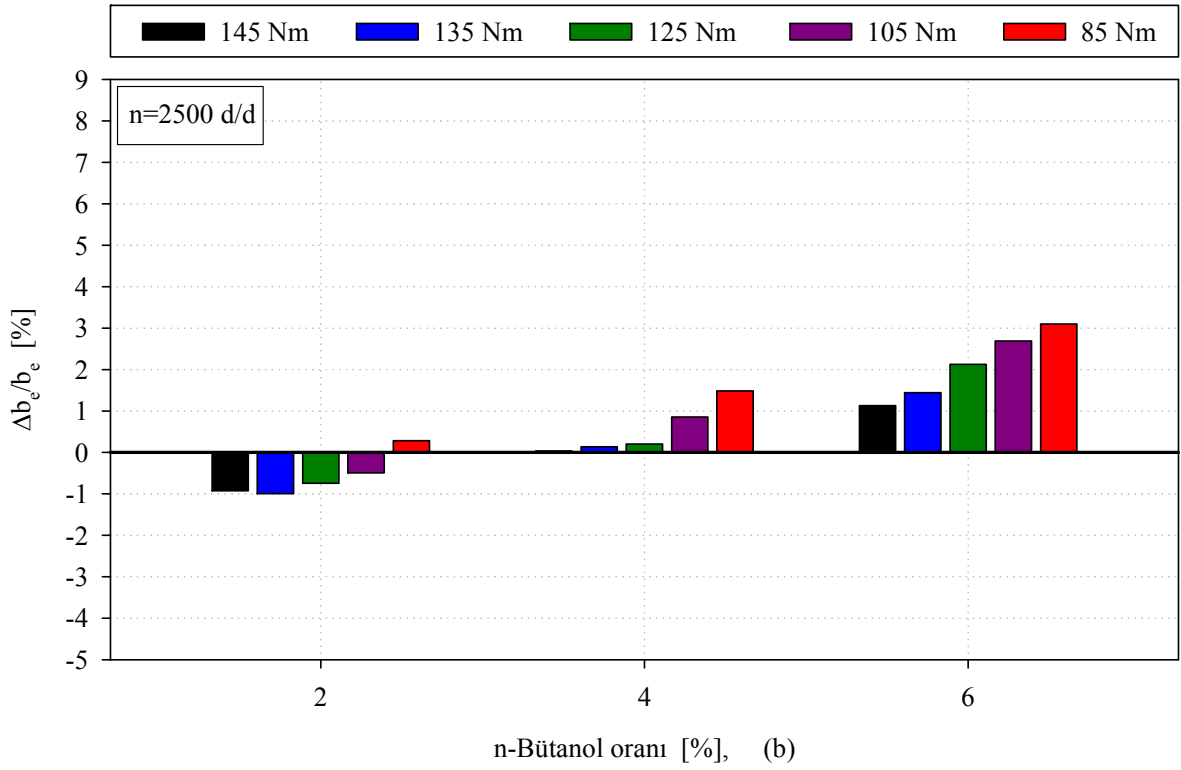
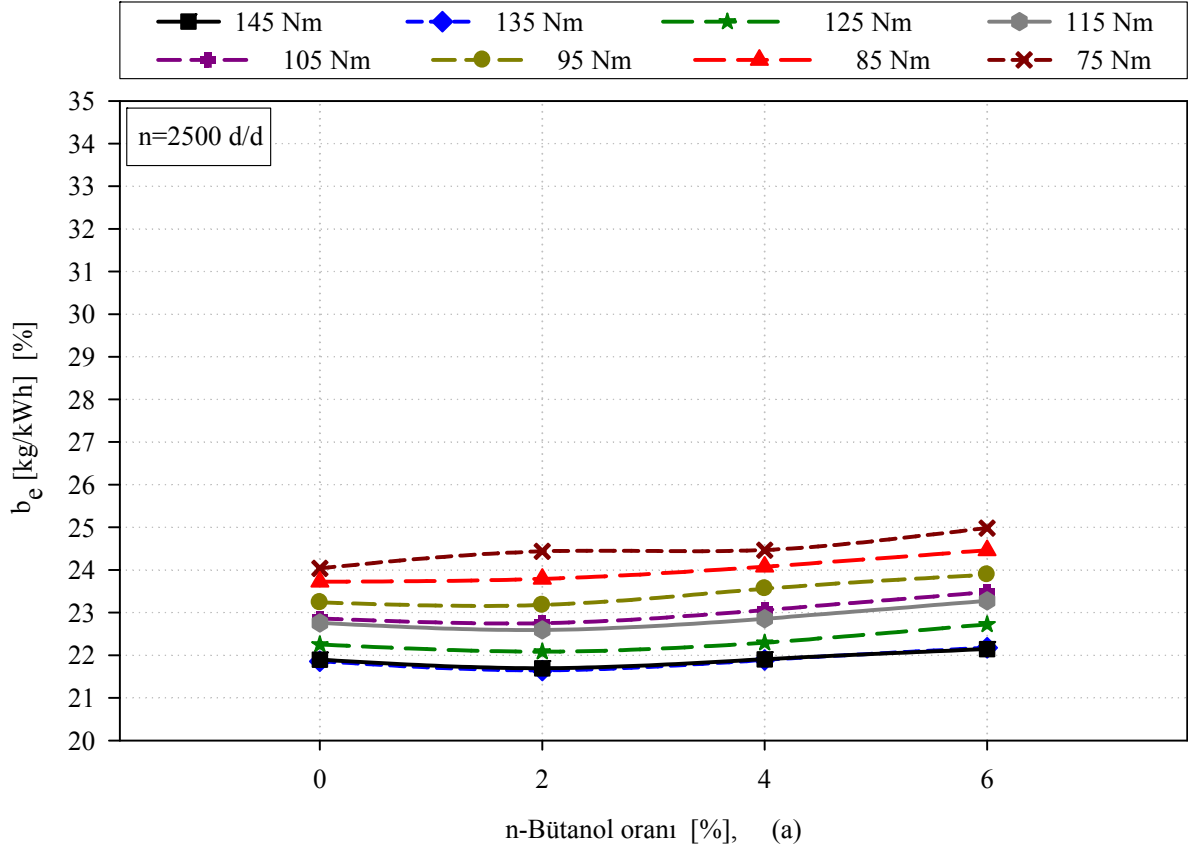
Şekil 35 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için eksoz gazı sıcaklığının n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 35 (b)'de ise % (2, 4 ve 6) nBDYK'ları için ölçülen eksoz gazı sıcaklıklarının SDY durumuna göre değişim oranları seçilen döndürme momentleri için sunulmuştur. Şekil 35 (a)'dan görülebileceği gibi eksoz gazı sıcaklık değerleri seçilen n-bütanol oranları için tüm döndürme momenti değerlerinde azalmıştır. Şekil 35 (b)'de, n-bütanol oranı arttıkça eksoz gazı sıcaklıklarının azalma oranlarının arttığı görülmektedir. Seçilen yük değerleri için eksoz gazı sıcaklıklarındaki ortalama azalma; % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranlarında sırasıyla % 0.68, % 2.51 ve % 2.78 oranlarında olmuştur.

Şekil 36 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için hava fazlalık katsayısının n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 36 (b)'de ise % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için ölçülen hava fazlalık katsayılarının SDY durumuna göre değişim oranları seçilen döndürme momentleri için sunulmuştur. Şekil 36 (a)'dan görülebileceği gibi hava fazlalık katsayısı % (2, 4 ve 6) nBDYK'ları için artmıştır. Şekil 36 (b)'de seçilen döndürme momentleri için SDY'na göre hava fazlalık katsayılarındaki ortalama artma oranları; % (2, 4 ve 6) nBDYK'ları için sırasıyla % 3.40, % 6.74 ve % 6.97 şeklinde bulunmuştur.

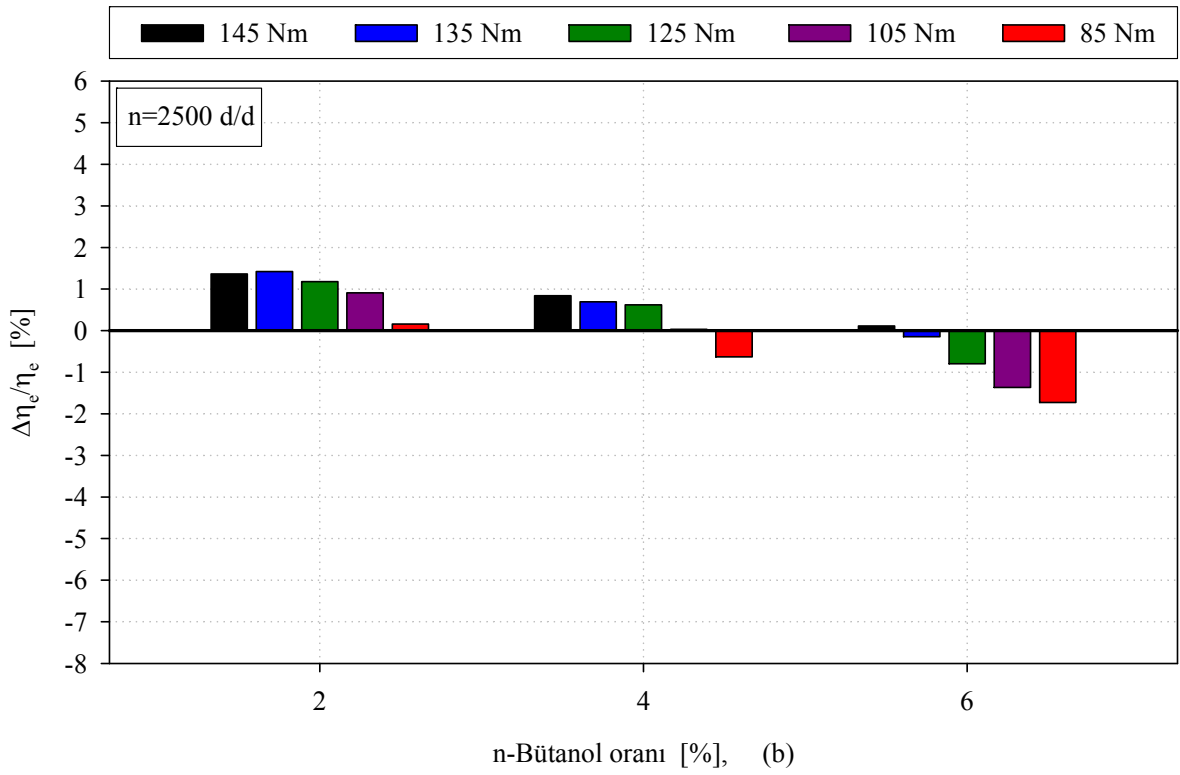
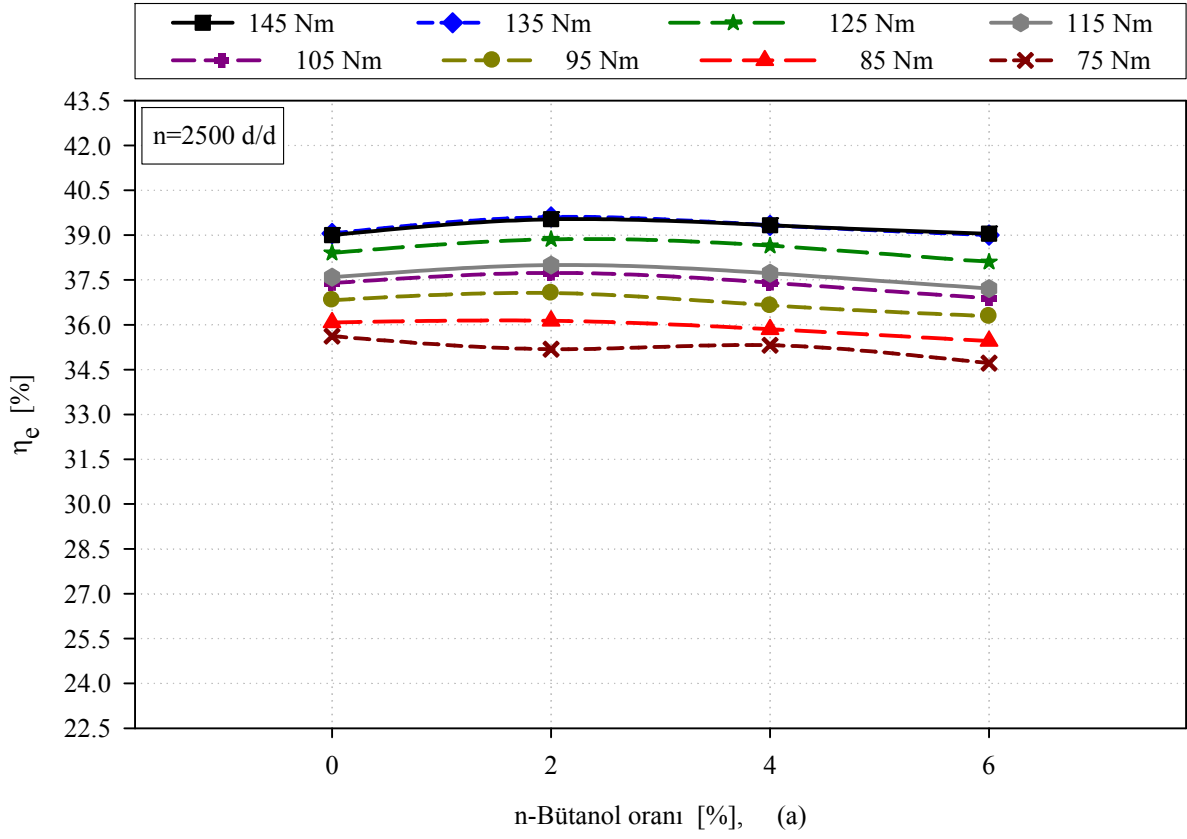
Söz konusu değişimlere ilişkin 2000 d/d için yukarıdaki paragraflarda verilmiş olan yorumların benzerleri 2500 d/d için de yapılabilir.



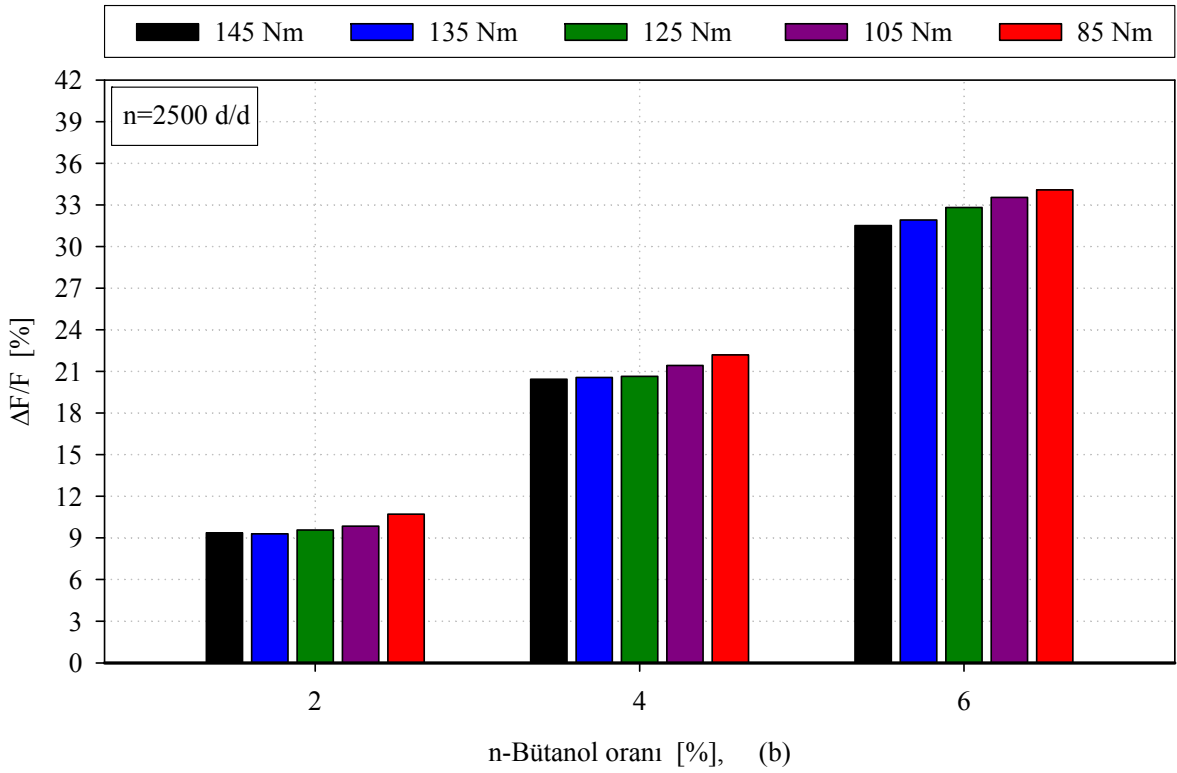
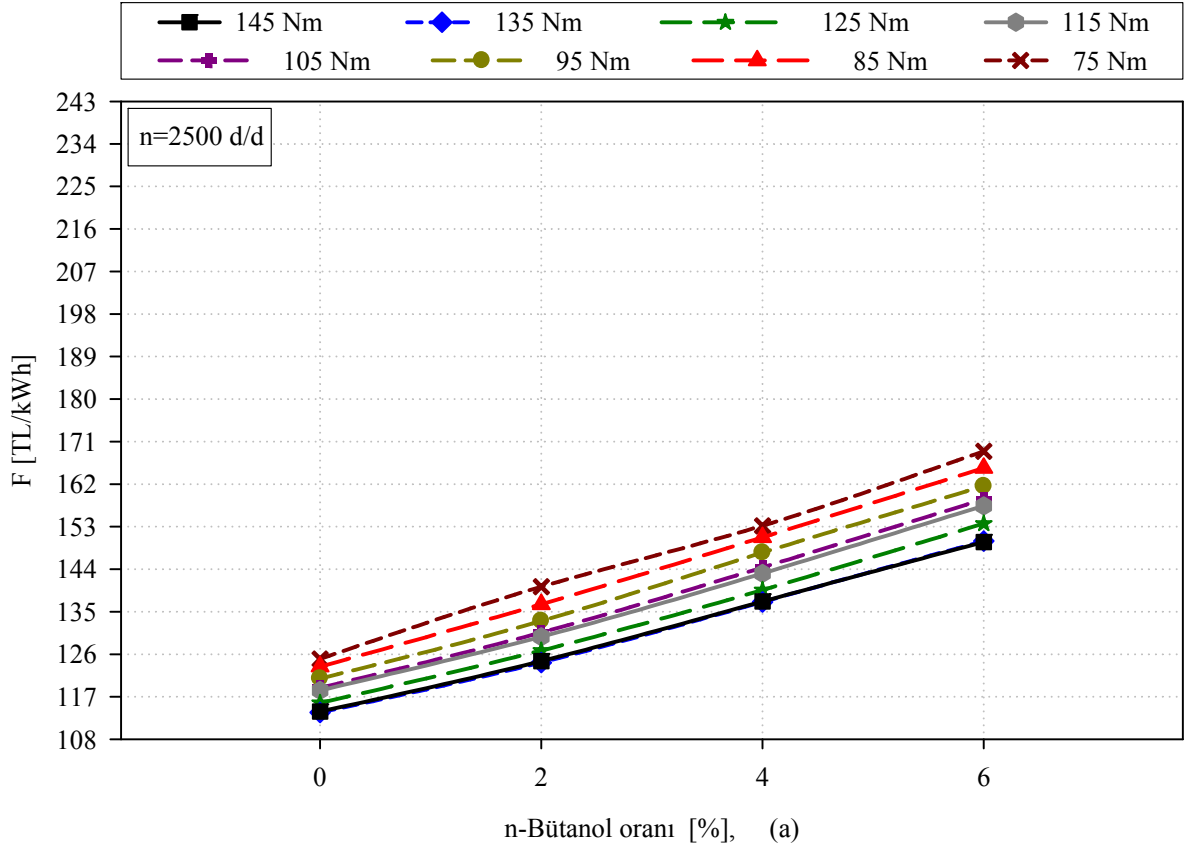
Şekil 30. (a) 2500 d/d’da farklı yüklerde efektif gücün n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2500 d/d’da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif güçteki değişim oranları



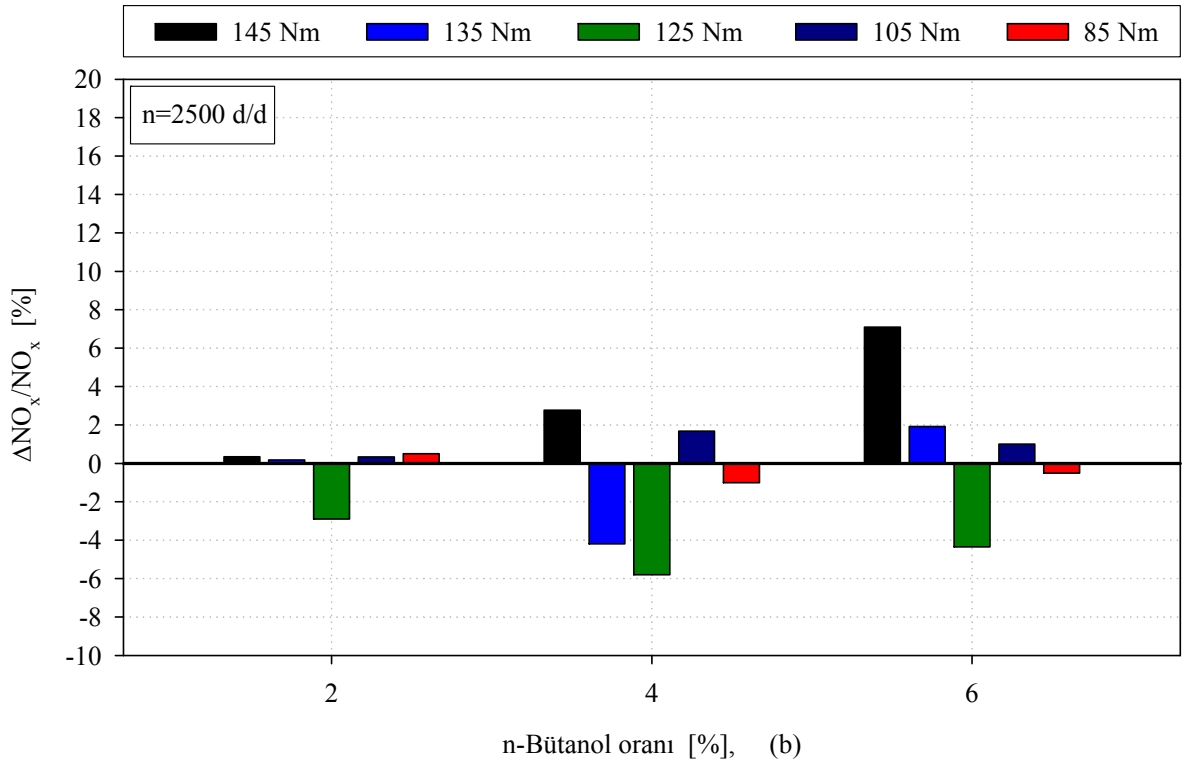
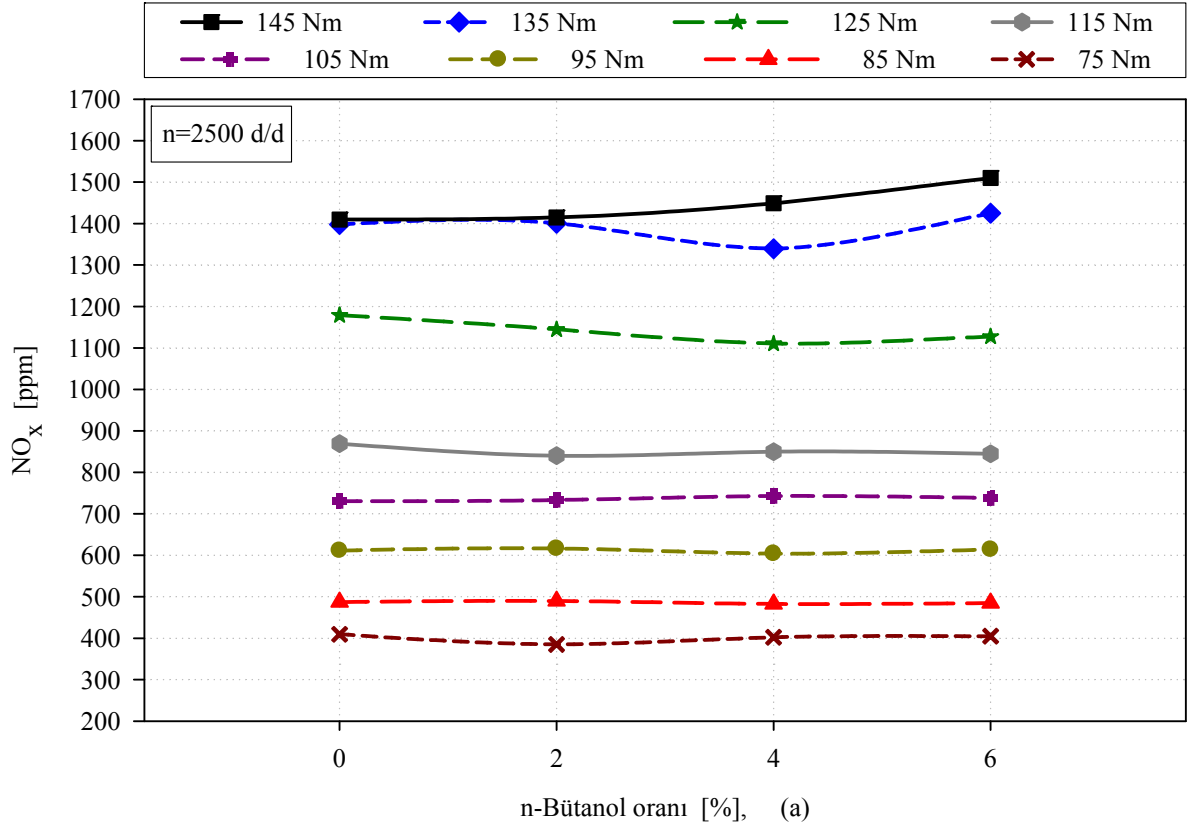
Şekil 31. (a) 2500 d/d'da farklı yüklerde ÖYT'nin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında ÖYT'ndeki değişim oranları



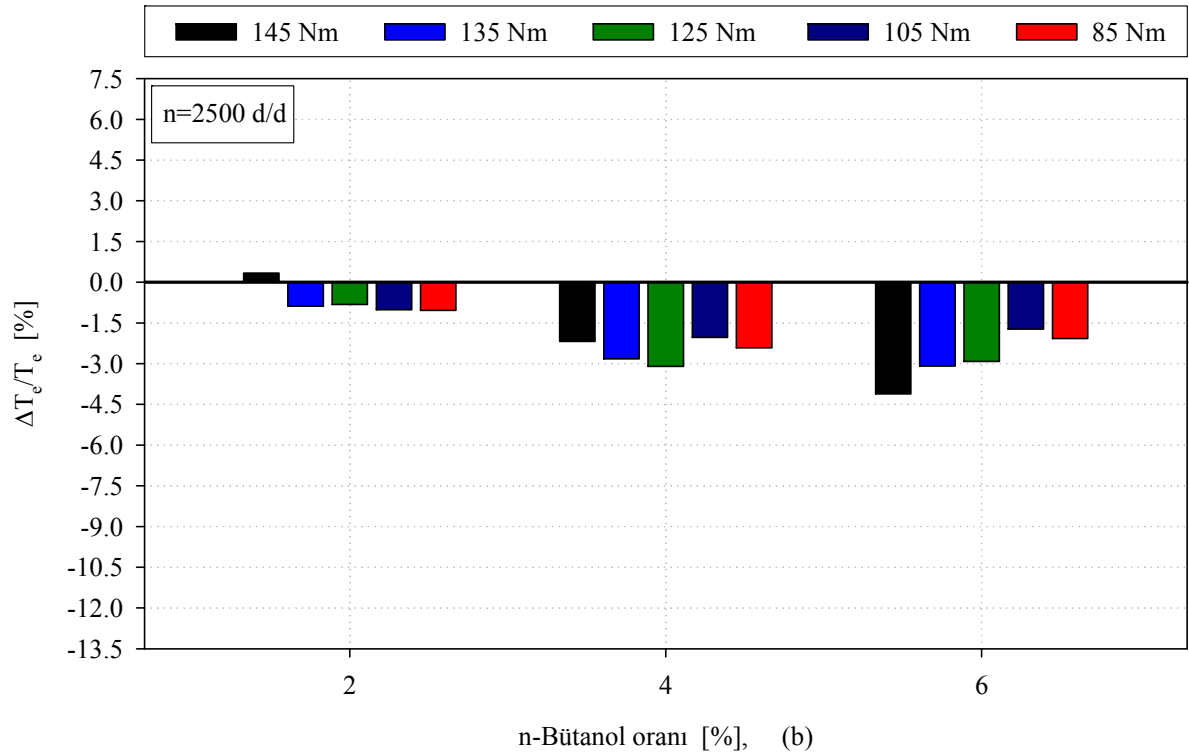
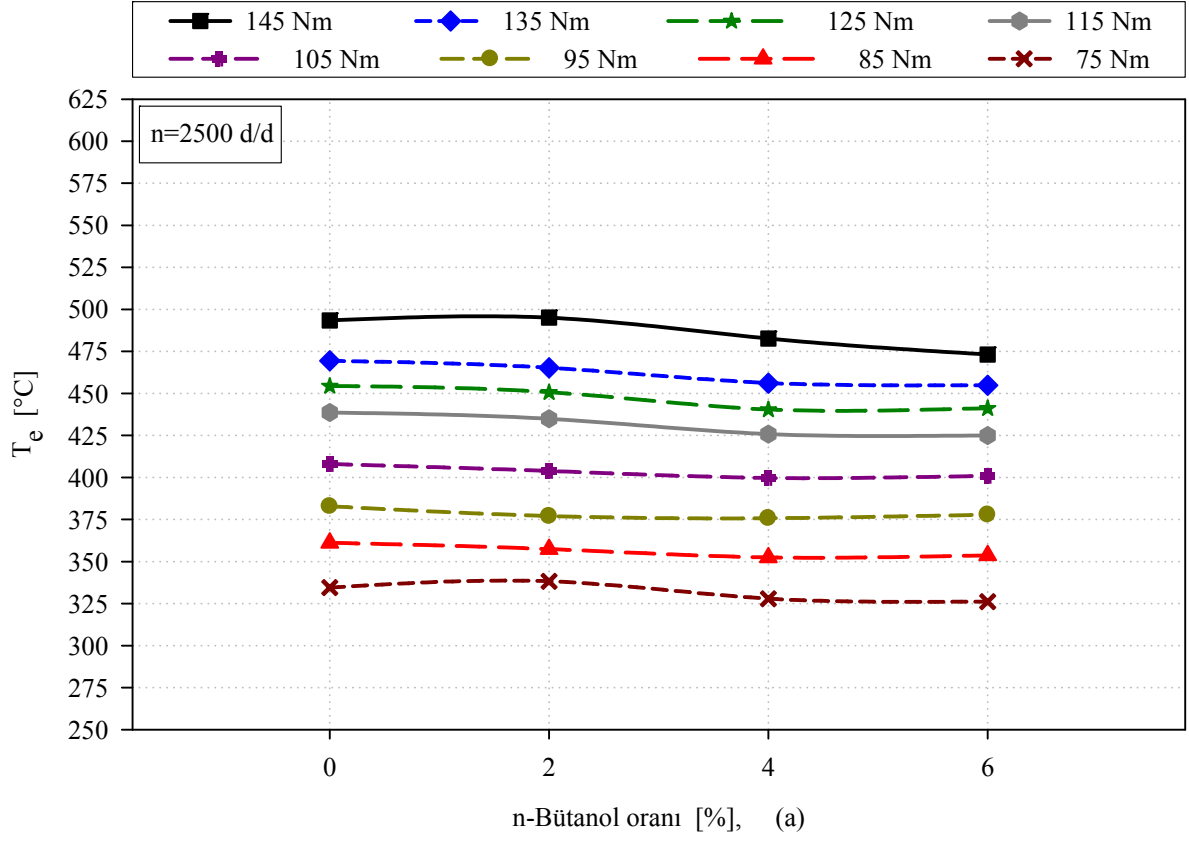
Şekil 32. (a) 2500 d/d'da farklı yüklerde efektif verimin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif verimdeki değişim oranları



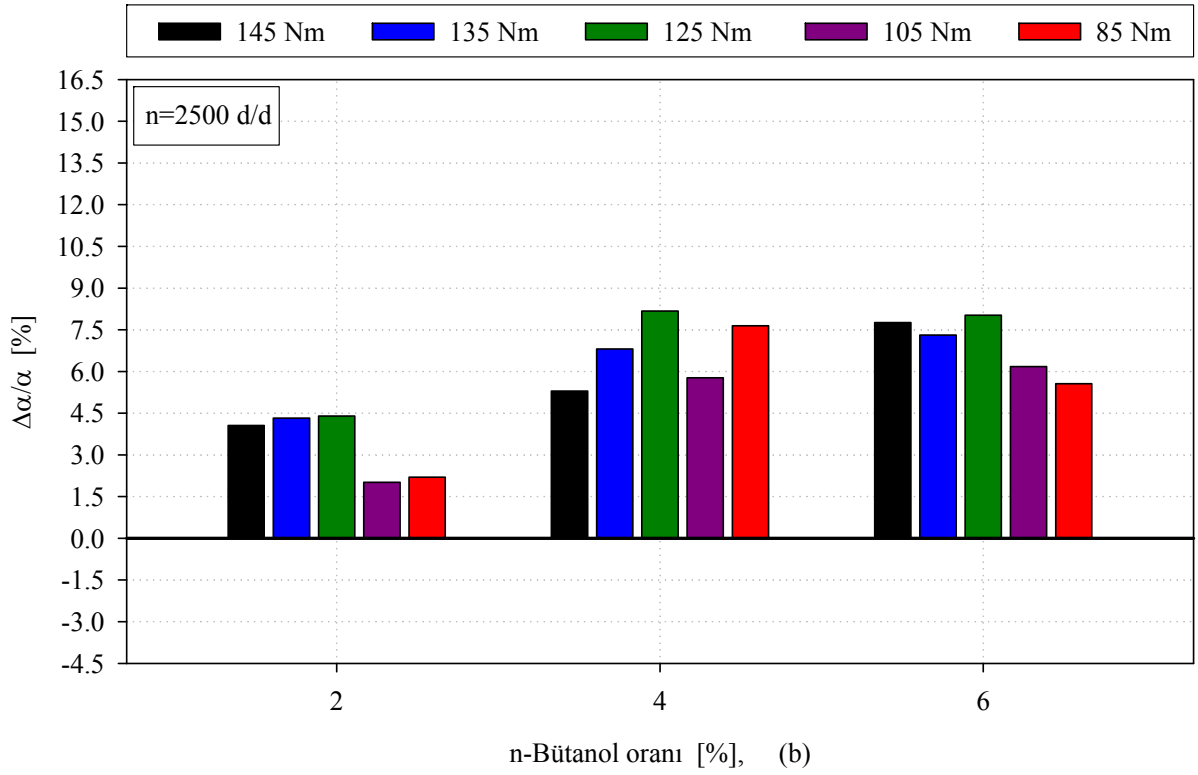
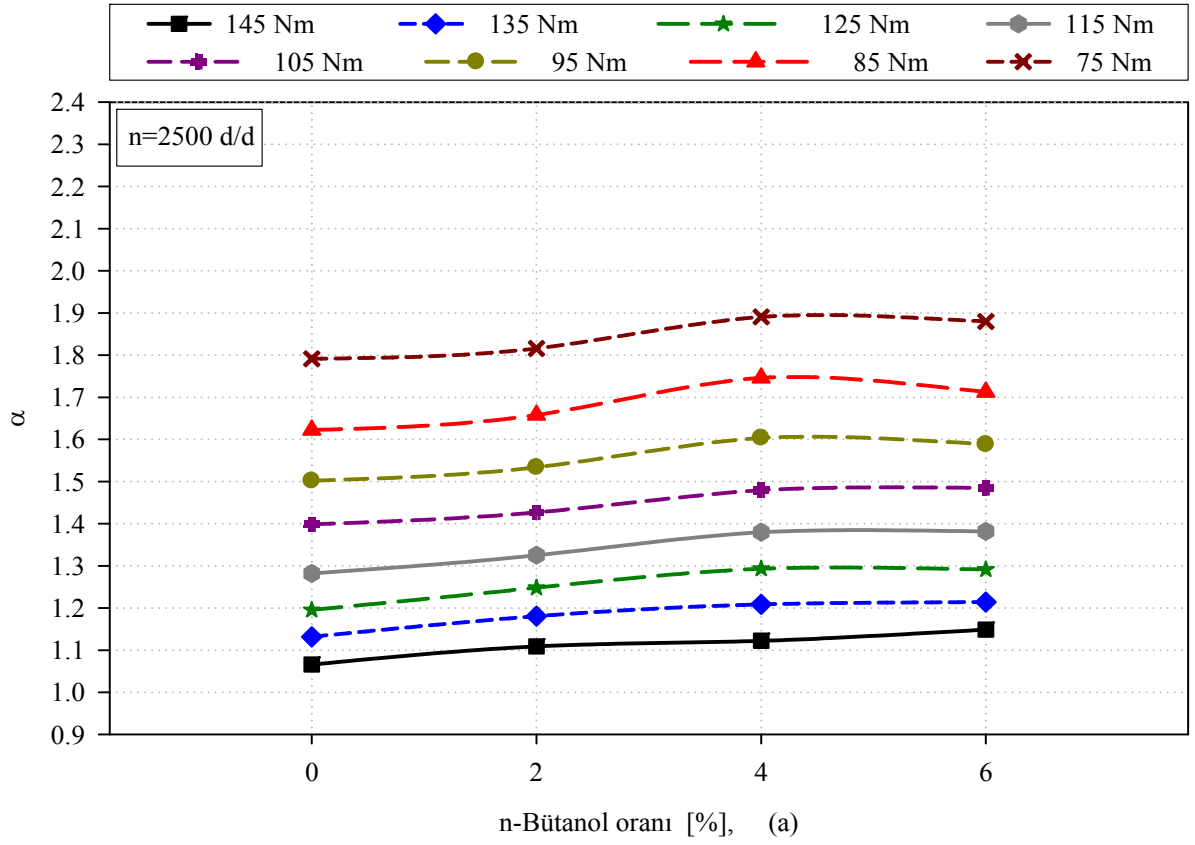
Şekil 33. (a) 2500 d/d'da farklı yüklerde yakıt maliyetinin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında yakıt maliyetindeki değişim oranları



Şekil 34. (a) 2500 d/d'da farklı yüklerde NO_x emisyonunun n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında NO_x emisyonundaki değişim oranları



Şekil 35. (a) 2500 d/d'da farklı yüklerde eksoz gazı sıcaklığının n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında eksoz gazı sıcaklığındaki değişim oranları



Şekil 36. (a) 2500 d/d'da farklı yüklerde hava fazlalık katsayısının n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 2500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında hava fazlalık katsayısındaki değişim oranları

3.8. 3000 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Performans Karakteristikleri ve Yakıt Maliyeti Üzerindeki Etkileri

Şekil 37 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için efektif gücün n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 37 (b)'de ise % (2, 4 ve 6) nBDYK oranları için bulunan efektif güç değerlerinin SDY durumuna göre değişim oranları, seçilen döndürme momentleri için sunulmuştur. Şekil 37 (a)'dan görülebileceği gibi efektif güç seçilen n-bütanol oranları için tüm döndürme momentlerinde azalmıştır. Şekil 37 (b)'de, n-bütanol oranı arttıkça efektif güçteki azalma oranlarının arttığı görülmektedir. Seçilen döndürme momentleri için efektif güçteki ortalama azalmalar; % 2 n-bütanol oranında % 0.51, % 4 n-bütanol oranında % 2.26 ve % 6 n-bütanol oranında ise % 2.55 oranında olmuştur.

Şekil 38 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için ÖYT'nin n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 38 (b)'de ise % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için bulunan ÖYT'nin SDY durumuna göre değişim oranları seçilen döndürme momentleri için sunulmuştur. Şekil 38 (a)'dan görülebileceği gibi ÖYT, % 2 n-bütanol oranında azalmıştır, % 4 n-bütanol oranında SDY değerlerine çok yakın değerler almıştır ve % 6 n-bütanol oranında ise artmıştır. Şekil 38 (b)'de seçilen döndürme momentleri için SDY'na göre ÖYT'nde; % (2 ve 4) n-bütanol oranlarında sırasıyla ortalama % 0.88 ve % 0.08 azalma ve % 6 n-bütanol oranında ise ortalama % 0.42 artma olduğu görülmektedir.

Şekil 39 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için efektif verimin n-bütanol oranlarına göre değişimleri gösterilmiştir. Şekil 39 (b)'de ise % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için bulunan efektif verimlerin SDY'na göre değişim oranları seçilen döndürme momentleri için sunulmuştur. Şekil 39 (a)'dan görülebileceği gibi efektif verim % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için artmıştır. Şekil 39 (b)'de seçilen döndürme momentleri için SDY durumuna göre efektif verimde; % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranlarında sırasıyla ortalama % 1.29, % 0.86 ve % 0.68 artış oranları bulunmuştur. Buradan efektif verimdeki maksimum artmanın ve ÖYT'minde ise maksimum azalmanın % 2 nBDYK için elde edildiği söylenebilir.

Şekil 40 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için yakıt maliyetinin n-bütanol oranlarına göre değişimleri gösterilmiştir. Şekil 40 (b)'de ise % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için bulunan maliyet değerlerinin SDY'na göre değişim oranları seçilen döndürme momentleri için sunulmuştur. Şekil 40 (a)'dan görülebileceği gibi fiyat tüm n-bütanol oranları için artma göstermiştir. Şekil 40 (b)'de, n-bütanol oranı arttıkça fiyatın daha da arttığı görülebilir. Seçilen döndürme momenti değerleri için fiyattaki ortalama artış; % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için sırasıyla % 9.42, % 20.30 ve % 30.59 oranlarında olmuştur.

Söz konusu değişimlere ilişkin 2000 d/d için yukarıdaki paragraflarda verilmiş olan yorumların benzerleri 3000 d/d için de yapılabilir.

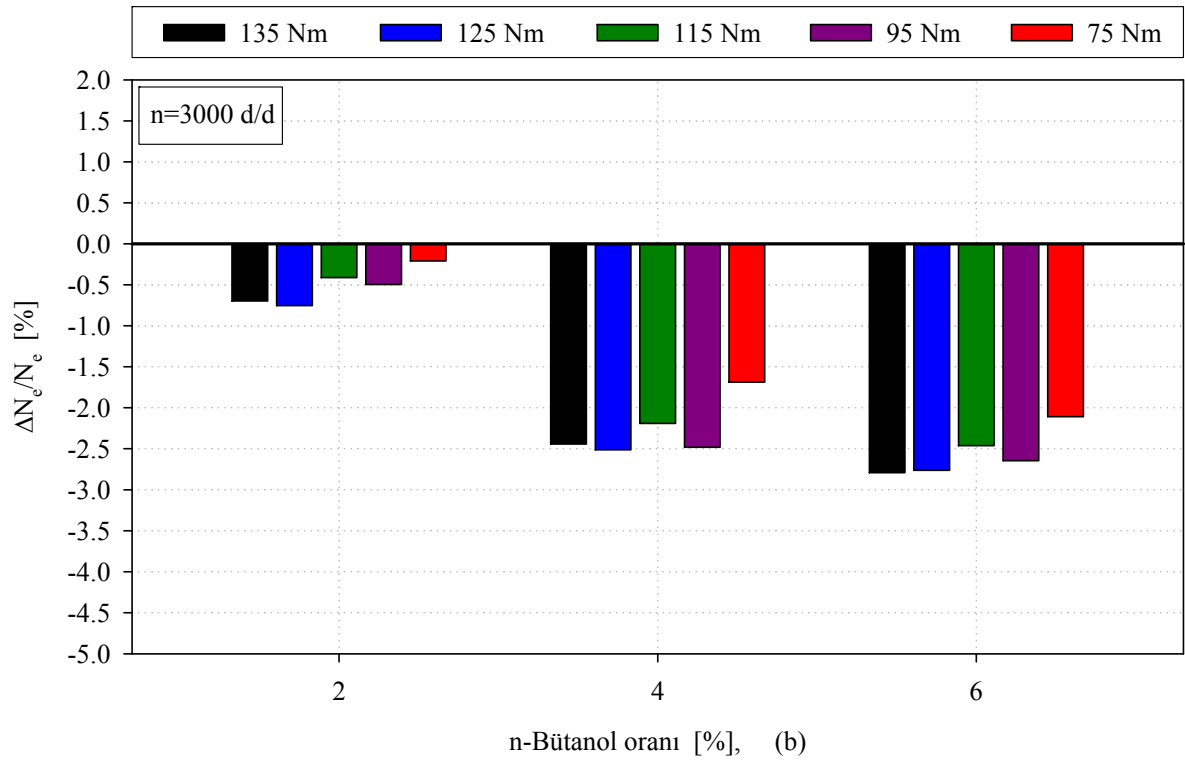
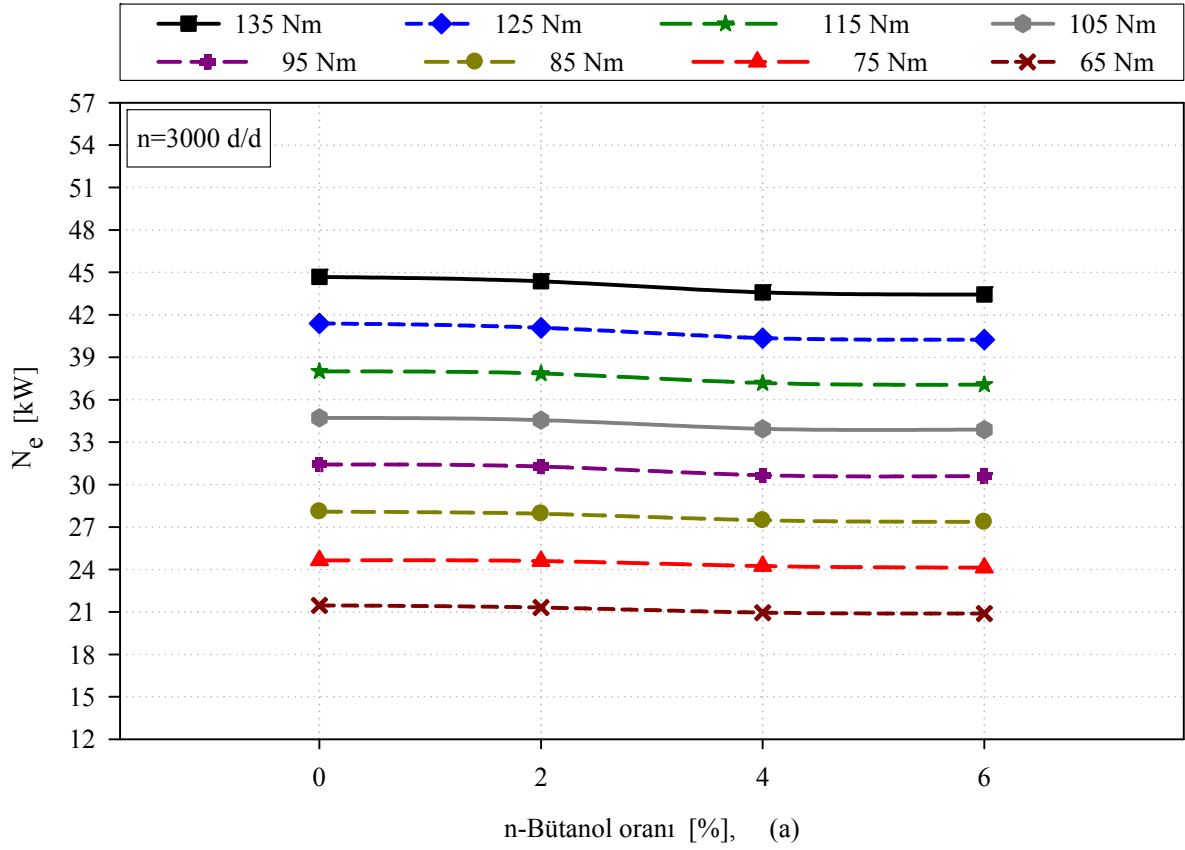
3.9. 3000 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkileri

Şekil 41 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için NO_x emisyonunun n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 41 (b)'de ise % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için ölçülen NO_x emisyonunun SDY'na göre değişim oranları seçilen döndürme momentleri için sunulmuştur. Şekil 41 (a)'dan görülebileceği gibi NO_x emisyonu % 2 n-bütanol oranında azalma göstermesine rağmen % 4 nBDYK'nda hemen hemen hiç değişmemiş, % 6 nBDYK durumunda ise artmıştır. Şekil 41 (b)'de seçilen döndürme momenti değerleri için SDY'na göre NO_x emisyonunda; % 2 n-bütanol oranında ortalama % 2.74 azalma, % (4 ve 6) n-bütanol oranlarında ise sırasıyla ortalama 0.26 ve % 2.94 artma oranları elde edilmiştir.

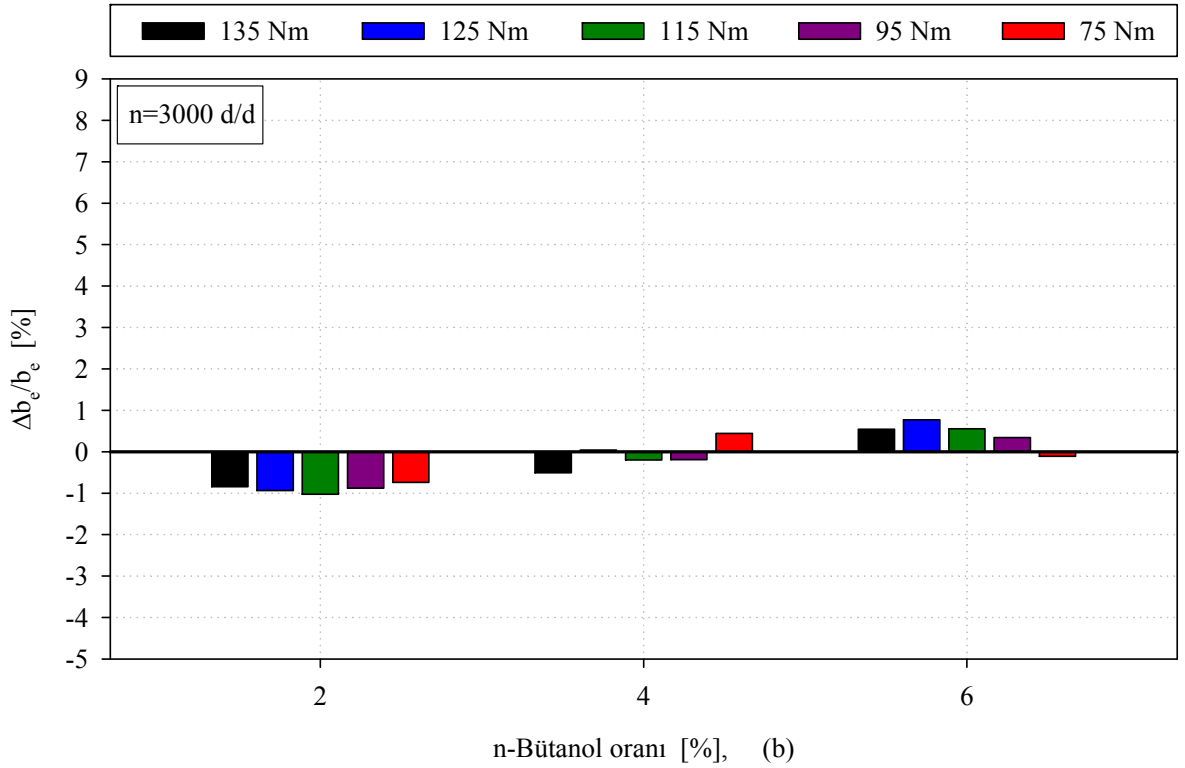
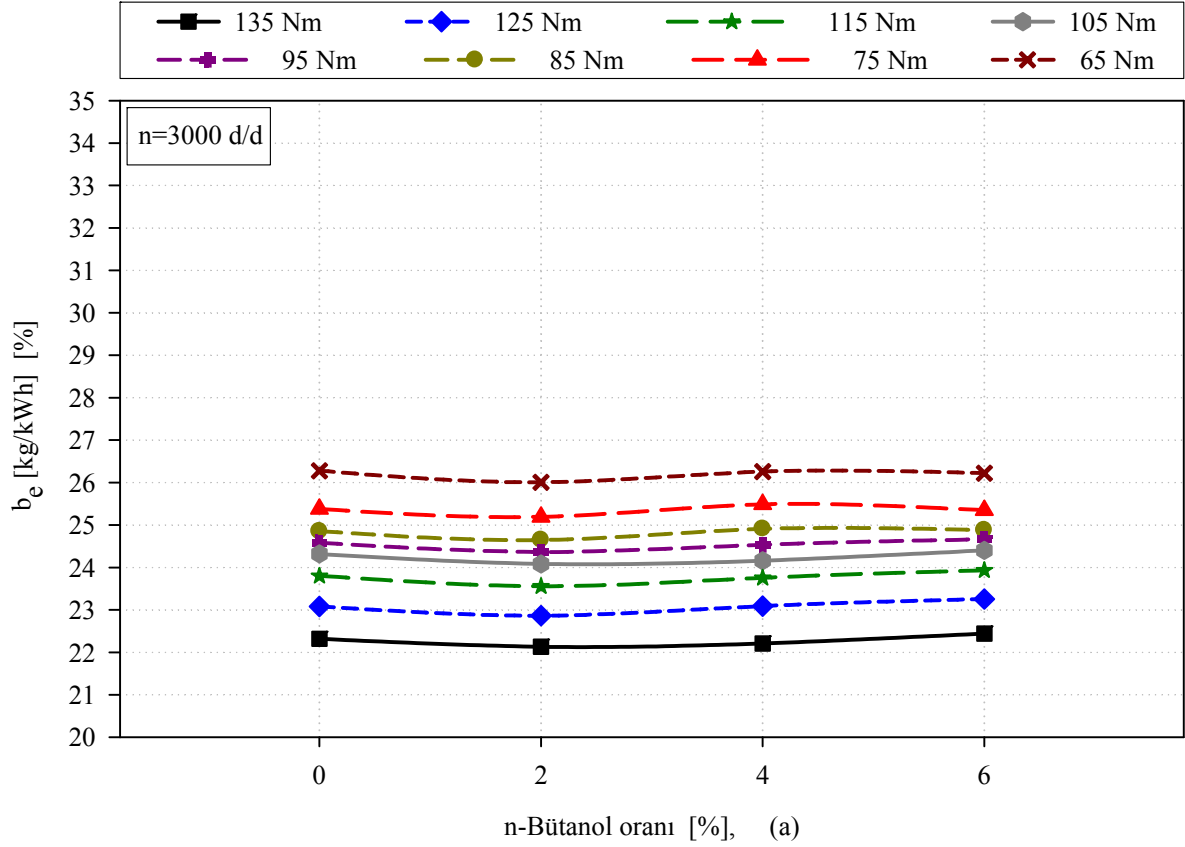
Şekil 42 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için eksoz gazı sıcaklıklarının n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 42 (b)'de ise % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için ölçülen eksoz gazı sıcaklıklarının SDY durumuna göre değişim oranları seçilen döndürme momentleri için sunulmuştur. Şekil 42 (a)'dan görülebileceği gibi eksoz gazı sıcaklıkları; % 2 nBDYK durumunda SDY'na biraz yakın değerler almıştır. Fakat % 4 ve % 6 nBDYK'ları için eksoz gazı sıcaklıkları biraz azalmıştır. Yüksek moment değerleri için eksoz gazı sıcaklığındaki azalmalar daha yüksektir. Seçilen yük değerleri için eksoz gazı sıcaklığında; % 2 n-bütanol oranında ortalama % 0.28 artma, % 4 n-bütanol oranında ortalama % 0.63 azalma ve % 6 n-bütanol oranında ise % 0.82 oranında azalma olmuştur.

Şekil 43 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için hava fazlalık katsayısının n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 43 (b)'de ise % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için ölçülen hava fazlalık katsayısının SDY durumuna göre değişim oranları seçilen döndürme momentleri için sunulmuştur. Şekil 43 (a)'dan görülebileceği gibi hava fazlalık katsayısı % 2 nBDYK'nda azalma gösterirken, % 4 ve % 6 nBDYK durumlarında ise artma göstermiştir. Şekil 43 (b)'de seçilen döndürme momentleri için SDY'na göre hava fazlalık katsayısında; % 2 n-bütanol oranında ortalama % 1.49 azalma, % 4 n-bütanol oranında ortalama % 6.72 artma, % 6 n-bütanol oranında ise ortalama % 6.68 artma olmuştur.

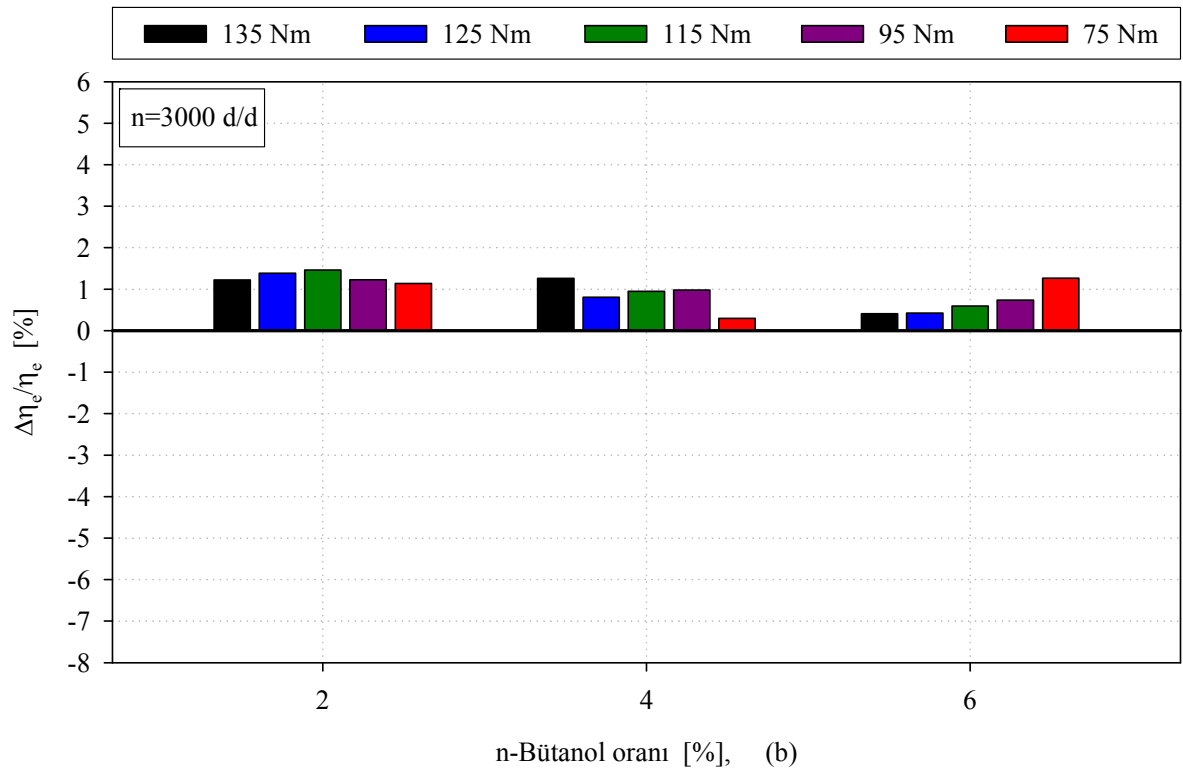
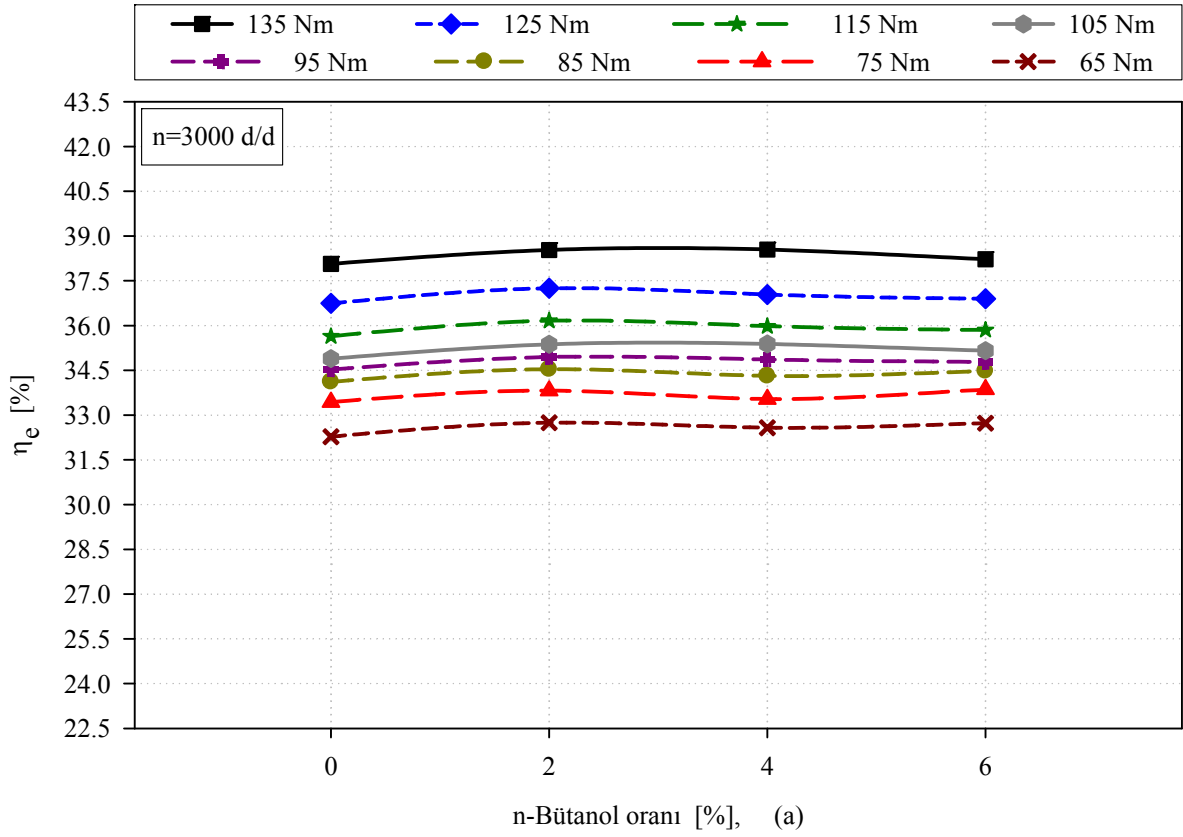
Söz konusu değişimlere ilişkin 2000 d/d için yukarıdaki paragraflarda verilmiş olan yorumların benzerleri 3000 d/d için de yapılabilir.



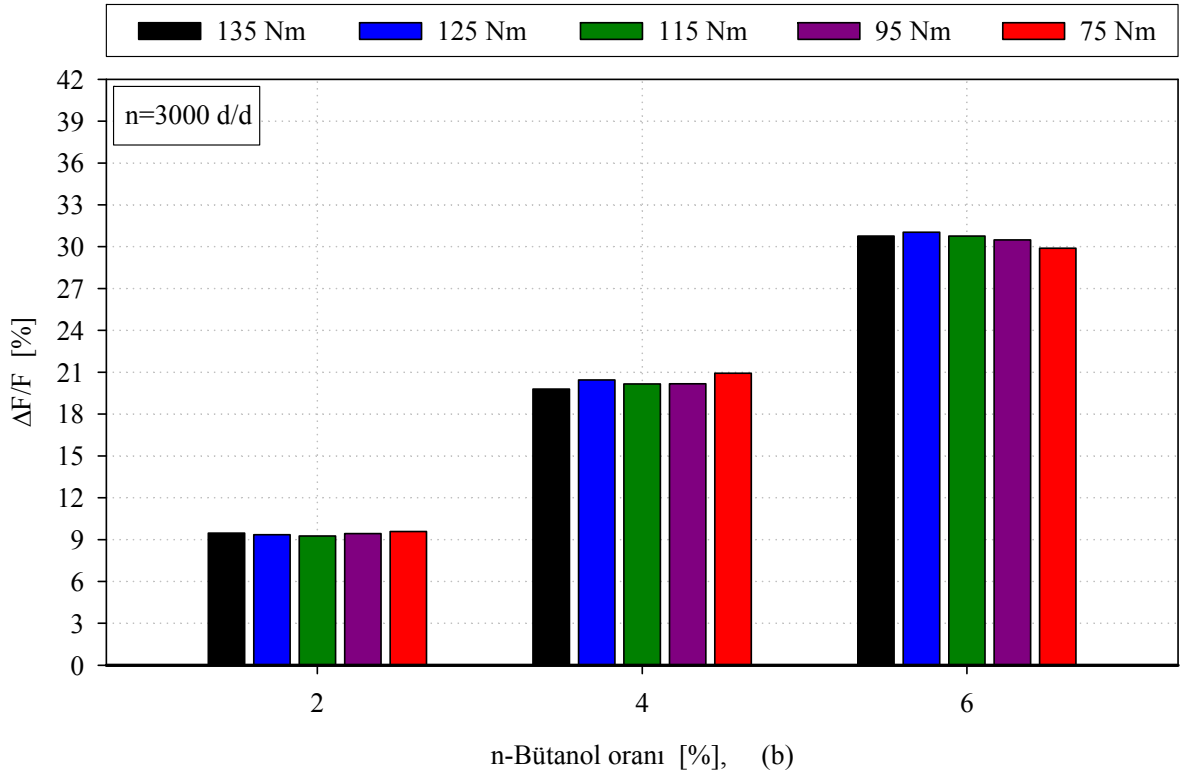
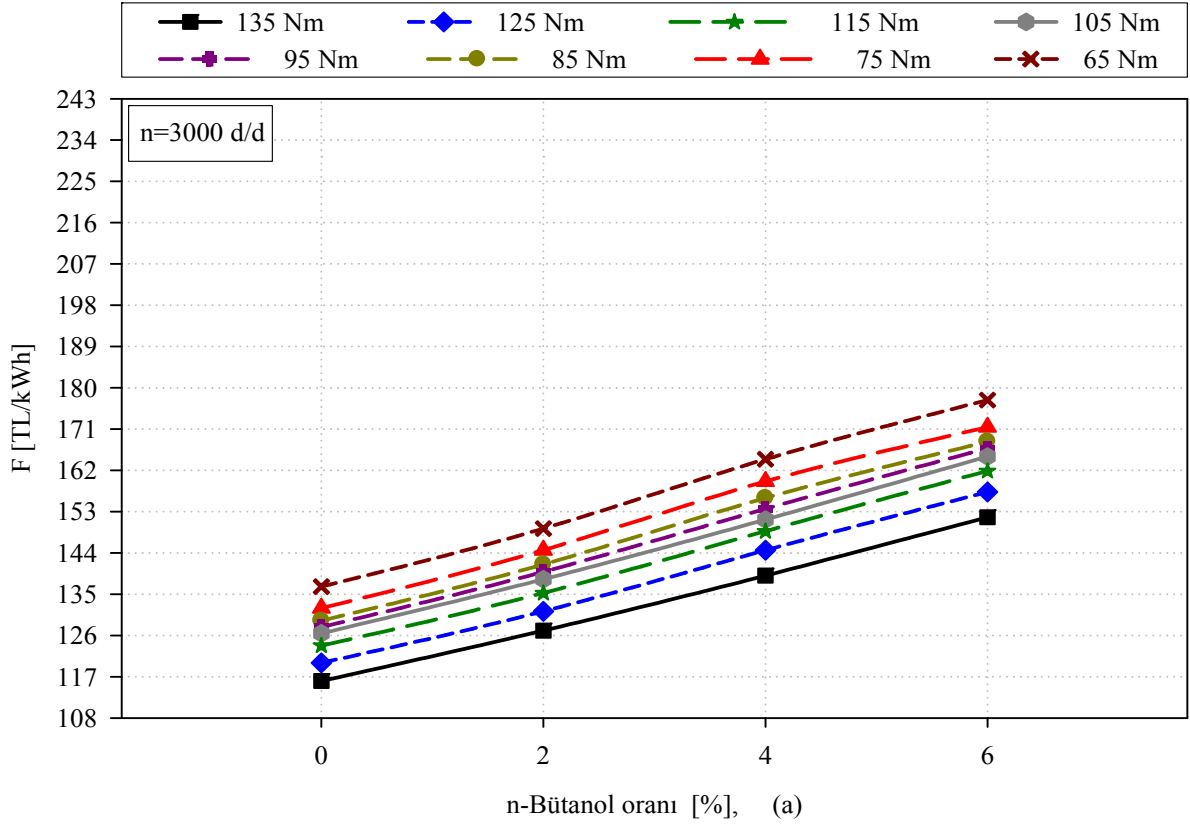
Şekil 37. (a) 3000 d/d'da farklı yüklerde efektif gücün n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif güçteki değişim oranları



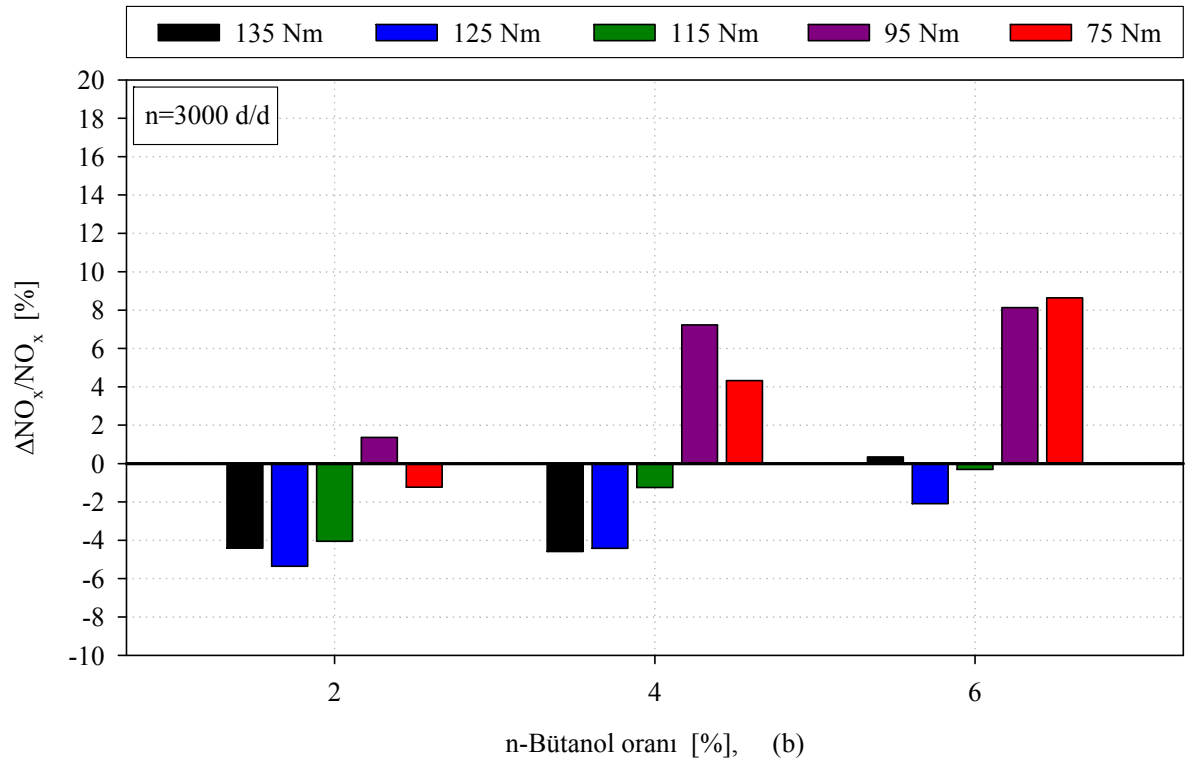
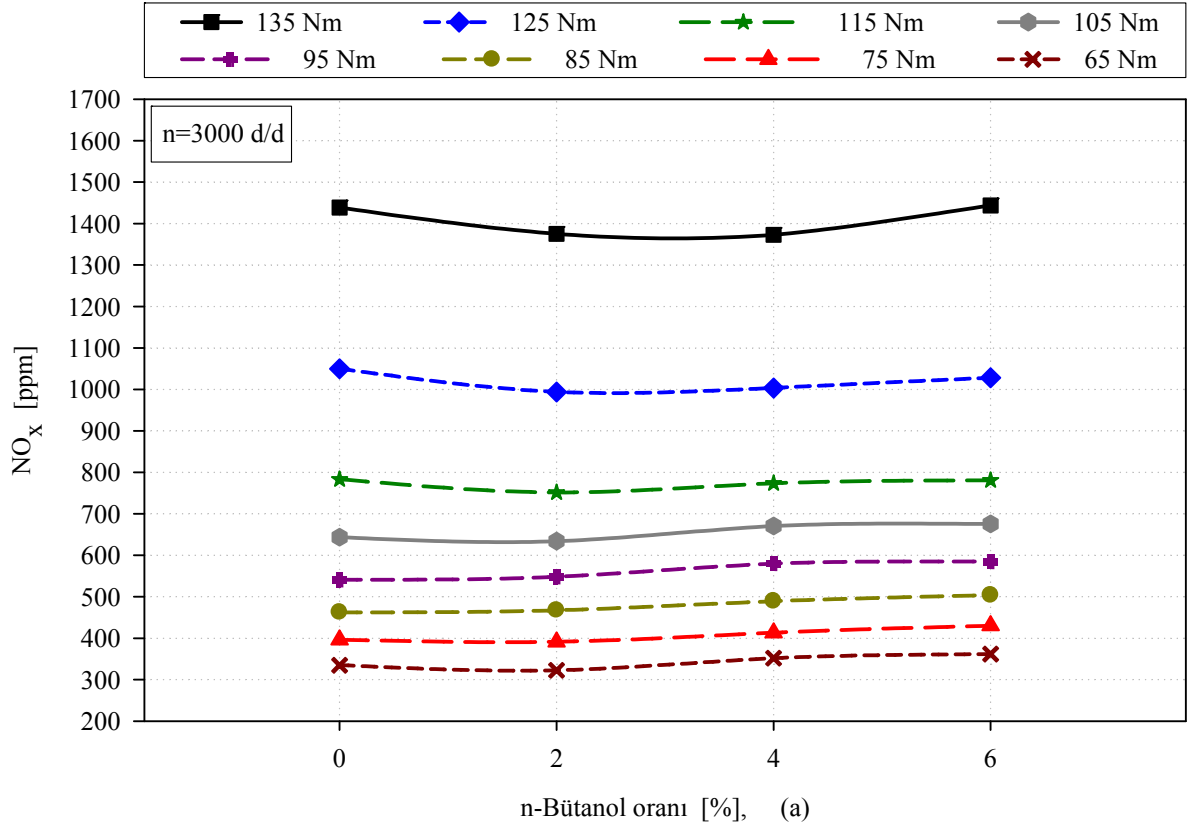
Şekil 38. (a) 3000 d/d'da farklı yüklerde ÖYT'nin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında ÖYT'ndeki değişim oranları



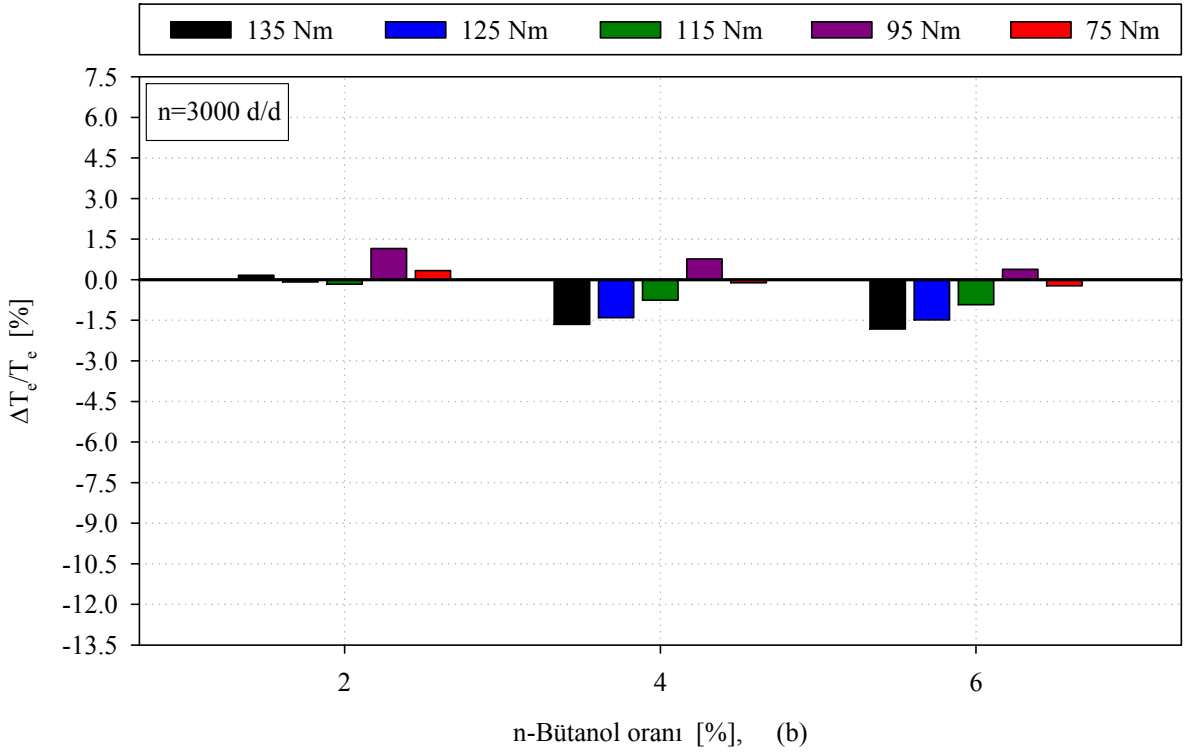
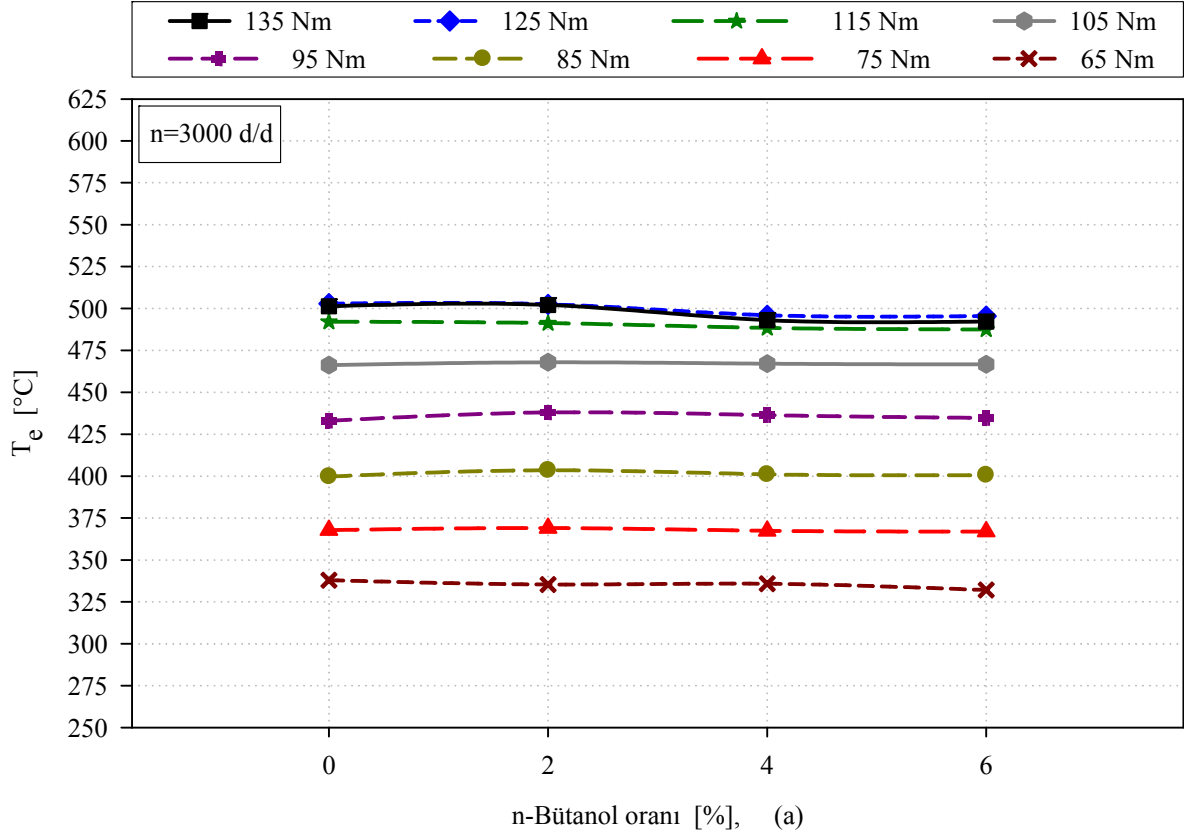
Şekil 39. (a) 3000 d/d’da farklı yüklerde efektif verimin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3000 d/d’da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif verimdeki değişim oranları



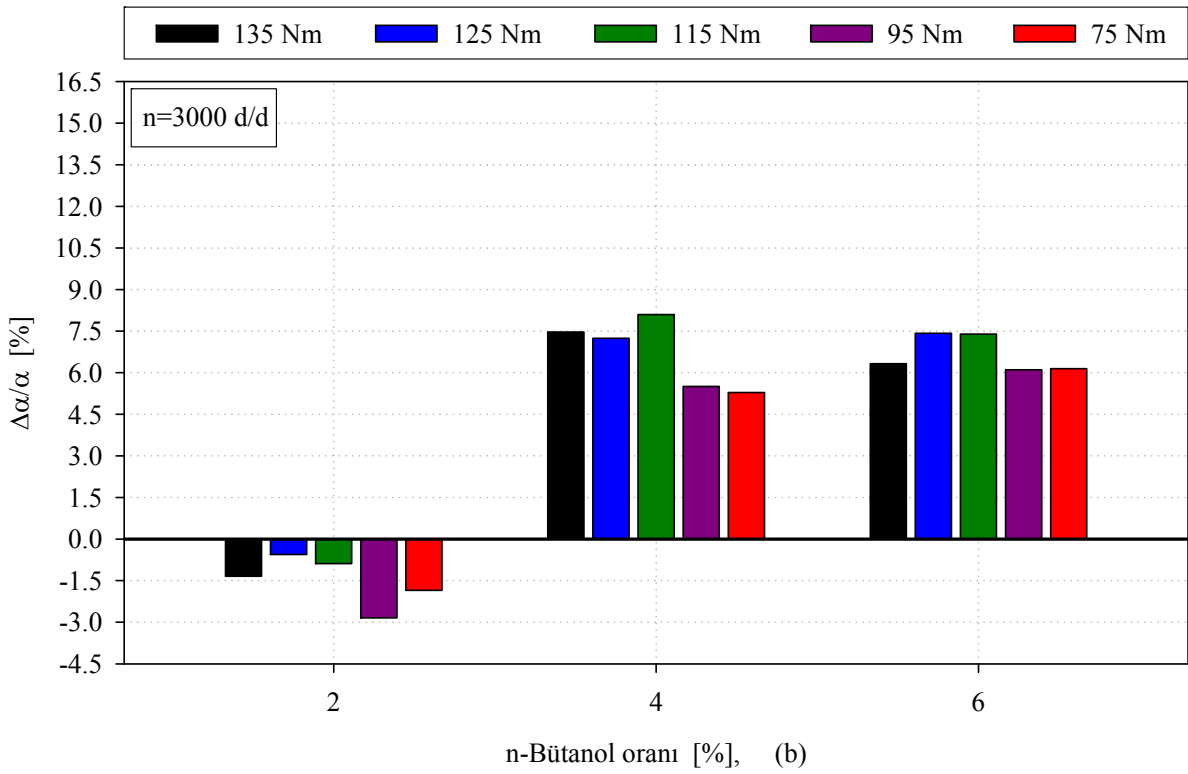
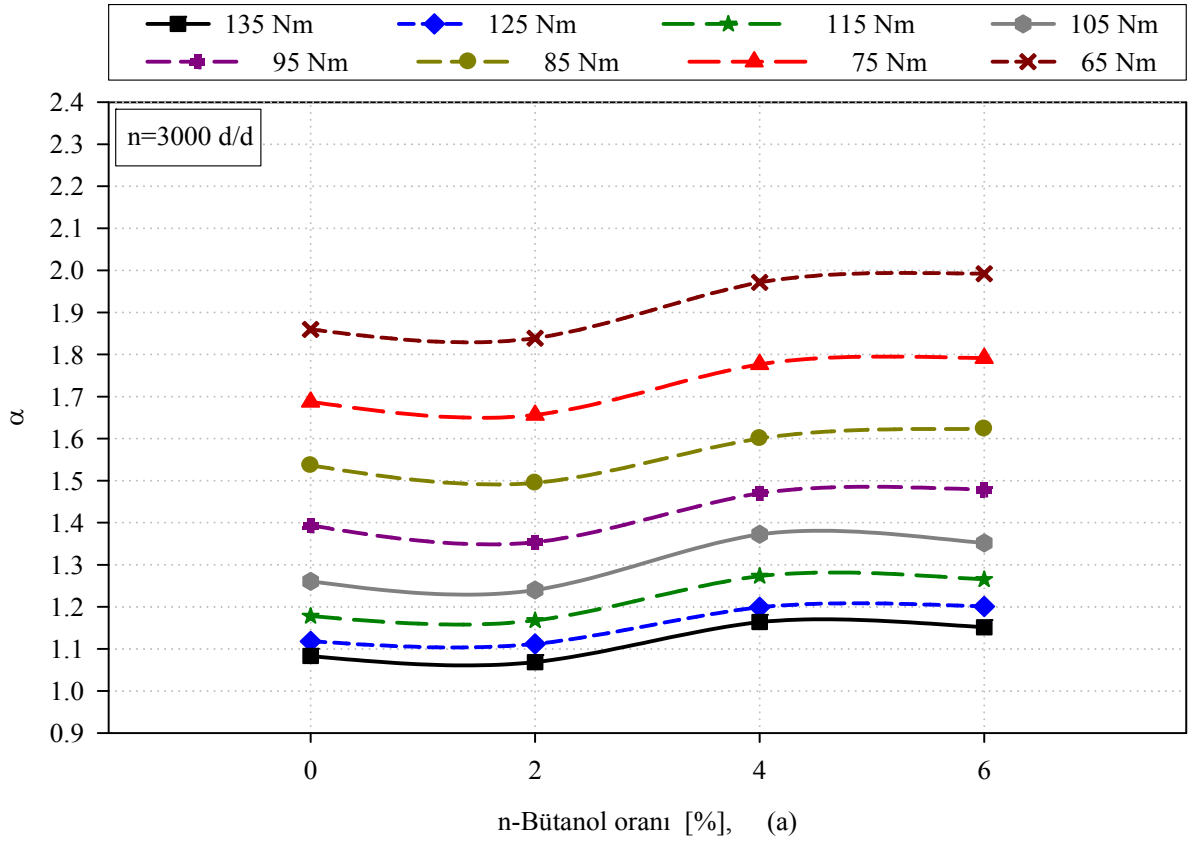
Şekil 40. (a) 3000 d/d'da farklı yüklerde yakıt maliyetinin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında yakıt maliyetindeki değişim oranları



Şekil 41. (a) 3000 d/d'da farklı yüklerde NO_x emisyonunun n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında NO_x emisyonundaki değişim oranları



Şekil 42. (a) 3000 d/d'da farklı yüklerde eksoz gazı sıcaklığının n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında eksoz gazı sıcaklığındaki değişim oranları



Şekil 43. (a) 3000 d/d’da farklı yüklerde hava fazlalık katsayısının n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3000 d/d’da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında hava fazlalık katsayısındaki değişim oranları

3.10. 3500 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Performans Karakteristikleri ve Yakıt Maliyeti Üzerindeki Etkileri

Şekil 44 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için efektif gücün n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 44 (b)'de ise % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için bulunan efektif güçlerin SDY'na göre değişim oranları, seçilen döndürme momentleri için sunulmuştur. Şekil 44 (a)'dan görülebileceği gibi efektif güç % 2 nBDYK için artmıştır ve % 4 nBDYK için ise artış oranı % 2 nBDYK kadar yüksek olmamakla birlikte yine de artmıştır. Ancak % 6 nBDYK için ise efektif güç azalmıştır. Şekil 44 (b)'de, seçilen döndürme momenti değerleri için efektif güçte; % (2 ve 4) n-bütanol oranlarında sırasıyla ortalama % 0.56 ve % 0.08 artma, % 6 n-bütanol oranında ise ortalama % 2.13 oranında azalma olmuştur.

Şekil 45 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için ÖYT'nin n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 45 (b)'de ise % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için bulunan ÖYT'lerinin SDY'na göre değişim oranları seçilen döndürme momentleri için sunulmuştur. Şekil 45 (a)'dan görülebileceği gibi ÖYT; % (2 ve 4) n-bütanol oranlarında azalma gösterirken, % 6 n-bütanol oranında ise artmıştır. Şekil 45 (b)'de seçilen döndürme momentleri için SDY'na göre ÖYT'nde; % (2 ve 4) n-bütanol oranlarında sırasıyla ortalama % 1.68 ve % 1.18 azalma ve % 6 n-bütanol oranında ise ortalama % 1.67 artma olmuştur.

Şekil 46 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için efektif verimin n-bütanol oranlarına göre değişimleri gösterilmiştir. Şekil 46 (b)'de ise % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için bulunan efektif verim değerlerinin SDY durumuna göre değişim oranları seçilen döndürme momentleri için sunulmuştur. Şekil 46 (a)'dan görülebileceği gibi efektif verim % 2 ve % 4 n-bütanol oranları için artma gösterirken % 6 n-bütanol oranı için azalmıştır. Şekil 46 (b)'de seçilen döndürme momenti değerleri için SDY durumuna göre efektif verimde; % 2 n-bütanol oranında ortalama % 2.12 artma, % 4 n-bütanol oranında ortalama % 1.96 artma ve % 6 n-bütanol oranında ise ortalama % 0.52 azalma olmuştur.

nBDYK'ları için motor performans parametreleri açısından en iyi sonuçlar 3500 d/d olmuştur. Söz konusu devirde % (2 ve 4) nBDYK'ları için ÖYT azalmış, efektif verim ise artmıştır ve ÖYT'nde maksimum azalma bu devir sayısında sağlanmıştır.

Şekil 47 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için yakıt maliyetinin n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 47 (b)'de ise % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için bulunan yakıt maliyetinin SDY'na göre değişim oranları seçilen döndürme momentleri için sunulmuştur. Şekil 47 (a)'dan görülebileceği gibi yakıt fiyatı tüm n-bütanol oranlarında artma göstermiştir. Şekil 47 (b)'de, n-bütanol oranı arttıkça fiyatın daha da arttığı

görülebilmektedir. Seçilen döndürme momentleri için yakıt maliyetindeki ortalama artış; % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranlarında sırasıyla % 8.54, % 18.98 ve % 32.21 oranlarında olmuştur.

Söz konusu değişimlere ilişkin 2000 d/d için yukarıdaki paragraflarda verilmiş olan yorumların benzerleri 3500 d/d için de yapılabilir.

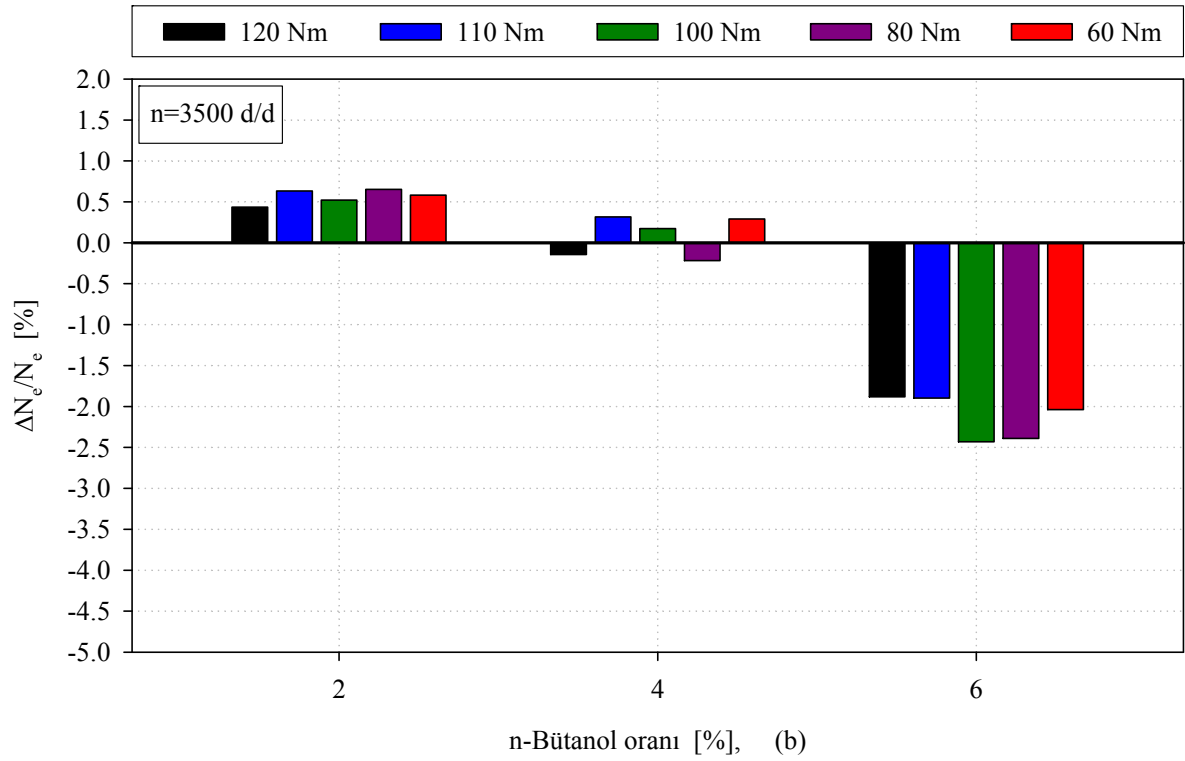
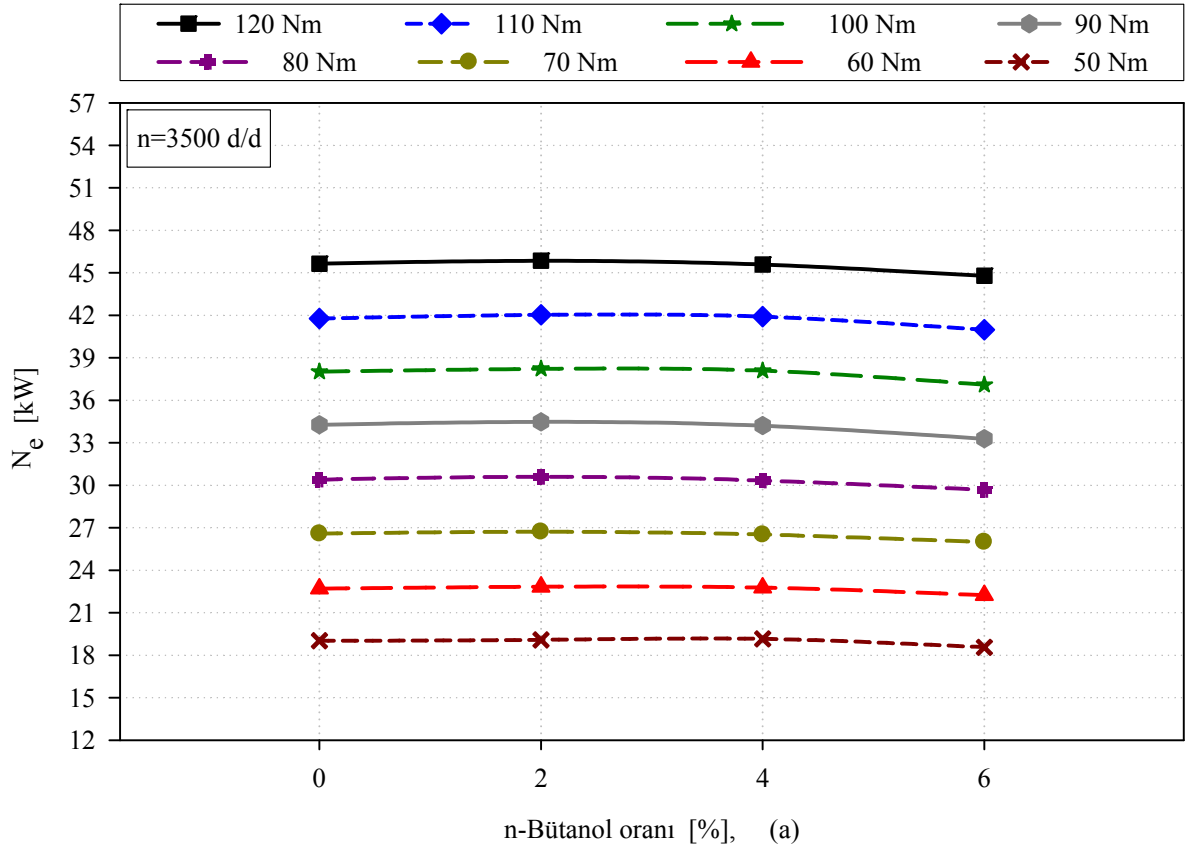
3.11. 3500 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkileri

Şekil 48 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için NO_x emisyonu değerlerinin n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 48 (b)'de ise % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için ölçülen NO_x emisyonu değerlerinin SDY'na göre değişim oranları sunulmuştur. Şekil 48 (a)'dan görülebileceği gibi NO_x emisyonu % 2 nBDYK için yüksek yük değerlerinde artmış, düşük yüklerde ise azalmıştır. % (4 ve 6) nBDYK'ları için ise NO_x emisyonu genel olarak artmıştır. Şekil 48 (b)'de seçilen döndürme momentleri için SDY'na göre NO_x emisyonunda; % 2 n-bütanol oranında ortalama % 0.53 azalma, % (4 ve 6) n-bütanol oranlarında ise sırasıyla ortalama % 4.18 ve % 1.14 artma olmuştur.

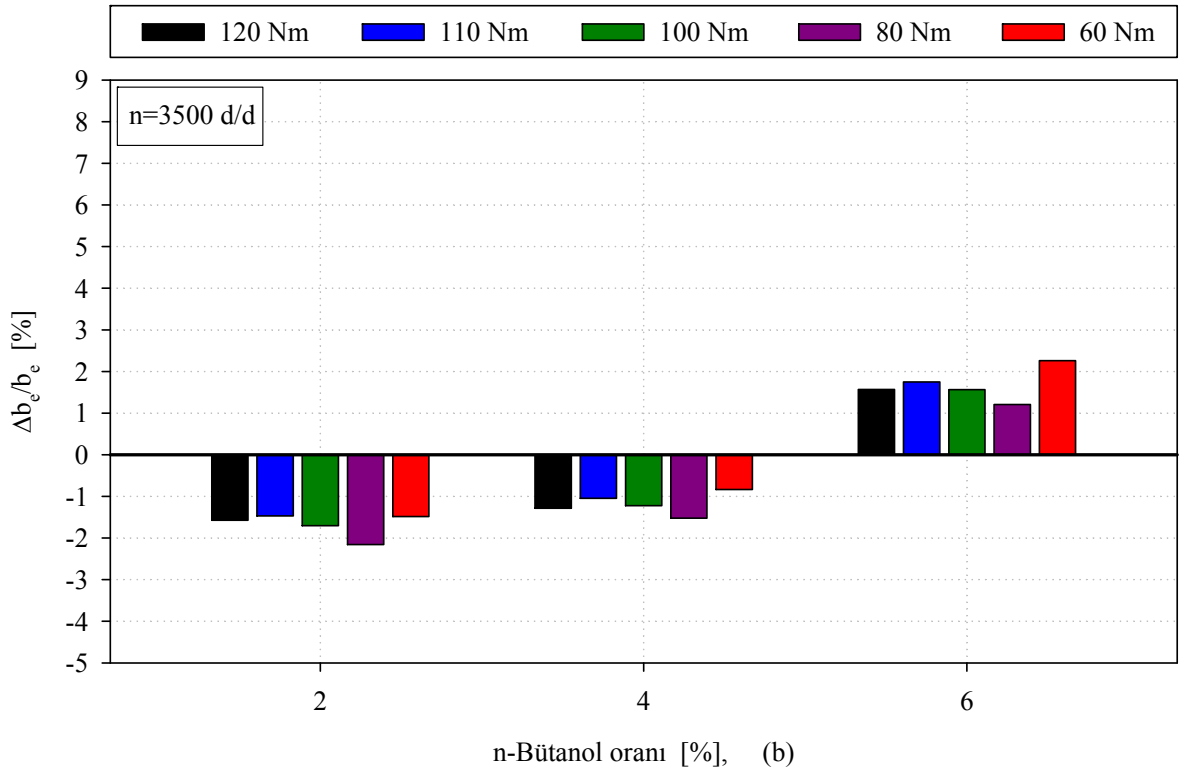
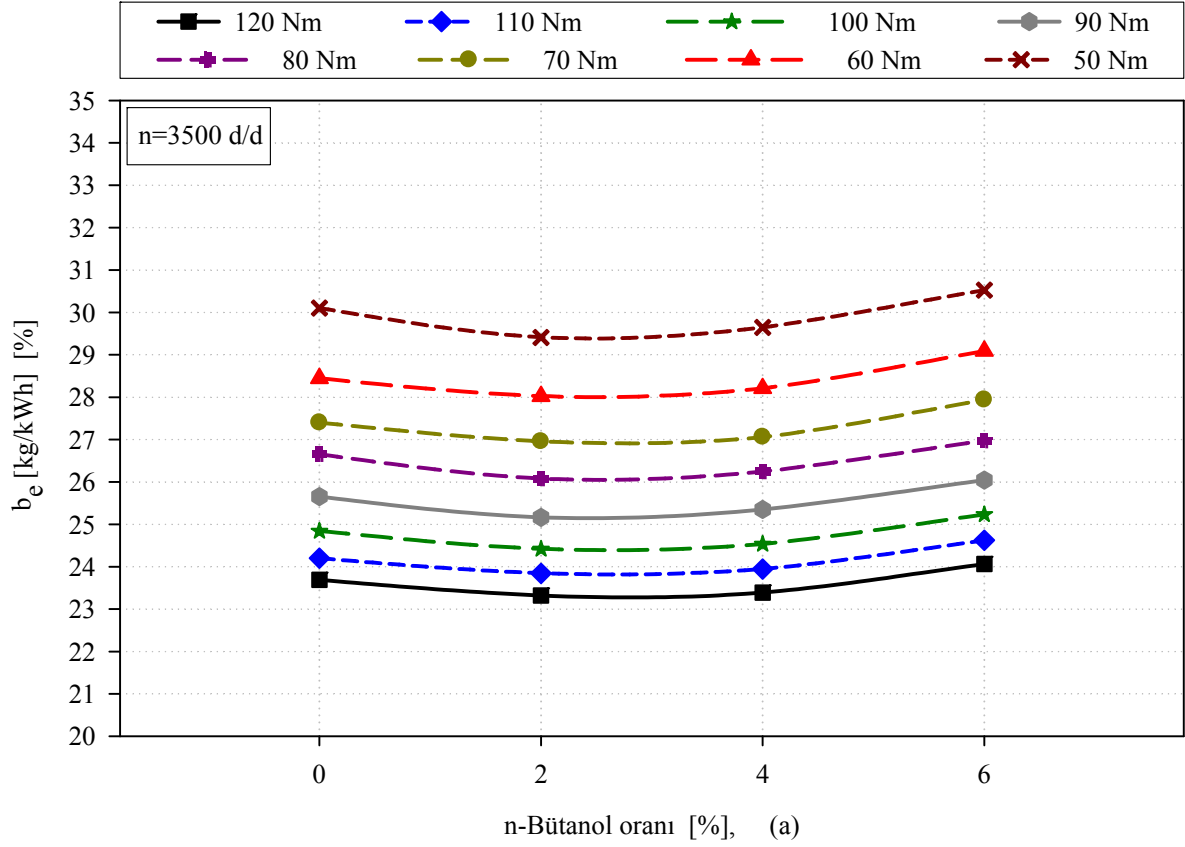
Şekil 49 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için eksoz gazı sıcaklıklarının n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 49 (b)'de ise % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için ölçülen eksoz gazı sıcaklıklarının SDY'na göre değişim oranları seçilen döndürme momentleri için sunulmuştur. Şekil 49 (a)'dan görülebileceği gibi eksoz gazı sıcaklık değerleri seçilen n-bütanol oranları için tüm döndürme momentlerinde azalmıştır. Şekil 49 (b)'de, n-bütanol oranı arttıkça eksoz gazı sıcaklık değeri azalma oranlarının arttığı görülmektedir. Seçilen yük değerleri için eksoz gazı sıcaklığındaki ortalama azalma; % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranlarında sırasıyla % 0.54, % 1.87 ve % 2.37 oranlarında olmuştur.

Şekil 50 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için hava fazlalık katsayısının n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 50 (b)'de ise % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için ölçülen hava fazlalık katsayılarının SDY'na göre değişim oranları seçilen döndürme momentleri için sunulmuştur. Şekil 50 (a)'dan görülebileceği gibi hava fazlalık katsayısı % (2, 4 ve 6) nBDYK durumlarında artmıştır. Şekil 50 (b)'de seçilen döndürme momenti değerleri için SDY'na göre hava fazlalık katsayısında; % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranlarında sırasıyla ortalama % 5.71, % 3.42 ve % 4.88 oranlarında artma olmuştur.

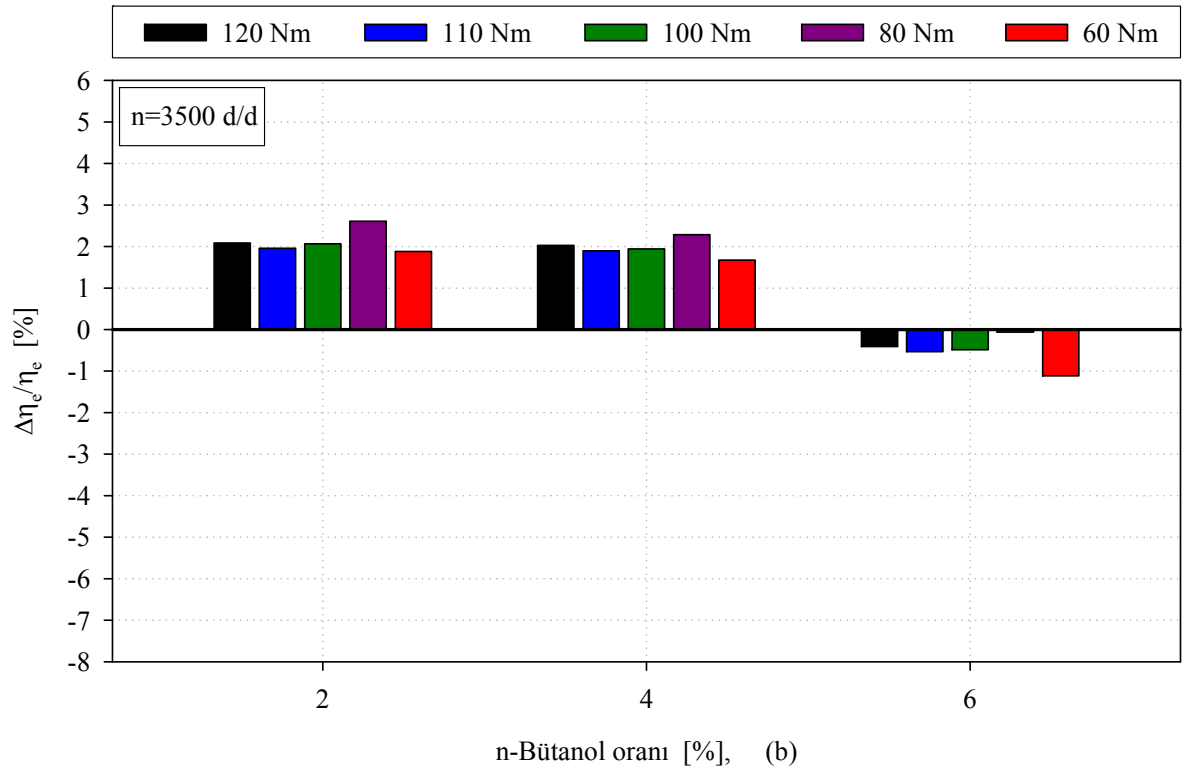
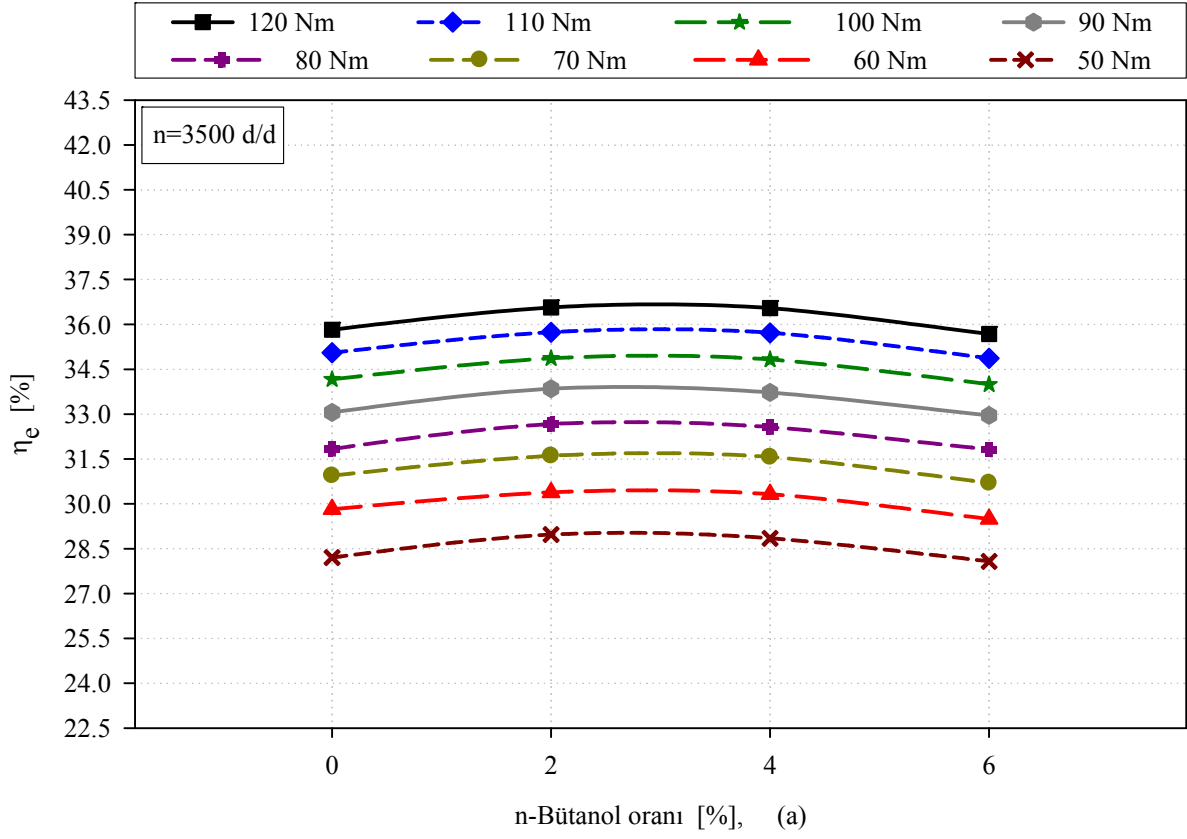
Söz konusu değişimlere ilişkin 2000 d/d için yukarıdaki paragraflarda verilmiş olan yorumların benzerleri 3500 d/d için de yapılabilir.



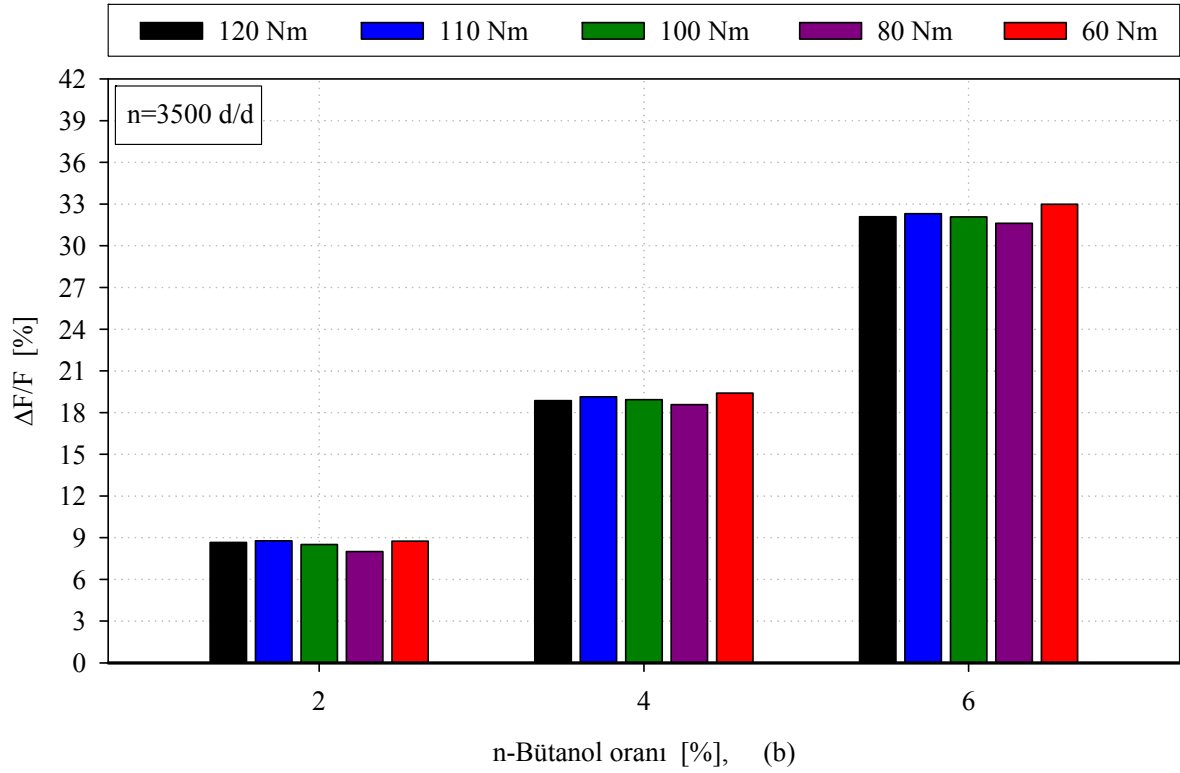
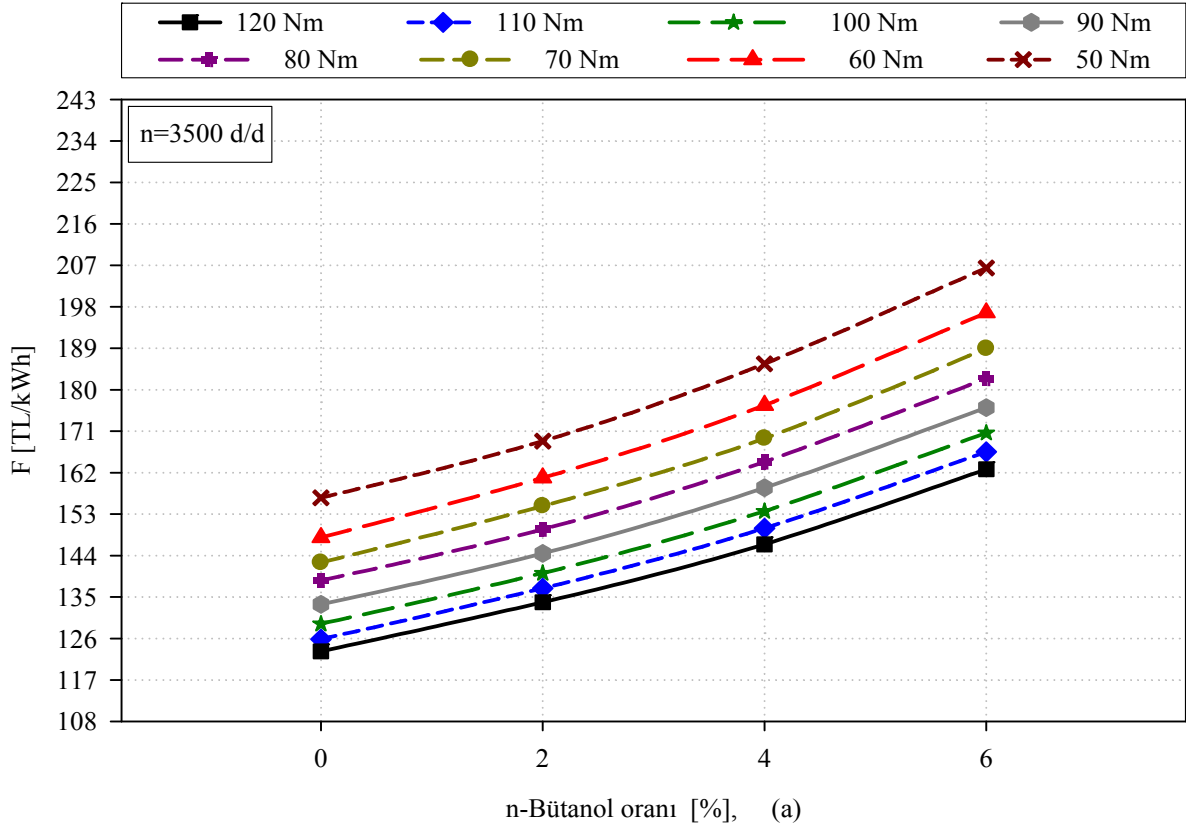
Şekil 44. (a) 3500 d/d’da farklı yüklerde efektif gücün n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3500 d/d’da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif güçteki değişim oranları



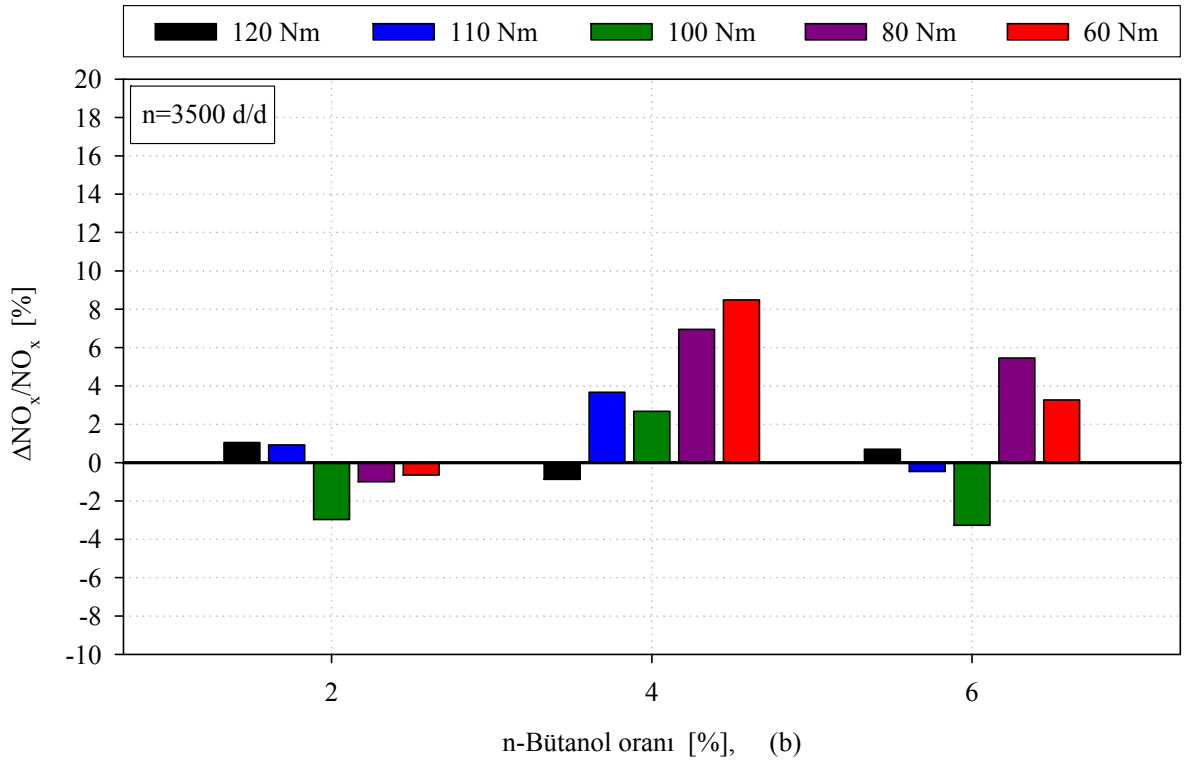
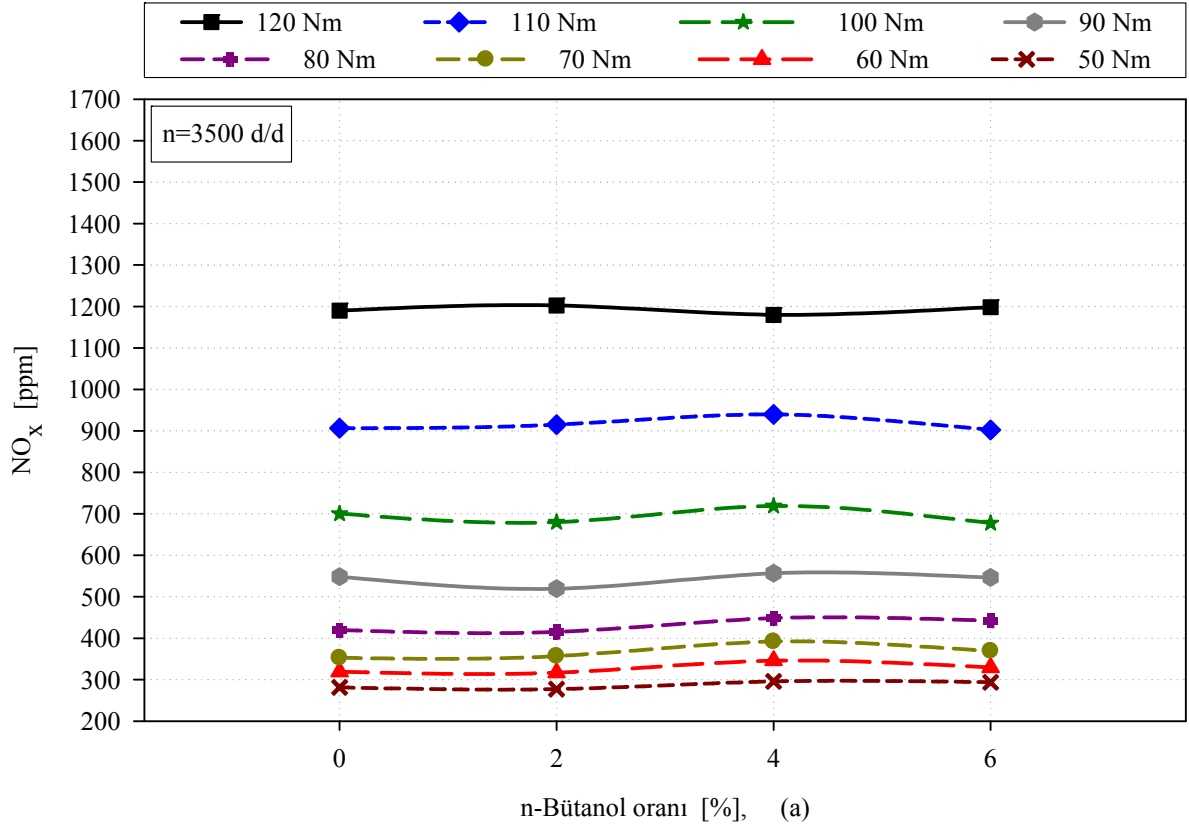
Şekil 45. (a) 3500 d/d'da farklı yüklerde ÖYT'nin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında ÖYT'ndeki değişim oranları



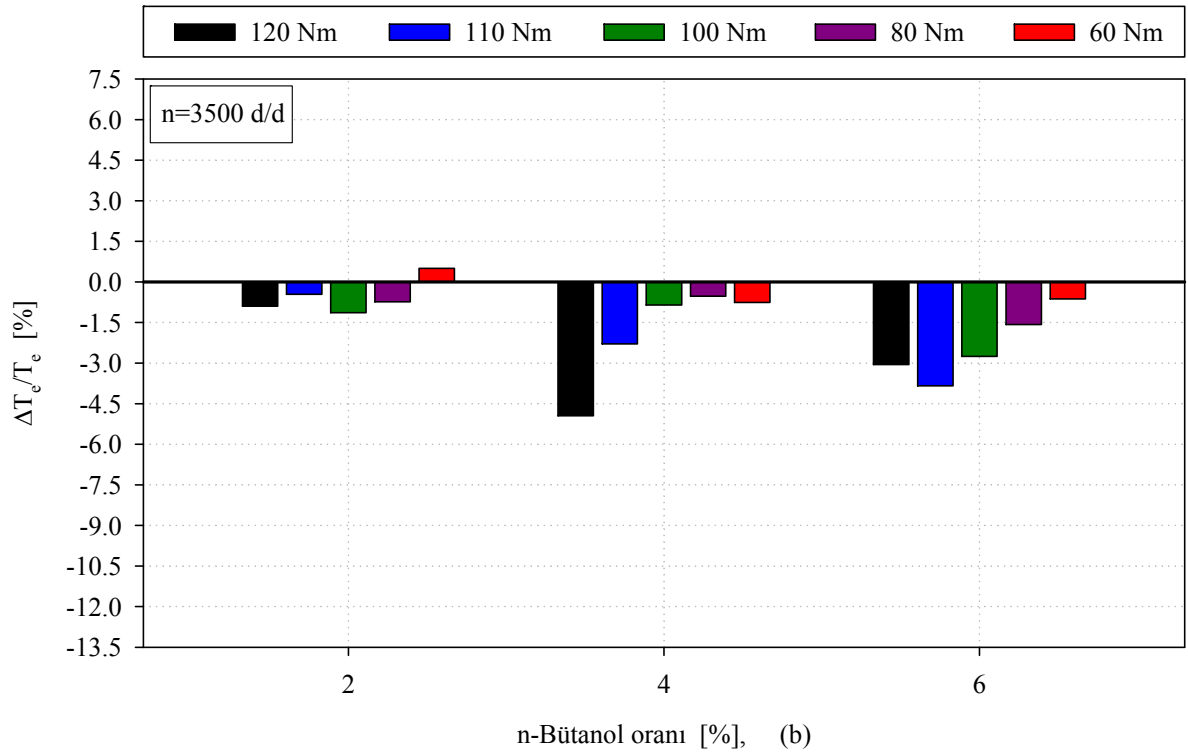
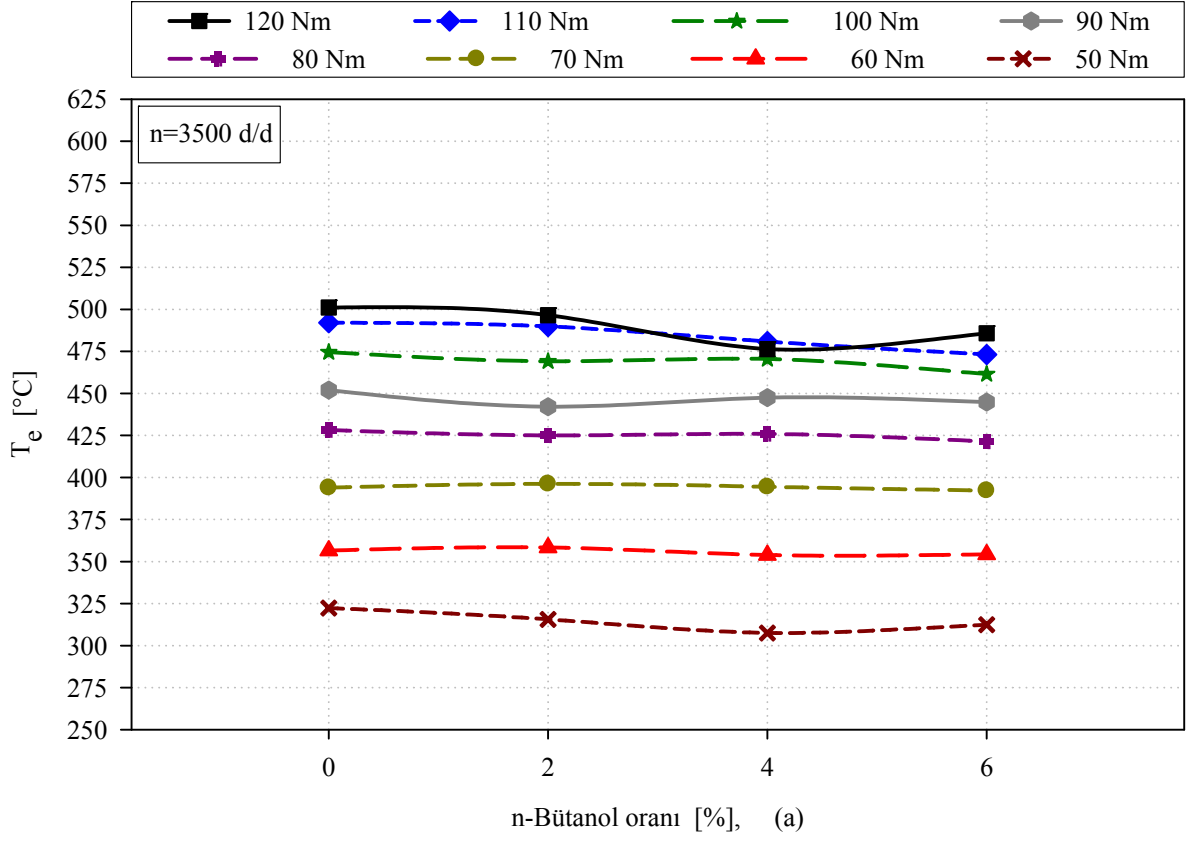
Şekil 46. (a) 3500 d/d’da farklı yüklerde efektif verimin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3500 d/d’da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif verimdeki değişim oranları



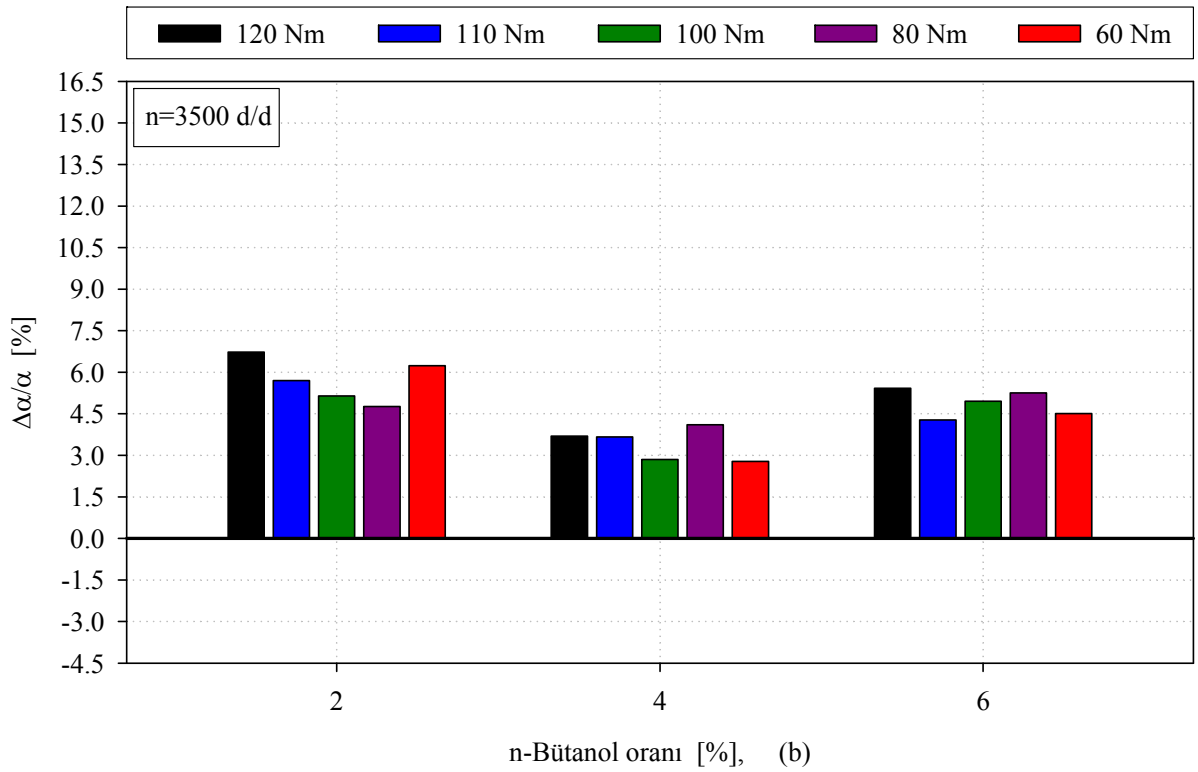
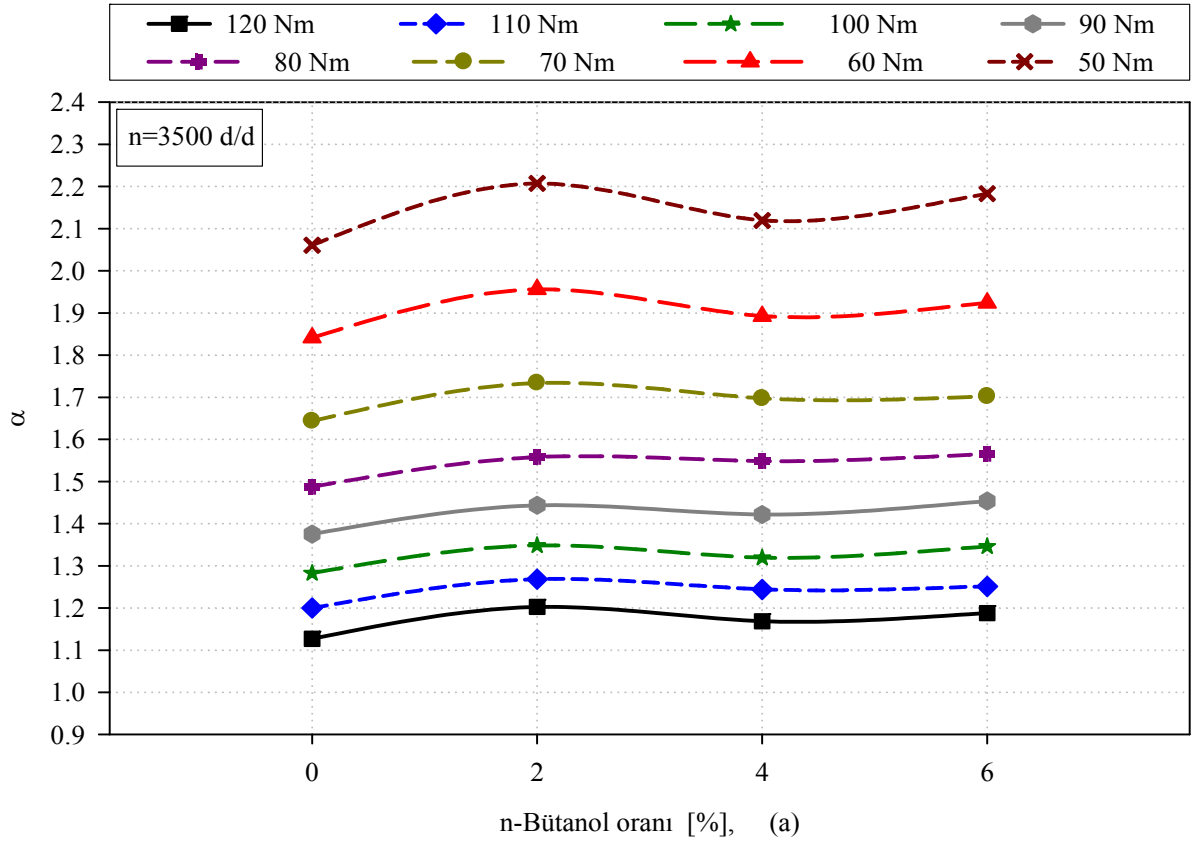
Şekil 47. (a) 3500 d/d'da farklı yüklerde yakıt maliyetinin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında yakıt maliyetindeki değişim oranları



Şekil 48. (a) 3500 d/d'da farklı yüklerde NO_x emisyonunun n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında NO_x emisyonundaki değişim oranları



Şekil 49. (a) 3500 d/d'da farklı yüklerde eksoz gazı sıcaklığının n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında eksoz gazı sıcaklığındaki değişim oranları



Şekil 50. (a) 3500 d/d'da farklı yüklerde hava fazlalık katsayısının n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 3500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında hava fazlalık katsayısındaki değişim oranları

3.12. 4000 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Performans Karakteristikleri ve Yakıt Maliyeti Üzerindeki Etkileri

4000 d/d'da; (115, 105, 95, 85, 75, 65, 55 ve 45) Nm gibi 8 farklı döndürme momentleri için ilgili karakteristiklerin % 2, % 4 ve % 6 nBDYK'larına göre değişimleri incelenmiştir. Şekil 51 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için efektif gücün n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 51 (b)'de ise % 2, % 4 ve % 6 n-bütanol oranları için bulunan efektif güç değerlerinin SDY durumuna göre değişim oranları, seçilen (115, 105, 95, 75 ve 55) Nm döndürme momenti değerleri için sunulmuştur. Şekil 51 (a)'dan görülebileceği gibi efektif güç belirtilen n-bütanol oranları için tüm döndürme momenti değerlerinde azalmıştır. Şekil 51 (b)'de, seçilen döndürme momenti değerleri için efektif güçteki ortalama azalma; % 2 n-bütanol oranında % 0.11, % 4 n-bütanol oranında % 4.29 ve % 6 n-bütanol oranında ise % 3.57 oranlarında olmuştur.

Şekil 52 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için ÖYT'nin n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 52 (b)'de ise % 2, % 4 ve % 6 n-bütanol oranları için bulunan ÖYT değerlerinin SDY durumuna göre değişim oranları sunulmuştur. Şekil 52 (a)'dan görülebileceği gibi ÖYT, % 2 n-bütanol oranında azalma gösterirken, % 4 ve % 6 n-bütanol oranlarında ise artmıştır. Şekil 52 (b)'de seçilen döndürme momenti değerleri için SDY'na göre ÖYT'nde; % 2 n-bütanol oranında ortalama % 1.87 azalma, % 4 n-bütanol oranında ortalama % 3.96 artma ve % 6 n-bütanol oranında ise ortalama % 1.98 artma olmuştur.

Şekil 53 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için efektif verimin n-bütanol oranlarına göre değişimleri gösterilmiştir. Şekil 53 (b)'de ise % 2, % 4 ve % 6 n-bütanol oranları için bulunan efektif verim değerlerinin SDY durumuna göre değişim oranları sunulmuştur. Şekil 53 (a)'dan görülebileceği gibi efektif verim, % 2 n-bütanol oranı için artma gösterirken, % 4 ve % 6 n-bütanol oranları için azalma göstermiştir. Şekil 53 (b)'de seçilen döndürme momenti değerleri için SDY durumuna göre efektif verimde; % 2 n-bütanol oranında ortalama % 2.36 artma, % 4 n-bütanol oranında ortalama % 3.13 azalma ve % 6 n-bütanol oranında ise ortalama % 1.04 azalma olmuştur.

Şekil 54 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için yakıt maliyetinin n-bütanol oranlarına göre değişimleri ve Şekil 54 (b)'de ise % 2, % 4 ve % 6 n-bütanol oranları için bulunan yakıt maliyeti değerlerinin SDY durumuna göre değişim oranları sunulmuştur. Şekil 54 (a)'dan görülebileceği gibi fiyat tüm n-bütanol oranları için artma göstermiştir. Şekil 54 (b)'de, n-bütanol oranı arttıkça fiyatın daha da arttığı görülebilir. Seçilen

döndürme momenti değerleri için yakıt fiyatındaki ortalama artış; % 2 n-bütanol oranında % 8.33, % 4 n-bütanol oranında % 25.17 ve % 6 n-bütanol oranında ise % 32.61 oranlarında olmuştur.

Söz konusu değişimlere ilişkin 2000 d/d için yukarıdaki paragraflarda verilmiş olan yorumların benzerleri 4000 d/d için de yapılabilir.

3.13. 4000 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkileri

Şekil 55 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için NO_x emisyonu değerlerinin n-bütanol oranlarına göre değişimleri gösterilmiştir. Şekil 55 (b)'de ise % 2, % 4 ve % 6 n-bütanol oranları için ölçülen NO_x emisyonu değerlerinin SDY durumuna göre değişim oranları seçilen (115, 105, 95, 75 ve 55) Nm yükleri için sunulmuştur. Şekil 55 (a)'dan görülebileceği gibi NO_x emisyonu % 2 n-bütanol oranında azalma göstermesine karşın % 4 ve % 6 nBDYK durumlarında artmıştır. Şekil 55 (b)'de seçilen döndürme momenti değerleri için SDY göre NO_x emisyonunda; % 2 n-bütanol oranında ortalama % 5.03 azalma, % 4 n-bütanol oranında ortalama % 3.55 artma, % 6 n-bütanol oranında ise ortalama % 2.28 artma olmuştur.

Şekil 56 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için eksoz gazı sıcaklıklarının n-bütanol oranlarına göre değişimleri gösterilmiştir. Şekil 56 (b)'de ise % 2, % 4 ve % 6 n-bütanol oranları için ölçülen eksoz gazı sıcaklıklarının SDY durumuna göre değişim oranları sunulmuştur. Şekil 56 (a)'dan görülebileceği gibi eksoz gazı sıcaklıkları; % 2 n-bütanol oranında azalma gösterirken, % 4 ve % 6 n-bütanol oranlarında artma göstermiştir. Şekil 56 (b)'de, seçilen yük değerleri için eksoz gazı sıcaklıklarında; % 2 n-bütanol oranında ortalama % 0.53 azalma, % 4 n-bütanol oranında ortalama % 1.15 artma ve % 6 n-bütanol oranında ise ortalama % 1.81 artma olmuştur.

Şekil 57 (a)'da 8 farklı döndürme momentleri için hava fazlalık katsayısının n-bütanol oranlarına göre değişimleri gösterilmiştir. Şekil 57 (b)'de ise % 2, % 4 ve % 6 n-bütanol oranları için ölçülen hava fazlalık katsayılarının SDY durumuna göre değişim oranları sunulmuştur. Şekil 57 (a)'dan görülebileceği gibi hava fazlalık katsayıları bütün n-bütanol oranlarında artmıştır. Şekil 57 (b)'de seçilen döndürme momentleri için SDY'na göre hava fazlalık katsayılarındaki artmalar; % 2 n-bütanol oranında ortalama % 5.87, % 4

n-bütanol oranında ortalama % 3.26 ve % 6 n-bütanol oranında ise ortalama % 4.16 oranlarında olmuştur.

Söz konusu değişimlere ilişkin 2000 d/d için yukarıdaki paragraflarda verilmiş olan yorumların benzerleri 4000 d/d için de yapılabilir.

3.14. 4000 d/d'da n-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Silindir Basıncı ve İndikatör Diyagramı Üzerindeki Etkileri

nBDYK'larının p- θ ve p-V diyagramları yani indikatör diyagramları üzerindeki etkileri 4000 d/d için Şekil 58-61'da sunulmuştur. 4000 d/d'da tam gaz ve tam yükte (113 Nm'de) ve yine aynı devirde yük 50 N azaltılarak yani 99 Nm'de deneysel olarak elde edilen p- θ ve p-V diyagramları verilmiştir. Yukarıdaki bölümde anlatıldığı gibi soğutmasız sensör çok kolay hasar görebildiğinden yalnızca 4000 d/d için ilk iki yükte indikatör diyagramları deneysel olarak belirlenmiştir. İndikatör diyagramlarından sonuçların daha iyi görülebilmesi için ÜÖN civarındaki değişimler ayrıca büyütülerek verilmiştir. Örneğin Şekil 58 (a-b)'de p- θ diyagramları sunulmuştur. Burada Şekil 58 (a)'da p- θ 'nin ÜÖN civarındaki durumu ve 58 (b)'de ise p- θ 'nin 4000 d/d için 113 Nm'de elde edilen genel değişimi verilmiştir.

Şekil 58 (a ve b)'den görülebileceği gibi, 4000 d/d'da 113 Nm döndürme momenti altında % 2, % 4 ve % 6 nBDYK durumlarında silindir basınçlarında çok fazla değişiklik olmadığı belirlenmiştir. SDY durumunda maksimum silindir basıncı 5.695 °KMA'da 154.534 bar olarak belirlenmiştir. % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranlarındaki maksimum basınçlar ise sırasıyla (154.671, 154.901 ve 153.857) bar şeklinde elde edilmiştir. İlgili basınçların meydana geldiği krank mili açıları ise sırasıyla (5.400, 5.400 ve 5.391) °KMA'dır. Şekil 58 (a)'dan görülebileceği gibi, basınç değerleri birbirine çok yakındır. % 6 n-bütanol durumunda basınç değerleri ÜÖN civarında SDY'ndan ve diğer nBDYK'larından düşüktür. Ancak % 6 n-bütanol durumunda yanma devam ettiği için basınçlar diğer karışımların üzerinde değişim göstermiştir. Yani ilgili karışımda yanmanın daha yavaş olduğu ve yanmanın karışım kontrollü yanma evresine kaydığı anlaşılabilir. % 2 n-bütanol oranında yanmanın daha hızlı olduğu ve yanmanın ÜÖN'ya daha yakın tamamlandığı deneysel verilerin incelenmesinden anlaşılabilir. % 4 durumunda da yanmanın yine ÜÖN'ya yakın olduğu görülebilir. Çünkü maksimum basıncın oluştuğu aç

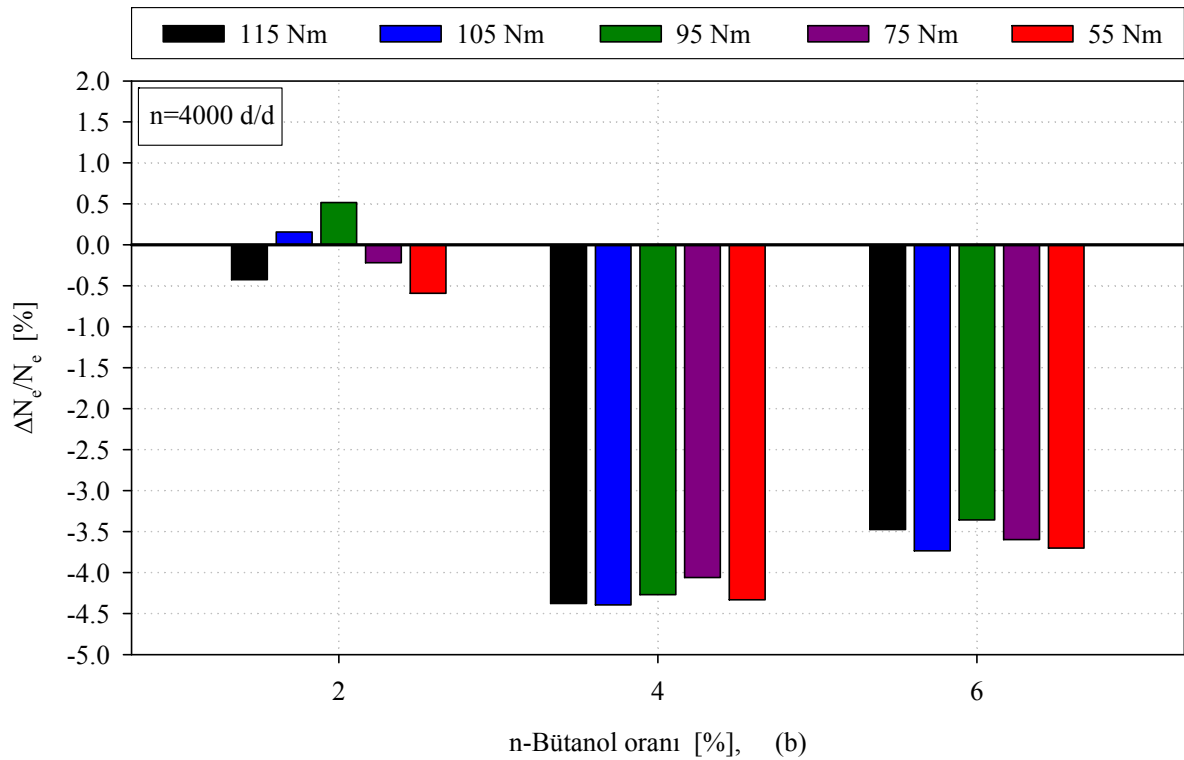
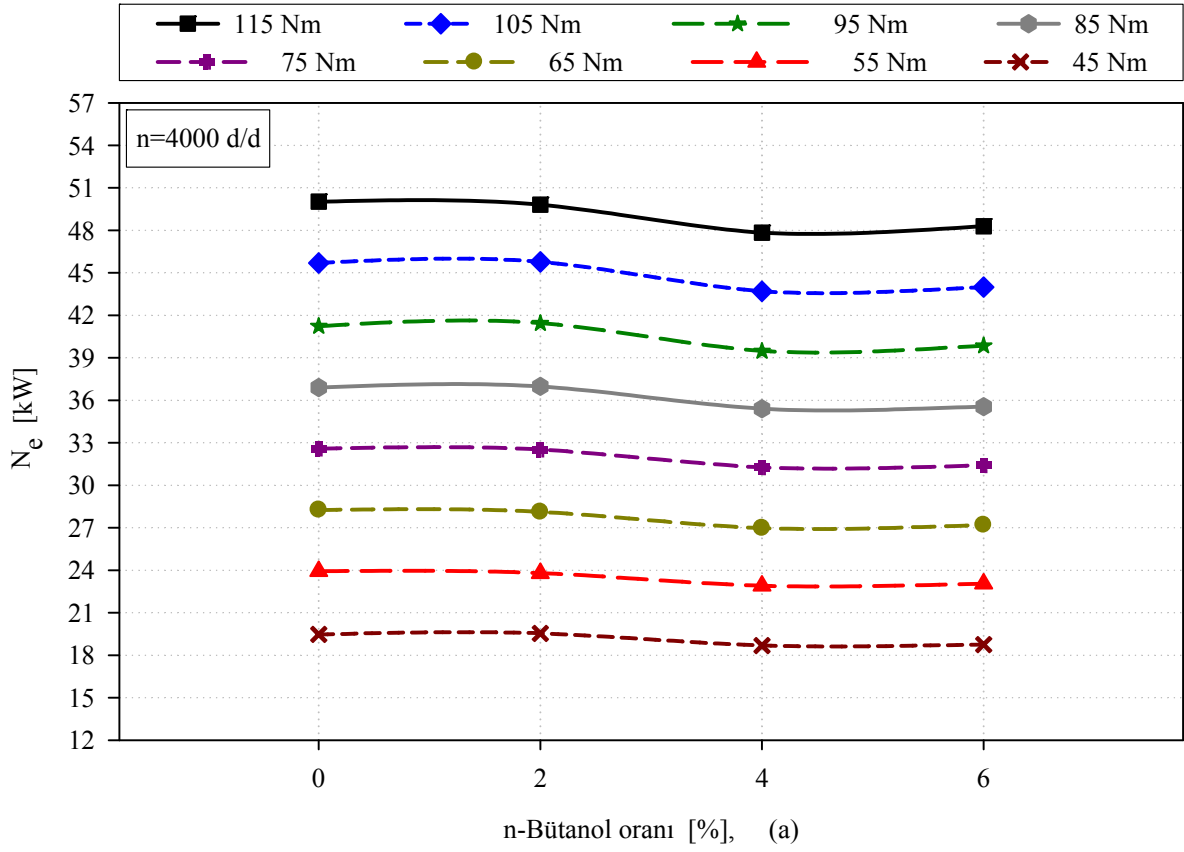
hemen hemen SDY'nın değeri ile aynıdır. Bu nedenle aşağıda da görülebileceği gibi % 2 ve % 4 nBDYK'ları için indike güç çok az artmıştır.

Şekil 59 (a ve b)'de ise 4000 d/d 113 Nm döndürme momenti durumunda basınç-hacim diyagramı görülmektedir. SDY durumunda indike güç 64.788 kW olarak belirlenmiştir. % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranlarına göre sırasıyla indike güçler (64.860, 64.852 ve 64.668) kW'tır. Buradan da görülebileceği gibi % 2 ve % 4 n-bütanol oranlarında indike güçler biraz artmış, % 6 n-bütanol oranında ise azalmıştır. En büyük artış % 2 n-bütanol oranında oluşmuştur.

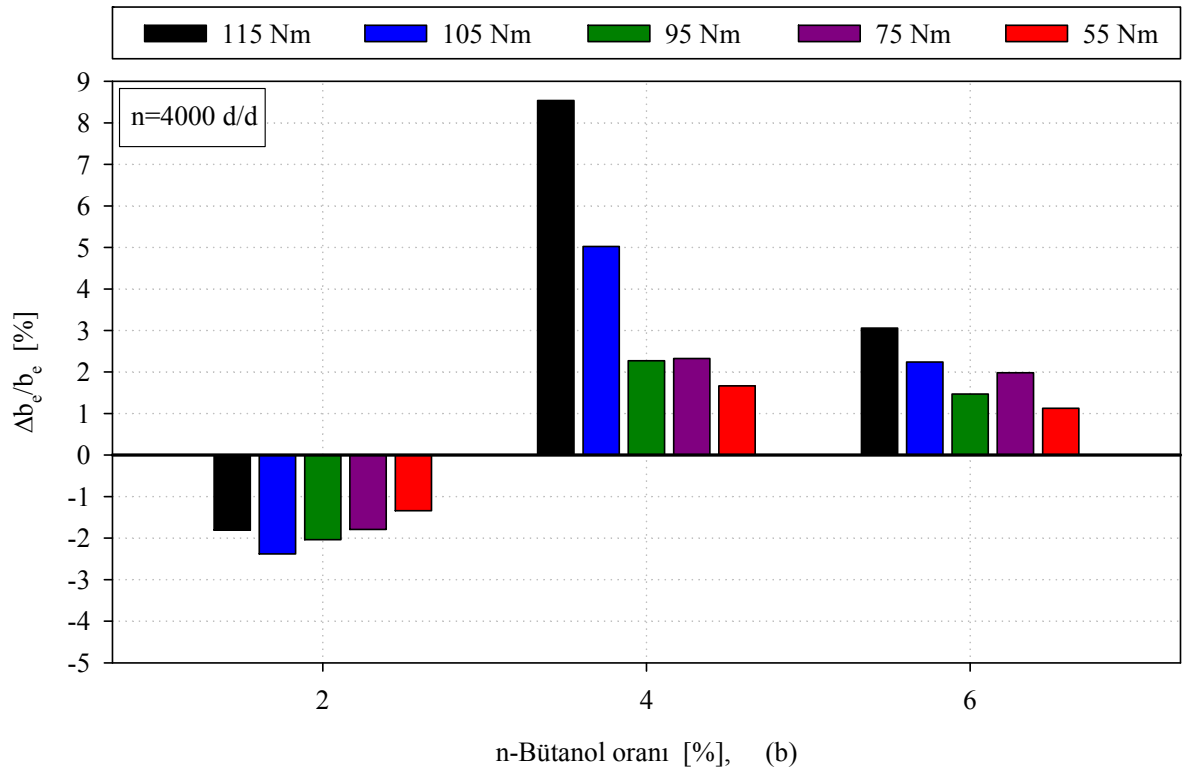
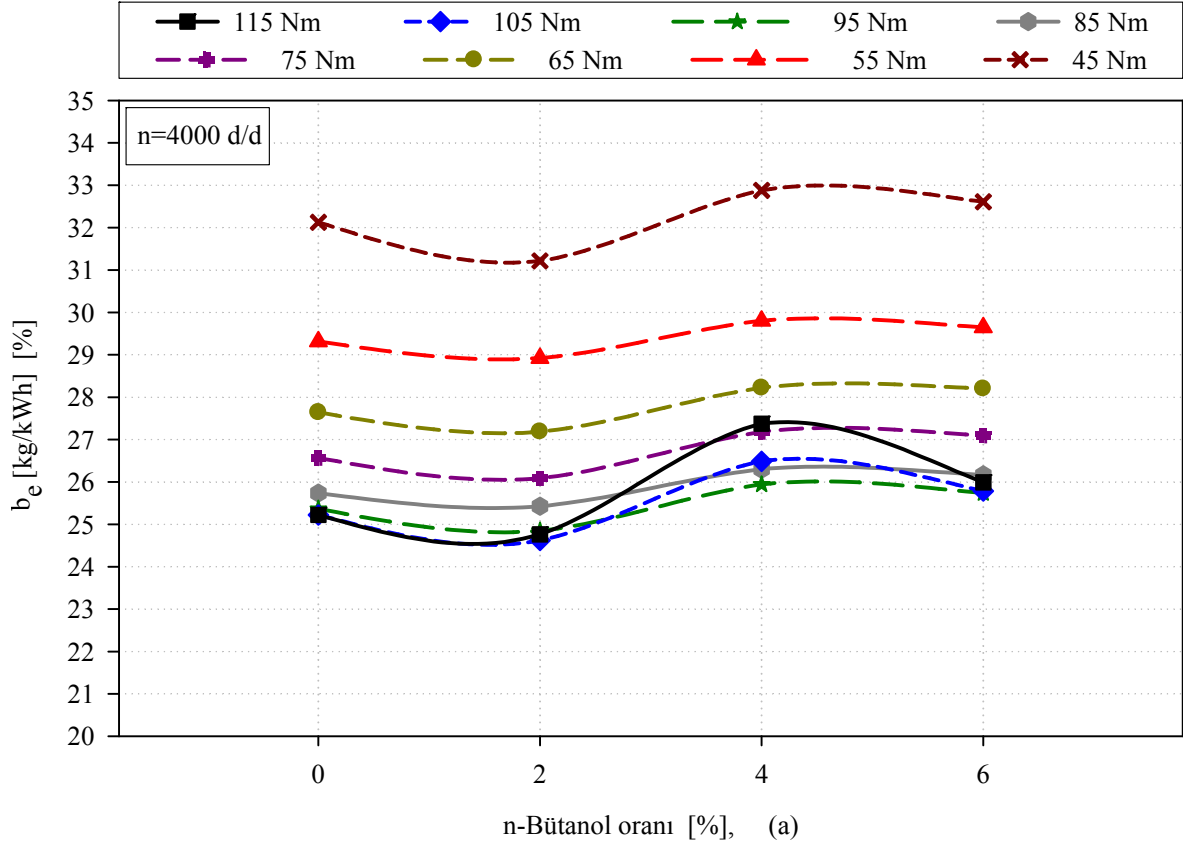
Şekil 60 (a ve b)'de 4000 d/d 99 Nm döndürme momenti altında % (2, 4 ve 6) nBDYK durumlarında silindir basınçlarının krank mili açısına göre değişimleri görülebilir. SDY durumunda maksimum silindir basıncı 5.714 °KMA'da 148.025 bar olarak belirlenmiştir. % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranlarındaki maksimum basınçlar sırasıyla (148.511, 147.157 ve 147.567) bar şeklinde elde edilmiştir. İlgili basınçların meydana geldiği krank mili açıları ise sırasıyla (6.010, 5.714 ve 5.705) °KMA'dır. Buradan sadece % 2 n-bütanol oranında silindir basıncının arttığı, diğer n-bütanol oranlarında ise azaldığı görülmektedir. Maksimum basınçların meydana geldiği açılardan ise yalnızca % 2 n-bütanol oranındaki açının SDY'na göre daha büyük olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 61 (a ve b)'de 4000 d/d 99 Nm döndürme momenti durumunda basınç-hacim diyagramı görülmektedir. SDY durumunda indike güç 57.964 kW olarak belirlenmiştir. n-Bütanol oranlarına göre sırasıyla indike güçler (58.044, 58.008 ve 58.104) kW çıkmıştır. Buradan da görülebileceği gibi tüm n-bütanol oranları için indike güçler artmaktadır. En büyük değer % 6 n-bütanol oranında oluşmuştur.

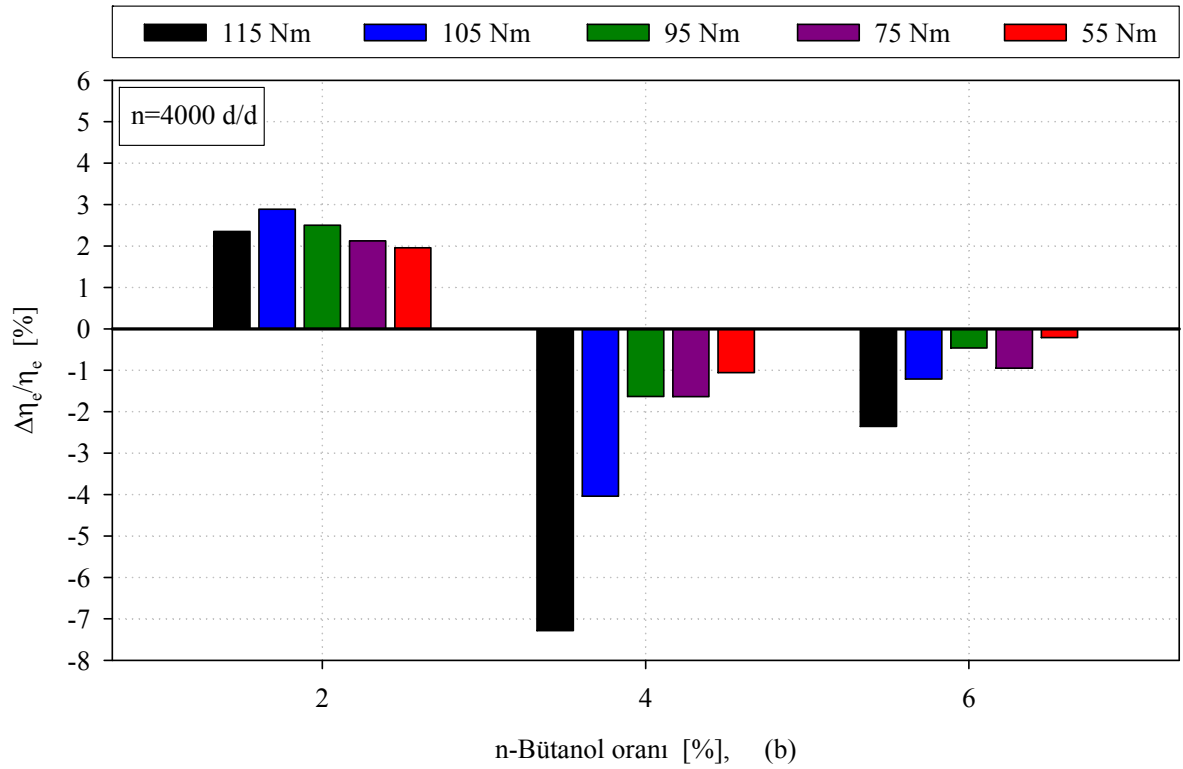
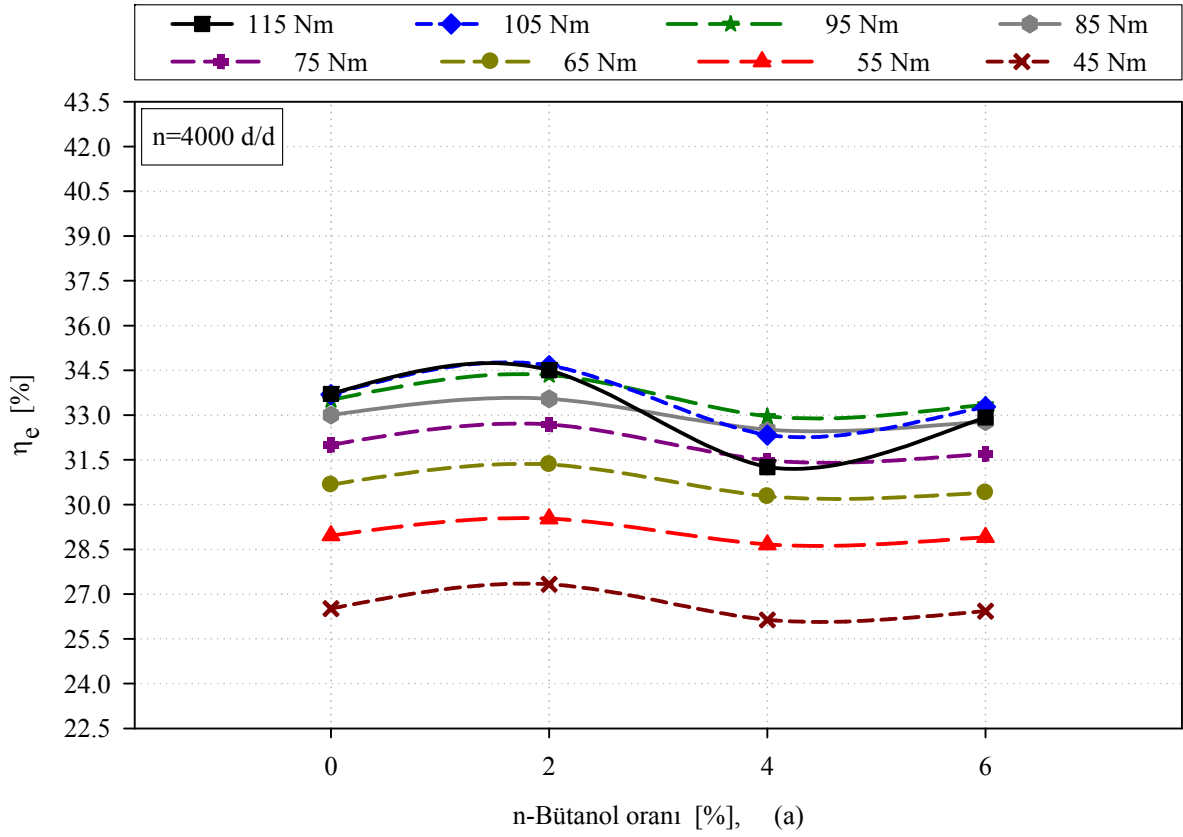
Şekil (58-61) incelendiğinde n-bütanol karışımı durumlarında basınç değerleri ve indike güç değerleri SDY değerlerine çok yakındır. Burada her üç n-bütanol karışımı durumunda da indike güçlerin artması n-bütanolün yanmayı iyileştirdiği sonucunu verebilir.



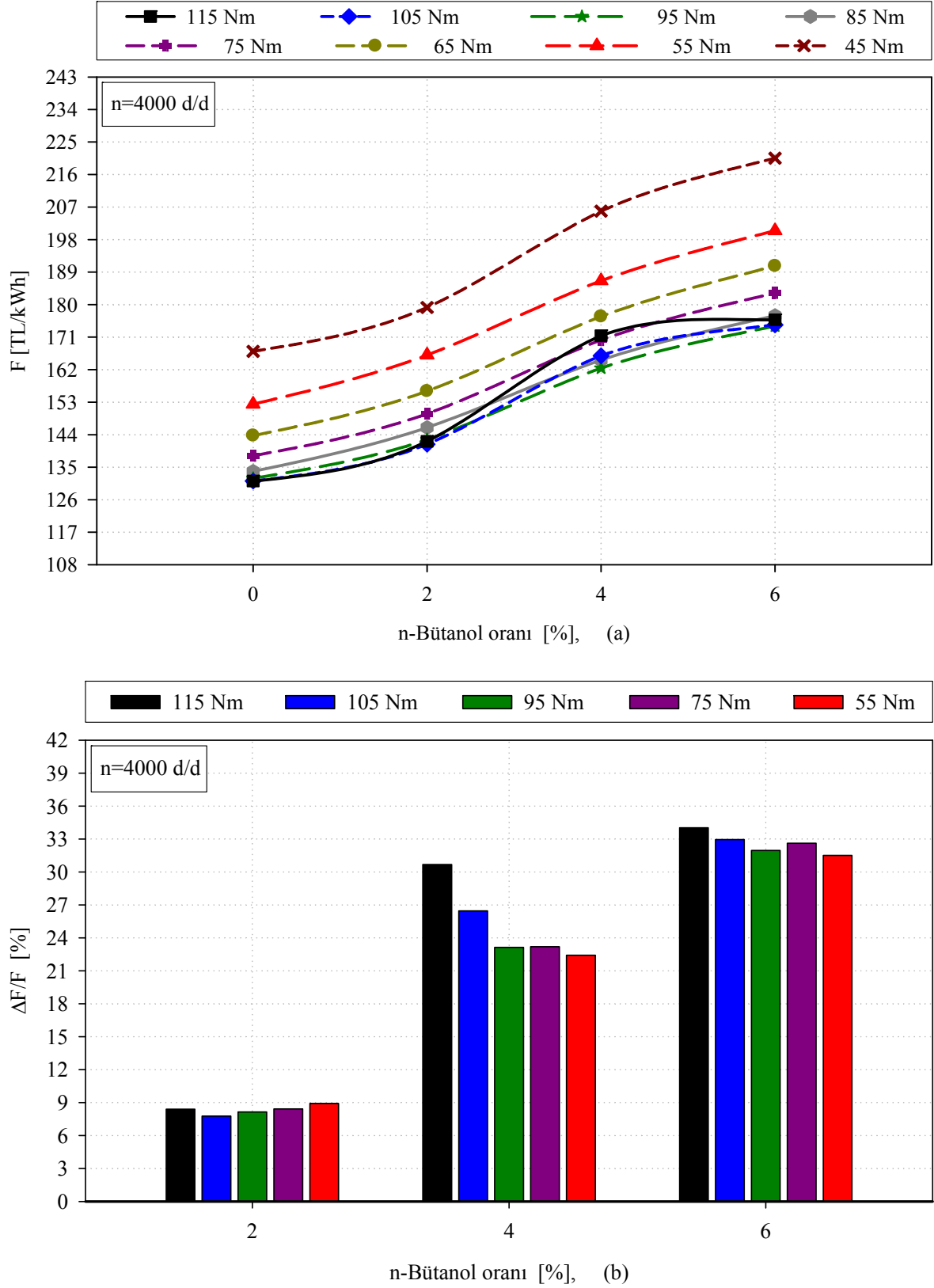
Şekil 51. (a) 4000 d/d’da farklı yüklerde efektif gücün n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 4000 d/d’da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif güçteki değişim oranları



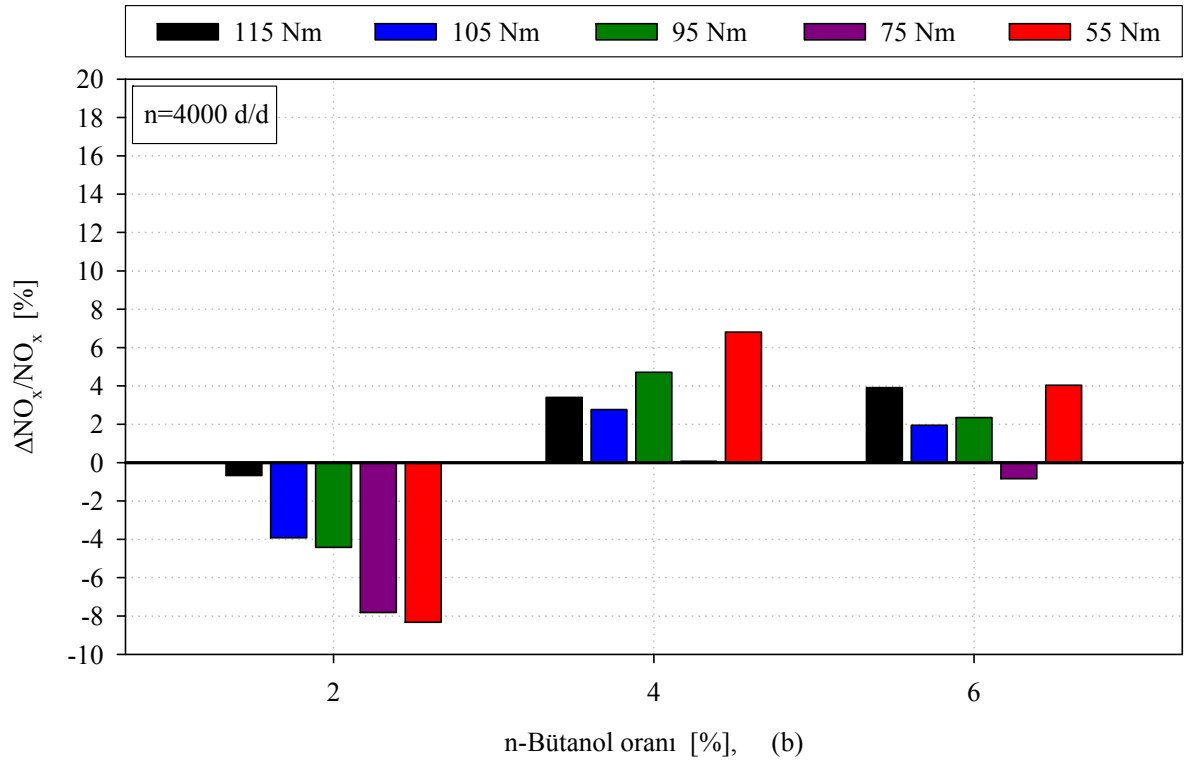
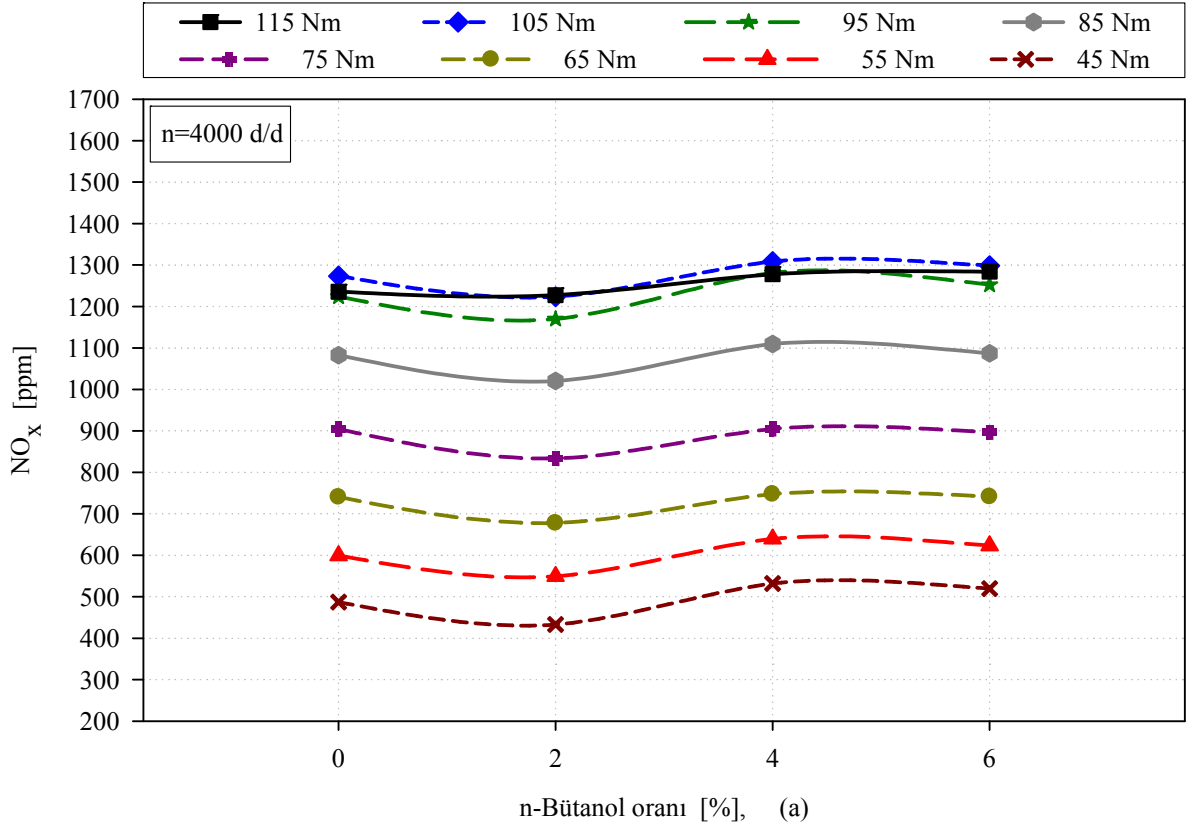
Şekil 52. (a) 4000 d/d'da farklı yüklerde ÖYT'nin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 4000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında ÖYT'ndeki değişim oranları



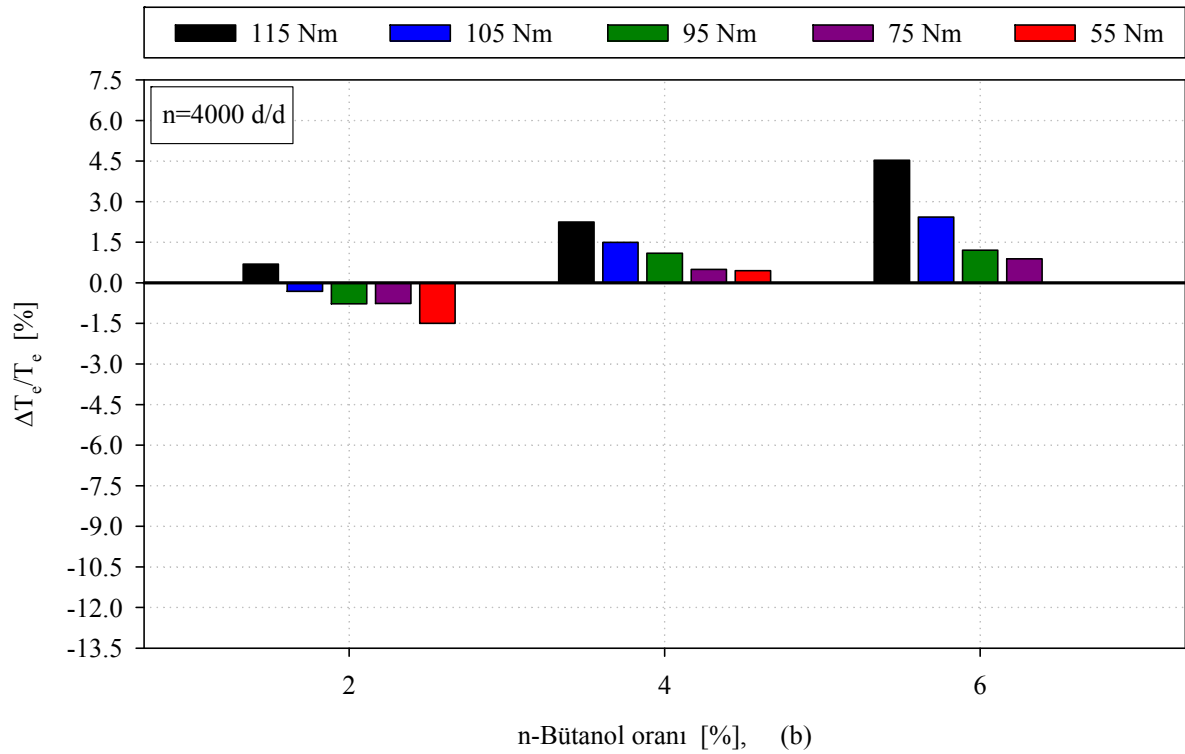
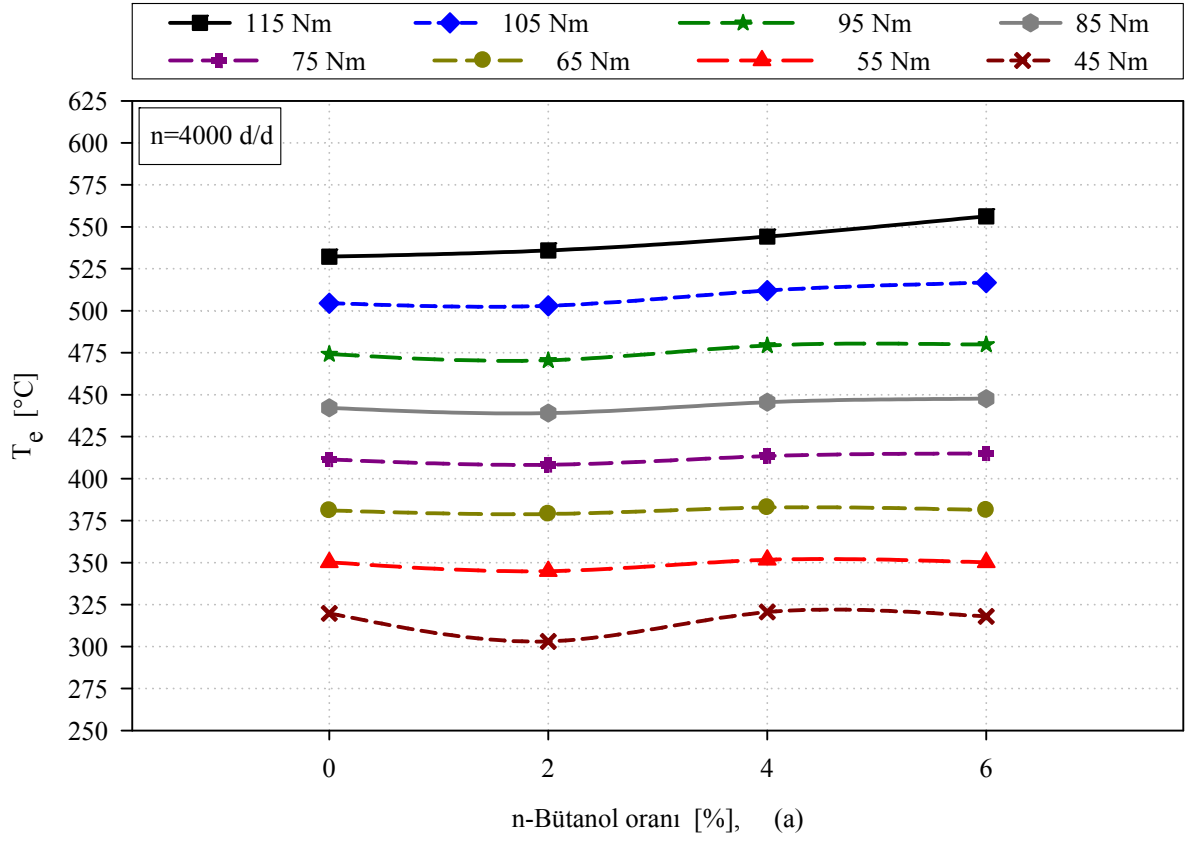
Şekil 53. (a) 4000 d/d’da farklı yüklerde efektif verimin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 4000 d/d’da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif verimdeki değişim oranları



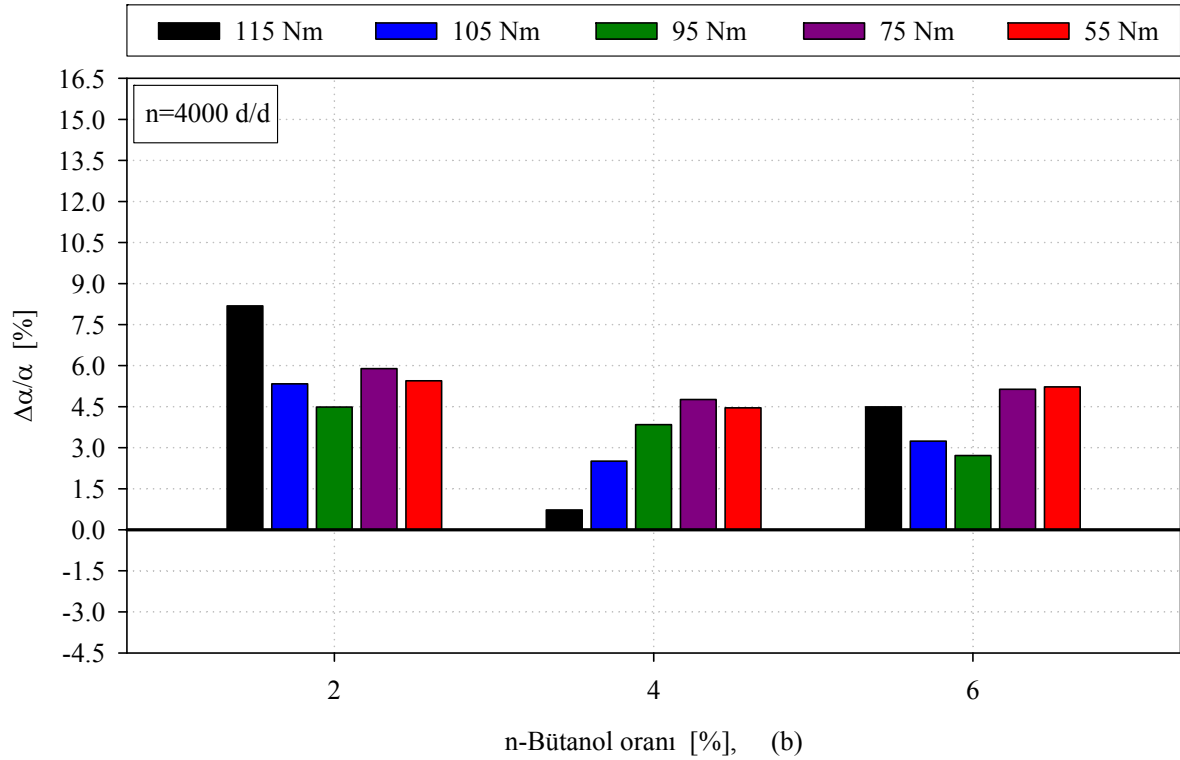
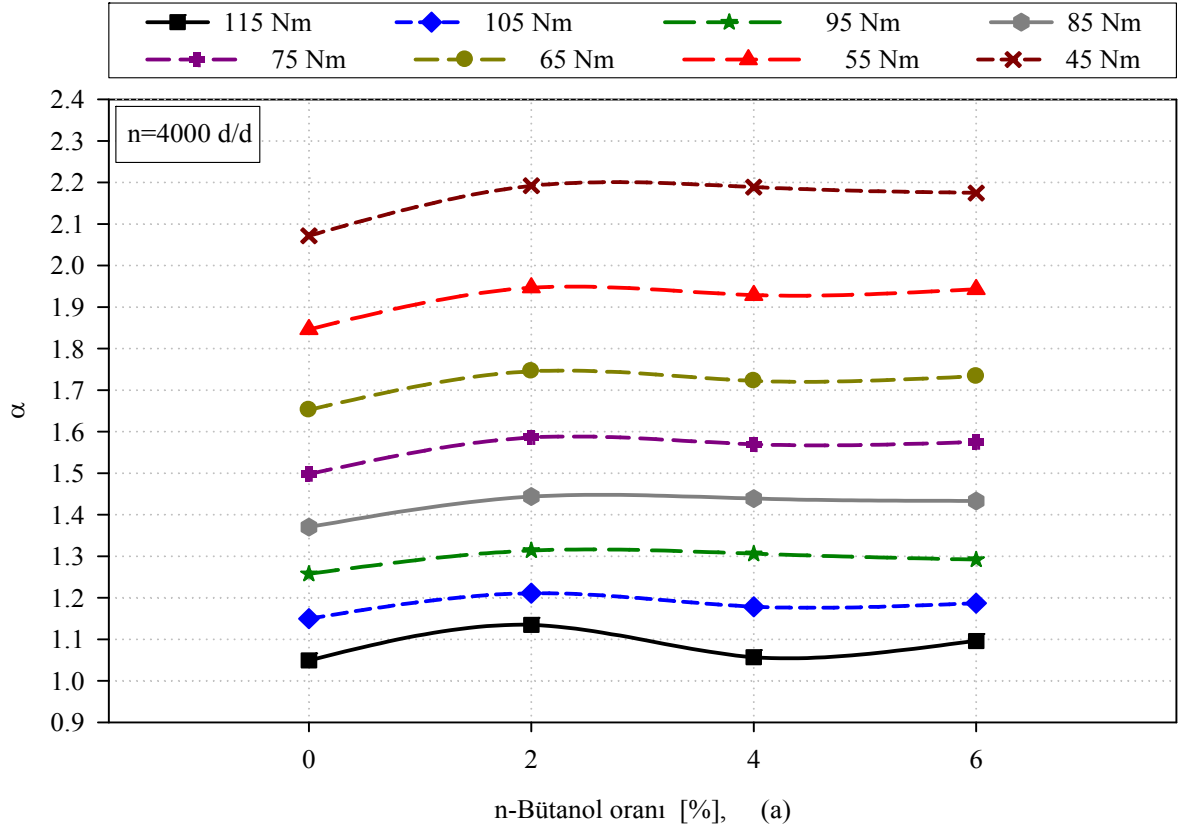
Şekil 54. (a) 4000 d/d'da farklı yüklerde yakıt maliyetinin n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 4000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında yakıt maliyetindeki değişim oranları



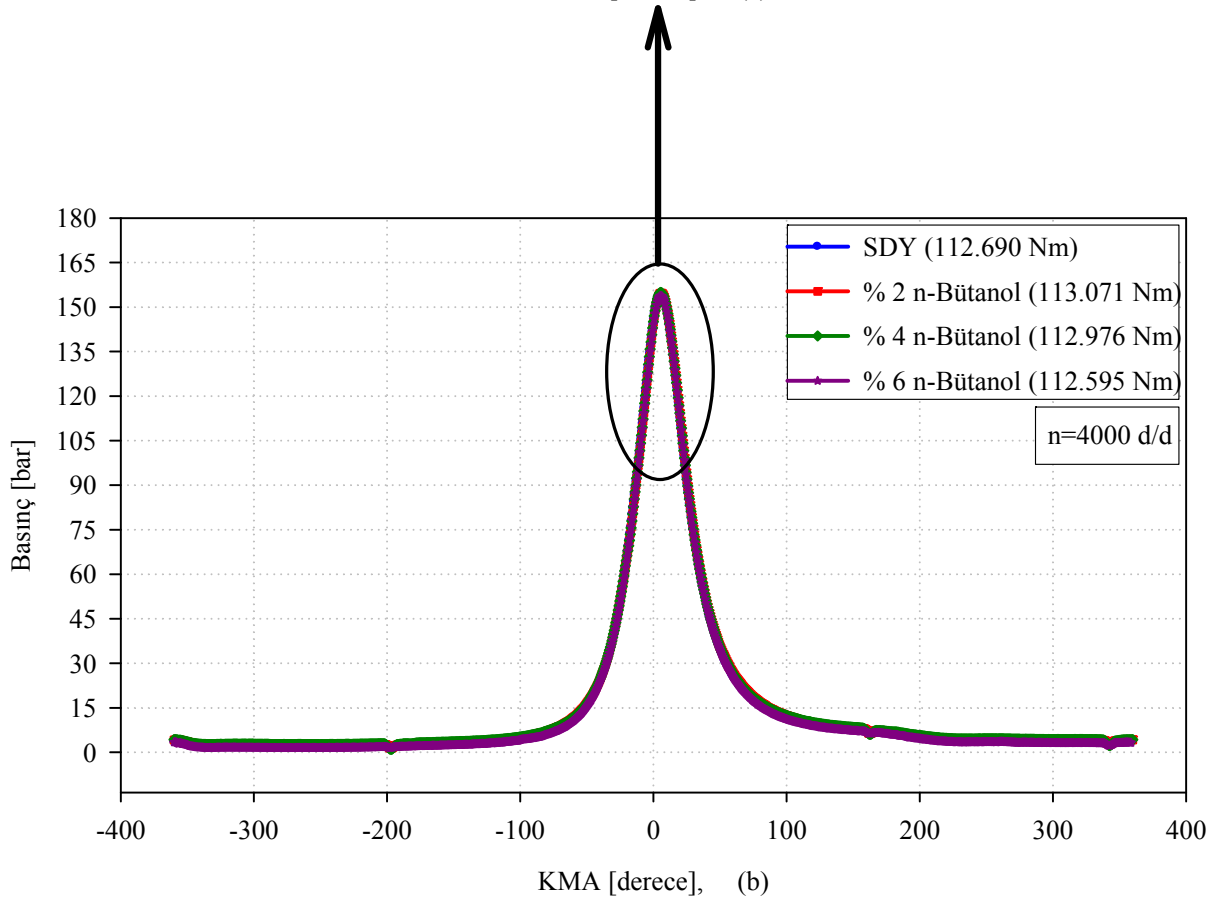
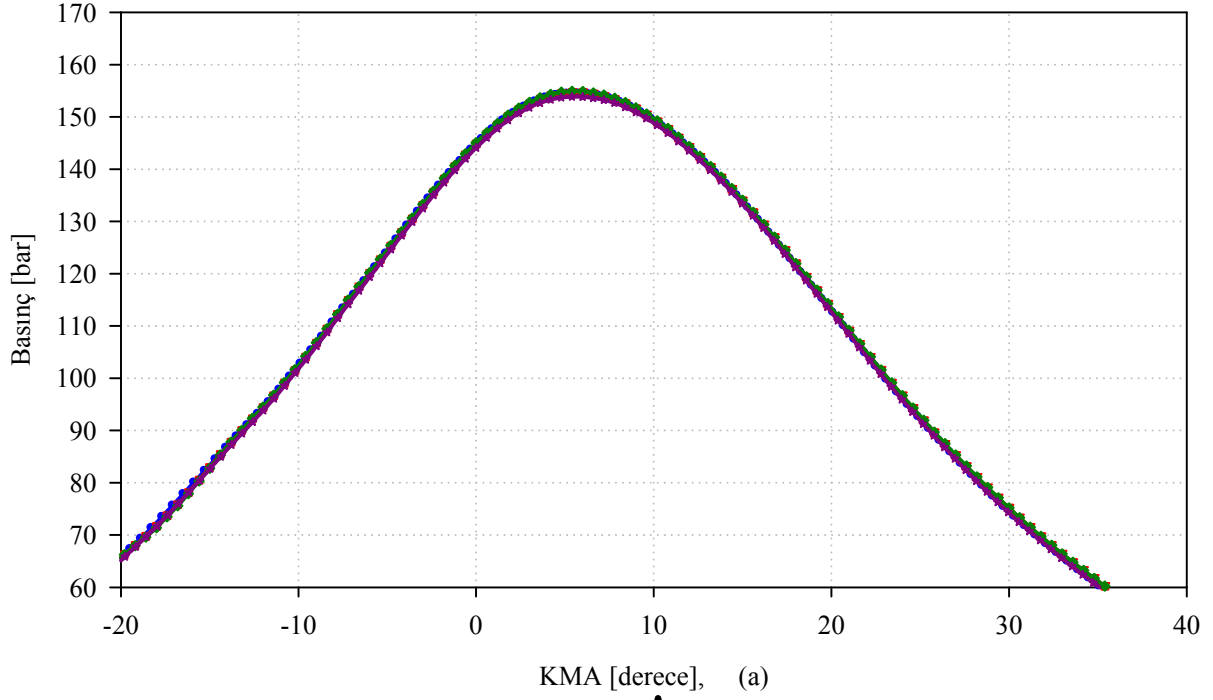
Şekil 55. (a) 4000 d/d'da farklı yüklerde NO_x emisyonunun n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 4000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında NO_x emisyonundaki değişim oranları



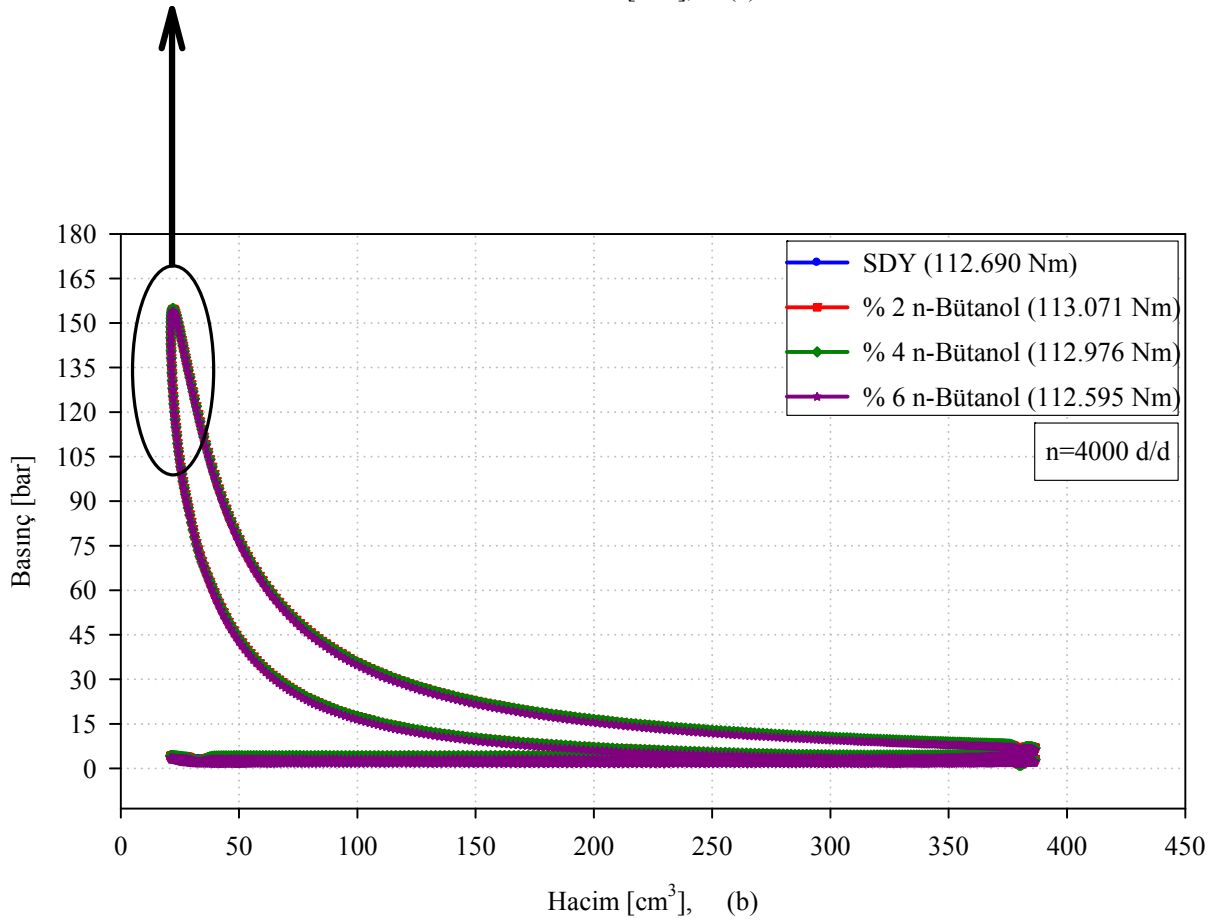
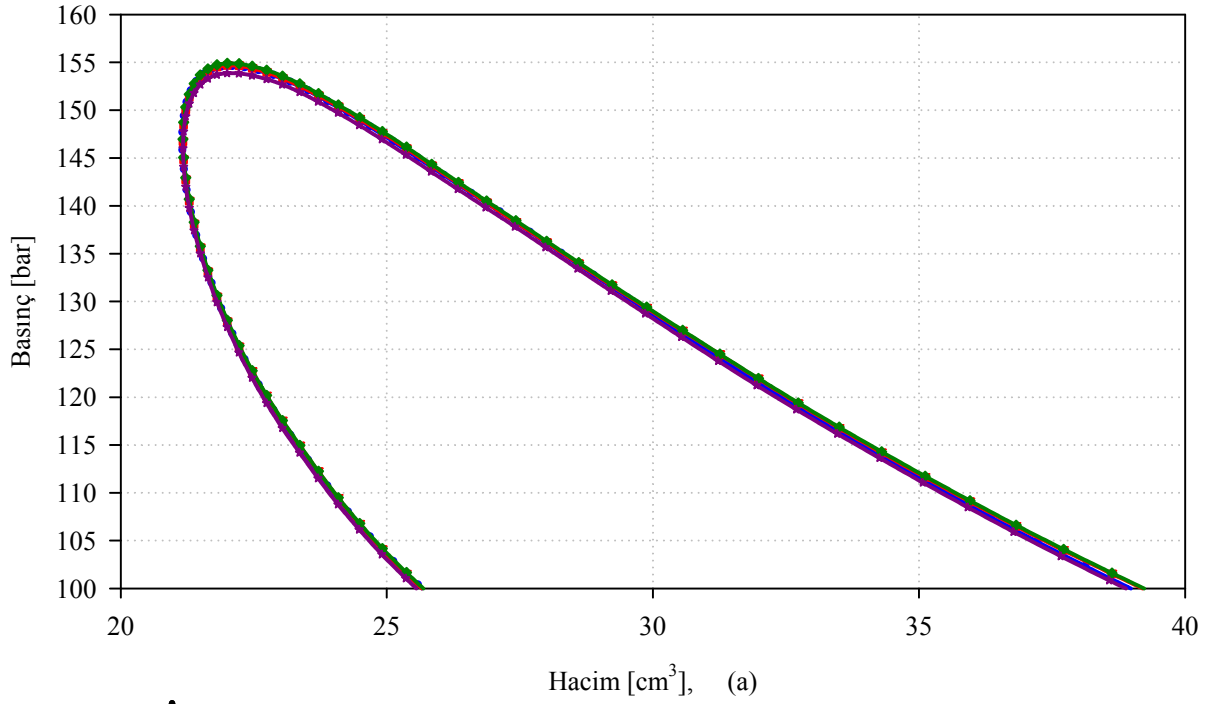
Şekil 56. (a) 4000 d/d'da farklı yüklerde eksoz gazı sıcaklığının n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 4000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında eksoz gazı sıcaklığındaki değişim oranları



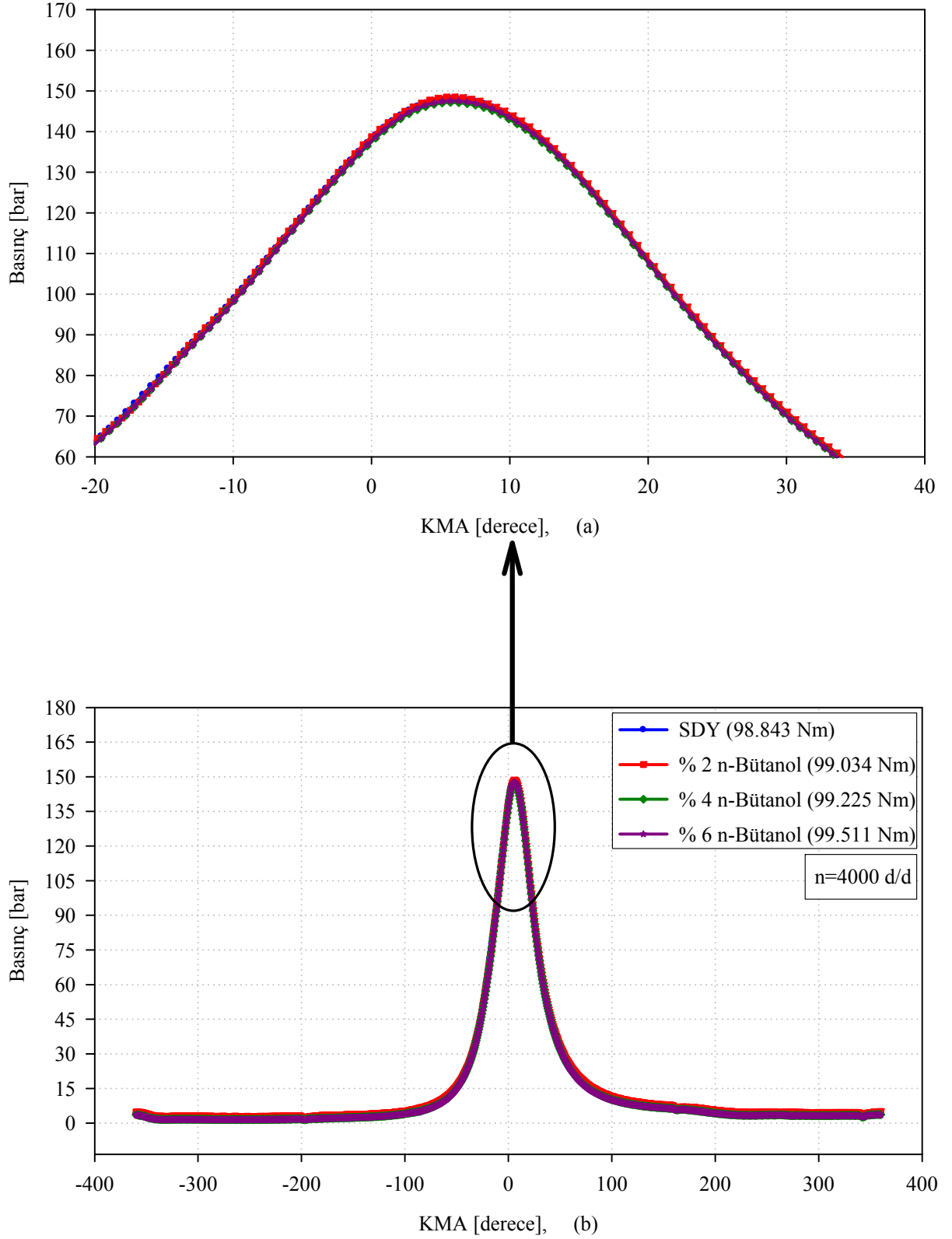
Şekil 57. (a) 4000 d/d'da farklı yüklerde hava fazlalık katsayısının n-bütanol oranına göre değişimleri, (b) 4000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında hava fazlalık katsayısındaki değişim oranları



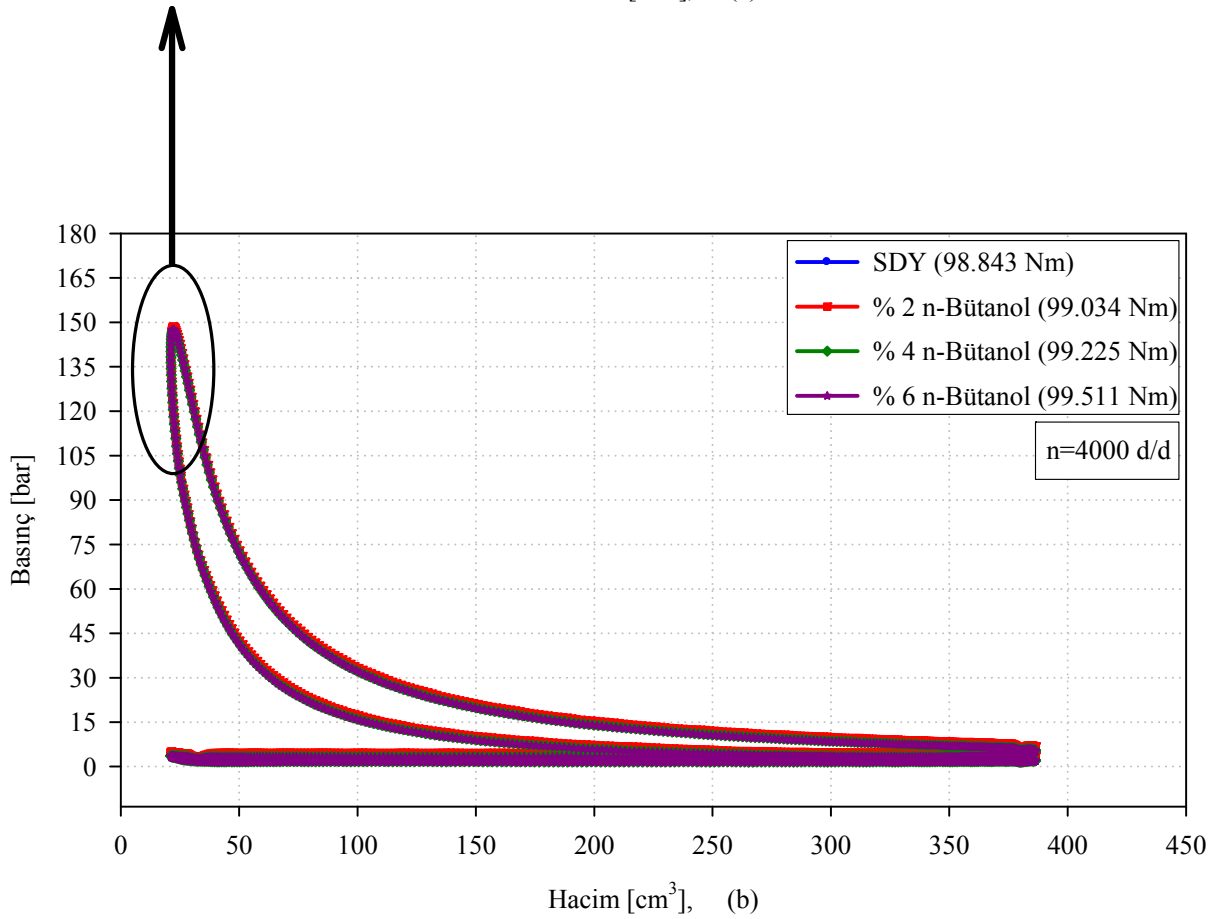
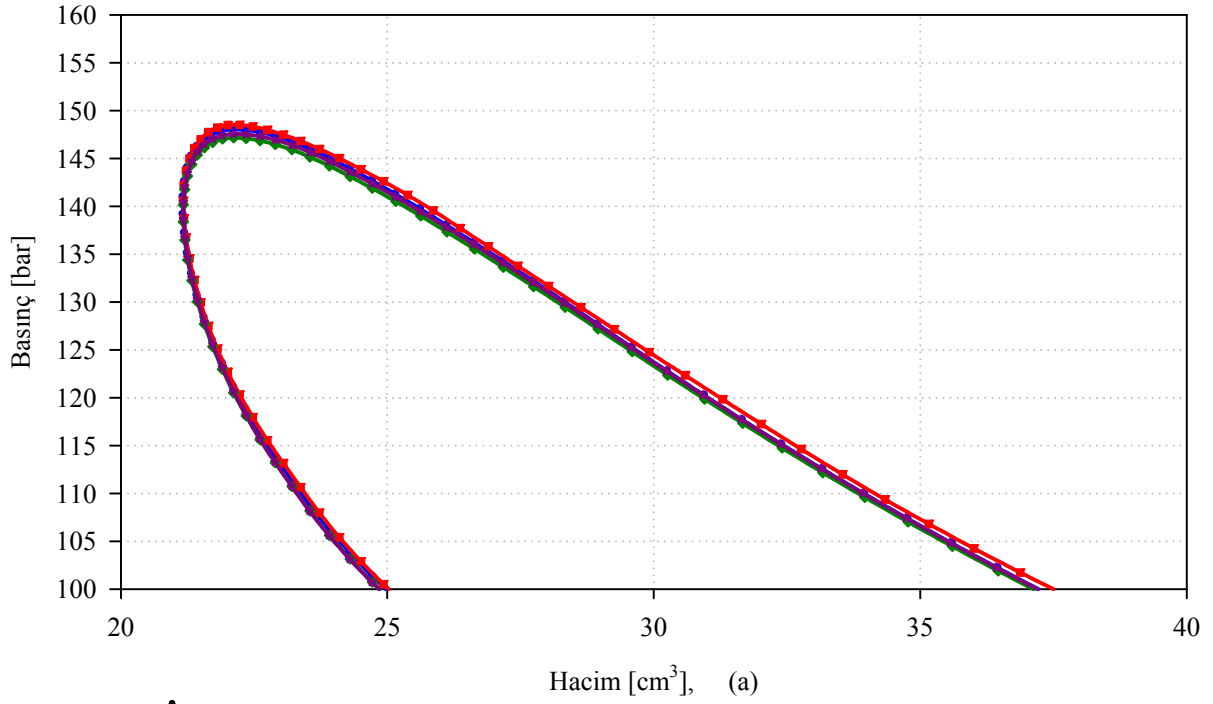
Şekil 58. (a) 4000 d/d'da 113 Nm (tam gaz-tam yük) için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının ÜÖN civarında krank mili açısına göre değişimleri, (b) 4000 d/d'da 113 Nm (tam gaz-tam yük) için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının krank mili açısına göre değişimleri



Şekil 59. (a) 4000 d/d'da 113 Nm (tam gaz-tam yük) için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının ÜÖN civarında silindir hacmine göre değişimleri, (b) 4000 d/d'da 113 Nm (tam gaz-tam yük) için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının silindir hacmine göre değişimleri



Şekil 60. (a) 4000 d/d'da 99 Nm için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının ÜÖN civarında krank mili açısına göre değişimleri, (b) 4000 d/d'da 99 Nm için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının krank mili açısına göre değişimleri



Şekil 61. (a) 4000 d/d'da 99 Nm için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının ÜÖN civarında silindir hacmine göre değişimleri, (b) 4000 d/d'da 99 Nm için farklı n-bütanol oranlarında silindir gaz basıncının silindir hacmine göre değişimleri

3.15. n-Bütanol Fumigasyonunun K İs Faktörü Üzerindeki Etkileri

SDY ve nBDYK deneylerinden sonra 2000 d/d'da iki farklı döndürme momenti (146 Nm ve 132 Nm) durumunda % (2, 4 ve 6) n-bütanol fumigasyonunun etkileri incelenmiştir. Fumigasyon yönteminde; n-bütanol, emme kanalından emilmekte olan havanın içerisine basit bir karbüratörle püskürtülmüştür. Burada motorun emme kanalına basit bir karbüratör eklenmiştir ve motorda başka herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Yine motor dizel ilkesine göre çalıştırılmıştır. Aşağıdaki paragraflarda önce n-bütanol fumigasyonunun K is faktörü üzerindeki etkileri, ardından motor performans karakteristikleri üzerindeki etkileri ve son olarak da eksoz emisyonları üzerindeki etkileri sunulmuştur.

Şekil 62 (a ve b)'de n-bütanol fumigasyonunun K is faktörü üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Burada karışım yönteminde olduğu gibi K is faktörü (2000, 2500 ve 3000) d/d'da ölçülmüştür. K is faktörü cihazındaki sıcaklık sensörünün yanmaması için daha yüksek devirlerde ölçüm yapılmamıştır. Şekil 62 (a)'da K is faktörünün (2000, 2500 ve 3000) d/d'da n-bütanol fumigasyon oranına göre değişimi ve Şekil 62 (b) de ise aynı devir sayılarında Tablo 8'de gösterilen n-bütanol fumigasyon oranlarında ölçülen K is faktörlerinin SDY'na göre artma ve azalma oranları gösterilmiştir. İlgili şekillerden görüldüğü gibi, K is faktörü seçilen tüm devir sayılarında azalmıştır. Azalma oranları küçük açıklıklarda yani düşük n-bütanol oranlarında daha etkili olmuştur. SDY'na göre maksimum azalma 2500 d/d'da 1. Açıklıkta % 49.68, 2. Açıklıkta % 44.26 ve 3. Açıklıkta ise % 19.56 oranlarında olmuştur. Buradan anlaşılacağı üzere K is faktörü açısından fumigasyon yöntemi karışım yöntemine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Çünkü 2500 d/d'da karışım yönteminde % 4 nBDYK'ında en yüksek azalma % 25.16 iken yaklaşık % 4 n-bütanol fumigasyonu durumunda bulunan maksimum azalma % 44.26 oranında olmuştur.

Tablo 8. Farklı devirlerde, tam gaz ve tam yük durumunda farklı karbüratör açıklıkları için belirlenen n-bütanol fumigasyon oranları

n [d/d]	1. A nBF [%]	2. A nBF [%]	3. A nBF [%]	4. A nBF [%]	5. A nBF [%]
2000	2.3	4.8	6.7	8	10.6
2500	2.2	4	6.3	8.1	10.2
3000	2.1	4.3	6	8	10

3.16. 2000 d/d'da n-Bütanol Fumigasyonunun Motor Performans Karakteristikleri ve Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkileri

Karbüratörün çalışma ilkesi gereği fumigasyon yönteminde karışım yönteminde olduğu gibi direkt % (2, 4 ve 6) oranları elde edilememiştir. Karbüratör ana memesi yaklaşık % 2 n-bütanol oranını verecek şekilde 1. Açıklığa ayarlanmıştır. Daha sonra % 4 n-bütanol oranını verecek şekilde karbüratör ana memesi 2. Açıklığa ve son olarak yaklaşık % 6 n-bütanol oranını verecek şekilde karbüratör ana memesi 3. Açıklığa ayarlanmıştır. 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm için bulunan n-bütanol oranları değerleri Tablo 9'da sunulmuştur.

Tablo 9. 2000 d/d ve 146 Nm ve 132 Nm döndürme momenti durumlarında farklı karbüratör açıklıkları için belirlenen n-bütanol fumigasyon oranları

n [d/d]	M _d [Nm]	1. A nBF [%]	2. A nBF [%]	3. A nBF [%]
2000	146	2.280	4.245	5.690
2000	132	2.502	4.489	6.484

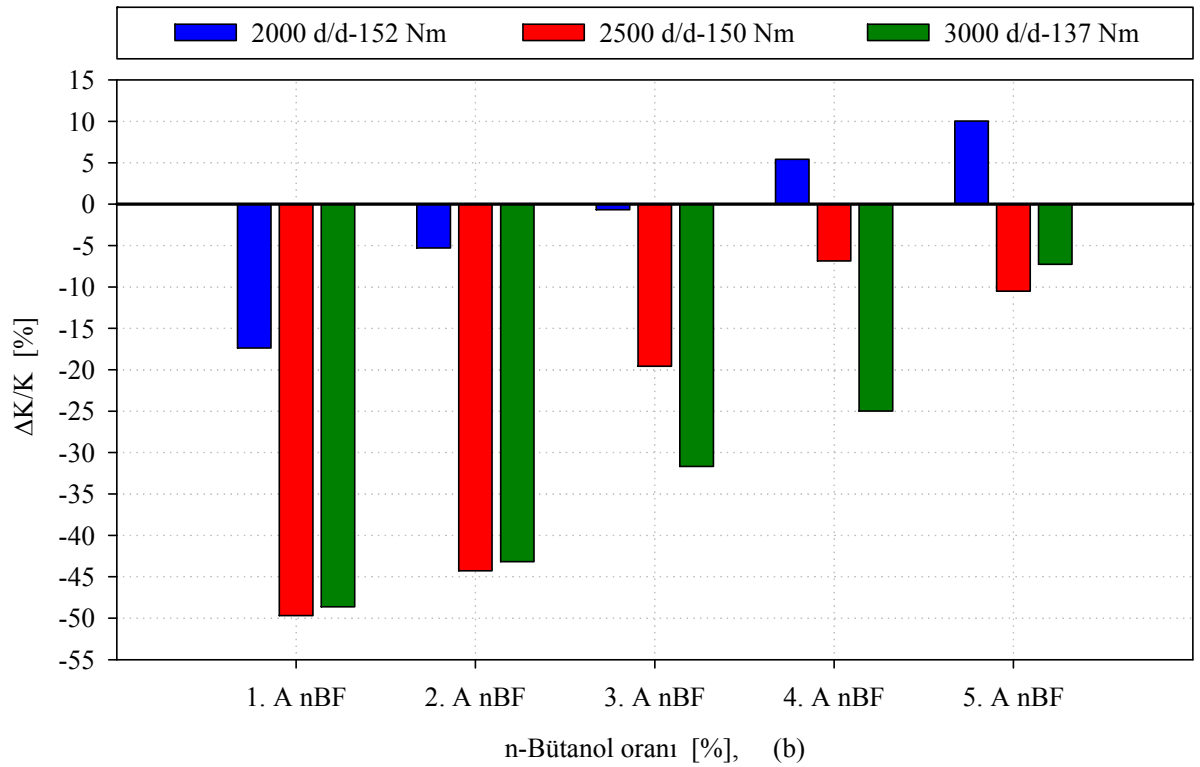
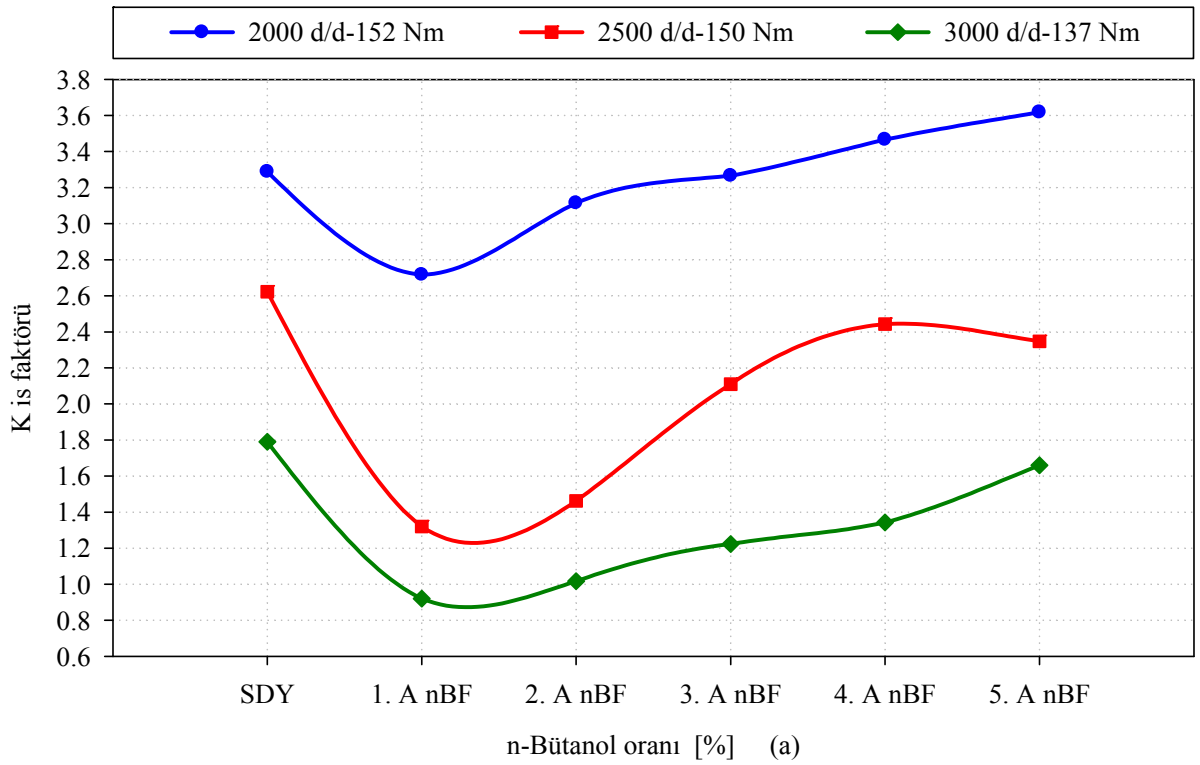
Şekil 63 (a ve b)'den görülebileceği gibi 2000 d/d'da; 146 Nm ve 132 Nm döndürme momentleri için efektif güç, 1. Açıklık durumunda azalmakta, 2. ve 3. Açıklık durumlarında ise artmaktadır. SDY'na göre 1. Açıklık durumunda ortalama % 0.63 azalma, 2. Açıklık durumunda ortalama % 1.40 artma, 3. Açıklık durumunda ortalama % 1.17 artma olmuştur.

Şekil 64 (a ve b)'den görülebileceği gibi her iki döndürme momenti durumunda ÖYT artmaktadır. SDY'na göre ortalama artmalar; 1. Açıklık durumunda % 0.71, 2. Açıklık durumunda % 1.19, 3. Açıklık durumunda ise % 2.81 olmuştur.

Şekil 65 (a ve b)'den görülebileceği gibi efektif verim 146 Nm döndürme momentinde azalmıştır. 132 Nm döndürme momentinde ise efektif verim, 2. Açıklık durumunda artmakta ancak diğer açıklık durumlarında ise çok fazla değişmemektedir. Her iki yük durumunu göz önüne alırsak SDY'na göre ortalama azalmalar; (1., 2. ve 3.) Açıklık durumlarında sırasıyla, % 0.22, % 0.30 ve % 1.51 oranlarında olmuştur.

Şekil 66 (a ve b)'den görülebileceği gibi yakıt maliyeti, her iki döndürme momenti durumunda tüm fumigasyon oranlarında artmıştır. SDY'na göre bu artışlar ortalama; (1., 2. ve 3.) Açıklık durumlarında sırasıyla % 13.47, % 24.63 ve % 35.99 oranlarında olmuştur.

Buradan nBF durumunda motor performans karakteristiklerinin % 2 nBDYK'larına göre daha kötü olduğu görülebilir. % (2, 4 ve 6) nBF ile ÖYT'nin arttığı ve efektif verimin azaldığı belirlenmiştir. Ancak fumigasyon yönteminde dizel yakıtı miktarında herhangi bir



Şekil 62. (a) Farklı devirlerde K is faktörünün n-bütanol fumigasyon oranına göre değişimleri, (b) Farklı devirlerde ve farklı fumigasyon oranlarında K is faktörü değişim oranları

değişiklik olmadan n-bütanol ek olarak emme havasının içerisine püskürtülmüştür. Bu nedenle motorun efektif gücünün arttığı ilgili şekillerden görülmüştür. Ayrıca dizel yakıtı miktarında herhangi bir değişme olmadan ek olarak bir de emme kanalına n-bütanol eklendiğinde ÖYT'nin artması doğaldır. Bu nedenle eklenen n-bütanol oranı kadar dizel yakıtının azaltılması gerekirdi. Bunun gerçekleştirilebilmesi için püskürtme sisteminin yeniden uyarlanması gerekir.

Şekil 67 (a ve b)' den görülebileceği gibi NO_x emisyonu tüm fumigasyon oranlarında azalma göstermiştir. SDY'na göre ortalama azalmalar; 1. Açıklıkta nBF için % 7.12, 2. Açıklıkta nBF için % 7.14, 3. Açıklıkta nBF için % 8.25 oranlarında olmuştur.

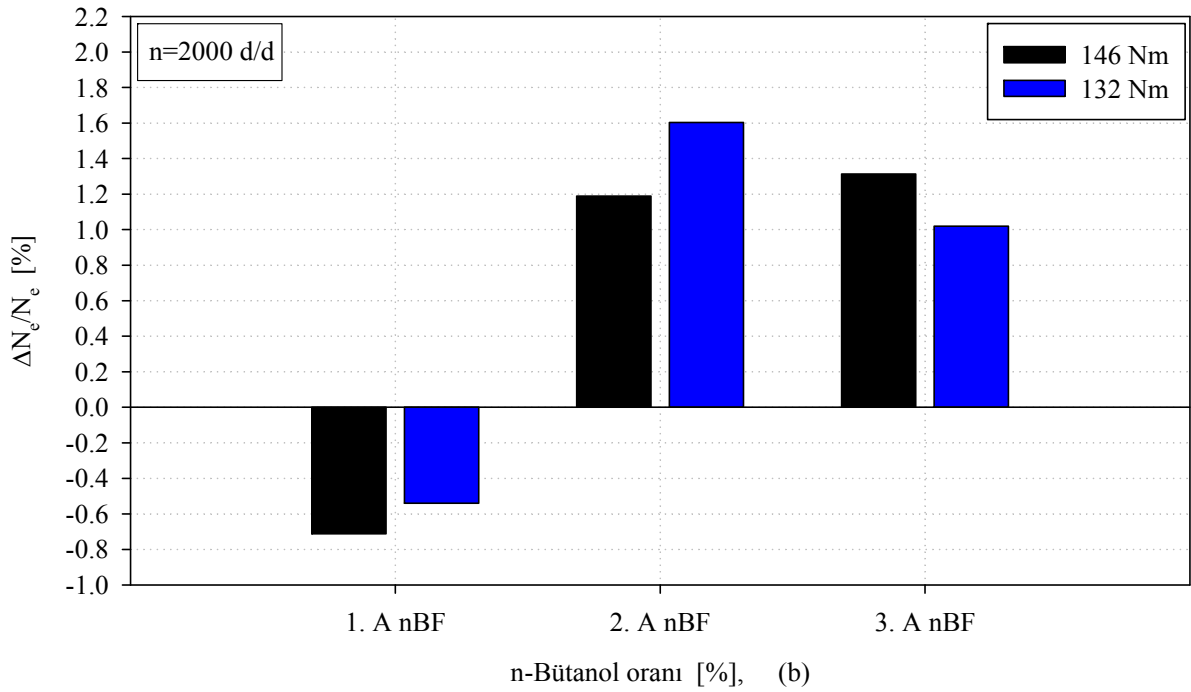
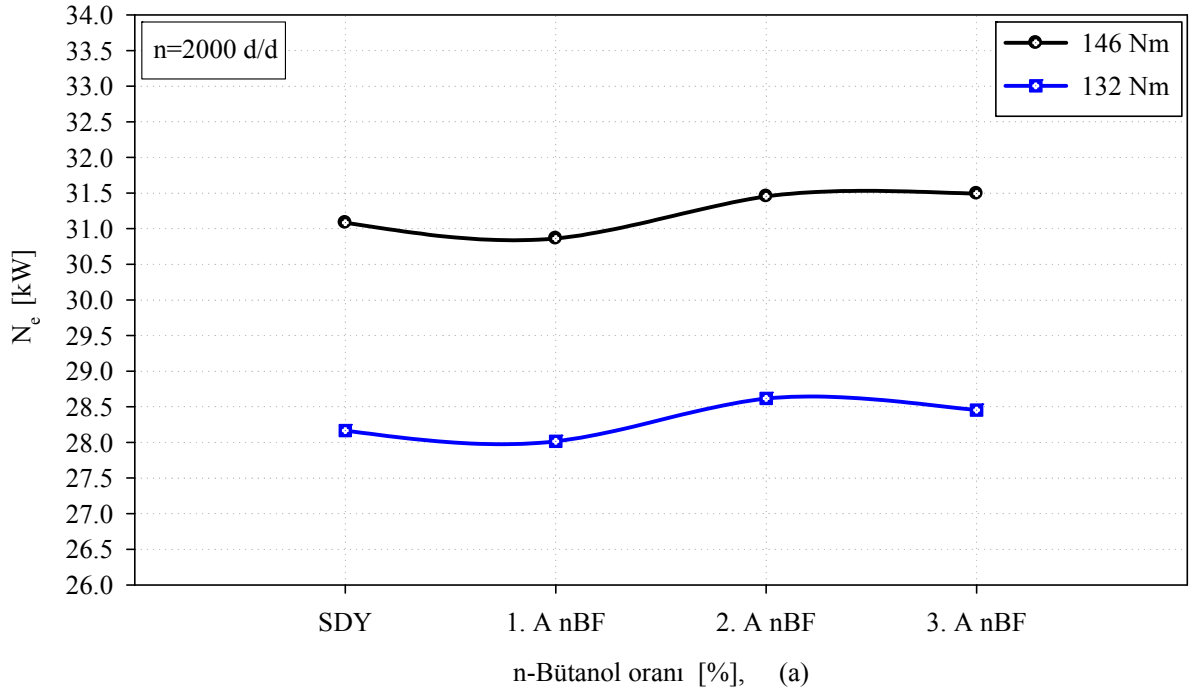
Şekil 68 (a ve b)'den görülebileceği gibi eksoz gazı sıcaklıkları tüm fumigasyon oranlarında artma göstermiştir. SDY'na göre ortalama artmalar; 1. Açıklıkta nBF için % 1.36, 2. Açıklıkta nBF için % 3.35, 3. Açıklıkta nBF için % 3.48 oranlarında olmuştur.

Şekil 69 (a ve b)' den görülebileceği gibi hava fazlalık katsayısı tüm fumigasyon oranlarında azalma göstermiştir. SDY'na göre ortalama azalmalar; 1. Açıklıkta nBF için % 0.02, 2. Açıklıkta nBF için % 2.07, 3. Açıklıkta nBF için % 3.02 oranlarında olmuştur.

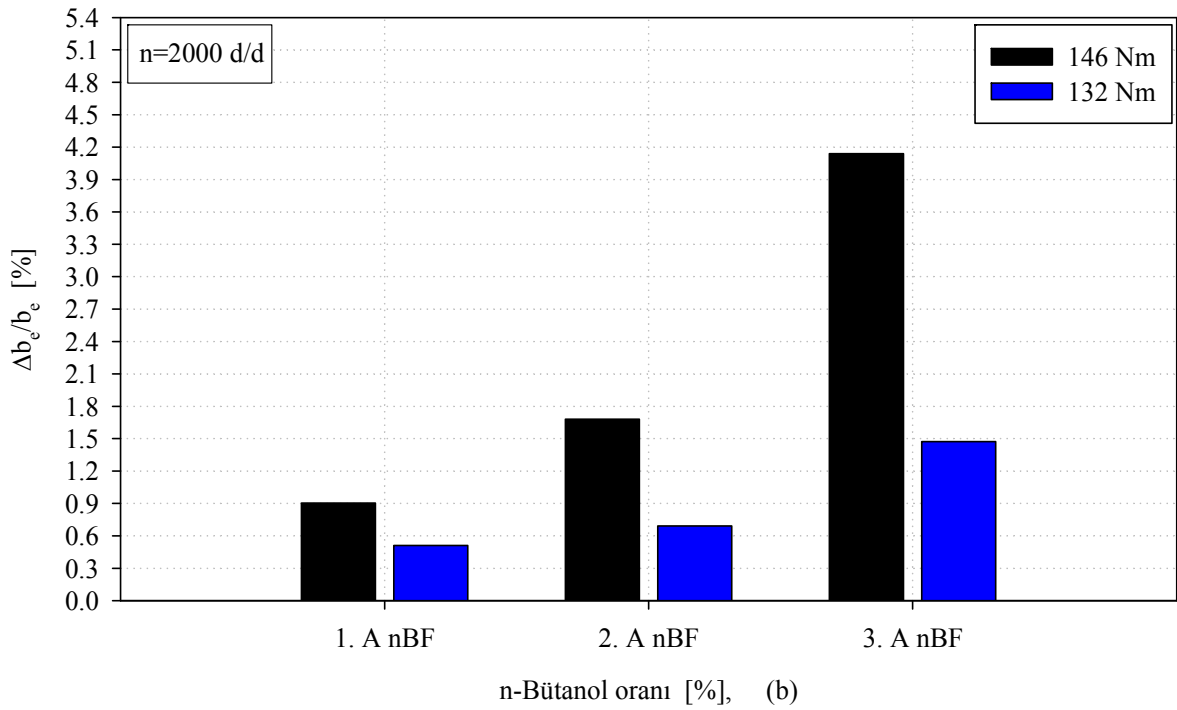
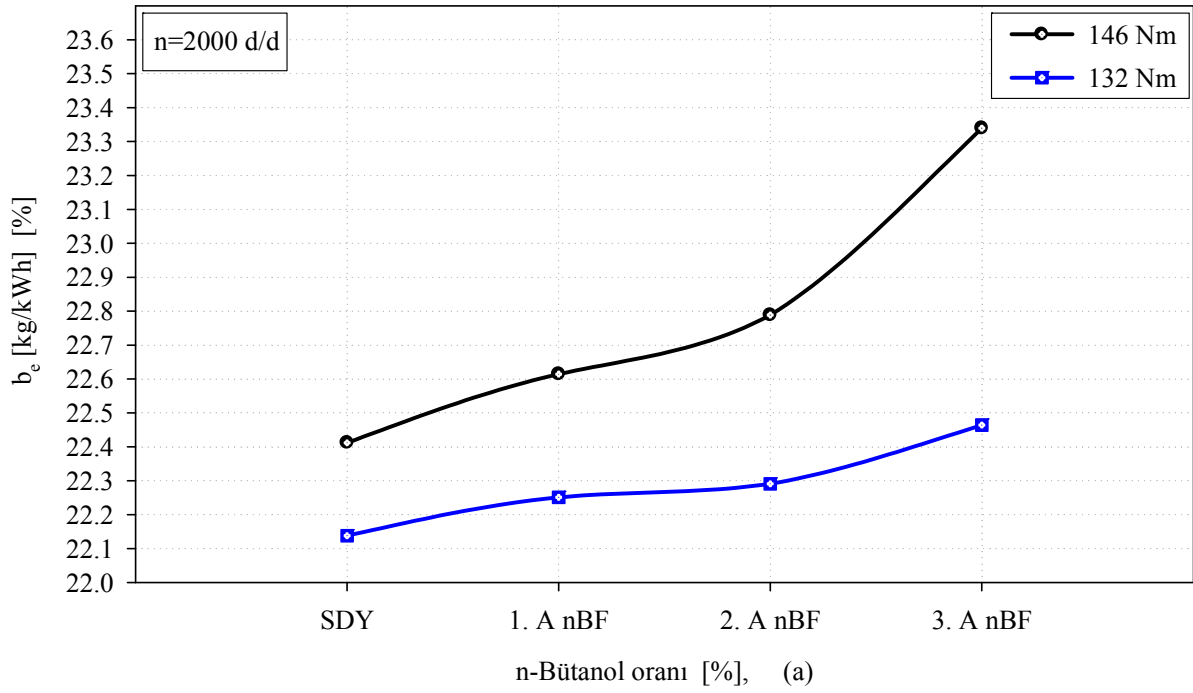
Fumigasyon yönteminde NO_x emisyonunun azalmasındaki en önemli etkenin yakıt hava karışımının daha homojen ve hızlı oluşmasından kaynaklandığı düşünülebilir. Bilindiği gibi bu yöntemde homojen olarak karışmış n-bütanol-hava karışımının içerisine dizel yakıtı püskürtülmektedir. Burada dizel yakıtının tutuşma gecikmesi sonunda yanmasının hemen ardından n-bütanol hava karışımının birden bire anlık olarak yandığı düşünülmektedir. Bu anlık yanmanın akım karışıklıkları oluşturduğu ve bu karışıklıkların daha sonra püskürtülen dizel yakıtı ile havayı daha iyi karıştırarak yanmayı iyileştirdiği tahmin edilmektedir. NO_x emisyonunun ve K is faktörünün bu nedenle önemli ölçüde azaldığı düşünülebilir.

NO_x emisyonunun nBF durumunda nBDYK durumuna göre daha belirgin olarak azaldığı belirlenmiştir. Örneğin nBDYK durumunda 2000 d/d'da NO_x emisyonunda, % 2 n-bütanol oranında ortalama % 1.47 azalma, % 4 n-bütanol oranında ortalama % 1.94 artma, % 6 n-bütanol oranında ise ortalama % 10.40 artma olmuştur. Buna karşılık nBF durumunda NO_x emisyonu önemli ölçüde azalmıştır. Örneğin NO_x emisyonu, aynı devirde yaklaşık % 2, % 4 ve % 6 nBF durumlarında sırasıyla % 7.12, % 7.14, ve % 8.25 oranlarında azalmıştır.

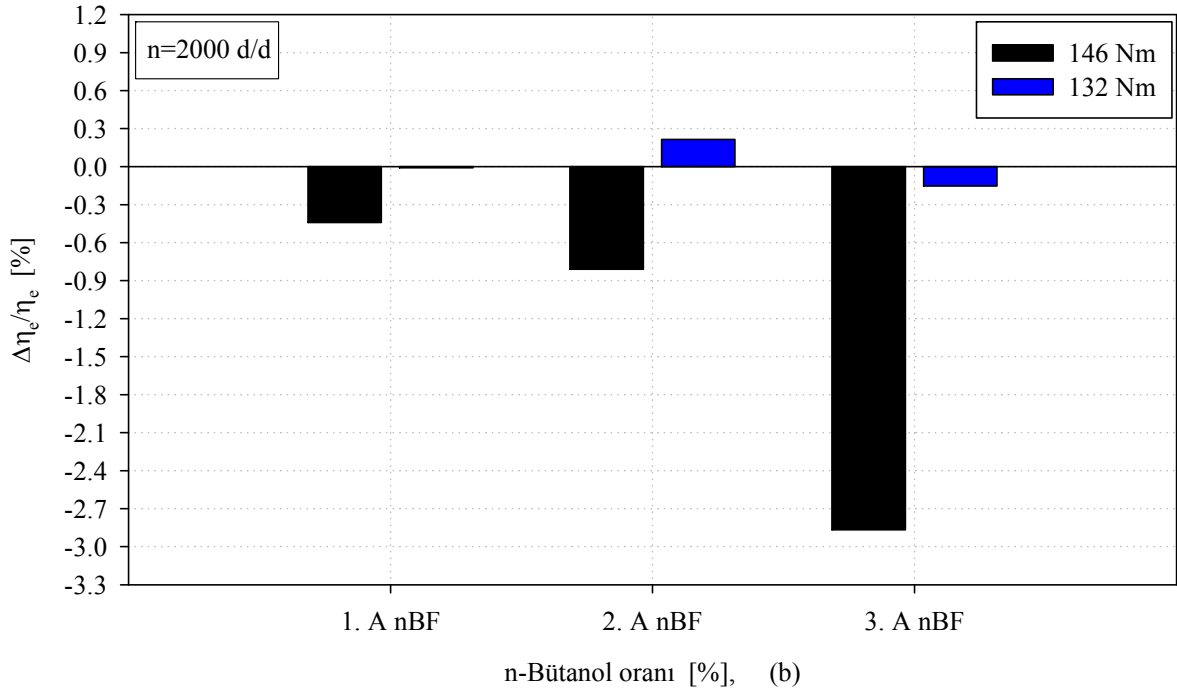
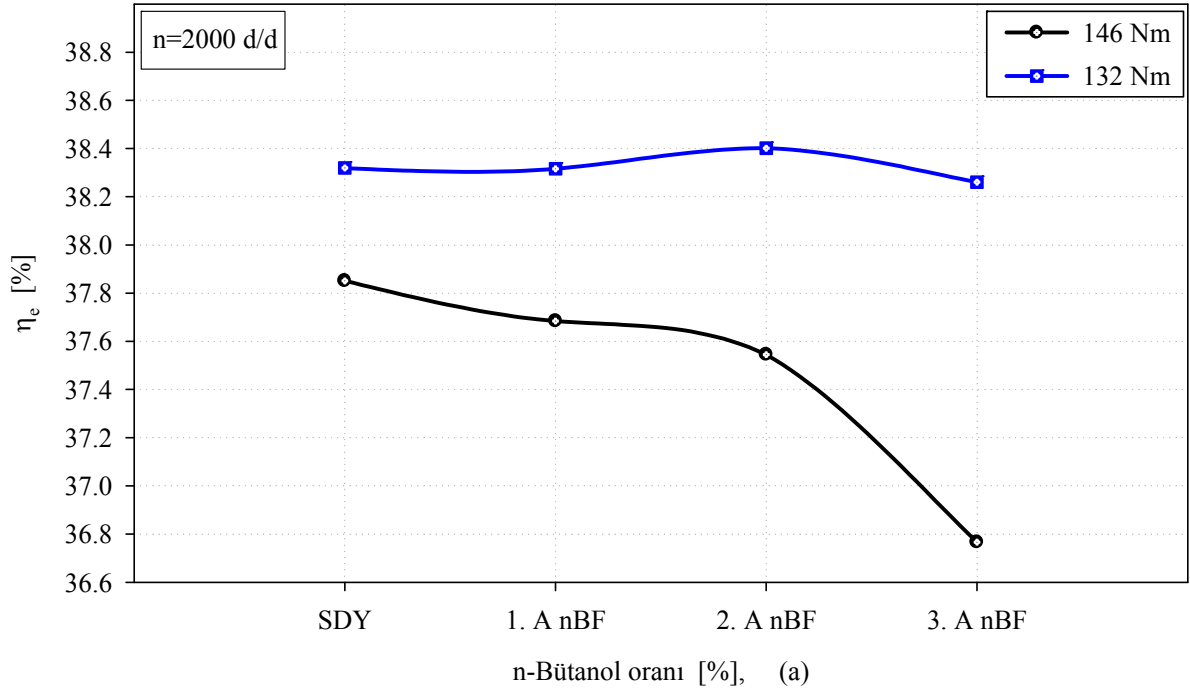
Sonuç olarak nBF'nunda motor performans karakteristikleri pek fazla kötüleşmeden K is faktörü ve NO_x emisyonu önemli düzeylerde azalmıştır. Sunulan tez çalışmasında nBF'nun etkileri yalnızca 2000 d/d'da iki farklı yük için incelenmiştir. Söz konusu devirde ve farklı devirlerde, farklı yükler altında da nBF'nun etkilerinin incelenmesi gerekir.



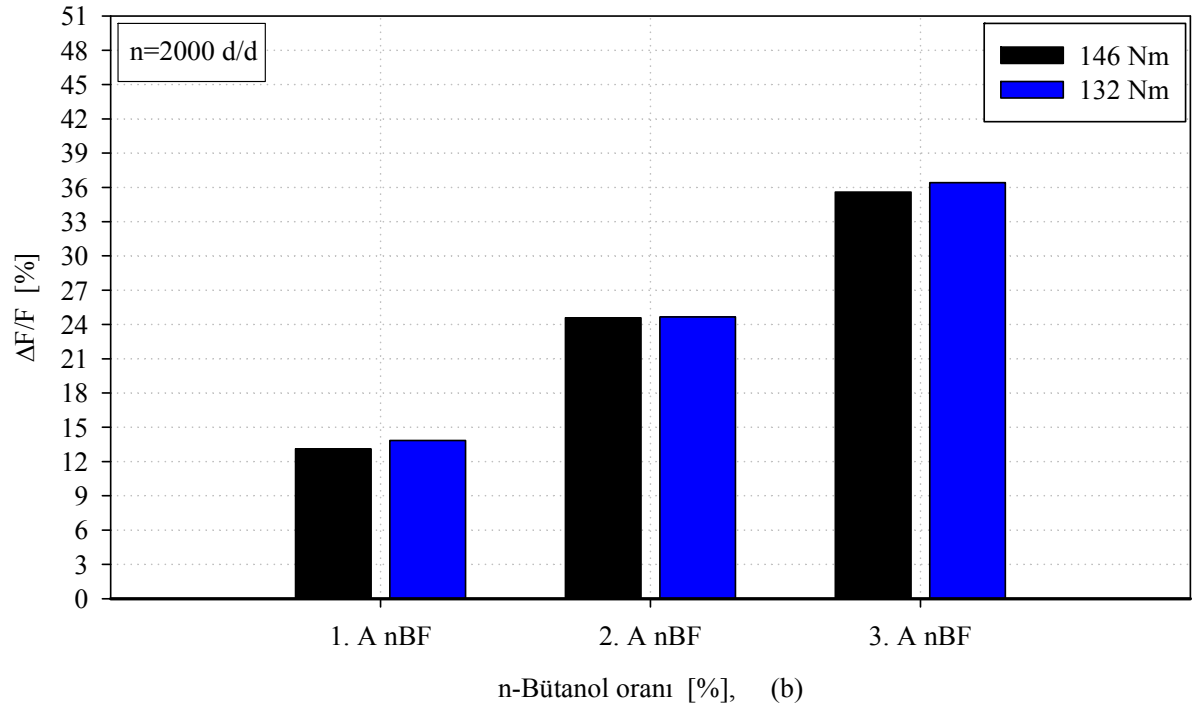
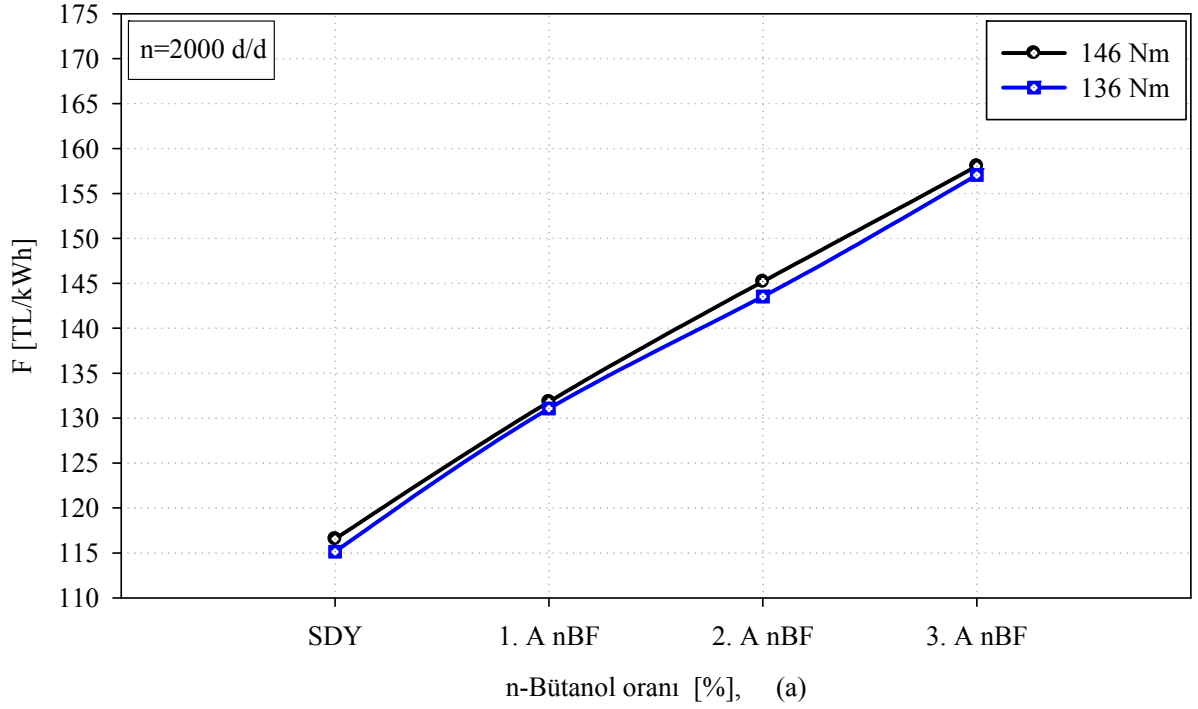
Şekil 63. (a) 2000 d/d’da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde efektif gücün n-bütanol fumigasyon oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d’da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde ve farklı fumigasyon oranlarında efektif güçteki değişim oranları



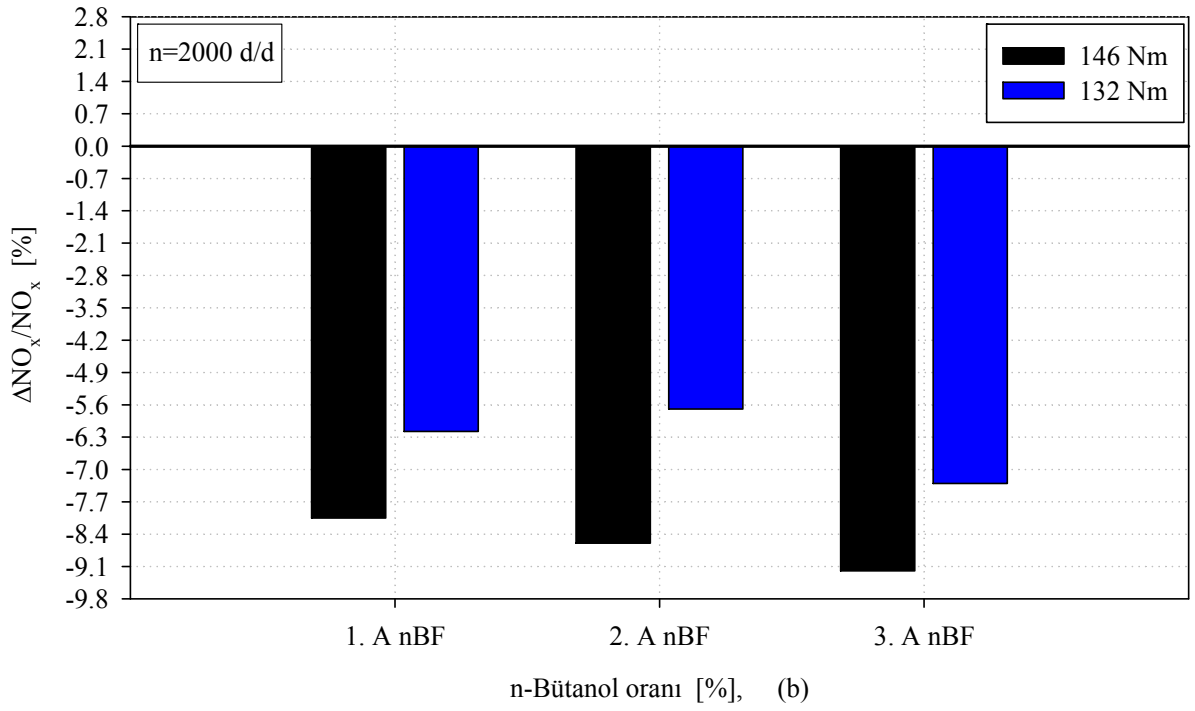
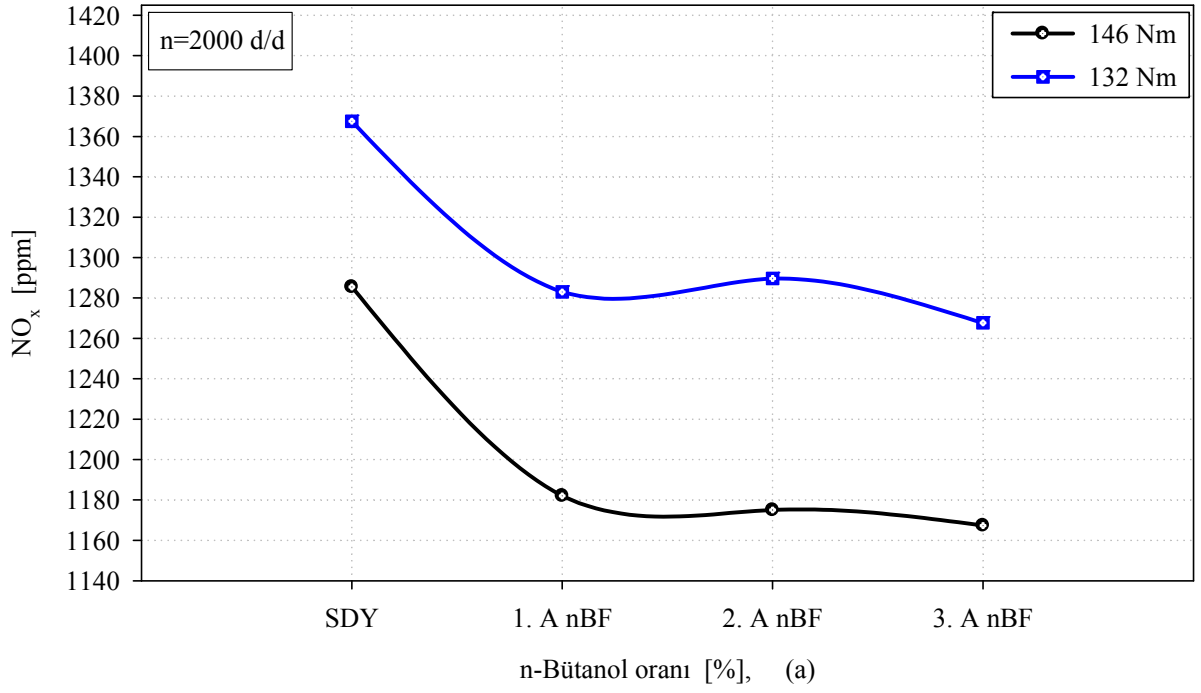
Şekil 64. (a) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde ÖYT'nin n-bütanol fumigasyon oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde ve farklı fumigasyon oranlarında ÖYT'ndeki değişim oranları



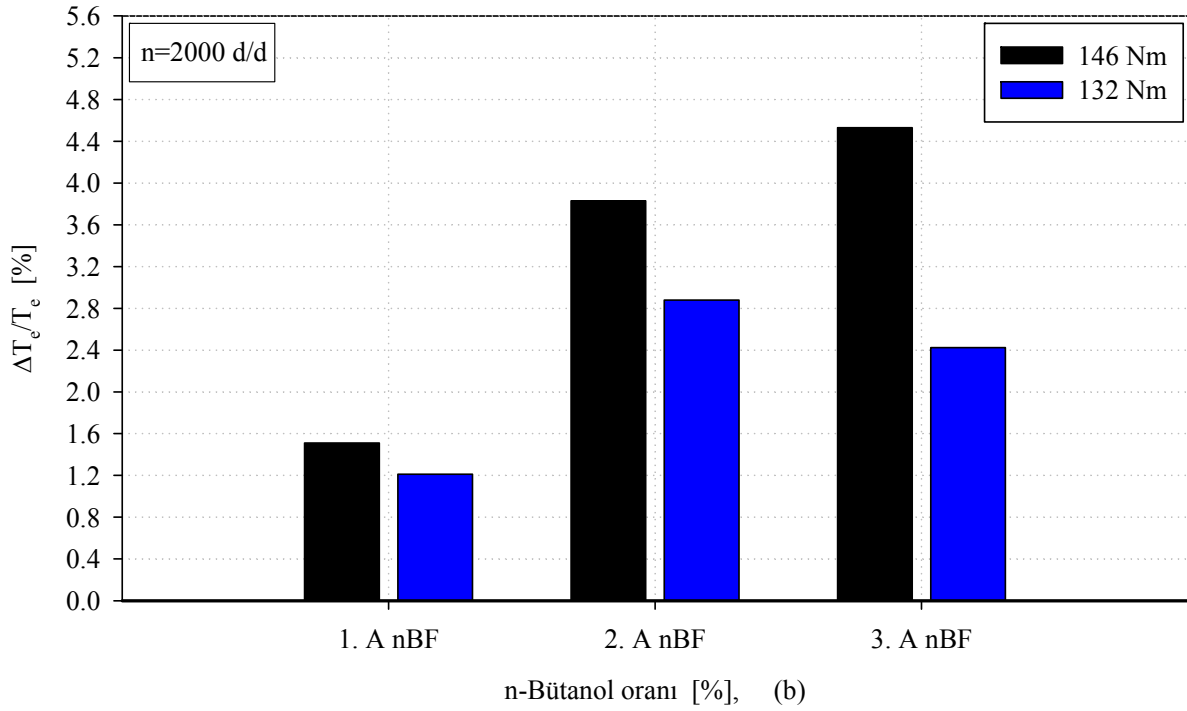
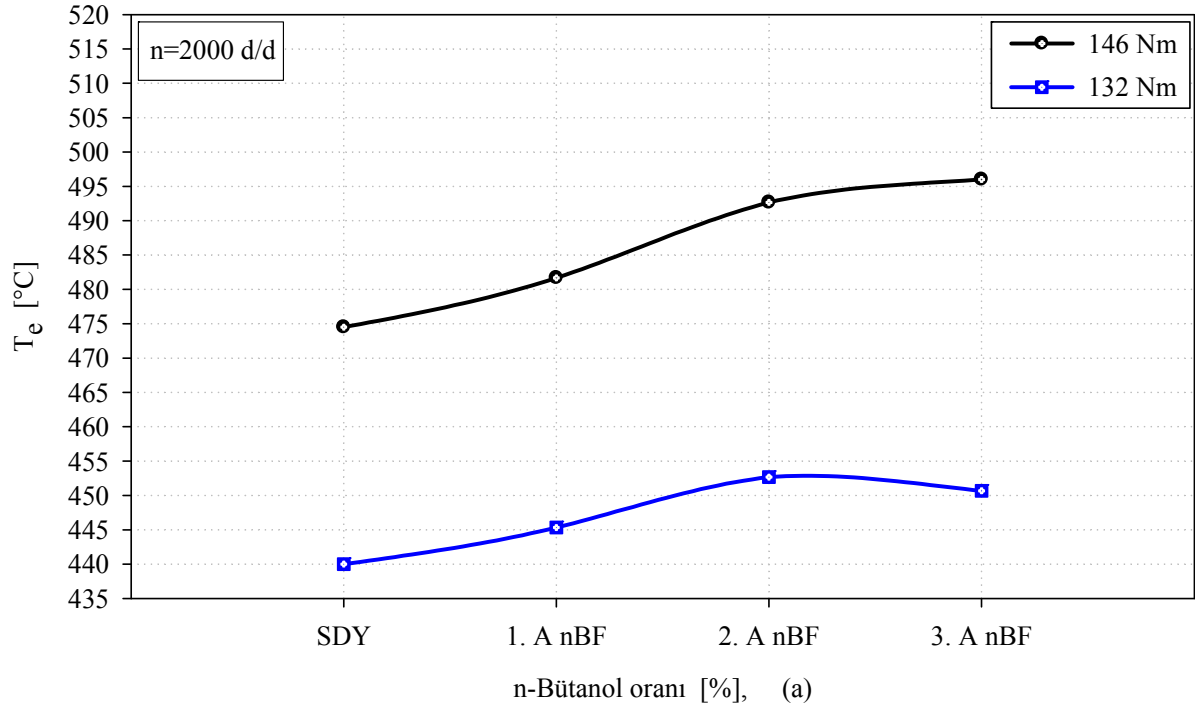
Şekil 65. (a) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde efektif verimin n-bütanol fumigasyon oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde ve farklı fumigasyon oranlarında efektif verimdeki değişim oranları



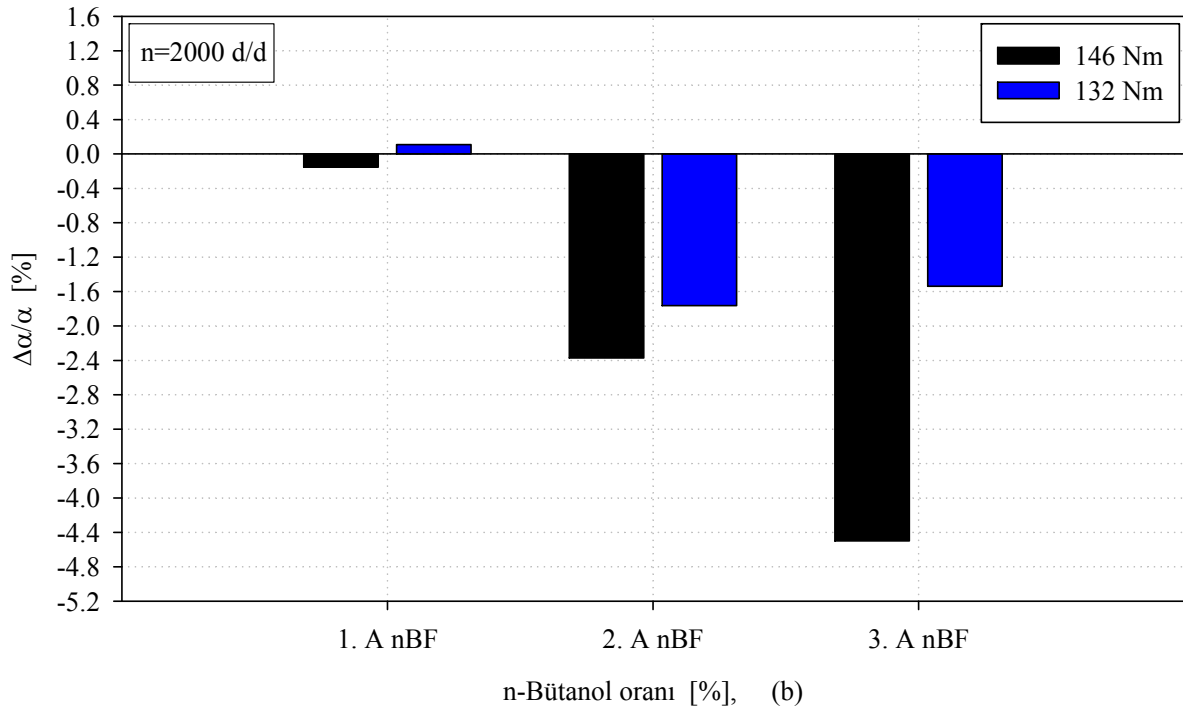
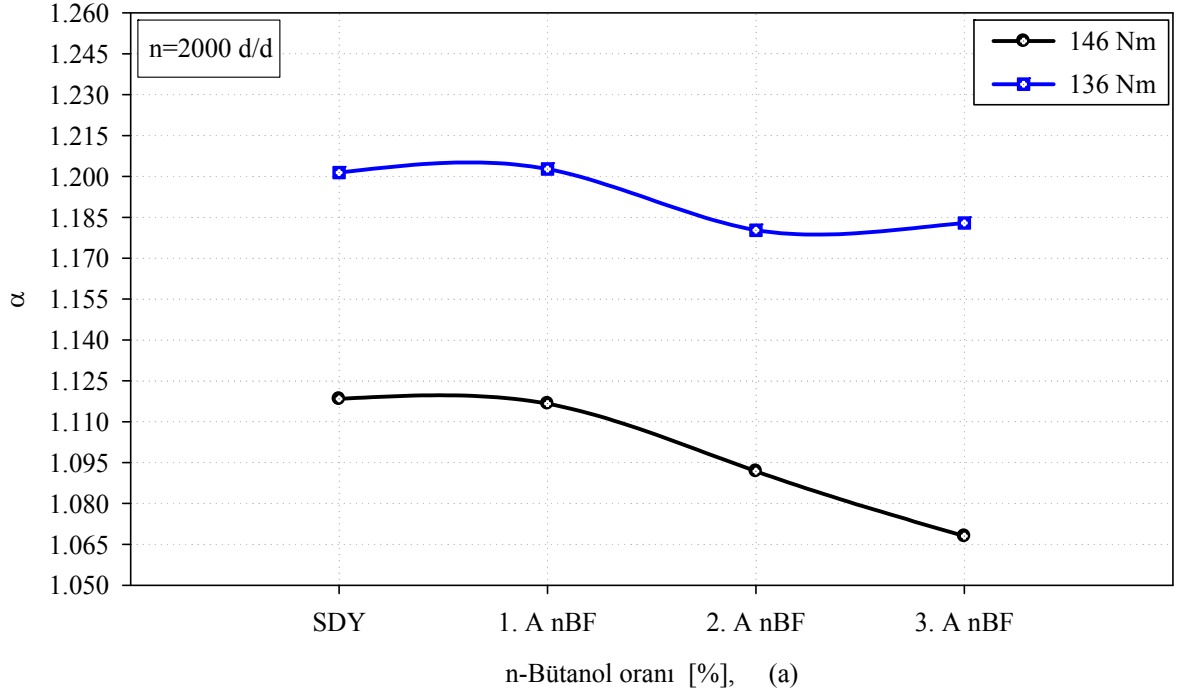
Şekil 66. (a) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde yakıt maliyetinin n-bütanol fumigasyon oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde ve farklı fumigasyon oranlarında yakıt maliyetindeki değişim oranları



Şekil 67. (a) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde NO_x emisyonunun n-bütanol fumigasyon oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde ve farklı fumigasyon oranlarında NO_x emisyonundaki değişim oranları



Şekil 68. (a) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde eksoz gazı sıcaklığının n-bütanol fumigasyon oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde ve farklı fumigasyon oranlarında eksoz gazı sıcaklığındaki değişim oranları



Şekil 69. (a) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde hava fazlalık katsayısının n-bütanol fumigasyon oranına göre değişimleri, (b) 2000 d/d'da (146 ve 132) Nm döndürme momenti değerlerinde ve farklı fumigasyon oranlarında hava fazlalık katsayısındaki değişim oranları

4. SONUÇLAR

Sunulan tez çalışmasında n-bütanolün % (2, 4 ve 6) oranlarında dizel yakıtına karıştırılması durumunda farklı devir sayısı ve farklı döndürme momenti değerleri için motor performans parametrelerinde ve eksoz emisyonlarında meydana gelen değişiklikler deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmada Renault marka K9K 700 tipi common-rail püskürtme sistemine sahip turboşarjlı bir direkt püskürtmeli otomobil dizel motoru kullanılmıştır. Ayrıca n-bütanolün % (2, 4 ve 6) oranlarında emme manifoldundan havanın içerisine püskürtüldüğü n-bütanol fumigasyonu durumu da deneysel olarak incelenmiştir. Ancak n-bütanol fumigasyonunun motor performans parametreleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri yalnızca 2000 d/d'da ve iki farklı döndürme momenti için deneysel olarak incelenmiştir. Sunulan tez çalışmasından elde edilen başlıca sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir. Burada önce n-bütanol-dizel yakıtı karışımları için bulunan sonuçlar, ardından da n-bütanol fumigasyonu sonuçları sunulacaktır.

n-Bütanol-dizel yakıtı karışımlarının kullanılması durumunda motor performans parametreleri ve eksoz emisyonlarında meydana gelen değişiklikler aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

1. n-Bütanol dizel yakıtı karışımlarının ilgili motorda kullanılması durumunda % 2 n-bütanol oranında genellikle seçilen tüm devirlerde ÖYT'nin azaldığı belirlenmiştir. % 4 n-bütanol durumunda ise ÖYT, (3500 ve 4000) d/d hariç SDY değerlerine çok yakın değerler almıştır. Yani aynı efektif güç için % 2 n-bütanol oranında ÖYT azalmış, % 4 n-bütanol durumunda ise yüksek hızlar hariç SDY değerlerine yakın değerler almıştır. ÖYT; % 4 n-bütanol oranı için, 3500 d/d'da azalmış ancak 4000 d/d'da ise artmıştır. % 6 n-bütanol oranında ise ÖYT seçilen devir sayıları ve yük durumlarında artmıştır. ÖYT'nde % 2 n-bütanol oranında (2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000) d/d motor hızları için elde edilen ortalama azalma oranları sırasıyla % (1.72, 0.57, 0.88, 1.68 ve 1.87) şeklinde bulunmuştur. % 4 n-bütanol oranında ise ÖYT değerleri SDY değerlerine çok yakın çıkmıştır. Yalnız 3500 d/d'da % 4 n-bütanol oranında ÖYT % 1.18 oranında azalmış, 4000 d/d'da ise % 4 n-bütanol oranında ÖYT % 3.96 oranında artmıştır. Motor performans karakteristikleri açısından en iyi sonuçlar 3500 d/d'da elde edilmiştir. ÖYT'nde % 6 n-bütanol oranında

(2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000) d/d motor hızları için elde edilen ortalama artma oranları sırasıyla % (1.54, 2.10, 0.42, 1.67 ve 1.98) şeklinde bulunmuştur.

2. Efektif verim; % 2 ve % 4 n-bütanol oranlarında seçilen tüm devir sayılarında ve yükleme durumlarında artmıştır ancak % 6 durumunda ise azalmıştır. Efektif verimde % 2 n-bütanol oranında (2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000) d/d motor hızları için elde edilen ortalama artma oranları sırasıyla % (2.16, 1.01, 1.29, 2.12 ve 2.36) şeklinde bulunmuştur. % 4 n-bütanol oranında ise (2000, 2500, 3000 ve 3500) d/d'larda bulunan ortalama artma oranları sırasıyla % (1.05, 0.31, 0.86, 1.96) şeklindedir. 4000 d/d'da efektif verim % 4 n-bütanol oranında azalmıştır. % 6 n-bütanol oranında ise seçilen tüm devir ve yük değerleri için efektif verim ortalama % 0.43 oranında azalmıştır.

Aslında n-bütanol karışımı ile motor performans parametrelerinde pek fazla değişim olmadığı söylenebilir.

3. % (2, 4 ve 6) n-bütanol dizel yakıtı karışımlarının kullanılmasının ekonomik olmadığı görülmüştür. Örneğin % 2 n-bütanol karışımı durumunda ÖYT, seçilen tüm devir sayılarında ve yükleme durumlarında azalmıştır. Bu oran için yakıt maliyeti sonuçları incelendiğinde; (2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000) d/d için SDY durumuna göre yakıt maliyeti sırasıyla % (8.50, 9.76, 9.42, 8.54 ve 8.33) oranlarında daha yüksek çıkmıştır. n-Bütanolün fiyatı dizel yakıtına göre 6.5 kat daha pahalı olduğundan karışımdaki n-bütanol oranı arttıkça da yakıt maliyetinin de artması doğaldır. Sonuç olarak n-bütanol karışımları seçilen motor için ekonomik olmamıştır.

4. 2000 d/d'da (149 ve 132) Nm döndürme momenti durumlarında n-bütanol oranı arttıkça basınçlar genel olarak düşmüştür. Bu devirde maksimum basınçların meydana geldiği açılar ise genellikle ÜÖN'ye daha yakın çıkmıştır. Buradan da etkin yanmanın ÜÖN'ya daha yakın krank açıları olduğu söylenebilir. 2000 d/d'da 149 Nm döndürme momentinde SDY durumunda maksimum silindir basıncı 152.688 bar olarak 10.588 °KMA'da belirlenmiştir. % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için bulunan maksimum basınçlar sırasıyla (152.602, 153.157 ve 151.666) bar şeklindedir. Söz konusu basınçların olduğu krank mili açıları ise sırasıyla (10.597, 10.753, 10.518) °KMA'dır. 2000 d/d'da 132 Nm döndürme momenti altında SDY durumunda maksimum silindir basıncı 145.483 bar olarak 11.321 °KMA'da belirlenmiştir. % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için bulunan maksimum basınçlar sırasıyla (143.535, 143.897 ve 142.551) bar şeklindedir. Söz konusu basınçların olduğu krank mili açıları ise sırasıyla (11.193, 11.311 ve 11.156) °KMA'dır. 2000 d/d'da her iki yükleme durumunda da; n-bütanol oranı arttıkça basınçlar genel olarak SDY'ndan

daha düşük çıkmıştır. 4000 d/d'da 113 Nm döndürme momenti altında SDY durumunda maksimum silindir basıncı 154.534 bar olarak 5.695 °KMA'da belirlenmiştir. % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için bulunan maksimum basınçlar sırasıyla (154.671, 154.901 ve 153.857) bar şeklindedir. Söz konusu basınçların olduğu krank mili açıları ise sırasıyla (5.400, 5.400, 5.391) °KMA'dır. 4000 d/d'da 99 Nm döndürme momenti altında SDY durumunda maksimum silindir basıncı 148.025 bar olarak 5.714 °KMA'da belirlenmiştir. % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için bulunan maksimum basınçlar sırasıyla (148.511, 147.157 ve 147.567) bar şeklindedir. Söz konusu basınçların olduğu krank mili açıları ise sırasıyla (6.011, 5.714 ve 5.705) °KMA'dır. 4000 d/d'da; 113 Nm yükleme durumunda n-bütanol oranı arttıkça genel olarak basınçların çok az da olsa arttığı ancak 99 Nm yük durumunda ise basınç değerlerinin genel olarak SDY'ndan daha düşük çıktığı belirlenmiştir.

Genel olarak (2000 ve 4000) d/d motor hızlarında ve seçilen yük durumlarında n-bütanol-dizel yakıtı karışımları için ölçülen basınç değerlerinin saf dizel yakıtı değerlerine çok yakın değerler aldığı söylenebilir.

5. 2000 d/d'da 149 Nm döndürme momentinde SDY durumunda indike güç 36.96 kW olarak belirlenmiştir. % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için bulunan indike güçler sırasıyla (37.248, 36.804 ve 36.796) kW şeklindedir. 2000 d/d'da 132 Nm döndürme momenti altında SDY durumunda indike güç 33.82 kW olarak belirlenmiştir. % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için bulunan indike güçler sırasıyla (33.376, 33.432 ve 33.124) kW şeklindedir. 2000 d/d'da her iki yükleme durumunda da; tüm n-bütanol oranları için indike güçlerin genel olarak SDY'na yakın değerler aldığı görülmüştür. 4000 d/d'da 113 Nm döndürme momenti altında SDY durumunda indike güç 64.788 kW olarak belirlenmiştir. % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için bulunan indike güçler sırasıyla (64.860, 64.852 ve 64.668) kW şeklindedir. 4000 d/d'da 99 Nm döndürme momenti altında SDY durumunda indike güç 57.964 kW olarak belirlenmiştir. % (2, 4 ve 6) n-bütanol oranları için bulunan indike güçler sırasıyla (58.044, 58.008 ve 58.104) kW şeklindedir. 4000 d/d'da her iki yükleme durumunda da; tüm n-bütanol oranları için indike güçlerin genel olarak SDY'na yakın değerler aldığı görülmüştür.

6. NO_x emisyonu; % 2 n-bütanol karışım durumunda azalmış, % 4 n-bütanol karışım durumunda genel olarak artmış, % 6 n-bütanol oranında ise artmıştır. % 2 n-bütanol oranında yüksek yüklerde NO_x emisyonu azalmıştır ve yüksek yüklerdeki azalma miktarları düşük yüklerden daha belirgin olmuştur. % 2 n-bütanol oranında (2000, 2500,

3000, 3500 ve 4000) d/d motor hızları için elde edilen ortalama azalma oranları sırasıyla % (1.47, 0.31, 2.74, 0.53 ve 5.03) şeklinde bulunmuştur. Buradan seçilen tüm devir sayıları ve yük durumları için NO_x emisyonunun; % 2 n-bütanol durumunda azaldığı, % 4 n-bütanol durumunda elde edilen değerlerin SDY değerlerine yakın olduğu veya çok az arttığı ve % 6 durumunda ise arttığı belirlenmiştir.

7. (2000, 2500 ve 3000) d/d için, K is faktörü % 4 n-bütanol oranına kadar azalmış ve daha sonra ise artmaya başlamıştır. En büyük azalmalar 2500 d/d'da bulunmuştur. İlgili devir sayısında K is faktörü, % 2 n-bütanol oranında ortalama % 17.38, % 4 n-bütanol oranında ortalama % 25.16 ve % 6 n-bütanol oranında ise ortalama % 20.97 oranlarında azalma olmuştur.

8. Sonuç olarak motor performans karakteristikleri ve eksoz emisyonları açısından % 2 n-bütanol oranının Renault K9K 700 tipi dizel motorunda uygulanabileceği önerilebilir. Çünkü bu oranda ÖYT azalmış ve efektif verim artmıştır. Ayrıca söz konusu oranda K is faktörü ve NO_x emisyonu da azalmıştır. Özellikle K is faktöründeki azalma çok belirgin olmuştur. Yalnız bu oranın kullanılan motorda uygulanması ekonomik görülmemektedir.

n-Bütanol fumigasyonu durumunda motor performans parametreleri ve eksoz gazları emisyonlarında meydana gelen değişiklikler aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

9. 2000 d/d'da ve iki farklı yük için n-bütanol fumigasyonu yönteminin ilgili motorda uygulanması durumunda, ÖYT'nin yaklaşık % (2, 4 ve 6) n-bütanol fumigasyonu oranlarında arttığı belirlenmiştir. ÖYT'deki ortalama artma oranları sırasıyla % (0.71, 1.19 ve 2.81) şeklinde bulunmuştur. Efektif verimin ise azaldığı belirlenmiştir. Efektif verimdeki ortalama azalma oranları sırasıyla % (0.22, 0.30 ve 1.51) şeklinde bulunmuştur.

10. 2000 d/d'da ve seçilen iki yük değeri için NO_x emisyonunun azaldığı belirlenmiştir. NO_x emisyonundaki ortalama azalma oranları yaklaşık % 2, % 4 ve % 6 n-bütanol fumigasyonu oranlarında sırasıyla % (7.12, 7.14 ve 8.25) şeklinde olmuştur. Yüksek n-bütanol oranlarında NO_x'lerdeki azalmalar daha fazla çıkmıştır.

11. K is faktörü 2000 d/d için SDY'na göre yaklaşık % 6 n-bütanol oranına kadar azalmış, yaklaşık % (8 ve 10) n-bütanol fumigasyonu oranlarında ise arttığı görülmüştür. K is faktörü, (2500 ve 3000) d/d'da ise bütün n-bütanol fumigasyonu oranlarında azalmıştır. 2000 d/d'da K is faktöründeki ortalama azalmalar yaklaşık % (2, 4 ve 6) n-bütanol fumigasyon oranlarında sırasıyla % (17.36, 5.29 ve 0.67) şeklinde olmuştur. En büyük

azalmalar 2500 d/d'da bulunmuştur. İlgili devir sayısında K is faktöründeki ortalama azalmalar, % 2 n-bütanol oranında % 49.68, % 4 n- bütanol oranında % 44.26, % 6 n-bütanol oranında % 19.56, % 8 n-bütanol oranında % 6.86 ve % 10 n-bütanol oranında ise % 10.52 şeklinde bulunmuştur.

12. Sonuç olarak motor performans karakteristikleri ve eksoz emisyonları açısından % 2 ve % 4 n-bütanol fumigasyonlarının Renault K9K 700 tipi dizel motorunda uygulanabileceği önerilebilir. Çünkü ilgili oranlarda ÖYT'nde çok fazla artma olmadan, K is faktörü ve NO_x emisyonları önemli ölçüde azalmıştır. Ancak ilgili oranların bu motorda kullanılması ekonomik olmamıştır.

n-Bütanol fumigasyon yöntemi; çevre kirliliği açısından n-bütanol-dizel yakıtı karışımlarına göre daha iyi sonuç vermiştir. Ancak % 2 n-bütanol-dizel yakıtı karışımları için elde edilen motor performans karakteristik sonuçları n-bütanol fumigasyonu yöntemine göre daha iyi olmuştur.

5. ÖNERİLER

1. Sunulan çalışmada; Renault K9K 700 tipi turboşarjlı bir otomobil dizel motorunda farklı n-bütanol-dizel yakıtı karışımlarının kullanılmasının motor performans karakteristikleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini farklı devir sayıları ve farklı yükler için deneysel olarak incelenmiştir. Burada sunulan sonuçlar yalnızca bu motor için geçerlidir. n-Bütanol karışımlarının kullanılmasının motor performans karakteristikleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini deneysel olarak daha iyi anlayabilmek ve sonuçları daha da genelleştirebilmek için farklı sıkıştırma oranına sahip değişik tip dizel motorlarında benzer deneylerin yapılması önerilebilir.

2. Sunulan çalışmada; aynı motorda n-bütanol fumigasyonu, sadece 2000 d/d için iki farklı yükleme durumunda deneysel olarak incelenmiştir. Söz konusu motor için n-bütanol-dizel yakıtı karışım deneylerinin yapıldığı tüm devirlerde ve tüm yükleme durumlarında n-bütanol fumigasyonu deneylerinin de yapılması gerekir. Bu durumda her iki yöntemin sonuçlarının karşılaştırılması daha sağlıklı bir şekilde yapılabilir.

3. Doktora düzeyindeki daha ileri çalışmalarda uygun bir dizel motoru çevrim modelinin hazırlanması önerilebilir. Bu durumda her iki yöntem farklı motorlar için daha ayrıntılı bir şekilde karşılaştırılabilir. Bilindiği gibi deneysel çalışmalar pahalı ve zaman alıcıdır. Bilgisayarların gelişmesi ile sayısal çalışmaların önemi artmıştır. Dizel motoru çevrimlerini doğru olarak hesaplayabilen bir çevrim modeli geliştirilebilirse, ilgili model değişik alternatif yakıt çalışmaları için de kullanılabilir ve daha ayrıntılı, genelleştirilmiş sonuçlar elde edilebilir.

6. KAYNAKLAR

1. Avcı, A. ve Dönmez, S., Biyoyakıt Olarak Bütanol ve Fermentasyonla Üretimi, Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi, 9,2 (2011) 1-12.
2. Şahin, Z. ve Durgun, O., Dizel Motorları için Klasik ve Alternatif Yakıtlar ve Kullanım Yöntemleri, ULIBTK'09 17. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Haziran, 2009, Sivas, Bildiriler Kitabı: 887-894.
3. Zöldy, M., Hollo, A. ve Thernesz, A., Butanol as a Diesel Extender Option for Internal Combustion Engines, SAE International, 2010-01-0481 (2010) 1-8.
4. Doğan, O., The Influence of N-Butanol/Diesel Fuel Blends Utilization on a Small Diesel Engine Performance and Emissions, Fuel, 90 (2011) 2467-2472.
5. Keskin, A., Reşitoğlu, İ.A. ve Özcanlı, M., Butanol, Etanol ve Benzin Karışımlarının Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Özgül Yakıt Tüketimi ve Emisyona Olan Etkisi, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 24,1-2 (2009) 147-156.
6. Chen, G., Yu, W., Li, Q. ve Huang, Z., Effects of n-Butanol Addition on the Performance and Emissions of a Turbocharged Common-Rail Diesel Engine, SAE International, 2012-01-0852 (2012) 1-17.
7. Durgun, O., Using Ethanol in Spark Ignition Engine, Union of Chambers of Turkish Engineers and Architects-Chamber of Mech. Eng., 29 (1988) 24-26.
8. Kızıltan, E., Effect of Alcohol Addition to Motor Fuels on Engine Performance, MS Thesis, Karadeniz Technical University, Trabzon, 1988.
9. Abu-Qudais, M., Haddad, O. ve Qudaisat, M., The effect of Alcohol Fumigation on Diesel Engine Performance and Emissions, Energy Conversion & Management, 41 (2000) 389-399.
10. Rakopoulos, D.C., Rakopoulos, C.D., Giakoumis, E.G., Dimaratos, A.M. ve Kyritsis, D.C., Effects of Butanol-Diesel Fuel Blends on the Performance and Emissions of a High-Speed DI Diesel Engine, Energy Conversion and Management, 51 (2010) 1989-1997.
11. Şahin, Z. ve Durgun, O., Theoretical Investigation of Effects of Light Fuel Fumigation on Diesel Engine Performance and Emissions, Energy Conversion and Management, 48 (2007) 1952-1964.
12. Şahin, Z., Dizel Motorlarında Dizel Yakıtı-Hafif Yakıt Karışımlarının Kullanılmasının Yanmaya ve Motor Performansına Etkisi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2002.

13. Chauhan, B.S., Kumar, N., Pal, S.S. ve Jun, Y.D, Experimental Studies on Fumigation of Ethanol in a Small Capacity Diesel Engine, Energy, 36 (2011) 1030-1038.
14. Zhang, Z.H., Cheung, C.S., Chan, T.L. ve Yao, C.D., Emission Reduction from Diesel Engine Using Fumigation Methanol and Diesel Oxidation Catalyst, Science of the Total Environment, 407 (2009) 4497–4505.
15. Saravanan, C.G., Saravanan, B., Sudhakar J.S., Raja A. ve Sharavanan, A.R., Fumigation of Methanol and Fuel Additives in a Diesel Engine Testing the Performance and Emission Characteristics, SAE International, 2002-01-2722 (2002) 1-9.
16. Park, S.H., Youn, I.M. ve Lee, C.S., Influence of Ethanol Blends on the Combustion Performance and Exhaust Emission Characteristics of a Four-Cylinder Diesel Engine at Various Engine Loads and Injection Timings, Fuel, 90 (2011) 748–755.
17. Valentino, G., Corcione, F.E., Iannuzzi, S.E. ve Serra, S., Experimental Study on Performance and Emissions of a High Speed Diesel Engine Fuelled with N-Butanol Diesel Blends Under Premixed Low Temperature Combustion, Fuel, 92 (2012) 295-307.
18. Rakopoulos, D.C., Rakopoulos, C.D., Hountalas, D.T., Kakaras, E.C., Giakoumis, E.G. ve Papagiannakis, R.G., Investigation of the Performance and Emissions of Bus Engine Operating on Butanol/Diesel Fuel Blends, Fuel, 89 (2010) 2781-2790.
19. Armas, O., Garcia-Contreras, R. ve Ramos, A., Pollutant Emissions from Engine Starting with Ethanol and Butanol Diesel Blends, Fuel Processing Tehcnology, 100 (2012) 63-72.
20. Yao, M., Wang, H., Zheng, Z. ve Yue, Y., Experimental Study of N-Butanol Additive and Multi-Injection on HD Diesel Engine Performance and Emissions, Fuel, 89 (2010) 2191-2201.
21. Wigg, B., Coverdill, R., Lee, C-F. ve Kyritsis, D., Emissions Characteristics of Neat Butanol Fuel Using a Port Fuel-Injected, Spark-Ignition Engine, SAE International, 2011-01-0902 (2011) 1-9.
22. Tuti, M., Dizel Motorlarında Emme Havası İçerisine Su Eklenmesinin Motor Karakteristikleri ve Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2012.
23. Durgun, O. ve Şahin, Z., İndirekt Püskürtmeli Bir Otomobil Dizel Motorunda Etanol Fumigasyonunun Eksoz Emisyonları ve Isı Dengesi Üzerindeki Etkileri, ULIBTK'11 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Eylül 2011, Zonguldak, Bildiriler Kitabı: 171-181.
24. Horiba Introduction Manual Book, 2005.

25. MGA 1500 Kullanma Kılavuzu, MATES, Otomotiv ve Materyal Test Cihazları, Ankara.
26. Durgun, O., Motorlarda Deneysel Yöntemler, Laboratuar Ders Notları, K.T.Ü., Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 1990.
27. Durgun, O., Motorlar I-II Ders Notları, K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Basılmamış, Trabzon, 1999.
28. Cussons Engine Test Bed Manual Book, 1993.
29. Durgun, O., Şahin, Z. ve Bayram, C., Dizel Motorlarında Hafif Yakıt Fumigasyonunun Etkilerinin ve Mekanik Kayıpların Deneysel ve Teorik İncelenmesi, DPT Proje Raporu, Proje No: 2003K120750, Trabzon, 2009.
30. Durgun, O., Yakıtlar ve Yanma Ders Notları, K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Basılmamış, Trabzon, 1992.
31. Durgun, O., Şahin, Z., Kurt, M. ve Bayram, C., Dizel Motorlarında Ek Oksijen Kullanımının Deneysel Olarak İncelenmesi, BAP 01 Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projesi, Proje kodu: 683, Devam ediyor.
32. Holman, J.P., Experimental Methods for Engineers, Seven Edition, McGraw-Hill International Edition, New York, 2001.
33. Heywood, J.B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill Book Company, 1988.

ÖZGEÇMİŞ

Orhan Nazım AKSU 1982 yılında Trabzon'un Sürmene ilçesinde doğdu. Lise öğrenimini Araklı Anadolu Öğretmen Lisesi'nde tamamladı. 2000 yılında Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2004 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü Lisans Programından dereceyle mezun olduktan sonra özel sektörde Gemi İnşaatı Mühendisi olarak göreve başladı. 2004-2007 yılları arasında İstanbul-Tuzla Torlak Tersanesinde, 2007-2008 yılları arasında Ordu-Ünye Karadeniz Tersanesinde, 2008-2009 yılları arasında Kastamonu-Cide Tersanesinde, 2009-2010 yılları arasında Yalova-Altınova Beşiktaş Tersanesinde Planlama ve Proje Mühendisi olarak görev yaptı. 2009-2010 Eğitim ve Öğretim Güz Yarıyılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2010 Aralık ayından itibaren Karadeniz Teknik Üniversitesi Sürmene Abdullah Kanca Meslek Yüksekokulu Gemi İnşaatı Programı'nda Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır. İngilizce bilmektedir.