

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DİZEL MOTORLARINDA EMME HAVASI İÇERİSİNE SU EKLENMESİNİN
MOTOR KARAKTERİSTİKLERİ VE EKSOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gemi İnşaatı Mühendisi Mustafa TUTİ

**OCAK 2012
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DİZEL MOTORLARINDA EMME HAVASI İÇERİSİNE SU EKLENMESİNİN
MOTOR KARAKTERİSTİKLERİ VE EKSOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

Gemi İnşaatı Mühendisi Mustafa TUTİ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Yüksek Mühendisi"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03.01.2012
Tezin Savunma Tarihi : 19.01.2012**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Zehra ŞAHİN
İkinci Danışman : Prof. Dr. Orhan DURGUN**

Trabzon 2012

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Anabilim Dalında
Mustafa TUTİ tarafından hazırlanan

DİZEL MOTORLARINDA EMME HAVASI İÇERİSİNE SU EKLENMESİNİN
MOTOR KARAKTERİSTİKLERİ VE EKSOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 03 / 01 / 2012 gün ve 1436 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda

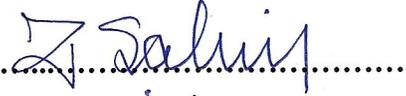
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

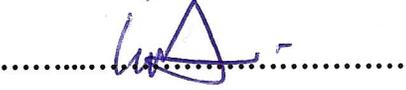
Başkan : Prof. Dr. Atilla BİLGİN



Üye : Doç. Dr. Zehra ŞAHİN



Üye : Yrd. Doç. Dr. İsmail ALTIN



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Artan dünya nüfusu, yaşam standartlarının yükselişi ve ekonomik gelişmeler enerji tüketimini ve gereksinimini hızla arttırmaktadır. Günümüzün başlıca etkin enerji kaynaklarını kömür, fosil yakıtlar, doğal gaz, nükleer enerji ve hidroelektrik enerji oluşturmaktadır. Öte yandan çevre kirliliğine neden olan önemli etkenlerden biriside içten yanmalı motorlardan kaynaklanan eksoz emisyonlarıdır. Fosil kaynaklı yakıtların aşırı kullanım sonucu rezervlerinin gittikçe azalması ve yakın gelecekte tükenme tehlikesi, ayrıca ve artan çevre kirliliği; çevreyi daha az kirleten ve yenilenebilir alternatif yakıtların araştırılmasını gündeme getirmiştir. Sunulan çalışmada, alternatif yakıt kullanımından farklı olarak, dizel motorlarında emme havası içerisine su püskürtülmesinin motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

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 danışmanlarımdan; 1. danışmanım sayın hocam Doç. Dr. Zehra ŞAHİN'e, ve özellikle tez konusunun seçimindeki yardımlarından, yönlendirici katkılarından ve tez yazımındaki düzeltmelerinden dolayı 2. danışmanım sayın Prof. Dr. Orhan DURGUN'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım. Sunulan tezi maddi olarak destekleyen KTÜ Bilimsel Araştırmalar Birimine çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca desteklerinden dolayı KTÜ Gemi İnşaatı ve Gemi Mak. Müh. Bölüm Başkanı Prof. Dr. Ercan KÖSE'ye ve diğer hocalarıma, deneylerin yapıldığı Mühendislik Fak. Makina Müh. Bölümü'ne, deneylerinin yapılmasındaki katkılarından dolayı Makina Yük. Müh. Mustafa KURT'a, tez çalışmamda kullanılan motorun deney sistemine montajındaki çabalarından dolayı Dr. Makina Müh. Coşkun BAYRAM'a, deney sistemindeki elektronik sistemin çalıştırılmasındaki desteklerinden ve veri derleme kartı için programı hazırlayan Dr. Elektrik-Elektronik Müh. Mehmet TURHAL'a ve laboratuardaki her türlü destek ve yardımlarında dolayı Tek. Şenol DÜBÜŞ'e çok teşekkür ederim.

Eğitim ve öğretim hayatım süresince maddi manevi desteklerini esirgemeyen, beni topluma hayırlı bir evlat olarak yetiştirip bugünlere getiren ve her konuda benim yanımda olan annem (Emine TUTİ'ye) ve babam (Abdullah TUTİ'ye) sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Mustafa TUTİ
TRABZON 2012

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Dizel Motorlarında Emme Havası İçerisine Su Eklenmesinin 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 laboratuarlarda 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.

Mustafa Tuti

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ	XII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Araştırması	3
1.3. Tez Çalışmasının Konusu ve Amacı	10
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	12
2.1. Deney Sisteminde Kullanılan Donanımlar ve Uygulanan Ölçüm Yöntemleri	13
2.2. Deney Düzenine Çalıştırılması	20
2.2.1. Saf Dizel Yakıtı ve Emme Manifoldundan Emilen Havanın İçerisine Su Püskürtülmesi Durumları İçin Deneyle.....	22
2.3. Deneysel Ölçümlerin Değerlendirilmesi ve Motor Karakteristiklerini Hesabı	27
2.3.1. Döndürme Momenti	28
2.3.2. Efektif Güç.....	28
2.3.3. Özgöl Yakıt Tüketimi	29
2.3.4. Hava Fazlalık Katsayısı	30
2.3.5. Soğutma Suyunun Debisinin Ölçülmesi	32
2.3.6. Silindir İçindeki Gazların Basınç Değişiminin (İndikatör Diyagramının) Elde Edilmesi	33
2.3.7. Renault K9K 700 Tipi Dizel Motorunun ÜÖN'sının Belirlenmesi	36
2.4. Hata Analizi	38
3. BULGULAR VE TARTIşMA	39

3.1.	Su Eklenmesinin K İş Faktörü, NO _x ve Eksoz Gazları Sıcaklığı Üzerindeki Etkileri	39
3.2.	Su Eklenmesinin Özgül Yakıt Tüketimi ve Efektif Verim Üzerindeki Etkileri	56
3.3.	Su Eklenmesinin Motorun Efektif Gücü Üzerindeki Etkileri	73
3.4.	Su Eklenmesinin Silindir Basıncı ve p-V Diyagramı Üzerindeki Etkileri	81
4.	SONUÇLAR	94
5.	ÖNERİLER	96
6.	KAYNAKLAR	97
7.	EKLER	100
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans

ÖZET

DİZEL MOTORLARINDA EMME HAVASI İÇERİSİNE SU EKLENMESİNİN
MOTOR KARAKTERİSTİKLERİ VE EKSOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Mustafa TUTİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Zehra ŞAHİN
2012, 99 Sayfa, 5 Ek sayfa

Sunulan çalışmada, Renault K9K 700 tipi turboşarjlı common-rail püskürtme sistemine sahip bir otomobil dizel motorunda emme havasına su eklenmesinin motor performansı, NO_x ve K is faktörü üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler; farklı yüklemelerde, farklı motor devirlerinde ve farklı su oranlarında gerçekleştirilmiştir. Su emme havasının içerisine, ana memesi değiştirilebilen bir karbüratör aracılığıyla % 2, % 4, % 6, % 8 ve % 10 oranlarında püskürtülmüştür.

Çalışma sonunda; dizel motorlarında emme havasının içerisine su püskürtülmesinin motor performansını iyileştirdiği, NO_x emisyonunu ve K is faktörünü azalttığı belirlenmiştir. (2000, 2500 ve 3000) d/d gibi motor hızlarında karışımdaki su oranı arttıkça K is faktörü azalmıştır. Maksimum azalma 3000 d/d'da % 11.71 su oranında % 41.75 olarak bulunmuştur. Seçilen yük ve devir sayılarında su oranı arttıkça NO_x emisyonu azalmıştır. Özellikle % 6 su oranından sonraki azalmalar daha etkin olmuştur. 2500 d/d'da tam gazda tam yükte (520 N) maksimum azalma % 9.400 su oranında % 12.489 olarak belirlenmiştir. Su oranı arttıkça, ÖYT genel olarak saf dizel yakıtına yakın değerler almış ve bazı durumlarda ise azalmıştır. 2500 d/d'da, % (4-6) su oranlarında ÖYT'inde, ortalama olarak % 0.5 azalma sağlanmıştır. Efektif güç ise saf dizel yakıtının değerlerine yakın değerler almıştır. 3000 d/d'da tam gazda tam yükte (460 N) en büyük artma % 6.543 su oranında % 1.173 olarak elde edilmiştir

Anahtar Kelimeler: NO_x emisyonu, K is faktörü, Motor karakteristikleri, Emme havasına su püskürtülmesi, Common-rail püskürtme sistemi

Master Thesis

SUMMARY

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF WATER ADDING TO THE
INTAKE AIR ON ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS
IN DIESEL ENGINES

Mustafa TUTİ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Naval Architecture and Marine Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Zehra ŞAHİN
2012, 99 Pages, 5 Appendix pages

In the present study, the effects of water injection (WI) into intake air on the engine performance and exhaust emissions have been investigated in a Renault K9K 700 type turbocharged automotive diesel engine which has common-rail injection system. Experiments have been performed at different loads, engine speeds and various water ratios (WRs). The water has been injected into intake air by a carburetor, which main nozzle section is adjustable, at approximately 2%, 4 %, 6 %, 8 %, 10 % ratios.

It was determined from the experimental results that the WI at specified ratios into intake air improves somewhat the engine performance and decreases significantly NO_x and smoke index K. K smoke index decreases by increasing of WRs at (2000, 2500 and 3000) rpm. Its maximum reduction has been obtained as 41.75 % for 11.71 % WR at 3000 rpm. At chosen loads and engine speeds, as WRs increases, NO_x emissions decrease. More effective reduction NO_x has been obtained after 6 % WR. At 2500 rpm, at full load (520 N) and at 1/1 fuel deliver rate (FDR), maximum decrement of NO_x emission has been obtained as 12.489 % for 9.400 % WR. As WR increases, brake specific fuel consumption (BSFC) takes values close to the neat diesel fuel (NDF) or decreases. BSFC decreases approximately 0.5 % for (4-6) % WR at 2500 rpm. Effective power takes values close to NDF. At 3000 rpm, at full load (460 N) and at 1/1 FDR maximum increment ratio has been obtained as approximately at the level of 1.173 % for 6.543% WR.

Key Words: NO_x emissions, Smoke index K, Engine characteristics, Injected water into intake air, Common-rail injection system

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Deney düzeneğinin genel görünümü	12
Şekil 2.	(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	14
Şekil 3.	(a) Deney sisteminde kullanılan indikatör sistemi, veri derleme kartı, bilgisayar ve NO _x ölçüm cihazı (b) Deney sistemindeki ölçme panosunun önden görünüşü	15
Şekil 4.	(a) Deney panosunun arkadan görünümü (b) Deney panosunun sol yandan görünümü	16
Şekil 5.	Eksoz gazı kalorimetresi	17
Şekil 6.	(a) Termokupullar (b) Termokupulların deney panosuna bağlantıları.....	17
Şekil 7.	Basınç sensörü bağlantısı	18
Şekil 8.	MEXA-720 NO _x eksoz gazı analiz cihazı.....	19
Şekil 9.	Azot oksit analiz cihazının çalışma ilkesini gösteren şematik şekil.....	19
Şekil 10.	MGA 1500 is ölçüm cihazı	21
Şekil 11.	Su ekleme ünitesi	23
Şekil 12.	Deney sisteminin şematik görünüşü.....	24
Şekil 13.	Deney sistemine yerleştirilen sensörlerden alınan sinyallerin elektronik kontrol ünitesi ve veri derleme kartı ile bilgisayara aktarılmasını gösteren şematik şekil.....	34
Şekil 14.	Dört zamanlı doğal emişli ve $p_r > p_a$ olan turboşarjlı motorların karakteristik indikatör diyagramı	35
Şekil 15.	60-2 Diş tip volanın şematik gösterimi	36
Şekil 16.	Renault K9K 700 tipi motorunun ÜÖN sensörünün ürettiği sinyal.....	37
Şekil 17.	Farklı devir sayılarında K is faktörünün su oranına göre değişimleri.....	41
Şekil 18.	(a) 2000 d/d'da farklı yüklerde NO _x oranının su oranına göre değişimleri ...	46
Şekil 18.	(b) 2500 d/d'da farklı yüklerde NO _x oranının su oranına göre değişimleri ...	47
Şekil 18.	(c) 3000 d/d'da farklı yüklerde NO _x oranının su oranına göre değişimleri ...	48

Şekil 18.	(d) 3500 d/d'da farklı yüklerde NO _x oranının su oranına göre değişimleri ...	49
Şekil 18.	(e) 4000 d/d'da farklı yüklerde NO _x oranının su oranına göre değişimleri ...	50
Şekil 19.	(a) 2000 d/d'da farklı yüklerde eksoz gazı sıcaklığının değişimleri	51
Şekil 19.	(b) 2500 d/d'da farklı yüklerde eksoz gazı sıcaklığının değişimleri	52
Şekil 19.	(c) 3000 d/d'da farklı yüklerde eksoz gazı sıcaklığının değişimleri	53
Şekil 19.	(d) 3500 d/d'da farklı yüklerde eksoz gazı sıcaklığının değişimleri	54
Şekil 19.	(e) 4000 d/d'da farklı yüklerde eksoz gazı sıcaklığının değişimleri	55
Şekil 20.	(a) 2000 d/d'da farklı yüklerde ÖYT'nin su oranına göre değişimleri	62
Şekil 20.	(b) 2500 d/d'da farklı yüklerde ÖYT'nin su oranına göre değişimleri	63
Şekil 20.	(c) 3000 d/d'da farklı yüklerde ÖYT'nin su oranına göre değişimleri	64
Şekil 20.	(d) 3500 d/d'da farklı yüklerde ÖYT'nin su oranına göre değişimleri	65
Şekil 20.	(e) 4000 d/d'da farklı yüklerde ÖYT'nin su oranına göre değişimleri	66
Şekil 21.	(a) 2000 d/d'da farklı yüklerde efektif verimin su oranına göre değişimleri .	67
Şekil 21.	(b) 2500 d/d'da farklı yüklerde efektif verimin su oranına göre değişimleri .	68
Şekil 21.	(c) 3000 d/d'da farklı yüklerde efektif verimin su oranına göre değişimleri .	69
Şekil 21.	(d) 3500 d/d'da farklı yüklerde efektif verimin su oranına göre değişimleri .	70
Şekil 21.	(e) 4000 d/d'da farklı yüklerde efektif verimin su oranına göre değişimleri .	71
Şekil 22.	(a) 2000 d/d'da farklı yüklerde gücün su oranına göre değişimleri	76
Şekil 22.	(b) 2500 d/d'da farklı yüklerde gücün su oranına göre değişimleri	77
Şekil 22.	(c) 3000 d/d'da farklı yüklerde gücün su oranına göre değişimleri	78
Şekil 22.	(d) 3500 d/d'da farklı yüklerde gücün su oranına göre değişimleri	79
Şekil 22.	(e) 4000 d/d'da farklı yüklerde gücün su oranına göre değişimleri	80
Şekil 23.	(a) 2000 d/d'da silindir basıncının krank mili açısına göre değişimleri	84
Şekil 23.	(b) 2000 d/d'da farklı su oranlarında silindir gaz basıncının hacime göre değişimleri	85
Şekil 24.	(a) 2500 d/d'da silindir basıncının krank mili açısına göre değişimleri	86
Şekil 24.	(b) 2500 d/d'da farklı su oranlarında silindir gaz basıncının hacime göre değişimleri	87
Şekil 25.	(a) 3000 d/d'da silindir basıncının krank mili açısına göre değişimleri	88
Şekil 25.	(b) 3000 d/d'da farklı su oranlarında silindir gaz basıncının hacime göre değişimleri	89
Şekil 26.	(a) 3500 d/d'da silindir basıncının krank mili açısına göre değişimleri	90

Şekil 26.	(b) 3500 d/d'da farklı su oranlarında silindir gaz basıncının hacime göre değişimleri.....	91
Şekil 27.	(a) 4000 d/d'da silindir basıncının krank mili açısına göre değişimleri.....	92
Şekil 27.	(b) 4000 d/d'da farklı su oranlarında silindir gaz basıncının hacime göre değişimleri.....	93

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Deney motorunun başlıca teknik özellikleri.....	13
Tablo 2.	Basınç sensörünün başlıca özellikleri.....	18
Tablo 3.	MEXA-720 NO _x eksoz gazı analiz cihazının ölçüm aralıkları.....	20
Tablo 4.	Deneyde ölçülen büyüklüklere bir örnek	26
Tablo 5.	Programdan hesaplanan motor karakteristiklerine bir örnek.....	27
Tablo 6.	Dizel yakıtının ve suyun başlıca özellikleri.....	30
Tablo 7.	(2000, 2500 ve 3000) d/d devirlerindeki K is faktörü değişimleri	40
Tablo 8.	2000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında NO _x konsantrasyonundaki değişim oranları	44
Tablo 9.	2500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında NO _x konsantrasyonundaki değişim oranları	44
Tablo 10.	3000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında NO _x konsantrasyonundaki değişim oranları	45
Tablo 11.	3500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında NO _x konsantrasyonundaki değişim oranları	45
Tablo 12.	4000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında NO _x konsantrasyonundaki değişim oranları	45
Tablo 13.	2000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında ÖYT'deki değişim oranları.....	58
Tablo 14.	2000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif verimdeki değişim oranları	58
Tablo 15.	2500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında ÖYT'deki değişim oranları.....	59
Tablo 16.	2500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif verimdeki değişim oranları	59
Tablo 17.	3000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında ÖYT'deki değişim oranları.....	59
Tablo 18.	3000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif verimdeki değişim oranları	60
Tablo 19.	3500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında ÖYT'deki değişim oranları.....	60

Tablo 20.	3500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif verimdeki değişim oranları	60
Tablo 21.	4000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında ÖYT'deki değişim oranları	61
Tablo 22.	4000 d/d'da farklı yükler de ve farklı karışım oranlarında efektif verimdeki değişim oranları	61
Tablo 23.	2000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarındaki efektif güçteki değişim oranları	74
Tablo 24.	2500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarındaki efektif güçteki değişim oranları	74
Tablo 25.	3000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarındaki efektif güçteki değişim oranları	74
Tablo 26.	3500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarındaki efektif güçteki değişim oranları	75
Tablo 27.	4000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarındaki efektif güçteki değişim oranları	75
Ek Tablo 1.	2000 d/d'da seçilen yüklerde su oranına göre ÖYT, efektif verim, efektif güç ve NO _x oranındaki artma azalma oranları	100
Ek Tablo 2.	2500 d/d'da seçilen yüklerde su oranına göre ÖYT, efektif verim, efektif güç ve NO _x oranındaki artma azalma oranları	101
Ek Tablo 3.	3000 d/d'da seçilen yüklerde su oranına göre ÖYT, efektif verim, efektif güç ve NO _x oranındaki artma azalma oranları	102
Ek Tablo 4.	3500 d/d'da seçilen yüklerde su oranına göre ÖYT, efektif verim, efektif güç ve NO _x oranındaki artma azalma oranları	103
Ek Tablo 5.	4000 d/d'da seçilen yüklerde su oranına göre ÖYT, efektif verim, efektif güç ve NO _x oranındaki artma azalma oranları	104

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 teorik havanın kütlesi [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]
N_e	: Efektif güç [kW]
N_i	: İndike güç [kW]
N_m	: Mekanik kayıplar gücü [kW]
NO_x	: Azot oksit [ppm]
$\ddot{O}YT$: Özgül yakıt tüketimi [kg/kWh]

PM	: Parçacık madde
p	: Basınç [bar]
p_{me}	: Ortalama efektif basınç [MPa]
p_0	: Ortam basıncı [mmHg]
\dot{Q}_h	: Havanın hacimsel debisi [l/d]
\dot{Q}_s	: Suyun hacimsel debisi [l/d]
R_d	: Reynolds sayısı
SDY	: Saf dizel yakıtı
SO	: Su oranı
T_0	: Ortam sıcaklığı [$^{\circ}$ C]
T_1	: Yakıt sıcaklığı [$^{\circ}$ C]
T_2	: Eksoz manifoldu sıcaklığı [$^{\circ}$ C]
T_3	: Soğutma suyu giriş sıcaklığı [$^{\circ}$ C]
T_4	: Soğutma suyu çıkış sıcaklığı [$^{\circ}$ C]
T_5	: Eksoz gazlarının kalorimetreye giriş sıcaklığı [$^{\circ}$ C]
T_6	: Soğutma suyunun kalorimetreye giriş sıcaklığı [$^{\circ}$ C]
T_7	: Eksoz gazlarının kalorimetreden çıkış sıcaklığı [$^{\circ}$ C]
T_8	: Soğutma suyunun kalorimetreden çıkış sıcaklığı [$^{\circ}$ C]
$T_{yaş}$: Yaş termometre sıcaklığı [$^{\circ}$ C]
ÜÖN	: Üst ölü nokta
x_{nem}	: Nem düzeltme katsayısı
V	: Hacim [cm ³]

V_c	: Ölü hacim
V_h	: Strok hacmi
V_a	: Toplam silindir hacmi
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 viskozitesi [gr/cms]
ρ_{civa}	: Civanın yoğunluğu [kg/m^3]
ρ_d	: Dizel yakıtının 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 [mmH_2O]
Δh^*	: Soğutma suyu U manometresindeki yüksek değişimi [$mmHg$]
Δm	: Δt zamanında harcanan dizel yakıt kütlesi [gr]
Δt	: Yakıt tüketme zamanı [s]

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Son yıllarda taşıtlarla, taşıtları tahrik eden içten yanmalı motorlarla ve motorlarda kullanılan konvansiyonel ve alternatif yakıtlarla ilgili çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Bilindiği gibi artan dünya nüfusuna paralel olarak taşıt kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Bununla birlikte karşılaşılabilecek enerjinin sağlanması sorununu bir anda çözebilecek teknolojik bir gelişme ise de henüz bulunamamıştır. Ayrıca; belirlenebilmiş sınırlı petrol kaynaklarının azalma eğilimi göstermesi nedeniyle de, bilim insanları değişik alternatif yakıtlar ve teknolojiler üzerindeki çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Öte yandan taşıt sayısının artması ile çevre kirliliği de önemli boyutlara ulaşmıştır. Bununla bağlantılı olarak küresel ısınma da dünyamızı tehdit etmektedir [1]. Örneğin kuraklık ya da aşırı yağışlar ve fazla nem gibi olumsuz hava koşulları tarımsal üretimi etkilemekte ve hasadın çoğunun yok olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle de tüketimi karşılayacak stoklar elde edilememektedir. Bunun sonucunda 2010 yılında dünya tahıl ihracatının önemli bir bölümünü gerçekleştiren Rusya, Ukrayna ve Kazakistan'da yaşanan kuraklık, dünyada buğday fiyatlarında yaklaşık yüzde 70'lere varan bir artışa neden olmuştur. Çin, Hindistan ve Pakistan'daki aşırı yağışlar ve seller başta buğday olmak üzere tahıl ürünlerinde düşük hasada yol açmıştır. Yukarıdaki açıklamalardan çevre kirliliğinin ve küresel ısınmanın dünyamızı tahmin edilenden daha fazla tehdit ettiği anlaşılmaktadır [2].

Dünyada çevre kirliliğinin ve küresel ısınmanın artmasıyla ortaya çıkan olumsuz durumlar çevre bilincinin gelişmesine neden olmuş ve böylece ülkeler çevreyi korumak amacıyla yasal düzenlemeler yapmışlardır. Bu bağlamda taşıtlardan yayılan kirletici eksoz emisyonlarıyla ilgili olarak da yasal uygulamalar yapılmıştır. Örneğin Amerika'da emisyonlarla ilgili ilk kanuni düzenleme 1970'lerde yapılmış ve bundan sonra getirilen her yeni düzenlemede izin verilen emisyon sınırları sürekli azaltılmıştır. Yakın geçmişte ise bu kanuni düzenlemeler içten yanmalı motorların motorlu taşıtlar dışında kullanıldığı diğer alanları da kapsayacak şekilde genişletilmiştir [3].

Yasal düzenlemelere de bağlantılı olarak; eksoz emisyonlarının iyileştirilmesinde içten yanmalı motorlarda, özellikle dizel motorlarında birçok gelişmeler sağlanmıştır. Bu gelişmelerinden başlıcaları; turboşarj sistemlerinin, common-rail yakıt püskürtme

sistemlerinin ve katalitik konverterin kullanılması ve daha hafif ve kaliteli yakıtlardan yararlanılmasıdır. Özellikle 2000'li yıllardan sonra dizel motorlarında common-rail yakıt püskürtme sistemlerinin dizel motorlarında kullanımı yaygınlaşmıştır. 2000'li yıllardan önce, daha çok ağır ticari taşıtlarda yaygın kullanılan dizel motorları günümüzde özel otomobillerde ve spor teknelerde de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca common-rail yakıt püskürtme sisteminin kullanılması ile çevre kirliliğinde de önemli iyileşmeler elde edilmiştir. Common-rail püskürtme dizel teknolojisinin uygulanması ile CO₂ emisyonları azaltılmakta ve çok düşük düzeylerde azot oksit (NO_x) ve parçacık madde (PM) yayılması sağlanmaktadır [1, 3]. Bilindiği gibi, PM ve NO_x emisyonları dizel motorlarından kaynaklanan en önemli emisyonlardandır. Dizel motorlardan yayılan ince hafif parçacıklar şeklindeki PM'lerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri önemlidir. Nefes alındığında akciğere yerleşirler ve sağlık sorunlarına neden olurlar. NO_x'ler ise silindir içerisindeki yüksek sıcaklık nedeniyle havanın oksijeni ve azotun denge reaksiyonları sonucunda birleşmesiyle ortaya çıkmaktadır. Common-rail püskürtme sisteminin uygulanması ve özellikle katalitik konverter kullanımı ile söz konusu zararlı maddeler mümkün olduğunca azaltılmaya çalışılmaktadır. Ayrıca dizel motorlarında farklı alternatif yakıtlar veya yakıt karışımları kullanılarak eksoz emisyonlarının azaltılmasına yönelik çalışmalar da yapılmaktadır [1, 4].

Dizel motorlarının yakıt tüketimi benzin motorlarına göre düşük olduğundan ve çoğu ülkelerde dizel yakıtı daha ucuz olduğundan, dizel motorlu taşıtları kullanmak daha ekonomik olmaktadır. Zaten çok iyi bilindiği gibi dizel motorları; verimleri % 40'a kadar çıkabilen en verimli termik makinelerdir. Yukarıda da belirtildiği gibi common-rail yakıt püskürtme donanımlarının ve turboşarj donanımlarının kullanılması ile hem yakıt tüketimi daha da azaltılmakta ve aynı zamanda çevre kirliliğinde de önemli düzeyde azalmalar sağlanmaktadır. Bilim insanları, söz konusu motorların verimini daha da artırmak ve aynı zamanda çevre kirliliğini daha da azaltmak için çalışmalarını sürdürmektedirler. Aynı zamanda, bilindiği gibi, içten yanmalı motorlarda ve sanayinin diğer alanlarında kullanılan fosil yakıtların rezervleri sınırlıdır ve yakın gelecekte tükenme tehlikesi vardır. Bu nedenle mevcut yakıtların ekonomik kullanımı yanında, fosil yakıtların yerine geçebilecek veya dizel yakıtı ile birlikte kullanılacak alternatif yakıt arayışları da önemlidir. Yukarıda açıklanan nedenlerle son yıllarda motorlarda kullanılacak petrole alternatif yakıtlarla ilgili çalışmaların sayısı gittikçe artmaktadır.

Öte yandan; dünyanın 3/4'ü sularla kaplıdır ve hayatın başlıca kaynağı olan su en önemli içeceğimizdir ve insanlık için değerini biçmek olanaksızdır. Bunun yanında suyun motorlarda kullanımı bilim insanların dikkatini önceden beri çekmiştir ve motorlarda kullanımı ile ilgili değişik çalışmalar yapılmıştır. Bölüm 1.2.'de literatürde suyun dizel motorlarında kullanımı ile ilgili yapılmış başlıca çalışmalar özetlenmiştir.

1.2. Literatür Araştırması

Ekonominin ve kalkınmanın en önemli etkenlerinden biri olan enerji ihtiyacı tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de artarak devam etmektedir. Ülkemizde enerji ihtiyacının büyük bir bölümü petrol ürünlerinden karşılanmaktadır. Petrol ürünleri ise önemli düzeyde içten yanmalı taşıtlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Kullanım alanı sürekli genişleyen dizel motorlu taşıtlarda da petrol kökenli yakıtlar kullanılmakta ve buna paralel olarak yakıt ihtiyacı da sürekli artmaktadır. Bu artan ihtiyaca karşılık, petrol ürünü olan dizel yakıtlarının aşırı kullanımı sonucu kaynaklarının hızla tükenmesi, buna karşın gün geçtikçe kullanılan yakıtın pahalılaşması, kirletici emisyonların hızla artışı, ekolojik dengedeki bozulma gibi nedenlerle bilim adamları bu olumsuzlukların en aza indirilmesine yönelik çalışmalara gittikçe daha fazla yönelmektedir [5, 6].

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 (common-rail püskürtme sistemleri), turboşarj sistemleri vb. gelişmeler yer almaktadır. Yakıtlara ilişkin çalışmalara ise; mevcut yakıtların daha ekonomik kullanımı çalışmaları ve değişik alternatif yakıt çalışmaları örnekler olarak verilebilir [7, 8].

Dizel motorlarında kullanılacak alternatif yakıtlar, sıvı ve gaz yakıtlar şeklinde iki gruba ayrılabilir. Dizel motorlarında dizel yakıtına alternatif olarak kullanılacak en önemli sıvı yakıtlar etanol, metanol ve biyodizeldir. Etanol; temiz, renksiz ve zehirli olmayan bir sıvıdır. Şeker, şekere çevirebilen selüloz ve nişasta gibi maddelerin fermantasyonu sonunda elde edilen etanol en yaygın alkol türüdür. Metanol; odun ve kömür gibi fosillerin ısı işlemleri yolu ile veya CO ve H₂'nin katalitik ortamda sentezi sonunda elde edilmektedir. Etanolün ve metanolün; oktan sayılarının yüksek olması ve buna karşın, çok düşük setan sayılarına sahip olmaları ve kendi kendine tutuşma

eğilimlerinin düşük olması özellikleri ile dizel motorlarında kullanımlarında birtakım sorunlar doğurabilmektedir [7, 9]. Bu nedenle etanol ve metanol dizel motorlarında dizel yakıtına karıştırılarak (karışım yöntemi) pek kullanılmaz. Etil alkol veya metil alkol daha çok emilmekte olan havanın içerisine püskürtülerek fumigasyon yöntemi ile kullanılmaktadırlar. Alkollerin fumigasyon yöntemi ile ilgili kullanılması durumunda elde edilen sonuçların; dizel yakıtına karıştırılmalarına göre daha iyi olduğu gözlenmiştir. Etil alkol fumigasyonunun dizel motorlarında yanmayı iyileştirdiği, efektif verimi arttırdığı, yakıt tüketimini azalttığı ve NO_x emisyonunu ve islerin göstergesi K faktörünü önemli ölçüde azalttığı görülmüştür [10, 11]. Ayrıca dizel motorlarında, benzinin fumigasyon yöntemi ile kullanılması sonucu motorun performansının iyileştiği ve eksoz emisyonlarının önemli düzeyde azaldığı literatürden bilinmektedir [12].

Biyodizel; bitkisel (kanola, soya, pamuk vb.) ya da hayvansal kökenli yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan, yakıt amaçlı ürünün adıdır. Burada kullanılan yağların yeni ya da atık olmasının önemi yoktur. Bu nedenle biyodizel üretimine aynı zamanda bir atıklardan enerji kazanımı modeli olarak da bakılabilir. Biyodizel; gerek üretim kolaylığı, gerek dizel motorlarında hiçbir değişiklik yapmadan kullanılabilmesi ve gerekse çevreci olması yönleriyle iyi bir alternatif yakıt olarak düşünülebilir [13]. Biyodizelin setan sayısı çoğunlukla dizel yakıtından yüksektir ve diğer fiziksel ve kimyasal özellikleri de dizel yakıtına çok yakındır. Biyodizel dizel motorlarında dizel yakıtı gibi kullanıldığı gibi dizel yakıtı-biyodizel karışımı şeklinde de kullanılmaktadır. Literatürde, genellikle % 20 biyodizel karışımının kullanılması önerilmektedir. Biyodizel ile ilgili hem Türkiye’de, hem de dünyada çok değişik çalışmalar yapılmıştır [13-15]. KTÜ’de Prof. Dr. Atilla BİLGİN yönetiminde, Cahit SOYSAL tarafından "Dizel Motorlarında Biyodizel-Dizel Yakıtı Karışımlarının Kullanılmasının Motor Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi" adlı bir yüksek lisan tez çalışması yapılmıştır. İlgili tezde 4 zamanlı, tek silindirli, sıkıştırma oranı değiştirilebilen bir motor kullanılmıştır. Deneyler tam gaz (1/1 gaz) konumunda, değişken devir sayılarında farklı sıkıştırma oranlarında yapılmıştır. Yakıt karışımları, belirli bir miktardaki dizel yakıtına hacimsel olarak % (5, 10, 20 ve 50) oranlarında biyodizel katılmasıyla elde edilmiştir. Hacimsel karışım oranları B5, B10, B20 ve B50 şeklinde gösterilmiştir. Çalışmada karşılaştırma yapabilmek için saf dizel ve biyodizel yakıtları da kullanılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar, biyodizel ve biyodizel-dizel yakıt karışımlarının kullanılması durumunda, SDY’na göre efektif güç ve ortalama

efektif basınç değerlerinde % 1 ve % 3 arasındaki oranlarında azalmalar olduğu, özgül yakıt tüketiminde ise ortalama % 4 ile % 13 arasındaki oranlarda artmalar olduğunu göstermiştir. Düşük sıkıştırma oranlarında, yani $\varepsilon = 17$ olması durumunda, B05, B10 ve B20 yakıt karışımları B50 ve B100 yakıtlarıyla karşılaştırıldığında bütün motor karakteristikleri için daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Yüksek sıkıştırma oranlarında, yani $\varepsilon = 21$ olması durumunda, ise B50 ve B100 yakıtlarının B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarına göre daha iyi sonuçlar görülmüştür [13].

Dizel motorlarında kullanılacak alternatif gaz yakıtlar ise sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG), sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), dimetil eter ve hidrojenidir. LNG; düşük emisyon oluşturmaktadır ve setan sayısı düşüktür. En belirgin özelliği ancak yüksek basınç altında veya düşük sıcaklıkta etkin olarak depolanabilmesidir. Bu durum, doğalgazın boru hatları ile taşınmasının teknik ve ekonomik anlamda mümkün olmadığı yerlere, transport tankları ile nakliyesini uygun hale getirmektedir. LPG ise; temel olarak propan ve butan karışımından oluşan bir hidrokarbon yakıttır. LPG yüksek kaliteli bir enerji kaynağıdır ve ısınmada, endüstride, tarımda, el sanatları ile ilgili alanlarda olduğu kadar, otomotiv sektöründe de yaygın olarak kullanılmaktadır. Motorlarda LPG kullanıldığında sıkıştırma oranı büyük seçilebiliyorsa da tüm yakıtın buhar fazında motora girmesi hacimsel (volümetrik) verimi düşürdüğünden motor verimi pek artmamakta hatta azalmaktadır [5]. Ayrıca elemansel bileşimindeki kükürtün korozyona neden olan hidrojen sülfid oluşturması da olumsuzlukları arasında yer almaktadır. Rafinelerden yan ürün olarak üretilmesi, yani üretiminin petrole dayalı olması, basınç altında depolanmasının gerekmesi ve setan sayısının düşük olması LPG'nin başlıca yetersizliklerindedir [7]. Dimetil eter; sıvılaştırılmış bir gaz yakıttır ve setan sayısı yüksek olduğu için dizel motorlarında kullanılmaya uygundur. Kendi kendine tutuşma sıcaklığı da düşüktür ve yapısında kütleli olarak yaklaşık % 35 oranında O_2 bulunmaktadır. Dimetil eter, dizel motorlarında mevcut mekanik püskürtme veya common-rail püskürtme donanımlarında çok küçük modifikasyonlar yapılarak yanma odasına püskürtülebilir. Fakat bu yakıtın dizel yakıtına göre yağlama özelliği, vizkozitesi ve alt ısıl değeri düşüktür [7]. Ayrıca ekonomikliği yani fiyatı da göz önüne alınmalıdır. Hidrojen; suyun elektrolizi ile veya kömürün ısıl işlemleri sonunda ya da güneş enerjisinden üretilebilir. Tutuşma enerjisinin düşük olması ilk hareket kolaylığı sağlar. Hidrojenin içerisinde karbon bulunmamasından dolayı, eksoz emisyonları fosil yakıt kullanılan motorlara göre çok daha iyidir [16]. Hidrojen üretimi günümüz teknikleri ile pahalı olsa bile, hem alev hızının ve tutuşma eğiliminin yüksek olması hem

de NO_x'ler dışında hiç çevre kirliliği doğurması nedenleri ile özellikle buji ateşlemeli motorlar ve yakıt pilleri için geleceğin yakıtı olarak düşünülmektedir. Hidrojenin motorlarda kullanımı açısından; üretimin pahalı olması ve metaller üzerinde difüzyon özelliği yüzünden depolanmasında ve kullanımında zorluklar doğurması gibi olumsuz yönleri vardır [7].

Dizel motorlarında kullanılan alternatif sıvı ve gaz yakıtların dışında; dizel motorlarında motor performansının geliştirilmesi, yanmanın iyileştirilmesi, çevre kirliliğinin azaltılması için uygulanan çözüm yollarından biri de dizel yakıtına ek olarak motorlarında su kullanımıdır. Dizel motorlarında kullanılan alternatif yakıtlardan farklı olarak, su bir yakıt değildir. İnsan hayatında oksijenden sonra gelen en önemli öğedir. Ayrıca suyun içten yanmalı motorlarda kullanım alanı sadece dizel motorlar ile sınırlı değildir. Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde, Prof. Dr. Orhan DURGUN yönetiminde Derya TIRYAKI tarafından "Benzin Motorlarında Emme Havasına Su Eklenmesinin Motor Performansına ve Eksoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi" adlı yüksek lisans tez çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada; deneyler sabit sıkıştırma oranlı, tek silindirli Honda GX 160 benzin motoru kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler, (1/4, 2/4, 3/4 ve 4/4) gaz konumlarında, farklı motor hızlarında ve farklı su oranlarında gerçekleştirilmiştir. Su emme havasının içerisine; ana memesi değiştirilebilen bir karbüratör aracılığıyla, yaklaşık (% 5, % 6.25, % 7.5, % 8.75 ve % 11.25) oranlarında püskürtülmüştür. Deney sonunda belirlenen elde edilen döndürme momenti, efektif güç, ortalama efektif basınç, özgül yakıt tüketimi, efektif verim ve CO, HC emisyon değerleri farklı çalışma koşullarında incelenmiştir. Elde edilen deneysel verilerin incelenmesi ve irdelenmesi sonunda, benzin motorlarında emme havasına su püskürtülmesinin motor performansını ve eksoz emisyonlarını iyileştirici yönde etkilediği belirlenmiştir. En iyi sonuçlar ~% 6.25 su oranında elde edilmiştir. Bu durum için tam gaz konumunda efektif güçte ~% 7 düzeylerinde artış, özgül yakıt tüketiminde ise ~% 6 düzeylerinde azalma sağlanmıştır. Benzeri sonuçlar diğer gaz konumlarında da gözlenmiştir. Ayrıca CO ve HC emisyonlarında sırasıyla yaklaşık % 30 ve % 25 oranlarında azalma belirlenmiştir [17].

Dizel motorlarında dizel yakıtına ek olarak suyun kullanımı ile ilgili son 20 yılda değişik çalışmalar gerçekleştirilmiştir [18-25]. Bu bölümde, son yıllarda su kullanımı ile ilgili başlıca yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar kısaca verilecektir. Literatürde suyun dizel motorlarında kullanımında; genellikle su-dizel yakıtı karışımları ve suyun emilen

havanın üzerine püskürtülmesi durumları yaygın olarak incelenmiştir. Su-dizel yakıtı karışımı çalışmaları genellikle su-dizel yakıtı emülsiyonları diye adlandırılmaktadır ve bu çalışmalarda suyun dizel yakıtı ile homojen bir şekilde karışabilmesi için bir karıştırıcı donanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca ilgili karışımlara belirli oranlarda sürfaktan maddesi eklenerek karışımın homojenleştirilmesi sağlanmaktadır. Aşağıda literatürden örnek olarak sunulan su-dizel yakıtı karışımları genellikle bu şekilde hazırlanmıştır.

Subramanian [18]; tek silindirli hava soğutmalı bir test motorunda, su-dizel yakıtı karışımlarını ve emme manifoldundan emilmekte olan havanın içerisine su püskürtülmesinin motor performansı, yanma işlemi ve emisyon karakteristikleri üzerine etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Karışım ve su püskürtülmesi durumları için kütlece su-dizel oranı 0.4:1 olarak alınmıştır. Tüm testler sabit 1500 d/d'da farklı yüklemelerde yapılmış ve tüm deneylerde püskürtme avansı 23 °KMA şeklinde sabit tutulmuştur. İlk olarak su-dizel yakıtı karışımları için deneyler yapılmıştır ve bu durumda; motorun performansı, yanma ve emisyon karakteristikleri belirlenmiştir. Suyun dizel yakıtı ile iyi karışabilmesi için surfakant madde (HLB:7) kullanılmıştır. Ayrıca suyun dizel yakıtı ile iyi karışabilmesi için bir karıştırıcı donanımından da yararlanılmıştır. Su-dizel yakıtı deneylerinden sonra ise, suyun emme kanalından geçmekte olan havanın içerisine püskürtüldüğü deneyler yapılmıştır. Suyun püskürtülebilmesi için yedek bir enjektör kullanılmıştır. Deneyler sonunda her iki yöntemde de NO emisyonunun ciddi bir biçimde azaldığı görülmüştür. Tam yükte NO emisyonları, su-dizel yakıtı karışımı durumunda 1034 ppm'den 645 ppm'e, emme manifolduna püskürtülmesi durumunda ise 1034 ppm'den 643 ppm'e düşmüştür. İS ise su-dizel yakıtı karışımı durumunda 3.6 BSU'dan 2.7 BSU'ya, emme manifolduna püskürtülmesi durumunda ise 3.2 BSU'ya azalmıştır. NO ve isin azalması tüm yüklemelerde su-dizel yakıtı karışımı durumunda daha iyi olmuştur. CO ve HC düzeylerinin ise su-dizel yakıtı karışımı durumunda suyun emme manifolduna püskürtülmesi durumundan daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Tauzia ve arkadaşları [19]; 4 silindirli, common-rail püskürtme sistemine sahip küçük modern bir otomobil dizel motorunda, suyun emme manifoldundan havanın içerisine püskürtülmesi durumundaki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Burada su saf buhar olarak püskürtülmüştür. Çeşitli (1500, 1665, 2050 ve 2000) d/d devirlerinde farklı yükleme koşullarında ve çeşitli su miktarlarında deneyler yapılmıştır. Ayrıca ilgili çalışmada eksoz gazı resirkülasyonu (EGR)'nun etkileri de incelenmiştir. Böylece su püskürtülmesi ve EGR ayrı ayrı incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Hem düşük ve hem de

yüksek yüklerde, NO_x emisyonlarında en yüksek azalmalar yüksek su oranlarında sağlanmıştır. NO_x 'lerde % 50 azalma sağlamak için yakıtın kütleli olarak % (60-65) oranında su kullanılması gerekmektedir. Düşük yük koşullarında hava fazlalık katsayısı doğal olarak yüksek olduğundan; EGR, PM emisyonlarını çok fazla arttırmaksızın NO_x emisyonlarını azaltmıştır. Düşük yüklerde EGR uygulanması ile elde edilen sonuçlar suya göre daha iyi çıkmıştır. Yüksek yüklerde, hava debisi yaklaşık olarak sabit olduğundan, su püskürtülmesi ile parçacık madde (PM) miktarı çok artmadan NO_x emisyonlarının azaldığı belirlenmiştir. Oysa yüksek yüklerde; EGR ile, NO_x 'lerin azalmasına rağmen PM önemli ölçüde artmaktadır. Böylece yüksek yüklerde, NO_x 'lerdeki azalma su eklenmesi durumunda EGR'den daha etkin olmaktadır. Su eklenmesi durumunda silindir duvarlarında ısı kaybı fazla olduğundan motorun genel verimi seçilen tüm yük durumları için düşük çıkmıştır.

Sarvi ve arkadaşları [20]; dizel yakıtı yanında suyun yanma odasına direkt olarak püskürtülmesi durumunu incelemiştir. Burada 4 silindirli her bir silindir başına yaklaşık 1MW güç üreten tuboşarjlı bir dizel motoru kullanılmıştır. İlgili çalışmada dizel yakıtı ve su iki farklı enjektörden yanma odasına ayrı ayrı püskürtülmüştür. Çalışma sonunda suyun yanma odasına direkt püskürtülmesi ile yanma sıcaklıkları düştüğünden NO_x 'lerin önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Ancak; HC'lerin, isin ve PM'lerin suyun püskürtme zamanlamasına ve yanma odasındaki eksik yanma olayına bağlı olarak arttığı görülmüştür.

Larbi ve arkadaşları [21]; 6 silindirli, nominal gücü 2460 kW, sıkıştırma oranı 12 olan bir gemi dizel motorunda suyun emme kanalına püskürtülmesi durumunda eksoz gazları emisyonlarının değişimlerini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Burada çevrim hesabı için termodinamik esaslı tek bölgeli bir model geliştirmişlerdir. Yanma ürünlerinin hesabı için ise hazır paket program CHEMKIN kullanılmıştır. Söz konusu çalışmada, (640, 900, 1370 ve 1470) kW güçleri için ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Suyun kullanılması ile NO_x 'lerin önemli ölçüde azaldığını görülmüştür.

Zaid [22]; su-dizel yakıtı karışımlarının etkilerini direkt püskürtmeli tek silindirli bir dizel motorunda incelemiştir. Burada hacimsel olarak % (0, 5, 10, 15 ve 20) su oranları kullanılmıştır. Deneysel (1200-3300) d/d devir sayısı aralıklarında yapılmıştır. Su eklenmesi ile yanma veriminin, döndürme momentinin, efektif gücün ve efektif verimin arttığı görülmüştür. % 20 su eklenmesi durumunda efektif verimde % 3.5 iyileşme belirlenmiştir. Su eklenmesi ile özgül yakıt tüketiminin de azaldığı görülmüştür.

Hountalas ve arkadaşları [23]; common-rail püskürtme sistemine sahip DP ağır bir dizel motorunda su-dizel yakıtı karışımlarının kullanıldığı ve suyun emme manifolduna püskürtüldüğü iki durumun etkilerini sayısal olarak incelemişlerdir. Her iki yöntemle su kullanımının motor karakteristikleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini incelemek için termodinamik esaslı çok bölgeli termodinamik bir model geliştirmişlerdir. Burada hacimsel olarak % 10, % 20 ve % 30 su oranları seçilmiştir. Su-dizel yakıtı karışımı durumunda NO % 35'e kadar azalmıştır. Emme manifolduna su püskürtülmesi durumunda ise NO emisyon düzeyinde % 40'a kadar azalma gerçekleşmiştir. Su-dizel yakıtı karışımı durumunda, özgül yakıt tüketimi düşük ve orta yüklerde azalmasına karşın yüksek yüklerde artmıştır. Emme kanalından eklenen su durumunda ise ÖYT artmıştır. Su-dizel yakıtı karışımı durumunda islerin azalmasına rağmen emme kanalından su eklenmesi durumunda islerin arttığı hesaplanmıştır.

Kegl ve arkadaşları [24]; emilmekte olan havanın içerisine su püskürtülmesinin ve su-dizel yakıtı karışımlarının kullanılmasının etkilerini DP bir kamyon dizel motorunda incelemiştir. Deneysel çalışma sonunda; su-dizel yakıtı karışımlarının kullanılması ve emme kanalında havanın içerisine su püskürtülmesi durumlarında, yakıt tüketiminde önemli bir kötüleşme olmadan; NO_x, HC ve parçacık emisyonlarının önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Ancak su-dizel yakıtı karışımı durumunda eksoz emisyonlarındaki iyileşmenin daha iyi olduğu görülmüştür.

Selim ve arkadaşları [25]; su-dizel yakıtı karışımlarının motor performansı üzerindeki etkilerini tek silindirli ön yanma odalı bir dizel motorunda incelemişlerdir. Burada suyun dizel yakıtı ile iyi karışabilmesi için değişik hızlarda karışım şekilleri seçilmiştir. Bunun için % 10 su karışımı durumunda, su-dizel yakıtı karışımı 15000 d/d'da 2 dakika karıştırılmıştır. Bu durumda söz konusu karışım 4 hafta kararlı kalabilmektedir. % 20 su karışımı durumunda, su-dizel yakıtı karışımına % 1 oranında surfakant maddesi karıştırılmıştır. Daha sonra ilgili karışım 15000 d/d'da 10 dakika karıştırılmıştır. Böylece söz konusu karışım 4 hafta kararlı kalabilmektedir. % 30 su karışımı durumunda, su-dizel yakıtı karışımına % 1.7 oranında surfakant maddesi karıştırılmıştır. Daha sonra ilgili karışım 20000 d/d'da 30 dakika karıştırılmıştır. Böylece söz konusu karışım 1 hafta kararlı kalabilmektedir. Buradan anlaşılacağı gibi bu durumunun pratik uygulaması biraz zor ve zaman alıcıdır. İlgili çalışmada basınç-krank mili açısı diyagramları da incelenmiştir. Su-dizel yakıtı karışımları için silindir basınçlarının çok az arttığı, efektif gücün çok az azaldığı ve ÖYT'nin de çok az arttığı belirlenmiştir. Söz konusu çalışmada su-dizel yakıtı

karışımlarının etkileri değişik sıkıştırma oranlarında incelenmiştir. 22 sıkıştırma oranında % 20 su oranı kullanıldığında motor düzgün şekilde çalıştırılmıştır. Bununla birlikte 20 sıkıştırma oranında % 20 su oranından daha yüksek karışım oranlarına çıkılamamıştır.

1.3. Tez Çalışmasının Konusu ve Amacı

Yukarıdaki literatür araştırmasından görülebileceği gibi; su, dizel motorlarında çoğunlukla su-dizel yakıtı karışımları şeklinde kullanılmıştır [18, 20, 23-25]. Bununla birlikte suyun emme kanalından havanın içerisine püskürtülmesi ile ilgili çalışmalar daha sınırlı sayıdadır [18, 19, 21-24]. Su-dizel yakıtı karışımlarında suyun dizel yakıtı ile homojen şekilde karışabilmesi için bir karıştırıcıya gerek vardır. Ayrıca su-dizel yakıtı karışımı durumunda yine suyun dizel yakıtı ile homojen karışabilmesi için surfakant katkı maddesinin de kullanılması gerekmektedir. Oysa emme kanalından havanın içerisine su püskürtülmesi durumunda her hangi bir katkı maddesine gerek yoktur. Literatürde emme kanalından emilen havanın içerisine suyun püskürtülmesi için genellikle püskürtme donanımları kullanılmıştır.

Su ile ilgili yapılan çalışmalardan; suyun dizel motorlarında kullanılması ile, motor performans parametrelerinin dizel yakıtı ile hemen hemen aynı olduğu fakat NO_x ve islerin önemli ölçüde azaldığı belirtilmiştir. Bu nedenle suyun dizel yakıtına ek olarak kullanılmasının incelenmesi önemli bir konudur. Literatürde yapılan çalışmalarda genellikle deneyler tek silindirli deney motorlarından yararlanarak yapılmıştır. Ayrıca deneylerde suyun etkileri birkaç yük durumu ve sınırlı devir sayısı ele alınarak incelenmiştir.

Yukarıda kısaca açıklandığı gibi suyun emme kanalından havanın içerisine püskürtülmesi ile ilgili çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu nedenle sunulan tez çalışmasında emme kanalından emilmekte olan havanın içerisine su püskürtülmesinin motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerinin 4 silindirli common-rail püskürtme sistemine sahip bir DP otomobil dizel motorunda deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Söz konusu motor günümüzde Renault Kango ve Renault Clio arabalarında kullanılmaktadır. Bu durumda elde edilecek sonuçların doğrudan otomobil sanayisinde uygulanabileceği söylenebilir. Burada suyun emilmekte olan havanın içerisine gönderilmesinde basit bir karbüratör kullanılmıştır. Motorda başka herhangi bir değişiklik yapılmamıştır ve bu nedenle sistem ekonomik ve pratik uygulanabilir olmaktadır.

Sunulan tez çalışmasında deneyler, sistematik bir şekilde; farklı devirlerde ve farklı yüklerde yapılmıştır. Deneylerde hacimsel olarak % 2, % 4, % 6, % 8 ve % 10 oranlarındaki su emilmekte olan havanın içerisine basit bir karbüratörle püskürtülmüştür. Deneyler (2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000) d/d gibi 5 farklı motor hızlarında ve 6 farklı yükleme durumunda yapılmıştır. Deneylerde ölçümler ve ölçülen değerlerden yararlanarak motor karakteristikleri hesabı sistematik bir biçimde yapılmıştır. Böylece deneylerden elde edilen motor karakteristikleriyle ilgili sonuçlar, ayrıca NO_x ve K is faktörü ölçümlerinden elde edilen veriler karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve sunulmuştur. Ayrıca her devir ve yükleme durumunda indikatör diyagramları da basınç-krank mili açısı ve basınç-hacim diyagramları şeklinde elde edilmiştir. Böylece suyun yanma olayı üzerindeki etkilerine ilişkin daha ayrıntılı bilgiler de sunulmuştur. Sunulan deneysel tez çalışması, Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi tarafından desteklenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Sunulan tez çalışmasında emme kanalından emilmekte olan havanın içerisine su püskürtülmesinin motor karakteristikleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, KTÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvar'ındaki Cussons firması tarafından üretilen ve Şekil 1'de gösterilen deney düzeneği kullanılmıştır. Söz konusu deney sisteminde Renault K9K 700 tipi common-rail püskürtme sistemine sahip direkt püskürtmeli (DP) bir taşıt dizel motoru mevcuttur. İlgili motorun özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Emme havasına su eklenmesinin dizel motorlarında doğuracağı etkiler, ilgili motor kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Deney sisteminde kullanılan donanımlar aşağıda başlıklar halinde tanıtılacaktır.



Şekil 1. Deney düzeneğinin genel görünüşü

2.1. Deney Sisteminde Kullanılan Donanımlar ve Uygulanan Ölçüm Yöntemleri

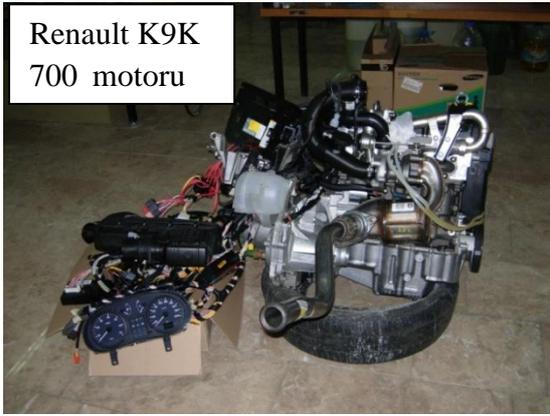
Deney sisteminde; Renault K9K 700 tipi taşıt dizel motoru monte edilmeden önce, Ford XLD 418 T tipi indirekt püskürtmeli bir dizel motoru vardı ve bu motor Cussons firması tarafından deney sistemine monte edilmişti. Fakat daha sonra gerçekleştirilen proje çalışmalarında ve sunulan tez çalışmasında güncel 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, Dr. Makina Müh. 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 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 2 (a)'da görüldüğü gibi bir araya toplanmıştır. Daha sonra söz konusu motor, deney sisteminde Şekil 2 (b)'de boş olarak görülen bölüme monte edilmiştir. Motorun monte edildikten sonraki görünüşleri Şekil 2 (c ve d)'de gösterilmiştir.

Deney düzeneğinde yer alan bazı ölçme düzenekleri ve deney ölçü panosunun önden görünüşü Şekil 3 (a ve b)'de gösterilmiştir. Şekil 3 (a)'dan görüldüğü gibi deney sisteminde; bilgisayar, osiloskop, veri derleme kartı, azot oksit (NO_x) ve K is faktörü ölçüm cihazları yer almaktadır. Şekil 3 (b)'de ise bazı ölçüm ve gösterge donanımlarını üzerinde bulunduran deney panosu gösterilmiştir. Burada; yakıt ölçme ünitesi, sıcaklık göstergesi, yükleme ünitesi, eğik manometre, rotametre, su tankı, gaz ayar kolu gibi donanımlar bulunmaktadır.



(a)



(b)

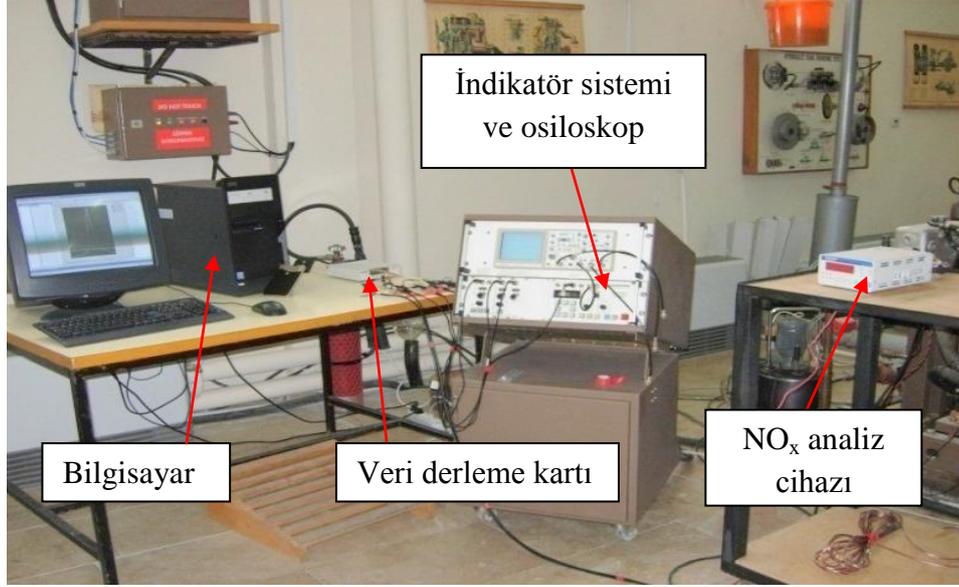


(c)

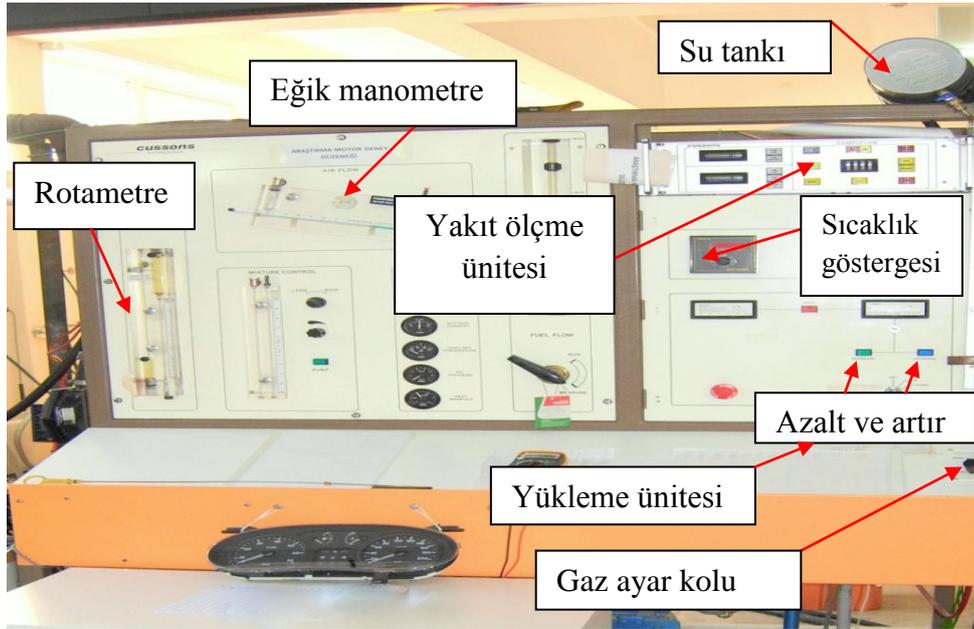


(d)

Şekil 2. (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)



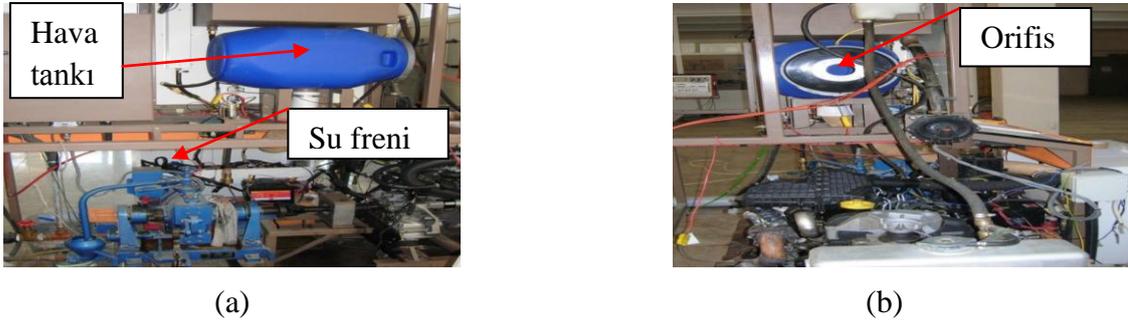
(b)

Şekil 3. (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 4'te 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 fıskırtır 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 3 (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 4 (a ve b)'de hava tankı ve hava tankı girişindeki orifisin resmi gösterilmiştir.



Şekil 4. (a) Deney panosunun arkadan görünümü (b) Deney panosunun sol yandan görünümü

Motorun yakıt tüketimi kütle (deney sistemi kataloğunda ağırlık) yöntemine göre belirlenmektedir. Sunulan çalışmada yakıt tüketimi, 30 g dizel yakıtının harcanma süresi ölçülerek hesaplanmıştır. Deney düzeneğinden daha yüksek bir konumda bulunan yakıt deposundan gelen dizel yakıtı önce Şekil 3 (b)'de gösterilen yakıt ölçme sistemine ve oradan motora gönderilmektedir.

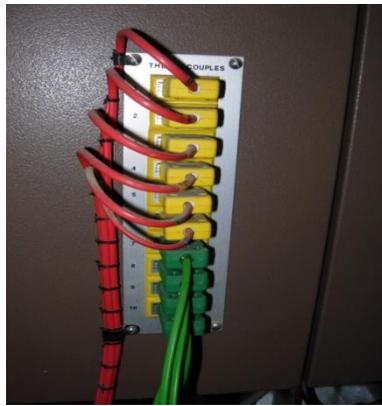
Deney sisteminde Cussons firması tarafından üretilen Şekil 5'te gösterilen eksoz gazı kalorimetresi de bulunmaktadır. Bu sistem kullanılarak ısı dengesi hesabı da yapılabilir

[26]. Eldeki deneysel veriler kullanılarak, Prof. Dr. Orhan Durgun'un yönetiminde ısı dengesi ile ilgili çalışmalar yapılacaktır. 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 6'da gösterilen K tipi termokupullar kullanılarak ölçülmektedir.

Motorlardaki deneysel çalışmalarda; basınç-hacim (p-V) ve basınç-krank mili açısı (p- θ) diyagramlarının, yani indikatör diyagramlarının, deneysel olarak elde edilmesi çok önemlidir. Sunulan tez çalışmasında kullanılan deney sisteminden indikatör diyagramları da elde edilebilmektedir. Söz konusu diyagramların elde edilebilmesi için Şekil 7'de 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 2.3.7. bölümünde sunulacaktır.



Şekil 5. Eksoz gazı kalorimetresi

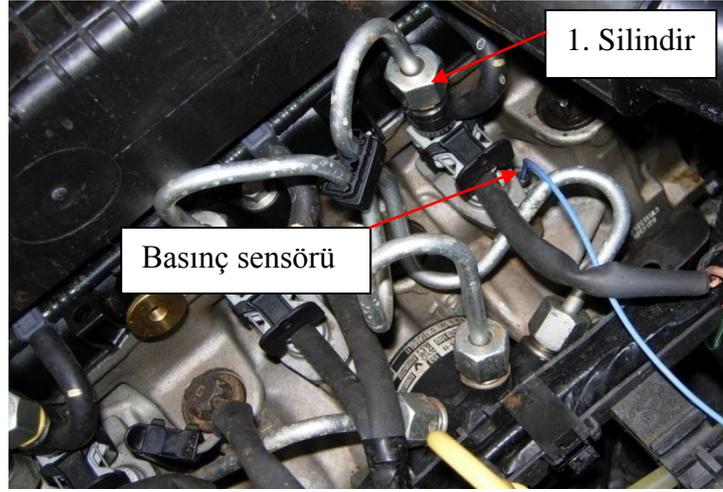


(a)



(b)

Şekil 6. (a) Termokupullar (b) Termokupulların deney panosuna bağlantıları



Şekil 7. Basınç sensörü bağlantısı

Tablo 2. Basınç sensörünün başlıca özellikleri

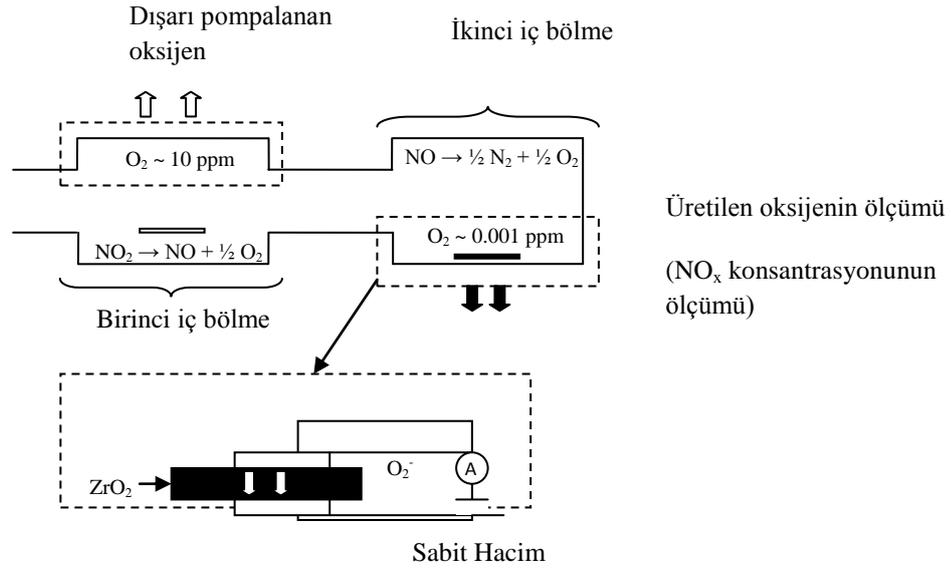
Sensör tipi	Piezoelectric (GH12P)
Ölçüm aralığı [bar]	0-150
Hassasiyeti [pC/bar]	16.50
Doğal frekansı [kHz]	100
Linearitesi	< ± 0.6 %

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 8'de 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 9'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.



Şekil 8. MEXA-720 NO_x eksoz gazı analiz cihazı



Şekil 9. Azot oksit analiz cihazının çalışma ilkesini gösteren şematik şekil [27].

Örnek gaz, içerisinde sensör bulunan ikinci iç bölme ye 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 ZrO_2 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 [27].

Azot oksit (NO_x)	(0-3000) ppm	$\pm (3-5) \% NO_x$
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)	$\% (0.0-50) O_2$	± 0.5

Deney sisteminde, K is faktörünün ölçümü Şekil 10'da 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 [28].

2.2. Deney Düzeninin Çalıştırılması

Deneylere başlarken, motor çalıştırılmadan önce karterdeki yağ seviyesi ve soğutma suyu genişleme 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 düzeneğinde bulunan manometre ve rotametre gibi göstergelerin sıfırlama kontrolü gerçekleştirilmektedir. Ardından osiloskop ve bilgisayar açılarak veri derleme kartı aktif duruma getirilmektedir. Ayrıca motorun elektronik kontrol ünitesinden (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 ışıkların sönmesi beklenmektedir. Daha sonra anahtar marş konumuna getirilerek motor çalıştırılıp, yaklaşık 10-15 dakika motorun ısınması beklemek gerekmektedir. Bu arada yağ termometre sıcaklığını ölçmek için termometrenin ucuna sarılan pamuk ıslatılarak, fan çalıştırılıp ıslak pamuğun üzerine etki etmesi sağlanmaktadır. Ayrıca; bu arada 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 verilerek motor devri ve motor yükü istenen düzeylere getirilmektedir.



Şekil 10. MGA 1500 is ölçüm cihazı

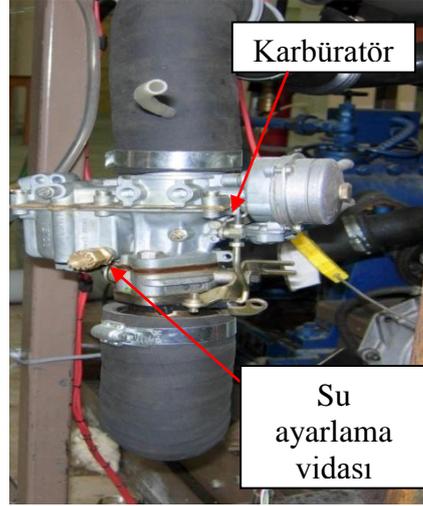
2.2.1. Saf Dizel Yakıtı ve Emme Manifoldundan Emilen Havanın İçerisine Su Püskürtülmesi Durumları İçin Deneyler

Su eklenmesi ile ilgili deneylere başlanmadan önce, saf dizel yakıtı (SDY) ile ilgili deneyler yapılmıştır. SDY deneylerinde, deney sisteminde ve motorda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. SDY ile ilgili deneyler tamamlandıktan sonra emme sisteminden emilen havanın içerisine su püskürtülmesi ile ilgili deneyler yapılmıştır.

Hem SDY hem de su eklenmesi ile ilgili deneylerde, (2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000) d/d olmak üzere gibi 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 3 (b)'de gösterilen yükleme ünitesiyle ince ayar yapılmaktadır. Örneğin; 2000 d/d'da tam gazda 525 N'luk yükleme yapılabilmektedir. Daha sonra yük yaklaşık 50 N'luk adımlarla azaltılarak (478, 427, 373, 327 ve 273) N'luk yüklemeler sağlanmış böylece 2000 d/dk'da veya buna çok yakın bir devirde deneyler yapılmıştır. Diğer devirlerdeki deneylerde benzeri şekilde gerçekleştirilmiştir.

SDY deneyleri tamamlandıktan sonra su eklenmesi ile ilgili deneysel çalışmaya geçilmiştir. Söz konusu deneylere başlamadan önce Şekil 11'de gösterildiği gibi sisteme basit bir karbüratör eklenmiştir. Ayrıca Şekil 12'de deney sisteminin, su ekleme ünitesinin ve karbüratörün ayrıntılı resimleri verilmiştir. Burada emme sistemine bağlanan karbüratörün hava ve gaz kelekleri sökülmiş ve diğer yardımcı donanımlar devre dışı bırakılmıştır. Karbüratör hava girişi ise, şekil değiştirebilir bir hortumla hava sızdırmayacak şekilde, hava debisinin ölçümünde kullanılan hava ölçüm tankının çıkışına bağlanmıştır. Karbüratörde ana memeyi kontrol etmek için Şekil 11'de görüldüğü gibi Trabzon sanayisinde özel yaptırılmış olan ince dişli su ayarlama vidası kullanılmıştır. İlgili vida aracılığı ile emme kanalına eklenecek su miktarı kolaylıkla ayarlanabilmektedir. Su eklenmesi çalışmasında deney sisteminde ve motorda başka herhangi bir değişiklik yapılmamıştır ve motor dizel ilkesine göre çalıştırılmıştır. Deneyler sırasında suyun emme kanalına sağlanması için deney sistemine ayrıca basit bir su ekleme ünitesi bağlanmıştır. Su ekleme ünitesi Şekil 12'de (25, 26 ve 28) numaralar ile gösterilmişlerdir. Bu bölüm; küçük bir su tankı, ölçekli cam tüp, yaklaşık (3000-3500) mm boyunda ve 5 mm çapında

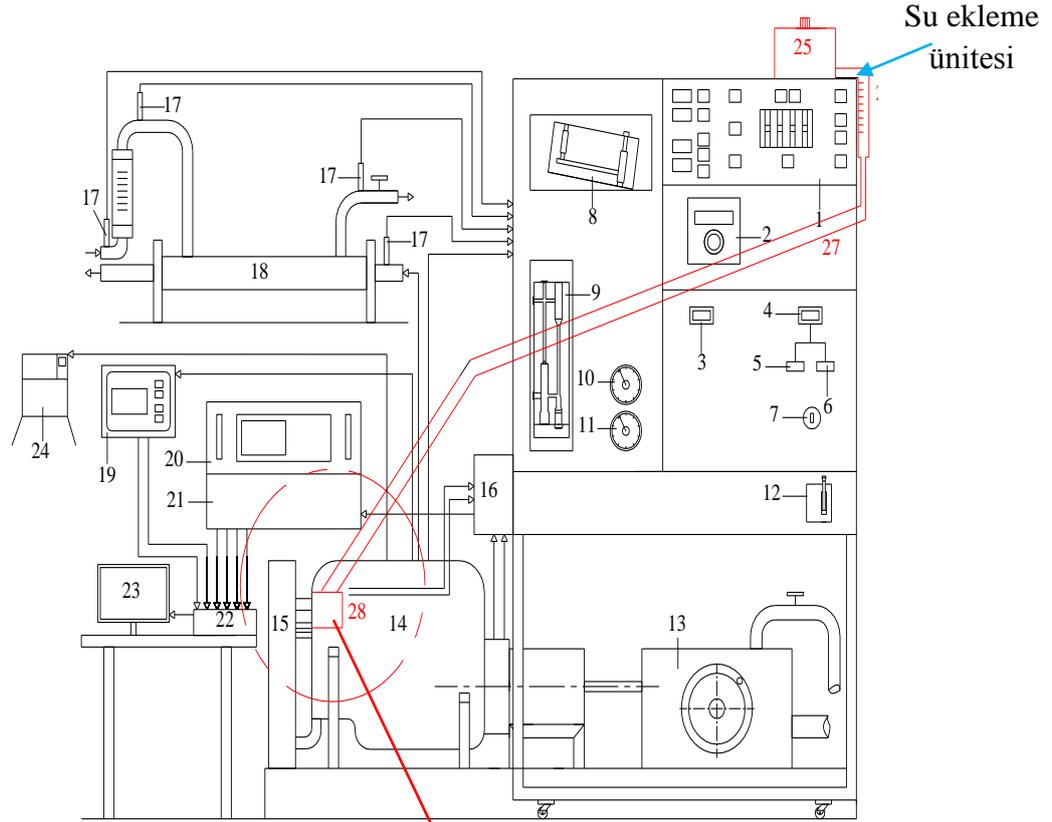
esnek su ekleme hortumu ve karbüratörden oluşmaktadır. Su tankındaki su, esnek hortum yardımı ile karbüratöre gitmekte ve oradan da emme kanalından emilmekte olan havanın içerisine püskürtülmektedir.



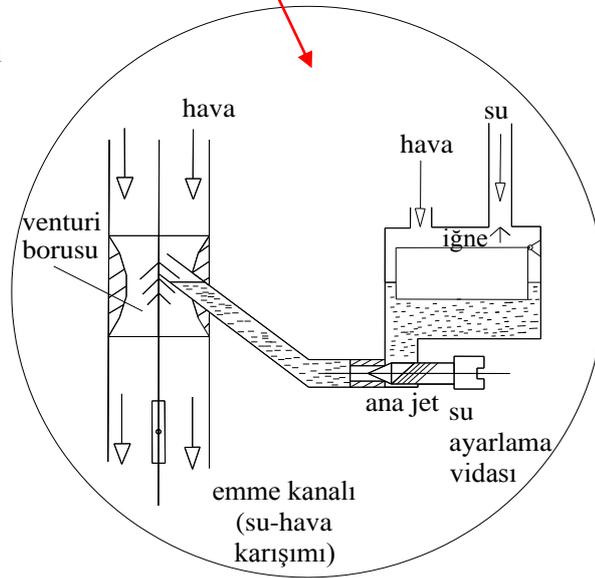
Şekil 11. Su ekleme ünitesi

Su eklenmesi ile ilgili deneylerde önce, motor örneğin 2000 d/d'da tam gazda, tam yükte çalıştırılmıştır. Bu esnada yaklaşık % 2'lik su oranını verecek şekilde karbüratör ana memesi 1. açıklık diye adlandırılan pozisyonuna getirilerek ayar yapılmıştır. Daha sonra 1. açıklıkla oynanmadan 6 farklı yük için deneyler yapılmıştır. Böylece yaklaşık % 2'lik su oranının deneyleri tamamlanmıştır. Motor, tekrar 2000 devirde tam gazda, tam yükte çalıştırılmış ve karbüratör ana meme ayarı yaklaşık % 4 su oranını verecek şekilde 2. açıklık durumuna ayarlanmıştır. Benzer şekilde 2000 d/d için yaklaşık % 6, % 8 ve % 10 su oranları deneyleri de yapılmıştır. Benzeri deneyler (2500, 3000, 3500 ve 4000) d/d için aynı şekilde gerçekleştirilmiştir.

Karbüratörün çalışma ilkesi gereği, motorun çalışma koşullarındaki, özellikle devir sayısındaki, herhangi küçük bir değişiklik karbüratörden giden su oranını değiştirmektedir. Sunulan tez çalışmasında, yüzde su oranı tam gazda tam yükte belirlenmiştir. Dolayısıyla yüklemeye değişikçe gaz kolu pozisyonu değişeceğinden karbüratörden giden su oranı da değişmektedir. Örneğin 2000 d/d da tam gazda tam yükte yaklaşık % 2 su oranı elde edebilmek için karbüratör ayar vidası 1. açıklığa getirilmiştir. Daha sonra 1. açıklıkla



Su ekleme sisteminde kullanılan karbüratörün ve ayarlama vidasının şekli



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-rotametre, 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-termokupullar, 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, 25-su tankı, 26-ölçekli cam tüp, 27-esnek (flexible) boru, 28-karbüratör (su ekleme sistemi)

oyanmadan 6 farklı yük için deneyler yapılmıştır. Fakat yük ve dolayısı ile gaz kolu konumu değişikçe karbüratörden giden suyun dizel yakıtına oranı da değişmektedir ve tam sayı olmayan su oranları elde edilmektedir.

Hem SDY hem de su eklenmesi ile ilgili deneylerde yük azaltılırken gaz kolu konumu da değiştirilmektedir; yani gaz düşürülmektedir. Su oranının etkisini tam olarak görebilmek için gaz kolu konumunun aynı konumda olması gerekir. Bunu sağlamak amacı ile bir avometre kullanılmıştır ve volt değerleri gaz kolu konumuna göre kalibre edilmiştir. Tam gaz pozisyonu 2.34 volta kalibre edilmiştir. Bundan sonra yük değerleri yaklaşık 50 N azaltıldığında gaz kolu sırasıyla (2.78, 2.86, 2.93, 3.02 ve 3.15) volta karşılık gelmektedir. Tüm deneylerde tam gazdan sonra yük yaklaşık 50 N'luk yük azaltılırken gaz kolu konumları daima yukarıda belirtilen volt değerlerinde sabit tutulmuştur. Böylece tüm deneylerde gaz kolunun yaklaşık aynı konumda kalması sağlanmıştır.

Deneyler süresince verilerin okunabilmesi için en az 3 kişiye gerek duyulmuştur. Çünkü; deneylerde Tablo 4'te gösterildiği gibi çok sayıda değişik veri okunmuştur ve 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 30 g yakıt miktarı, 5. sütunda 30 g yakıt miktarının harcanma süresi, 6. sütunda emme havası orifisindeki Δh_{hava} basınç farkı, 7. sütunda soğutma suyu orifisindeki Δh_{su} basınç farkı, 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, 21. ve 22. sütunda Şekil 9'da 26 numaralı ölçekli cam tüpten emme kanalına iletilen suyun miktarını belirleyen başlangıç ve bitiş değerleri, 23. sütunda ölçekli cam tüpten okunan değerlerin farkı, 24. sütunda ise ilgili fark değerinin yüzde değerleri gösterilmiştir.

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 değerlerde her deney için kaydedilmiştir. Ayrıca

Tablo 4. Deneyde ölçülen büyüklüklere bir örnek

Tarih		Ortam Sıcaklığı T ₀ [°C]					P ₀ [mmHg]	T _{yaş} [°C]			X _{nem}		Karışım Sıvısı ve Oranı (%)								Ölçekli Cam Tüpte Okunan Değerler ve Karışım Oranları			
16.07.2011		26.00					766.00	17.50			1.0117		Su				2.00							
DeneyKodu	Devir Sayısı n [d/d]	Yük F[N]	Yakıt Mik. Δm [g]	Δm[g] Yakıtın Harcn. Süresi Δt [sn]	Emme Havası Orifisi Δh[mmH ₂ O]	Soğutma Suyu Orifisi Δh[mmH ₂ O]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	T ₃ [°C]	T ₄ [°C]	T ₅ [°C]	T ₆ [°C]	T ₇ [°C]	T ₈ [°C]	Kal. Su Debisi Q _{su}	Azot Oksit NO _x [ppm]	HFK α	Oksijen O ₂ [%]	Hava / Yakıt H/Y	BAŞ	BİTİŞ	FARK	X _i [%]	
1	3000	465	30	13.6	15.0	45.0	15	508.0	81.0	88.0	421.0	17.0	124.0	46.0	11	1231.00	1.42	5.89	20.63	14.8	15.6	0.8		
2	3001	465	η	13.35	15.0	40.0	η	516.0	79.0	87.0	436.0	17.0	128.0	46.0	η	1242.00	1.42	5.85	20.61	16.7	17.5	0.8		
3	3002	465	η	13.4	15.0	37.0	η	517.0	78.0	87.0	445.0	17.0	133.0	47.0	η	1242.00	1.42	5.85	20.61	18.7	19.5	0.8		
1-ORT	3001	465	30	13.45	15.0	40.7	15.00	513.7	79.3	87.3	434.0	17.0	128.3	46.3	11.00	1238.33	1.42	5.86	20.62	16.7	17.5	0.8	2.1	
1	3006	417	30	14.45	14.5	23.0	15	513.0	76.0	86.0	453.0	17.0	137.0	46.0	11	744.00	1.51	6.72	21.90	13.7	14.7	1.0		
2	3009	417	η	14.7	14.8	21.0	η	514.0	76.0	86.0	456.0	17.0	138.0	46.0	η	743.00	1.51	6.70	21.88	15.8	16.7	0.9		
3	3003	416	η	14.65	14.8	20.0	η	515.0	76.0	86.0	457.0	17.0	139.0	47.0	η	747.00	1.51	6.71	21.88	17.4	18.3	0.9		
2-ORT	3006	417	30	14.60	14.7	21.3	15.00	514.0	76.0	86.0	455.3	17.0	138.0	46.3	11.00	744.67	1.51	6.71	21.89	15.6	16.6	0.9	2.5	
1	3002	366	30	16.95	14.5	13.0	η	488.0	76.0	87.0	446.0	17.0	134.0	45.0	11	566.00	1.63	7.79	23.79	6.9	7.9	1.0		
2	3001	366	η	16.9	14.8	16.0	15	487.0	77.0	87.0	444.0	17.0	135.0	45.0	η	566.00	1.63	7.79	23.74	8.3	9.4	1.1		
3	3001	368	η	17.05	14.0	16.0	η	487.0	77.0	87.0	444.0	17.0	135.0	45.0	η	568.00	1.64	7.80	23.80	10.1	11.1	1.0		
3-ORT	3001	367	30	16.97	14.4	15.0	15.00	487.3	76.7	87.0		17.0	134.7	45.0	11.00	566.67	1.63	7.79	23.78	8.4	9.5	1.0	2.7	
1	3005	326	30	19.25	14.8	10.0	η	450.0	75.0	87.0	422.0	17.0	127.0	42.0	11	478.00	1.78	8.79	25.79	16.3	17.5	1.2		
2	3007	326	η	19.25	14.3	13.0	15	449.0	77.0	87.0	418.0	17.0	127.0	42.0	η	481.00	1.77	8.81	25.86	18.2	19.4	1.2		
3	3004	326	η	19.1	14.3	16.0	η	448.0	78.0	87.0	416.0	17.0	126.0	42.0	η	479.00	1.78	8.80	25.86	20.0	21.2	1.2		
4-ORT	3005	326	30	19.20	14.4	13.0	15.00	449.0	76.7	87.0	418.7	17.0	126.7	42.0	11.00	479.33	1.78	8.80	25.84	18.2	19.4	1.2	3.2	
1	3004	260	30	23.6	13.8	14.0	η	396.0	75.0	86.0	392.0	17.0	116.0	39.0	11	374.00	2.06	10.45	30.03	12.1	13.3	1.2		
2	3003	260	η	23.2	13.0	10.0	η	388.0	74.0	86.0	379.0	17.0	113.0	39.0	η	369.00	2.06	10.42	30.00	14.9	16.2	1.3		
3	3005	260	η	23.2	13.5	8.0	15	383.0	73.0	86.0	372.0	17.0	112.0	39.0	η	364.00	2.07	10.45	30.05	17.0	18.3	1.3		
5-ORT	3004	260	30	23.33	13.4	10.7	15.00	389.0	74.0	86.0	381.0	17.0	113.7	39.0	11.00	369.00	2.06	10.44	30.03	14.7	15.9	1.3	3.3	
1	2998.0	204	30	28.35	13.0	46.0	η	336.0	88.0	92.0	390.0	17.0	96.0	35.0	η	277.00	2.36	11.72	34.37	12.9	14.4	1.5		
2	2997.0	205	η	28.05	13.0	54.0	15	333.0	90.0	94.0	324.0	17.0	95.0	35.0	11	270.00	2.36	11.72	34.39	15.3	16.8	1.5		
3	3005.0	204	η	28.1	13.0	55.0	η	331.0	91.0	95.0	320.0	17.0	95.0	35.0	η	265.00	2.36	11.72	34.40	17.6	19.1	1.5		
6-ORT	3000.0	204	30	28.17	13.0	51.7	15.00	333.3	89.7	93.7	344.7	17.0	95.3	35.0	11.00	270.67	2.36	11.72	34.39	15.3	16.8	1.5	3.9	
1. Sütun(S)	2. S	3. S	4. S	5. S	6. S	7. S	8. S	9. S	10. S	11. S	12. S	13. S	14. S	15. S	16. S	17. S	18. S	19. S	20. S	21. S	22. S	23. S	24. S	

söz konusu tablodan görüleceği gibi; hata analizinin yapılabilmesi için her bir yükleme için tüm değerler 3 defa okunarak değerlendirilmeye alınmıştır.

SDY deneylerinde; 5 farklı devir sayısı için 6 farklı yükleme yapılmış ve her bir ölçüm 3 kez tekrarlandığı için söz konusu devirlerde yaklaşık $5*6*3 = 90$ tane SDY deneyi gerçekleştirilmiştir. Emilen havanın içine su eklenmesi deneylerinde ise; hacimsel olarak % (2, 4, 6, 8 ve 10) oranlarında su, bir karbüratör aracılığıyla emme havasının içerisine püskürtülmüştür. Bu işlem her bir devir için, 6 farklı yükleme durumunda, karbüratördeki su ayarlama vidası ile su miktarı ayarlanarak yapılmış ve SDY deneyindeki gibi ölçümler 3 kez tekrarlanmıştır. Böylece söz konusu devirlerde yaklaşık olarak $6*3*5*5 = 450$ adet deney yapılmıştır. Sonuçta; toplam olarak 540 tane deney yapılmıştır.

2.3. Deneysel Ölçümlerin Değerlendirilmesi ve Motor Karakteristiklerini Hesabı

Deneylerde ölçülen verilerden bazıları örnek olarak Tablo 4'te gösterilmiştir. Tablo 4'teki değerlerden yararlanarak motor karakteristiklerinin hesabı aşağıda açıklandığı gibi yapılmıştır. Aşağıda uygulanan hesap yöntemi kısaca tanıtılacaktır. Bu konu ile ilgili daha ayrıntılı bilgi [29, 30] nolu kaynaklardan bulunabilir. Burada uygulanan ve Durgun'da [29, 30] verilen hesap yöntemine göre; deneylerde ölçülen verilerden yararlanarak çeşitli motor karakteristikleri; FORTRAN ve MATLAB dilinde hazırlanmış programlar yardımı ile hesaplanmaktadır. Program sonucunda hesaplanan değerler bilgisayardan tablolar şeklinde çıkmaktadır. Programdan hesaplanan motor karakteristikleri ile ilgili bir örnek, Tablo 5'te sunulmuştur. Motor karakteristiklerinin hesabına ilişkin başlıca bilgiler aşağıda alt başlıklar şeklinde kısaca sunulmuştur.

Tablo 5. Programdan hesaplanan motor karakteristiklerine bir örnek

n [d/d]	M_d [Nm]	N_e [kW]	P_{me} [MPa]	b_e [kg/kWh]	η_e
3001	133.223	44.013	1.205	0.182	0.465
3006	119.375	39.504	1.080	0.187	0.453
3001	105.050	34.709	0.950	0.183	0.463
3005	93.399	30.901	0.845	0.182	0.466
3004	74.490	24.634	0.674	0.188	0.451
3000	58.542	19.334	0.529	0.198	0.428
3002	120.521	39.830	1.090	0.187	0.453

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 [31, 32]. Böylece motorun M_d döndürme momenti,

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

bağıntısından hesaplanabilir.

2.3.2. Efektif Güç

Motorun n devir sayısı, 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,

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

bağıntısından hesaplanabilir. Burada ω açısal hızı

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

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’da [29] verilen düzeltme eğrisinden, x_{nem} nem düzeltme katsayısı okunmuştur. Standart atmosfer koşulları 20 [$^{\circ}\text{C}$] ve $1.013 \cdot 10^5$ [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,

$$N_e[\text{kW}] = N_{e,1} X_{nem} \frac{01013}{p_0} \frac{T_0}{293} \quad (4)$$

bağıntısı kullanılarak standart koşullara dönüştürülebilir.

2.3.3. Özgül Yakıt Tüketimi

Deney düzeneğinde bulunan çok fonksiyonlu yakıt debi ölçeri ile miktarı Δm [g] olarak ayarlanan yakıtın Δt [s] harcanma süresi ölçülerek yakıt debisi belirlenmektedir. Sunulan çalışmada 30 g dizel yakıtının harcanma süresi ölçülmüştür. Buna göre saatlik toplam yakıt tüketimi;

$$B[\text{kg/h}] = \frac{\Delta m}{\Delta t} \frac{3600}{1000} \quad (5)$$

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

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

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

bağıntılarından belirlenebilir.

Burada yakıtın alt ısıl değeri çok iyi bilinen

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

Mendeleyev formülünden hesaplanmıştır [32, 33]. Isıl değer hesabında ve diğer yanma hesaplarında gerekli olan; yakıtın elemansel bileşimi ile ilgili c' , h' , o_y' , s' ve w' değerleri yakıtın kapalı (kimyasal) formülünden yararlanarak belirlenmiştir. Söz konusu değerler Tablo 6'da verilmiştir. Ayrıca dizel yakıtının ve suyun başlıca özellikleri de Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Dizel yakıtının ve suyun başlıca özellikleri [31].

	Dizel yakıtı	Su
Kimyasal formül (kapalı formül)	$C_{14.342}H_{24.75}O_{0.0495}$	H_2O
Mol kütlesi [kg/kmol]	198.0017	18.015
Yoğunluk [kg/m ³]	814 *	1000
Alt ısı değer [kJ/kg]	42437.34	-
Elemensel bileşim	$c' = 0.87,$ $h' = 0.126,$ $oy' = 0.004$	$h' = 0.112,$ $oy' = 0.888$

*Laboratuarda ölçülmüştür.

2.3.4. Hava Fazlalık Katsayısı

Emilen havanın motora titreşimsiz bir şekilde girebilmesi için deney düzeneği girişinde bir hava deposu bulunmaktadır. Deponun hava giriş kısmında çapı, $d=71.92$ mm olan bir orifis yer almaktadır [31]. 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 [mm su sütunu] olarak, deney anındaki T_0 ortam sıcaklığı bir termometreden [$^{\circ}C$] cinsinden ve P_0 basıncı bir barometreden [mmHg] cinsinden ölçülmektedir. Böylece emilen havanın hacimsel debisi;

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

ve havanın kütleli debisi;

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

bağıntılarından hesaplanabilir. Burada havanın yoğunluğu;

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

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,

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

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,

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

Reynold sayısı yeniden hesaplanır. Burada μ [g/cms] 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;

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

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

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,

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

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

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

bağıntısından hesaplanabilir [31]. (17) bağıntısında Δh [mmH₂O] orifis girişindeki basınç farkı, ρ_s [kg/m³] suyun yoğunluğu (suyu saf varsayıp 20 °C’de ve 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,

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

bağıntısı elde edilir. Burada Δh , [mmH₂O] biriminde orifisin girişindeki basınç farkıdır. U cıvalı manometresinde [mmHg] biriminde okuma yapılır. Bu nedenle aşağıdaki gibi bir düzenleme ile yükseklik farkı Δh [mmH₂O]’ya dönüştürülebilir.

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

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

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

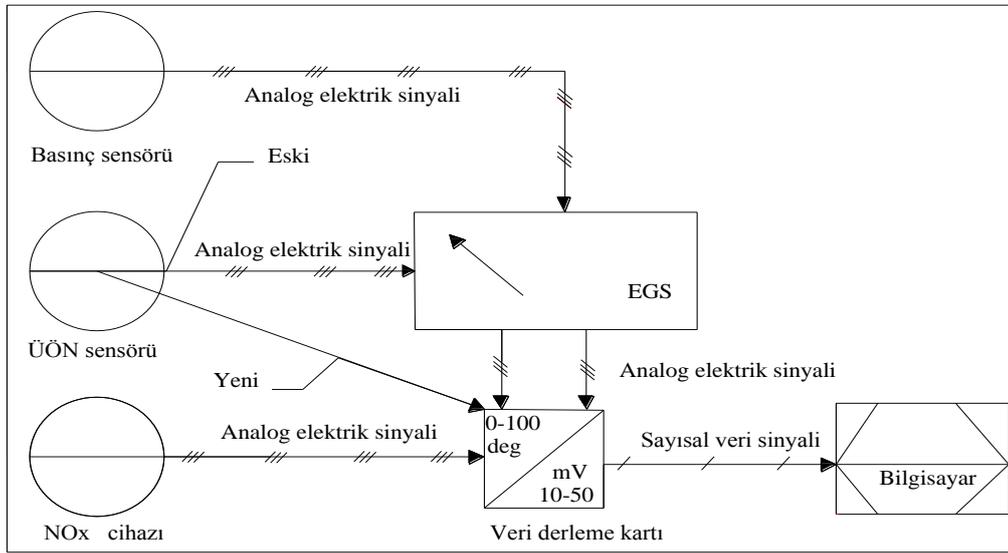
Burada μ [g/cms] suyun mutlak viskozitesidir. Hesaplanan Reynolds sayısına göre Z_R Reynolds sayısı düzeltme faktörü deney düzeneği kataloğundan yeniden seçilir ve 17 eşitliğinde yerine yazılarak soğutma suyunun hacimsel debisi daha doğru bir şekilde belirlenebilir. Sunulan çalışmada, bilgisayar programına; 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. 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 üretilen motorda kullanılan konum sensörleri eksoz gazı çıkışında olduğundan sürekli yanarak devre dışı kalmaktadırlar Bu nedenle motorun püskürtme basıncı için kullandığı üst ölü nokta (ÜÖN) sensöründen veri alınması başarılmış ve Cussons firması tarafından kullanılan ÜÖN sensörü devre dışı bırakılmıştır. 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.

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. 2.3.7. bölümünde 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 içerisinde, 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-V ve p- θ diyagramları elde edilebilir.



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

p-V ve p- θ 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 Simson yöntemi, uygulanarak belirlenebilir. Burada 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.

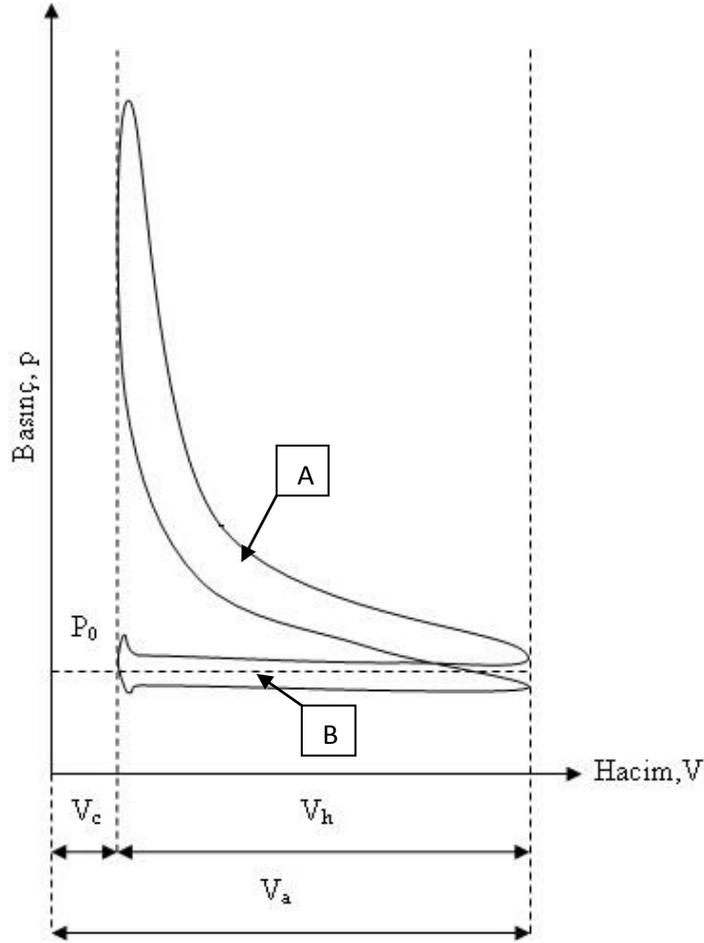
Motorun krank milinden elde edilen N_e efektif gücü dinamometre aracılığı ile deneysel olarak ölçülmektedir. Böylece N_i ve N_e güçleri bu şekilde belirlenerek mekanik kayıplara harcanan güç aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$N_m = N_i - N_e \quad (21a)$$

Aynı şekilde mekanik verim de yukarıdaki verilerden yararlanarak,

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} \quad (21b)$$

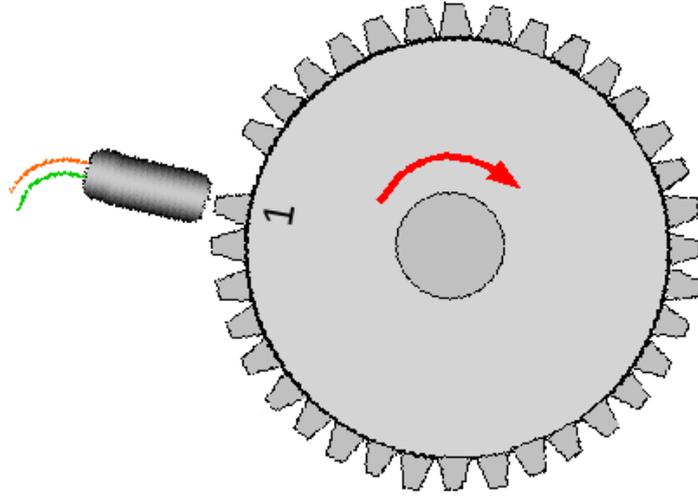
bağıntısından bulunabilir.



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

2.3.7. Renault K9K 700 Tipi Dizel Motorunun ÜÖN'sının 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.

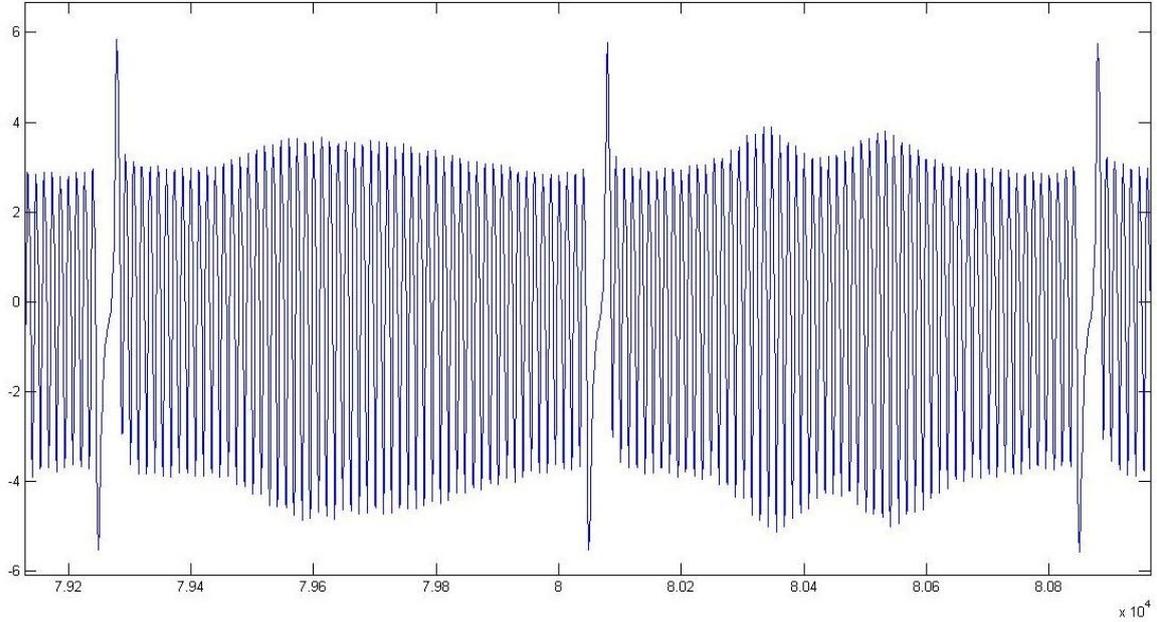


Şekil 15. 60-2 Diş tip volanın şematik gösterimi

Daha önce deney siteminden ÜÖN'nın belirlenmesi için konum sensörleri kullanılmıştır. Ancak sunulan çalışmada kullanılan motor için Makine Yüksek Mühendisi Mustafa KURT tarafından düzenlenen sistem kullanıldığından konum sensörüne gerek kalmamış ve motorun kendisinin ÜÖN'yı belirlediği sensörden bu değer elde edilmiştir. 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 yakınlştırılmış 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 turunu göstermektedir ve içerisinde 1 adet çevrimin yer aldığı bilinmektedir.

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.



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

2.4. Hata Analizi

Sunulan tezde, emme kanalına su püskürtülmesi ve SDY deneylerindeki tüm ölçümler 3'er kez yapılmıştır. Böylece 3'er ölçüm kullanılarak hata analizi gerçekleştirilmiştir. Ölçülen değerlere, Durgun [29] tarafından verilen, Kline ve McClintock'un [34] 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.

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

Burada % 5 anlamlılık düzeyi olasılığı % 95'tir ve böylece t değeri ilgili tablodan $\nu=2$ için $t=0.403$ olarak elde edilebilir. Ayrıca n ölçüm sayısıdır ve dolayısı ile serbestlik derecesi $\nu = n - 1$ 'dir. Sunulan çalışmada her ölçüm 3'er kez tekrarlandığı için $n=3$ ve $\nu=2$ '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 çalışması kapsamında; dizel motorlarında dizel yakıtına ek olarak su kullanımının motor karakteristikleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerine ilişkin bulgular, şekiller ve tablolar olarak, aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur. Sonuçların sunulmasında izlenen yol ise şöyle özetlenebilir. Su oranının etkisi (2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000) d/d gibi 5 farklı devir sayısı ve 6 farklı yükleme durumu için incelenmiştir. Önce su eklenmesinin K is faktörü üzerindeki etkisi 3 farklı devir sayısı için verilmiştir. Daha sonra su eklenmesinin NO_x üzerindeki etkileri 5 farklı devir sayısı için sunulmuştur. NO_x oluşumunda sıcaklıklar önemli olduğundan üçüncü sırada ise su oranının eksoz gazı sıcaklığı üzerindeki etkilerini gösteren şekiller ve yorumlar sunulmuştur. Daha sonra suyun özgül yakıt tüketimi (ÖYT) ve efektif verim üzerindeki etkilerini gösteren eğriler ve yorumlar verilmiştir. Ardından da suyun efektif güç üzerindeki etkileri açıklanmıştır. Son olarak motor silindirinin içerisinde meydana gelen yanma olayına ilişkin daha ayrıntılı yorumlar yapabilmek için (p-V) ve (p-θ) diyagramları verilmiştir. Ayrıca suyun; NO_x , efektif güç, özgül yakıt tüketimi ve efektif verimde doğurduğu artma veya azalma oranları yüzde olarak ilgili bölümlerde tablolar şeklinde verilmiştir. Bunun yanı sıra deneysel sonuçların toplu olarak daha iyi değerlendirilmesi için Ek Tablo 1, Ek Tablo 2, Ek Tablo 3, Ek Tablo 4 ve Ek Tablo 5'te seçilen tüm devir ve yüklerde motor karakteristikleri ve NO_x emisyonlarının artma veya azalma oranlarını gösteren tablolar sunulmuştur.

3.1. Suyun K İs Faktörü, NO_x ve Eksoz Gazları Sıcaklığı Üzerindeki Etkileri

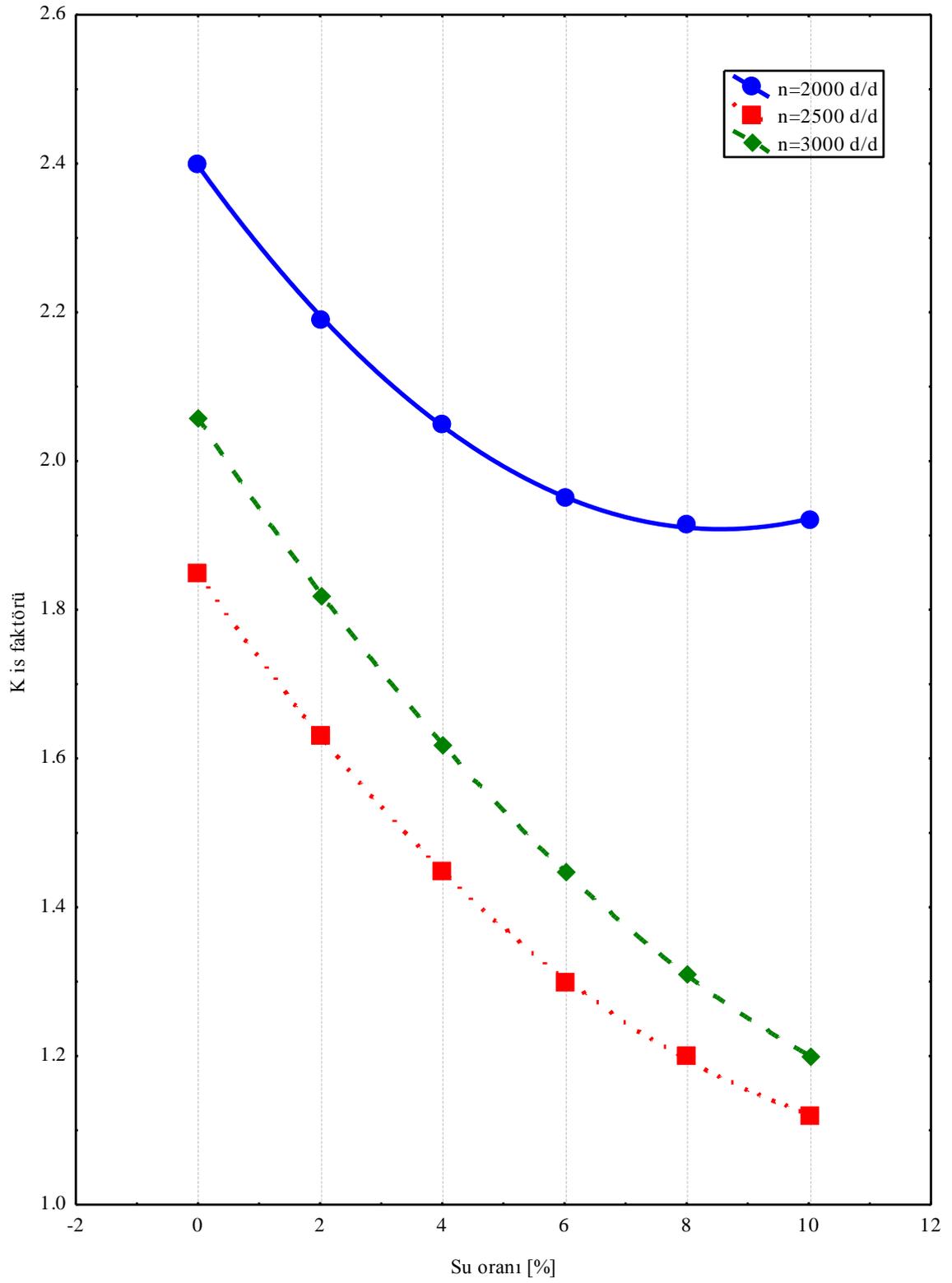
Şekil 17'de suyun K is faktörü üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Burada K is faktörü (2000, 2500 ve 3000) d/d'da ölçülmüştür. K is faktörü cihazındaki sıcaklık sensörünün yanmaması için daha yüksek devirlerde ölçüm yapılmamıştır. Ayrıca ilgili cihaz yalnızca tam gazda ölçüm yapabilme özelliğine sahiptir. Şekil 17'den de görüldüğü gibi her üç devir sayısında da K is faktörü su oranı ile azalmıştır. (2000, 2500 ve 3000) d/d'da elde edilen maksimum azalma miktarları; % 8.28, % 12.9 ve % 11.71 karışım oranlarında, sırasıyla % (20.21, 39.46 ve 41.75) şeklinde belirlenmiştir. Diğer karışım oranlarındaki azalma miktarları ise Tablo 7'de gösterilmiştir.

Sunulan tez çalışmasında; emme kanalından emilmekte olan havanın içerisine su püskürtülmüş ve hava-su karışımı silindire gönderilmiştir. Söz konusu karışım sıkıştırma

işlemi boyunca sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırma işlemi boyunca su buharlaşarak çevreden buharlaşma ısısını çektiğinden silindir içerisinde mevcut olan karışımı soğutmaktadır ve böylece dizel yakıtı daha soğuk karışıma püskürtülmektedir. Bu durumda dizel yakıtının tutuşması için gereken zamanın artacağı tahmin edilebilir, yani tutuşma gecikmesinin artacağı söylenebilir. Literatürde yapılan çalışmalarda da benzeri sonuçlar bulunmuştur [11-13]. Örneğin kolay buharlaşabilen yakıtlar olan etil alkol fumigasyonu ve benzin fumigasyonu durumlarında da tutuşma gecikmesinin arttığı bilinmektedir [11, 12]. Literatürde de su eklenmesi çalışmalarında duman koyuluğunun göstergesi olan K is faktörünün önemli ölçüde azaldığı deneysel olarak belirlenmiştir. İsin azalmasında; su eklenmesinin püskürtülen dizel yakıtının hava ile daha hızlı ve homojen karışmasını sağlamanın etkisi önemlidir [18-21]. Subramanian [18] isin azalma nedenini; mikro patlamalar sonucu yakıt-hava karışımının iyileşmesinden ve ayrıca tutuşma gecikmesinin artmasından dolayı ön yanma fazının uzamasından kaynaklandığı söylemektedir [18]. Tauzia ve arkadaşları [19] ise isin azalma nedenini şöyle açıklamaktadır; suyun buharlaşması ve karışımı seyreltmesi dizel yakıtı demetindeki sıcaklıkların azalmasına neden olmaktadır. Sıcaklıkların azalması ise is oluşumunu azaltmaktadır. Sıcaklıkların azalması aynı zamanda NO_x konsantrasyonunu da düşürmektedir [19].

Tablo 7. (2000, 2500 ve 3000) d/d devirlerindeki K is faktörü değişimleri

	n = 2000 d/d				
SO [%]	2.14	4.94	6.40	8.28	10.53
$\frac{\Delta K}{K}$ [%]	-8.75	-14.58	-18.75	-20.21	-20.00
	n = 2500 d/d				
SO [%]	3.05	3.94	6.40	7.59	12.98
$\frac{\Delta K}{K}$ [%]	-11.90	-21.62	-29.73	-35.14	-39.46
	n = 3000 d/d				
SO [%]	2.79	3.56	6.64	8.05	11.71
$\frac{\Delta K}{K}$ [%]	-11.65	-21.36	-29.61	-36.41	-41.75



Şekil 17. Farklı devir sayılarında K is faktörünün su oranına göre değişimleri

Ayrıca su eklenmesi ile yüksek basınç ve sıcaklık etkisi altında kalan suyun, H ve OH radikallerine ayrıştığı düşünülebilir. Bu durumda radikaller serbest kalabilir ve normal durumda oksitlenmeden ortamda miktarı artan karbon parçacıkları suyun serbest bu radikalleriyle reaksiyona girebilirler ve böylece is oluşumunun azalabileceği söylenebilir.

Şekil 18 (a-e)'den görüldüğü gibi; seçilen her 5 devir sayısında su oranı arttıkça NO_x değerleri azalmıştır. Genel olarak tüm devirler için NO_x 'lerdeki azalma % 6 su oranından sonra daha etkin duruma gelmiştir. Yine Şekil 18'den görülebileceği gibi yükleme arttıkça motor daha fazla zorlandığından ve aynı zamanda yanma sonu sıcaklıkları artabileceğinden NO_x oranları yüksek değerler almıştır. Seçilen devir sayılarında ve devirlere göre seçilen bazı yük durumları için NO_x konsantrasyonundaki artma ve azalma oranları Tablo (7-11)'de gösterilmiştir.

Bilindiği gibi NO_x 'ler yanma odasındaki yüksek sıcaklık bölgelerinde meydana gelmektedir. Bu nedenle, yanma odası içerisindeki yüksek sıcaklıklı bölgelerin sıcaklıklarının düşürülmesi ile NO_x 'ler de azaltılabilir. Böylece su eklenmesi sonucunda silindir içerisindeki sıcaklıkların azalması nedeni ile NO_x 'lerin azaldığı söylenebilir [18-24]. Bu nedenle burada NO_x konsantrasyonu ile eksoz gazı sıcaklıkları devir sayısına göre art arda incelenmiştir.

Şekil 19 (a-e)'den görüldüğü gibi; seçilen her 5 devir sayısında eksoz gazı sıcaklıkları yaklaşık % 6 su oranına kadar artmış ve daha sonra azalmaya başlamıştır. Eksoz gazı sıcaklıklarının % 6 su oranından sonra azalmaya başlaması nedeniyle, söz konusu su oranından sonra NO_x 'lerdeki azalma da daha etkin olmuştur. Yine Şekil 19'dan yüksek yüklerde eksoz gazı sıcaklıklarının daha yüksek olduğu görülebilir

Şekil 18 (a)'dan görüldüğü gibi, 2000 d/d'da seçilen yüklerde NO_x oranları su oranı ile azalmıştır. Yalnız % 10 su oranından sonra NO_x 'ler artmaya başlamıştır. Tablo 8'den görüldüğü gibi; maksimum azalma 520 N yükte % 8.351 su oranında % 13.648 olarak ve 370 N yükte % 9.874 su oranında % 17.801 olarak belirlenmiştir. Diğer yük durumları için de benzeri değişimler elde edilmiştir. Seçilen yük durumları için NO_x konsantrasyonundaki azalma miktarları Tablo 8'de yüzde olarak verilmiştir.

Şekil 19 (a)'dan görüldüğü gibi, 2000 d/d'da eksoz gazı sıcaklığı yaklaşık % (4-6) su oranına kadar artmış ve daha sonra ise azalmaya başlamıştır. Yaklaşık % 9 su oranından sonra eksoz gazı sıcaklığındaki azalma oranı daha düşük çıkmıştır. (370 ve 320) N yüklerinde ise yaklaşık % 9 su oranından sonra eksoz sıcaklığı sabit kalmıştır ve 270 N yükte ise artmaya başlamıştır.

Şekil 18 (b)'den görüldüğü gibi, 2500 d/d'da NO_x konsantrasyonu su oranı ile azalmıştır. Maksimum azalma Tablo 9'dan görülebileceği gibi; 520 N yükte % 9.4 su oranında % 12.489 olarak, 370 yükte % 12.111 su oranında % 12.845 olarak belirlenmiştir. Şekil 19 (b)'den görüldüğü gibi, yüksek su oranlarında eksoz gazı sıcaklığındaki azalma oranı daha yüksek olduğundan; yüksek su oranlarında NO_x'lerdeki azalma oranı düşük su oranlarına göre daha yüksek olmaktadır.

3000 d/d'da da (2000 ve 2500) d/d'lardaki sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yani Şekil 18 (c)'den görüldüğü gibi, 3000 d/d'da NO_x'ler su oranı ile azalmıştır. Tablo 10'dan görüldüğü gibi; 3000 d/d'da NO_x'deki maksimum azalma miktarları, 460 N yük için % 11.884 olarak % 9.464 su oranında, 310 N yük için % 16.010 olarak % 12.945 su oranında belirlenmiştir. 360 N yükte maksimum azalma % 11.487 su oranında, 210 N yükte % 16.184 su oranında sırasıyla % 17.659 ve % 14.741 düzeylerinde olmuştur. Şekil 18 (d)'de 3500 d/d'da seçilen yük durumları için NO_x konsantrasyonunun su oranına göre değişimleri sunulmuştur. Tablo 11'de de 3500 d/d'da su oranı ile NO_x'te meydana gelen azalma ve artma oranları gösterilmiştir. İlgili tablodan görüldüğü gibi, 3500 d/d'da, 420 N yükte NO_x'deki maksimum azalma % 7.997 su oranında % 8.732 olarak elde edilmiştir. Diğer yük ve su oranlarındaki değişimler Tablo 11'den görülebilir. NO_x'deki maksimum azalma 170 N yükte % 21.399 su oranında % 22.465 oranında oluşmuştur. Şekil 19 (c) ve 19 (d)'den görülebileceği gibi; (3000 ve 3500) d/d'da eksoz gazı sıcaklıkları genel olarak % 6'su oranına kadar atmış ve daha sonra ise azalmaya başlamıştır.

Şekil 18 (e)'de 4000 d/d'da seçilen yük durumları için NO_x konsantrasyonunun su oranlarına göre değişimleri verilmiştir. Söz konusu şekilden görüldüğü gibi, 4000 d/d'da NO_x konsantrasyonu düşük su oranlarında artma eğilimi göstermiştir. 400 N yükte NO_x'deki azalma % 4 su oranından sonra başlamıştır. (300, 250 ve 150) N yüklerinde ise NO_x konsantrasyonu % 10 su oranından sonra azalmaya başlamıştır. Şekil 18 (e)'den görüldüğü gibi 4000 d/d'da su oranı ile eksoz gazı sıcaklığı artmış ve yaklaşık % 10 su oranından sonra etkin olarak azalmaya başlamıştır. Bu nedenle % 10 su oranından sonra NO_x'ler de azalmaya başlamıştır. Bilindiği gibi NO_x'lerin oluşumunda sıcaklık önemli bir etkidir. 4000 d/d'da seçilen yük durumları için NO_x'te farklı su oranlarında meydana gelen artma ve azalma oranları Tablo 12'de gösterilmiştir. 4000 d/d'da 400 N yükte, NO_x'deki maksimum azalma % 9.015 su oranında % 17.138 ve 150 N yükte % 15.872 su oranında % 30.764 olarak elde edilmiştir. Şekil 19 (e)'den görülebileceği gibi eksoz gazı sıcaklığı % 4 su oranına kadar artmış ve daha sonra ise azalmaya başlamıştır.

Literatürde emme kanalından havanın içerisine su püskürtülmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda da NO_x konsantrasyonunun önemli ölçüde azaldığı belirtilmektedir [18-24]. Subramanian [18] DP bir dizel motorunda tam yükte, NO oranının 1030 ppm'den 645 ppm'e kadar azaldığını deneysel olarak belirlemiştir. Söz konusu çalışmadan NO'ların azalmasını; yakıt demeti çevresindeki homojen su-hava karışımının yanma odası sıcaklıklarını ve oksijen konsantrasyonunu düşürmesinden kaynaklandığı belirtilmektedir. Ayrıca [18] nolu kaynakta verilen bilgiye göre, Miyaucü ve arkadaşları emme kanalından su eklenmesi ile OH radikallerinin attığını ve bu olayın hidrokarbon parçacıklarının oksidasyonuna yardım ettiğini ve böylece NO_x düzeyinin azaldığını belirtmektedir.

Tablo 8. 2000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında NO_x konsantrasyonundaki değişim oranları

n=2000 d/d										
	520 N					420 N				
SO [%]	2.392	4.225	5.993	8.351	9.720	2.857	4.780	6.553	9.315	10.214
$\frac{\Delta\text{NO}_x}{\text{NO}_x}$ [%]	0.437	-6.080	-5.546	-13.648	-7.338	-0.447	-0.443	-1.692	-10.761	-8.740
	370 N					270 N				
SO [%]	3.042	5.060	6.923	9.874	10.648	3.386	5.683	7.792	11.333	11.952
$\frac{\Delta\text{NO}_x}{\text{NO}_x}$ [%]	-5.374	-2.986	-5.789	-17.801	-14.783	-6.007	-9.438	-6.660	-22.922	-14.765

Tablo 9. 2500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında NO_x konsantrasyonundaki değişim oranları

n=2500 d/d										
	520 N					420 N				
SO [%]	2.065	4.013	6.196	8.261	9.400	2.432	5.615	8.806	9.898	11.353
$\frac{\Delta\text{NO}_x}{\text{NO}_x}$ [%]	-6.101	-4.295	-7.370	-12.113	-12.489	-3.732	-2.310	-11.725	-13.257	-13.405
	370 N					270 N				
SO [%]	2.677	6.078	9.642	10.814	12.111	3.16	7.088	11.342	12.717	14.097
$\frac{\Delta\text{NO}_x}{\text{NO}_x}$ [%]	-1.200	-5.158	-8.388	-13.546	-15.845	-10.821	-8.236	-13.225	-21.671	-25.789

Tablo 10. 3000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında NO_x konsantrasyonundaki değişim oranları

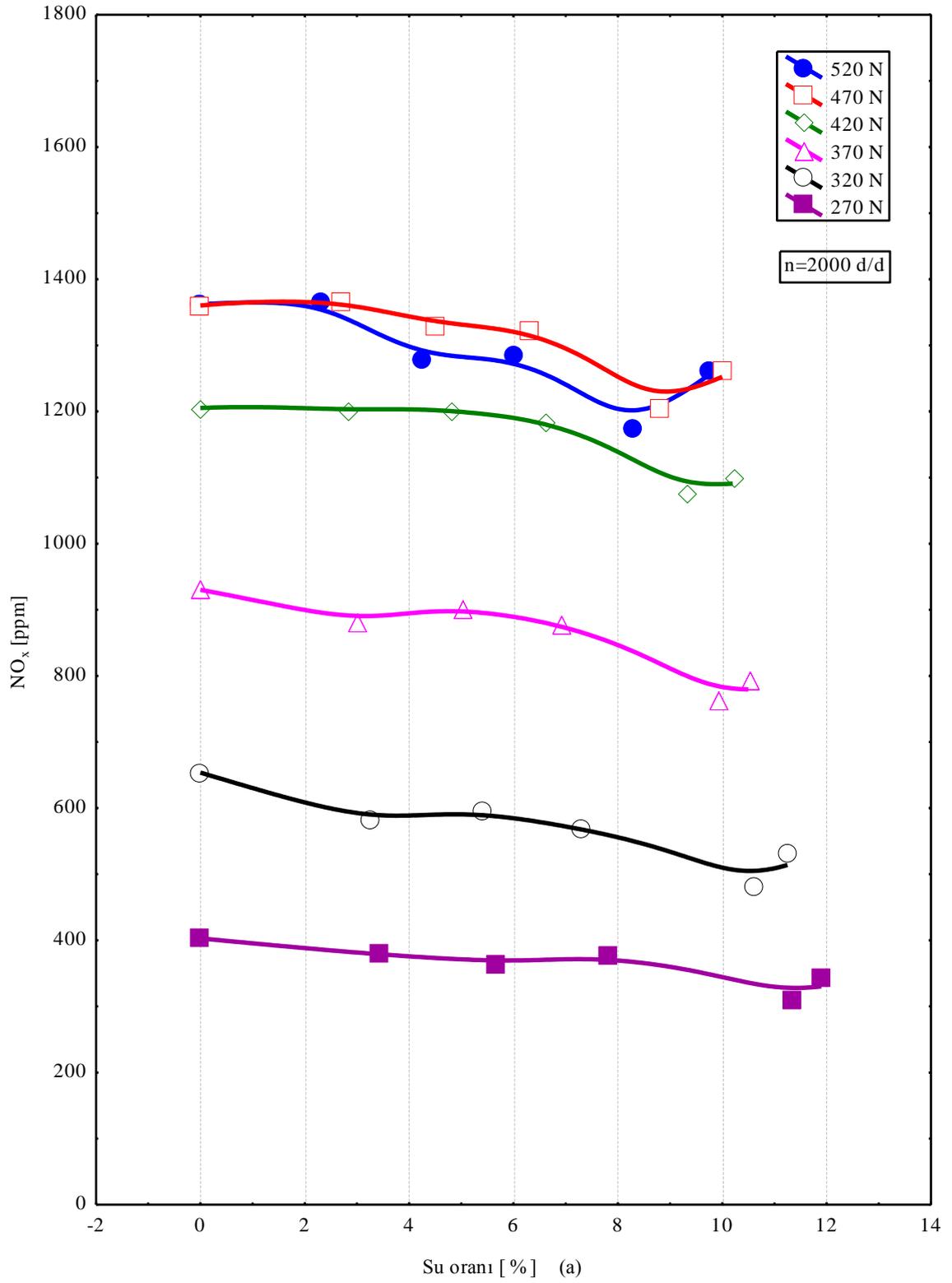
n=3000 d/d										
	460 N					360 N				
SO [%]	2.121	4.598	6.543	8.314	9.464	2.835	5.764	7.890	10.245	11.487
$\frac{\Delta NO_x}{NO_x}$ [%]	-2.056	-0.212	-6.380	-8.467	-11.884	0.327	-4.295	-10.072	-13.865	-17.659
	310 N					210 N				
SO [%]	3.104	6.432	8.821	11.217	12.945	3.813	7.802	10.907	13.343	16.184
$\frac{\Delta NO_x}{NO_x}$ [%]	2.321	-5.367	-12.925	-13.650	-16.010	9.160	-2.790	-9.529	-7.949	-14.741

Tablo 11. 3500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında NO_x konsantrasyonundaki değişim oranları

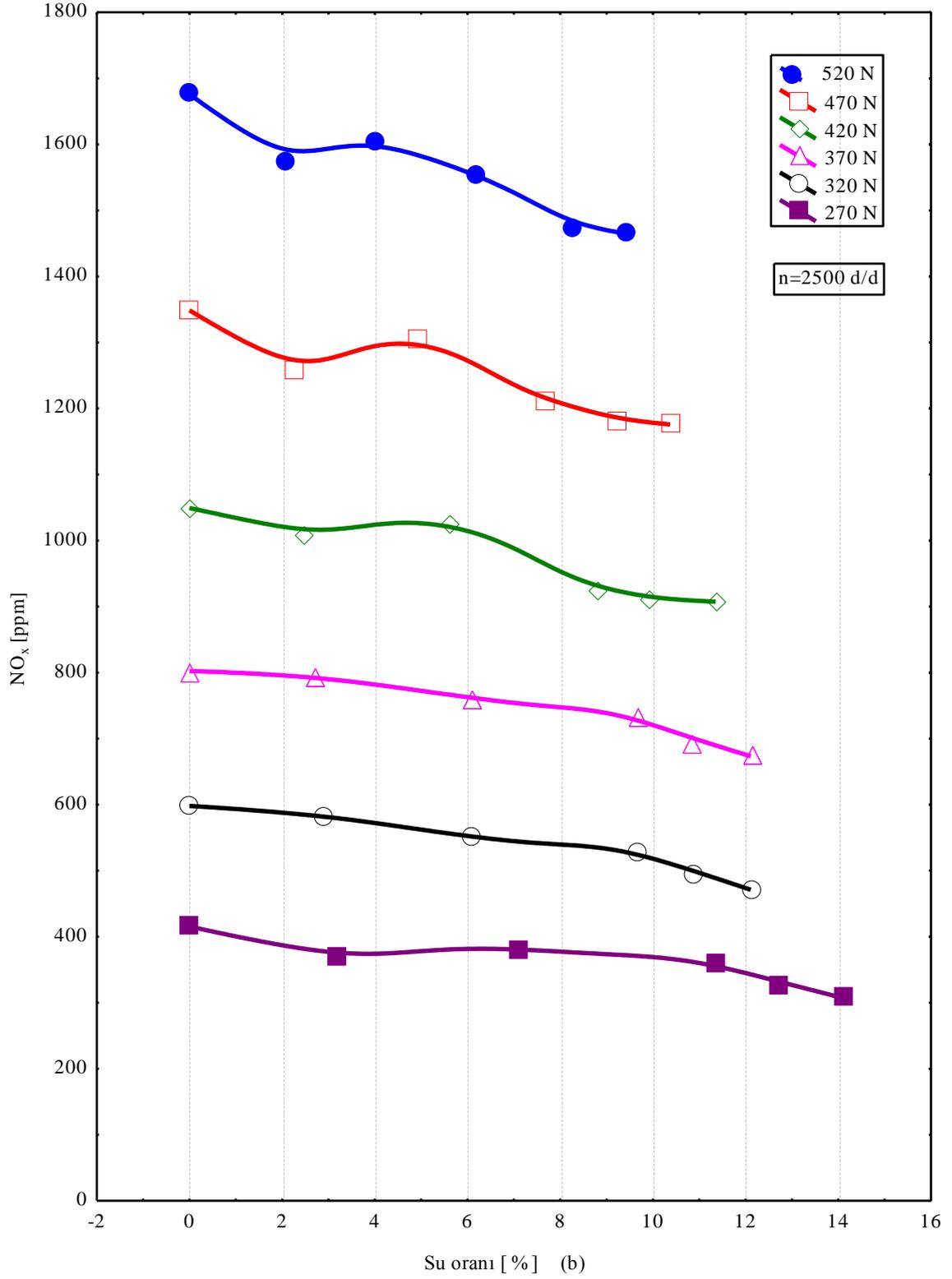
n=3500 d/d										
	420 N					320 N				
SO [%]	2.321	3.834	6.212	7.997	12.539	2.920	4.970	8.105	10.268	15.245
$\frac{\Delta NO_x}{NO_x}$ [%]	2.504	1.252	-7.710	-8.732	-1.203	6.609	0	-3.849	-8.206	-13.145
	270 N					170 N				
SO [%]	3.349	5.620	9.190	11.568	17.023	4.394	7.207	11.973	14.900	21.399
$\frac{\Delta NO_x}{NO_x}$ [%]	8.056	-3.330	0	-9.023	-16.327	0.864	-12.22	-0.987	-10.370	-22.465

Tablo 12. 4000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında NO_x konsantrasyonundaki değişim oranları

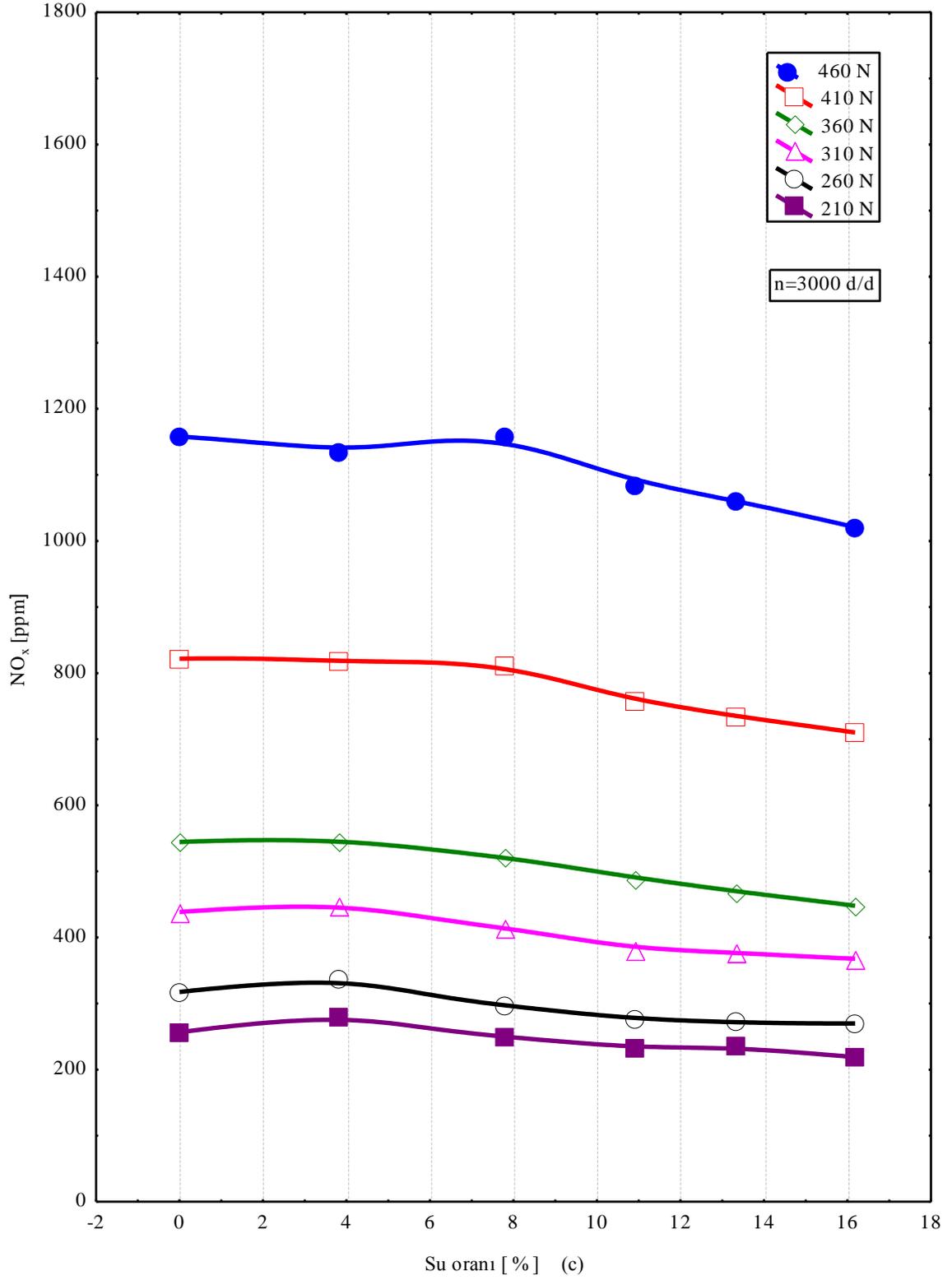
n=4000 d/d										
	400 N					300 N				
SO [%]	1.846	4.09	5.292	8	9.015	2.51	6.072	8.727	10.22	11.565
$\frac{\Delta NO_x}{NO_x}$ [%]	2.692	-1.732	-8.476	-0.986	-17.138	6.406	8.265	2.688	-13.813	-15.872
	250 N					150 N				
SO [%]	2.92	6.933	10.195	11.524	12.999	3.5	8.65	13.583	14.761	16.674
$\frac{\Delta NO_x}{NO_x}$ [%]	7.361	4.992	-0.255	-19.204	-24.197	4.050	5.615	-1.563	-23.588	-30.764



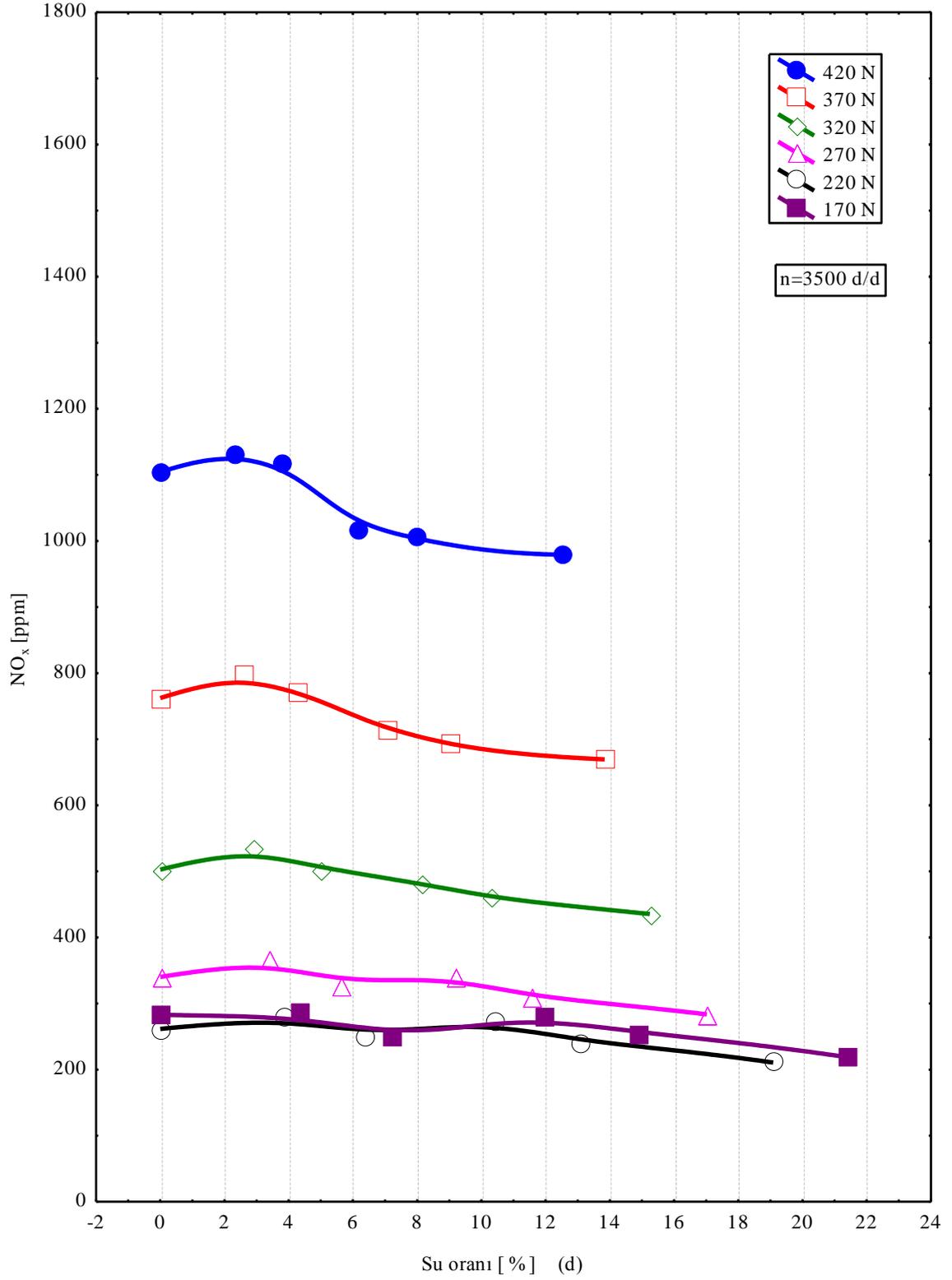
Şekil 18. (a) 2000 d/d'da farklı yüklerde NO_x oranının su oranına göre değişimleri



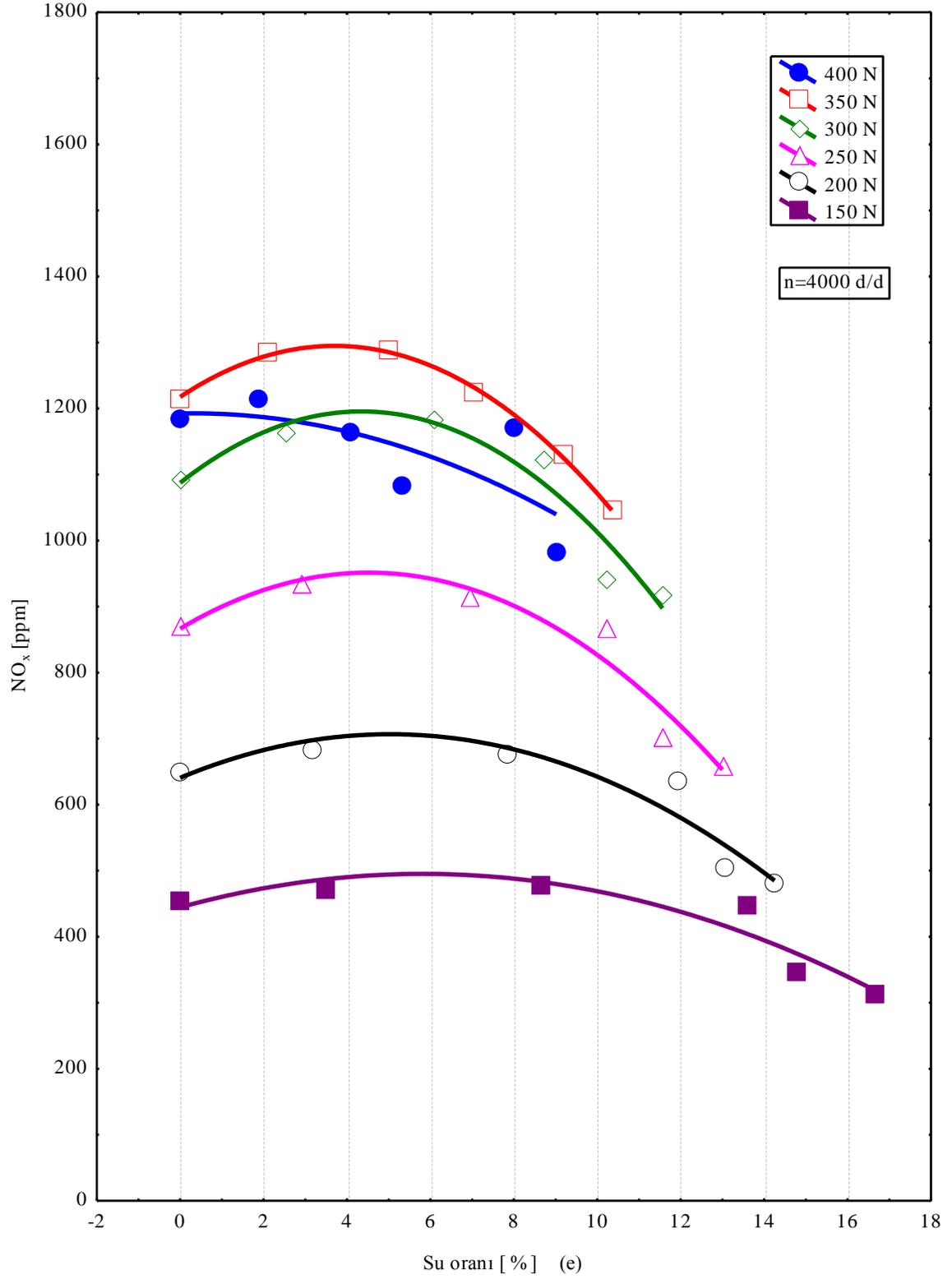
Şekil 18. (b) 2500 d/d'da farklı yüklerde NO_x oranının su oranına göre değişimleri



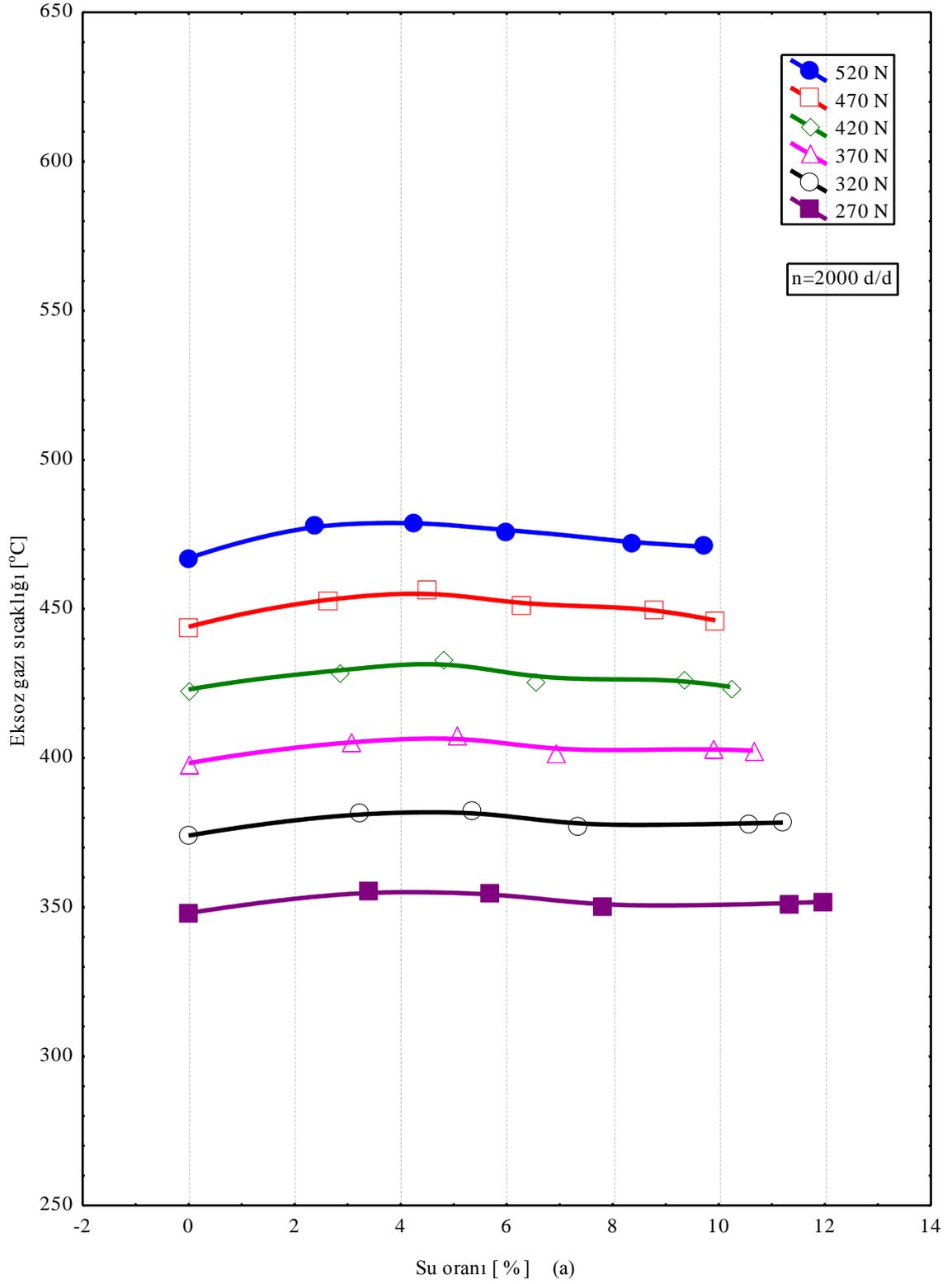
Şekil 18. (c) 3000 d/d'da farklı yüklerde NO_x oranının su oranına göre değişimleri



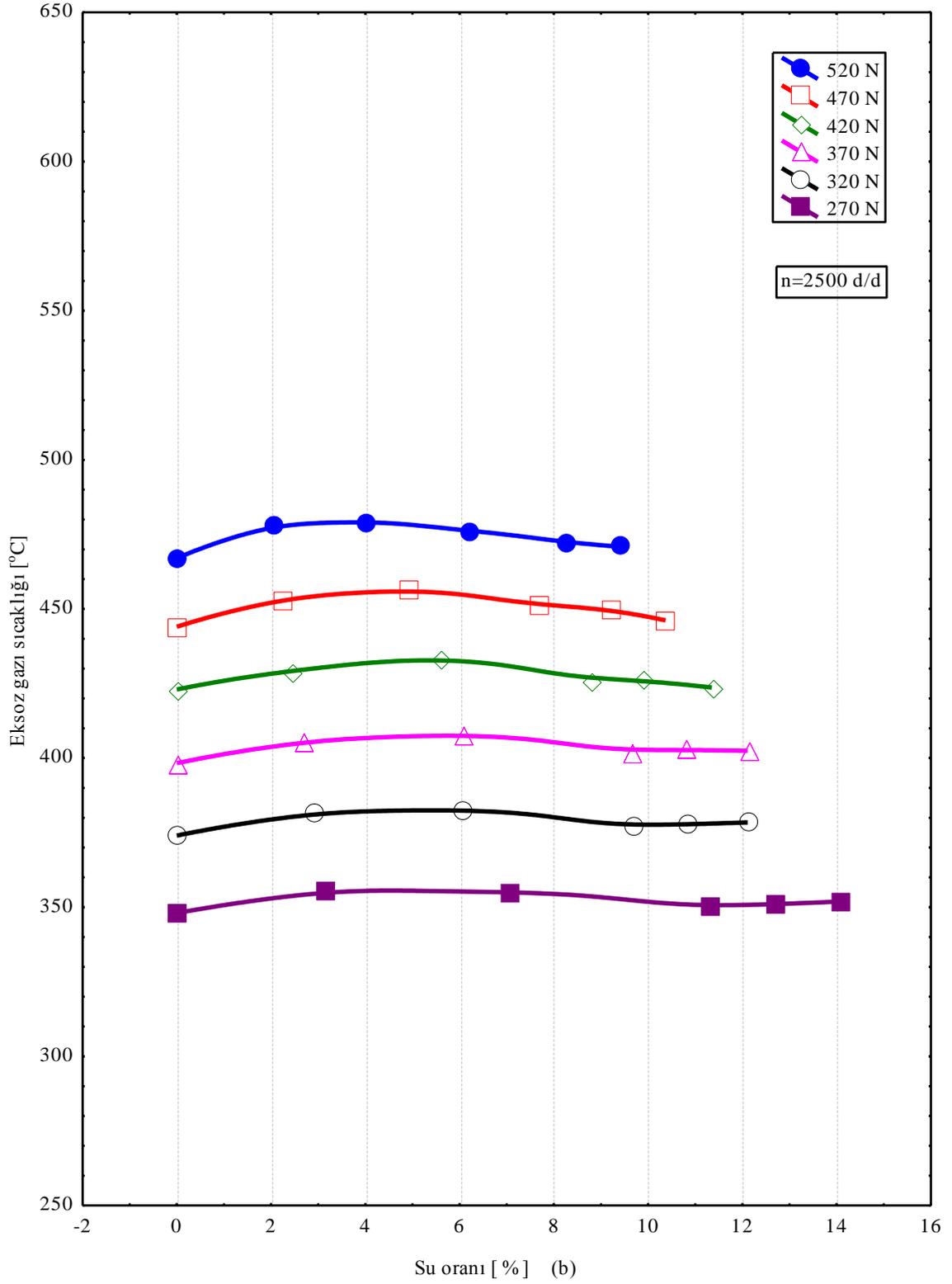
Şekil 18. (d) 3500 d/d'da farklı yüklerde NO_x oranının su oranına göre değişimleri



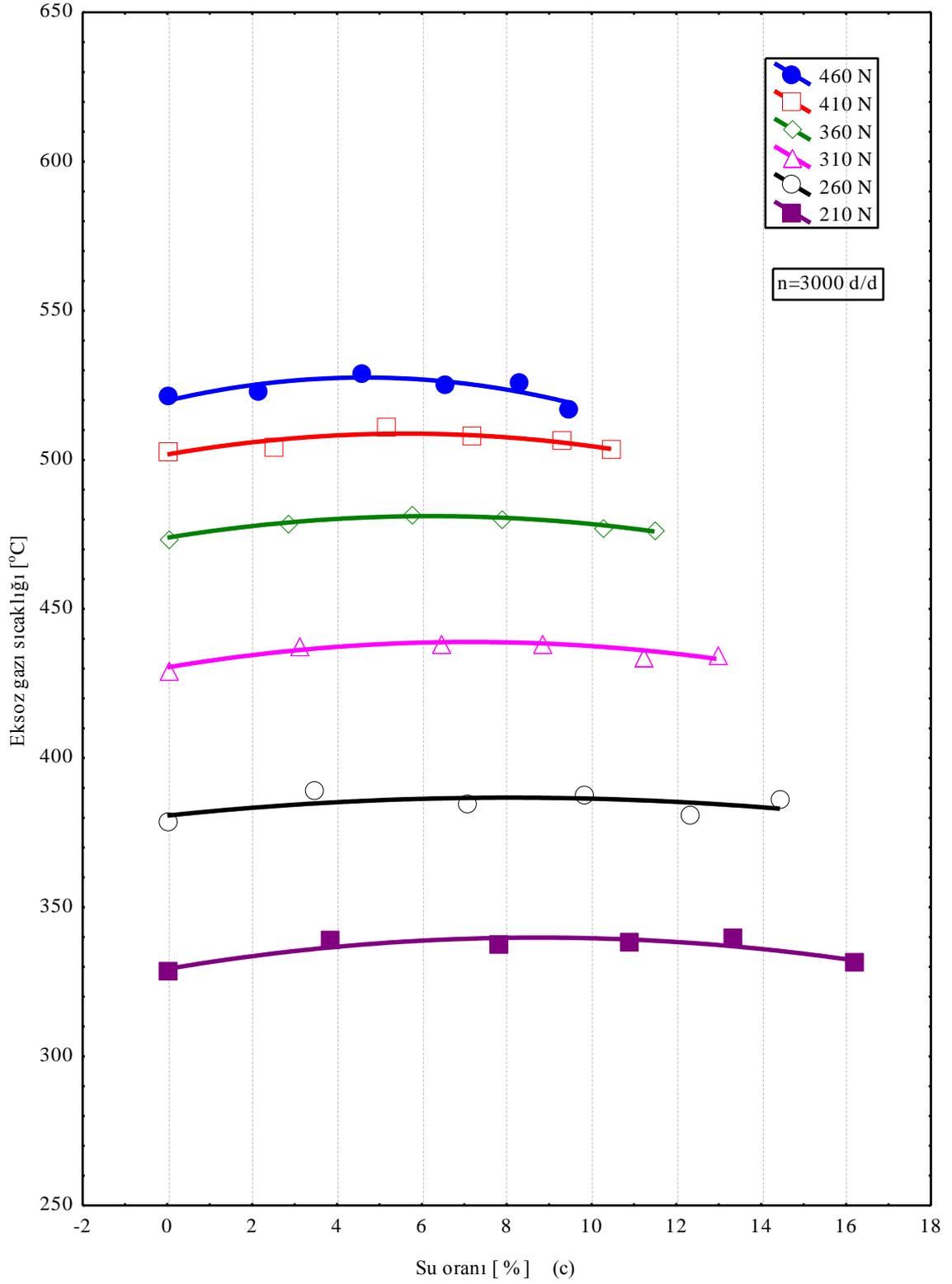
Şekil 18. (e) 4000 d/d'da farklı yüklerde NO_x oranının su oranına göre değişimleri



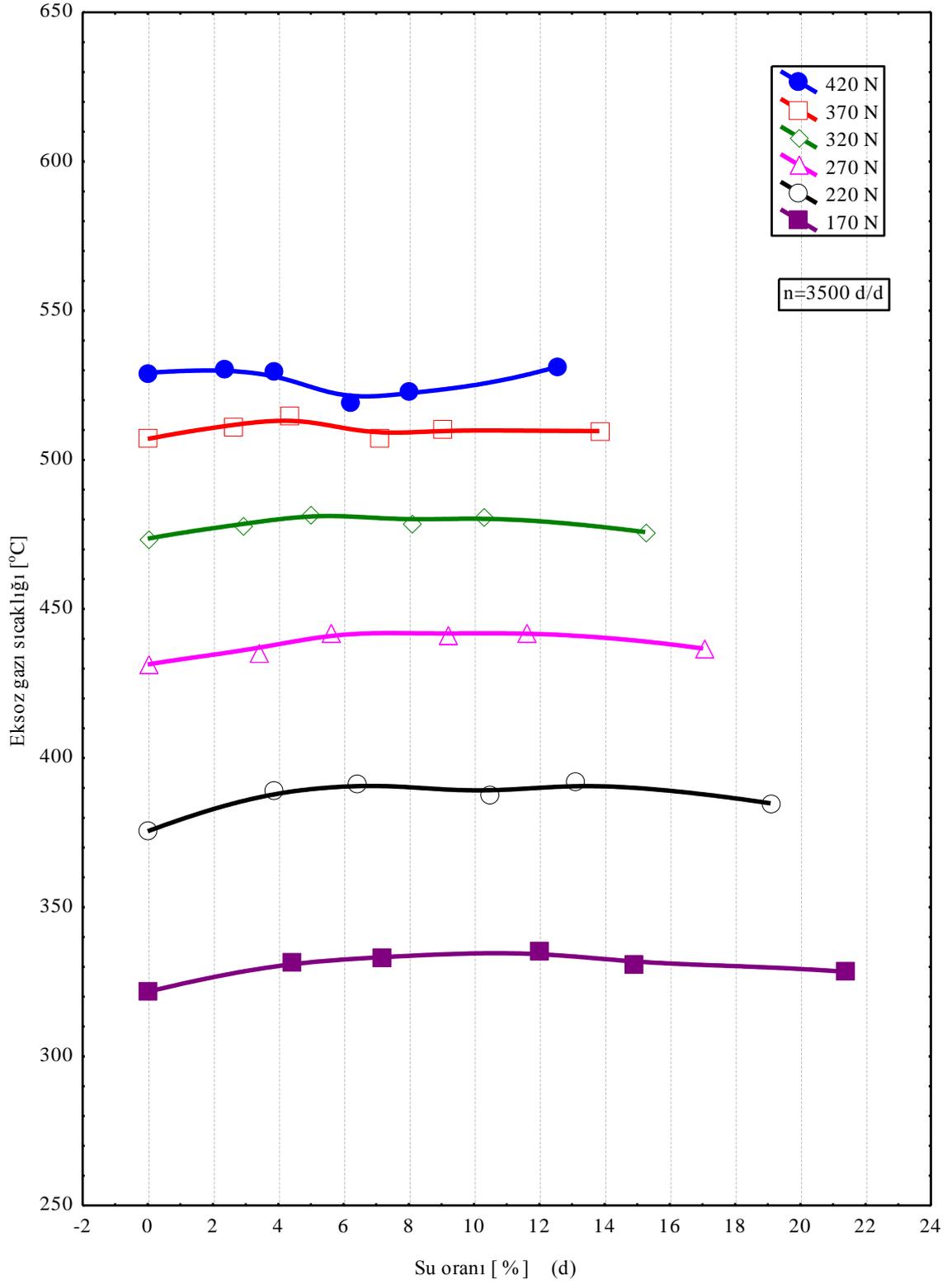
Şekil 19. (a) 2000 d/d'da farklı yüklerde eksoz gazı sıcaklığının değişimleri



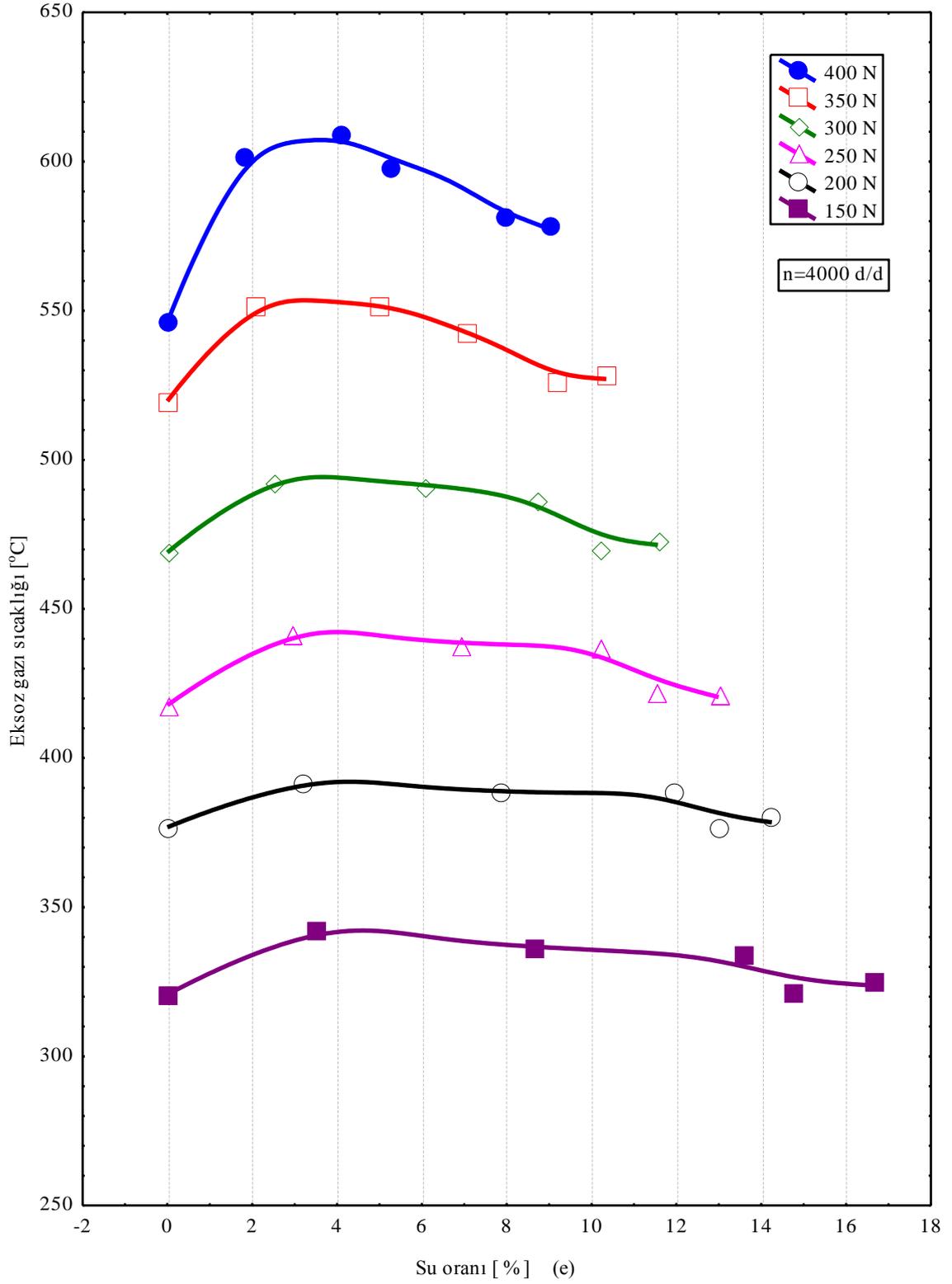
Şekil 19. (b) 2500 d/d'da farklı yüklerde eksoz gazı sıcaklığının değişimleri



Şekil 19. (c) 3000 d/d'da farklı yüklerde eksoz gazı sıcaklığının değişimleri



Şekil 19. (d) 3500 d/d'da farklı yüklerde eksoz gazı sıcaklığının değişimleri



Şekil 19. (e) 4000 d/d'da farklı yüklerde eksoz gazı sıcaklığının değişimleri

3.2. Suyun Özgül Yakıt Tüketimi ve Efektif Verim Üzerindeki Etkileri

Şekil 20 (a-e)'den görüldüğü gibi; (2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000) d/d olmak üzere 5 farklı devirde ve 6 farklı yükleme için motorun ÖYT'nin su oranına göre değişimleri verilmiştir. Şekil 20 (a)'da; 2000 d/d'da seçilen yüklerde, % (2-3) ve % (6-8) su oranı aralıklarında ÖYT'de artış gözlenmiştir. % (4-6) su oranı aralığında ise ÖYT'de azalma gerçekleşmiştir. Tablo 13'ten de görüldüğü gibi maksimum azalma 270 N yükte % 5.683 su oranında ve 520 N yükte % 5.993 su oranında sırasıyla % 1.763 ve % 1.199 oranlarında meydana gelmiştir. ÖYT'deki en iyi iyileşme yaklaşık % 6 su oranında sağlanmıştır.

Şekil 21 (a-e)'den görüldüğü gibi; seçilen her 5 devir sayısında 6 farklı yükleme durumu için efektif verimin su oranına göre değişimleri verilmiştir. Tablo 14'ten de görüldüğü gibi 2000 d/d'de belirlenen yüklerde % (2-3) ve % (6-8) su oranı aralıklarında efektif verimde azalma gerçekleşmiştir. % (4-6) su oranı aralığında ise efektif verimde artış görülmüştür. Tablo 14'ten de görüldüğü gibi maksimum azalma 520 N yükte % 2.392 su oranında ve 270 N yükte % 7.792 su oranında sırasıyla % 1.720 ve % 1.636 oranlarında meydana gelmiştir.

Şekil 20 (b)'de 2500 d/d'da; seçilen yüklerde ÖYT'nin su oranına göre değişimleri verilmiştir ve ayrıca Tablo 15'te su oranı ile ÖYT'de meydana gelen artma ve azalma oranları sunulmuştur. 2000 d/d'da ÖYT genel olarak artma eğilimi göstermiştir. Tablo 15'ten görüldüğü gibi, ÖYT'de maksimum azalma 370 N yükte % 9.642 su oranında % 1.075 oranında belirlenmiştir. 420 N yükte maksimum azalma % 8.806 su oranında % 0.546 oranında olmuştur. Diğer yüklerdeki artma ve azalma oranları Tablo 15'te gösterilmiştir.

Şekil 21 (b)'de 2500 d/d'da seçilen yüklerde efektif verimin su oranına göre değişimleri gösterilmiştir. Buradan görüldüğü gibi efektif verim % (5.5-9) su oranlarında çok az da olsa artış göstermiştir. % 9 su oranından sonra efektif verim azalmaya başlamıştır. Tablo 16'da farklı su oranlarında seçilen yük durumları için efektif verimdeki artış ve azalma oranları gösterilmiştir. Tablo 16'dan görülebileceği gibi efektif verimdeki maksimum artışlar 270 N yükte % 7.088 su oranında ve 420 N yükte % 8.806 su oranında sırasıyla % 1.402 ve % 1.304 oranlarında gerçekleşmiştir. (520, 470 ve 420) N gibi yüksek yüklerde yaklaşık olarak % 9'dan sonraki su oranlarında efektif verimde azalma gözlenmiştir. Yine ilgili yüklerde yaklaşık % 5.5 su oranından sonra efektif verim artmıştır. 2500 d/d'da efektif verim için % (5.5-9) arasındaki su oranları tercih edilebilir.

Şekil 20 (c)'de, 3000 d/d'da seçilen yüklerde ÖYT'nin su oranına göre değişimleri gösterilmiştir. İlgili şekilden görüldüğü gibi; 3000 d/d'da ÖYT, (460, 360 ve 310) N yüklerde genellikle azalma eğilimi, 210 N yükte ise artma eğilimi göstermiştir. 3000 d/d'da seçilen yük ve su oranları için ÖYT'deki artma ve azalma oranları Tablo 17'de verilmiştir. Söz konusu tablodan görüldüğü gibi, ÖYT'deki maksimum azalmalar Tablo 17'den görüldüğü gibi, 360 N yükte % 10.245 su oranında, 310 N yükte % 11.217 su oranında sırasıyla % 1.591 ve % 1.539 değerlerinde elde edilmiştir. ÖYT'deki maksimum artma ise 210 N yükte % 7.802 su oranında % 2.129 olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 21 (c)'de, 3000 d/d'da seçilen yüklerde efektif verimin su oranlarına göre değişimleri gösterilmiştir. Ayrıca Tablo 18'de su oranı ile efektif verimdeki artma ve azalma oranları verilmiştir. İlgili tablodan görüldüğü gibi; efektif verimdeki maksimum artma, 360 N yükte % 10.245 su oranında, yine aynı yükte % 7.890 su oranında, 310 N yükte % 11.217 su oranında sırasıyla % 1.792, % 1.521 ve % 1.700 oranlarında gerçekleşmiştir. 460 N yükte % (4-9) arasındaki su oranlarında efektif verim artmıştır. Bununla birlikte 210 N yükte seçilen su oranlarının tamamında efektif verim azalmıştır. 3000 d/d'da 210 N yükün dışındaki yük değerlerinde efektif verimin SDY ile hemen hemen aynı düzeyde olduğu söylenebilir.

Şekil 20 (d)'de, 3500 d/d'da seçilen yüklerde ÖYT'nin su oranına göre değişimleri sunulmuştur. Söz konusu şekilden görüldüğü gibi 3500 d/d'da seçilen yük oranları için ÖYT su oranı ile genel olarak azalma eğilimi göstermiştir. Deneylerde kullanılan motorda ÖYT'nin en iyi azaldığı devir 3500 d/d olmuştur. Tablo 19'dan da görüldüğü gibi maksimum azalmalar, 270 N yükte % 17.023 su oranında, 320 N yükte % 10.268 su oranında, 170 N yükte % 11.973 su oranında ve 420 N yükte % 7.997 su oranında sırasıyla % 5.253, % 5.138, % 5.096 ve % 4.356 şeklinde bulunmuştur.

Şekil 21 (d)'de 3500 d/d'da seçilen yüklerde efektif verimin su oranına göre değişimleri incelendiğinde, efektif verimin genellikle artma eğiliminde olduğu görülür. Tablo 20'den de görüldüğü gibi, maksimum artışlar 170 N yükte % 11.973 su oranında, 270 N yükte % 17.023 su oranında, 320 N yükte % 15.245 su oranında, 420 N yükte % 12.539 su oranında sırasıyla % 5.797, % 5.465, % 5.345 ve % 4.680 oranlarında gerçekleşmiştir.

Şekil 20 (e)'de 4000 d/d'da seçilen yüklerdeki ÖYT'nin su oranına göre değişimleri sunulmuştur. 400 N yükleme durumunda ÖYT'nin % 8 su oranına kadar arttığı ve daha sonra azalmaya başladığı görülebilir. Diğer yük durumlarında ÖYT genellikle su oranı ile

azalmıştır. Tablo 21’den görüldüğü gibi, maksimum azalmalar, 300 N yükte % 11.565 su oranında, 250 N yükte % 12.999 su oranında ve 150 N yükte % 16.674 su oranında sırasıyla % 3.721, % 4.036 ve % 3.088 oranlarında elde edilmiştir.

Şekil 21 (e)’de 4000 d/d’da seçilen yüklerde efektif verimin su oranına göre değişimleri sunulmuştur. İlgili şekilden görüldüğü gibi efektif verimdeki değişim ÖYT’deki değişime benzemektedir. Tablo 22’de efektif verimde su oranı ile meydana gelen artma ve azalma oranları sunulmuştur. Efektif verimdeki maksimum artışlar 300 N yükte % 11.565 su oranında, 250 N yükte % 12.999 su oranında, 150 N yükte % 16.674 su oranında ve 400 N yükte % 4.09 su oranında sırasıyla % 3.553, % 3.655, % 3.681 ve % 9.091 oranlarında elde edilmiştir.

Tablo 13. 2000 d/d’da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında ÖYT’deki değişim oranları

n=2000 d/d										
	520 N					420 N				
SO [%]	2.392	4.225	5.993	8.351	9.720	2.857	4.780	6.553	9.315	10.214
$\frac{\Delta b_e}{b_e}$ [%]	1.798	0.594	-1.199	0.948	1.613	1.304	0.239	-1.141	0.462	0.815
	370 N					270 N				
SO [%]	3.042	5.060	6.923	9.874	10.648	3.386	5.683	7.792	11.333	11.952
$\frac{\Delta b_e}{b_e}$ [%]	1.070	-0.182	-0.535	0.465	0.599	0.453	-1.763	1.260	0.630	0.222

Tablo 14. 2000 d/d’da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif verimdeki değişim oranları

n=2000 d/d										
	520 N					420 N				
SO [%]	2.392	4.225	5.993	8.351	9.720	2.857	4.780	6.553	9.315	10.214
$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$ [%]	-1.720	-0.591	1.294	-0.917	-1.547	-1.148	0.065	1.298	-0.348	-0.691
	370 N					270 N				
SO [%]	3.042	5.060	6.923	9.874	10.648	3.386	5.683	7.792	11.333	11.952
$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$ [%]	-0.883	0.442	0.883	-0.221	-0.442	-0.467	1.402	-1.636	-0.701	-0.467

Tablo 15. 2500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında ÖYT'deki değişim oranları

n=2500 d/d										
	520 N					420 N				
SO [%]	2.065	4.013	6.196	8.261	9.400	2.432	5.615	8.806	9.898	11.353
$\frac{\Delta b_e}{b_e}$ [%]	1.087	2.174	1.630	0	2.717	1.640	0.546	-0.546	1.640	4.918
	370 N					270 N				
SO [%]	2.677	6.078	9.642	10.814	12.111	3.16	7.088	11.342	12.717	14.097
$\frac{\Delta b_e}{b_e}$ [%]	1.613	0.538	-1.075	1.618	5.376	2.020	0.505	0.505	2.020	4.545

Tablo 16. 2500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif verimdeki değişim oranları

n=2500 d/d										
	520 N					420 N				
SO [%]	2.065	4.013	6.196	8.261	9.400	2.432	5.615	8.806	9.898	11.353
$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$ [%]	-1.732	-0.649	1.299	-0.866	-1.515	-1.087	0	1.304	-0.435	-0.652
	370 N					270 N				
SO [%]	2.677	6.078	9.642	10.814	12.111	3.16	7.088	11.342	12.717	14.097
$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$ [%]	-0.833	0.091	0.883	-0.221	-0.442	-0.467	1.402	-1.636	-0.701	-0.467

Tablo 17. 3000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında ÖYT'deki değişim oranları

n=3000 d/d										
	460 N					360 N				
SO [%]	2.121	4.598	6.543	8.314	9.464	2.835	5.764	7.890	10.245	11.487
$\frac{\Delta b_e}{b_e}$ [%]	0.655	-0.481	-0.565	-0.677	0.677	-0.825	-0.999	-1.504	-1.591	0.793
	310 N					210 N				
SO [%]	3.104	6.432	8.821	11.217	12.945	3.813	7.802	10.907	13.343	16.184
$\frac{\Delta b_e}{b_e}$ [%]	-0.902	-0.438	-1.079	-1.539	0.865	0.979	2.129	1.649	-0.588	1.200

Tablo 18. 3000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif verimdeki değişim oranları

n=3000 d/d										
	460 N					360 N				
SO [%]	2.121	4.598	6.543	8.314	9.464	2.835	5.764	7.890	10.245	11.487
$\frac{\Delta\eta_e}{\eta_e}$ [%]	-1.047	0.031	0.210	0.314	-1.240	0.669	1.095	1.521	1.792	-0.788
	310 N					210 N				
SO [%]	3.104	6.432	8.821	11.217	12.945	3.813	7.802	10.907	13.343	16.184
$\frac{\Delta\eta_e}{\eta_e}$ [%]	1.052	0.559	1.236	1.700	-0.771	-0.249	-2.682	-1.629	-0.637	-1.277

Tablo 19. 3500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında ÖYT'deki değişim oranları

n=3500 d/d										
	420 N					320 N				
SO [%]	2.321	3.834	6.212	7.997	12.539	2.920	4.970	8.105	10.268	15.245
$\frac{\Delta b_e}{b_e}$ [%]	-0.930	-3.486	-2.452	-4.356	-3.158	-3.678	-3.515	-3.574	-5.138	-4.865
	270 N					170 N				
SO [%]	3.349	5.620	9.190	11.568	17.023	4.394	7.207	11.973	14.900	21.399
$\frac{\Delta b_e}{b_e}$ [%]	-4.309	-3.471	-4.261	-4.940	-5.253	-4.104	-3.351	-5.096	-4.343	-3.394

Tablo 20. 3500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif verimdeki değişim oranları

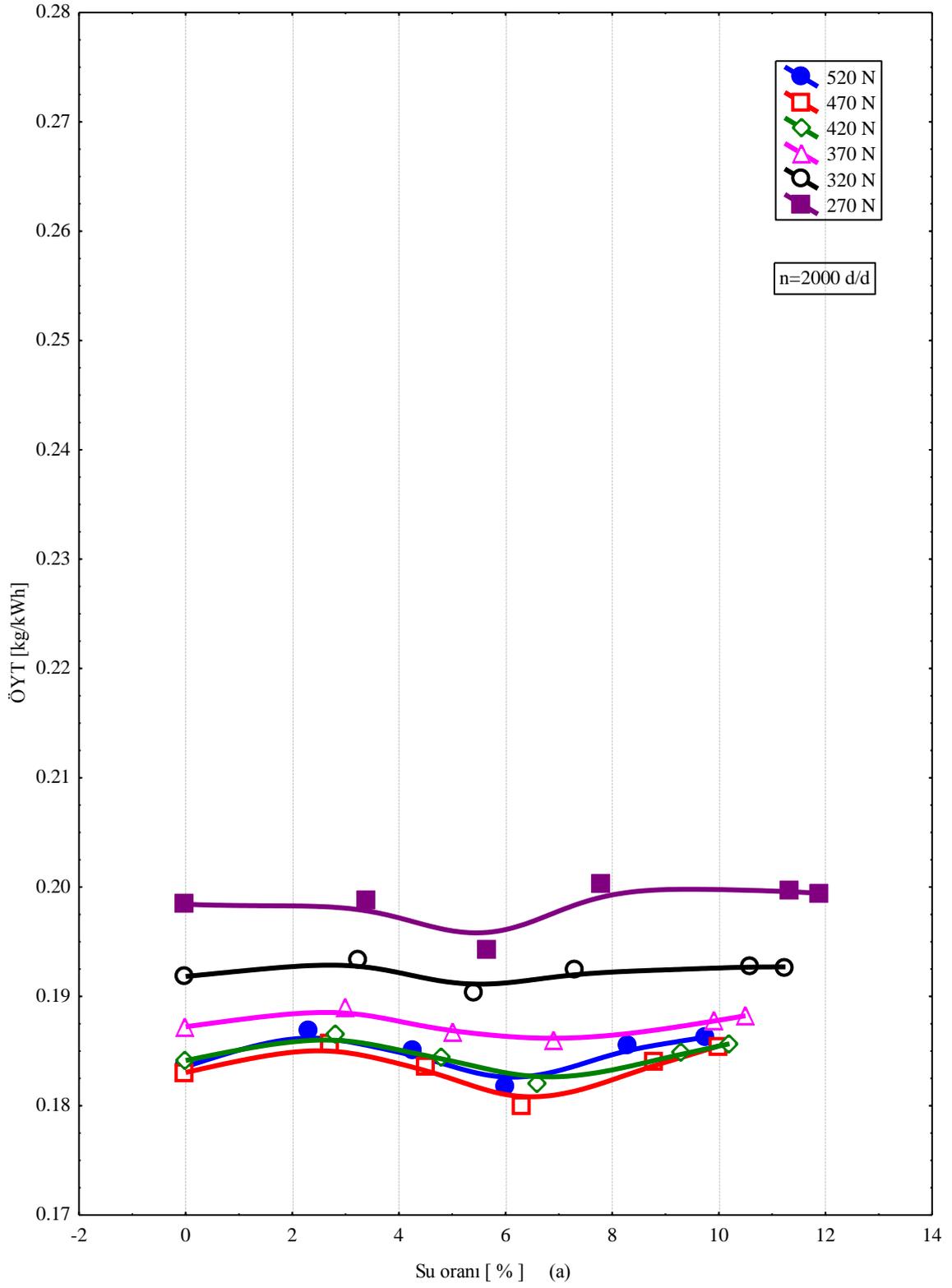
n=3500 d/d										
	420 N					320 N				
SO [%]	2.321	3.834	6.212	7.997	12.539	2.920	4.970	8.105	10.268	15.245
$\frac{\Delta\eta_e}{\eta_e}$ [%]	1.104	3.670	2.566	3.318	4.680	3.682	3.583	3.782	5.041	5.345
	270 N					170 N				
SO [%]	3.349	5.620	9.190	11.568	17.023	4.394	7.207	11.973	14.900	21.399
$\frac{\Delta\eta_e}{\eta_e}$ [%]	4.389	3.558	4.130	5.057	5.465	4.871	4.059	5.797	5.224	4.234

Tablo 21. 4000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında ÖYT'deki değişim oranları

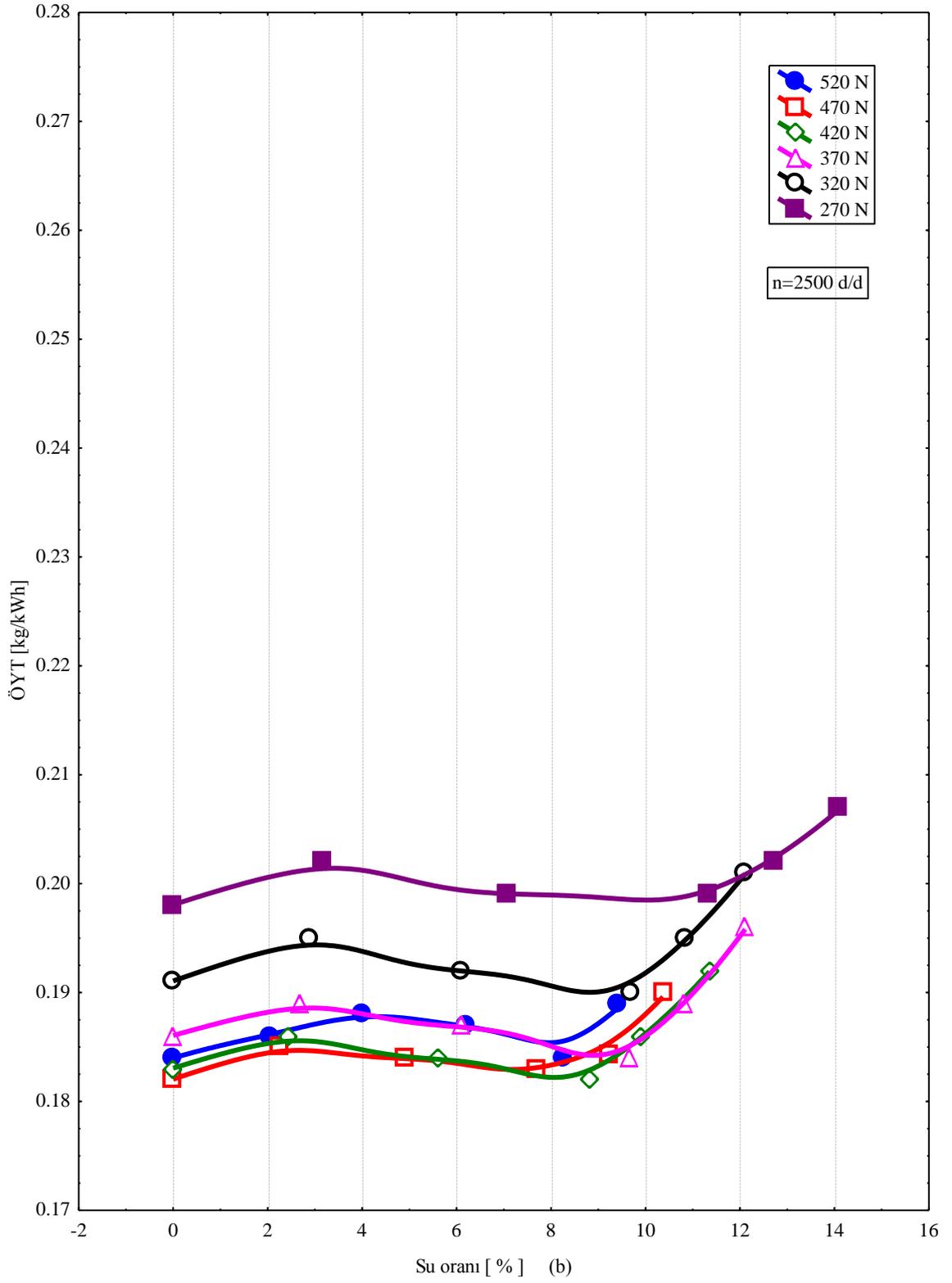
n=4000 d/d										
	400 N					300 N				
SO [%]	1.846	4.09	5.292	8	9.015	2.51	6.072	8.727	10.22	11.565
$\frac{\Delta b_e}{b_e}$ [%]	8.182	9.091	6.818	-1.364	-1.364	-1.395	0	-1.395	-2.791	-3.721
	250 N					150 N				
SO [%]	2.92	6.933	10.195	11.524	12.999	3.5	8.65	13.583	14.761	16.674
$\frac{\Delta b_e}{b_e}$ [%]	-1.794	-2.242	-3.139	-3.139	-4.036	4.247	-0.386	-1.931	-1.158	-3.088

Tablo 22. 4000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif verimdeki değişim oranları

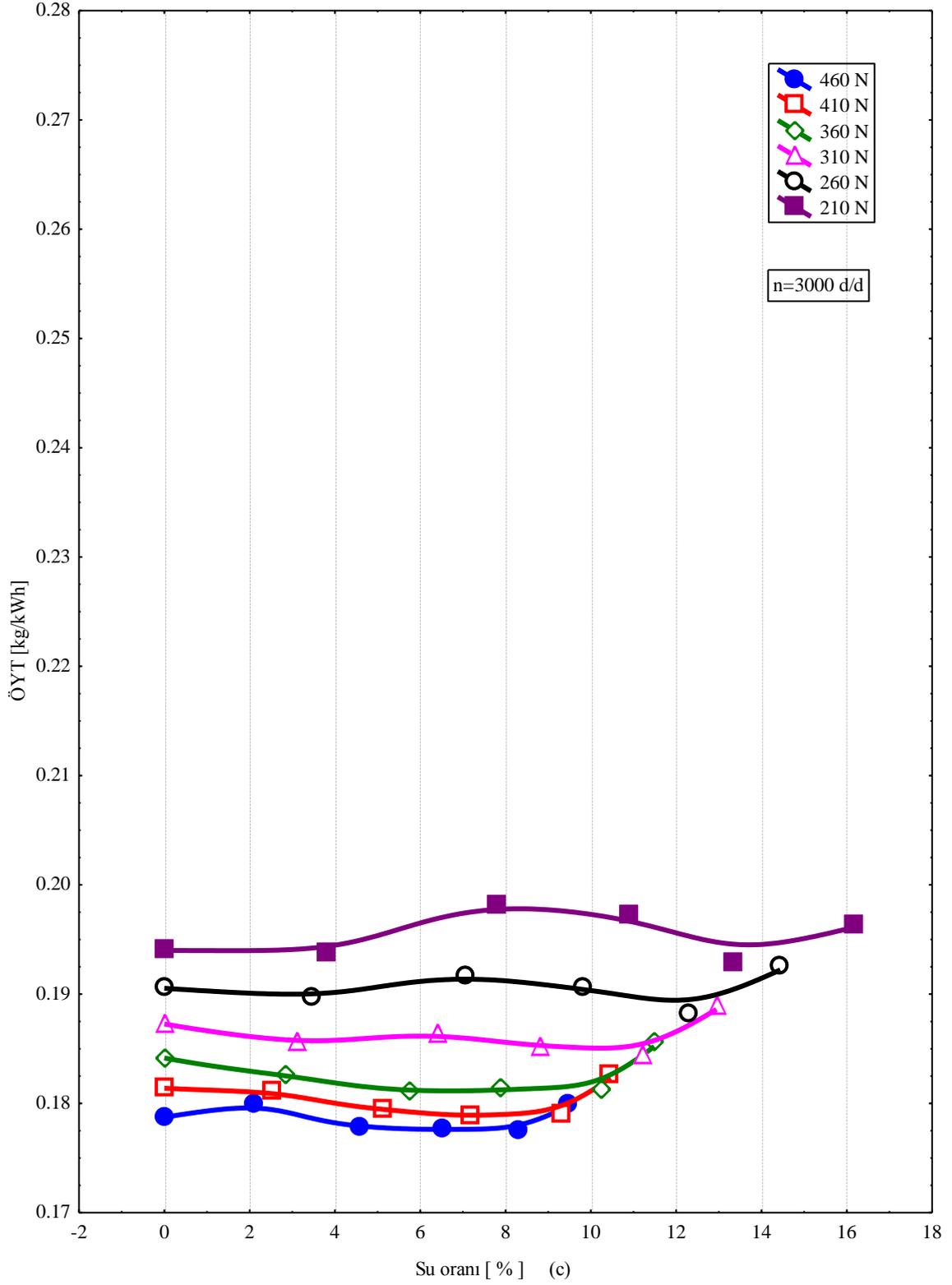
n=4000 d/d										
	400 N					300 N				
SO [%]	1.846	4.09	5.292	8	9.015	2.51	6.072	8.727	10.22	11.565
$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$ [%]	-6.753	-7.792	-5.195	1.818	1.558	0.254	-0.508	0.761	2.538	3.553
	250 N					150 N				
SO [%]	2.92	6.933	10.195	11.524	12.999	3.5	8.65	13.583	14.761	16.674
$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$ [%]	0.783	1.044	2.089	2.089	3.655	-3.067	1.227	2.761	1.227	3.681



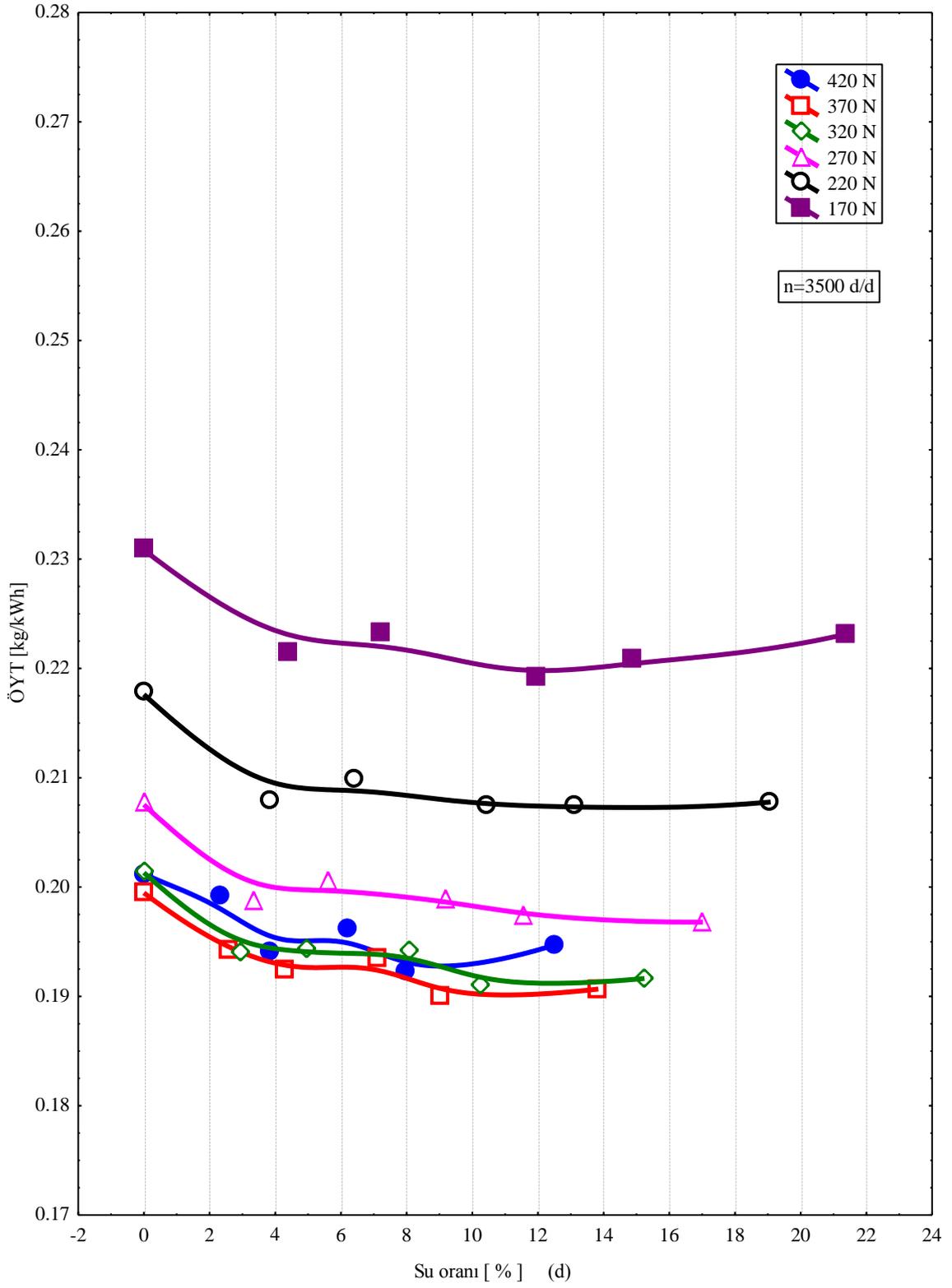
Şekil 20. (a) 2000 d/d'da farklı yüklerde ÖYT'nin su oranına göre değişimleri



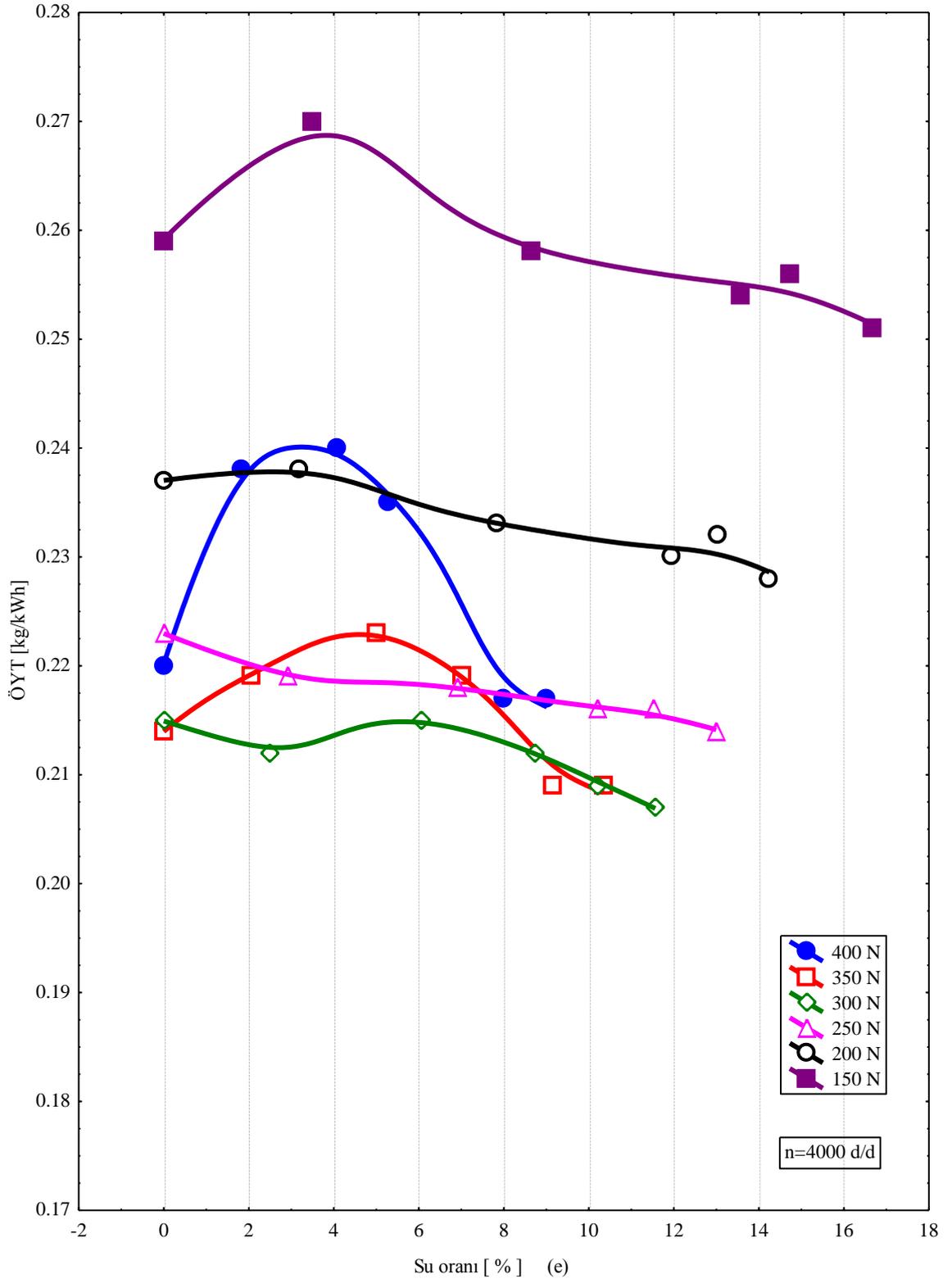
Şekil 20. (b) 2500 d/d'da farklı yüklerde ÖYT'nin su oranına göre değişimleri



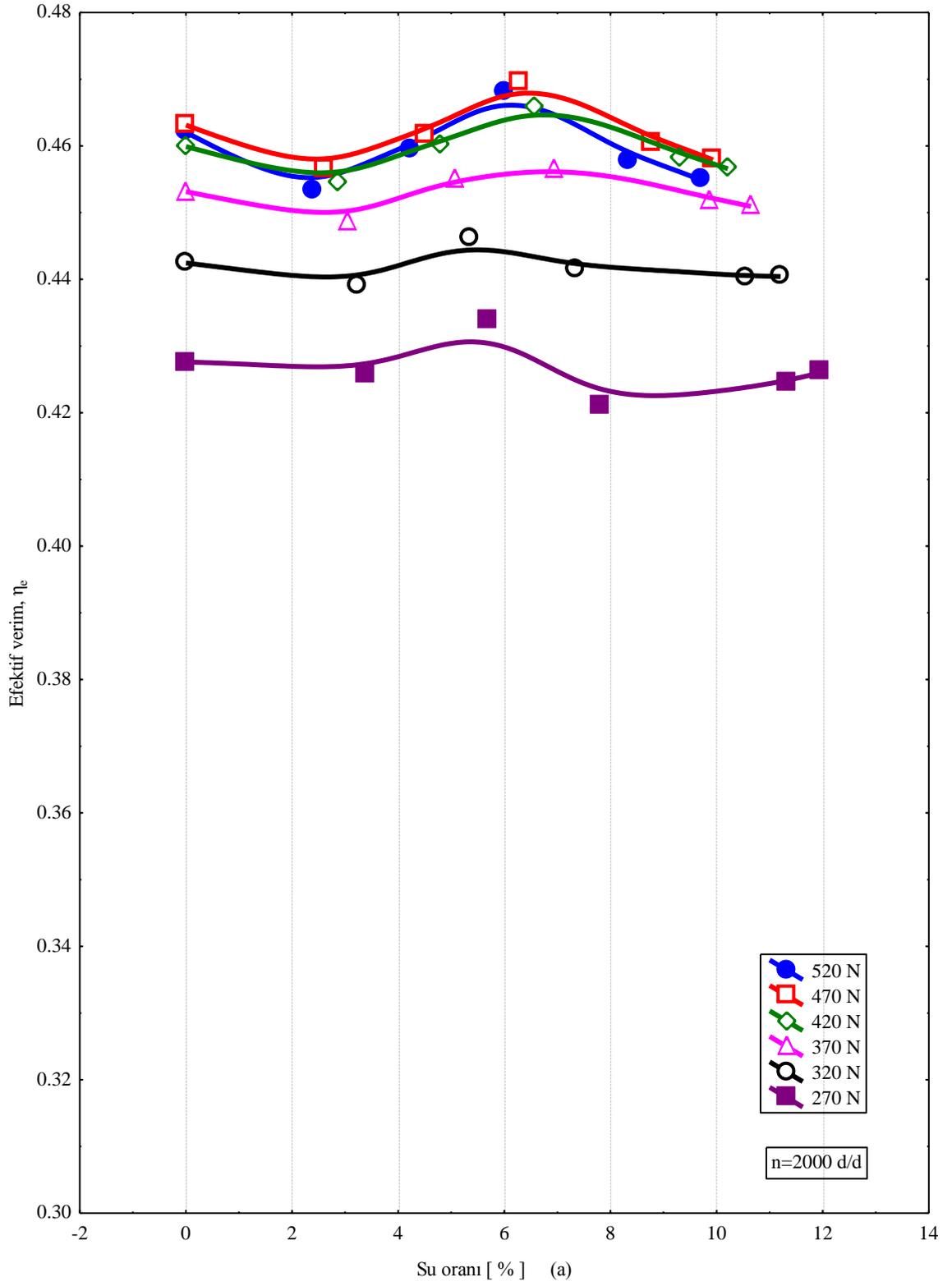
Şekil 20. (c) 3000 d/d'da farklı yüklerde ÖYT'nin su oranına göre değişimleri



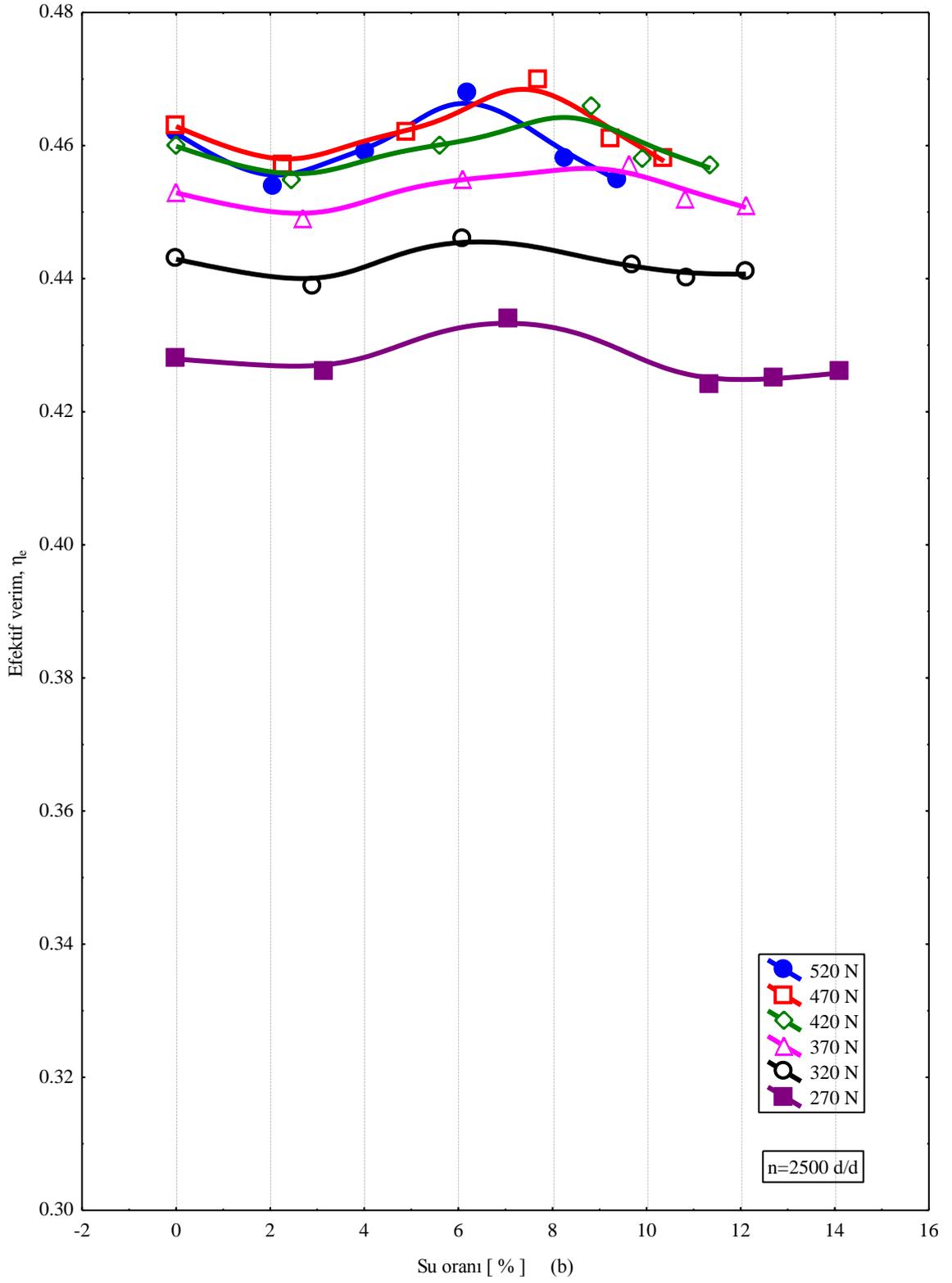
Şekil 20. (d) 3500 d/d'da farklı yüklerde ÖYT'nin su oranına göre değişimleri



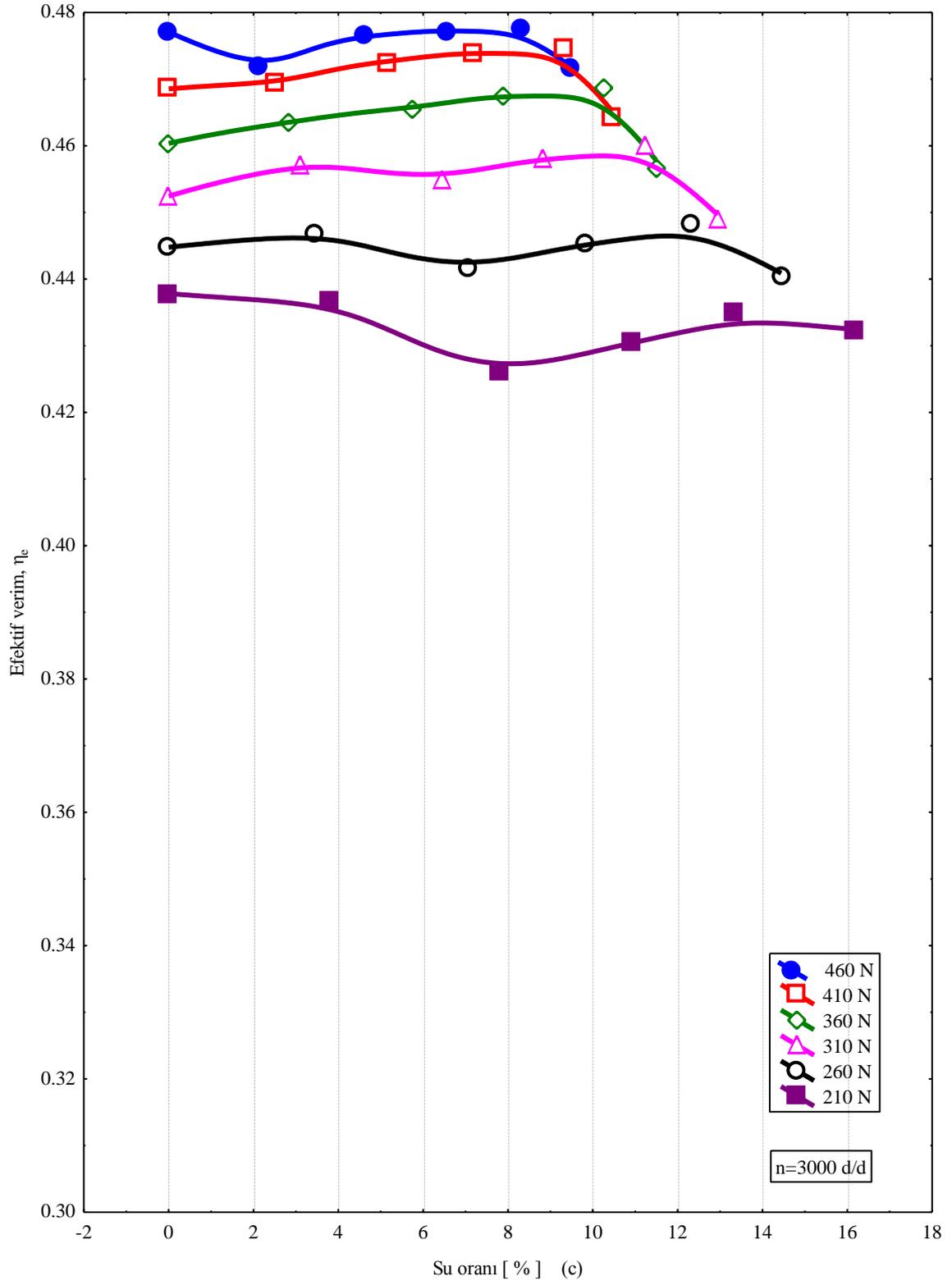
Şekil 20. (e) 4000 d/d'da farklı yüklerde ÖYT'nin su oranına göre değişimleri



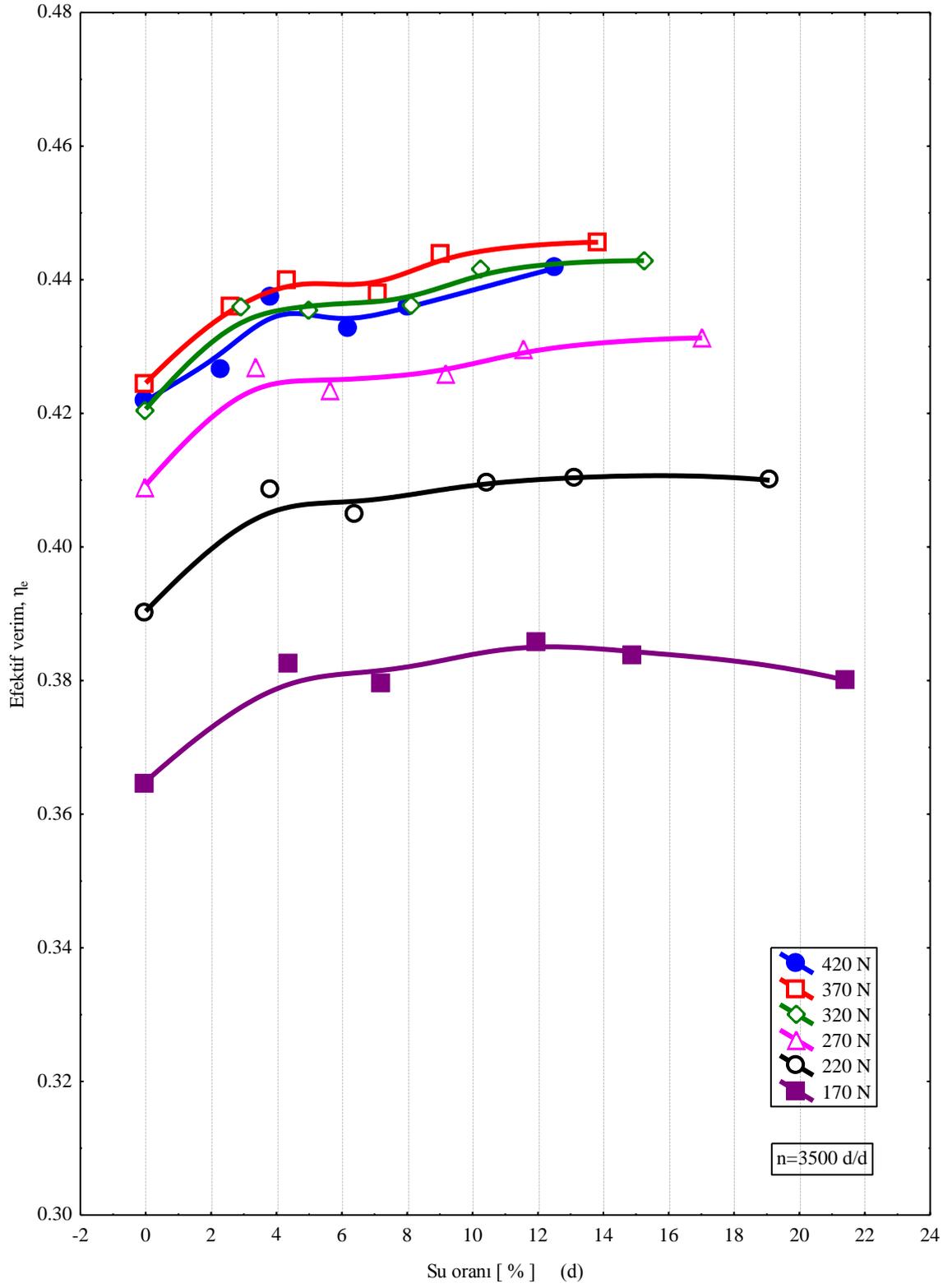
Şekil 21. (a) 2000 d/d'da farklı yüklerde efektif verimin su oranına göre değişimleri



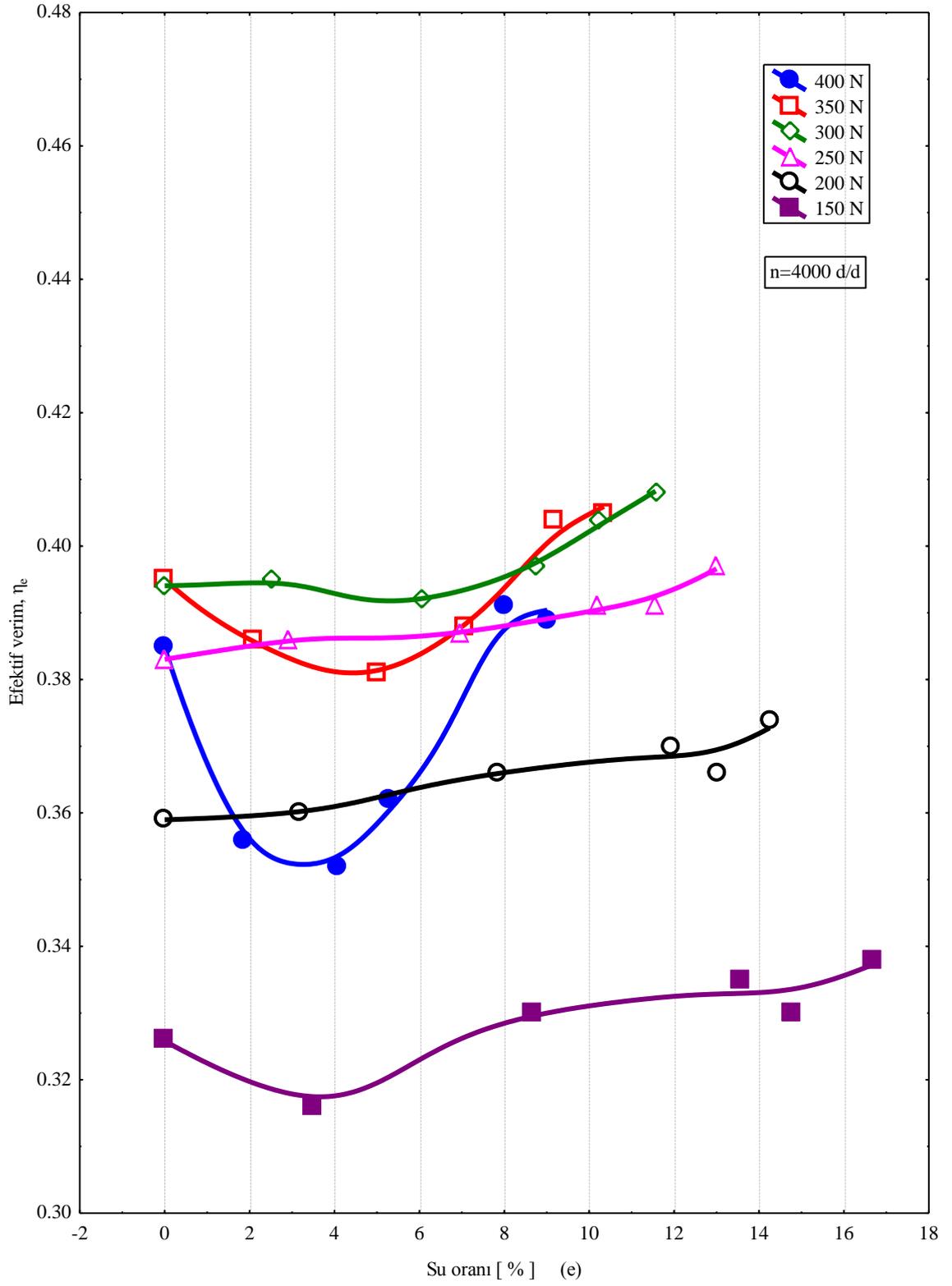
Şekil 21. (b) 2500 d/d'da farklı yüklerde efektif verimin su oranına göre değişimleri



Şekil 21. (c) 3000 d/d'da farklı yüklerde efektif verimin su oranına göre değişimleri



Şekil 21. (d) 3500 d/d'da farklı yüklerde efektif verimin su oranına göre değişimleri



Şekil 21. (e) 4000 d/d'da farklı yüklerde efektif verimin su oranına göre değışimleri

Literatürde de, düşük yüklerde efektif verimin SDY'den düşük olduğu ÖYT'nin yine düşük yüklerde SDY'den daha yüksek çıktığı belirtilmektedir [18]. Ayrıca % 2 su oranında suyun oranı çok düşük olduğundan, su eklenmesinin motor karakteristikleri üzerinde yararlı etkisi pek gözükmemektedir. Suyun ÖYT üzerinde en etkin olduğu durum % 6 su oranındadır. % 10 oranından sonra ise ÖYT'de kötüleşme söz konusudur. Emme kanalına su eklenmesinin ile tam yükte efektif verimi iyileştirdiği görülmüştür. Literatürde de benzeri sonuçlar bulunmuştur [18]. Şekil 21'den görüldüğü gibi; efektif verimde, 2500 d/d % (2-7) su oranında, (3000 ve 3500) d/d'da ve yüksek yüklerde % (4-8) su oranında iyileşmeler elde edilmiştir. Bununla birlikte 4000 d/d'da efektif verim tam yükte ve tam yüke yakın yüklerde azalmıştır. Taşıt dizel motorlarının tam yükte nominal devirde çalışması normal çalışma süresi içerisinde çok az yer tutar ve ilgili devirde ve yüklerde motor çok zorlandığından ÖYT'nin artmış yani efektif verim azalmış olduğu söylenebilir.

Suyun emme kanalından havanın içerisine püskürtülmesi ile yanmanın iyileştiği ve bu nedenle ÖYT'nin azaldığı ve efektif verimin arttığı belirlenmiştir. Su eklenmesi ile dizel yakıtı damlacıklarını yanma başlangıcında aniden parçalandığı ve bu mikro patlamaların etkisi ile dizel yakıtının hava ile karışımının daha kolay ve hızlı olabileceği düşünülebilir. Literatürde de benzeri açıklamalar yer almaktadır [18, 22]. Ayrıca suyun emme ve sıkıştırma işlemi boyunca buharlaşması nedeniyle sıcaklıkların azalacağı ve bu nedenle tutuşma gecikmesinin artacağı tahmin edilebilir [18, 22, 24]. Tutuşma gecikmesinin artması ile bu esnada püskürtülen dizel yakıtı hem fiziksel ve hem de kimyasal olarak yanmaya daha iyi hazırlanabilir. Böylece tutuşma gecikmesi dolduğunda yanma için daha hazır hale gelen dizel yakıtı miktarı daha fazla olabilir. Bu nedenle silindir basınçları su eklenmesi ile daha yüksek olabilir. Böylece motorun efektif veriminin arttığı tahmin edilebilir [18, 22, 24]. Emme kanalından emilmekte olan havanın içerisine su eklenmesi durumunda dizel yakıtı hava-su karışımının içerisine üzerine püskürtülecektir. Dizel yakıtının ilk tutuşması ile dizel yakıtı demetinin çevresindeki suyun buharlaşması artacaktır. Böylece su damlacıklarının parçalanması ve olası mikro patlamalar nedeniyle akım karışıklıkları meydana gelebilir. Bu nedenle dizel yakıtının hava ile karışması daha hızlı olabileceğinden yanma iyileşebilir [18, 22, 24]. Düşük yüklerde efektif verim genellikle azalma eğilimi göstermiştir. Düşük yüklerde suyun buharlaşması ile soğuk olan karışım daha da soğumakta ve bu nedenle düşük yüklerde dizel yakıtının tam yanmadığı tahmin edilmektedir [18, 22, 24].

3.3. Suyun Motorun Efektif Gücü Üzerindeki Etkileri

Su oranına göre (2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000) d/d olmak üzere 5 farklı devirde ve 6 farklı yük için efektif güç değişimleri değerlendirilmiştir. Şekil 22 (a, b, c, d ve e)'de; seçilen her 5 devir sayısında 6 farklı yükleme durumunda efektif güç değerlerinin su oranına göre değişimleri verilmiştir.

Şekil 22 (a)'da, 2000 d/d'da seçilen yüklerde efektif güçte iyileşme görülmektedir. Tablo 23'ten de görüldüğü gibi efektif güçte maksimum artışlar 270 N yükte % 11.333 su oranında % 0.920 olarak belirlenmiştir. Seçilen diğer yüklerde ve su oranlarında efektif güç değerleri SDY'nin değerlerine çok yakın çıkmıştır.

Şekil 22 (b)'de; 2500 d/d'da seçilen yüklemelerde efektif gücün su oranına göre değişimleri verilmiştir. Tablo 24'te görüldüğü gibi efektif güçteki maksimum artışlar 520 N yükte, yani tam yükte % 2.065 su oranında, 420 N yükte % 2.432 su oranında ve 370 N yükte % 2.677 su oranında, 270 N yükte % 3.16 su oranında sırasıyla % 2.515, % 2.194, % 2.338 ve % 0.220 oranlarında gerçekleşmiştir. % (2-3) su oranında efektif güçte artış görülmüştür. Seçilen diğer yüklerde ve su oranlarında efektif güç çok az da olsa azalmıştır.

Şekil 22 (c)'de; 3000 d/d'da seçilen yüklemelerde efektif gücün su oranına göre değişimleri verilmiştir. Tablo 25'te görüldüğü gibi efektif güçteki maksimum artışlar 460 N yükte yani tam yükte, maksimum artış % 6.543 ve % 9.464 su oranlarında sırasıyla % 1.173 ve % 1.127 oranlarında gerçekleşmiştir. 3000 d/d'da tam yük durumunda efektif güç artmıştır. Diğer yükleme durumlarında ise efektif güç genellikle azalma eğilimi göstermiştir. Fakat azalma miktarları düşüktür.

Şekil 22 (d)'de; 3500 d/d'da seçilen yüklemelerde efektif gücün su oranına göre değişimleri sunulmuştur. Tablo 26'da görüldüğü gibi seçilen yüklerde efektif güçte iyileşme görülmektedir. Tablo 26'dan da görüldüğü gibi efektif güçte maksimum artışlar 420 N yükte % 12.539 su oranında % 0.375 olarak belirlenmiştir. Seçilen diğer yüklerde ve su oranlarında efektif güç değerleri SDY'nin değerlerine çok yakın çıkmıştır.

Şekil 22 (e)'de 4000 d/d'da seçilen yüklemelerde efektif gücün su oranına göre değişimleri sunulmuştur. Tablo 27'de de görüldüğü gibi her yükleme durumunda efektif güç artmıştır. Efektif güçte maksimum artışlar 300 N yükte % 11.565 su oranında, 250 N yükte 12.999 su oranında, 400 N yükte % 9.015 su oranında sırasıyla % 3.570, % 3.380 ve % 3.086 oranlarında elde edilmiştir.

Tablo 23. 2000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif güçteki değişim oranları

n=2000 d/d										
	520 N					420 N				
SO [%]	2.392	4.225	5.993	8.351	9.720	2.857	4.780	6.553	9.315	10.214
$\frac{\Delta N_e}{N_e}$ [%]	0.159	0.350	0.381	0.286	0	0.512	0.591	0.551	0.472	0.079
	370 N					270 N				
SO [%]	3.042	5.060	6.923	9.874	10.648	3.386	5.683	7.792	11.333	11.952
$\frac{\Delta N_e}{N_e}$ [%]	0.313	0.491	0.313	0.446	-0.089	0.859	0.798	0.613	0.920	0.307

Tablo 24. 2500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif güçteki değişim oranları

n=2500 d/d										
	520 N					420 N				
SO [%]	2.065	4.013	6.196	8.261	9.400	2.432	5.615	8.806	9.898	11.353
$\frac{\Delta N_e}{N_e}$ [%]	2.515	-0.117	-0.374	-0.676	-0.392	2.194	-0.311	-0.924	-0.902	-0.195
	370 N					270 N				
SO [%]	2.677	6.078	9.642	10.814	12.111	3.16	7.088	11.342	12.717	14.097
$\frac{\Delta N_e}{N_e}$ [%]	2.338	-0.460	-0.750	-0.939	-0.146	0.220	-0.498	-1.113	-0.805	-0.249

Tablo 25. 3000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif güçteki değişim oranları

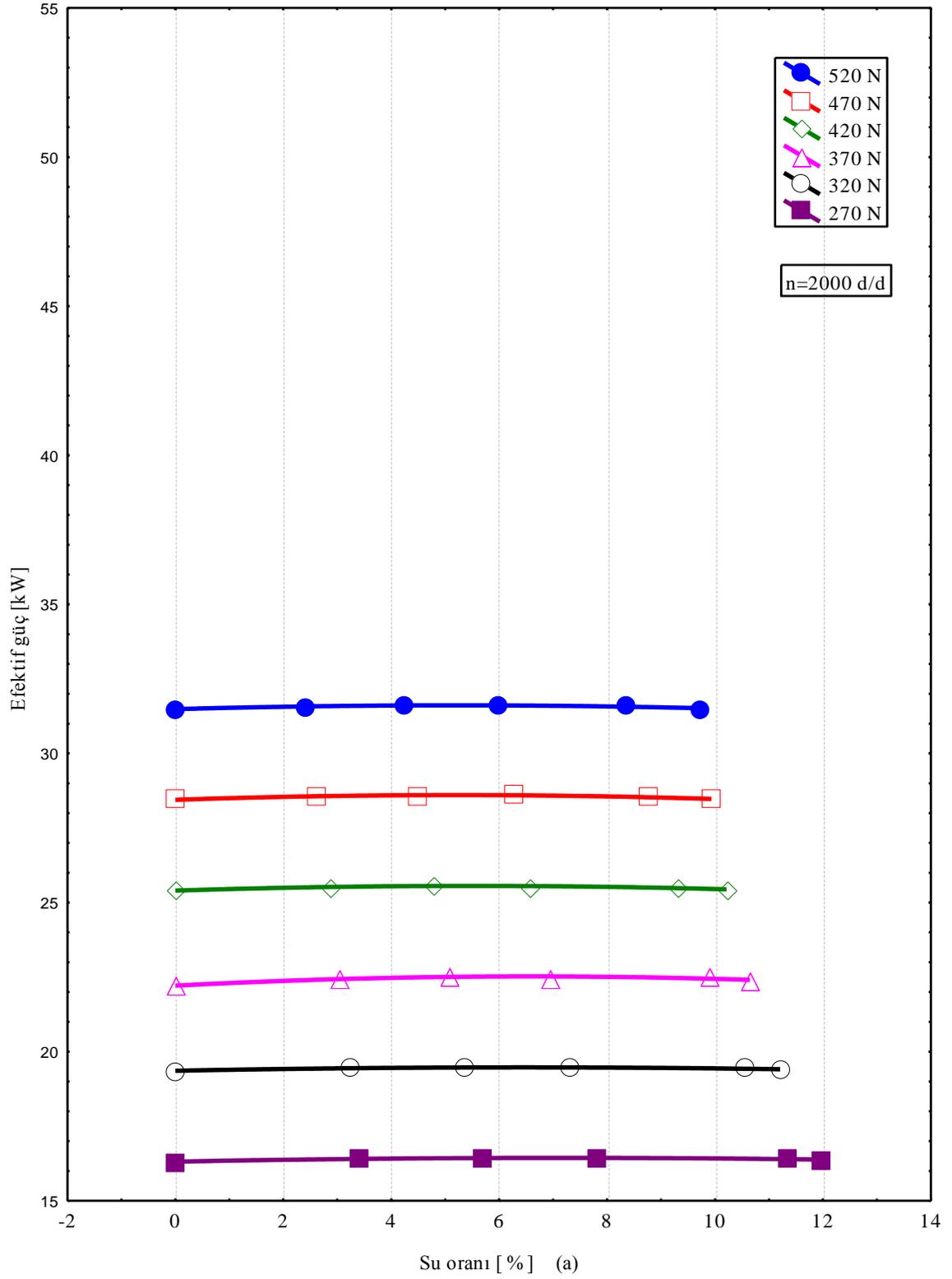
n=3000 d/d										
	460 N					360 N				
SO [%]	2.121	4.598	6.543	8.314	9.464	2.835	5.764	7.890	10.245	11.487
$\frac{\Delta N_e}{N_e}$ [%]	1.001	0.431	1.173	0.696	1.127	-0.922	-0.322	-0.831	-0.552	-0.874
	310 N					210 N				
SO [%]	3.104	6.432	8.821	11.217	12.945	3.813	7.802	10.907	13.343	16.184
$\frac{\Delta N_e}{N_e}$ [%]	-0.921	-0.342	-0.860	-0.517	-0.806	-0.952	-0.335	-0.888	-0.544	-1.024

Tablo 26. 3500 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif güçteki değişim oranları

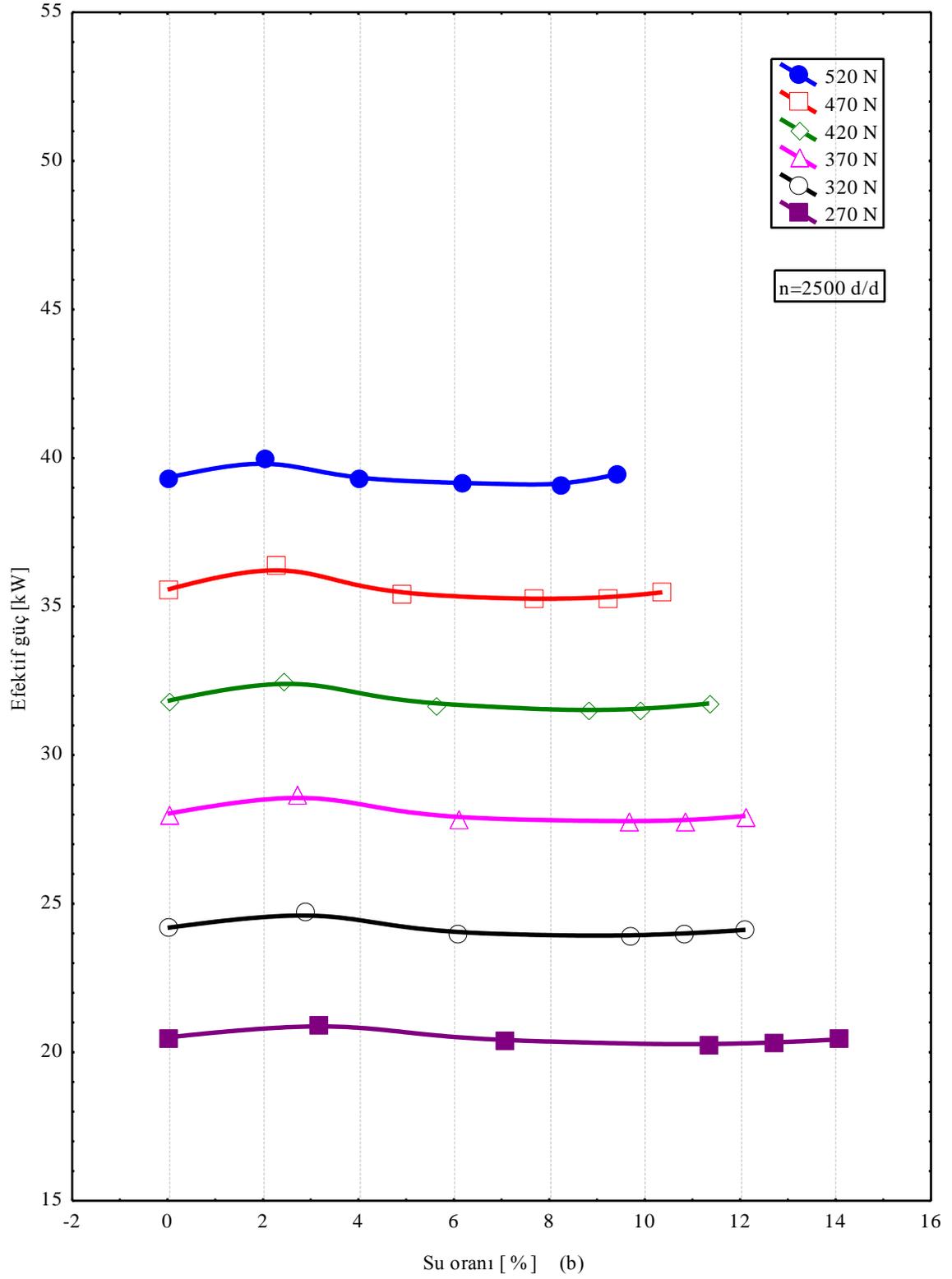
n=3500 d/d										
	420 N					320 N				
SO [%]	2.321	3.834	6.212	7.997	12.539	2.920	4.970	8.105	10.268	15.245
$\frac{\Delta N_e}{N_e}$ [%]	0.044	0	0.199	0.287	0.375	-0.113	-0.055	0.212	0.345	0.287
	270 N					170 N				
SO [%]	3.349	5.620	9.190	11.568	17.023	4.394	7.207	11.973	14.900	21.399
$\frac{\Delta N_e}{N_e}$ [%]	0.051	0.104	0.227	0.158	0.385	0.309	0.024	0.463	0.231	0.514

Tablo 27. 4000 d/d'da farklı yüklerde ve farklı karışım oranlarında efektif güçteki değişim oranları

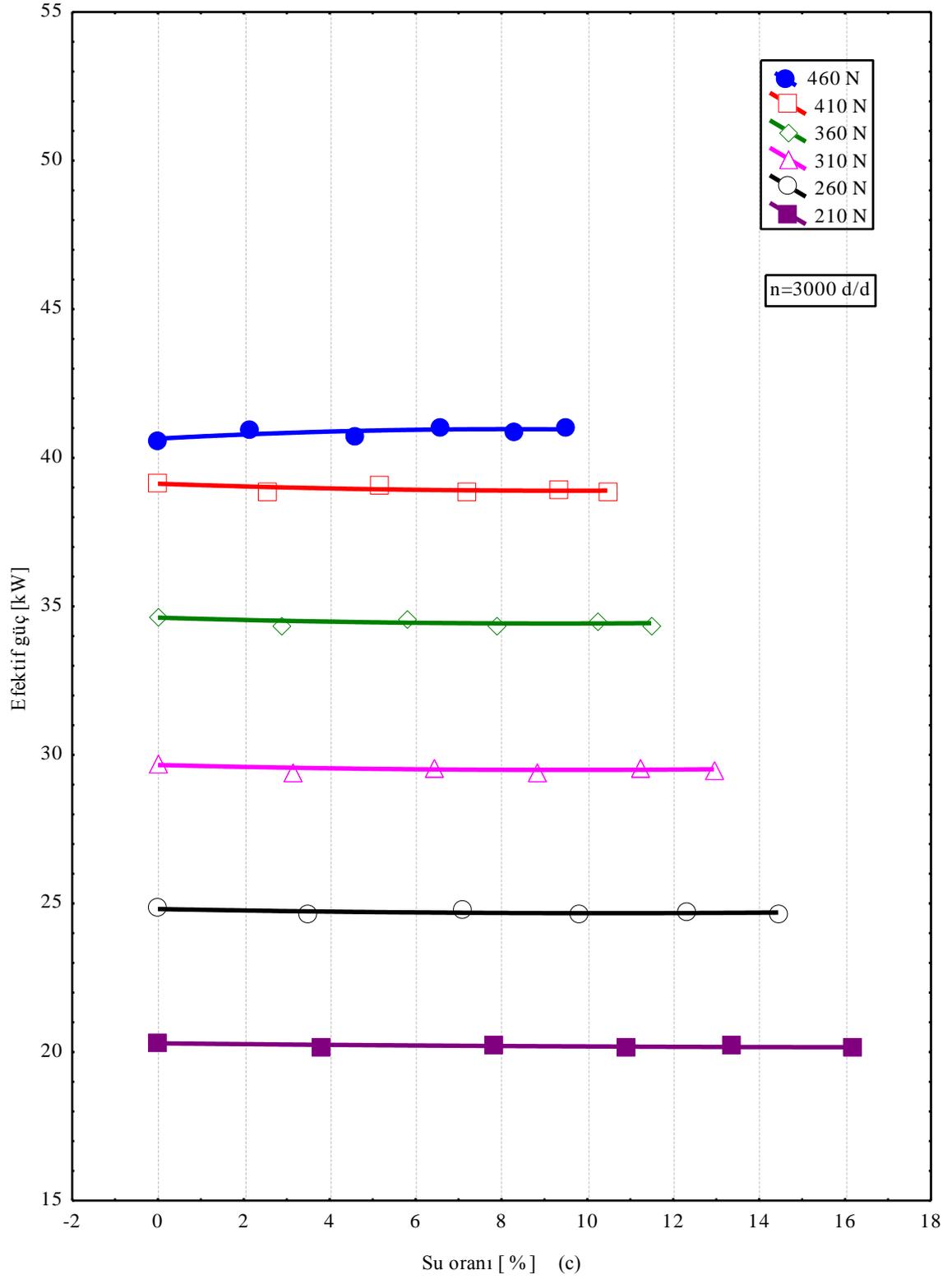
n=4000 d/d										
	400 N					300 N				
SO [%]	1.846	4.09	5.292	8	9.015	2.51	6.072	8.727	10.22	11.565
$\frac{\Delta N_e}{N_e}$ [%]	1.367	1.498	1.715	2.873	3.086	1.157	1.193	1.534	3.074	3.570
	250 N					150 N				
SO [%]	2.92	6.933	10.195	11.524	12.999	3.5	8.65	13.583	14.761	16.674
$\frac{\Delta N_e}{N_e}$ [%]	1.455	1.307	1.694	3.185	3.380	1.270	1.061	1.484	3.078	2.655



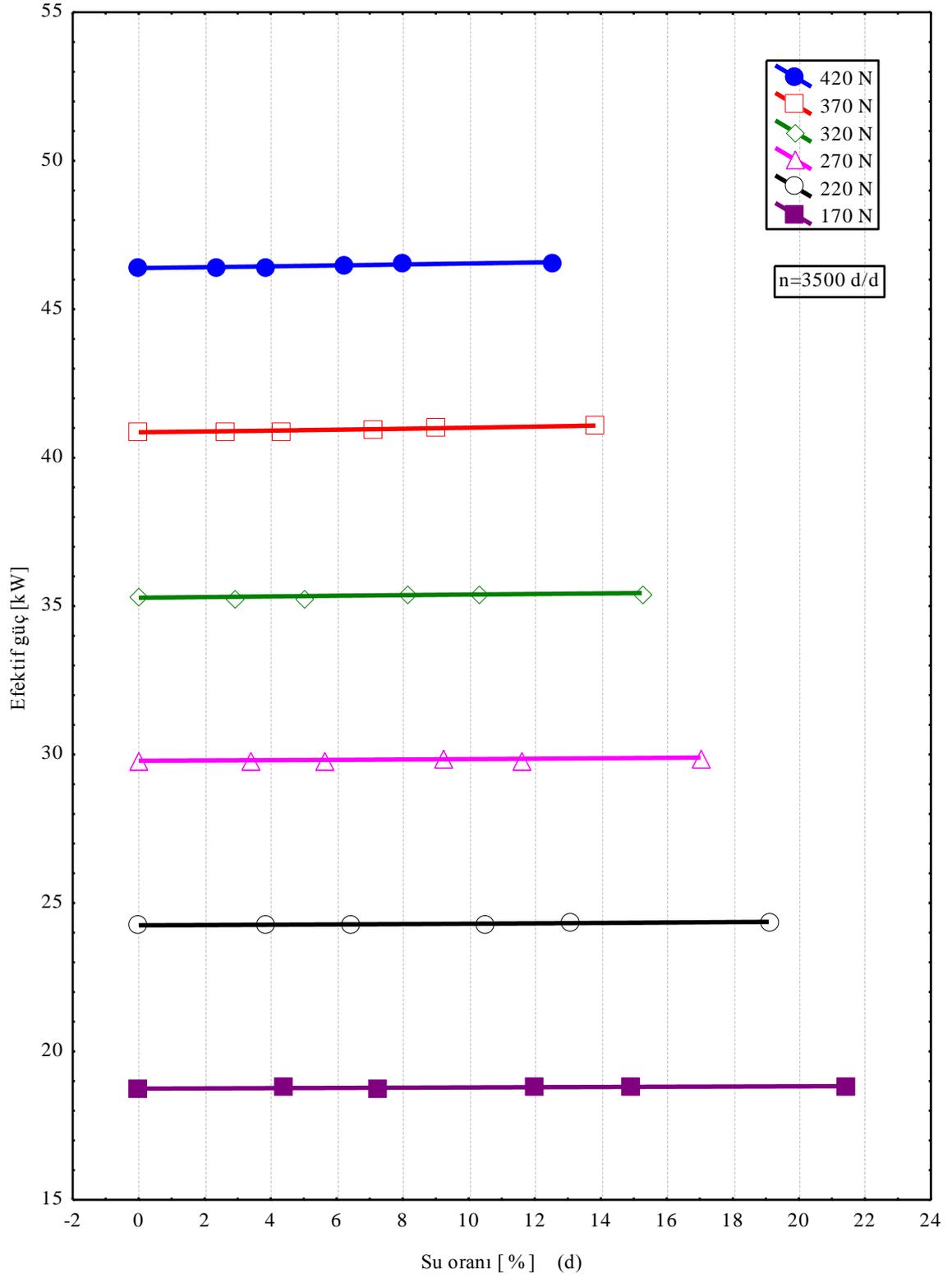
Şekil 22. (a) 2000 d/d'da farklı yüklerde gücün su oranına göre değişimleri



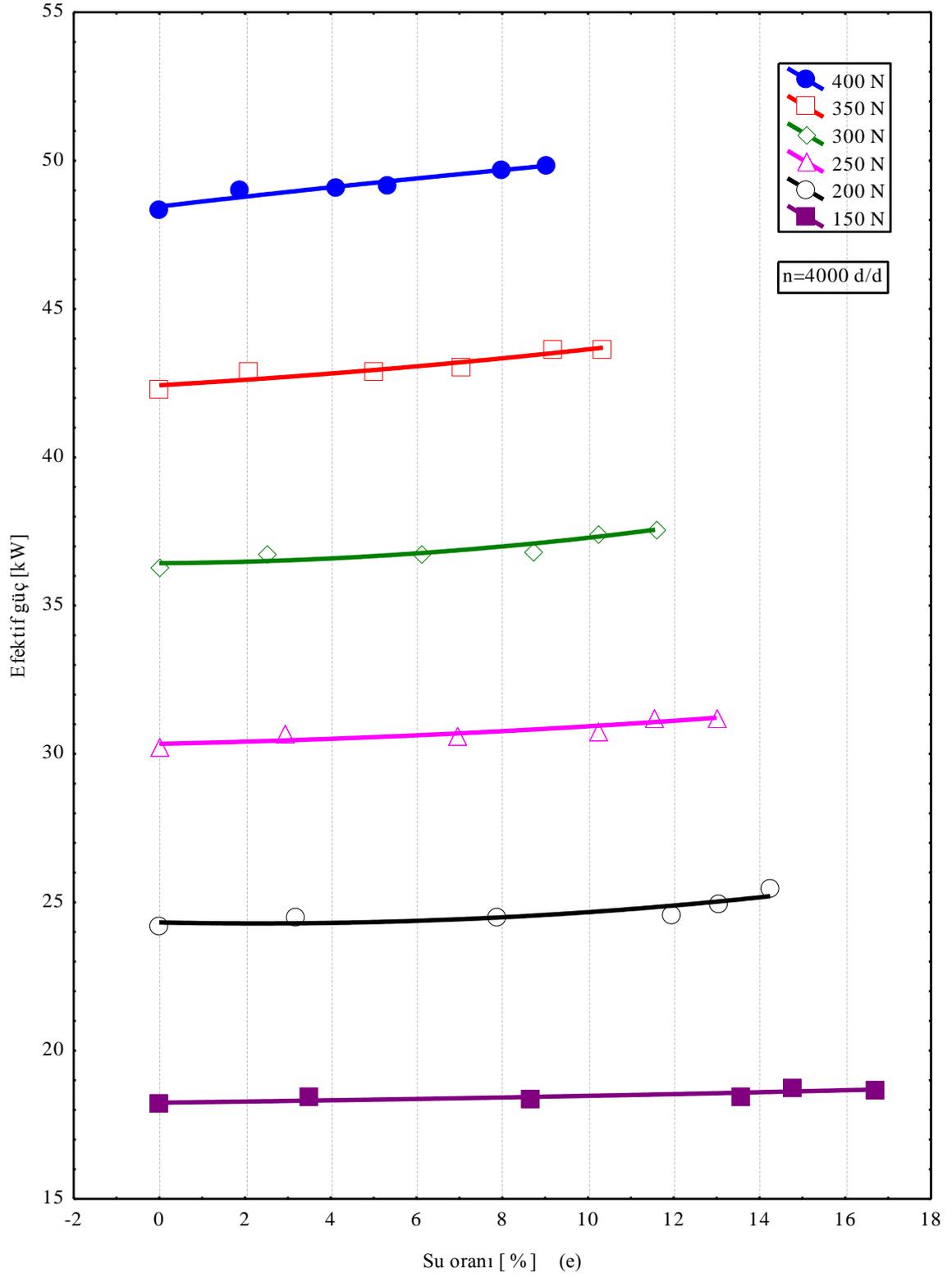
Şekil 22. (b) 2500 d/d'da farklı yüklerde gücün su oranına göre değişimleri



Şekil 22. (c) 3000 d/d'da farklı yüklerde gücün su oranına göre değişimleri



Şekil 22. (d) 3500 d/d'da farklı yüklerde gücün su oranına göre değişimleri



Şekil 22. (e) 4000 d/d'da farklı yüklerde gücün su oranına göre değişimleri

3.4. Suyun Silindir Basıncı ve p-V Diyagramı Üzerindeki Etkileri

Su eklenmesinin p- θ ve p-V diyagramları yani indikatör diyagramları üzerindeki etkileri farklı devir sayıları için Şekil (23-27)'de gösterilmiştir.

2000 d/d'da su eklenmesi ile silindir basınçlarının arttığı Şekil 23 (a)'dan görülebilir. SDY durumunda maksimum silindir basıncı 10.845 °KMA'da 156.355 bar olarak belirlenmiştir. 2000 d/d'da oluşan % (2.415, 4.215, 5.945, 8.321 ve 9.462) su oranlarındaki maksimum basınçlar (158.156, 157.048, 157.049, 158.254 ve 156.512) bar şeklinde elde edilmiştir. İlgili basınçların meydana geldiği krank mili açıları ise sırasıyla (10.681, 10.545, 10.717, 10.699 ve 10.892) °KMA'dır. Buradan tüm su oranlarında silindir basınçlarının SDY'ninkinden daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Maksimum basınçların meydana geldiği açılar ise SDY'ye göre daha küçüktür. Buradan su eklenmesi ile yanmanın daha geliştiği ve ÜÖN'ya daha yakın açılarda oluştuğu söylenebilir. Şekil 24 (b)'de basınç-hacim diyagramı görülmektedir. SDY durumunda indike güç 9.075 kW olarak belirlenmiştir. Su oranlarına göre sırasıyla indike güçler (8.386, 9.102, 9.282, 9.403 ve 9.096) kW'tır. Buradan da görülebileceği gibi su oranı arttıkça indike güçler artmaktadır. En büyük artış ise % 8.321 su oranında oluşmuştur.

2500 d/d'da seçilen yük durumları için silindir basınçlarının KMA'na göre değişimleri Şekil 24 (a)'da sunulmuştur. 2500 d/d'da SDY durumunda maksimum silindir basıncı 164.080 olarak 9.943 °KMA'da belirlenmiştir. 2500 d/d'da % (2.065, 4.013, 6.196, 8.261 ve 9.400) su oranlarında maksimum basınçlar sırasıyla (163.611, 164.028, 164.992, 164.053 ve 163.382) bar şeklinde elde edilmiştir. Söz konusu basınçların oluştuğu krank mili açıları ise sırasıyla (9.770, 9.577, 9.770, 9.760 ve 9.75) °KMA'dır. 2500 d/d'da silindir basınçları Şekil 24 (a)'dan görüldüğü gibi SDY'ndan daha düşük çıkmıştır. Yalnızca % 6.192 su oranında daha yüksek basınç değeri elde edilmiştir. Buradan 2500 d/d'da suyun soğutucu etkisinin etkin olduğu söylenebilir. Maksimum silindir basınçlarının yine 2000 d/d'da olduğu gibi ÜÖN'ye daha yakın açıda oluştuğu görülmüştür. Yani yanma ÜÖN'ye daha yakın açılarda gerçekleşmektedir. Burada yanmanın daha hızlı geliştiği söylenebilir. Bu durumun; emme kanalında havanın içerisine su püskürtülmesi ile meydana gelebilecek mikro patlamaların ve akım karışıklıklarının yanmayı iyi yönde etkilenmesinden ileri geldiği düşünülebilir. Bilindiği gibi dizel motorlarında yanmayı hava ile püskürtülen dizel yakıtının hızlı ve homojen karışması kontrol etmektedir [35]. Burada suyun sıkıştırma işlemi boyunca hava ile homojen karıştığı ve tamama yakın olarak

buharlaştığı düşünülebilir. Homojen hava-su karışımının içerisine dizel yakıtı püskürtüldükten sonra tutuşma gecikmesi sonunda birden bire yanmakta, ardından püskürtme ve yanma devam etmektedir. Daha sonra dizel yakıtının çevresindeki hava-su karışımının içerisinde bulunan su kabarcıklarının patlaması ile akım karışıklıkları meydana gelebileceği düşünülmektedir. Böylece daha sonra püskürtülen dizel yakıtı ile havanın daha hızlı ve homojen karışacağı söylenebilir. Literatürde de benzeri açıklamalar yer almaktadır [18, 19]. SDY durumunda indike güç 11.564 kW olarak ölçülmüştür. Su oranlarına göre ise belirlenen indike güç değerleri (11.484, 11.584, 11.460, 11.580 ve 11.486) kW'tır. Şekil 24 (b)'den görüldüğü gibi 2500 d/d'da indike güç SDY değerlerine çok yakın değerler almıştır.

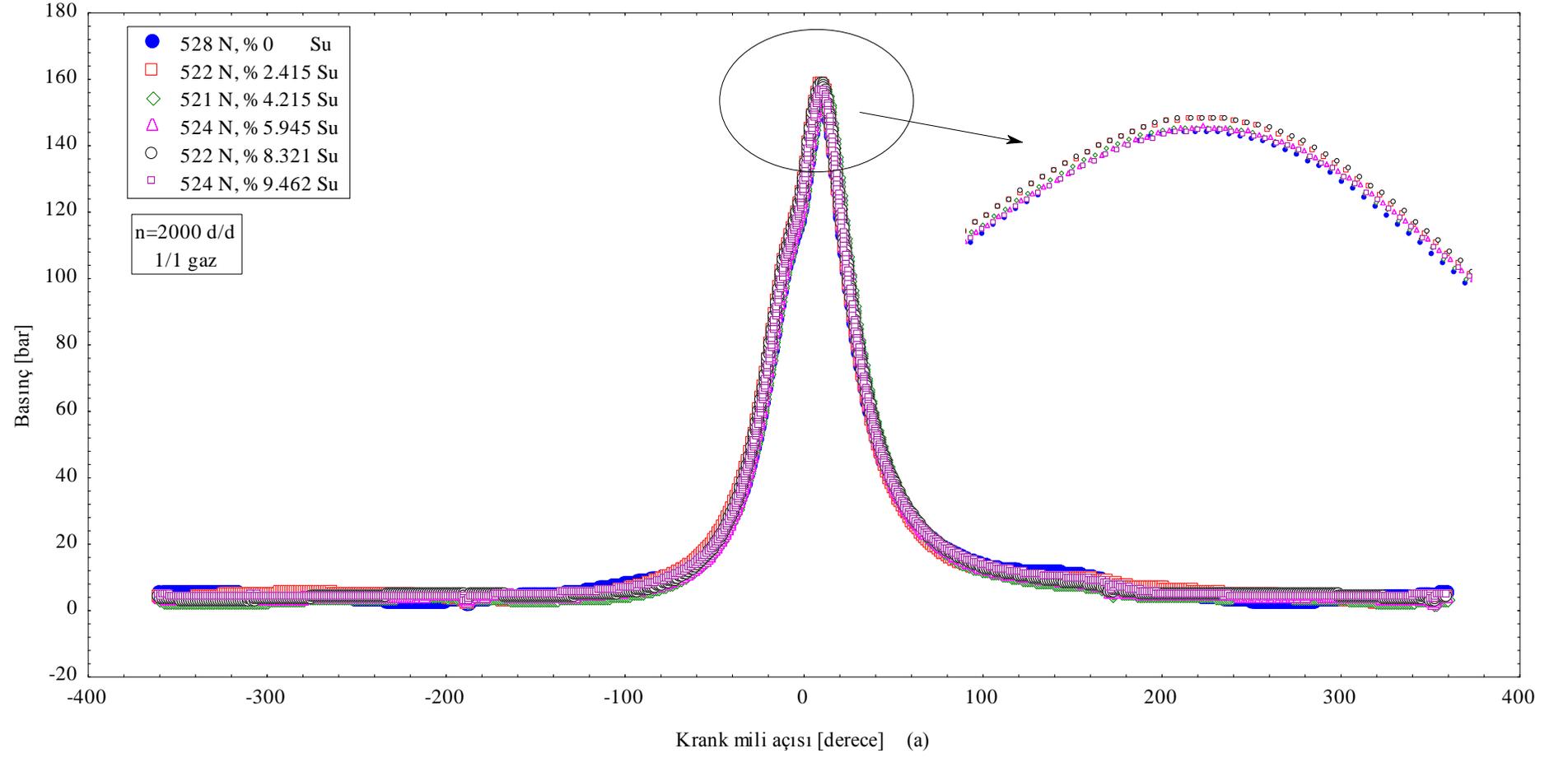
3000 d/d'da oluşan su oranları % (2.142, 4.694, 6.402, 8.050 ve 9.418)'dir. Şekil 25 (a)'dan görüldüğü gibi, SDY için bulunan maksimum basınç 155.987 bar'dır ve bu basınç 8.351 °KMA'sında oluşmuştur. Yukarıda verilen su oranları için bulunan maksimum basınç değerleri ise (154.454, 157.549, 154.569, 155.111 ve 156.924) bar'dır. İlgili basınçlar (8.780, 8.351, 8.561, 8.340 ve 8.340) °KMA'larında oluşmaktadır. 3000 d/d'da basınçlar % 2.142 ve % 9.418 su oranları için artmıştır ve diğer su oranları için ise azalmıştır. % 8.050 ve % 9.418 su oranlarında maksimum basınçların oluştuğu açılar ÜÖN'ye daha yakındır ve diğer karışım oranlarında SDY'ye göre daha yüksek açı değerleri belirlenmiştir. 3000 d/d'daki basınç değerleri incelendiğinde kararlı bir değişimin olmadığı görülebilir. Ancak ilgili şekilden basınçların genel olarak SDY'den düşük olduğu anlaşılabilir. 3000 d/d'da SDY durumunda indike güç 12.474 kW olarak ve su oranlarına göre indike güçler sırasıyla (12.904, 12.696, 13.094, 11.512 ve 13.939) kW olarak belirlenmiştir. Şekil 25 (b)'den görüldüğü gibi; indike güç % 2, % 4 ve % 6 su oranlarında artmıştır ve diğer su oranlarında ise azalmıştır.

3500 d/d'da seçilen yük durumları için silindir basınçlarının KMA'na göre değişimleri Şekil 26 (a)'da sunulmuştur. 3500 d/d'da oluşan su oranları % (2.150, 3.710, 6.430, 8.060 ve 12.300)'tür. SDY için bulunan maksimum basınç 158.157 bar'dır ve bu basınç 6.822 °KMA'sında oluşmuştur. 3500 d/d su oranları % 2.142, % 3.689, % 6.402, % 8.050 ve % 12.245'tir. İlgili su oranları için bulunan maksimum basınç değerleri (158.753, 158.046, 159.277, 159.651 ve 159.542) bar'dır. Söz konusu basınçlar (6.307, 6.842, 6.564, 6.565 ve 6.822) °KMA'larında oluşmaktadır. Şekil 26 (a)'dan görüldüğü gibi 3500 d/d'da basınçlar su oranı ile artmıştır ve maksimum basınçların oluştuğu açılar ise ÜÖN'ye daha yakın çıkmıştır. Şekil 26 (b)'de 3500 d/d'da elde edilen indikatör diyagramları

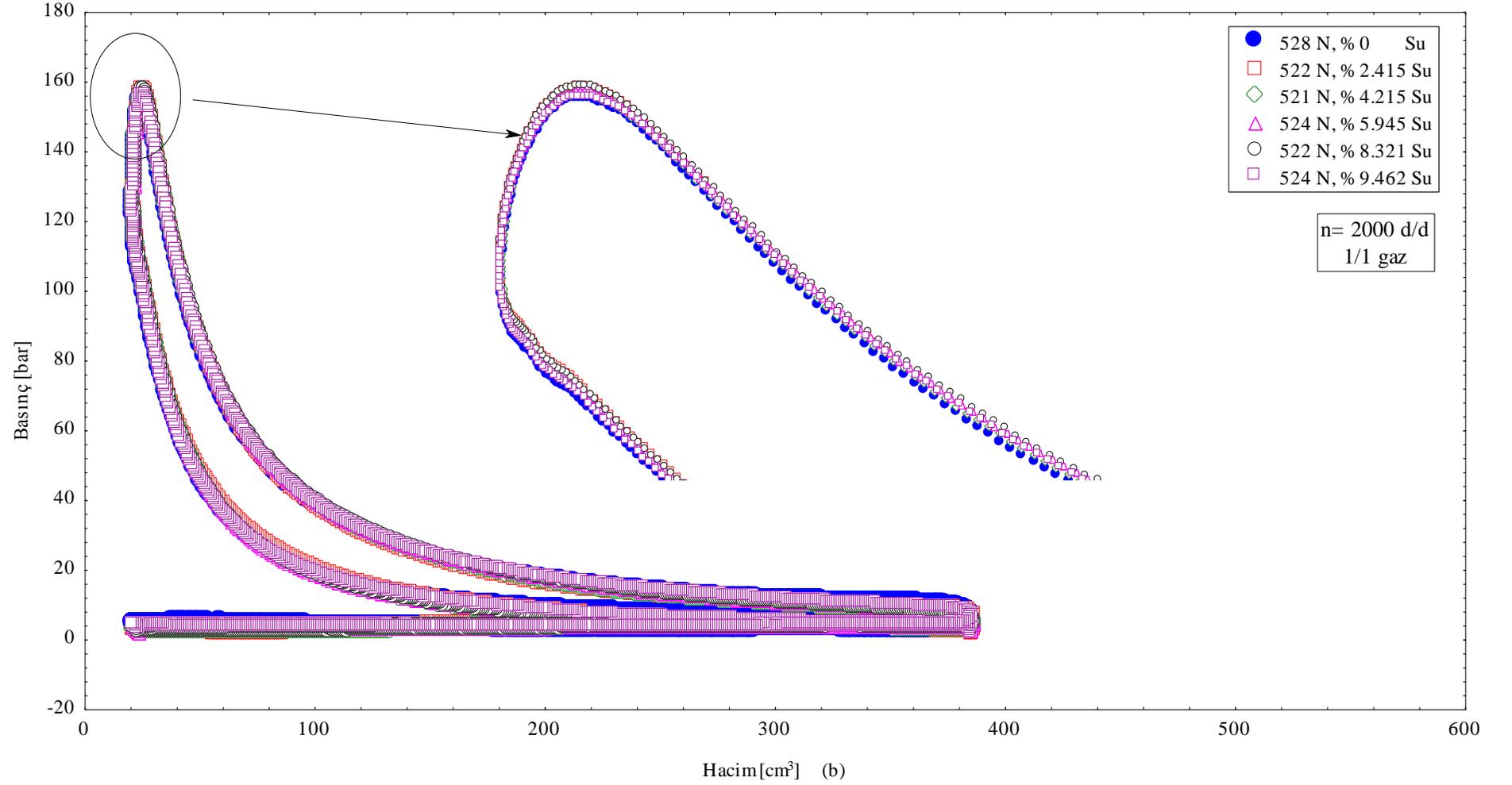
gösterilmiştir. Söz konusu şekil incelendiğinde, 3500 d/d'da indike güçlerin arttığı görülebilir. SDY durumunda indike güç; 14.369 kW ve su oranlarına göre indike güçler sırasıyla (14.600, 14.525, 14.520, 14.808 ve 14.871) kW olarak belirlenmiştir.

4000 d/d'da seçilen yük durumları için silindir basınçlarının KMA'na göre değişimleri Şekil 27 (a)'da sunulmuştur. 4000 d/d'da elde edilen su oranları (5.860, 4.467, 5.705, 8.321 ve 9.236)'dır. SDY için bulunan maksimum basınç 158.994 bardır ve bu basınç 5.990 °KMA'sında oluşmuştur. Yukarıda verilen su oranları için bulunan maksimum basınç değerleri (153.675, 153.039, 154.741, 157.219 ve 156.053) bar'dır. Şekil 27 (a)'dan görülebileceği gibi ilgili basınçlar (5.400, 5.705, 5.705, 5.409 ve 5.676) °KMA'sında oluşmaktadır. 4000 d/d'da basınçlar su oranı ile azalmıştır ve maksimum basınçların olduğu açılar ise ÜÖN'ya daha yakındır. Şekil 27 (b)'de 4000 d/d'da elde edilen indikatör diyagramları verilmiştir. 4000 d/d'da SDY durumunda indike güç 16.532 kW olarak ve su oranlarına göre indike güçler sırasıyla (15.909, 15.960, 16.037, 16.291 ve 16.153) kW olarak belirlenmiştir. Şekil 27 (b)'den görüldüğü gibi 4000 d/d'da su oranı ile indike güçler artmıştır.

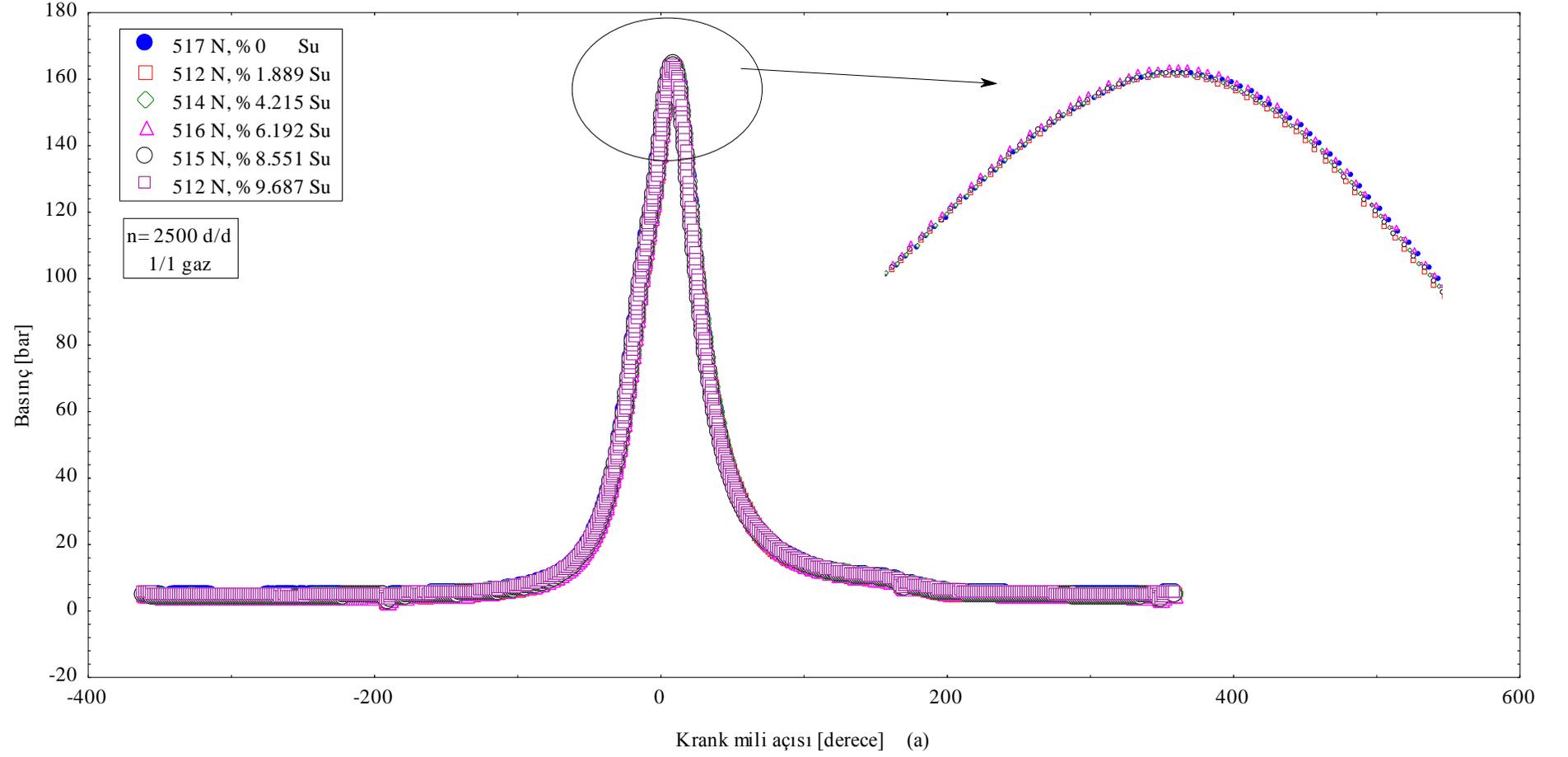
Şekil 23 (b), 24 (b), 25 (b), 26 (b) ve 27 (b)'den görülebileceği gibi su oranı arttıkça indike güçte artmaktadır. İndike gücün artma nedenini su eklenmesi ile yanmada meydana gelen iyileşmenin oluşturduğu söylenebilir. Su oranı ile basınçlar genellikle SDY'nin değerine yakın değerler almıştır. Basınçlar; bazı su oranlarında artmalarına karşın genellikle su oranı ile azalma eğilimi göstermişlerdir. Basınçların sıcaklıklarla orantılı olduğu düşünülürse su oranı ile basınçlar ve dolayısı ile sıcaklıkların azaldığı da düşünülebilir. Bu nedenle NO_x'lerin ve isin azalacağı söylenebilir. Yanmanın ilk aşamasında basınçların biraz yüksek olmasına rağmen, yanma ilerledikçe (yani yanmanın etkin olduğu ikinci yanma aşamasında) basınçların düştüğü şekillerden görülebilir. Böylece su parçacıklarının mikro patlamalarının meydana getirdiği akım karışıklıklarının etkisi bu aşamada görülmektedir. Öte yandan bu aşama isin ve NO_x'lerin olduğu aşamadır. Daha sonra genişlemenin başlangıcında basınçlar SDY ile hemen hemen aynı değerleri almaktadır. Genişlemenin sonuna doğru ise SDY durumundaki basınçlar daha yüksek çıkmaktadır. Bu nedenle eksoz gazı sıcaklıkları % 6 su oranına kadar artmaktadır ve daha sonra ise su oranı artıkça yeniden azalmaya başlamaktadır.



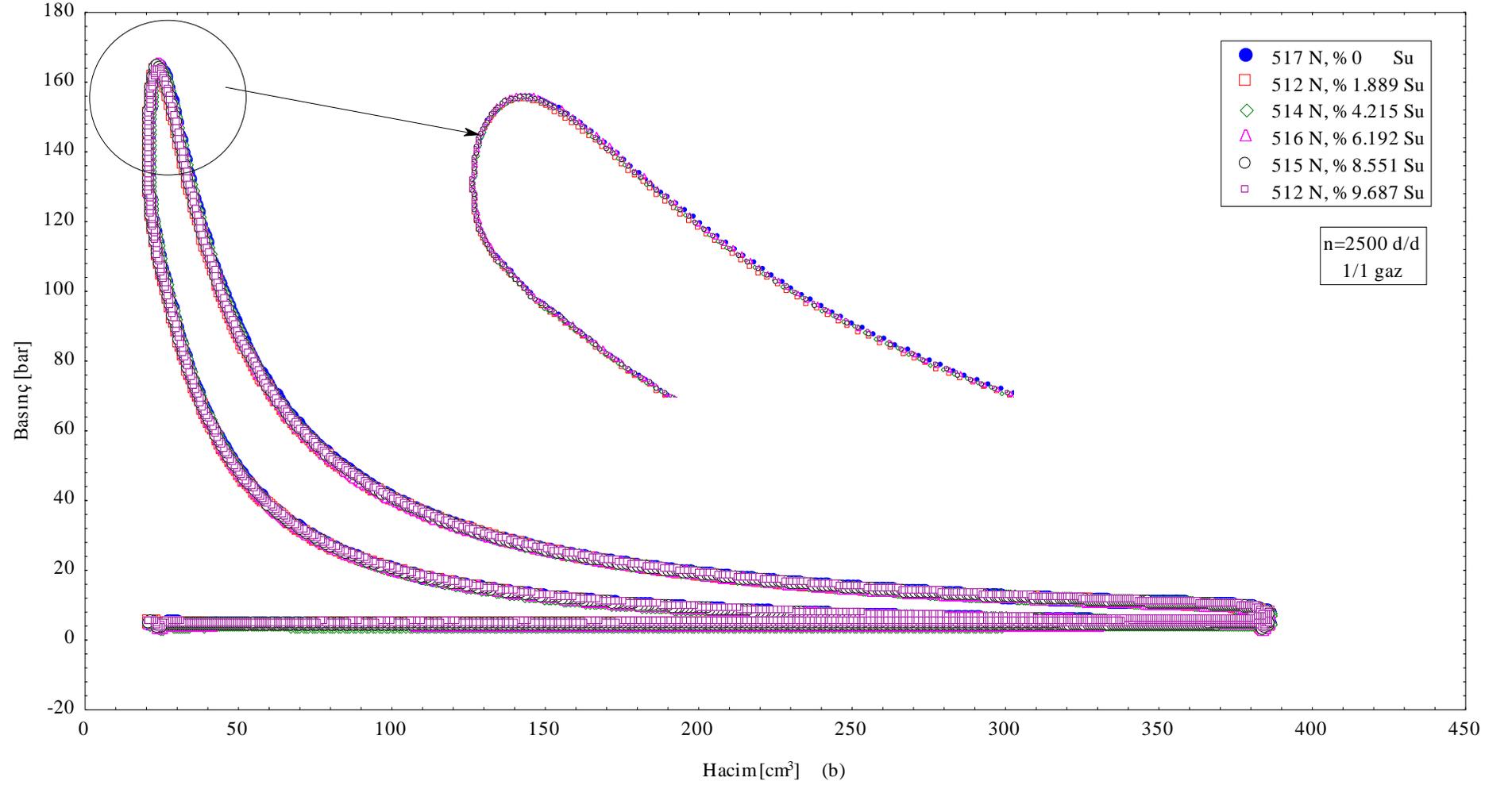
Şekil 23. (a) 2000 d/d'da silindir basıncının krank mili açısına göre değişimleri



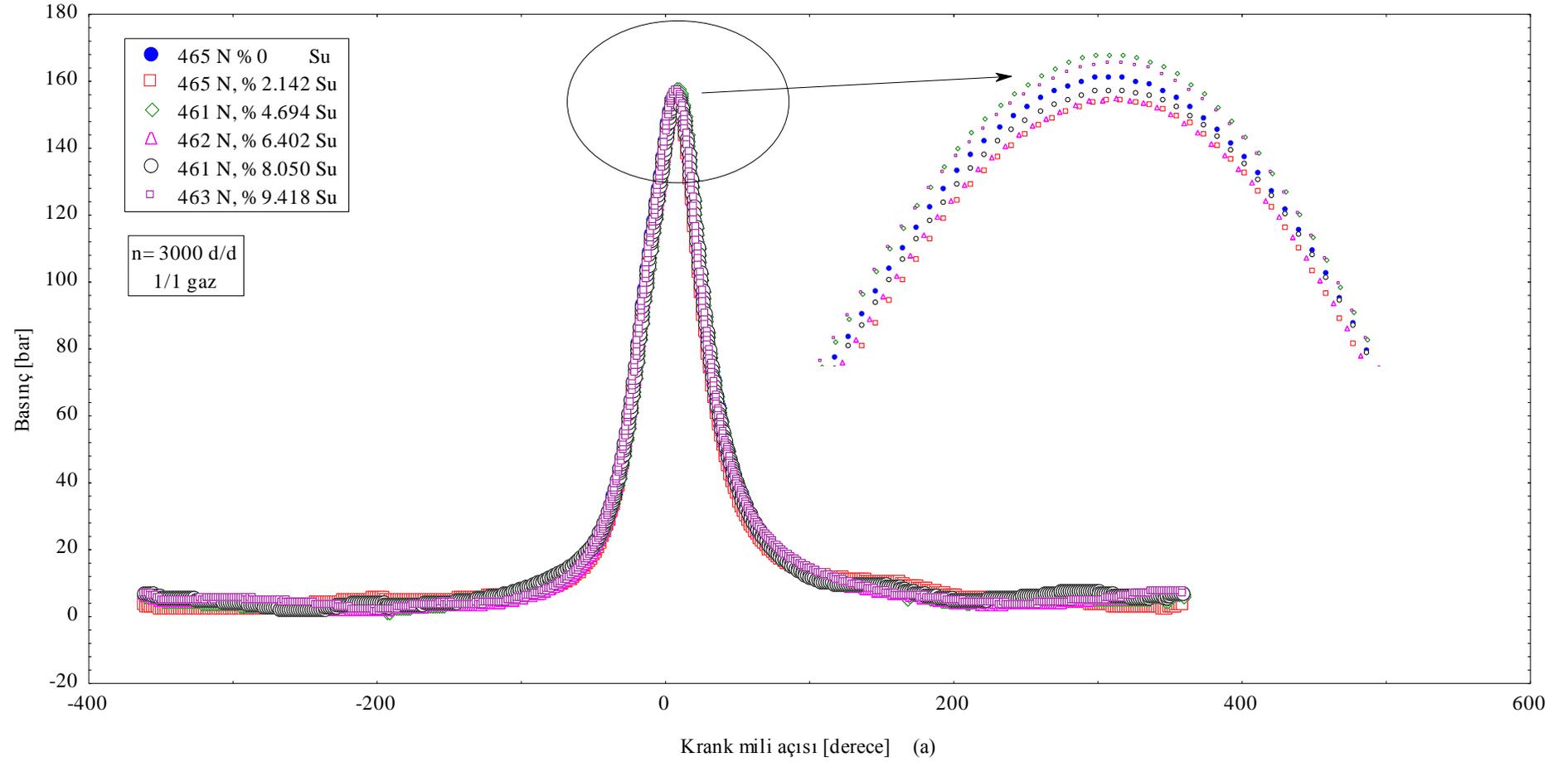
Şekil 23. (b) 2000 d/d'da farklı su oranlarında silindir gaz basıncının hacime göre değişimleri



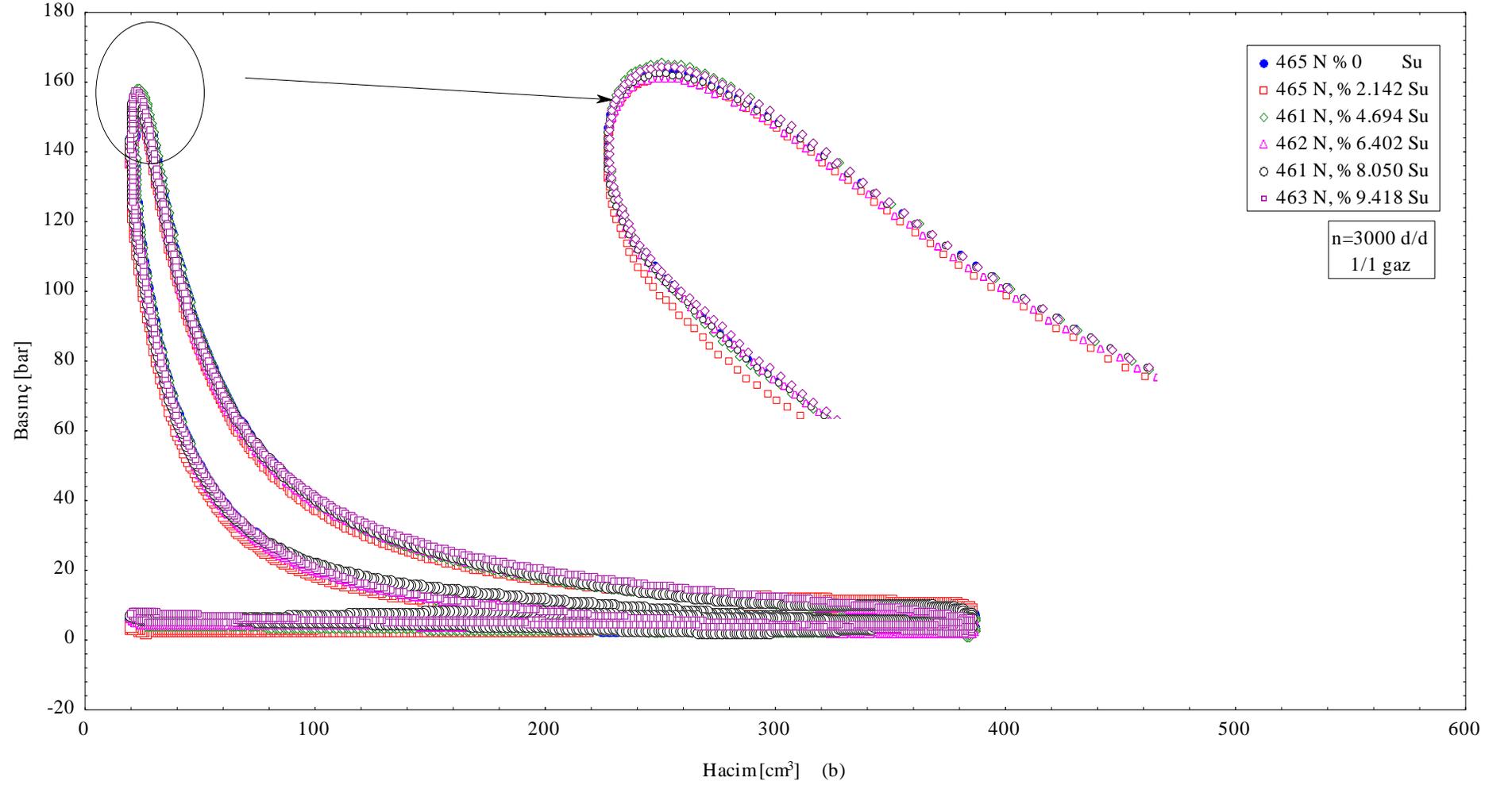
Şekil 24. (a) 2500 d/d'da silindir basıncının krank mili açısına göre değişimleri



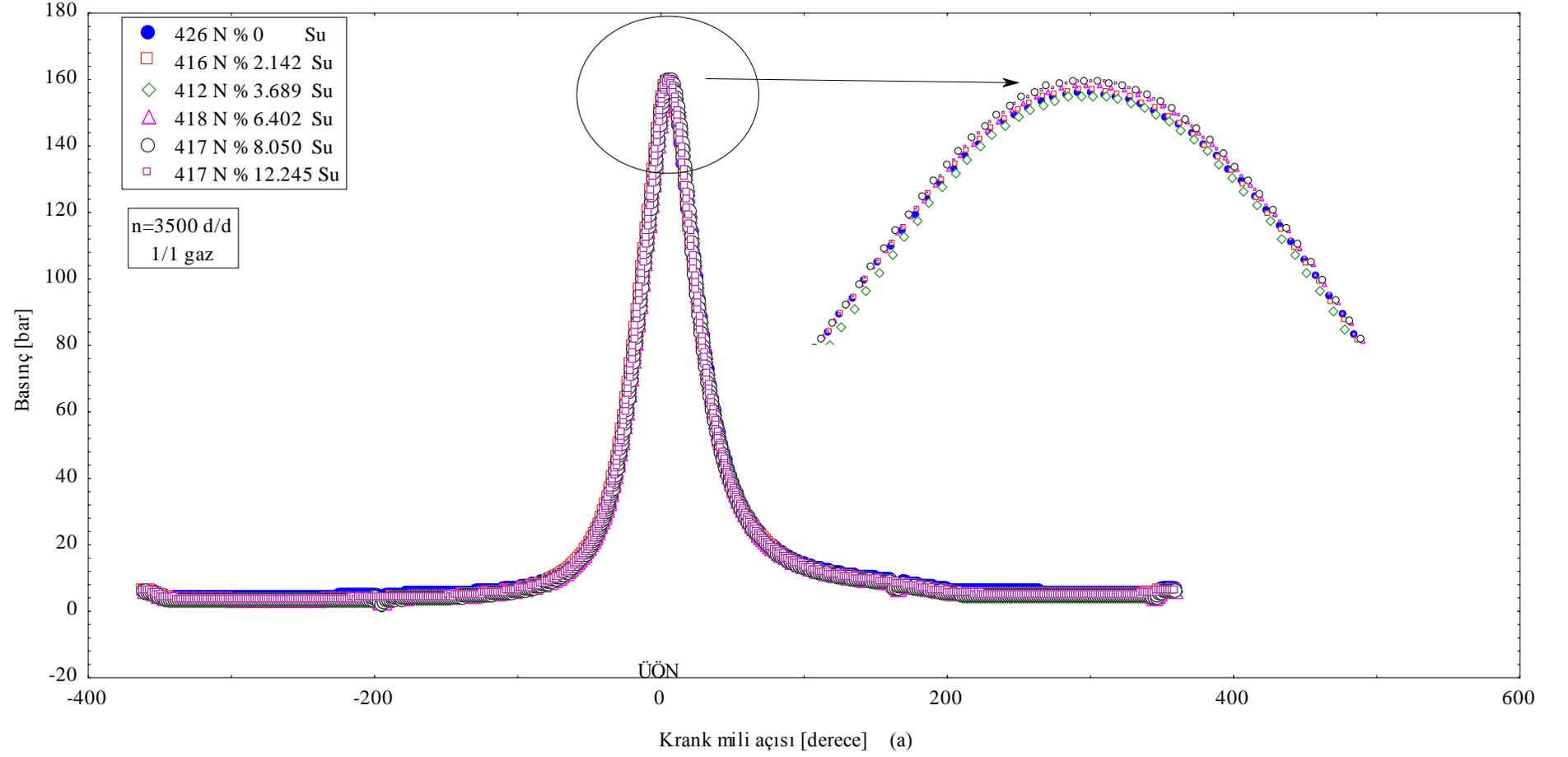
Şekil 24. (b) 2500 d/d'da farklı su oranlarında silindir gaz basıncının hacime göre değişimleri



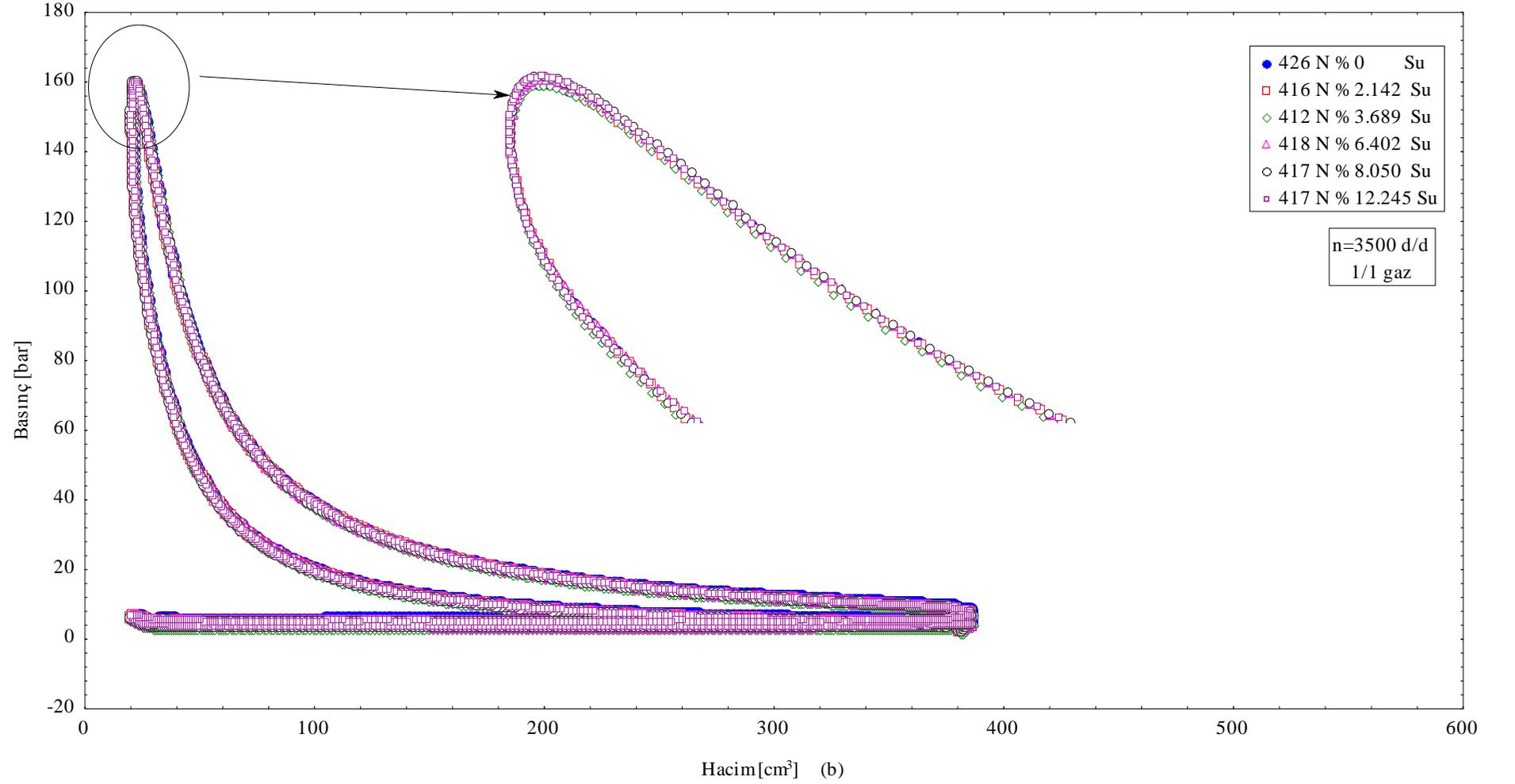
Şekil 25. (a) 3000 d/d'da silindir basıncının krank mili açısına göre değişimleri



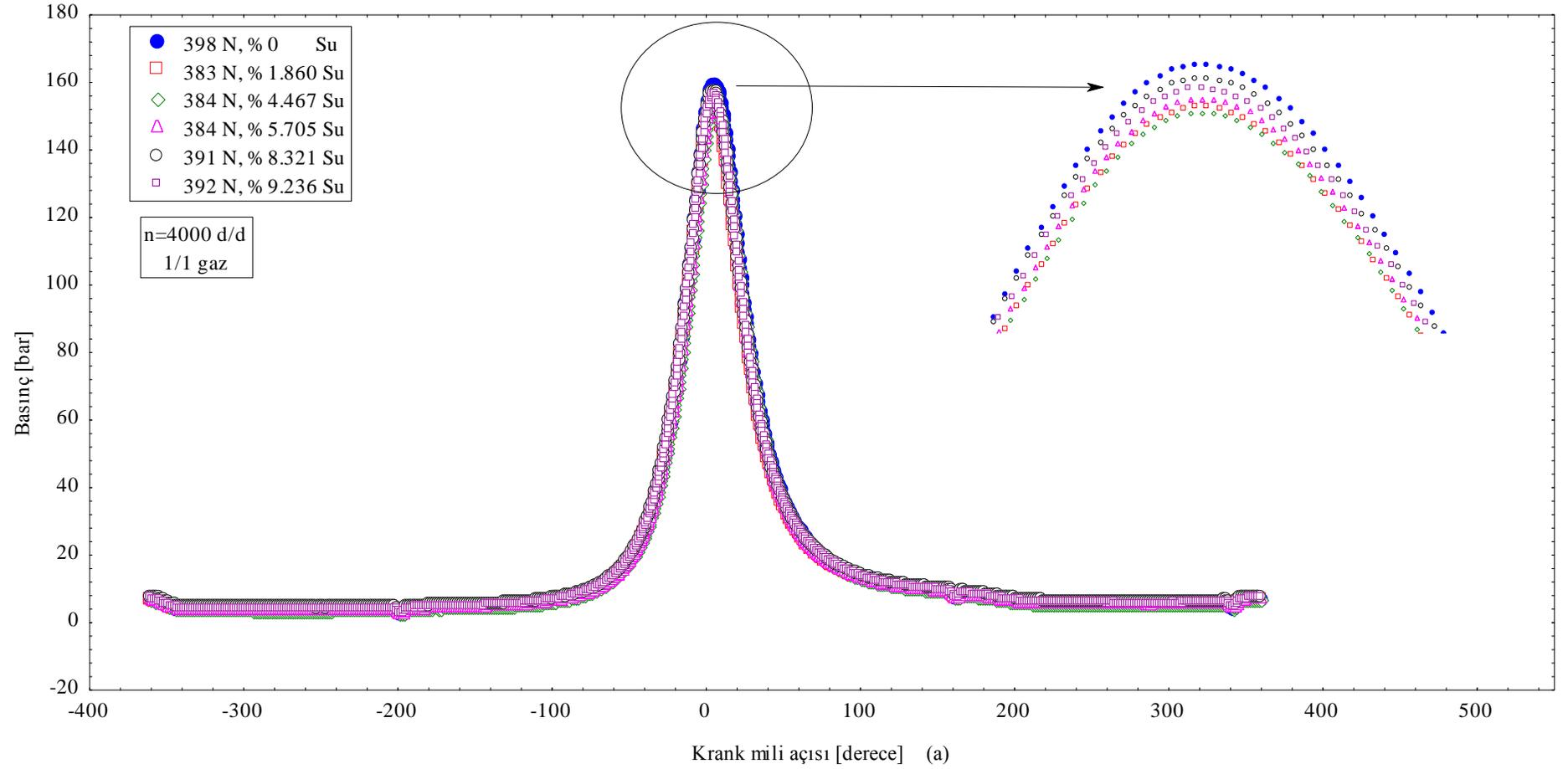
Şekil 25. (b) 3000 d/d'da farklı su oranlarında silindir gaz basıncının hacime göre değişimleri



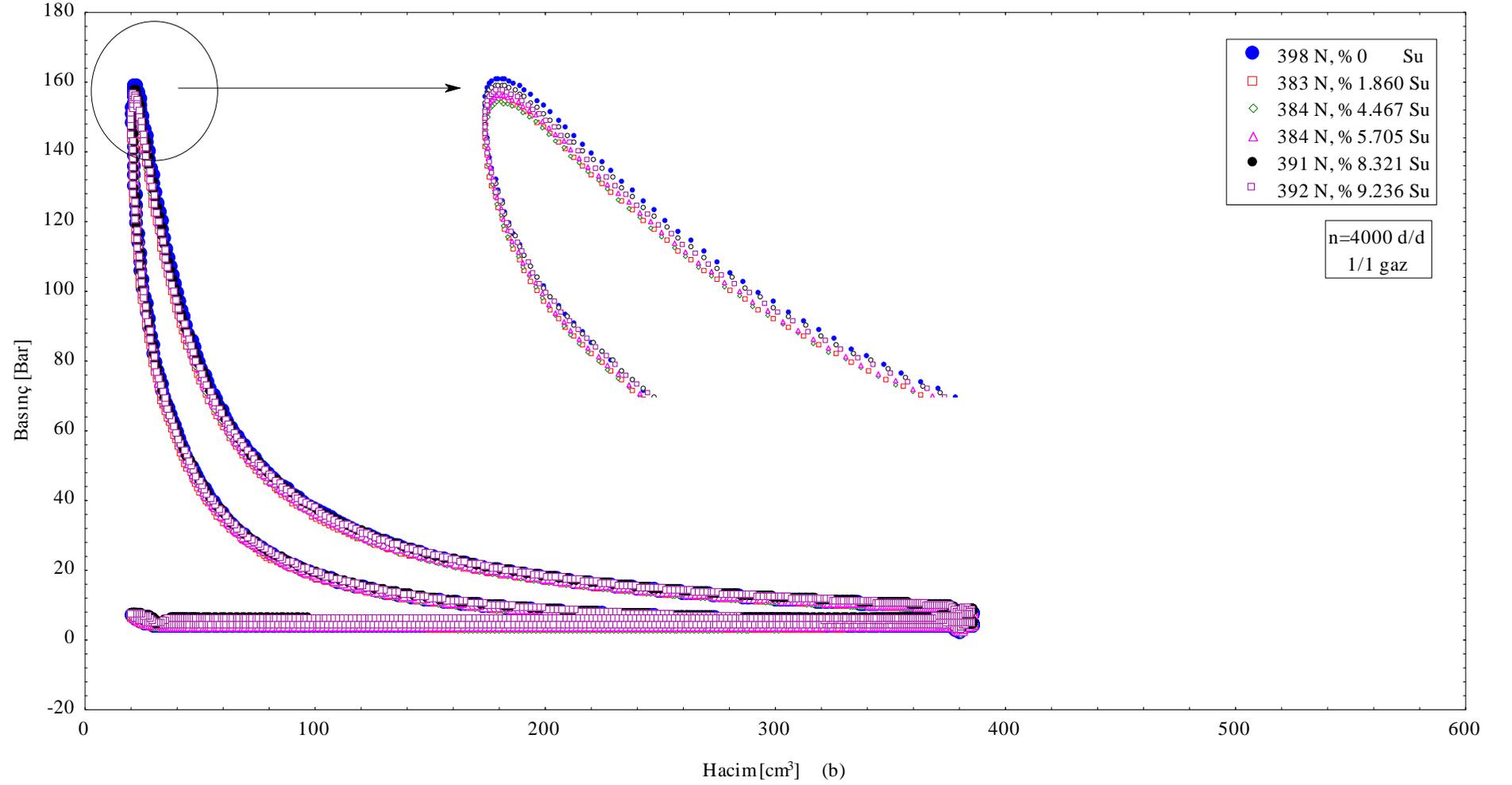
Şekil 26. (a) 3500 d/d'da silindir basıncının krank mili açısına göre değişimleri



Şekil 26. (b) 3500 d/d'da farklı su oranlarında silindir gaz basıncının hacime göre değişimleri



Şekil 27. (a) 4000 d/d'da silindir basıncının krank mili açısına göre değişimleri



Şekil 27. (b) 4000 d/d'da farklı su oranlarında silindir gaz basıncının hacime göre değişimleri

4. SONUÇLAR

Sunulan tez çalışmasından elde edilen başlıca sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Seçilen (2000, 2500 ve 3000) d/d motor hızlarında karışımdaki su oranı arttıkça K is faktörü azalmıştır. Maksimum azalma 3000 d/d'da % 11.71 su oranında, % 41.75 olarak belirlenmiştir.

2. Seçilen yüklerde ve devir sayılarında su oranı arttıkça NO_x oranı genel olarak azalmıştır. % 6 su oranından sonraki azalmalar daha etkin olmuştur. 2500 d/d'da tam gazda tam yükte (520 N) maksimum azalma % 9.400 su oranında % 12.489 ve 3000 d/d'da tam gazda tam yükte (420 N) maksimum azalma % 9.464 su oranında % 11.885 olarak belirlenmiştir.

3. Seçilen yüklerde ve devir sayılarında su oranı arttıkça, ÖYT genel olarak SDY'na yakın değerler almış ve bazı durumlarda ise azalmıştır. (2000 ve 2500) d/d motor hızlarında % (4-6) su oranlarında ÖYT ortalama olarak % 0.5 azalmıştır. (3000, 3500 ve 4000) d/d motor hızlarında % (4-10) su oranlarında ise ortalama olarak % 1'lik azalma belirlenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan motorda; ÖYT'nin en fazla azaldığı devir sayısı 3500 d/d olmuştur. 3500 d/d'daki maksimum azalma 320 N yükte % 10.268 su oranında % 5.138 şeklinde belirlenmiştir. Seçilen yük ve devir sayılarında; efektif verimde de ÖYT'ye benzer değişimler elde edilmiştir.

4. Seçilen yüklerde ve devir sayılarında su oranı ile efektif güç SDY'na yakın değerler almıştır. 2500 d/d de tam gazda tam yükte (520 N) su oranı arttıkça efektif güç azalma eğilimi göstermiştir ve maksimum azalma % 8.261 su oranında % 0.674 olarak belirlenmiştir. 3000 d/d'da, tam gazda, tam yükte (460 N) su oranı arttıkça efektif güç artma eğilimi göstermiştir ve maksimum artma % 6.543 su oranında % 1.173 olmuştur. 3500 d/d'da ise efektif güç SDY'na çok yakın değerler almıştır.

5. (2000, 2500, 3000 ve 3500) d/d'da su oranı arttıkça basınçlar artmıştır. İlgili devirlerde maksimum basınçların meydana geldiği açılar ise ÜÖN'ye daha yakın çıkmıştır. Buradan da etkin yanmanın ÜÖN'ya daha yakın krank açıları olduğu söylenebilir. 2500 d/d'da SDY durumunda maksimum silindir basıncı 164.080 bar olarak 9.943 °KMA'da belirlenmiştir. Seçilen su oranları için bulunan maksimum basınçlar sırasıyla (163.611, 164.028, 164.992, 164.053 ve 163.382) bar şeklindedir. Söz konusu basınçların olduğu krank mili açıları ise sırasıyla (9.770, 9.577, 9.770, 9.760 ve 9.75) °KMA'dır. 4000 d/d'da ise; su oranı arttıkça basınçlar SDY'ndan daha düşük çıkmıştır. Söz konusu

devirde de maksimum basınçların oluştuğu açılar ÜÖN'ya daha yakındır. Böylece seçilen tüm devirler için etkin yanmanın ÜÖN'ya daha yakın açılarda oluştuğu ve bu nedenle suyun eklenmesi ile yanmanın iyileştiği tahmin edilebilir.

6. Renault K9K 700 tipi DP dizel motor için, motor karakteristikleri açısından ortalama % (4-10) su oranlarının tercih edilebileceği söylenebilir. Bununla birlikte su oranı arttıkça NO_x oranı ve K is faktörü ise sürekli azalma eğilimi göstermiştir. Fakat hem eksoz gazları ve hem de motor karakteristikleri açısından ilgili motor için ortalama % (4-10) su oranları tercih edilebilir.

5. ÖNERİLER

1. Sunulan çalışmada suyun, emme havası içerisine püskürtülmesinin motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri Renault K9K 700 tipi bir otomobil dizel motoru kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Bulunan sonuçlar yalnızca bu motora ilişkindir. Suyun motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisini deneysel olarak daha iyi anlayabilmek ve sonuçları daha genelleştirebilmek için farklı sıkıştırma oranına sahip değişik tip dizel motorlarında benzer deneylerin yapılması önerilebilir.

2. Su, emme manifoldundan emilmekte olan havanın içerisine basit bir karbüratör kullanılarak püskürtülmüştür. Daha ileri düzeydeki çalışmalarda, suyun gönderilmesinde basit bir karbüratör yerine elektronik kontrollü püskürtme donanımları kullanılabilir. Böylece; basit bir karbüratörün kullanılmasının kolay ve ucuz olmasına karşın püskürtme donanımı ile eklenecek olan su miktarı daha hassas olarak ayarlanabilir. Hatta püskürtme donanımının kullanılması durumunda motorun her çalışma koşuluna en uygun olan karışımın ayarlanması da sağlanabilir.

3. Doktora düzeyindeki daha ileri çalışmalarda uygun bir motor çevrim modeli kullanılarak emme havasına su eklenmesinin veya doğrudan doğruya yanma odasına su püskürtülmesinin motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri teorik olarak incelenebilir.

6. KAYNAKLAR

1. Durgun, O., Sahin, Z. ve Bayram, C., Taşıt-Gemi Dizel Motorlarında Hafif Yakıt Fumigasyonunun ve Mekanik Kayıpların Motor Performansı ve Çevre Kirliliği Üzerindeki Etkilerinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projesi Raporu, Trabzon, 2010.
2. Reis, M., Dünyada Gıdanın Stratejik Önemi, Ekovitrin. (www.ekovitrin.com/index.php/dunyada-gidanin-stratejik-onemi/), 21 Ekim 2011.
3. Sezer, İ., Normal Benzine Metanol ve MTBE Katılmasının Buji Ateşlemeli Motorun Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2002.
4. Ersoy, S. ve Taşkın, S., Dizel Motorlarının Yardımcı Ekipmanlarındaki Gelişmeler ve Common-Rail Sistemler I, Otomotiv Dergisi, 106 (2006).
5. Ögüt, H. ve Kuş, R., Motorlu Taşıtlarda Alternatif Yakıt Kullanımı, II. Ulaşım ve Trafik kongresi, 2010 Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Selçuklu – Konya, 11160 (149-161).
6. Altun, Ş. ve Gür, M.A., Bitkisel Yağların Alternatif Yakıt Olarak Dizel Motorlarında Kullanılması, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 9, 3 (2005), 35-42.
7. Şahin, Z. ve Durgun, O., Dizel Motorları İçin Klasik Alternatif Yakıtlar ve Kullanım Yöntemleri, 17. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Haziran 2009, Sivas, Bildiriler Kitabı, 891-898.
8. Durgun, O., Şahin, Z. ve Bayram, C., Dizel Motorlarında Hafif Yakıt Fumigasyonunun Etkilerinin ve Mekanik Kayıpların Deneysel ve Teorik İncelenmesi, Devlet Planlama Teşkilatı Proje Raporu, 2009.
9. Durgun, O., Using Ethanol in Spark Ignition Engine, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Dergisi, 29 (1988) 24-26.
10. Şahin, Z. ve Durgun, O., Theoretical Effects of Light Fuel Fumigation on Diesel Engine Performance and Emissions, Energy Conversion and Management, 48 (2007) 1952-64.
11. Şahin, Z., Durgun, O. ve Kurt, M., Experimental Investigation of Ethanol Fumigation in a Turbocharged IDI Diesel Engine, 11th International Combustion Symposium, June 2010, SARAJEVO.
12. Sahin, Z., Durgun, O. ve Bayram C., Experimental Investigation of Gasoline Fumigation in a Turbocharged IDI Diesel Engine, Fuel, (2011) (basımda).

13. Soysal, C., Dizel Motorlarında Biyodizel-Dizel Yakıtı Karışımlarının Kullanılmasının Motor Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2008.
14. Nişancı, S., Biyodizel Yakıt Karışımlarının Performans ve Emisyon Üzerine Etkilerinin Deneysel Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
15. Monyem, A. ve Gerpen, J., The Effect of Biodiesel Oxidation on Engine Performance and Emissions, Biomass and Bioenergy, 20, 4 (2001) 317-325.
16. Kahraman, N. ve Akansu, S.O., İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Hidrojen Kullanımı, Mühendis ve Makine, 48, 569 (2007) 9-15.
17. Tiryaki, D., Benzin Motorlarında Emme Havaına Su Eklenmesinin Motor Performansına ve Eksoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2008.
18. Subramanian, K.A., A Comparison of Water-Diesel Emulsion and Timed Injection of Water into the Intake Manifold of a Diesel Engine for Simultaneous Control of NO and Smoke Emissions, Energy Conversion and Management, 52 (2011) 849-857.
19. Tauzia, X., Maiboom, A. ve Rahman Shah, S., Experimental Study of Inlet Manifold Water Injection on Combustion and Emission of an Automotive Direct Injection Diesel Engine, Energy, 35 (2010) 3628-3639.
20. Sarvi, A., Kilpinen, P. ve Zevenhaven, R., Emissions From Large-Scale Medium-Speed Diesel Engines: 3. Influence of Direct Water Injection and Common Rail, Fuel Processing Technology, 90 (2009) 222-231.
21. Larbi, N. ve Bessrou, J., Measurement and Simulation of Pollutant Emissions From Marine Diesel Combustion Engine and Their Reduction by Water Injection, Advances in Engineering Software, 41 (2010) 898-906.
22. Abu-Zaid, M., Performance of Single Cylinder, Direct Injection Diesel Engine Using Water Emissions, Energy Conversion and Management, 45 (2004) 697-705.
23. Hountalas, D.T., Mavropoulos, G.C., Zannis, T.C. ve Mamalis, S.D., Use of Water Emulsion and Intake Water Injection as NO_x Reduction Techniques for Heavy Duty Diesel Engines, 2006 SAE World Congress, April 2006, Detroit, Michigan, 01-1414.
24. Kegl, B. ve Pehan, S., Reduction of Diesel Engine Emissions by Water Injection, International and Messe Düsseldorf, SAE, 01 (2001) 32-59.
25. Selim, M.Y.E. ve Ghannam, M.T., Performance and Engine Roughness of a Diesel Engine Running on Stabilized Water Diesel Emulsion, ICE 2007 8th International Conference on Engines for Automobile, September 2007, Capri, Naples Italy, 24, 0132.

26. 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.
27. Horiba Introduction Manual Book, 2005.
28. MGA 1500 Kullanma Kılavuzu, MATES, Otomotiv ve Materyal Test Cihazları, Ankara.
29. Durgun, O., Motorlarda Deneysel Yöntemler, Laboratuar Ders Notları, K.T.Ü., Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 1990.
30. Durgun, O., Motorlar I-II Ders Notları, K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Basılmamış, Trabzon, 1999.
31. Cussons Engine Test Bed Manual Book, 1993.
32. Durgun, O., Sahin, 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.
33. Durgun, O., Yakıtlar ve Yanma Ders Notları, K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Basılmamış, Trabzon, 1992.
34. Holman, J.P., Experimental Methods for Engineers, Seven Edition, McGraw-Hill International Edition, New York, 2001.
35. Heywood, J.B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill Book Company, 1988.

7. EKLER

Ek Tablo 1. 2000 d/d'da seçilen yüklerde su oranına göre ÖYT, efektif verim, efektif güç ve NO_x oranındaki artma azalma oranları

n=2000 d/d										
	520 N					420 N				
SO [%]	2.392	4.225	5.993	8.351	9.720	2.857	4.780	6.553	9.315	10.214
$\frac{\Delta b_e}{b_e}$ [%]	1.798	0.594	-1.199	0.948	1.613	1.304	0.239	-1.141	0.462	0.815
$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$ [%]	-1.720	-0.591	1.294	-0.917	-1.547	-1.148	0.065	1.298	-0.348	-0.691
$\frac{\Delta N_e}{N_e}$ [%]	0.159	0.350	0.381	0.286	0	0.512	0.591	0.551	0.472	0.079
$\frac{\Delta NO_x}{NO_x}$ [%]	0.437	-6.080	-5.546	-13.648	-7.338	-0.447	-0.443	-1.692	-10.761	-8.740
	370 N					270 N				
SO [%]	3.042	5.060	6.923	9.874	10.648	3.386	5.683	7.792	11.333	11.952
$\frac{\Delta b_e}{b_e}$ [%]	1.070	-0.182	-0.535	0.465	0.599	0.453	-1.763	1.260	0.630	0.222
$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$ [%]	-0.883	0.442	0.883	-0.221	-0.442	-0.467	1.402	-1.636	-0.701	-0.467
$\frac{\Delta N_e}{N_e}$ [%]	0.313	0.491	0.313	0.446	-0.089	0.859	0.798	0.613	0.920	0.307
$\frac{\Delta NO_x}{NO_x}$ [%]	-5.374	-2.986	-5.789	-17.801	-14.783	-6.007	-9.438	-6.660	-22.922	-14.765

Ek Tablo 2. 2500 d/d'da seçilen yüklerde su oranına göre ÖYT, efektif verim, efektif güç ve NO_x oranındaki artma azalma oranları

n=2500 d/d										
	520 N					420 N				
SO [%]	2.065	4.013	6.196	8.261	9.400	2.432	5.615	8.806	9.898	11.353
$\frac{\Delta b_e}{b_e}$ [%]	1.087	2.174	1.630	0	2.717	1.640	0.546	-0.546	1.640	4.918
$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$ [%]	-1.732	-0.649	1.299	-0.866	-1.515	-1.087	0	1.304	-0.435	-0.652
$\frac{\Delta N_e}{N_e}$ [%]	2.515	-0.117	-0.374	-0.676	-0.392	2.194	-0.311	-0.924	-0.902	-0.195
$\frac{\Delta NO_x}{NO_x}$ [%]	-6.101	-4.295	-7.370	-12.113	-12.489	-3.732	-2.310	-11.725	-13.257	-13.405
	370 N					270 N				
SO [%]	2.677	6.078	9.642	10.814	12.111	3.16	7.088	11.342	12.717	14.097
$\frac{\Delta b_e}{b_e}$ [%]	1.613	0.538	-1.075	1.618	5.376	2.020	0.505	0.505	2.020	4.545
$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$ [%]	-0.833	0.091	0.883	-0.221	-0.442	-0.467	1.402	-1.636	-0.701	-0.467
$\frac{\Delta N_e}{N_e}$ [%]	2.338	-0.460	-0.750	-0.939	-0.146	0.220	-0.498	-1.113	-0.805	-0.249
$\frac{\Delta NO_x}{NO_x}$ [%]	-1.200	-5.158	-8.388	-13.546	-15.845	-10.821	-8.236	-13.225	-21.671	-25.789

Ek Tablo 3. 3000 d/d'da seçilen yüklerde su oranına göre ÖYT, efektif verim, efektif güç ve NO_x oranındaki artma azalma oranları

n=3000 d/d										
	460 N					360 N				
SO [%]	2.121	4.598	6.543	8.314	9.464	2.835	5.764	7.890	10.245	11.487
$\frac{\Delta b_e}{b_e}$ [%]	0.655	-0.481	-0.565	-0.677	0.677	-0.825	-0.999	-1.504	-1.591	0.793
$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$ [%]	-1.047	0.031	0.210	0.314	-1.240	0.669	1.095	1.521	1.792	-0.788
$\frac{\Delta N_e}{N_e}$ [%]	1.001	0.431	1.173	0.696	1.127	-0.922	-0.322	-0.831	-0.552	-0.874
$\frac{\Delta NO_x}{NO_x}$ [%]	-2.056	-0.212	-6.380	-8.467	-11.884	0.327	-4.295	-10.072	-13.865	-17.659
	310 N					210 N				
SO [%]	3.104	6.432	8.821	11.217	12.945	3.813	7.802	10.907	13.343	16.184
$\frac{\Delta b_e}{b_e}$ [%]	-0.902	-0.438	-1.079	-1.539	0.865	0.979	2.129	1.649	-0.588	1.200
$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$ [%]	1.052	0.559	1.236	1.700	-0.771	-0.249	-2.682	-1.629	-0.637	-1.277
$\frac{\Delta N_e}{N_e}$ [%]	-0.921	-0.342	-0.860	-0.517	-0.806	-0.952	-0.335	-0.888	-0.544	-1.024
$\frac{\Delta NO_x}{NO_x}$ [%]	2.321	-5.367	-12.925	-13.650	-16.010	9.160	-2.790	-9.529	-7.949	-14.741

Ek Tablo 4. 3500 d/d'da seçilen yüklerde su oranına göre ÖYT, efektif verim, efektif güç ve NO_x oranındaki artma azalma oranları

3500 d/d										
	420 N					320 N				
SO [%]	2.321	3.834	6.212	7.997	12.539	2.920	4.970	8.105	10.268	15.245
$\frac{\Delta b_e}{b_e}$ [%]	-0.930	-3.486	-2.452	-4.356	-3.158	-3.678	-3.515	-3.574	-5.138	-4.865
$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$ [%]	1.104	3.670	2.566	3.318	4.680	3.682	3.583	3.782	5.041	5.345
$\frac{\Delta N_e}{N_e}$ [%]	0.044	0	0.199	0.287	0.375	-0.113	-0.055	0.212	0.345	0.287
$\frac{\Delta NO_x}{NO_x}$ [%]	2.504	1.252	-7.710	-8.732	-1.203	6.609	0	-3.849	-8.206	-13.145
	270 N					170 N				
SO [%]	3.349	5.620	9.190	11.568	17.023	4.394	7.207	11.973	14.900	21.399
$\frac{\Delta b_e}{b_e}$ [%]	-4.309	-3.471	-4.261	-4.940	-5.253	-4.104	-3.351	-5.096	-4.343	-3.394
$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$ [%]	4.389	3.558	4.130	5.057	5.465	4.871	4.059	5.797	5.224	4.234
$\frac{\Delta N_e}{N_e}$ [%]	0.051	0.104	0.227	0.158	0.385	0.309	0.024	0.463	0.231	0.514
$\frac{\Delta NO_x}{NO_x}$ [%]	8.056	-3.330	0	-9.023	-16.327	0.864	-12.22	-0.987	-10.370	-22.465

Ek Tablo 5. 4000 d/d'da seçilen yüklerde su oranına göre ÖYT, efektif verim, efektif güç ve NO_x oranındaki artma azalma oranları

n=4000 d/d										
	400 N					300 N				
SO [%]	1.846	4.09	5.292	8	9.015	2.51	6.072	8.727	10.22	11.565
$\frac{\Delta b_e}{b_e}$ [%]	8.182	9.091	6.818	-1.364	-1.364	-1.395	0	-1.395	-2.791	-3.721
$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$ [%]	-6.753	-7.792	-5.195	1.818	1.558	0.254	-0.508	0.761	2.538	3.553
$\frac{\Delta N_e}{N_e}$ [%]	1.367	1.498	1.715	2.873	3.086	1.157	1.193	1.534	3.074	3.570
$\frac{\Delta NO_x}{NO_x}$ [%]	2.692	-1.732	-8.476	-0.986	-17.138	6.406	8.265	2.688	-13.813	-15.872
	250 N					150 N				
SO [%]	2.92	6.933	10.195	11.524	12.999	3.5	8.65	13.583	14.761	16.674
$\frac{\Delta b_e}{b_e}$ [%]	-1.794	-2.242	-3.139	-3.139	-4.036	4.247	-0.386	-1.931	-1.158	-3.088
$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$ [%]	0.783	1.044	2.089	2.089	3.655	-3.067	1.227	2.761	1.227	3.681
$\frac{\Delta N_e}{N_e}$ [%]	1.455	1.307	1.694	3.185	3.380	1.270	1.061	1.484	3.078	2.655
$\frac{\Delta NO_x}{NO_x}$ [%]	7.361	4.992	-0.255	-19.204	-24.197	4.050	5.615	-1.563	-23.588	-30.764

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa TUTİ 1985 yılında Samsun'da doğdu. Ortaokul ve lise öğrenimini Samsun Anadolu Lise'nde tamamladı. 2004 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2008 yılında Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisi olarak dereceyle mezun oldu. Lisans öğreniminde, bir yıl süreyle Türk Loydu Vakfı'ndan burs almıştır. 2009–2010 Eğitim ve Öğretim Güz Yarıyılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Bir süre özel sektörde çalıştıktan sonra, 2009 Aralık ayından itibaren Karadeniz Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. İyi seviyede İngilizce bilmektedir.