

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

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BENZİN MOTORLARINDA EMME HAVASINA SU EKLENMESİNİN MOTOR**  
**PERFORMANSINA VE EKSOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN**  
**DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Derya TİRYAKİ**

**AĞUSTOS 2008**  
**TRABZON**

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

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BENZİN MOTORLARINDA EMME HAVASINA SU EKLENMESİNİN MOTOR  
PERFORMANSINA VE EKSOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN  
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Makina Mühendisi Derya TİRYAKİ**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**“Makina Yüksek Mühendisi”**  
**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

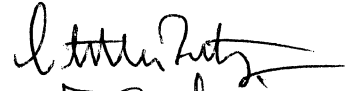
**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04.08.2008**

**Tezin Savunma Tarihi : 22.08.2008**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Orhan DURGUN**



**Jüri Üyesi : Doç. Dr. Atilla BİLGİN**



**Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Zehra ŞAHİN**



**Enstitü Müdürü V. : Doç. Dr. Salih TERZİOĞLU**

**Trabzon 2008**

## ÖNSÖZ

Dünya nüfusunun hızla artması, yaşam standartlarının yükselmesi ve ekonomik gelişmeler enerji gereksinimini hızla artırmaktadır. Günümüzün başlıca etkin enerji kaynaklarını kömür, fosil yakıtlar, doğal gaz, nükleer enerji ve hidroelektrik enerji oluşturmaktadır. Söz konusu mevcut enerji kaynaklarının yakın gelecekte yetersiz kalacak olması ve motorlu taşıtlardan kaynaklanan çevre kirliliğinin tehlikeli boyutlara ulaşması alternatif yakıtların önemini arttırmıştır. Yapılan araştırmalardan, güncel olarak henüz petrol yerine tam olarak geçebilecek alternatif bir yakıtın bulunmamış olduğu görülebilir. Motorlardan kaynaklanan çevre kirliliğini azaltmak, motor performansını ve verimini iyileştirerek, yakıt tüketimini bir ölçüde azaltabilmek amacı ile değişik bir çözüm olarak özellikle benzin motorlarında emme havasına su püskürtülmesi düşünülebilir. Bu amaçla sunulan tez çalışmasında, alternatif yakıt kullanımından farklı olarak, benzin motorlarında emme havasına su püskürtülmesinin motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

Tez çalışmalarım süresince bana bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren, her konuda desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Orhan DURGUN'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Deneysel çalışmalarım süresince yapmış olduğu yardım ve katkılardan dolayı arkadaşım Makina Mühendisi Cahit SOYSAL'a teşekkür ederim. Ayrıca hayatım boyunca bana maddi ve manevi destekte bulunan aileme, çalışmalarım süresince bana maddi desteğini esirgemeyen ablam Uzm. Dr. Betül TİRYAKİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Derya TİRYAKİ  
Trabzon 2008

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET .....	VI
SUMMARY .....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XVIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Kirletici Eksoz Emisyonları ve Etkileri.....	1
1.3. Alternatif Motor Yakıtları .....	3
1.4. Literatür Araştırması .....	9
1.5. Tez Çalışmasının Amacı .....	13
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	14
2.1. Deney Düzeneği .....	14
2.2. Mini Motor Deney Düzeneğinde Ölçümler ve Hesaplamalar.....	17
2.2.1. Ortam Koşulları.....	17
2.2.2. Devir Sayısı .....	18
2.2.3. Moment .....	18
2.2.3.1. Dinamometrenin Kalibrasyonu .....	20
2.2.4. Efektif Güç .....	20
2.2.5. Ortalama Efektif Basınç .....	21
2.2.6. Hava Debisi .....	22
2.2.7. Özgül Yakıt Tüketimi.....	26
2.2.8. Efektif Verim.....	27
2.2.9. Hava Fazlalık Katsayısı.....	27
2.2.10. Eksoz Gazı Sıcaklığı .....	28
2.2.11. Karbonmonoksit (CO) ve Hidrokarbon (HC) Emisyonları.....	28
2.3. Deneysel Çalışma.....	29

2.3.1.	Deney Motorunda Yapılan Düzenlemeler.....	29
2.3.2.	Deney Koşulları ve Deneylerde Kullanılan Yakıtın Özellikleri .....	30
2.3.3.	Deneylerde Uygulanan İşlem Sırası.....	31
3.	BULGULAR .....	32
3.1.	Sabit Gaz Konumlarında, Motor Performans Karakteristiklerinin Devir Sayısına ve Su Oranına Göre Değişimleri.....	32
3.1.1.	Tam Gaz Konumunda Motor Performans Karakteristikleri.....	32
3.1.1.1.	Tam Gaz Konumunda, Farklı Su Oranları İçin Motor Performans Karakteristiklerinin Devir Sayısına Göre Değişimleri .....	33
3.1.1.2.	Tam Gaz Konumunda, Farklı Devir Sayıları İçin Motor Performans Karakteristiklerinin Su Oranına Göre Değişimleri.....	45
3.1.1.3.	Tam Gaz Konumunda, Motor Performans Karakteristiklerinin Değişim Oranlarının Su Oranına Göre Değişimleri.....	56
3.1.2.	3/4 Gaz Konumunda Motor Performans Karakteristikleri .....	69
3.1.2.1.	3/4 Gaz Konumunda, Farklı Su Oranları İçin Motor Performans Karakteristiklerinin Devir Sayısına Göre Değişimleri .....	69
3.1.2.2.	3/4 Gaz Konumunda, Farklı Devir Sayıları İçin Motor Performans Karakteristiklerinin Su Oranına Göre Değişimleri.....	76
3.1.2.3.	3/4 Gaz Konumunda, Motor Performans Karakteristiklerinin Değişim Oranlarının Su Oranına Göre Değişimleri.....	83
3.1.3.	2/4 Gaz Konumunda Motor Performans Karakteristikleri .....	96
3.1.3.1.	2/4 Gaz Konumunda, Farklı Su Oranları İçin Motor Performans Karakteristiklerinin Devir Sayısına Göre Değişimleri .....	96
3.1.3.2.	2/4 Gaz Konumunda, Farklı Devir Sayıları İçin Motor Performans Karakteristiklerinin Su Oranına Göre Değişimleri.....	103
3.1.3.3.	2/4 Gaz Konumunda, Motor Performans Karakteristiklerinin Değişim Oranlarının Su Oranına Göre Değişimleri.....	110
3.1.4.	1/4 Gaz Konumunda Motor Performans Karakteristikleri .....	123
3.1.4.1.	1/4 Gaz Konumunda, Farklı Su Oranları İçin Motor Performans Karakteristiklerinin Devir Sayısına Göre Değişimleri .....	123
3.1.4.2.	1/4 Gaz Konumunda, Farklı Devir Sayıları İçin Motor Performans Karakteristiklerinin Su Oranına Göre Değişimleri.....	130
3.1.4.3.	1/4 Gaz Konumunda, Motor Performans Karakteristiklerinin Değişim Oranlarının Su Oranına Göre Değişimleri.....	137
3.2.	Sabit Gaz Konumlarında, Eksoz Emisyonlarının Devir Sayısına ve Su Oranına Göre Değişimleri .....	150
3.2.1.	Tam Gaz Konumunda Eksoz Emisyonlarının Devir Sayısına ve Su Oranına Göre Değişimleri .....	150

3.2.2.	3/4 Gaz Konumunda Eksoz Emisyonlarının Devir Sayısına ve Su Oranına Göre Değişimleri .....	155
3.2.3.	2/4 Gaz Konumunda Eksoz Emisyonlarının Devir Sayısına ve Su Oranına Göre Değişimleri .....	159
3.2.4.	1/4 Gaz Konumunda Eksoz Emisyonlarının Devir Sayısına ve Su Oranına Göre Değişimleri .....	163
4.	SONUÇLAR .....	167
5.	ÖNERİLER .....	171
6.	KAYNAKLAR.....	173
7.	EKLER.....	175
ÖZGEÇMİŞ		

## ÖZET

Dünyanın enerji gereksiniminin büyük bölümünü karşılayan fosil kaynaklı yakıtlar hem gittikçe azalmakta hem de çok ciddi çevre ve hava kirliliğine neden olmaktadır. Bu nedenle özellikle son otuz yıldır alternatif motor yakıtları alanında çalışmalar yoğun şekilde sürmektedir. Araştırmacılar birçok farklı yakıt ve yakıt karışımları üzerinde çalışmakta, bunların petrol kökenli yakıtlara göre; hem motor performansı hem de çevre üzerindeki etkilerini incelemekte ve karşılaştırmaktadırlar. Sunulan tez çalışmasında, bugüne kadar üzerinde fazla durulmamış bir konu olan benzin motorlarında emme havasına su püskürtülmesinin motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

Deneysel, (1/4, 2/4, 3/4, 4/4) gaz konumlarında, farklı motor hızlarında ve farklı su oranlarında gerçekleştirilmiştir. Su emme havasına yaklaşık (%5, %6.25, %7.5, %8.75, %11.25) oranlarında püskürtülmüştür. Benzine istenen oranlarda su eklemek amacı ile orijinal karbüratörden önce ana meme kesiti değiştirilebilen bir karbüratör tasarlanarak sisteme eklenmiştir. Böylece motorda önemli değişiklik yapılmadan emme havasının içerisine farklı oranlarda su püskürtülmesi sağlanmıştır. Deneysel sabit sıkıştırma oranlı, tek silindirli Honda GX 160 benzin motoru kullanılarak yapılmıştır. Deneysel sonuçlarından 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 sonuçların 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 yaklaşık ~%7 düzeylerinde artış, özgül yakıt tüketiminde ise ~%6 düzeylerinde azalma sağlanmıştır. Ayrıca CO ve HC emisyonlarında sırasıyla yaklaşık %30 ve %25 oranlarında azalma belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Alternatif Yakıtlar, Motor Performansı, Su-Benzin Karışımları, Emme Havasına Su Püskürtülmesi

## SUMMARY

### **Experimental Investigation of the Effects of Water Adding to the Intake Air on the Engine Performance and Exhaust Emissions**

Fuels which meet the most of the world's energy requirement based on the fossil sources are decreased gradually and also result in serious environmental pollutions. For this reason, the studies on the alternative engine fuels have continued intensively recently, especially during thirteen years. The researchers study on several fuels and blended fuels and they investigate and compare their effects on engine performance and environment in comparison with petroleum based fuels. In the presented study, it was aimed to investigate the effects of water injection into intake air, which is a subject that has not been yet considered in detail to date, on the engine performance and exhaust emissions.

Experiments have been performed at throttle settings of 1:4, 2:4, 3:4, 4:4 (at the 1/4, 2/4, 3/4, 4/4 gas positions) different engine speeds and various water ratios. The water has been injected to intake air at the approximate ratios of 5%, 6.25%, 7.5%, 8.75%, 11.25%. A separate simple carburetor of which main nozzle section is variable has been designed and connected to intake pipe before the original carburetor for addition of water at desired ratios into intake air. Thus, the water injection at various ratios into intake air has been achieved without any considerable modification on engine structure. Experiments have been performed by using a constant compression ratio, single cylinder Honda GX 160 gasoline engine. The torque, brake effective power, mean brake effective pressure, brake specific fuel consumption, brake effective efficiency and ratios of CO and HC emissions obtained from experiments have been investigated at various operating conditions.

It was determined from the investigation and discussion of the experimental results that the water injection at specified ratios into intake air improves somewhat the engine performance and exhaust emissions. The best results for all operating conditions have been obtained at water ratio of about 6.25%. For this case, an increment of about 7% in brake effective power and decrement of about 6% in brake specific fuel consumption have been achieved. Emissions of CO and HC have also been reduced of about 30% and 25%, respectively.

**Key Words:** Alternative Fuels, Engine Performance, Water-Gasoline Blends, Water Injection into Intake Air.



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.	TecEquipment üretimi TD114 mini test düzeneğinin genel görünüşü .....	14
Şekil 2.	Honda GX 160 benzin motoru için üretici firma tarafından verilmiş olan hız karakteristikleri .....	16
Şekil 3.	Ölçü sisteminin genel görünüşü .....	17
Şekil 4.	Bir su freninin ve dinamometrenin şematik resmi.....	19
Şekil 5.	Emme havasının debisini ölçmek için bir orifis-eğik manometre düzeneği.....	23
Şekil 6.	Emme sistemine eklenen karbüratörün genel görünüşü .....	30
Şekil 7.	Tam gaz konumunda, farklı su oranları için döndürme momentinin devir sayısına göre değişimi .....	34
Şekil 8.	Tam gaz konumunda, farklı su oranları için efektif gücün devir sayısına göre değişimi .....	36
Şekil 9.	Tam gaz konumunda, farklı su oranları için ortalama efektif basıncın devir sayısına göre değişimi .....	38
Şekil 10.	Tam gaz konumunda, farklı su oranları için efektif verimin devir sayısına göre değişimi .....	40
Şekil 11.	Tam gaz konumunda, farklı su oranları için özgül yakıt tüketiminin devir sayısına göre değişimi .....	42
Şekil 12.	Tam gaz konumunda, farklı su oranları için hava fazlalık katsayısının devir sayısına göre değişimi .....	44
Şekil 13.	Tam gaz konumunda, farklı devir sayıları için döndürme momentinin su oranına göre değişimi.....	46
Şekil 14.	Tam gaz konumunda, farklı devir sayıları için efektif gücün su oranına göre değişimi .....	48
Şekil 15.	Tam gaz konumunda, farklı devir sayıları için ortalama efektif basıncın su oranına göre değişimi .....	50
Şekil 16.	Tam gaz durumunda, farklı devir sayıları için efektif verimin su oranına göre değişimi .....	52
Şekil 17.	Tam gaz durumunda, farklı devir sayıları için özgül yakıt tüketiminin su oranına göre değişimi .....	54
Şekil 18.	Tam gaz durumunda, farklı devir sayıları için hava fazlalık katsayısının su oranına göre değişimi.....	55
Şekil 19.	Tam gaz konumunda, n=2400 d/dak'da döndürme momenti değişim oranının su oranına göre değişimi.....	57

Şekil 20.	Tam gaz konumunda, n=3600 d/dak'da döndürme momenti değişim oranının su oranına göre değişimi .....	58
Şekil 21.	Tam gaz konumunda, n=2400 d/dak'da efektif güç değişim oranının su oranına göre değişimi .....	59
Şekil 22.	Tam gaz konumunda, n=3600 d/dak'da efektif güç değişim oranının su oranına göre değişimi .....	60
Şekil 23.	Tam gaz konumunda, n=2400 d/dak'da ortalama efektif basıncın değişim oranının su oranına göre değişimi .....	61
Şekil 24.	Tam gaz konumunda, n=3600 d/dak'da ortalama efektif basıncın değişim oranının su oranına göre değişimi .....	62
Şekil 25.	Tam gaz konumunda, n=2400 d/dak'da efektif verimin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	63
Şekil 26.	Tam gaz konumunda, n=3600 d/dak'da efektif verimin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	64
Şekil 27.	Tam gaz konumunda, n=2400 d/dak'da özgül yakıt tüketiminin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	65
Şekil 28.	Tam gaz konumunda, n=3600 d/dak'da özgül yakıt tüketiminin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	66
Şekil 29.	Tam gaz konumunda, n=2400 d/dak'da hava fazlalık katsayısının değişim oranının su oranına göre değişimi .....	67
Şekil 30.	Tam gaz konumunda, n=3600 d/dak'da hava fazlalık katsayısının değişim oranının su oranına göre değişimi .....	68
Şekil 31.	3/4 gaz konumunda, farklı su oranları için döndürme momentinin devir sayısına göre değişimi .....	70
Şekil 32.	3/4 gaz konumunda, farklı su oranları için efektif gücün devir sayısına göre değişimi .....	71
Şekil 33.	3/4 gaz konumunda, farklı su oranları için ortalama efektif basıncın devir sayısına göre değişimi .....	72
Şekil 34.	3/4 gazda, farklı su oranları için efektif verimin devir sayısına göre değişimi .....	73
Şekil 35.	3/4 gazda, farklı su oranları için özgül yakıt tüketiminin devir sayısına göre değişimi .....	74
Şekil 36.	3/4 gazda, farklı su oranları için hava fazlalık katsayısının devir sayısına göre değişimi .....	75
Şekil 37.	3/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için döndürme momentinin su oranına göre değişimi .....	77
Şekil 38.	3/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için efektif gücün su oranına göre değişimi .....	78

Şekil 39.	3/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için ortalama efektif basıncın su oranına göre değişimi .....	79
Şekil 40.	3/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için özgül yakıt tüketiminin su oranına göre değişimi .....	80
Şekil 41.	3/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için efektif verimin su oranına göre değişimi .....	81
Şekil 42.	3/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için hava fazlalık katsayısının su oranına göre değişimi .....	82
Şekil 43.	3/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da döndürme momentinin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	84
Şekil 44.	3/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da döndürme momentinin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	85
Şekil 45.	3/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da efektif gücün değişim oranının su oranına göre değişimi .....	86
Şekil 46.	3/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da efektif gücün değişim oranının su oranına göre değişimi .....	87
Şekil 47.	3/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da ortalama efektif basıncın değişim oranının su oranına göre değişimi .....	88
Şekil 48.	3/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da ortalama efektif basıncın değişim oranının su oranına göre değişimi .....	89
Şekil 49.	3/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da efektif verimin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	90
Şekil 50.	3/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da efektif verimin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	91
Şekil 51.	3/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da özgül yakıt tüketiminin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	92
Şekil 52.	3/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da özgül yakıt tüketiminin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	93
Şekil 53.	3/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da hava fazlalık katsayısının değişim oranının su oranına göre değişimi .....	94
Şekil 54.	3/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da hava fazlalık katsayısının değişim oranının su oranına göre değişimi .....	95
Şekil 55.	2/4 gaz konumunda, farklı su oranları için döndürme momentinin devir sayısına göre değişimi .....	97
Şekil 56.	2/4 gaz konumunda, farklı su oranları için efektif gücün devir sayısına göre değişimi .....	98
Şekil 57.	2/4 gaz konumunda, farklı su oranları için ortalama efektif basıncın devir sayısına göre değişimi .....	99

Şekil 58.	2/4 gaz konumunda, farklı su oranları için efektif verimin devir sayısına göre değişimi .....	100
Şekil 59.	2/4 gaz konumunda, farklı su oranları için özgül yakıt tüketiminin devir sayısına göre değişimi .....	101
Şekil 60.	2/4 gaz konumunda, farklı su oranları için hava fazlalık katsayısının devir sayısına göre değişimi .....	102
Şekil 61.	2/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için döndürme momentinin su oranına göre değişimi .....	104
Şekil 62.	2/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için efektif gücün su oranına göre değişimi .....	105
Şekil 63.	2/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için ortalama efektif basıncın su oranına göre değişimi .....	106
Şekil 64.	2/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için efektif verimin su oranına göre değişimi .....	107
Şekil 65.	2/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için özgül yakıt tüketiminin su oranına göre değişimi .....	108
Şekil 66.	2/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için hava fazlalık katsayısının su oranına göre değişimi .....	109
Şekil 67.	2/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da döndürme momentinin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	111
Şekil 68.	2/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da döndürme momentinin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	112
Şekil 69.	2/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da efektif gücün değişim oranının su oranına göre değişimi .....	113
Şekil 70.	2/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da efektif gücün değişim oranının su oranına göre değişimi .....	114
Şekil 71.	2/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da ortalama efektif basıncın değişim oranının su oranına göre değişimi .....	115
Şekil 72.	2/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da ortalama efektif basıncın değişim oranının su oranına göre değişimi .....	116
Şekil 73.	2/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da efektif verimin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	117
Şekil 74.	2/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da efektif verimin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	118
Şekil 75.	2/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da özgül yakıt tüketiminin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	119
Şekil 76.	2/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da özgül yakıt tüketiminin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	120

Şekil 77.	2/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da hava fazlalık katsayısının değişim oranının su oranına göre değişimi .....	121
Şekil 78.	2/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da hava fazlalık katsayısının değişim oranının su oranına göre değişimi .....	122
Şekil 79.	1/4 gaz konumunda, farklı su oranları için döndürme momentinin devir sayısına göre değişimi .....	124
Şekil 80.	1/4 gaz konumunda, farklı su oranları için efektif gücün devir sayısına göre değişimi .....	125
Şekil 81.	1/4 gaz konumunda, farklı su oranları için ortalama efektif basıncın devir sayısına göre değişimi .....	126
Şekil 82.	1/4 gaz konumunda, farklı su oranları için efektif verimin devir sayısına göre değişimi .....	127
Şekil 83.	1/4 gaz konumunda, farklı su oranları için özgül yakıt tüketiminin devir sayısına göre değişimi .....	128
Şekil 84.	1/4 gaz konumunda, farklı su oranları için hava fazlalık katsayısının devir sayısına göre değişimi .....	129
Şekil 85.	1/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için döndürme momentinin su oranına göre değişimi .....	131
Şekil 86.	1/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için efektif gücün su oranına göre değişimi .....	132
Şekil 87.	1/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için ortalama efektif basıncın su oranına göre değişimi .....	133
Şekil 88.	1/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için efektif verimin su oranına göre değişimi .....	134
Şekil 89.	1/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için özgül yakıt tüketiminin su oranına göre değişimi .....	135
Şekil 90.	1/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için hava fazlalık katsayısının su oranına göre değişimi .....	136
Şekil 91.	1/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da döndürme momentinin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	138
Şekil 92.	1/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da döndürme momentinin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	139
Şekil 93.	1/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da efektif gücün değişim oranının su oranına göre değişimi .....	140
Şekil 94.	1/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da efektif gücün değişim oranının su oranına göre değişimi .....	141
Şekil 95.	1/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da ortalama efektif basıncın değişim oranının su oranına göre değişimi .....	142

Şekil 96.	1/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da ortalama efektif basıncın değişim oranının su oranına göre değişimi .....	143
Şekil 97.	1/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da efektif verimin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	144
Şekil 98.	1/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da efektif verimin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	145
Şekil 99.	1/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da özgül yakıt tüketiminin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	146
Şekil 100.	1/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da özgül yakıt tüketiminin değişim oranının su oranına göre değişimi .....	147
Şekil 101.	1/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da hava fazlalık katsayısının değişim oranının su oranına göre değişimi .....	148
Şekil 102.	1/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da hava fazlalık katsayısı değişim oranının su oranına göre değişimi .....	149
Şekil 103.	Tam gaz konumunda, farklı su oranları için CO emisyonunun devir sayısına göre değişimi .....	151
Şekil 104.	Tam gaz konumunda, farklı su oranları için HC emisyonunun devir sayısına göre değişimi .....	152
Şekil 105.	Tam gaz konumunda, farklı devir sayıları için CO emisyonunun su oranına göre değişimi .....	153
Şekil 106.	Tam gaz konumunda, farklı devir sayıları için HC emisyonunun su oranına göre değişimi .....	154
Şekil 107.	3/4 gaz konumunda, farklı su oranları için CO emisyonunun devir sayısına göre değişimi .....	155
Şekil 108.	3/4 gaz konumunda, farklı su oranları için HC emisyonunun devir sayısına göre değişimi .....	156
Şekil 109.	3/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için CO emisyonunun su oranına göre değişimi .....	157
Şekil 110.	3/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için HC emisyonunun su oranına göre değişimi .....	158
Şekil 111.	2/4 gaz konumunda, farklı su oranları için CO emisyonunun devir sayısına göre değişimi .....	159
Şekil 112.	2/4 gaz konumunda, farklı su oranları için HC emisyonunun devir sayısına göre değişimi .....	160
Şekil 113.	2/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için CO emisyonunun su oranına göre değişimi .....	161
Şekil 114.	2/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için HC emisyonunun su oranına göre değişimi .....	162

Şekil 115. 1/4 gaz konumunda, farklı su oranları için CO emisyonunun devir sayısına göre değişimi .....	163
Şekil 116. 1/4 gaz konumunda, farklı su oranları için HC emisyonunun devir sayısına göre değişimi .....	164
Şekil 117. 1/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için CO emisyonunun su oranına göre değişimi .....	165
Şekil 118. 1/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için HC emisyonunun su oranına göre değişimi .....	166

## TABLULAR DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1. Metan yakıtının ve benzinin başlıca özellikleri .....	4
Tablo 2. Propan yakıtının ve benzinin başlıca özellikleri .....	5
Tablo 3. Benzin ve hidrojenin başlıca özellikleri.....	6
Tablo 4. Etanol, metanol, benzin ve dizel yakıtının başlıca özellikleri .....	7
Tablo 5. Honda GX 160 deney motorunun başlıca özellikleri.....	15
Tablo 6. Deneyleerde kullanılan bezinin başlıca özellikleri .....	31
Ek Tablo 1. Tam gaz konumunda, benzin (%0 su oranı) için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	175
Ek Tablo 2. Tam gaz konumunda, ~%5 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	175
Ek Tablo 3. Tam gaz konumunda, ~%6.25 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	176
Ek Tablo 4. Tam gaz konumunda, ~%7.5 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	176
Ek Tablo 5. Tam gaz konumunda, ~%8.75 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	177
Ek Tablo 6. Tam gaz konumunda, ~%11.25 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	177
Ek Tablo 7. 3/4 gaz konumunda, benzin (%0 su oranı) için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	178
Ek Tablo 8. 3/4 gaz konumunda, ~%5 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	178
Ek Tablo 9. 3/4 gaz konumunda, ~%6.25 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	179
Ek Tablo 10. 3/4 gaz konumunda, ~%7.5 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	179
Ek Tablo 11. 3/4 gaz konumunda, ~%8.75 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	180
Ek Tablo 12. 3/4 gaz konumunda, ~%11.25 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	180
Ek Tablo 13. 2/4 gaz konumunda, benzin (%0 su oranı) için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	181
Ek Tablo 14. 2/4 gaz konumunda, ~%5 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	181



Ek Tablo 15. 2/4 gaz konumunda, ~%6.25 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	182
Ek Tablo 16. 2/4 gaz konumunda, ~%7.5 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	182
Ek Tablo 17. 2/4 gaz konumunda, ~%8.75 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	183
Ek Tablo 18. 2/4 gaz konumunda, ~%11.25 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	183
Ek Tablo 19. 1/4 gaz konumunda, benzin (%0 su oranı) için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	184
Ek Tablo 20. 1/4 gaz konumunda, ~%5 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	184
Ek Tablo 21. 1/4 gaz konumunda, ~%6.25 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	185
Ek Tablo 22. 1/4 gaz konumunda, ~%7.5 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	185
Ek Tablo 23. 1/4 gaz konumunda, ~%8.75 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	186
Ek Tablo 24. 1/4 gaz konumunda, ~%11.25 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi .....	186
Ek Tablo 25. Tam gaz konumunda, 2400 d/dak' da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	187
Ek Tablo 26. Tam gaz konumunda, 2800 d/dak' da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	187
Ek Tablo 27. Tam gaz konumunda, 3200 d/dak' da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	188
Ek Tablo 28. Tam gaz konumunda, 3600 d/dak' da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	188
Ek Tablo 29. Tam gaz konumunda, 3800 d/dak' da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	189
Ek Tablo 30. 3/4 gaz konumunda, 2000 d/dak' da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	189
Ek Tablo 31. 3/4 gaz konumunda, 2400 d/dak' da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	190
Ek Tablo 32. 3/4 gaz konumunda, 2800 d/dak' da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	190
Ek Tablo 33. 3/4 gaz konumunda, 3200 d/dak' da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	191

Ek Tablo 34. 3/4 gaz konumunda, 3600 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	191
Ek Tablo 35. 3/4 gaz konumunda, 3800 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	192
Ek Tablo 36. 2/4 gaz konumunda, 2000 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	192
Ek Tablo 37. 2/4 gaz konumunda, 2400 d/dak farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	193
Ek Tablo 38. 2/4 gaz konumunda, 2800 d/dak farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	193
Ek Tablo 39. 2/4 gaz konumunda, 3200 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	194
Ek Tablo 40. 2/4 gaz konumunda, 3600 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	194
Ek Tablo 41. 2/4 gaz konumunda, 3800 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	195
Ek Tablo 42. 1/4 gaz konumunda, 2000 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	195
Ek Tablo 43. 1/4 gaz konumunda, 2400 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	196
Ek Tablo 44. 1/4 gaz konumunda, 2800 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	196
Ek Tablo 45. 2/4 gaz konumunda, 3200 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	197
Ek Tablo 46. 1/4 gaz konumunda, 3600 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	197
Ek Tablo 47. 1/4 gaz konumunda, 3800 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları .....	198

## SEMBOLLER DİZİNİ

$b_e$	: Özgül yakıt tüketimi
$B$	: Toplam yakıt tüketimi
$d$	: Orifis çapı
$h_{\min}$	: Kütleli stokiyometrik hava miktarı
$H_{\min}$	: Molar (hacimsel) stokiyometrik hava miktarı
$H_u$	: Yakıtın alt ısı değeri
$k$	: Sabit (4 zamanlı motorlar için $k = 2$ , iki zamanlı motorlar için $k = 1$ )
$m_{hava}$	: Kütleli hava debisi
$M_d$	: Döndürme momenti
$n$	: Devir sayısı
$N_e$	: Efektif güç
$N_{e,1}$	: Standart ortam koşullarına dönüştürülmüş efektif güç
$N_{e,2}$	: Nem düzeltmesi yapılmış efektif güç
$O_{\min}$	: Stokiyometrik oksijen miktarı
$P$	: Döndürme momentini oluşturan kuvvet
$P_0$	: Ortam basıncı
$P_{me}$	: Ortalama efektif basınç
$R_u$	: Üniversal gaz sabiti
$T_0$	: Ortam sıcaklığı
$V_h$	: Strok hacmi
$x_{nem}$	: Nem düzeltme faktörü
$z$	: Silindir sayısı
$\Delta h$	: Manometrenin kolları arasındaki sıvı seviyesi farkı
$\Delta t$	: $\Delta V$ hacmindeki yakıtın tüketilme süresi
$\Delta V$	: Ölçekli kaptaki yakıt hacmi
$\alpha$	: Hava fazlalık katsayısı
$\varepsilon$	: Sıkıştırma oranı

- $\eta_e$  : Efektif verim
- $\mu_{k,hava}$  : Kuru havanın kmol kütlesi
- $\mu_{r,hava}$  : Nemli havanın kmol kütlesi
- $\mu_{yakıt}$  : Yakıtın kmol kütlesi
- $\rho_{hava}$  : Havanın yoğunluğu
- $\rho_{yakıt}$  : Yakıtın yoğunluğu
- $\omega$  : Açısai hız

## **1. GENEL BİLGİLER**

### **1.1. Giriş**

Artan dünya nüfusu, yaşam standardının yükselmesi ve ekonomik gelişmeler enerji tüketimini ve gereksinimini hızla artırmaktadır. Günümüzün başlıca etkin enerji kaynaklarını kömür, fosil yakıtlar, doğal gaz, nükleer enerji ve hidroelektrik enerji oluşturmaktadır.

Çevre kirliliğine neden olan önemli etkenlerden birisi de içten yanmalı motorlardan kaynaklanan eksoz emisyonlarıdır. Fosil kaynaklı yakıtların aşırı kullanım sonucu gittikçe azalması, yakın gelecekte tükenme tehlikesi ve artan çevre kirliliği; çevre bilincine uygun ve yenilenebilir alternatif yakıtların araştırılmasını gündeme getirmiştir. Geliştirilecek alternatif yakıtların en yaygın termik makineler olan içten yanmalı motorların performansını iyileştirmesi ve eksoz emisyonlarını olumlu yönde etkilemesi gerekmektedir. Ayrıca bu yakıtların bol ve kolay sağlanabilmesi, maliyetlerinin düşük olması ve motorlarda önemli bir değişiklik gerektirmeden kullanılabilmesi de önem taşımaktadır.

Sunulan tez çalışmasında, alternatif yakıt kullanımından farklı olarak, benzin motorlarında emme havasına su püskürtülmesinin motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Öncelikli olarak sadece benzin ile deney yapılmış, daha sonra su yaklaşık (%5, %6.25, %7.5, %8.75, %11.25) oranlarında emme havasına püskürtülerek ilgili deneyler yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenmiş, değişik tablolar ve eğriler şeklinde değerlendirilerek yorumlanmıştır.

### **1.2. Kirletici Eksoz Emisyonları ve Etkileri**

Günümüzde motorlu taşıtların sayısının sürekli olarak artması ve motorların başka alanlarda da yaygın olarak kullanılması sonucu motorlardan kaynaklanan çevre ve hava kirliliği önemli boyutlara ulaşmıştır. Bu nedenle motorlar; olanaklar el verdiği düzeyde az çevre ve hava kirliliği doğuracak şekilde geliştirilmeye çalışılmaktadır. Ayrıca

motorlardaki bu gelişmeler yanında motor yakıtları da daha az kirlilik doğuracak şekilde geliştirilmektedir[1].

Motorlardan yanma işlemi sonunda çeşitli hidrokarbonların karışımından oluşan yakıtlar hava ile yakılarak çevreye  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $N_2$  ve  $O_2$  gibi ilk bakışta zararsız gözükken maddeler ve eksik yanma sonucu oluşan  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $C_xH_y$ ,  $C$ ,  $Pb$  vb. çoğu zehirli olan zararlı maddeler yayılmaktadır.

Karbonmonoksit ( $CO$ ), renksiz kokusuz bir gazdır. Kilomol kütlesi 28 kg/kmol ile havanın kilomol kütlesine çok yakındır. Bu nedenle havanın içinde kendiliğinden dağılmaz, özellikle havalandırılmayan yerlerde birikebilir. Solunulduğunda hiçbir rahatsızlık hissi doğurmaz. Ancak kanın hemoglobini bağlayarak kanın oksijen taşıma yeteneğinin yok olmasına yani temizlenme özelliğinin yitirilmesine neden olur. Böylece uzun zaman solunduğunda uyuşukluğa, uykuya ve sonunda ölüme yol açar.  $CO$  kirliliğinin en önemli kaynağı; taşıt motorları, özellikle taşıt benzin motorlarıdır[1].

Azot oksitler ( $NO_x$ ), karbonmonoksitin benzeri zehirlilik özelliklerine sahiptir. Ayrıca su buharıyla birleşerek nitrik aside dönüşebilirler, bu da göz ve ciğer rahatsızlıklarına, korozyona yol açabilir.  $NO_x$ ' ler hem dizel hem benzin motorlarından çevreye yayılabilir.

Parçalanmış hidrokarbonlar ( $C_xH_y$ ), özellikle dizel motorlarından eksik yanma sonucunda çevreye yayılabilir.  $C_xH_y$ 'ler kötü koku doğurur. Bir bölümü kansorejen etkiye sahiptir. Güneş ışığında azot oksitlerle birleşerek dumanlı sis (smog) oluşumuna yol açarlar.

Kükürtdioksitler ( $SO_2$ ), termik santrallerde kullanılan kalitesiz katı yakıtların, ayrıca ağır dizel yakıtlardan ve fueloil gibi sıvı yakıtların yanması sonunda çevreye yayılabilir. Yine yüksek sıcaklıklarda su buharıyla birleşerek sülfürik aside ( $H_2SO_4$ ) dönüşebilir ve asit yağmurlarına yol açar. Böylece hem motor elemanlarında korozyon oluşumuna neden olur hem de insanlar üzerinde ve bitki örtüsünde zararlı etkiler doğurabilir.

Parçacık kirleticilerden is, dizel motorlarında yakıt-hava karışımı iyi oluşmadığında, özellikle tam gazda motorun zorlanması durumunda yakıtın karbonunun yanmamış parçacıklar şeklinde kalması sonucu oluşur. İS hem insan sağlığını hem de çevreyi olumsuz etkiler. Eskiden vuruntuyu azaltmak için benzine kurşuntetraetil ( $Pb(C_2H_5)_4$ ) katılmaktaydı ve yanma sonunda kurşun parçacıkları çevreye atılmaktaydı. Bu kurşun parçacıkları, uzun sürelerde insan vücudunda birikerek kansere yol açabilir[1].

Karbondioksit ( $CO_2$ ) renksiz, kokusuz bir gazdır. İlk bakışta zararsız gözükse de  $CO_2$  atmosferin üst tabakalarında birikerek sera etkisi oluşturur. Güneşten gelen kısa dalga

boyulu ışınlar bu gaz tabakasından geçerek yeryüzüne ulaşırlar. Ancak söz konusu tabaka yeryüzünden yansıyan uzun dalga boyulu güneş ışınlarının geçişine engel olarak tekrar yeryüzüne dönmesine neden olur. Güneş ışınlarının bu tabaka ile yeryüzü arasında hapsolmesi sonucu küresel ısınmaya (global warming) neden olan bu durum CO<sub>2</sub> gazlarından kaynaklanan sera etkisi (greenhouse effect) olarak da bilinmektedir.

Eksoz kirliliğini azaltmak amacı ile buji ateşlemeli motorlarda günümüzde uygulanan başlıca yöntemler şöyle özetlenebilir [1].

1.Karbüratör yerine elektronik kontrollü benzin püskürtme donanımları kullanılmaktadır. Böylece motorlarda her çalışma koşuluna uygun yakıt-hava karışımı hazırlanarak yanma iyileştirilir ve yakıt tüketimi azaltılmış olur.

2.Normal ateşleme donanımları yerine tam elektronik ateşleme donanımları kullanılmaktadır. Böylece emniyetli ateşleme ve iyi bir yanma sağlanmaktadır.

3.Emme ve eksoz işlemlerini kolaylaştırıp, volumetrik verimi arttırmak amacı ile her silindirde 1 emme, 1 eksoz subabı yerine, 2 emme 2 eksoz hatta 3 emme 2 eksoz subabı kullanılmaktadır.

4.Bütün bu gelişmelere paralel olarak sıkıştırma oranı mümkün olduğu kadar arttırılarak motor veriminin arttırılması sağlanmaktadır.

5.Dışarıya atılmakta olan gazların daha zararsız hale dönüştürülebilmesi için eksozda katalitik yakıcılar kullanılmaktadır. Burada eksoz gazları içindeki CO gibi yarı yanmış veya yanmamış maddeler katalizörlerin etkisi altında ek hava ile birlikte tekrar yakılarak CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O gibi tam yanmış maddelere dönüştürülmektedir. Ayrıca kirlenici maddeleri tutmak amacıyla eksoza özel filtreler de takılmaktadır.

### **1.3. Alternatif Motor Yakıtları**

Dünya nüfusunun hızla artması, mevcut enerji kaynaklarının yakın gelecekte yetersiz kalacak olması ve motorlu taşıtlardan kaynaklanan çevre kirliliğinin tehlikeli boyutlara ulaşması alternatif yakıtların önemini arttırmıştır. Bu durum araştırılacak alternatif yakıtların yenilenebilir ve çevre dostu olmasını zorunlu kılmaktadır. Motorlardan daha yüksek performans ve ekonomik enerji elde etmek, petrole dayalı yakıtlara alternatif oluşturmak gibi amaçlarla motorlarda alternatif yakıtların kullanılmasına yönelik çalışmalar özellikle son zamanlarda önem kazanmıştır. Sunulan çalışmamın bu bölümünde

motorlarda kullanılmaya uygun ve üzerinde çalışmalar yapılmış alternatif yakıtlarla ilgili kısaca bilgi verilmiştir. Bu alternatif yakıtlar;

#### A. Gaz Yakıtlar

1. Doğal Gaz
  - a) Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (LNG)
  - b) Sıkıştırılmış Doğal Gaz (CNG)
2. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)
3. Hidrojen

#### B. Sıvı Yakıtlar

1. Alkoller
  - a) Metil Alkol (Metanol,  $\text{CH}_3\text{OH}$ )
  - b) Etil Alkol (Etanol,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ )
2. Bitkisel Yağlar ve Biyodizel

şeklinde gruplandırılabilir.

Doğal gaz, yüksek oranda metan içeren ve dünya genelinde en bol miktarda elde edilebilen bir gaz yakıttır. Metan yakıtının başlıca özellikleri Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Metan yakıtının ve benzinin başlıca özellikleri [2]

Özellik	Benzin	Metan
Molekül Formülü	$\text{C}_8\text{H}_{15}$	$\text{CH}_4$
Molekül Kütlesi, kg/kmol	111	16
Alt Isıl Değer, kJ/kg	43000	49770
Buharlaşma Isısı, kJ/kg	307	509
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	14.6	17.2
Araştırma Oktan Sayısı	92-99	120

Düşük eksoz emisyonu değerine ve yaklaşık 120 gibi yüksek oktan sayısına sahiptir. Yüksek oktan sayılı olması ε sıkıştırma oranının 14 değerine kadar çıkarılmasına olanak sağlamaktadır. En önemli yetersizliği ancak yüksek basınç altında veya düşük sıcaklıkta etkin olarak depolanabilmesidir. Ayrıca birim hacimdeki ısı değeri düşüktür ve motor yakıtı olarak kullanıldığında motorun volumetrik verimini düşürmektedir. Bu nedenle motorlarda kullanıldığında nominal (maksimum) güçte yaklaşık %10 düzeyinde bir düşüşe neden olmaktadır. Ayrıca bu güç düşüşü sıkıştırma oranının arttırılmasıyla giderilebilmektedir. Doğal gazla çalışan taşıtların emisyon değerlerinin düşük olması



yanında bu taşıtlardan yayılan eksoz emisyonlarının reaktivitesi de oldukça düşüktür. Örneğin doğal gazla çalışan taşıtlardan yayılan emisyonların ozon oluşumuna katkısı hidrojen dışındaki diğer yakıtlardan daha düşük düzeydedir. Doğal gazla çalışan taşıtlarda EGR uygulaması NO<sub>x</sub> emisyonlarını %50 oranında azaltmaktadır. Doğal gazla çalışan taşıtlar üzerinde yapılan deneylerde benzine göre %10 daha düşük CO emisyonu değeri elde edilmiş ve 1996 yılında doğalgazla çalışan taşıtlar California Air Resource tarafından en düşük emisyon değerine sahip taşıtlar olarak ödüllendirilmiştir [3].

Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), doğal gazdan veya ham petrolden elde edilmektedir. Temel olarak propan ve bütanın karışımından oluşmasına karşın, çeşitli oranlarda izo-bütan ve n-bütan gibi çeşitli hidrokarbonları da içermektedir. Yüksek basınç altında sıkıştırılıp sıvılaştırılarak depolanabilir. Propanın başlıca özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Propan yakıtının ve benzinin başlıca özellikleri [2].

Özellik	Benzin	Propan
Molekül Formülü	C <sub>5</sub> H <sub>18</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
Molekül Kütlesi, kg/kmol	111	44
Alt Isıl Değer, kJ/kg	43000	46190
Buharlaşma Isısı, kJ/kg	307	426
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	14.6	15.7
Araştırma Oktan Sayısı	92-99	112
Setan Sayısı	-	-

Propan benzine göre daha yüksek stokiyometrik hava-yakıt oranına sahiptir. Propan yakıtlı bir buji ateşlemeli motor benzine çalışan benzer bir motorla aynı hava fazlalık katsayısında çalıştırılırsa, propanın sahip olduğu yüksek ısıl değer ve daha iyi yanma nedenleriyle daha yüksek efektif gücün elde edileceği tahmin edilmektedir. Ayrıca propan yüksek oktan sayısı nedeniyle yüksek sıkıştırma oranlarında kullanılabilir. Bu özelliğinin sonucu olarak motor performansı iyileşebilir. Propanın emme sistemine gaz halinde girmesi ve yol açtığı yüksek emme sıcaklığı; motorun volumetrik verimini ve sonuç olarak da taze dolgu kütlesini azaltmaktadır. Bu da propanın en önemli yetersizliğidir [4].

Hidrojen gelecekte çevre kirliliği ve enerji krizine çözüm olabilecek tek yakıt olarak görülmektedir. Hidrojenin başlıca özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Benzin ve hidrojenin başlıca özellikleri [2]

Özellik	Benzin	Hidrojen
Molekül Formülü	C <sub>8</sub> H <sub>15</sub>	H <sub>2</sub>
Molekül Kütlesi, kg/kmol	111	2
Alt Isıl Değer, kJ/kg	43000	120000
Buharlaşma Isısı, kJ/kg	307	
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	14.6	34.5
Araştırma Oktan Sayısı	92-99	90

Yapısal özelliği nedeniyle normal koşullarda hidrojenin yanması sonucunda sadece H<sub>2</sub>O oluşur. HC, CO ve CO<sub>2</sub> gibi kirletici emisyonlar oluşmaz. Ancak yüksek sıcaklıklarda yanma sonucunda NO<sub>x</sub> oluşabilir. Günümüzde suyun elektrolizi veya benzeri kimyasal yollarla elde edilebilen hidrojen çok pahalıya mal olmaktadır. Ayrıca kullanımı ve depolanması ile ilgili birçok zorluklar vardır. Hidrojen ile çalışan motorlar üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda EGR uygulamasının NO<sub>x</sub> emisyonlarını azalttığı, ayrıca hidrojene su veya asal gazların (Helyum, Argon vb.) eklenmesinin emisyonların kontrolünde yararlı olduğu görülmüştür. Hidrojen buji ateşlemeli motorlarda kullanılabileceği gibi çift yakıtlı dizel motorlarında da kullanılmaya uygun bir yakıttır. Hidrojen üretimi, dağıtımı, taşıtlarda depolanması ve kullanımı ile ilgili yetersiz yönleri giderilebilirse gelecek için en ideal bir yakıt olarak düşünülmektedir [3].

Birçok bitki tohumunun yağları dizel yakıtı ile yaklaşık aynı ısı değere sahiptir. Soya fasulyesi, ayçiçeği, yer fıstığı, Hindistan cevizi vb. bitkisel yağlar dünyanın birçok yerinde dizel motorlarında yakıt olarak kullanılmaktadırlar. Bitkisel yağlarla ilgili olarak yapılan kısa süreli deneysel çalışmalar ümit vericidir. Ancak uzun süreli kullanım sırasında eksik yanmadan kaynaklanan bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bitkisel yağların dizel yakıtı olarak kullanımı ile ilgili uzun süreli deneysel çalışmalarda enjektörlerde kurum bağlama, motor yağlama yağında incelleme vb. sorunlarla karşılaşmıştır. Sonuç olarak bitkisel yağların dizel motorlarında kullanımı için bazı özel donanımlara gereksinim vardır [3]. Alternatif yakıt olarak üzerinde çalışmalar sürdürülen yakıtlardan bir diğeri de bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edilen biyodizeldir. Biyodizel yakıtı; kolza yağı, ayçiçek yağı ve soya yağı gibi saf bitkisel yağlardan, kullanılmış bitkisel yağlardan ve hayvansal yağlardan üretilebilmektedir. Bu yönüyle biyodizelin en önemli özelliklerinden biri olarak, yenilenebilir bir alternatif yakıt olması gösterilebilir. Mevcut dizel yakıtına benzer özellikler gösteren biyodizel, dizel motorlarında bazı değişiklikler ve ayarlamalar yapılarak kullanılabilmektedir. Biyodizel,

doğrudan dizel yakıtı yerine kullanılabilmesi gibi, mevcut dizel yakıtıyla belli oranlarda karışım oluşturularak da kullanılabilir. Bitkisel yağlar ve biyodizel ile dizel yakıtı arasındaki en önemli farklılıklarından biri, sahip oldukları yaklaşık %11 oranındaki oksijendir. Biyodizelin içerdiği oksijen nedeniyle, kullanım sonucu karışım oluşumu daha iyi olmakta, bunun sonucunda da eksoz emisyonlarında azalma görülmektedir. Biyodizelin viskozitesi, dizel yakıtına göre yüksektir. Yüksek viskoziteden dolayı, püskürtülen yakıtın parçalanması kötüleşmektedir. Biyodizelin setan sayısı dizel yakıtına oranla daha yüksek olduğu için, tutuşma eğilimi daha iyidir. Doğal bir çözücü olan biyodizel, yakıt hatlarındaki malzemelerde bozulmaya yol açabilmektedir [5].

Alkoller motorlarda kullanılabilen sıvı yakıtlardandır. Motorlarda yakıt olarak kullanılan alkollerin başında metanol ve etanol gelmektedir. Tablo 4’de etanol ve metanolün, benzin ve dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak bazı özellikleri verilmiştir. Alkoller tek başına motor yakıtı olarak kullanılabilmesi gibi petrol kökenli yakıtlara belirli oranlarda katılarak yakıt karışımları şeklinde de kullanılabilirler.

Tablo 4. Etanol, metanol, benzin ve dizel yakıtının başlıca özellikleri[2].

Özellik	Benzin	Dizel	Etanol	Metanol
Molekül Formülü	C <sub>8</sub> H <sub>15</sub>	C <sub>12,3</sub> H <sub>22,2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	CH <sub>3</sub> OH
Molekül Kütlesi, kg/kmol	111	170	46	32
Alt Isıl Değer, kJ/kg	43000	42500	26950	20050
Buharlaşma Isısı, kJ/kg	307	270	873	1147
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	14.6	14.5	9	6.5
Araştırma Oktan Sayısı	92-99	-	107	106
Setan Sayısı	-	40-55	-	-

Etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) şeker, şeker pancarı, patates ve benzeri tarımsal ürünlerin fermantasyonu sonunda elde edilmektedir. Etanol oksijen içerdiğinden kısmi olarak oksitlenmiş bir yakıt olarak da düşünülebilir. Bu yüzden, etanol benzine göre daha düşük ısı değere ve stokiyometrik hava-yakıt oranına sahiptir. Sonuç olarak etanol veya etanol-benzin karışımları kullanıldığı zaman aynı performansı elde etmek için daha fazla yakıt gereksinim duyulur. Etanolün benzine göre daha yüksek oktan sayısı vardır. Bu özelliği etanolün daha yüksek sıkıştırma oranlarında kullanılmasına olanak sağlar. Böylece yapılan çalışmalarda etanol kullanıldığında benzine göre; güç çıkışında, verimde ve yakıt tüketiminde iyileşme gözlenmektedir. Ayrıca etanolün yüksek gizli buharlaşma ısısı vardır. Benzin ile etanolün doğrudan karıştırılması zordur ve etanol-benzin karışımlarında faz

ayrışması sorunu doğmaktadır. Bu problem izopropanol gibi çözünürlüğü arttırıcı katkı maddeleri kullanılarak kısmen giderilebilir. Ayrıca, etanolün su çekici özelliği nedeniyle mekanik parçalarda korozyona yol açabilir. Motorlarda etanol kullanımına bağlı diğer önemli sorun ise formaldehid, asetaldehid ve aseton emisyonlarının önemli ölçüde artmasıdır. Güncel tekniklerle üretimi pahalıdır ve genellikle gıda kaynaklarına dayanmaktadır. Sonuç olarak etanol bol miktarda ve ekonomik olarak üretilebilirse buji ateşlemeli motorlar için ilgi çekici bir alternatif yakıt olabilir. Böylece etanol hem saf yakıt olarak hem de benzin katkısı olarak kullanılabilir. Düşük oranda etanol içeren etanol-benzin karışımları motorda herhangi bir değişiklik (modifikasyon) gerektirmeden kullanılabilir. Fakat saf etanol kullanımı motor tasarımında ve yakıt sisteminde önemli değişiklikler gerektirir. Buji ateşlemeli motorlarda etanol-benzin karışımları kullanılması etanolün tek başına kullanımından daha pratik ve kolaydır[6]. Metanol, renksiz, saydam, hafif kokulu, zehirli (toksik), su çekici (hidroskopik) bir sıvıdır ve günümüzde modern tesislerde doğalgazdan üretilmektedir. Ayrıca, biyoteknolojik yöntemlerle metanol üretimi de gittikçe önem kazanmaktadır. Evsel ve endüstriyel atık ve artıklardan, biyokütle kaynaklarından ve kömürden de metanol elde edilmektedir. Metanol yüksek oktan sayısına sahip olması nedeniyle yakıt katkısı olarak kullanıldığında karışımın oktan sayısını artırmaktadır. Metanol dizele göre yüksek gizli buharlaşma ısısına sahiptir. Bu özelliği ile silindire emilen taze dolguda soğutucu etkiye yol açmaktadır. Bu etkinin sonucu olarak, silindir sıcaklığı düşmekte ve böylece azot oksit emisyonları azalmaktadır. Metanol dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında çok düşük viskoziteye sahiptir; böylece kolay püskürtülebilir, ince parçacıklara ayrılabilir (atomize olabilir) ve hava ile iyice karışabilir. Metanol-benzin ve metanol-dizel yakıt karışımlarının kullanılmasındaki en önemli sorun faz ayrışmasıdır. Bu sorun karışıma bazı katkı maddeleri eklenerek giderilebilmektedir. Metanol sahip olduğu düşük stokiometrik hava-yakıt oranı, yüksek oksijen içeriği ve yüksek H/C oranı ile yanmayı iyileştirebilir [7].

Metanol, etanol oktan sayısının yüksek olması nedeniyle daha çok benzin motorları için uygun olmakla birlikte, düşük oranlarda dizel yakıtıyla doğrudan karıştırılarak fumigasyon ve çift yakıt (dual-fuel) olarak kullanılmaya da uygundur. Fumigasyon yöntemi; mevcut dizel motorlarında herhangi bir önemli değişiklik yapılmadan; emme kanalına basit bir karbüratör eklenerek veya bir elektronik kontrollü hafif yakıt püskürtme donanımı kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Karbüratör aracılığı ile, emilmekte olan havanın içerisine metanol veya etanol karıştırılmakta ve sıkıştırma işleminin sonlarına

doğru ısınarak buharlaşmış olan bu karışımın üzerine dizel yakıtı püskürtülmektedir. Tutuşma gecikmesi dolduktan sonra dizel yakıtının kendi kendine tutuşarak yanmaya başlamasının ardından önceden buharlaşmış olan ve tutuşmaya hazır olarak bekleyen metanol, etanol-hava karışımı birden bire yanmaktadır. Bu yanmanın doğurduğu akım karışıklıkları ve ek gaz hareketleri, daha sonra püskürtülen dizel yakıtının hava ile daha iyi karışmasını ve daha iyi yanmasını sağlamaktadır [8].

#### 1.4. Literatür Araştırması

Yukarıda başlıca alternatif yakıtların genel özellikleri ve motorlarda güncel olarak kullanılabilirlikleri kısaca özetlenmiştir. Bu özetten güncel olarak henüz petrol yerine tam olarak geçebilecek alternatif bir yakıtın bulunmamış olduğu görülebilir. Motorlardan kaynaklanan çevre kirliliğini azaltmak, motor performansını ve verimini iyileştirerek, yakıt tüketimini bir ölçüde azaltabilmek amacı ile değişik bir çözüm olarak özellikle benzin motorlarında emme havasına su püskürtülmesi düşünülebilir. Bu konuda yapılan literatür araştırması sonunda benzin motorlarında yanma odasına veya emme kanalına su gönderme işleminin iki farklı yöntemle gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu yöntemler aşağıdaki gibi iki ana gruba ayrılabilir.

1- Püskürtme yöntemiyle su gönderme: Bu yöntemde su; emme işlemi boyunca karbüratörün emme kanalına gaz kelebeğinden biraz önce, emme manifolduna veya doğrudan doğruya silindir içerisine olmak üzere üç farklı şekilde püskürtülebilmektedir.

2- Emülsiyon yöntemiyle su gönderme: Bu yöntemde su ile yakıtın elden geldiğince homojen bir karışımı hazırlanmaya çalışılır ve bu karışım alışılmış karbüratör veya yakıt püskürtme yöntemlerinden biri ile emme havasının içerisine püskürtülür.

Modak ve Caretto (1970); Weathertord ve Quillan (1970) yapmış oldukları çalışmalar sonunda yanma odasına su gönderilmesi durumunda sıcaklıkların azaldığını, hatta bunun sonucu olarak da ayrı bir soğutma sistemine gerek duyulmadan motorun çalıştırılabileceğini belirtmişlerdir [9].

Nicholls ve El-Messiri (1969) suyun; yakıtta göre 1/1 kütleli oranda püskürtülerek silindirlere gönderilmesi durumunda azot oksit konsantrasyonunda %50'ye kadar varan azalmalar olabileceğini göstermişlerdir [9].

Quader (1971) yakıtla birlikte yanma odasına su püskürtülmesinin yanmamış hidrokarbon emisyonlarında artışa neden olabileceğini (olduğunu) göstermişlerdir [9].

Kummer (1975)'e göre ise yanma odasına su gönderilmesinin karbonmonoksit emisyonları üzerindeki azaltıcı etkisi çok düşük düzeyde olmaktadır [9].

Sheldon (1977) tarafından geliştirilen sistem aracılığıyla kullanılan motorda hiçbir değişiklik yapılmadan su püskürtülmesi sağlanmaktadır. Geliştirilen bu sistem bujiyi de içerdiğinden silindir kafasında buji yuvasına rahatlıkla adapte edilebilmektedir. Sheldon'a göre ateşleme ve ilk yanmanın ardından yanma odasında gaz basıncının artması ile su püskürtülmesi sisteminde küçük bir gaz borusuna dolan basınçlı gazlar, püskürtme sisteminin pistonunu harekete geçirerek suyun püskürtülmesini sağlar. Püskürtülen suyun olası negatif (zararlı) etkisi, enjektör regülasyonu aracılığıyla bir ölçüde giderilmektedir. Sheldon geliştirdiği sistemle yaptığı çalışmalarda yanma odasına püskürtülen su ile oluşan buharın pistonu ek bir güç kattığını ve yanma sıcaklığını düşürerek eksoz gazlarındaki azot oksit miktarının azaldığını ileri sürmüşlerdir. Burada söz konusu su buharının oluşumu için ısı harcadığını ve su basıncından ek enerji elde edilemeyeceğini vurgulamak gerekir [9].

Spears (1978) tarafından karbüratörlü motorlar için geliştirilen su püskürtme sisteminde; su enjektörü hava filtresinin içersine, karbüratör emme kanalına dikey olarak püskürtme yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Emme manifoldunda bulunan vakum sensörü manifolddaki vakumu algılayarak motorun yükü ile ilgili bilgiyi alır ve elektronik kontrol ünitesine gönderir. Elektronik kontrol ünitesi ağır yükte çalışma durumunda enjektöre su gönderen elektrikli pompayı harekete geçirerek karbüratörün emme kanalına suyun püskürtülmesi sağlanmış olur. 2000 d/dak'nın altındaki motor hızlarında su püskürtülmesinin engellenebilmesi için ateşleme bobininin primer sargılarında oluşan gerilim değerinden yararlanılmaktadır. 2000 d/dak'nın altındaki hızlarda primer devreden elektronik kontrol ünitesine gelen gerilim değeri kontrol ünitesinin elektrikli su pompasına sinyal göndermesine engel olur. Böylece ilk hareket ve rölanti gibi çalışma durumlarında su püskürmesi gerçekleşmemiş olur [9].

Renda (1982)'nin karbüratörlü motorlar için geliştirdiği su püskürtme sisteminde; hava filtresinin içine yerleştirilen enjektörle karbüratörün emme kanalına doğru 45'lik açıyla genişleyen bir su demeti oluşturulmakta ve bu demet buradan venturi borusuna, ardından da emme manifolduna geçmektedir. Sistemdeki enjektör su damlacıklarını çok ince parçacıklara ayıracak şekilde (pülverize edecek şekilde) tasarlanmıştır. Renda (1982)'ya göre bu tür püskürtme buhar fazındaki püskürtmeye göre, silindir duvarlarında birikebilecek karbon parçacıklarının azaltılması açısından daha etkili olabilir. Motorun çalışma süresince her zaman su püskürtülmesine gerek olmayabilir. Sadece tam yükte

çalışma koşullarında vuruğu eğilimi artacağı için su püskürtülmesi gerekli olur. Renda'nın sisteminde su deposuna bağı elektrikli bir pompa Spears'ın sisteminde olduğı gibi emme manifolduna yerleştirilmiş vakum sensörünün elektronik kontrol ünitesine göndereceğı sinyal ile kontrol edilmektedir. Ancak bu sistemde ayrıca sıcaklık kontrolü için silindiri çevreleyen su kanalına yerleştirilmiş bir de sıcaklık sensörü kullanılmaktadır. Bu sensör normal çalışma sıcaklığına ulaşılmadan önce su püskürtme pompasınının çalışmasını önler. Böylece motorun ilk harekete geçme zorluğu ve soğuk motora su püskürtüldüğünde oluşacak korozif etki önlenmiş olur [9].

Sanberg ve diğeri (1985) aşırı doldurmalı bir benzin motorunda yaptıkları çalışmada suyu üç farklı noktaya; kompresörün emme kanalına, kompresörün çıkışına motorun emme manifoldu girişindeki sıkıştırma bölgesine ve mevcut yakıt sistemi aracılığıyla yakıtla ön karışım sağlanarak emme manifolduna püskürtmüşlerdir. Bu çalışmanın sonucunda; ilk iki yöntemde yanma odasının dışında oluşan buharlaşmanın önüne geçilememiş, üçüncü yöntemde ise yakıt miktarını ayarlama gerekliliğı ve değışik yüklerde su miktarını dengeleme güçlüğü ortaya çıkmıştır. Sandberg vd. bu sorunları gidermek üzere yakıt sisteminden bağımsız çalışan, yanma odasında su buharı oluşumuna yol açmadan ve o anki kullanım koşullarına uygun su miktarını koruyan bir su püskürtme sistemi geliştirmişlerdir. Sözü geçen sistemde; her bir silindirin emme kanalına, yakıt püskürtme enjektöründen başka, bir de su püskürtme enjektörü yerleştirilmiştir. Burada pistonun konumu, motor hızı, motor yükü, emme havasının sıcaklığı ile ilgili bilgiler farklı bir elektronik kontrol ünitesine gönderilerek su püskürtme enjektörlerinin açılıp kapanması kontrol edilmekte, böylece uygun miktarda su püskürtülmesi gerçekleşmektedir. Bu sistemle donatılmış bir taşıtta yapılan testler boyunca hava yakıt karışımı keskin vuruğular oluşuncaya kadar zenginleştirilmiş, bunun ardından su püskürtme sistemi devreye sokulmuş ve vuruğunun giderildiğı eksoz gazı sıcaklıklarının normal düzeylere düştüğü görülmüştür [9].

Hobbs (1992)'un modern motorlar için geliştirdiğı su püskürtme sistemi tamamen bilgisayar kontrollüdür. Bu sistemi yukarıda anlatılan sistemlerden ayıran en önemli farklılık su püskürtme enjektörünün mekanik değıl de elektromanyetik tipte olması ve elektronik kontrol ünitesi tarafından yönetilmesidir. Böylece püskürtülen su miktarı diğeri sistemlere göre daha duyarlı biçimde kontrol edilebilmektedir. Su miktarının ayarlanması basınç regülatörü tarafından sağlanmaktadır. Sistemde motor yükü ve sıcaklığına ek olarak vuruğu sensörleri aracılığıyla vuruğu da algılanabilmektedir. Sistemde; emme işlemi

boyunca su emme subabına doğru püskürtülerek yakıtla birlikte silindirlere alınması sağlanmaktadır [9].

Peters ve Stebar (1976), %10, %20 ve %40 su içeren ve buna ek olarak %2.5 oranında polioksietilen bileşiklerinin çözücü madde olarak kullanıldığı su-benzin makroemülsiyonları hazırlayıp, fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Bu emülsiyonlarda kurşunsuz benzin, su ve polioksietilen bileşikleri dakikada 5000 devirle dönen bir karıştırıcıda 5 dakika süreyle karıştırılarak 3000g'lık şişelere alınmış birkaç dakika sonra su damlacıklarının şişenin alt tarafında bir katman oluşturacak şekilde çökelmeye başladığı makroemülsiyon oluşumu gözlenmiştir. Peters ve Stebar bu çökelpmenin ancak sürekli bir karıştırma ile önenebileceğini belirtmişlerdir [10].

Nicholls ve arkadaşları, tek silindirli CFR motorunda, 8.5:1 sıkıştırma oranında deneysel ve teorik çalışma yapmışlardır. Motor tam gazda, 28° ateşleme avansında, değişken equivalans oranlarında çalıştırılmıştır. Su sıvı olarak su/yakıt oranı 0 ile 1.25:1 arasında olacak şekilde çeşitli oranlarda emme kanalına püskürtülmüştür. Yapılan bu çalışmada, eklenen suyun miktarına bağlı olarak maksimum NO azalmasının yaklaşık %90 düzeylerde olduğu görülmüştür. Ayrıca verimde orta düzeyde bir artış gözlenmiştir [10].

Quader tek silindirli, propan yakıtlı Waukesha motorunda 10.0:1 sıkıştırma oranında deneysel bir çalışma yapmıştır. Motor 1600 d/dak'da, yaklaşık 50 kPa emme basıncında, 0.98 equivalans oranında ve 27.5° ateşleme avansında çalıştırılmıştır. Su %12.5 oranda buhar olarak emme kanalına püskürtülmüştür. Yapılan deneysel çalışma sonunda, maksimum NO azalmasının yaklaşık %90 olduğu belirlenmiştir. HC emisyonlarında ise artış gözlenmiştir [11].

Lestz ve arkadaşları, tek silindirli izo-oktan yakıtlı CFR motorunda, 9.0:1 sıkıştırma oranında deneysel bir çalışma yapmışlardır. Motor tam gazda, 900 d/dak'da, değişken equivalans oranlarında ve 30° ateşleme avansında çalıştırılmıştır. Su 1.5 su-yakıt oranında direkt olarak silindire 340°, 45°, 25° ve 10° ateşleme avanslarında püskürtülmüştür. Bu çalışmada, maksimum NO azalmasının 30° ateşleme avansında yaklaşık %90 düzeylerinde olduğu belirlenmiş, ayrıca su püskürtülmesinin CO emisyonu üzerinde bir etkisi olmadığı, HC emisyonunu arttırdığı ve efektif gücü ise azalttığı belirtilmiştir [11].

Harrington, tek silindirli indolene yakıtlı Waukesha motorunda 8.0:1 sıkıştırma oranında bir deneysel çalışma yapmıştır. Yapılan deneysel çalışmada motor, 600 d/dak, 1000d/dak ve 1500 d/dak motor hızlarında, 50-110 kPa emme basınçlarında, değişken equivalans oranlarında ve değişken ateşleme avanslarında çalıştırılmıştır. Su, emme



sistemine hem sıvı hem de buhar fazında püskürtülmüştür. Deney sonucunda buharlaşma gizli ısı nedeniyle suyun sıvı fazında püskürtülmesinin buhar fazında püskürtülmesine göre daha etkili olduğu görülmüştür. Söz konusu çalışmaya göre; yüksek su oranlarında efektif verim azalmakta, vuruntu sınırı artmaktadır. Ayrıca su püskürtülmesi ile NO emisyon değeri önemli ölçüde azalmakta, buna karşın HC ve CO emisyonları üzerinde önemli bir etki oluşmamaktadır [12].

### **1.5. Tez Çalışmasının Amacı**

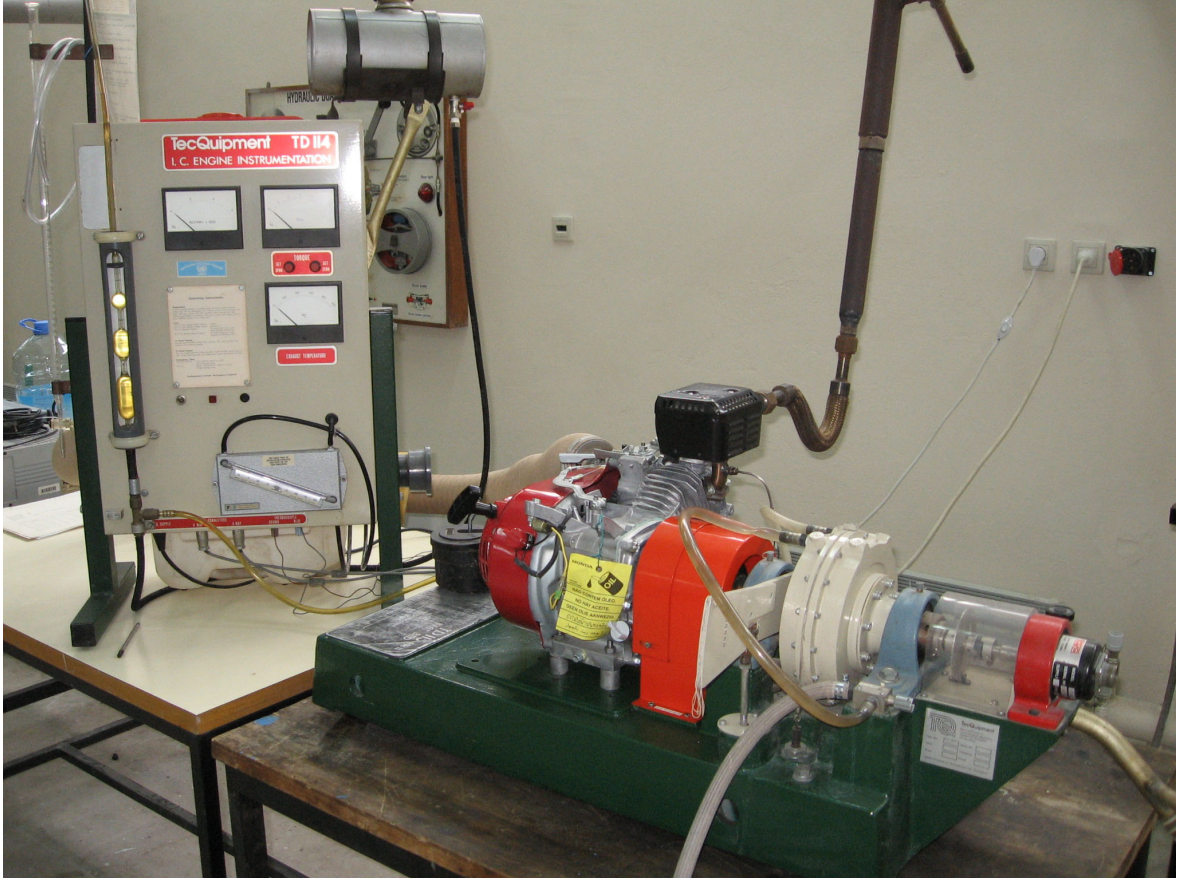
Dünyanın enerji gereksiniminin büyük bölümünü karşılayan fosil kaynaklı yakıtlar hem gittikçe azalmakta hem de çok ciddi çevre ve hava kirliliğine neden olmaktadır. Bu nedenle özellikle son otuz yıldır alternatif motor yakıtları alanında çalışmalar yoğun şekilde sürmektedir. Araştırmacılar birçok farklı enerji kaynakları, yakıtlar ve yakıt karışımları üzerinde çalışmakta, bunların hem motor performansı hem de çevre üzerindeki etkilerini incelemektedir. Böylece söz konusu yakıtların petrol kökenli yakıtlara göre motor performansında ve eksoz emisyonlarında doğuracağı değişiklikler, üstün ve yetersiz yönleri çeşitli karşılaştırmalar yapılarak belirlenmeye çalışılmaktadır.

Sunulan tez çalışmasında, alternatif yakıt kullanımından farklı olarak bugüne kadar üzerinde fazla durulmamış bir konu olan, benzin motorlarında emme havasına su eklenmesinin motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Deney Düzeneği

Sunulan çalışmadaki deneyler Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Deneylerde TecQuipment firması tarafından üretilmiş olan TD114 mini test düzeneği kullanılmıştır. Söz konusu TD114 mini test düzeneğinin genel görünüşü Şekil 1'de verilmiştir.



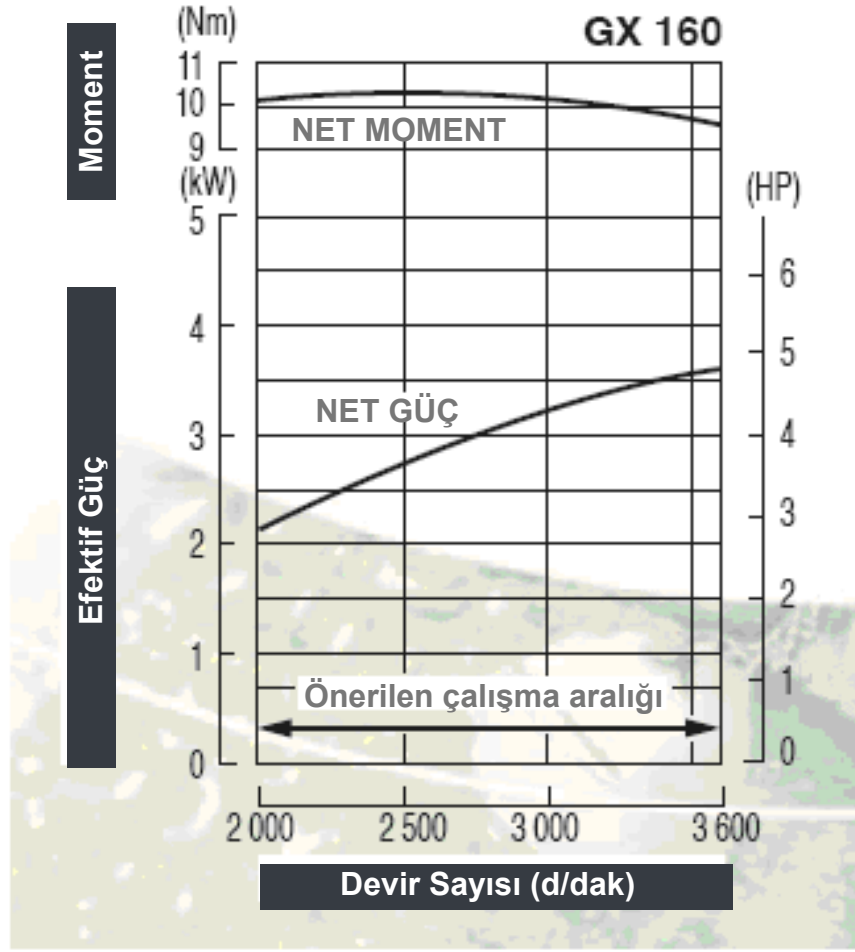
Şekil 1. TecQuipment üretimi TD114 mini test düzeneğinin genel görünüşü

Yapılan deneylerde kullanılan deney düzeneği genel olarak, deney motoru, hidrolik dinamometre ve ölçme ünitesinden oluşmaktadır. Deney motoru olarak, 4 zamanlı, tek silindirli, hava soğutmalı, sabit sıkıştırma oranlı Honda GX 160 benzin motoru

kullanılmıştır. Motor genel olarak su pompalarını veya küçük elektrik jeneratörlerini çalıştırmak üzere yani stasyonere motor olarak kullanılmak amacıyla üretilmiştir. Bu nedenle motorun yakıt donanımında orijinal olarak bir hız regülatörü sistemi bulunmaktadır. Motorun başlıca özellikleri Tablo 5'te ve üretici firma tarafından verilmiş olan hız karakteristikleri Şekil 2'de sunulmuştur.

Tablo 5. Honda GX 160 deney motorunun başlıca özellikleri

Motor Tipi	4 zamanlı, tek silindirli, hava soğutmalı Honda GX 160 benzin motoru
Strok Uzunluğu	45 mm
Silindir Çapı	68 mm
Strok Hacmi	163 cm <sup>3</sup>
Sıkıştırma Oranı	8.5:1
Maksimum Efektif Güç (Nominal Güç), n <sub>N</sub> devri	3.6 kW, 3600 d/dak
Maksimum Döndürme Momenti, n <sub>M</sub> devri	10.3 Nm, 2500 d/dak
Önerilen Maksimum Devir Sayısı	3600 d/dak
Ateşleme Sistemi	transistor lü
İlk Hareket Sistemi	Çekme telli (elektrikli ilk hareket donanımı seçeneği)
Motor Yağ Kapasitesi	0.6 lt
Dış Boyutları	312x362x346
Kütle	15 kg



Şekil 2. Honda GX 160 benzin motoru için üretici firma tarafından verilmiş olan hız karakteristikleri

Deney düzeneği başlıca aşağıdaki ölçü donanımları bulunmaktadır ve bu ölçü sisteminin şematik resmi Şekil 3'de verilmiştir.

1. Motorun yüklenmesini, döndürme momentinin ölçülmesini sağlayacak bir yükleme elmanı ve moment ölçme sistemi,
2. Devir sayısını ölçmeye yarayan bir takometre,
3. Yakıt tüketimini ölçmeyi sağlayan bir ölçekli kap,
4. Hava debisini ölçmeye yarayan bir orifis veya lüle ve bir sıvılı manometre düzeneği,
5. Eksoz gazlarının sıcaklığını ölçmeye yarayan bir termokupl termometre ve göstergesi,



Şekil 3. Ölçü sisteminin genel görünüşü

## 2.2. Mini Motor Deney Düzenğinde Ölçümler ve Hesaplar

Standart motor deneylerinde gerekli olan ölçümler ve hesaplar yapılmaktadır. Aşağıda bu ölçüm ve hesaplara ilişkin kısaca bilgi verilecektir. Konu ile ilgili ayrıntılı bilgiler Durgun gibi kaynaklarda bulunabilir[13].

### 2.2.1. Ortam Koşulları

$P_o$  ortam basıncı bir barometre ile [mmHg],  $T_{yaş}$  ve  $T_o$  yağ ve kuru termometre sıcaklıkları da termometreler ile [°C] cinsinden ölçülmüştür.

### 2.2.2. Devir Sayısı

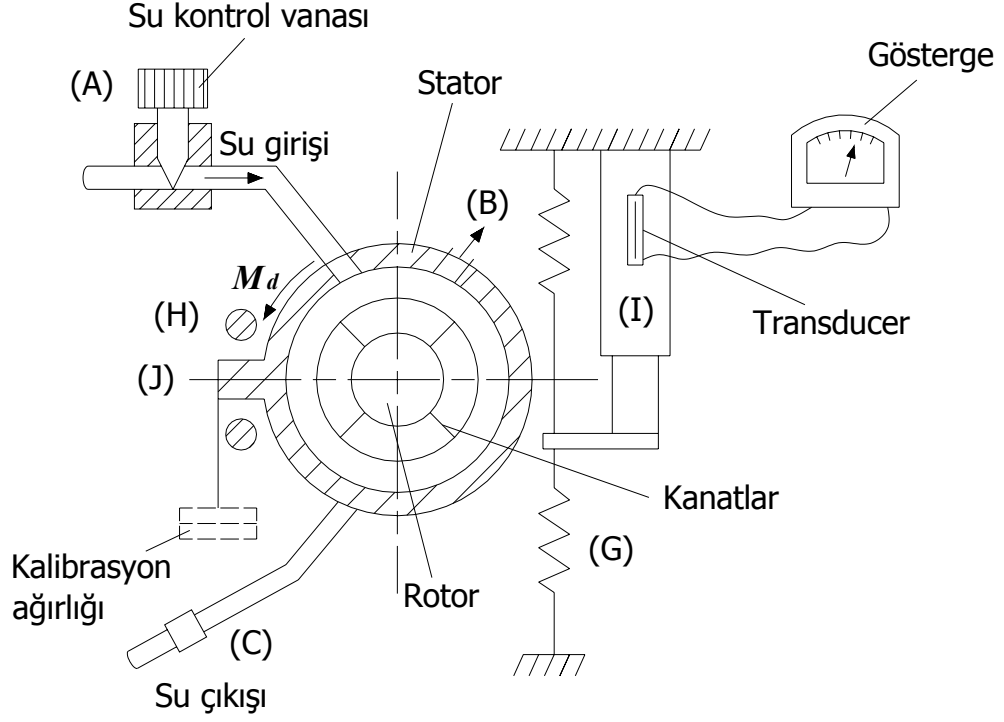
Motorun devir sayısı deney düzeneği üzerinde bulunan elektrikli bir takometre ile [d/dak] cinsinden ölçülmektedir.

### 2.2.3. Moment

Motoru momenti hidrolik dinamometre ile ölçülmüştür. Motor deneylerinde yükleme ve moment ölçümü için uygulanan en yaygın yöntemlerden biri de su freni (hidrolik fren) dir. Hidrolik frenlerde genellikle sıvı olarak su kullanılır.

Su frenleri motor yüküne bağlı olarak çeşitli tiplerde yapılmakta ise de çalışma ilkeleri tümünde aynıdır. Su freni motor miline bağlı olarak dönen özel kanatlı bir rotor ve rotoru çevreleyen, yataklar üzerine oturtulmuş bir stator oluşur. Statorun iç tarafında da kanatlar olabilir ve statora elektrik dinamometresindeki gibi bir moment ölçme düzeneği eklenir.

Şekil 4'de olduğu gibi statorun içi belirli bir düzeye kadar su ile doldurulur. Motor rotoru çevirmeye başladığında, rotorun kanatları suyu dışa doğru fırlatır ve çevrede girdap hareketleri yapan bir su tabakası oluşur. Böylece girdap, dönme hareketleri ve radyal hareketler gibi karmaşık hareketler yapan su bir taraftan ısınarak motorun ürettiği mekanik enerjiyi yutarken, öte yandan motorun döndürme momentine eşit bir momentle su freninin statorunu çevirmeye çalışır.



Şekil 4. Bir su freninin ve dinamometrenin şematik resmi.

Stator iki ucundan rulmanlı olarak yataklanmıştır ve üzerine etki eden momentin etkisi ile dönmek ister. Statora eklenen yaylı bir ölçme düzeneği ile hem statorun dönmesi sınırlanır, hem de motorun söz konusu döndürme momentine karşı gelen ve moment koluna etki eden kuvvet ölçülür. Şekil 4'te gösterilen düzende *I* çubuğuna yapılandırılmış ve uygun şekilde kalibre edilmiş olan transducer'ler aracılığı ile döndürme momenti bir göstergedan okunabilir. Deneyden önce *J* koluna asılan, bilinen ağırlıkların moment etkilerinden yararlanılarak, motor dururken transducer'in kalibrasyonu yapılmalıdır.

Su freninin içindeki su zamanla ısınacağı için sürekli olarak değiştirilmelidir. Frenin içindeki su miktarı arttıkça yutulan enerji de artar. Su girişine yerleştirilen ayarlanabilir bir *A* vanası ile su miktarı ve sonuçta motorun yüklenmesi istenilen şekilde ayarlanabilmektedir.

### 2.2.3.1. Dinamometrenin Kalibrasyonu

Dinamometre her deney öncesinde kalibre edilip, sıfırlanmalıdır. Deneylerde kullanılan dinamometrenin kalibrasyon işleminde, sistemin kataloğunda belirtilen aşağıdaki işlemler uygulanmalıdır.

- a) "SPAN" kontrol anahtarı saat ibreleri yönünde maksimum konuma çevrilir.
- b) Tutuklukları önlemek için motor sarsılır.
- c) "ZERO" kontrol anahtarı moment göstergesinde sıfır (0) okunacak şekilde ayarlanır.
- d) Motor yeniden sarsılarak sıfırlamanın doğru olup olmadığı kontrol edilir.
- e) Kalibrasyon koluna 3.5 kg'lık bir kütle asılır.
- f) Moment göstergesi sabit bir değer görsene kadar motor sarsılır.
- g) "SPAN" kontrol anahtarını göstergeden 8.6 Nm okunacak şekilde ayarlanır.
- h) Kalibrasyon kütlesi kaldırılır ve (b-h) işlemleri, sıfırlamanın ve okumanın doğruluğuna emin oluncaya kadar tekrarlanır.

### 2.2.4. Efektif Güç

Motor milinden dışarıya iletilen efektif güç,  $n$  [d / dak] devir sayısı ve  $M_d$  [Nm] döndürme momenti belirlendikten sonra,

$$N_{e,l} = \frac{M_d \cdot \omega}{1000} [KW] = 0,001359 \cdot M_d \cdot \omega [BG] \quad (1)$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \left[ \frac{1}{s} \right]$$

bağıntılarından bulunur.

Motor deneyinin yapıldığı  $P_0$ ,  $T_0$  dış ortam koşulları ve havanın nemi motor performansını etkileyebilir. Farklı koşullarda yapılan motor deneylerinin sonuçlarının birbiriyle sağlıklı biçimde karşılaştırılabilmesi için standart koşullara dönüştürülmeleri ve nem açısından düzeltilmeleri gerekir.

Standart atmosfer koşulları : 20 °C ; 1,013 .10<sup>5</sup> Pa

Deney yapılırkenki koşullar :  $P_0$  [MPa] ;  $T_0$  [°K]



olduğuna göre, deney sonunda belirlenen  $N_{e,1}$  efektif güç, benzin motorları için

$$N_{e,2} = N_{e,1} \cdot \frac{0,1013}{P_0} \cdot \sqrt{\frac{T_0}{293}} \quad (2)$$

bağıntısı kullanılarak standart koşullara dönüştürülmüştür.

Ayrıca deney yapılırkenki bağıl nem  $w_b$  ve kuru termometre sıcaklığı  $T_0$  veya; kuru ve yaş termometre sıcaklıkları  $T_0$  ve  $T_{yaş}$  şeklinde oulmuşse, ilgili diyagram kullanılarak  $x_{nem}$  nem düzeltme katsayısı belirlenebilir. Böylece standart koşullara dönüştürülmüş ve nem düzeltmesi uygulanmış efektif güç;

$$N_{e,1} = N_{e,1} \cdot x_{nem} \quad (3)$$

şeklinde hesaplanır.

### 2.2.5. Ortalama Efektif Basınc

Efektif güç, devir sayısı ve motorun diğer özellikleri bilindiğine göre;

$$N_e = \frac{P_{me} \cdot V_H \cdot Z \cdot n}{k \cdot 60} \quad (4)$$

bağıntısı kullanılarak ve örneğin sunulan deneysel çalışma için;

$N_e$ [W]	: efektif güç,
$V_H = 163,426$ [cm <sup>3</sup> ] = 0,163426 [lt]	: strok hacmi,
$Z = 1$	: silindir sayısı,
$k = 2$	: dört zamanlı motor için,
$n =$ [d/dak]	: motor devir sayısı,

alınarak,

$$P_{me} = \frac{N_e \cdot V_H \cdot Z \cdot n}{k \cdot 60} \quad (5)$$

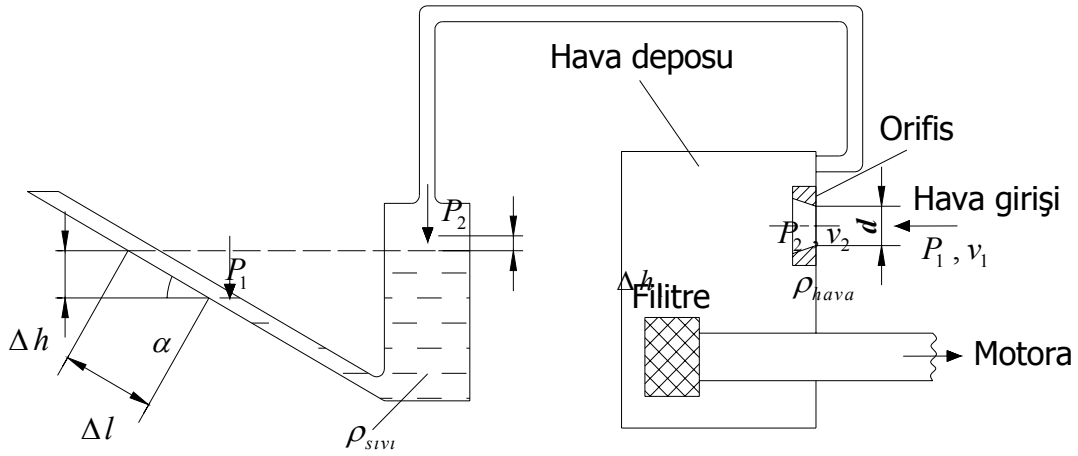
bağıntısından hesaplanır.

### 2.2.6. Hava Debisi

Hava debisi bir orifis ve manometre düzeneği yardımıyla ölçülmüştür. Motor deneylerinde hava fazlalık katsayısının hesaplanabilmesi için motorun emdiği havanın debisi bilinmelidir. Bu amaçla kullanılan deney düzeneği Şekil 6'da şematik olarak verilmiştir.

Bir iş periyodunun yalnızca bir strokunda emme yapıldığından, özellikle tek silindirli dört zamanlı motorlarda emilen havanın akımında süreksizlikler, titreşimler görülür. Bu titreşimlerin etkisini azaltmak için motorun emme sistemine büyük bir hava deposu eklenir. Hava bu depoya keskin kenarlı bir orifisten geçerek girer. Orifisin çapı, deney motorunun her türlü çalışma koşullarına uygun hava gereksinimini karşılayacak şekilde seçilmelidir. Orifisteki basınç düşüşünü ölçmek üzere orifis girişine bir manometre bağlanır. Böylece orifisteki basınç düşüşü eğik manometrede yükseklik değişimi olarak okunur. Buradan, Bernoulli kanunu uygulanarak orifisten geçen havanın hızı hesaplanabilir.

Orifis girişindeki hava basıncı  $P_1$ , hava hızı  $v_1$  ve hava deposu tarafındaki hava basıncı  $P_2$ , hava hızı  $v_2$  ise, Bernoulli kanunundan  $v_2$  hava hızı ;



Şekil 5. Emme havasının debisini ölçmek için bir orifis-eğik manometre düzeneği

$$\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot H_1 = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot H_2 \quad (6)$$

$\rho_1 \cong \rho_2 \cong \rho_{hava}$  : ortam koşullarında havanın yoğunluğu,

$H_1 \cong H_2$

$P_1 = P_0$  : açık hava basıncı,

$v_1 \cong 0$

$$\frac{P_1}{\rho_h} = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho_h}} \quad (7)$$

şeklinde elde edilir. Orifisteki  $(P_1 - P_2)$  basınç düşüşü bir eğik borulu sıvılı manometre aracılığı ile belirlenebilir. Şekilde görüldüğü gibi manometrenin bir ucu hava deposuna, eğik ucu da ortam havasına açılmaktadır.

Manometrenin hava deposuna bağlanan bölümünün kesiti, eğik bölümünün kesitine göre çok büyük yapılır. Motor çalışırken manometrenin hava deposu tarafına  $P_2$ , eğik tarafının ucuna  $P_1 = P_0$  ortam basıncı etki eder.  $(P_1 - P_2)$  basınç farkı nedeni ile eğik uçtaki

sıvı aşağı doğru hareket eder. Manometrenin diğer kolu çok büyük kesitli yapıldığından, eğik kolda  $\Delta h$  yükseklik değişimi görüldüğünde diğer kolda  $\Delta h \cong 0$  yükseklik değişimi olur. Çünkü,

$$\Delta h \cdot A = \Delta h_1 \cdot A_1$$

$$\Delta h_1 = \Delta h \frac{A}{A_1}$$

$A \ll A_1$  olduğundan

$$\Delta h_1 \cong 0$$

alınabilir. Demek ki basınç farkı için

$$P_1 - P_2 = \Delta h \cdot \rho_{sıvı} \cdot g \quad (8)$$

yazılabilir. Burada;

$\rho_{sıvı}$  : eğik manometredeki sıvının yoğunluğunu,

$g$  : yerçekimi ivmesini

göstermektedir. Manometrenin eğik kolunun yatayla yaptığı açı  $\alpha$  ve eğik uçtaki sıvının sapması  $\Delta l$  ise,

$$\Delta h = \Delta l \cdot \sin a$$

$$P_1 - P_2 = \Delta l \cdot \rho_{sıvı} \cdot g \cdot \sin a \quad (9)$$

elde edilir.

Uygulamada kullanılan eğik manometrelerde, manometrenin eğik kolu üzerine eklenen uygun ölçekli bir cetvelden  $\Delta l \cdot \rho_{sıvı} \cdot g \cdot \sin a$  çarpımı doğrudan doğruya  $\Delta h$  [mmSS] olarak okunur. Böylece bu tür manometrelerde okunacak sapma ( $P_1 - P_2$ ) basınç farkını mmSS (mm su sütunu) olarak verir. Fakat bu durumda manometreye

üzerinde yazılı yoğunluktaki bir sıvı (genellikle renkli ispirto) doldurulmalıdır. Eğer farklı yoğunlukta bir sıvı kullanılırsa

$$\Delta h' = \frac{\rho'_{sivi}}{\rho_{sivi}} \Delta h \quad [mmSS] \quad (10)$$

alınmalıdır. Burada

$\rho'_{sivi}$  : manometreye konulan sıvının yoğunluğu

$\rho_{sivi}$  : manometrenin ölçeklendirildiği sıvının yoğunluğu (manometrenin

üzerinde yazılı olur) dur. Buradan, uygun birimler kullanılarak emilen havanın  $v_2$  hızı,

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta h \cdot 10^{-3} \cdot \rho_{su} \cdot g}{\rho_h}} \quad [m/s] \quad (11)$$

$$\rho_{su} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_h \quad [kg/m^3]$$

şeklinde elde edilir.

Orifisin çapı  $d$  [m] ise ve Reynolds sayısına bağlı bir  $C_D$  orifis katsayısı da göz önüne alınırsa orifisten geçen, yani motorun emdiği havanın debisi,

$$\dot{m}_h = v_2 \cdot C_D \cdot A_O \cdot \rho_h$$

$$\dot{m}_h = C_D \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho_h \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta h \cdot 10^{-3} \cdot \rho_{su} \cdot g}{\rho_h}}$$

$$\rho_{su} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$C_D = 0,6$$

$$\dot{m}_h = 0,6 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta h \cdot g \cdot \rho_h}$$

$$\dot{m}_h = 2,0873 \cdot d^2 \cdot \sqrt{\Delta h \cdot \rho_h} \quad [kg/s] \quad (12)$$

olur.  $\rho_h$  hava yoğunluğu dış ortam koşullarına bağlıdır. Dış ortamda basınç  $P_0$  [mmHg], sıcaklık  $T$  [K] ise, gazların genel denkleminde;

$$P_0 V_0 = m R T_0$$

$$R = 8314,34 \left[ \frac{J}{Kmol K} \right] = \frac{8314,34}{28,97} \left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right]$$

$$R = 287 \left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right]$$

$$\rho_h = \frac{m}{V_0} = \frac{P_0}{R \cdot T_0} \quad (13)$$

$$\rho_h = \frac{P_0 \cdot 10^{-3} \cdot 13,6 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6 \cdot 9,81}{287 \cdot T_0}$$

yazılır. Örneğin;

$$P_0 = 772,5 \text{ mmHg}$$

$$T_0 = 18 + 273 = 291. \text{ K}$$

ise

$$\rho_h = \frac{772,5 \cdot 13,6 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81}{287 \cdot 291} = 1,234 \text{ kg} / m^3$$

elde edilir.

### 2.2.7. Özgül Yakıt Tüketimi

$\Delta v$  [cm<sup>3</sup>] yakıtın  $\Delta t$  [s] harcanma süresi bilindiğine göre, saatlik toplam yakıt tüketimi bağıntısından;

$$B = \frac{\Delta v \cdot 10^{-3} \cdot 3600}{\Delta t} \cdot \rho_{yakıt} \text{ [kg yakıt / saat]} \quad (14)$$

şeklinde hesaplanır ve buradan özgül yakıt tüketimi,

$$b_e = \frac{B}{N_e} \quad (15)$$

olarak bulunur.

### 2.2.8. Efektif Verim

Özgül yakıt tüketimi ile efektif verim arasındaki bilinen bağıntı kullanılarak, özgül yakıt tüketimi,

$$\eta_e = \frac{3600}{H_u \cdot b_e} \quad (16)$$

şeklinde hesaplanır.

Benzin için :  $H_u = 43930$  [ kJ / kg ]

alınabilir.

### 2.2.9. Hava Fazlalık Katsayısı

Motora emilen havanın debisi, eğik manometredeki yükseklik değişimi  $\Delta h$  [mmSS] olarak okunduktan sonra, deney anındaki ortam sıcaklığı ve basıncı  $T_0$  [K] ve  $P_0$  [mmHg] olarak bir termometre ve bir barometreden ölçülürse; (12) ve (13) bağıntılarından

$$\dot{m}_h = 2,0873 \cdot d^2 \cdot \sqrt{\Delta h \cdot \rho_{hava}} \quad [kg / s]$$

$$\rho_{hava} = \frac{P_0 \cdot 13,69,81}{287 \cdot T_0} \quad [kg / m^3]$$

hesaplanır. Kullanılan deney düzeneğindeki orifisin çapı  $d = 0,25$  [m] ve eğik manometredeki sıvının yoğunluğu  $0,784$  gr / cm<sup>3</sup> olarak belirtilmiştir. Manometreye doldurulan renkli ispirtonun yoğunluğu da ölçülmüş ve aynı değerde çıkmıştır.

Bir saatte harcanan toplam yakıt  $B$  olarak bilindiğine göre hava fazlalık katsayısı,

$$\alpha = \frac{h}{h_{\min}}$$

$$h = \frac{\dot{m}_h \cdot 3600 \left[ \frac{\text{kg hava}}{\text{saat}} \right]}{B \left[ \frac{\text{kg yakıt}}{\text{saat}} \right]} = \frac{\dot{m}_h \cdot 3600}{B} \left[ \frac{\text{kg hava}}{\text{kg yakıt}} \right] \quad (17)$$

bağıntısından bulunur.

$$\text{Benzin için} \quad : \quad h_{\min} = 14,957 \left[ \frac{\text{kg hava}}{\text{kg yakıt}} \right]$$

alınabilir.

### 2.2.10. Eksoz Gazı Sıcaklığı

Eksoz sıcaklığının ölçümünde, deney düzeneğinde Chromel-Alumel termočifti kullanılmaktadır. Termočiftin bir ucu eksoz gazı çıkışına, diğer ucu ise özel elektronik gösterici cihazına bağlanmıştır. Bu termočift ve elektronik düzenele  $0^{\circ}\text{C}$ ' den  $1000^{\circ}\text{C}$ ' ye kadar olan sıcaklıklar saptanabilmektedir.

Sıcaklık gösterici cihaz, termočift üzerinde oluşan milivolt mertebesindeki voltajın değişik sıcaklıklara kalibresine göre düzenlenmiş aygıttır. Cihazda termočiftin uçları arasında oluşan sıcaklık farkı bir göstergeden doğrudan okunmaktadır.

### 2.2.11. Karbonmonoksit (CO) ve Hidrokarbon (HC) Emisyonları

Yanmış gazlar içindeki karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyon ölçümleri eksoz gazı analizör cihazıyla yapılmaktadır.

Eksoz borusuna sokulan bir boru (sonda) vasıtasıyla, eksoz gazlarının bir kısmı analizör cihazına gelerek, eksoz gazlarının içindeki CO ve HC oranları analizördeki ölçme düzeneğinde doğrudan doğruya okunmaktadır. Böylece söz konusu emisyonların belirlenmesi ile yanma olayı ve hava kirliliği konusunda bilgi edinilmiş olmaktadır.

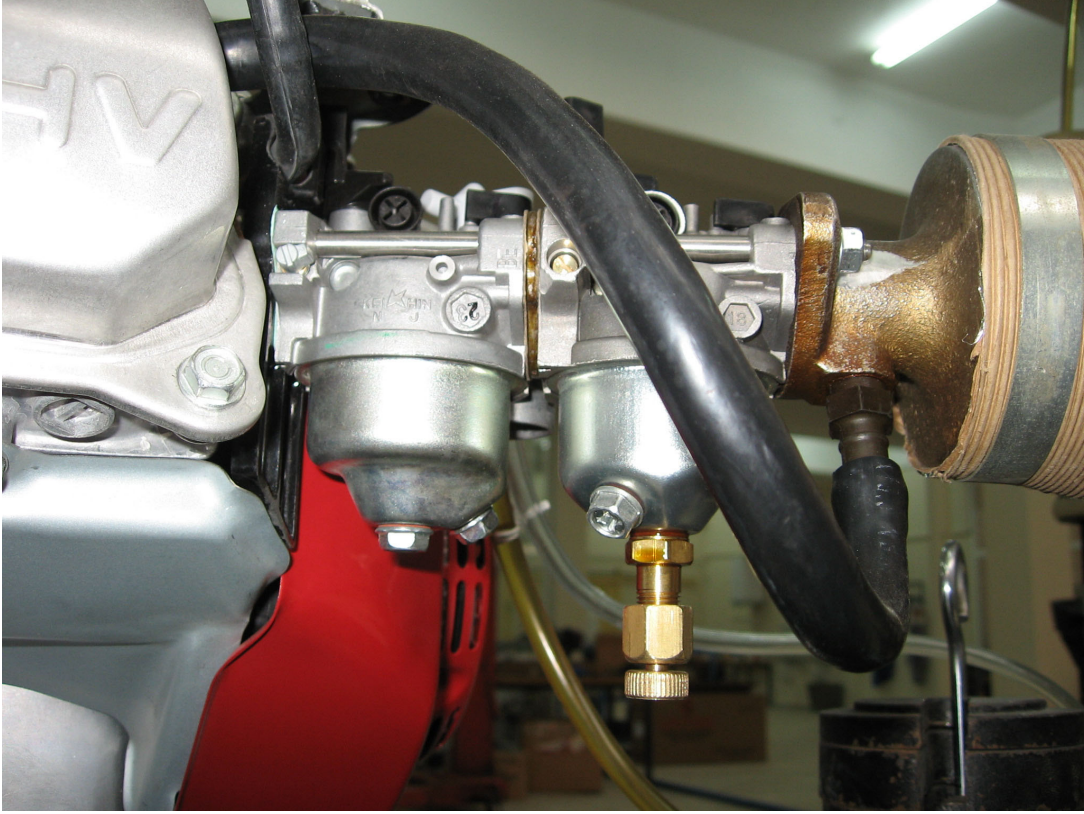


## 2.3. Deneysel Çalışma

### 2.3.1. Deney Motorunda Yapılan Düzenlemeler

Benzin motorlarında emme havasına su püskürtülmesinin motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini belirlemek amacı ile yapılan deneysel çalışmada kullanılan Honda GX 160 benzin motorunda ve ölçü sisteminde deneysel çalışmaya başlanmadan önce bazı düzenlemeler yapılmıştır. Söz konusu başlıca düzenlemeler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Honda GX 160 benzin motorunun sahip olduğu hız regülasyon sistemi, farklı gaz konumlarında motorun devir sayısı aralığını sınırlamakta ve motorun istenen devir sayılarında çalışmasına olanak vermemektedir. Bu nedenle, söz konusu hız regülasyon sistemi devre dışı bırakılarak, gaz ayar sistemi yeniden düzenlenmiştir. Böylece deney motoru farklı gaz konumlarında istenen devir sayılarında çalıştırılabilmektedir.
- Emme havasına istenen oranlarda su püskürtmek amacı ile motorun orijinal karbüratörünün aynısı olan ikinci bir karbüratör satın alınarak yeni bir tasarımla ana meme kesiti değiştirilebilen bir karbüratöre dönüştürülmüş ve motorun orijinal karbüratöründen önce emme sistemine eklenmiştir. Ana meme kesitini (su miktarını) ayarlayabilmek için hassas, vidalı bir iğne tasarlanmış ve üretilmiştir. Böylece ana meme kesiti değiştirilebilen karbüratör, farklı çalışma koşullarında ayarlanarak suyun yaklaşık (%5, %6.25, %7.5, %8.75, %11.25) oranlarında emme havasına püskürtülmesi sağlanmıştır. Söz konusu eklenen karbüratörün genel görünüşü Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 6. Emme sistemine eklenen karbüratörün genel görünüşü

- Deney düzeneğindeki ölçü ünitesine, emme havasına püskürtülen suyun miktarını ölçülmesini sağlayacak dereceli bir kap eklenmiştir.
- Eksoz gazları içindeki CO ve HC emisyonlarını ölçmek ve değişimlerini belirlemek amacı ile eksoz gazları analizör cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz orijinal olarak taşıt motorlarında eksoz emisyonu ölçümü için üretilmiştir ve hassas motor deneylerine uygun değildir. Yapılan deneysel çalışmada emme havasına su eklenmesinin eksoz emisyonları üzerinde doğuracağı değişikliği yaklaşık olarak belirlemek amacı ile kullanılmıştır.

### 2.3.2. Deney Koşulları ve Deneylerde Kullanılan Yakıtın Özellikleri

Benzin motorlarında emme havasına su püskürtülmesi ile ilgili yapılan deneysel çalışmada deneylerin tümü, (1/4, 2/4, 3/4, 4/4) sabit gaz konumlarında, 1200 d/dak ile 3800 d/dak farklı motor hızları aralığında ve farklı su oranlarında gerçekleştirilmiştir. İlk önce sadece benzin ile deney yapılmış, daha sonra yapılan deneylerde emme havasına yaklaşık

(%5, %6.25, %7.5, %8.75, %11.25) oranlarında su püskürtülmüştür. Deneylerde yakıt olarak Petrol Ofisi tarafından satılmakta olan kurşunsuz benzin kullanılmıştır. Hesaplamalarda Petrol Ofisinden alınan bilgiyle, benzinin molokül formülü  $C_8H_{15}$  olarak kullanılmıştır. Benzinin başlıca özellikleri aşağıda Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Deneylerde kullanılan bezinin başlıca özellikleri

Özellik	Benzin
Molekül Formülü	$C_8H_{15}$
Molekül Kütlesi, kg/kmol	111
Yoğunluk ,kg/m <sup>3</sup>	0.715-0.765, 0,761 *
Alt Isıl Değer, kJ/kg	43000
Buharlaşma Isısı, kJ/kg	307
Stokiyometrik hava-yakıt oranı	14,6
Araştırma Oktan Sayısı	92-99

\*K.T.Ü, Kimya Bölümü'nde deneyler sonucunda elde edilen değerler

### 2.3.3. Deneylerde Uygulanan İşlem Sırası

Deneylerde olanaklar el verdiği düzeyde duyarlı sonuçlar elde edebilmek ve hataları en az düzeye indirmek amacı ile aşağıdaki işlem sırası izlenmiştir.

- Deneylere başlamadan önce ortam sıcaklığı, yağ termometre sıcaklığı ve ortam basıncı değerleri ölçülmüş ve deney sırasında değişim olup olmadığı kontrol edilmiştir.
- Deneyde kullanılacak olan yakıt uygun şekilde yakıt deposuna, su ise dereceli ölçme kabına (borusuna) doldurulmuştur.
- Bunun ardından deney düzeneği üzerinde bulunan ölçme ünitesinde gerekli işlemler (sıfırlama vb.) yapıldıktan sonra deney düzeneği çalışmaya hazır duruma getirilmiş olmaktadır.
- Deney motoru çalıştırıldıktan sonra ölçümler alınmadan 4-5 dakika motorun kararlı çalışması için beklenmiştir.
- Deneylerde her durum için 7'şer ölçüm yapılarak, hesaplarda bu ölçümlerin ortalamaları kullanılmıştır. Böylece ölçüm hataları azaltılmaya çalışılmıştır.

### **3. BULGULAR**

#### **3.1. Sabit Gaz Konumlarında Motor Performans Karakteristiklerinin Devir Sayısına ve Su Oranına Göre Değişimleri**

Sunulan çalışmanın bu bölümünde, deneylerde yapılan ölçümler ve hesaplamalar sonunda elde edilen döndürme momenti, efektif güç, ortalama efektif basınç, özgül yakıt tüketimi, efektif verim ve hava fazlalık katsayısı gibi motorun başlıca karakteristiklerinin devir sayısına ve su oranına (yüzdesine) göre değişimlerinin tabloları hazırlanarak eğrileri çizilmiştir. Sözü geçen toplam 24 adet tabloyu bu metnin içinde sunmak olanağı bulunmadığı için; tablolar ekte sunulmuştur.

Deneyler; (1/4, 2/4, 3/4, 4/4) sabit gaz konumlarında,  $\epsilon=8,5$  sabit sıkıştırma oranında, değişik devir sayılarında ve farklı su oranlarında yapılmıştır. Motor performans karakteristikleri ile ilgili karşılaştırma eğrileri Şekil 7 ile Şekil 102 arasında sunulmuş ve irdelenmiştir.

##### **3.1.1. Tam Gaz Konumunda Motor Performans Karakteristikleri**

Tez çalışmasının bu bölümünde, deneyler tam gaz (4/4 gaz) konumunda,  $\epsilon=8,5$  sabit 4sıkıştırma oranında, değişik motor hızlarında ve farklı su oranlarında yapılmıştır. Motorun başlıca karakteristiklerinin devir sayısına ve su oranına göre değişimleri karşılaştırmalı eğriler biçiminde verilmiştir.

Karbüratörün yapısından dolayı püskürtülen su miktarı devir sayısı arttıkça azalmakta ve belirli bir devir sayısından sonra sabit olmaktadır. Bu nedenle 2400 d/dak'dan daha düşük devir sayılarında su-yakıt oranı her karbüratör ayarı için farklı değerler, genellikle çok yüksek değerler, almaktadır. Buna karşın söz konusu devir sayısında ve bu devir sayısından daha yüksek devirlerde su-yakıt oranı sabit değerlerde kalmaktadır. Bu yüzden tam gaz konumunda, yaklaşık %5, %6.25, %7.5, %8.75 ve %11.25 su oranları için değişim karakteristiklerinin devir sayısına göre değişimlerini gösteren eğriler 2400, 2800, 3200, 3600, 3800 d/dak devirlerindeki değerler kullanılarak karşılaştırmalı biçimde sunulmuştur.

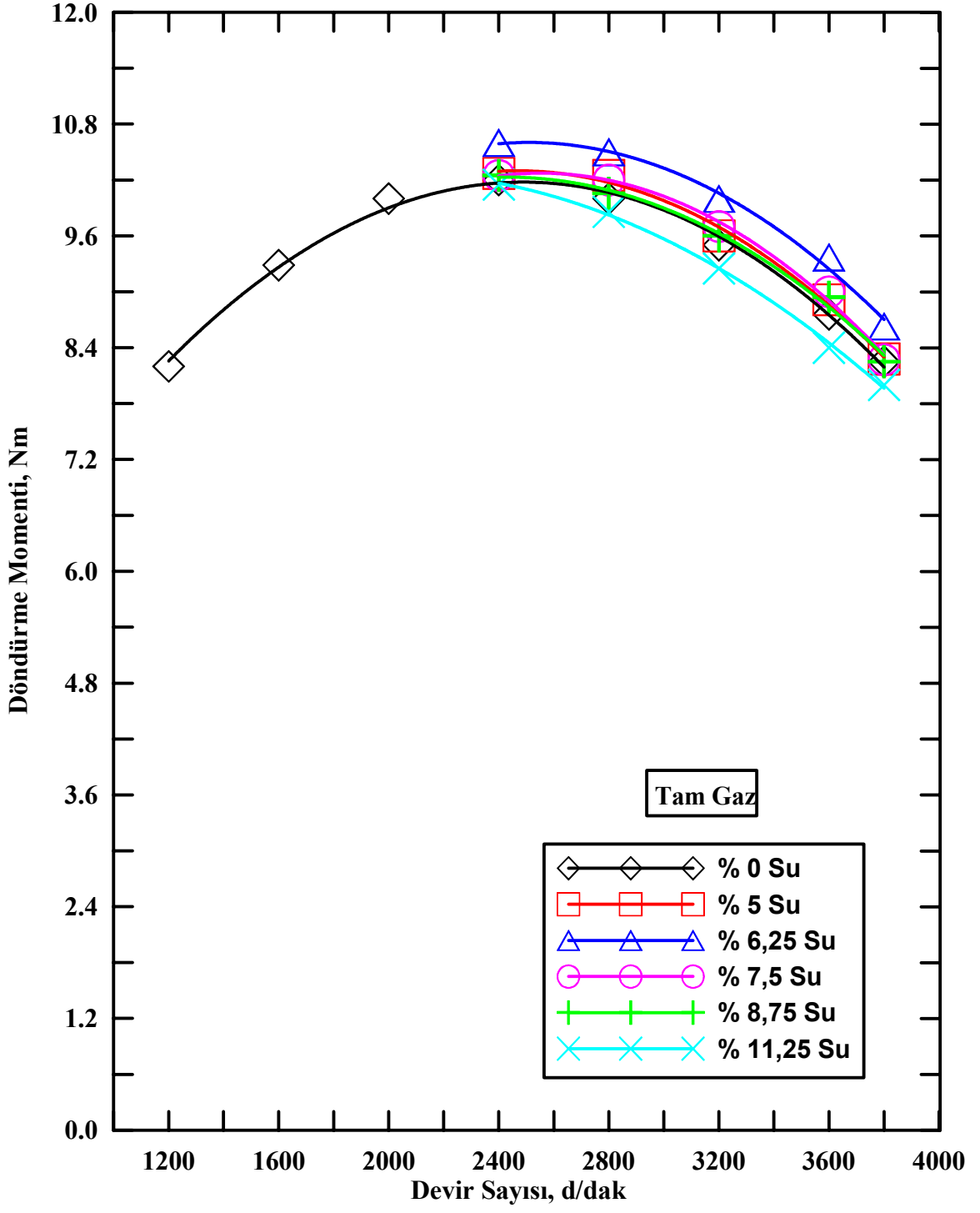
### 3.1.1.1. Tam Gaz Konumunda, Farklı Su Oranları İçin Motor Performans Karakteristiklerinin Devir Sayısına Göre Değişimleri

Bu bölümde; tam gaz (4/4 gaz) konumunda, farklı su oranları için motor performans karakteristiklerinin devir sayısına göre değişimleri ile ilgili karşılaştırma eğrileri Şekil 7-12' de sunulmuştur.

#### Döndürme Momenti

Şekil 7'de, tam gaz konumunda,  $\epsilon=8,5$  sabit sıkıştırma oranında, farklı su oranları için döndürme momentinin devir sayısına göre değişimlerini gösteren eğriler sunulmuştur. Söz konusu döndürme momenti değişim karakteristikleri incelendiğinde; her su oranı için döndürme momenti değerlerinin; genel benzin motoru döndürme momenti karakteristiğine benzer şekilde 2400 d/dak'ya kadar arttığı ve bu devir sayısından sonra düşmeye başladığı görülmektedir. Farklı su oranlarına ilişkin eğrilere bakıldığında; döndürme momentinin su oranı ile arttığı ve belirli bir su oranından sonra azalmaya başladığı görülebilir. En yüksek döndürme momenti 2400 d/dak'da, ~%6,25 su oranında elde edilmekte, bu devirde en düşük döndürme momenti ise ~%11,25 su oranında oluşmaktadır. Yaklaşık %5, %6.25, %7.5 ve %8.75 su oranlarındaki döndürme momenti değerlerinin %0 su oranına göre daha yüksek değerler verdiği, ~%11.25 su oranındaki döndürme momenti değerlerinin ise %0 su oranındakine çok yakın olduğu, biraz altında değerler aldığı görülmektedir. Sayısal olarak örneklenecek olursa;  $n=3600$  [d/dak] da, döndürme momentinde %0 su oranına göre yaklaşık %5, %7.5, % 8.75 su oranlarında sırasıyla ~%2 , %2.5 ve %2'lik bir artış olurken, ~%6.25 su oranı için bu artış yaklaşık %7 olmaktadır

Genel olarak, döndürme momenti değerlerine bakıldığında en yüksek döndürme momenti değerlerinin ~%6.25 su oranında elde edildiği görülebilir. Püskürtülen suyun soğutma etkisinden dolayı yanma sonu sıcaklıkları daha düşük değerler almakta ve bunun sonucunda benzin motorlarında görülebilecek parçalama reaksiyonları azalarak yanma iyileşmekte, böylece döndürme momenti artmaktadır. Değişim eğrilerinde de görülebileceği gibi su oranı arttıkça döndürme momenti değerleri artmakta, belirli bir su oranından sonra düşmektedir. Bu düşüş fazla oranda püskürtülen suyun ortamdan çektiği buharlaşma ısısının yanmadaki olası iyileşmeden daha etkin duruma gelmesinden kaynaklanmaktadır.

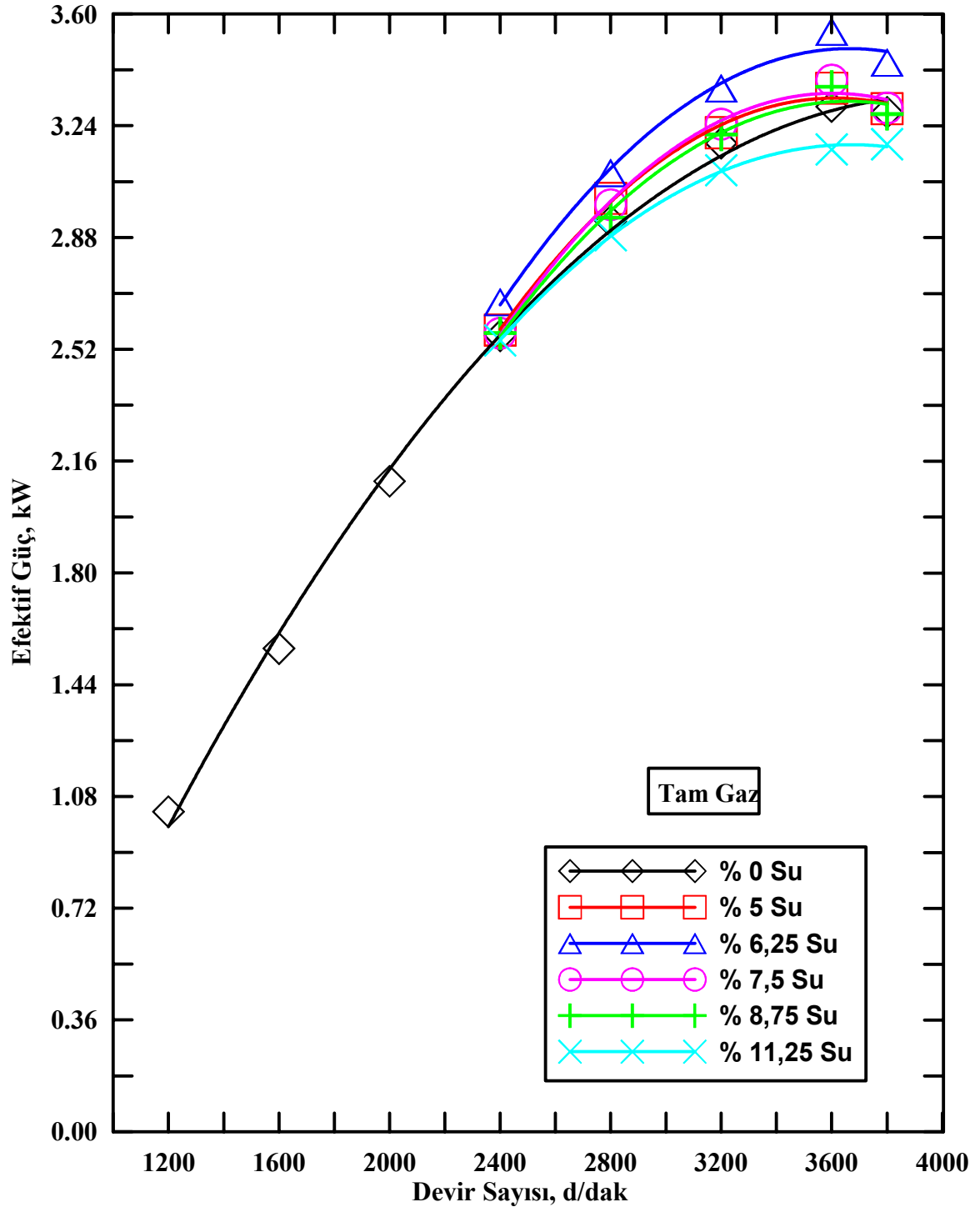


Şekil 7. Tam gaz konumunda, farklı su oranları için döndürme momentinin devir sayısına göre değişimi

## Efektif Güç

Şekil 8’de, tam gaz konumunda,  $\epsilon=8,5$  sabit sıkıştırma oranında, farklı su oranları için efektif gücün devir sayısına göre değişimlerini gösteren eğriler sunulmuştur. Söz konusu efektif güç karakteristikleri incelendiğinde; her su oranı için efektif güç değerlerinin; genel benzin motoru efektif güç karakteristiğine benzer şekilde 3600d/dak’ya kadar arttığı ve bu devir sayısından sonra düşmeye başladığı görülmektedir. Farklı su oranlarına ilişkin eğrilere bakıldığında; efektif gücün, su oranı ile arttığı ve belirli bir su oranından sonra azalmaya başladığı görülebilir. En yüksek efektif güç 3600 d/dak’da, ~%6,25 su oranında elde edilmekte, bu devirde en düşük efektif güç ise ~%11,25 su oranında oluşmaktadır. %5, %6.25, %7.5 ve %8.75 su oranlarındaki efektif güç değerlerinin %0 su oranına göre daha yüksek değerler verdiği, %11.25 su oranındaki efektif güç değerlerinin ise %0 su oranındakine çok yakın olduğu, biraz altında değerler aldığı görülmektedir. Sayısal olarak örneklenecek olursa;  $n=3600$  [d/dak] da, efektif güçte %0 su oranına göre yaklaşık %5, %7.5, % 8.75 su oranlarında sırasıyla ~%2 , %2.5 ve %2’lik bir artış olurken, ~%6.25 su oranı için bu artış yaklaşık %7 olmaktadır.

Genel olarak, efektif güç değerlerine bakıldığında en yüksek efektif güç değerlerinin ~%6.25 su oranında elde edildiği görülebilir. Püskürtülen suyun soğutma etkisinden dolayı yanma sonu sıcaklıkları daha düşük değerler almakta ve bunun sonucunda benzin motorlarında görülebilecek parçalama reaksiyonları azalarak yanma iyileşmekte, böylece efektif güç artmaktadır. Değişim eğrilerinde de görülebileceği gibi su oranı arttıkça efektif güç değerleri artmakta, belirli bir su oranından sonra düşmektedir. Bu düşüş fazla oranda püskürtülen suyun ortamdan çektiği buharlaşma ısısının yanmadaki olası iyileşmeden daha etkin duruma gelmesinden kaynaklanmaktadır.



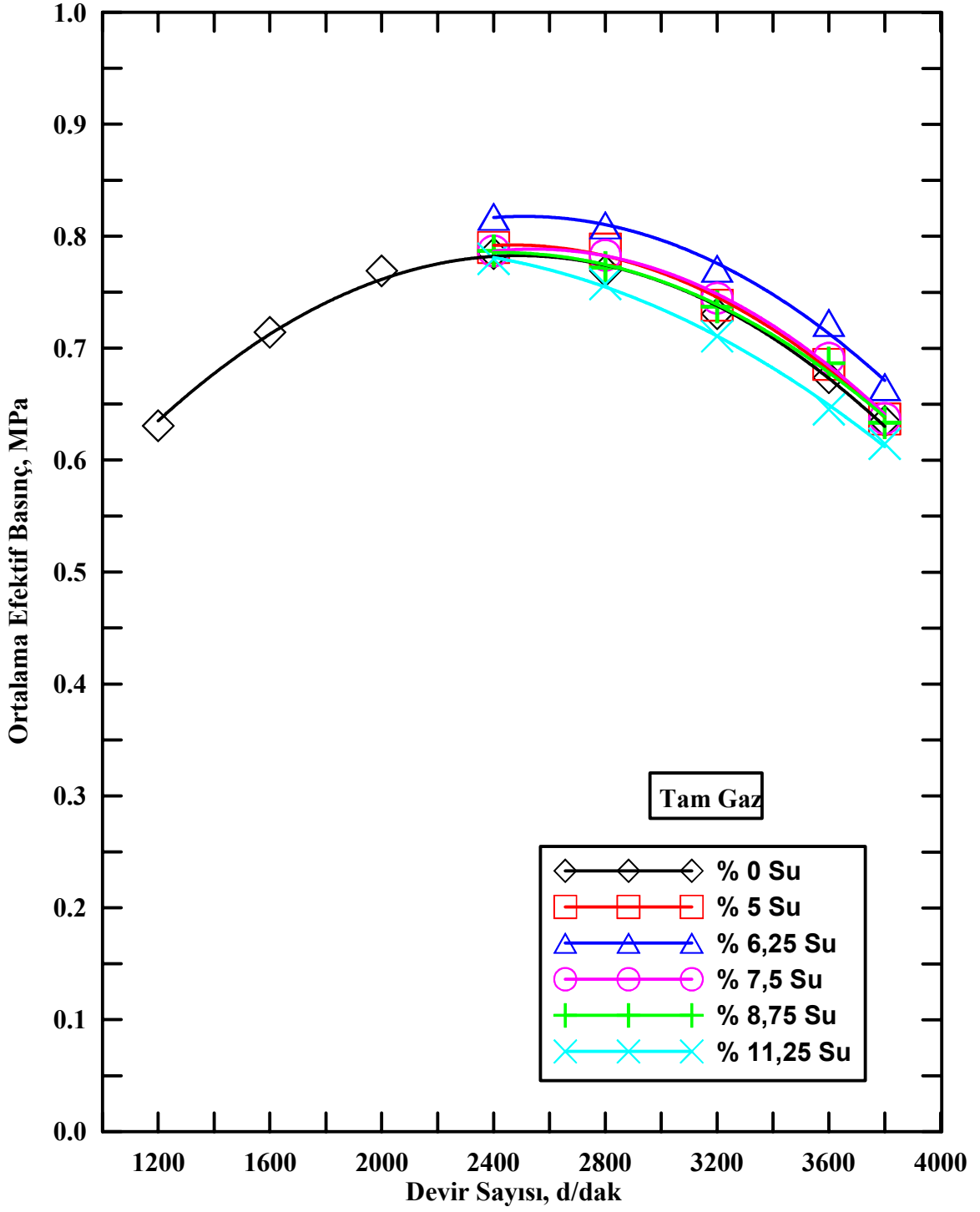
Şekil 8. Tam gaz konumunda, farklı su oranları için efektif gücün devir sayısına göre değişimi



## Ortalama Efektif Basınç

Benzin motorlarında, ortalama efektif basınç ve moment karakteristikleri benzer yapıya sahiptir. Ortalama efektif basınç ve döndürme momenti karakteristikleri incelendiğinde, sabit gaz konumlarında farklı su oranları için benzer yapıda oldukları görülebilir. Döndürme momentinin motor boyutlarına bağlı bir büyüklük olmasına karşın, ortalama efektif basınç motor boyutlarından bağımsız bir büyüklüktür ve farklı boyutlardaki motorların kolayca karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Burada da döndürme momenti ve ortalama efektif basınç değişim karakteristik eğrileri benzer yapıda oldukları için bu eğrileri tekrar ayrı ayrı incelemeye gerek duyulmamıştır.

Şekil 9'de, tam gazda,  $\epsilon=8,5$  sabit sıkıştırma oranında, değişken yüzde su oranları için ortalama efektif basıncın devir sayısına göre değişimlerini gösteren eğriler sunulmuştur. Genel olarak bakıldığında; döndürme momentine benzer şekilde, ortalama efektif basınç değerlerinde de ortalama %1-7 düzeylerinde bir artış olduğu görülmektedir.



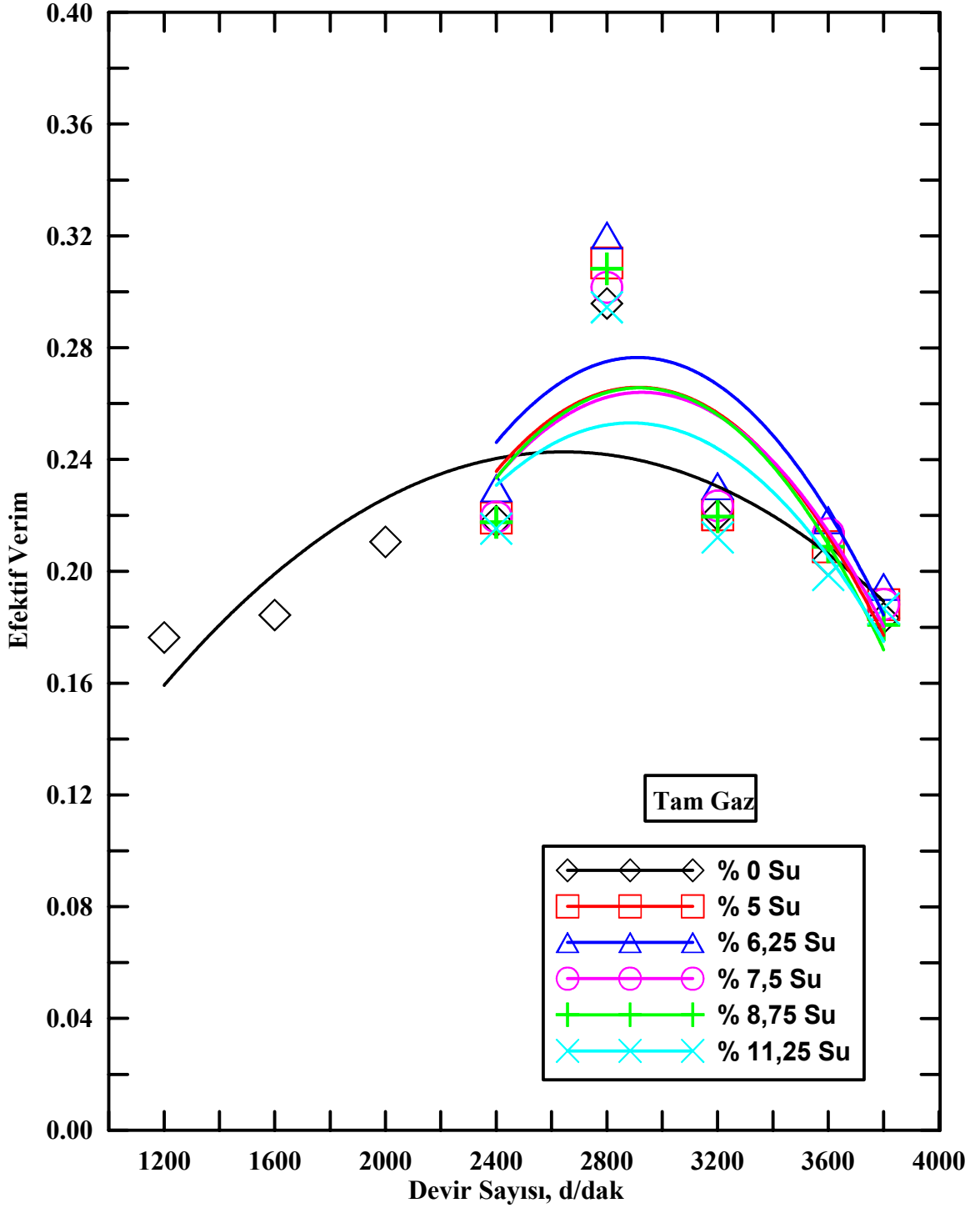
Şekil 9. Tam gaz konumunda, farklı su oranları için ortalama efektif basıncın devir sayısına göre değişimi

## Efektif Verim

Bilindiği gibi motorlarda, efektif verim karakteristiği; özgül yakıt tüketimi karakteristiğinin tam tersi yapıdadır.

Şekil 10'de, tam gaz konumunda,  $\epsilon=8,5$  sabit sıkıştırma oranında, farklı su oranları için efektif verimin devir sayısına göre değişimini gösteren eğriler sunulmuştur. Söz konusu efektif verim karakteristikleri incelendiğinde; her su oranı için efektif verim değerlerinin; genel benzin motoru efektif verim karakteristiğine benzer şekilde 2800 d/dak'ya kadar arttığı ve bu devir sayısından sonra azalmaya başladığı görülebilir. Farklı su oranlarına bakıldığında; efektif verim, su oranı ile artmakta ve belirli bir su oranından sonra azalmaktadır. En yüksek efektif verim 2800 d/dak'da, ~%6,25 su oranında elde edilmekte, bu devirde en düşük efektif verim ise ~%11,25 su oranında oluşmaktadır. Yaklaşık %5, %6.25, %7.5 ve %8.75 su oranlarındaki efektif verim değerlerinin %0 su oranına göre daha yüksek değerler verdiği, %11.25 su oranındaki efektif verim değerlerinin ise %0 su oranındakine çok yakın olduğu, fakat biraz altında değerler aldığı görülmektedir. Sayısal olarak örneklenecek olursa;  $n=3600$  [d/dak] da, efektif verimde %0 su oranına göre yaklaşık %5, %7.5, % 8.75 su oranlarında sırasıyla ~%2 , %4.5 ve %2'lik bir artış olurken, ~%6.25 su oranı için bu artış yaklaşık %7 olmaktadır.

Genel olarak, efektif verim değerlerine bakıldığında en yüksek efektif verim değerlerinin ~%6.25 su oranında elde edildiği görülebilir. Püskürtülen suyun soğutma etkisinden dolayı yanma sonu sıcaklıkları daha düşük değerler almakta ve bunun sonucunda benzin motorlarında görülebilecek parçalama reaksiyonları azalarak yanma iyileşmekte, böylece efektif verim artmaktadır. Değişim eğrilerinde de görülebileceği gibi su oranı arttıkça efektif verim değerleri artmakta, belirli bir su oranından sonra düşmektedir. Bu düşüş fazla oranda püskürtülen suyun ortamdan çektiği buharlaşma ısısının yanmadaki olası iyileşmeden daha etkin duruma gelmesinden kaynaklanmaktadır.

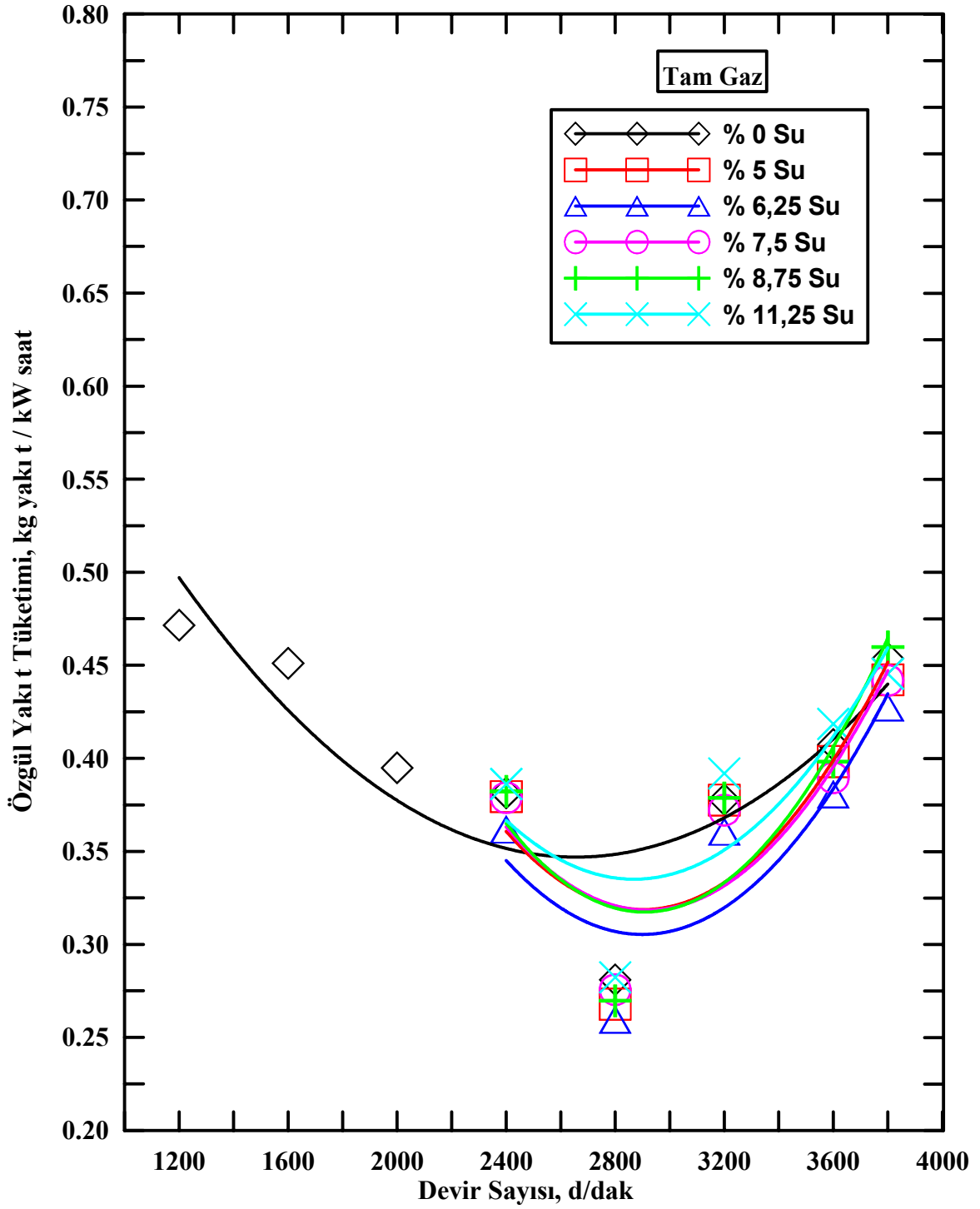


Şekil 10. Tam gaz konumunda, farklı su oranları için efektif verimin devir sayısına göre değişimi

## Özgül Yakıt Tüketimi

Şekil 11’de, tam gaz konumunda,  $\epsilon=8,5$  sabit sıkıştırma oranında, farklı su oranları için özgül yakıt tüketiminin devir sayısına göre değişimlerini gösteren eğriler sunulmuştur. Söz konusu özgül yakıt tüketimi karakteristikleri incelendiğinde; her su oranı için özgül yakıt tüketimi değerlerinin; genel benzin motoru özgül yakıt tüketimi karakteristiğine benzer şekilde 2800 d/dak’ya kadar azaldığı ve bu devir sayısından sonra artmaya başladığı görülmektedir. Farklı su oranlarına ilişkin eğrilere bakıldığında; özgül yakıt tüketiminin, su oranı ile azaldığı ve belirli bir su oranından sonra arttığı görülebilir. En düşük özgül yakıt tüketimi 2800 d/dak’da, ~%6,25 su oranında elde edilmekte, bu devirde en yüksek özgül yakıt tüketimi ise ~%11,25 su oranında oluşmaktadır. Yaklaşık %5, %6.25, %7.5 ve %8.75 su oranlarındaki özgül yakıt tüketimi değerlerinin %0 su oranına göre daha yüksek değerler verdiği, %11.25 su oranındaki özgül yakıt tüketimi değerlerinin ise %0 su oranındakine çok yakın olduğu, biraz altında değerler aldığı görülmektedir. Sayısal olarak örneklenecek olursa;  $n=3600$  [d/dak] da, özgül yakıt tüketiminde %0 su oranına göre yaklaşık %5, %7.5, % 8.75 su oranlarında sırasıyla ~%2 , %4.5 ve %2’lik bir azalma olurken, ~%6.25 su oranı için bu azalma yaklaşık %7 olmaktadır

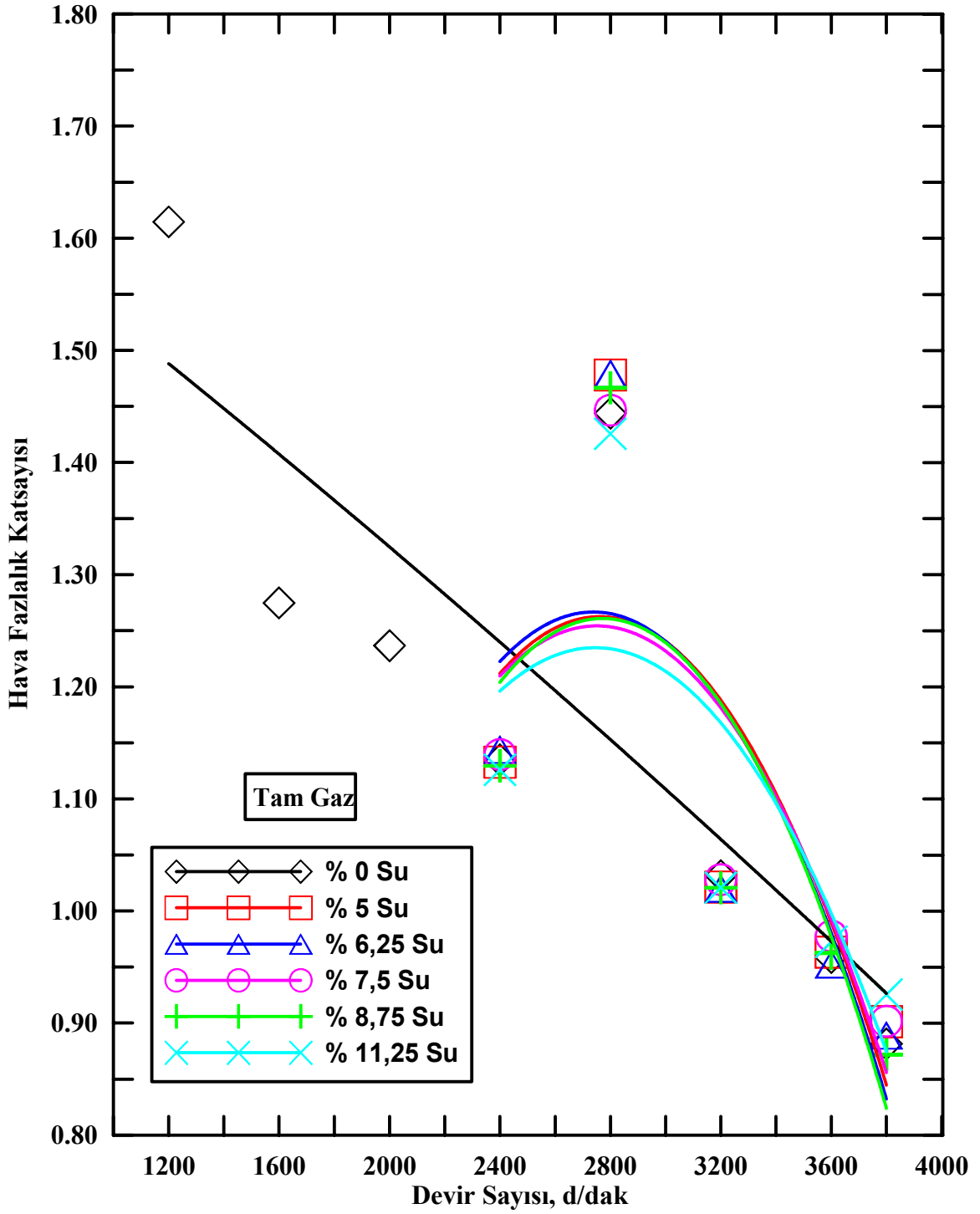
Genel olarak, özgül yakıt tüketimi değerlerine bakıldığında en yüksek özgül yakıt tüketimi değerlerinin ~%6.25 su oranında elde edildiği görülebilir. Püskürtülen suyun soğutma etkisinden dolayı yanma sonu sıcaklıkları daha düşük değerler almakta ve bunun sonucunda benzin motorlarında görülebilecek parçalama reaksiyonları azalarak yanma iyileşmekte, böylece özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Değişim eğrilerinde de görülebileceği gibi su oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi değerleri azalmakta, belirli bir su oranından sonra artmaktadır. Bu artış fazla oranda püskürtülen suyun ortamdan çektiği buharlaşma ısısının yanmadaki olası iyileşmeden daha etkin duruma gelmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 11. Tam gaz konumunda, farklı su oranları için özgül yakıt tüketiminin devir sayısına göre değişimi

### Hava Fazlalık Katsayısı

Şekil 12’de, tam gaz konumunda,  $\epsilon=8,5$  sabit sıkıştırma oranında, farklı su oranları için hava fazlalık katsayısının devir sayısına göre değişimlerini gösteren eğriler sunulmuştur. Her su oranı için hava fazlalık katsayısı değerleri incelendiğinde birbirine çok yakın değerler aldığı görülebilir. Benzin motorlarında emme havasına su eklenmesi hava fazlalık katsayısı üzerinde fazla bir etki oluşturmamaktadır.



Şekil 12. Tam gaz konumunda, farklı su oranları için hava fazlalık katsayısının devir sayısına göre değişimi

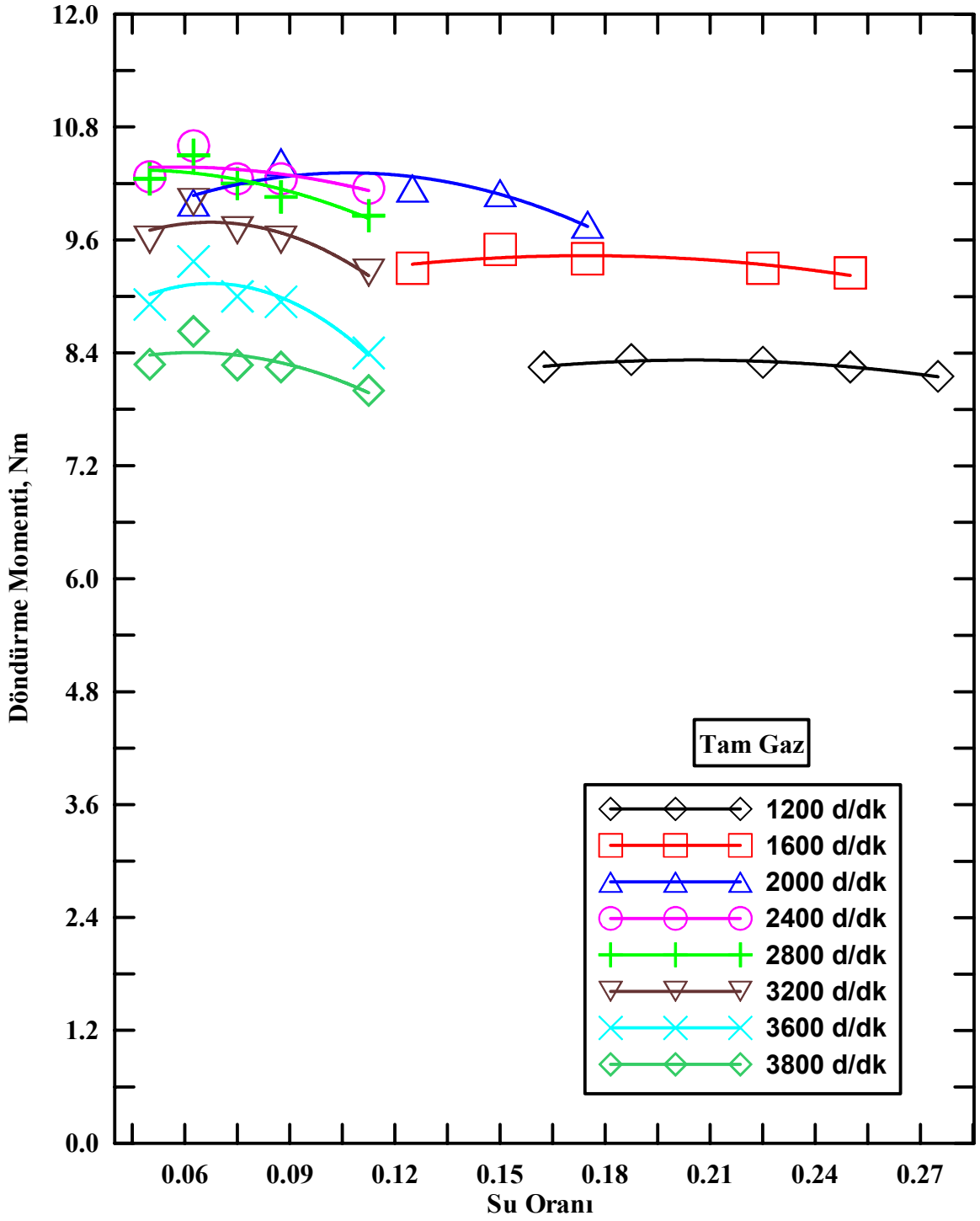


### 3.1.1.2. Tam Gaz Konumunda, Farklı Devir Sayıları İçin Motor Performans Karakteristiklerinin Su Oranına Göre Değişimleri

Bu bölümde; tam gaz (4/4 gaz) konumunda, farklı devir sayıları için motor performans karakteristiklerinin su oranına göre değişimleri ile ilgili karşılaştırma eğrileri Şekil 13-18'de sunulmuştur. Farklı su oranlarının motor performans karakteristikleri üzerindeki etkileri önceki bölümlerde açıklandığı için bu bölümde karşılaştırma eğrileri sunulmuş, söz konusu eğrileri ayrıntılı irdelemeye gerek duyulmamıştır.

#### Döndürme Momenti

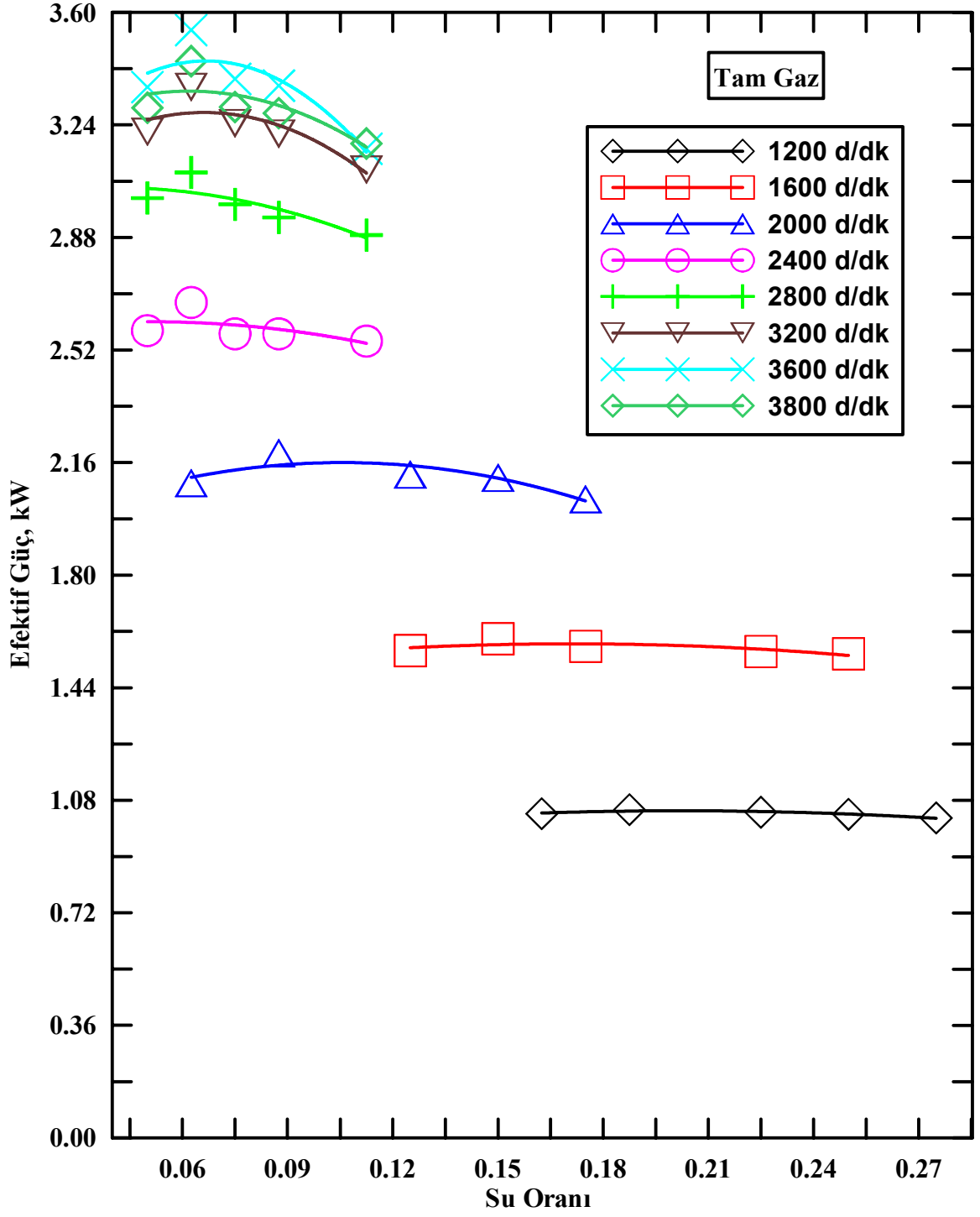
Şekil 13'de, tam gaz konumunda,  $\epsilon=8$  sabit sıkıştırma oranında, değişik devir sayıları için döndürme momentinin su oranına göre değişim karakteristiklerini gösteren eğriler sunulmuştur. Söz konusu döndürme momenti değişim karakteristikleri incelendiğinde; genel olarak 1200 d/dak ve 1600 d/dak dışındaki diğer devir sayılarında en iyi döndürme momenti değerlerinin yaklaşık %6.25 su oranında elde edildiği görülebilir. Döndürme momenti değeri su oranı arttıkça artmakta ve belirli su oranından sonra azalmaya başlamaktadır. Değişik devir sayılarına ilişkin eğrilere bakıldığında; döndürme momentinin devir sayısı ile arttığı ve belirli bir devir sayısından sonra azalmaya başladığı görülebilir. En yüksek döndürme momenti 2400 d/dak'da, ~%6,25 su oranında elde edilmekte, bu devirde en düşük döndürme momenti ise ~%11,25 su oranında oluşmaktadır. Ayrıca 2400 d/dak ve bu devirden daha yüksek devirlerde en yüksek döndürme momenti ~%6.25 su oranında elde edilmiştir.



Şekil 13. Tam gaz konumunda, farklı devir sayıları için döndürme momentinin su oranına göre değişimi

## Efektif Güç

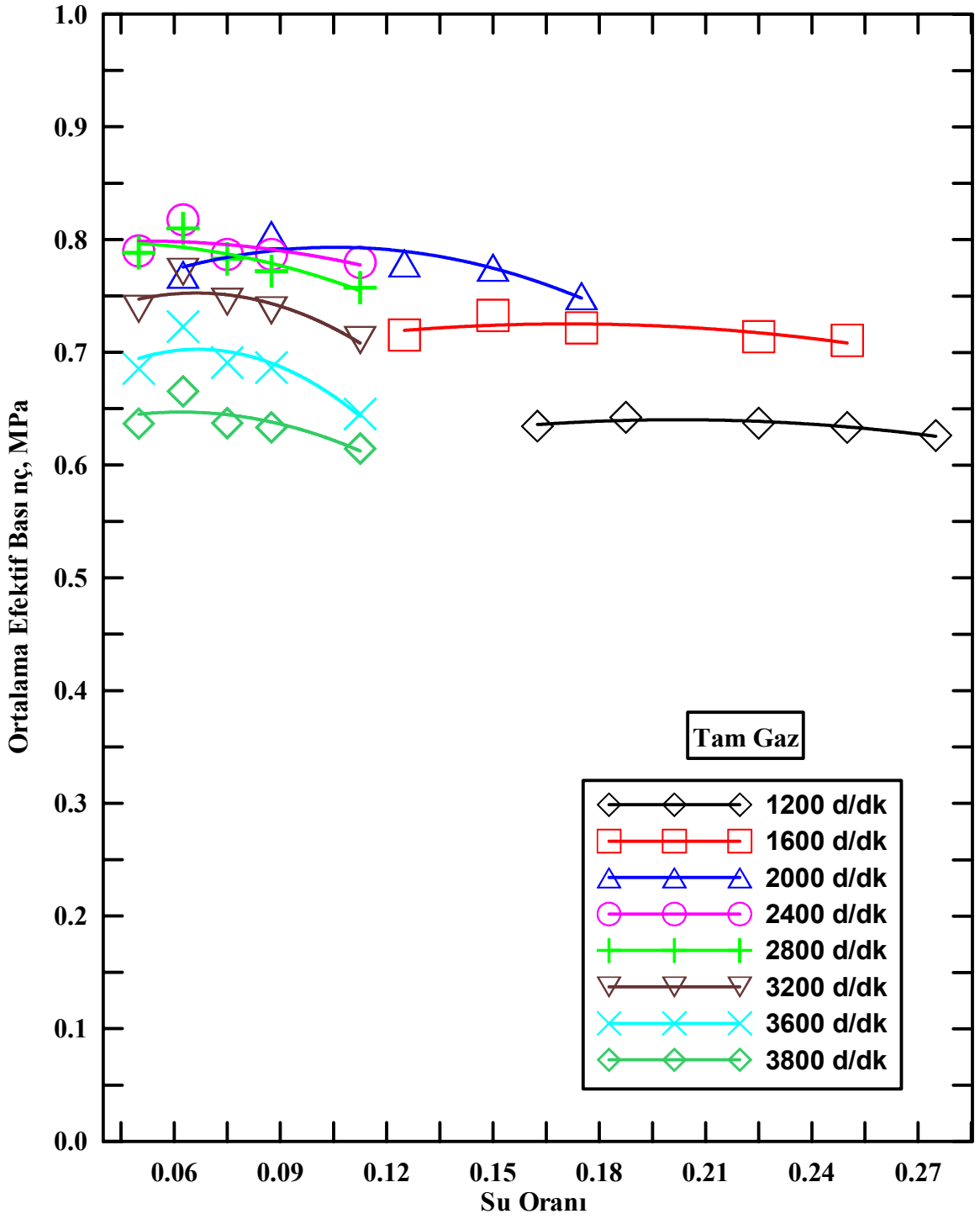
Şekil 14’de, tam gaz konumunda,  $\varepsilon=8$  sabit sıkıştırma oranında, değişik devir sayıları için efektif gücün su oranına göre değişim karakteristiklerini gösteren eğriler sunulmuştur. Söz konusu efektif güç değişim karakteristikleri incelendiğinde; genel olarak 1200 d/dak ve 1600 d/dak dışındaki diğer devir sayılarında en iyi efektif güç değerlerinin yaklaşık %6.25 su oranında elde edildiği görülebilir. Efektif güç değeri su oranı arttıkça artmakta ve belirli su oranından sonra azalmaya başlamaktadır. Ayrıca düşük devir sayılarında ve yüksek su oranlarında düşük efektif güç değerleri elde edildiği görülmektedir. Değişik devir sayılarına ilişkin eğrilere bakıldığında; efektif gücün 3600 d/dak’ya kadar arttığı ve bu devir sayısından sonra azalmaya başladığı görülebilir. En yüksek efektif güç 3600 d/dak’da, yaklaşık %6,25 su oranında elde edilmekte, bu devirde en düşük efektif güç ise ~%11,25 su oranında oluşmaktadır. Ayrıca 2400 d/dak ve bu devirden daha yüksek devirlerde en yüksek efektif güç ~%6.25 su oranında elde edilmektedir.



Şekil 14. Tam gaz konumunda, farklı devir sayıları için efektif gücün su oranına göre değişimi

### Ortalama Efektif Basınç

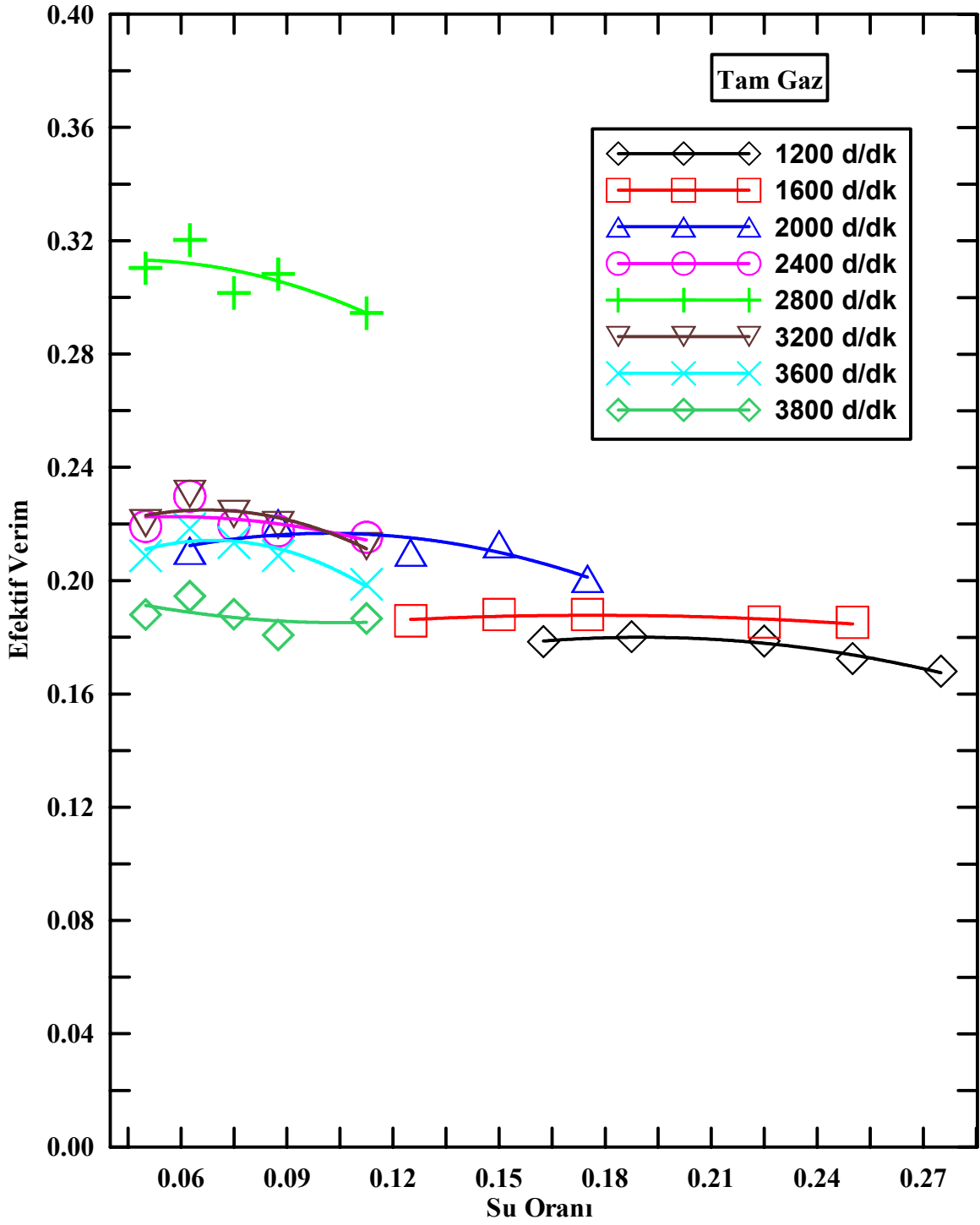
Şekil 15'te, tam gaz konumunda,  $\epsilon=8$  sabit sıkıştırma oranında, değişik devir sayıları için ortalama efektif basıncın su oranına göre değişim karakteristiklerini gösteren eğriler sunulmuştur. Daha önceden de belirtildiği gibi motorlarda, ortalama efektif basınç ve döndürme momenti karakteristikleri benzer yapıya sahiptir. Söz konusu ortalama efektif basınç değişim karakteristikleri incelendiğinde, döndürme momenti değişim eğrilerine benzer yapıda olduğu görülebilir.



Şekil 15. Tam gaz konumunda, farklı devir sayıları için ortalama efektif basıncın su oranına göre değişimi

## Efektif Verim

Şekil 16'da, tam gaz konumunda,  $\varepsilon=8$  sabit sıkıştırma oranında, değişik devir sayıları için efektif verimin su oranına göre değişim karakteristiklerini gösteren eğriler sunulmuştur. Söz konusu efektif verim değişim karakteristikleri incelendiğinde; genel olarak 1200 d/dak ve 1600 d/dak dışında, diğer devir sayılarında en iyi efektif verim değerlerinin yaklaşık %6.25 su oranında elde edildiği görülebilir. Efektif verim değeri su oranı arttıkça artmakta ve belirli su oranından sonra azalmaya başlamaktadır. Ayrıca düşük devir sayılarında ve yüksek su oranlarında düşük efektif verim değerleri elde edildiği görülmektedir. Değişik devir sayılarına ilişkin eğrilere bakıldığında; efektif verimin devir sayısı ile arttığı ve belirli bir devir sayısından sonra azalmaya başladığı görülebilir. En yüksek efektif verim 2800d/dak'da, %6,25 su oranında elde edilmekte, bu devirde en düşük efektif verim ise %11,25 su oranında oluşmaktadır.

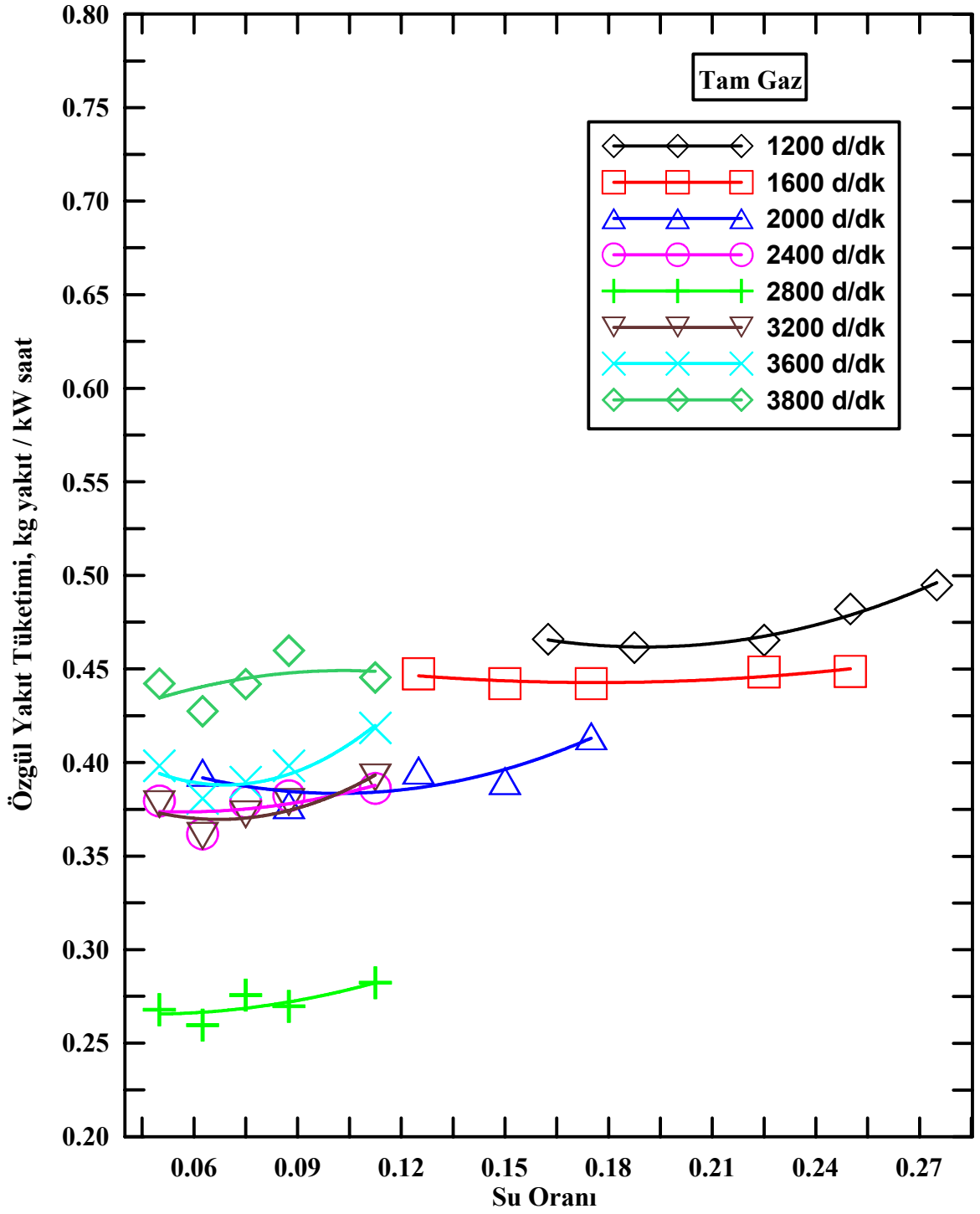


Şekil 16. Tam gaz durumunda, farklı devir sayıları için efektif verimin su oranına göre değişimi



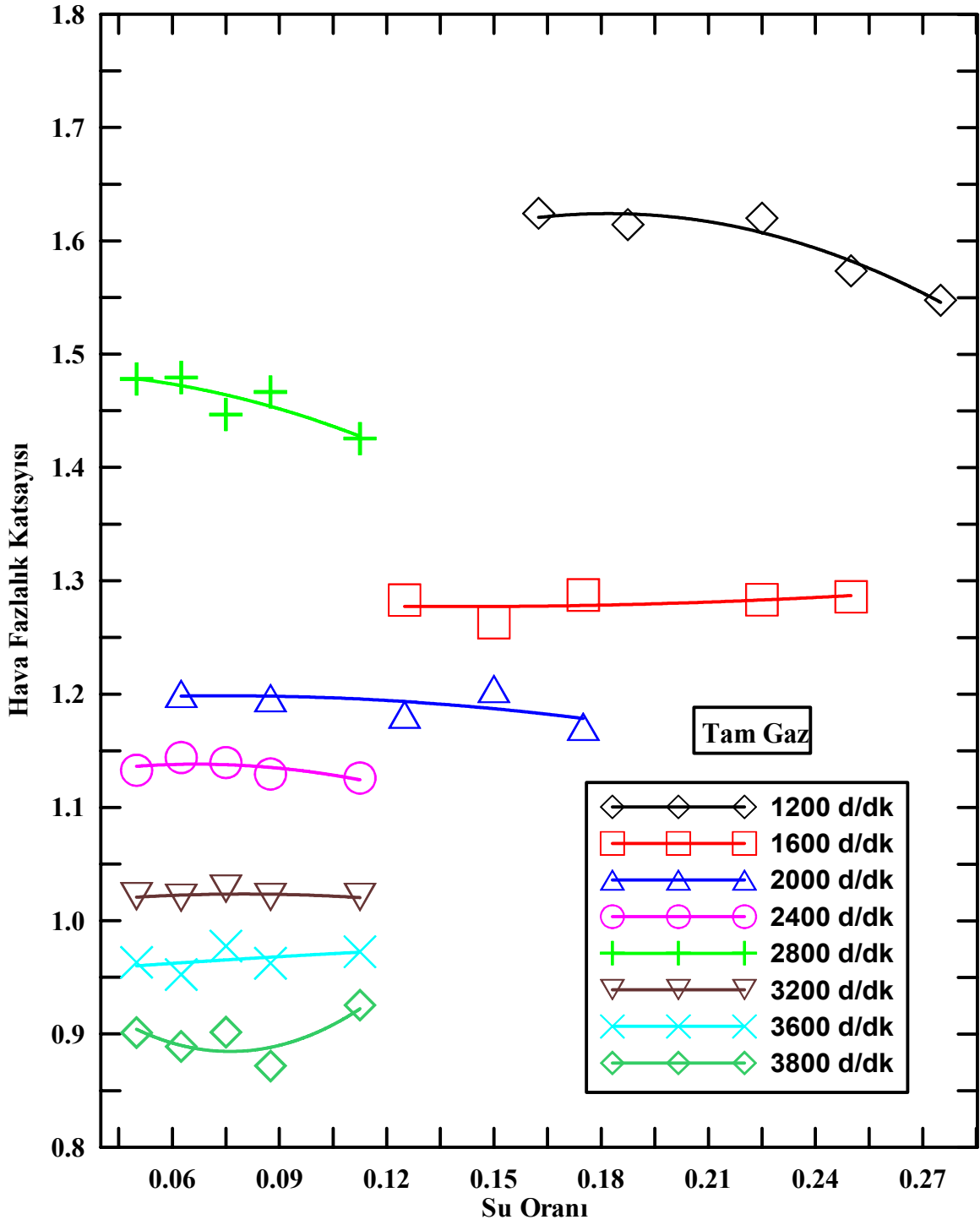
## Özgül Yakıt Tüketimi

Şekil 17’de, tam gaz konumunda,  $\varepsilon=8$  sabit sıkıştırma oranında, değişik devir sayıları için özgül yakıt tüketiminin su oranına göre değişim karakteristiklerini gösteren eğriler sunulmuştur. Söz konusu özgül yakıt tüketimi değişim karakteristikleri incelendiğinde; genel olarak 1200 d/dak ve 1600 d/dak dışında, diğer devir sayılarında en iyi özgül yakıt tüketimi değerlerinin yaklaşık %6.25 su oranında elde edildiği görülebilir. Özgül yakıt tüketimi değeri su oranı arttıkça artmakta ve belirli su oranından sonra azalmaya başlamaktadır. Ayrıca düşük devir sayılarında ve yüksek su oranlarında yüksek özgül yakıt tüketimi değerleri elde edildiği görülmektedir. Değişik devir sayılarına ilişkin eğrilere bakıldığında; en düşük özgül yakıt tüketiminin 2800d/dak’da, %6,25 su oranında elde edilmekte, bu devirde en yüksek özgül yakıt tüketimi ise %11,25 su oranında oluşmaktadır.



Şekil 17. Tam gaz durumunda, farklı devir sayıları için özgül yakıt tüketiminin su oranına göre değişimi

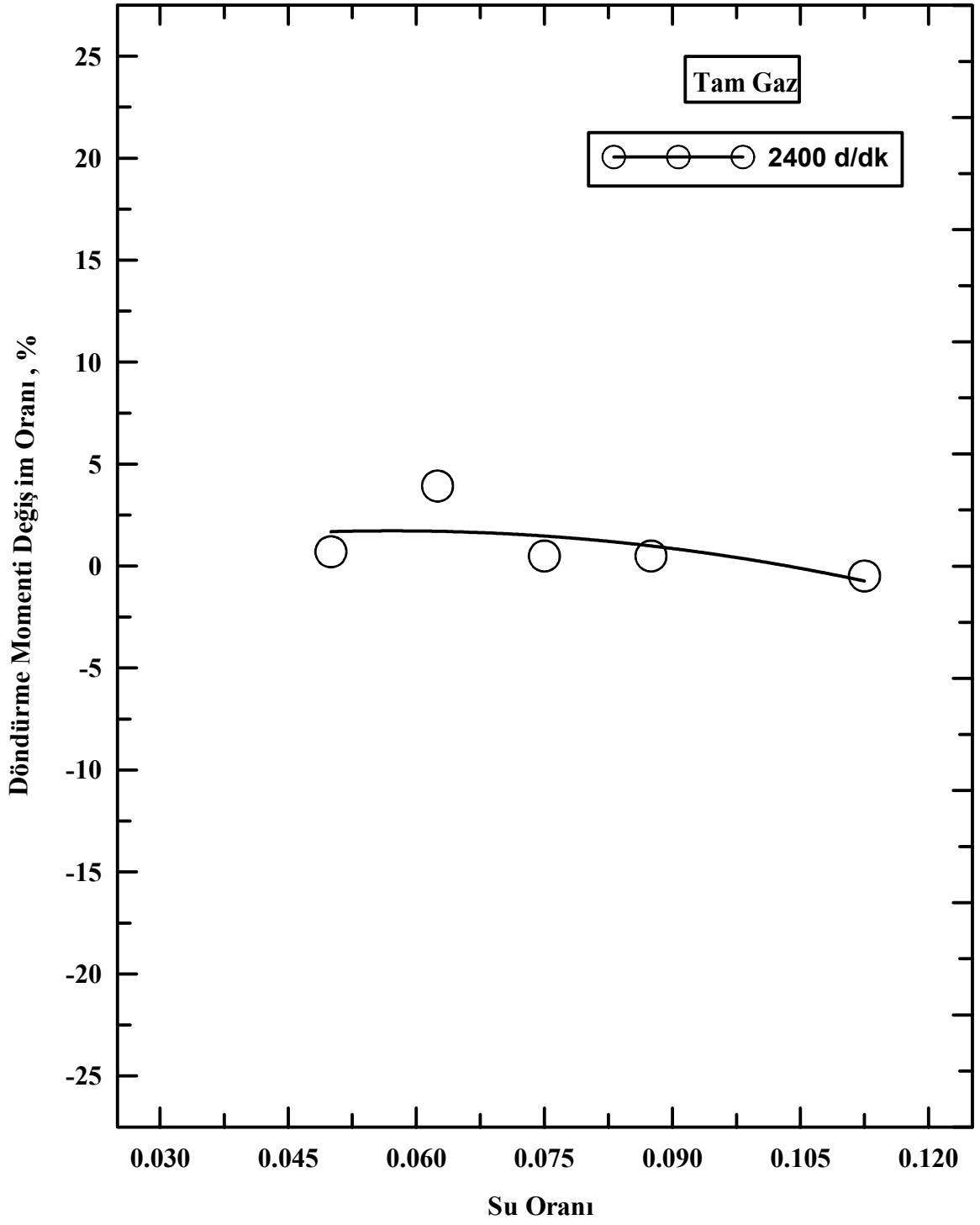
## Hava Fazlalık Katsayısı



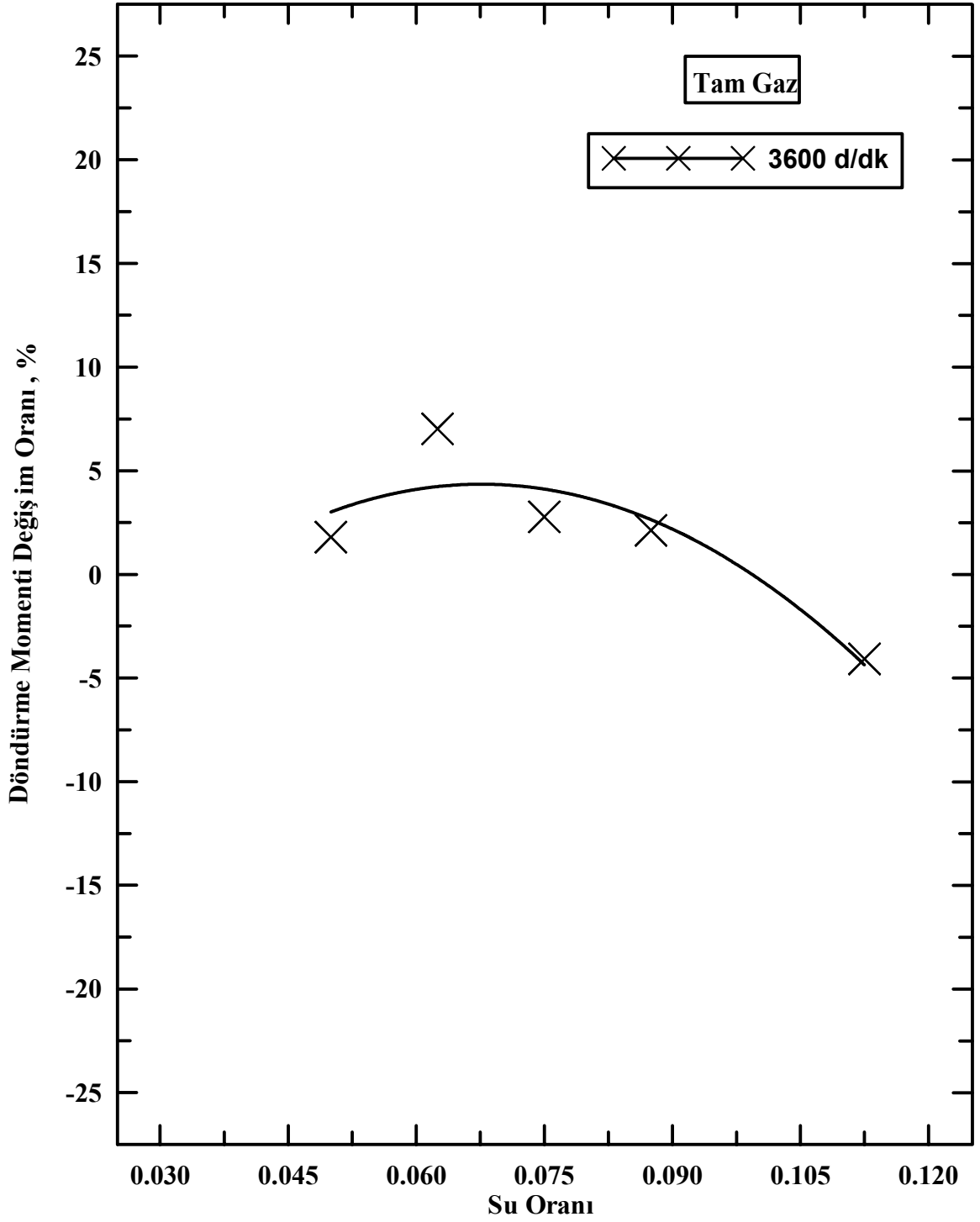
Şekil 18. Tam gaz durumunda, farklı devir sayıları için hava fazlalık katsayısının su oranına göre değişimi

### **3.1.1.3. Tam Gaz Konumunda, Motor Performans Karakteristiklerinin Değişim Oranlarının Su Oranına Göre Değişimleri**

Bu bölümde; tam gaz konumunda motor performans karakteristiklerinin değişim oranlarının her devir sayısı için su oranına göre değişimleri hesaplanarak, tabloları hazırlanmış ve eğrileri çizilmiştir. Sözü geçen birçok tablo ve eğriyi bu metnin içinde sunmak olanağı bulunmadığı için; sadece seçilen iki devir sayısı (2400 d/dak, 3600d/dak) için çizilen eğriler Şekil 19-30'da verilmiştir. Daha önceki bölümlerde değişim oranları açıklandığı için burada tekrar açıklamaya gerek duyulmamıştır. Diğer devir sayıları için değişim tabloları ise Ek'te sunulmuştur.

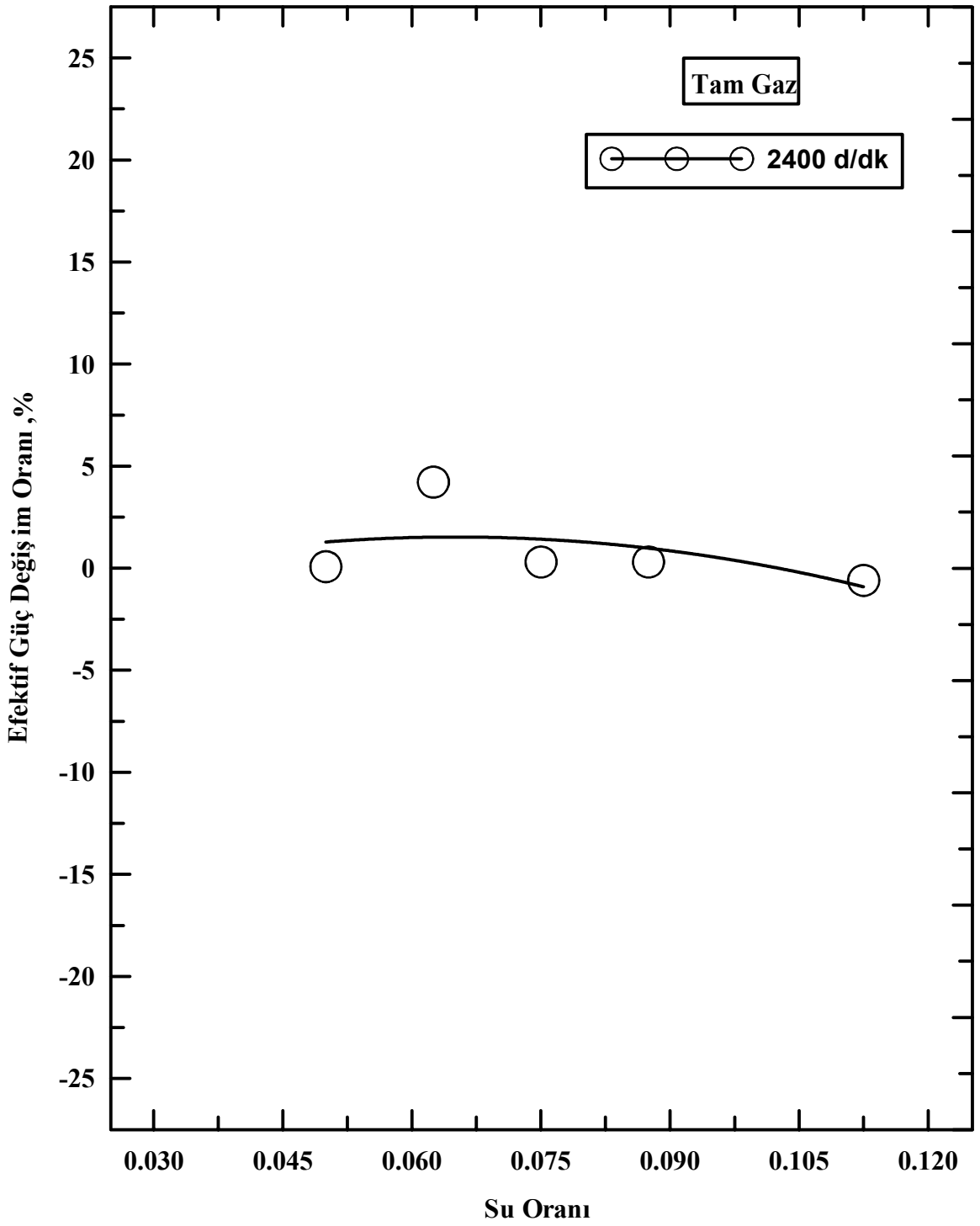
**Döndürme Momenti**

Şekil 19. Tam gaz konumunda,  $n=2400$  d/dak'da döndürme momenti değişim oranının su oranına göre değişimi

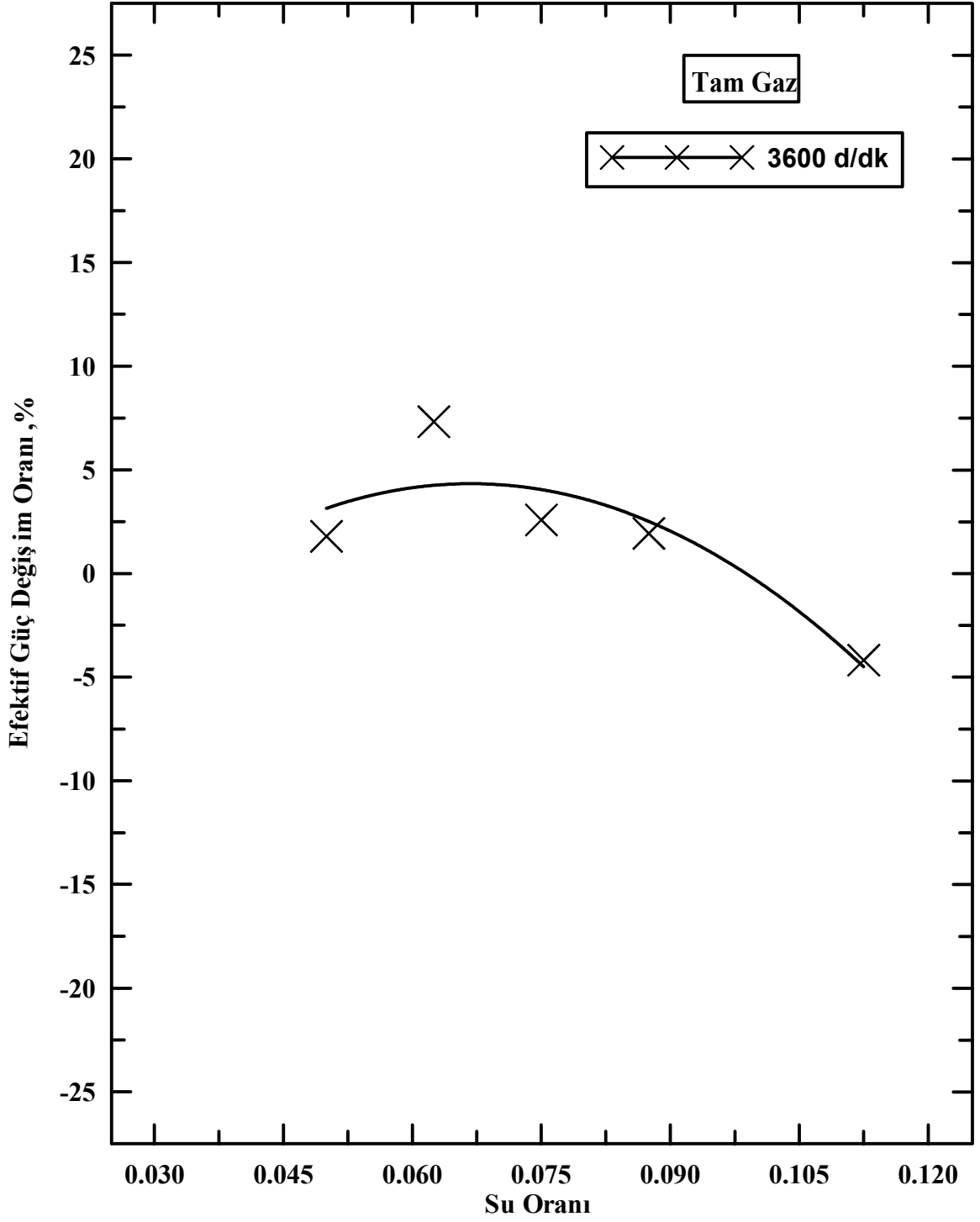


Şekil 20. Tam gaz konumunda,  $n=3600$  d/dak'da döndürme momenti değişim oranının su oranına göre değişimi

## Efektif Güç



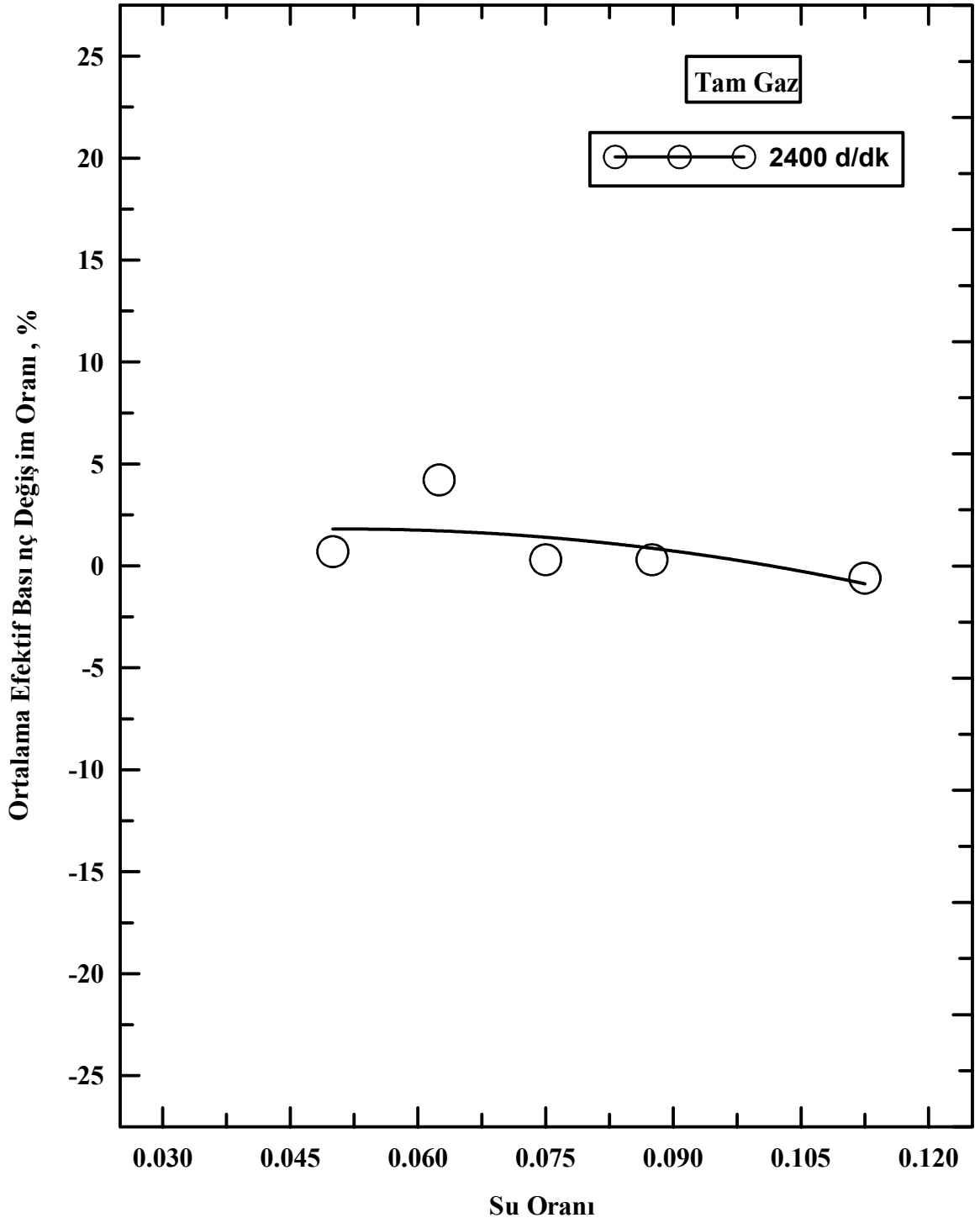
Şekil 21. Tam gaz konumunda,  $n=2400$  d/dak'da efektif güç değişim oranının su oranına göre değişimi



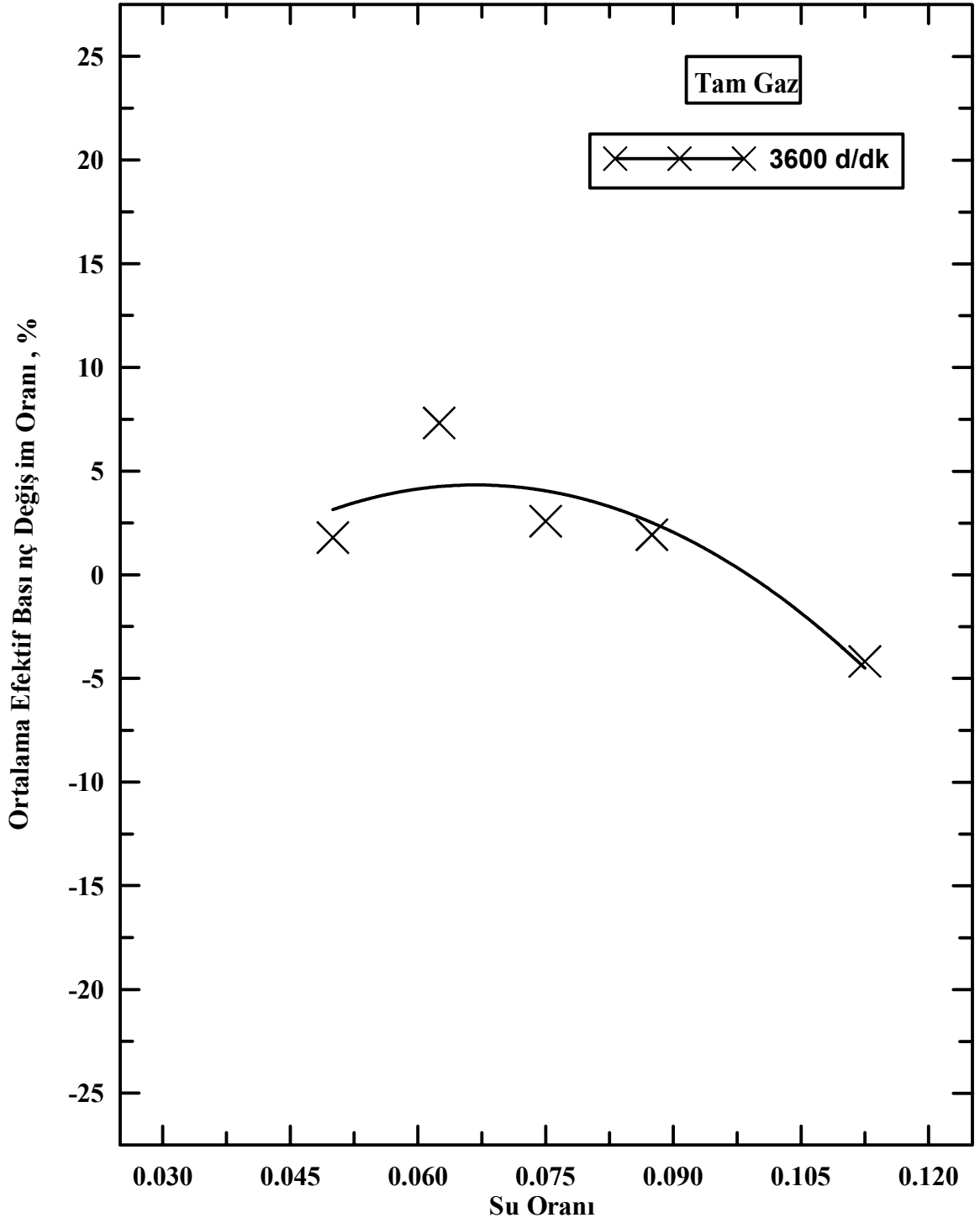
Şekil 22. Tam gaz konumunda,  $n=3600$  d/dak'da efektif güç değişim oranının su oranına göre değişimi



## Ortalama Efektif Basınc

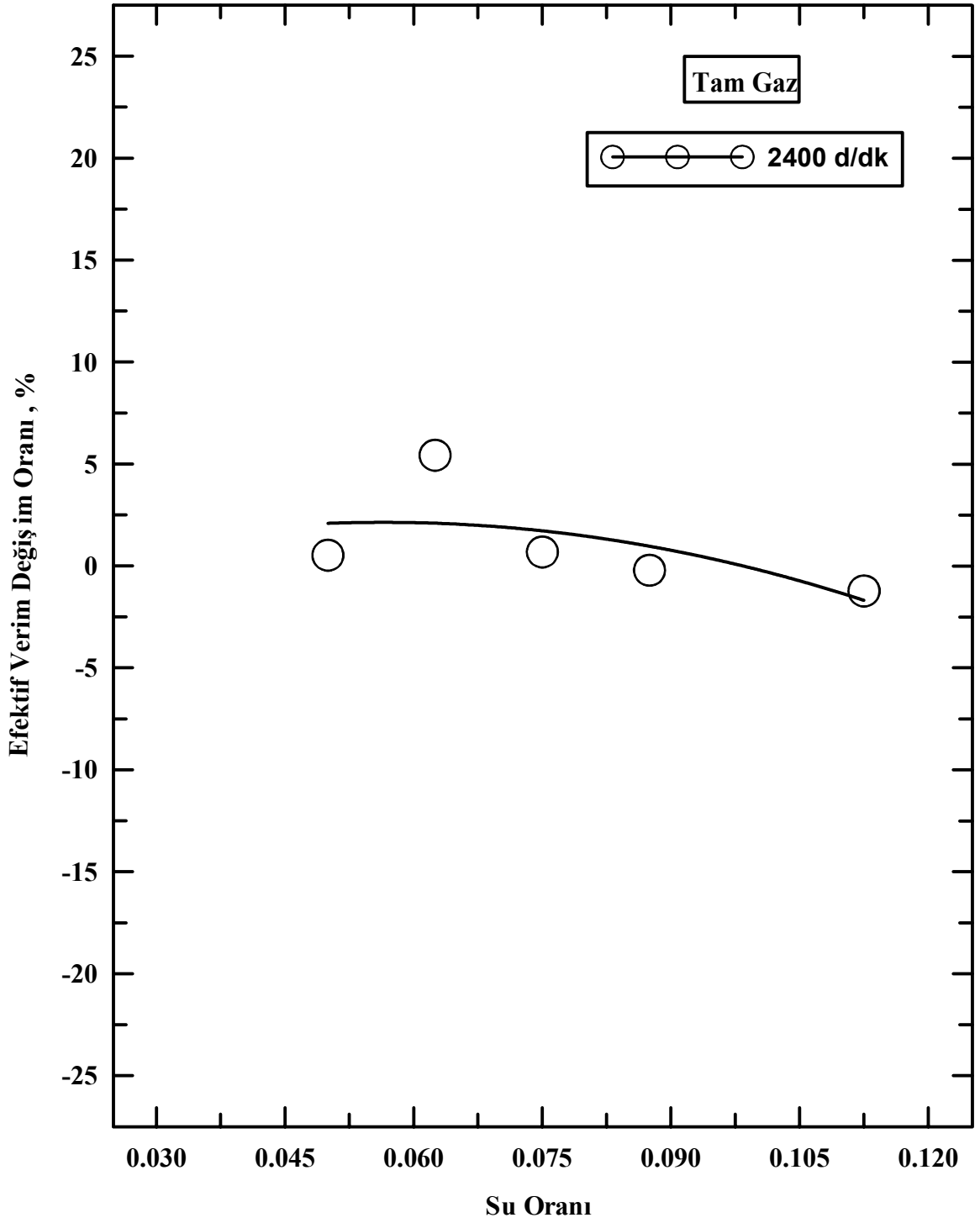


Şekil 23. Tam gaz konumunda,  $n=2400$  d/dak'da ortalama efektif basıncın değişim oranının su oranına göre değişimi

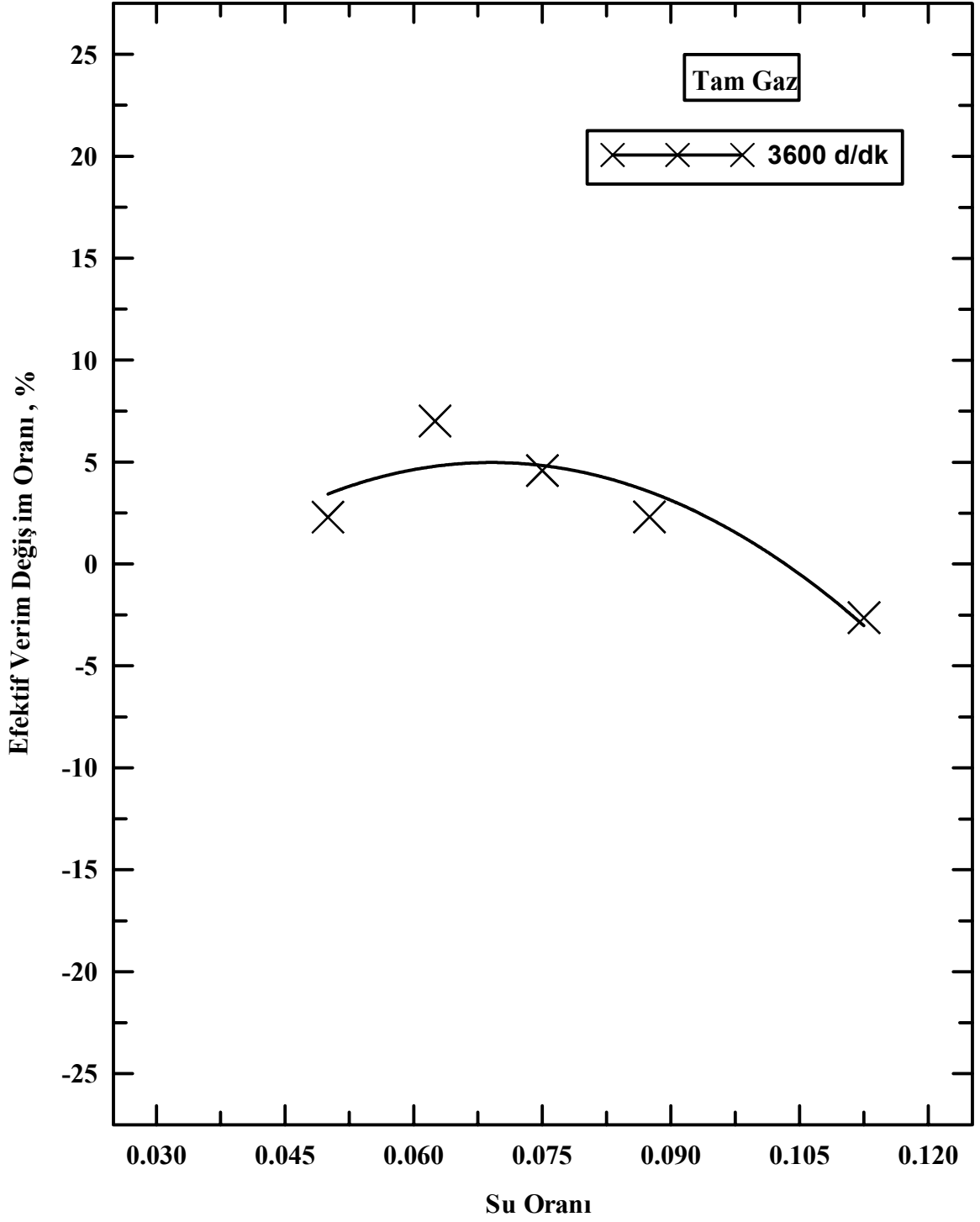


Şekil 24. Tam gaz konumunda,  $n=3600$  d/dak'da ortalama efektif basıncın değişim oranının su oranına göre değişimi

## Efektif Verim

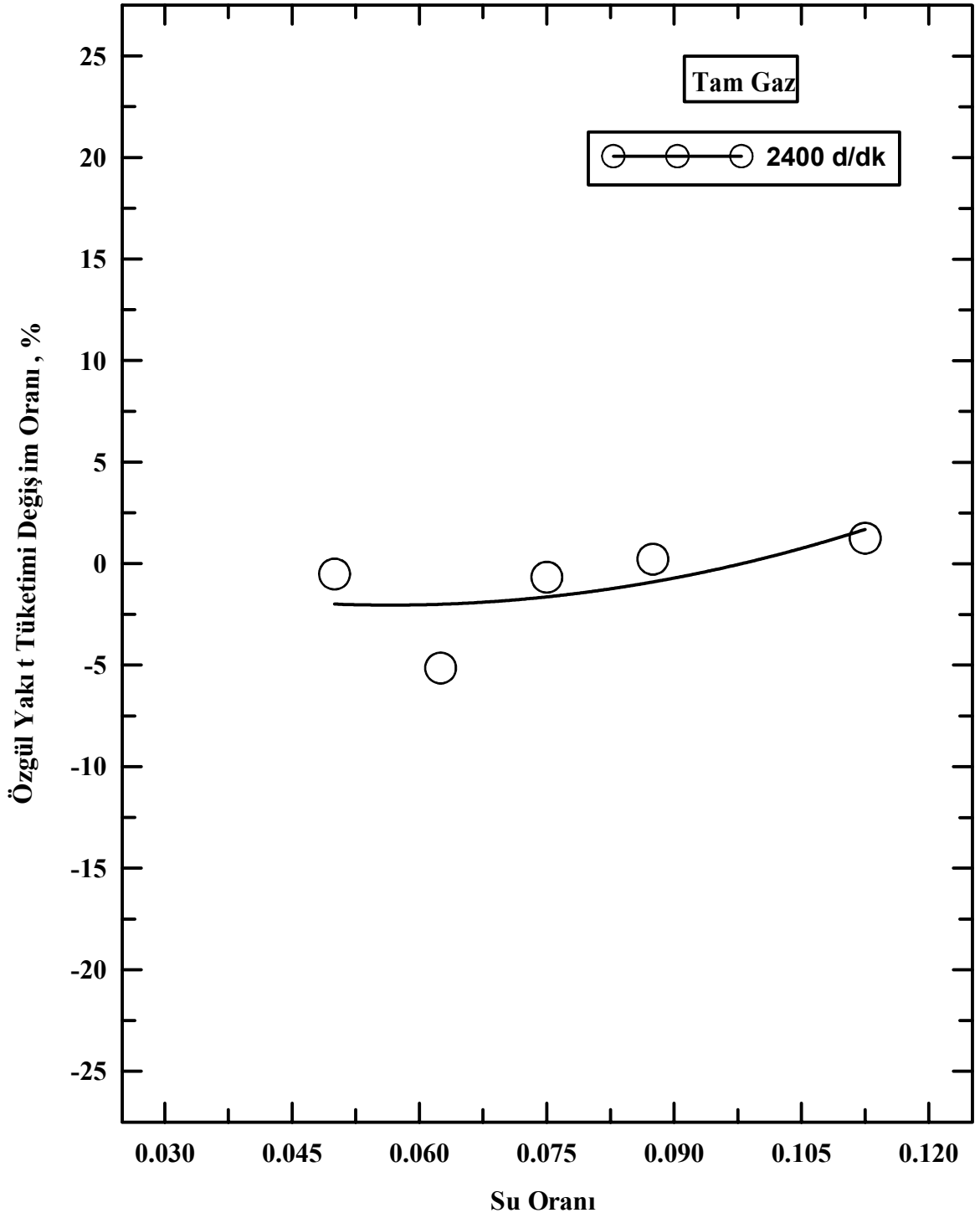


Şekil 25. Tam gaz konumunda,  $n=2400$  d/dak'da efektif verimin değişim oranının su oranına göre değişimi

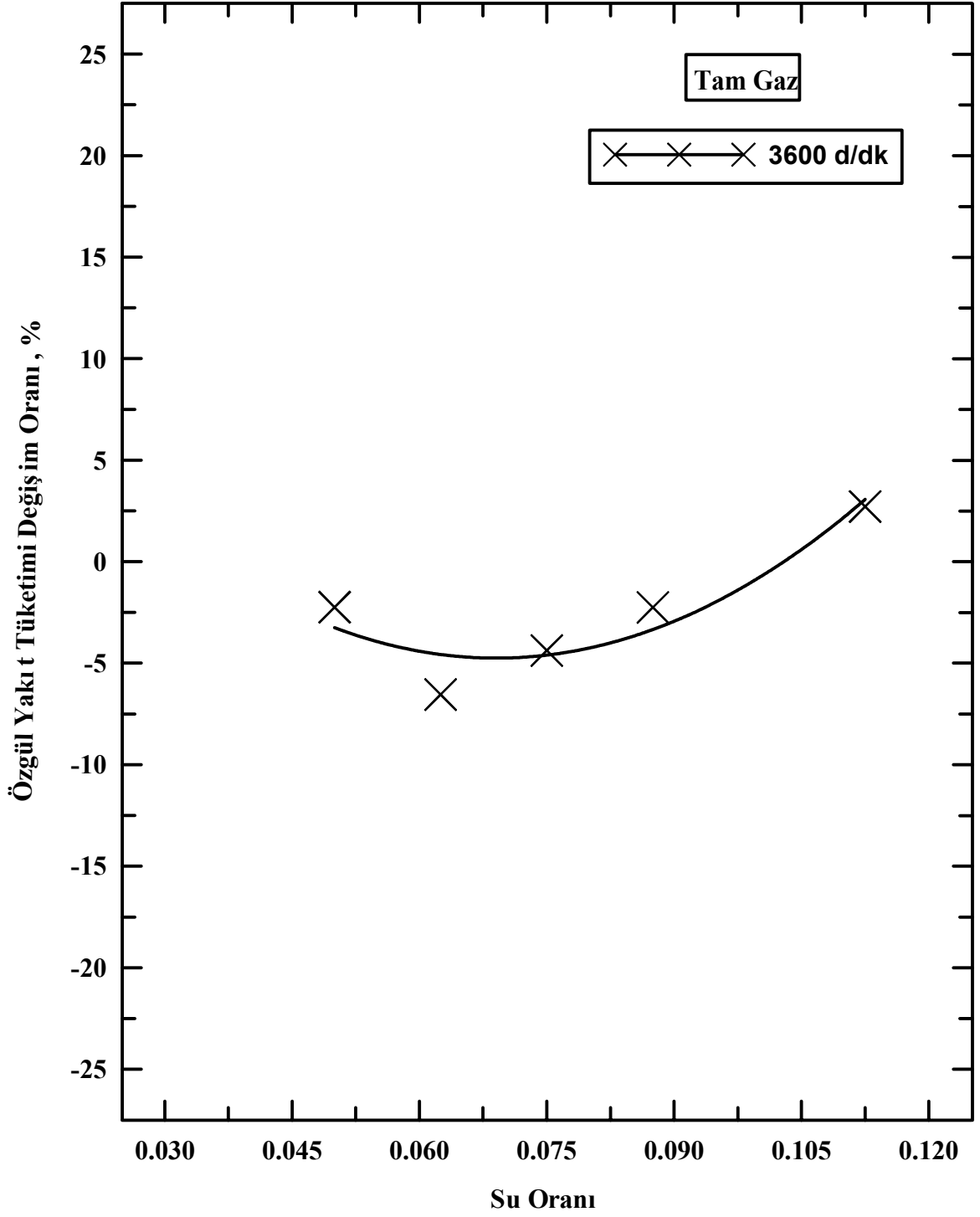


Şekil 26. Tam gaz konumunda,  $n=3600$  d/dak'da efektif verimin değişim oranının su oranına göre değişimi

### Özgül Yakıt Tüketimi

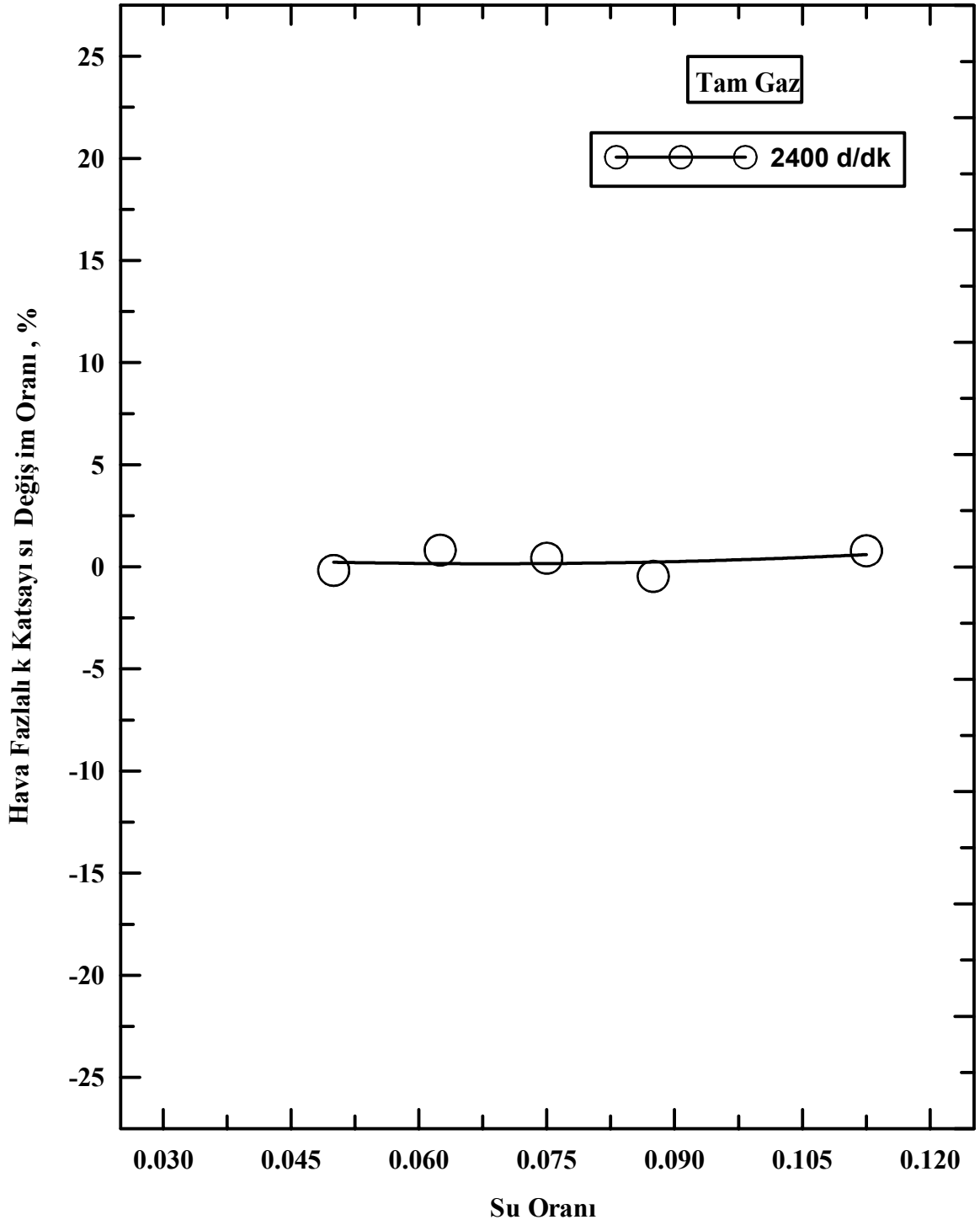


Şekil 27. Tam gaz konumunda, n=2400 d/dak'da özgül yakıt tüketiminin değişim oranının su oranına göre değişimi

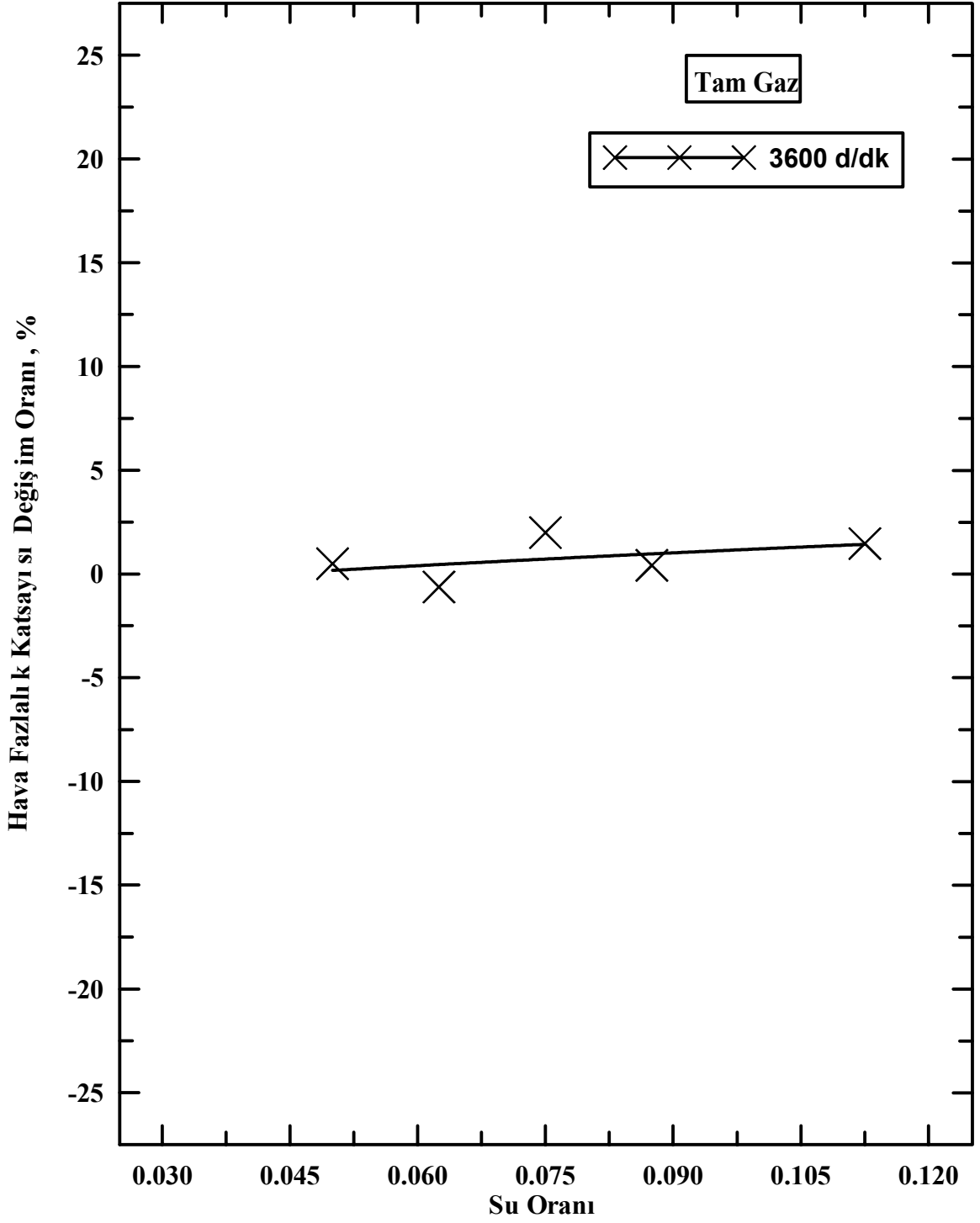


Şekil 28. Tam gaz konumunda,  $n=3600$  d/dak'da özgül yakıt tüketiminin değişim oranının su oranına göre değişimi

## Hava Fazlalık Katsayısı



Şekil 29. Tam gaz konumunda,  $n=2400$  d/dak'da hava fazlalık katsayısının değişim oranının su oranına göre değişimi



Şekil 30. Tam gaz konumunda,  $n=3600$  d/dak'da hava fazlalık katsayısının değişim oranının su oranına göre değişimi



### 3.1.2. 3/4 Gaz Konumunda Motor Performans Karakteristikleri

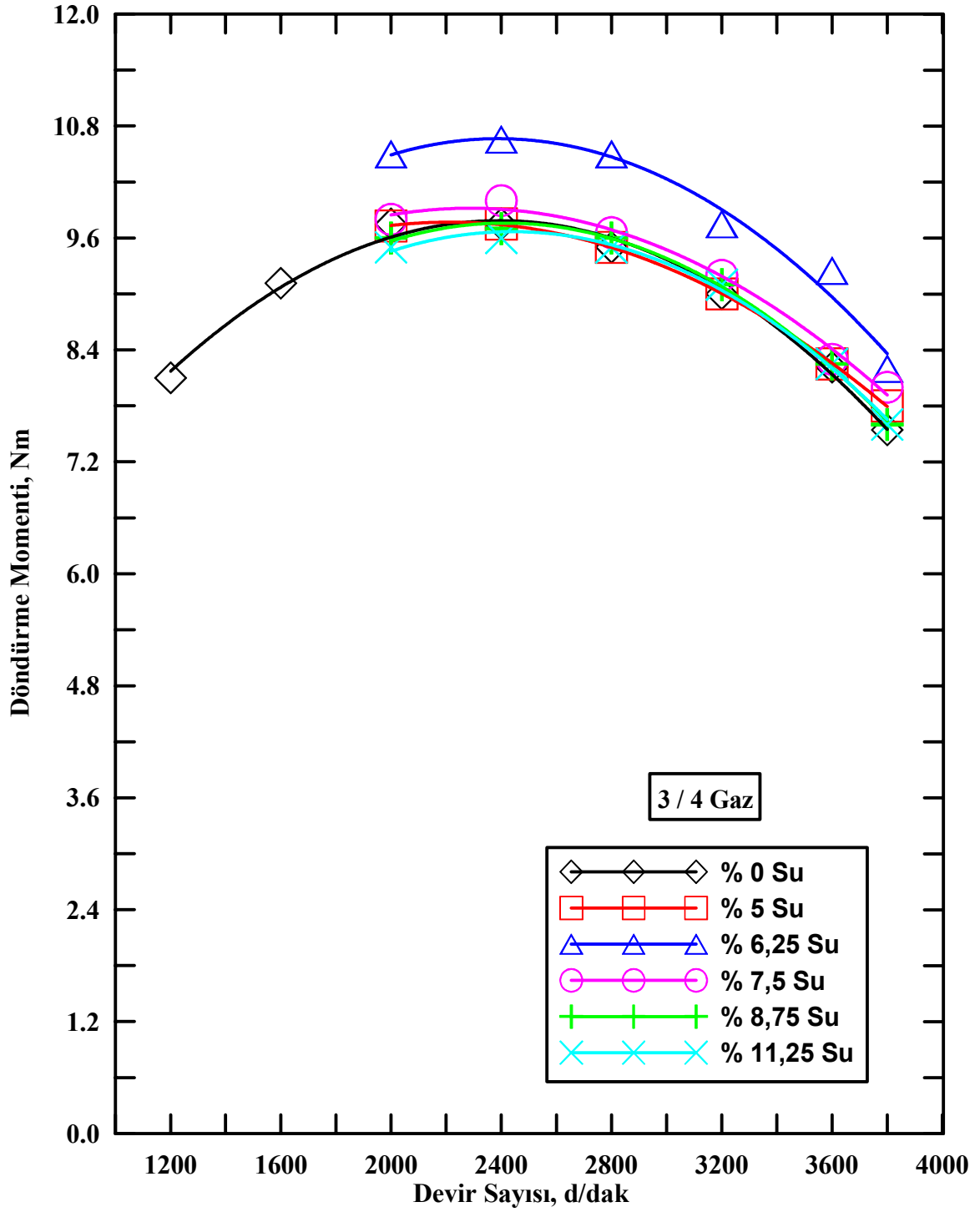
Tez çalışmasının bu bölümünde, deneyler 3/4 gaz konumunda,  $\epsilon=8,5$  sabit sıkıştırma oranında, değişik motor hızlarında ve farklı su oranlarında yapılmıştır. Motorun başlıca karakteristiklerinin devir sayısına ve su oranına göre değişimleri karşılaştırmalı eğriler biçiminde verilmiştir.

Karbüratörün yapısından dolayı püskürtülen su miktarı devir sayısı arttıkça azalmakta ve belirli bir devir sayısından sonra sabit olmaktadır. Bu nedenle 2000 d/dak'dan daha düşük devir sayılarında su-yakıt oranı her karbüratör ayarı için farklı değerler, genellikle çok yüksek değerler, almaktadır. Buna karşın söz konusu devir sayısında ve bu devir sayısından daha yüksek devirlerde su-yakıt oranı sabit değerlerde kalmaktadır. Bu yüzden tam gaz konumunda, yaklaşık %5, %6.25, %7.5, %8.75 ve %11.25 su oranları için değişim karakteristiklerinin devir sayısına göre değişimlerini gösteren eğriler 2000, 2400, 2800, 3200, 3600, 3800 d/dak devirlerindeki değerler kullanılarak karşılaştırmalı biçimde sunulmuştur

#### 3.1.2.1. 3/4 Gaz Konumunda, Farklı Su Oranları İçin Motor Performans Karakteristiklerinin Devir Sayısına Göre Değişimleri

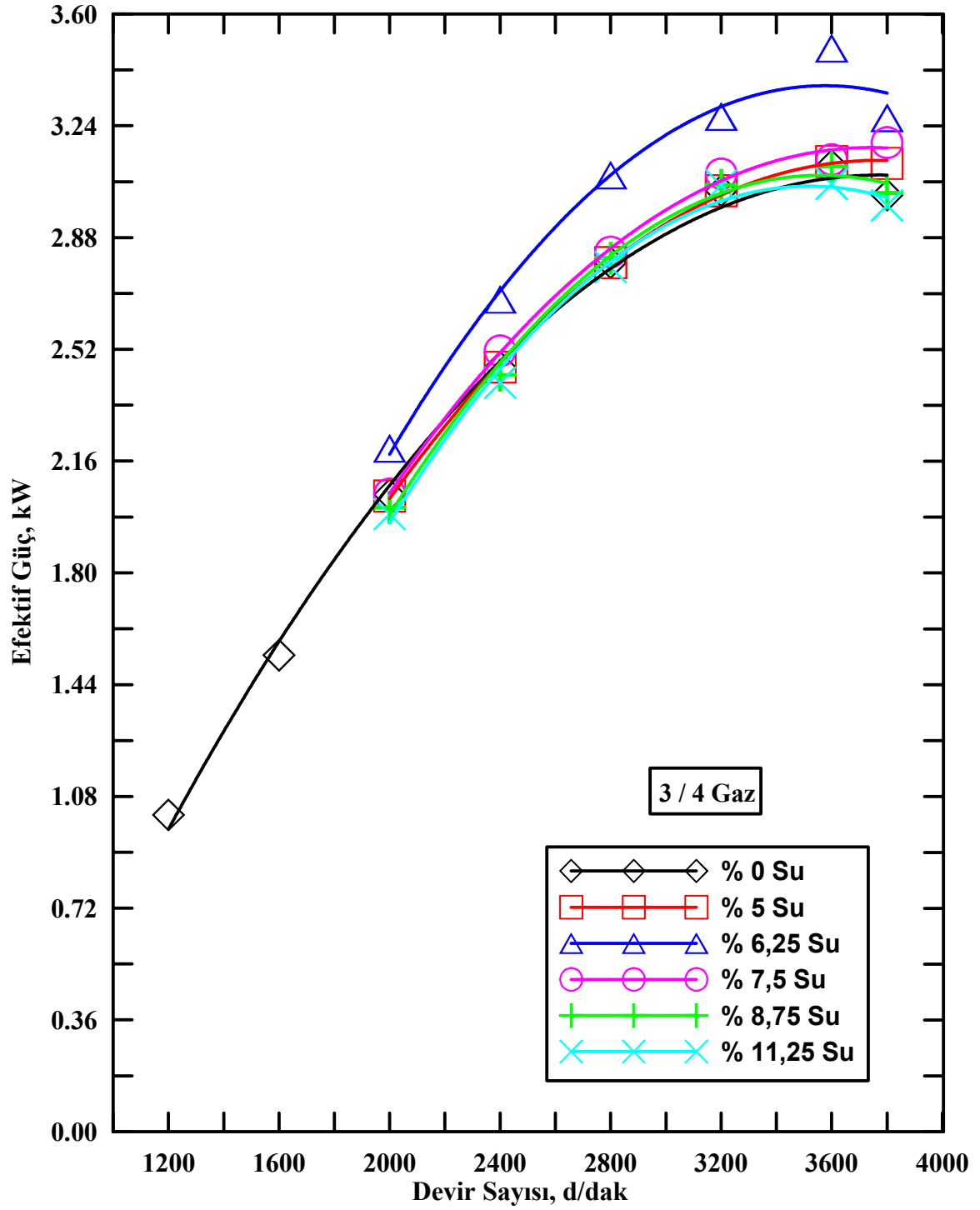
Bu bölümde; (3/4) gaz konumunda, farklı su oranları için motor performans karakteristiklerinin devir sayısına göre değişimleri ile ilgili karşılaştırma eğrileri Şekil 31-36'de sunulmuştur. Söz konusu karşılaştırma eğrileri, tam gaz konumunda elde edilen eğrilere benzer yapıda oldukları için bu bölümde ayrıca bir irdelemeye gerek duyulmamıştır.

## Döndürme Momenti



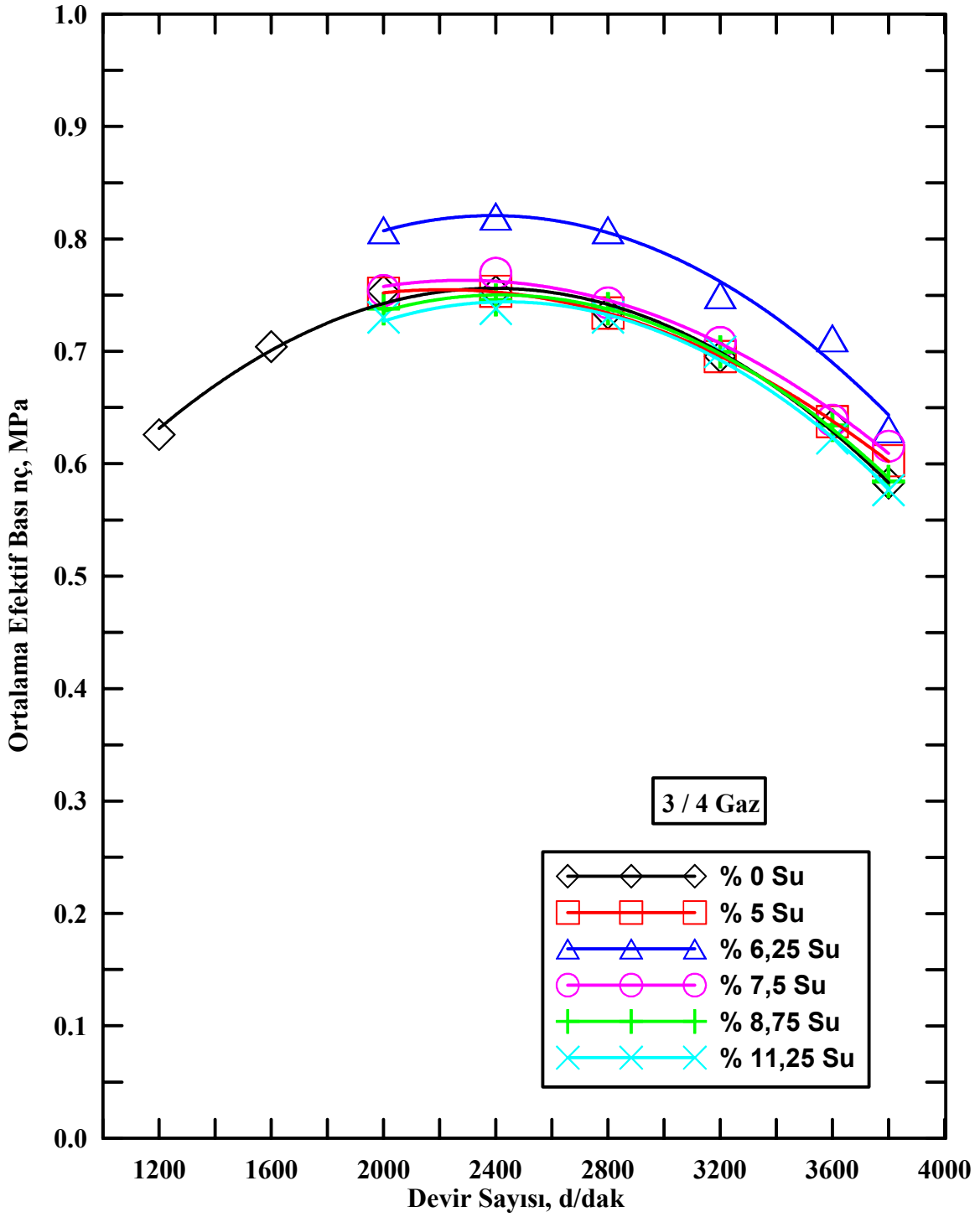
Şekil 31. 3/4 gaz konumunda, farklı su oranları için döndürme momentinin devir sayısına göre değişimi

## Efektif Güç



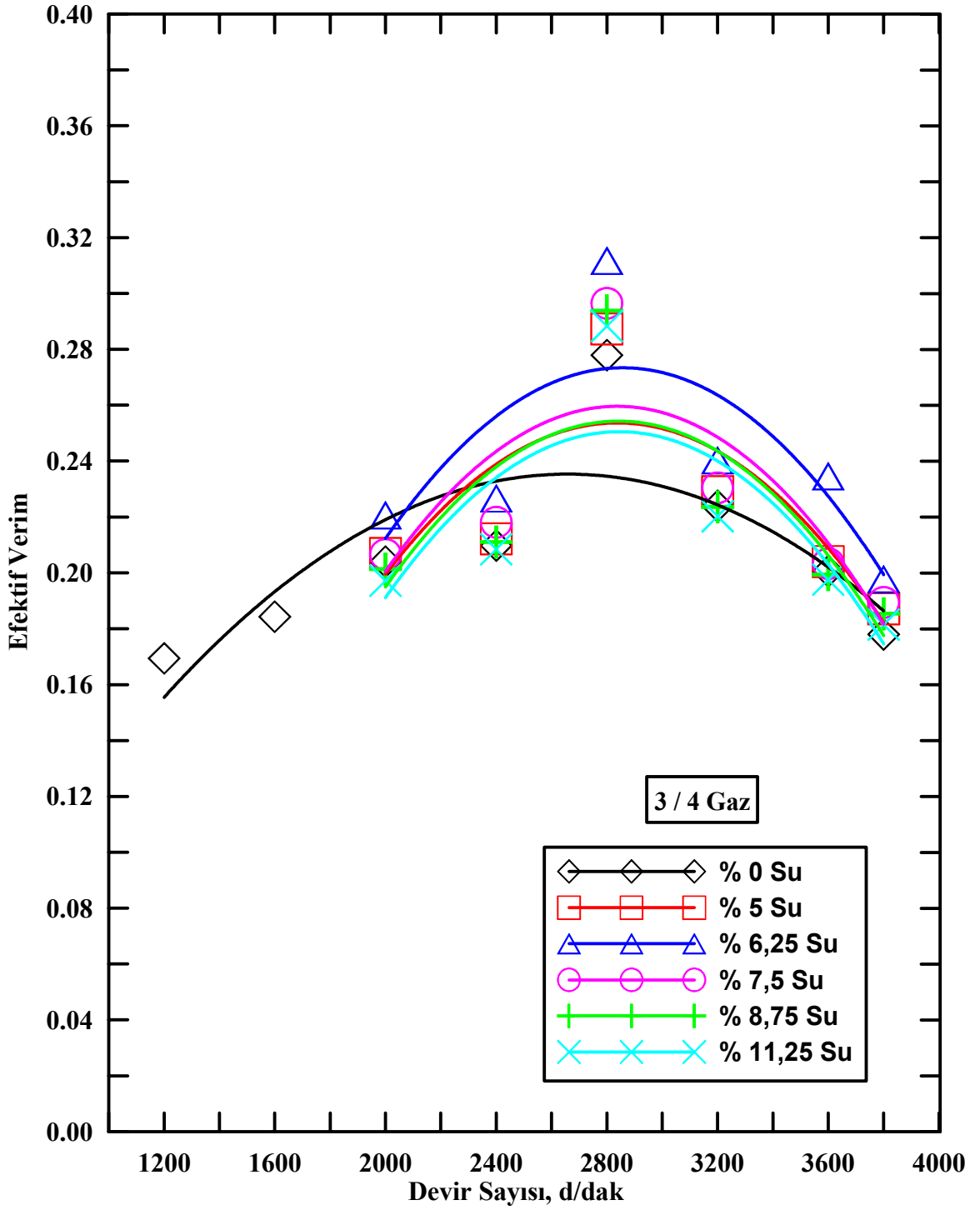
Şekil 32. 3/4 gaz konumunda, farklı su oranları için efektif gücün devir sayısına göre değişimi

## Ortalama Efektif Basınc



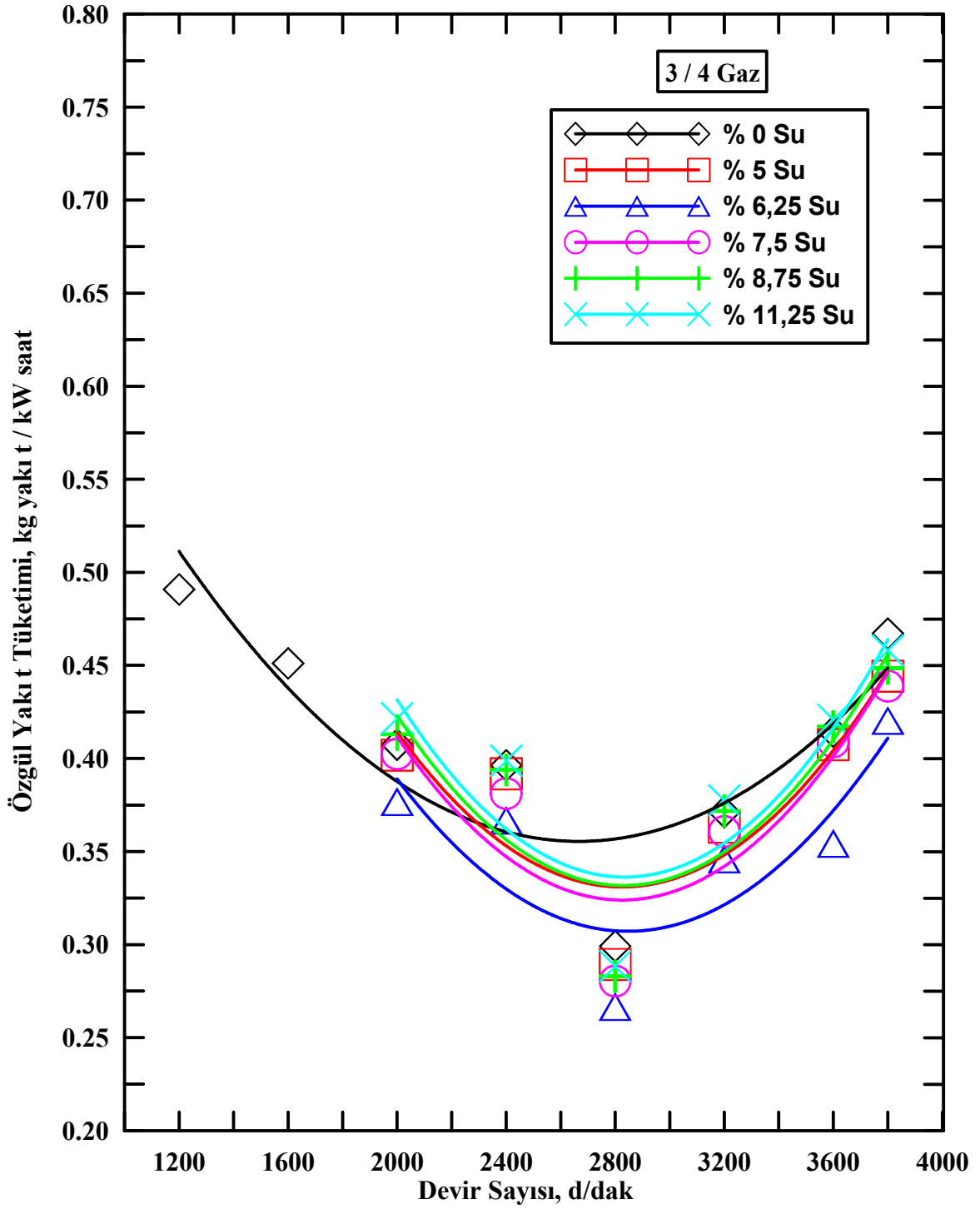
Şekil 33. 3/4 gaz konumunda, farklı su oranları için ortalama efektif basıncın devir sayısına göre değişimi

## Efektif Verim



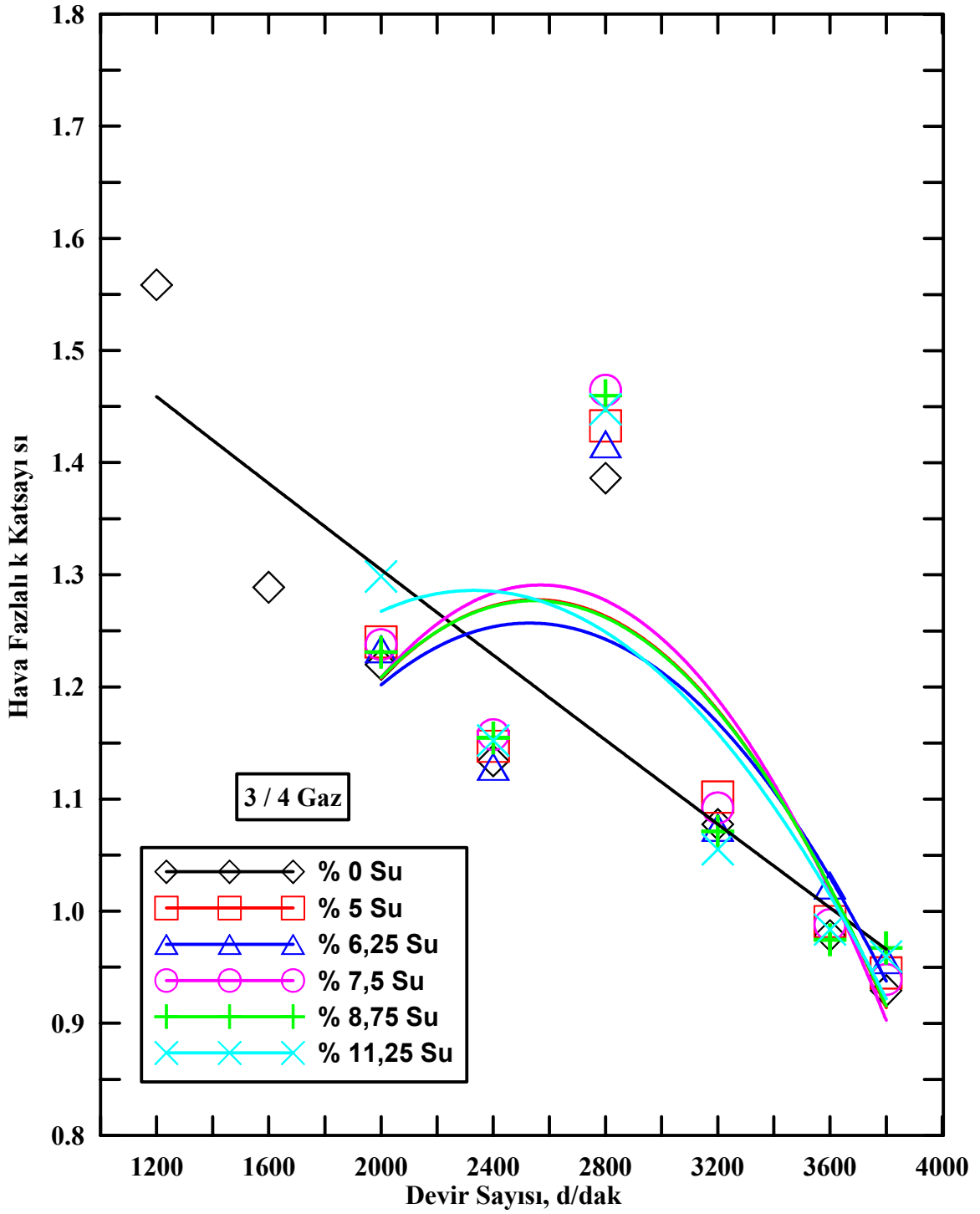
Şekil 34. 3/4 gazda, farklı su oranları için efektif verimin devir sayısına göre değişimi

### Özgül Yakıt Tüketimi



Şekil 35. 3/4 gazda, farklı su oranları için özgül yakıt tüketiminin devir sayısına göre değişimi

## Hava Fazlalık Katsayısı



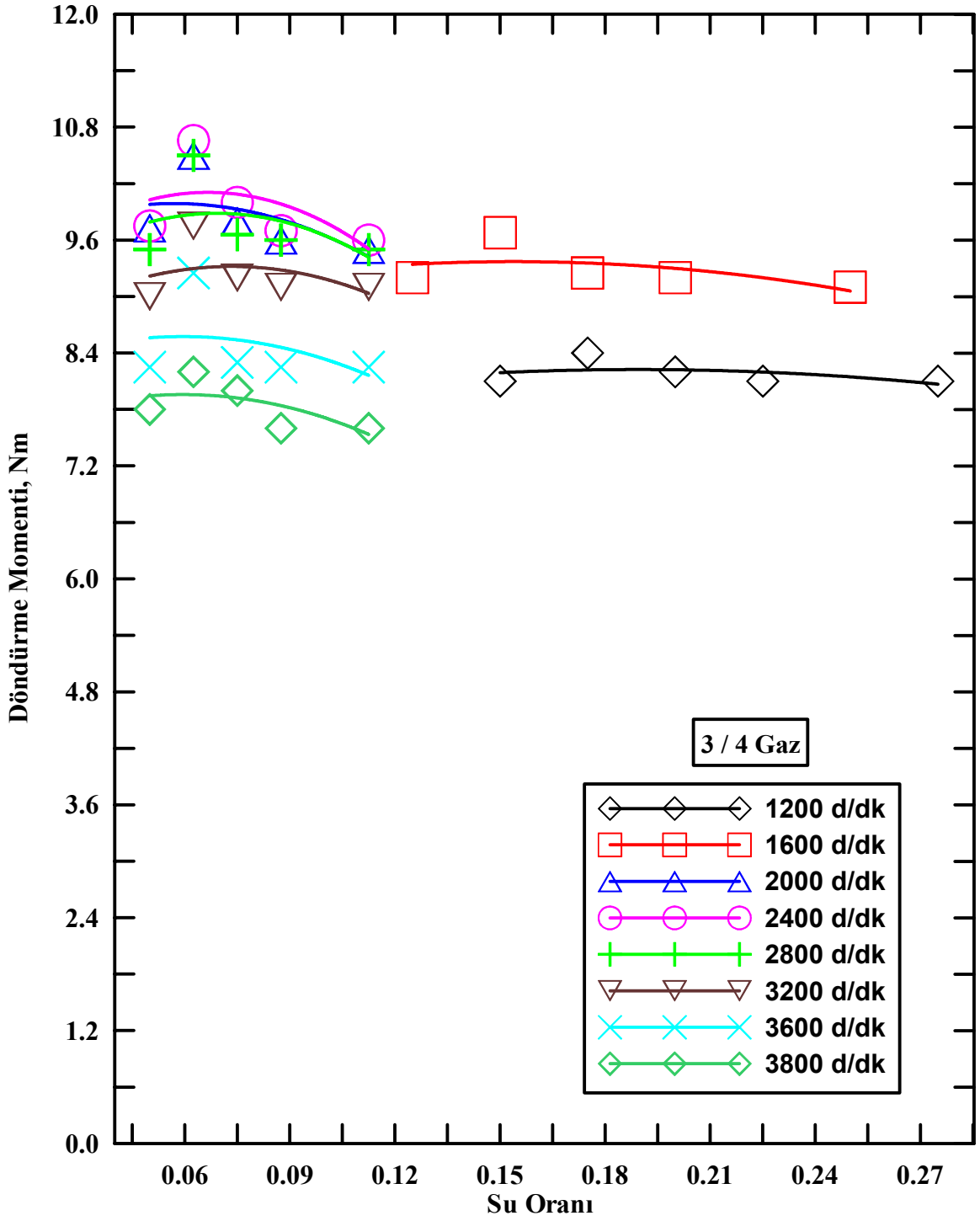
Şekil 36. 3/4 gazda, farklı su oranları için hava fazlalık katsayısının devir sayısına göre değişimi

### **3.1.2.2 3/4 Gaz Konumunda, Farklı Devir Sayıları İçin Motor Performans Karakteristiklerinin Su Oranına Göre Değişimleri**

Bu bölümde; 3/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için motor performans karakteristiklerinin su oranına göre değişimleri ile ilgili karşılaştırma eğrileri Şekil 37-42'de sunulmuştur. Farklı su oranlarının motor performans karakteristikleri üzerindeki etkileri önceki bölümlerde açıklandığı için bu bölümde karşılaştırma eğrileri sunulmuş, söz konusu eğrileri irdelemeye gerek duyulmamıştır.

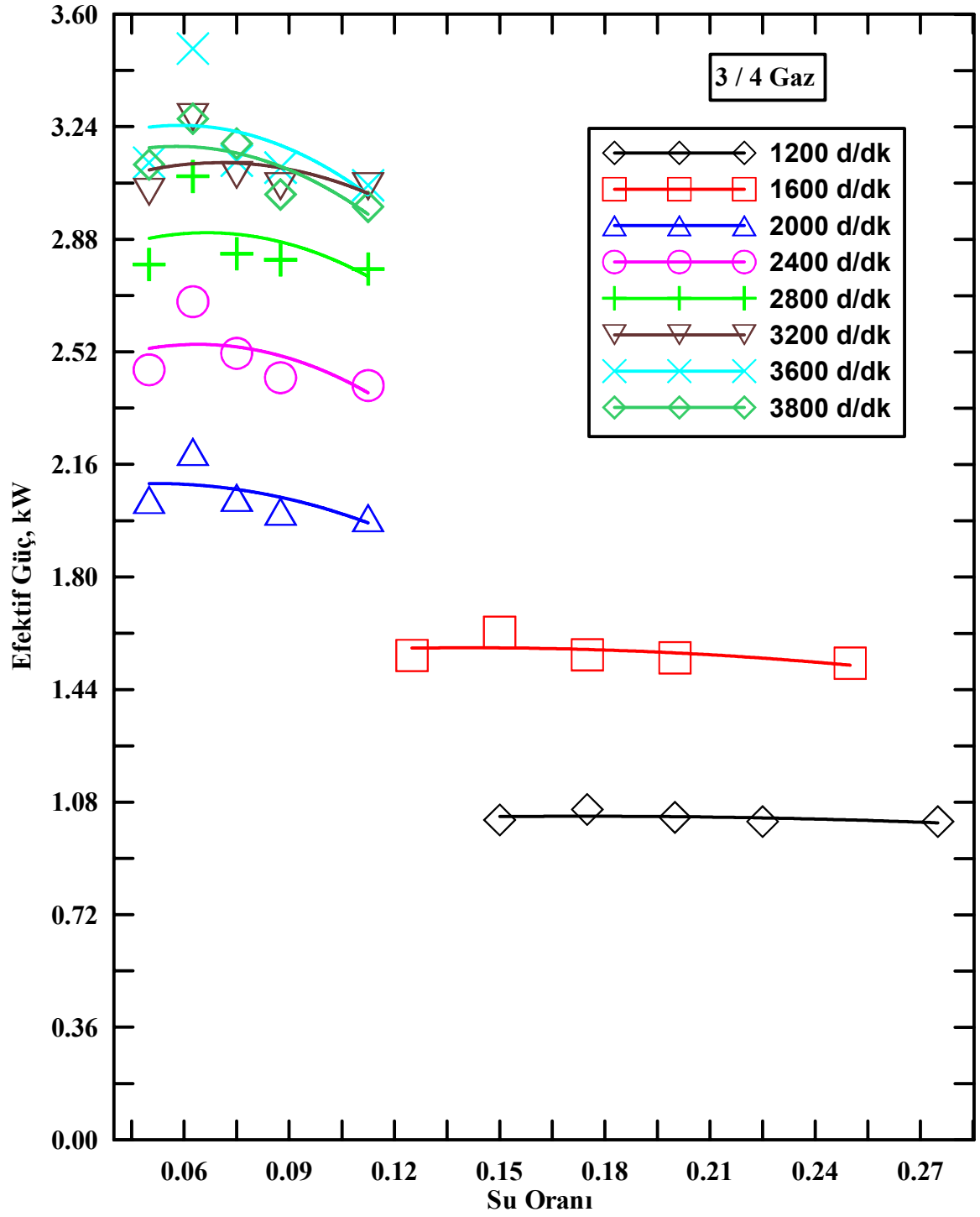


## Döndürme Momenti



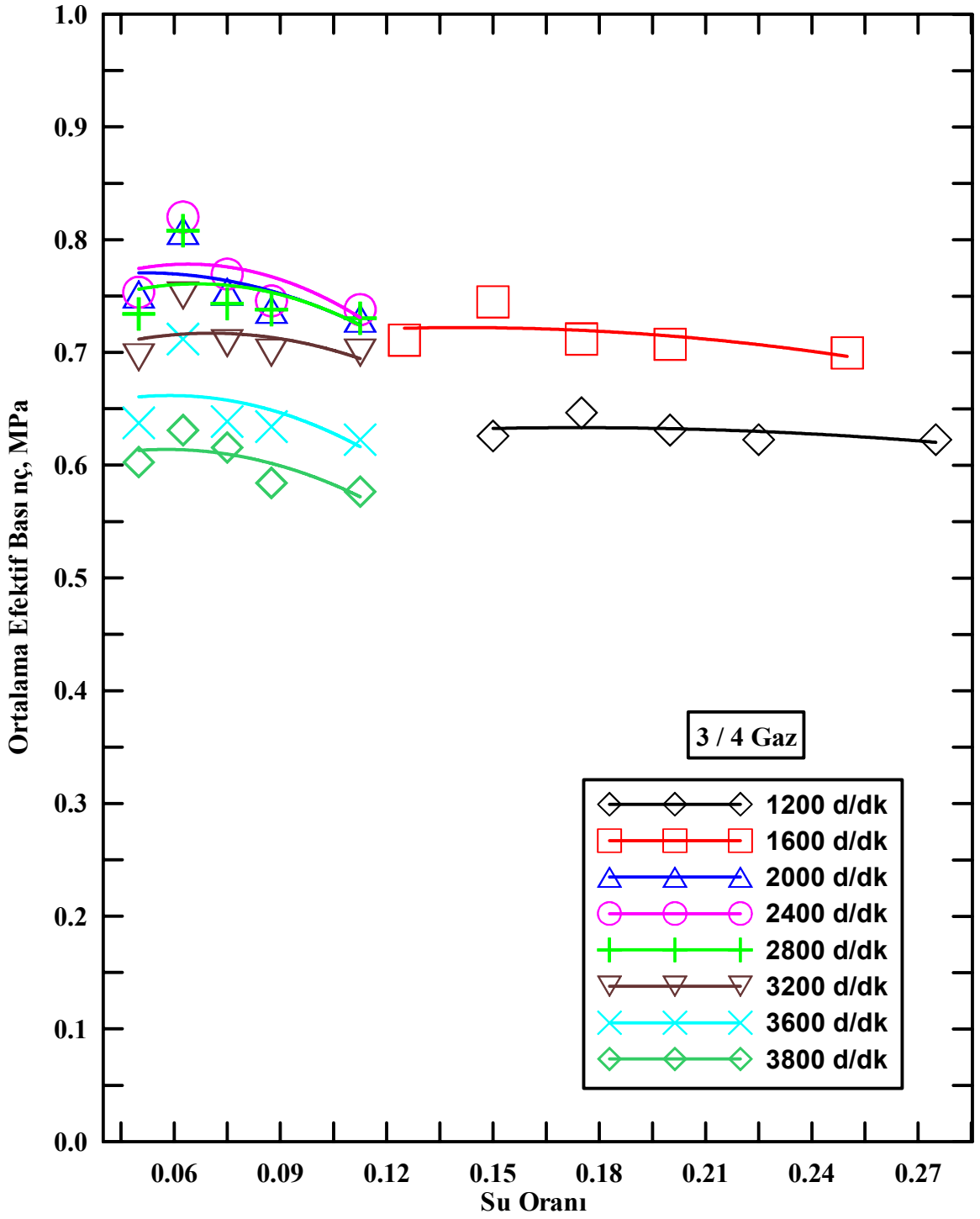
Şekil 37. 3/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için döndürme momentinin su oranına göre değişimi

## Efektif Güç



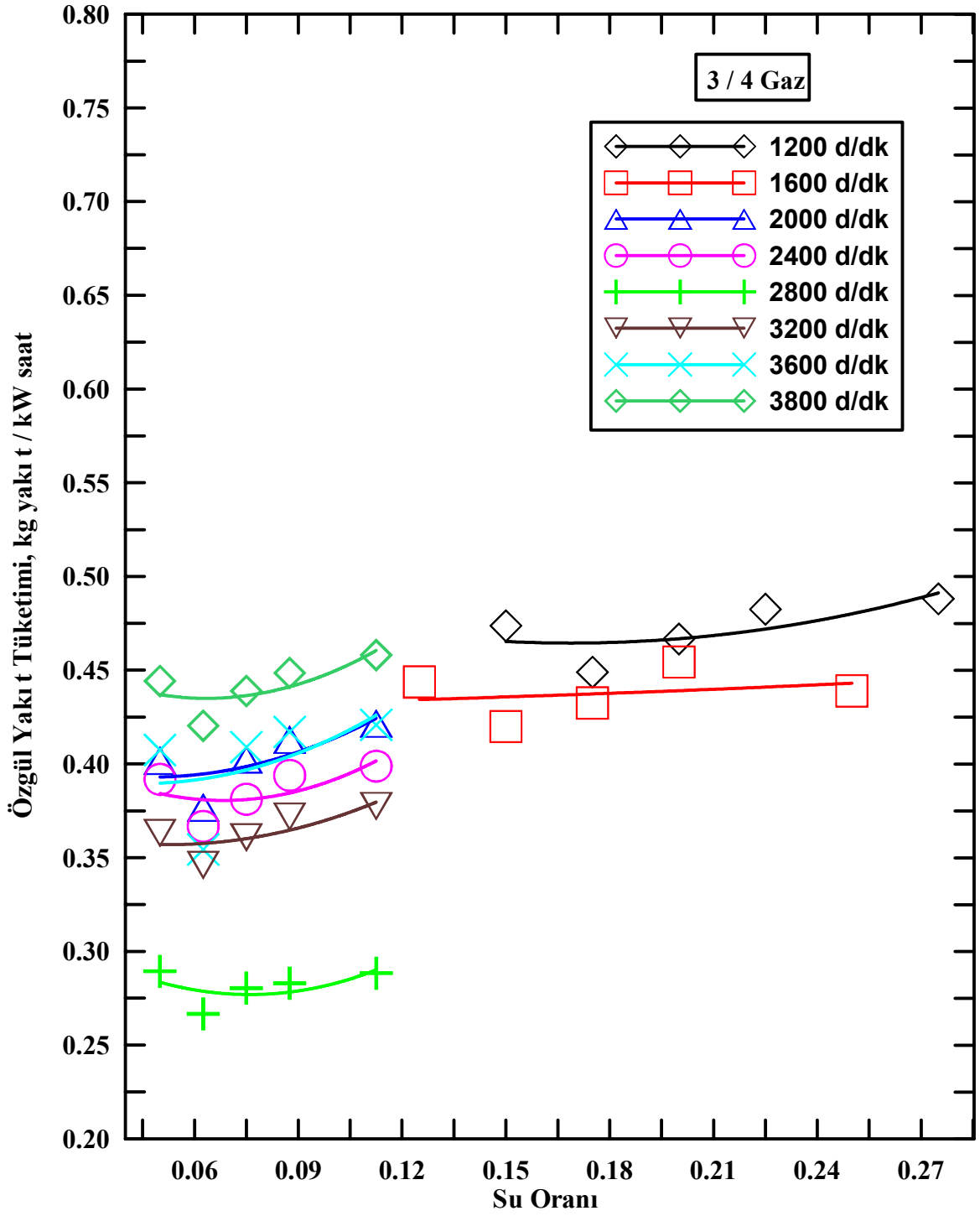
Şekil 38. 3/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için efektif gücün su oranına göre değişimi

## Ortalama Efektif Basınc



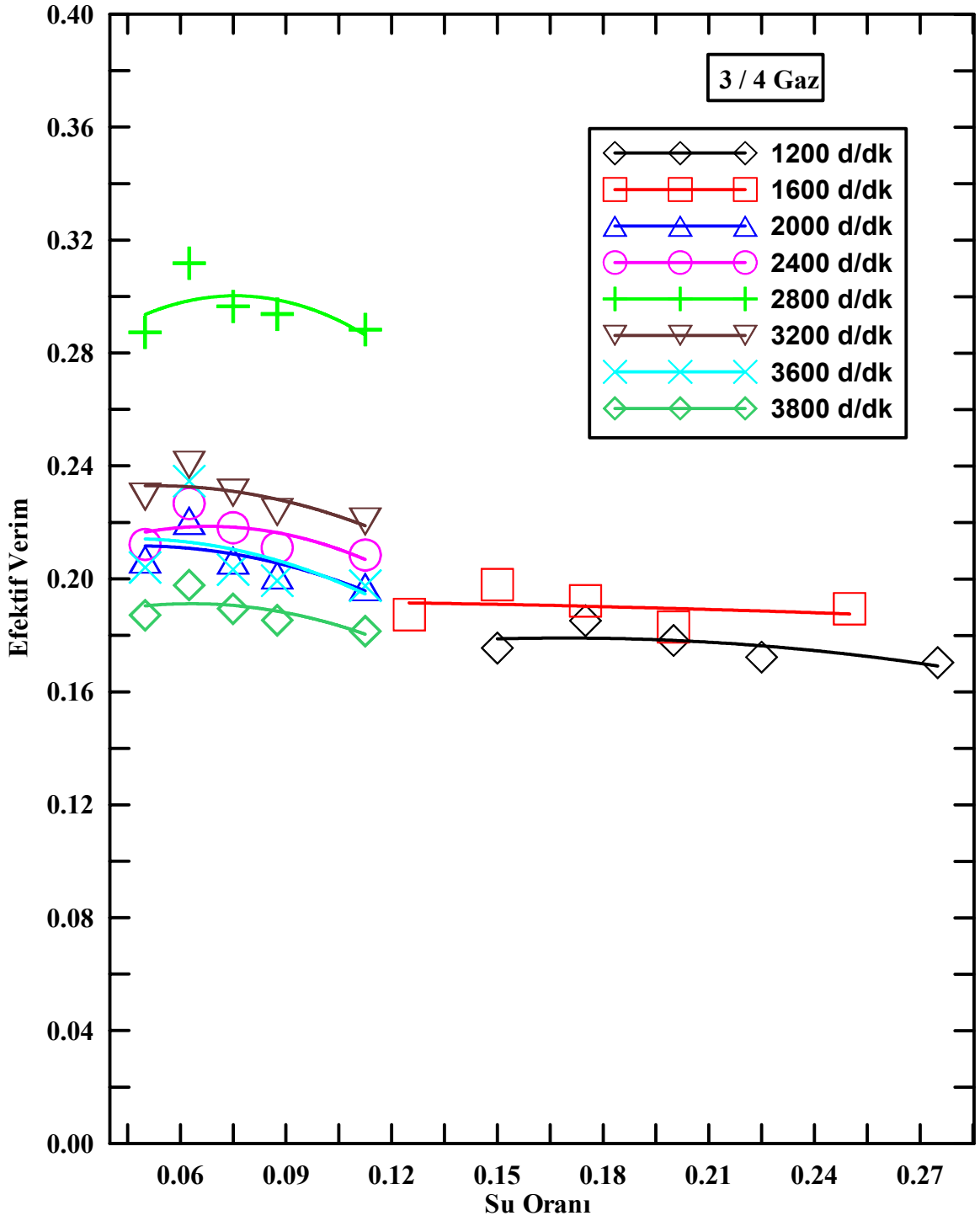
Şekil 39. 3/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için ortalama efektif basıncın su oranına göre değişimi

### Özgül Yakıt Tüketimi



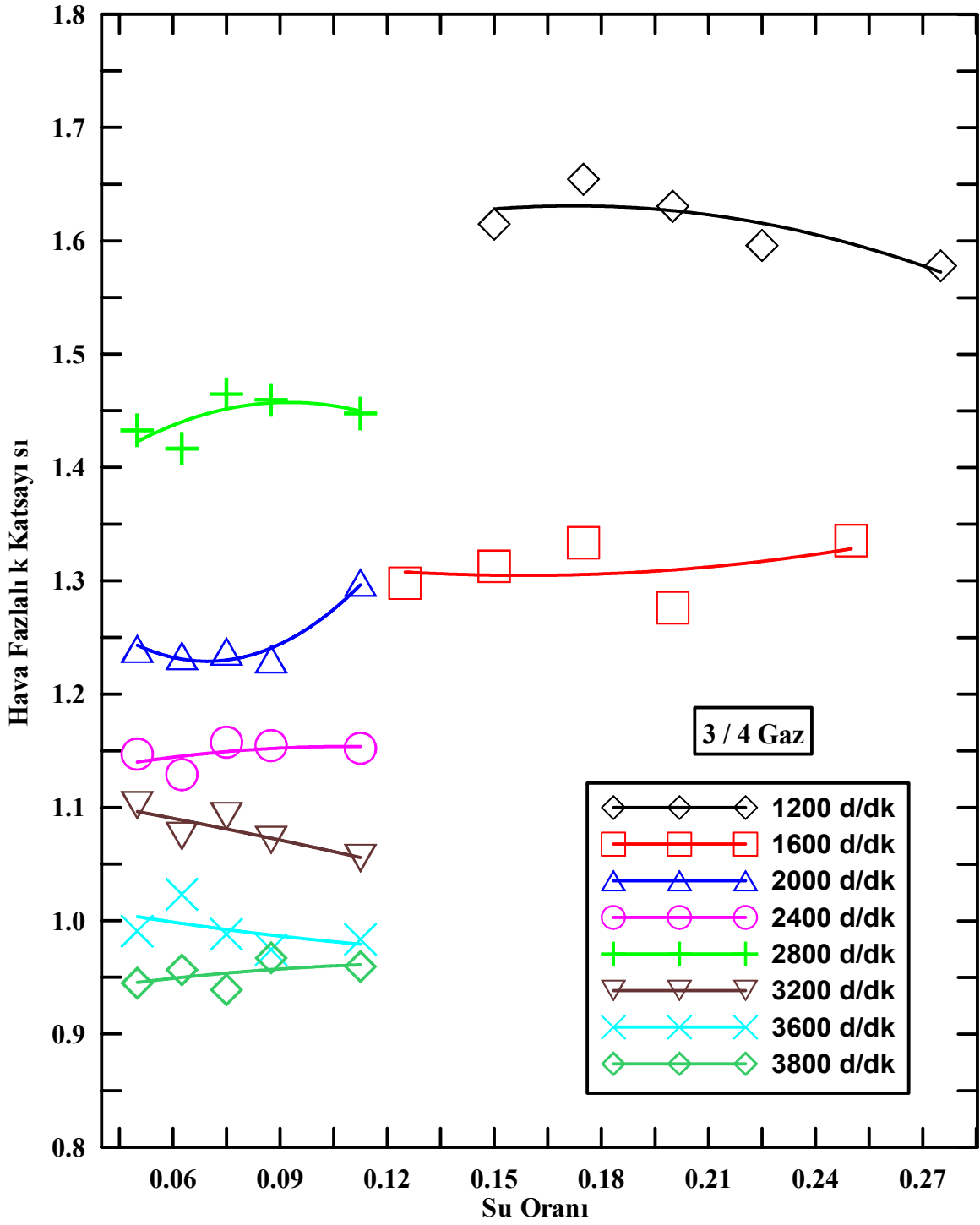
Şekil 40. 3/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için özgül yakıt tüketiminin su oranına göre değişimi

## Efektif Verim



Şekil 41. 3/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için efektif verimin su oranına göre değişimi

## Hava Fazlalık Katsayısı

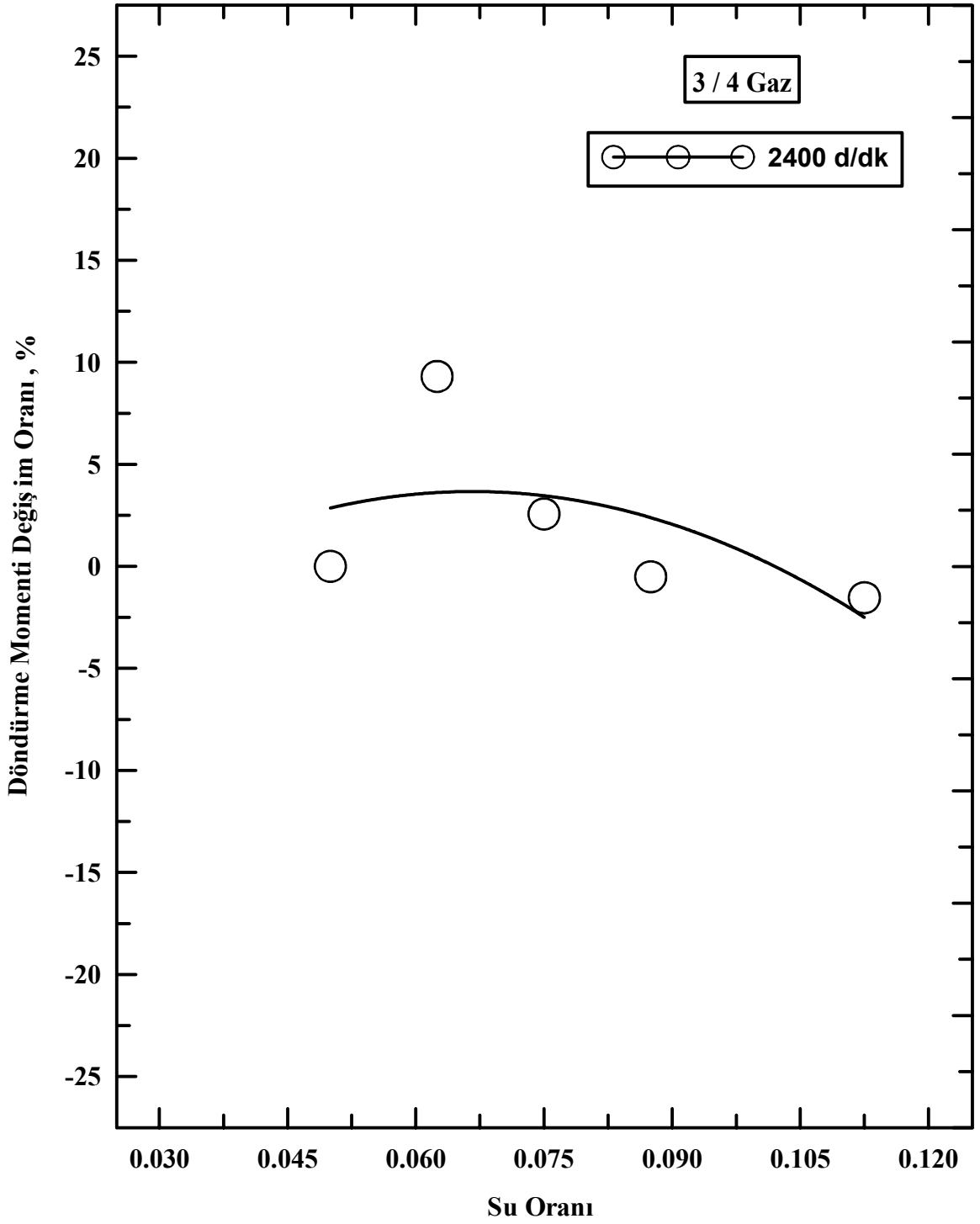


Şekil 42. 3/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için hava fazlalık katsayısının su oranına göre değişimi

### **3.1.2.3. 3/4 Gaz Konumunda, Motor Performans Karakteristiklerinin Değişim Oranlarının Su Oranına Göre Değişimleri**

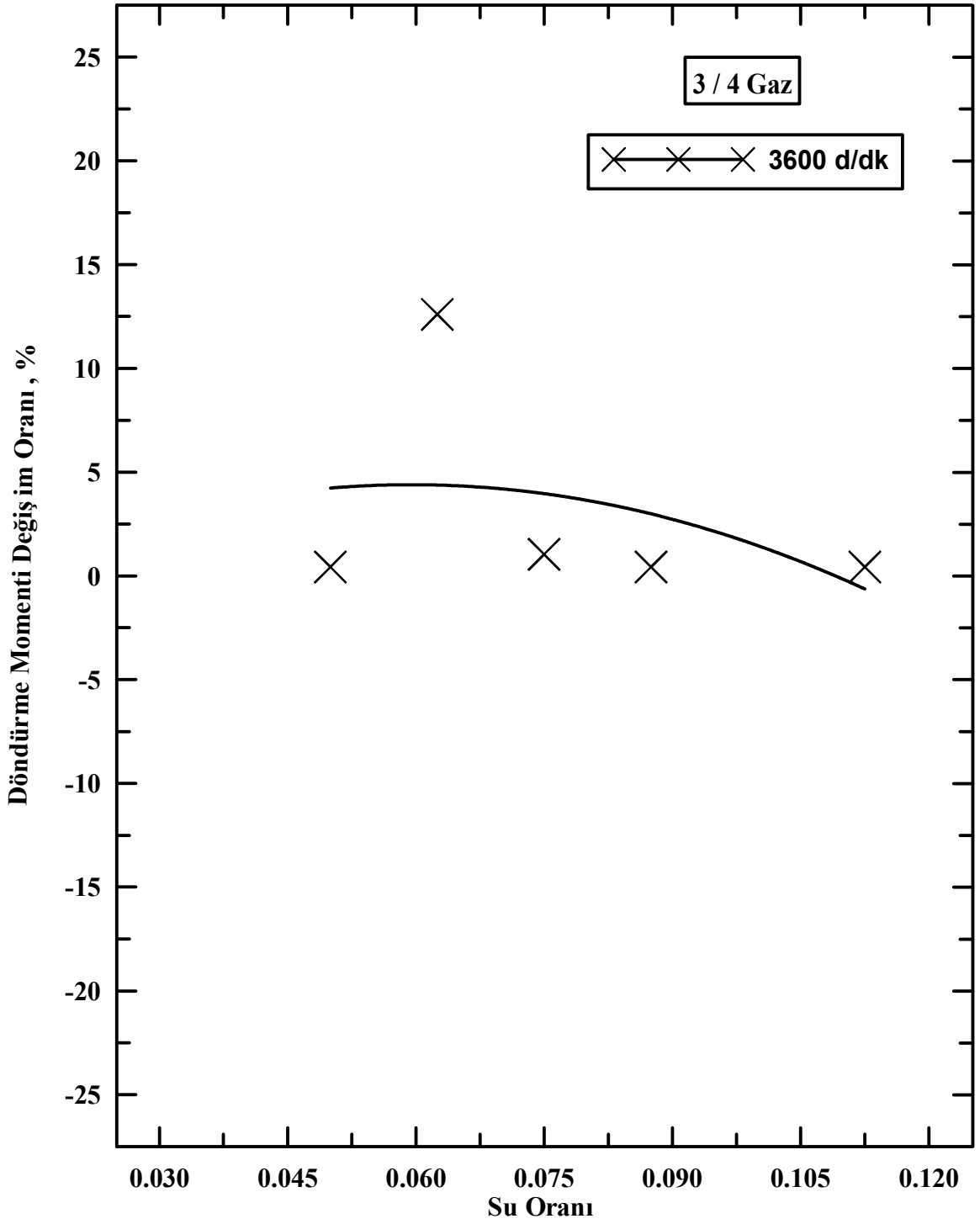
Bu bölümde; 3/4 gaz konumunda motor performans karakteristiklerinin değişim oranlarının her devir sayısı için su oranına göre değişimleri hesaplanarak, tabloları hazırlanmış ve eğrileri çizilmiştir. Sözü geçen toplam 24 adet tabloyu ve eğriyi bu metnin içinde sunmak olanağı bulunmadığı için; sadece seçilen iki devir sayısı (2400d/dak, 3600d/dak) için çizilen eğriler Şekil 43-54'de verilmiştir. Daha önceki bölümlerde değişim oranları açıklandığı için burada tekrar açıklamaya gerek duyulmamıştır. Diğer devir sayıları için değişim tabloları ise Ek'te sunulmuştur.

## Döndürme Momenti



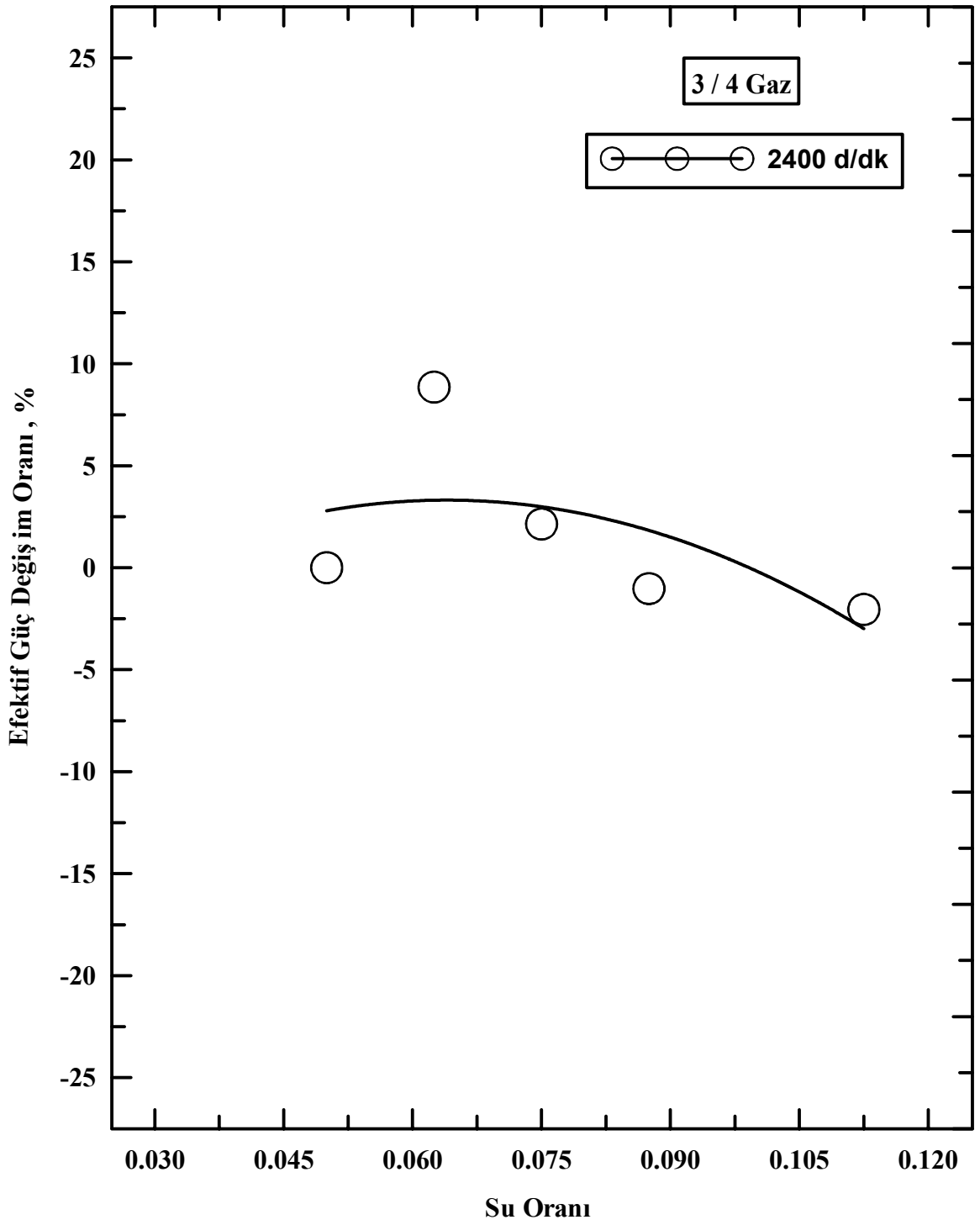
Şekil 43. 3/4 gaz konumunda,  $n=2400$  d/dak'da döndürme momentinin değişim oranının su oranına göre değişimi



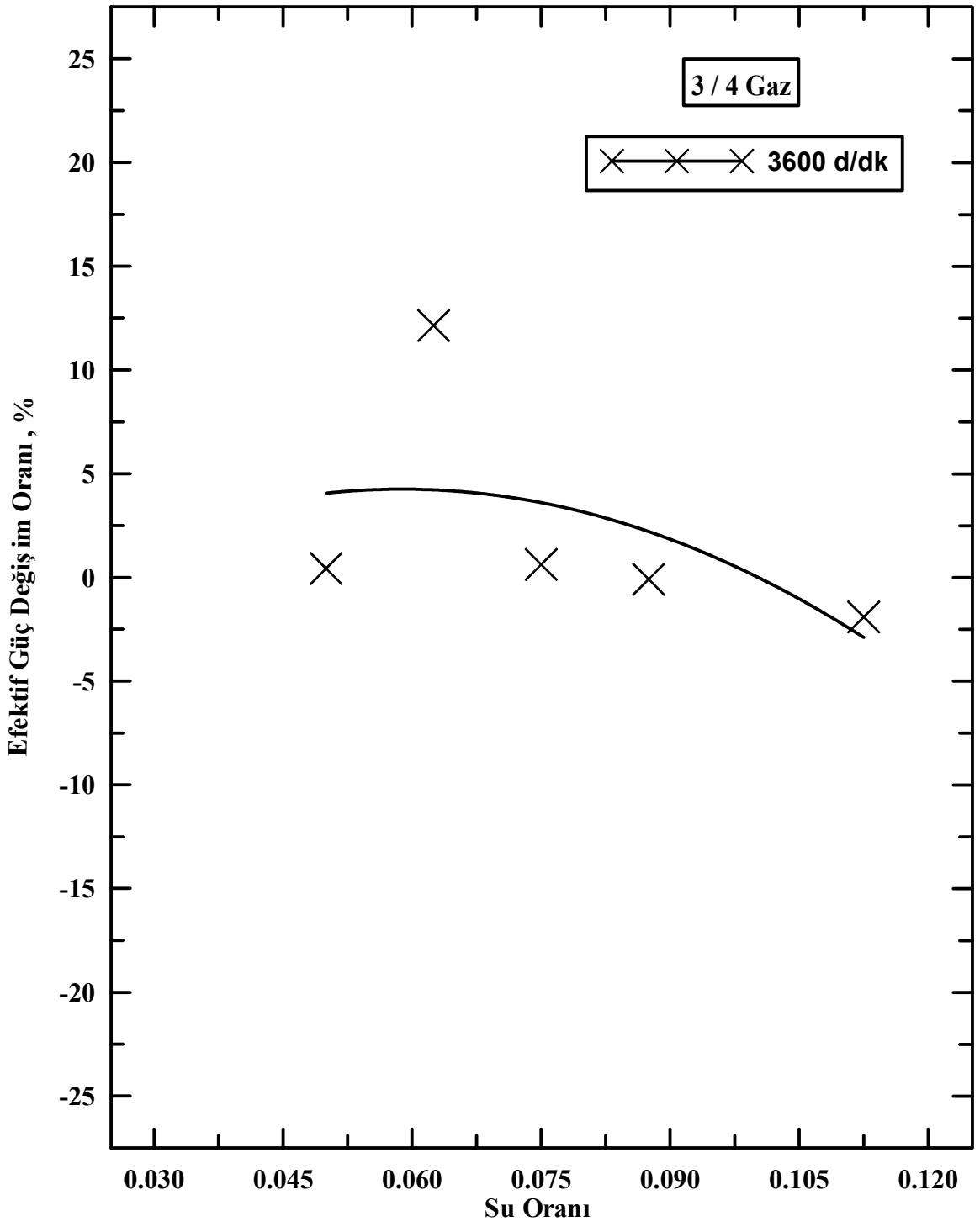


Şekil 44. 3/4 gaz konumunda,  $n=3600$  d/dak'da döndürme momentinin değişim oranının su oranına göre değişimi

## Efektif Güç

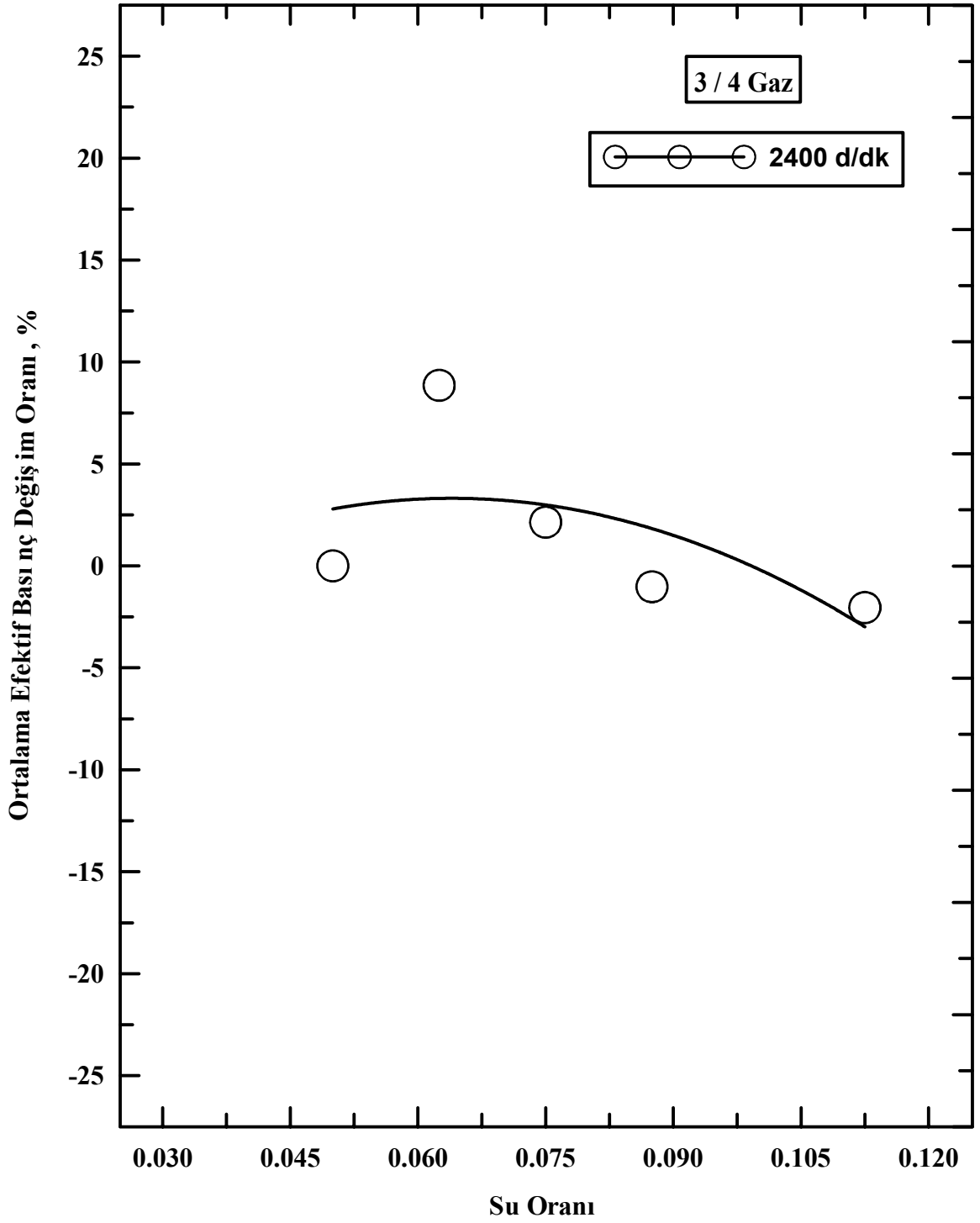


Şekil 45. 3/4 gaz konumunda,  $n=2400$  d/dak'da efektif gücün değişim oranının su oranına göre değişimi

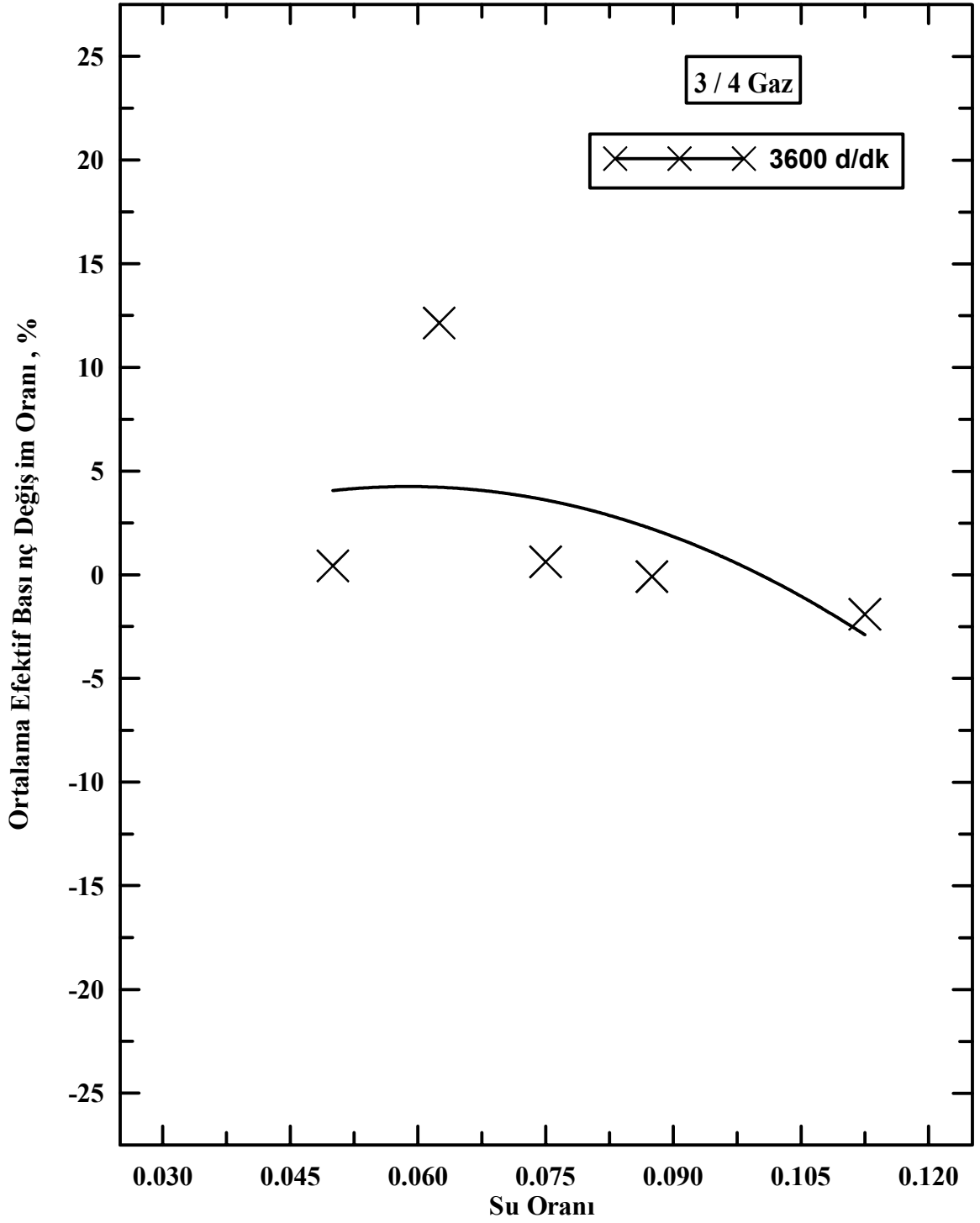


Şekil 46. 3/4 gaz konumunda,  $n=3600$  d/dak'da efektif gücün değişim oranının su oranına göre değişimi

## Ortalama Efektif Basınc

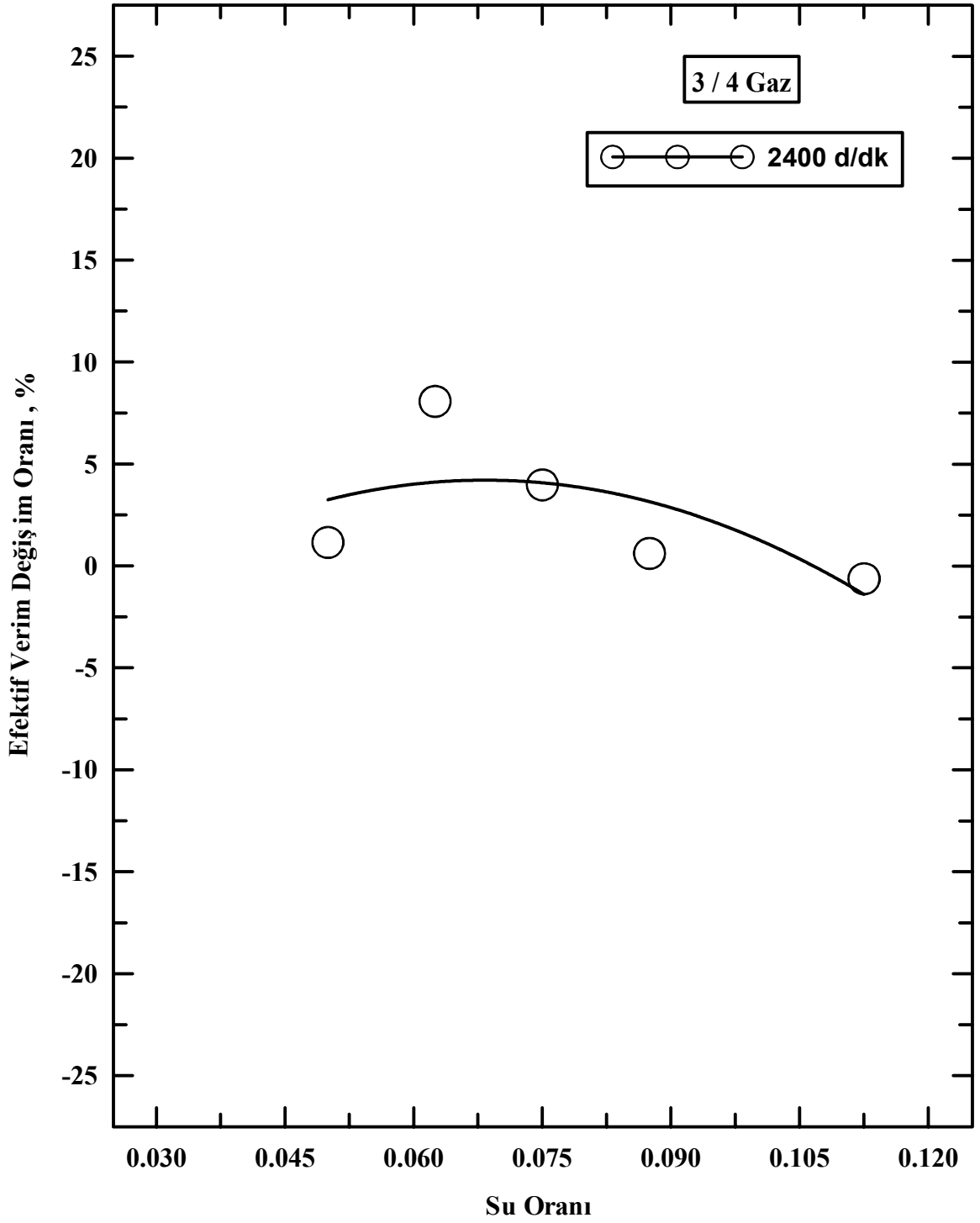


Şekil 47. 3/4 gaz konumunda,  $n=2400$  d/dak'da ortalama efektif basıncın değişim oranının su oranına göre değişimi

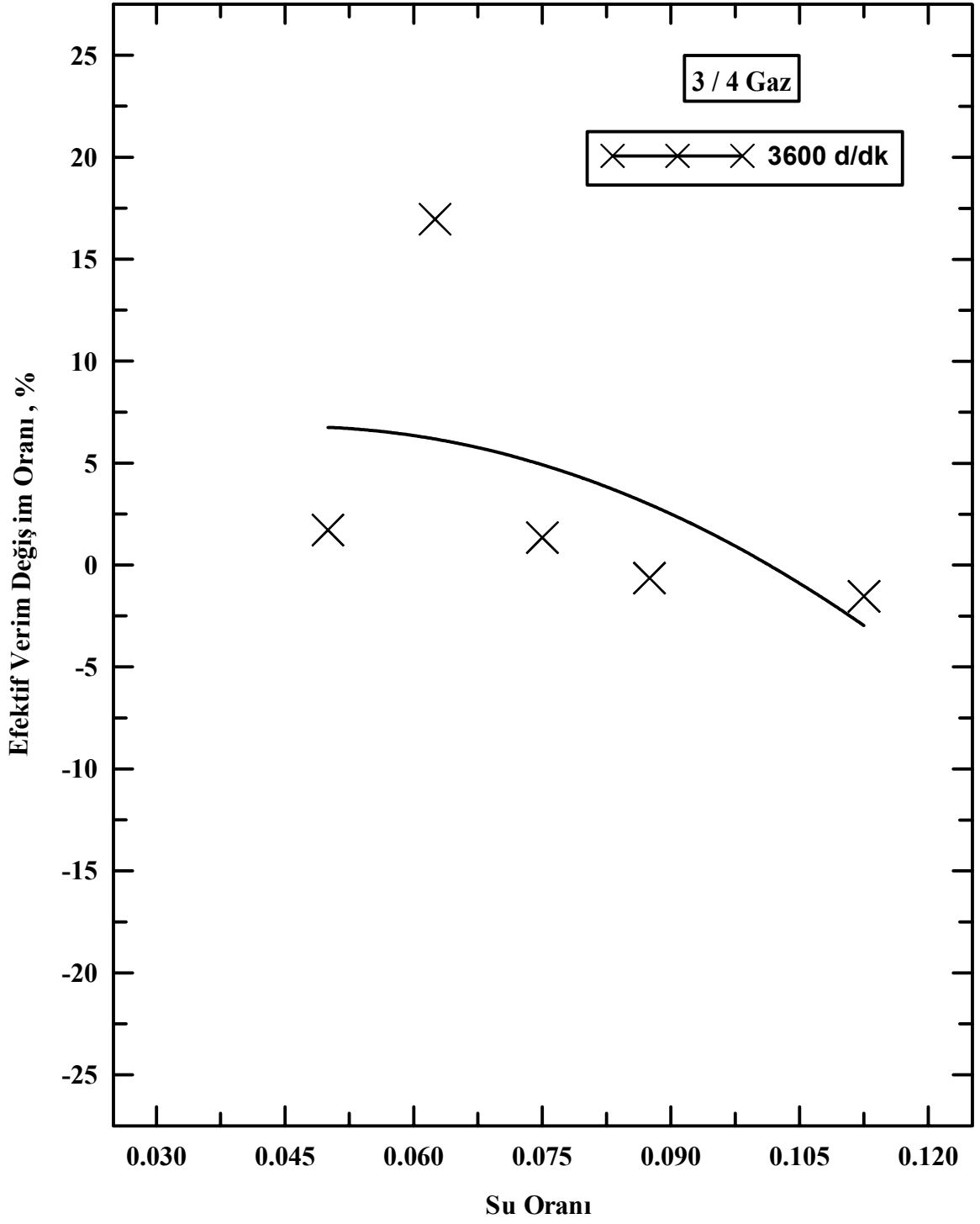


Şekil 48. 3/4 gaz konumunda,  $n=3600$  d/dak'da ortalama efektif basıncın değişim oranının su oranına göre değişimi

## Efektif Verim

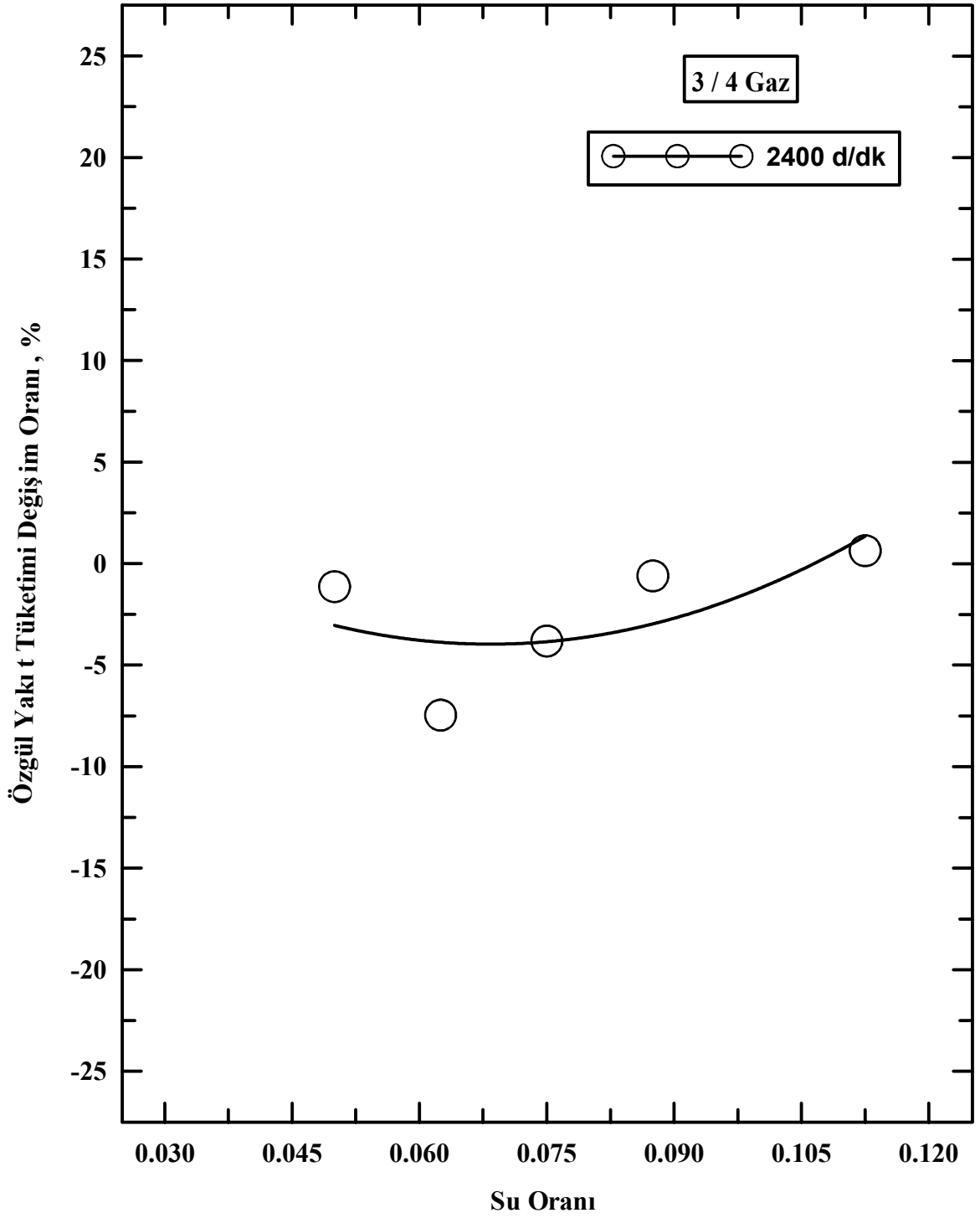


Şekil 49. 3/4 gaz konumunda,  $n=2400$  d/dak'da efektif verimin değişim oranının su oranına göre değişimi



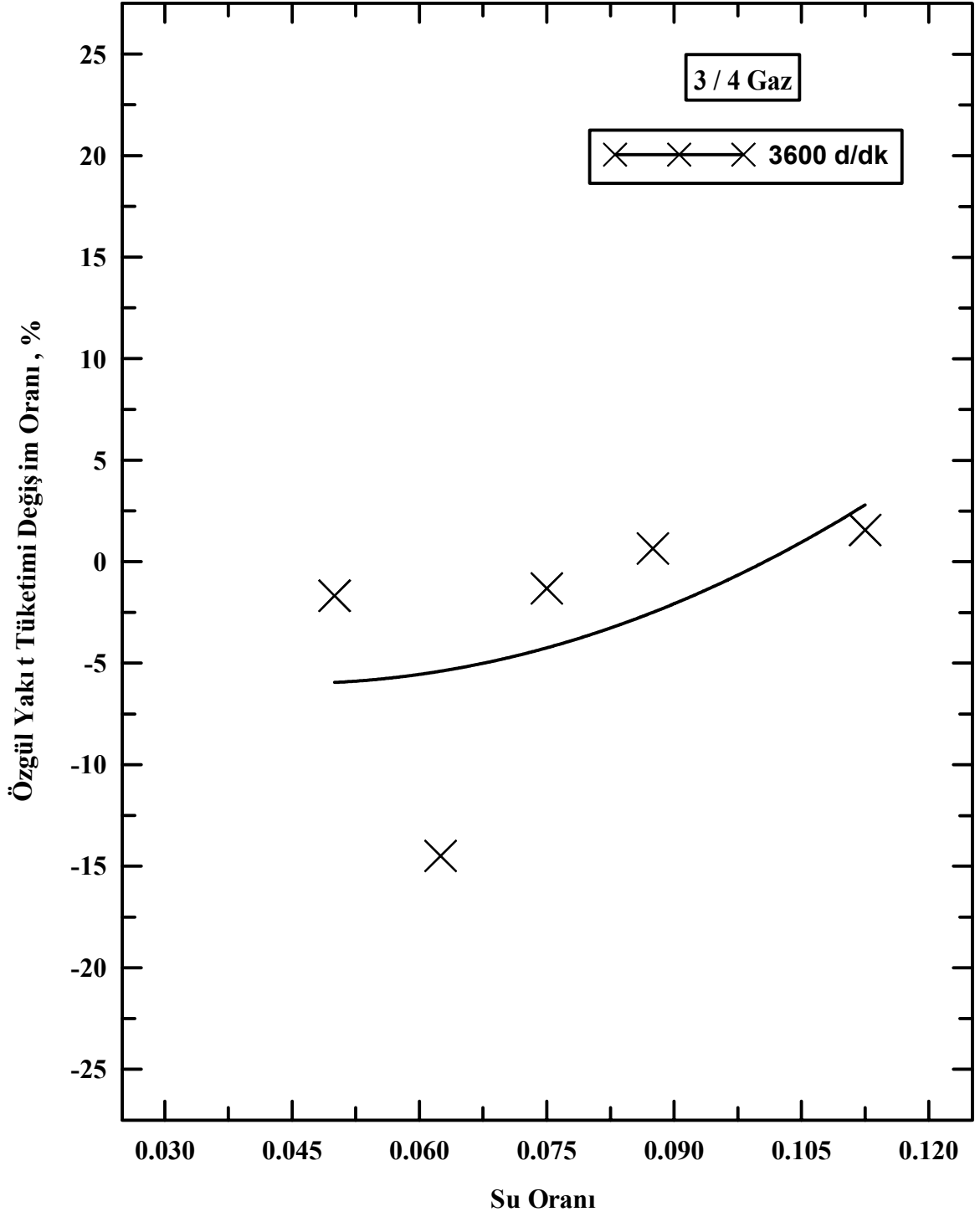
Şekil 50. 3/4 gaz konumunda,  $n=3600$  d/dak'da efektif verimin değişim oranının su oranına göre değişimi

### Özgül Yakıt Tüketimi



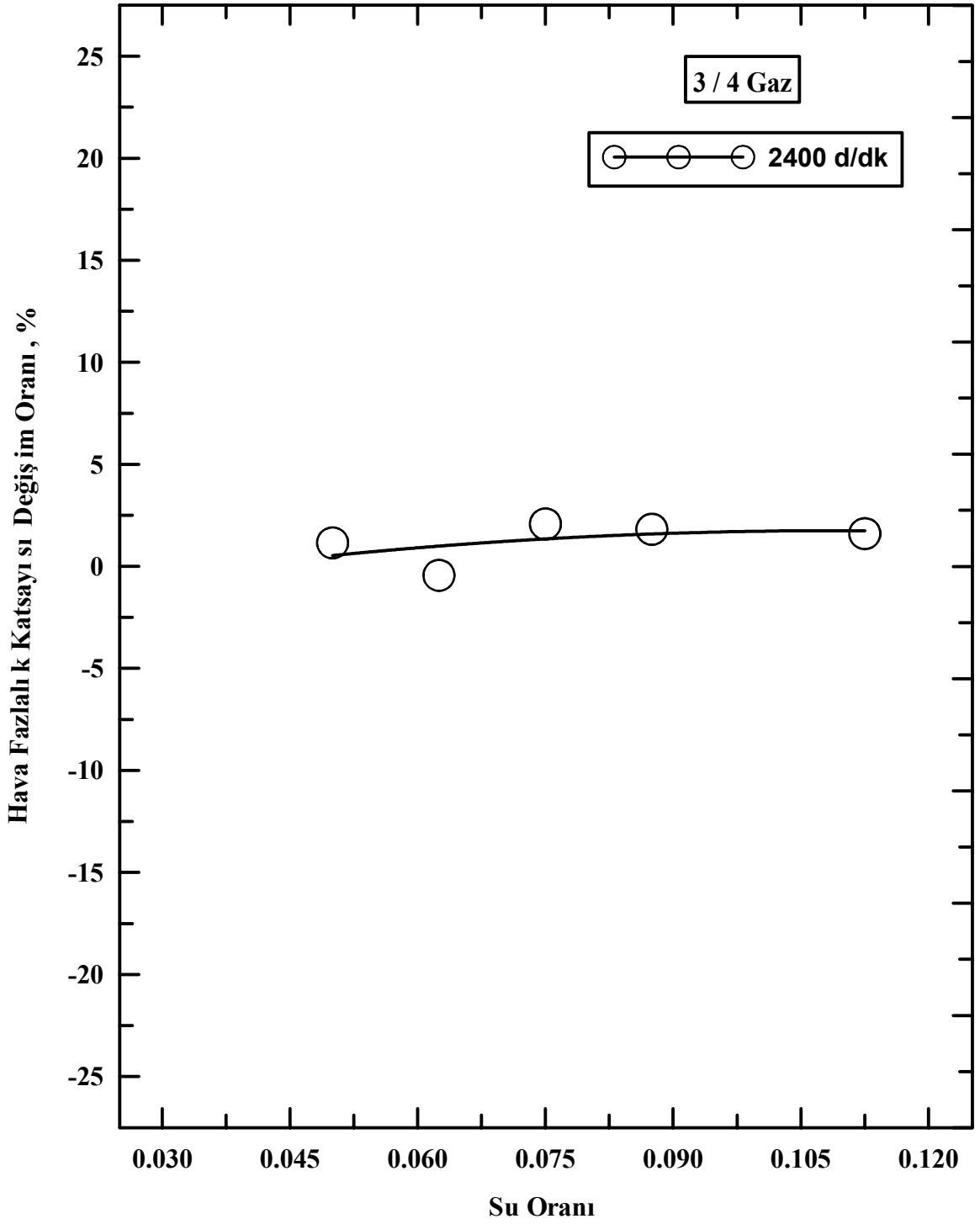
Şekil 51. 3/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da özgül yakıt tüketiminin değişim oranının su oranına göre değişimi



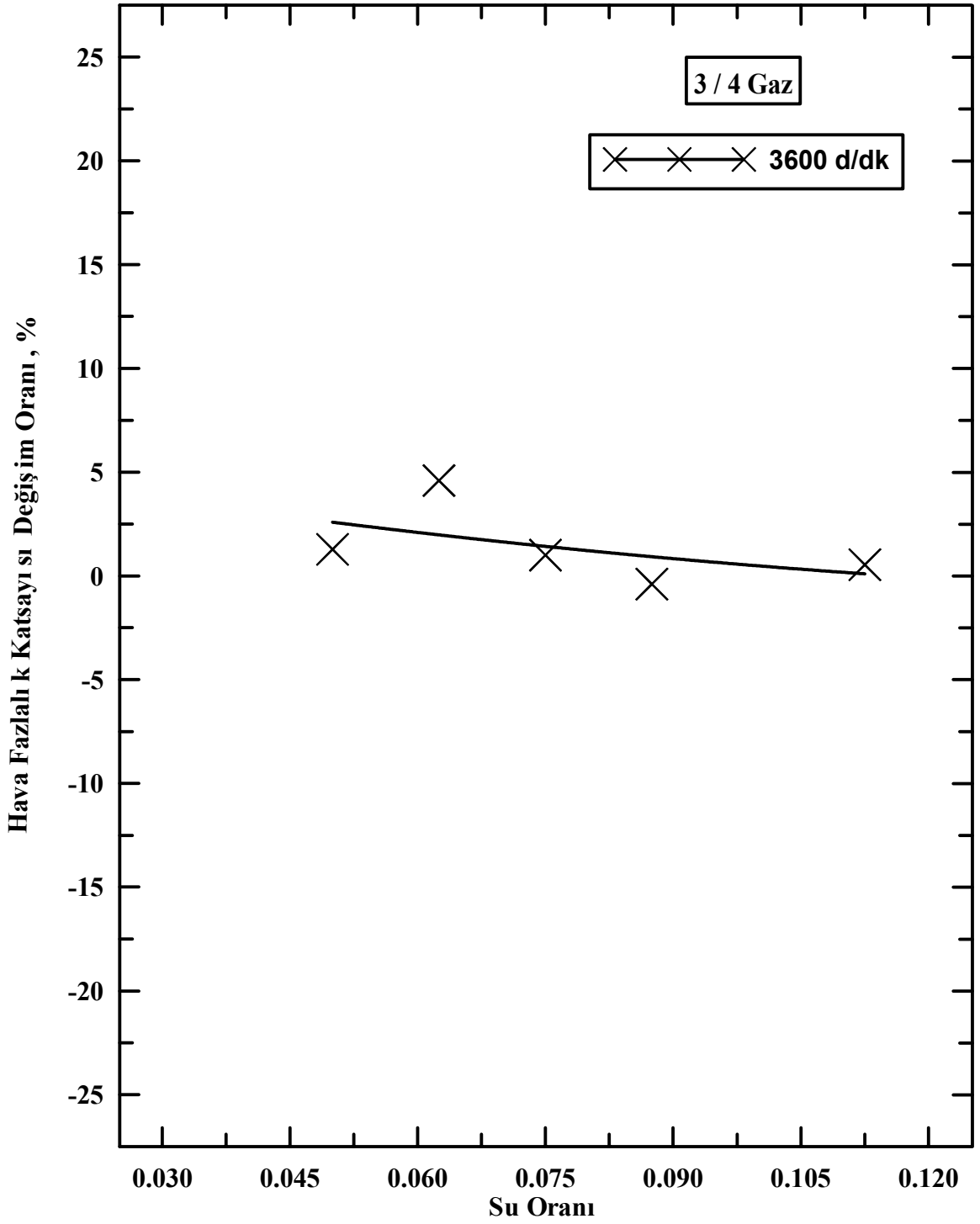


Şekil 52. 3/4 gaz konumunda,  $n=3600$  d/dak'da özgül yakıt tüketiminin değişim oranının su oranına göre değişimi

## Hava Fazlalık Katsayısı



Şekil 53. 3/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da hava fazlalık katsayısının değişim oranının su oranına göre değişimi



Şekil 54. 3/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da hava fazlalık katsayısının değişim oranının su oranına göre değişimi

### 3.1.3. 2/4 Gaz Konumunda Motor Performans Karakteristikleri

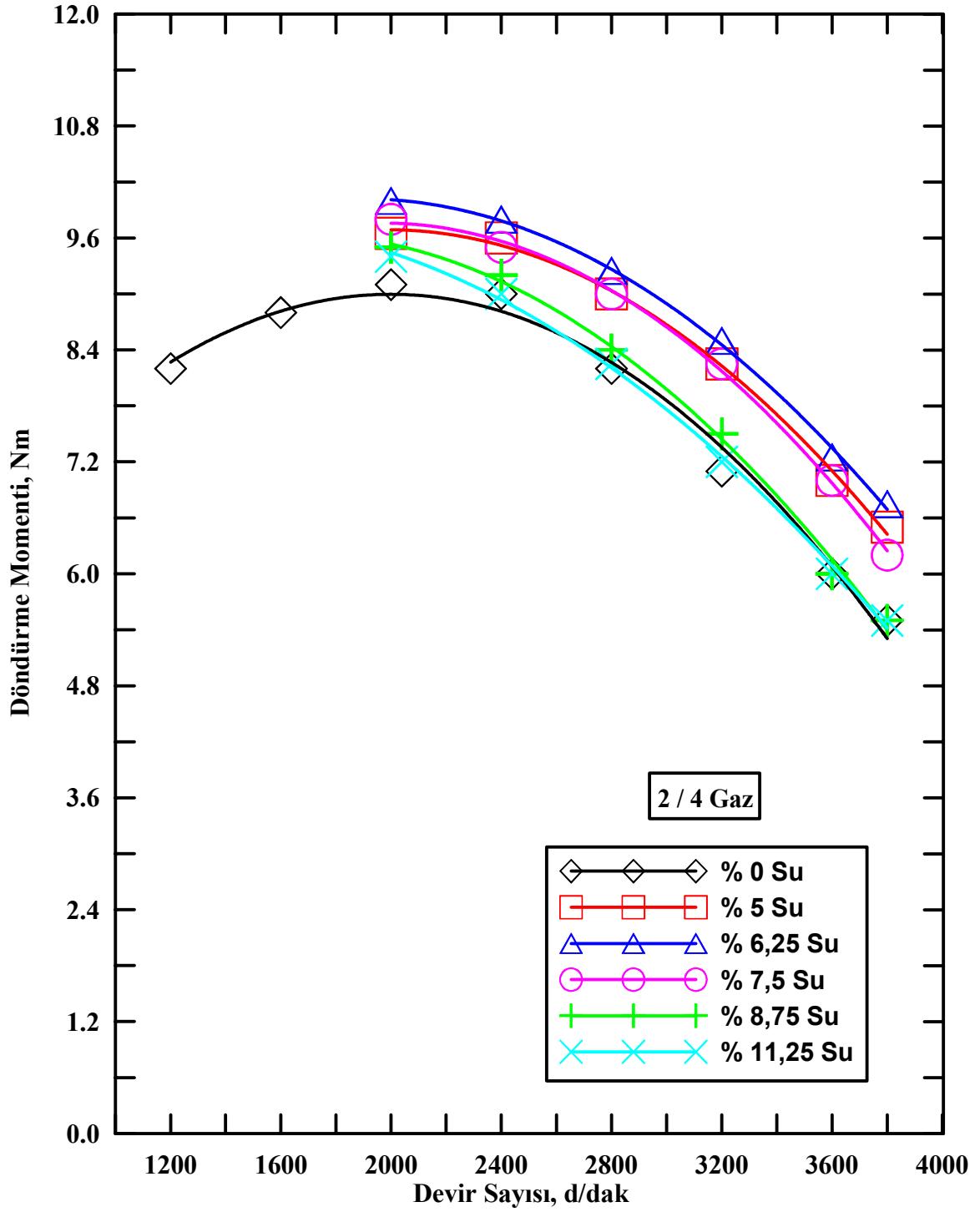
Bu bölümünde, deneyler 2/4 gaz konumunda,  $\epsilon=8,5$  sabit sıkıştırma oranında, değişik motor hızlarında ve farklı su oranlarında yapılmıştır. Motorun başlıca karakteristiklerinin devir sayısına ve su oranına göre değişimleri karşılaştırmalı eğriler biçiminde verilmiştir.

Karbüratörün yapısından dolayı püskürtülen su miktarı devir sayısı arttıkça azalmakta ve belirli bir devir sayısından sonra sabit olmaktadır. Bu nedenle 2000d/dak'dan daha düşük devir sayılarında su-yakıt oranı her karbüratör ayarı için farklı değerler, genellikle çok yüksek değerler, almaktadır. Buna karşın söz konusu devir sayısında ve bu devir sayısından daha yüksek devirlerde su-yakıt oranı sabit değerlerde kalmaktadır. Bu yüzden 2/4 gaz konumunda yaklaşık %5, %6.25, %7.5, %8.75 ve %11.25 su oranları için değişim karakteristiklerinin devir sayısına göre değişimlerini gösteren eğriler 2000, 2400, 2800, 3200, 3600, 3800d/dak devirlerindeki değerler kullanılarak karşılaştırmalı biçimde sunulmuştur.

#### 3.1.3.1. 2/4 Gaz Konumunda, Farklı Su Oranları İçin Motor Performans Karakteristiklerinin Devir Sayısına Göre Değişimleri

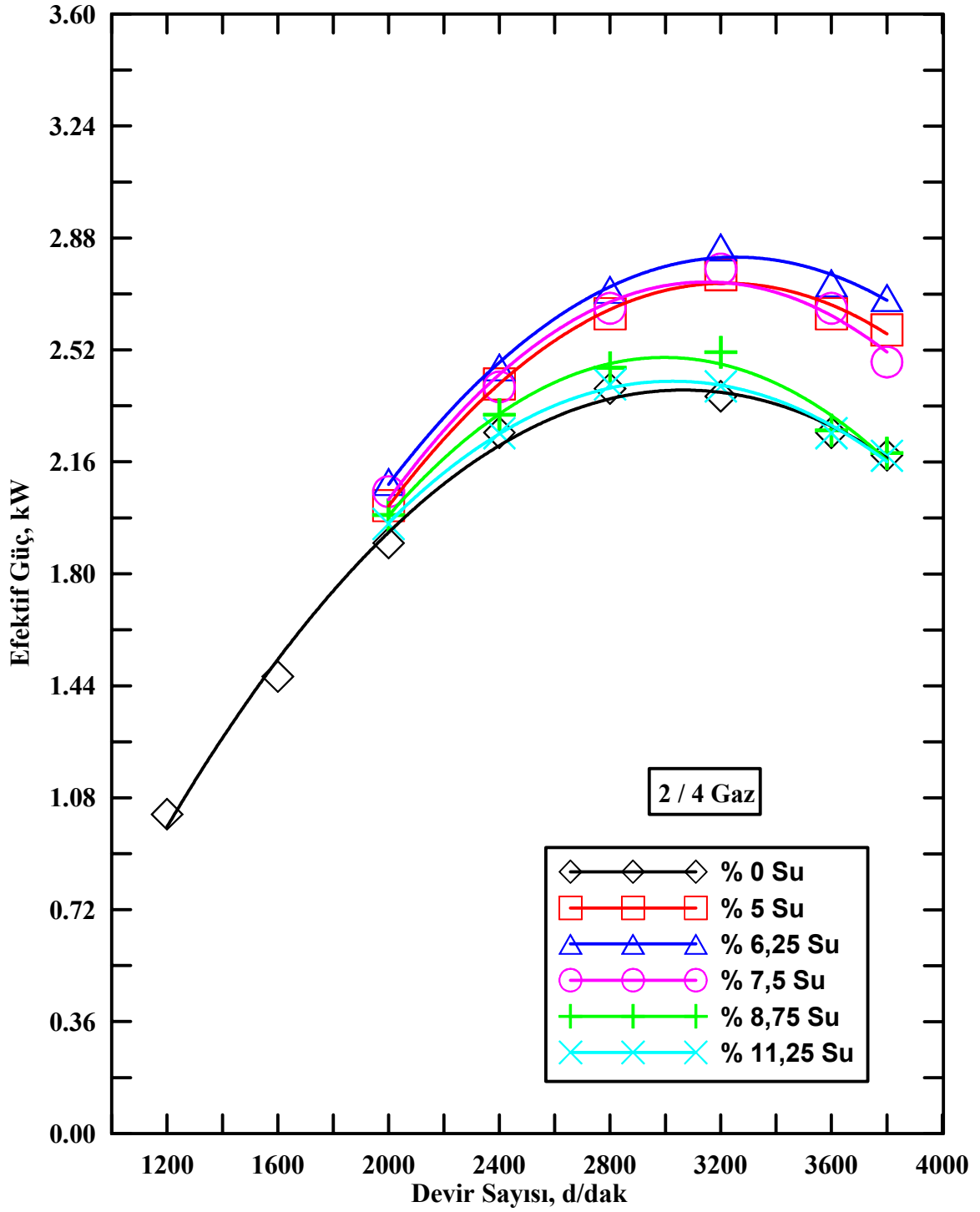
Bu bölümde; 2/4 gaz konumunda, farklı su oranları için motor performans karakteristiklerinin devir sayısına göre değişimleri ile ilgili karşılaştırma eğrileri Şekil 55-60' da sunulmuştur

## Döndürme Momenti



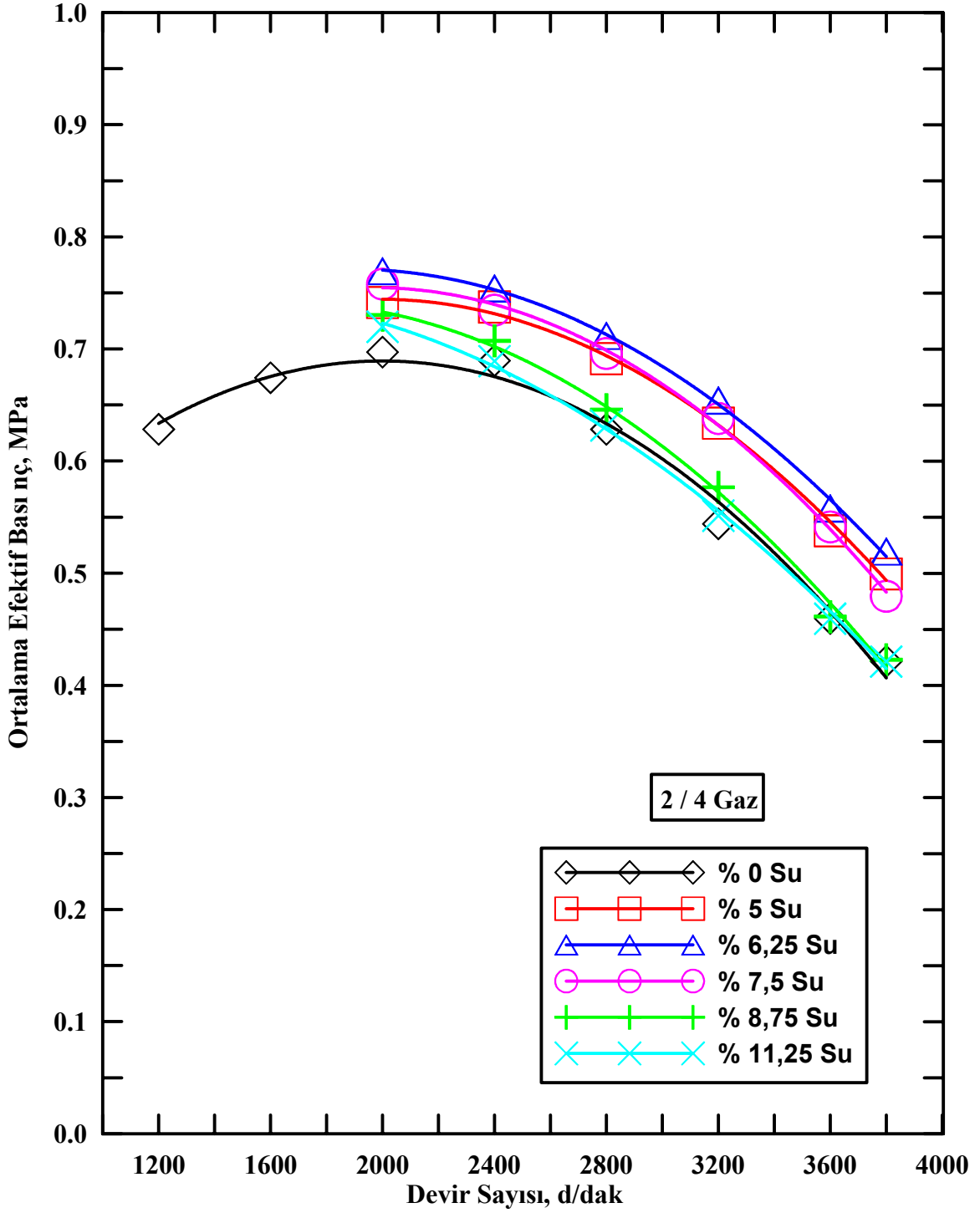
Şekil 55. 2/4 gaz konumunda, farklı su oranları için döndürme momentinin devir sayısına göre değişimi

## Efektif Güç



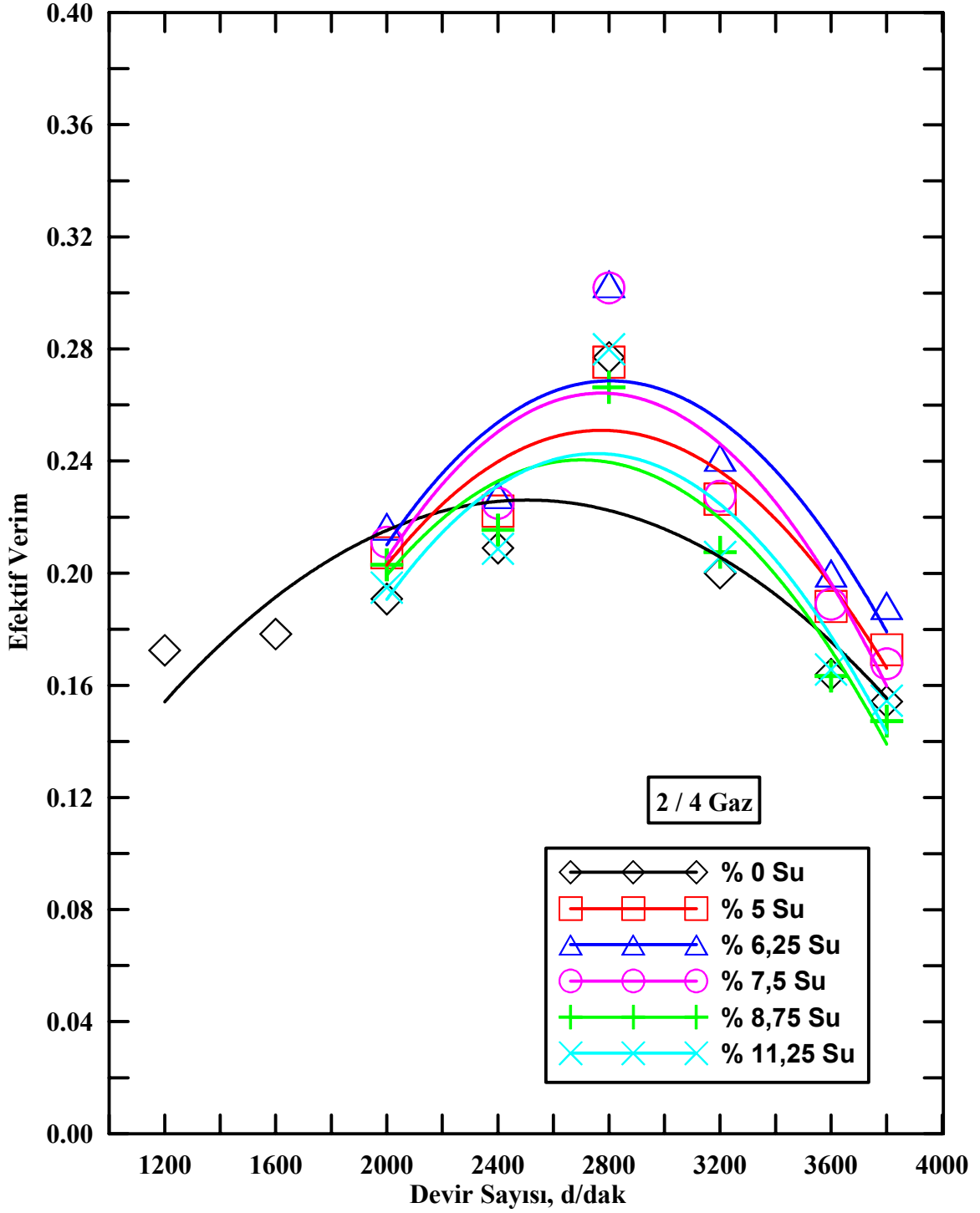
Şekil 56. 2/4 gaz konumunda, farklı su oranları için efektif gücün devir sayısına göre değişimi

## Ortalama Efektif Basınç



Şekil 57. 2/4 gaz konumunda, farklı su oranları için ortalama efektif basınçın devir sayısına göre değişimi

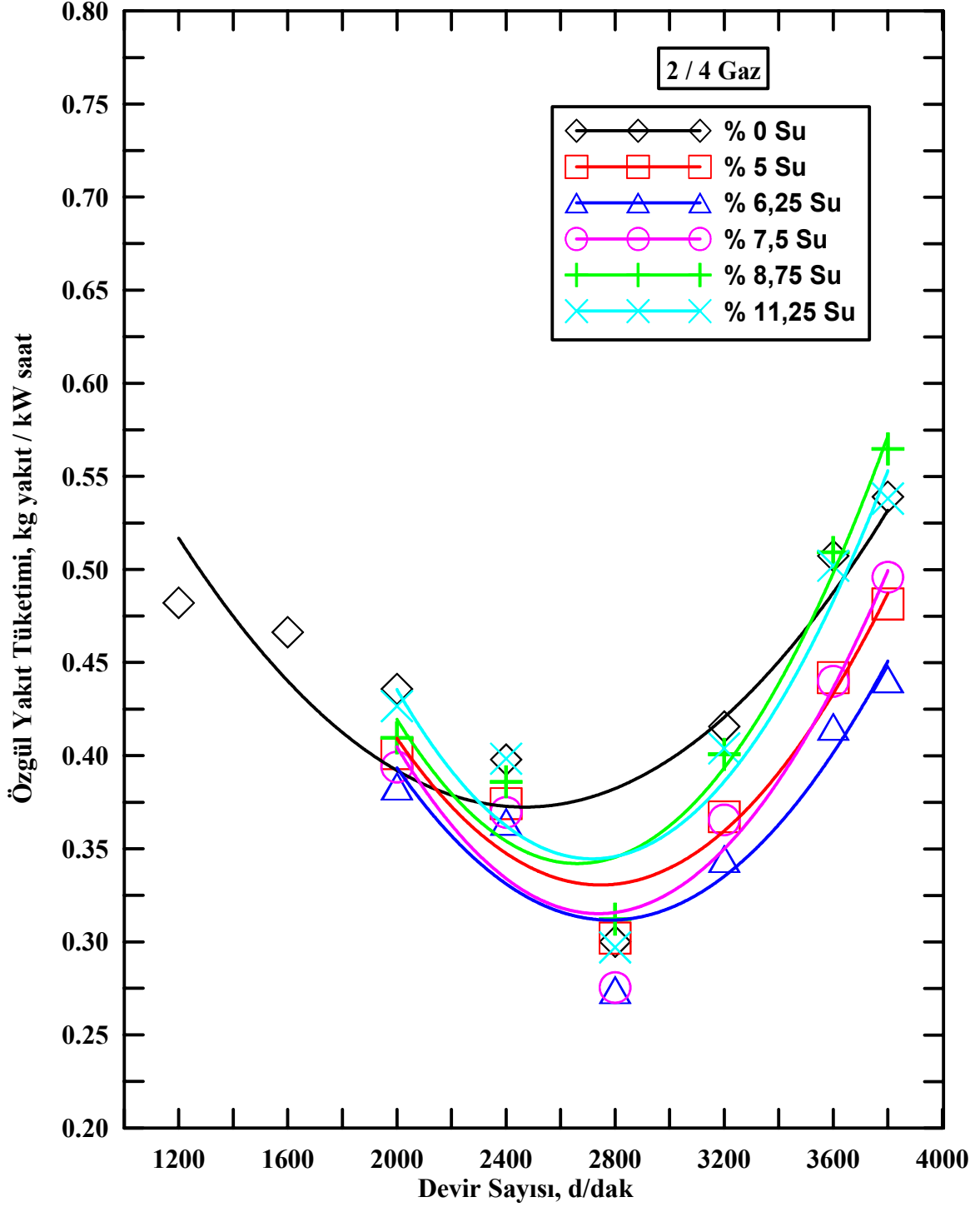
## Etkif Verim



Şekil 58. 2/4 gaz konumunda, farklı su oranları için efektif verimin devir sayısına göre değişimi

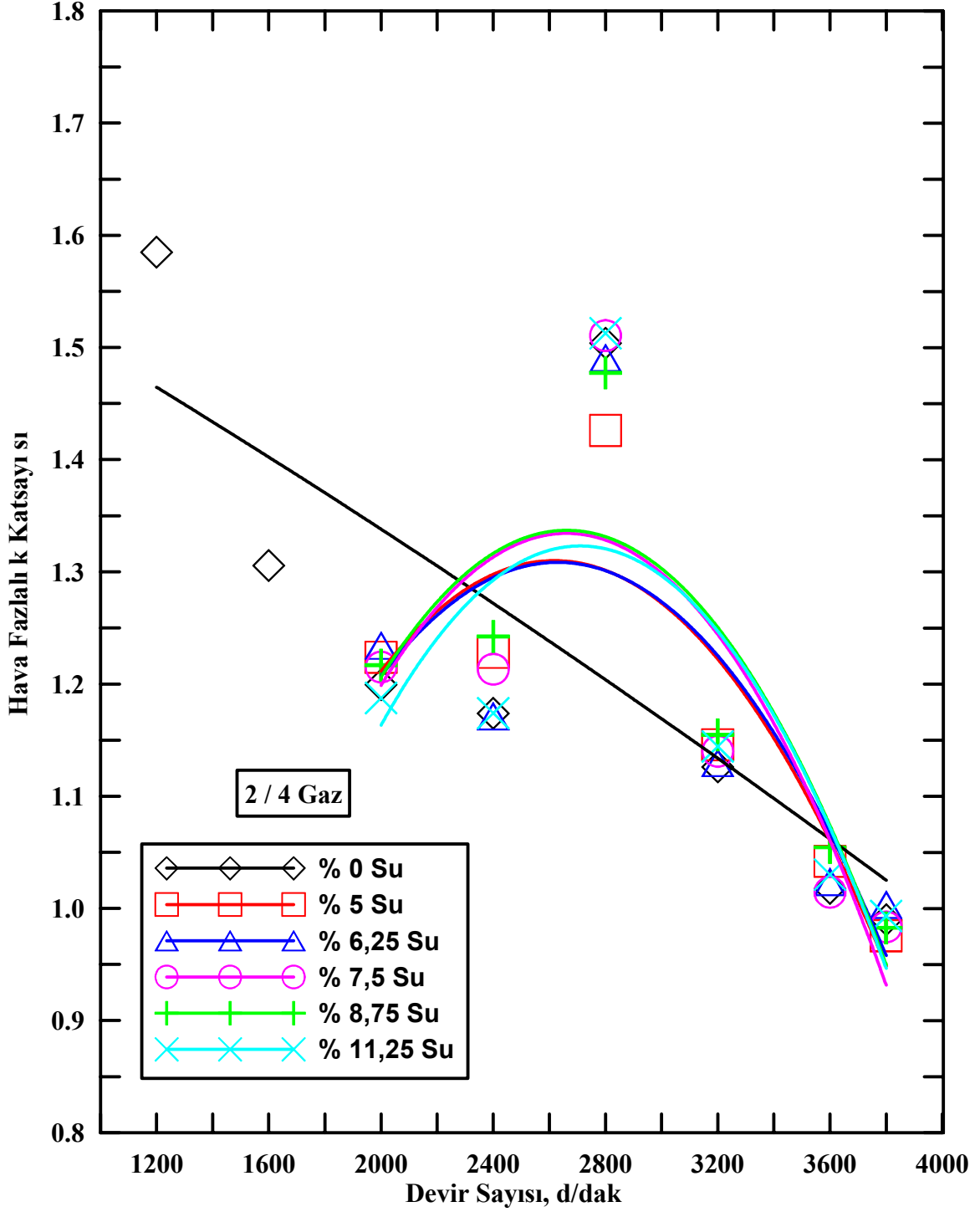


### Özgül Yakıt Tüketimi



Şekil 59. 2/4 gaz konumunda, farklı su oranları için özgül yakıt tüketiminin devir sayısına göre değişimi

### Hava Fazlalık Katsayısı

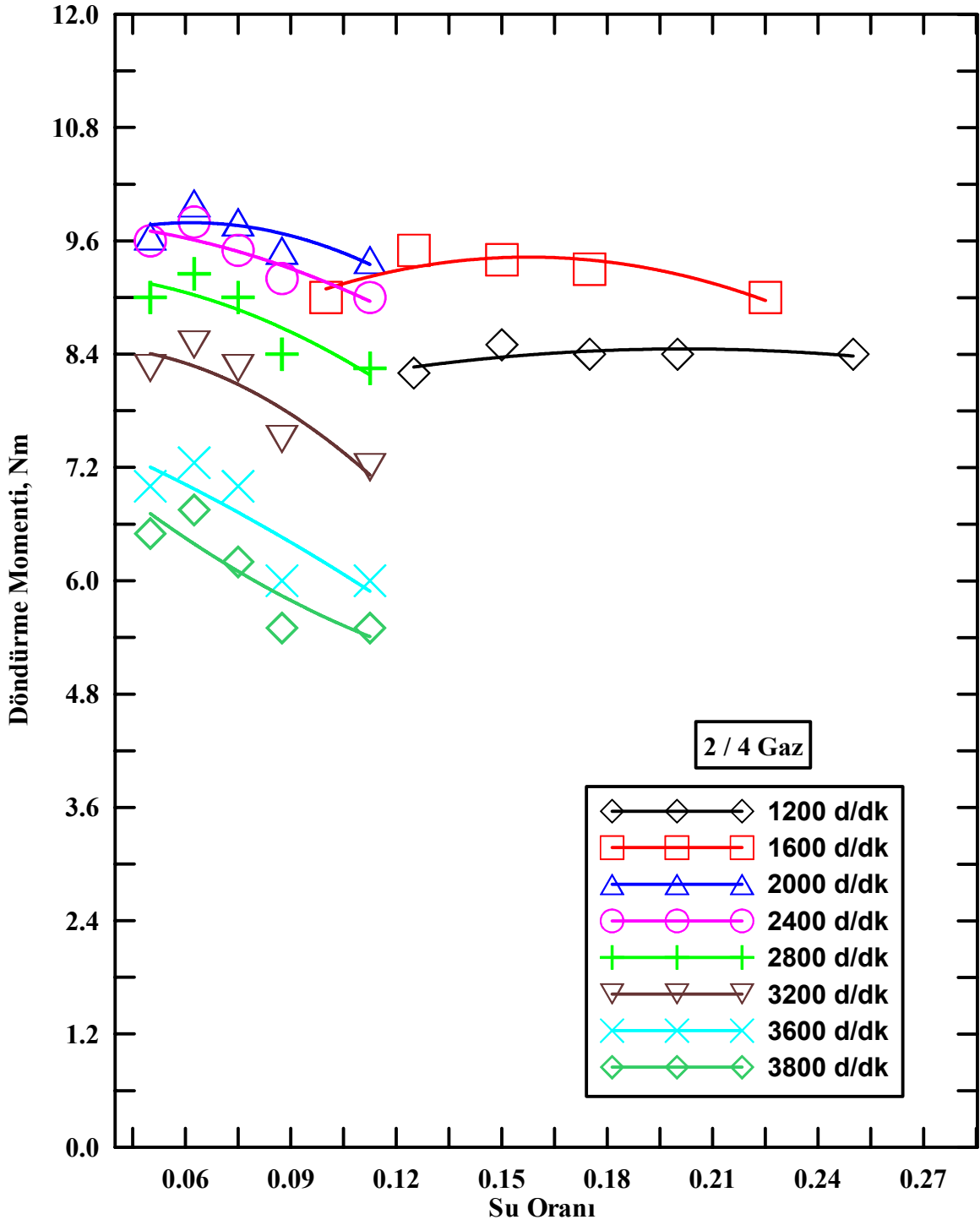


Şekil 60. 2/4 gaz konumunda, farklı su oranları için hava fazlalık katsayısının devir sayısına göre değişimi

### **3.1.3.2. 2/4 Gaz konumunda, Farklı Devir Sayıları İçin Motor Performans Karakteristiklerinin Su Oranına Göre Değişimleri**

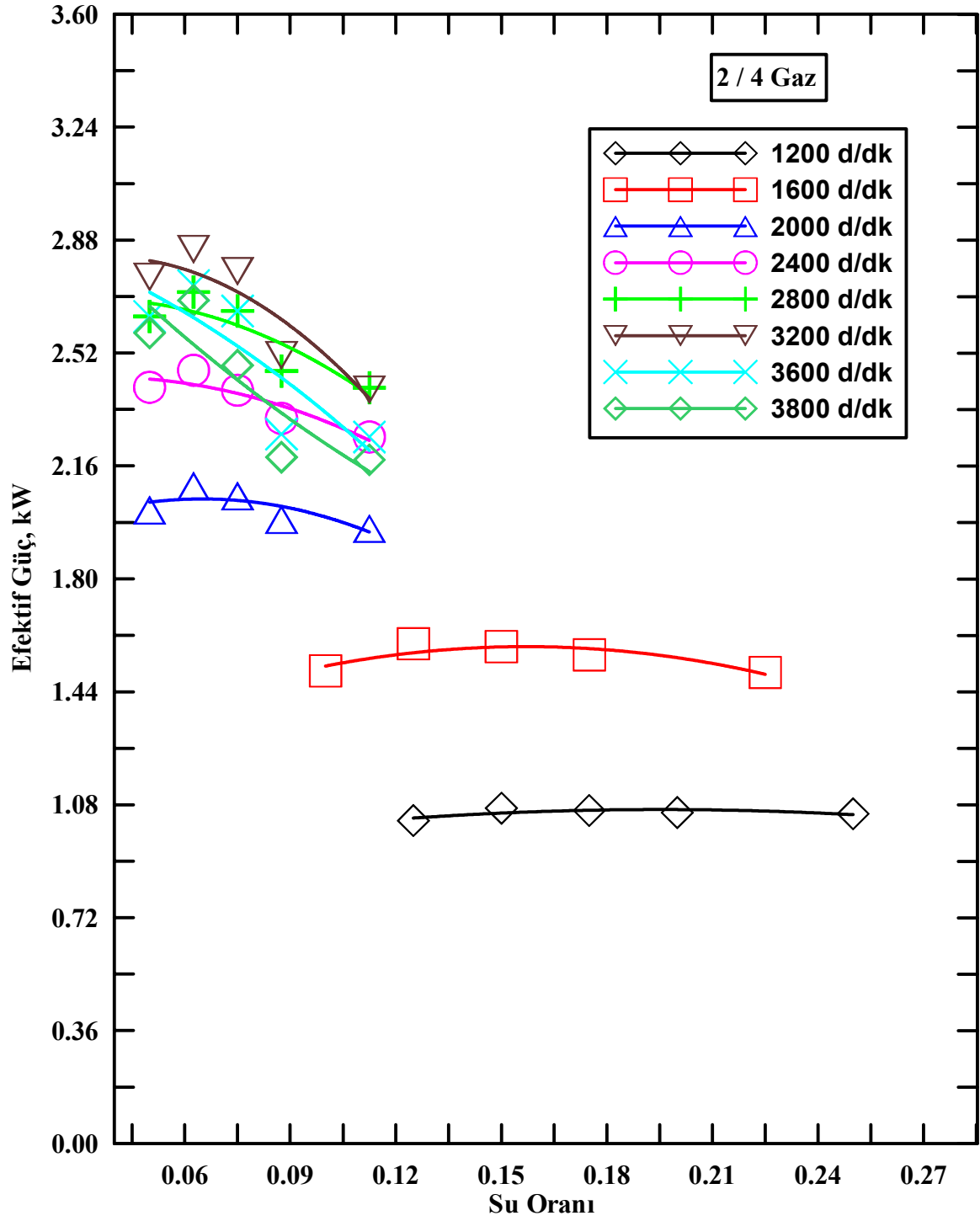
Bu bölümde; 2/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için motor performans karakteristiklerinin su oranına göre değişimleri ile ilgili karşılaştırma eğrileri Şekil 60-18'de sunulmuştur. Söz konusu eğriler incelendiğinde diğer gaz durumlarında elde edilen eğrilere benzer yapıda oldukları görülebilir. Farklı su oranlarının motor performans karakteristikleri üzerindeki etkileri önceki bölümlerde açıklandığı için bu bölümde karşılaştırma eğrileri sunulmuş, söz konusu eğrileri ayrıntılı irdelemeye gerek duyulmamıştır.

## Döndürme Momenti



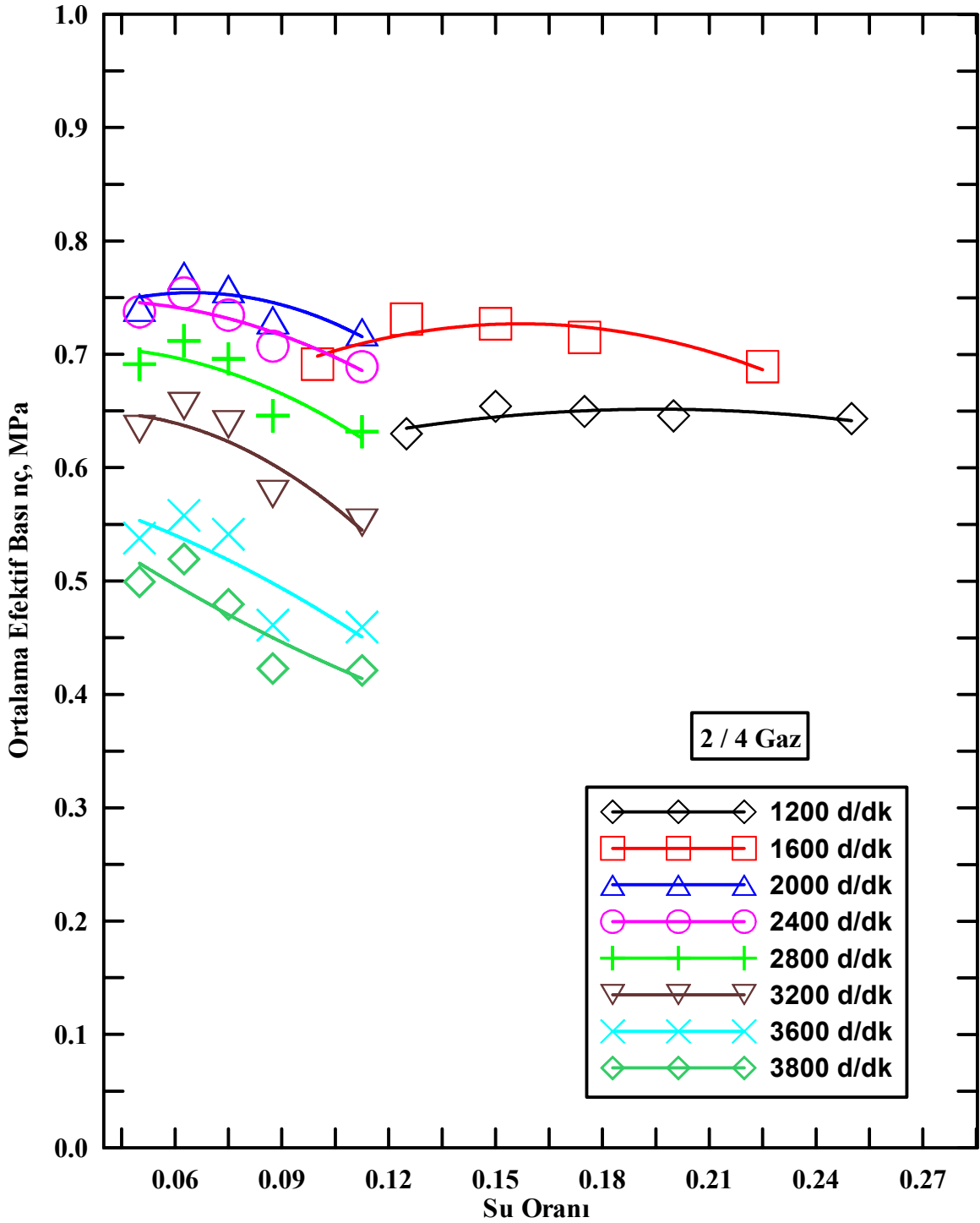
Şekil 61. 2/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için döndürme momentinin su oranına göre değişimi

## Efektif Güç



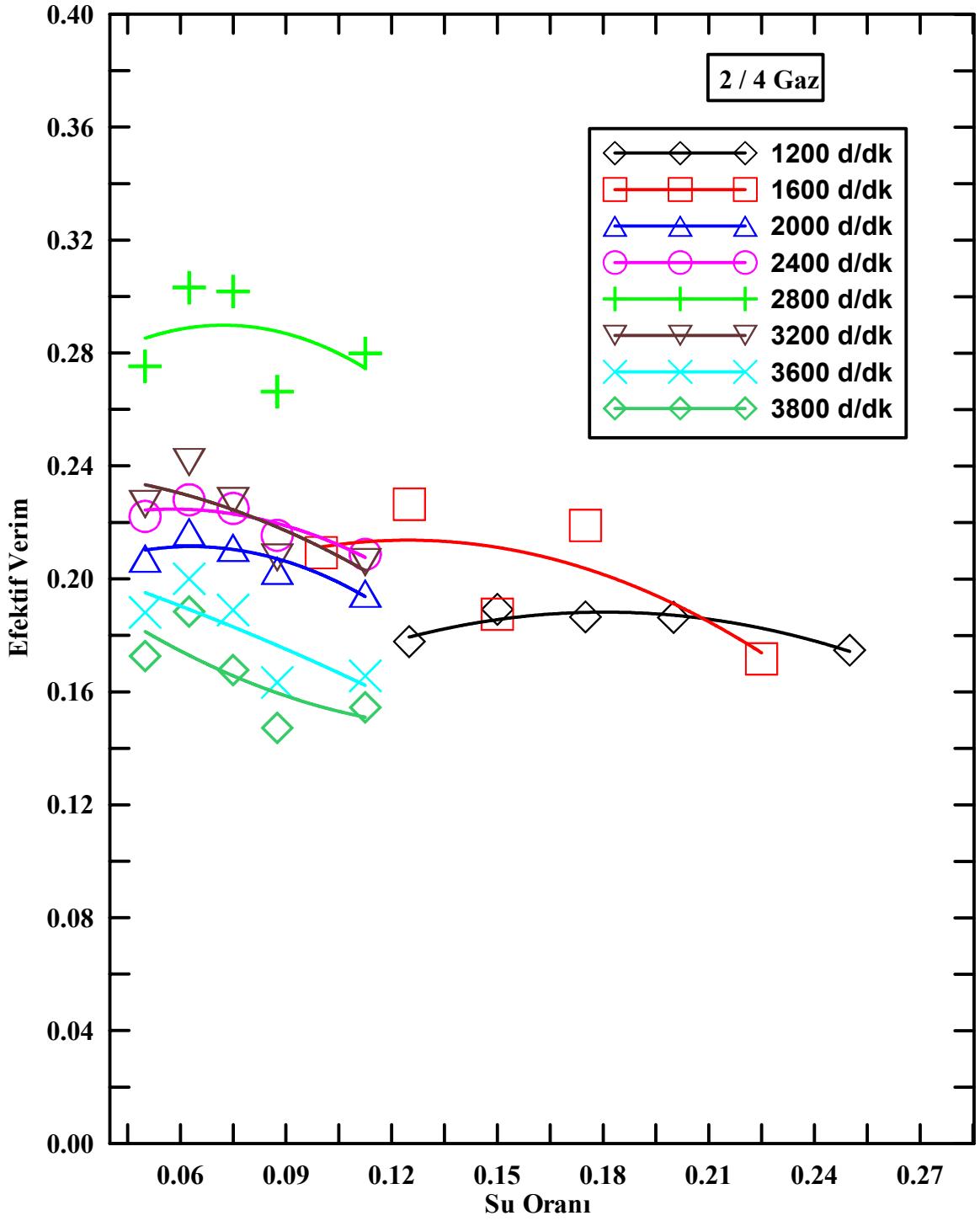
Şekil 62. 2/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için efektif gücün su oranına göre değişimi

## Ortalama Efektif Basınc



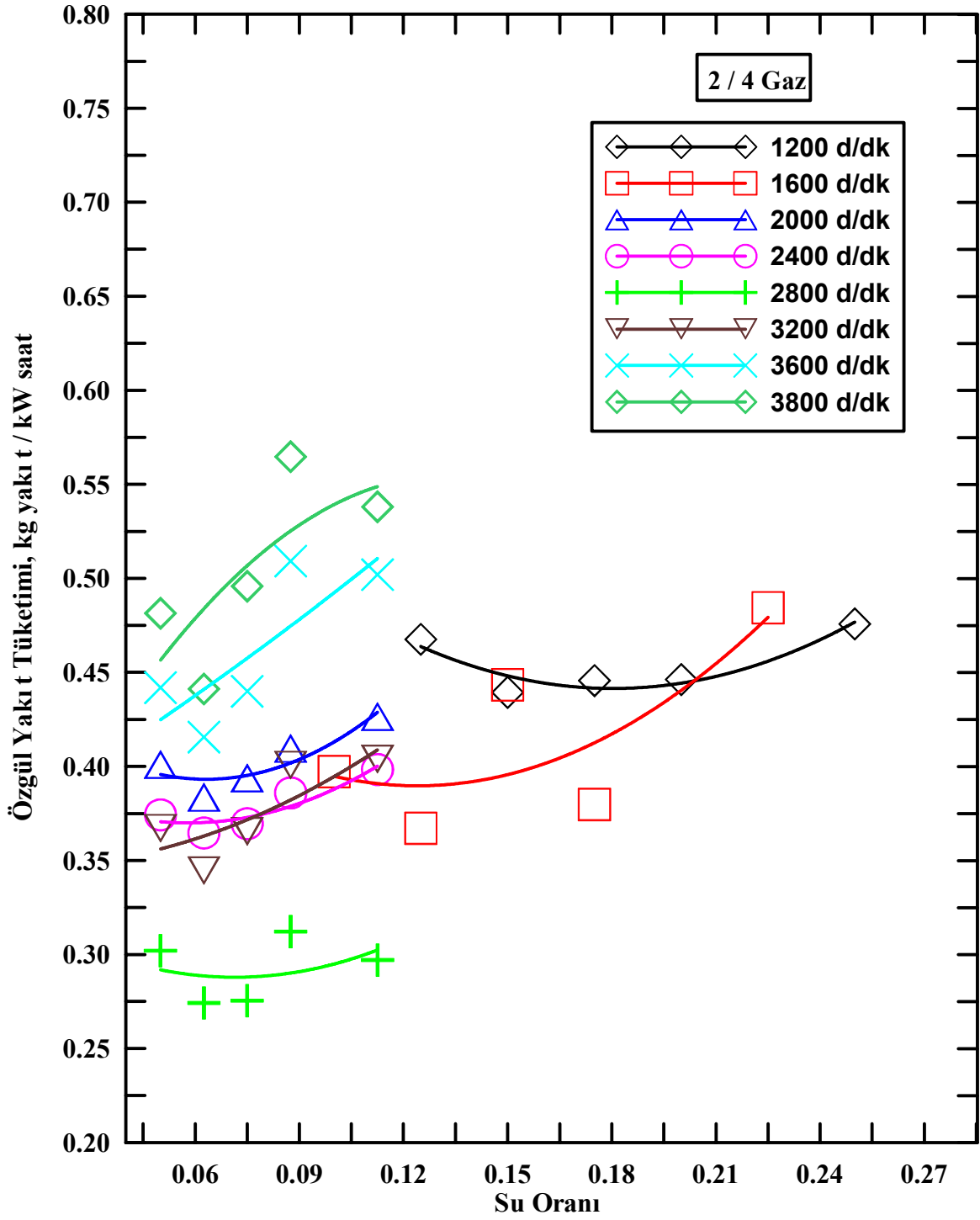
Şekil 63. 2/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için ortalama efektif basıncın su oranına göre değişimi

## Efektif Verim



Şekil 64. 2/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için efektif verimin su oranına göre değişimi

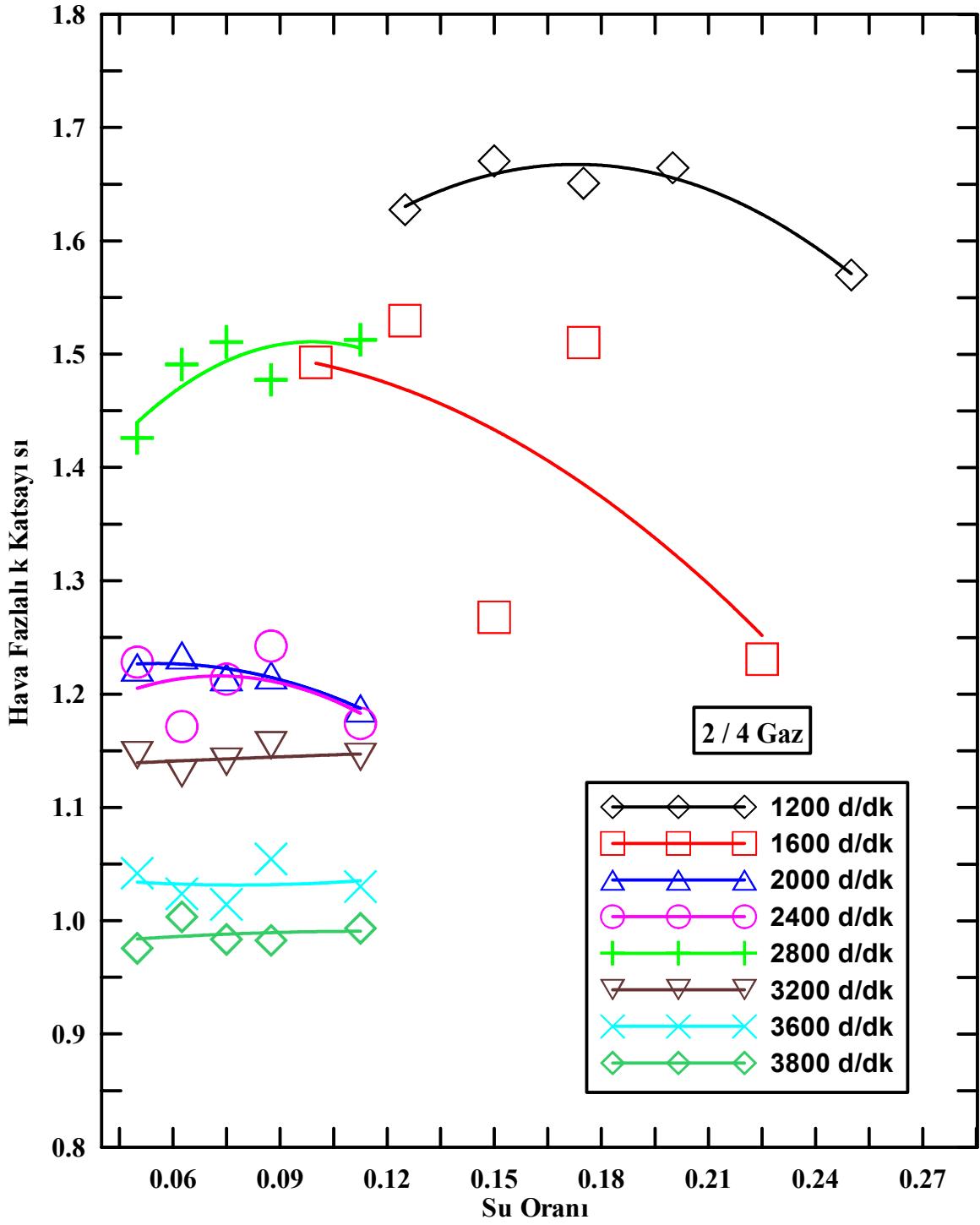
### Özgül Yakıt Tüketimi



Şekil 65. 2/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için özgül yakıt tüketiminin su oranına göre değişimi



## Hava Fazlalık Katsayısı

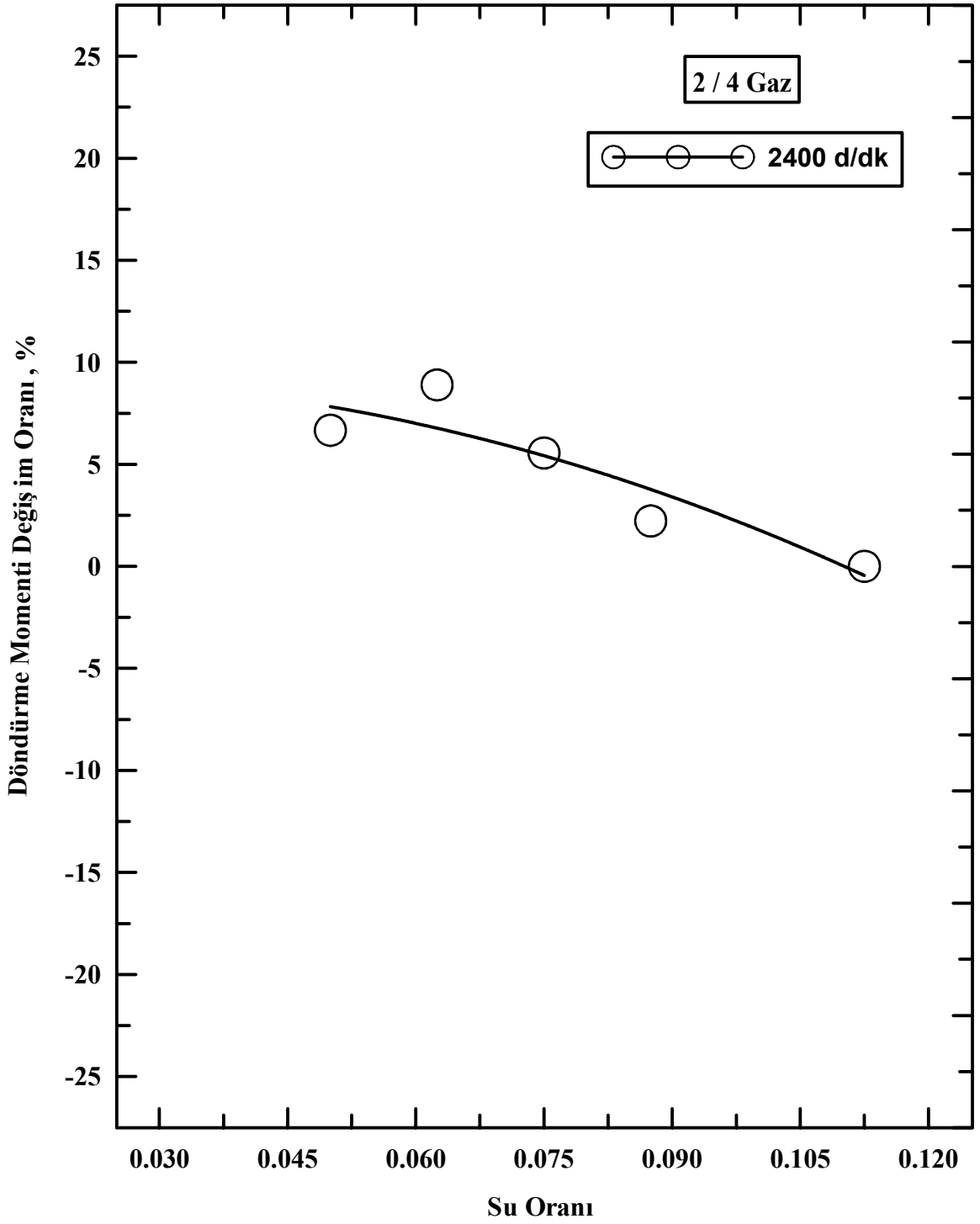


Şekil 66. 2/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için hava fazlalık katsayısının su oranına göre değişimi

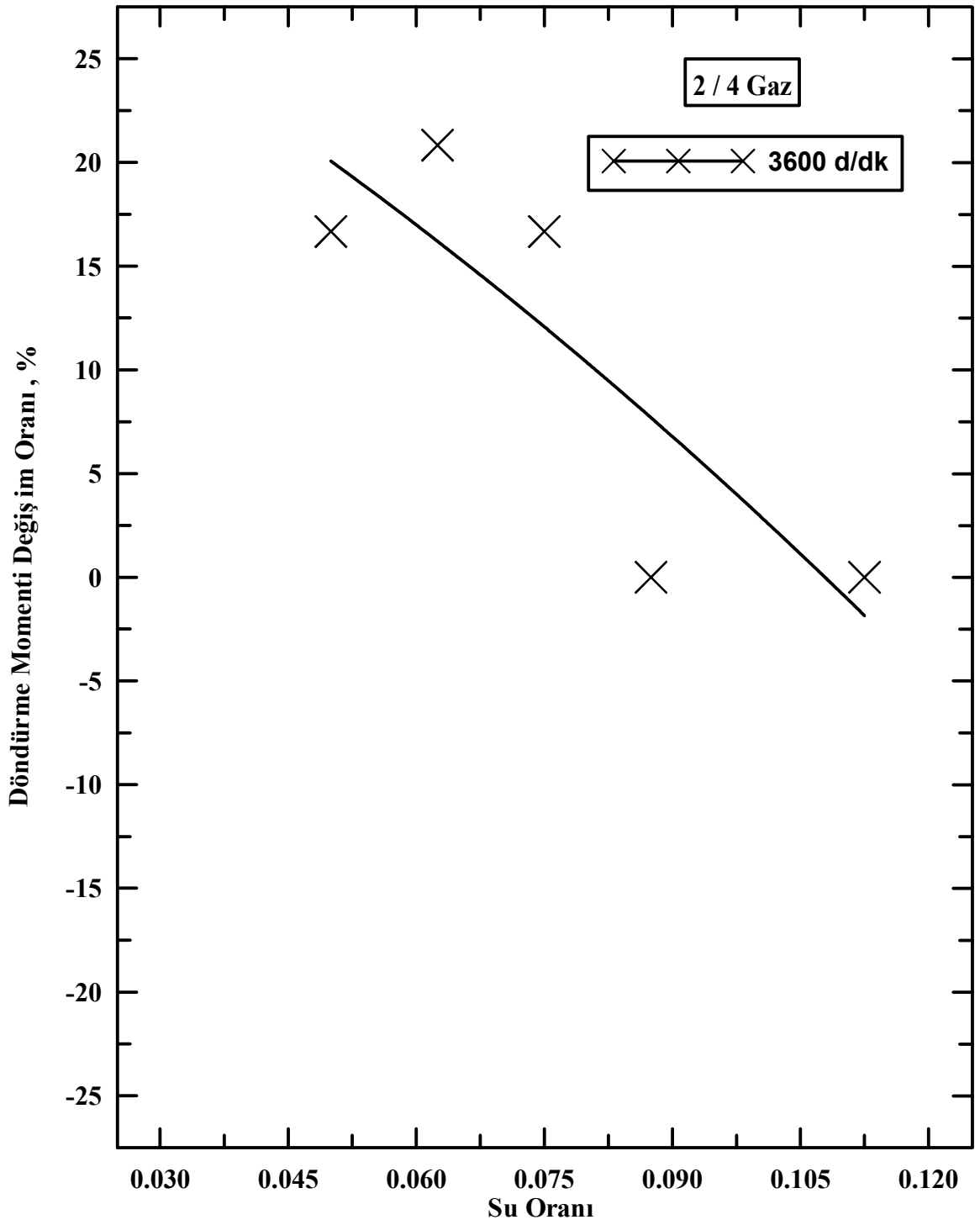
### **3.1.3.3. 2/4 Gaz Konumunda, Motor Performans Karakteristiklerinin Su Oranına Göre Değişim Oranları**

Bu bölümde; 2/4 gaz konumunda motor performans karakteristiklerinin değişim oranlarının her devir sayısı için su oranına göre değişimleri hesaplanarak, tabloları hazırlanmış ve eğrileri çizilmiştir. Sözü geçen toplam 24 adet tabloyu ve eğriyi bu metnin içinde sunmak olanağı bulunmadığı için; sadece seçilen iki devir sayısı (2400 d/dak, 3600 d/dak) için çizilen eğriler Şekil 67-78’de verilmiştir Diğer devir sayıları için değişim sonuç tabloları ise Ek’te sunulmuştur.

## Döndürme Momenti

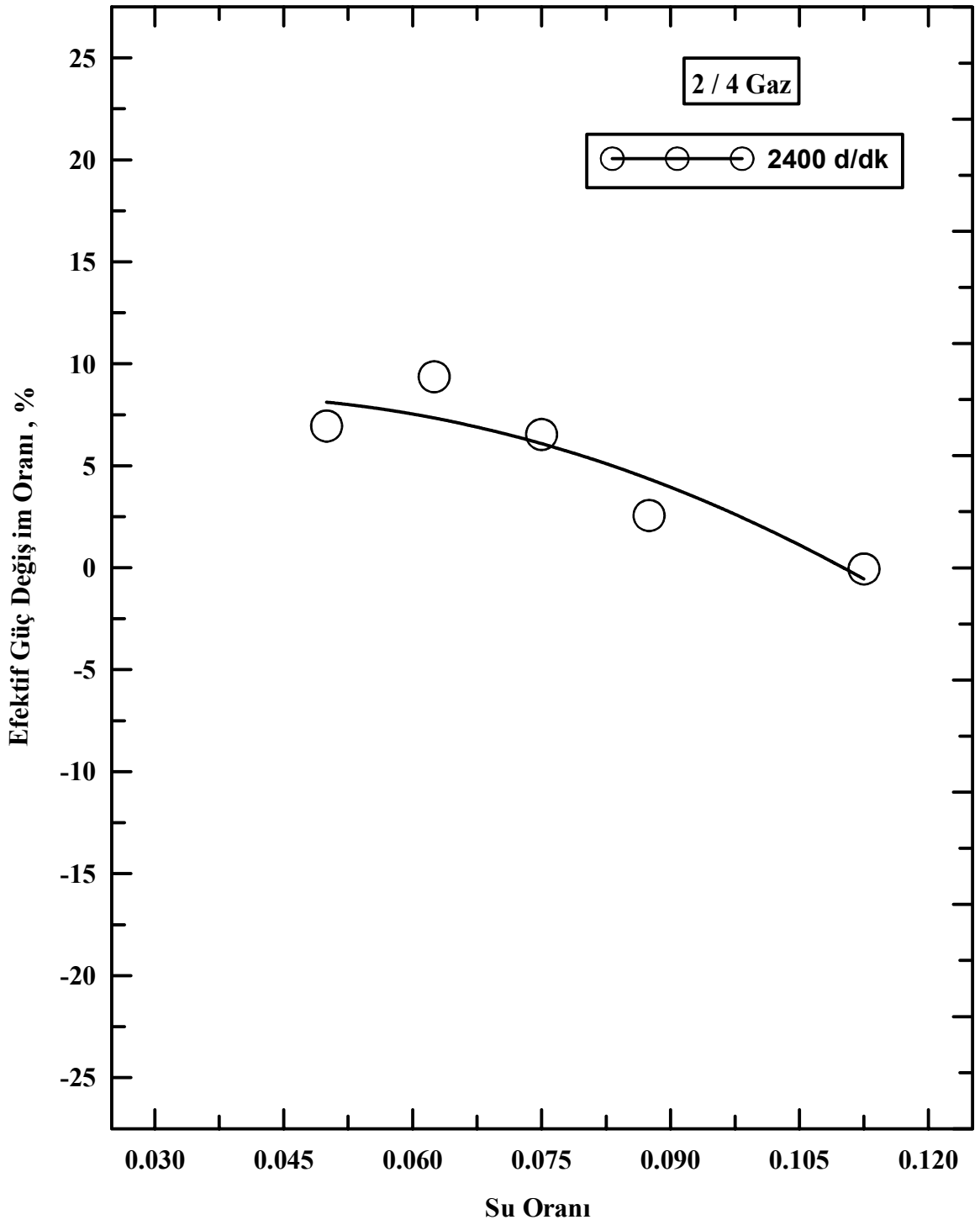


Şekil 67. 2/4 gaz konumunda,  $n=2400$  d/dak'da döndürme momentinin değişim oranının su oranına göre değişimi

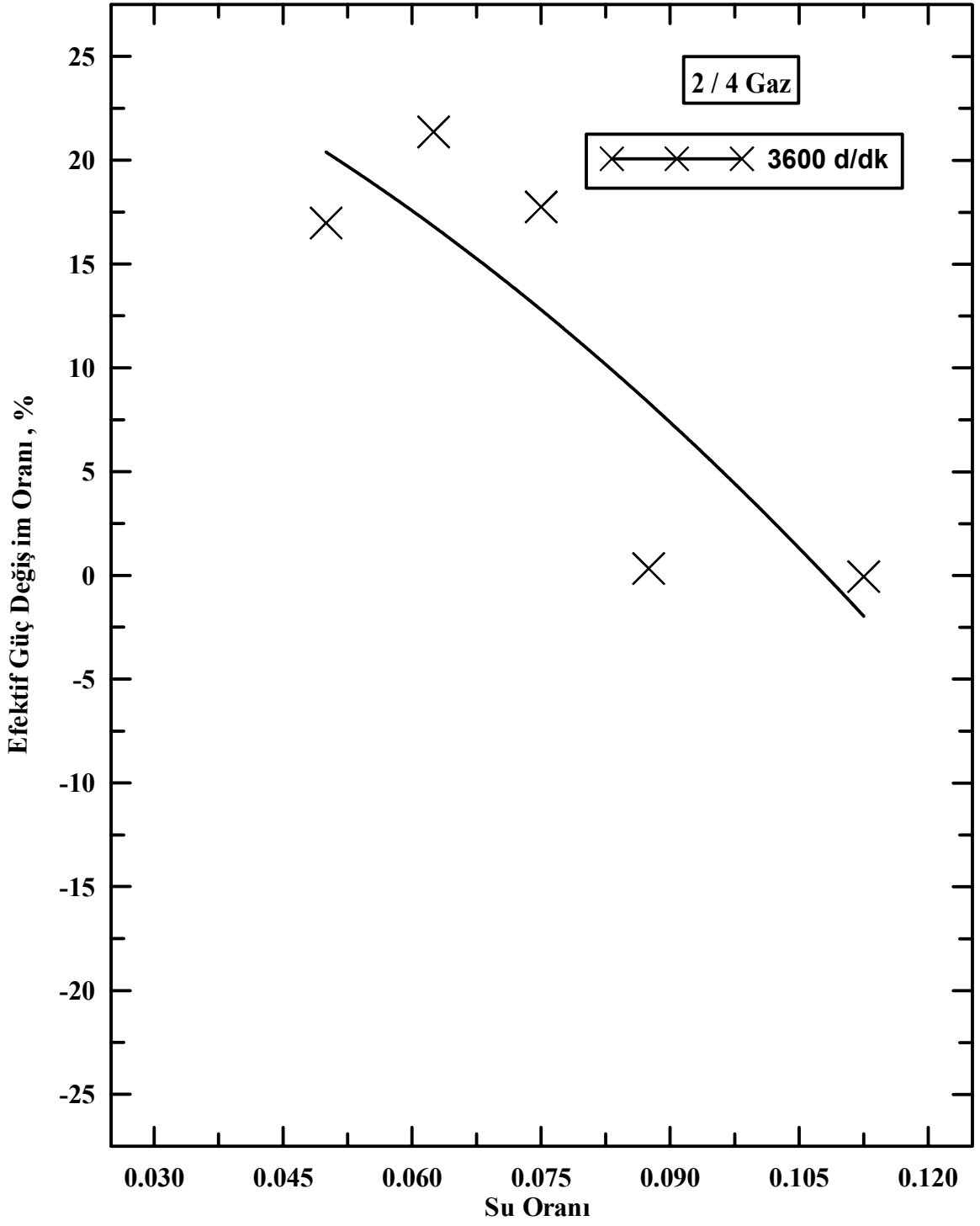


Şekil 68. 2/4 gaz konumunda,  $n=3600$  d/dak'da döndürme momentinin değişim oranının su oranına göre değişimi

## Efektif Güç

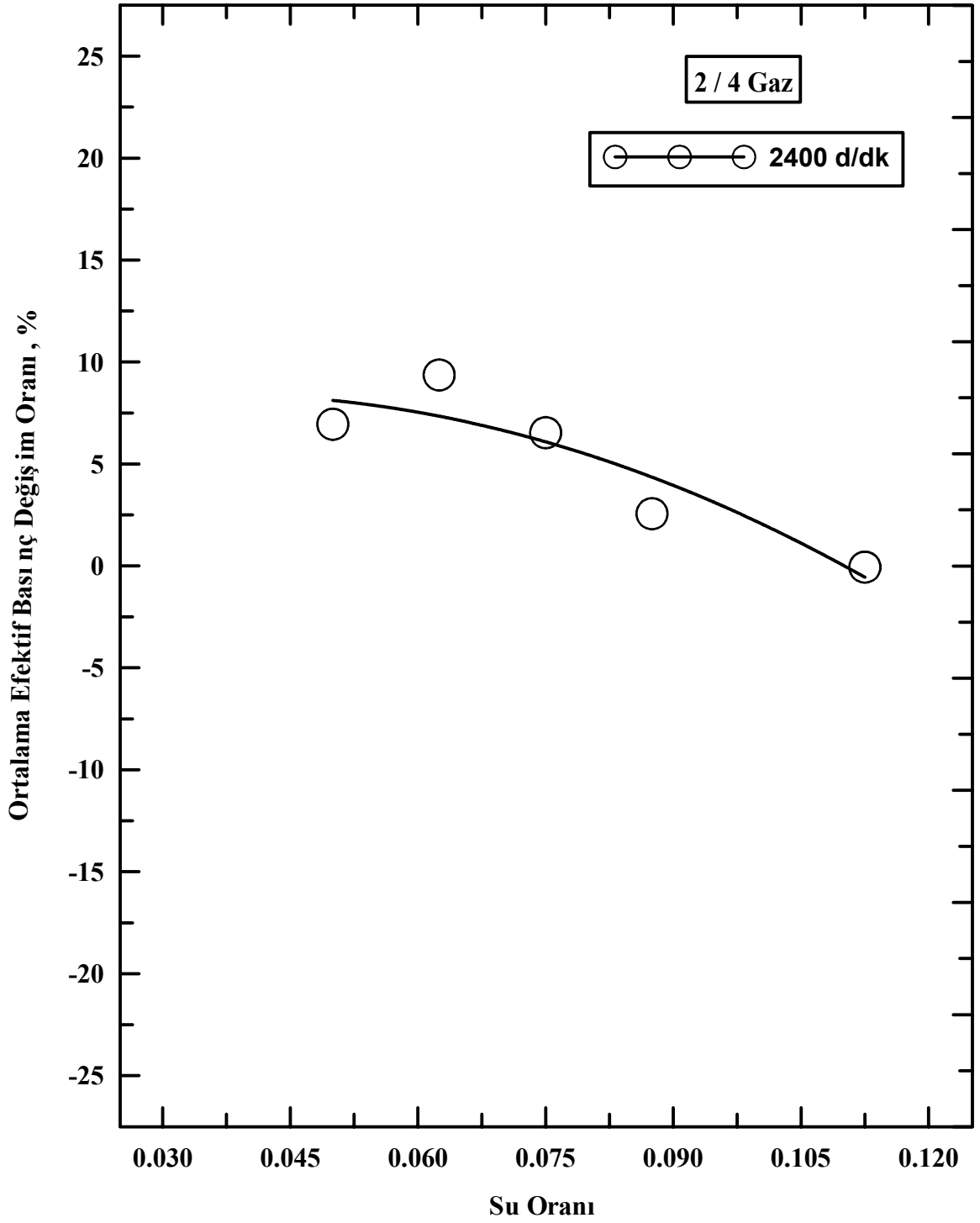


Şekil 69. 2/4 gaz konumunda,  $n=2400$  d/dak'da efektif gücün değişim oranının su oranına göre değişimi

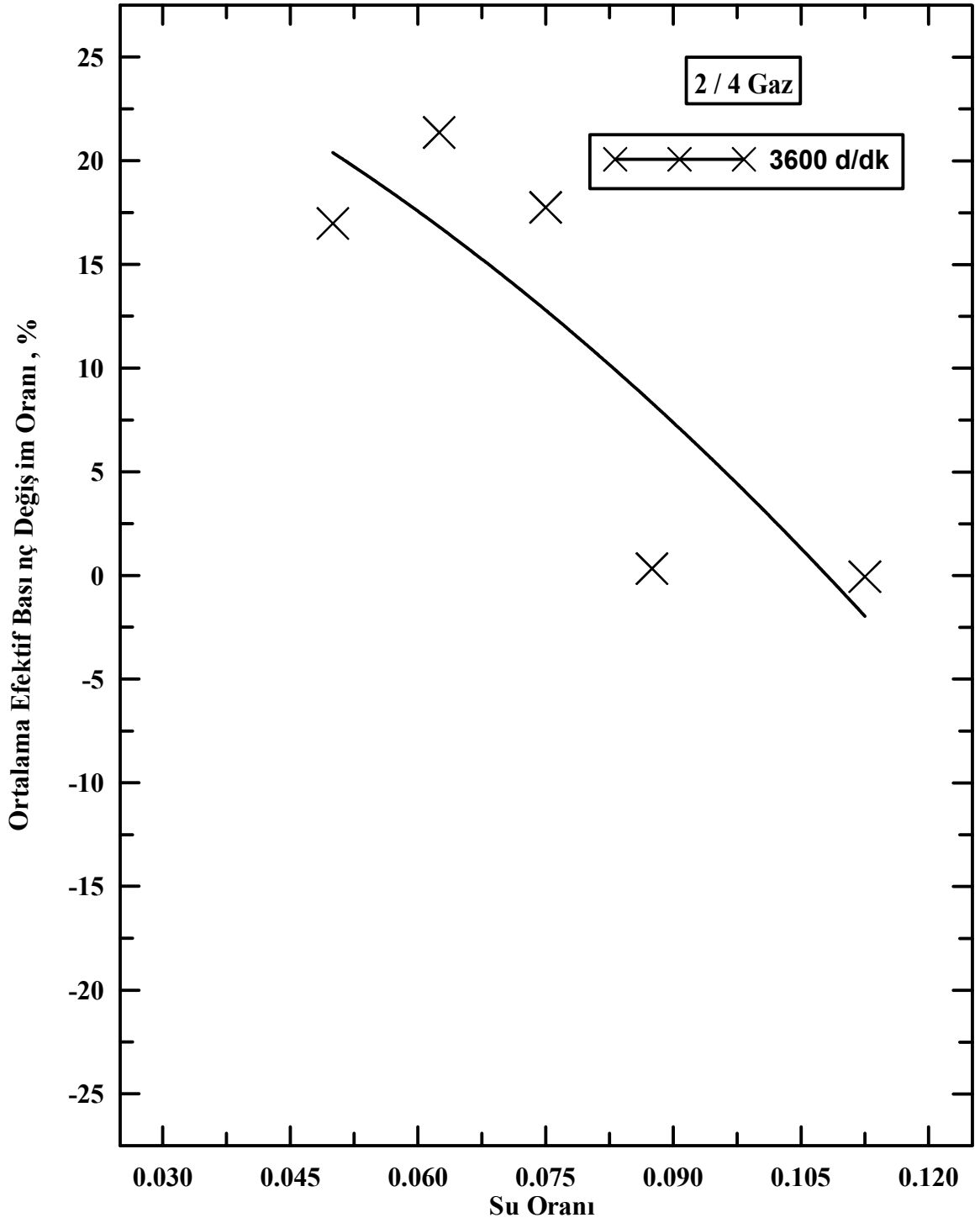


Şekil 70. 2/4 gaz konumunda,  $n=3600$  d/dak'da efektif gücün değişim oranının su oranına göre değişimi

## Ortalama Efektif Basınc



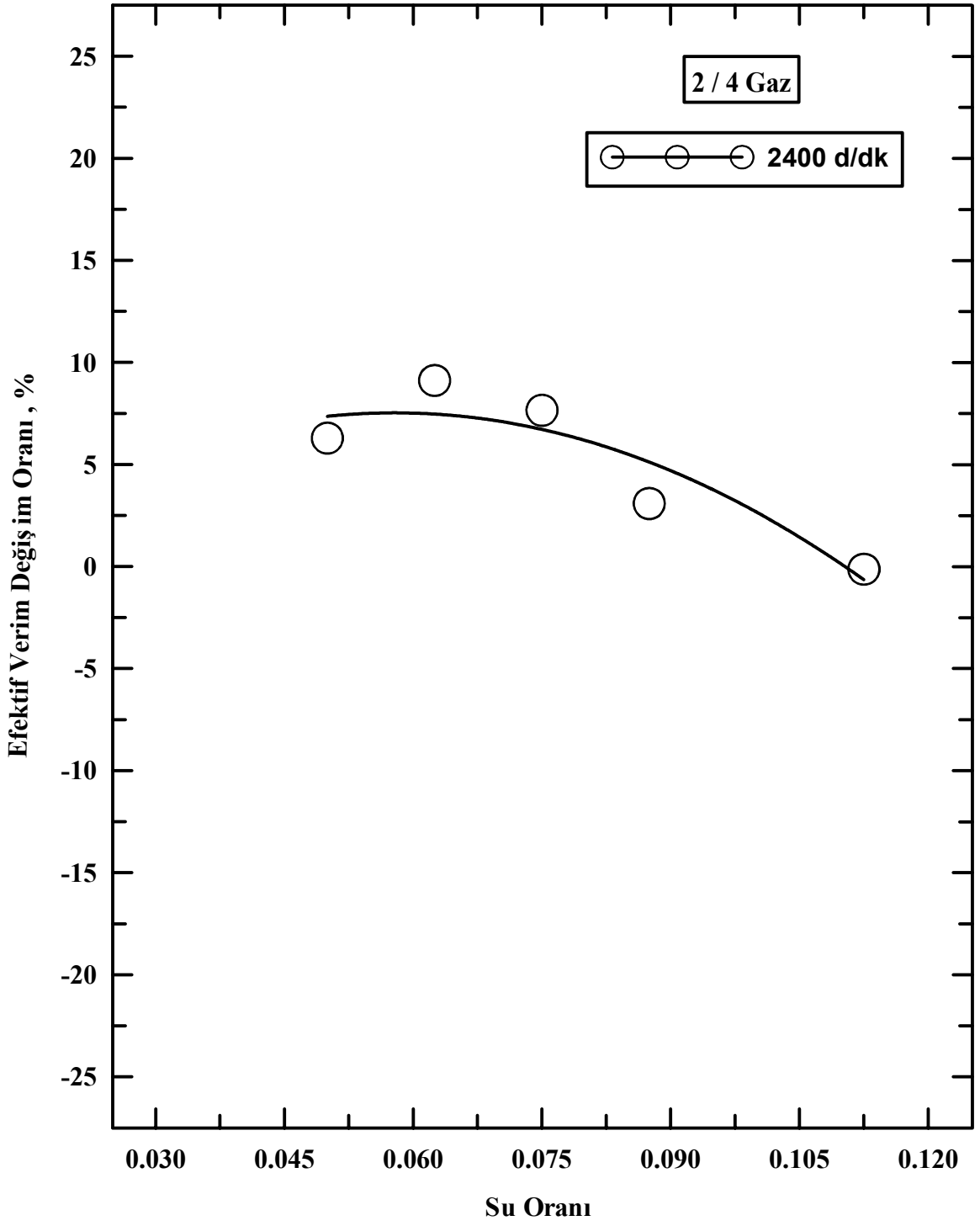
Şekil 71. 2/4 gaz konumunda,  $n=2400$  d/dak'da ortalama efektif basıncın değişim oranının su oranına göre değişimi



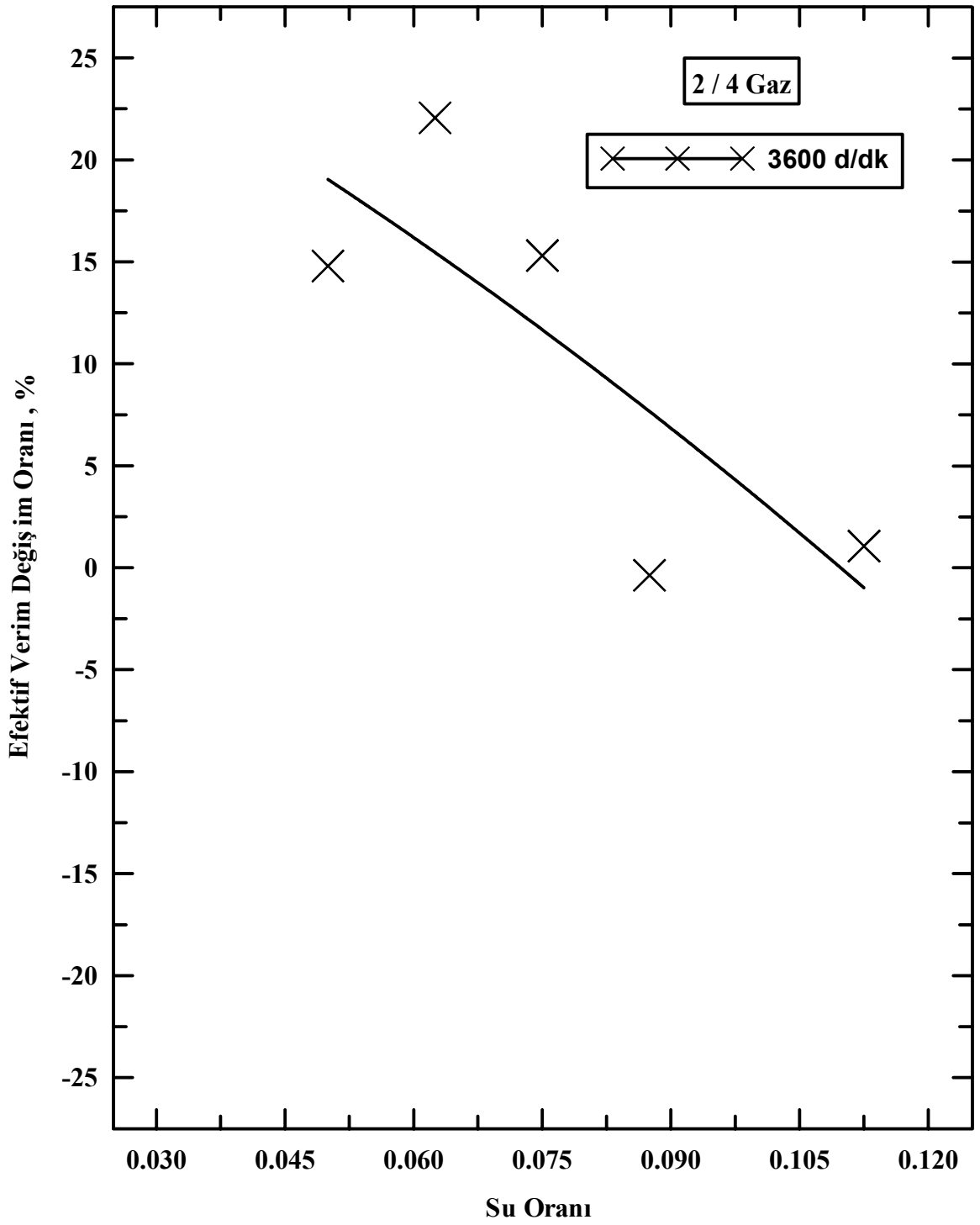
Şekil 72. 2/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da ortalama efektif basıncın değişim oranının su oranına göre değişimi



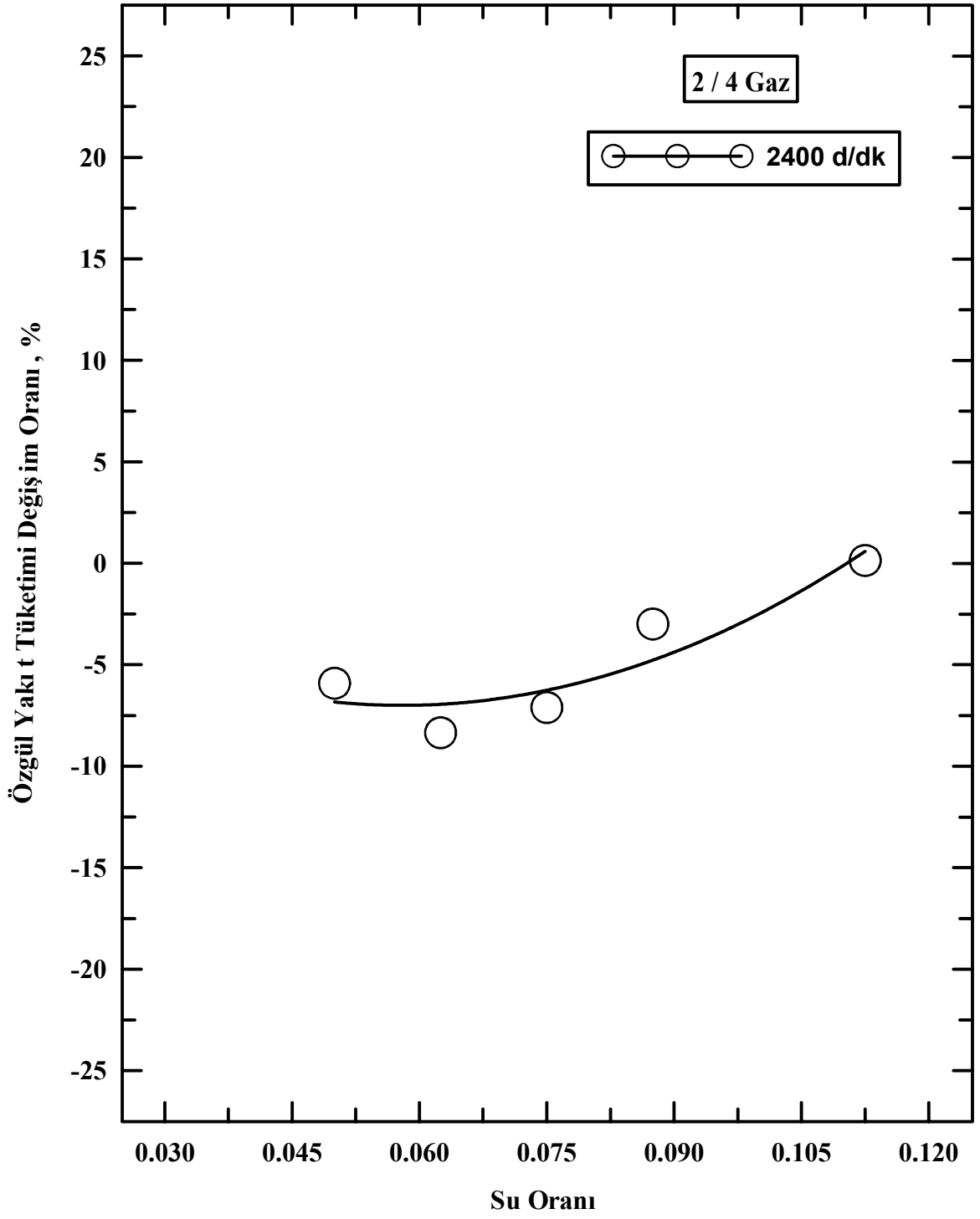
## Efektif Verim



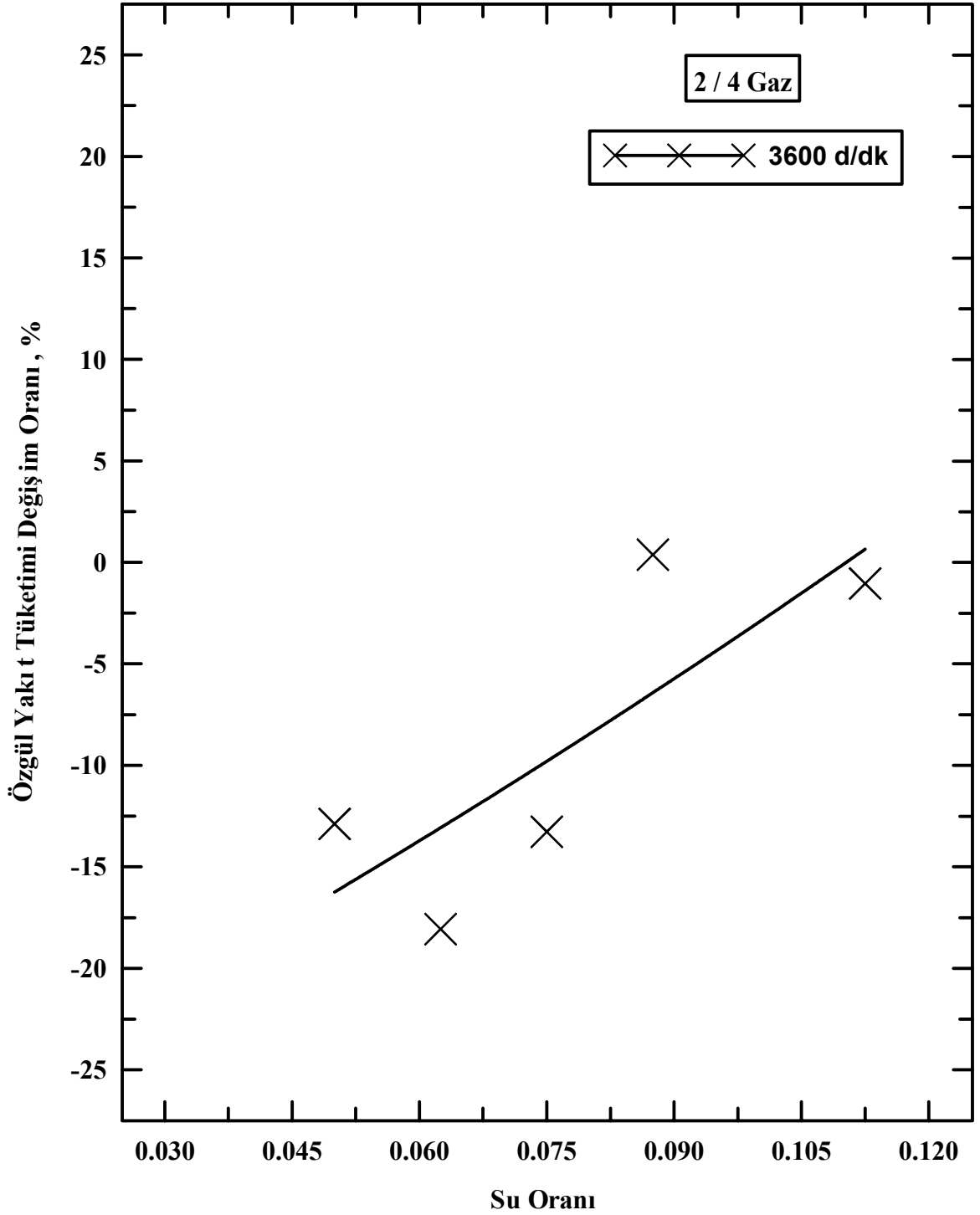
Şekil 73. 2/4 gaz konumunda,  $n=2400$  d/dak'da efektif verimin değişim oranının su oranına göre değişimi



Şekil 74. 2/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da efektif verimin değişim oranının su oranına göre değişimi

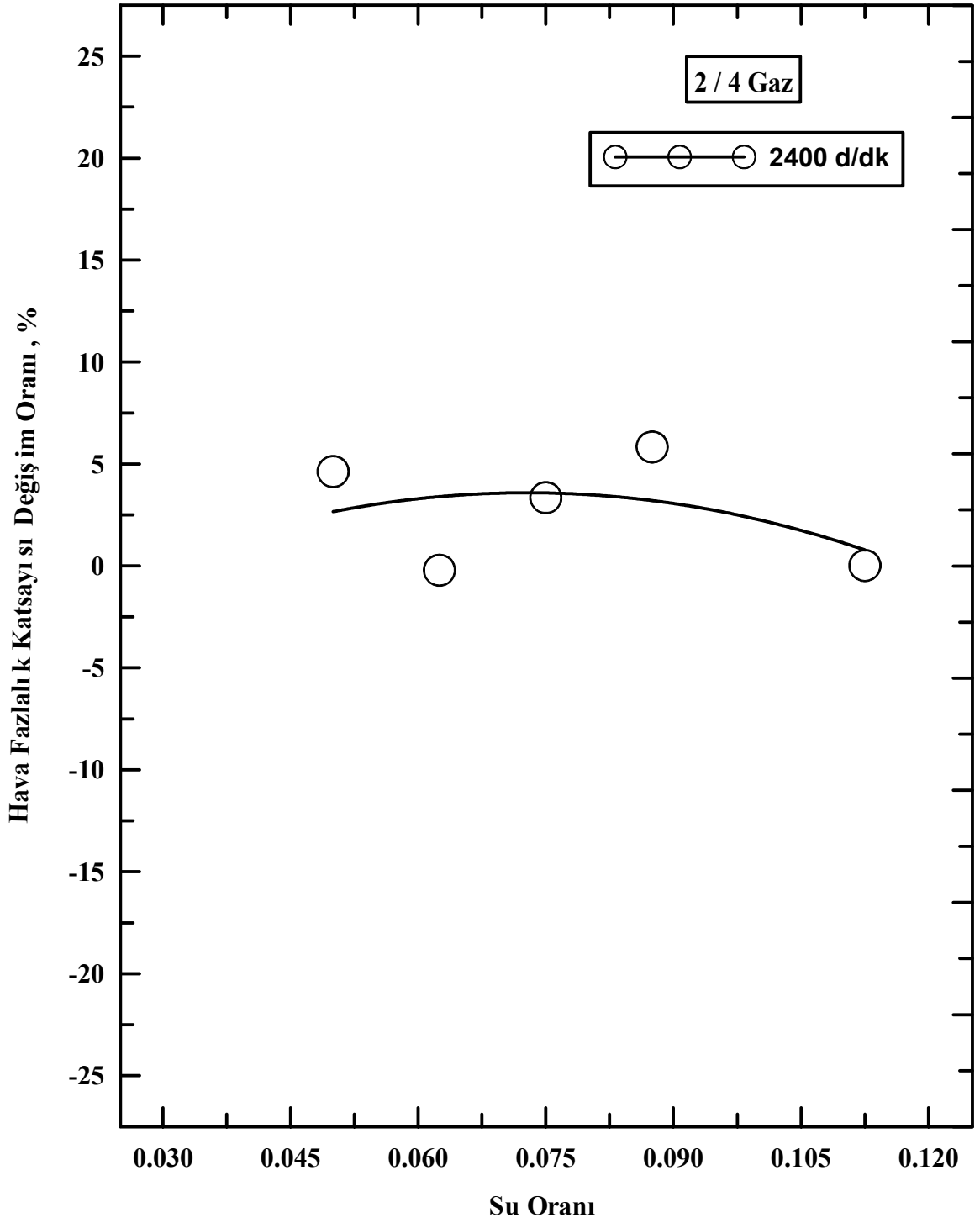
**Özgül Yakıt Tüketimi**

Şekil 75. 2/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da özgül yakıt tüketiminin değişim oranının su oranına göre değişimi

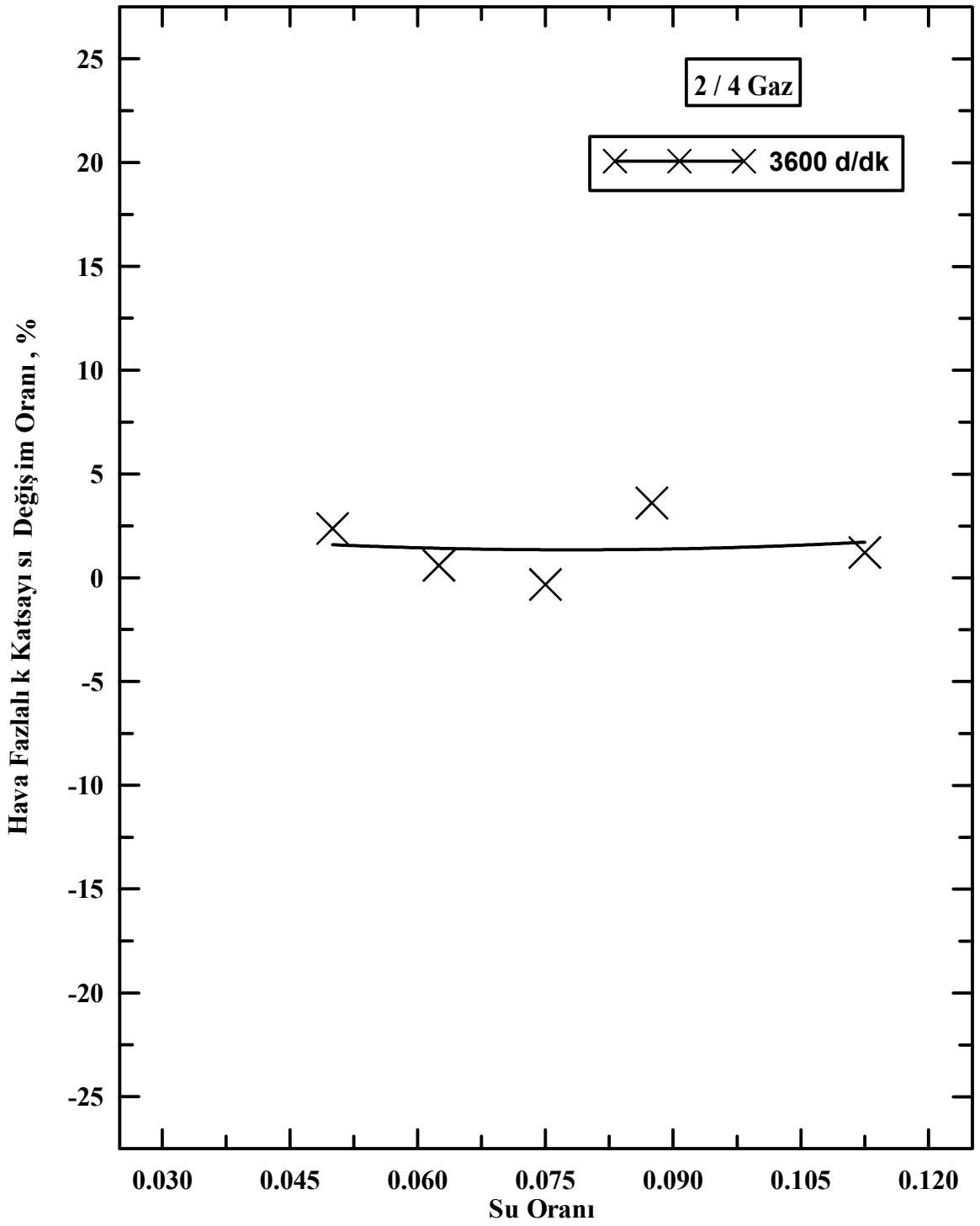


Şekil 76. 2/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da özgül yakıt tüketiminin değişim oranının su oranına göre değişimi

## Hava Fazlalık Katsayısı



Şekil 77. 2/4 gaz konumunda, n=2400 d/dak'da hava fazlalık katsayısının değişim oranının su oranına göre değişimi



Şekil 78. 2/4 gaz konumunda, n=3600 d/dak'da hava fazlalık katsayısının değişim oranının su oranına göre değişimi

### **3.1.4. 1/4 Gazda Motor Performans Karakteristikleri**

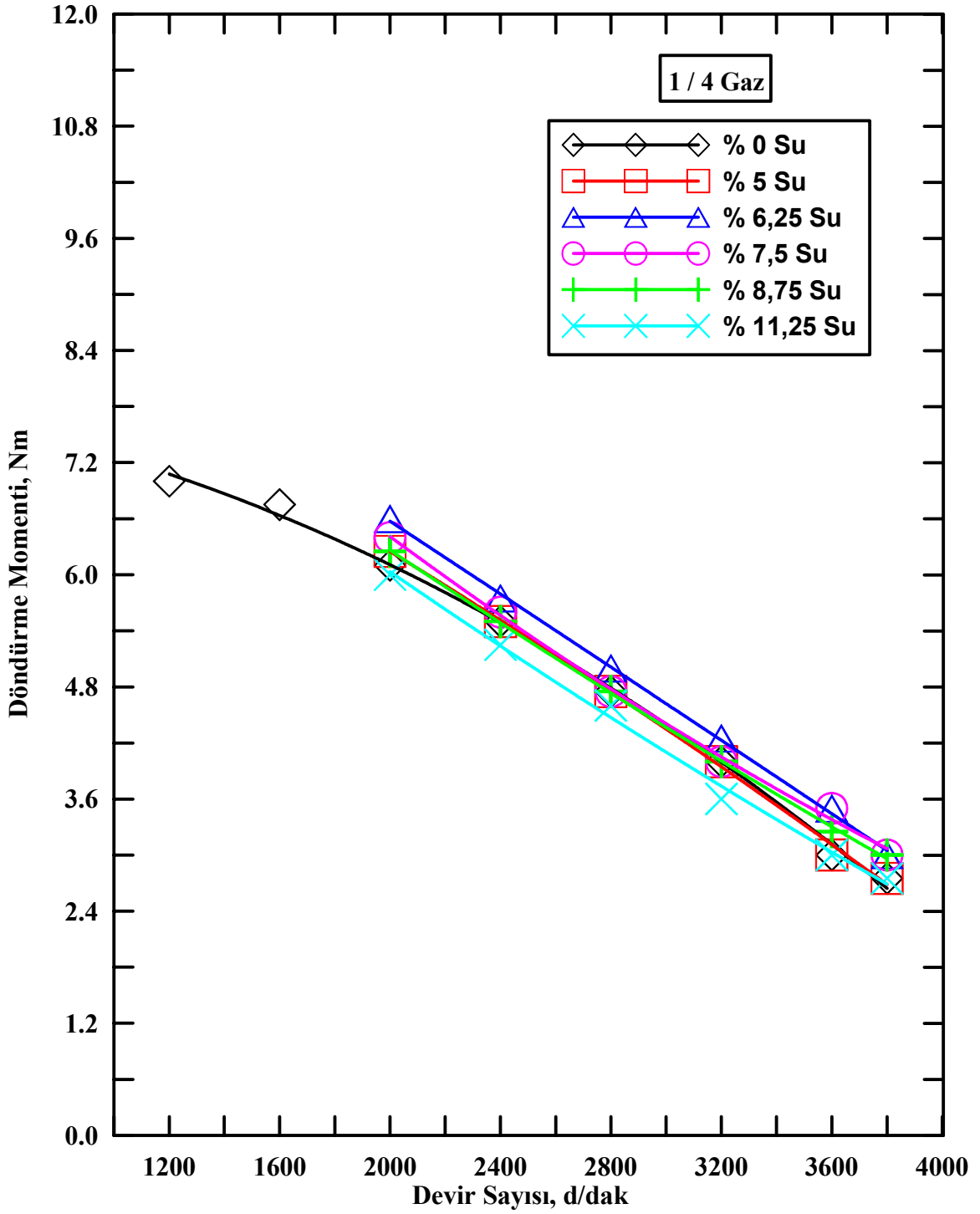
Bu bölümde, deneyler 1/4 gaz konumunda,  $\epsilon=8,5$  sabit sıkıştırma oranında, değişik motor hızlarında ve farklı su oranlarında yapılmıştır. Motorun başlıca karakteristiklerinin devir sayısına ve su oranına göre değişimleri karşılaştırmalı eğriler biçiminde verilmiştir.

Karbüratörün yapısından dolayı püskürtülen su miktarı devir sayısı arttıkça azalmakta ve belirli bir devir sayısından sonra sabit olmaktadır. Bu nedenle 2000d/dak'dan daha düşük devir sayılarında su-yakıt oranı her karbüratör ayarı için farklı değerler, genellikle çok yüksek değerler, almaktadır. Buna karşın söz konusu devir sayısında ve bu devir sayısından daha yüksek devirlerde su-yakıt oranı sabit değerlerde kalmaktadır. Bu yüzden 1/4 gaz konumunda yaklaşık %5, %6.25, %7.5, %8.75 ve %11.25 su oranları için değişim karakteristiklerinin devir sayısına göre değişimlerini gösteren eğriler 2000, 2400, 2800, 3200, 3600, 3800d/dak devirlerindeki değerler kullanılarak karşılaştırmalı biçimde sunulmuştur.

#### **3.1.4.1. 1/4 Gaz Konumunda, Farklı Su Oranları İçin Motor Performans Karakteristiklerinin Devir Sayısına Göre Değişimleri**

Bu bölümde; 1/4 gaz konumunda farklı su oranları için motor performans karakteristiklerinin devir sayısına göre değişimleri ile ilgili karşılaştırma eğrileri Şekil 79-84' de sunulmuştur.

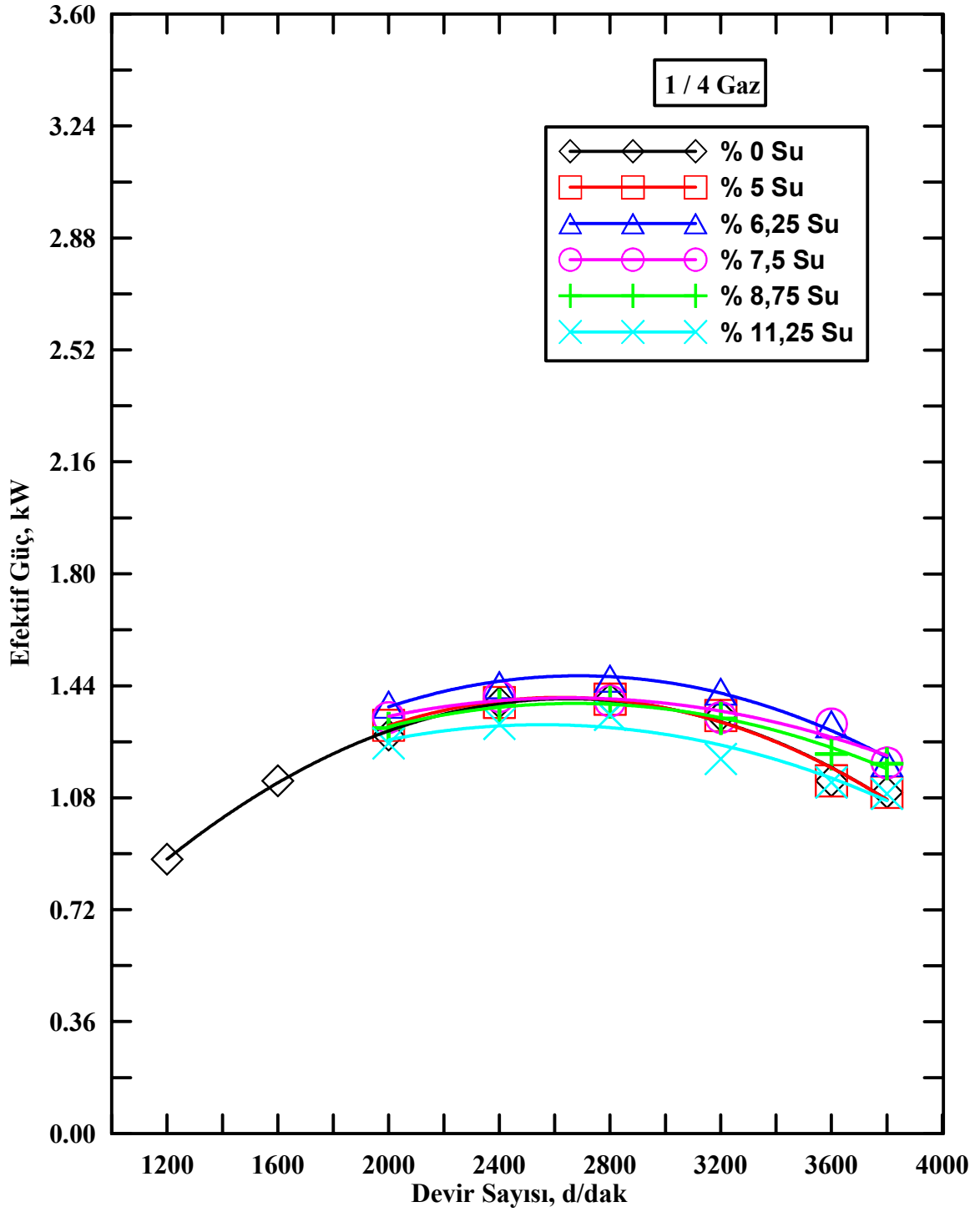
## Döndürme Momenti



Şekil 79. 1/4 gaz konumunda, farklı su oranları için döndürme momentinin devir sayısına göre değişimi

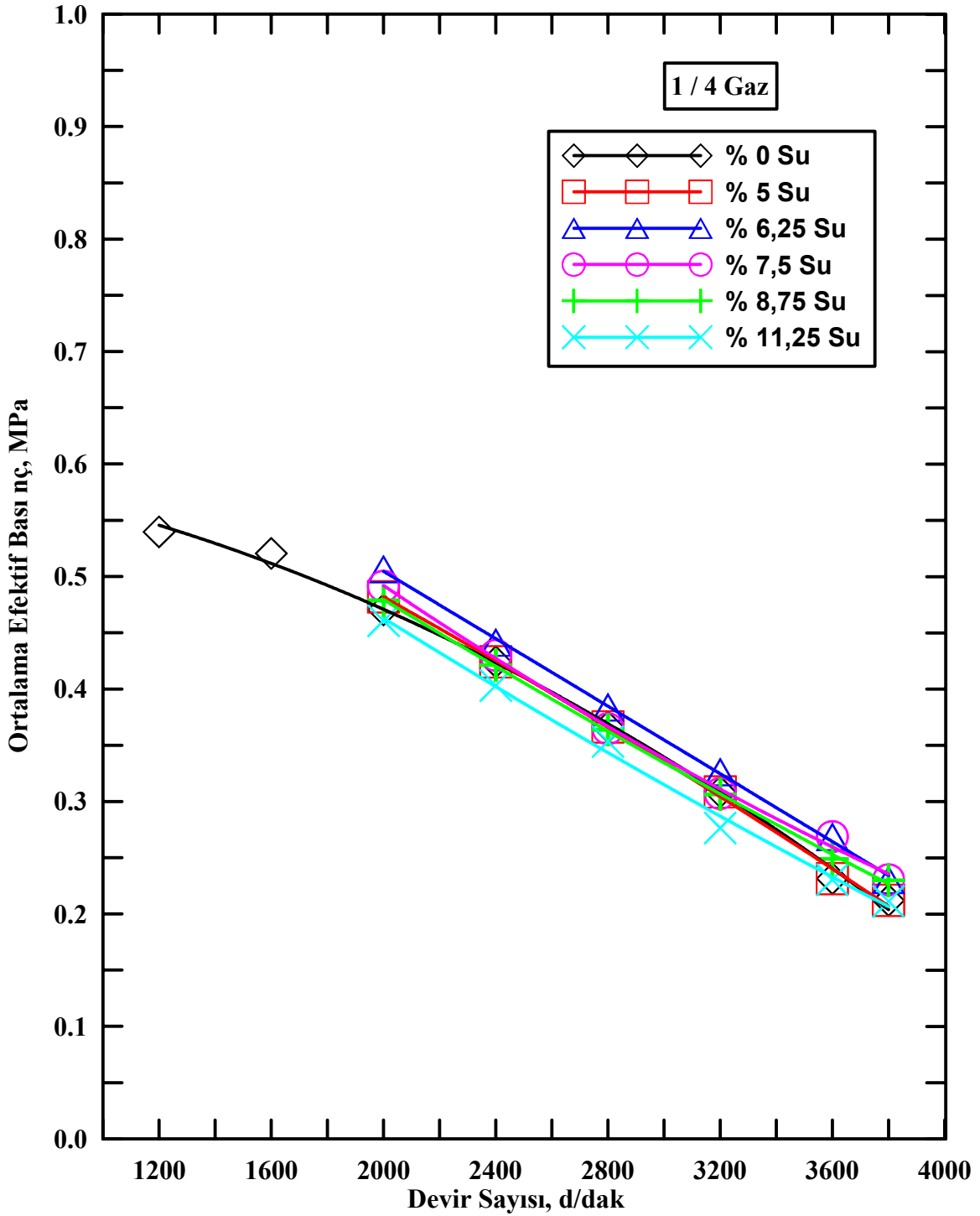


## Efektif Güç



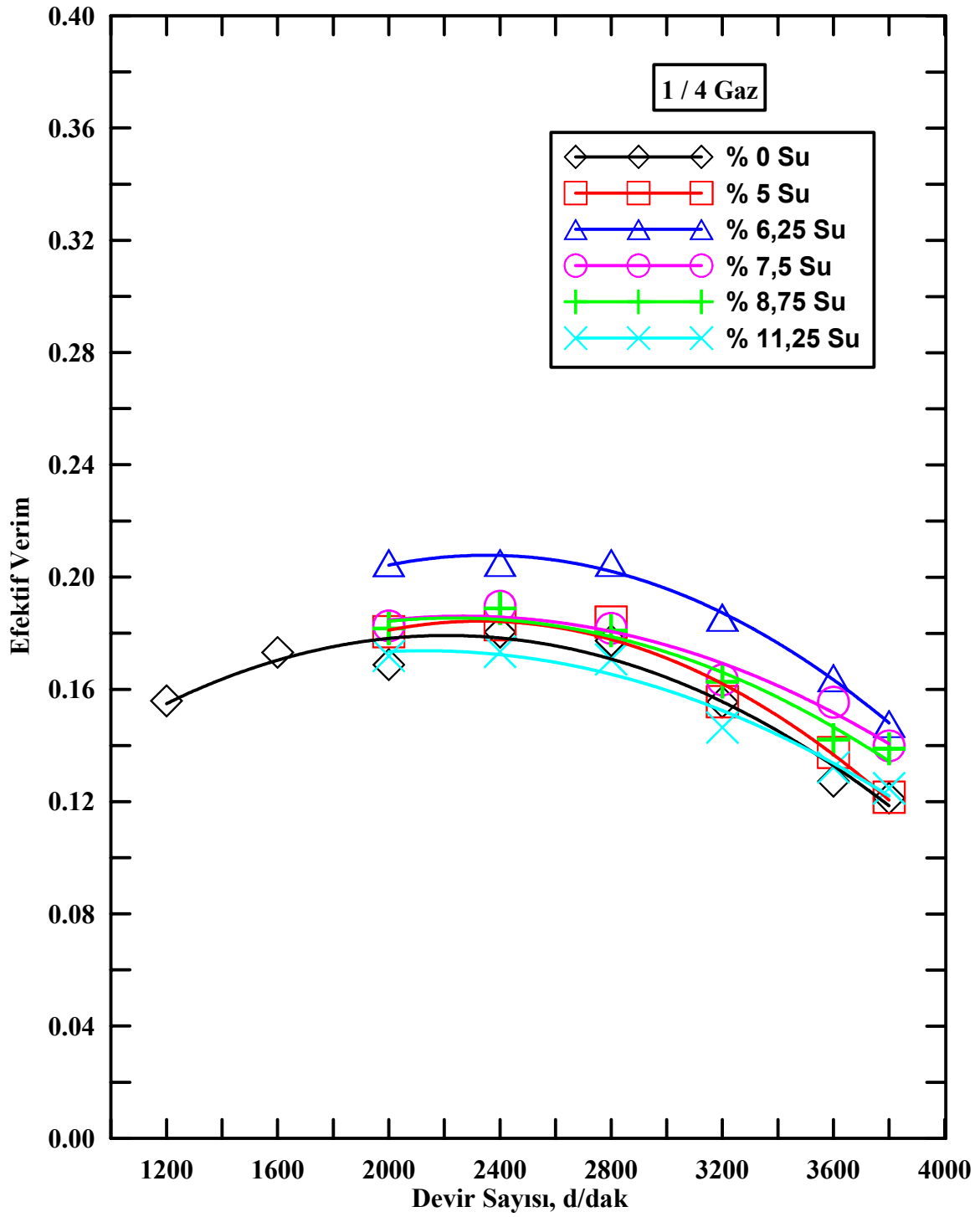
Şekil 80. 1/4 gaz konumunda, farklı su oranları için efektif gücün devir sayısına göre değişimi

## Ortalama Efektif Basınc



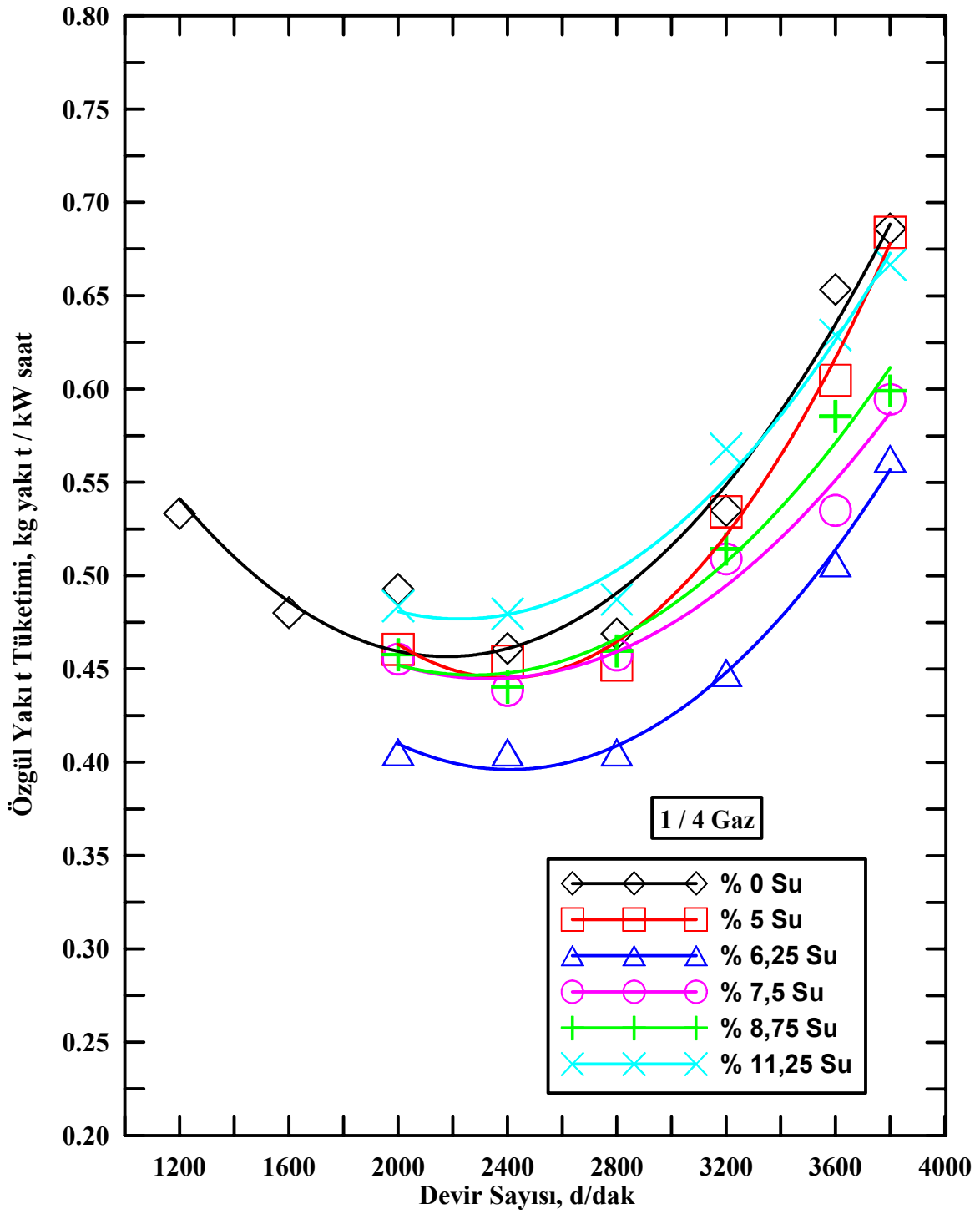
Şekil 81. 1/4 gaz konumunda, farklı su oranları için ortalama efektif basıncın devir sayısına göre değişimi

## Efektif Verim



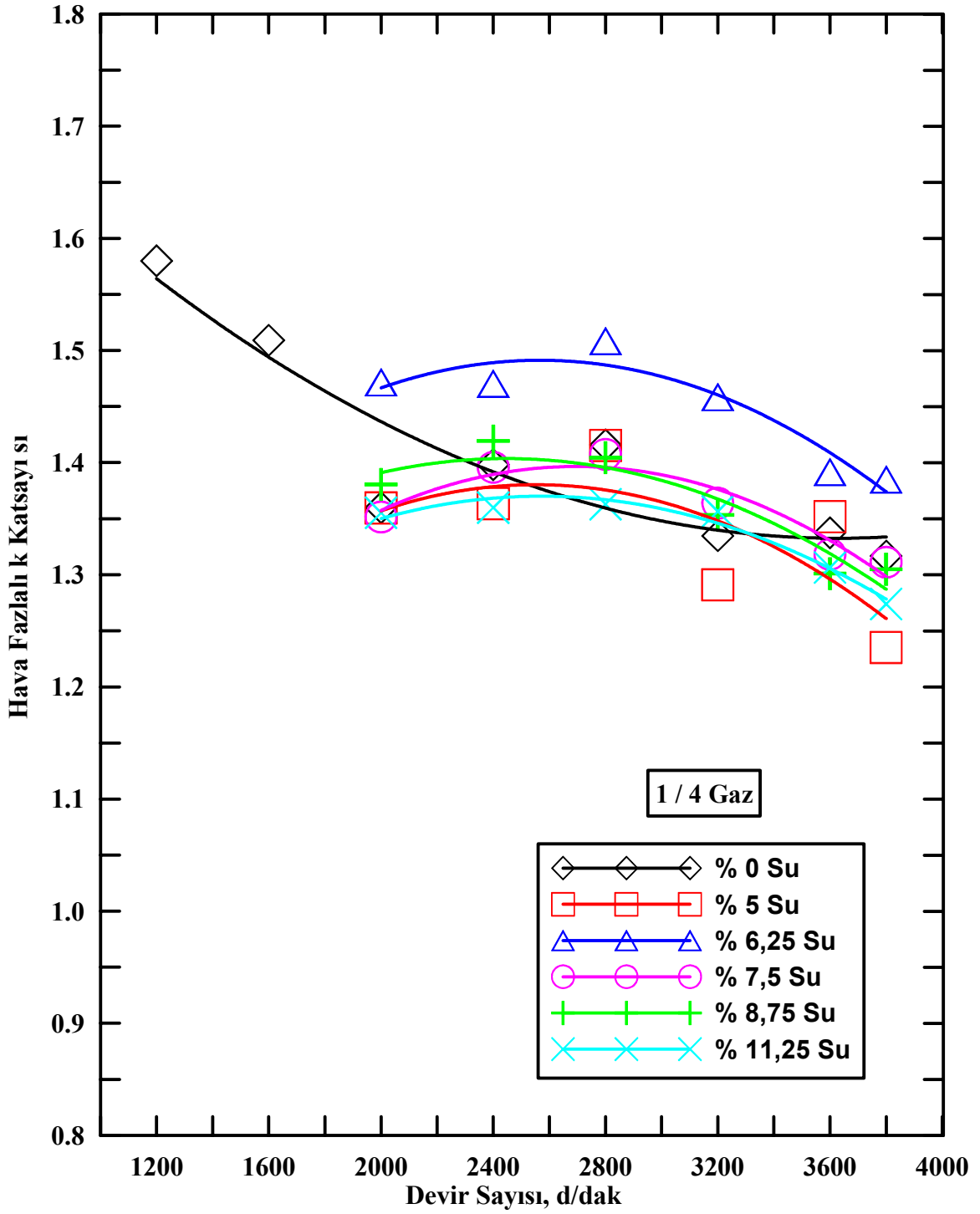
Şekil 82. 1/4 gaz konumunda, farklı su oranları için efektif verimin devir sayısına göre değişimi

### Özgül Yakıt Tüketimi



Şekil 83. 1/4 gaz konumunda, farklı su oranları için özgül yakıt tüketiminin devir sayısına göre değişimi

## Hava Fazlalık Katsayısı

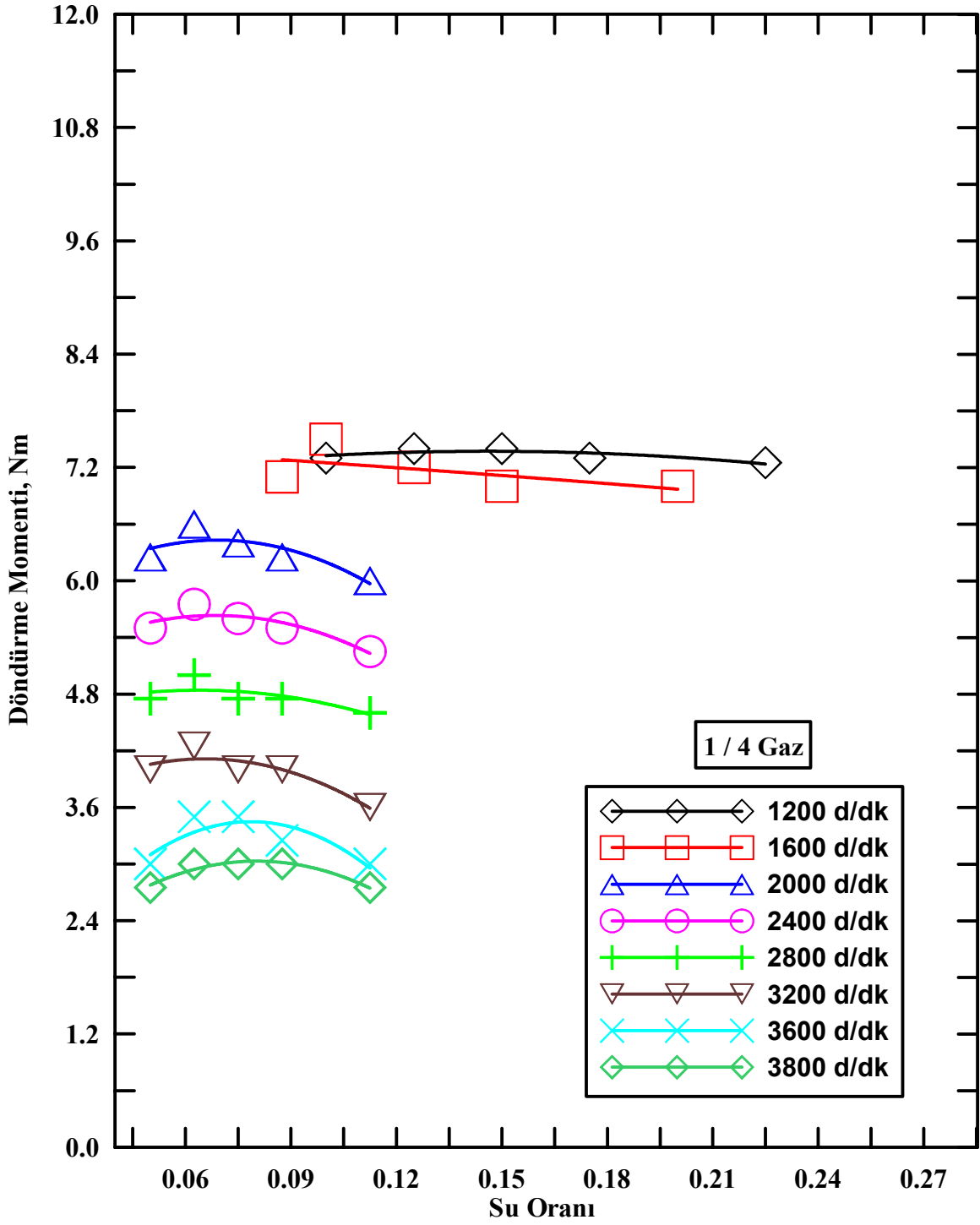


Şekil 84. 1/4 gaz konumunda, farklı su oranları için hava fazlalık katsayısının devir sayısına göre değişimi

### **3.1.4.2. 1/4 Gaz Konumunda, Farklı Devir Sayıları İçin Motor Performans Karakteristiklerinin Su Oranına Göre Değişimleri**

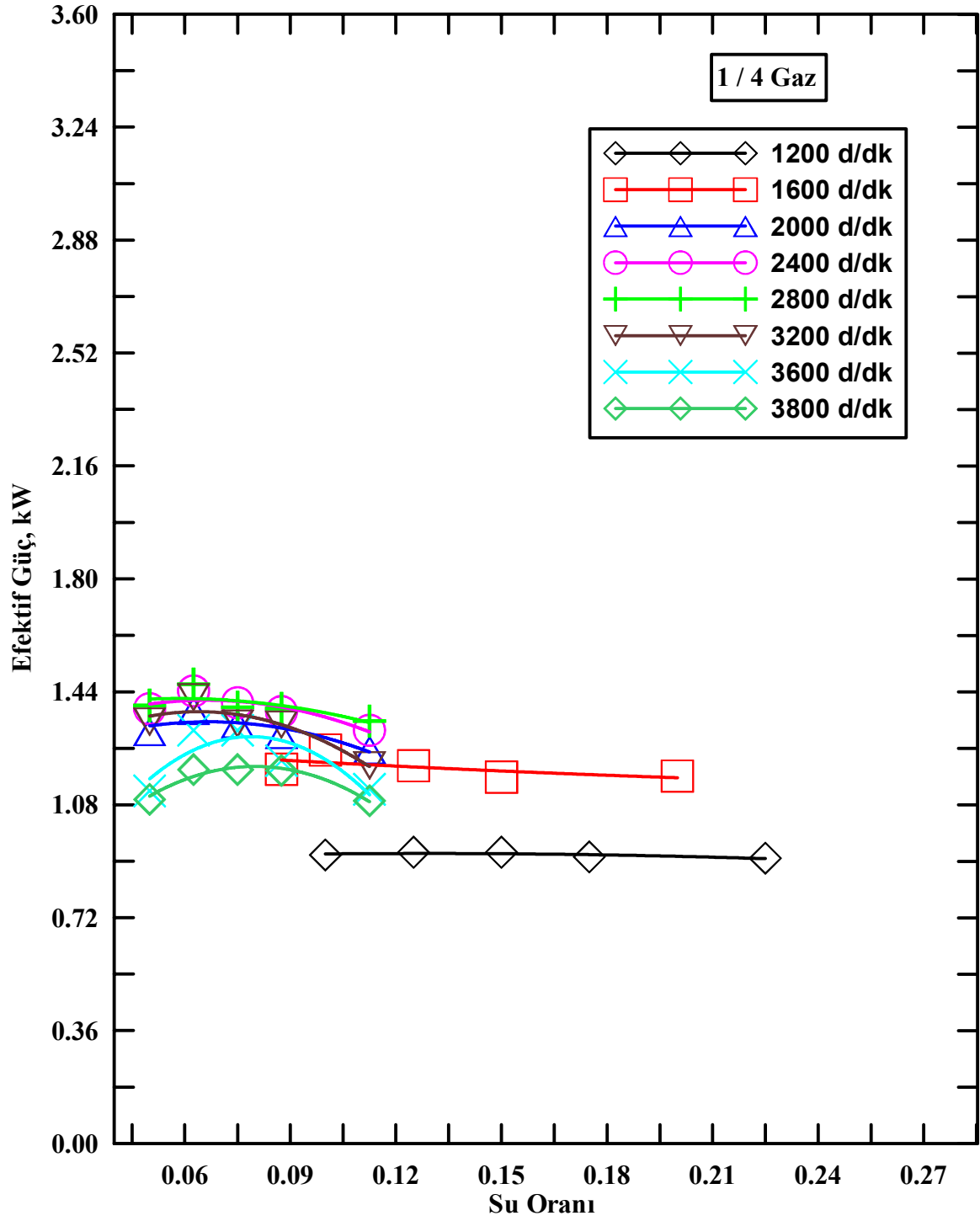
Bu bölümde; 1/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için motor performans karakteristiklerinin su oranına göre değişimleri ile ilgili karşılaştırma eğrileri Şekil 85-89'da sunulmuştur. Farklı su oranlarının motor performans karakteristikleri üzerindeki etkileri ilk bölümlerde açıklandığı için bu bölümde karşılaştırma eğrileri sunulmuş, söz konusu eğrileri irdelemeye gerek duyulmamıştır.

## Döndürme Momenti



Şekil 85. 1/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için döndürme momentinin su oranına göre değişimi

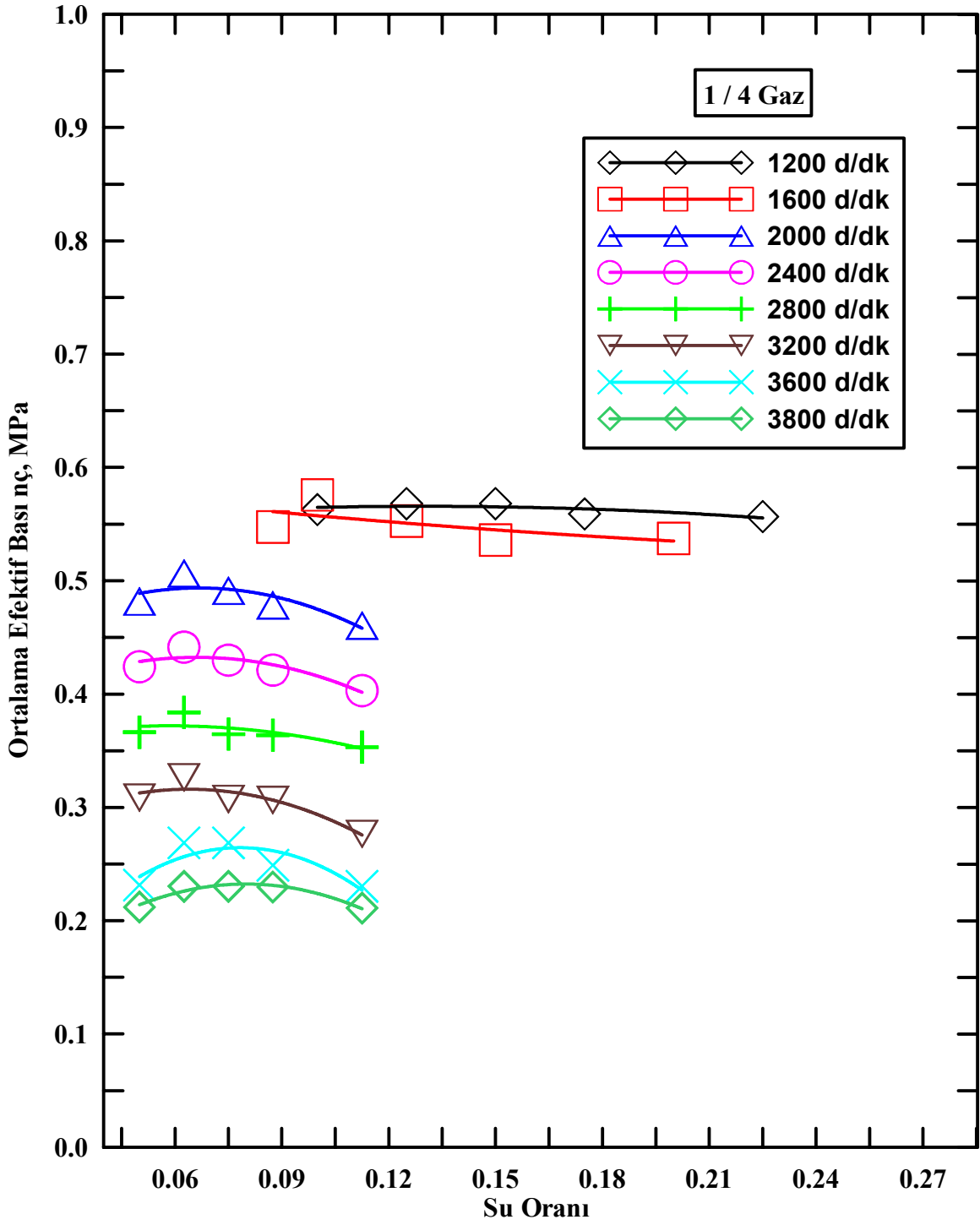
## Efektif Güç



Şekil 86. 1/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için efektif gücün su oranına göre değişimi

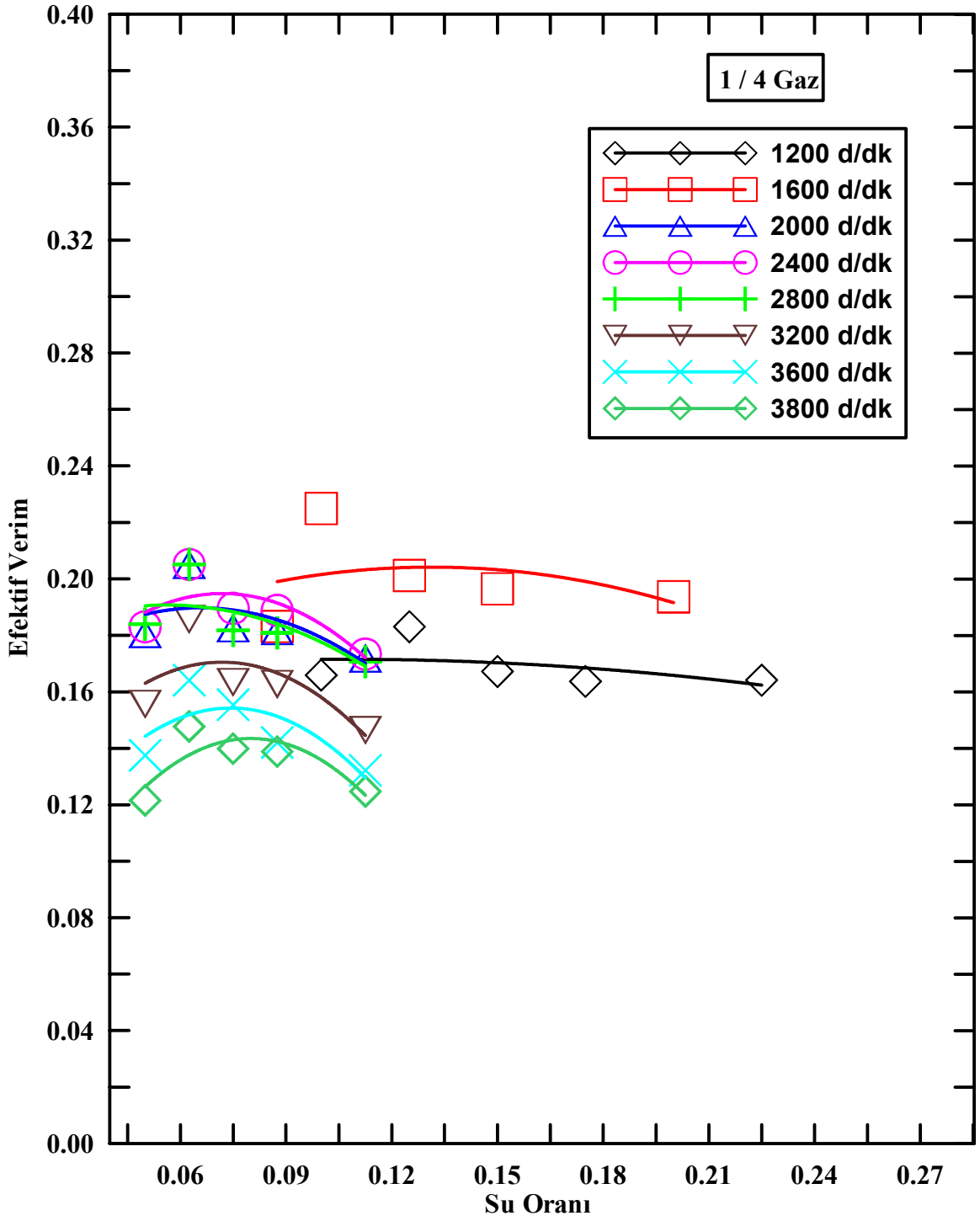


## Ortalama Efektif Basınc



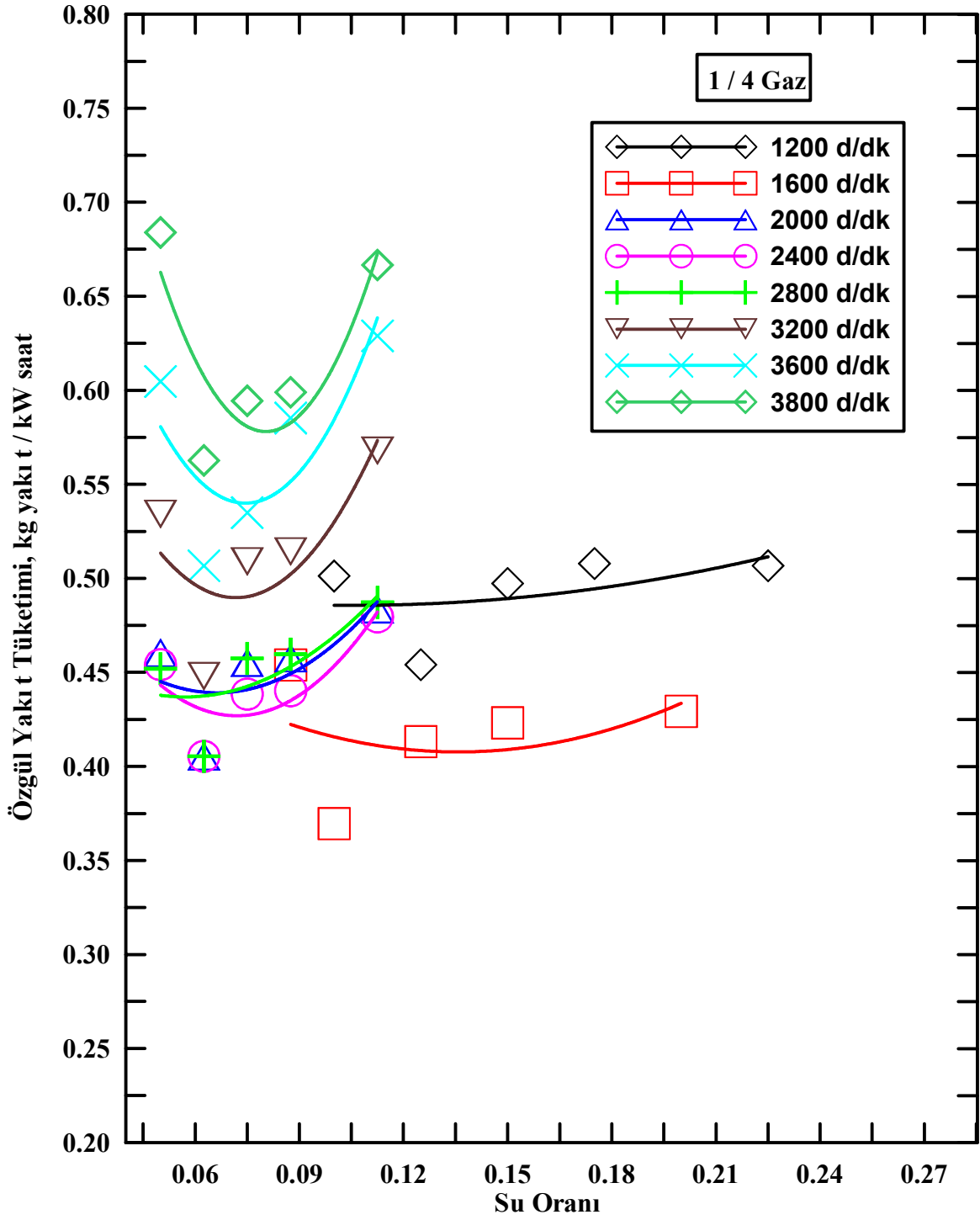
Şekil 87. 1/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için ortalama efektif basıncın su oranına göre değişimi

## Efektif Verim



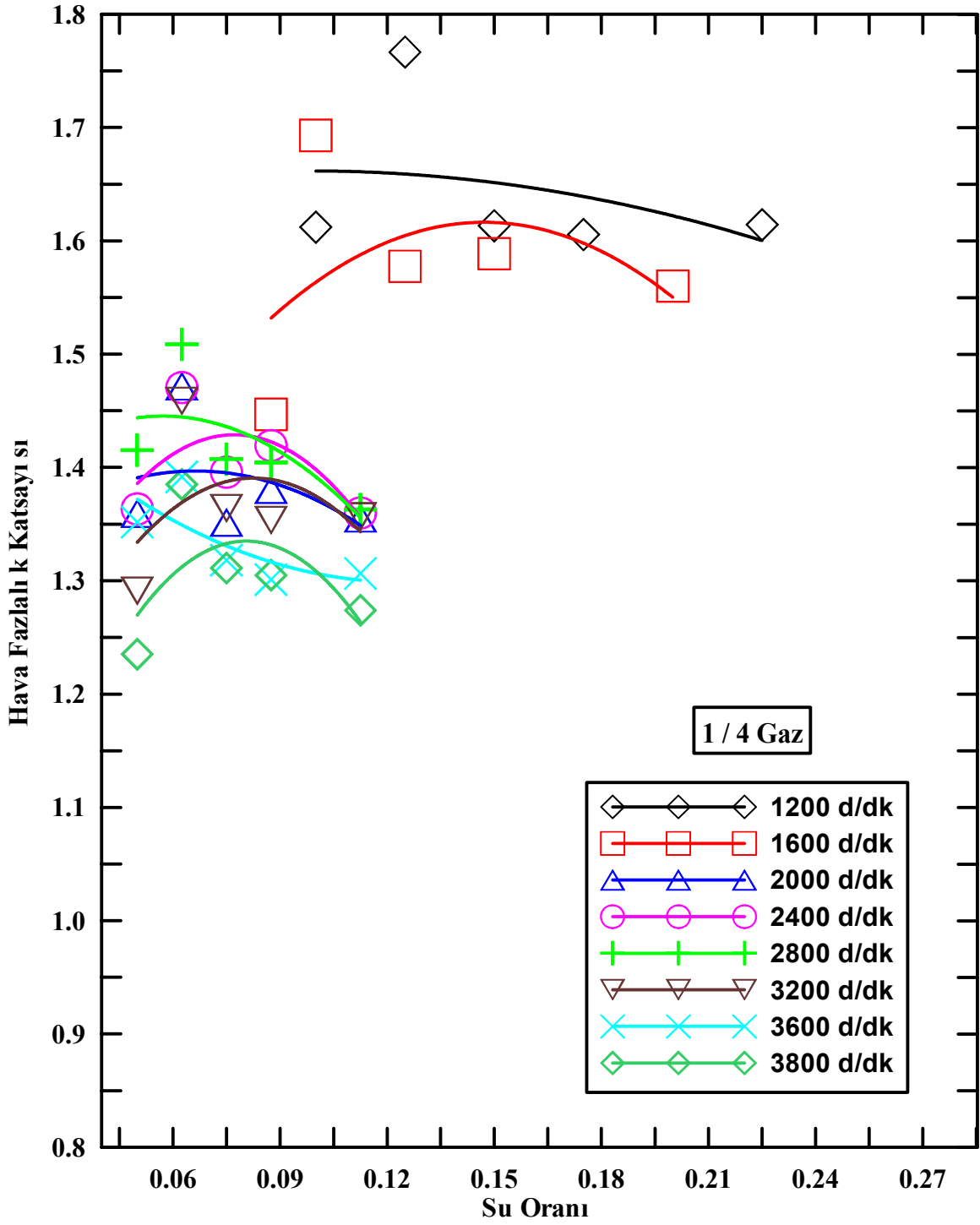
Şekil 88. 1/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için efektif verimin su oranına göre değişimi

### Özgül Yakıt Tüketimi



Şekil 89. 1/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için özgül yakıt tüketiminin su oranına göre değişimi

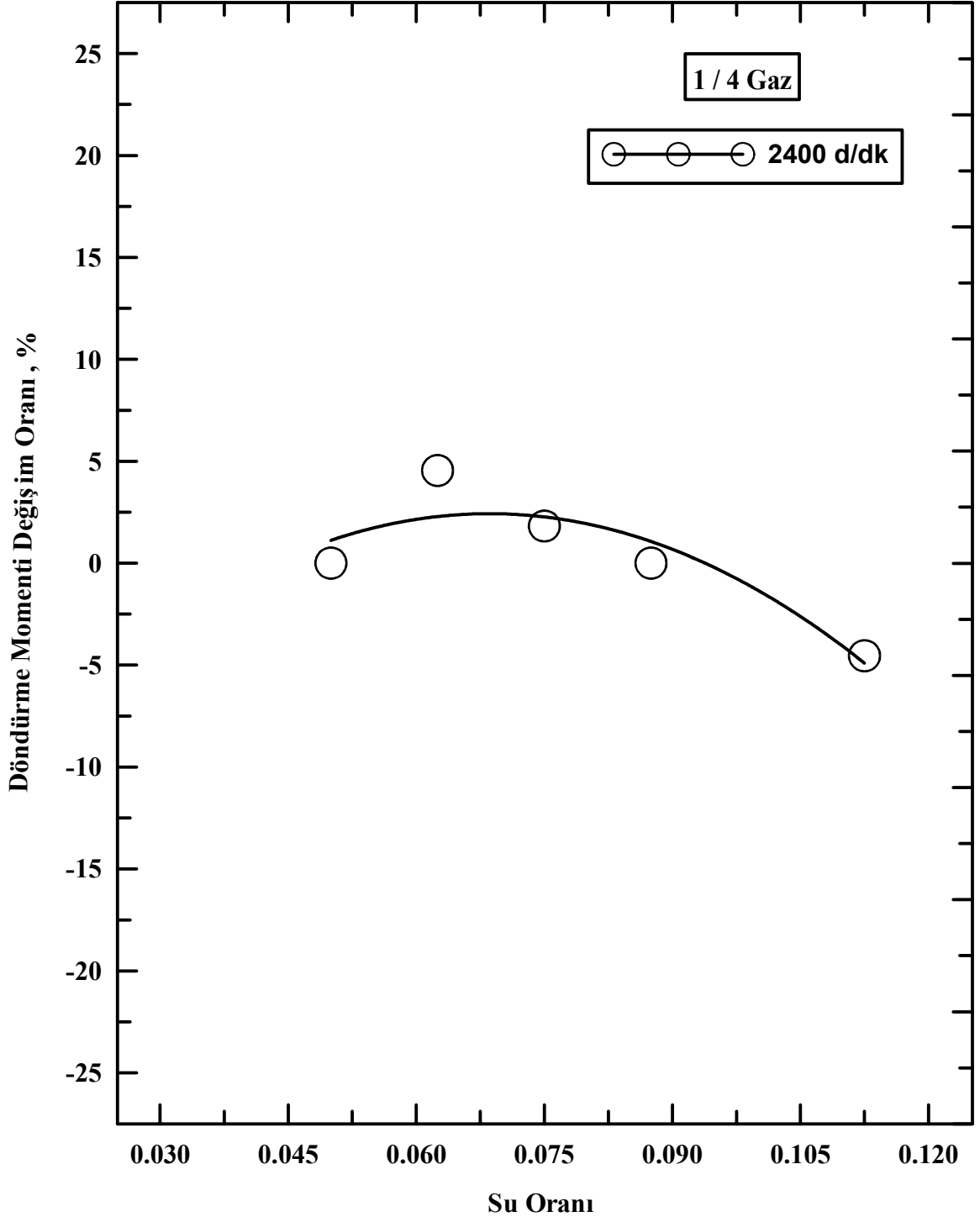
## Hava Fazlalık Katsayısı



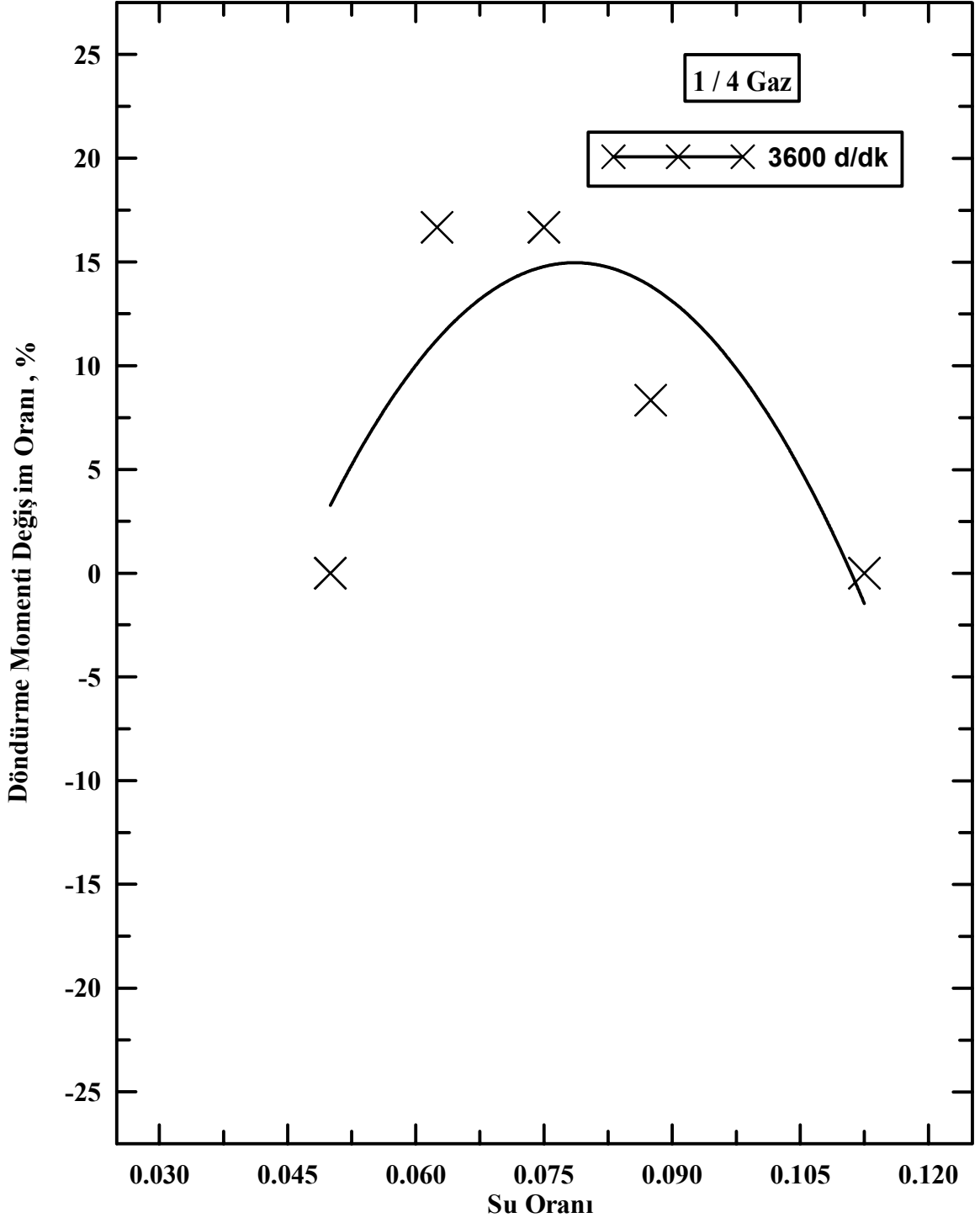
Şekil 90. 1/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için hava fazlalık katsayısının su oranına göre değişimi

### **3.1.4.3. 1/4 Gaz Konumunda, Motor Performans Karakteristiklerinin Değişim Oranlarının Su Oranına Göre Değişimleri**

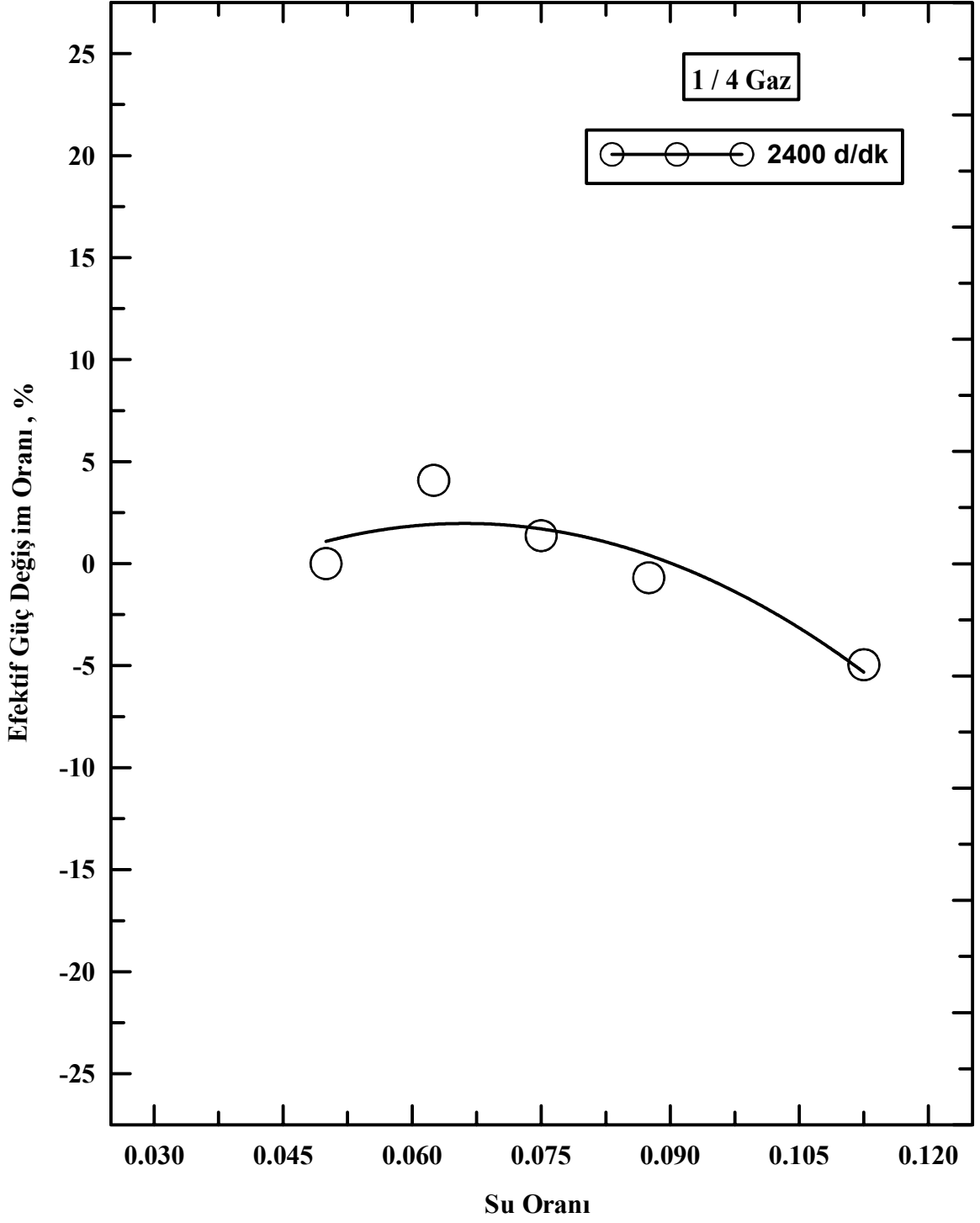
Bu bölümde; 1/4 gaz konumunda motor performans karakteristiklerinin değişim oranlarının her devir sayısı için su oranına göre değişimleri hesaplanarak, tabloları hazırlanmış ve eğrileri çizilmiştir. Sözü geçen toplam 24 adet tabloyu ve eğriyi bu metnin içinde sunmak olanağı bulunmadığı için; sadece seçilen iki devir sayısı (2400 d/dak, 3600 d/dak) için çizilen eğriler Şekil 91-102'de verilmiştir. Daha önceki bölümlerde değişim oranları açıklandığı için burada tekrar açıklamaya gerek duyulmamıştır. Diğer devir sayıları için değişim tabloları ise Ek'te sunulmuştur.



Şekil 91. 1/4 gaz konumunda,  $n=2400$  d/dak'da döndürme momentinin değişim oranının su oranına göre değişimi

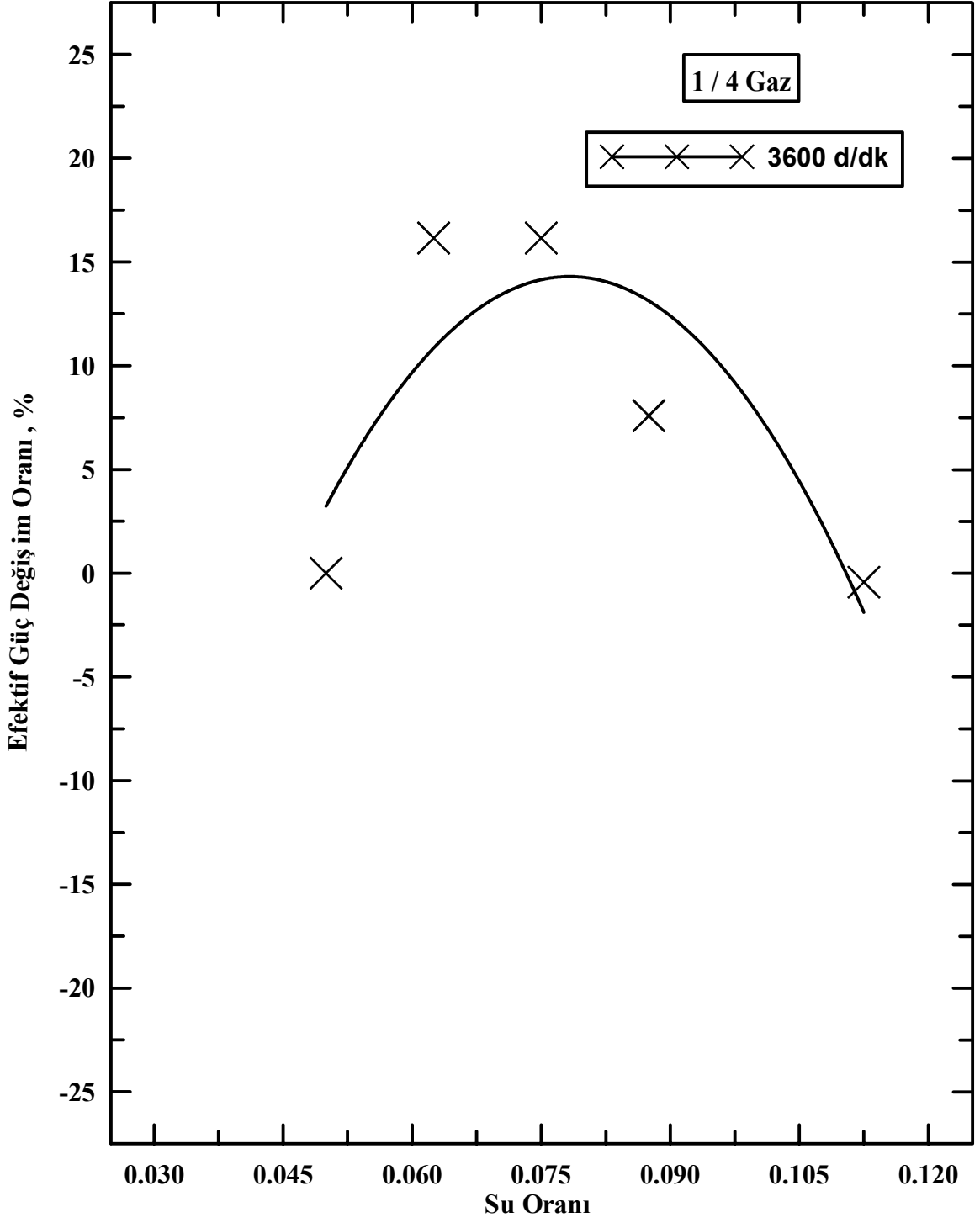


Şekil 92. 1/4 gaz konumunda,  $n=3600$  d/dak'da döndürme momentinin değişim oranının su oranına göre değişimi

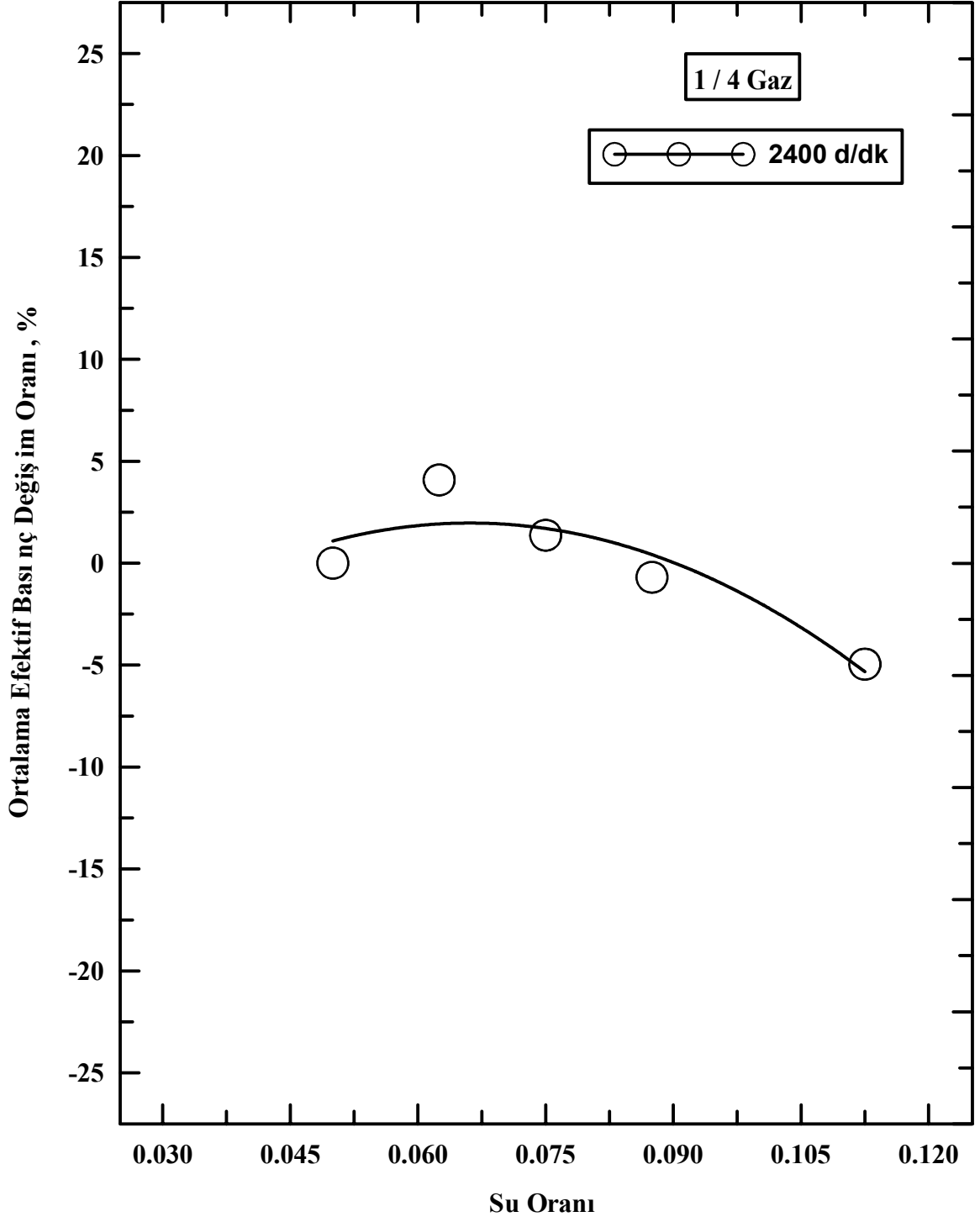


Şekil 93. 1/4 gaz konumunda,  $n=2400$  d/dak'da efektif gücün değişim oranının su oranına göre değişimi

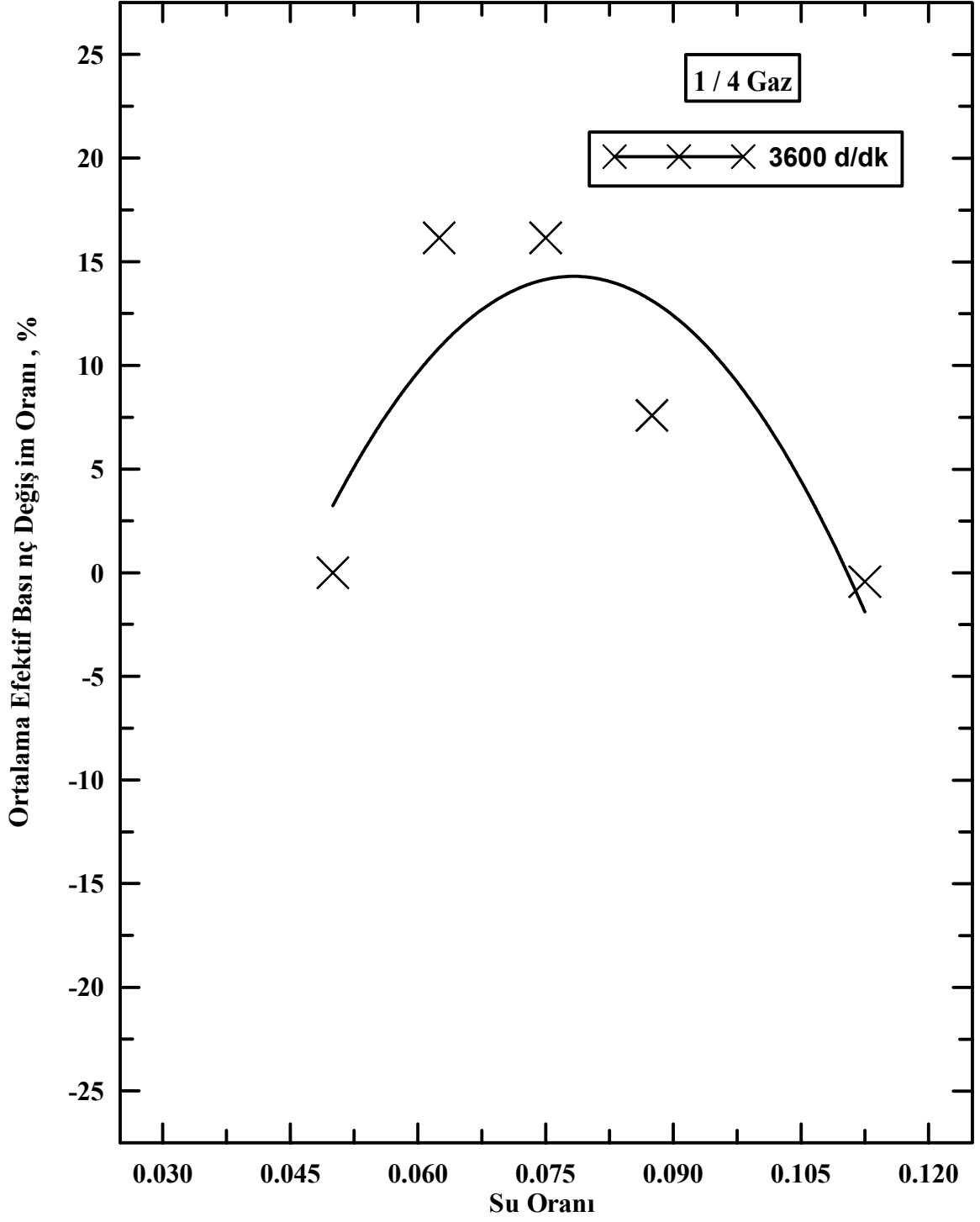




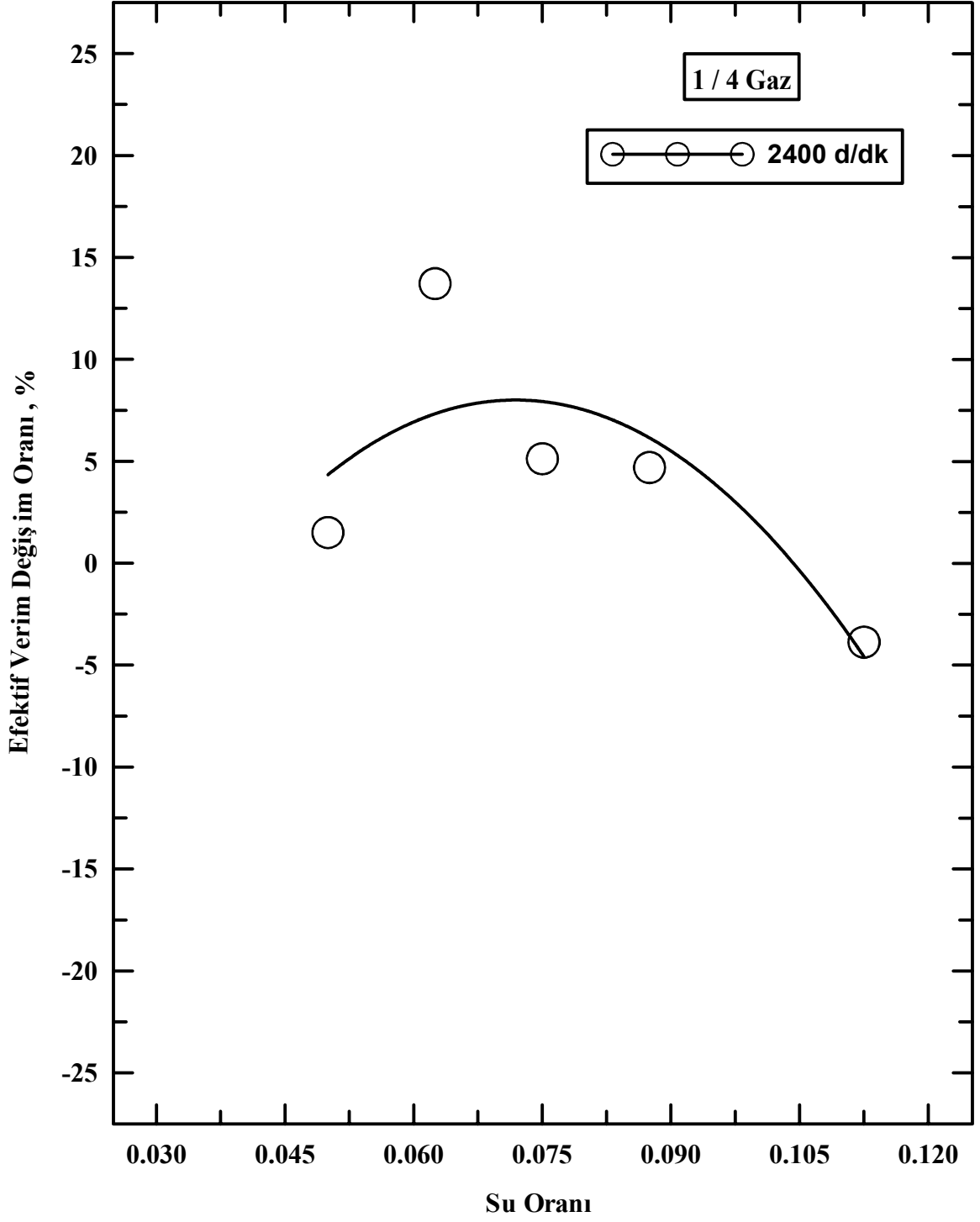
Şekil 94. 1/4 gaz konumunda,  $n=3600$  d/dak'da efektif gücün değişim oranının su oranına göre değişimi



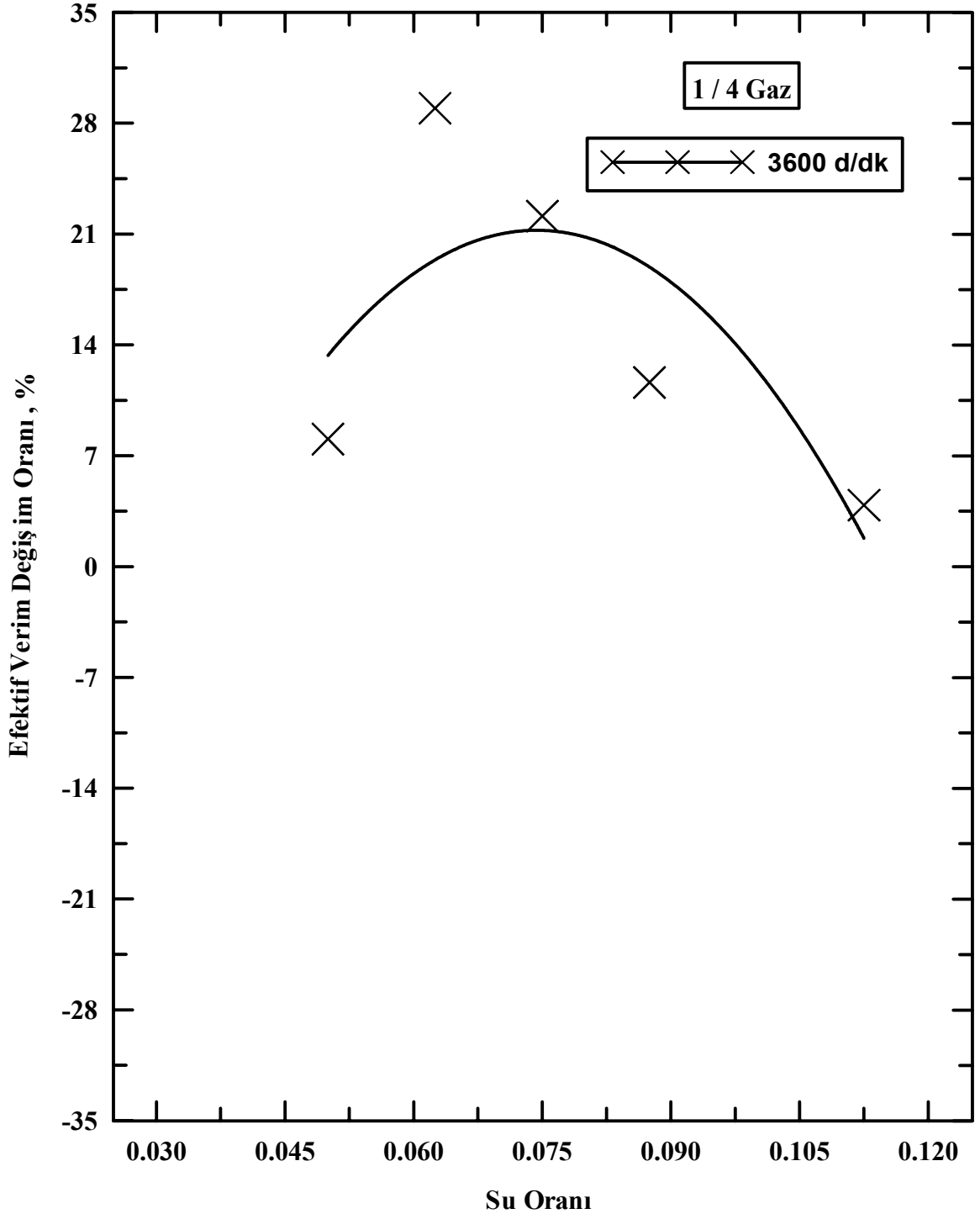
Şekil 95. 1/4 gaz konumunda,  $n=2400$  d/dak'da ortalama efektif basıncın değişim oranının su oranına göre değişimi



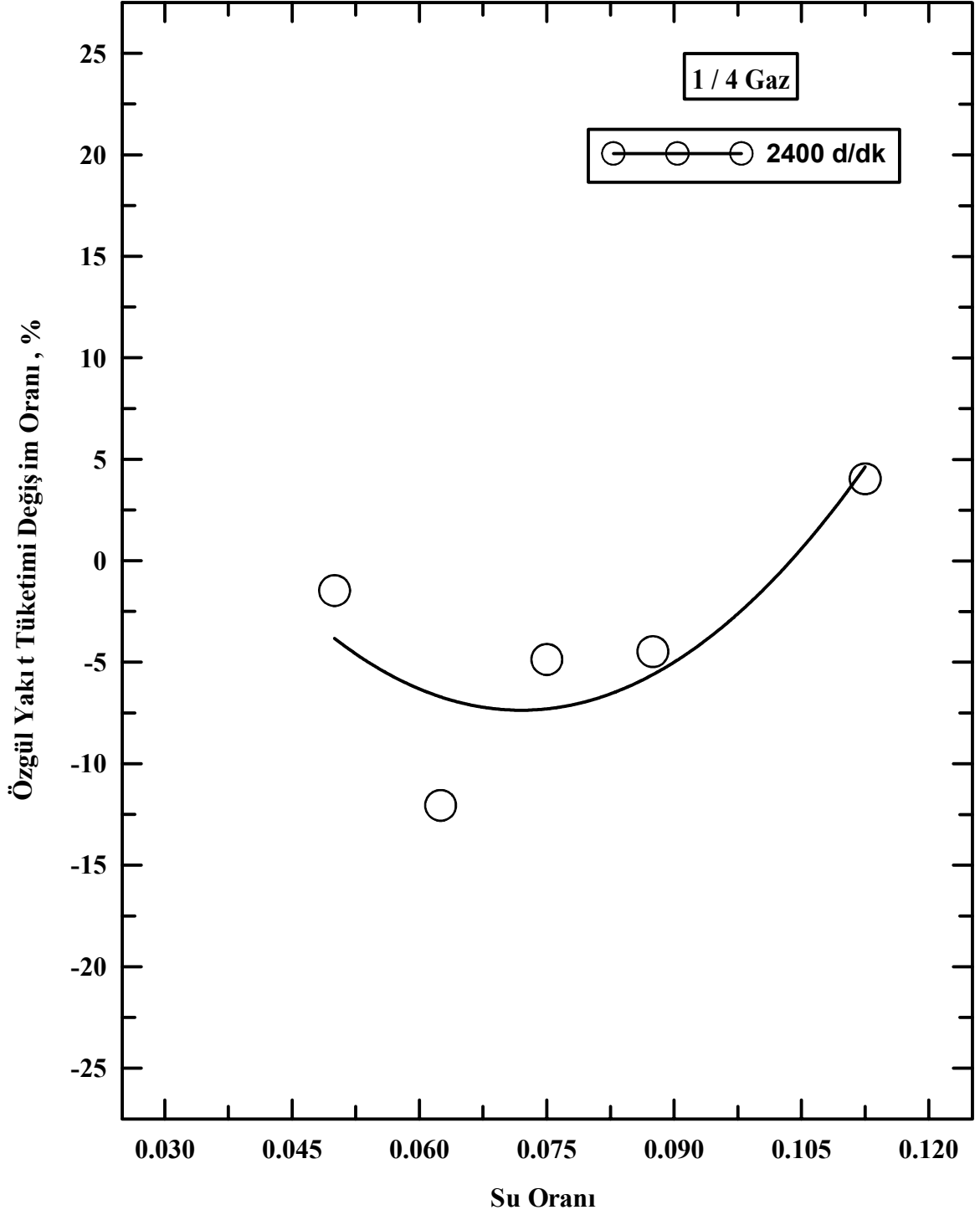
Şekil 96. 1/4 gaz konumunda,  $n=3600$  d/dak'da ortalama efektif basıncın değişim oranının su oranına göre değişimi



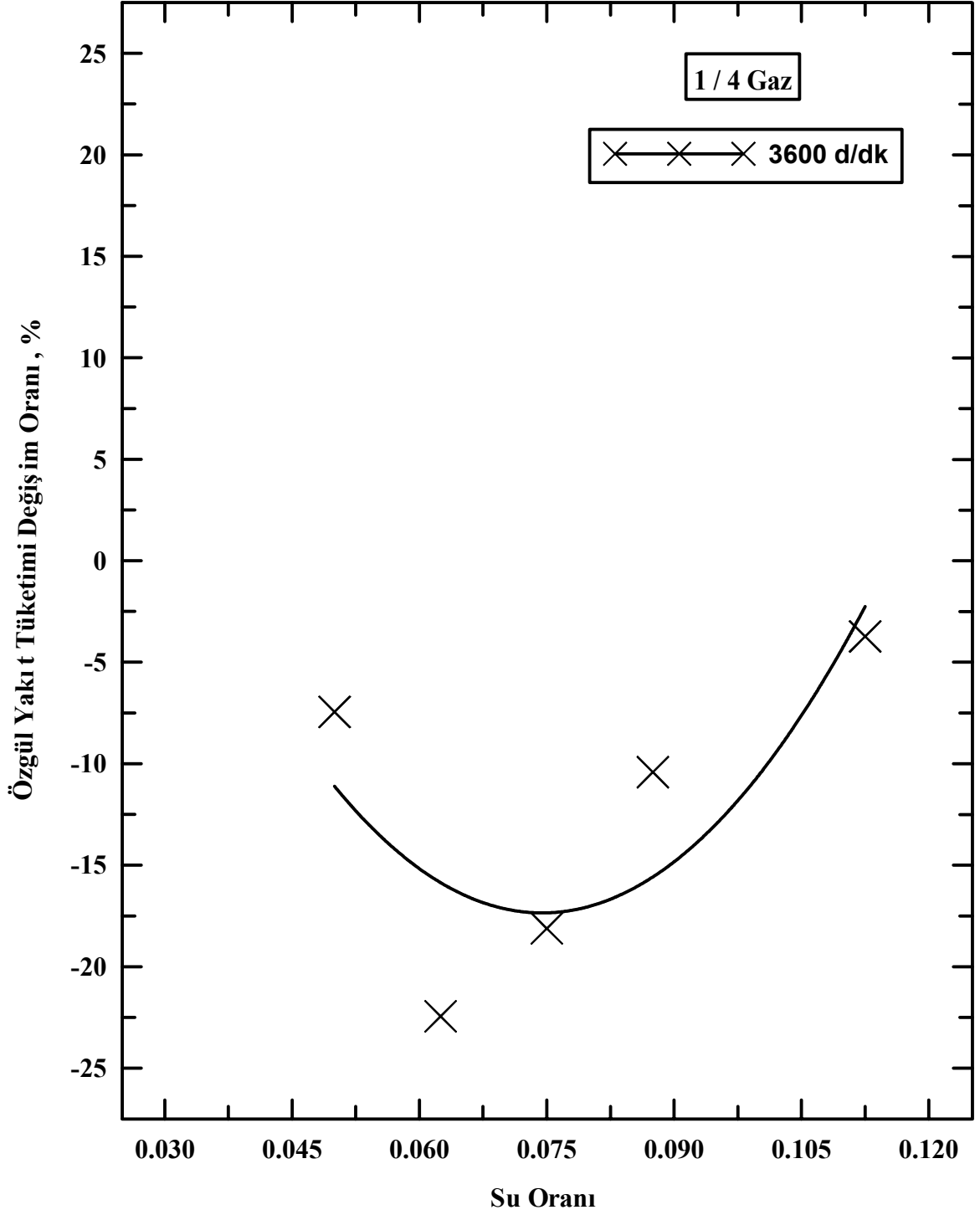
Şekil 97. 1/4 gaz konumunda,  $n=2400$  d/dak'da efektif verimin değişim oranının su oranına göre değişimi



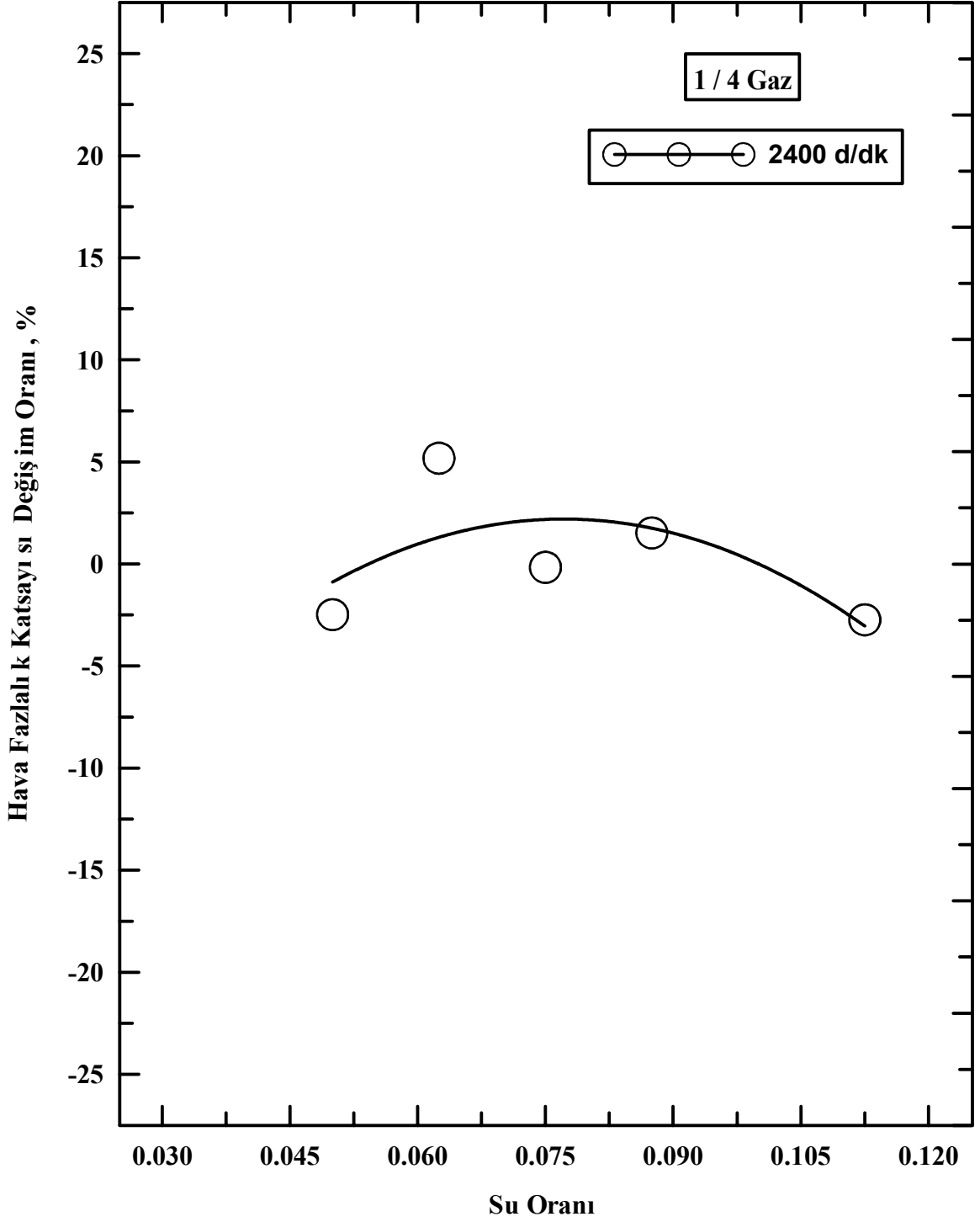
Şekil 98. 1/4 gaz konumunda,  $n=3600$  d/dak'da efektif verimin değişim oranının su oranına göre değişimi



Şekil 99. 1/4 gaz konumunda,  $n=2400$  d/dak'da özgül yakıt tüketiminin değişim oranının su oranına göre değişimi

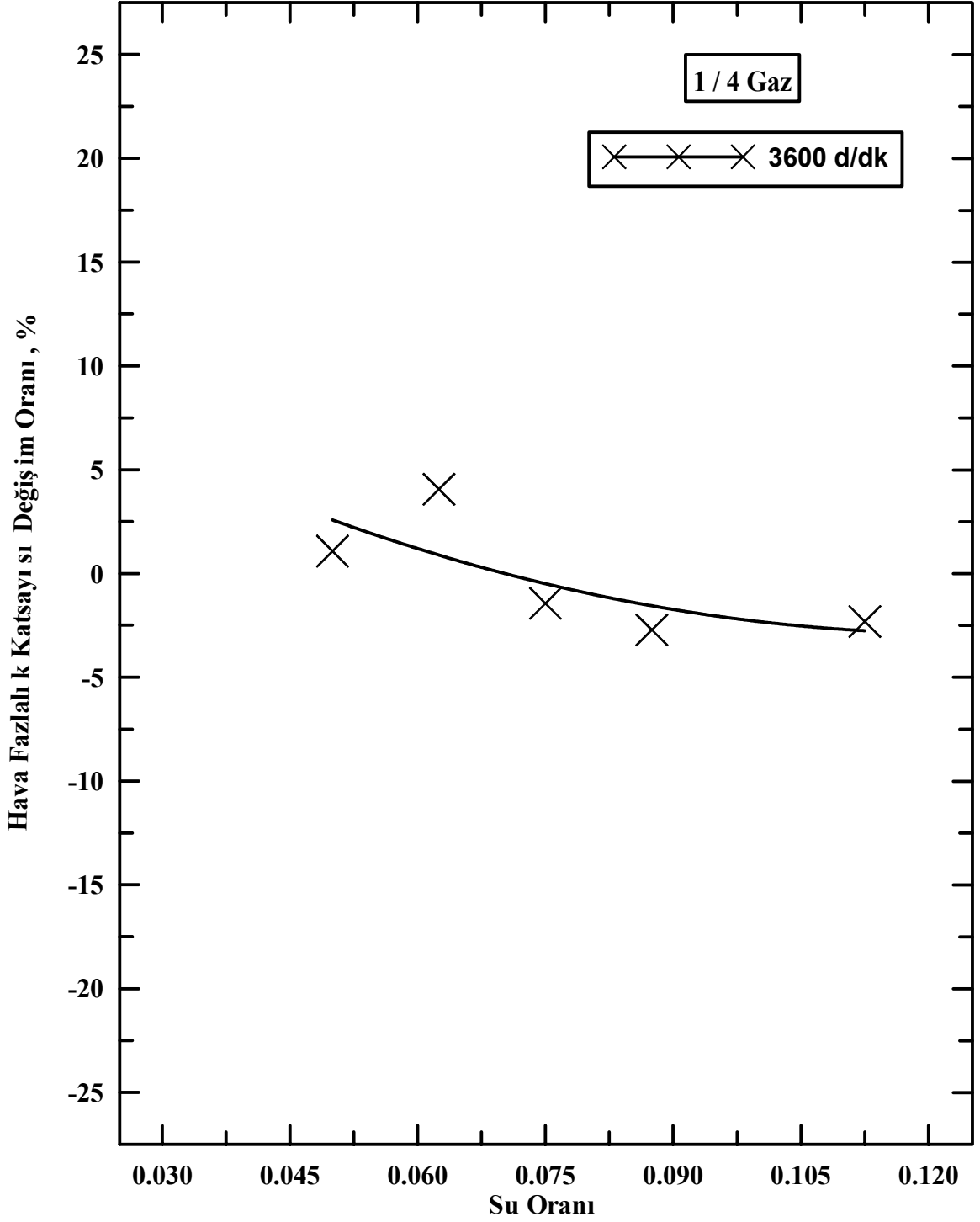


Şekil 100. 1/4 gaz konumunda,  $n=3600$  d/dak'da özgül yakıt tüketiminin değişim oranının su oranına göre değişimi



Şekil 101. 1/4 gaz konumunda,  $n=2400$  d/dak'da hava fazlalık katsayısının değişim oranının su oranına göre değişimi





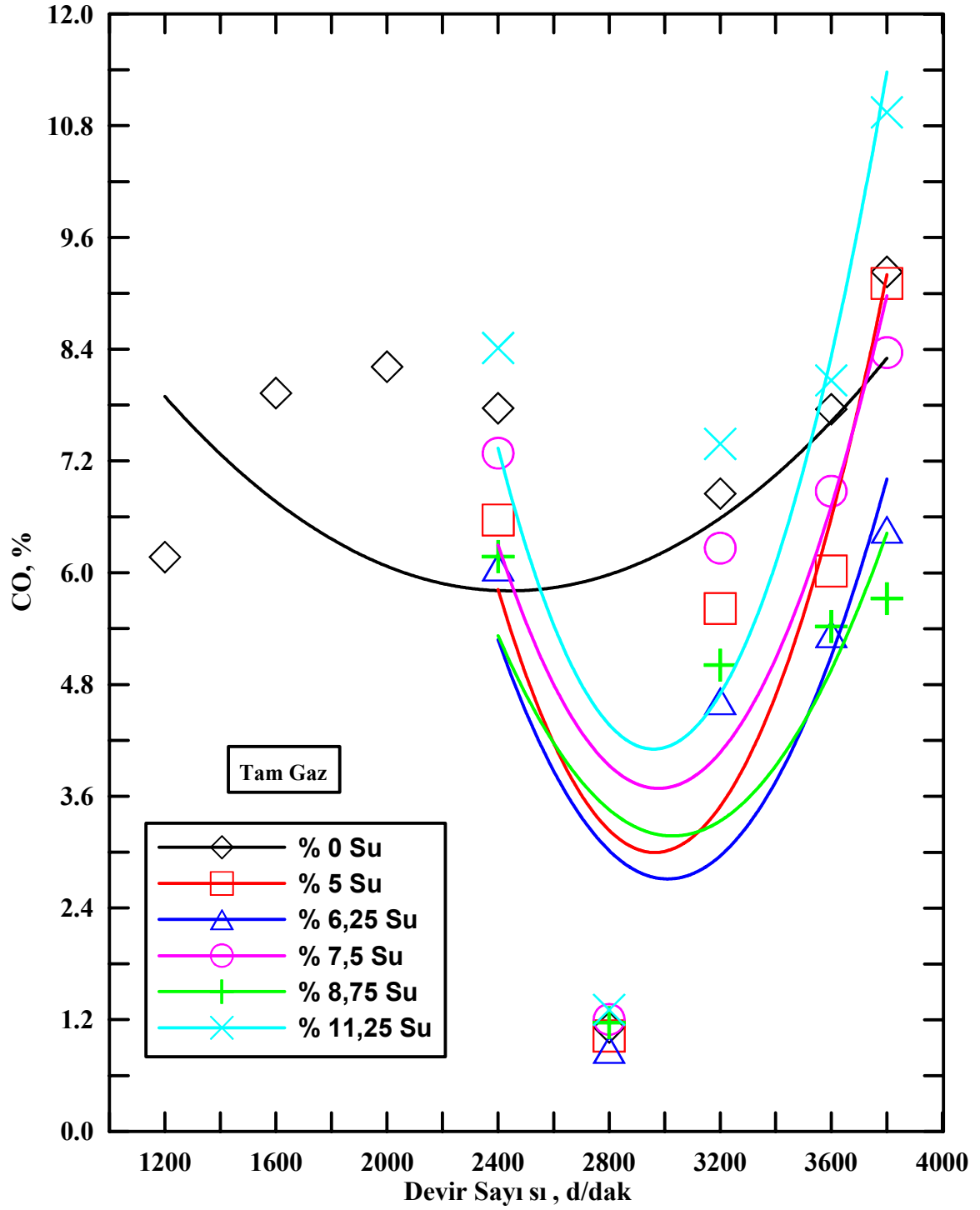
Şekil 102. 1/4 gaz konumunda,  $n=3600$  d/dak'da hava fazlalık katsayısı değişim oranının su oranına göre değişimi

### **3.2. Sabit Gaz Konumlarında, Eksoz Emisyonlarının Devir Sayısına ve Su Oranına Göre Değişimleri**

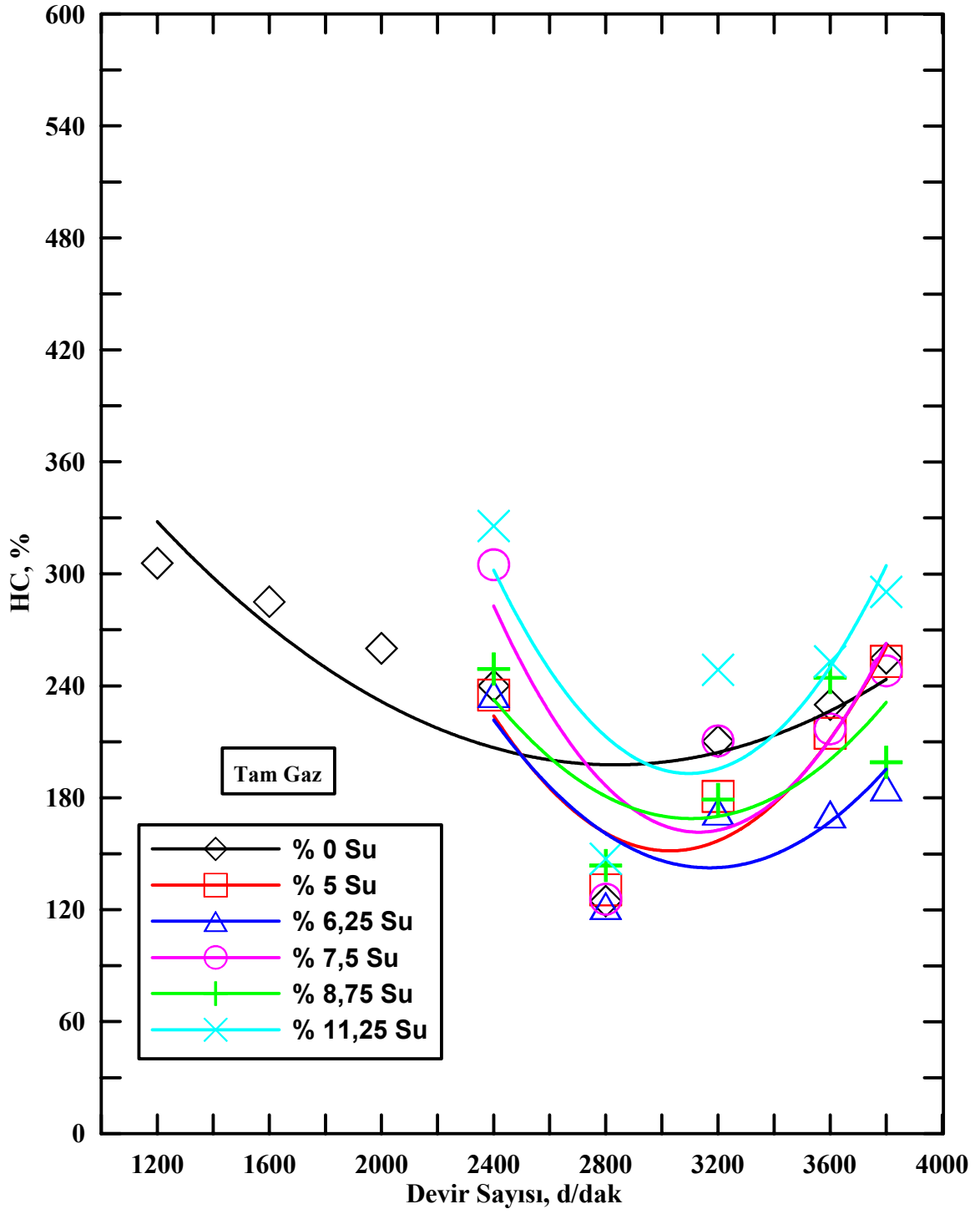
Tez çalışmasının bu bölümünde; benzin motorlarında emme havasına su eklenmesinin eksoz emisyonları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneylerde eksoz gazı analizör cihazı ile CO ve HC emisyon ölçümü yapılmıştır. Söz konusu emisyonların devir sayısına ve su oranına göre değişimlerinin tabloları hazırlanarak eğrileri çizilmiştir.

#### **3.2.1 Tam Gaz Konumunda Eksoz Emisyonlarının Devir Sayısına ve Su Oranına Göre Değişimleri**

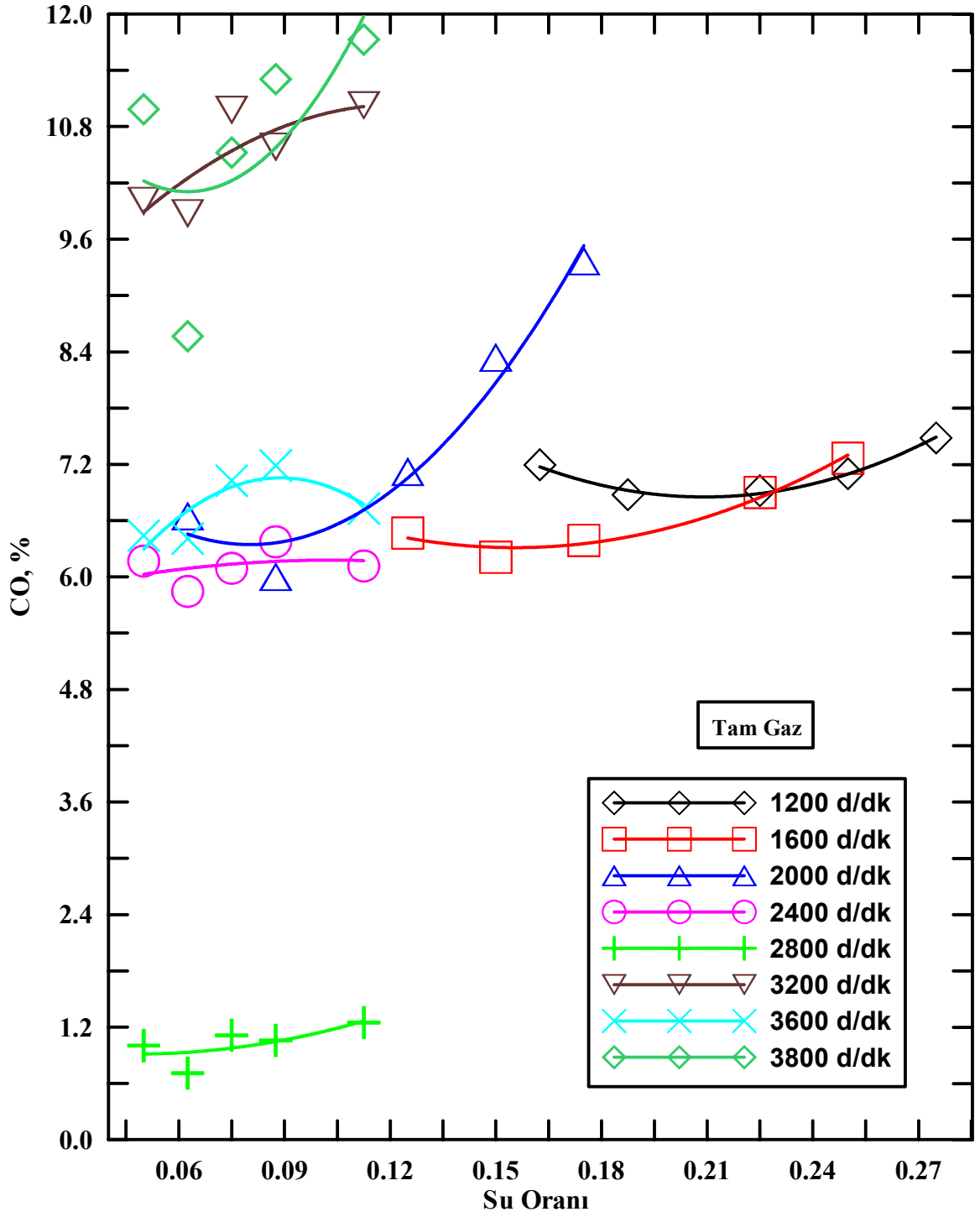
Farklı su oranları için CO ve HC emisyon değerlerinin devir sayısına göre değişimleri ile ilgili karşılaştırma eğrileri incelendiğinde, en düşük emisyon değerlerinin ~%6.25 su oranında elde edildiği görülebilir. Püskürtülen suyun soğutma etkisinden dolayı yanma sonu sıcaklıkları daha düşük değerler almakta ve bunun sonucunda benzin motorlarında görülebilecek parçalama reaksiyonları azalarak yanma iyileşmekte, böylece CO ve HC emisyonları azalmaktadır.



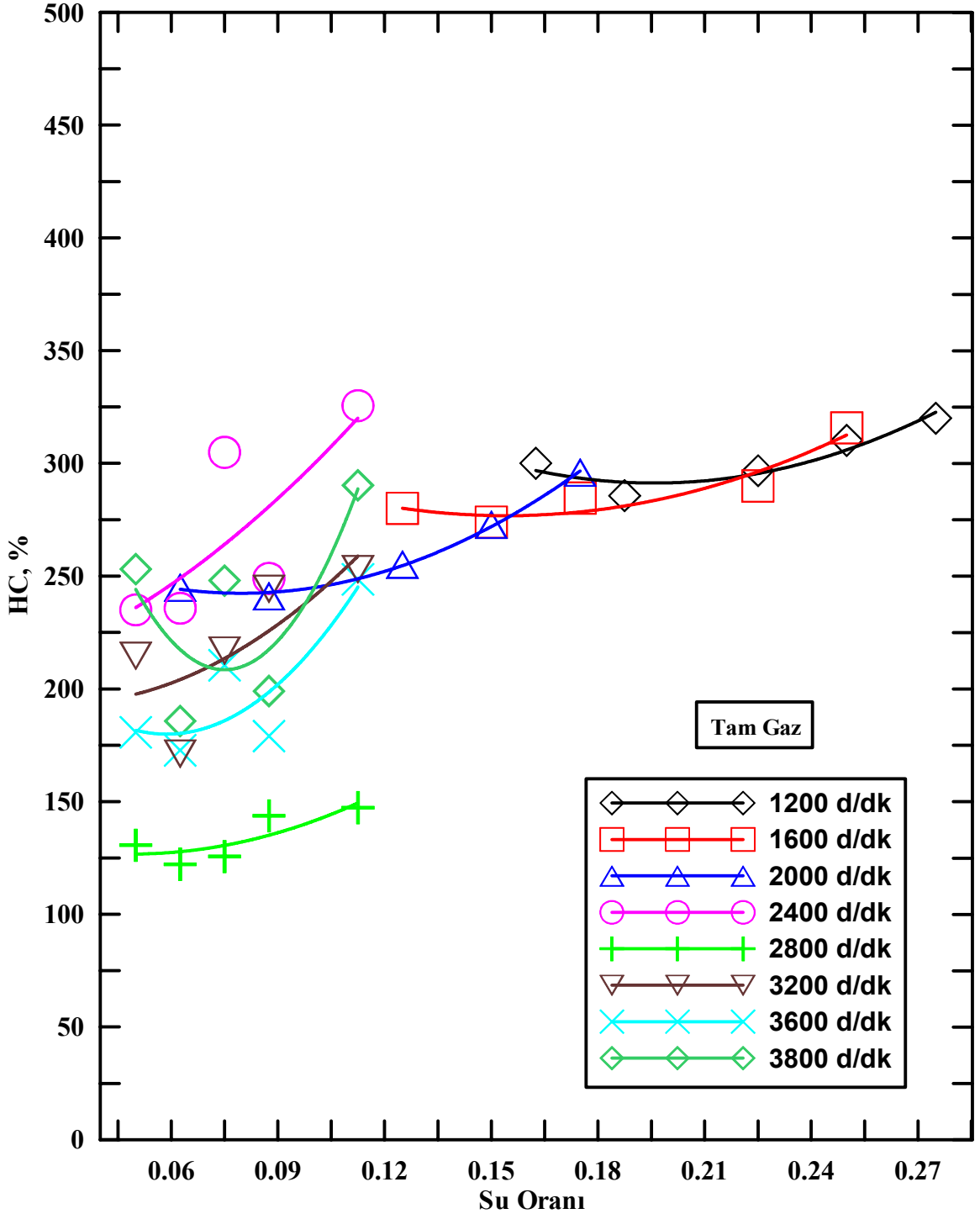
Şekil 103. Tam gaz konumunda, farklı su oranları için CO emisyonunun devir sayısına göre değişimi



Şekil 104. Tam gaz konumunda, farklı su oranları için HC emisyonunun devir sayısına göre değişimi

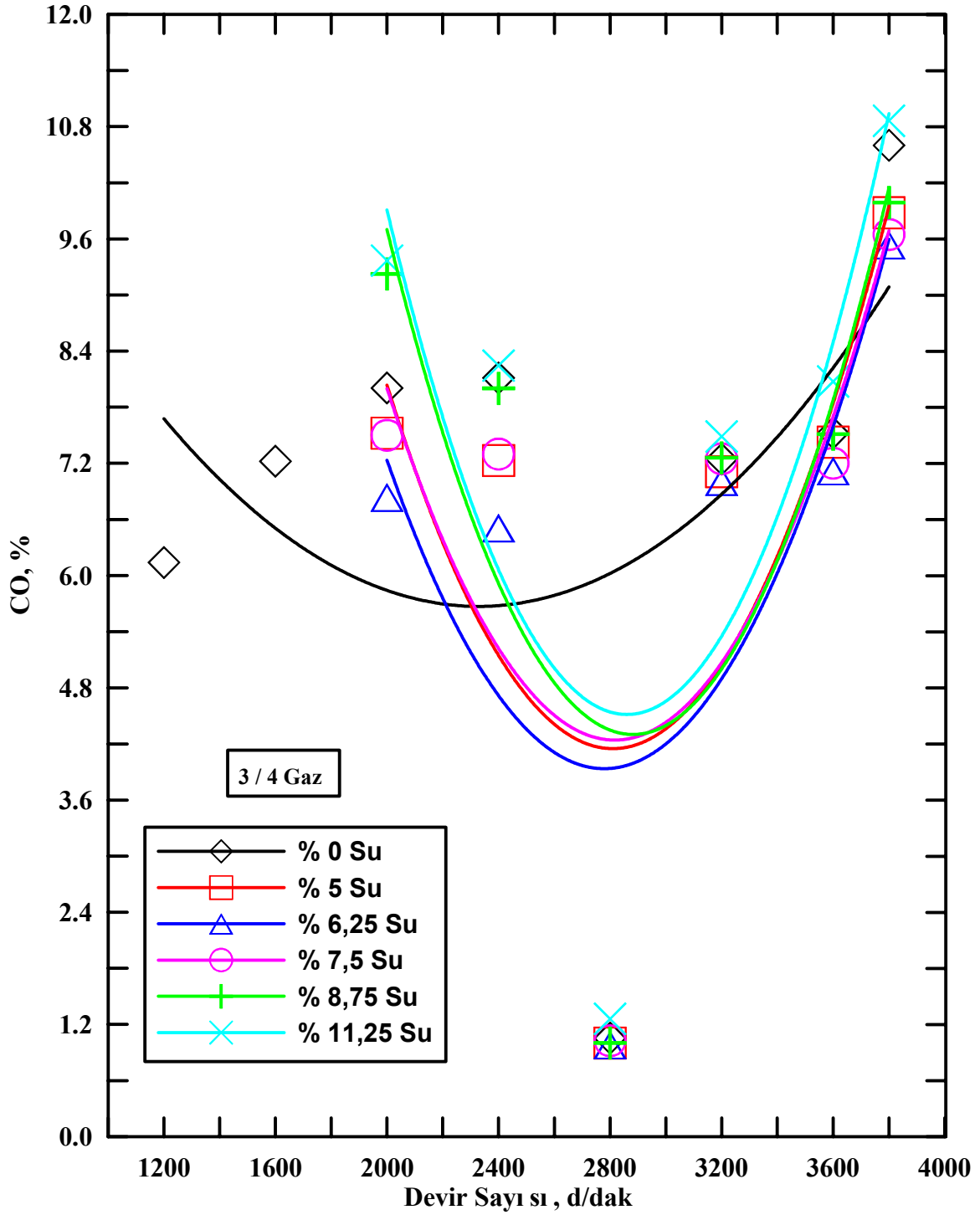


Şekil 105. Tam gaz konumunda, farklı devir sayıları için CO emisyonunun su oranına göre değişimi

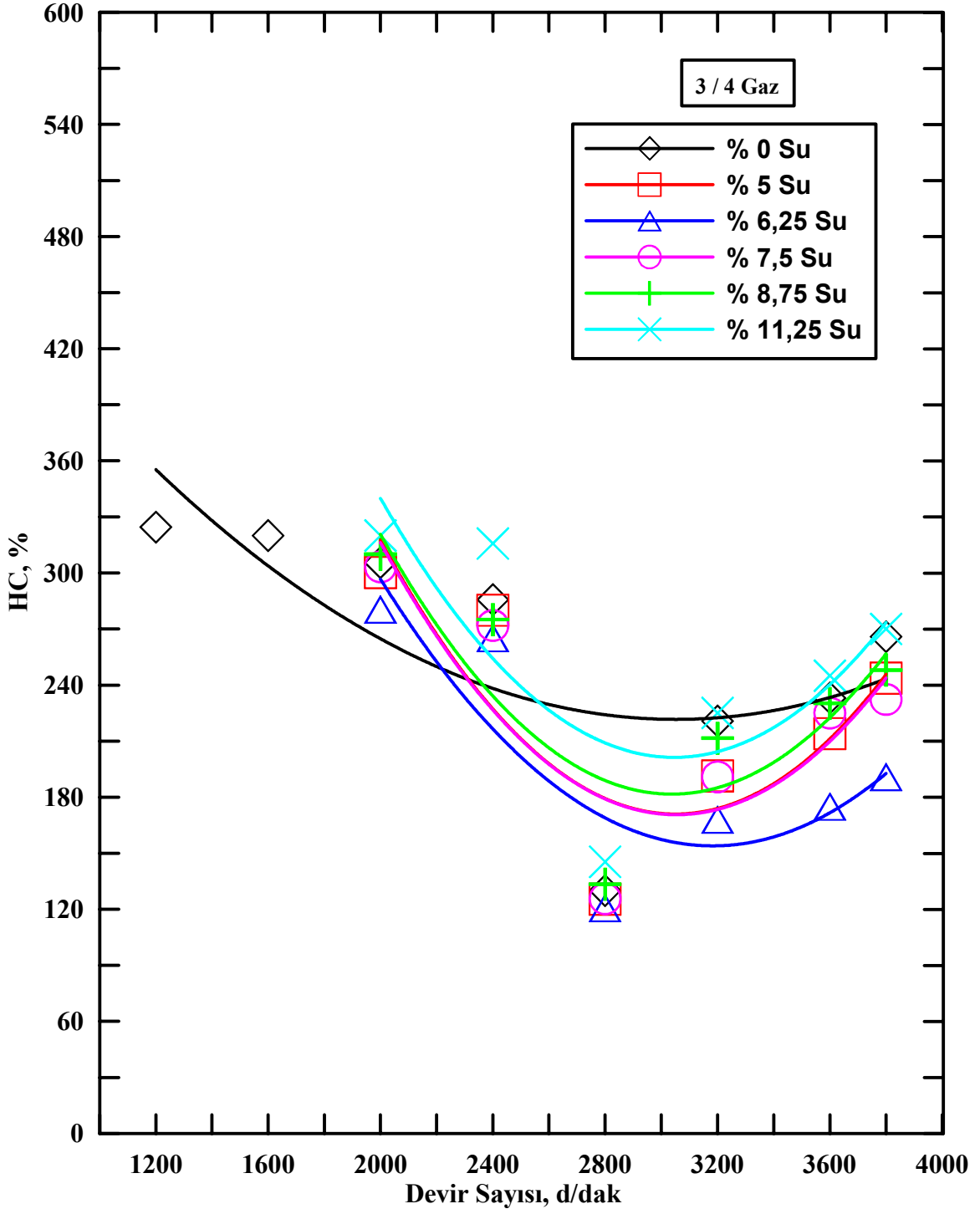


Şekil 106. Tam gaz konumunda, farklı devir sayıları için HC emisyonunun su oranına göre değişimi

### 3.2.2. 3/4 Gaz Konumunda Eksoz Emisyonlarının Devir Sayısına ve Su Oranına Göre Değişimleri

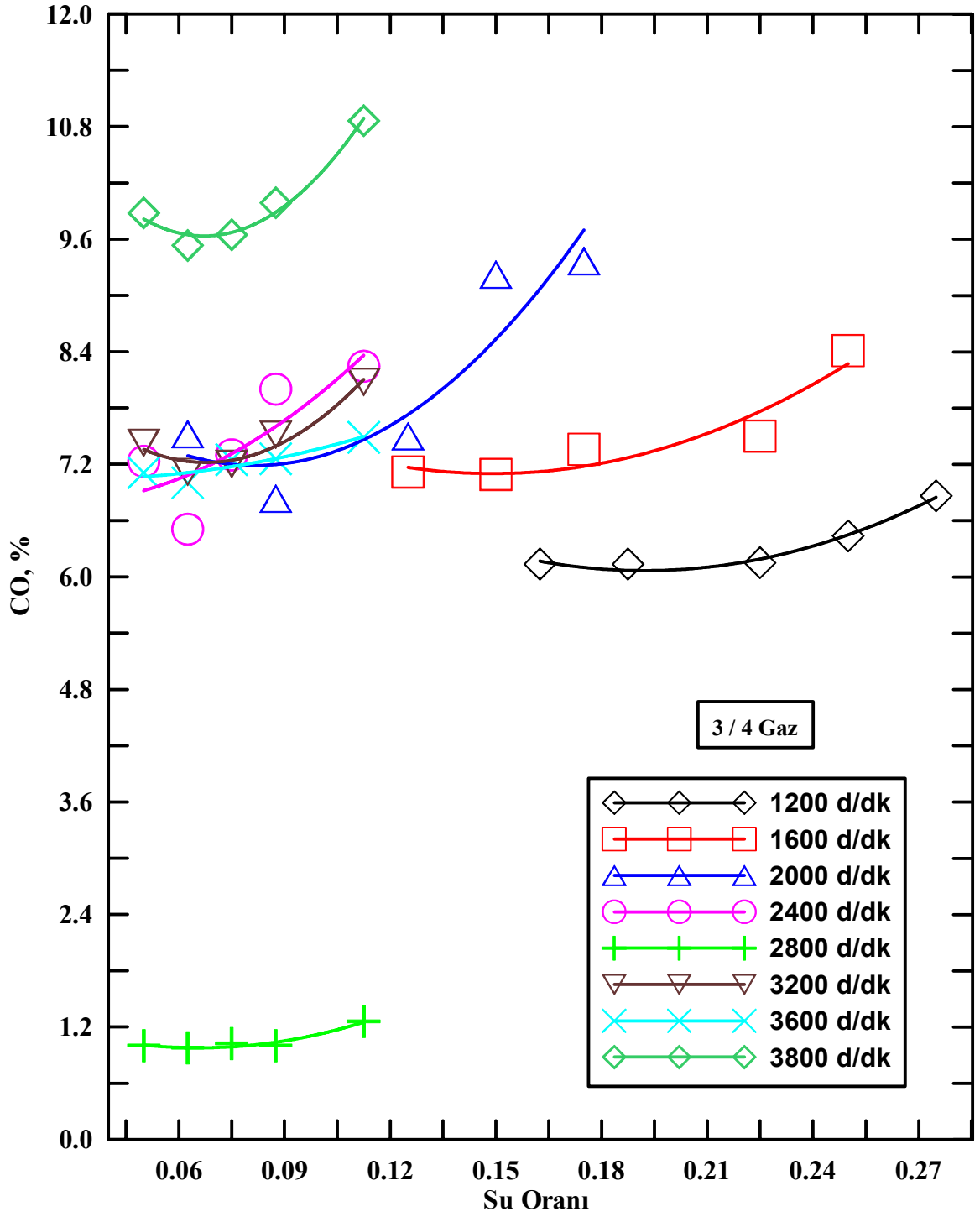


Şekil 107. 3/4 gaz konumunda, farklı su oranları için CO emisyonunun devir sayısına göre değişimi

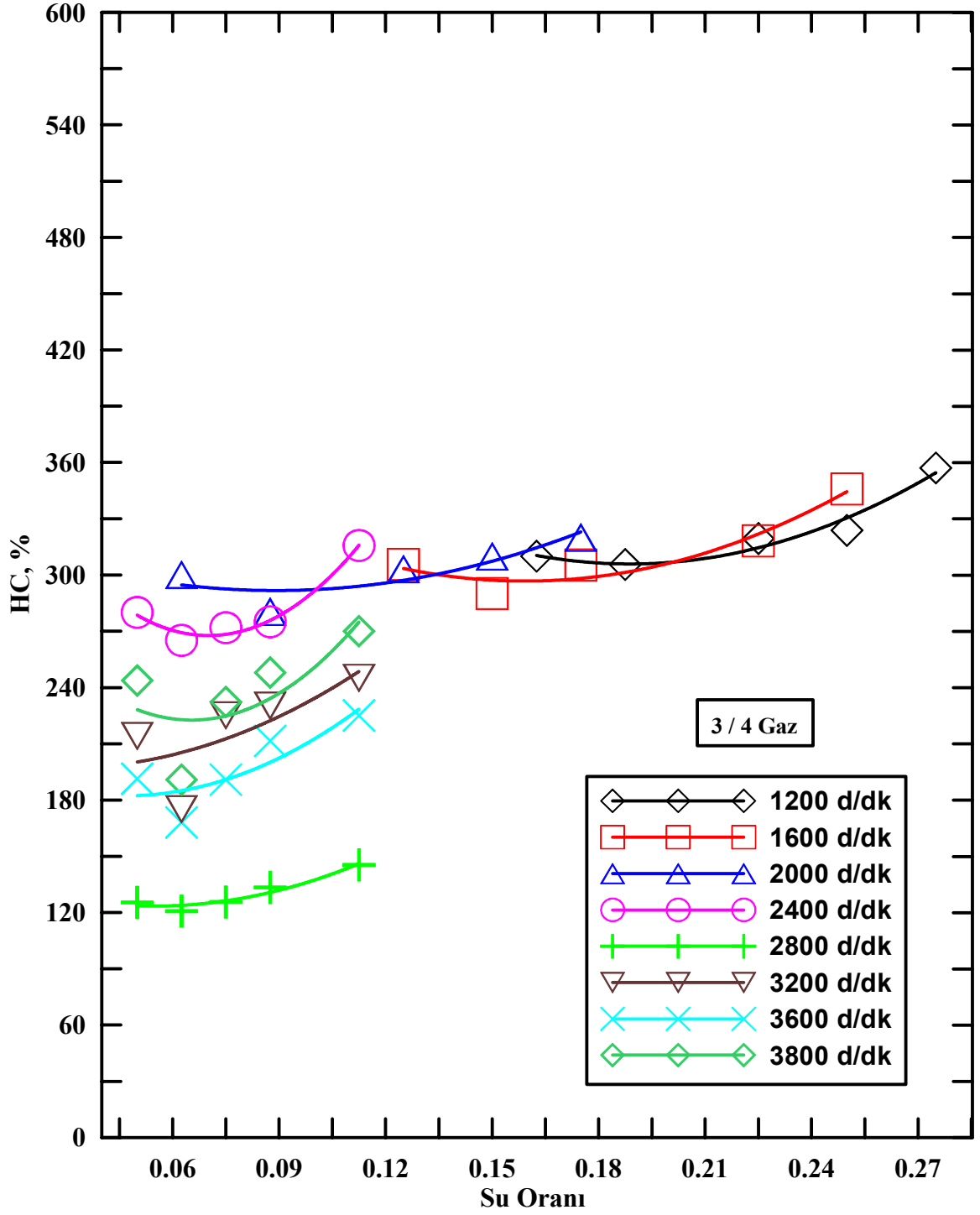


Şekil 108. 3/4 gaz konumunda, farklı su oranları için HC emisyonunun devir sayısına göre değişimi



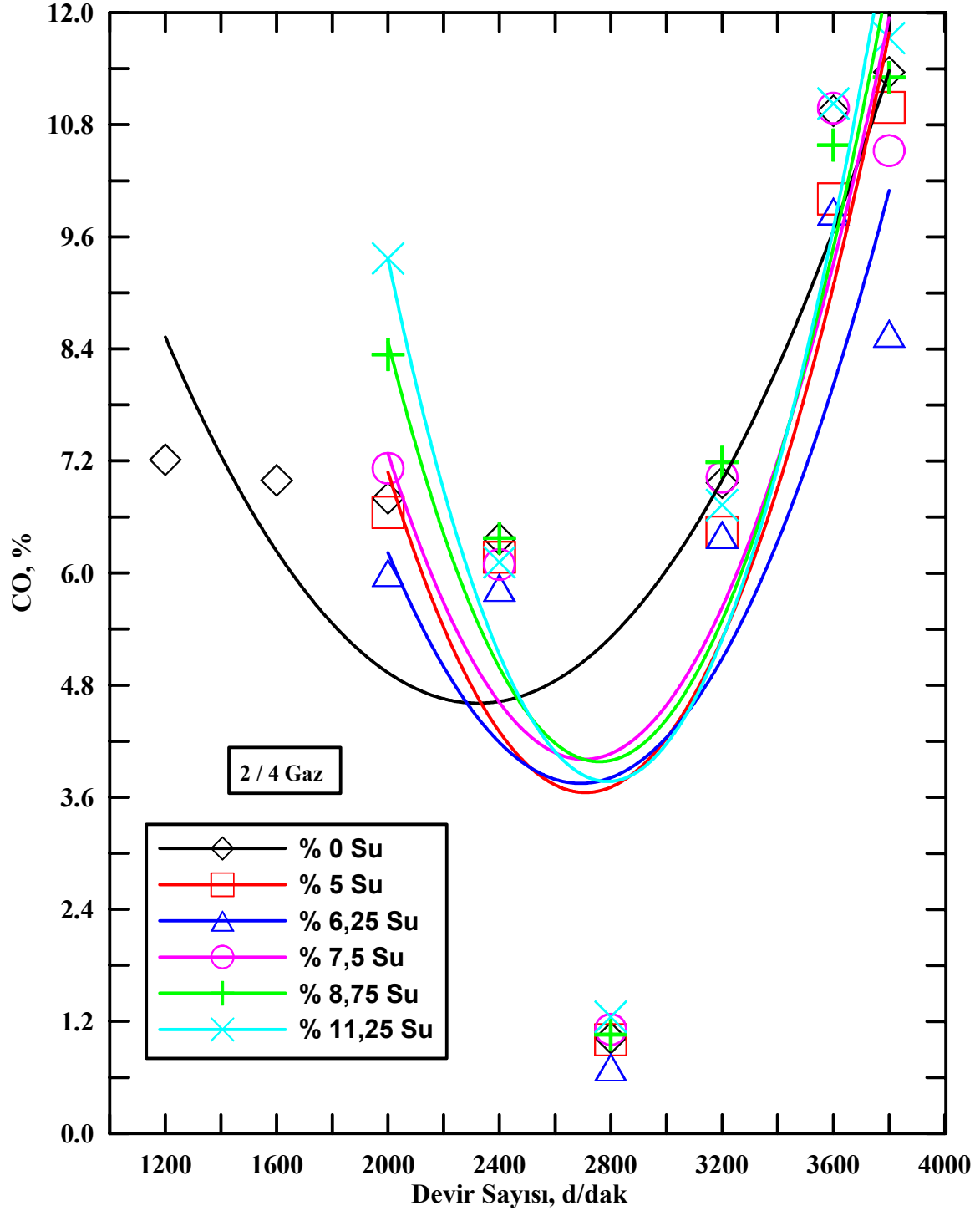


Şekil 109. 3/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için CO emisyonunun su oranına göre değişimi

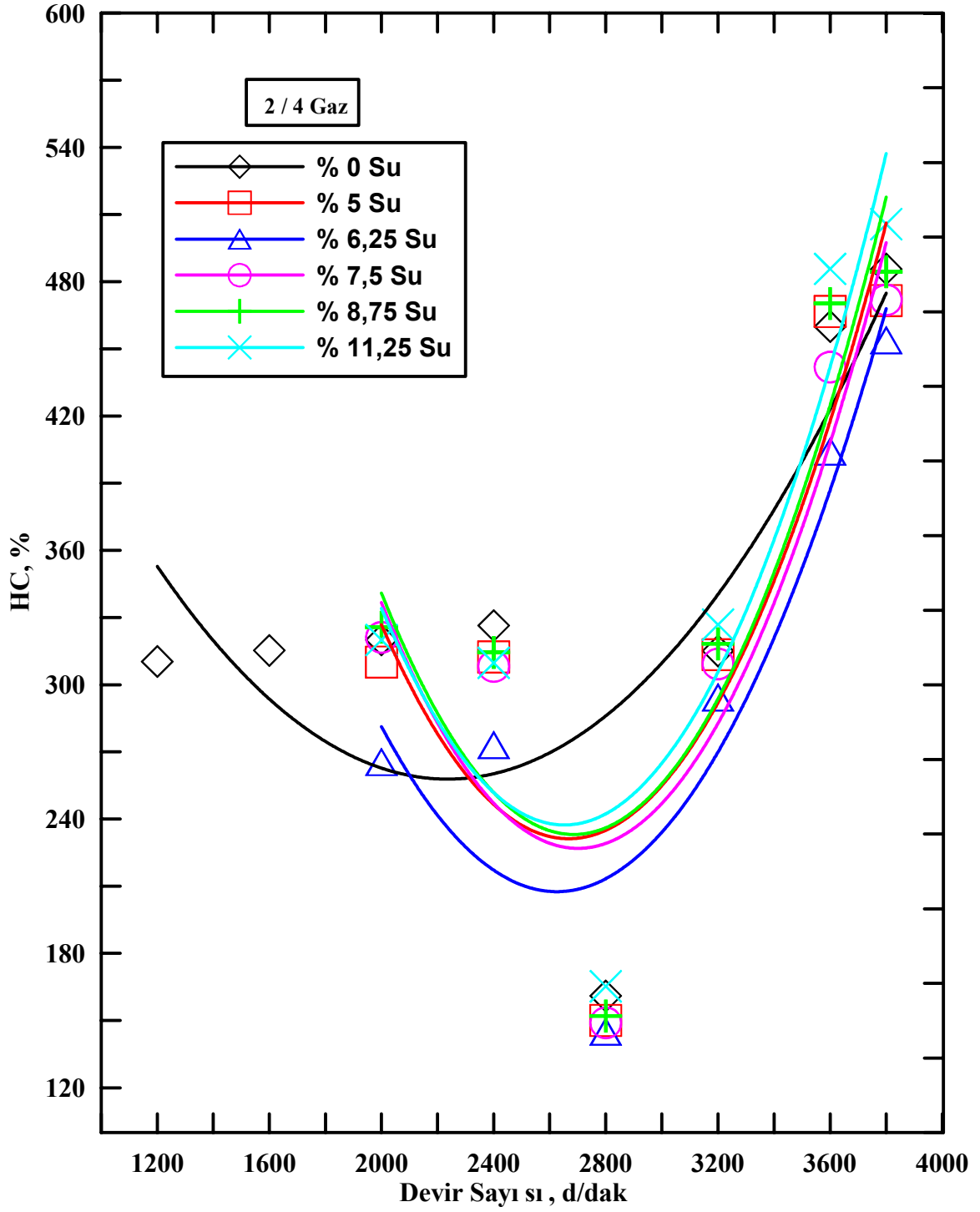


Şekil 110. 3/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için HC emisyonunun su oranına göre değişimi

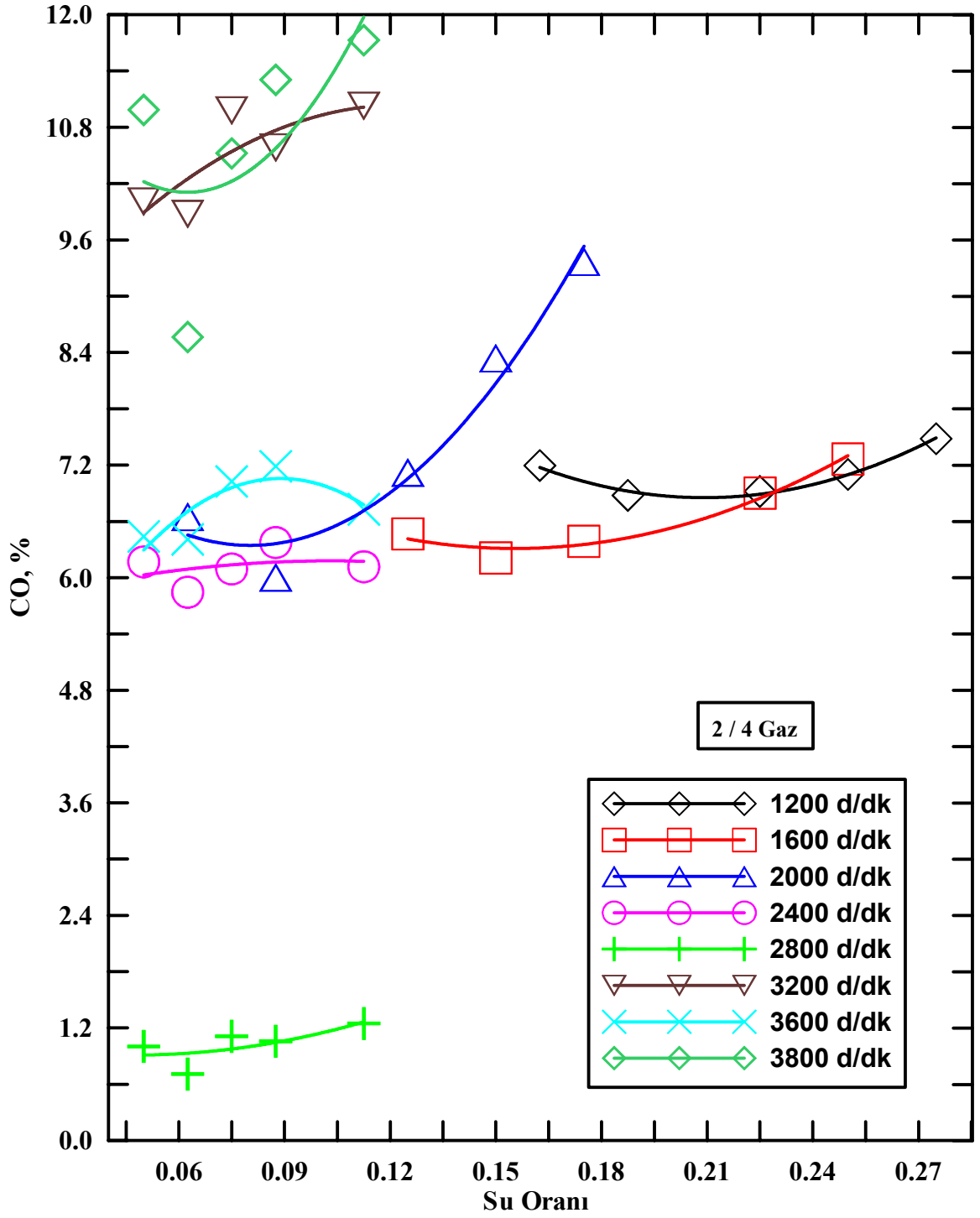
### 3.2.3. 2/4 Gaz Konumunda Eksoz Emisyonlarının Devir Sayısına ve Su Oranına Göre Değişimleri



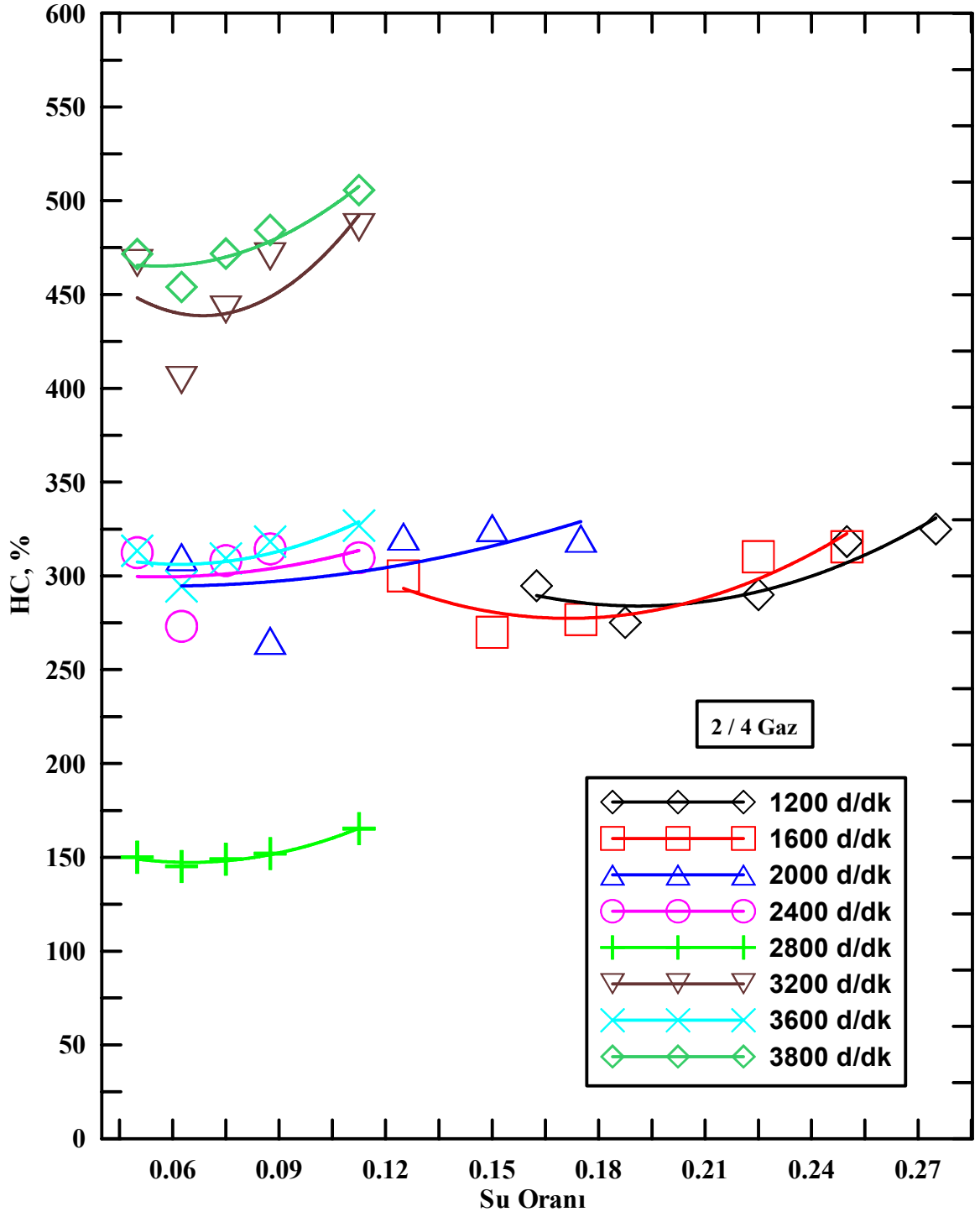
Şekil 111. 2/4 gaz konumunda, farklı su oranları için CO emisyonunun devir sayısına göre değişimi



Şekil 112. 2/4 gaz konumunda, farklı su oranları için HC emisyonunun devir sayısına göre değişimi

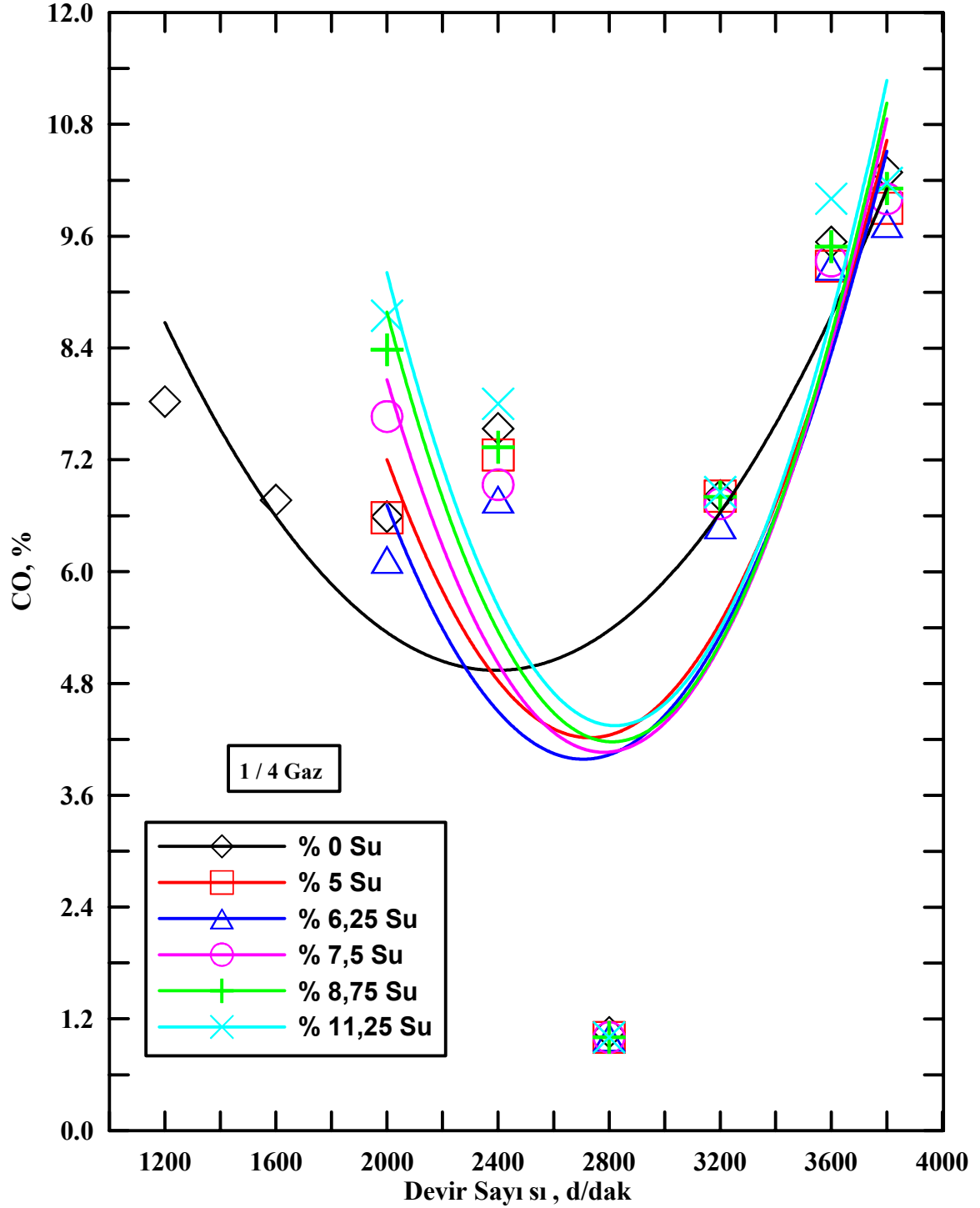


Şekil 113. 2/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için CO emisyonunun su oranına göre değişimi

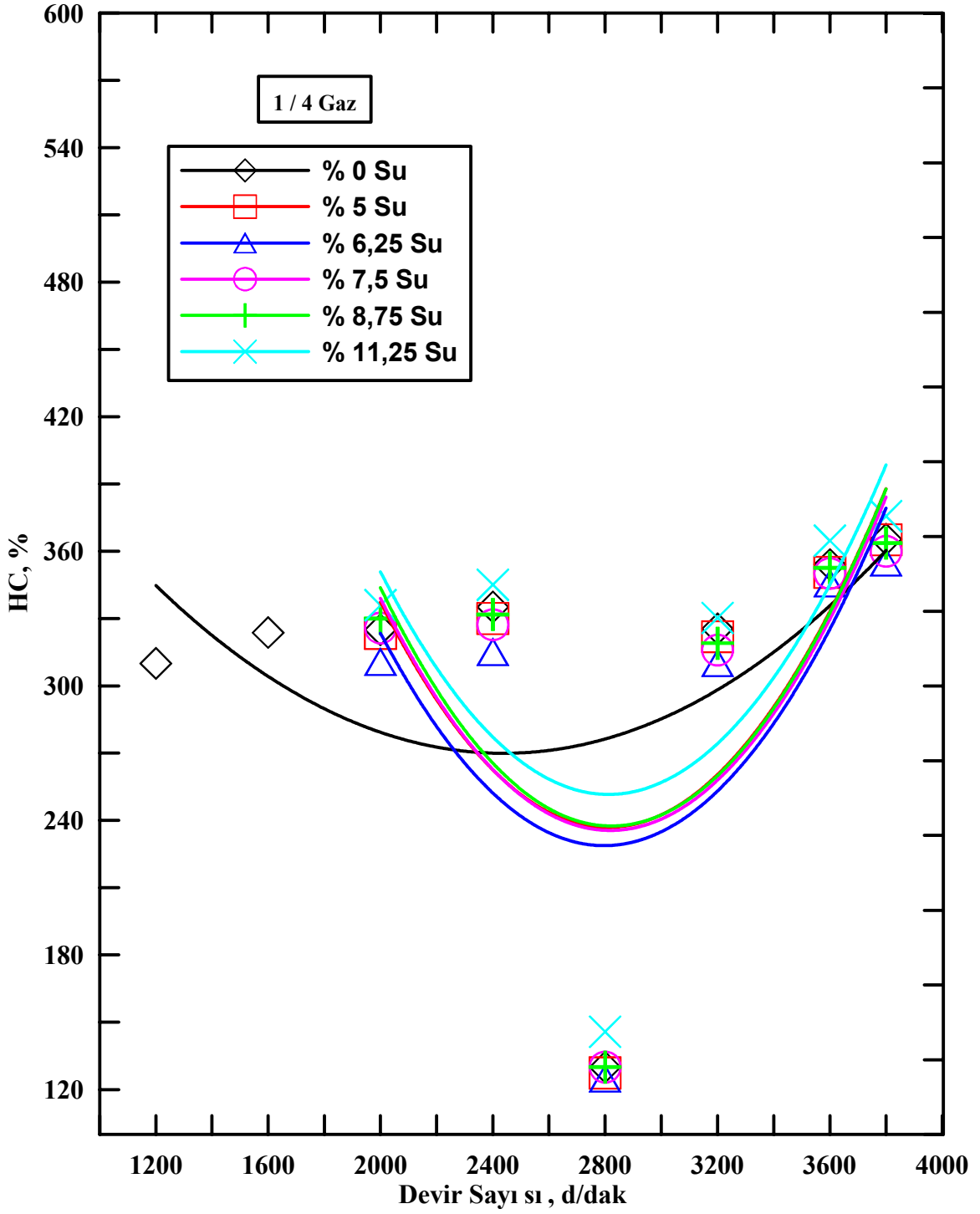


Şekil 114. 2/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için HC emisyonunun su oranına göre değişimi

### 3.2.4 1/4 Gaz Konumunda Eksoz Emisyonlarının Devir Sayısına ve Su Oranına Göre Değişimleri

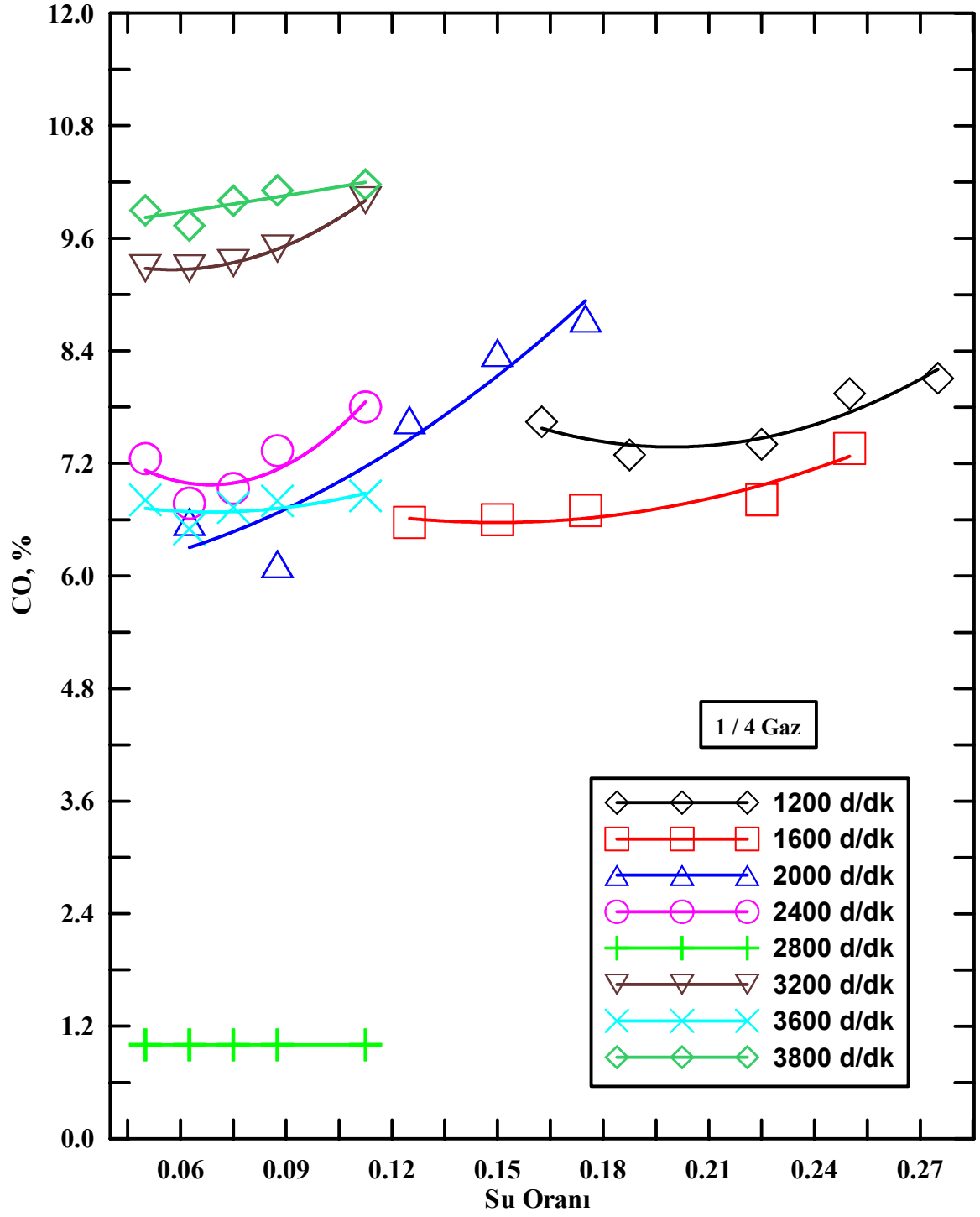


Şekil 115. 1/4 gaz konumunda, farklı su oranları için CO emisyonunun devir sayısına göre değişimi

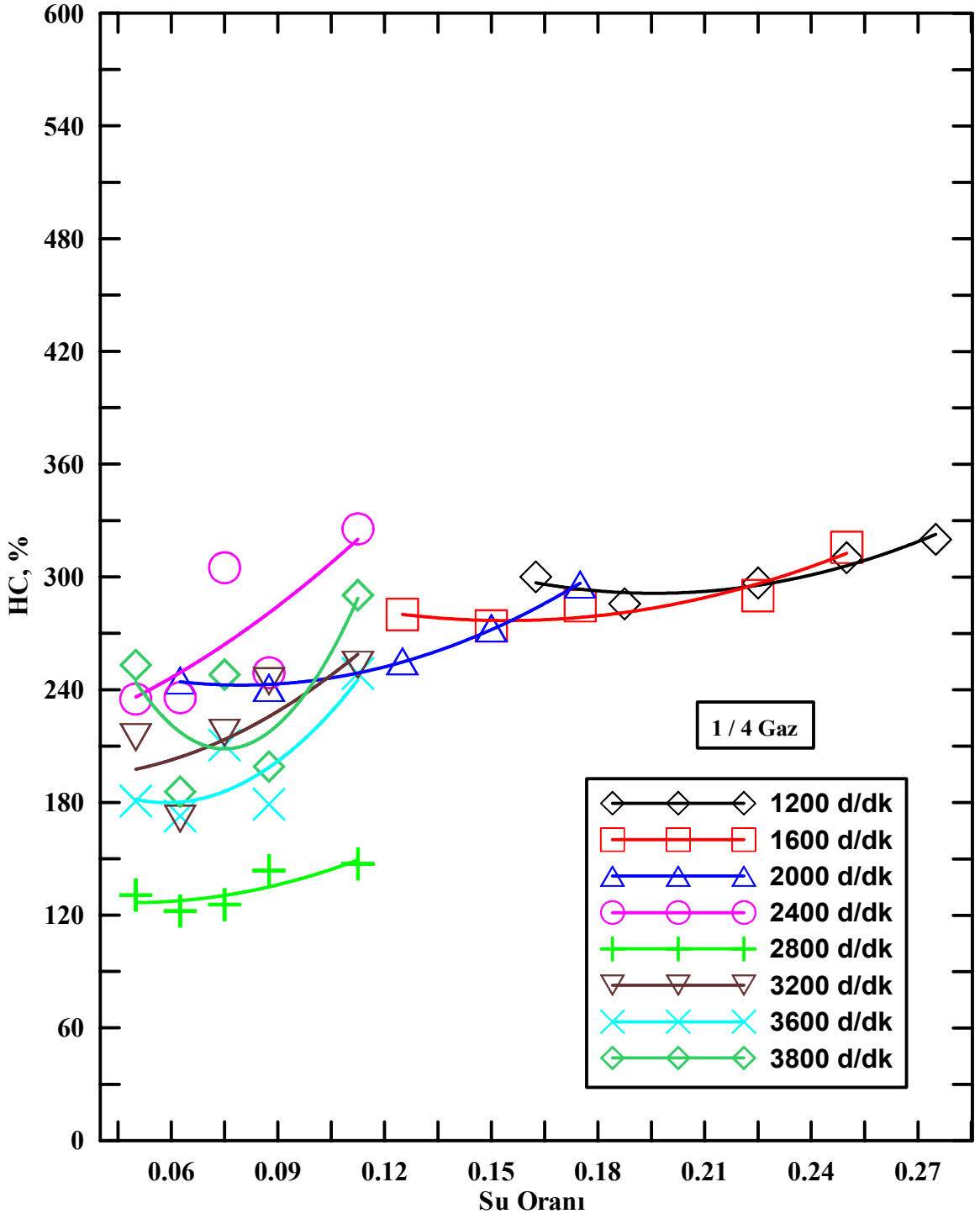


Şekil 116. 1/4 gaz konumunda, farklı su oranları için HC emisyonunun devir sayısına göre değişimi





Şekil 117. 1/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için CO emisyonunun su oranına göre değişimi



Şekil 118. 1/4 gaz konumunda, farklı devir sayıları için HC emisyonunun su oranına göre değişimi

#### 4. SONUÇLAR

Sunulan tez çalışmasında benzin motorlarında emme havasına su püskürtülmesinin; bulgular bölümündeki açıklamalarda da belirtildiği gibi motor performansına ve eksoz emisyonlarına etkileri tek silindirli bir motorda deneysel olarak incelenmiş, motor performansında ve eksoz emisyonlarında iyileşme elde edildiği görülmüştür. En iyi motor performansının ve en düşük eksoz emisyonlarının yaklaşık %6.25 su oranında elde edildiği belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar özet olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Tam gaz konumunda, en yüksek döndürme momenti değeri  $n=2400$  d/dk'da yaklaşık %6.25 su oranında elde edilmiştir. Söz konusu devir sayısında en düşük döndürme momenti değeri ise yaklaşık %11.25 su oranında oluşmuştur. Yaklaşık %5, %6.25, %7.5 ve % 8.75 su oranlarında döndürme momenti değerlerinde benzine göre ~ %0.3 - %7 oranlarında artış elde edilmiştir. ~ %11.25 su oranında ise benzine göre ~ %0.5 - %4 oranlarında azalma belirlenmiştir. Benzine göre döndürme momenti değerindeki en yüksek artış yaklaşık %6.25 su oranında,  $n=2400$  d/dk'da, ~ %7 düzeyinde bulunmuştur. Püskürtülen suyun soğutma etkisinden dolayı yanma sonu sıcaklıkları daha düşük değerler almakta ve bunun sonucunda benzin motorlarında görülebilecek parçalama reaksiyonları azalarak yanma iyileşmekte, böylece döndürme momenti artmaktadır. Su oranı arttıkça döndürme momenti değerleri artmakta, belirli bir su oranından sonra düşmektedir. Bu düşüş fazla oranda püskürtülen suyun ortamdaki çektiği buharlaşma ısısının yanmadaki olası iyileşmeden daha etkin duruma gelmesinden kaynaklanmaktadır. Diğer gaz konumlarında da, tam gazdakine benzer sonuçlar elde edilmiştir. 3/4 gazda en yüksek döndürme momenti değeri  $n=2400$  d/dk'da ~%6.25 su oranında elde edilmiştir. Benzine göre döndürme momenti değerindeki en yüksek artış  $n=3600$ d/dk'da, ~%6.25 su oranında ~ %12 düzeyinde olmaktadır. 2/4 gaz konumunda ise, benzine göre en yüksek döndürme momenti değeri  $n=2000$  d/dk'da yaklaşık %6.25 su oranında elde edilmiştir. Bu gaz konumunda, en yüksek artış  $n=3800$  d/dk'da, ~%6.25 su oranında ~ %23 düzeyinde çıkmaktadır. Son olarak, 1/4 gaz konumunda, benzine göre en yüksek döndürme momenti değeri  $n=2000$  d/dk'da yaklaşık %6.25 su oranında elde edilmiştir. Bu

durum için benzine göre döndürme momenti değerindeki en yüksek artış  $n=3600$  d/dk'da, yaklaşık %6.25 su oranında ~ %16 düzeyinde bulunmuştur.

2. Tam gaz konumunda, en yüksek efektif güç değeri  $n=3600$  d/dk'da yaklaşık %6.25 su oranında elde edilmiştir. Söz konusu devir sayısında en düşük efektif güç değeri ise yaklaşık %11.25 su oranında oluşmuştur. Yaklaşık %5, %6.25, %7.5 ve % 8.75 su oranlarında efektif güç değerlerinde benzine göre ~ %0.1 - %7 oranlarında artış elde edilmiştir. ~ %11.25 su oranında ise benzine göre ~ %0.6 - %4 oranlarında azalma belirlenmiştir. Benzine göre efektif güç değerindeki en yüksek artış yaklaşık %6.25 su oranında,  $n=3600$  d/dk'da, ~ %7 düzeyinde bulunmuştur. Su oranı arttıkça efektif güç değerleri artmakta, belirli bir su oranından sonra düşmektedir. Bu düşüş fazla oranda püskürtülen suyun ortamdan çektiği buharlaşma ısısının yanmadaki olası iyileşmeden daha etkin duruma gelmesinden kaynaklanmaktadır. Diğer gaz konumlarında da, tam gazdakine benzer sonuçlar elde edilmiştir. 3/4 gaz konumunda, tam gaz konumundaki sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir. 2/4 gaz konumunda ise, benzine göre en yüksek efektif güç değeri  $n=3200$  d/dk'da yaklaşık %6.25 su oranında elde edilmiştir. Bu gaz konumunda, en yüksek artış  $n=3800$  d/dk'da, ~%6.25 su oranında ~ %23 düzeyinde çıkmaktadır. Son olarak, 1/4 gaz konumunda, benzine göre en yüksek efektif güç değeri  $n=2800$  d/dk'da yaklaşık %6.25 su oranında elde edilmiştir. Bu durum için benzine göre efektif güç değerindeki en yüksek artış  $n=3600$  d/dk'da, yaklaşık %6.25 ve %7.5 su oranında ~ %16 düzeyinde bulunmuştur.
3. Tam gaz konumunda, en yüksek ortalama efektif basınç değeri  $n=2400$  d/dk'da yaklaşık %6.25 su oranında elde edilmiştir. Söz konusu devir sayısında en düşük ortalama efektif basınç değeri ise yaklaşık %11.25 su oranında oluşmuştur. Yaklaşık %5, %6.25, %7.5 ve % 8.75 su oranlarında ortalama efektif basıncın benzine göre ~ %0.3 - %7 oranlarında artış elde edilmiştir. ~ %11.25 su oranında ise benzine göre ~ %0.6 - %4 oranlarında azalma belirlenmiştir. Benzine göre ortalama efektif basınç değerindeki en yüksek artış yaklaşık %6.25 su oranında,  $n=2400$  d/dk'da, ~ %7 düzeyinde bulunmuştur. Su oranı arttıkça ortalama efektif basınç değerleri artmakta, belirli bir su oranından sonra düşmektedir. Bu düşüş fazla oranda püskürtülen suyun ortamdan çektiği buharlaşma ısısının yanmadaki olası iyileşmeden daha etkin duruma gelmesinden kaynaklanmaktadır. Diğer gaz konumlarında da, tam gazdakine benzer sonuçlar elde edilmiştir. 3/4 gazda en yüksek ortalama efektif basınç değeri  $n=2400$

d/dk'da  $\sim$ %6.25 su oranında elde edilmiştir. Benzine göre ortalama efektif basınç değerindeki en yüksek artış n=3600d/dk'da,  $\sim$ %6.25 su oranında  $\sim$  %12 düzeyinde olmaktadır. 2/4 gaz konumunda ise, benzine göre en yüksek ortalama efektif basınç değeri n=2000 d/dk'da yaklaşık %6.25 su oranında elde edilmiştir. Bu gaz konumunda, en yüksek artış n=3800 d/dk'da,  $\sim$ %6.25 su oranında  $\sim$  %23 düzeyinde çıkmaktadır. Son olarak, 1/4 gaz konumunda, benzine göre en yüksek ortalama efektif basınç değeri n=2000 d/dk'da yaklaşık %6.25 su oranında elde edilmiştir. Bu durum için benzine göre ortalama efektif basınç değerindeki en yüksek artış n=3600 d/dk'da, yaklaşık %6.25 su oranında  $\sim$  %16 düzeyinde bulunmuştur.

4. Tam gaz konumunda, en yüksek efektif verim değeri n=2800 d/dk'da yaklaşık %6.25 su oranında elde edilmiştir. Söz konusu devir sayısında en düşük efektif verim değeri ise yaklaşık %11.25 su oranında oluşmuştur. Yaklaşık %5, %6.25, %7.5 ve % 8.75 su oranlarında efektif verim değerlerinde benzine göre  $\sim$  %0.05 - %8 oranlarında artış elde edilmiştir.  $\sim$  %11.25 su oranında ise benzine göre  $\sim$  %0.5 - %4 oranlarında azalma belirlenmiştir. Benzine göre efektif verim değerindeki en yüksek artış yaklaşık %6.25 su oranında, n=2800 d/dk'da,  $\sim$  %8 düzeyinde bulunmuştur. Su oranı arttıkça efektif verim değerleri artmakta, belirli bir su oranından sonra düşmektedir. Bu düşüş fazla oranda püskürtülen suyun ortamdan çektiği buharlaşma ısısının yanmadaki olası iyileşmeden daha etkin duruma gelmesinden kaynaklanmaktadır. Diğer gaz konumlarında da, tam gazdakine benzer sonuçlar elde edilmiştir. 3/4 gazda en yüksek efektif verim değeri n=2800 d/dk'da  $\sim$ %6.25 su oranında elde edilmiştir. Benzine göre efektif verim değerindeki en yüksek artış n=3600d/dk'da,  $\sim$ %6.25 su oranında  $\sim$  %16 düzeyinde olmaktadır. 2/4 gaz konumunda ise, benzine göre en yüksek efektif verim değeri n=2800d/dk'da yaklaşık %6.25 su oranında elde edilmiştir. Bu gaz konumunda, en yüksek artış n=3800 d/dk'da,  $\sim$ %6.25 su oranında  $\sim$  %22 düzeyinde çıkmaktadır. Son olarak, 1/4 gaz konumunda, benzine göre en yüksek efektif verim değeri n=2800 d/dk'da yaklaşık %6.25 su oranında elde edilmiştir. Bu durum için benzine göre efektif verim değerindeki en yüksek artış n=3600 d/dk'da, yaklaşık %6.25 su oranında  $\sim$  %28 düzeyinde bulunmuştur.
5. Tam gaz konumunda, en düşük özgül yakıt tüketimi değeri n=2800 d/dk'da yaklaşık %6.25 su oranında elde edilmiştir. Söz konusu devir sayısında en yüksek özgül yakıt tüketimi değeri ise yaklaşık %11.25 su oranında oluşmuştur. Yaklaşık %5, %6.25, %7.5 ve % 8.75 su oranlarında özgül yakıt tüketimi değerlerinde benzine göre genel

olarak ~ %0.05 - %7.5 oranlarında düşüş elde edilmiştir. ~ %11.25 su oranında ise benzine göre genel olarak ~ %0.5 - %4 oranlarında artış belirlenmiştir. Benzine göre özgül yakıt tüketimi değerindeki en yüksek düşüş yaklaşık %6.25 su oranında,  $n=2800$  d/dk'da, ~ %7.5 düzeyinde bulunmuştur. Su oranı arttıkça özgül yakıt değerleri azalmakta, belirli bir su oranından sonra artmaktadır. Bu artış fazla oranda püskürtülen suyun ortamdan çektiği buharlaşma ısısının yanmadaki olası iyileşmeden daha etkin duruma gelmesinden kaynaklanmaktadır. Diğer gaz konumlarında da, tam gazdakine benzer sonuçlar elde edilmiştir. 3/4 gazda en düşük özgül yakıt tüketimi değeri  $n=2800$  d/dk'da ~%6.25 su oranında elde edilmiştir. Benzine göre özgül yakıt tüketimi değerindeki en yüksek düşüş  $n=3600$ d/dk'da, ~%6.25 su oranında ~ %14 düzeyinde olmaktadır. 2/4 gaz konumunda ise, benzine göre en düşük özgül yakıt tüketimi değeri  $n=2800$ d/dk'da yaklaşık %6.25 su oranında elde edilmiştir. Bu gaz konumunda, en yüksek azalma  $n=3800$  d/dk'da, ~%6.25 su oranında ~ %18 düzeyinde çıkmaktadır. Son olarak, 1/4 gaz konumunda, benzine göre en düşük özgül yakıt tüketimi değeri  $n=2800$  d/dk'da yaklaşık %6.25 su oranında elde edilmiştir. Bu durum için, benzine göre özgül yakıt tüketimi değerindeki en yüksek düşüş  $n=3600$  d/dk'da, yaklaşık %6.25 su oranında ~ %22 düzeyinde bulunmuştur.

6. En iyi sonuçlar ~%6.25 su oranında elde edilmiştir. Bu durum için tam gaz konumunda efektif güçte yaklaşık ~%7 düzeylerinde artış, özgül yakıt tüketiminde ise ~%6 düzeylerinde azalma sağlanmıştır. Ayrıca CO ve HC emisyonlarında sırasıyla yaklaşık %30 ve %25 oranlarında azalma belirlenmiştir.

## 5. ÖNERİLER

Benzin motorlarında emme havasına su püskürtülmesinin motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için yapılan deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında ileride yapılacak araştırmalar ve geliştirmeler için başlıca aşağıdaki öneriler yapılabilir.

1. Benzer deneyler farklı deney motorları ve taşıt motorlarıyla da yapılarak elde edilen sonuçlar geliştirilebilir.
2. İleri düzeydeki deneylerde indikatör diyagramı da belirlenerek ve eksoz gazlarının yapısı daha ayrıntılı şekilde ölçülerek su eklenmesinin yanmaya ve motorlardaki diğer termodinamik olaylara etkileri daha ayrıntılı incelenebilir.
3. Su püskürtülmesi amacı ile basit karbüratör yerine elektronik kontrollü su püskürtme yöntemi uygulanabilir. Böylece her tip motor için önceden yapılacak deneylerin sonuçlarına veya uygun bir bilgisayar modelinin sonuçlarına dayanarak, taşıtın ECU (Elektronik Kontrol Ünitesi) uygun şekilde programlanabilir. Böylece, ayrıca geri besleme de uygulanarak motorun çalışacağı her çalışma koşuluna en uygun miktarda su püskürtülmesi sağlanabilir.
4. Su emülsiyonları ile benzeri deneyler yapılabilir. Burada su ile benzinin homojen karıştırılabilmesi ve faz ayrımının oluşmaması için izopropil alkol veya benzeri katkı maddelerinin kullanımı da denenebilir.
5. Benzin motoru çevrim modellerinden biri su karışımları için uyarlanarak, istenen herhangi bir motor için değişik su oranlarının motordaki termodinamik olaylara, yanmaya, motor performansına ve eksoz emisyonlarına etkileri teorik olarak incelenebilir. Bu yolla herhangi bir motor için istenen çalışma koşulunda en uygun su oranının ne olacağı belirlenebilir. Böyle bir program veya sonuçları uygun şekilde taşıttaki bilgisayara (elektronik kontrol ünitesine) yüklenerek, yukarıda 3.maddede belirtildiği gibi her çalışma koşuluna en uygun karışım elde edilebilir.
6. Deneylerde her durum için 7'şer ölçüm yapılarak, hesaplarda bu ölçümlerin ortalamaları kullanılmıştır. Böylece ölçüm hataları azaltılmaya çalışılmıştır. İlerde yapılacak çalışmalarda, ölçüm sayısı 20'den az olduğu için student's t dağılımına göre, belirsizlik analizinin de yapılması planlanmaktadır.

7. Su karışımlarının dizel motorlarındaki etkileri benzer şekilde incelenebilir.



## 6. KAYNAKLAR

- 1- Durgun, O., Yakıtlar ve Yanma Ders Notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon- (basılmamış)
- 2- Pulkrabek, W. W., Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, Second Edition, Pearson Prentice-Hall, U.S.A, 2004.
- 3- Sezer, İ., Normal Benzine Metanol ve MTBE Katılmasının Buji Ateşlemeli Motorun Performansına ve Eksoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2002.
- 4- Bayraktar, H. ve Durgun O., Investigation the Effects of LPG on Spark Ignition Engine Combustion and Performance, Energy Conversion and Management 46 (2004) 2317-2333
- 5- Karabektaş, M., Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt olarak Biodizel Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2002.
- 6- Bayraktar, H., Experimental and Theoretical Investigation of Using Gasoline-Ethanol Blends in Spark-Ignition Engines, Renewable Energy 30 (2005)1733-1747.
- 7- Bayraktar, H.,An Experimental Study on the Performance Parameters of an Experimental CI Engine Fueled with Diesel-Methanol-Dodecanol Blends, Fuel 87 (2007) 158-164.
- 8- Durgun, O. ve Şahin, Z., Etanol Fumigasyonunun Dizel Motoru Çevrim Parametreleri, Motor Karakteristikleri ve Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkisi, 8. Uluslar Arası Yanma Sempozyumu, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2004.
- 9- Işın, Övün., Benzin-su emülsiyon karışımının otto motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel araştırılması,Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2000.
- 10- Peters, B.D., Stebar, R.F.,Water-Gasoline Fuels, their effect on Spark Ignition Engine Emissions and Performance, SAE Tech. Paper, 85 (1976) 1517-1533.
- 11- Brewster, S., Railton, D., Maisey, M., Frew, R.,The effect of E100 Water Content on High Load Performance of a Spray Guide Direct Injection Boosted Engine, Society of Automotive Engineers, (2007) 01-2648.
- 12- Harrington, J.A., Water Addition to Gasoline – Effect on Combustion, Emissions, Performance and Knock, SAE Tech. Paper, 91 (1982) 1226-1251.

13-Durgun, O., Motorlarda Deneysel Yöntemler, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Trabzon,1995.



Ek Tablo 3. Tam Gaz Konumunda, ~%6.25 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	3800
Döndürme Momenti [Nm]	8,329	9,500	10,429	10,600	10,500	10,000	9,371	8,629
Efektif Güç [kW]	1,050	1,597	2,191	2,672	3,088	3,361	3,544	3,444
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,642	0,733	0,804	0,818	0,810	0,771	0,723	0,665
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,461	0,442	0,377	0,362	0,260	0,361	0,381	0,427
Efektif Verim	0,180	0,188	0,220	0,230	0,320	0,231	0,218	0,195
Hava Fazlalık Katsayısı	1,614	1,263	1,197	1,144	1,479	1,020	0,952	0,889
Eksoz Sıcaklığı [°C]	250	260	270	280	340	320	310	300
CO oranı [%]				6,060	0,879	4,622	5,342	6,463
HC oranı [%]				235,714	122,143	172,714	171,143	185,714

Ek Tablo 4. Tam Gaz Konumunda, ~%7.5 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	3800
Döndürme Momenti [Nm]	8,300	9,400	10,150	10,250	10,200	9,700	9,000	8,271
Efektif Güç [kW]	1,041	1,572	2,122	2,572	2,986	3,245	3,387	3,297
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,637	0,722	0,779	0,787	0,783	0,745	0,691	0,637
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,465	0,442	0,396	0,379	0,276	0,372	0,390	0,442
Efektif Verim	0,179	0,188	0,210	0,219	0,302	0,223	0,213	0,188
Hava Fazlalık Katsayısı	1,620	1,287	1,182	1,139	1,447	1,028	0,978	0,902
Eksoz Sıcaklığı [°C]	250	260	270	280	340	320	310	300
CO oranı [%]				7,283	1,203	6,264	6,875	8,363
HC oranı [%]				304,857	125,625	210,429	216,857	248,000

Ek Tablo 5. Tam Gaz Konumunda, ~%8.75 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	3800
Döndürme Momenti [Nm]	8,250	9,300	10,100	10,250	10,057	9,600	8,943	8,250
Efektif Güç [kW]	1,035	1,556	2,112	2,572	2,944	3,212	3,366	3,277
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,633	0,714	0,775	0,787	0,772	0,737	0,686	0,633
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,482	0,448	0,390	0,382	0,270	0,379	0,398	0,460
Efektif Verim	0,172	0,185	0,213	0,217	0,308	0,220	0,209	0,181
Hava Fazlalık Katsayısı	1,574	1,283	1,205	1,129	1,467	1,021	0,962	0,872
Eksoz Sıcaklığı [°C]	250	260	270	280	340	320	310	300
CO oranı [%]				6,174	1,168	5,008	5,422	5,722
HC oranı [%]				249,000	143,651	179,000	244,282	199,000

Ek Tablo 6. Tam Gaz Konumunda, ~%11.25 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	3800
Döndürme Momenti [Nm]	8,150	9,250	9,764	10,150	9,857	9,250	8,400	8,000
Efektif Güç [kW]	1,023	1,548	2,043	2,549	2,888	3,097	3,164	3,180
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,626	0,711	0,750	0,780	0,757	0,711	0,645	0,615
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,495	0,449	0,414	0,386	0,282	0,392	0,418	0,445
Efektif Verim	0,168	0,185	0,201	0,215	0,294	0,212	0,199	0,187
Hava Fazlalık Katsayısı	1,548	1,286	1,171	1,126	1,426	1,021	0,973	0,925
Eksoz Sıcaklığı [°C]		260	270	280	340	320	310	300
CO oranı [%]				8,413	1,305	7,383	8,065	10,943
HC oranı [%]				325,570	147,263	248,571	253,000	290,286

Ek Tablo 7. 3/4 Gaz Konumunda, %0 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	3800
Döndürme Momenti [Nm]	8,100	9,114	9,750	9,750	9,500	9,000	8,215	7,543
Efektif Güç [kW]	1,020	1,535	2,052	2,462	2,799	3,031	3,112	3,016
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,626	0,704	0,753	0,753	0,734	0,695	0,635	0,583
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,491	0,451	0,407	0,396	0,299	0,371	0,414	0,467
Efektif Verim	0,169	0,184	0,204	0,210	0,278	0,224	0,201	0,178
Hava Fazlalık Katsayısı	1,559	1,289	1,220	1,134	1,386	1,077	0,978	0,929
Eksoz Sıcaklığı [°C]	250	260	270	280	340	320	310	300
CO oranı [%]	6,140	7,224	8,005	8,113	1,053	7,244	7,525	10,600
HC oranı [%]	324,429	320,000	305,438	285,714	130,000	220,752	233,093	265,915

Ek Tablo 8. 3/4 Gaz Konumunda, ~%5 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	3800
Döndürme Momenti [Nm]	8,100	9,200	9,729	9,750	9,500	9,000	8,250	7,800
Efektif Güç [kW]	1,023	1,549	2,048	2,462	2,799	3,031	3,125	3,119
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,626	0,711	0,752	0,753	0,734	0,695	0,637	0,603
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,474	0,444	0,402	0,392	0,289	0,363	0,407	0,444
Efektif Verim	0,175	0,187	0,207	0,212	0,287	0,229	0,204	0,187
Hava Fazlalık Katsayısı	1,615	1,298	1,240	1,147	1,433	1,102	0,991	0,945
Eksoz Sıcaklığı [°C]	250	260	270	280	340	320	310	300
CO oranı [%]			7,523	7,230	1,000	7,110	7,427	9,880
HC oranı [%]			300,202	280,024	125,364	191,387	214,000	243,714







Ek Tablo 13. 2/4 Gaz Konumu, benzin (%0 su oranı) için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	3800
Döndürme Momenti [Nm]	8,200	8,800	9,100	9,000	8,200	7,100	6,000	5,500
Efektif Güç [kW]	1,027	1,469	1,899	2,254	2,396	2,371	2,254	2,181
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,628	0,674	0,697	0,690	0,628	0,544	0,460	0,421
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,482	0,466	0,436	0,398	0,300	0,416	0,507	0,539
Efektif Verim	0,172	0,178	0,191	0,209	0,277	0,200	0,164	0,154
Hava Fazlalık Katsayısı	1,585	1,306	1,199	1,174	1,504	1,126	1,018	0,990
Eksoz Sıcaklığı [°C]	250	260	270	280	320	300	290	290
CO oranı [%]	7,213	6,991	6,800	6,366	1,022	6,968	10,947	11,361
HC oranı [%]	310,380	315,286	320,016	326,418	161,000	315,053	460,000	485,714

Ek Tablo 14. 2/4 Gaz Konumunda, ~%5 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	3800
Döndürme Momenti [Nm]	8,200	9,000	9,650	9,600	9,000	8,250	7,000	6,500
Efektif Güç [kW]	1,029	1,507	2,019	2,410	2,636	2,762	2,636	2,584
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,630	0,691	0,741	0,737	0,691	0,634	0,538	0,499
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,468	0,397	0,401	0,374	0,302	0,367	0,442	0,481
Efektif Verim	0,178	0,209	0,207	0,222	0,275	0,226	0,188	0,173
Hava Fazlalık Katsayısı	1,628	1,493	1,224	1,228	1,426	1,146	1,042	0,976
Eksoz Sıcaklığı [°C]	250	260	270	280	320	300	290	290
CO oranı [%]			6,648	6,168	1,003	6,439	10,005	10,984
HC oranı [%]			310,137	312,409	150,027	313,429	466,714	471,571

Ek Tablo 15. 2/4 Gaz Konumunda, ~%6.25 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	3800
Döndürme Momenti [Nm]	8,500	9,500	10,000	9,800	9,250	8,500	7,250	6,750
Efektif Güç [kW]	1,069	1,593	2,096	2,465	2,714	2,851	2,735	2,688
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,654	0,731	0,770	0,754	0,712	0,654	0,558	0,519
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,439	0,367	0,384	0,365	0,274	0,345	0,416	0,441
Efektif Verim	0,189	0,226	0,217	0,228	0,303	0,241	0,200	0,188
Hava Fazlalık Katsayısı	1,671	1,530	1,234	1,171	1,491	1,130	1,024	1,003
Eksoz Sıcaklığı [°C]	250	260	270	280	320	300	290	290
CO oranı [%]			6,002	5,845	0,709	6,409	9,873	8,565
HC oranı [%]			265,550	273,143	145,143	294,429	404,286	454,000

Ek Tablo 16. 2/4 Gaz Konumunda, ~%7.5 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	3800
Döndürme Momenti [Nm]	8,400	9,400	9,800	9,500	9,000	8,250	7,000	6,200
Efektif Güç [kW]	1,062	1,584	2,064	2,401	2,654	2,780	2,654	2,481
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,650	0,727	0,758	0,735	0,696	0,638	0,541	0,479
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,446	0,443	0,394	0,370	0,275	0,365	0,440	0,496
Efektif Verim	0,187	0,187	0,211	0,225	0,302	0,227	0,189	0,168
Hava Fazlalık Katsayısı	1,651	1,268	1,215	1,213	1,511	1,140	1,014	0,983
Eksoz Sıcaklığı [°C]	250	260	270	280	320	300	290	290
CO oranı [%]			7,121	6,092	1,112	7,026	10,977	10,523
HC oranı [%]			321,120	308,143	149,000	309,286	441,857	471,857

Ek Tablo 17. 2/4 Gaz Konumunda, ~%8.75 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	3800
Döndürme Momenti [Nm]	8,400	9,300	9,500	9,200	8,400	7,500	6,000	5,500
Efektif Güç [kW]	1,055	1,558	1,989	2,312	2,462	2,513	2,261	2,188
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,646	0,715	0,730	0,707	0,646	0,577	0,461	0,423
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,446	0,380	0,410	0,386	0,312	0,401	0,509	0,565
Efektif Verim	0,186	0,219	0,203	0,215	0,266	0,207	0,163	0,147
Hava Fazlalık Katsayısı	1,665	1,510	1,217	1,242	1,477	1,155	1,054	0,983
Eksoz Sıcaklığı [°C]	250	260	270	280	320	300	290	290
CO oranı [%]			8,339	6,374	1,058	7,186	10,583	11,306
HC oranı [%]			325,711	314,429	152,000	318,286	470,286	484,429

Ek Tablo 18. 2/4 Gaz Konumunda, ~%11.25 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	3800
Döndürme Momenti [Nm]	8,400	9,000	9,400	9,000	8,250	7,200	6,000	5,500
Efektif Güç [kW]	1,051	1,502	1,960	2,252	2,409	2,403	2,252	2,179
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,643	0,689	0,720	0,689	0,632	0,551	0,459	0,421
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,476	0,484	0,427	0,398	0,297	0,404	0,502	0,538
Efektif Verim	0,175	0,172	0,195	0,209	0,280	0,206	0,166	0,155
Hava Fazlalık Katsayısı	1,570	1,231	1,188	1,174	1,513	1,144	1,030	0,993
Eksoz Sıcaklığı [°C]	250	260	270	280	320	300	290	290
CO oranı [%]			8,400	6,116	1,248	6,728	11,026	11,727
HC oranı [%]			320,000	309,714	165,286	326,857	485,714	505,714

Ek Tablo 19. 1/4 Gaz Konumunda, benzin (%0 su oranı) için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	3800
Döndürme Momenti [Nm]	7,000	6,750	6,100	5,500	4,750	4,000	3,000	2,750
Efektif Güç [kW]	0,882	1,134	1,281	1,386	1,397	1,344	1,134	1,097
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,540	0,520	0,470	0,424	0,366	0,308	0,231	0,212
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,533	0,480	0,493	0,461	0,469	0,535	0,653	0,686
Efektif Verim	0,156	0,173	0,169	0,180	0,177	0,155	0,127	0,121
Hava Fazlalık Katsayısı	1,580	1,509	1,360	1,398	1,416	1,335	1,337	1,317
Eksoz Sıcaklığı [°C]	250	260	270	280	320	300	290	290
CO oranı [%]	7,824	6,766	6,590	7,537	1,055	6,816	9,539	10,284
HC oranı [%]	310,001	323,774	325,024	335,193	130,000	325,464	354,083	365,360

Ek Tablo 20. 1/4 Gaz Konumunda, ~%5 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	3800
Döndürme Momenti [Nm]	7,300	7,100	6,250	5,500	4,750	4,000	3,000	2,750
Efektif Güç [kW]	0,920	1,193	1,313	1,386	1,397	1,344	1,134	1,097
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,563	0,547	0,482	0,424	0,366	0,308	0,231	0,212
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,501	0,454	0,460	0,454	0,452	0,534	0,605	0,684
Efektif Verim	0,166	0,183	0,181	0,183	0,184	0,156	0,137	0,122
Hava Fazlalık Katsayısı	1,612	1,447	1,360	1,363	1,415	1,291	1,352	1,235
Eksoz Sıcaklığı [°C]	250	260	270	280	320	300	290	290
CO oranı [%]			6,578	7,251	1,000	6,809	9,278	9,898
HC oranı [%]			323,337	330,002	127,373	321,894	350,557	365,153

Ek Tablo 21. 1/4 Gaz Konumunda, ~%6.25 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	3800
Döndürme Momenti [Nm]	7,400	7,500	6,600	5,750	5,000	4,250	3,500	3,000
Efektif Güç [kW]	0,928	1,255	1,380	1,443	1,464	1,422	1,317	1,192
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,568	0,576	0,507	0,441	0,384	0,326	0,269	0,230
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,454	0,370	0,405	0,405	0,405	0,448	0,507	0,563
Efektif Verim	0,183	0,225	0,205	0,205	0,205	0,186	0,164	0,148
Hava Fazlalık Katsayısı	1,767	1,693	1,472	1,471	1,509	1,459	1,392	1,385
Eksoz Sıcaklığı [°C]	250	260	270	280	320	300	290	290
CO oranı [%]			6,129	6,775	1,000	6,500	9,276	9,735
HC oranı [%]			310,801	315,204	125,000	310,283	345,774	355,103

Ek Tablo 22. 1/4 Gaz Konumunda, ~%7.5 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	3800
Döndürme Momenti [Nm]	7,400	7,200	6,400	5,600	4,750	4,000	3,500	3,000
Efektif Güç [kW]	0,928	1,204	1,338	1,405	1,390	1,338	1,317	1,192
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,568	0,553	0,491	0,430	0,365	0,307	0,269	0,230
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,497	0,413	0,455	0,438	0,457	0,509	0,535	0,594
Efektif Verim	0,167	0,201	0,183	0,190	0,182	0,163	0,155	0,140
Hava Fazlalık Katsayısı	1,613	1,578	1,352	1,396	1,407	1,364	1,318	1,311
Eksoz Sıcaklığı [°C]	250	260	270	280	320	300	290	290
CO oranı [%]			7,664	6,932	1,000	6,729	9,333	10,000
HC oranı [%]			325,777	327,256	130,000	315,936	350,113	360,000

Ek Tablo 23. 1/4 Gaz Konumunda, ~%8.75 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	3800
Döndürme Momenti [Nm]	7,300	7,000	6,250	5,500	4,750	4,000	3,250	3,000
Efektif Güç [kW]	0,913	1,168	1,303	1,376	1,387	1,335	1,220	1,189
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,559	0,536	0,479	0,421	0,364	0,306	0,249	0,230
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,508	0,423	0,458	0,440	0,460	0,514	0,585	0,599
Efektif Verim	0,164	0,196	0,182	0,189	0,181	0,162	0,142	0,139
Hava Fazlalık Katsayısı	1,606	1,589	1,381	1,419	1,404	1,353	1,301	1,305
Eksoz Sıcaklığı [°C]	250	260	270	280	320	300	290	290
CO oranı [%]			8,381	7,336	1,000	6,800	9,488	10,111
HC oranı [%]			330,013	331,794	130,000	319,003	352,645	363,655

Ek Tablo 24. 1/4 Gaz Konumunda, ~%11.25 su oranı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	3800
Döndürme Momenti [Nm]	7,250	7,000	6,000	5,250	4,600	3,600	3,000	2,750
Efektif Güç [kW]	0,910	1,171	1,255	1,317	1,347	1,204	1,129	1,093
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,557	0,537	0,461	0,403	0,353	0,276	0,230	0,211
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,507	0,429	0,484	0,480	0,487	0,568	0,629	0,667
Efektif Verim	0,164	0,194	0,172	0,173	0,171	0,146	0,132	0,125
Hava Fazlalık Katsayısı	1,614	1,560	1,355	1,360	1,363	1,357	1,306	1,274
Eksoz Sıcaklığı [°C]	250	260	270	280	320	300	290	290
CO oranı [%]			8,747	7,801	1,000	6,852	10,002	10,172
HC oranı [%]			335,934	345,091	145,745	330,333	364,725	375,647

Ek Tablo 25. Tam Gaz Konumunda, 2400 d/dak' da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	0,700	0,700	0,070	0,521	-0,518	-0,178
%6.25	4,216	3,922	4,216	5,425	-5,146	0,814
%7.5	0,303	0,490	0,302	0,680	-0,675	0,422
%8.75	0,303	0,490	0,302	-0,215	0,216	-0,471
%11.25	-0,601	-0,490	-0,601	-1,235	1,250	0,782

Ek Tablo 26. Tam Gaz Konumunda, 2800 d/dak' da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	2,500	2,500	2,500	4,923	-4,692	2,364
%6.25	5,297	5,000	5,297	8,256	-7,626	2,458
%7.5	1,809	2,000	1,810	1,957	-1,920	0,191
%8.75	0,384	0,571	0,384	4,207	-4,037	1,573
%11.25	-1,538	-1,429	-1,538	-0,459	0,461	-1,270

Ek Tablo 27. Tam Gaz Konumunda, 3200 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	1,053	1,053	1,053	0,055	-0,055	-0,988
%6.25	5,561	5,263	5,561	4,750	-4,535	-1,108
%7.5	1,915	2,105	1,915	1,523	-1,500	-0,339
%8.75	0,864	1,053	0,864	-0,243	0,244	-1,053
%11.25	-2,740	-2,632	-2,740	-3,609	3,744	-1,038

Ek Tablo 28. Tam Gaz Konumunda, 3600 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	1,795	1,795	1,795	2,294	-2,243	0,491
%6.25	7,318	7,015	7,318	7,007	-6,548	-0,630
%7.5	2,581	2,773	2,581	4,578	-4,378	1,993
%8.75	1,930	2,121	1,930	2,306	-2,254	0,414
%11.25	-4,185	-4,078	-4,185	-2,639	2,711	1,465



Ek Tablo 29. Tam Gaz Konumunda, 3800 d/dak' da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	0,346	0,346	0,346	2,597	-2,531	2,243
%6.25	4,885	4,589	4,885	6,148	-5,792	0,858
%7.5	0,418	0,260	0,418	2,670	-2,601	2,290
%8.75	-0,187	0,000	-0,187	-1,330	1,348	-1,101
%11.25	-3,138	-3,030	-3,138	1,846	-1,813	4,993

Ek Tablo 30. 3/4 Gaz Konumunda, 2000 d/dak' da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	-0,220	0,220	-0,220	1,417	-1,397	1,640
%6.25	7,250	7,692	7,250	8,150	-7,536	1,126
%7.5	0,100	0,513	0,100	1,262	-1,246	1,448
%8.75	-2,046	-1,538	-2,046	-1,331	1,349	0,890
%11.25	-3,066	-2,564	-3,067	-3,346	3,462	-0,131

Ek Tablo 31. 3/4 Gaz Konumunda, 2400 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	0,000	0,000	0,000	1,151	-1,138	1,151
%6.25	8,855	9,304	8,855	8,066	-7,464	-0,443
%7.5	2,143	2,564	2,143	3,968	-3,817	2,076
%8.75	-1,026	-0,513	-1,026	0,611	-0,607	1,814
%11.25	-2,046	-1,538	-2,046	-0,632	0,636	1,604

Ek Tablo 32. 3/4 Gaz Konumunda, 2800 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	0,000	0,000	0,000	3,367	-3,257	3,367
%6.25	10,072	10,526	10,072	12,174	-10,853	2,199
%7.5	1,237	1,654	1,237	6,667	-6,251	5,664
%8.75	0,532	1,053	0,532	5,694	-5,387	5,302
%11.25	-0,516	0,000	-0,516	3,730	-3,596	4,432

Ek Tablo 33. 3/4 Gaz Konumunda, 3200 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	0,000	0,000	0,000	2,259	-2,209	2,259
%6.25	7,888	8,333	7,888	7,303	-6,806	-0,260
%7.5	1,802	2,222	1,802	2,908	-2,825	1,373
%8.75	0,590	1,111	0,590	-0,155	0,156	-0,584
%11.25	0,590	1,111	0,590	-1,646	1,673	-2,068

Ek Tablo 34. 3/4 Gaz Konumunda, 3600 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	0,428	0,428	0,428	1,711	-1,682	1,278
%6.25	12,138	12,601	12,138	16,956	-14,497	4,592
%7.5	0,621	1,036	0,621	1,340	-1,323	1,001
%8.75	-0,090	0,428	-0,090	-0,644	0,648	-0,398
%11.25	-1,907	0,428	-1,907	-1,535	1,559	0,537

Ek Tablo 35. 3/4 Gaz Konumunda, 3800 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	3,409	3,409	3,409	5,155	-4,903	1,689
%6.25	8,265	8,712	8,266	11,131	-10,016	2,938
%7.5	5,625	6,061	5,625	6,442	-6,052	1,060
%8.75	0,238	0,758	0,238	4,162	-3,996	4,079
%11.25	-1,081	0,758	-1,081	1,983	-1,944	3,260

Ek Tablo 36. 2/4 Gaz Konumunda, 2000 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	6,322	6,044	6,322	8,639	-7,952	2,045
%6.25	10,367	9,890	10,367	13,581	-11,957	2,928
%7.5	8,687	7,692	8,687	10,627	-9,606	1,319
%8.75	4,738	4,396	4,738	6,382	-5,999	1,457
%11.25	3,229	3,297	3,229	2,137	-2,093	-0,973

Ek Tablo 37. 2/4 Gaz Konumunda, 2400 d/dak farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	6,946	6,667	6,946	6,290	-5,918	4,625
%6.25	9,361	8,889	9,361	9,112	-8,351	-0,213
%7.5	6,530	5,556	6,530	7,651	-7,107	3,345
%8.75	2,557	2,222	2,558	3,085	-2,993	5,834
%11.25	-0,065	0,000	-0,065	-0,135	0,136	0,015

Ek Tablo 38. 2/4 Gaz Konumunda, 2800 d/dak farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	10,044	9,756	10,044	-0,612	0,616	-5,173
%6.25	13,294	12,805	13,294	9,455	-8,638	-0,865
%7.5	10,770	9,756	10,770	8,953	-8,217	0,452
%8.75	2,775	2,439	2,775	-3,858	4,013	-1,763
%11.25	0,544	0,610	0,544	1,048	-1,038	0,587

Ek Tablo 39. 2/4 Gaz Konumunda, 3200 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	16,502	16,197	16,502	13,194	-11,657	1,770
%6.25	20,238	19,718	20,238	20,616	-17,092	0,329
%7.5	17,270	16,197	17,270	13,723	-12,067	1,242
%8.75	5,980	5,634	5,980	3,727	-3,593	2,537
%11.25	1,342	1,408	1,342	2,904	-2,822	1,628

Ek Tablo 40. 2/4 Gaz Konumunda, 3600 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	16,972	16,667	16,973	14,793	-12,887	2,366
%6.25	21,357	20,833	21,357	22,054	-18,069	0,588
%7.5	17,744	16,667	17,744	15,305	-13,273	-0,330
%8.75	0,328	0,000	0,328	-0,375	0,376	3,600
%11.25	-0,065	0,000	-0,065	1,059	-1,048	1,212

Ek Tablo 41. 2/4 Gaz Konumunda, 3800 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	18,491	18,182	18,492	11,963	-10,685	-1,437
%6.25	23,259	22,727	23,260	22,183	-18,155	1,369
%7.5	13,768	12,727	13,768	8,720	-8,021	-0,645
%8.75	0,328	0,000	0,328	-4,538	4,754	-0,730
%11.25	-0,065	0,000	-0,065	0,187	-0,187	0,339

Ek Tablo 42. 1/4 Gaz Konumunda, 2000 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	2,459	2,459	2,459	6,990	-6,533	-0,023
%6.25	7,717	8,197	7,717	21,516	-17,706	8,221
%7.5	4,453	4,918	4,453	8,213	-7,590	-0,615
%8.75	1,749	2,459	1,749	7,646	-7,103	1,518
%11.25	-2,065	-1,639	-2,065	1,851	-1,817	-0,338

Ek Tablo 43. 1/4 Gaz Konumunda, 2400 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	0,000	0,000	0,000	1,495	-1,473	-2,487
%6.25	4,082	4,545	4,082	13,713	-12,059	5,175
%7.5	1,367	1,818	1,367	5,119	-4,870	-0,169
%8.75	-0,694	0,000	-0,694	4,691	-4,481	1,512
%11.25	-4,959	-4,545	-4,959	-3,878	4,035	-2,742

Ek Tablo 44. 1/4 Gaz Konumunda, 2800 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	0,000	0,000	0,000	3,734	-3,600	-0,039
%6.25	4,796	5,263	4,797	15,653	-13,534	6,555
%7.5	-0,443	0,000	-0,443	2,493	-2,432	-0,600
%8.75	-0,694	0,000	-0,693	1,994	-1,955	-0,810
%11.25	-3,577	-3,158	-3,577	-3,769	3,917	-3,742



Ek Tablo 45. 2/4 Gaz Konumunda, 3200 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	0,000	0,000	0,000	0,113	-0,112	-3,282
%6.25	5,779	6,250	5,779	19,409	-16,255	9,274
%7.5	-0,444	0,000	-0,443	5,089	-4,843	2,179
%8.75	-0,694	0,000	-0,693	3,997	-3,844	1,398
%11.25	-10,390	-10,000	-10,390	-5,816	6,175	1,634

Ek Tablo 46. 1/4 Gaz Konumunda, 3600 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	0,000	0,000	0,000	8,051	-7,451	1,073
%6.25	16,149	16,667	16,149	28,950	-22,451	4,056
%7.5	16,149	16,667	16,149	22,134	-18,123	-1,444
%8.75	7,582	8,333	7,582	11,630	-10,418	-2,723
%11.25	-0,433	0,000	-0,433	3,880	-3,735	-2,317

Ek Tablo 47. 1/4 Gaz Konumunda, 3800 d/dak'da farklı su oranlarına ait performans değerlerinin benzine göre değişim oranları

Su Oranları	$\frac{\Delta P_{me}}{P_{me}}$	$\frac{\Delta M_d}{M_d}$	$\frac{\Delta N_e}{N_e}$	$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e}$	$\frac{\Delta b_e}{b_e}$	$\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$
%5	0,000	0,000	0,000	0,280	-0,279	-6,197
%6.25	8,607	9,091	8,607	21,880	-17,951	5,179
%7.5	8,607	9,091	8,607	15,379	-13,329	-0,430
%8.75	8,607	9,091	8,334	14,510	-12,671	-0,906
%11.25	-0,433	0,000	-0,433	2,886	-2,804	-3,252

## **ÖZGEÇMİŞ**

10.09.1982 yılında Trabzon'da doğdu. İlk ve ortaokul öğrenimini Trabzon 100. Yıl İlk Öğretim Okulu'nda tamamladı. Lise öğrenimini Trabzon Lise'sinde tamamladı. 2000 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2004 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tezli yüksek lisans eğitimine başladı. Kasım 2005'de Fen Bilimleri Enstitüsü kadrosunda Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen Araştırma Görevlisi olarak çalışmakta olup, iyi derecede İngilizce bilmektedir.