

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİZEL MOTORLARINDA BİYODİZEL - DİZEL YAKITI
KARIŞIMLARININ KULLANILMASININ MOTOR PERFORMANSINA
ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cahit SOYSAL

AĞUSTOS 2008
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI




DİZEL MOTORLARINDA BİYODİZEL - DİZEL YAKITI
KARIŞIMLARININ KULLANILMASININ MOTOR PERFORMANSINA
ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Makina Mühendisi Cahit SOYSAL

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 : Doç. Dr. Atilla BİLGİN 
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Orhan DURGUN 
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Zehra ŞAHİN 

Enstitü Müdürü V. : Doç. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2008

ÖNSÖZ

Günümüzde içten yanmalı motorlar, başta karayolu taşıtları olmak üzere birçok alanda yaygın olarak kullanılan termik kuvvet makinalarıdır. İçten yanmalı motorlarda genel olarak petrol kökenli yakıtlar kullanılmaktadır. Petrol kökenli yakıtların tükenme tehlikeleri ve çevreyi tehdit eden kirletici eksoz emisyonları nedeniyle tüm dünyada yenilenebilir ve çevreye daha az zarar veren alternatif yakıt arayışları hızlanmıştır.

Bu çalışmada da hem yenilenebilir hem de fosil yakıtlara oranla daha çevreci bir yakıt olan biyodizelin, saf olarak ve çeşitli oranlarda dizel yakıtıyla karıştırılarak dizel motorlarında kullanılmasının motor performansına etkisi incelenmiştir.

Tez çalışmalarım süresince bana bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren, her konuda maddi ve manevi yardım ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Atilla BİLGİN'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Deneysel çalışmalarım süresince yapmış oldukları yardım ve katkılardan dolayı arkadaşlarım; Mak. Mühendisi Hakan ÇELEBİ ve Arş. Gör. Derya TİRYAKİ'ye, yakıtların kimyasal analizlerinin yapımında bana yardımcı olan Kimya Bölümü öğretim görevlilerinden Dr. Barbaros DİNÇER'e ve biyodizel temininde bize yardımcı olan Trapet Alternatif Yakıt San. Tic. A.Ş. yetkililerine teşekkür ederim. Ayrıca hayatım boyunca bana maddi ve manevi destekte bulunan aileme, bu çalışma süresince bana gösterdikleri özveriden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Cahit SOYSAL
Trabzon 2008

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XVI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Motorların Tarihçesi.....	2
1.2. Fosil Yakıt Rezervleri.....	3
1.3. Alternatif Yakıtlar.....	4
1.3.1. Gaz Yakıtlar.....	4
1.3.1.1. Hidrojen.....	4
1.3.1.2. Doğalgaz.....	5
1.3.1.3. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG).....	6
1.3.2. Sıvı Yakıtlar.....	7
1.3.2.1. Alkoller.....	7
1.3.2.2. Bitkisel Yağlar.....	9
1.4. Biyodizel.....	9
1.4.1. Biyodizelin Özellikleri.....	10
1.4.1.1. Biyolojik Olarak Bozunabilirlik.....	10
1.4.1.2. Toksik Etki.....	10
1.4.1.3. Depolama.....	10
1.4.1.4. Viskozite ve Akış Özellikleri.....	11
1.4.1.5. Motor Yakıtı Özellikleri.....	11
1.4.2. Biyodizelin Standartları.....	11
1.4.3. Biyodizelin Üretimi.....	14
1.4.3.1. Seyreltme.....	14
1.4.3.2. Mikroemülsiyon Oluşturma.....	15
1.4.3.3. Piroliz.....	15

1.4.3.4.	Transesterifikasyon	15
1.5.	Literatür Araştırması	17
1.6.	Tez Çalışmasının Amacı	23
2.	DENEYSEL ÇALIŞMA	24
2.1.	Deney Düzeneği	24
2.2.	Deney Koşulları ve Deneylerde Kullanılan Yakıtların Özellikleri	25
2.3.	Deneylerde Uygulanan İşlem Sırası	30
2.4.	Ölçümler ve Hesaplar	30
2.4.1.	Ortam Şartları	30
2.4.2.	Devir Sayısı	30
2.4.3.	Döndürme Momenti	31
2.4.4.	Efektif Güç	31
2.4.5.	Ortalama Efektif Basınç	32
2.4.6.	Hava Debisi	33
2.4.7.	Hava Fazlalık Katsayısı	34
2.4.8.	Yakıt Debisi	35
2.4.9.	Özgül Yakıt Tüketimi	36
2.4.10.	Efektif Verim	36
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA	37
3.1.	Performans Sonuçlarının İrdelenmesi	37
3.1.1.	Değişken Devir Sayıları İçin Motor Performansı Sonuçlarının İrdelenmesi	37
3.1.1.1.	Döndürme Momenti	37
3.1.1.2.	Efektif Güç	48
3.1.1.3.	Ortalama Efektif Basınç	59
3.1.1.4.	Özgül Yakıt Tüketimi	69
3.1.1.5.	Efektif Verim	79
3.1.1.6.	Hava Fazlalık Katsayısı	89
3.1.2.	Değişken Sıkıştırma Oranları İçin Motor Performansı Sonuçlarının İrdelenmesi	99
3.1.3.	Değişken Yakıt Karışım Oranları İçin Motor Performansı Sonuçlarının İrdelenmesi	113
4.	SONUÇLAR	152
5.	ÖNERİLER	154

6.	KAYNAKLAR	155
7.	EKLER.....	158
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Bu çalışmada, dizel yakıtına biyodizel katılmasının motor performansı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Yakıt karışımları, belirli bir miktardaki dizel yakıtına hacimsel olarak %5, 10, 20 ve 50 oranlarında biyodizel katılmasıyla elde edilmiştir. Söz konusu yakıt karışımları B05, B10, B20 ve B50 şeklinde adlandırılmıştır. Çalışmada karşılaştırma yapabilmek amacıyla saf dizel ve biyodizel yakıtları da kullanılmıştır. Saf biyodizel yakıtı B100 olarak adlandırılmıştır. Deneyler farklı motor hızlarında ve çeşitli sıkıştırma oranlarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler süresince motor tam gaz (1/1 gaz) konumunda çalıştırılmıştır.

Elde edilen deneysel sonuçlar, biyodizel ve biyodizel–dizel yakıt karışımlarının kullanılması durumunda, saf dizel yakıtına göre döndürme momenti, efektif güç ve ortalama efektif basınç değerlerinde ortalama %1 ile %3 arasındaki oranlarda azalma olduğunu, özgül yakıt tüketiminde ise ortalama %4 ile %13 arasındaki oranlarda artma olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan aynı yakıt ve yakıt karışımları, efektif verim ve hava fazlalık katsayısı değerlerinde ortalama %1 ile %3 arasındaki oranlarda artış sağlamıştır.

Düşük sıkıştırma oranlarında, yani $\varepsilon = 17$ olması durumunda, B05, B10 ve B20 yakıt karışımları B50 ve B100 yakıtlarıyla karşılaştırıldığında bütün motor karakteristikleri için daha iyi sonuçlar vermiştir. Yüksek sıkıştırma oranlarında, yani $\varepsilon = 21$ olması durumunda, ise B50 ve B100 yakıtlarının B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarına göre daha iyi sonuçlar verdikleri görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, biyodizel–dizel yakıt karışımları, motor performansı, alternatif yakıtlar, bitkisel yağlar, yenilenebilir enerji kaynakları

SUMMARY

Experimental Investigation of the Effects of Using Biodiesel – Diesel Fuel Blends on Engine Performance in Diesel Engines

In this study, the effects of biodiesel blending to base diesel fuel on the performance of a diesel engine have been investigated experimentally. The fuel blends were prepared by blending 5, 10, 20, and 50 vol % of biodiesel with a specified amount of base diesel fuel. The fuel blends were designated as B05, B10, B20, and B50, respectively. Base diesel fuel and biodiesel fuels were also used in the study to make comparisons. The neat biodiesel fuel is designated as B100 in the study. The experiments were conducted under various engine speeds and compression ratios. The engine was operated under 1/1 gas position.

The experimental results of the study showed that biodiesel and biodiesel–diesel fuel blends yields approximately 1–3% decrease in terms of the brake torque, brake effective power, and brake mean effective pressure, and approximately 4–13% increase in terms of the brake specific fuel consumption in compared to base diesel fuel. On the other hand, for the biodiesel and biodiesel–diesel fuel blends approximately 1–3% increases were observed in terms of the brake thermal efficiency and air excess coefficient with respect to base diesel fuel.

At the lower compression ratios, i.e., $\varepsilon = 17$, B05, B10, and B20 blends have given better performances in compared to B50 and B100 for all the engine characteristics. At the higher compression ratios, i.e., $\varepsilon = 21$, on the other hand, B50 and B100 fuels have given better results in compared to B05, B10, and B20 fuel blends.

Key Words: Biodiesel, biodiesel–diesel fuel blends, engine performance, alternative fuels, vegetable oils, renewable energy resources

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Bitkisel Yağın Transesterifikasyonu	17
Şekil 2. Deney düzeneğinin genel görünüşü.....	24
Şekil 3. Yakıtların alt ısıl değerlerinin biyodizel oranıyla değişimi	27
Şekil 4. Yakıtların yoğunluklarının biyodizel oranıyla değişimi.....	28
Şekil 5. Yakıtların kinematik viskozitelerinin biyodizel oranıyla değişimi	29
Şekil 6. Değişik sıkıştırma oranlarında saf dizel yakıtı için döndürme momentinin devir sayısı ile değişimi	39
Şekil 7. Değişik sıkıştırma oranlarında B05 yakıt karışımı için döndürme momentinin devir sayısı ile değişimi	40
Şekil 8. Değişik sıkıştırma oranlarında B10 yakıt karışımı için döndürme momentinin devir sayısı ile değişimi	41
Şekil 9. Değişik sıkıştırma oranlarında B20 yakıt karışımı için döndürme momentinin devir sayısı ile değişimi	42
Şekil 10. Değişik sıkıştırma oranlarında B50 yakıt karışımı için döndürme momentinin devir sayısı ile değişimi	43
Şekil 11. Değişik sıkıştırma oranlarında B100 yakıtı için döndürme momentinin devir sayısı ile değişimi	44
Şekil 12. $\varepsilon = 17$ olması durumunda tüm yakıtlar için döndürme momentinin devir sayısı ile değişimi	45
Şekil 13. $\varepsilon = 19$ olması durumunda tüm yakıtlar için döndürme momentinin devir sayısı ile değişimi	46
Şekil 14. $\varepsilon = 21$ olması durumunda tüm yakıtlar için döndürme momentinin devir sayısı ile değişimi	47
Şekil 15. Değişik sıkıştırma oranlarında saf dizel yakıtı için efektif gücün devir sayısı ile değişimi	50
Şekil 16. Değişik sıkıştırma oranlarında B05 yakıt karışımı için efektif gücün devir sayısı ile değişimi	51
Şekil 17. Değişik sıkıştırma oranlarında B10 yakıt karışımı için efektif gücün devir sayısı ile değişimi	52
Şekil 18. Değişik sıkıştırma oranlarında B20 yakıt karışımı için efektif gücün devir sayısı ile değişimi	53
Şekil 19. Değişik sıkıştırma oranlarında B50 yakıt karışımı için efektif gücün devir sayısı ile değişimi	54
Şekil 20. Değişik sıkıştırma oranlarında B100 yakıtı için efektif gücün devir sayısı ile değişimi	55

Şekil 21.	$\varepsilon = 17$ olması durumunda tüm yakıtlar için efektif gücün devir sayısıyla değişimi	56
Şekil 22.	$\varepsilon = 19$ olması durumunda tüm yakıtlar için efektif gücün devir sayısıyla değişimi	57
Şekil 23.	$\varepsilon = 21$ olması durumunda tüm yakıtlar için efektif gücün devir sayısıyla değişimi	58
Şekil 24.	Değişik sıkıştırma oranlarında saf dizel yakıtı için ortalama efektif basıncın devir sayısıyla değişimi	60
Şekil 25.	Değişik sıkıştırma oranlarında B05 yakıt karışımı için ortalama efektif basıncın devir sayısıyla değişimi	61
Şekil 26.	Değişik sıkıştırma oranlarında B10 yakıt karışımı için ortalama efektif basıncın devir sayısıyla değişimi	62
Şekil 27.	Değişik sıkıştırma oranlarında B20 yakıt karışımı için ortalama efektif basıncın devir sayısıyla değişimi	63
Şekil 28.	Değişik sıkıştırma oranlarında B50 yakıt karışımı için ortalama efektif basıncın devir sayısıyla değişimi	64
Şekil 29.	Değişik sıkıştırma oranlarında B100 yakıtı için ortalama efektif basıncın devir sayısıyla değişimi	65
Şekil 30.	$\varepsilon = 17$ olması durumunda tüm yakıtlar için ortalama efektif basıncın devir sayısıyla değişimi	66
Şekil 31.	$\varepsilon = 19$ olması durumunda tüm yakıtlar için ortalama efektif basıncın devir sayısıyla değişimi	67
Şekil 32.	$\varepsilon = 21$ olması durumunda tüm yakıtlar için ortalama efektif basıncın devir sayısıyla değişimi	68
Şekil 33.	Değişik sıkıştırma oranlarında saf dizel yakıtı için özgül yakıt tüketiminin devir sayısıyla değişimi	70
Şekil 34.	Değişik sıkıştırma oranlarında B05 yakıt karışımı için özgül yakıt tüketiminin devir sayısıyla değişimi	71
Şekil 35.	Değişik sıkıştırma oranlarında B10 yakıt karışımı için özgül yakıt tüketiminin devir sayısıyla değişimi	72
Şekil 36.	Değişik sıkıştırma oranlarında B20 yakıt karışımı için özgül yakıt tüketiminin devir sayısıyla değişimi	73
Şekil 37.	Değişik sıkıştırma oranlarında B50 yakıt karışımı için özgül yakıt tüketiminin devir sayısıyla değişimi	74
Şekil 38.	Değişik sıkıştırma oranlarında B100 yakıtı için özgül yakıt tüketiminin devir sayısıyla değişimi	75
Şekil 39.	$\varepsilon = 17$ olması durumunda tüm yakıtlar için özgül yakıt tüketiminin devir sayısıyla değişimi	76

Şekil 40.	$\varepsilon = 19$ olması durumunda tüm yakıtlar için özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi	77
Şekil 41.	$\varepsilon = 21$ olması durumunda tüm yakıtlar için özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi	78
Şekil 42.	Değişik sıkıştırma oranlarında saf dizel yakıtı için efektif verimin devir sayısı ile değişimi	80
Şekil 43.	Değişik sıkıştırma oranlarında B05 yakıt karışımı için efektif verimin devir sayısı ile değişimi	81
Şekil 44.	Değişik sıkıştırma oranlarında B10 yakıt karışımı için efektif verimin devir sayısı ile değişimi	82
Şekil 45.	Değişik sıkıştırma oranlarında B10 yakıt karışımı için efektif verimin devir sayısı ile değişimi	83
Şekil 46.	Değişik sıkıştırma oranlarında B50 yakıt karışımı için efektif verimin devir sayısı ile değişimi	84
Şekil 47.	Değişik sıkıştırma oranlarında B100 yakıtı için efektif verimin devir sayısı ile değişimi	85
Şekil 48.	$\varepsilon = 17$ olması durumunda tüm yakıtlar için efektif verimin devir sayısı ile değişimi	86
Şekil 49.	$\varepsilon = 19$ olması durumunda tüm yakıtlar için efektif verimin devir sayısı ile değişimi	87
Şekil 50.	$\varepsilon = 21$ olması durumunda tüm yakıtlar için efektif verimin devir sayısı ile değişimi	88
Şekil 51.	Değişik sıkıştırma oranlarında saf dizel yakıtı için hava fazlalık katsayısının devir sayısı ile değişimi	90
Şekil 52.	Değişik sıkıştırma oranlarında B05 yakıt karışımı için hava fazlalık katsayısının devir sayısı ile değişimi	91
Şekil 53.	Değişik sıkıştırma oranlarında B10 yakıt karışımı için hava fazlalık katsayısının devir sayısı ile değişimi	92
Şekil 54.	Değişik sıkıştırma oranlarında B20 yakıt karışımı için hava fazlalık katsayısının devir sayısı ile değişimi	93
Şekil 55.	Değişik sıkıştırma oranlarında B50 yakıt karışımı için hava fazlalık katsayısının devir sayısı ile değişimi	94
Şekil 56.	Değişik sıkıştırma oranlarında B100 yakıtı için hava fazlalık katsayısının devir sayısı ile değişimi	95
Şekil 57.	$\varepsilon = 17$ olması durumunda tüm yakıtlar için hava fazlalık katsayısının devir sayısı ile değişimi	96
Şekil 58.	$\varepsilon = 19$ olması durumunda tüm yakıtlar için hava fazlalık katsayısının devir sayısı ile değişimi	97

Şekil 59.	$\varepsilon = 21$ olması durumunda tüm yakıtlar için hava fazlalık katsayısının devir sayısıyla değişimi	98
Şekil 60.	$n = 1200$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için döndürme momentinin sıkıştırma oranıyla değişimi	101
Şekil 61.	$n = 1600$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için döndürme momentinin sıkıştırma oranıyla değişimi	102
Şekil 62.	$n = 1200$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için efektif gücün sıkıştırma oranıyla değişimi.....	103
Şekil 63.	$n = 1600$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için efektif gücün sıkıştırma oranıyla değişimi.....	104
Şekil 64.	$n = 1200$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için ortalama efektif basıncın sıkıştırma oranıyla değişimi	105
Şekil 65.	$n = 1600$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için ortalama efektif basıncın sıkıştırma oranıyla değişimi	106
Şekil 66.	$n = 1200$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için özgül yakıt tüketiminin sıkıştırma oranıyla değişimi	107
Şekil 67.	$n = 1600$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için özgül yakıt tüketiminin sıkıştırma oranıyla değişimi	108
Şekil 68.	$n = 1200$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için efektif verimin sıkıştırma oranıyla değişimi.....	109
Şekil 69.	$n = 1600$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için efektif verimin sıkıştırma oranıyla değişimi.....	110
Şekil 70.	$n = 1200$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için hava fazlalık katsayısının sıkıştırma oranıyla değişimi.....	111
Şekil 71.	$n = 1600$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için hava fazlalık katsayısının sıkıştırma oranıyla değişimi.....	112
Şekil 72.	$n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda döndürme momentinin biyodizel karışım oranıyla değişimi	116
Şekil 73.	$n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda döndürme momentinin biyodizel karışım oranıyla değişimi	117
Şekil 74.	$n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda döndürme momentinin biyodizel karışım oranıyla değişimi	118
Şekil 75.	$n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda döndürme momentinin biyodizel karışım oranıyla değişimi	119
Şekil 76.	$n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda döndürme momentinin biyodizel karışım oranıyla değişimi	120
Şekil 77.	$n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda döndürme momentinin biyodizel karışım oranıyla değişimi	121

Şekil 78.	$n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda efektif gücün biyodizel karışım oranıyla değişimi	122
Şekil 79.	$n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda efektif gücün biyodizel karışım oranıyla değişimi	123
Şekil 80.	$n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda efektif gücün biyodizel karışım oranıyla değişimi	124
Şekil 81.	$n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda efektif gücün biyodizel karışım oranıyla değişimi	125
Şekil 82.	$n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda efektif gücün biyodizel karışım oranıyla değişimi	126
Şekil 83.	$n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda efektif gücün biyodizel karışım oranıyla değişimi	127
Şekil 84.	$n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda ortalama efektif basıncın biyodizel karışım oranıyla değişimi	128
Şekil 85.	$n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda ortalama efektif basıncın biyodizel karışım oranıyla değişimi	129
Şekil 86.	$n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda ortalama efektif basıncın biyodizel karışım oranıyla değişimi	130
Şekil 87.	$n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda ortalama efektif basıncın biyodizel karışım oranıyla değişimi	131
Şekil 88.	$n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda ortalama efektif basıncın biyodizel karışım oranıyla değişimi	132
Şekil 89.	$n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda ortalama efektif basıncın biyodizel karışım oranıyla değişimi	133
Şekil 90.	$n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda özgül yakıt tüketiminin biyodizel karışım oranıyla değişimi	134
Şekil 91.	$n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda özgül yakıt tüketiminin biyodizel karışım oranıyla değişimi	135
Şekil 92.	$n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda özgül yakıt tüketiminin biyodizel karışım oranıyla değişimi	136
Şekil 93.	$n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda özgül yakıt tüketiminin biyodizel karışım oranıyla değişimi	137
Şekil 94.	$n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda özgül yakıt tüketiminin biyodizel karışım oranıyla değişimi	138
Şekil 95.	$n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda özgül yakıt tüketiminin biyodizel karışım oranıyla değişimi	139
Şekil 96.	$n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda efektif verimin biyodizel karışım oranıyla değişimi	140

Şekil 97.	$n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda efektif verimin biyodizel karışım oranıyla değişimi	141
Şekil 98.	$n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda efektif verimin biyodizel karışım oranıyla değişimi	142
Şekil 99.	$n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda efektif verimin biyodizel karışım oranıyla değişimi	143
Şekil 100.	$n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda efektif verimin biyodizel karışım oranıyla değişimi	144
Şekil 101.	$n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda efektif verimin biyodizel karışım oranıyla değişimi	145
Şekil 102.	$n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda hava fazlalık katsayısının biyodizel karışım oranıyla değişimi	146
Şekil 103.	$n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda hava fazlalık katsayısının biyodizel karışım oranıyla değişimi	147
Şekil 104.	$n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda hava fazlalık katsayısının biyodizel karışım oranıyla değişimi	148
Şekil 105.	$n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda hava fazlalık katsayısının biyodizel karışım oranıyla değişimi	149
Şekil 106.	$n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda hava fazlalık katsayısının biyodizel karışım oranıyla değişimi	150
Şekil 107.	$n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda hava fazlalık katsayısının biyodizel karışım oranıyla değişimi	151

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Dünya fosil yakıt rezervlerinin kullanılabilme süreleri	3
Tablo 2. Benzin ve hidrojenin başlıca özellikleri	4
Tablo 3. Metanın ve benzinin başlıca özellikleri	5
Tablo 4. Propan ve benzinin başlıca özellikleri	6
Tablo 5. Etanol, metanol, benzin ve dizel yakıtının başlıca özellikleri.....	7
Tablo 6. EN 14214 Biyodizel Avrupa Standartları	13
Tablo 7. ASTM D6751 Biyodizel Standardı.....	14
Tablo 8. Deney motorunun özellikleri	25
Tablo 9. Dizel yakıtı ve biyodizelin fiziksel özellikleri	26
Ek Tablo 1. $\varepsilon = 17$ olması durumunda, saf dizel yakıtı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi.....	158
Ek Tablo 2. $\varepsilon = 19$ olması durumunda, saf dizel yakıtı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi.....	158
Ek Tablo 3. $\varepsilon = 21$ olması durumunda, saf dizel yakıtı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi.....	159
Ek Tablo 4. $\varepsilon = 17$ olması durumunda, B05 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi.....	159
Ek Tablo 5. $\varepsilon = 19$ olması durumunda, B05 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi.....	160
Ek Tablo 6. $\varepsilon = 21$ olması durumunda, B05 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi.....	160
Ek Tablo 7. $\varepsilon = 17$ olması durumunda, B10 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi.....	161
Ek Tablo 8. $\varepsilon = 19$ olması durumunda, B10 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi.....	161
Ek Tablo 9. $\varepsilon = 21$ olması durumunda, B10 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi.....	162
Ek Tablo 10. $\varepsilon = 17$ olması durumunda, B20 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi.....	162
Ek Tablo 11. $\varepsilon = 19$ olması durumunda, B20 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi.....	163
Ek Tablo 12. $\varepsilon = 21$ olması durumunda, B20 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi.....	163

Ek Tablo 13. $\varepsilon = 17$ olması durumunda, B50 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi.....	164
Ek Tablo 14. $\varepsilon = 19$ olması durumunda, B50 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi.....	164
Ek Tablo 15. $\varepsilon = 21$ olması durumunda, B50 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi.....	165
Ek Tablo 16. $\varepsilon = 17$ olması durumunda, B100 yakıtı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi.....	165
Ek Tablo 17. $\varepsilon = 19$ olması durumunda, B100 yakıtı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi.....	166
Ek Tablo 18. $\varepsilon = 21$ olması durumunda, B100 yakıtı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi.....	166

SEMBOLLER DİZİNİ

B05	: %5 Biyodizel + %95 Dizel yakıtı karışımı
B10	: %10 Biyodizel + %90 Dizel yakıtı karışımı
B20	: %20 Biyodizel + %80 Dizel yakıtı karışımı
B50	: %50 Biyodizel + %50 Dizel yakıtı karışımı
B100	: Saf biyodizel yakıtı
LPG	: Sıvılaştırılmış petrol gazı
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 ısıl değeri
k	: Sabit (4 zamanlı motorlar için $k = 2$, iki zamanlı motorlar için $k = 1$)
l	: Moment kolu uzunluğu
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
S	: Terazide oluşan yay kuvveti
T_0	: Ortam sıcaklığı

V_h	: Strok hacmi
V_i	: Karışımı oluşturan maddelerin hacmi
V_{toplam}	: Karışımın toplam hacmi
x_i	: Maddelerin karışım içindeki hacimsel oranı
x_r	: Özgül nem
X_{nem}	: Nem düzeltme faktörü
z	: Silindir sayısı
Δh	: Manometrenin kolları arasındaki sıvı seviyesi farkı
Δt	: ΔV hacmindeki yakıtın tüketilme süresi
ΔV	: Ölçekli kaptaki yakıt hacmi
α	: Hava fazlalık katsayısı
ε	: Sıkıştırma oranı
η_e	: Efektif verim
$\mu_{k,hava}$: Kuru havanın kmol kütlesi
$\mu_{r,hava}$: Nemli havanın kmol kütlesi
$\mu_{yakıt}$: Yakıtın kmol kütlesi
ρ_{hava}	: Havanın yoğunluğu
ρ_i	: Katkı olarak kullanılan yakıtın yoğunluğu
$\rho_{yakıt}$: Yakıtın yoğunluğu
ω	: Açısal hız

1. GİRİŞ

Enerji, insan yaşamının temel ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli olan en önemli öğelerin başında gelmektedir. Kişi başına enerji tüketimi, bir ülkenin gelişmişlik göstergeleri arasında yer almaktadır. Dünya nüfusunun sürekli artması ve sanayileşmenin de artan bir ivme izlemesi nedeniyle enerji ihtiyacı her geçen gün artmakta ve ortaya enerji açığı çıkmaktadır (Akdere, 2006; Ölçüm, 2006).

Günümüzde enerji ihtiyacının büyük bir bölümü fosil yakıtlar olarak adlandırılan petrol, kömür ve doğalgaz tarafından sağlanmaktadır. Fosil yakıtların tükenebilir yani sınırlı olmasına karşın, enerji ihtiyacının sürekli artıyor olması enerji açığından daha çok, yakın bir gelecekte büyük enerji problemlerinin meydana geleceğinin çok açık bir göstergesidir.

Gerek şu andaki enerji açığını karşılamak, gerekse fosil yakıtlarının tükenmesi sonucu oluşabilecek olumsuzlukları önlemek amacıyla tüm dünyada alternatif yakıtlar üzerine geniş çaplı araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan bu araştırmalar genelde yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bunun yanı sıra günümüzün en önemli sorunlarından birisi küresel ısınmadır. Küresel ısınma da, fosil yakıtlarının yanması sonucu oluşan, başta CO₂ olmak üzere, zararlı emisyonların oluşturduğu sera etkisinin bir sonucu olarak oluşmaktadır. Bu sorun da göz önüne alınarak yeni alternatif enerji kaynaklarının daha temiz emisyonlara sahip olması istenmektedir. Bu iki temel unsura ek olarak, aranan alternatif enerji kaynağının ekonomiklik unsuru da önemli bir paya sahiptir.

Kısacası aranan yeni alternatif enerji kaynaklarının; yenilenebilir, temiz ve ekonomik olması istenmektedir. Bu veriler göz önüne alınarak düşünüldüğünde Dünya Enerji Konseyi raporlarının öngörüsüne göre alternatif enerji kaynakları arasında en büyük pay biyokütle enerjisine aittir (Akdere, 2006).

Ülkemizde tüketilen enerjinin büyük bir bölümü, yakıt olarak içten yanmalı motorlarda kullanılmaktadır. Dolayısıyla alternatif enerji olarak biyokütleden elde edilecek sıvı yakıtlar cazip hale gelmektedir. Sıvı yakıtlar içerisinde, ülkemizde rahatlıkla üretilebilecek olmaları ve dizel motorlarında yakıt olarak kullanılma potansiyelleri bulunması sebebiyle, bitkisel yağlar ve bunların türevleri ön plana çıkmaktadır. Bitkisel yağlardan üretilen en önemli dizel yakıtı da biyodizeldir (Ölçüm, 2006).

Bu çalışmada, tüm dünyada kullanılmaya başlanan ve Avrupa Birliği'nde dizel yakıtta belli oranlarda karıştırılması mecburi hale gelen alternatif bir yakıt olan biyodizelin motor performansı üzerindeki etkileri incelenecektir.

1.1. Motorların Tarihçesi

İçten yanmalı motorlar, dıştan yanmalı motorlar olan buhar makinelerinden sonra geliştirilmişlerdir. Fransız Beaud Rochas, Lenoir tarafından tasarlanan motorda hava-yakıt karışımının yanma öncesi sıkıştırılması ile motorun gücünün ve veriminin artabileceğini düşünmüş ve 1862 yılında dört zamanlı motorun prensibi için patent almıştır. İçten yanmalı motor, bugünkü yapısıyla 1875 yılında Nikolaus August Otto tarafından yapılmıştır. Otto motoru, sabit hacimde yanma çevrimine göre çalışan dört zamanlı bir motordur. 1892 yılında ise, Rudolph Diesel, sıkıştırılmış hava içine yakıt püskürterek yanma prensibine göre çalışan dizel motorunun patentini almıştır. Sabit basınçta yanma çevrimine göre çalışan dört zamanlı dizel motoru, önce kara taşıtlarında, sonra gemilerde, daha sonra ise lokomotiflerde kullanılmıştır. 1954 yılında Alman Felix Wankel, döner pistonlu motorlar üzerinde araştırmalara başlamış ve ilk döner pistonlu motora sahip araç 1963 yılında üretilmiştir (Karabektaş, 2002).

İçten yanmalı motorların karayolu taşıtlarında uygulanması, Otto ile çalışan Alman Gottlieb Daimler ve arkadaşları Karl Benz tarafından 1886 yılında gerçekleştirilmiştir. Karayolu taşıtlarının ilk seri üretimi ise, 1908 yılında Amerikalı Henry Ford tarafından gerçekleştirilmiştir. Maliyetlerin düşmesiyle Ford tarafından üretilmeye başlanan araç geniş kullanım alanı bulmuştur. Bu araçlardan toplam 15 milyon adet üretilmiştir. İkinci dünya savaşı sonrası refah düzeyi artan ülkelerde, motorlu kara taşıtlarına olan taleplerde hızlı bir artış olmuştur. Ülkemizde de dünyadaki gelişmelere paralel olarak araç sayısında yıllar itibariyle artış olmuştur. 1954 yılında toplam 46 bin olan Türkiye'deki araç sayısı, 1999 yılında 5,5 milyon adede ulaşmıştır (Karabektaş, 2002). Son yıllarda bu artış büyük bir ivme kazanarak devam etmiş ve taşıt sayısı 2007 yılının Ocak ayı itibariyle yaklaşık 12,3 milyon adet olmuştur (URL-1, 2007).

1.2. Fosil Yakıt Rezervleri

Dünyada toplam fosil enerji kaynakları rezervi, yaklaşık 900 milyar ton petrol eşdeğerindedir. Bu miktarın %75'lik kısmını kömür rezervleri oluşturmaktadır. Geri kalan kısmı ise, petrol ve doğalgazdan meydana gelmektedir. Kömür rezervlerinin büyük bir kısmı Orta Avrupa'da, petrol rezervlerinin büyük bir kısmı ise Ortadoğu ülkelerinde bulunmaktadır. Orta Asya ülkelerinde de önemli oranda petrol ve doğalgaz rezervlerinin bulunduğu tahmin edilmektedir. Dünya kömür rezervi toplam 1041 milyar ton, petrol rezervi 135,4 milyar ton, doğalgaz rezervinin ise 124 trilyon m³ olduğu tahmin edilmektedir. Ülkemiz enerji rezervleri, toplam dünya rezervleri içinde küçük düzeylerde bulunmaktadır. Ülkemizde üretilebilir petrol rezervi 43,7 milyon ton, doğalgaz rezervi ise 8,9 milyar m³'tür. Ülkemiz taş kömürü rezervi 1,1 milyar ton, linyit rezervi ise 8,4 milyar tondur. Dünyada toplam birincil enerji arzı 8,5 milyar ton değerindedir. Burada %39 ile petrol en büyük paya sahiptir. Kömür %29, doğalgaz %22, nükleer enerji %7, hidrolik enerji ise %3 oranında bir paya sahiptir (Karabektaş, 2002). Mevcut kaynakların üretim ve tüketim değerleri bu oranlarda devam ettiği sürece 2000–2001 Enerji Raporu'na (2001) göre Tablo1'de de görüldüğü gibi yaklaşık olarak petrol kaynaklarının 40 yıl, doğalgaz kaynaklarının 60 yıl ve kömür kaynaklarının da 240 yıllık ömrünün kaldığı tahmin edilmektedir.

Tablo 1. Dünya fosil yakıt rezervlerinin kullanılabilme süreleri (Enerji Raporu, 2001).

Bölgeler	Petrol (yıl)	Doğalgaz (yıl)	Kömür (yıl)
Kuzey Amerika	14	11	239
Orta ve Güney Amerika	38	66	474
Avrupa	8	18	161
Eski SSCB Ülkeleri	24	82	>500
Ortadoğu	87	>100	175
Afrika	28	98	268
Asya ve Okyanusya	16	40	164
Toplam Dünya	41	62	230

1.3. Alternatif Yakıtlar

1.3.1. Gaz Yakıtlar

1.3.1.1. Hidrojen

Hidrojen, yenilenebilir bir yakıt olmasının yanı sıra zararlı eksoz emisyonunun olmaması sebebiyle de gelecek vadeden en önemli alternatif yakıtlardan biridir. Hidrojenin başlıca özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Benzin ve hidrojenin başlıca özellikleri (Pulkrabek, 2004).

Özellik	Benzin	Hidrojen
Molekül Formülü	C ₈ H ₁₅	H ₂
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

Hidrojeni motor yakıtı olarak öne çıkaran en önemli özellikleri, benzine oranla sahip olduğu yüksek ısıl değer ve geniş tutuşma limitidir. Isıl değerinin yüksek olması sayesinde yanması sonucu benzine oranla daha fazla güç elde edilirken, geniş tutuşma limiti sayesinde de çok zengin ve çok fakir karışımlarda tutuşabilmeye imkan tanır. Ayrıca yapısal özelliği nedeniyle normal koşullarda hidrojenin yanması sonucunda sadece H₂O oluşur. HC, CO ve CO₂ gibi kirletici emisyonlar oluşmaz. Ancak yüksek sıcaklıklarda yanma sonucunda NO_x oluşabilir. Bütün bu üstünlüklerine karşın üretiminin pahalı olması, taşıma ve depolama sıkıntılarının bulunması dolayısıyla günümüzde yaygın olarak kullanılamamaktadır. Hidrojen buji ateşlemeli motorlarda kullanılabileceği gibi çift yakıtlı dizel motorlarında da kullanılmaya uygun bir yakıttır. Hidrojenin üretimi, dağıtımı, taşıtlarda depolanması ve kullanımı ile ilgili yetersiz yönleri giderilebilirse gelecek için ideal bir yakıt olabileceği düşünülmektedir (Sezer, 2002; Karabektaş, 2002).

1.3.1.2. Doğalgaz

Doğalgaz, esas olarak metandan oluşan (min. %85) ve dünya genelinde en bol miktarda elde edilebilen bir gaz yakıttır (Karabektaş, 2002). Metanın başlıca özellikleri Tablo 3’de sunulmuştur.

Tablo 3. Metanın ve benzinin başlıca özellikleri (Pulkrabek, 2004).

Özellik	Benzin	Metan
Molekül Formülü	C ₈ H ₁₅	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 volümetrik verimini düşürmektedir. Bu nedenle motorlarda kullanıldığında nominal (maksimum) güçte yaklaşık %10 düzeyinde bir düşüşe neden olmaktadır. 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_x 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 (Sezer, 2002).

1.3.1.3. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)

Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG); petrolün damıtılması ve parçalanması esnasında elde edilen ve sonradan yüksek basınç altında sıkıştırılıp sıvılaştırılan, başlıca propan, bütan ve izomerleri gibi hidrokarbonlar veya bunların karışımından oluşan bir yakıttır. Propanın başlıca özellikleri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Propan ve benzinin başlıca özellikleri (Pulkrabek, 2004).

Özellik	Benzin	Propan
Molekül Formülü	C_5H_{18}	C_3H_8
Molekül Kütlesi, kg/kmol	111	44
Alt Isıl Değer, kJ/kg	43000	46190
Buharlaşma Isısı, kJ/kg		426
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	14,6	15,7
Araştırma Oktan Sayısı	92 – 99	112

Propan gaz fazında bulunması sebebiyle daha yüksek stokiyometrik hava–yakıt oranına sahiptir. Bu nedenle propan kullanımı durumunda yanma iyileşir ve böylece özgül yakıt tüketimi ve eksoz emisyonları azalır. Propan yakıtlı bir buji ateşlemeli motor, benzinle çalışan benzer bir motorla aynı hava fazlalık katsayısında çalıştırılırsa, propanın sahip olduğu yüksek ısı değer ve daha iyi yanma nedenleriyle daha yüksek efektif gücün elde edileceği tahmin edilmektedir. Ayrıca propanın oktan sayısı yüksektir dolayısıyla yüksek sıkıştırma oranlarında çalışmaya olanak sağlar. Bu özelliğinin sonucu olarak da motor performansında iyileşmeler görülür. Propanın en önemli yetersizliği ise, emme sistemine gaz halinde girmesi ve yol açtığı yüksek emme sıcaklığı nedeniyle motorun volumetrik verimini ve sonuç olarak da taze dolgu kütlelerini azaltmasıdır (Bayraktar ve Durgun, 2004).

1.3.2. Sıvı Yakıtlar

1.3.2.1. Alkoller

Alkoller motorlarda kullanılabilen sıvı yakıtlardandır. Alkoller tek başına motor yakıtı olarak kullanılabilen gibi petrol kökenli yakıtlara belirli oranlarda katılarak yakıt karışımları şeklinde de kullanılabilirler. Motorlarda yakıt olarak kullanılabilen alkollerin başlıcaları metanol ve etanoldür (Sezer, 2002). Tablo 5'te etanol ve metanolün, benzin ve dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak bazı özellikleri verilmiştir.

Tablo 5. Etanol, metanol, benzin ve dizel yakıtının başlıca özellikleri (Pulkrabek, 2004).

Özellik	Benzin	Dizel	Etanol	Metanol
Molekül Formülü	C_8H_{15}	$C_{12,3}H_{22,2}$	C_2H_5OH	CH_3OH
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, içerisinde etil alkol bulunan, temiz, renksiz ve zehirli olmayan bir sıvıdır. Etanolün en önemli özelliği, yenilenebilir bir yakıt olması ve şeker, şeker pancarı, patates ve benzeri tarımsal ürünlerin fermantasyonu sonunda elde ediliyor olmasıdır. 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. Etanolün oktan sayısı yüksek fakat setan sayısı düşüktür. Sahip olduğu kendi kendine tutuşma direnci nedeniyle dizel motorlarında kullanımında bazı problemler meydana gelmektedir. Fakat kendi kendine tutuşma direnci, benzin motorlarında sıkıştırma oranının artırılmasına olanak sağladığından etanolün benzin motorlarında kullanımı daha avantajlıdır. Benzin ile etanolün doğrudan karıştırılması zordur ve etanol-benzin karışımlarında faz ayrışması sorunu doğmaktadır. Bu problem izopropanol gibi çözünlülüğü artırıcı katkı maddeleri kullanılarak kısmen giderilebilir. Ayrıca, etanol su çekici özelliği nedeniyle mekanik parçalarda korozyona yol açabilir. Bunların yanı sıra motorlarda etanol kullanımına bağlı diğer önemli sorun ise formaldehid, asetaldehid ve

aseton emisyonlarının önemli ölçüde artmasıdır. Günümüzde üretiminin, pahalı ve gıda ürünlerine dayalı olması alternatif yakıt olarak kullanımını engellemektedir. Sonuç olarak etanol bol miktarda ve ekonomik olarak üretilebilirse benzin motorları 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 (Bayraktar, 2005; Bilgin vd., 2002).

Metanol, içerisinde metil alkol bulunan, renksiz, saydam, hafif kokulu, zehirli (toksik) ve su çekici (hidroskopik) bir sıvıdır. Günümüzde modern tesislerde doğalgazdan üretilmektedir. Fakat doğalgazın yanı sıra, kömür, biyokütle kaynakları, evsel ve endüstriyel atıklardan da üretimi mümkündür. Ayrıca kömürden üretilebilir olması, dünyadaki rezervler göz önüne alındığında diğer tükenbilir alternatif yakıtlar içinde en uzun ömürlü alternatif yakıt olarak öne çıkmasına neden olmaktadır (Bilgin ve Sezer, 2008). Metanol yüksek oktan sayısına sahip olması nedeniyle benzin motorlarında yakıt katkısı olarak kullanıldığında karışımın oktan sayısını artırmaktadır. Bunun yanı sıra dizel motorlarında kullanımında ise, dizel yakıtına göre yüksek gizli buharlaşma ısısına sahip olmasından dolayı silindire emilen taze dolguda soğutucu etkiye yol açmaktadır. Bu etkinin sonucu olarak da yanma 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 (Bayraktar, 2007).

Sonuç olarak; metanol ve etanol oktan sayılarının yüksek, setan sayılarının düşük olması nedeniyle daha çok benzin motorları için uygun alternatif yakıt olmakla birlikte, düşük oranlarda dizel yakıtıyla doğrudan karıştırılıp, fumigasyon ve çift yakıt sistemleri kullanılarak dizel motorlarında da kullanım alanı bulabilirler (Durgun ve Şahin, 2004).

1.3.2.2. Bitkisel Yağlar

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 incelme vb. sorunlarla karşılaşmıştır. Bu sorunların en önemli sebebi bitkisel yağların viskozitesinin dizel yakıtına oranla çok yüksek olmasıdır. Bu sebepten dolayı bitkisel yağlar, saf olarak kullanmak yerine, esterleştirerek kullanılmaktadırlar. Böylece viskozite değeri belli oranda azaltılmış olmaktadır (Sezer, 2002).

Bitkisel yağ esterleri biyodizel olarak adlandırılmaktadır ve dizel yakıtıyla oldukça benzer yapıda oldukları için dizel motorları için en önemli alternatif yakıtların başında gelmektedirler.

1.4. Biyodizel

Biyodizel, biyolojik yağlardan üretilen dizel yakıtına alternatif bir yakıttır. Hayvansal yağlar ile soya fasulyesi, kolza, ayçiçeği gibi bitkisel ürünlerin yağlarından biyodizel yakıt üretiminde yararlanılır. Kullanılan yağların yeni ya da atık olmasının önemi yoktur. Bu nedenle biyodizel üretimi aynı zamanda bir atıklardan enerji kazanımı modelidir. Biyodizel saf olarak kullanılabilirdiği gibi petrolden elde edilen dizel yakıtı ile de karıştırılarak kullanılabilir. Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmesini, ilk olarak 1900'lü yılların başında Rudolph Diesel yer fıstığı yağıyla dizel motorunu çalıştırarak göstermiştir. Fakat petrol hazır bir sektör olduğu için yaygınlaşması ancak bazı özel olaylar sonucu ve kısıtlı olmuştur, ikinci dünya savaşı, 1970'lerdeki petrol darboğazı ve yeni dönemde çevre bilincinin artması yeni enerji kaynaklarına ilgiyi arttırmıştır.

Biyodizel ismi ilk olarak 1992 yılında Amerika Ulusal SoyDiesel Geliştirme Kuruluşu tarafından telaffuz edilmiştir (Ölçüm, 2006).

1.4.1. Biyodizelin Özellikleri

Biyodizel orta uzunlukta C16–C18 yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Biyodizel ağırlıkça %11 oksijen içerir. Oksijenli zincir yapısı biyodizeli, petrol kökenli dizel yakıtından ayırır. Biyodizel, dizel yakıtına yakın ısıl değere, dizel yakıtından daha yüksek alevlenme noktasına sahiptir. Bu özellik biyodizeli kullanım, taşıma ve depolamada daha güvenli bir yakıt yapar. Aşağıda biyodizelin temel özellikleri açıklanmaktadır (Ölçüm, 2006).

1.4.1.1. Biyolojik Olarak Bozunabilirlik

Biyodizeli oluşturan C16–C18 metil esterleri doğada kolayca ve hızla parçalanarak bozunur, 10000 mg/L'ye kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik etki göstermezler. Suyu bırakıldığında biyodizelin 28 günde %95'i, dizel yakıtının ise %40'ı bozunabilmektedir. Biyodizelin doğada bozunabilme özelliği dekstroza (şekere) benzemektedir (Ölçüm, 2006).

1.4.1.2. Toksik Etki

Biyodizelin olumsuz bir toksik (zehirleyici) etkisi bulunmamaktadır. Biyodizel için ağızdan alınmada öldürücü doz 17,4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı şeklindedir. Sofra tuzu için bu değer 1,75 g tuz/kg vücut ağırlığı olup, tuz biyodizelden 10 kat daha yüksek öldürücü etkiye sahiptir. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri biyodizelin ciltte %4'lük sabun çözeltisinden daha az toksik etkisi olduğunu göstermiştir. Biyodizelin toksik olmamasına karşın, biyodizel ve biyodizel–dizel yakıtı karışımlarının kullanımında; dizel yakıtı için zorunlu olan standart koşulların (göz koruyucular, havalandırma sistemi v.b.) kullanılması önerilmektedir (Ölçüm, 2006).

1.4.1.3. Depolama

Dizel yakıtı için gerekli depolama yöntem ve kuralları biyodizel için de geçerlidir. Biyodizel temiz, kuru, karanlık bir ortamda depolanmalı, aşırı sıcaktan kaçınılmalıdır.

Depo tankı malzemesi olarak yumuşak çelik, paslanmaz çelik, florlanmış polietilen ve florlanmış polipropilen seçilebilir. Depolama, taşıma ve motor malzemelerinde bazı elastomerlerin, doğal ve butil kauçukların kullanımı sakıncalıdır; çünkü biyodizel bu malzemeleri parçalamaktadır. Bu gibi durumlarda biyodizelle uyumlu Viton B tipi elastomerik malzemelerin kullanımı önerilmektedir (Ölçüm, 2006).

1.4.1.4. Viskozite ve Akış Özellikleri

Yakıt viskozitesi, içten yanmalı motorlarda yakıt sisteminin ideal çalışmasında, yakıtın atomize olmasında, tutuşma gecikmesinde, yakıtın yanmasında ve dolayısıyla ısıl verimde önemli rol oynar. Bitkisel yağ esterlerinin viskoziteleri dizel yakıtından yüksektir. Bitkisel yağlar ve esterleri dizel yakıtından daha yüksek akma ve bulanma noktasına sahiptir. Bu durum yakıtların soğukta kullanımında sorun çıkarır. Akma ve bulanma noktaları uygun katkı maddeleri (anti-jel maddeleri) kullanımı ile düşürülebilmektedir. Soğukta çalışma koşullarında yakıtın akma ve bulanıklık noktasının yakıtın donma sıcaklığının altında olması motorun sağlıklı çalışması açısından gereklidir (Şen vd., 2004).

1.4.1.5. Motor Yakıtı Özellikleri

Dizel motorlarında yanma odasına püskürtülen yakıtın uygun bir tutuşma gecikmesinden sonra kendi kendine tutuşması istenir. Tutuşma gecikmesi dizel vuruntusunun oluşmasını ve yanma verimliliğini etkileyen en önemli faktördür. Bu nedenle setan sayısı uygun değerde olmalıdır. Genel olarak biyodizelin setan sayısı dizel yakıtının setan sayısından daha yüksektir. Bu özellik yüksek viskozite ve düşük ısıl verimden kaynaklanan düşük yanma verimini kısmen telafi etmektedir (Şen vd.,2004).

1.4.2. Biyodizelin Standartları

Kalite güvencesi açısından, piyasalara yeni girecek ve dizel motorlarda kullanılacak olan bir yakıt çok dikkatli bir şekilde ve belli kıstaslara uygun olarak açıkça belirtilmelidir. Başlangıçta biyodizel için belli bir standardın olmaması ve üretimin şimdiki tekniklere göre ilkel sayılabilecek şekilde yapılması sonucunda pek o kadar da kaliteli olmayan

biyodizel üretilmiştir. Bu da biyodizelin kötü bir yakıt olarak tanınmasına sebep olmuştur (Ölçüm, 2006).

Biyodizel hakkında ilk standart Avusturya tarafından kolza yağı kökenli biyodizel için çıkarılmış olan ON C 1190 standardıdır. Bunu atık yağları, saf trigliserdleri, hayvansal ve bitkisel kökenli yağları kapsayan ve daha geniş bir kalite güvencesi oluşturan, Avusturya yağ-asit-metil esterleri standardı ON C 1191 takip etmiştir. Çeşitli ülkeler de biyodizel için standartlar oluşturmuşlardır. ABD' de soya bitkisinden elde edilen biyodizel için ASTM'nin normları mevcuttur. Son olarak 2002 yılında ASTM (American Society for Testing and Materials) ve AB (Avrupa Birliği) standartları oluşturulmuştur. Tablo 6'da biyodizel Avrupa Standartları, Tablo 7'de de ASTM biyodizel standartları verilmektedir (Ölçüm, 2006).

Biyodizel; saf ve biyodizel–dizel yakıtı karışımları şeklinde, yakıt olarak kullanılmaktadır ve aşağıdaki şekilde adlandırılmaktadır.

B5	:	%	5	Biyodizel	+	%	95	Dizel yakıtı
B10	:	%	10	Biyodizel	+	%	90	Dizel yakıtı
B20	:	%	20	Biyodizel	+	%	80	Dizel yakıtı
B50	:	%	50	Biyodizel	+	%	50	Dizel yakıtı
B100	:	%	100	Biyodizel				

Tablo 6. EN 14214 Biyodizel Avrupa Standartları (Ölçüm, 2006).

Yakıt Özellikleri	Test Metodu	Biyodizel
Yoğunluk, 15 °C, kg/m ³	EN ISO 3675	860–900
Kinematik Viskozite, 15 °C, cSt	EN ISO 3104	3,5–5,0
Alevlenme Noktası, °C, min.	ISO/CD 3679	101
Soğukta Filtre Tıkanma Noktası, °C 15 Nisan – 30 Eylül 1 Ekim – 15 Kasım 16 Kasım – 28 Şubat	DIN EN 116	0 -10 -20
Karbon Bakiye, Ağır.%'si, maks.	EN ISO 10370	0,3
Bakır Korozyon Testi, min.	EN ISO 2160	No:1
Oksidasyon Stabilitesi, 110 °C, saat, min.	EN 14112	6
Setan Sayısı, min	EN ISO 5165	51
Asit İndisi, mg/kg, maks.	EN 14104	0,5
İyot İndisi, maks.	EN 14111	120
Ester Ağır.%'si, min.	EN 14103	96,5
Kükürt İçeriği, mg/kg, maks.	EN ISO 14596	10
Su İçeriği, mg/kg, maks.	EN ISO 12937	500
Sediment İçeriği, mg/kg, maks.	EN 12662	24
Sülfate Kül İçeriği, Ağır.%'si, maks.	ISO 3987	0,02
Serbest Gliserin İçeriği, Ağır.%'si, maks.	EN 14105	0,02
Toplam Gliserin İçeriği, Ağır.%'si, maks.	EN 14105	0,25
Fosfor İçeriği, mg/kg, maks.	EN 14107	10
Metanol İçeriği, Ağır.%'si, maks.	EN 14110	0,2
Trigliserit İçeriği, Ağır.%'si, maks.	EN 14105	0,2
Digliserit İçeriği, Ağır.%'si, maks.	EN 14105	0,2
Monogliserit İçeriği, Ağır.%'si, maks.	EN 14105	0,8
Alkali İçeriği (Na+K), mg/kg, maks.	EN 14108	5
Linoleik Asit Metil Esteri Miktarı, Ağır.%'si, maks.	EN 14103	12

Tablo 7. ASTM D6751 Biyodizel Standardı (Ölçüm, 2006).

Yakıt Özellikleri	Test Metodu	Biyodizel
Kinematik Viskozite, 15 °C, cSt	D 445	1,9–6,0
Alevlenme Noktası, °C, min.	D 90	130
Bulutlanma Noktası, °C	D 2500	(-3)-(-12)
Karbon Bakiye, Ağır.%'si, maks.	D 4530	0,05
Bakır Korozyon Testi, min.	D D 130	No:3
Setan Sayısı, min	D 613	47
%90 Distilat Toplanma Sıcaklığı, °C, maks.	D 1160	360
Asit İndisi, mg KOH/g, maks.	D 664	0,8
Kükürt İçeriği, Ağır.%'si, maks.	D 5453	0,05
Su ve Sediment İçeriği, Hac.%'si, maks.	D 2709	0,05
Sülfate Kül İçeriği, Ağır.%'si, maks.	D 874	0,02
Serbest Gliserin İçeriği, Ağır.%'si, maks.	D 6584	0,02
Toplam Gliserin İçeriği, Ağır.%'si, maks.	D 6584	0,24
Fosfor İçeriği, mg/kg, maks.	D 4951	0,001

1.4.3. Biyodizelin Üretimi

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımında ana kısıtlayıcı faktör olan viskozite probleminin çözümü için dört yöntem önerilmektedir (Dizar, 2003).

- 1) Seyreltme
- 2) Mikroemülsiyon oluşturma
- 3) Piroliz
- 4) Transesterifikasyon (Yeniden Esterleştirme)

1.4.3.1. Seyreltme

Bu yöntemde uygun bitkisel yağlar belirli oranlarda dizel yakıtına katılarak yağın viskozitesi düşürülmektedir. Ziejewki ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada hacim olarak

25/75 oranında ayçiçeği yağı dizel yakıtından oluşturulan karışımın 40 °C'deki viskozitesi 4,88 mm²/s olarak bulunmuştur. ASTM (Amerikan Test ve Malzeme Standartları) standartlarında dizel yakıt için belirlenen üst sınır 4,0 mm²/s olduğundan söz konusu karışımın direkt enjeksiyonlu dizel motorlarında kullanılamayacağı sonucuna varılmıştır. Bu yöndeki bir başka çalışmada ise kolza yağı ağırlıkça %10 oranında standart dizel yakıtına katılmış ve bu yağın dizel özelliklerinde önemli değişmelere yol açmadığı gözlemlenmiştir. Bu karışım ile dizel motorlarında yapılan laboratuvar çalışmaları olumlu sonuç vermiş ve eksoz gazlarında bazı iyileşmeler de gözlemlenmiştir (Ölçüm, 2006).

1.4.3.2. Mikroemülsiyon Oluşturma

Bitkisel yağların viskozitesini düşürmek için izlenen bir diğer yol da metanol, etanol gibi kısa zincirli alkollerle mikroemülsiyon oluşturmaktır. Mikroemülsiyon, boyutları 1–150 nm arasında olan optikçe izotropik sıvı mikroyapılarının kolloidal denge dağılımı olup normalde karışmayan iki sıvı ve bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşur. Bu yöntemle petrolden tamamen bağımsız alternatif dizel yakıtları meydana getirmek mümkün olabilmektedir. Ancak konuyla ilgili yapılan araştırmalardan da anlaşılacağı gibi kullanılacak yağ, alkol, amfifilin sisteminde faz dengelerinin, karışılabilir limitleri ve diğer fiziksel karakteristiklerin geniş ölçüde incelenmesi gerekmektedir (Ölçüm, 2006).

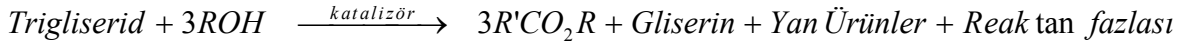
1.4.3.3. Piroliz

Piroliz veya kraking kimyasal bağların daha küçük moleküller oluşturmak üzere kırılması işlemidir. Bitkisel yağların piroliz ürünlerini elde etmek amacıyla izlenen yöntemlerde bitkisel yağ ısı etkisiyle kapalı bir kaptaki bozundurulmakta diğer uygulamalarda ise standart ASTM distilasyonu ile ısı bozundurmaya tabi tutulmaktadır (Ölçüm, 2006).

1.4.3.4. Transesterifikasyon

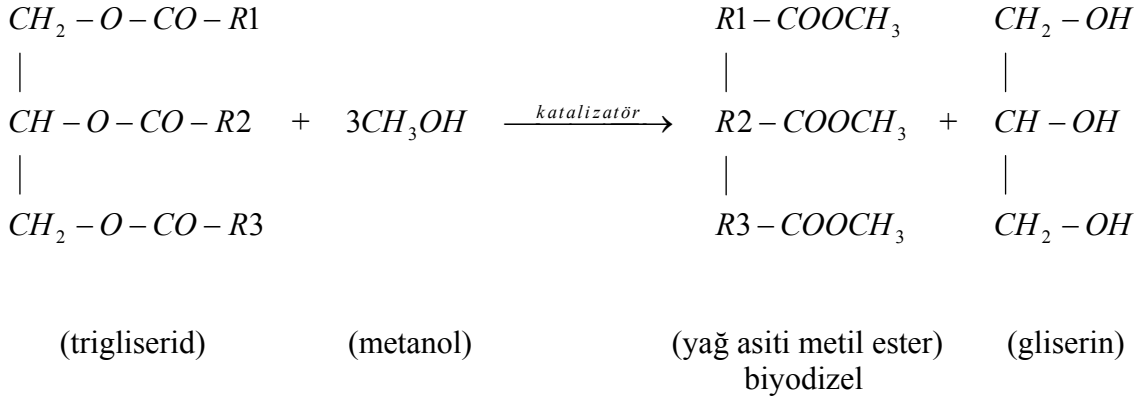
Bitkisel yağların viskozitelerini düşürmek için uygulanabilecek diğer bir yöntem de yağın basit alkollerle reaksiyona girdiği transesterifikasyondur. Bu yöntemle ele geçen

ürün yağ asitleri esterlerinin bir karışımı olup petrol kökenli dizel yakıtının yerini alacak alternatif ve acil ihtiyaç yakıtı olarak iyi bir potansiyel ve düşük viskoziteye sahiptir. Bu ester ürünler uzun süreli dizel motor testinde iyi bir performans göstermişlerdir. Transesterifikasyon yönteminde aşağıda açıklanan reaksiyonla yağ asidi esterleri oluşmaktadır.



Bu reaksiyonun stokiyometrisi 3/1 alkol/yağ oranı gerektirmektedir. Bu oran genellikle maksimum ester dönüşümü elde etmek için daha yüksek tutulur. Bitkisel yağların bu yöntem ile metil ve etil esterlerine dönüştürülmesiyle, yağın kaynama ve alevlenme noktaları ile viskozitesi düşürüldüğü gibi ester ürün yanında oluşan ve saf olarak elde edilebilen gliserin ve diğer yan ürünlerin de çeşitli kimya endüstrilerinde değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu yönüyle bitkisel yağların metil ve etil esterleri bugün bilinen biyokütle kaynaklı dizel yakıt alternatifleri içinde hedeflere en uygun olarak gözükmektedir. Transesterifikasyon ile soya, yerfıstığı, kolza, ayçiçeği, palm yağı gibi bitkisel yağlar ile bazı endüstriyel atık ve artık yağların değerlendirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır (Demirbaş, 2002).

Esterleşme reaksiyonları doğrudan esterleşme veya interesterleşme olarak ikiye ayrılır. Doğrudan esterleşme, bir yağ asidi veya herhangi bir asitle alkol arasında meydana gelir. Tüm esterleşme reaksiyonları katalitik reaksiyonlar olup, sıcakta asit veya baz karakterli katalizör ile yürütülür. Bu reaksiyonlarda monohidrikalkol kullanılacağı gibi polihidrikalkoller de kullanılabilir. Alkoliz reaksiyonu bir trigliserid yağ ile monohidrikalkol arasında oluşur. Bu reaksiyonun stokiyometrisine göre 3 mol ester ve 1 mol gliserin elde etmek için 1 mol trigliseridin 3 mol alkol ile reaksiyona girmesi gerekir. Bu kimyasal dönüşümde de trigliseridler; monogliseridler ara ürün olarak oluşur ve hemen harcanırlar. Kullanılan katalizör ise sodyum hidroksit veya potasyum hidroksittir.



Şekil 1. Bitkisel Yağın Transesterifikasyonu (Ölçüm, 2006)

1.5. Literatür Araştırması

Bitkisel yağlar ve bitkisel yağ esterlerinin dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanımı, tüm dünyada büyük bir araştırma alanı olarak kullanılmaktadır.

Bu araştırmalarda genel olarak, bitkisel yağların veya bitkisel yağ esterlerinin dizel motorlarında kullanımının motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu araştırmaların bazıları sırasıyla aşağıda verilmiştir.

Wagner ve Peterson 1982 yılında, kanola yağı karışımını dizel yakıtı olarak kullanımını araştırmış ve kanola yağı ile çalışan kısa süreli motor testlerinde çeşitli motor hasarlarının oluştuğunu tespit etmişlerdir. %70 kanola yağı ve dizel yakıtı karışımının kullanıldığı uzun süreli testlerde [850 saat] ise motorda önemli bir aşınma, yağlama yağının kirlenmemesi veya güç kaybı meydana gelmeden başarı ile çalıştırılmıştır (Akdere, 2006).

Ziejewski ve Kaufinan 1983 yılında yaptıkları çalışmada, %25/75 oranında ayçiçeği yağı ile dizel yakıtını karıştırarak dizel motorlarında denemişler; çıkan sonuçları dizel yakıtı denemeleri ile mukayese etmişlerdir. Denemeler sonucunda enjeksiyon memelerinde tıkanma, eksoz manifoldunda karbon birikmesi gibi problemlerin ortaya çıktığını belirtmişlerdir (Akdere, 2006).

1983 yılında Engler ve arkadaşları tarafından kullanılan bitkisel yağ türlerinde pamuk yağı için performans değerleri olumlu bulunmuş olup bu sonuçlar çeşitli yerlerde yayınlanmıştır. Bununla beraber pamuk yağı için çeşitli olumsuzluklar ortaya çıkmıştır. Bunlar enjektör memesi üzerinde aşırı derecede karbon birikimi, motor parçalarının korozyonu olarak belirtilmektedir (Akdere, 2006).

1984 yılında Pryde vd. küçük dizel motorlarında yakıt olarak soya yağı kullanılarak yapılan çalışmada, kullanılan soya yağı rafine edilmiş olup, ısıl değeri 30531 kJ/kg ve yoğunluğu 0,923 kg/L, viskozitesi 60 °C sıcaklıkta dizel yakıtından [2D] 11 kez daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yakıt tüketiminde ise artış olduğu ve özgül yakıt tüketiminin %13–14 daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Deneyde soya yağı kullanıldığında dizel yakıtına göre efektif gücün, %3 daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Hacıkadıroğlu, 2007).

Strayer 1983 yılında yaptığı çalışmada, kolza yağının metil esterleri ve onun bileşenlerini alternatif yakıt olarak iki ve altı silindri motorlarda kullanmış ve dizel yakıtına yakın güç değerleri elde etmiştir. Özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtında %6 daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca ilk çalışma zorluğu görülmemiş ve parçacık madde emisyonlarında düşüş olduğu gözlenmiştir. Kolza yağının ısıl değerinin dizel yakıtı ısıl değerinden %14 daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Akdere, 2006).

1984 yılında Wagner tarafından, soya yağının etil, metil ve butil esterleri, direkt püskürtmeli türboşarjlı motorda test edilmiş, performans olarak dizel yakıtı ile esterler arasında fazla fark olmadığı; HC, CO ve parçacıklara bakıldığında da dizel yakıtına benzerlik gösterdiği, NO_x emisyonlarında ise esterlerin dizel yakıtına oranla yüksek değerler verdiği gözlenmiştir (Hacıkadıroğlu, 2007).

Schinstock, direkt enjeksiyonlu bir motorda, rafine edilmiş soya ve ayçiçeği yağını dizel yakıtıyla 25/75 hacimsel oranında karıştırmış ve kullanımının performans etkilerini değerlendirmiştir. Sonuçların elde edilmesi için, 200 saat süreyle sabit güç testi uygulamıştır. Yanma odalarında görülen aşırı birikintilerin deney yapılan motorda bu yakıtların kullanımını engelleyecek düzeyde olmadığını ifade etmiştir (Akdere, 2006).

1990 yılında Hemmerlein vd., tarafından bir dizel motorunda bitkisel yağ kullanımı ile ilgili yapılan kısa süreli çalışmalarda bitkisel yağın uygun olduğu fakat uzun süreli çalışmalar için bazı problemler oluşturduğu belirtilmiştir. Bu problemlerin bitkisel yağlarla uzun süreler çalışmaya engel olacağı, bunun yerine bitkisel yağlarda bazı modifikasyonlar yapıldıktan sonra kullanılmasının uygun olacağı belirtilmiştir (Hacıkadıroğlu, 2007).

Police 1990 yılında, bitkisel yağların motor aksamı üzerinde hiçbir değişiklik yapılmaksızın dizel yakıtları ile karşılaştırılabilir derecede önemli performanslar gösterebildiğini belirtmiştir. Bununla beraber uzun süreli kullanımlar sonunda, sert karbon birikintileri, enjektör memesi tıkanmaları ve segman yapışması olduğunu da açıklamıştır. Yağların metil, etil ve butil esterlerinin kullanılması ile bu etkilerin azalacağını belirtmiştir.

Bu yakıtların formülünde oksijen varlığı ve yapısındaki sülfür yokluğundan dolayı ester kullanımının ümit verici olduğunu vurgulamıştır (Akdere, 2006).

Schumacher 1992 yılında bir Dodge kamyonunda yakıt olarak soya yağı metil esteri denemiş ve soya yağı metil esterinin dizel motorlarında kolayca kullanılabilceği sonucuna varmıştır. Aynı zamanda motorlarda hacimsel olarak %10–20–30–40–50 soya yağı metil esteri–dizel yakıtı karışımlarının kullanımı sonucunda; karışımdaki soya yağı metil esteri oranının artmasıyla güç, islilik oranı, CO ve HC emisyon değerlerinin düştüğü, NO_x emisyonları ve yakıt tüketiminin arttığını tespit etmiştir (Hacıkadiroğlu, 2007).

Scholl ve Sorenson tarafından 1992 yılında yapılan bir çalışmada, bitkisel yağların metil esterleri dizel motorlarında alternatif yakıt olarak önerilmiştir. Bu çalışmanın amacı direkt püskürtmeli bir dizel motorunda dizel yakıtı ile soya yağı metil esterini karşılaştırmaktır. Yapılan çalışmada motor performansı, eksoz emisyonları ve ısı kayıpları araştırılmış, deneysel ölçümleri yapılmış değişik meme çapları ile değişik enjeksiyon zamanlamasının performansa etkileri araştırılmıştır. Soya yağı metil esterinin performans ve ısı kaybı açısından dizel yakıtı ile karşılaştırılabilir olduğu görülmüştür. Metil esterinin HC emisyonu ve duman koyuluğu bakımından dizel yakıtından daha iyi olduğu belirtilmiştir (Hacıkadiroğlu, 2007).

1996 yılında Schmidt ve Gerpen tarafından yapılan çalışmada, direkt püskürtmeli türboşarjlı motorda yapılan testlerde emisyonlar ölçülmüş ve özgül yakıt tüketimi esterli yağlarda daha yüksek ölçülmüştür. Fakat efektif verimde farklılık gözlenmemiştir. Biyodizel–dizel yakıtı karışımlarında NO_x değişimleri oldukça küçüktür. NO_x emisyonunda tüm esterlerde %0–5 arasında fark görülmüştür. HC emisyonu, ester kullanımında dizel yakıtına göre daha düşük ölçülmüştür (Schmidt ve Gerpen, 1996).

Cıgızoğlu vd. 1997 yılında yaptıkları araştırmada, kullanılmış ayçiçeği yağını %20/80 oranında dizel yakıt ile karıştırarak elde ettikleri yakıtı, ön yanma odalı dizel motorunda denemişler; kısa süreli testlerde bulunan motor karakteristik değerleri dizel yakıt ile elde edilen karakteristik eğrilere benzerlik gösterdiğini, ayrıca dizel yakıtından daha az duman emisyonu yaydığını bildirmişlerdir (Cıgızoğlu vd., 1997).

1997 yılında Demirsoy ve Kındıroğlu, dizel yakıtına alternatif olarak, bitkisel yağların, dizel yakıtı ile belirli oranlardaki karışımlarının dizel motorlarda yakıt olarak kullanım olanakları üzerinde durmuşlardır. Çalışmalarında, pamuk, soya ve ayçiçeği yağlarının dizel yakıtı ile %15 ve %85'lik karışımlarını ve %100 dizel yakıtını kullanmışlardır. Performans, yakıt tüketimi ve emisyon testleri yapmışlardır. %85 dizel ve

%15 pamuk yağı karışımının yapılan denemelerde %100 dizel yakıtına ve diğer karışımlara göre daha iyi sonuçlar verdiğini, ancak özgül yakıt tüketiminde dikkate değer bir artış olduğunu, yanma odasında karbon birikintilerinin arttığını belirtmişlerdir. Bu olumsuzlukları azaltmak için, bitkisel yağlar yerine, bunların metil esterlerinin kullanılmasını önermişlerdir (Demirsoy ve Kındıroğlu, 1997).

Altın 1998 yılında yaptığı çalışmada, soya ve ayçiçeği yağları ile bunların metil esterlerini tek silindirli bir dizel motorunda yakıt olarak kullanmıştır. Deneylerinde saf ayçiçeği yağı, saf soya yağı, %50 ayçiçeği yağı + %50 dizel yakıtı, %50 soya yağı + %50 dizel yakıtı, saf ayçiçeği yağı metil esteri, saf soya yağı metil esteri, %50 ayçiçeği yağı metil esteri + %50 dizel yakıtı, %50 soya yağı metil esteri + %50 dizel yakıtı ve %100 dizel yakıtı olarak belirlediği yakıt çeşitlerini test etmiştir. Saf yağ kullanımı esnasında viskoziteyi azaltmak için yağı ön ısıtma işlemine tabi tutmuştur. Motorda tam gaz değişik hız ve sabit hız değişik yük testleri ile emisyon ölçümü yapmıştır. Motor elemanlarının durumunu incelemek için de rölantide 25 saat, %50 yükte 1300 d/dak'da 25 saat olmak üzere 50 saatlik dayanıklılık testi de yapmıştır. Araştırmacı çalışması sonucunda; bitkisel yağların bazı alternatif yakıtlara göre (metanol gibi) yüksek ısı değere sahip olduğunu, bitkisel yağların ve özellikle metil esterlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dizel yakıtına benzediğini ve bitkisel yağların ve metil esterlerinin kısa süreli performans ve emisyon testlerinde dizel yakıtına yakın sonuçlar verdiği belirtmiştir. Ayrıca motorda oluşan birikintilerin uzun süreli çalışmalar için problem teşkil edebileceğini bu nedenle bitkisel yağların iyileştirilmesi gerektiğini ve metil esterlerin saf yağlara göre çok daha avantajlı olduğunu belirtmiştir. Özellikle soğuk havalarda yağların yüksek yoğunluk ve viskozitesinden kaynaklanan problemlerin giderilmesi için ön ısıtma faydalı olacağını, sülfür oranı çok düşük olduğu için bitkisel yağlar ve metil esterlerinin çevre dostu (bitkisel yağlarda: 0,0012, dizel yakıtında: 0,2) olduğu da belirtilmiştir (Akdere, 2006).

McDonnell vd. 2000 yılında, yarı rafine edilmiş kanola yağı ile yaptıkları çalışma sonucunda karbon birikintileri nedeniyle enjektör ömrünün kısaldığını, motor aşınmasına veya yağlama yağına olumsuz bir etkide bulunmadığını rapor etmişlerdir (McDonnell vd., 2000).

Yücesu, Altın ve Çetinkaya 2001 yılında yaptıkları çalışmalarında, tek silindirli bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının motor performansı ve eksoz emisyonlarına etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerde No 2-D dizel yakıtı ile birlikte dokuz değişik bitkisel yağ (ham ayçiçeği yağı, ham pamuk yağı, ham

soya yağı ve bunlardan elde edilen ayçiçeği yağı metil esterleri, pamuk yağı metil esterleri, soya yağı metil esterleri ile rafine edilmiş haşhaş yağı, kanola yağı ve mısır yağı) kullanmışlardır. Motor performansı ve eksoz emisyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla motoru tam gaz–değişik devir ve sabit devir–değişik yük deneylerine tabi tutmuşlardır. Araştırmacılara göre; yapılan testler sonucunda bitkisel yağların performans değerlerinin dizel yakıtından daha düşük, duman koyuluğu bitkisel yağlarda daha yüksek, NO_x emisyonlarının ise No 2-D dizel yakıtından daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Esterleştirme işlemi ile ham yağların fiziksel ve kimyasal özelliklerinde bir miktar iyileşme olduğu görülmüştür. Üretilen bitkisel yağ metil esteri esaslı yakıtların motor performansı değerlerinin ham yağlardan daha iyi ve dizel yakıtı performans değerlerine daha yakın olduğu belirlenmiştir (Yücesu vd., 2001).

2002 yılında Al-Vidyan vd. tarafından yapılan çalışmada, restoranlardan toplanan atık palmiye yağları transesterifikasyon yöntemiyle etil alkol esterine dönüştürülmüş ve dizel yakıtıyla çeşitli oranlarda karıştırılarak tek silindirli bir dizel motorunda test edilmiştir. Elde edilen karışımlar, %100 dizel yakıtına göre daha iyi bir yakıt ekonomisine ve daha düşük CO, HC emisyon değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak %100 ester ve %75/25 ester/dizel (25D) karışımlarıyla en iyi performans değerleri elde edilmiştir. Eksoz emisyonları göz önüne alınmadığında ise en iyi performans değerine 50/50 ester/dizel karışımıyla ulaşılmıştır. Bu sonuçlar ışığında bitkisel yağların alternatif bir dizel yakıtı olduğu vurgulanmıştır (Hacıkadıroğlu, 2007).

İlkılıç ve Öner 2003 yılında yaptıkları çalışmada, viskozite probleminin çözümü için ayçiçeği yağı metil esterini hacimsel olarak dizel yakıtı ile %50 oranında karıştırmışlardır. Elde ettikleri karışımı, tek silindirli, hava soğutmalı ve direkt püskürtmeli bir dizel motorun değişik devirlerinde denemişler, motor performansı ile eksoz gazı emisyonlarını ölçmüşlerdir. Bu değerleri dizel yakıtı kullanımı ile ölçülen değerlerle karşılaştırmışlardır. Araştırmacılara göre; deney sonuçları, ayçiçeği yağı esteri karışımının dizel yakıtına yakın güç ve moment değerleri verdiği, kirletici emisyon miktarlarında bir düşüş olduğunu göstermiştir. Maksimum moment devrinde dizel yakıtına göre CO miktarının %21, NO_x miktarının %11; maksimum güç devrinde ise CO miktarının %7, NO_x miktarının %12 azaldığı görülmüştür. Sonuç olarak eksoz gazı emisyonları göz önüne alındığında çevre bakımından ayçiçeği yağı metil esterinin dizel motorlarında dizel yakıtına alternatif bir yakıt olarak kullanılabilmesi görülmüştür (İlkılıç ve Öner, 2003).

2004 yılında Altıparmak, Keskin vd. çalışmalarında, üretilip fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenen fındık yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğini test etmişlerdir. Fındık yağı metil esteri, tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda 1800–3200 d/dak arasında tam yük testine tabi tutulmuştur. Test esnasında motor performans ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Araştırmacılara göre; fındık yağı metil esteri ile elde edilen motor performans değerleri dizel yakıtı ile elde edilen değerlere yakındır. Moment ve güç değerlerine bakıldığında ortalama azalma miktarı sırasıyla %3,22 ve %3,1'dir. Fındık yağı metil esterinin özgül yakıt tüketimi, büyük oranda ısı değerinin düşük olmasından ve yoğunluğunun yüksek olmasından dolayı artış göstermiştir. Özgül yakıt tüketiminde ortalama artış miktarı %9,24'dür. CO emisyonlarında ve ışık absorpsiyon katsayısında sırasıyla %48,74 ve %66,7'e kadar düşmeler tespit edilmiştir.

Fındık yağının metil esterinin yenilenebilir olması, bünyesinde kükürt, aromatik hidrokarbonları ve ham petrol artıklarını içermemesi, dizel yakıtına göre yağlama özelliğinin daha iyi olması ve ayrıca ısı değeri, yoğunluk ve viskozite değerleri gibi özelliklerinin dizel yakıtı değerlerine çok yakın olması alternatif yakıt olarak kullanımında en önemli üstünlükleridir (Hacıkadıroğlu, 2007).

Raheman ve Phadatare 2004 yılında yaptıkları çalışmada, karanja metil esterini ve onun hacimsel olarak %20–%80 arasında dizel yakıtla yapmış olduğu karışımları dizel motorunda test etmişlerdir. Testler sonucunda, karanja metil esterinin dizel yakıtla yapmış olduğu karışımların CO, duman koyuluğu ve NO_x emisyonlarını ortalama olarak sırasıyla %80, %50 ve %26 azalttığı tespit edilmiştir. B40 (%40 karanja metil ester ve %60 dizel yakıtı) yakıtıyla çalıştırılan motorda gücün ortalama olarak %6 arttığı ve karışım içerisindeki biyodizel yüzdesinin artmasıyla gücün azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca B40 yakıtının dizel yakıtı yerine sorunsuzca kullanılabileceği vurgulanmıştır (Akdere, 2006).

2004 yılında Usta, Öztürk ve Can, fındık yağı üretimi ve rafinasyon işlemi sonucu ortaya çıkan sabun stoğu ile kızartmada kullanılmış atık ayçiçeği yağından oluşan karışımdan elde edilen biyodizeli petrol kaynaklı dizel ile birlikte belirli oranlarda karıştırarak bir dizel motorunda kısa süreli performans testleri yapmışlardır. Araştırmacılar, performans yönünden atık bitkisel yağlar ile birlikte, yemeklik yağ üretiminde yan ürün olarak ortaya çıkan sabun stoklarının ucuz biyodizel üretiminde önemli bir kaynak olabileceğini ortaya koymuşlardır (Usta vd., 2004).

Koçak 2005 yılındaki çalışmasında, üretilip fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenen fındık yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğini test etmiştir. Fındık yağı metil esteri, 4 silindirli direkt püskürtmeli ve türboşarjlı bir dizel motorunda 1750–4500 d/dak arasında tam yük testine tabi tutulmuştur. Test esnasında motor performans ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Test sonuçlarına göre; fındık yağı metil esteri ile elde edilen motor performans değerleri dizel yakıtı değerlerine yakındır. Moment ve güç değerlerine bakıldığında ortalama azalma miktarı sırasıyla %1,16 ve %1,61'dir. Fındık yağı metil esterinin özgül yakıt tüketimi, ısıl değerinin düşük olmasından ve yoğunluğunun yüksek olmasından dolayı artış göstermiştir. Özgül yakıt tüketiminde ortalama artış miktarı %11,8'dir. Işık absorpsiyon katsayısında ortalama %68,6 düşme tespit edilmiştir (Akdere, 2006).

1.6. Tez Çalışmasının Amacı

Günümüzde, petrol yakıtlarının tükenme tehlikesi ve çevreyi tehdit eden kirletici eksoz emisyonları nedeniyle tüm dünyada yenilenebilir ve çevreye daha az zarar veren alternatif yakıt arayışları hızlanmıştır. Bu tip alternatif yakıtlar arasında üretim kolaylığı ve çevreci oluşları nedeniyle bitkisel yağlar da ön plana çıkmaktadır.

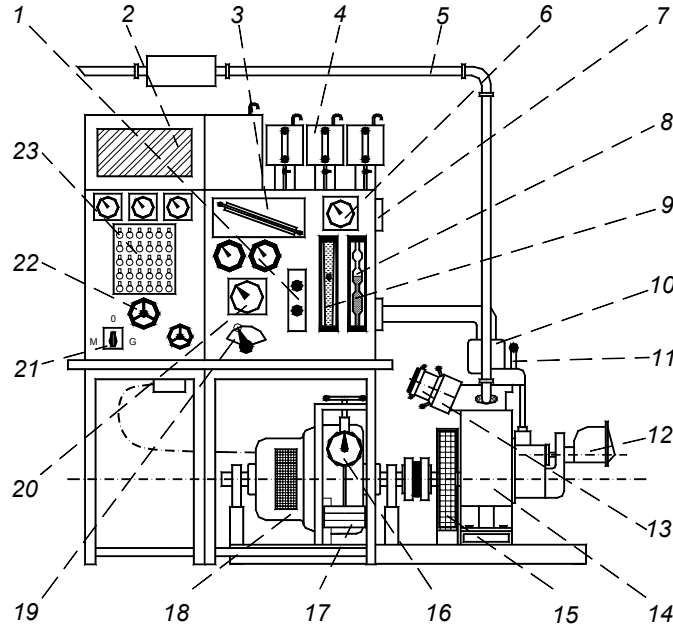
Ülkemizde kolayca üretilebilir olması, birçok ülkede teşvik edilerek kullanılmaya başlanması, 2005 yılından itibaren Avrupa Birliği'nde dizel yakıtına belirli oranlarda katılmasının mecburi hale getirilmesi ve dizel motorlarında önemli bir değişiklik yapmadan kullanma olanağı vermesi nedeniyle biyodizel bitkisel yağlar içerisinde en önemli alternatif yakıt olarak öne çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında, yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı ülkemizde de üretilmeye başlanan biyodizelin, saf olarak ve çeşitli oranlarda dizel yakıtıyla karıştırılarak dizel motorlarında kullanılmasının motor performansına olan etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Deney Düzeneği

Deneyler Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Deneylerde 4 zamanlı, tek silindirli, sıkıştırma oranı değiştirilebilen bir motorun bağlı olduğu deney düzeneği kullanılmıştır. Tecquipment firması tarafından üretilmiş olan deney düzeneğinin genel görünüşü Şekil 2'de verilmiştir.



- | | |
|---------------------------|--|
| 1. Açma/Kapama | 13. Sıkıştırma oranı değiştirme düzeneği |
| 2. Elektrik rezistansları | 14. Test motoru |
| 3. Eğik manometre | 15. Volan |
| 4. Yakıt tankları | 16. Moment ölçme düzeneği |
| 5. Eksoz borusu | 17. Dengeleme ağırlıkları |
| 6. Takometre | 18. Dinamometre |
| 7. Orifis | 19. Gaz kolu |
| 8. Yakıt ölçü kabı | 20. Eksoz sıcaklığı ölçer |
| 9. Rotametre | 21. Kumanda anahtarı |
| 10. Karbüratör | 22. Reosta |
| 11. Dekompresyon kolu | 23. Yükleme anahtarları |
| 12. Ateşleme düzeneği | |

Şekil 2. Deney düzeneğinin genel görünüşü (Durgun, 1995; Bilgin ve Sezer, 2008)

Deney düzeneği; genel olarak, deney motoru, elektrik dinamometresi ve ölçme ünitesinden meydana gelmiştir. Deney motoru, kafası değiştirilerek benzin veya dizel motoru olarak çalıştırılabilmektedir. Ayrıca silindir kafasında bulunan bir vidalı silindirik aparat yardımıyla sıkıştırma oranı (7,5–24,5 aralığında) değiştirilebilmektedir. Motor, benzin motoru olarak kullanılmak istendiğinde emme manifoldu üzerine bir karbüratör monte edilmekte ve manyetolu bir ateşleme düzeneği kullanılmaktadır. Motorun ilk harekete geçişinde volan ve diğer hareketli parçaların kolaylıkla kinetik enerji kazanabilmeleri için bir dekompresyon kolu kullanılarak eksoz supabı açık tutulmakta ve böylece motorun kolay çalışması sağlanmaktadır. Deney motoruna ait bazı özellikler Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Deney motorunun özellikleri (Durgun, 1995).

Motorun tipi	Su soğutmalı, 4 – zamanlı
Silindir sayısı	1
Çap ve Strok	90 mm x 120 mm
Strok hacmi	763,4 cm ³
Sıkıştırma oranı	Değiştirilebilir (7,5 – 24,5)

Deney düzeneğinde, motor miline bağlı bulunan elektrik dinamometresi motorun ilk harekete geçişi sırasında marş motoru olarak görev yapmakta, motor çalıştırdıktan sonra ise motora yükleme yapmak amacıyla jeneratör olarak kullanılmaktadır. Elektrik dinamometresi, marş motoru olarak çalışma durumunda şehir şebekesinden alınan alternatif akımın doğru akıma çevrilmesi ile çalıştırılmakta, jeneratör olarak çalışma durumunda ise deney motorunun üretmiş olduğu gücü elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Bu elektrik enerjisi paralel bağlı dirençlerde ısıya dönüştürülerek harcanmaktadır. Anahtarlarla kumanda edilen bu dirençlerden istenilen miktarda devreye sokularak motorun yükü ayarlanabilmektedir (Durgun, 1995).

2.2. Deney Koşulları ve Deneylerde Kullanılan Yakıtların Özellikleri

Deneylerin tümü, yukarıda sözü edilen deney düzeneğinde tam gaz (1/1 gaz) konumunda, değişken devir sayılarında (900–1600 d/dak), farklı sıkıştırma oranlarında (17, 19, 21) yapılmıştır. Deneyler öncelikle saf dizel yakıtıyla, daha sonra da sırasıyla B05, B10, B20, B50 ve B100 yakıtlarıyla yapılmıştır. Deneylerde Petrol Ofisi tarafından

satılmakta olan normal dizel yakıtı ve Trapet Alternatif Yakıt San. Tic. A.Ş. (Arsin/Trabzon) tarafından, soya yağından üretilen biyodizel yakıtı kullanılmıştır.

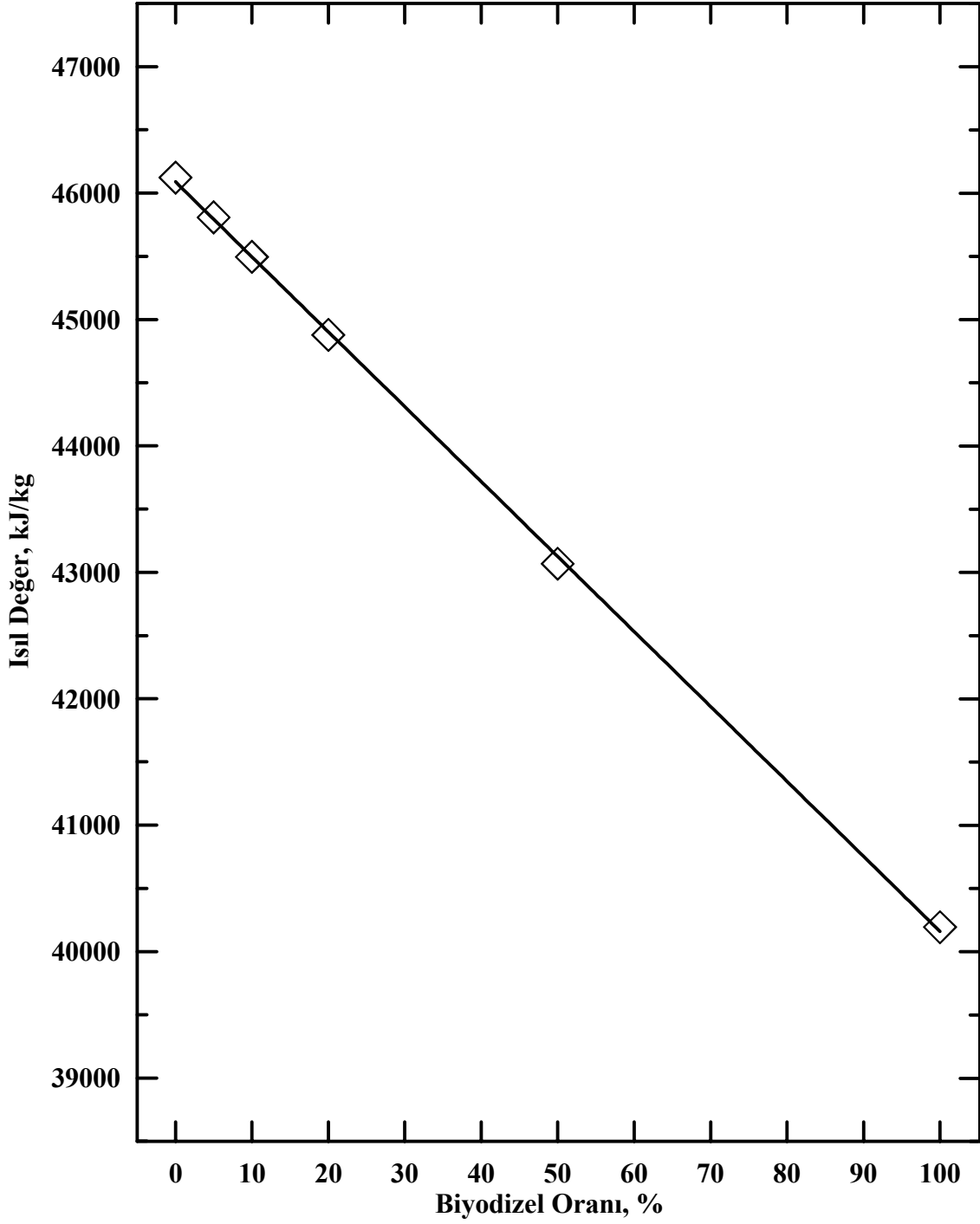
Deneylerde kullanılan yakıt ve yakıt karışımlarının fiziksel özellikleri Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Dizel yakıtı ve biyodizelin fiziksel özellikleri (Özcan, 2006).

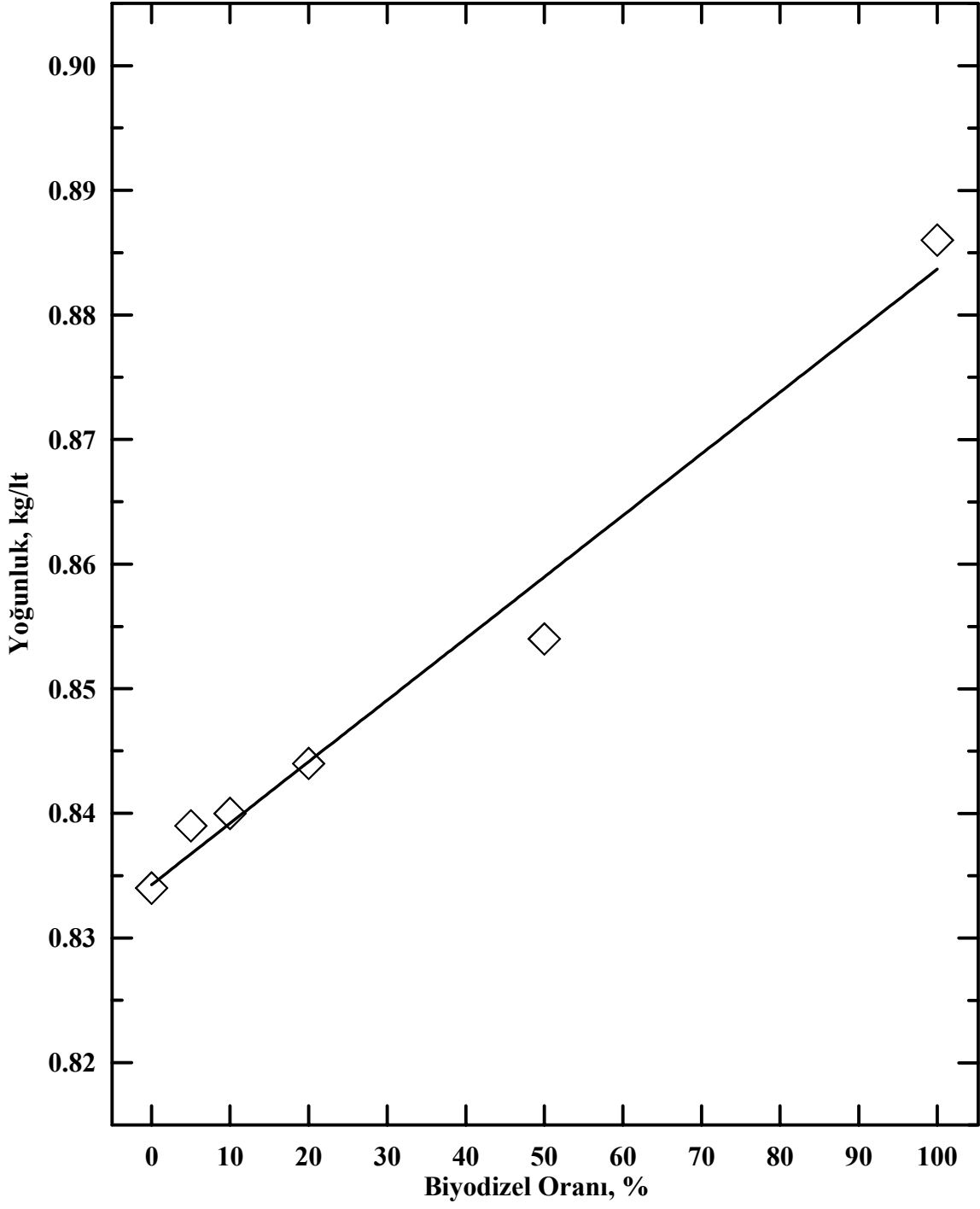
Yakıt özellikleri	Birim	Sınır değeri	Biyodizel	Dizel yakıtı
Kapalı formül			$C_{19}H_{35,2}O_2$	$C_{12,226}H_{23,29}S_{0,0575}$
Molekül ağırlığı	g/mol		296	120 – 320
Alt ısı değeri	MJ/kg		40,193 *	46,122 *
Özgül ağırlığı (15 °C)	Kg/L		0,886 *	0,834 *
Kinematik viskozite (40 °C)	mm ² /s		4,28 *	2,68 *
Tutuşma noktası	°C	55 – ...	>100	>55
Kükürt içeriği, kütleli	(%)	... – 0,05	<0,01	<0,05
Setan sayısı		49 – ...	>55	49 – 55
Kül, kütleli	(%)	... – 0,01	<0,01	<0,01
Su miktarı	mg/kg	... – 200	<300	<200

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

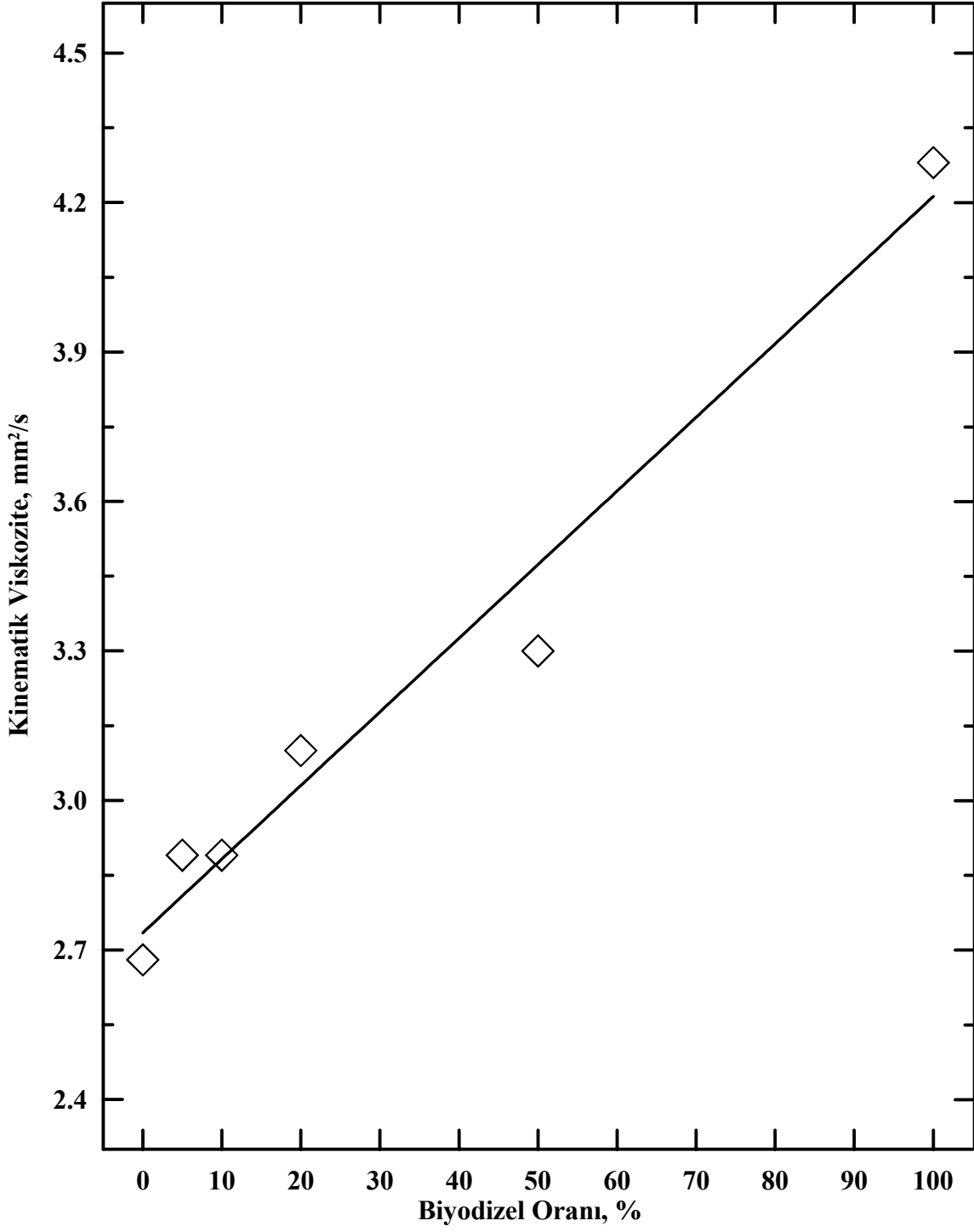
Deneylerde kullanılan yakıt ve yakıt karışımlarının; ölçebildiğimiz, alt ısı değerleri, yoğunlukları ve kinematik viskoziteleri, sırasıyla Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te görüldüğü gibi karışım içerisindeki artan biyodizel oranıyla yaklaşık doğrusal bir şekilde değişmektedir



Şekil 3. Yakıtların alt ısıl değerlerinin biyodizel oranıyla değişimi



Şekil 4. Yakıtların yoğunluklarının biyodizel oranıyla değişimi



Şekil 5. Yakıtların kinematik viskozitelerinin biyodizel oranıyla değişimi

2.3. Deneylerde Uygulanan İşlem Sırası

Deneylerde olanaklar elverdiği düzeyde duyarlı sonuçlar elde edebilmek ve hataları en az düzeye indirmek amacıyla belli bir işlem sırası takip edilmiştir. Deneylere başlamadan önce ortam sıcaklığı, yağ ve kuru termometre sıcaklıkları ve ortam basıncı değerleri ölçülmüş ve deney sırasında değişim olup olmadığı kontrol edilmiştir. Deneyde kullanılacak olan yakıt veya yakıt karışımları uygun şekilde hazırlanarak yakıt deposuna doldurulmuştur. Yakıt karışımları normal dizel yakıtına belirlenen hacimsel karışım oranlarını verecek şekilde (%5, 10, 20, 50) biyodizel eklenerek hazırlanmıştır. Yakıt veya yakıt karışımı yakıt deposuna doldurulduktan sonra deney düzeneği üzerinde bulunan ölçme ünitesinde gerekli işlemler (sıfırlama vb.) yapıldıktan ve motorun sıkıştırma oranı istenilen değere ayarlandıktan sonra deney düzeneği çalışmaya hazır hale getirilmiş olmaktadır. Deney motoru çalıştırıldıktan sonra motorun rejim sıcaklığına ulaşması için soğutma suyu sıcaklığı 50 °C'ye ulaşmaya kadar ölçüm alınmamıştır. Ayrıca tüm devir sayılarında motor tam kararlı çalışmaya başladıktan sonra ölçümler alınmıştır.

Tüm bu işlemlerin yanı sıra oluşabilecek hataları en aza indirmek amacıyla tüm ölçüm işlemleri 3 kez yapılmıştır böylece oluşabilecek hatalar en aza indirilmiştir.

2.4. Ölçüm ve Hesaplar

2.4.1. Ortam Şartları

P_0 ortam basıncı bir barometre ile mmHg, $T_{yağ}$ ve T_0 yağ ve kuru termometre sıcaklıkları da termometreler ile °C cinsinden ölçülmüştür.

2.4.2. Devir Sayısı

n motorun devir sayısı, deney düzeneği üzerinde bulunan bir elektrikli takometre ile d/dak cinsinden ölçülmüştür.

2.4.3. Döndürme Momenti

Motorun yüklenmesi ve momentin ölçümü; milinden yataklanmış, statoru serbest olarak dönebilen jeneratör aracılığıyla yapılabilmektedir. Statorun dönmesi, statora bir noktadan bağlanan karşı ağırlık ve yaylı dinamometre yardımıyla dengelenmekte ve rotor dönerken oluşan döndürme momenti bu şekilde dengelenmektedir. Motor çalışırken denge durumunda S [N] kuvveti yaylı teraziden ölçülerek, momenti oluşturan P [N] kuvveti

$$P \text{ [N]} = W - S \quad (1)$$

şeklinde belirlenmektedir. Karşı ağırlık olarak deneylerde $W = 200$ [N]'luk bir ağırlık kullanılmıştır. P [N] kuvveti belirlendikten sonra, döndürme momenti

$$M_d \text{ [Nm]} = P \cdot l \quad (2)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Moment kolu uzunluğu $l = 0,3$ m'dir.

2.4.4. Efektif Güç

Devir sayısı ve döndürme momenti yukarıda açıklandığı gibi belirlendikten sonra, motor milindeki efektif güç

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

şeklinde hesaplanabilir. Burada n [d/dak] motor devir sayısı olup,

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

açısal hızdır.

$N_{e,1}$ efektif gücü, deneyin yapıldığı ortam basıncı, sıcaklığı ve nemliliğindeki gücü göstermektedir. Bütün deneyleri aynı ortam koşullarında yapmak mümkün olmadığından, efektif gücün standart ortam koşullarına dönüştürülmesi gerekir. Standart ortam koşullarına dönüştürülmüş güç,

$$N_{e,2} [\text{W}] = N_{e,1} \cdot \frac{0,1013}{P_0} \cdot \frac{T_0}{293} \quad (5)$$

T_0 [K] : ortam sıcaklığı

P_0 [MPa] : ortam basıncı

şeklilde hesaplanmakta ve sonra

$$N_e [\text{W}] = N_{e,2} \cdot X_{nem} \quad (6)$$

şeklinde nem düzeltmesi yapılmaktadır. Burada nem düzeltme faktörü olan X_{nem} , deneyin yapıldığı ortam basıncı ile yaş ve kuru termometre sıcaklığına göre psikometri diyagramına benzer bir diyagramdan belirlenmektedir (Durgun, 1995).

2.4.5. Ortalama Efektif Basınç

Efektif güç, devir sayısı ve motorun diğer özellikleri bilindikten sonra ortalama efektif basınç,

$$P_{me} = \frac{N_e \cdot k \cdot 60}{V_h \cdot z \cdot n} \quad (7)$$

şeklinde hesaplanır. Burada

N_e [W]	: efektif güç,
$V_h = 0,736$ [L]	: strok hacmi,
$z = 1$: silindir sayısı,
$k = 2$: dört zamanlı motor için,
n [d/dak]	: motor devir sayısı

dır.

2.4.6. Hava Debisi

Hava debisi, bir orifis-manometre düzeneği yardımıyla ölçülmüştür. Bu amaçla emme sistemi üzerine yerleştirilmiş bir depo ve bu deponun bir kenarında keskin kenarlı bir orifis bulunmaktadır. Dış ortamdaki hava önce orifisten geçerek depoya girmekte, buradan da emme kanalına geçmektedir. Deponun kullanılma amacı, tek silindirli ve 4-zamanlı deney motorunun sadece bir strokta emme yapması nedeniyle meydana gelen akış süreksizliklerinin, orifisten geçen hava akımını etkilemesini önlemektir. Deponun büyüklüğü ve orifisin çapı süreksizliği olabildiğince sönmeyecek şekilde seçilmiştir.

Orifisin giriş ve çıkışı arasındaki basınç farkı eğik kollu bir U-manometresi ile ölçülmekte ve Bernoulli denkleminden yararlanılarak türetilmiş

$$m_{hava} \text{ [kg/s]} = 2,087 \cdot d^2 \cdot \sqrt{\Delta h \cdot \rho_{hava}} \quad (8)$$

şeklindeki bağıntıdan yararlanılarak havanın kütleli debisi hesaplanmaktadır. Burada Δh [mmSS] eğik kollu manometredeki seviye farkı, d (=0,025 [m]) orifis çapı ve ρ_{hava} [kg/m³]’da havanın yoğunluğudur. Ortam şartlarındaki hava yoğunluğu ideal gaz bağıntısından yararlanılarak,

$$\rho_{hava} \text{ [kg/m}^3\text{]} = \frac{P_0 \text{ [N/m}^2\text{]}}{R_u \text{ [J/kgK]} \cdot T_0 \text{ [K]}} \quad (9)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada R_u (=287 J/kgK) üniversal gaz sabitidir.

2.4.7. Hava Fazlalık Katsayısı

Motora emilen havanın debisi ve toplam yakıt tüketiminden yararlanılarak, motorun çalışma koşullarında 1 kg yakıtı yakmak için kullandığı hava kütlesi

$$h \text{ [kg hava/kg yakıt]} = \frac{m_{hava} \text{ [kg hava / s]}.3600}{B \text{ [kg yakıt / saat]}} \quad (10)$$

şeklinde belirlenebilir. 1 kg yakıt için gerekli stokiyometrik oksijen miktarı ise, yakıtın kapalı formülünden yararlanılarak

$$O_{\min} \text{ [kmol } O_2 \text{/kmol yakıt]} = c + \frac{h}{4} + s - \frac{o_y}{2} \quad (11)$$

şeklinde hesaplanabilir. Buna göre x_r özgül nemliliğindeki, nemli hava için stokiyometrik hava miktarı

$$\begin{aligned} H_{\min} \text{ [kmol hava/kmol yakıt]} \\ = O_{\min} \cdot (1 \text{ kmol } O_2 + 3,762 \text{ kmol } N_2 + 7,657 \cdot x_r \text{ kmol } H_2O) \end{aligned} \quad (12)$$

şeklinde hesaplanır. Buradan, kütleli stokiyometrik hava–yakıt oranı

$$h_{\min} \text{ [kg hava/kg yakıt]} = H_{\min} \cdot \frac{\mu_{r,hava}}{\mu_{yakıt}} \quad (13)$$

olur. Son bağıntıda nemli havanın kmol kütlesi, özgül neme ve kuru havanın kmol kütlesine bağlı olarak

$$\mu_{r,hava} = \mu_{k,hava} \cdot (1 + x_r) / (1 + 1,608 \cdot x_r) \quad (14)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada kuru havanın kmol kütlesi

$$\mu_{k,hava} = 28,9644 \text{ [kg hava/kmol hava]}$$

olarak alınmıştır. Yakıtın kmol kütlesi ise kapalı formülüne bağlı olarak

$$\mu_{yakıt} \text{ [kg yakıt/kmol yakıt]} = c.12,011 + h.1,008 + o_y.15,99 \quad (15)$$

şeklinde belirlenebilir.

Yakıt karışımları için stokiyometrik olarak gerekli hava miktarı ise

$$h_{\min, karışım} = \frac{\sum (x_i \cdot \rho_i \cdot h_{\min, i})}{\sum (x_i \cdot \rho_i)} \quad (16)$$

bağıntısından yararlanılarak belirlenebilir. Bu bağtıda,

$$x_i = \frac{V_i}{V_{toplam}} \quad (17)$$

şeklinde elde edilmekte olup i maddesinin karışım içindeki hacimsel oranını göstermektedir.

2.4.8. Yakıt Debisi

Yakıt debisinin ölçülmesinde, yanma odasına giren yakıt donanımı üzerinde bulunan ölçekli bir cam boru ve kronometre kullanılmıştır. ΔV ($=15 \text{ cm}^3$) hacmindeki yakıtın tüketilme süresi Δt [s] kronometre ile ölçülerek, kütleli debisi (veya toplam yakıt tüketimi)

$$B \text{ [kg/saat]} = \frac{\Delta V \cdot 10^{-6} \cdot 3600}{\Delta t} \cdot \rho_{yakıt} \quad (18)$$

şeklinde belirlenebilir. Burada $\rho_{yakıt}$ kullanılan yakıt veya yakıt karışımının yoğunluğunu göstermektedir. Yakıt ve yakıt karışımlarının yoğunlukları, Üniversitemiz Kimya bölümünde ölçülerek belirlenmiştir.

2.4.9. Özgül Yakıt Tüketimi

Toplam yakıt tüketimi ve efektif güç belirlendiğine göre özgül yakıt tüketimi

$$b_e \text{ [kg yakıt/kW saat]} = \frac{B[\text{kg yakıt / saat}]}{N_e[\text{kW}]} \quad (19)$$

bağıntısından hesaplanabilir.

2.4.10. Efektif Verim

Efektif verim

$$\eta_e = \frac{3600}{H_u[\text{kJ / kg}] \cdot b_e[\text{kg yakıt / kW saat}]} \quad (20)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada H_u kullanılan yakıt veya yakıt karışımının alt ısı değerini göstermektedir. Yakıt ve yakıt karışımlarının ısı değerleri, Üniversitemiz Kimya bölümünde ölçülerek belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Performans Sonuçlarının İrdelenmesi

Bu bölümde, deneylerdeki ölçümlerden ve yapılan hesaplamalardan elde edilen döndürme momenti, efektif güç, ortalama efektif basınç, özgül yakıt tüketimi, efektif verim ve hava fazlalık katsayısı gibi motor performansını gösteren sonuçlar grafik halinde sunulmuştur. Tüm bu motor performansı değerleri, bütün yakıt karışımları için; tam gaz konumunda, değişken devir sayıları ve farklı sıkıştırma oranlarında ayrı ayrı ele alınmaktadır.

3.1.1. Değişken Devir Sayıları İçin Motor Performansı Sonuçlarının İrdelenmesi

Bu bölümde, sırasıyla döndürme momenti, efektif güç, ortalama efektif basınç, özgül yakıt tüketimi, efektif verim ve hava fazlalık katsayısı ile ilgili sonuçlara yer verilmiştir. Burada tüm yakıt karışımlarının her biri için ayrı ayrı grafik değerleri verilmiş olmasına rağmen, yakıtlar arasındaki kıyaslamaların daha rahat yapılabilmesi için tüm yakıt karışımlarının bir arada bulunduğu grafikler de verilmiştir. İrdellemeler tüm yakıt karışımlarının bir arada bulunduğu söz konusu grafikler üzerinden yapılmıştır.

3.1.1.1. Döndürme Momenti

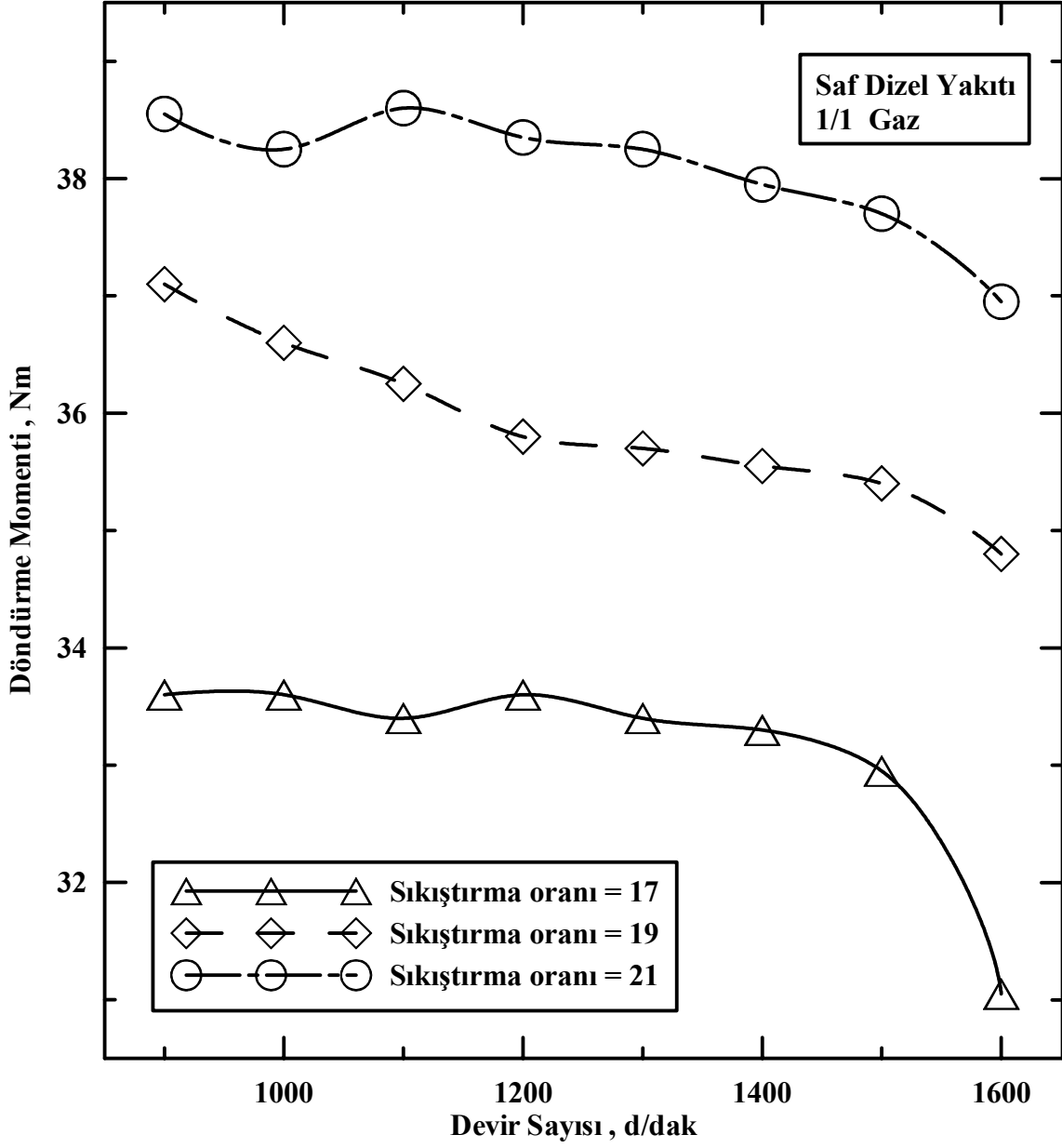
Dizel motorlarında, döndürme momenti karakteristiği; artan devir sayısı ile artarak düşük hızlarda maksimum değerine ulaşan ve bu noktadan sonra devir sayısının artışıyla azalan, benzin motorlarına kıyasla daha düz yapıda bir eğridir. Şekil 6 ve Şekil 14 arasındaki grafiklere bakıldığında tüm yakıt karışımları için tipik moment karakteristiğine benzer eğriler görülmektedir.

Şekil 12'de $\varepsilon = 17$ olması durumunda tüm yakıt karışımları için döndürme momentinin devir sayısına göre değişimi verilmiştir. Yakıt karışımlarına bakıldığında B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarının moment değerlerinin saf dizel yakıtının moment değerine göre daha yüksek değerler verdiği, B50 ve B100 yakıtlarının moment değerlerinin ise saf

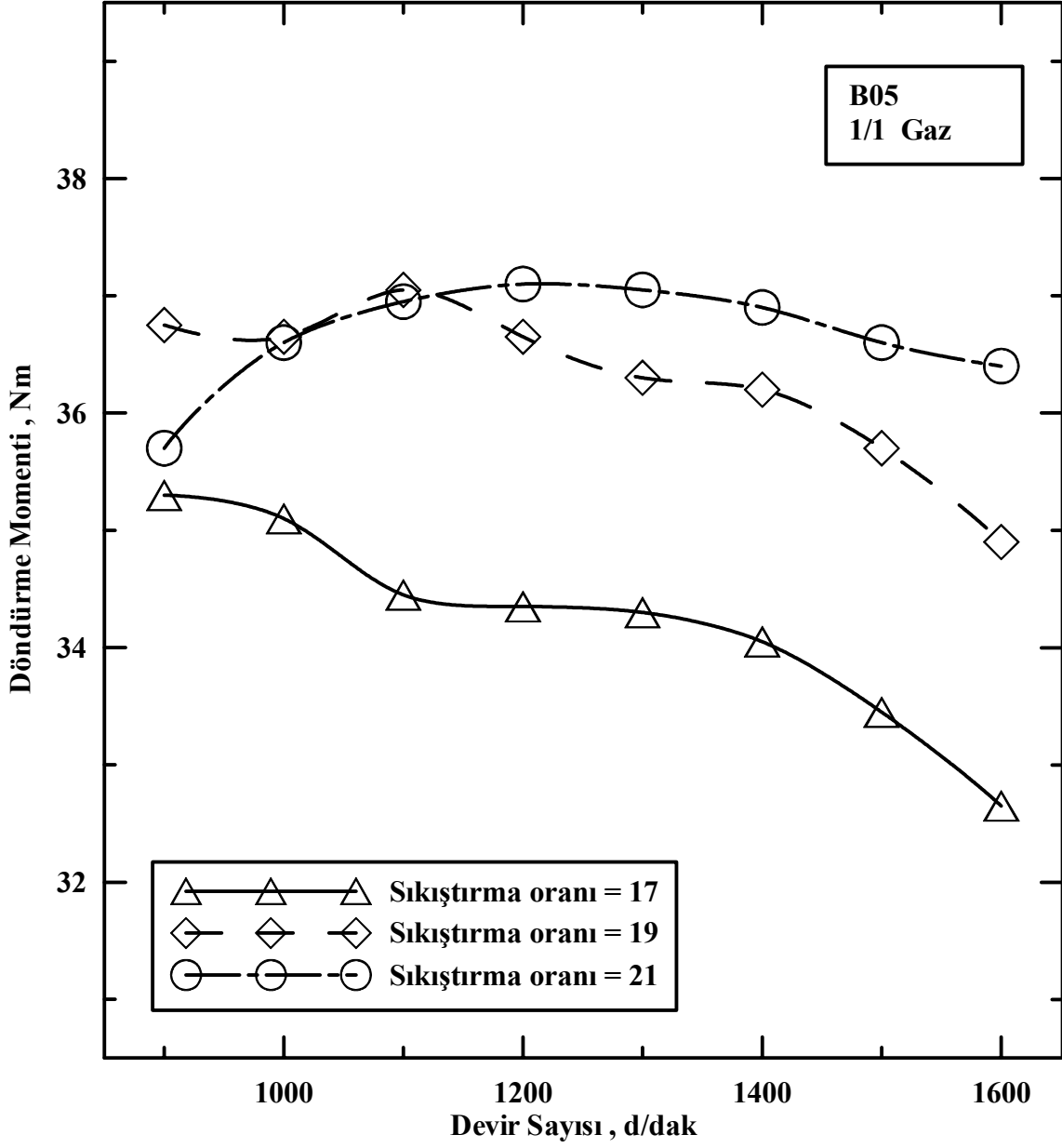
dizel yakıtının moment değerine çok yakın fakat biraz altında değerler aldıkları görülmektedir. Burada sayısal değerlere bakılacak olursa, örneğin 1300 d/dak'da döndürme momenti değerlerinin saf dizel yakıtı için 33,4 Nm, B05 için 34,3 Nm, B10 için 34,0 Nm, B20 için 33,8 Nm, B50 için 33,3 Nm, B100 için 33,0 Nm olduğu görülebilir. Söz konusu devir sayısında ortalama olarak B05, B10, B20, kullanımı ile döndürme momentinde, sırasıyla %3,3, %1,8, %1,2 oranlarında saf dizel yakıtına göre artış ve B50, B100 kullanımı ile döndürme momentinde, sırasıyla %0,3, %1,2 oranlarında saf dizel yakıtına göre azalma olmuştur.

Şekil 13 ve Şekil 14'de $\varepsilon = 19$ ve $\varepsilon = 21$ olması durumunda tüm yakıt karışımları için döndürme momentinin devir sayısına göre değişimleri verilmiştir. Yakıt karışımlarına bakıldığında B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarının moment değerlerinin saf dizel yakıtının moment değerlerine yaklaştığı hatta Şekil 9'da, yani $\varepsilon = 21$ olması durumunda, tüm yakıt karışımlarının moment değerlerinin saf dizel yakıtının moment değerinin altında değerler aldıkları gözlenmektedir. Burada da sayısal değerlere bakıldığında yine 1300 d/dak'da döndürme momenti değerlerinin saf dizel yakıtı için 38,25 Nm, B05 için 37,05 Nm, B10 için 36,8 Nm, B20 için 37,8 Nm, B50 için 38,05 Nm, B100 için 37,55 Nm olduğu görülebilir. Söz konusu devir sayısında ortalama olarak B05, B10, B20, B50, B100, kullanımı ile döndürme momentinde, sırasıyla %3,14, %3,8, %1,18, %0,52, %1,83 oranlarında saf dizel yakıtına göre azalma olmuştur.

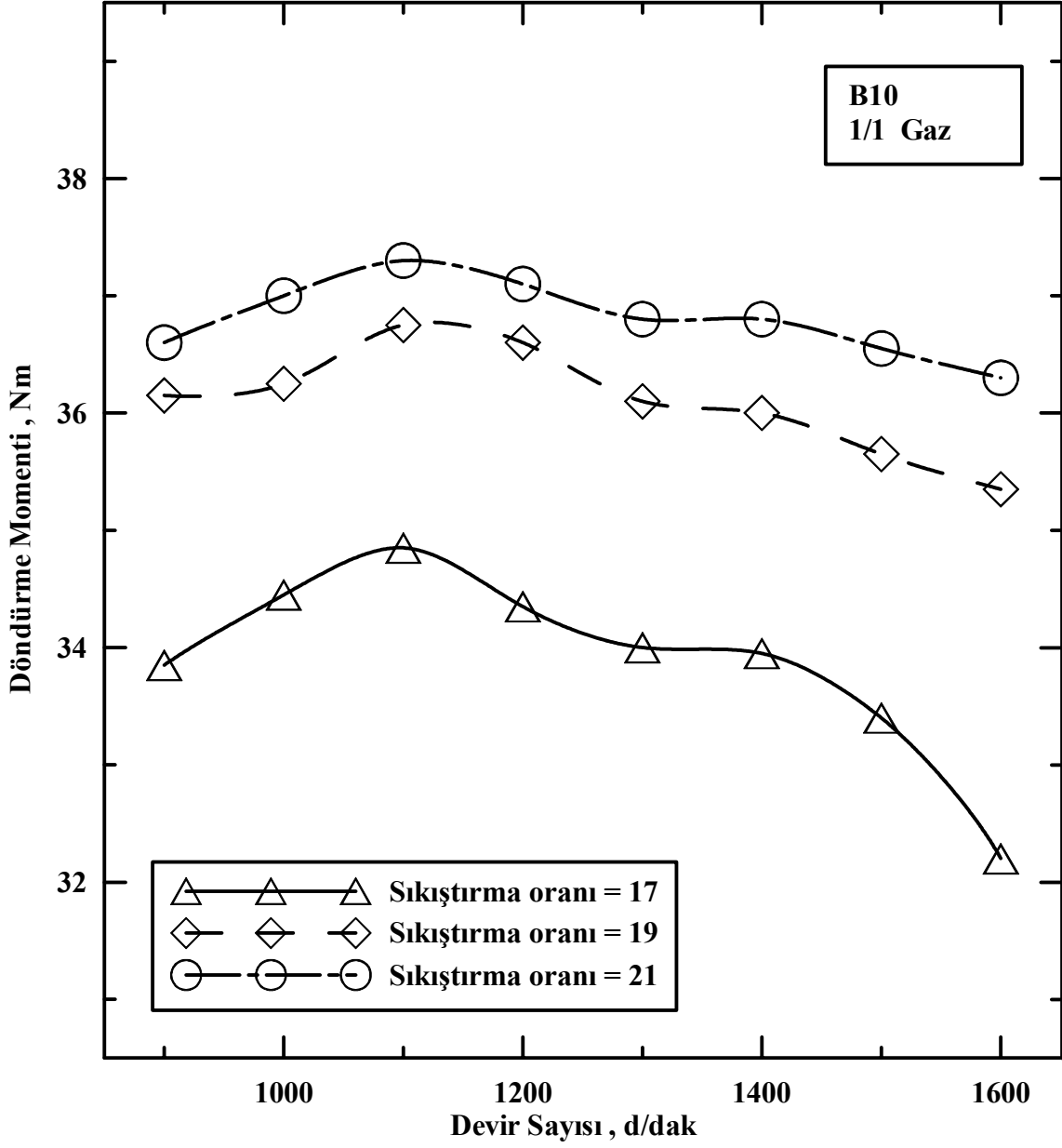
Genel olarak bakıldığında döndürme momenti değerlerinde ortalama olarak %1 ve %2 oranlarında bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Bu azalma, yakıt karışımı içindeki biyodizel oranı arttıkça artmaktadır. Biyodizel ve karışımları için döndürme momentlerinin düşük olmasının; dizel yakıtına göre biyodizelin ısı değerinin %12,85 oranında düşük olmasından ve viskozitesinin %59,7 oranında büyük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Isıl değer düşük olması açığa çıkan enerjinin azalmasına neden olmaktadır. Viskozitenin büyük olması da enjektörlerden silindir içerisine püskürtülen yakıtın iyice atomize olamamasına neden olmakta ve dolayısıyla yanmayı kötüleştirmektedir. Bu olumsuzlukların yanında biyodizelin yapısında oksijen bulunması yanmayı iyileştirmekte ve bu olumsuzlukları büyük ölçüde dengelemektedir. Bu yüzden B20 yakıt karışımına kadar daha iyi sonuçlar alınmaktadır. Daha yüksek karışım oranlarında ise artan viskozite ve düşen ısı değer nedeniyle moment değerleri düşmektedir.



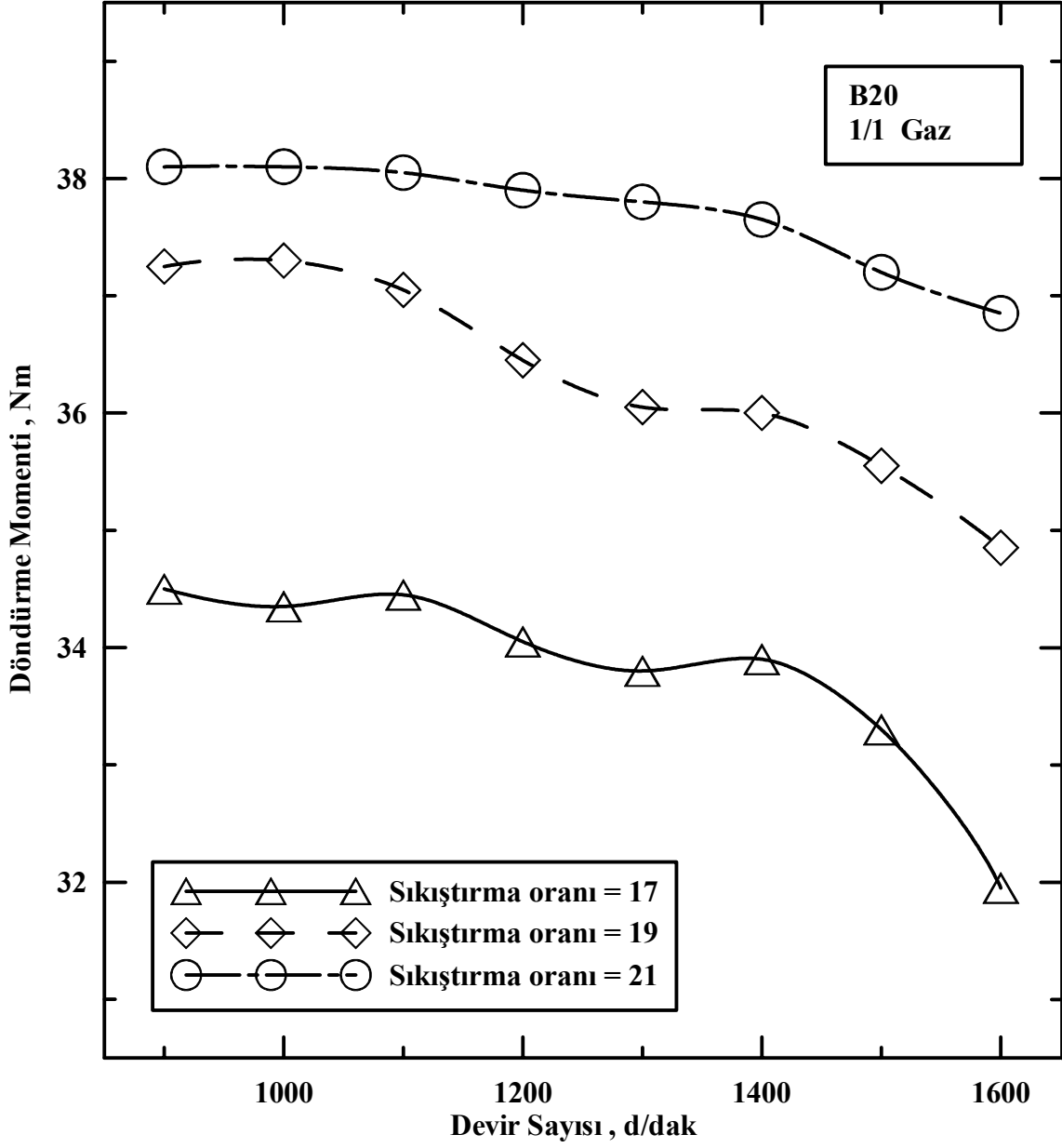
Şekil 6. Değişik sıkıştırma oranlarında saf dizel yakıtı için döndürme momentinin devir sayısı ile değişimi



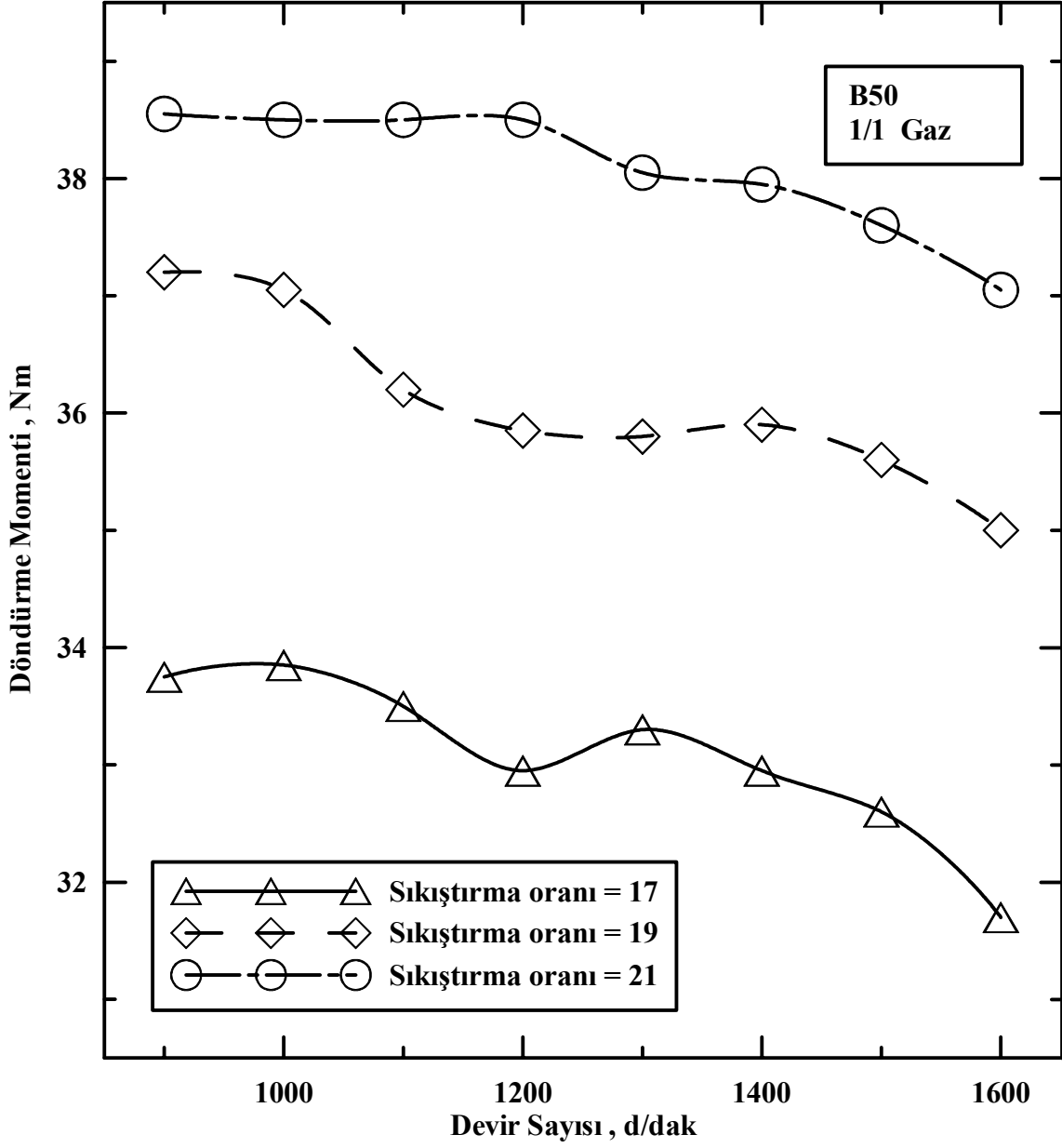
Şekil 7. Değişik sıkıştırma oranlarında B05 yakıt karışımı için döndürme momentinin devir sayısı ile değişimi



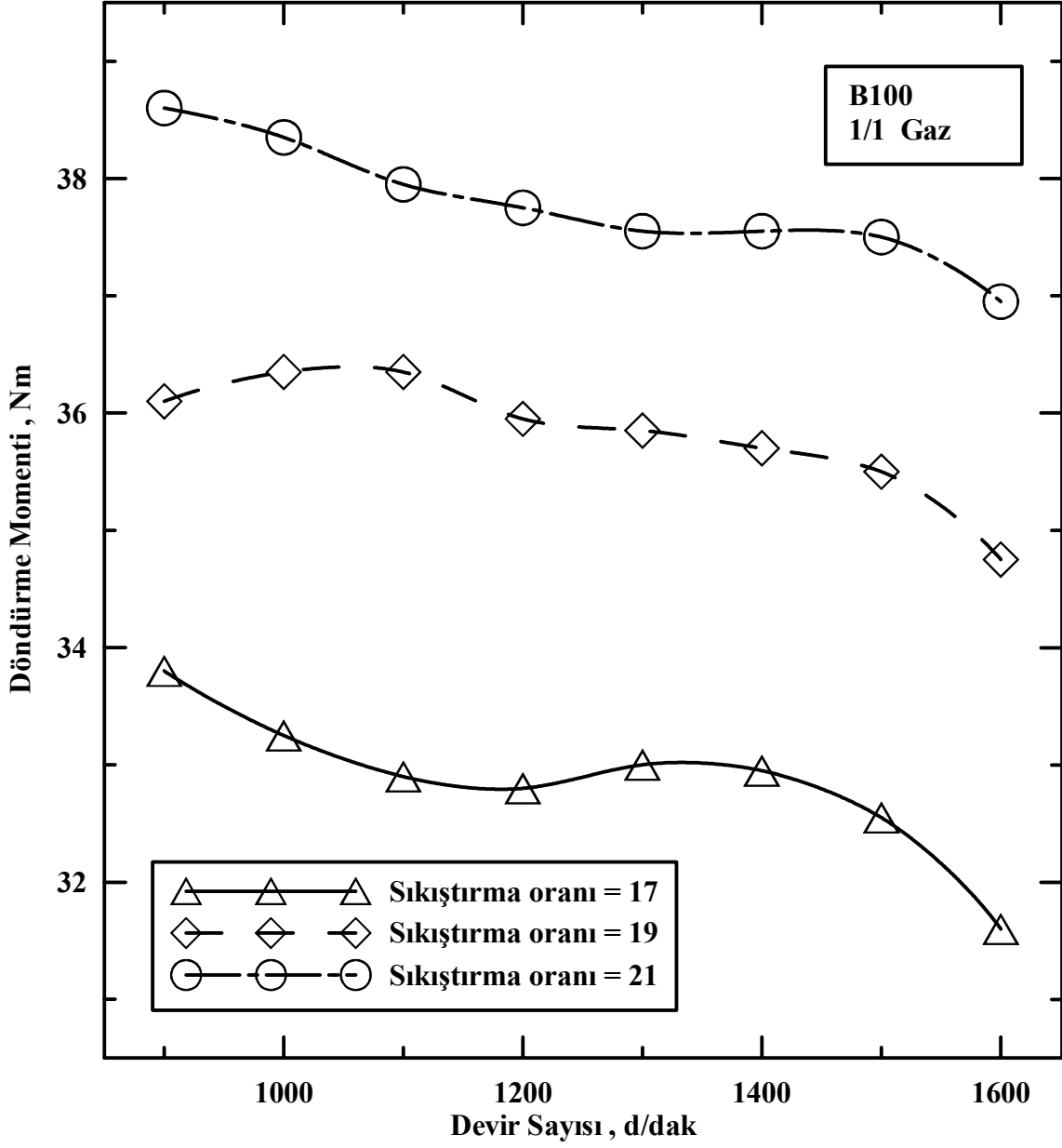
Şekil 8. Değişik sıkıştırma oranlarında B10 yakıt karışımı için döndürme momentinin devir sayısı ile değişimi



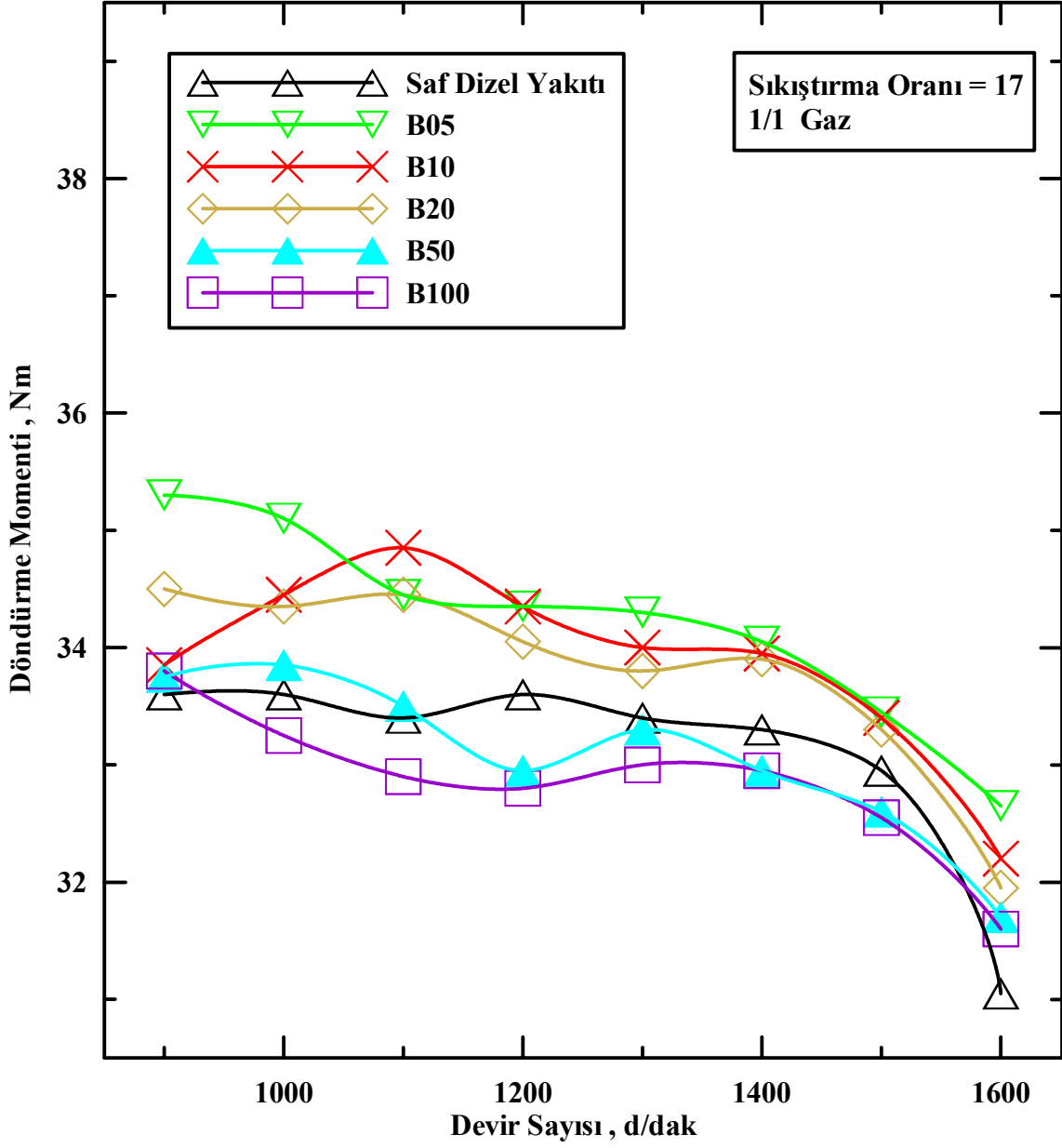
Şekil 9. Değişik sıkıştırma oranlarında B20 yakıt karışımı için döndürme momentinin devir sayısı ile değişimi



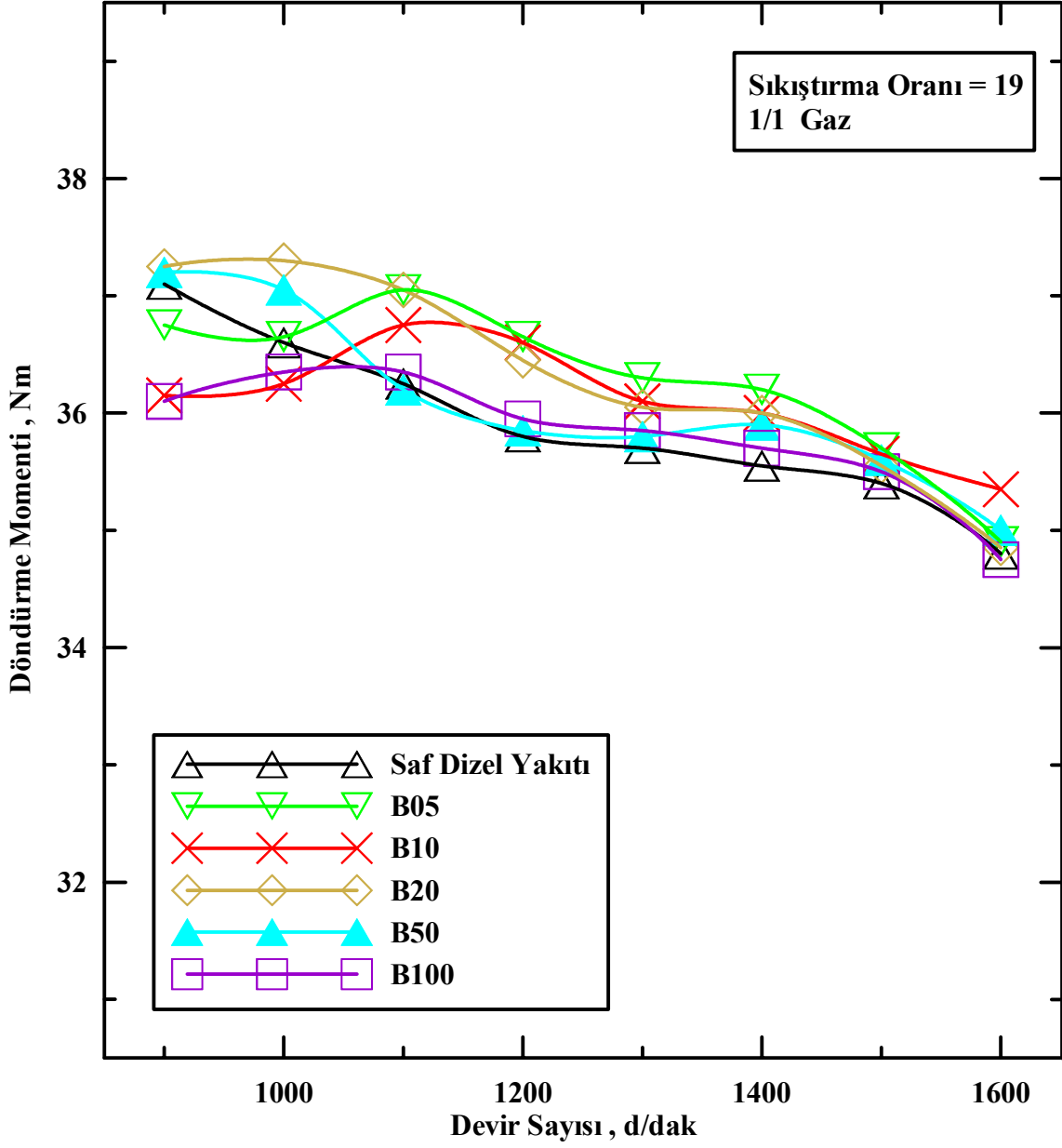
Şekil 10. Değişik sıkıştırma oranlarında B50 yakıt karışımı için döndürme momentinin devir sayısı ile değişimi



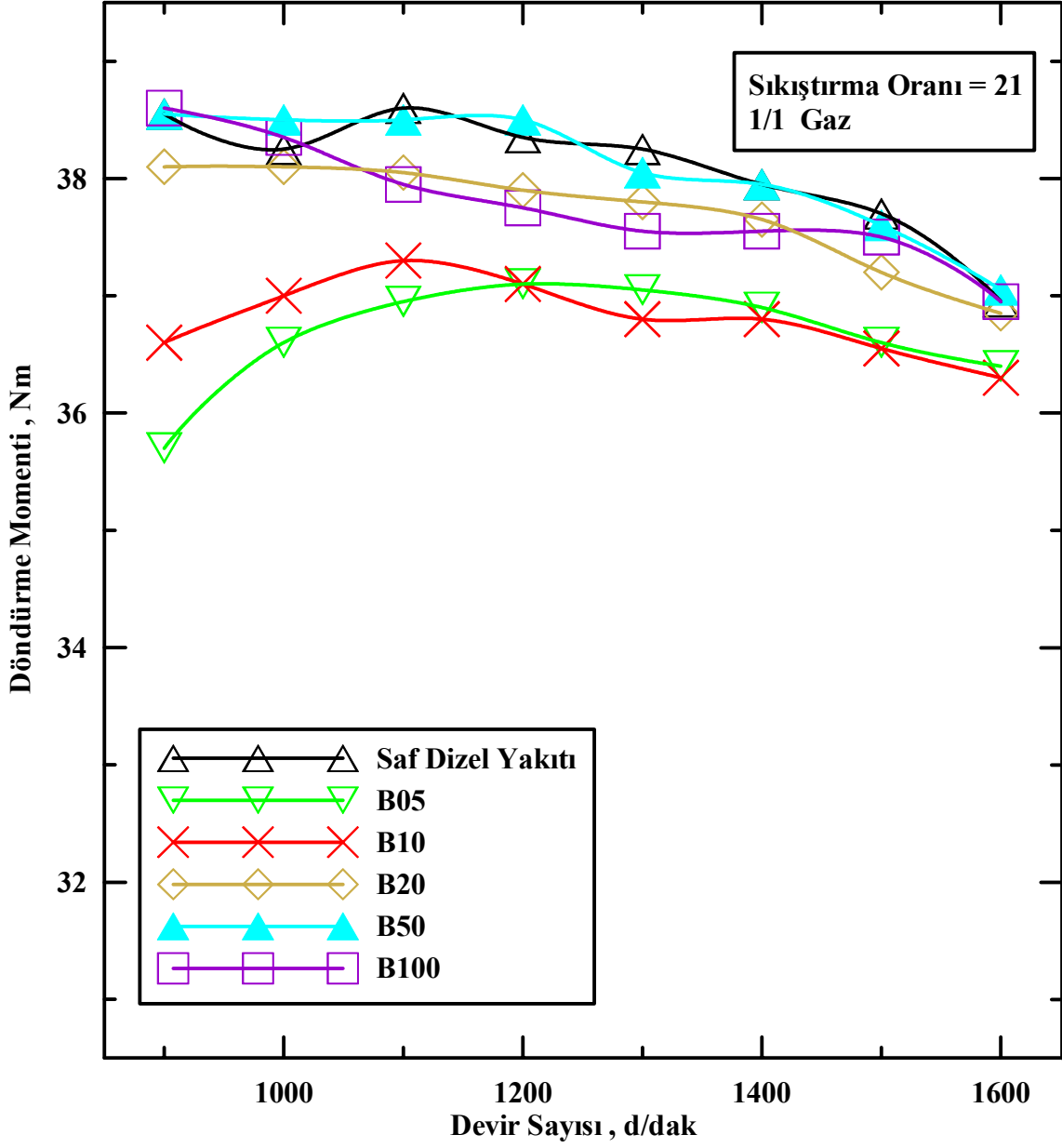
Şekil 11. Değişik sıkıştırma oranlarında B100 yakıtı için döndürme momentinin devir sayısı ile değişimi



Şekil 12. $\varepsilon = 17$ olması durumunda tüm yakıtlar için döndürme momentinin devir sayısı ile değişimi



Şekil 13. $\varepsilon = 19$ olması durumunda tüm yakıtlar için döndürme momentinin devir sayısı ile değişimi



Şekil 14. $\varepsilon = 21$ olması durumunda tüm yakıtlar için döndürme momentinin devir sayısı ile değişimi

3.1.1.2. Efektif Güç

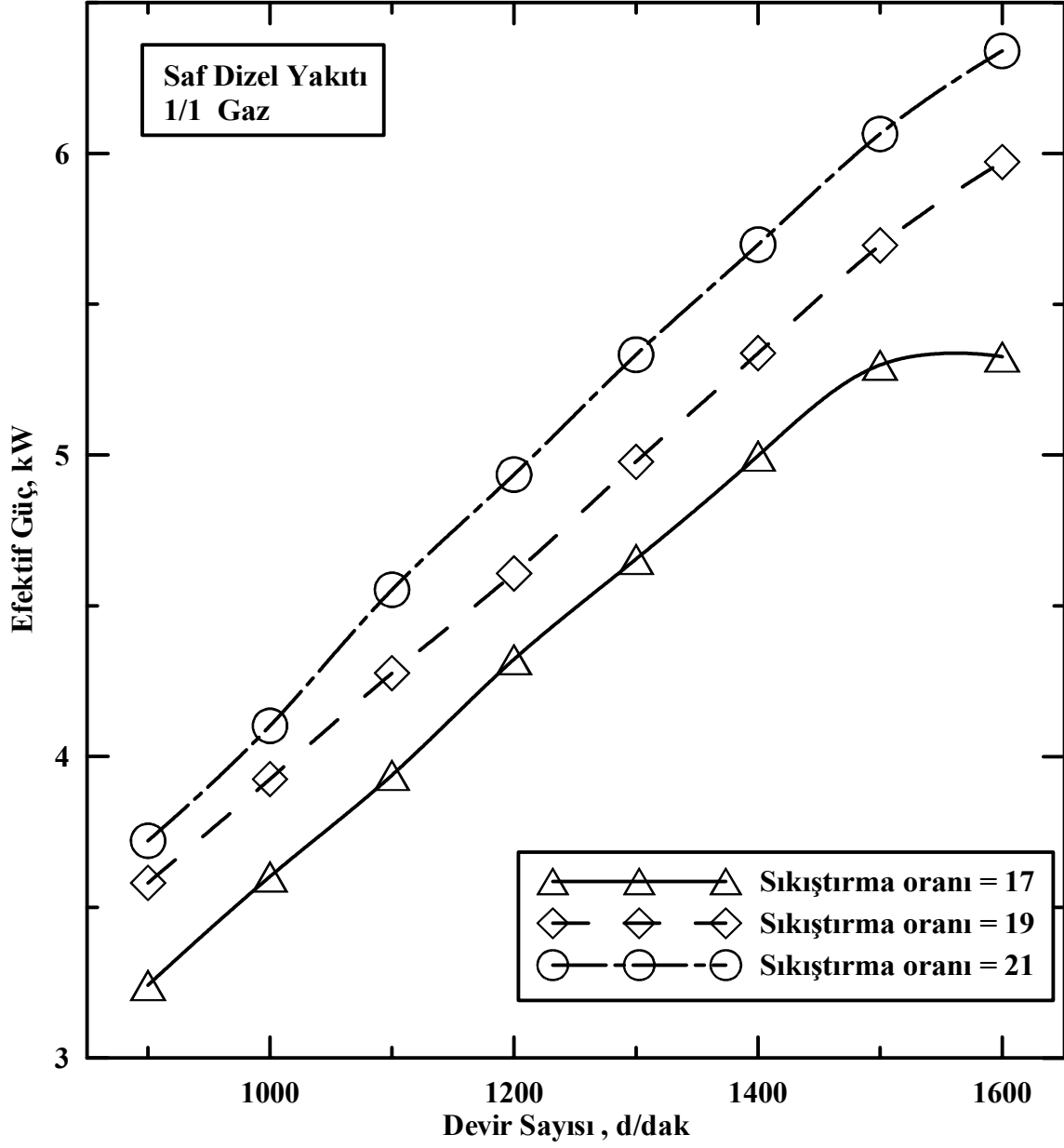
Dizel motorlarında, efektif güç karakteristiği; devir sayısının artmasıyla birlikte artarak devam eden, belli bir noktadan sonra artan mekanik kayıplar ve düşen volümetrik verim sebebiyle düşmeye başlayan bir eğridir. Şekil 15 ve Şekil 23 arasındaki grafiklere bakıldığında, çok yüksek devir sayılarına çıkamadığımız için maksimum değerini göremediğimiz, artan devir sayısı ile sürekli artan efektif güç karakteristiği tüm yakıt karışımları için görülmektedir.

Şekil 21’de $\varepsilon = 17$ olması durumunda tüm yakıt karışımları için efektif gücün devir sayısına göre değişimi verilmiştir. Yakıt karışımlarına bakıldığında moment değerlerine benzer şekilde B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarının efektif güç değerlerinin saf dizel yakıtının efektif güç değerine göre daha yüksek değerler verdiği, B50 ve B100 yakıtlarının efektif güç değerlerinin ise saf dizel yakıtının efektif güç değerine çok yakın fakat biraz altında değerler aldıkları görülmektedir. Burada sayısal değerlere bakıldığında, 1300 d/dak’da efektif güç değerlerinin saf dizel yakıtı için 4,654 kW, B05 için 4,753 kW, B10 için 4,709 kW, B20 için 4,669 kW, B50 için 4,597 kW, B100 için 4,570 kW olduğu görülmektedir. Söz konusu devir sayısında ortalama olarak B05, B10, B20, kullanımı ile efektif güçte, sırasıyla %2,13, %1,18, %0,32 oranlarında saf dizel yakıtına göre artış ve B50, B100 kullanımı ile efektif güçte, sırasıyla %1,23, %1,81 oranlarında saf dizel yakıtına göre azalma olduğu görülmektedir.

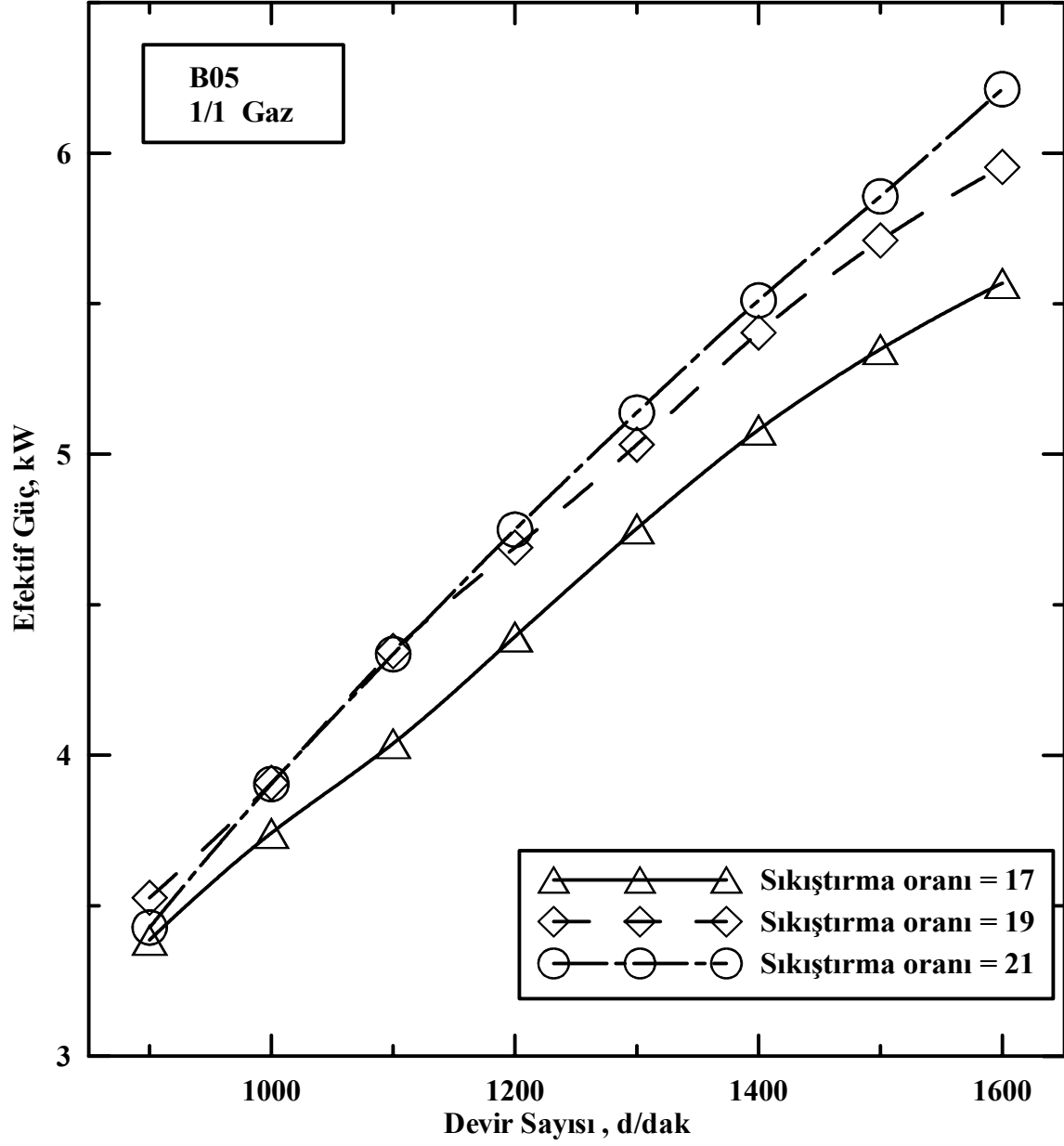
Şekil 22 ve Şekil 23’de $\varepsilon = 19$ ve $\varepsilon = 21$ olması durumunda tüm yakıt karışımları için efektif gücün devir sayısına göre değişimleri verilmiştir. Yakıt karışımlarına bakıldığında B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarının efektif güç değerlerinin saf dizel yakıtının efektif güç değerlerine yaklaştığı ve moment eğrilerinde olduğu gibi Şekil 18’de, yani $\varepsilon = 21$ olması durumunda, tüm yakıt karışımlarının efektif güç değerlerinin saf dizel yakıtının efektif güç değerinin altında değerler aldıkları gözlenmektedir. Burada da sayısal değerlere bakıldığında yine 1300 d/dak’da efektif güç değerlerinin saf dizel yakıtı için 5,332 kW, B05 için 5,138 kW, B10 için 5,101 kW, B20 için 5,215 kW, B50 için 5,262 kW, B100 için 5,211 kW olduğu görülmektedir. Söz konusu devir sayısında ortalama olarak B05, B10, B20, B50, B100, kullanımı ile efektif güçte, sırasıyla %3,64, %4,33, %2,19, %1,31, %2,27 oranlarında saf dizel yakıtına göre azalma olmuştur.

Genel olarak bakıldığında efektif güç değerlerinde ortalama %1 ile %3 arasındaki oranlarda bir azalma meydana gelmektedir. Bu azalma, moment karakteristiğinde de

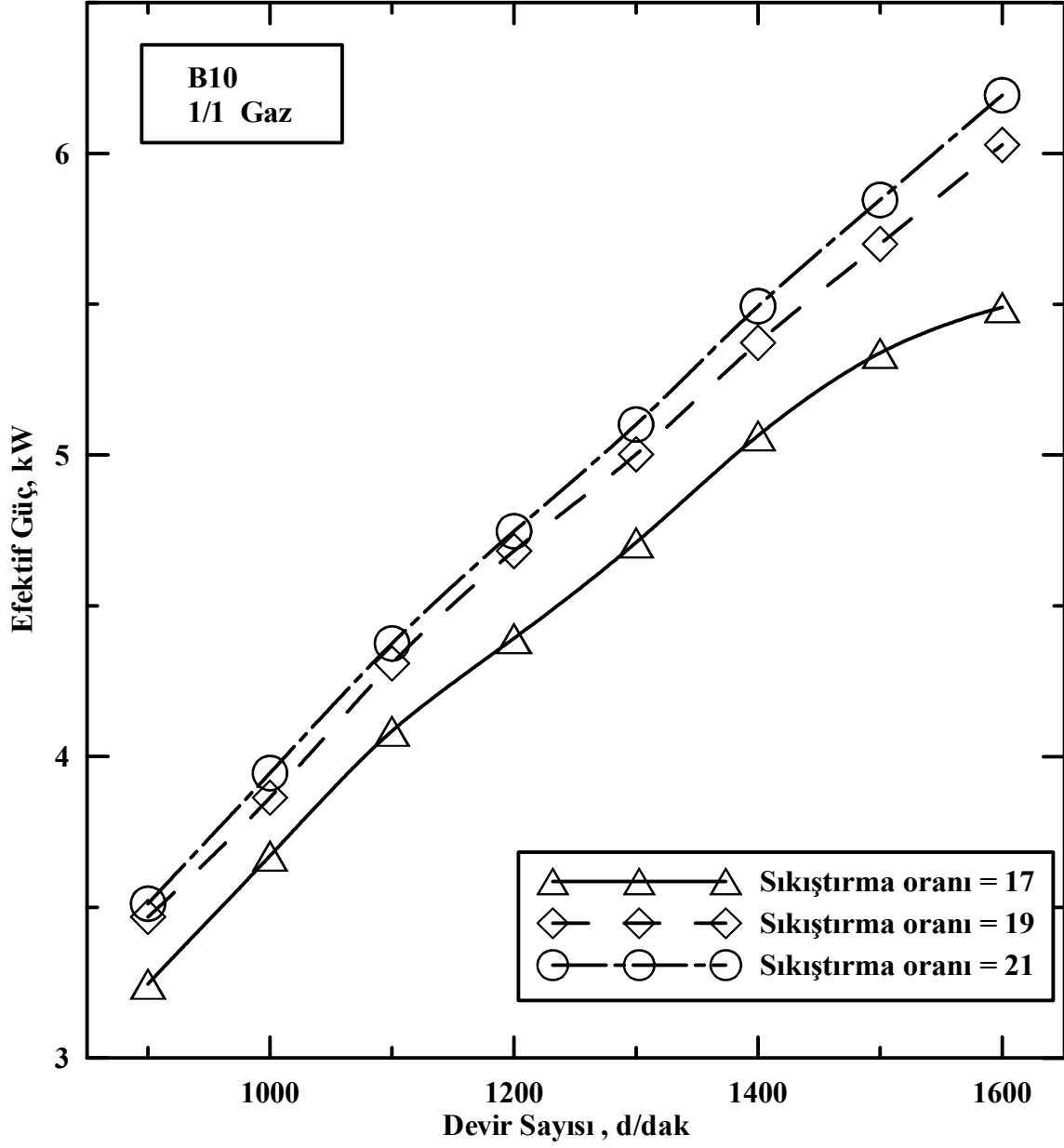
açıklandığı gibi, biyodizelin düşük ısı değeri ve yüksek viskozite değerinden kaynaklanmaktadır. Bu azalmanın ısı değerler arasındaki yaklaşık %13'lük farkın yanında çok az olmasının sebebi, daha önce de belirtildiği gibi biyodizelin yapısında bulunan oksijenin yanmayı iyileştirerek aradaki bu farkı büyük ölçüde dengelemesidir. Bunun yanı sıra viskozitenin yüksek olması, pompa kaçaklarının azalmasına ve hacim bazında az da olsa motora daha fazla yakıt gitmesine neden olabilir. Bu da güç ve moment değerlerindeki düşüşü bir miktar azaltabilir.



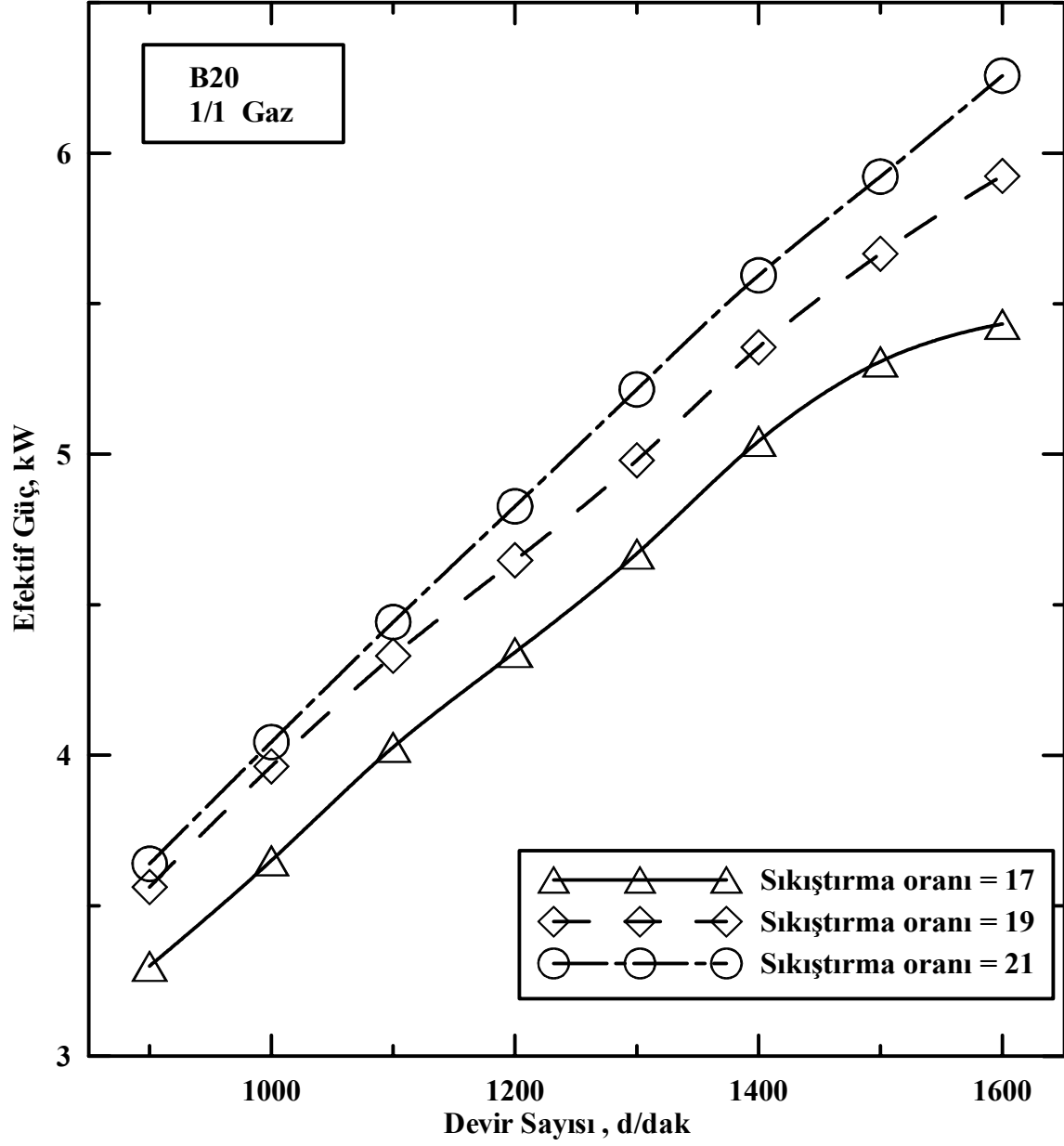
Şekil 15. Değişik sıkıştırma oranlarında saf dizel yakıtı için efektif gücün devir sayısı ile değişimi



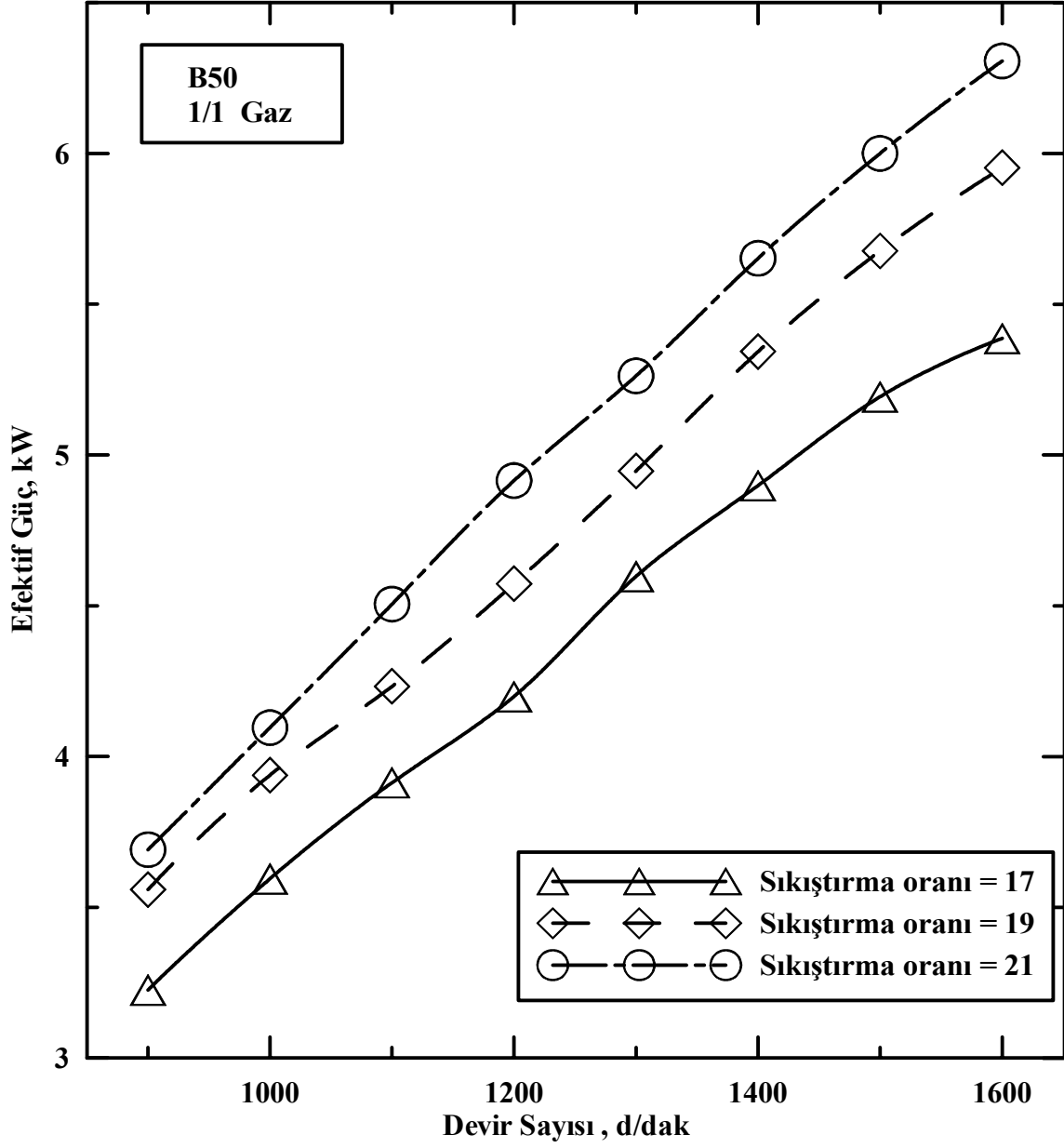
Şekil 16. Değişik sıkıştırma oranlarında B05 yakıt karışımı için efektif gücün devir sayısı ile değişimi



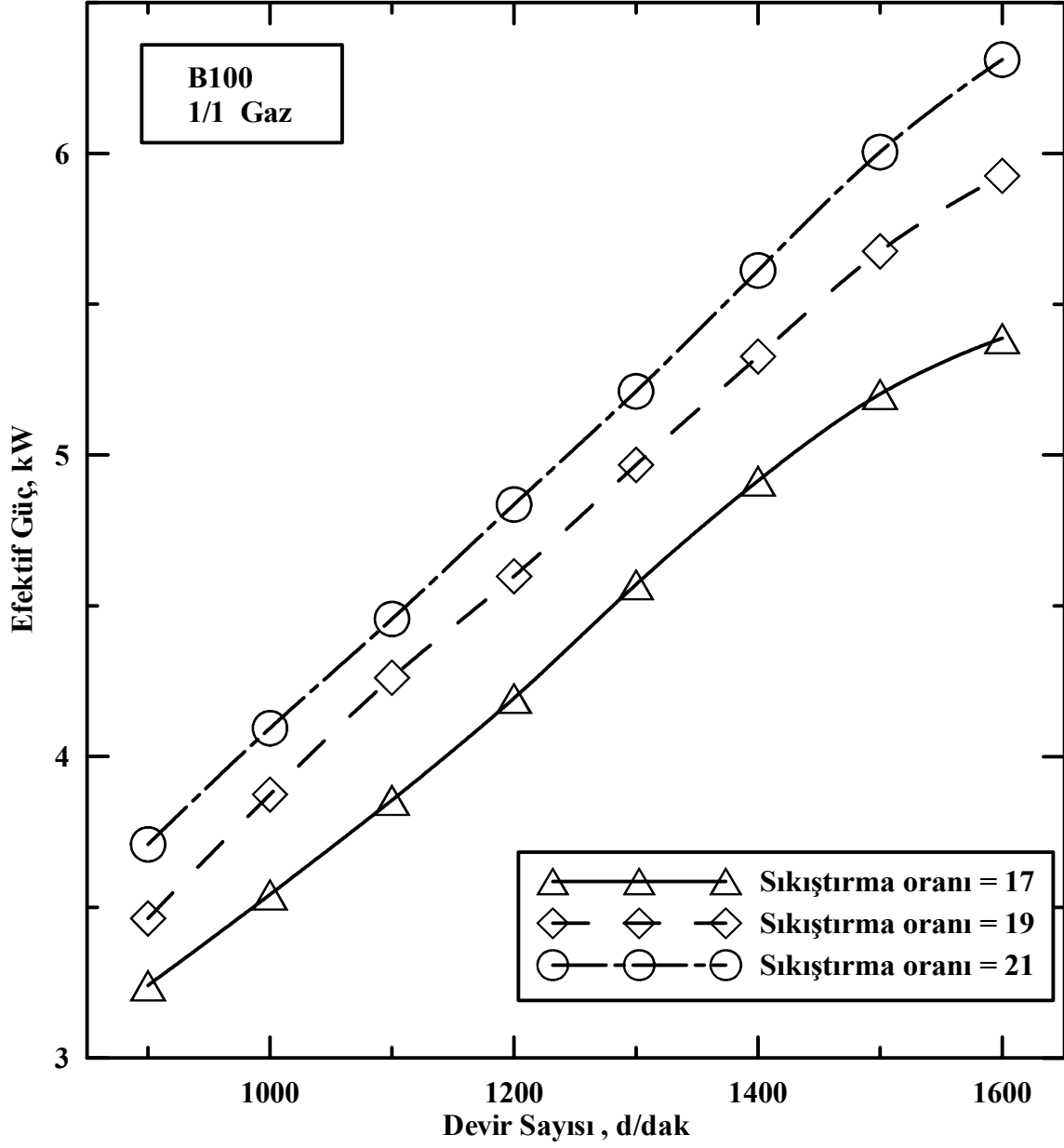
Şekil 17. Değişik sıkıştırma oranlarında B10 yakıt karışımı için efektif gücün devir sayısı ile değişimi



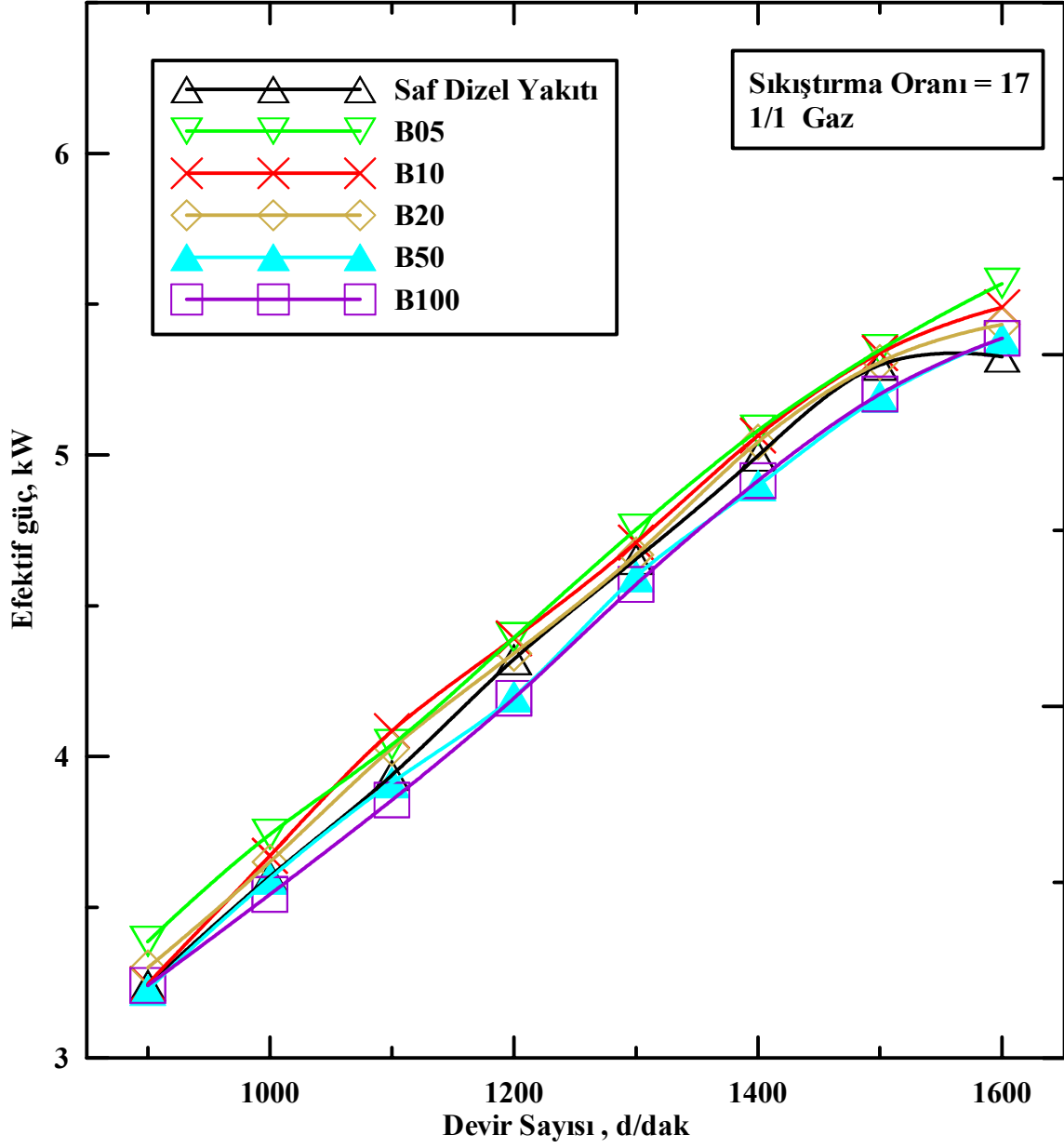
Şekil 18. Değişik sıkıştırma oranlarında B20 yakıt karışımı için efektif gücün devir sayısı ile değişimi



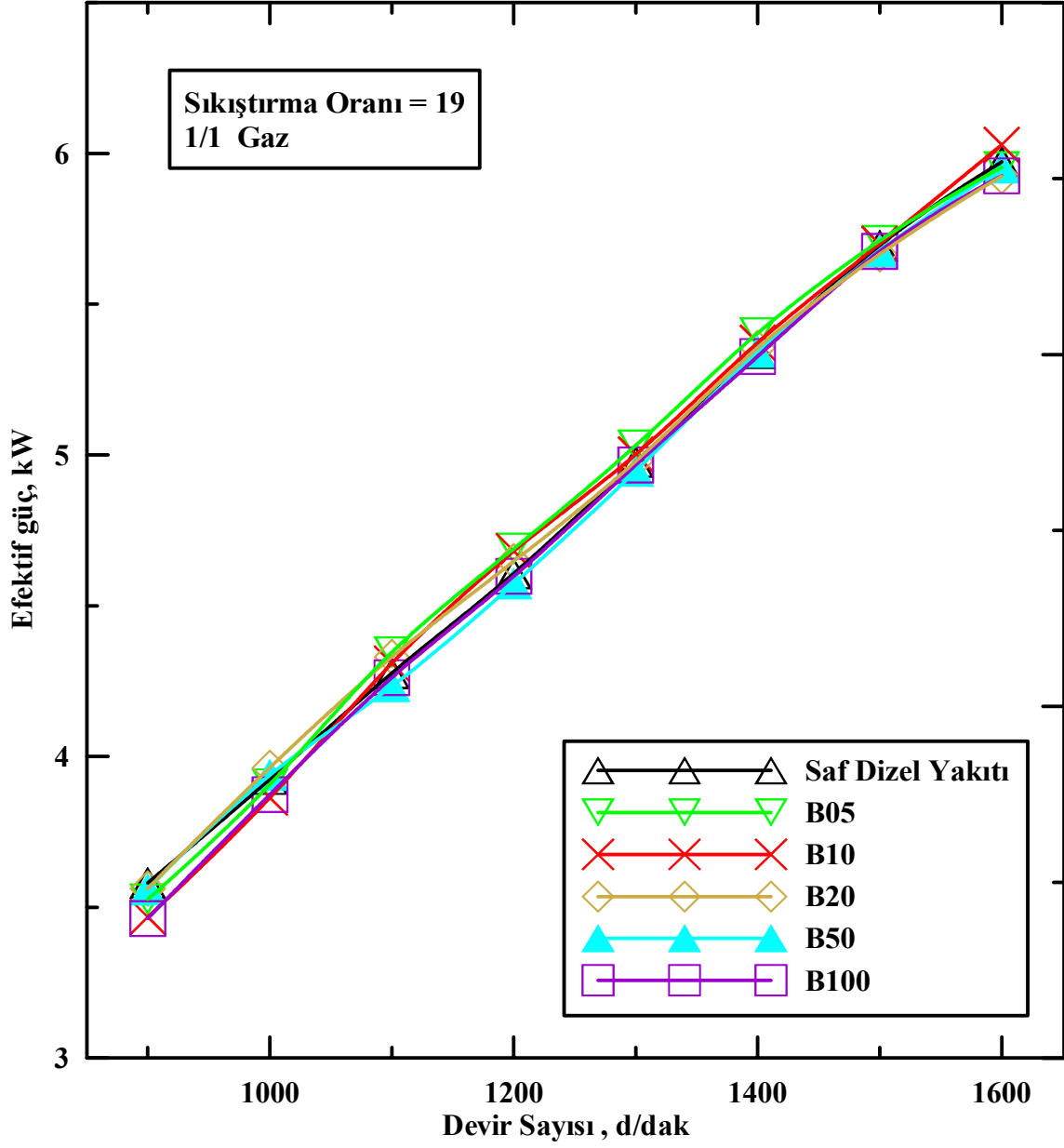
Şekil 19. Değişik sıkıştırma oranlarında B50 yakıt karışımı için efektif gücün devir sayısı ile değişimi



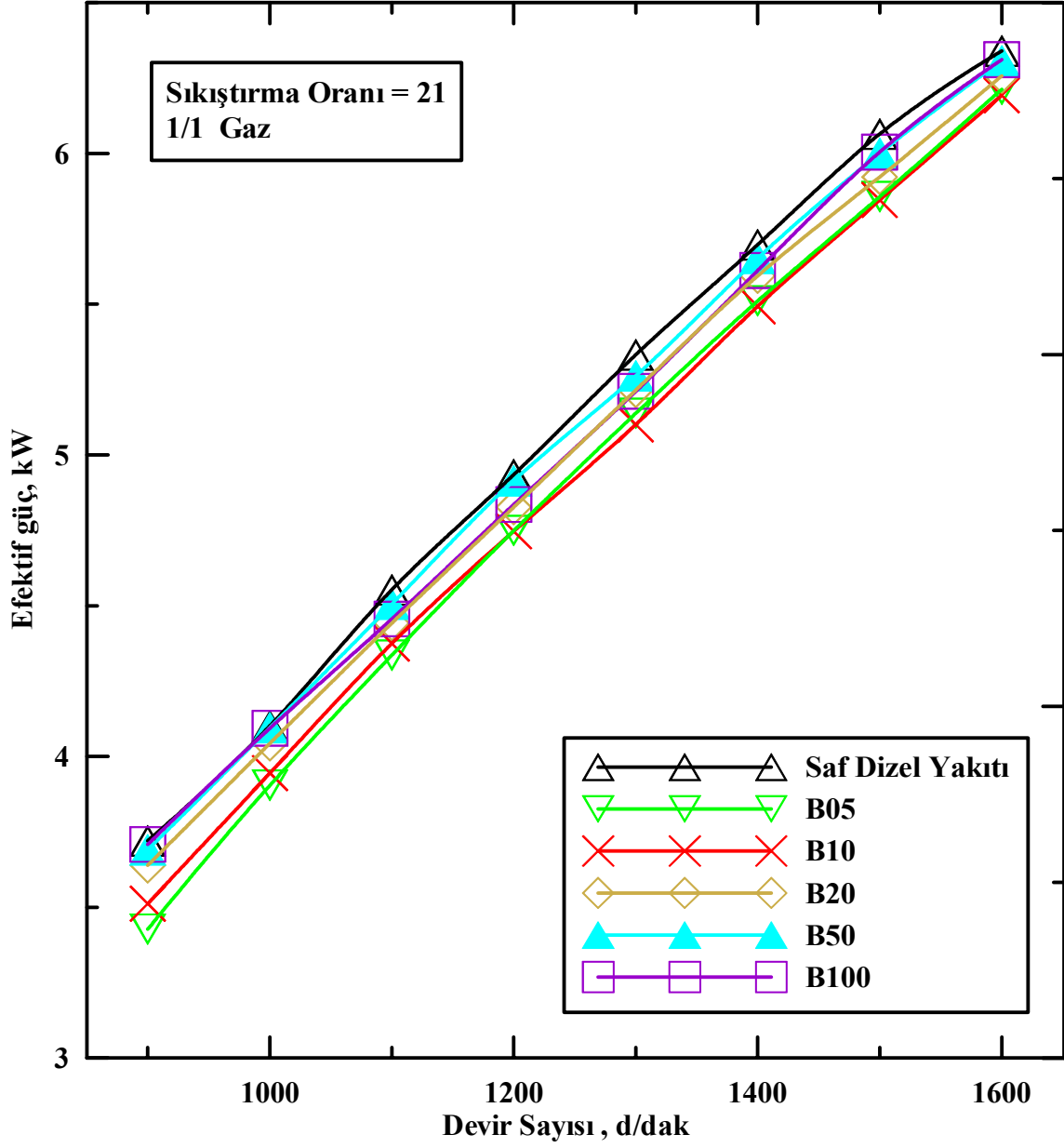
Şekil 20. Değişik sıkıştırma oranlarında B100 yakıtı için efektif gücün devir sayısı ile değişimi



Şekil 21. $\varepsilon = 17$ olması durumunda tüm yakıtlar için etkiel gücün devir sayısıyla değişimi



Şekil 22. $\varepsilon = 19$ olması durumunda tüm yakıtlar için efektif gücün devir sayısı ile değişimi

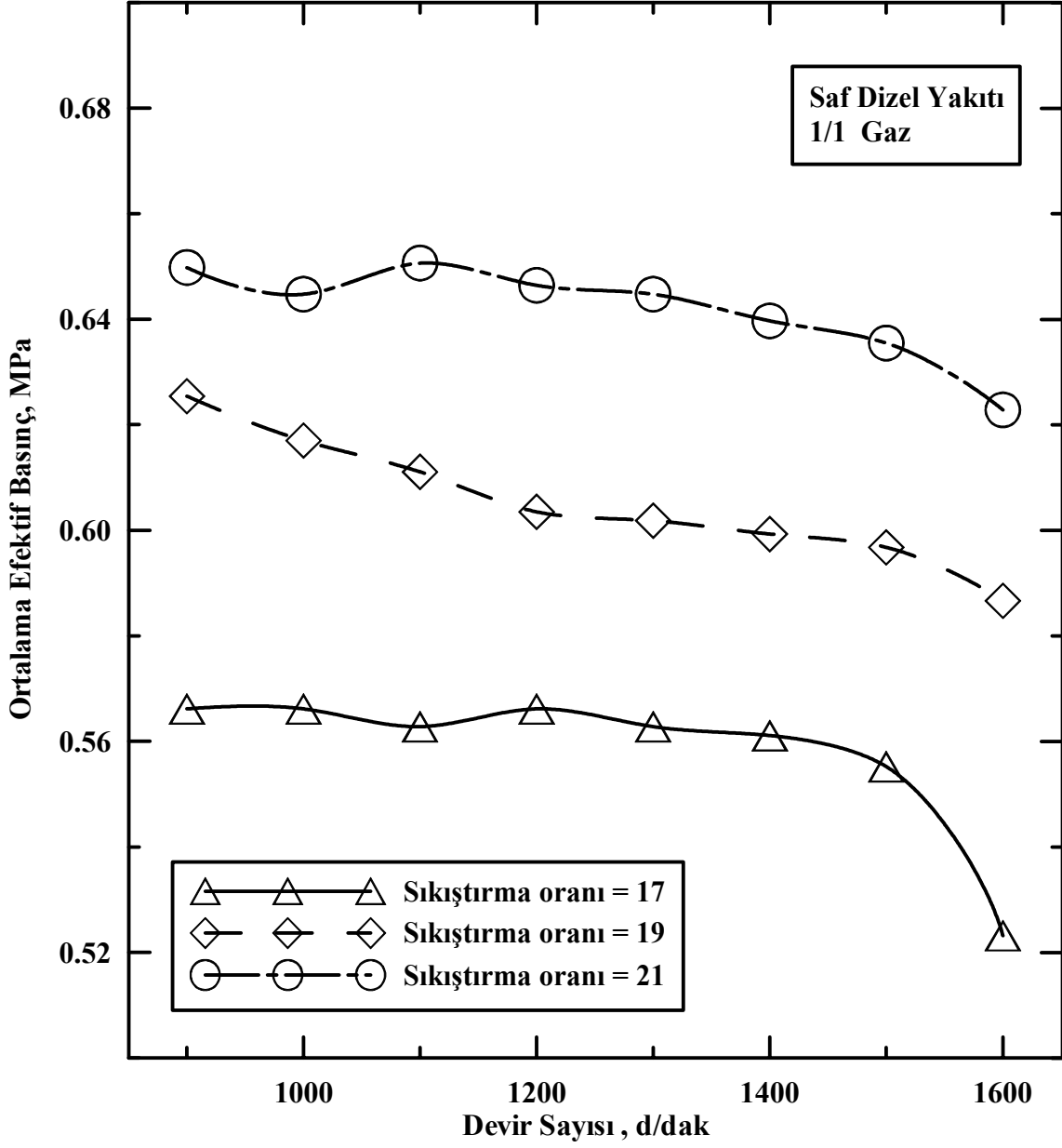


Şekil 23. $\varepsilon = 21$ olması durumunda tüm yakıtlar için efektif gücün devir sayısı ile değişimi

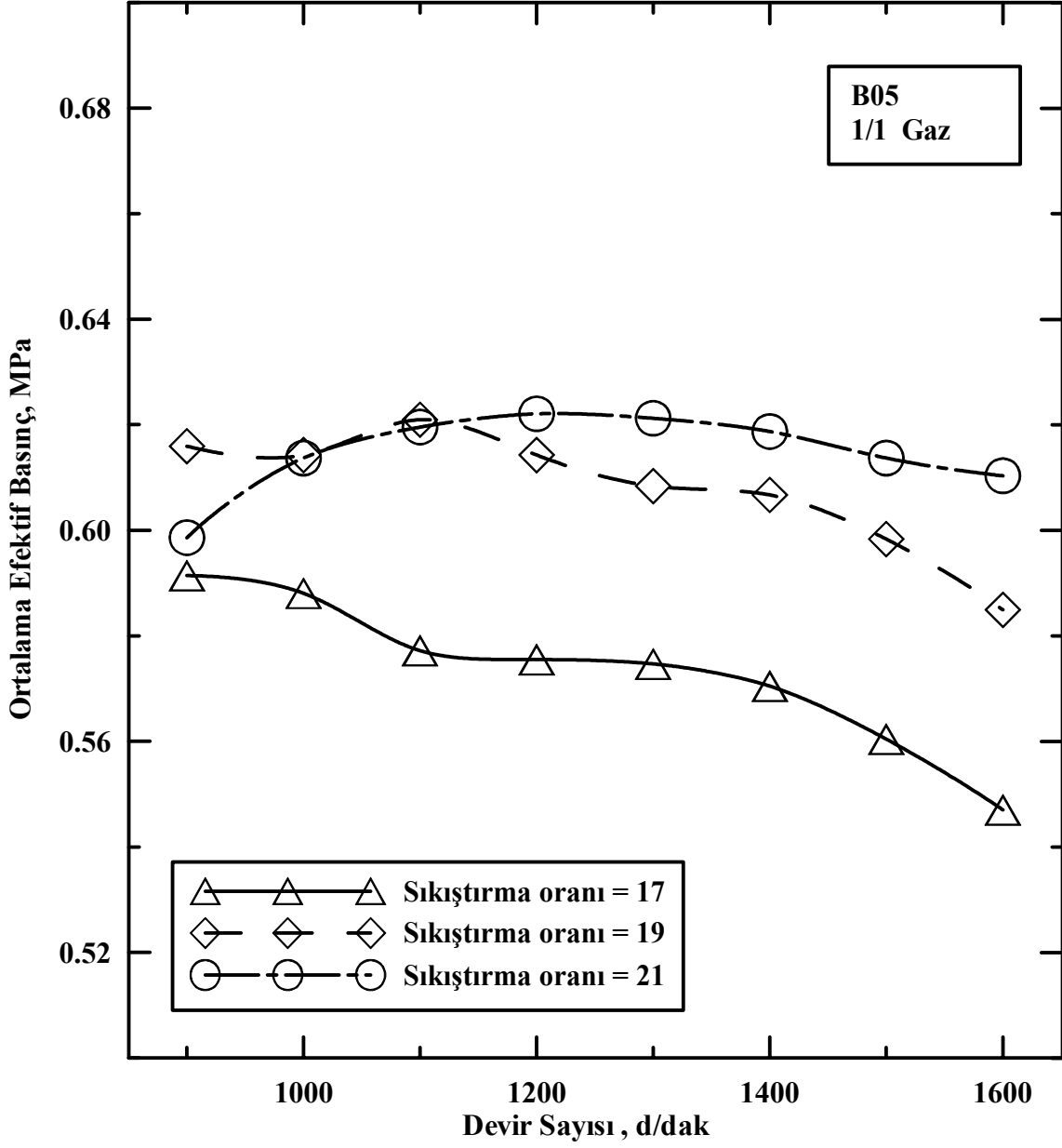
3.1.1.3. Ortalama Efektif Basınç

Dizel motorlarında, ortalama efektif basınç karakteristiği ile döndürme momenti karakteristiği aynı karaktere sahiptir. Ancak döndürme momenti motor boyutlarına bağlı bir büyüklük olmasına karşın, ortalama efektif basınç motor boyutlarından bağımsız bir büyüklüktür ve bu yüzden farklı boyutlardaki motorların karşılaştırılmasında önemli bir karakteristiktir. Burada da grafikler aynı karakteristikte olduğu için her grafik tekrar ayrı ayrı incelenmemiştir, sadece farklı boyutlardaki motorlarla karşılaştırmaya olanak sağlamak amacıyla grafik sonuçları verilmiştir.

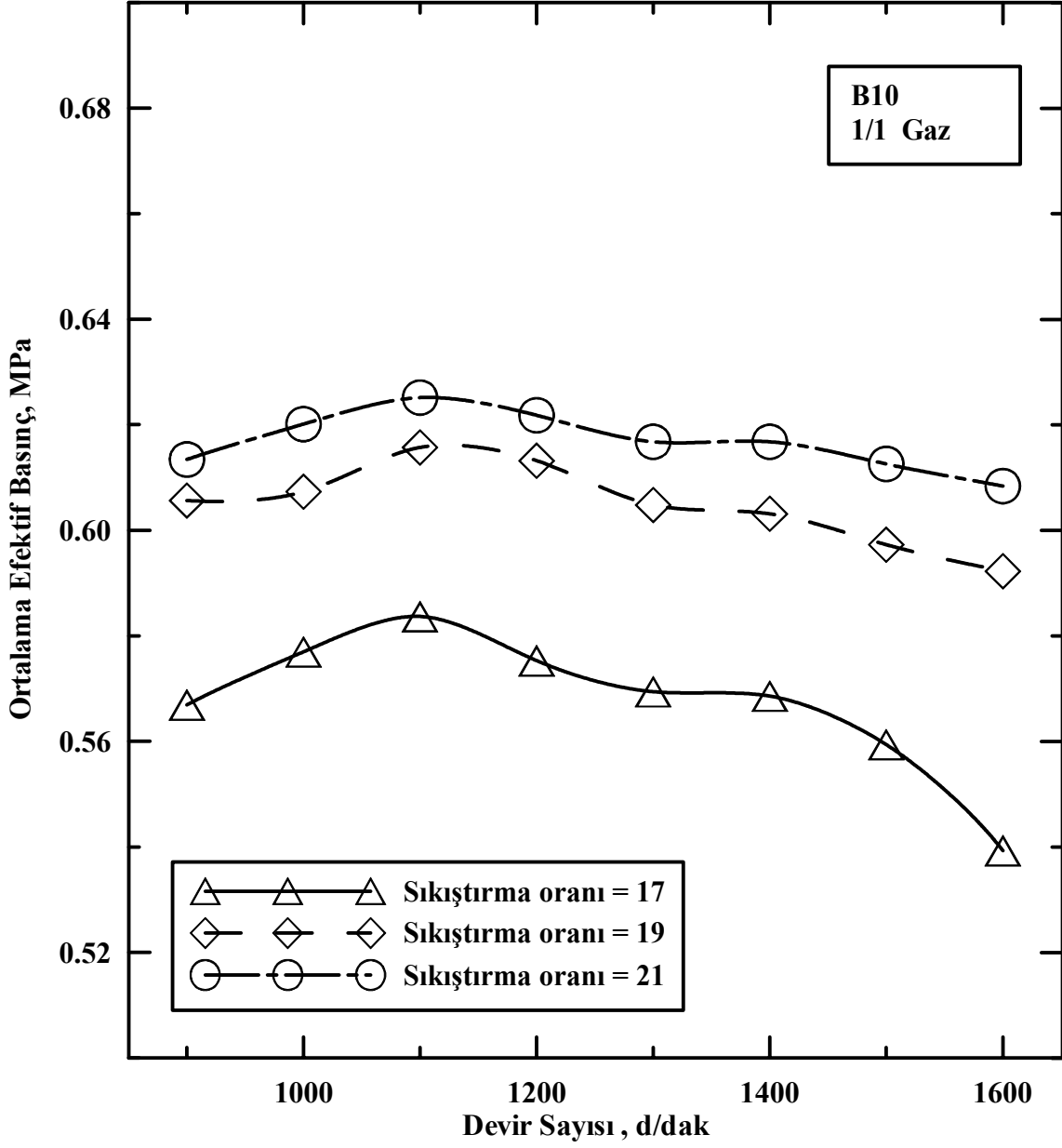
Şekil 30'da $\varepsilon = 17$ olması durumunda, Şekil 31'de $\varepsilon = 19$ olması durumunda ve Şekil 32'de $\varepsilon = 21$ olması durumunda tüm yakıt karışımları için ortalama efektif basıncın devir sayısına göre değişimleri verilmiştir. Genel olarak bakıldığında döndürme momentindeki değerlere benzer şekilde ortalama efektif basınç değerlerinde ortalama %1 ile %3 arasındaki oranlarda bir azalma meydana gelmektedir. Bu azalmanın, moment karakteristiğinde de açıklandığı gibi, biyodizelin düşük ısıl değeri ve yüksek viskozite değerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



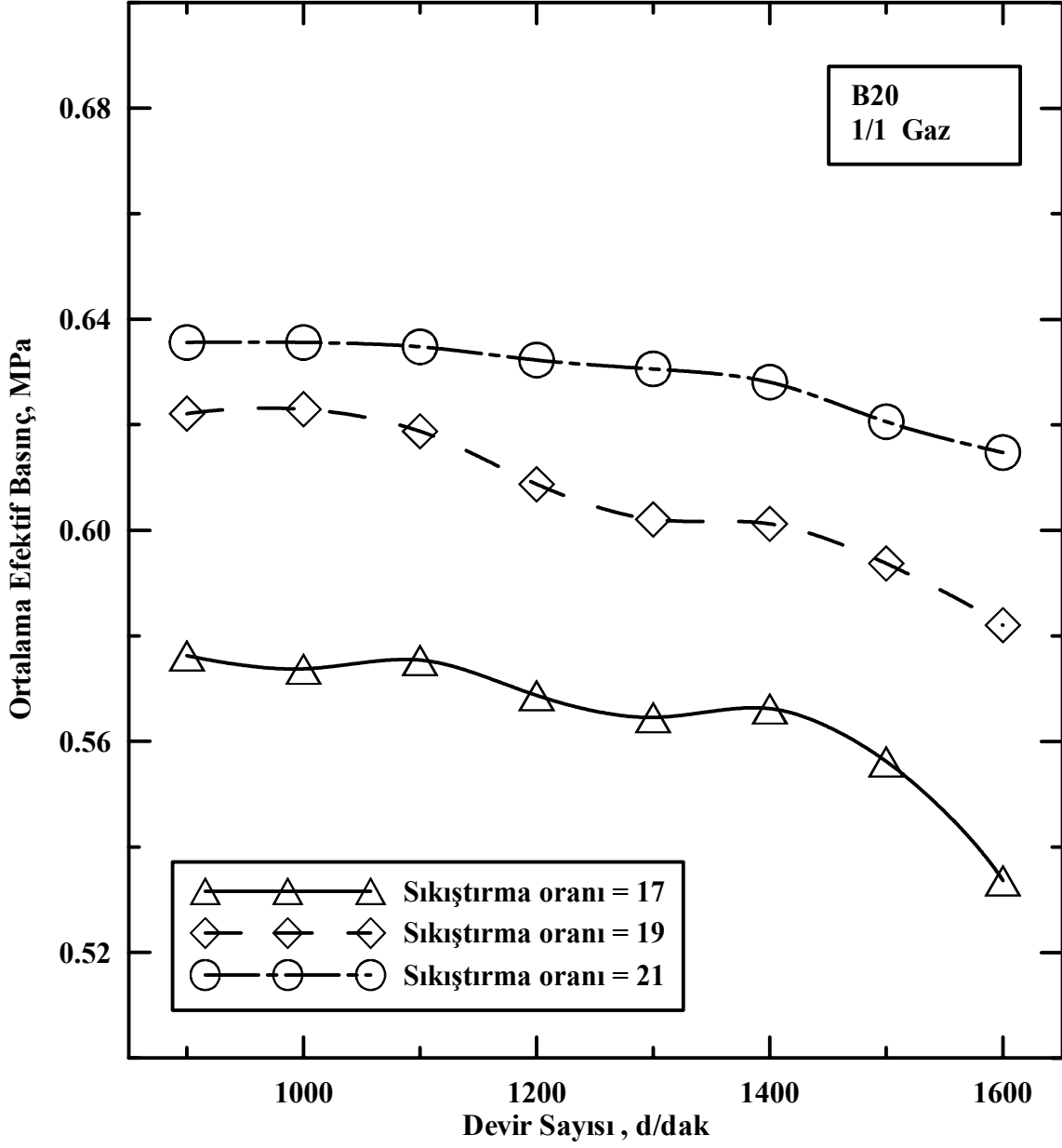
Şekil 24. Değişik sıkıştırma oranlarında saf dizel yakıtı için ortalama efektif basıncın devir sayısı ile değişimi



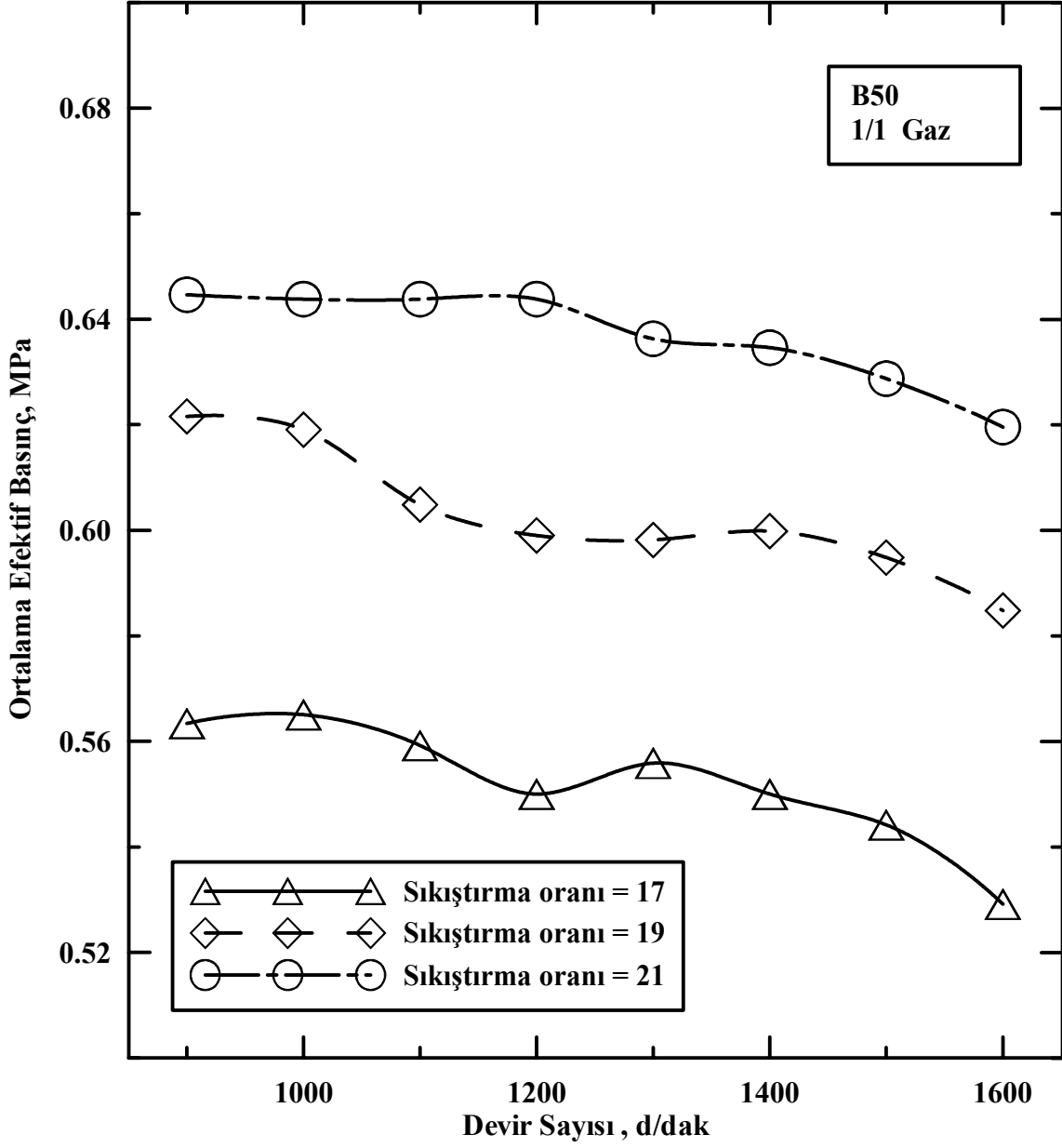
Şekil 25. Değişik sıkıştırma oranlarında B05 yakıt karışımı için ortalama efektif basıncın devir sayısı ile değişimi



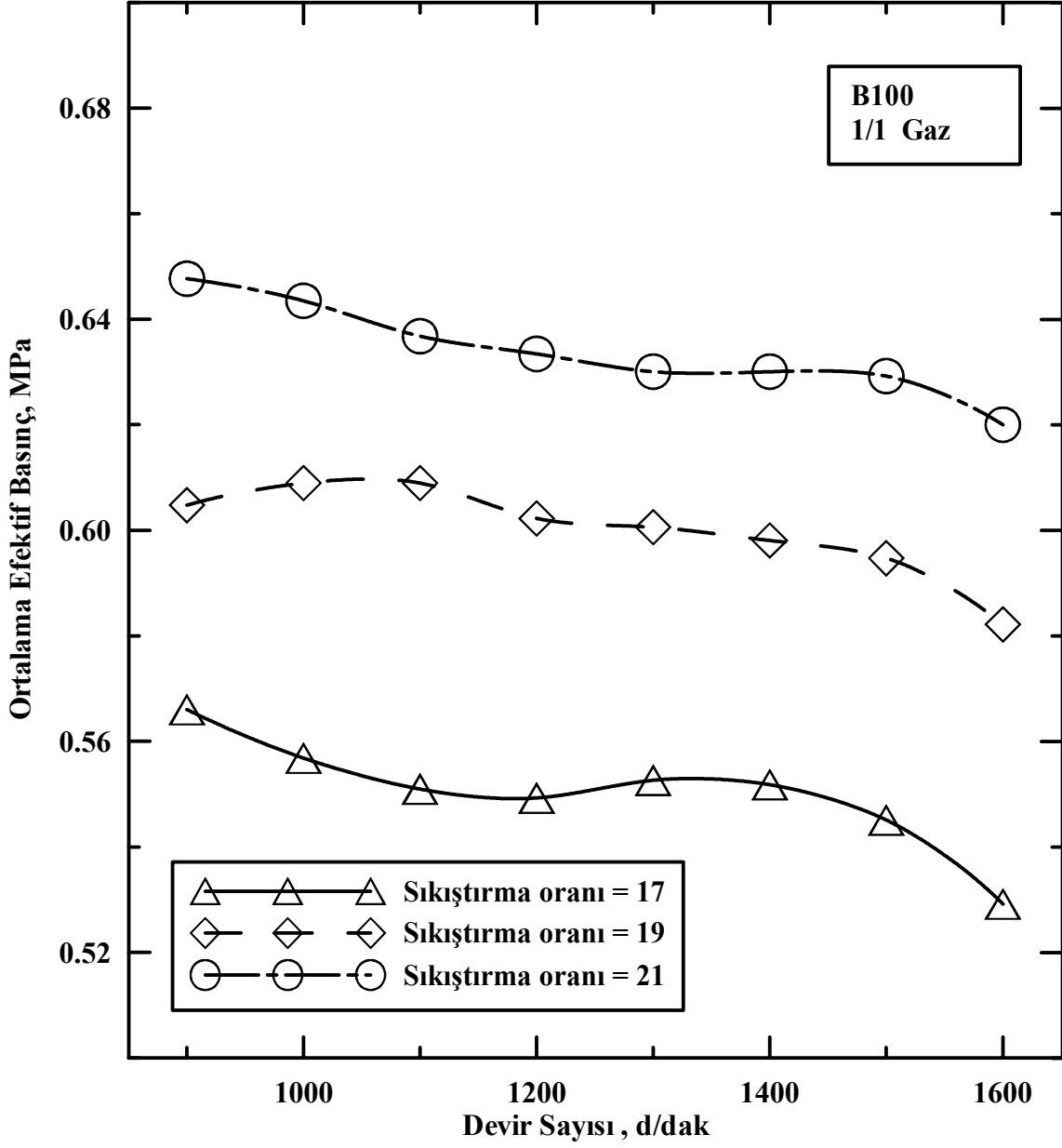
Şekil 26. Değişik sıkıştırma oranlarında B10 yakıt karışımı için ortalama efektif basıncın devir sayısı ile değişimi



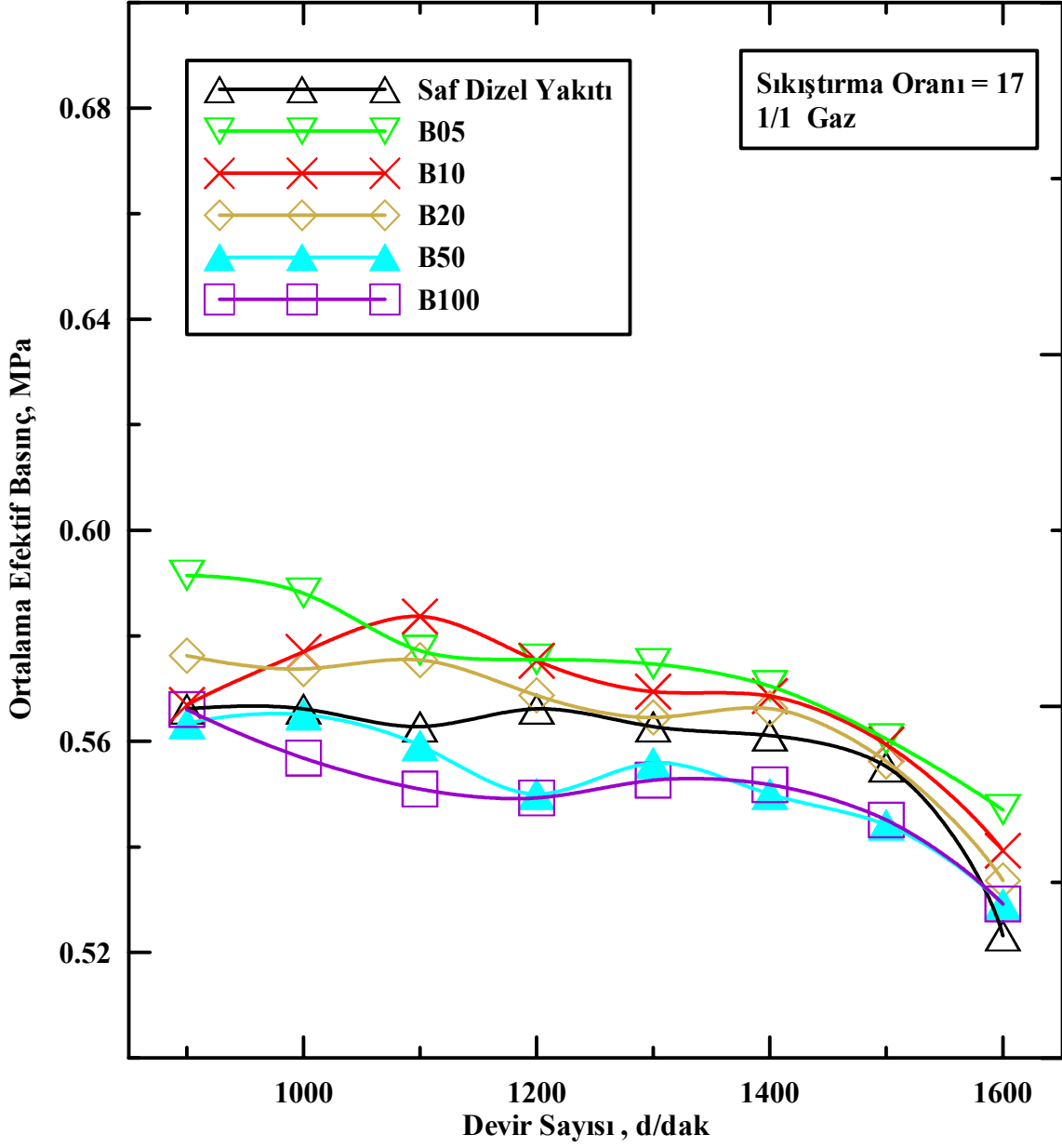
Şekil 27. Değişik sıkıştırma oranlarında B20 yakıt karışımı için ortalama efektif basıncın devir sayısı ile değişimi



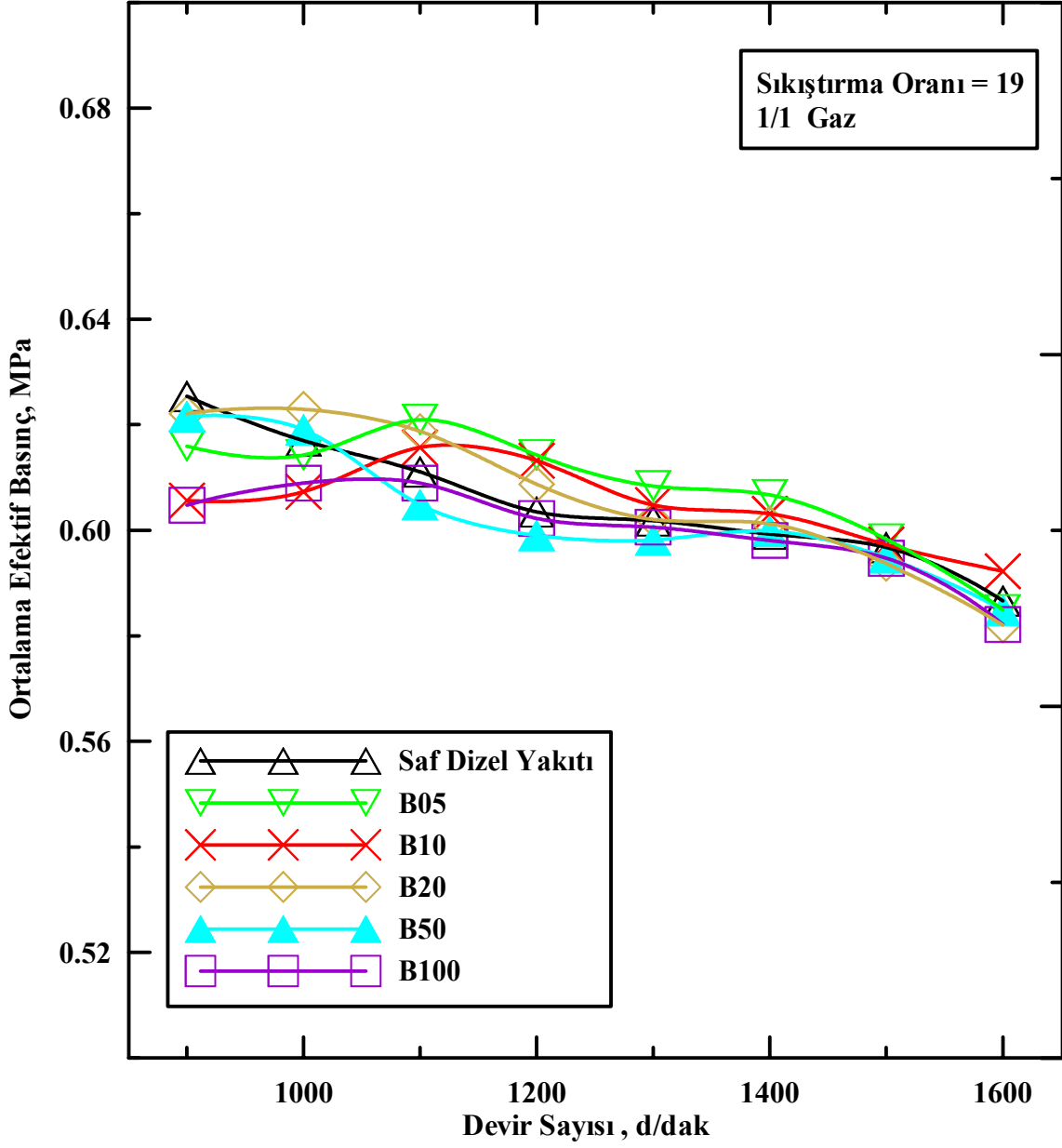
Şekil 28. Değişik sıkıştırma oranlarında B50 yakıt karışımı için ortalama efektif basıncın devir sayısı ile değişimi



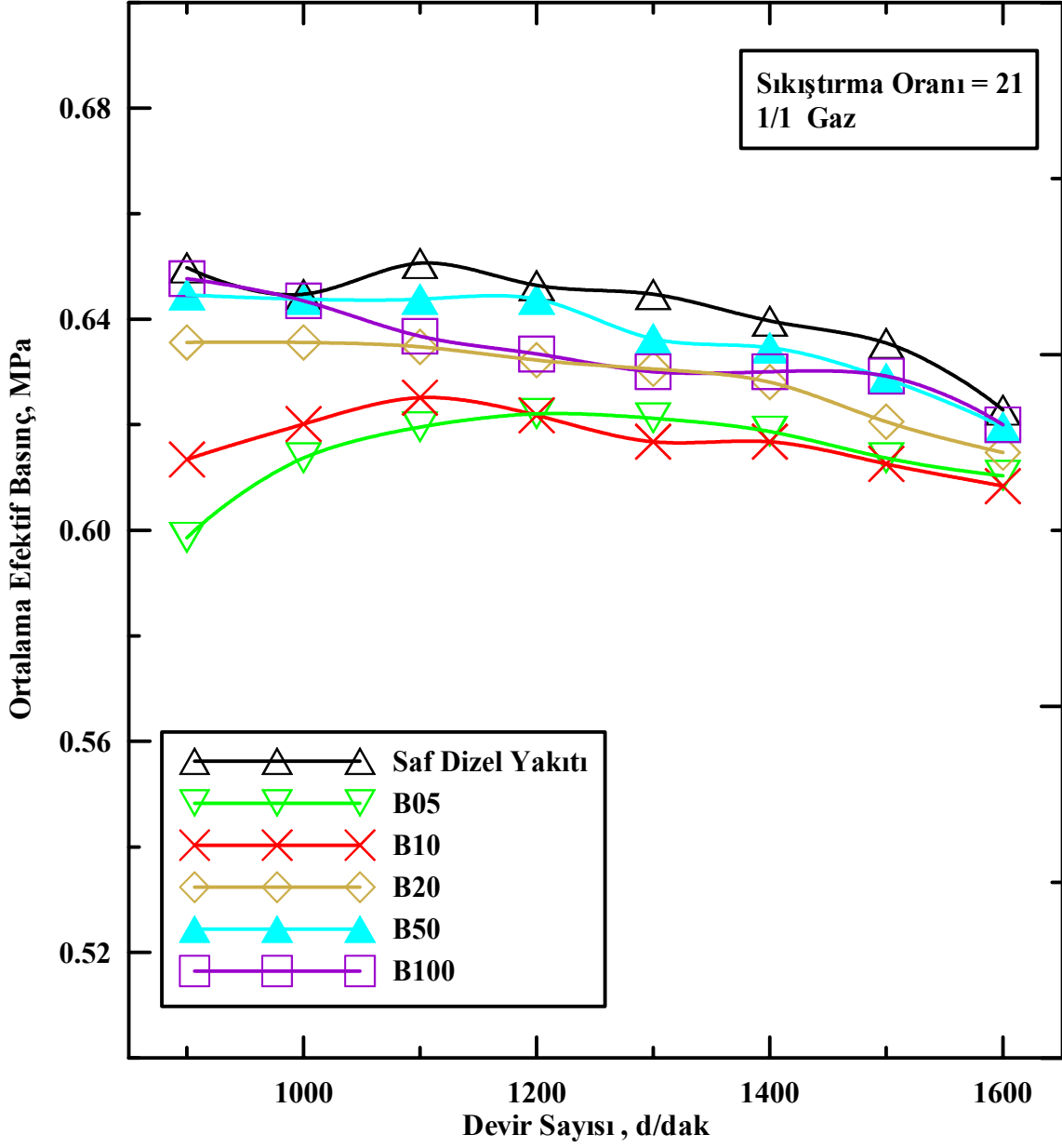
Şekil 29. Değişik sıkıştırma oranlarında B100 yakıtı için ortalama efektif basıncın devir sayısı ile değişimi



Şekil 30. $\varepsilon = 17$ olması durumunda tüm yakıtlar için ortalama efektif basıncın devir sayısı ile değişimi



Şekil 31. $\varepsilon = 19$ olması durumunda tüm yakıtlar için ortalama efektif basıncın devir sayısı ile değişimi



Şekil 32. $\varepsilon = 21$ olması durumunda tüm yakıtlar için ortalama efektif basıncın devir sayısı ile değişimi

3.1.1.4. Özgül Yakıt Tüketimi

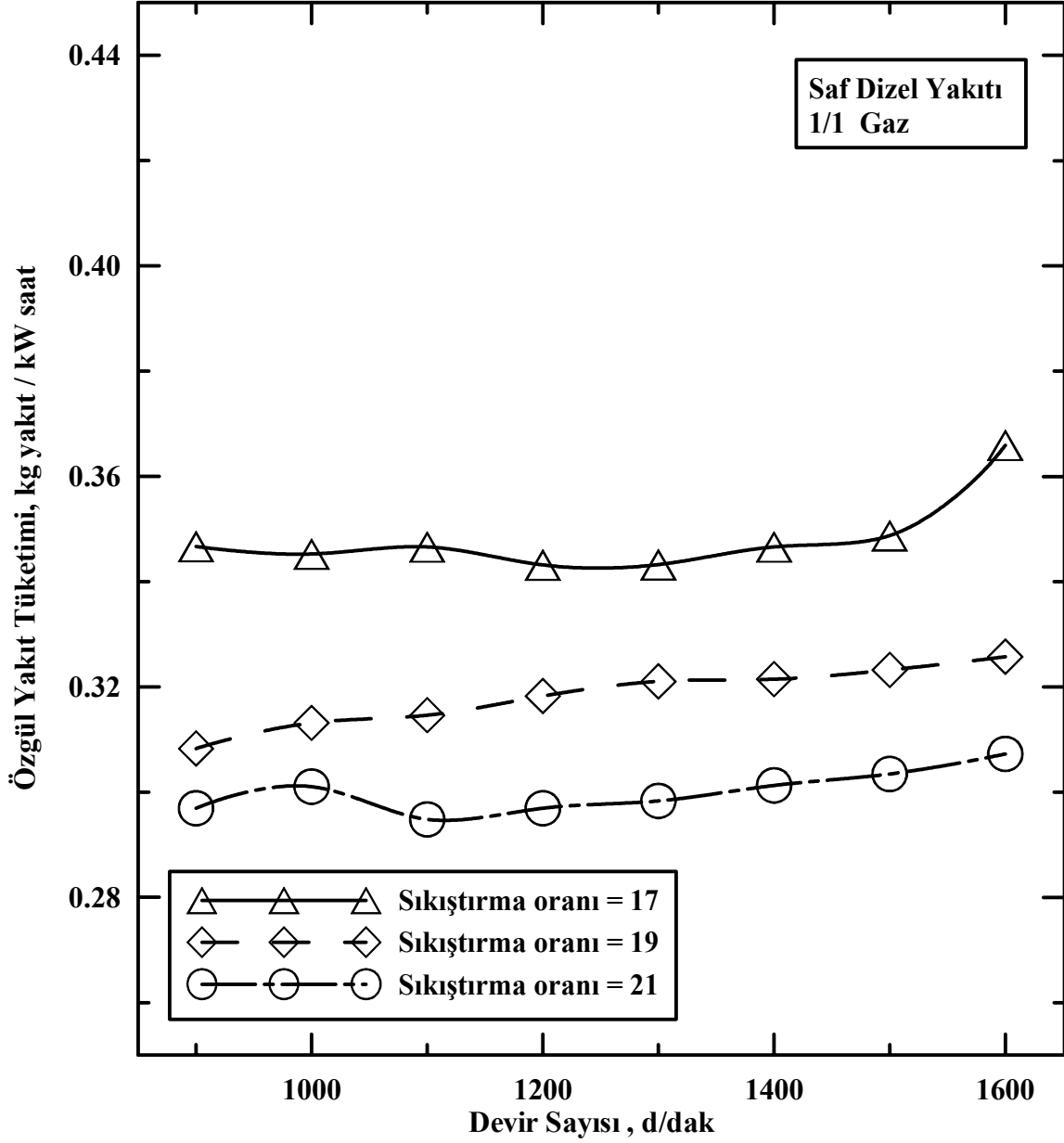
Dizel motorlarında, özgül yakıt tüketimi karakteristiği; orta hızlara kadar azalan orta hızlardan sonra artan hız ve mekanik kayıplar nedeniyle yükselişe geçen bir eğridir. Şekil 33 ve Şekil 41 arasındaki grafiklere bakıldığında tüm yakıt karışımları için tipik özgül yakıt tüketimi karakteristiğine benzer eğrilerin elde edildiği görülmektedir.

Şekil 39 ve Şekil 40'da $\varepsilon = 17$ ve $\varepsilon = 19$ olması durumunda tüm yakıt karışımları için özgül yakıt tüketiminin devir sayısına göre değişimleri verilmiştir. Yakıt karışımlarına bakıldığında B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarının özgül yakıt tüketimi değerlerinin saf dizel yakıtının özgül yakıt tüketimi değerine çok yakın değerler verdiği hatta B05 yakıt karışımının saf dizel yakıtına göre daha az özgül yakıt tüketimi değeri verdiği gözlenmiştir. B50 ve B100 yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerlerinin ise saf dizel yakıtının özgül yakıt tüketimi değerinden daha yüksek değerler aldıkları görülmektedir. Burada sayısal değerlere bakıldığında, $\varepsilon = 17$ ve 1300 d/dak'da özgül yakıt tüketimi değerlerinin saf dizel yakıtı için 0,343 kg yakıt/kW saat, B05 için 0,340 kg yakıt/kW saat, B10 için 0,345 kg yakıt/kW saat, B20 için 0,348 kg yakıt/kW saat, B50 için 0,356 kg yakıt/kW saat, B100 için 0,387 kg yakıt/kW saat olduğu görülmektedir. Söz konusu devir sayısında ortalama olarak B05, kullanımı ile özgül yakıt tüketiminde, %0,87 oranında saf dizel yakıtına göre azalma ve B10, B20, B50, B100 kullanımı ile özgül yakıt tüketiminde, sırasıyla %0,58, %1,46, %3,8, 12,83 oranlarında saf dizel yakıtına göre artış elde edilmiştir.

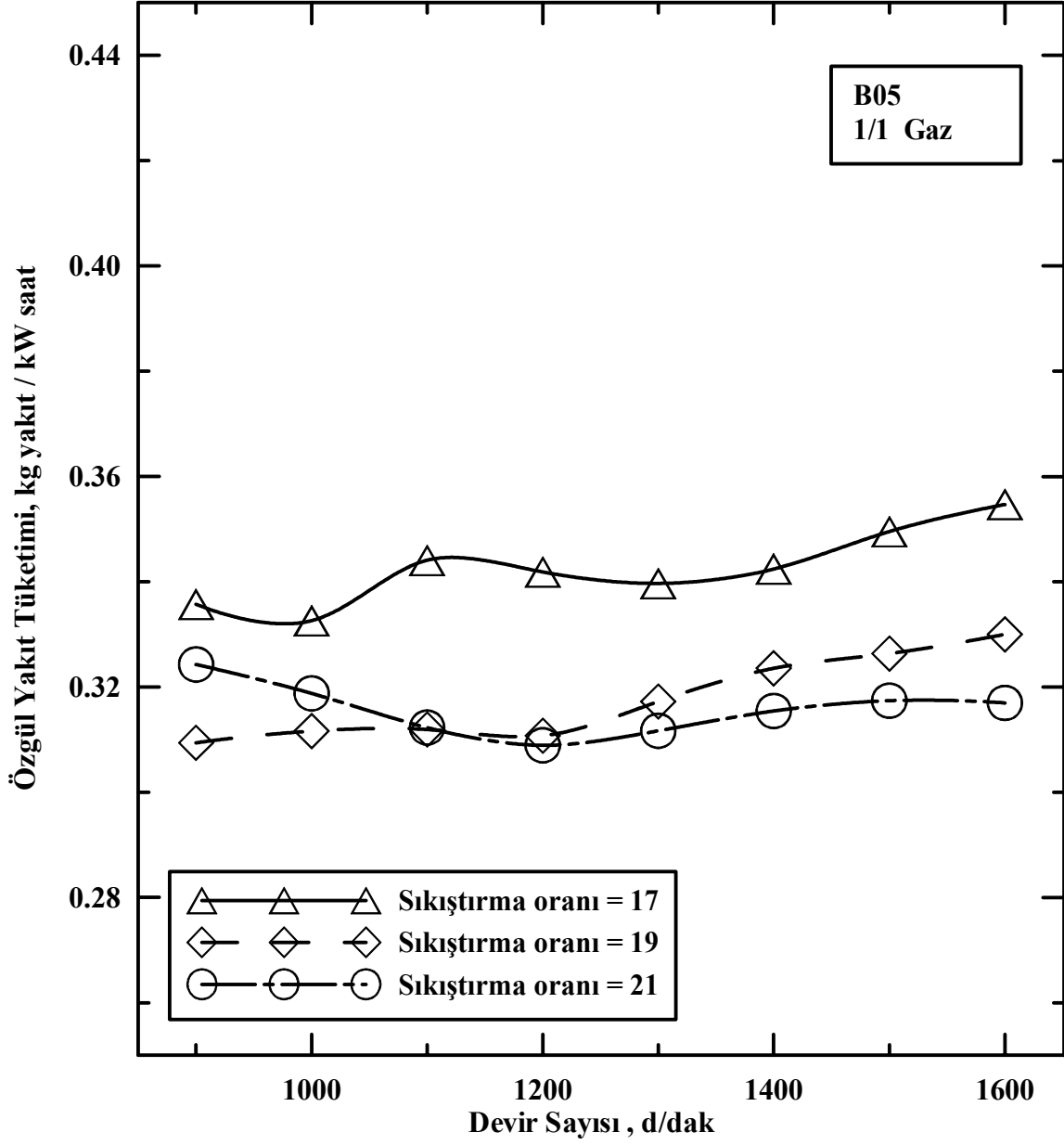
Şekil 41'de $\varepsilon = 21$ olması durumunda tüm yakıt karışımları için özgül yakıt tüketiminin devir sayısına göre değişimi verilmiştir. Yakıt karışımlarına bakıldığında tüm yakıt karışımlarının özgül yakıt tüketimi değerlerinin saf dizel yakıtının özgül yakıt tüketimi değerlerinden yüksek olduğu gözlenmektedir. Burada sayısal değerlere bakıldığında, 1300 d/dak'da özgül yakıt tüketimi değerlerinin saf dizel yakıtı için 0,298 kg yakıt/kW saat, B05 için 0,312 kg yakıt/kW saat, B10 için 0,319 kg yakıt/kW saat, B20 için 0,310 kg yakıt/kW saat, B50 için 0,310 kg yakıt/kW saat, B100 için 0,342 kg yakıt/kW saat olduğu görülmektedir. Söz konusu devir sayısında ortalama olarak B05, B10, B20, B50, B100, kullanımı ile özgül yakıt tüketiminde, sırasıyla %4,7, %7,05, %4,03, %4,03, %14,77 oranlarında saf dizel yakıtına göre artış elde edilmiştir.

Genel olarak bakıldığında özgül yakıt tüketimi değerlerinde ortalama %4 ile %13 arasındaki oranlarda bir artma meydana gelmektedir. Bu artışın temel nedeninin, biyodizelin düşük ısıl değeri olmasına karşın, aynı devir sayısını elde etmek için silindir

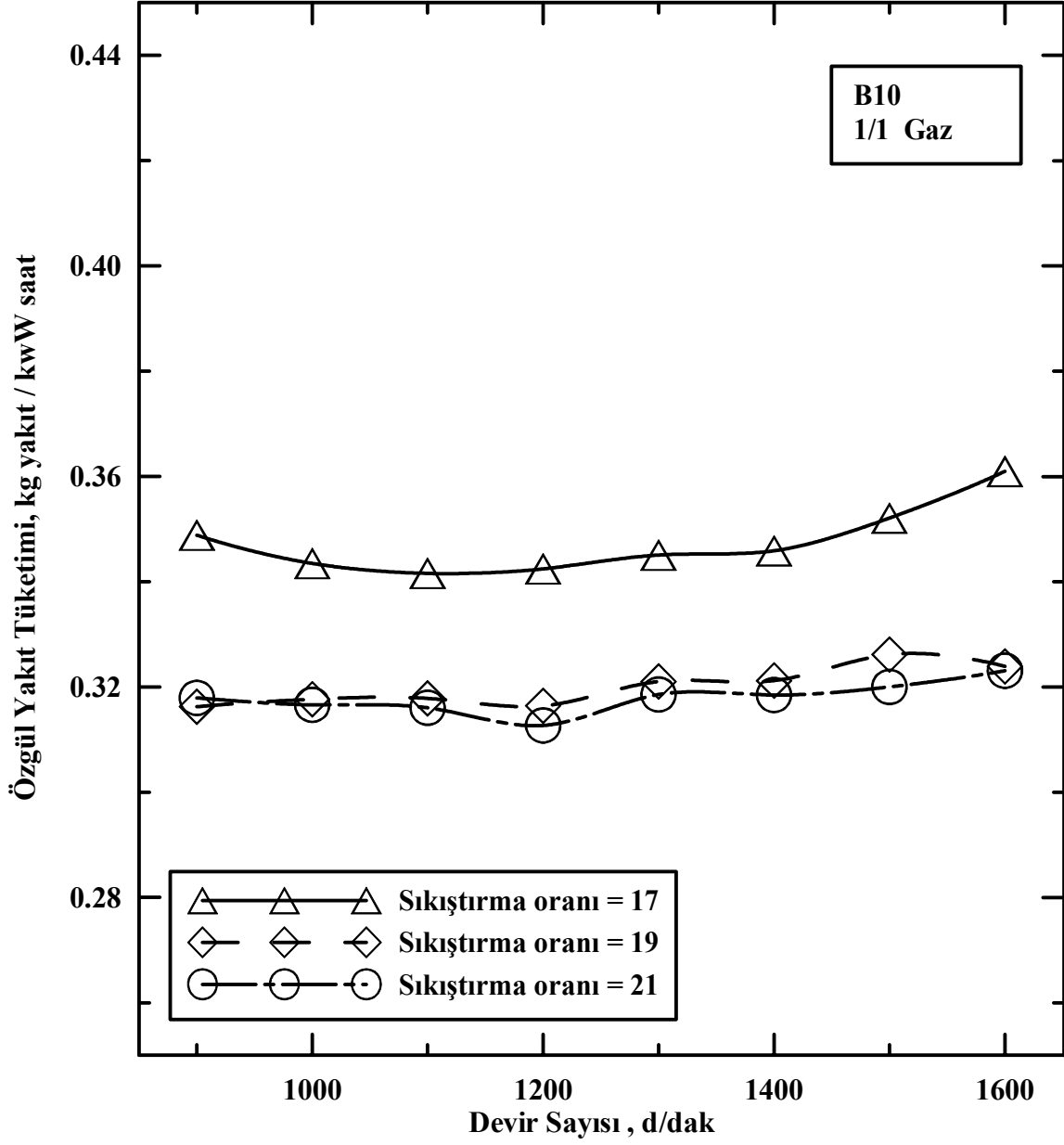
içerisine daha fazla yakıt gönderilmesi ve biyodizelin yoğunluğunun fazla olması nedeniyle silindire kütlece daha fazla yakıt gitmesi olduğu düşünülmektedir.



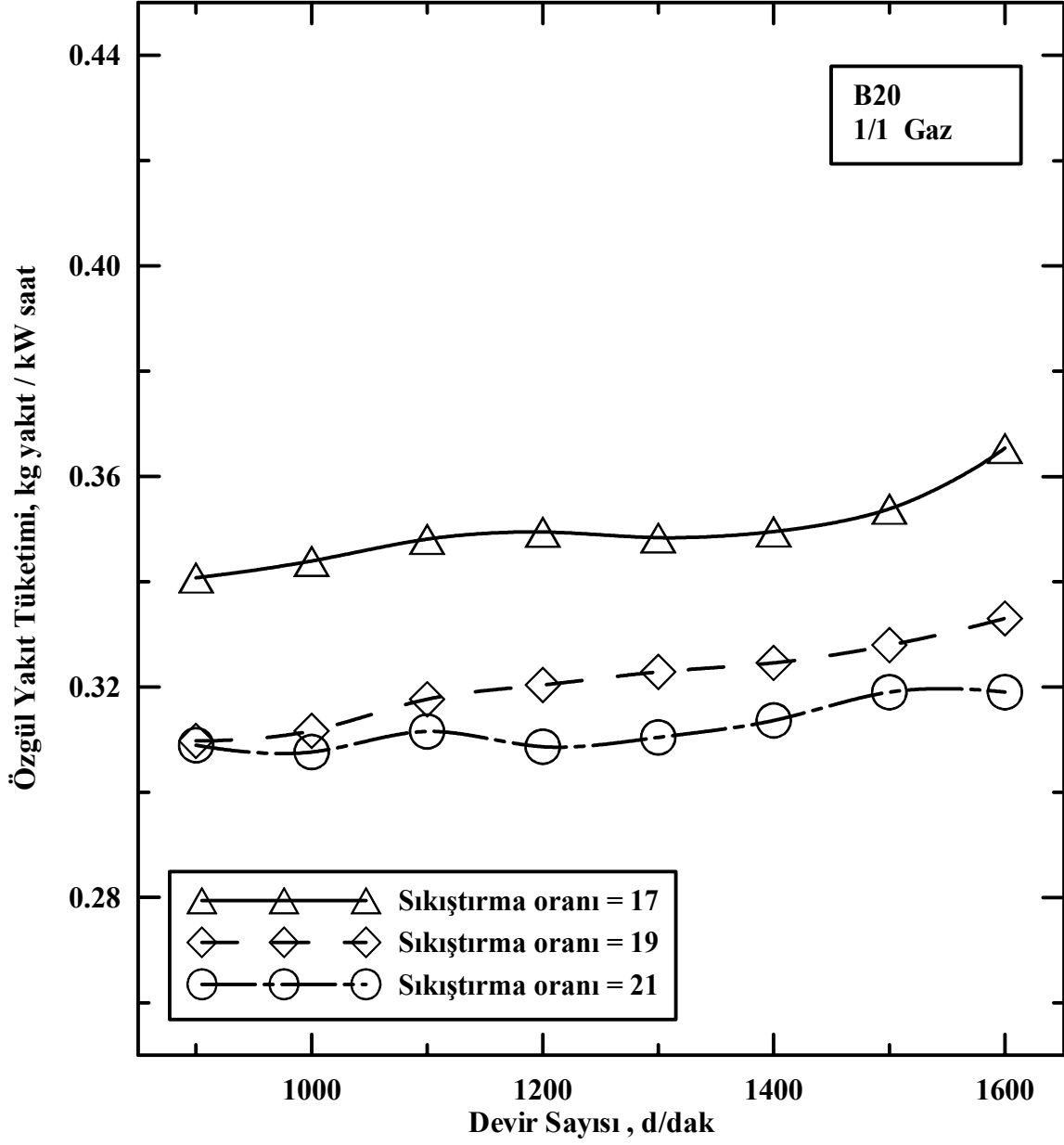
Şekil 33. Değişik sıkıştırma oranlarında saf dizel yakıtı için özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi



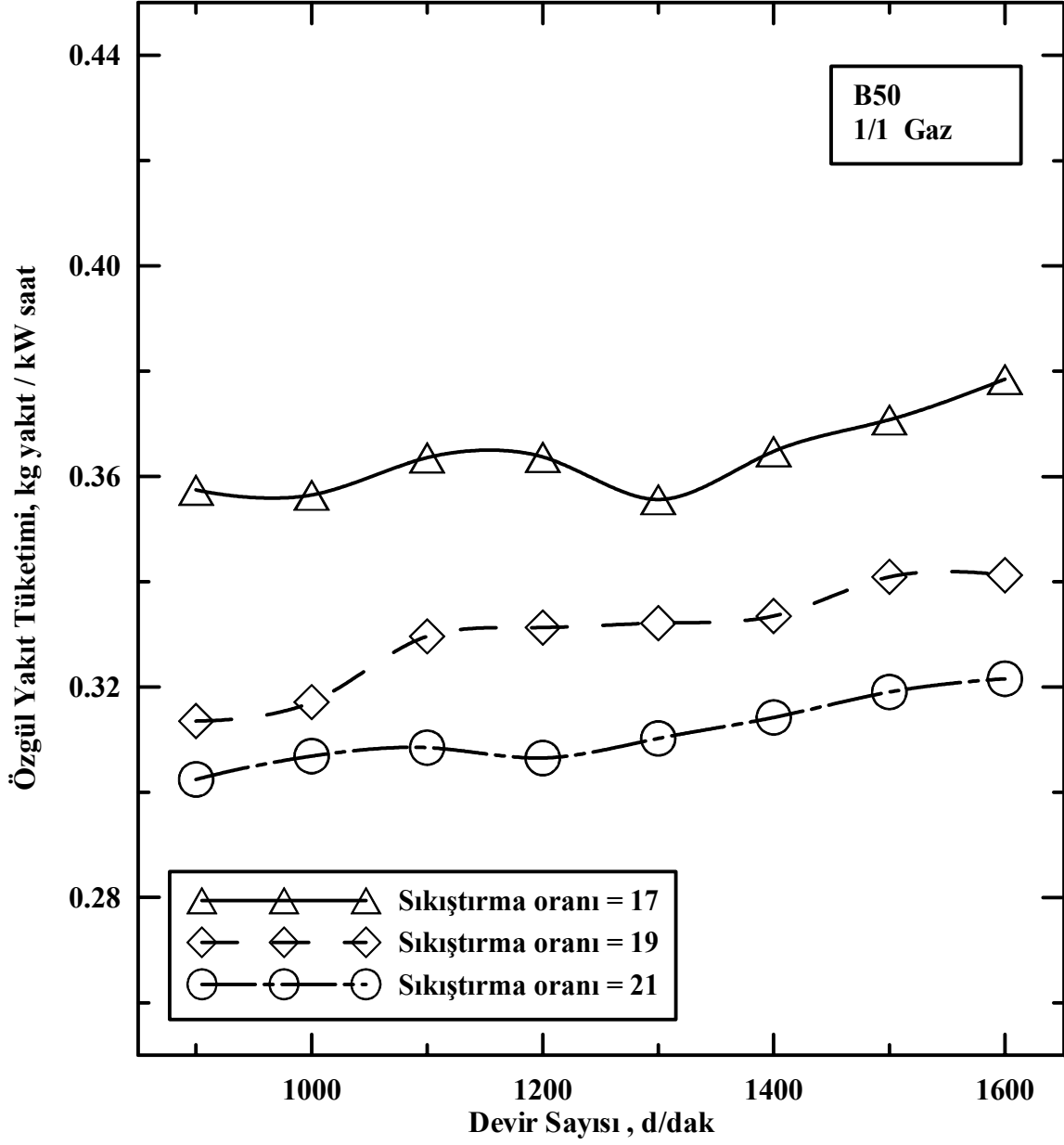
Şekil 34. Değişik sıkıştırma oranlarında B05 yakıt karışımı için özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi



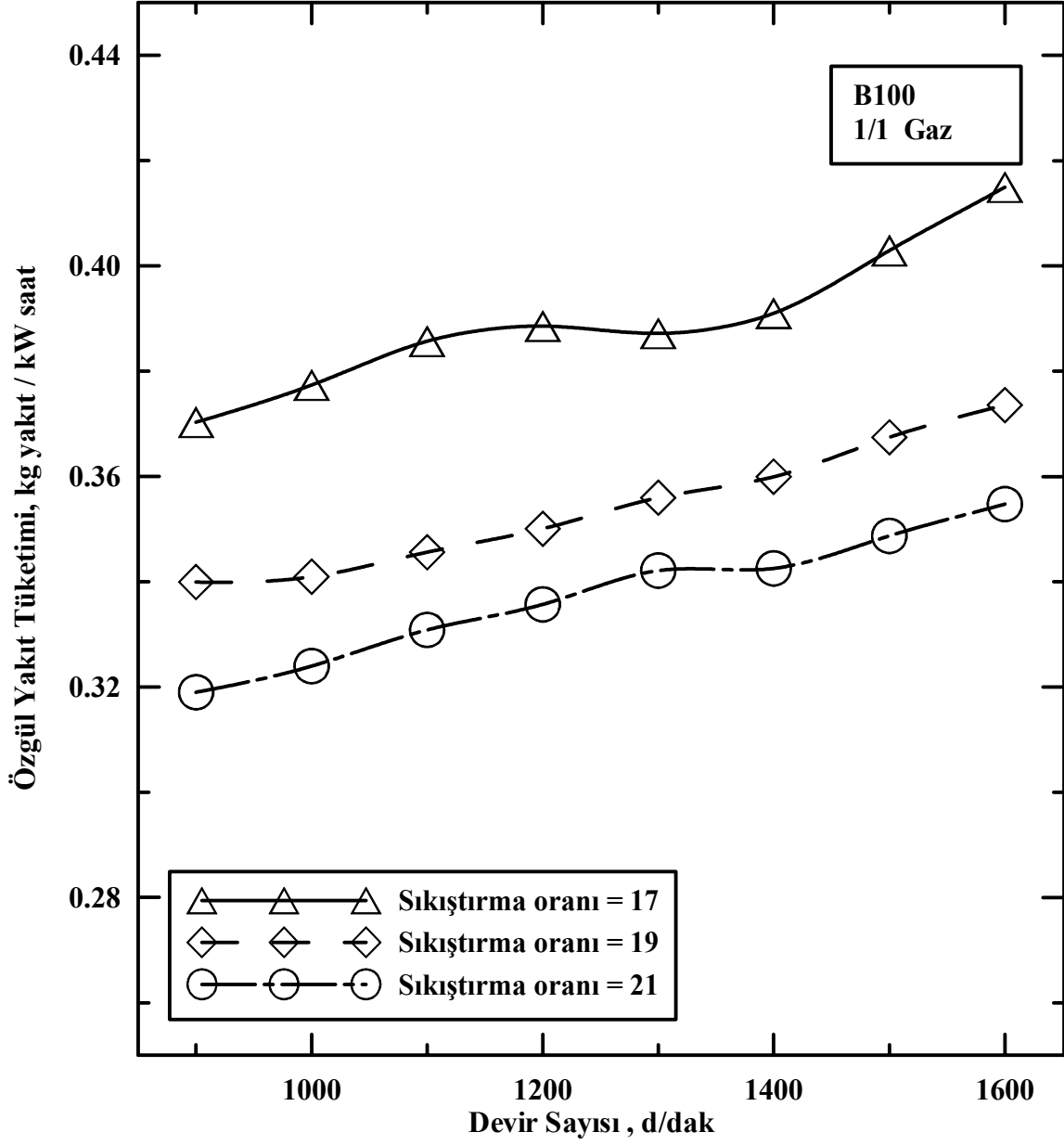
Şekil 35. Değişik sıkıştırma oranlarında B10 yakıt karışımı için özgül yakıt tüketiminin devir sayısıyla değişimi



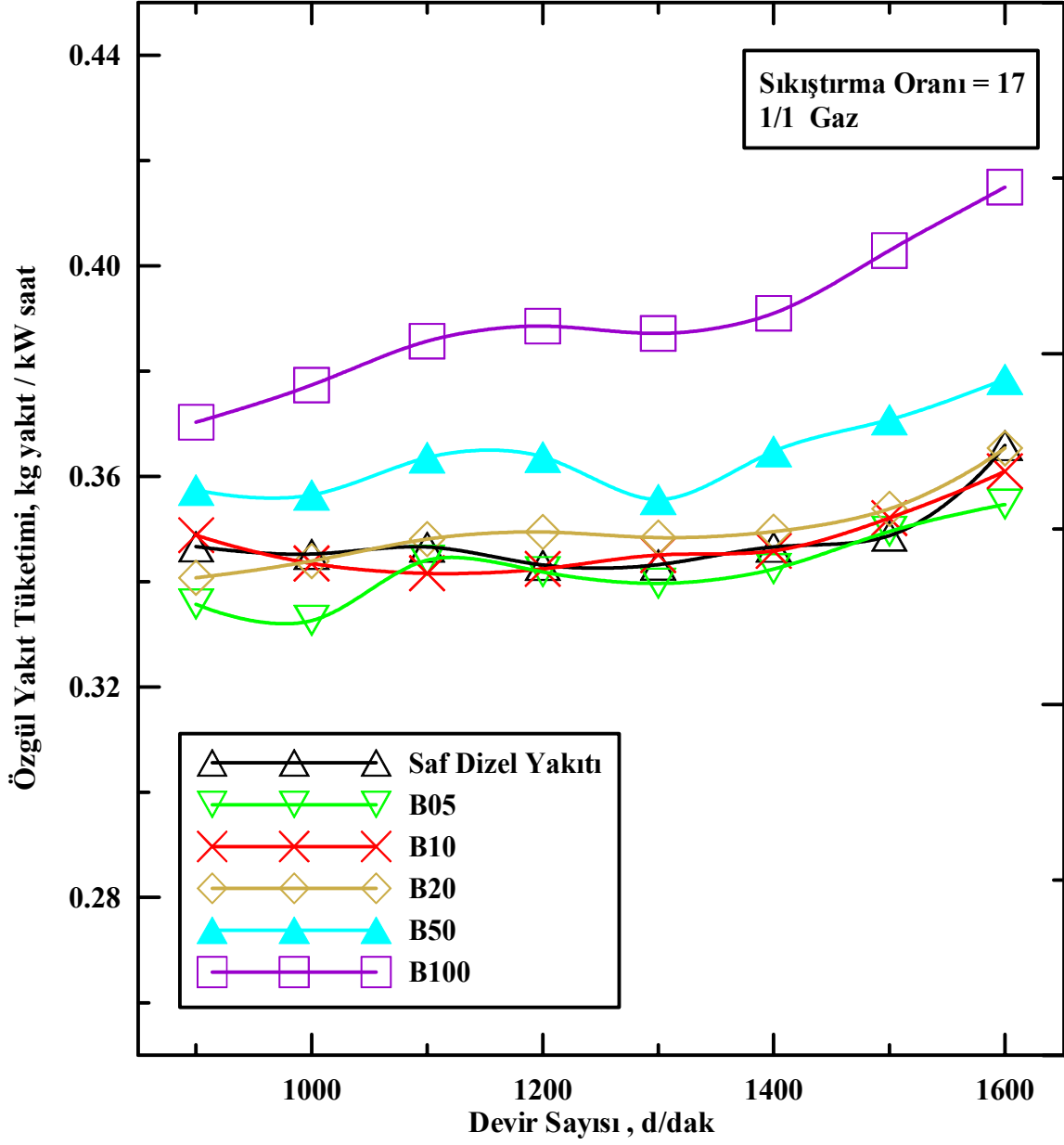
Şekil 36. Değişik sıkıştırma oranlarında B20 yakıt karışımı için özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi



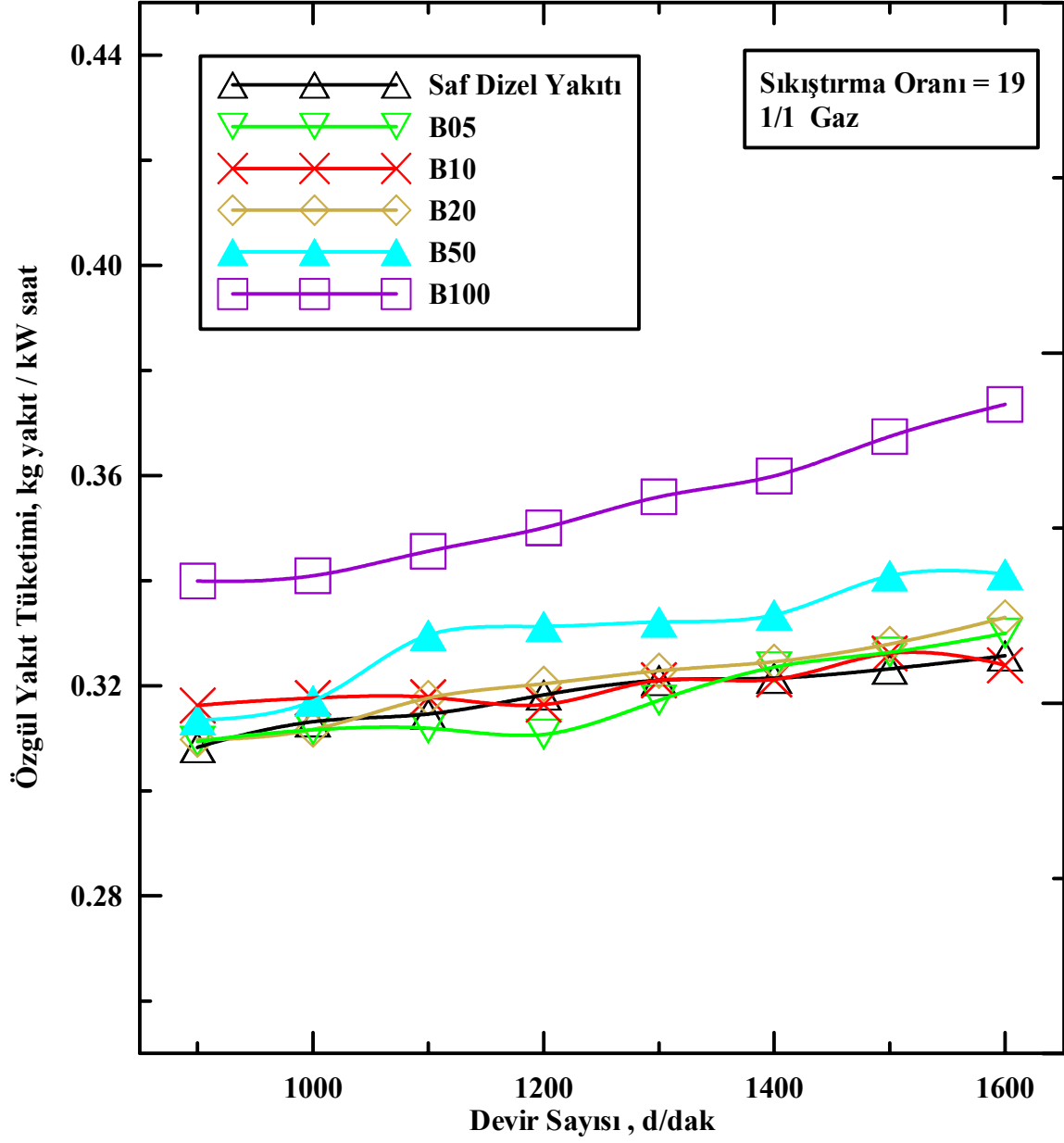
Şekil 37. Değişik sıkıştırma oranlarında B50 yakıt karışımı için özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi



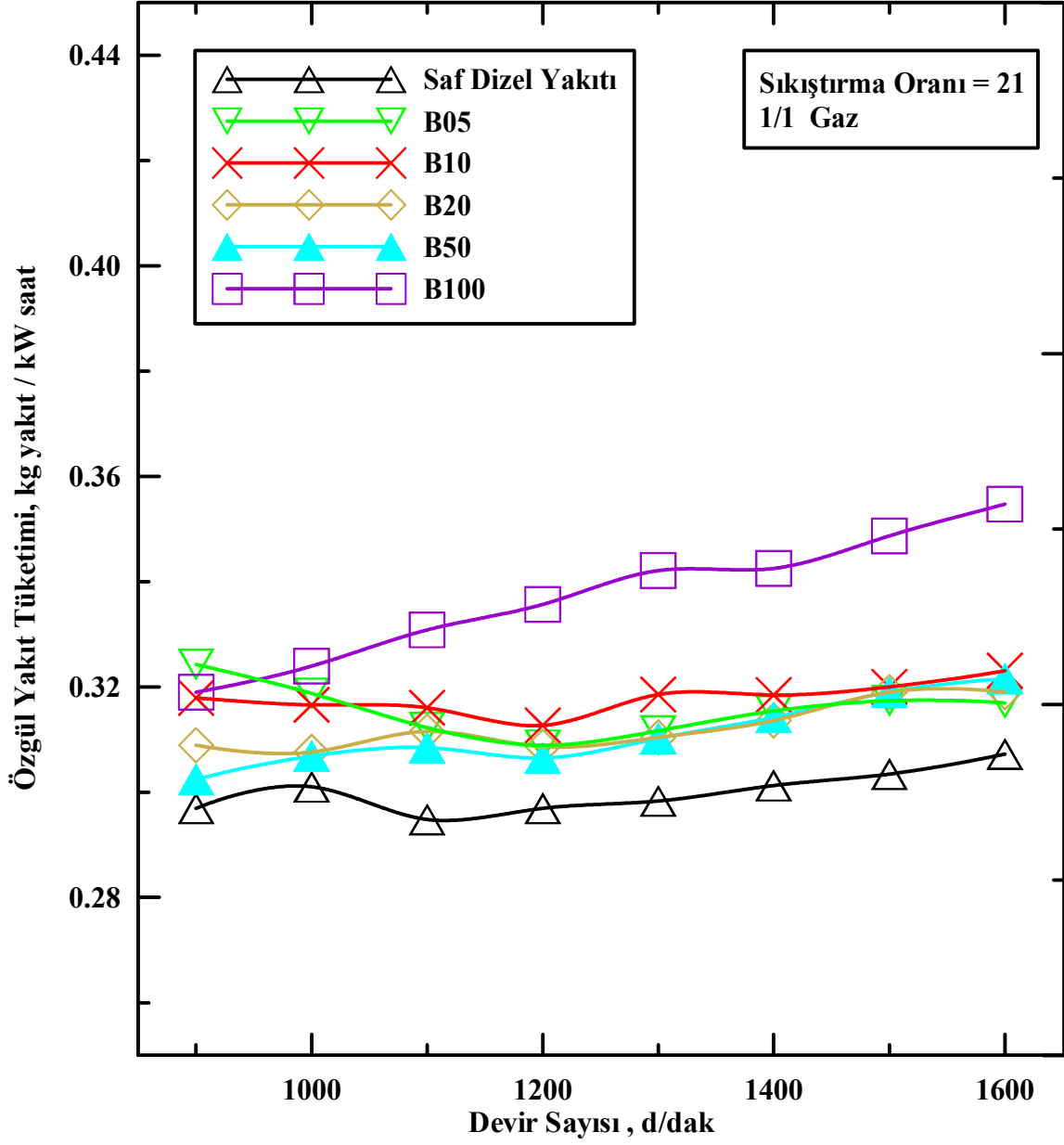
Şekil 38. Değişik sıkıştırma oranlarında B100 yakıtı için özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi



Şekil 39. $\varepsilon = 17$ olması durumunda tüm yakıtlar için özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi



Şekil 40. $\varepsilon = 19$ olması durumunda tüm yakıtlar için özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi



Şekil 41. $\varepsilon = 21$ olması durumunda tüm yakıtlar için özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi

3.1.1.5. Efektif Verim

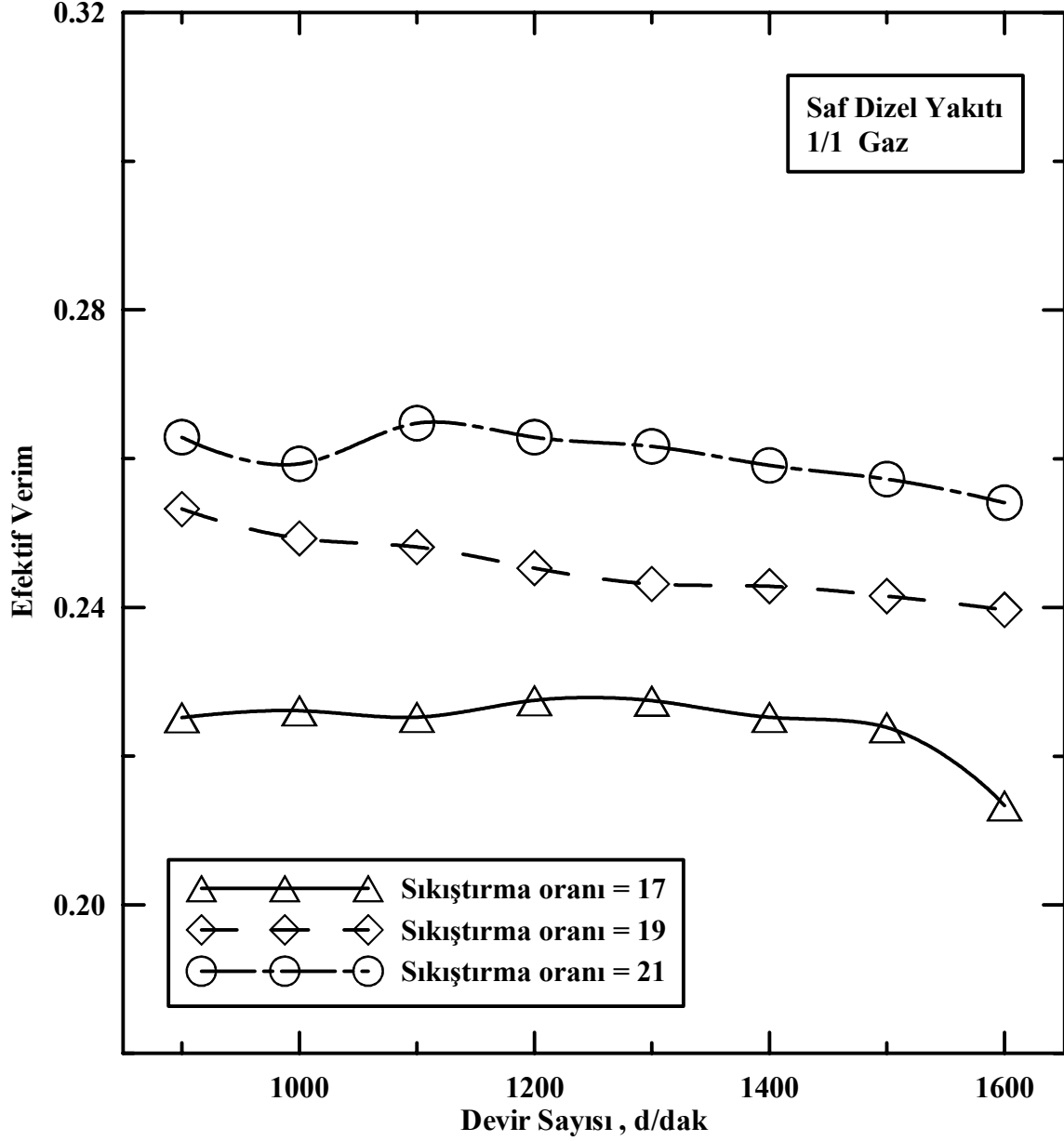
Dizel motorlarında, efektif verim karakteristiği; özgül yakıt tüketimi karakteristiğinin tam tersi olacak şekilde orta hızlara kadar artan, orta hızlardan sonra ise artan mekanik kayıplar nedeniyle düşüşe geçen bir eğridir. Şekil 42 ve Şekil 50 arasındaki grafiklere bakıldığında, tipik efektif verim karakteristiği tüm yakıt karışımları için görülmektedir.

Şekil 48'de $\varepsilon = 17$ olması durumunda tüm yakıt karışımları için efektif verimin devir sayısına göre değişimi verilmiştir. Yakıt karışımlarına bakıldığında tüm yakıt karışımlarının efektif verim değerlerinin saf dizel yakıtının efektif verim değerlerinden yüksek olduğu gözlenmektedir. Sayısal değerlere bakıldığında, 1300 d/dak'da efektif verim değerlerinin saf dizel yakıtı için 0,227, B05 için 0,231, B10 için 0,229, B20 için 0,230, B50 için 0,235, B100 için 0,231 olduğu görülmektedir. Söz konusu devir sayısında ortalama olarak B05, B10, B20, B50, B100, kullanımı ile efektif verimde, sırasıyla %1,76, %0,88, %1,32, %3,52, %1,76 oranlarında saf dizel yakıtına göre artış elde edilmiştir.

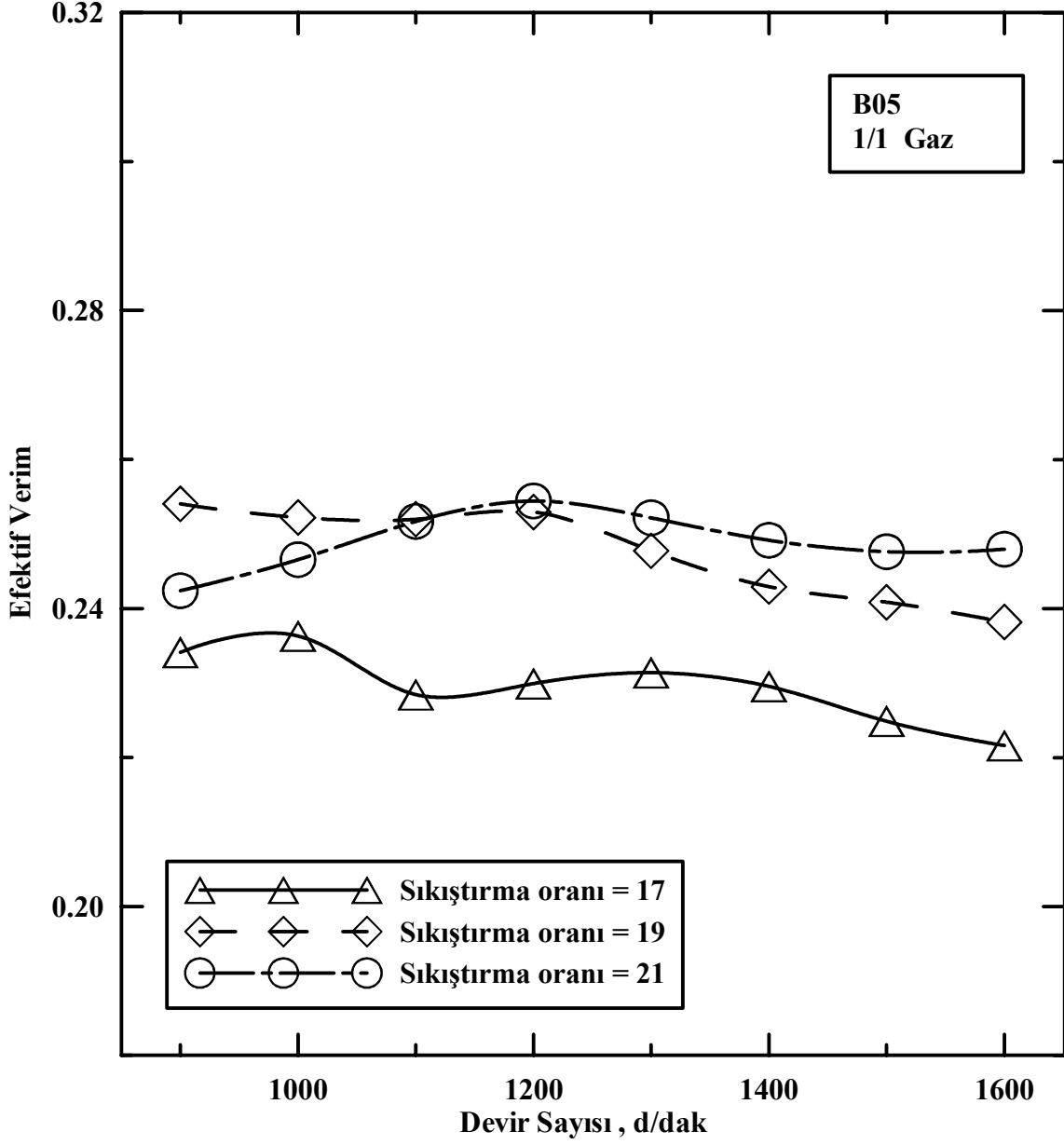
Şekil 49'da $\varepsilon = 19$ olması durumunda tüm yakıt karışımları için efektif verimin devir sayısına göre değişimleri verilmiştir. Yakıt karışımlarına bakıldığında aynı şekil 48'de olduğu gibi tüm yakıt karışımlarının efektif verim değerlerinin saf dizel yakıtının efektif verim değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 50'de $\varepsilon = 21$ olması durumunda ise B50 ve B100 yakıtlarının efektif verim değerlerinin saf dizel yakıtının efektif verim değerinden yüksek olduğu ve B05, B10, B20 yakıt karışımlarının efektif verim değerlerinin saf dizel yakıtının efektif verim değerinden düşük olduğu görülmektedir. Burada da sayısal değerlere bakıldığında yine 1300 d/dak'da efektif verim değerlerinin saf dizel yakıtı için 0,262, B05 için 0,252, B10 için 0,248, B20 için 0,258, B50 için 0,269, B100 için 0,262 olduğu görülmektedir. Söz konusu devir sayısında ortalama olarak B05, B10, B20, kullanımı ile efektif verimde, sırasıyla %3,82, %5,34, %1,53 oranlarında saf dizel yakıtına göre azalma ve B50, B100, kullanımı ile efektif verimde, sırasıyla %2,67, %0 oranlarında saf dizel yakıtına göre artış meydana gelmiştir.

Genel olarak bakıldığında B50 ve B100 yakıtlarının efektif verim değerlerinde ortalama %2 ile %3 arasındaki oranlarda bir artma meydana gelmektedir. Bu artışın sebebi olarak B50 ve B100 yakıtlarının diğer yakıt karışımlarına göre yoğunluklarının ve yapılarındaki oksijen miktarlarının daha fazla olması dolayısıyla yanmanın iyileşmesi gösterilebilir. Diğer yakıt karışımlarına bakacak olursak efektif verimlerinde ortalama %1

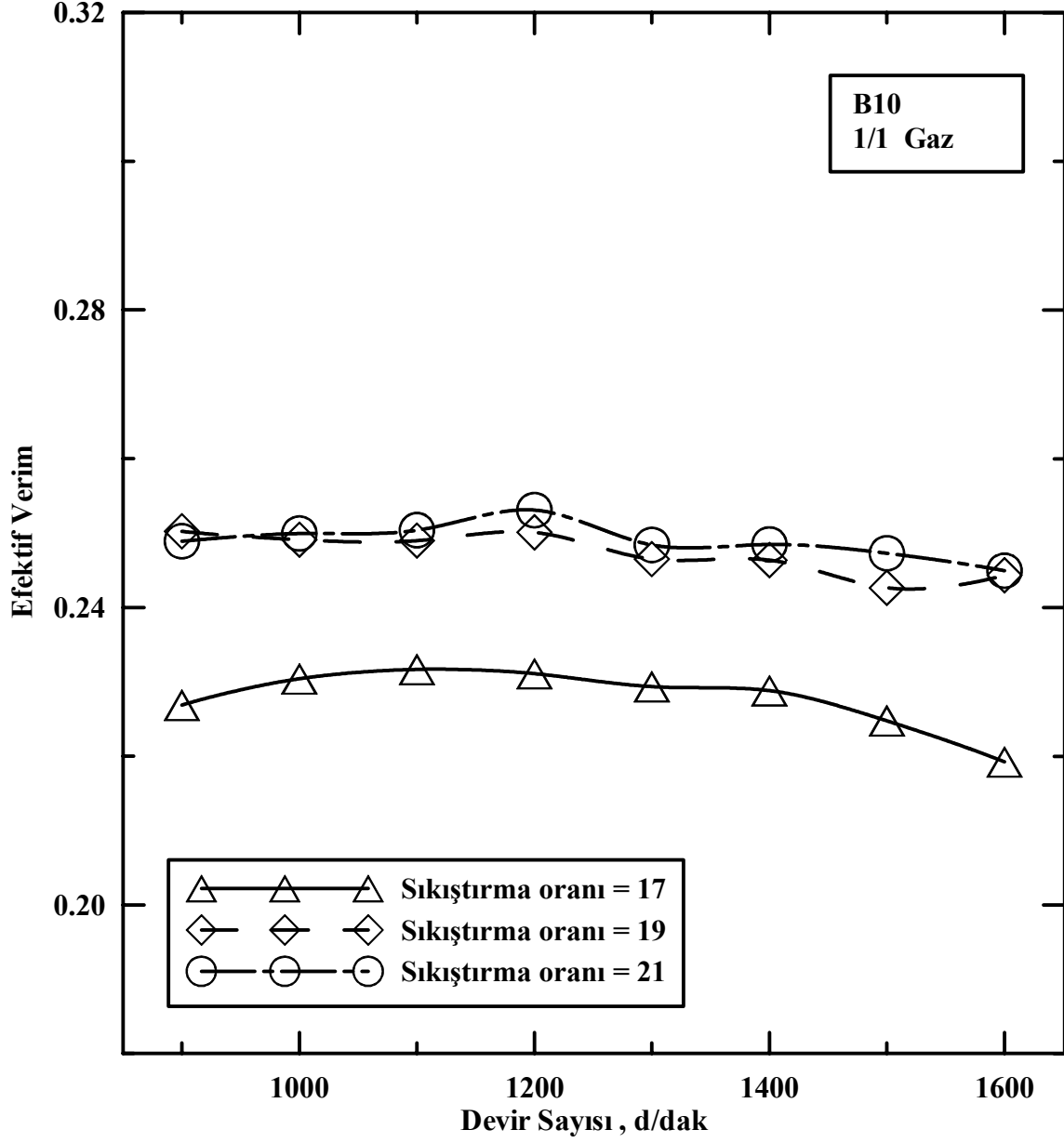
ile %3 arasındaki oranlarda azalma meydana gelmektedir. Bu azalma da daha önce belirtilen nedenlerden dolayı özgül yakıt tüketiminin artmasının bir sonucudur.



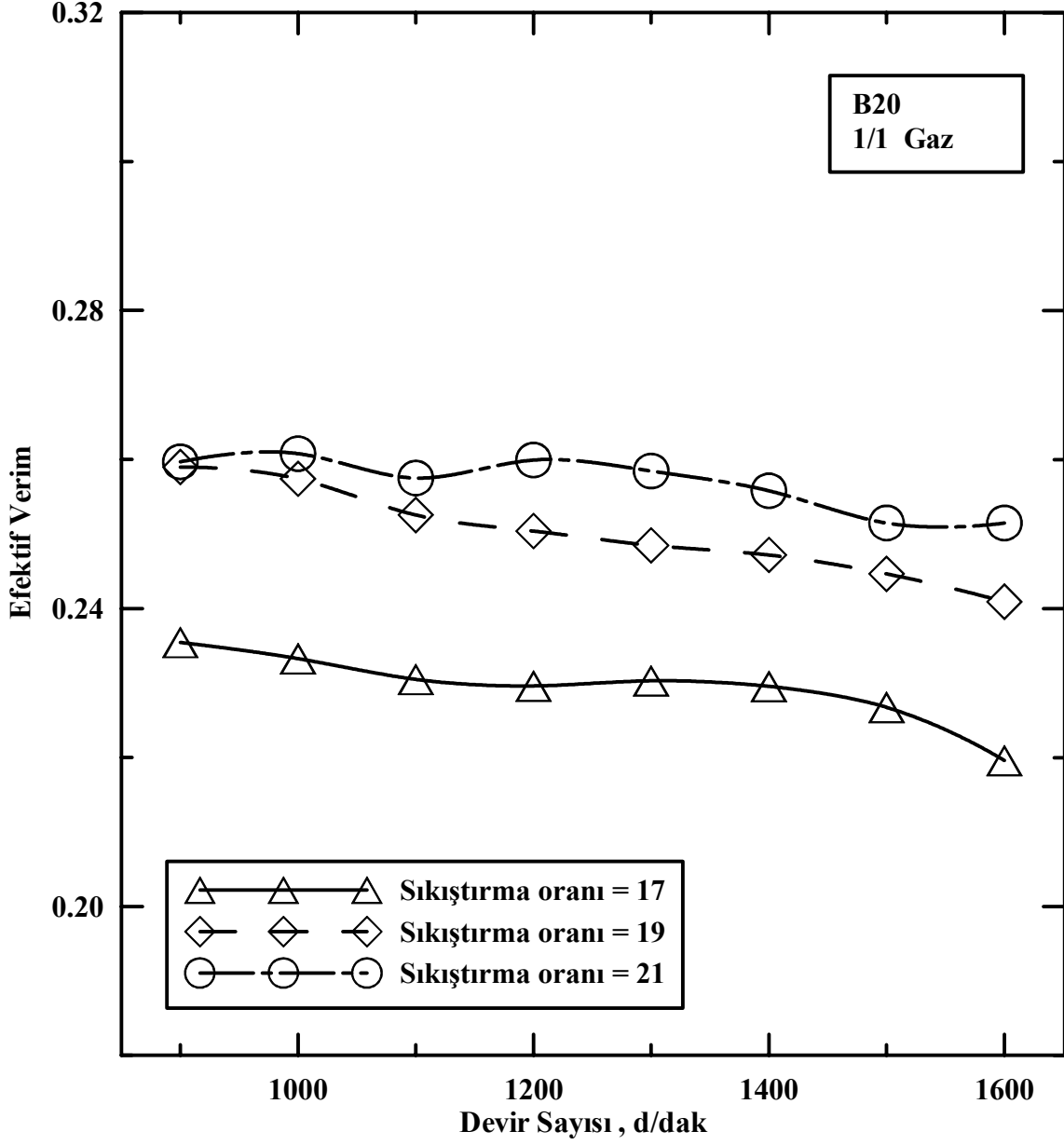
Şekil 42. Değişik sıkıştırma oranlarında saf dizel yakıtı için efektif verimin devir sayısı ile değişimi



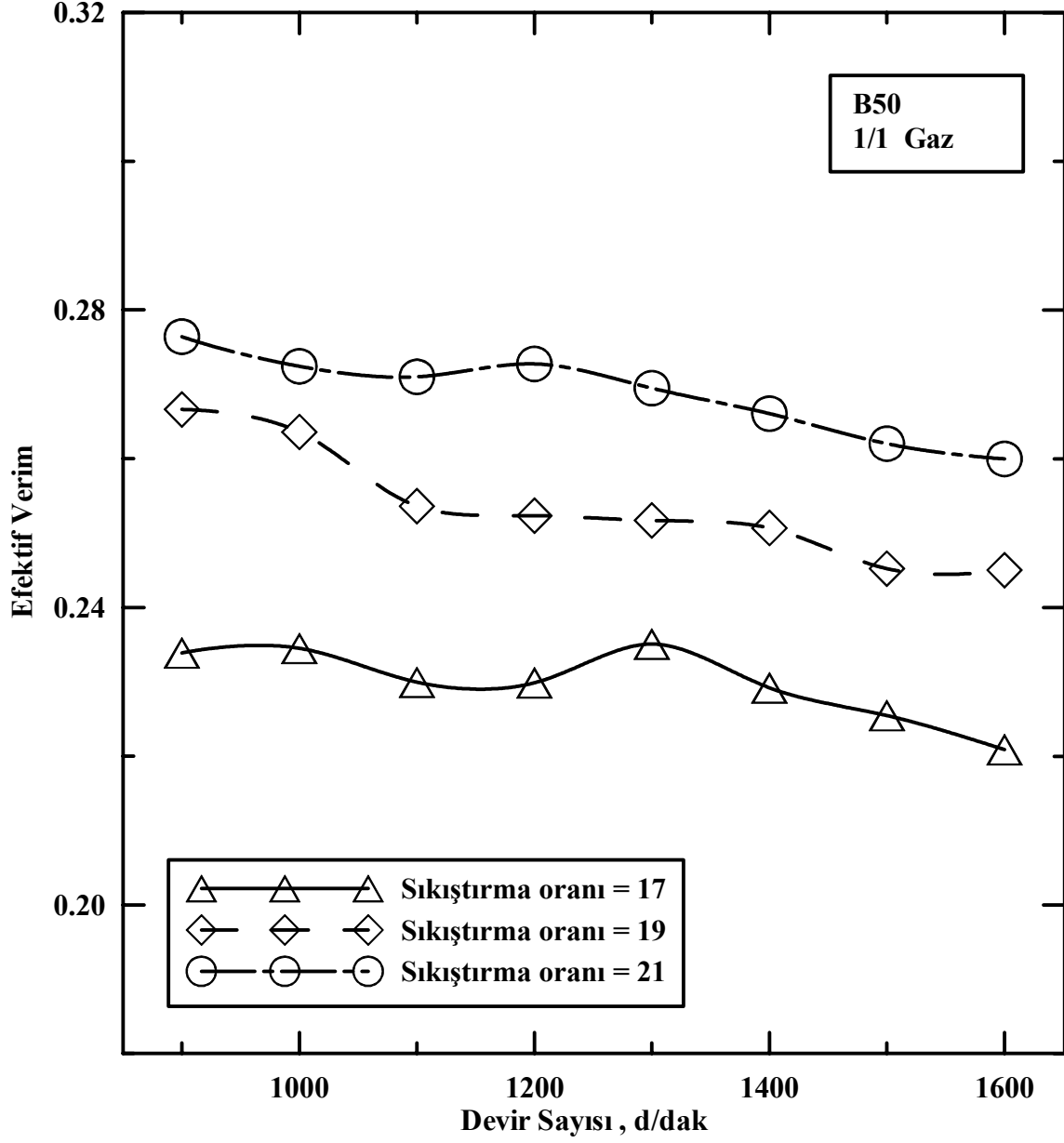
Şekil 43. Değişik sıkıştırma oranlarında B05 yakıt karışımı için efektif verimin devir sayısı ile değişimi



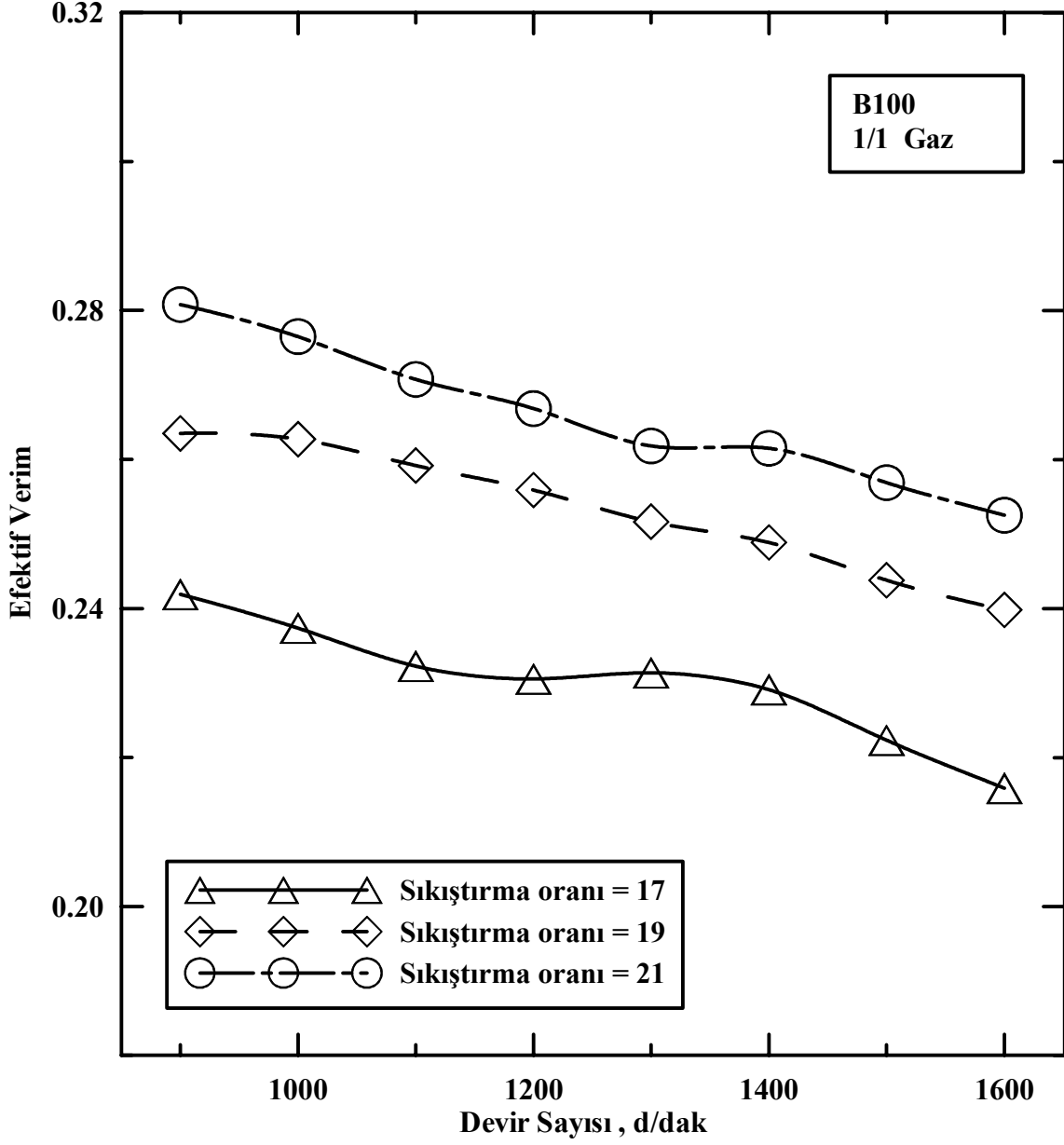
Şekil 44. Değişik sıkıştırma oranlarında B10 yakıt karışımı için efektif verimin devir sayısı ile değişimi



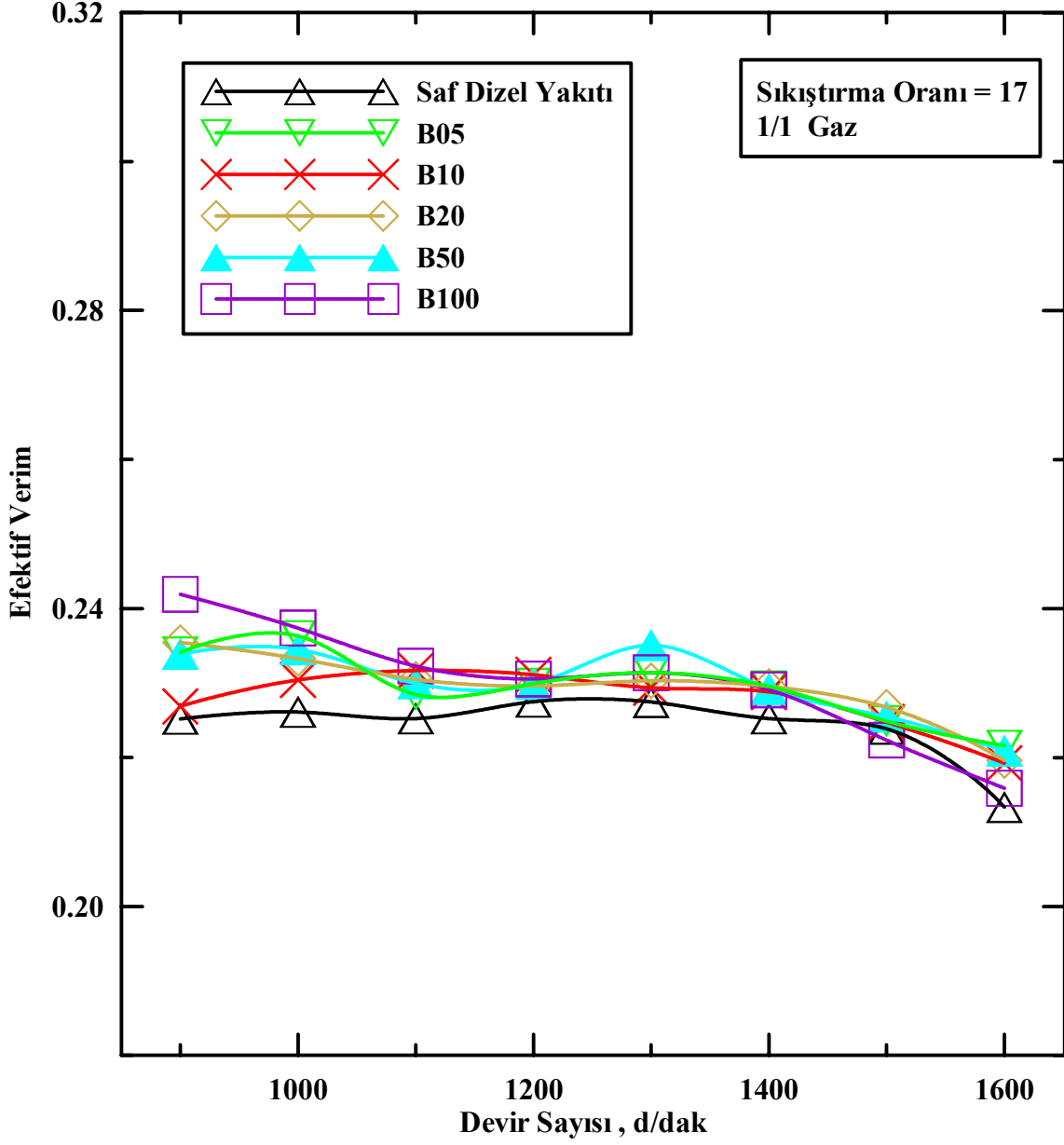
Şekil 45. Değişik sıkıştırma oranlarında B10 yakıt karışımı için efektif verimin devir sayısı ile değişimi



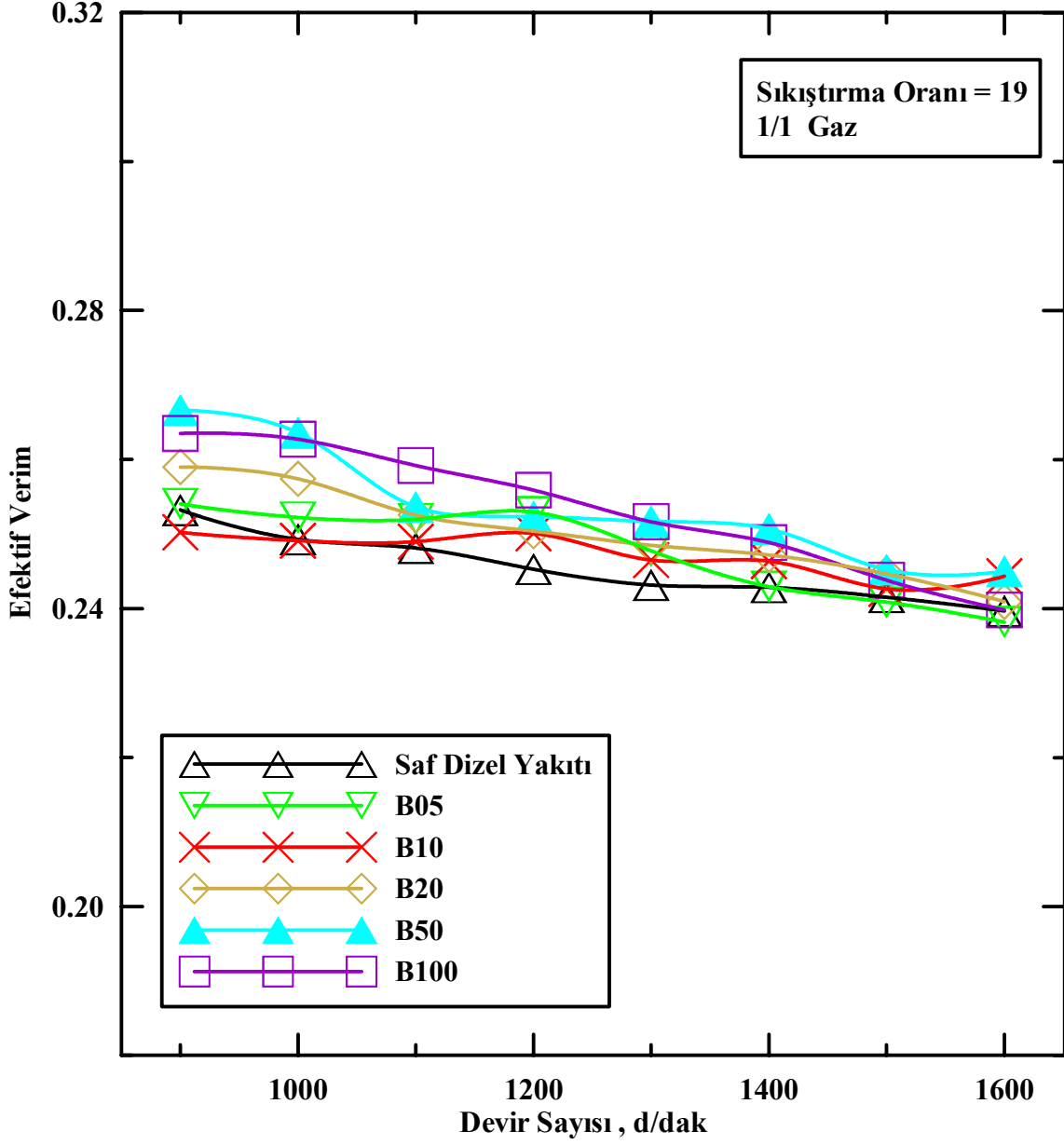
Şekil 46. Değişik sıkıştırma oranlarında B50 yakıt karışımı için efektif verimin devir sayısı ile değişimi



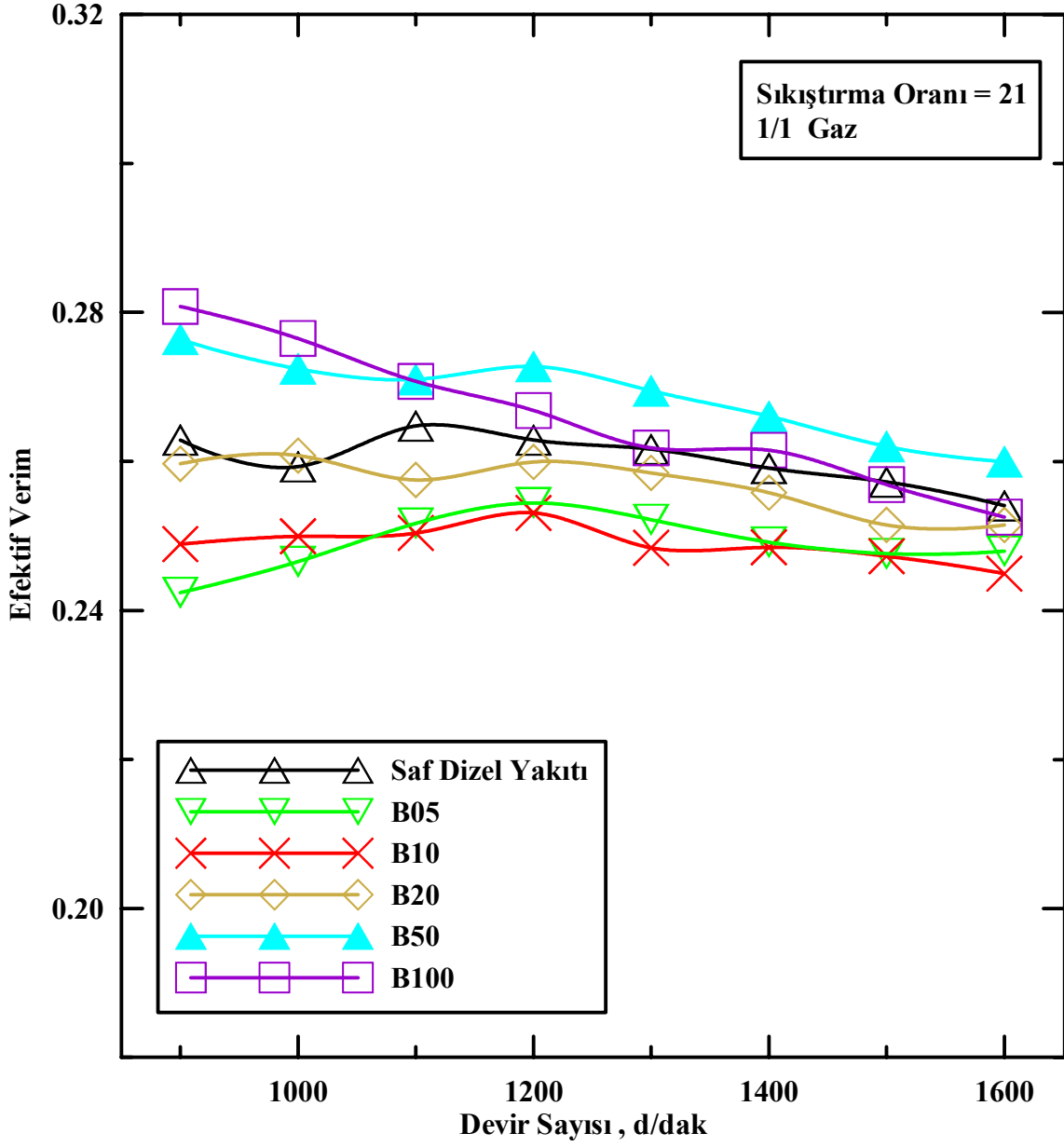
Şekil 47. Değişik sıkıştırma oranlarında B100 yakıtı için efektif verimin devir sayısı ile değişimi



Şekil 48. $\varepsilon = 17$ olması durumunda tüm yakıtlar için efektif verimin devir sayısı ile değişimi



Şekil 49. $\varepsilon = 19$ olması durumunda tüm yakıtlar için efektif verimin devir sayısı ile değişimi



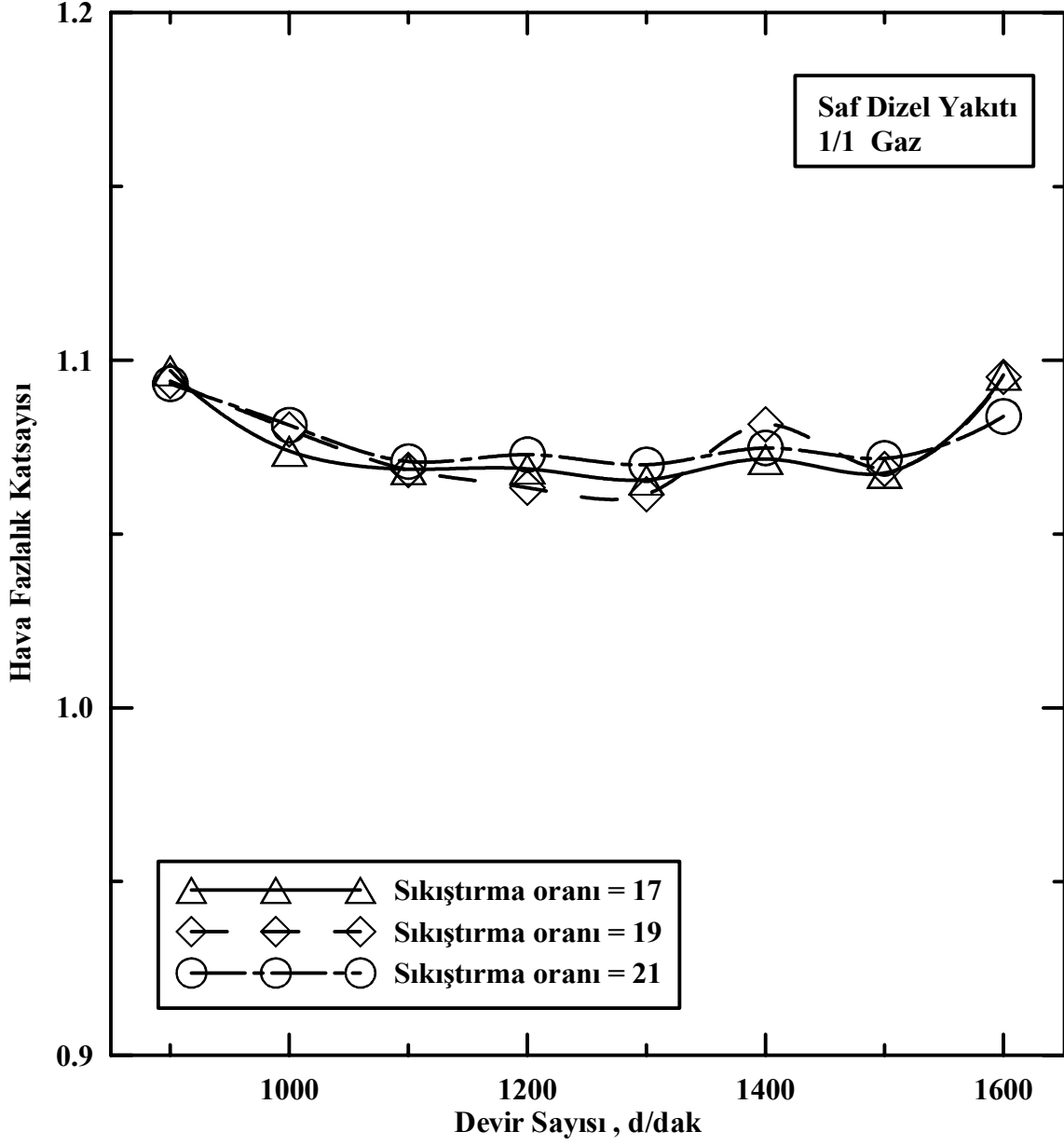
Şekil 50. $\varepsilon = 21$ olması durumunda tüm yakıtlar için efektif verimin devir sayısı ile değişimi

3.1.1.6. Hava Fazlalık Katsayısı

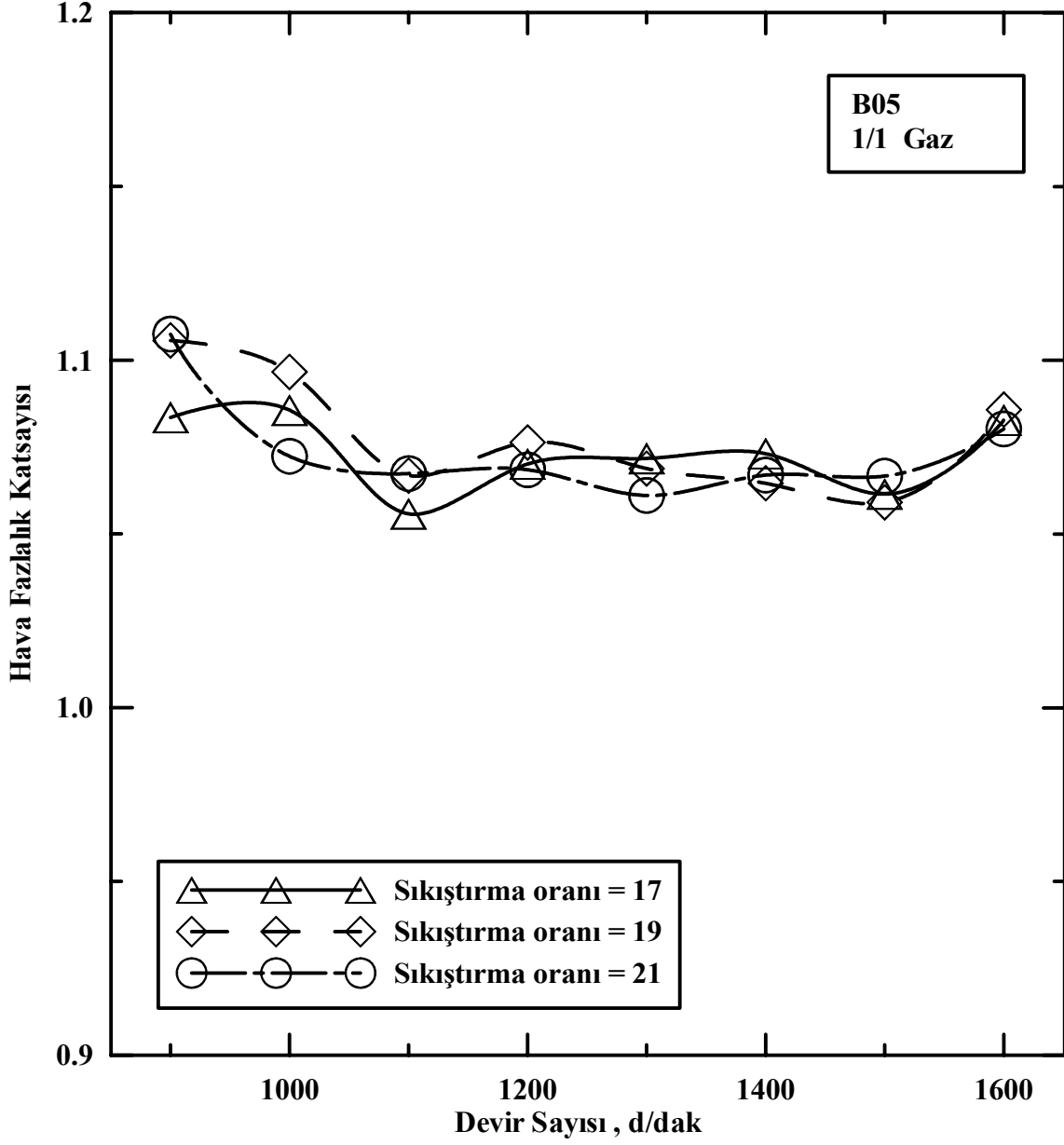
Dizel motorlarında hava fazlalık katsayısı, devir sayısının artmasıyla birlikte azalan bir karakterdedir. Şekil 51 ve Şekil 59 arasındaki grafiklere bakıldığında, tipik hava fazlalık katsayısı karakteristiği tüm yakıt karışımları için görülmektedir.

Şekil 57, Şekil 58 ve Şekil 59'da sırasıyla $\varepsilon = 17$, $\varepsilon = 19$ ve $\varepsilon = 21$ olması durumunda tüm yakıt karışımları için hava fazlalık katsayısının devir sayısına göre değişimi verilmiştir. Yakıt karışımlarına bakıldığında B100 yakıtının hava fazlalık katsayısının saf dizel yakıtının hava fazlalık katsayısından düşük değerler aldığı görülmektedir. Fakat diğer tüm yakıt karışımları için hava fazlalık katsayısı, saf dizel yakıtının hava fazlalık katsayısından daha yüksek değerler almıştır. Burada sayısal değerlere bakıldığında $\varepsilon = 19$ için 1300 d/dak'da hava fazlalık katsayısı değerlerinin saf dizel yakıtı için 1,061, B05 için 1,069, B10 için 1,062, B20 için 1,076, B50 için 1,079, B100 için 1,027 olduğu görülmektedir. Söz konusu devir sayısında ortalama olarak B05, B10, B20, B50, kullanımı ile hava fazlalık katsayısında, sırasıyla %0,75, %0,09, %1,41, %1,7, oranlarında saf dizel yakıtına göre artış ve B100 kullanımı ile hava fazlalık katsayısında %3,2 oranında saf dizel yakıtına göre azalma elde edilmiştir.

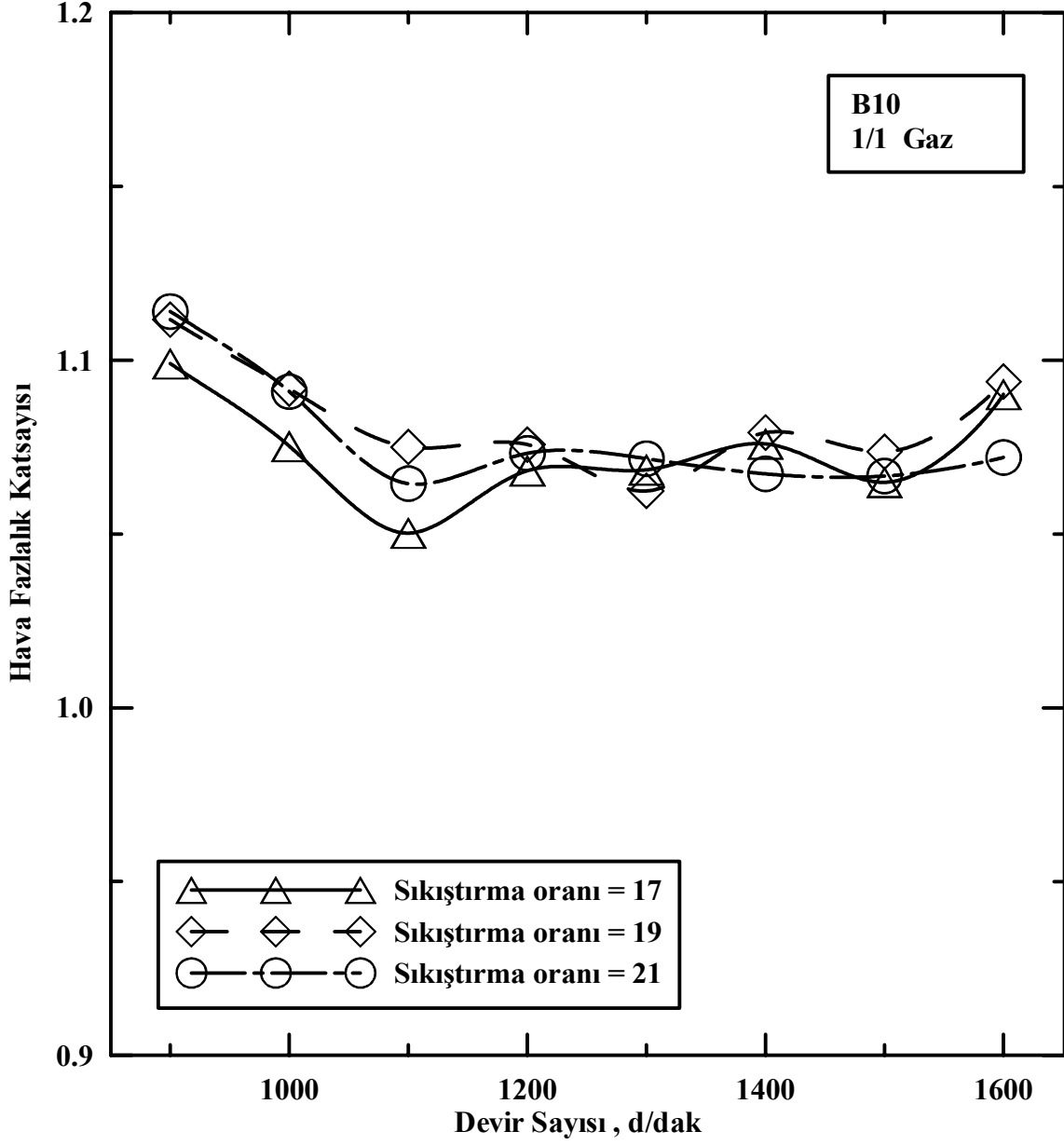
Genel olarak bakıldığında hava fazlalık katsayısında ortalama %1 oranında bir artış görülmektedir. Bu artışa, biyodizelin yapısında oksijen bulunmasının yol açtığı düşünülmektedir. B100 yakıtının hava fazlalık katsayısındaki azalma ise, bu yakıtın özgül yakıt tüketimi değerinin diğer yakıt karışımlarına oranla oldukça yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.



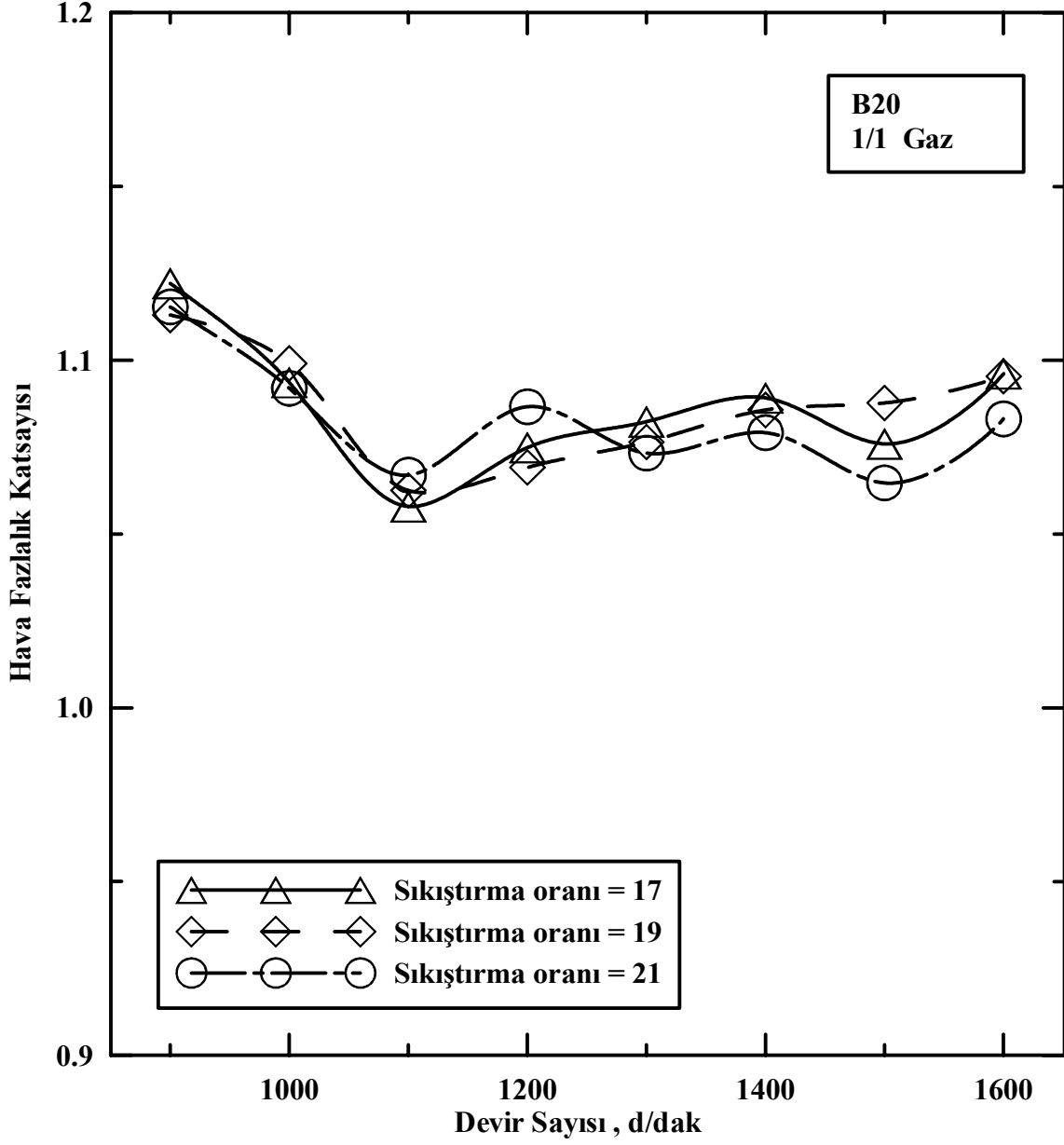
Şekil 51. Değişik sıkıştırma oranlarında saf dizel yakıtı için hava fazlalık katsayısının devir sayısı ile değişimi



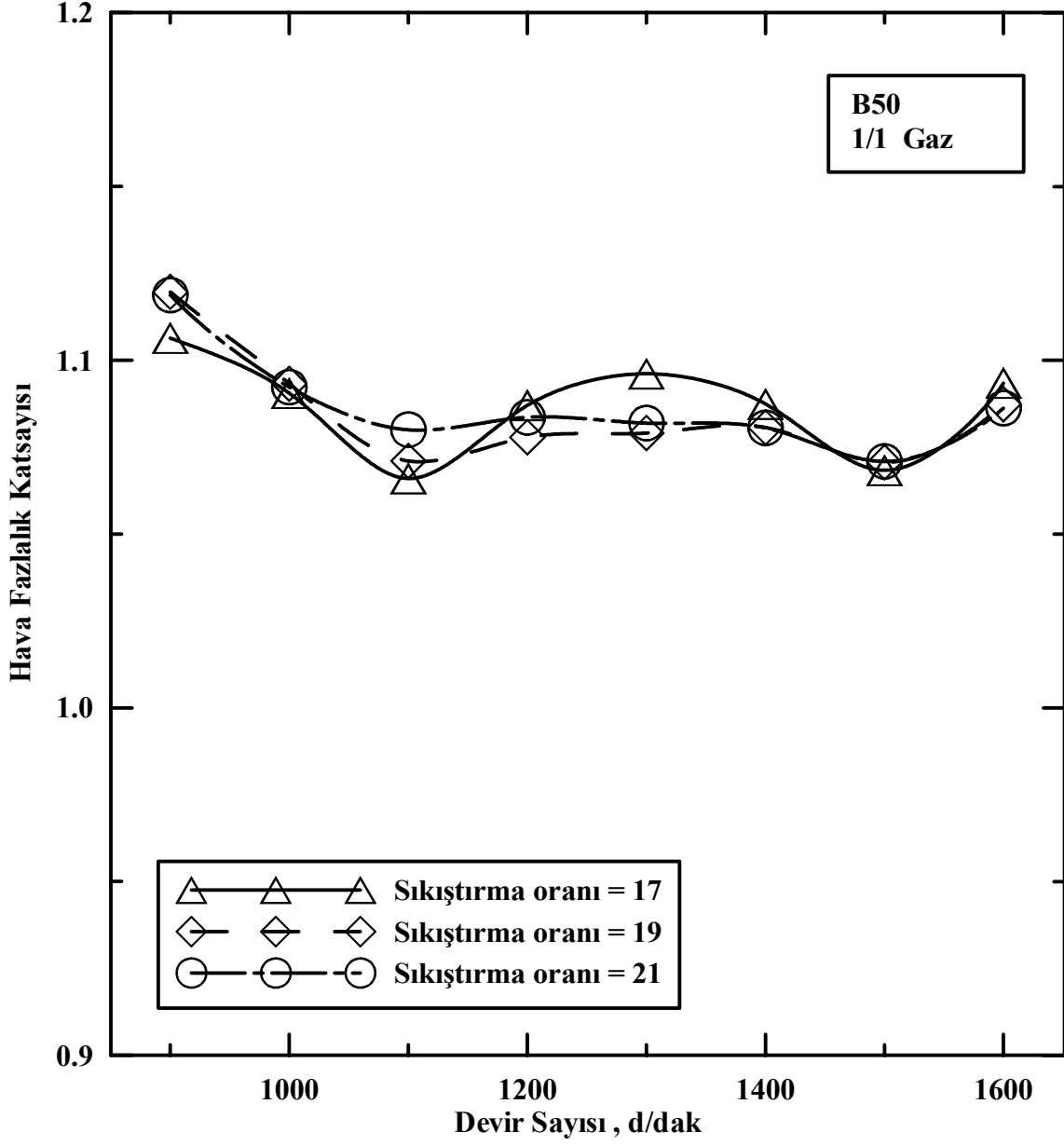
Şekil 52. Değişik sıkıştırma oranlarında B05 yakıt karışımı için hava fazlalık katsayısının devir sayısı ile değişimi



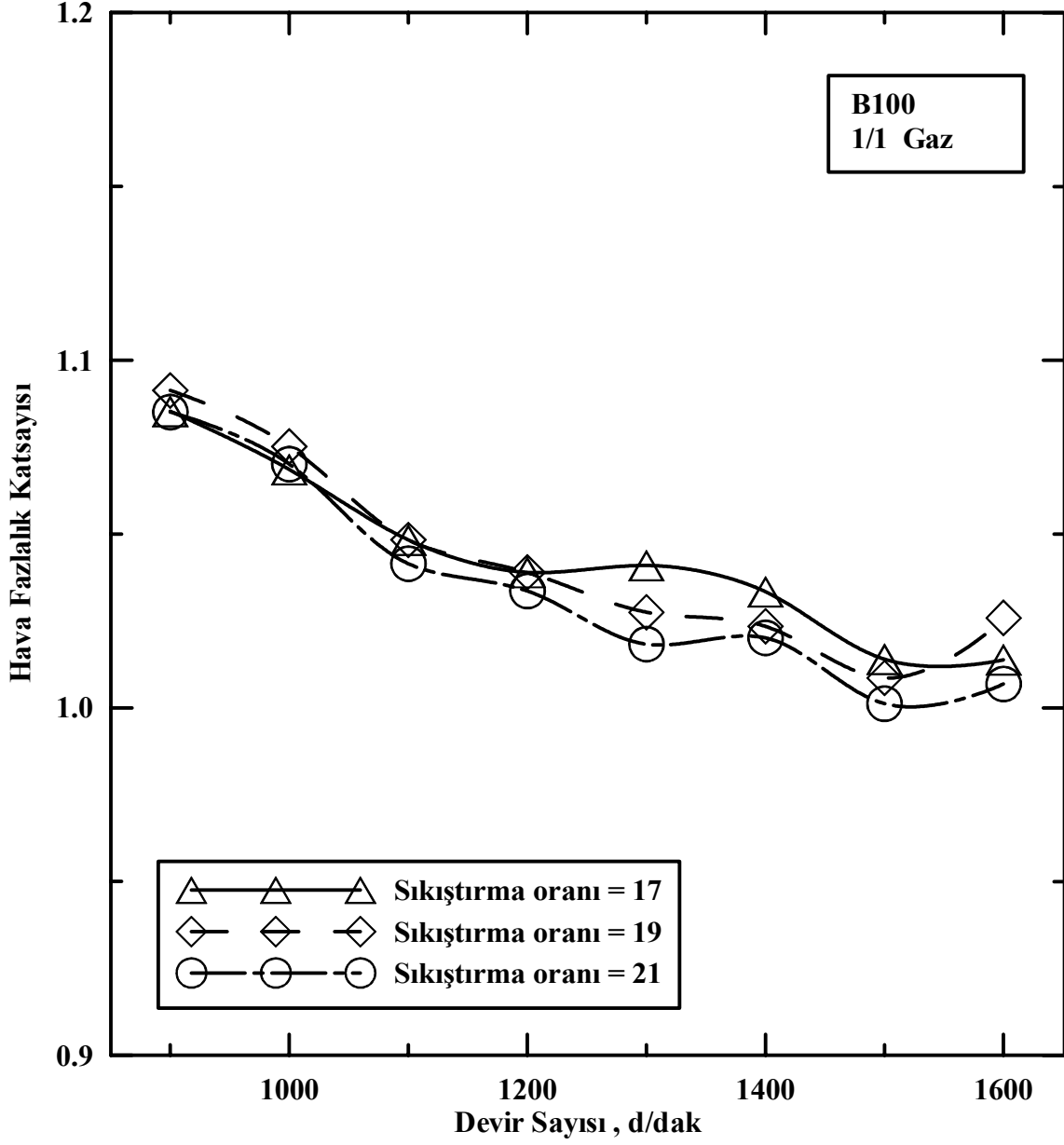
Şekil 53. Değişik sıkıştırma oranlarında B10 yakıt karışımı için hava fazlalık katsayısının devir sayısı ile değişimi



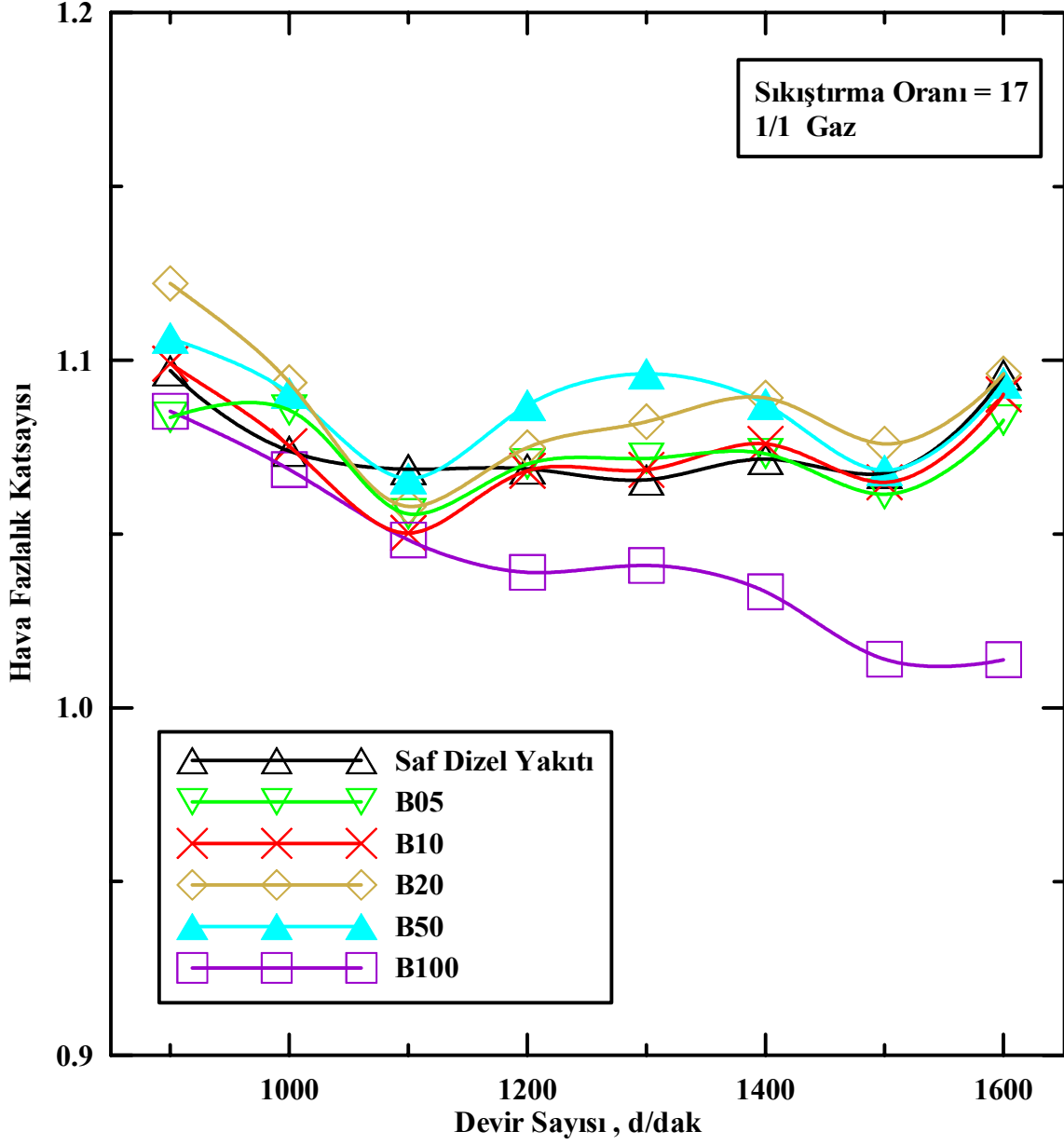
Şekil 54. Değişik sıkıştırma oranlarında B20 yakıt karışımı için hava fazlalık katsayısının devir sayısı ile değişimi



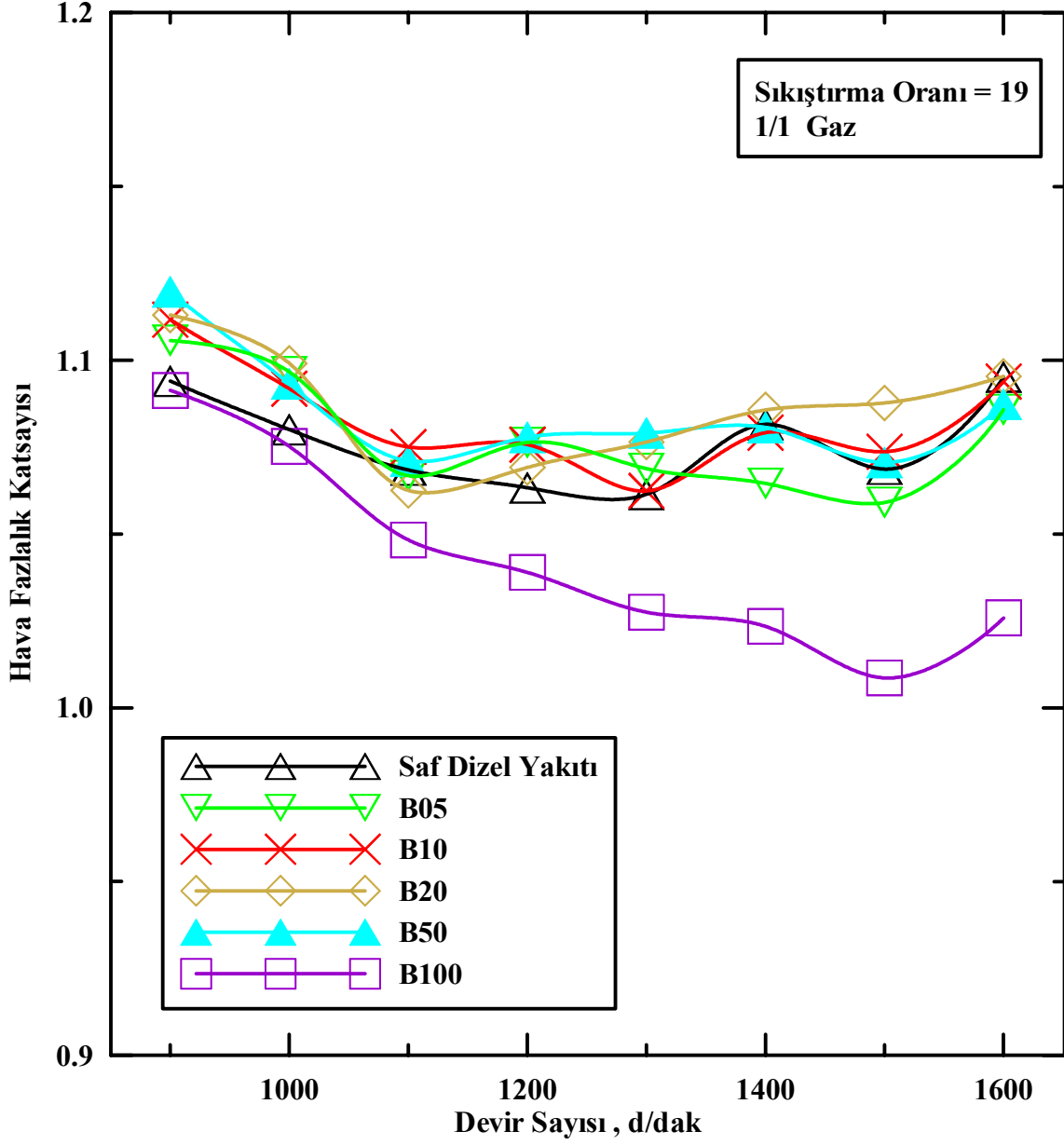
Şekil 55. Değişik sıkıştırma oranlarında B50 yakıt karışımı için hava fazlalık katsayısının devir sayısı ile değişimi



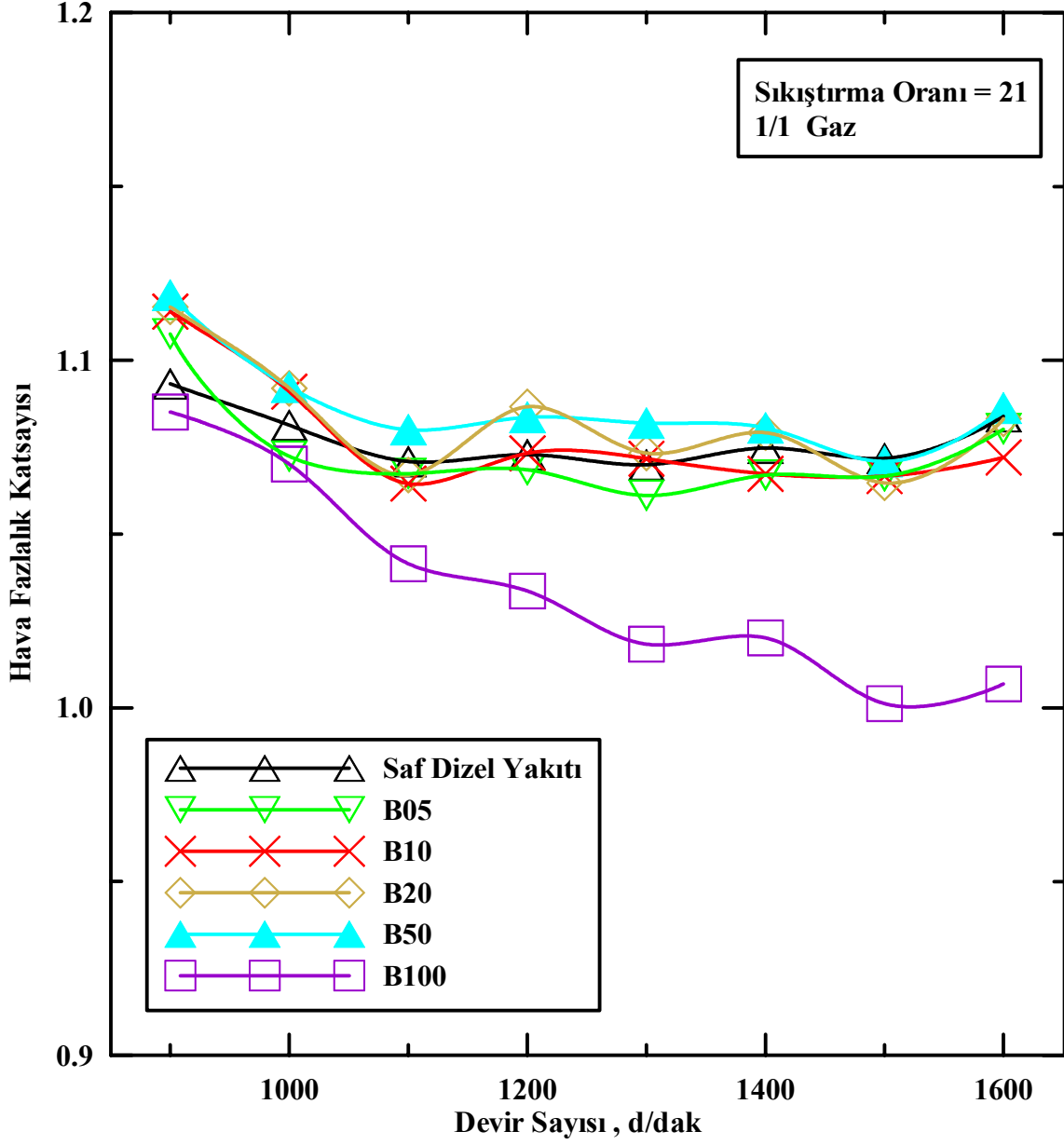
Şekil 56. Değişik sıkıştırma oranlarında B100 yakıtı için hava fazlalık katsayısının devir sayısı ile değişimi



Şekil 57. $\varepsilon = 17$ olması durumunda tüm yakıtlar için hava fazlalık katsayısının devir sayısı ile değişimi



Şekil 58. $\varepsilon = 19$ olması durumunda tüm yakıtlar için hava fazlalık katsayısının devir sayısı ile değişimi



Şekil 59. $\varepsilon = 21$ olması durumunda tüm yakıtlar için hava fazlalık katsayısının devir sayısı ile değişimi

3.1.2. Değişken Sıkıştırma Oranları İçin Motor Performansı Sonuçlarının İrdelenmesi

Bu bölümde, değişen sıkıştırma oranlarının, 1200 d/dak gibi orta ve 1600 d/dak gibi yüksek motor hızlarında, her bir yakıt karışımları için motor performansları üzerindeki etkileri sunulmuştur.

Dizel motorlarına bakıldığında, sıkıştırma oranının arttırılmasıyla birlikte motor performans karakteristiklerinde daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Çünkü sıkıştırma oranı arttırıldığında silindir içindeki sıkıştırma sonu basıncı ve sıcaklığı artmakta ve böylece yakıtın tutuşma eğilimi de artmaktadır. Dolayısıyla tutuşma gecikmesi olarak adlandırdığımız, yakıtın kendi kendine tutuşması için geçen süre kısalmaktadır. Bunun sonucu olarak motor performans karakteristiklerinde daha iyi sonuçlar elde edilmektedir.

Şekil 60 ve Şekil 61'e bakıldığında, saf dizel yakıtının döndürme momentinin artan sıkıştırma oranıyla birlikte yaklaşık lineer bir şekilde arttığı görülmektedir. B50 ve B100 yakıtlarının döndürme momentinin de lineere yakın bir şekilde arttığı bunun yanında B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarının döndürme momentinin artan sıkıştırma oranıyla arttığı fakat artış oranının çok düşük olduğu gözlenmektedir. Örnek sayısal değer vermek gerekirse $\varepsilon = 17$ ve 1200 d/dak'da saf dizel yakıtı, B05, B10, B20, B50, B100 yakıtlarının döndürme momenti değerlerinin sırasıyla 33,6 Nm, 34,35 Nm, 34,35 Nm, 34,05 Nm, 32,95 Nm, 32,8 Nm olduğu görülmektedir. $\varepsilon = 21$ ve 1200 d/dak'da ise döndürme momenti değerlerinin sırasıyla 38,35 Nm, 37,1 Nm, 37,1 Nm, 37,9 Nm, 38,5 Nm, 37,75 Nm olduğu görülmektedir. Burada saf dizel yakıtı, B05, B10, B20, B50, B100 yakıtlarının moment değerlerinin yüzdesel olarak artış miktarları sırasıyla %14,14, %8, %8, %11,31, %16,84, %15,09 oranlarında elde edilmiştir. Böylece düşük sıkıştırma oranlarında B05, B10 ve B20 yakıt karışımları saf dizel yakıtına göre daha iyi sonuçlar verirken, yüksek sıkıştırma oranlarında B50 ve B100 yakıtları saf dizel yakıtına göre daha iyi sonuç vermektedir.

Şekil 62 ve Şekil 63'e bakıldığında efektif güç grafiklerinde de moment grafiklerinde ki yüzdeler kadar belirgin yüzdeler olmamakla birlikte aynı tipte eğriler görülmektedir. Burada da düşük sıkıştırma oranlarında saf dizel yakıtına göre B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarının efektif güç değerleri daha iyi sonuç verirken, yüksek sıkıştırma oranlarında saf dizel yakıtına göre B50 ve B100 yakıtlarının efektif güç değerleri daha iyi sonuç vermektedir.

Şekil 64 ve Şekil 65'e bakıldığında, daha önce belirtildiği gibi döndürme momentinin özdeş karakteristiği olan ortalama efektif basınç grafikleri görülmektedir ve beklenildiği gibi döndürme momentiyle aynı sonuçlar elde edilmektedir.

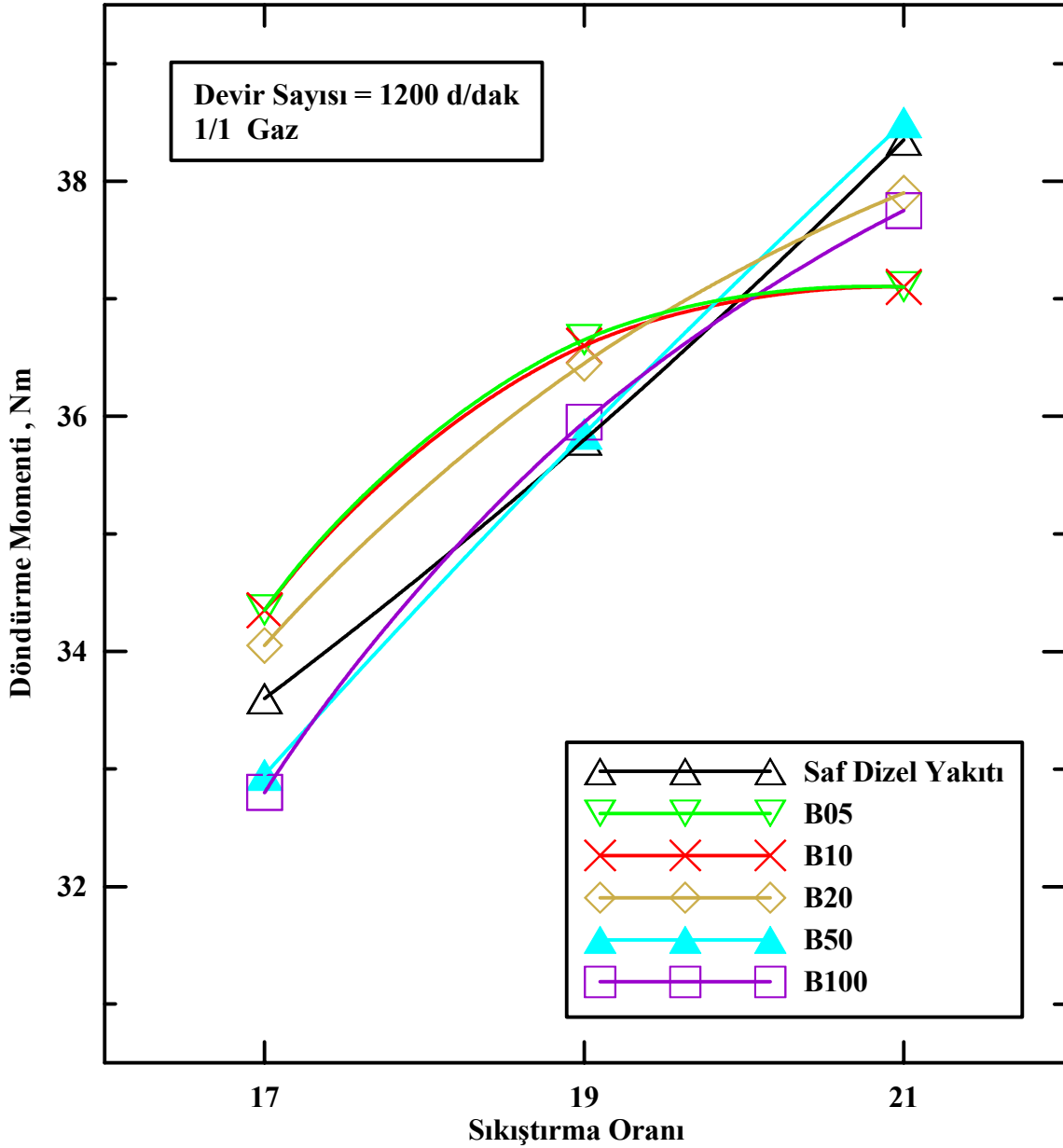
Şekil 66 ve Şekil 67'ye bakıldığında artan sıkıştırma oranıyla birlikte azalan özgül yakıt tüketimi değerlerini görmektedir. Burada da yine daha önceki grafiklere benzer şekilde B50 ve B100 yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerlerindeki azalma yüzdesinin B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarının özgül yakıt tüketimi değerlerindeki azalma yüzdesinden daha fazla olduğu görülmektedir. Sayısal değerlere bakacak olursak $\varepsilon = 17$ ve 1200 d/dak'da saf dizel yakıtı, B05, B10, B20, B50, B100 yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerlerinin sırasıyla 0,343 kg yakıt/kW saat, 0,342 kg yakıt/kW saat, 0,342 kg yakıt/kW saat, 0,349 kg yakıt/kW saat, 0,364 kg yakıt/kW saat, 0,389 kg yakıt/kW saat olduğu görülmektedir. $\varepsilon = 21$ ve 1200 d/dak'da ise özgül yakıt tüketimi değerlerinin sırasıyla 0,297 kg yakıt/kW saat, 0,309 kg yakıt/kW saat, 0,313 kg yakıt/kW saat, 0,309 kg yakıt/kW saat, 0,306 kg yakıt/kW saat, 0,336 kg yakıt/kW saat olduğu görülebilir. Burada saf dizel yakıtı, B05, B10, B20, B50, B100 yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerlerindeki yüzdesel olarak azalma miktarları sırasıyla %13,41, %9,65, %8,48, %11,46, %15,93, %13,62 oranlarında elde edilmiştir.

Şekil 68 ve Şekil 69'a bakıldığında artan sıkıştırma oranıyla birlikte artan efektif verim değerleri görülmektedir. Bilindiği gibi efektif verimin karakteristik eğrisi özgül yakıt tüketiminin karakteristik eğrisiyle ters yapıdadır yani özgül yakıt tüketiminde görülen yüzdesel azalma oranlarına yakın oranlar, burada artış oranları olarak görülmektedir.

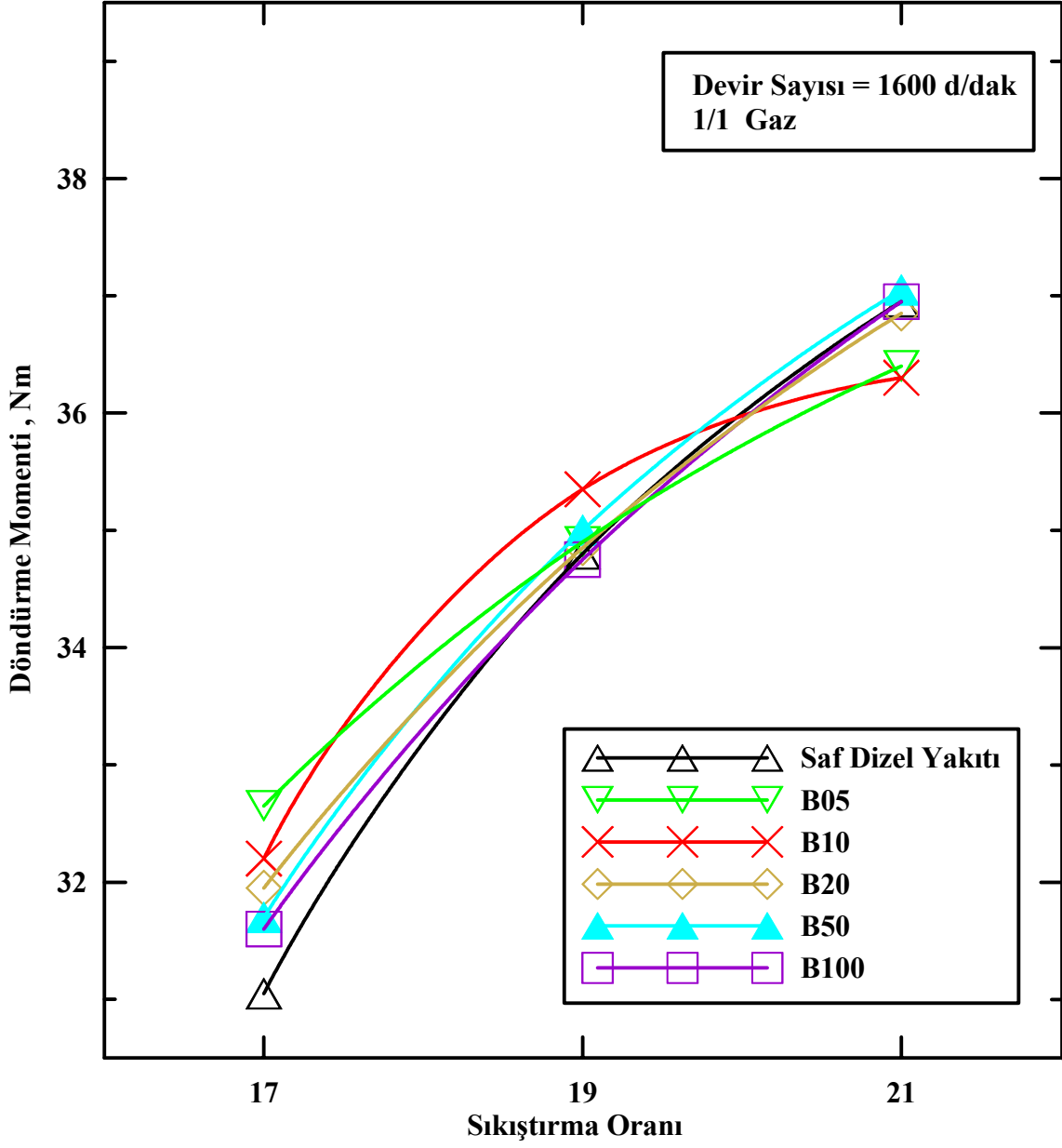
Şekil 70 ve Şekil 71'e bakıldığında tüm yakıt karışımları için sıkıştırma oranındaki artışın hava fazlalık katsayısını pek de etkilemediği görülmektedir.

Şekil 60 ile Şekil 69 arasındaki grafiklere bakıldığında, beklenildiği gibi artan sıkıştırma oranıyla birlikte tüm performans karakteristiklerinde bir iyileşme oluştuğu gözlenmektedir. Burada göze çarpan önemli nokta B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarındaki iyileşme yüzdesinin daha düşük, B50 ve B100 yakıtlarındaki iyileşme yüzdesinin daha yüksek olduğudur. Bunun temel nedeni, düşük sıkıştırma oranlarında yanmayı etkileyen en önemli faktör olarak tutuşma gecikmesinin ön plana çıkması, yüksek sıkıştırma oranlarında ise tutuşma gecikmesinin öneminin artan basınç ve sıcaklıkla birlikte azalarak yerini silindir içindeki oksijen ve yakıt miktarına bırakması olarak düşünülmektedir. Böylece düşük sıkıştırma oranlarında, viskozite değeri B50 ve B100 yakıtlarına göre daha düşük olan B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarının silindir içerisine püskürtülürken daha iyi

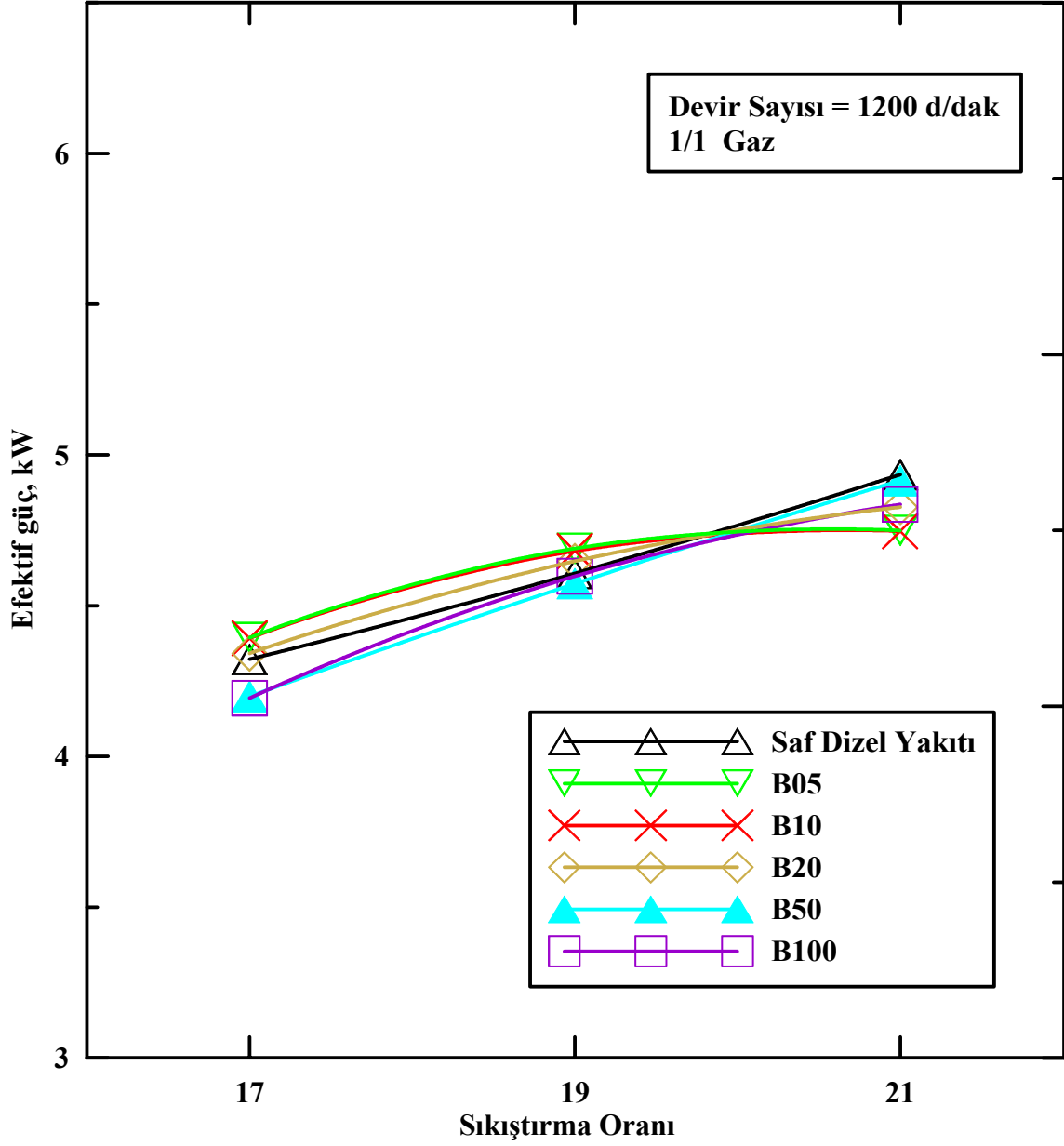
atomize olmaları sonucu yanmayı iyileştirerek daha iyi sonuç verdikleri düşünülmektedir. Yüksek sıkıştırma oranlarında ise yoğunlukları ve yapılarındaki oksijen miktarının fazlalığı nedeniyle B50 ve B100 yakıtlarının yanmayı iyileştirerek daha iyi sonuçlar verdikleri düşünülmektedir.



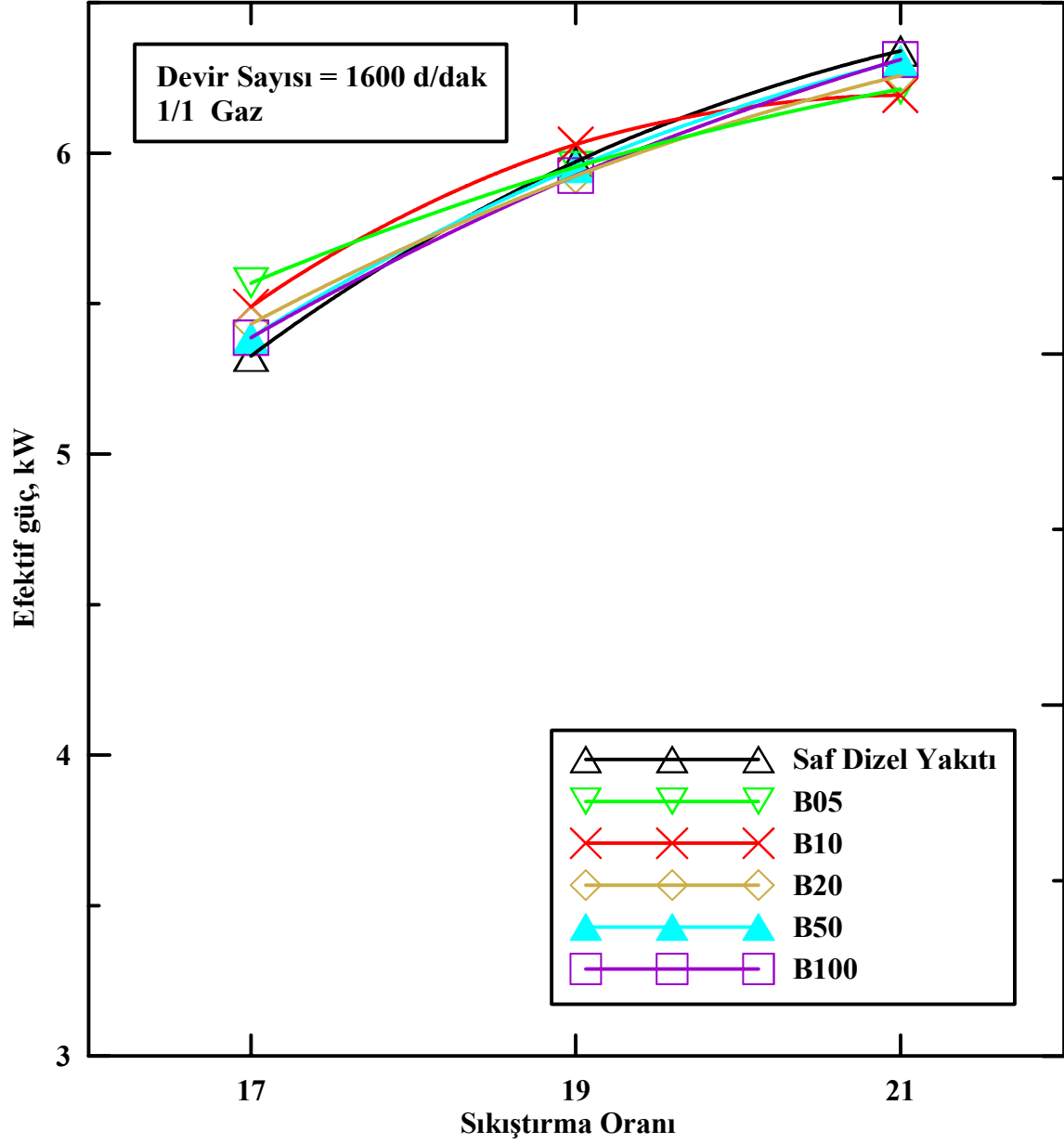
Şekil 60. $n = 1200$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için döndürme momentinin sıkıştırma oranıyla değişimi



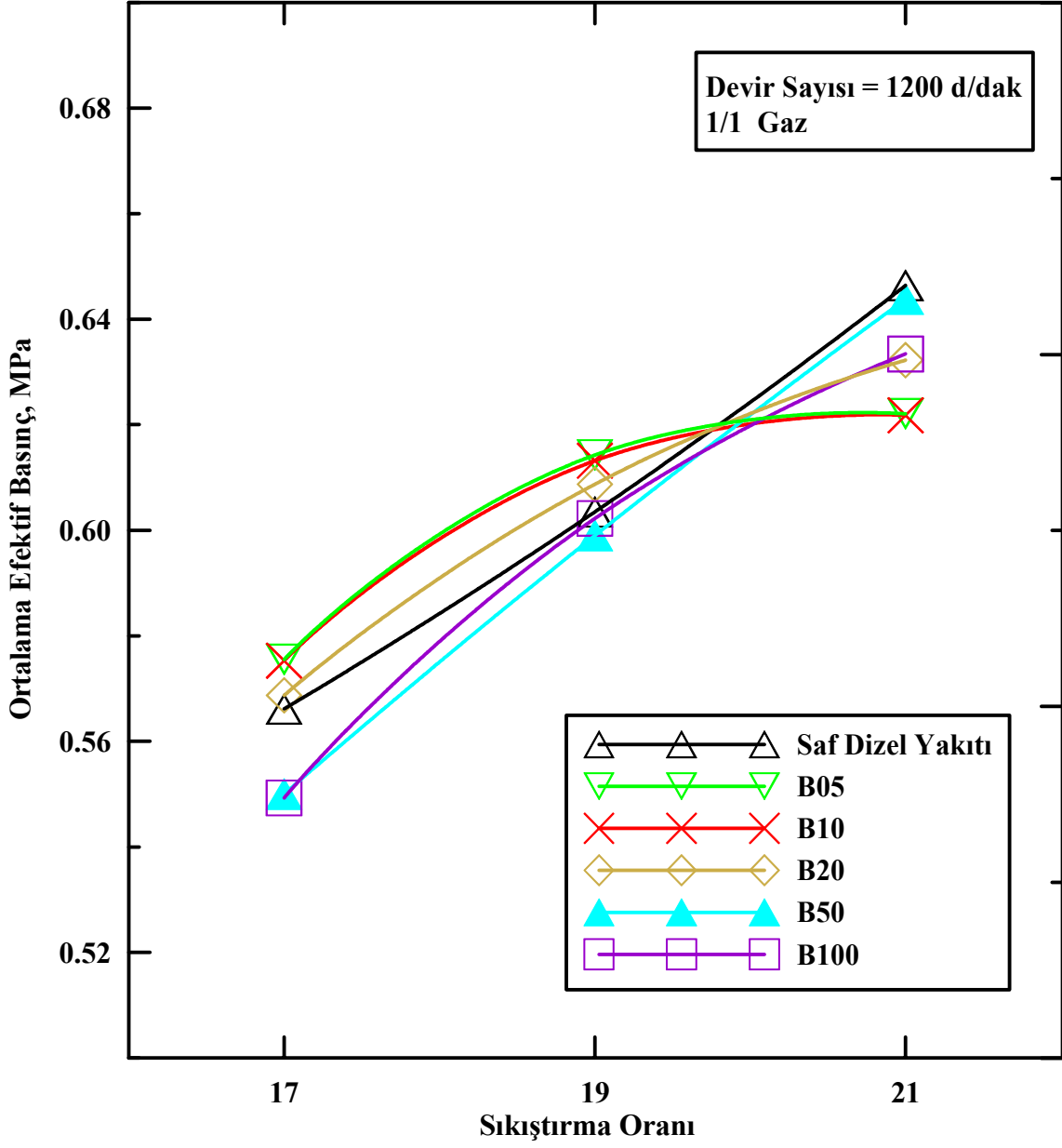
Şekil 61. $n = 1600$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için döndürme momentinin sıkıştırma oranıyla değişimi



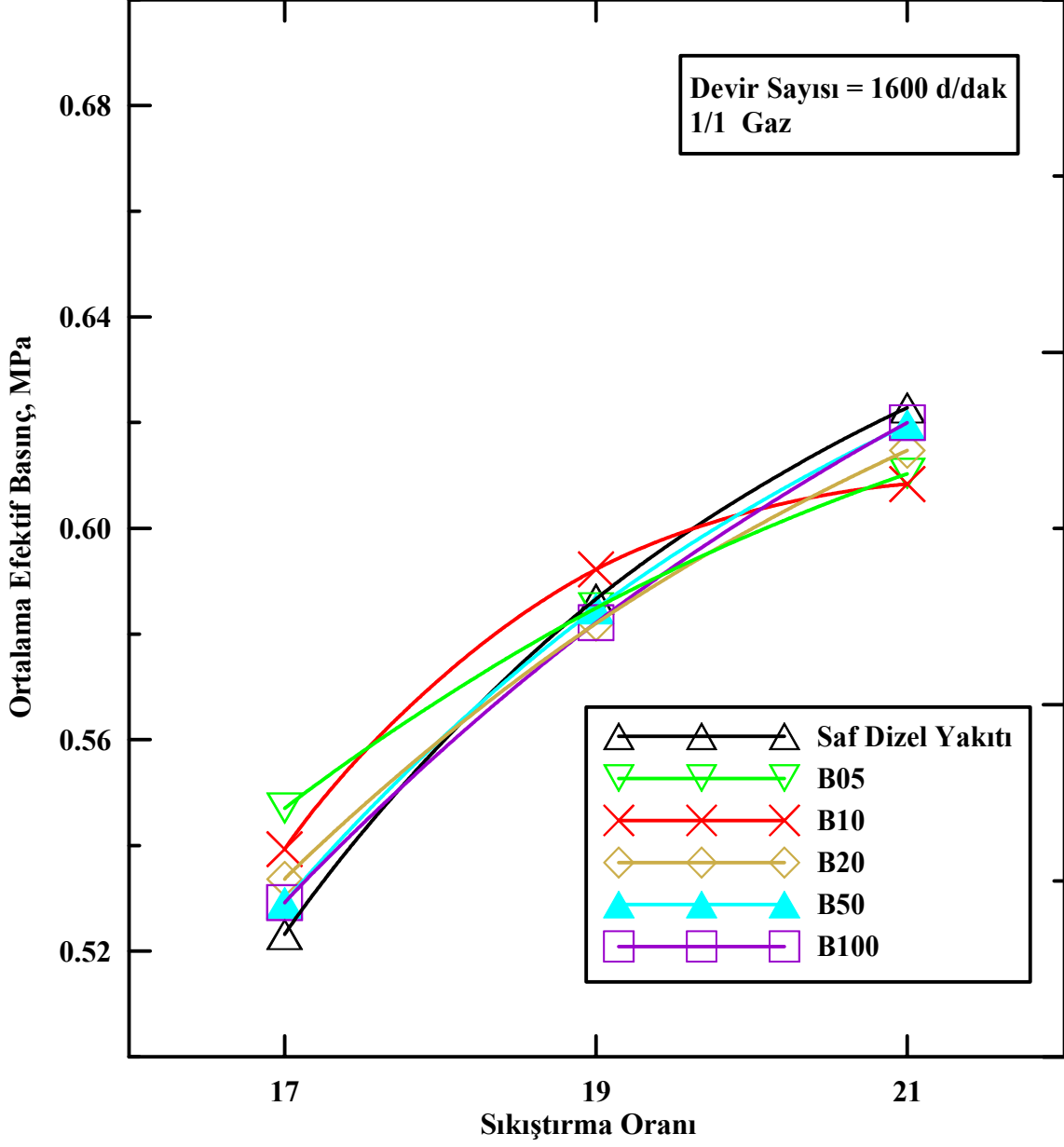
Şekil 62. $n = 1200$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için efektif gücün sıkıştırma oranıyla değişimi



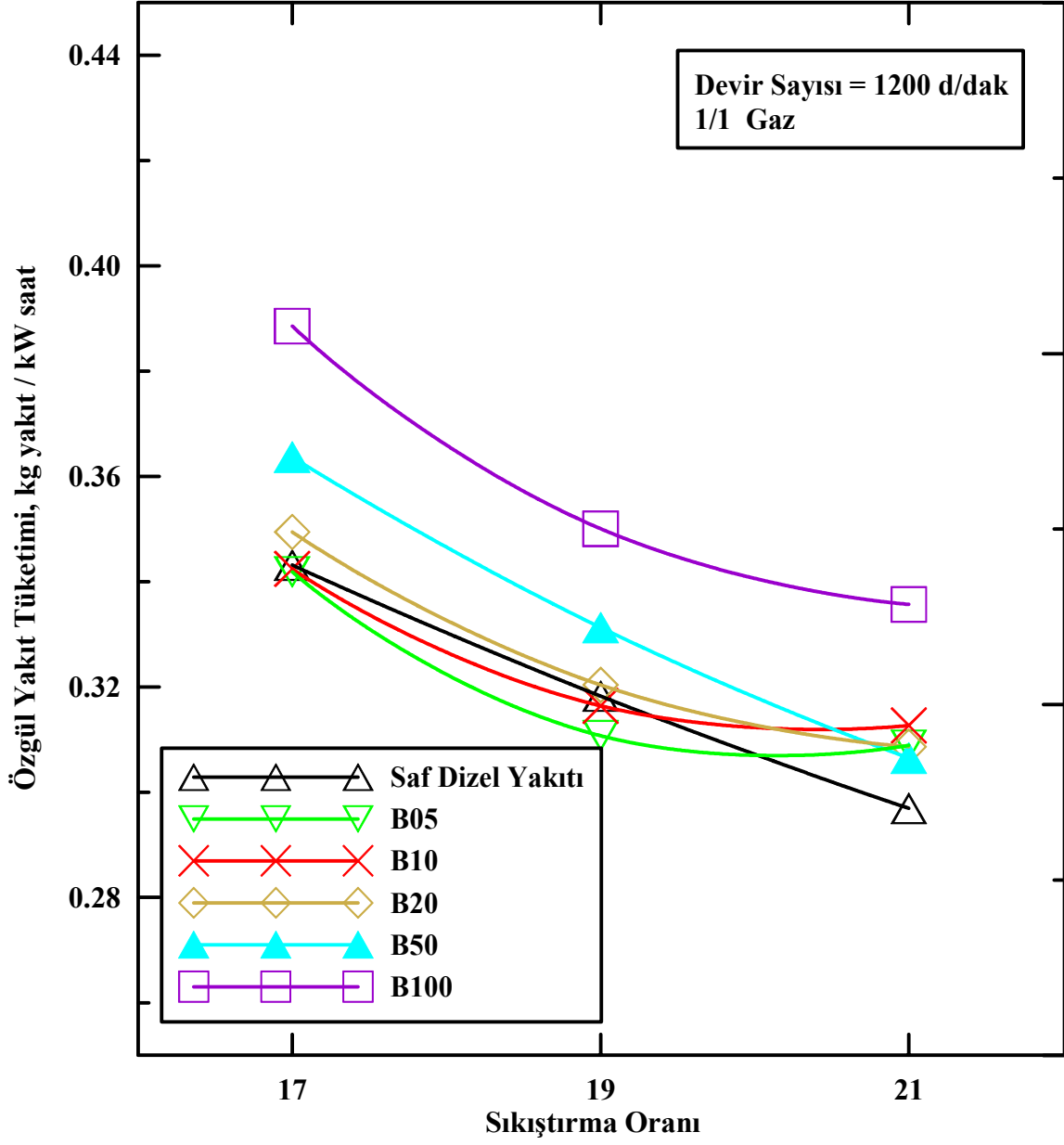
Şekil 63. $n = 1600$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için efektif gücün sıkıştırma oranıyla değişimi



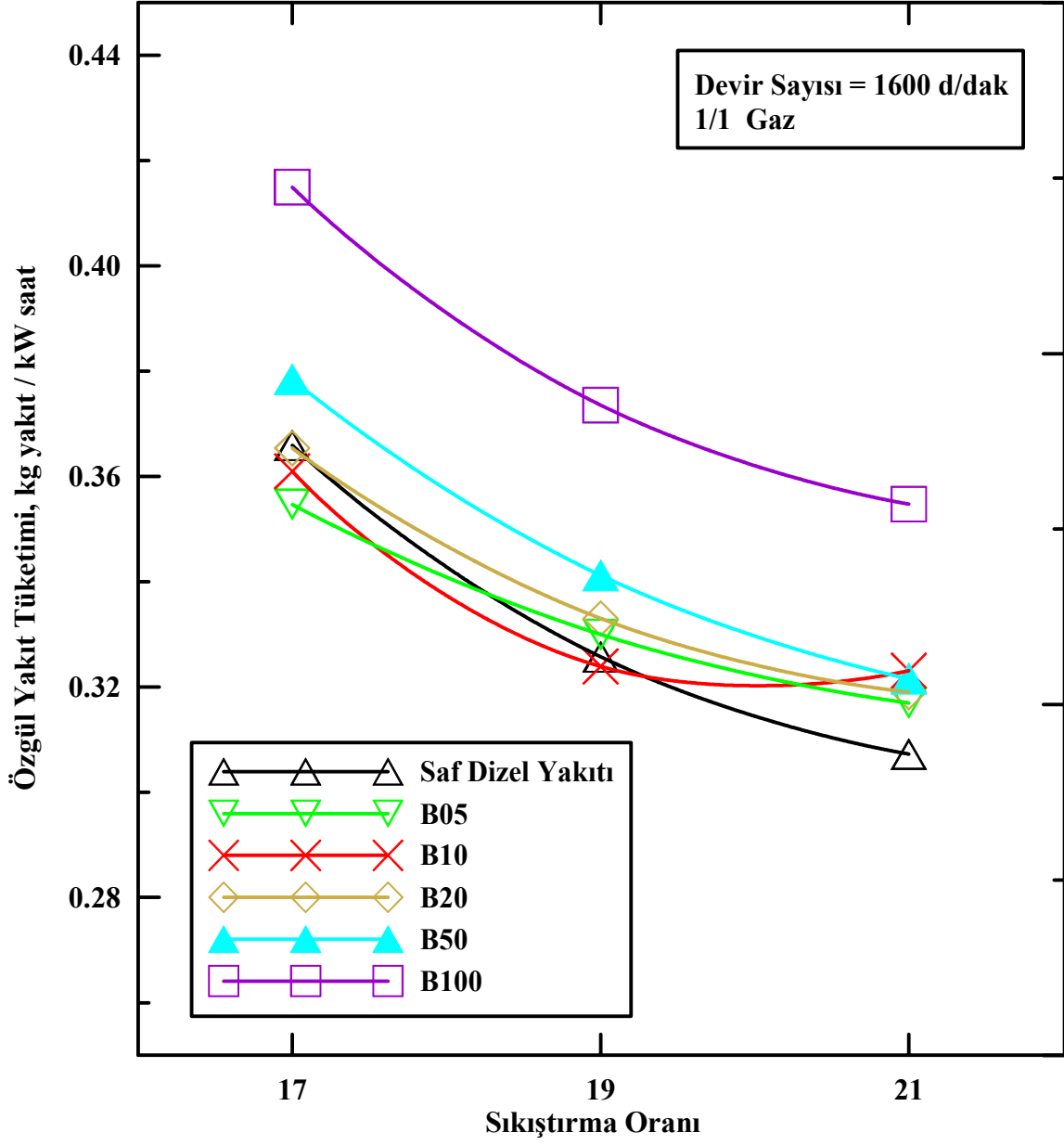
Şekil 64. $n = 1200$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için ortalama efektif basıncın sıkıştırma oranıyla değişimi



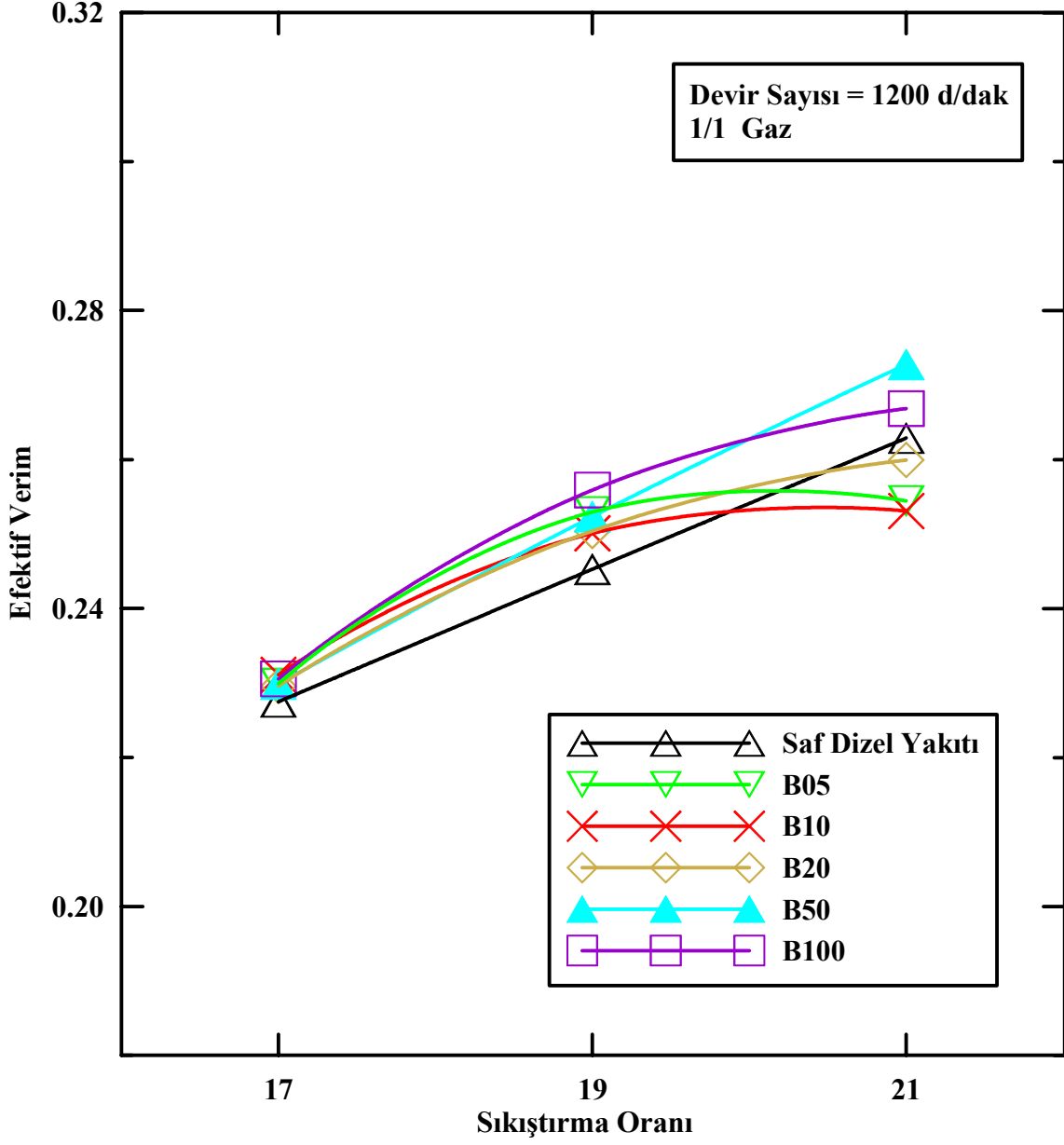
Şekil 65. $n = 1600$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için ortalama efektif basınçın sıkıştırma oranıyla değişimi



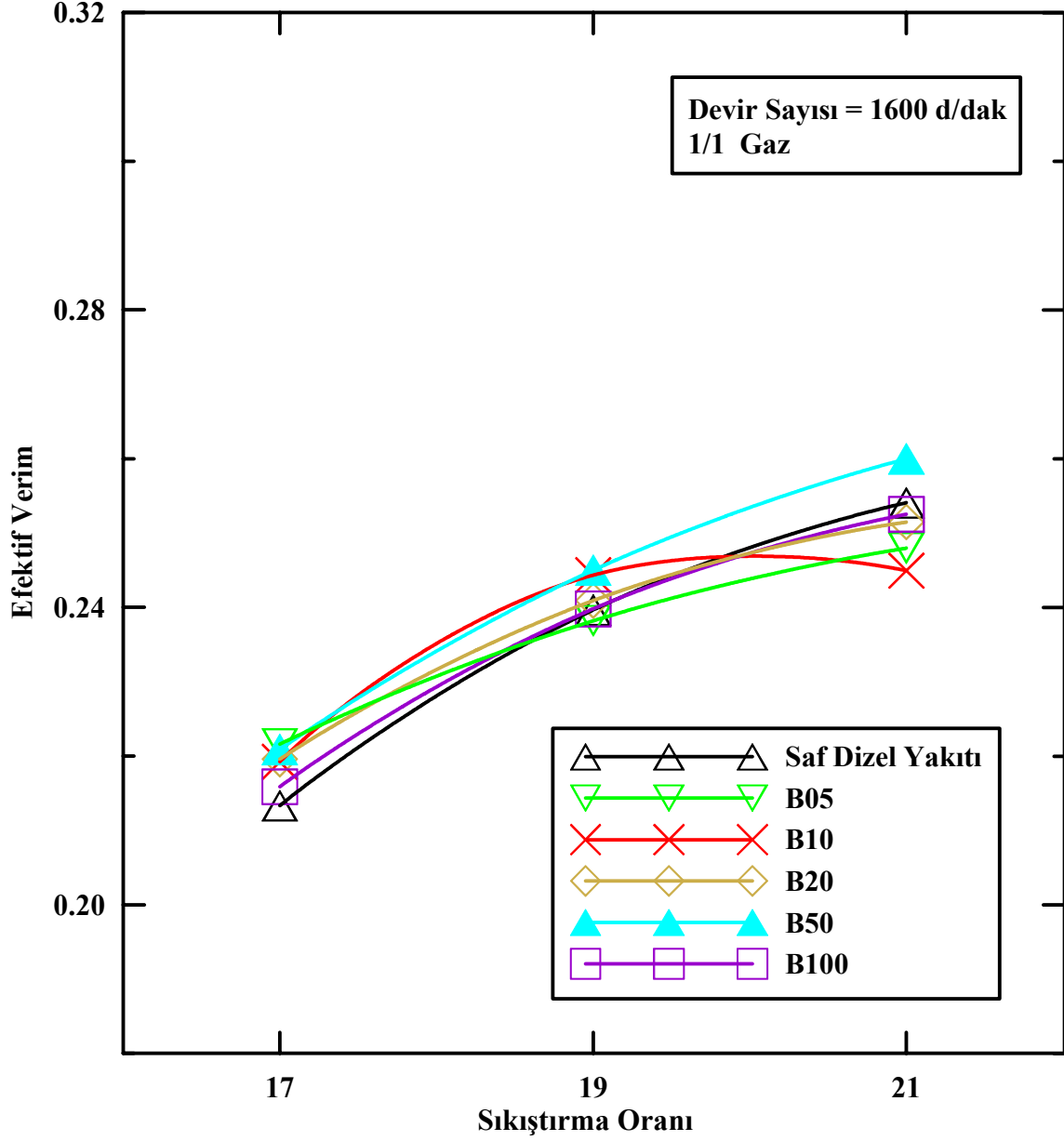
Şekil 66. $n = 1200$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için özgül yakıt tüketiminin sıkıştırma oranıyla değişimi



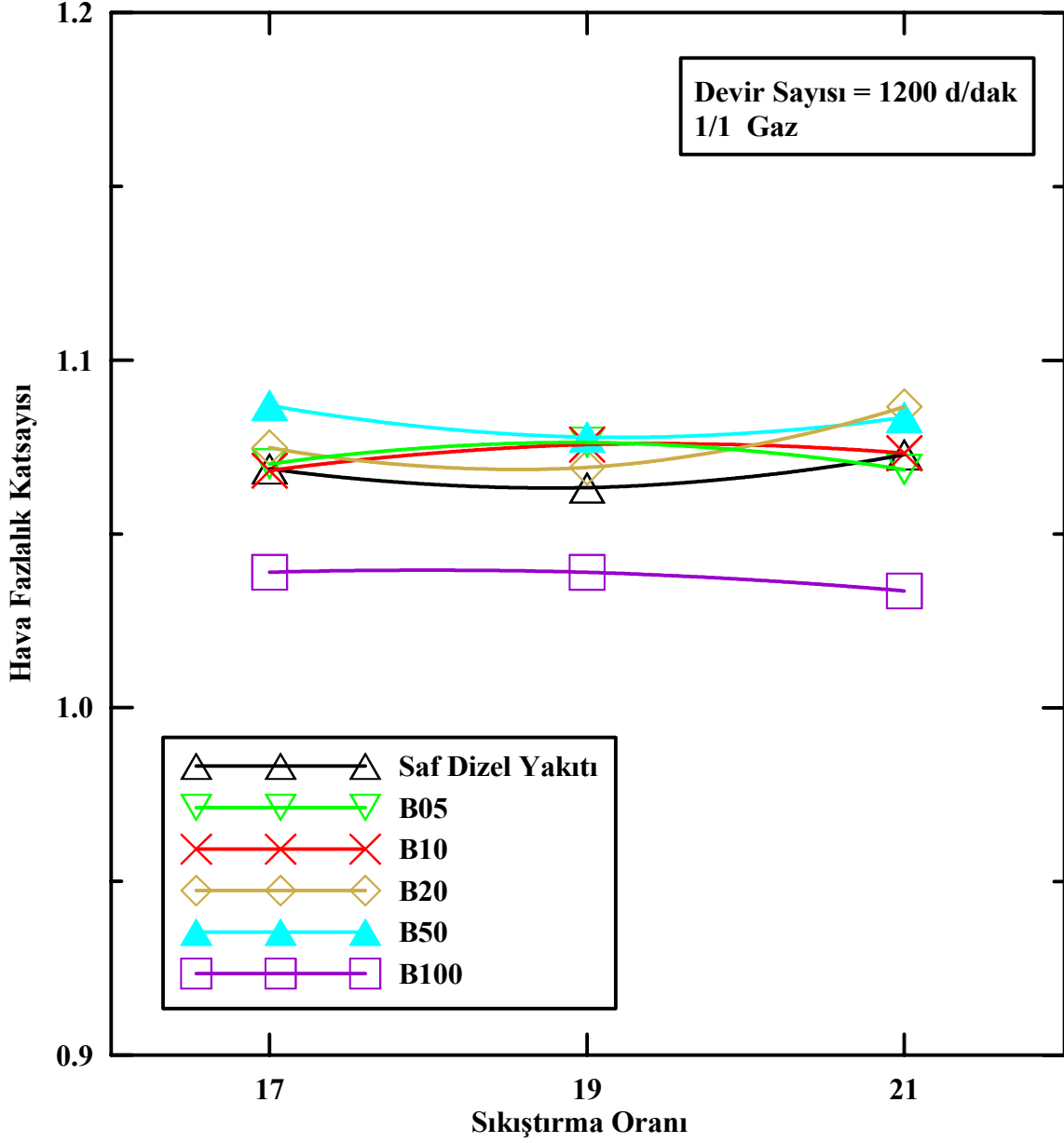
Şekil 67. $n = 1600$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için özgül yakıt tüketiminin sıkıştırma oranıyla değişimi



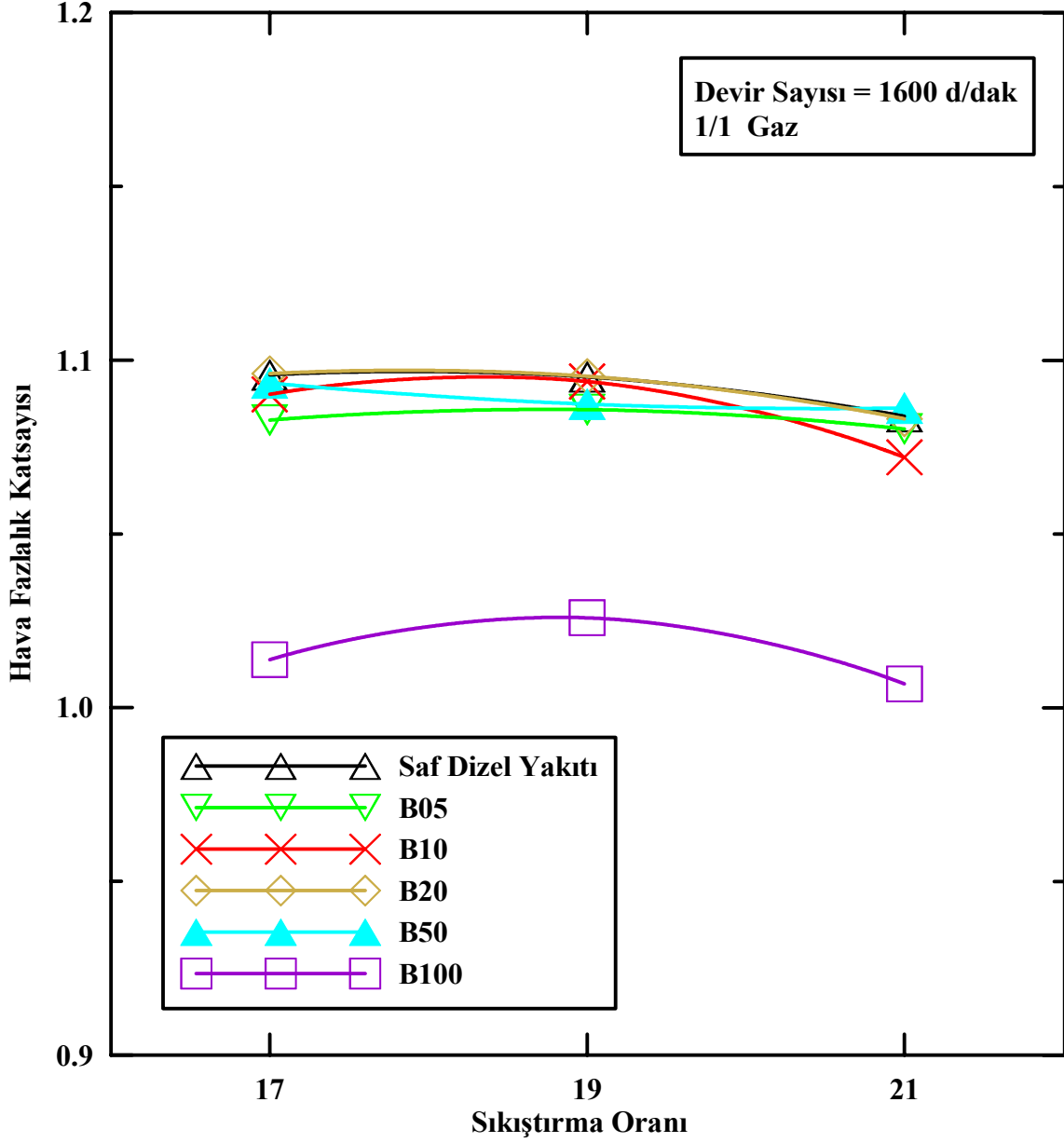
Şekil 68. $n = 1200$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için efektif verimin sıkıştırma oranıyla değişimi



Şekil 69. $n = 1600$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için efektif verimin sıkıştırma oranıyla değişimi



Şekil 70. $n = 1200$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için hava fazlalık katsayısının sıkıştırma oranıyla değişimi



Şekil 71. $n = 1600$ d/dak olması durumunda tüm yakıtlar için hava fazlalık katsayısının sıkıştırma oranıyla değişimi

3.1.3. Değişken Yakıt Karışım Oranları İçin Motor Performansı Sonuçlarının İrdelenmesi

Bu bölümde, değişen yakıt karışım oranlarının, 1200 d/dak gibi orta ve 1600 d/dak gibi yüksek motor hızlarında, farklı sıkıştırma oranları için motor performansları üzerindeki etkileri sunulmuştur. Aslında yakıt karışım oranlarının motor performans karakteristikleri üzerindeki etkileri önceki irdemelerde parça parça belirtilmiştir. Burada grafiksel olarak değerler verilerek genel biçimde bir irdeme yapılacaktır.

Şekil 72 ve Şekil 77 arasındaki grafiklere bakıldığında, genel olarak düşük ve orta sıkıştırma oranlarında, yani $\varepsilon = 17$ ve $\varepsilon = 19$ olması durumunda, döndürme momenti değerleri açısından B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarının B50 ve B100 yakıtlarına göre daha iyi sonuçlar verdikleri görülmektedir. Yüksek sıkıştırma oranlarında ise, yani $\varepsilon = 21$ olması durumunda, döndürme momenti değerleri açısından B50 ve B100 yakıtlarının B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarına göre daha iyi sonuçlar verdikleri gözlenmektedir. Sayısal değer vermek gerekirse, $\varepsilon = 17$ ve 1600 d/dak olması durumunda maksimum döndürme momenti 32,65 Nm değeriyle B05 yakıt karışımında elde edilirken, söz konusu devir sayısında $\varepsilon = 19$ olması durumunda maksimum döndürme momenti 35,35 Nm değeriyle B10 yakıt karışımında elde edilmektedir. Söz konusu devir sayısında $\varepsilon = 21$ olması durumunda ise maksimum döndürme momenti 37,05 Nm değeriyle B50 yakıt karışımında elde edilmektedir.

Şekil 78 ve Şekil 83 arasındaki efektif güç grafiklerine bakıldığında döndürme momentindeki yapıya benzer şekilde, düşük ve orta sıkıştırma oranlarında B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarının B50 ve B100 yakıtlarına göre daha iyi güç değerleri verdiği görülmektedir. Yüksek sıkıştırma oranlarında ise B50 ve B100 yakıtlarının B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarına göre daha iyi güç değerleri verdikleri görülmektedir. Sayısal değerlere bakıldığında $\varepsilon = 17$ ve 1600 d/dak olması durumunda maksimum efektif güç 5,568 kW değeriyle B05 yakıt karışımında elde edilirken, söz konusu devir sayısında $\varepsilon = 19$ olması durumunda maksimum efektif güç 6,028 kW değeriyle B10 yakıt karışımında elde edilmektedir. Söz konusu devir sayısında $\varepsilon = 21$ olması durumunda ise maksimum efektif güç 6,340 kW değeriyle saf dizel yakıtında ve saf dizel yakıtına en yakın 6,311 kW değeriyle B100 yakıtında elde edilmektedir.

Şekil 84 ve Şekil 89 arasındaki grafiklere bakıldığında, daha önce belirtildiği gibi döndürme momentinin özdeş karakteristiği olan ortalama efektif basınç grafikleri

görülmektedir ve beklenildiği gibi döndürme momentiyle aynı tip sonuçlar elde edilmektedir.

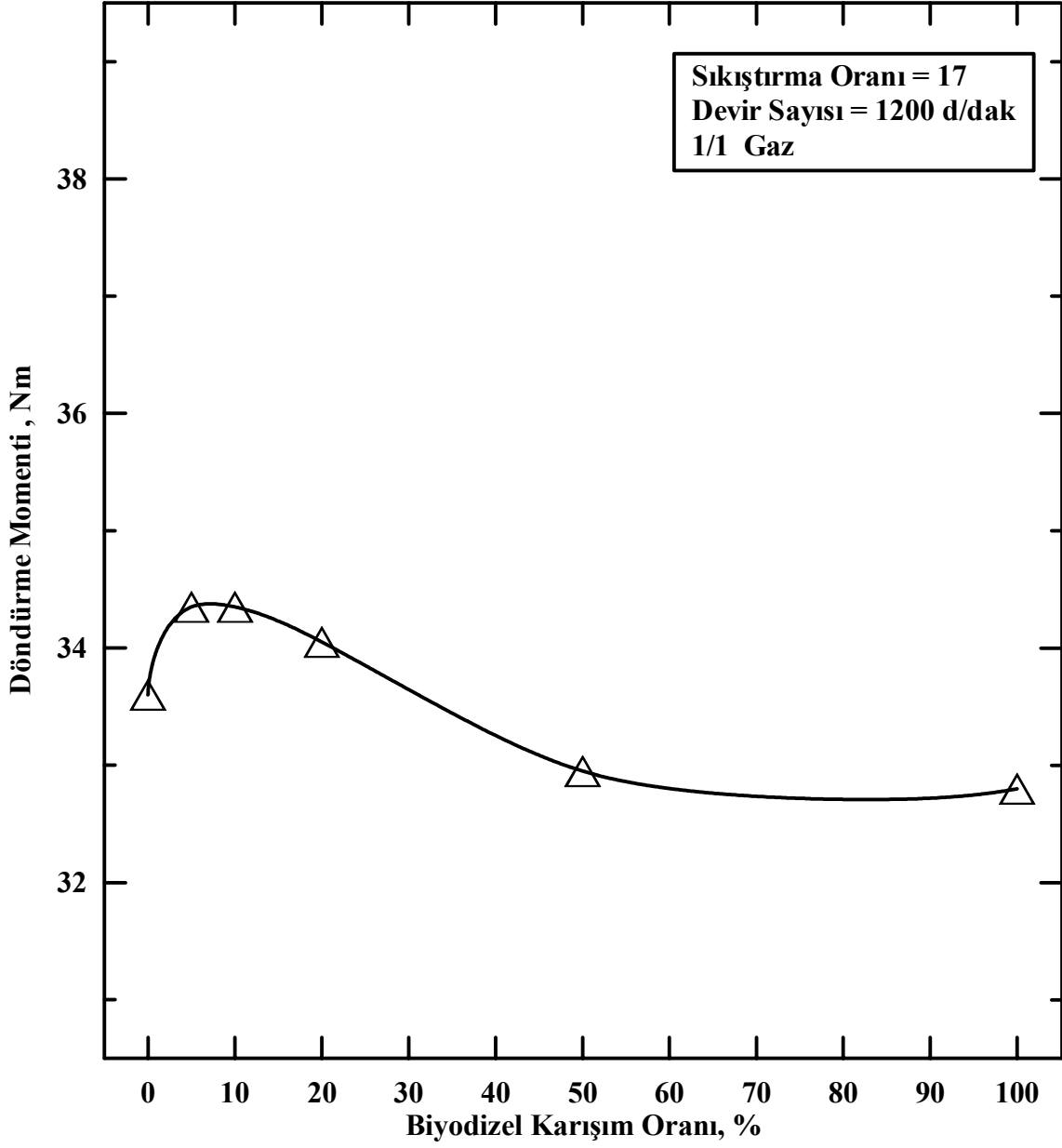
Şekil 90 ve Şekil 95 arasındaki grafiklere bakıldığında, düşük ve orta sıkıştırma oranlarında özgül yakıt tüketimi değerleri için B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarının saf dizel yakıtının özgül yakıt tüketimi değerlerinden bile daha düşük sonuçlar verdiği gözlenmektedir. Fakat yüksek sıkıştırma oranlarında B05, B10 ve B20 yakıt karışımları için aynı düşük değerlerden bahsetmek mümkün değildir. Sayısal değer vermek gerekirse $\varepsilon = 17$ ve 1600 d/dak olması durumunda saf dizel yakıtının özgül yakıt tüketimi değerinin 0,366 kg yakıt/kW saat olduğu görülürken B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarının özgül yakıt tüketimi değerlerin sırasıyla 0,355 kg yakıt/kW saat, 0,361 kg yakıt/kW saat, 0,365 kg yakıt/kW saat oldukları gözlenmektedir. Söz konusu devir sayısında ve $\varepsilon = 21$ olması durumunda ise saf dizel yakıtının özgül yakıt tüketimi değerinin 0,307 kg yakıt/kW saat olduğu görülürken B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarının özgül yakıt tüketimi değerlerin sırasıyla 0,317 kg yakıt/kW saat, 0,323 kg yakıt/kW saat, 0,319 kg yakıt/kW saat oldukları gözlenmektedir. Burada B50 ve B100 yakıtlarının yoğunluklarının fazlalığı ve ısı değerlerinin düşüklüğü nedeniyle yakıt tüketim değerlerinin, diğer yakıt karışımlarının yakıt tüketim değerlerinden daha yüksek çıktığı görülmektedir.

Şekil 96 ve Şekil 101 arasındaki efektif verim grafiklerine bakıldığında, moment ve güç grafiklerinde olduğu gibi düşük ve orta sıkıştırma oranlarında B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarının saf dizel yakıtı, B50 ve B100 yakıtlarına göre daha yüksek verim değerleri verdiği gözlenmektedir. Yüksek sıkıştırma oranlarında ise B50 ve B100 yakıtlarının B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarına göre daha yüksek değerler verdikleri görülmektedir. Sayısal değerlere bakıldığında $\varepsilon = 17$ ve 1600 d/dak olması durumunda maksimum efektif verim 0,222 değeriyle B05 yakıt karışımında elde edilirken, söz konusu devir sayısında $\varepsilon = 19$ olması durumunda maksimum efektif verim 0,244 ve 0,245 değerleriyle B10 ve B50 yakıt karışımında elde edilmektedir. Söz konusu devir sayısında $\varepsilon = 21$ olması durumunda ise maksimum efektif verim 0,260 değeriyle B50 yakıt karışımında elde edilmektedir.

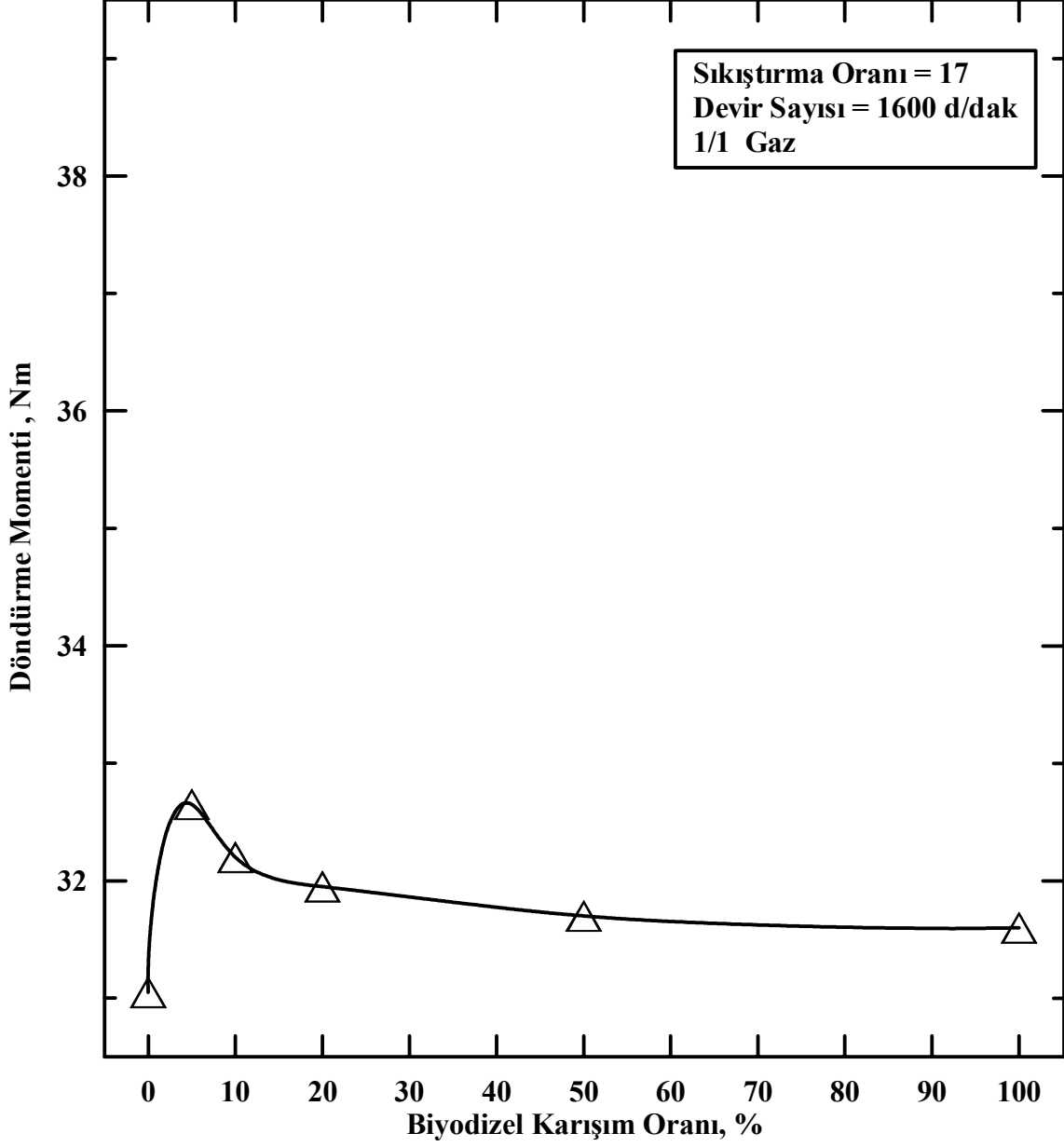
Şekil 102 ve Şekil 107 arasındaki grafiklere bakıldığında, genel olarak hava fazlalık katsayısının B100 yakıtı istisnası hariç artan biyodizel oranıyla birlikte arttığı görülmektedir. Bu artışın da biyodizelin yapısında bulunan oksijenden kaynaklandığı düşünülmektedir. B100 yakıtının hava fazlalık katsayısındaki azalma ise, bu yakıtın özgül

yakıt tüketimi değerinin diğer yakıt karışımlarına oranla oldukça yüksek olmasından kaynaklandığı düşünölmektedir.

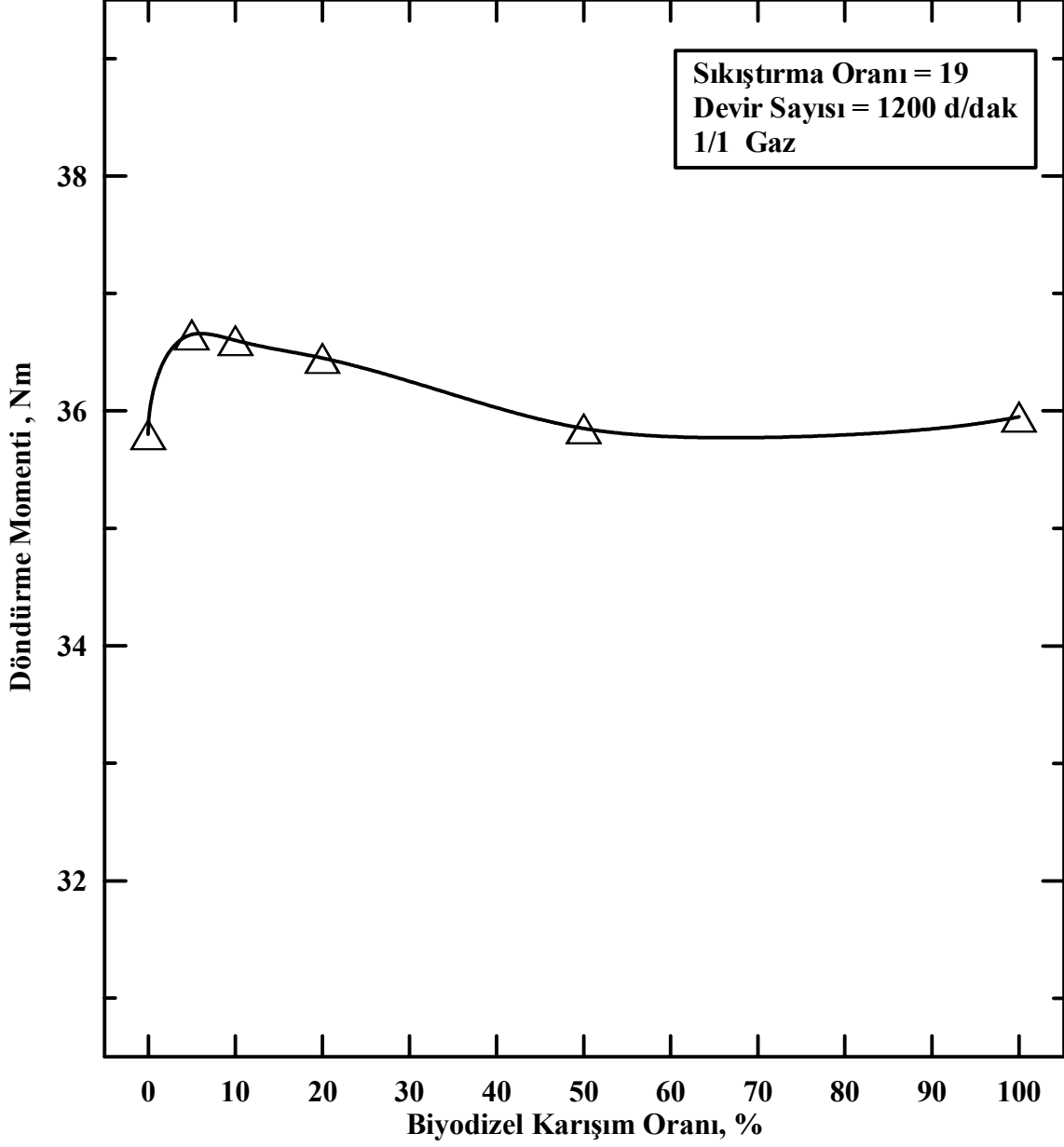
Genel olarak Şekil 72 ve Şekil 107 arasındaki grafiklere bakıldığında, düşük ve orta sıkıştırma oranlarında tüm performans eğrileri için B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarının B50 ve B100 yakıtlarına oranla daha iyi sonuçlar verdikleri görölmektedir. Fakat yüksek sıkıştırma oranlarında ise B50 ve B100 yakıtlarının B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarına oranla daha iyi sonuçlar verdikleri gözlenmiştir. Bunun temel nedeni, daha önce de belirtildiği gibi düşük sıkıştırma oranlarında yanmayı etkileyen en önemli faktör olarak tutuşma gecikmesinin ön plana çıkması, yüksek sıkıştırma oranlarında ise tutuşma gecikmesinin öneminin artan basınç ve sıcaklıkla birlikte azalarak yerini silindir içindeki oksijen ve yakıt miktarına bırakması olarak düşünölmektedir. Böylece düşük sıkıştırma oranlarında, viskozite değeri B50 ve B100 yakıtlarına göre daha düşük olan B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarının silindir içersine püskürtölürken daha iyi atomize olmaları sonucu yanmayı iyileştirerek daha iyi sonuç verdikleri düşünölmektedir. Yüksek sıkıştırma oranlarında ise yoğunlukları ve yapılarındaki oksijen miktarının fazlalığı nedeniyle B50 ve B100 yakıtlarının yanmayı iyileştirerek daha iyi sonuçlar verdikleri düşünölmektedir.



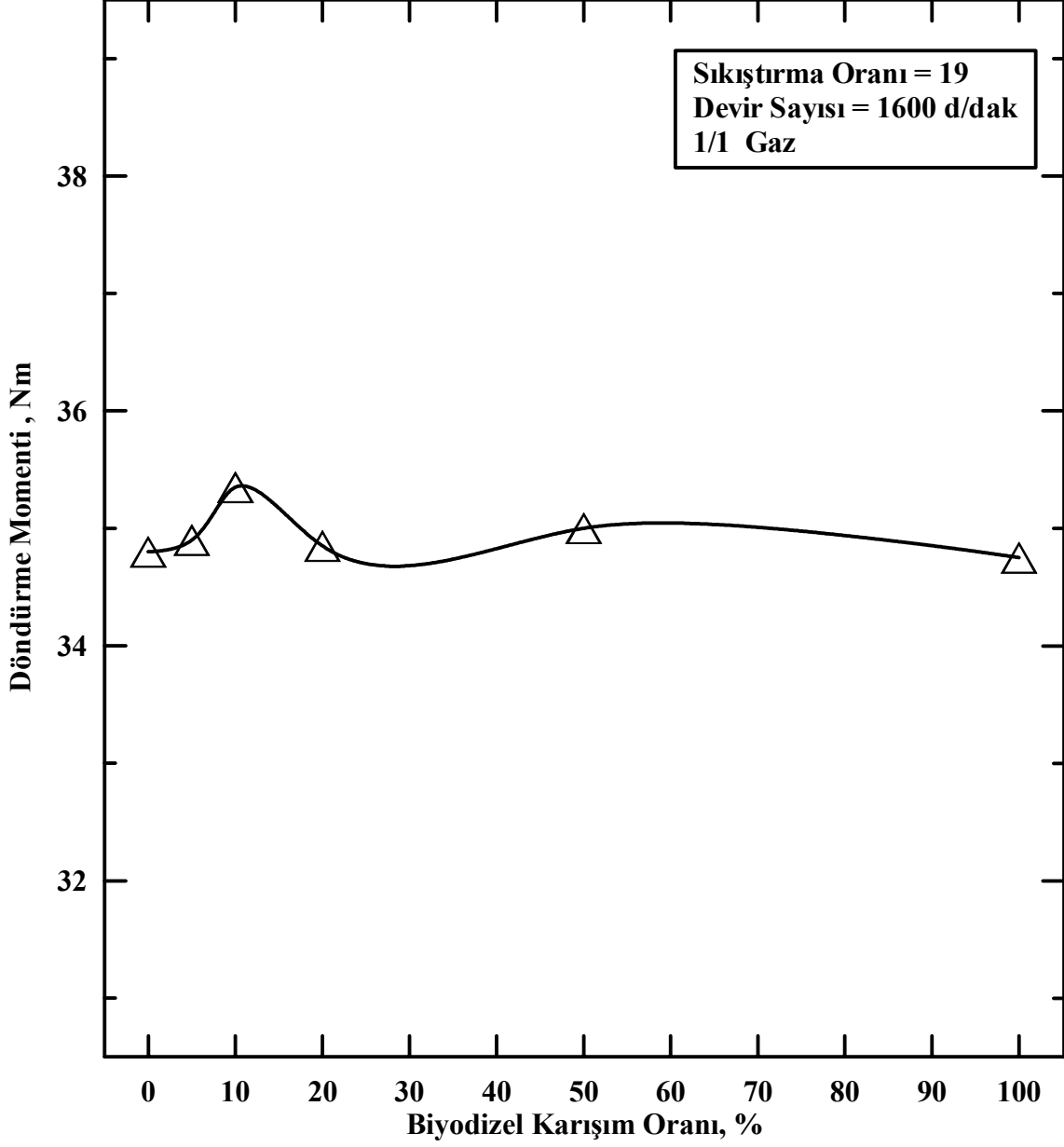
Şekil 72. $n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda döndürme momentinin biyodizel karışım oranıyla değişimi



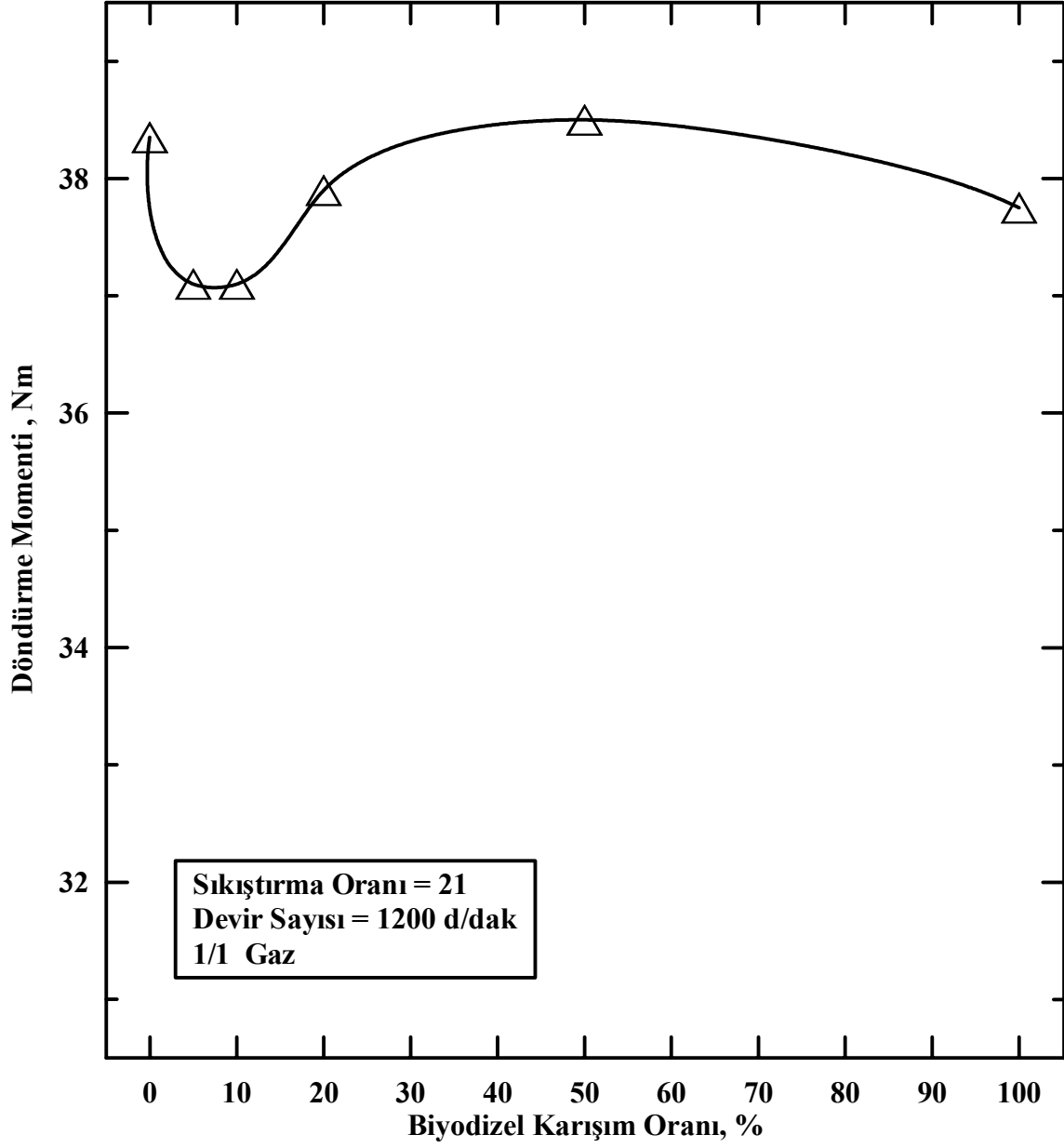
Şekil 73. $n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda döndürme momentinin biyodizel karışım oranıyla değişimi



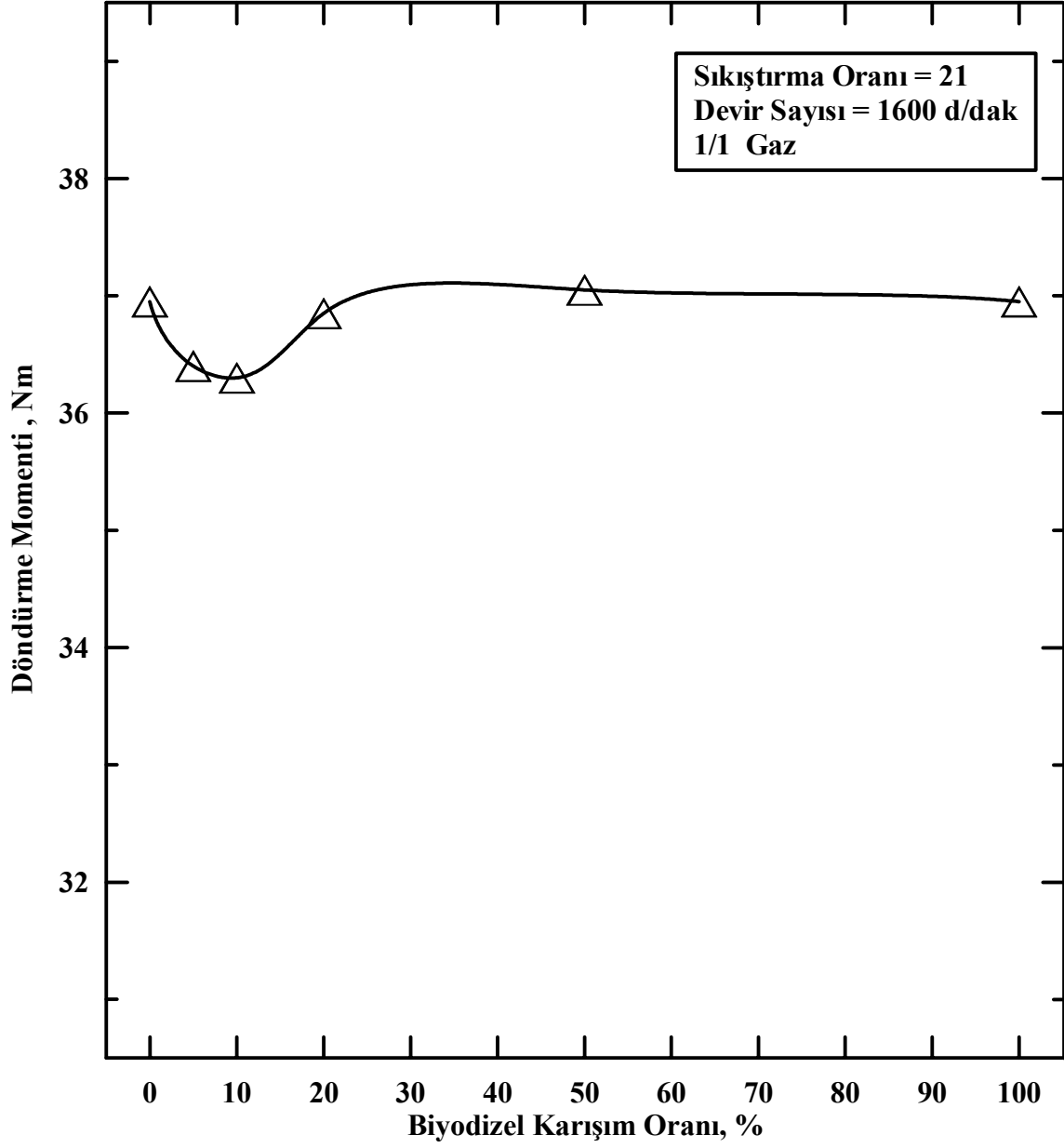
Şekil 74. $n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda döndürme momentinin biyodizel karışım oranıyla değişimi



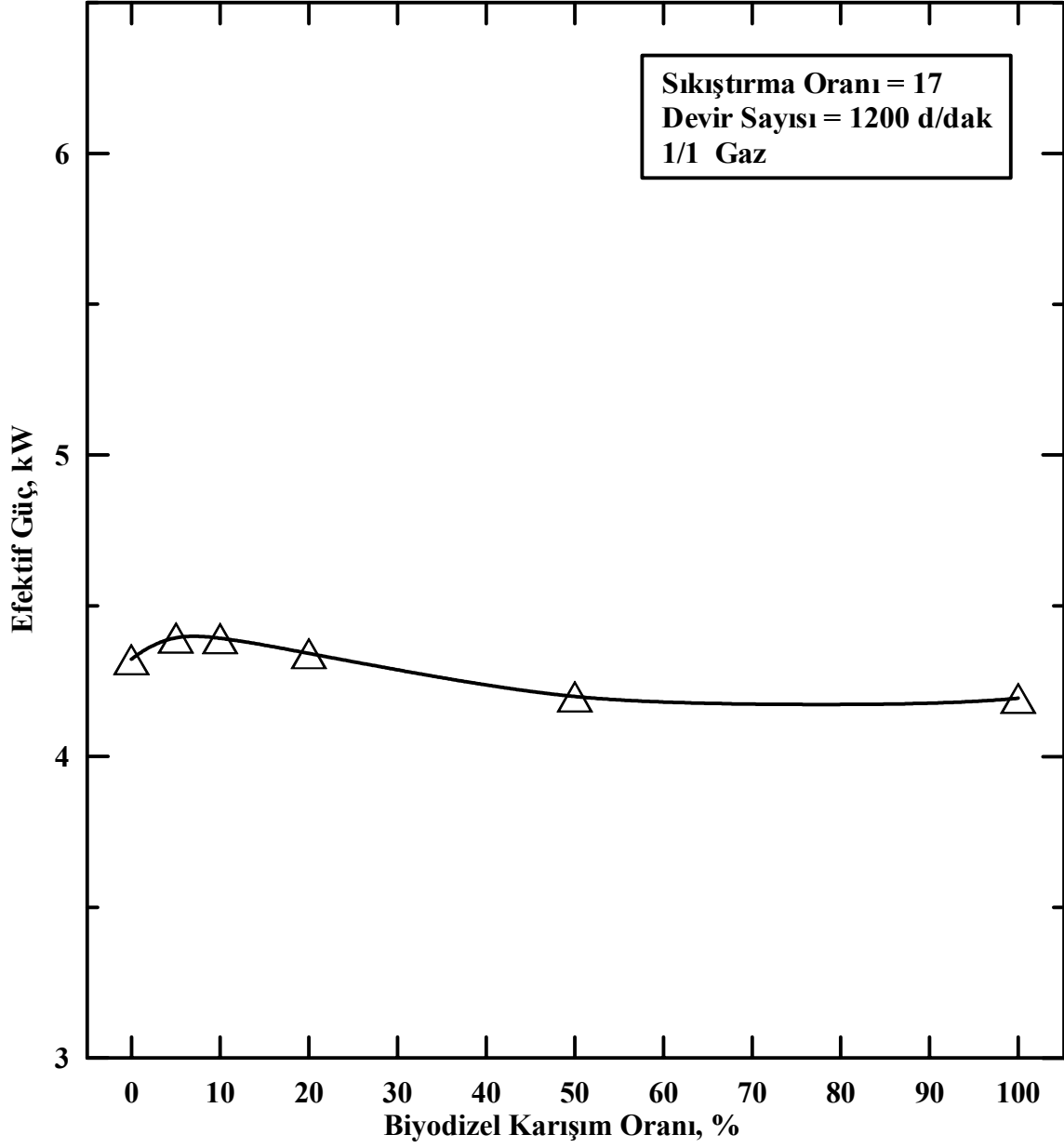
Şekil 75. $n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda döndürme momentinin biyodizel karışım oranıyla değişimi



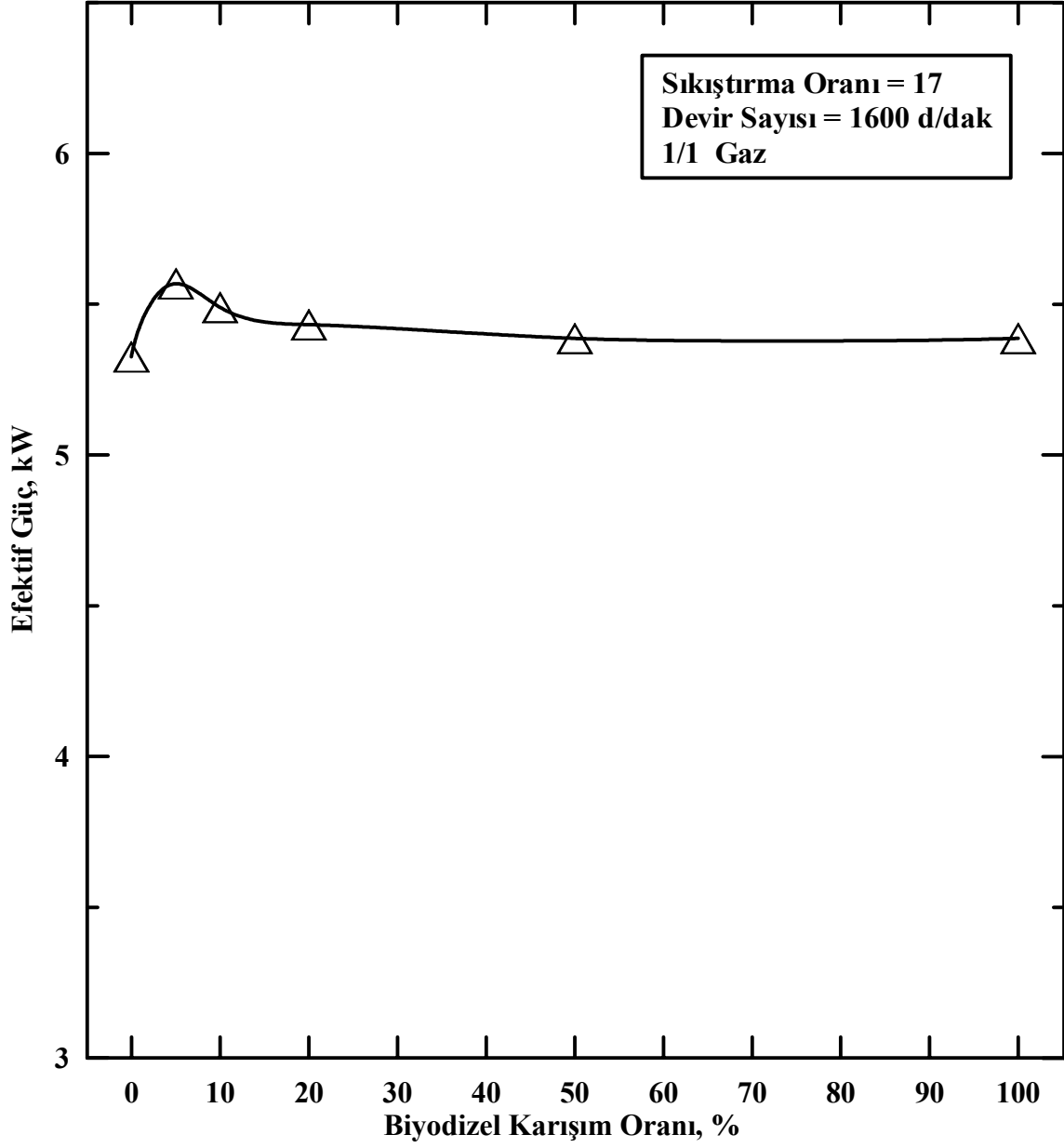
Şekil 76. $n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda döndürme momentinin biyodizel karışım oranıyla değişimi



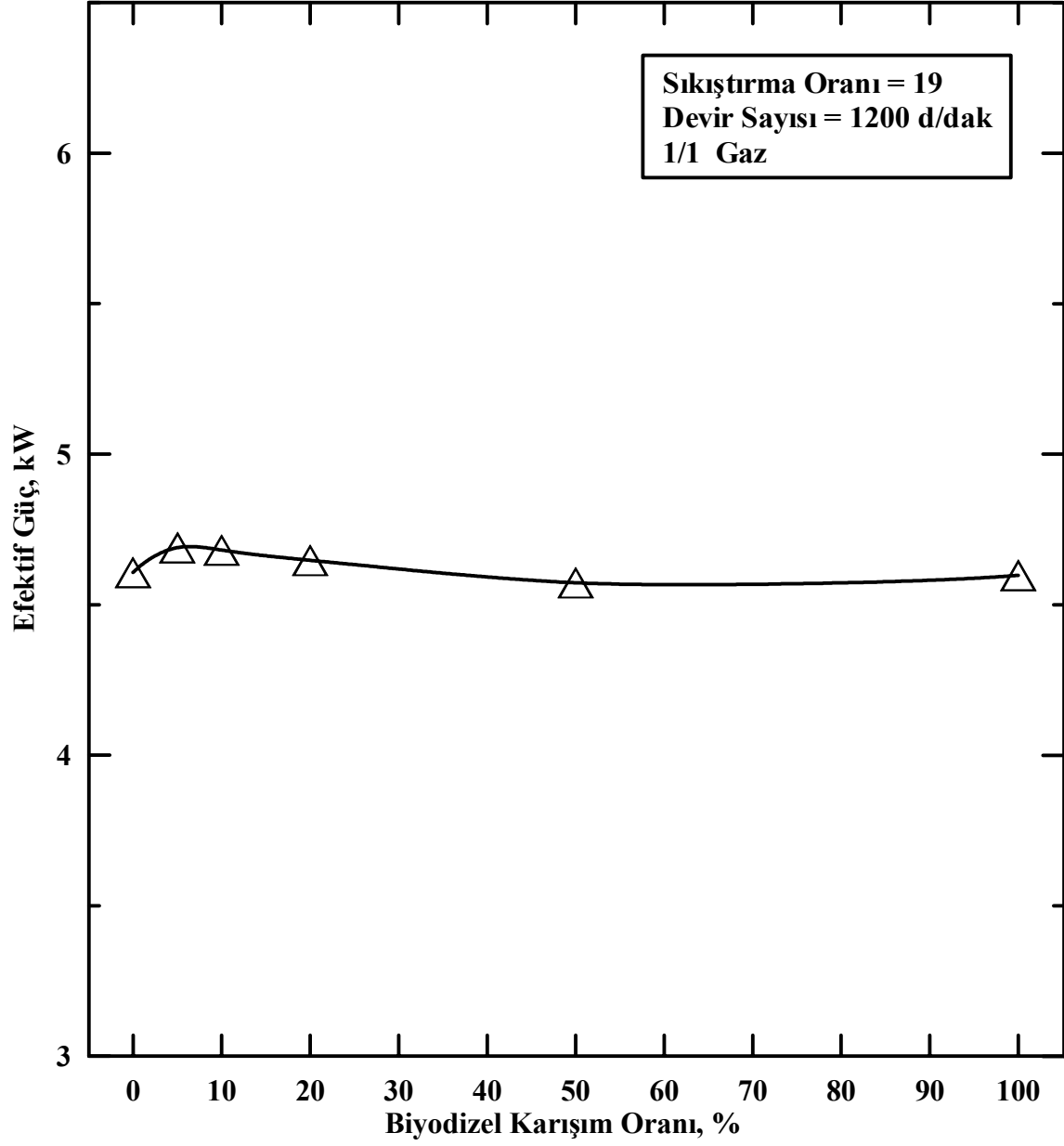
Şekil 77. $n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda döndürme momentinin biyodizel karışım oranıyla değişimi



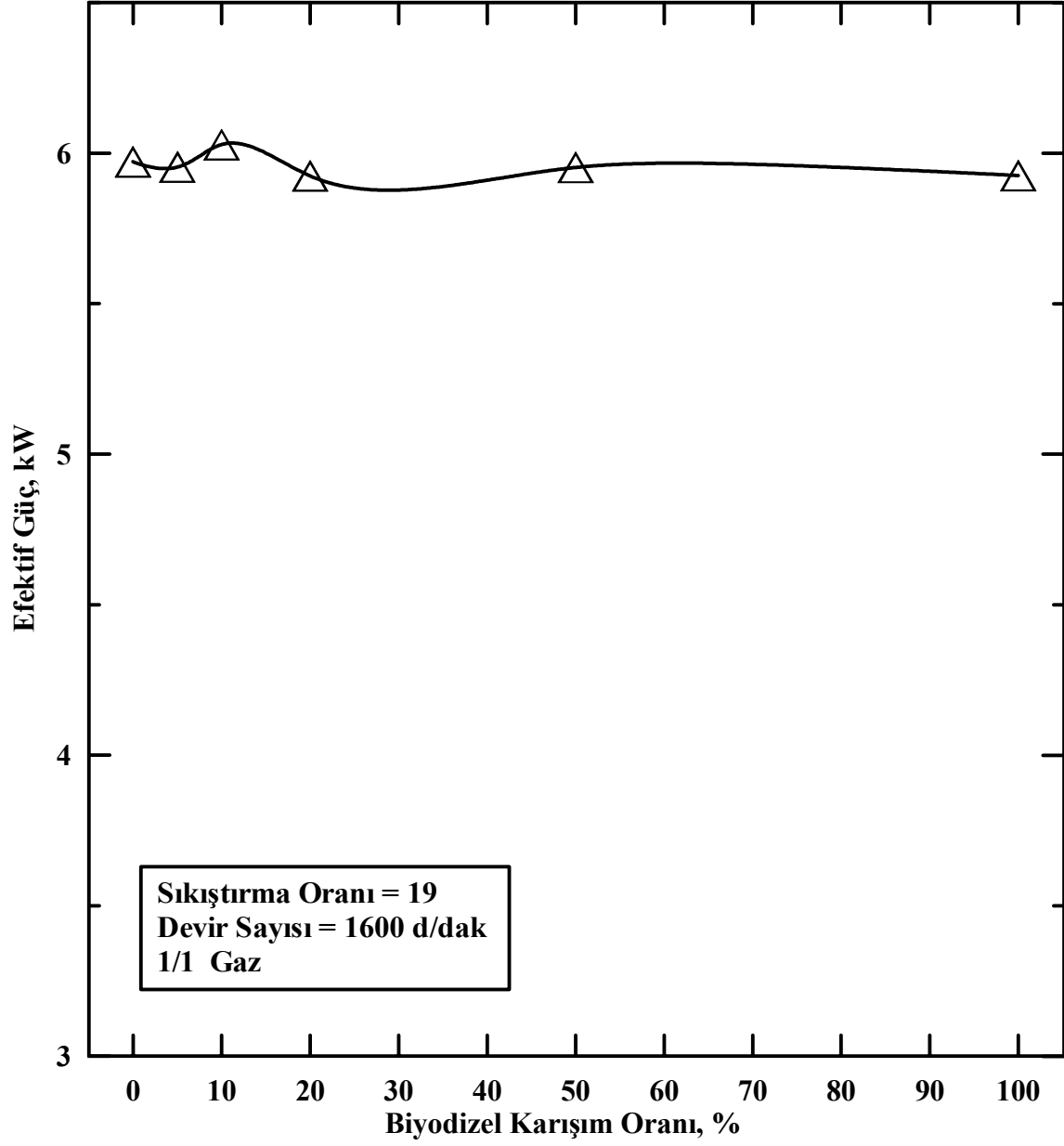
Şekil 78. $n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda efektif gücün biyodizel karışım oranıyla değişimi



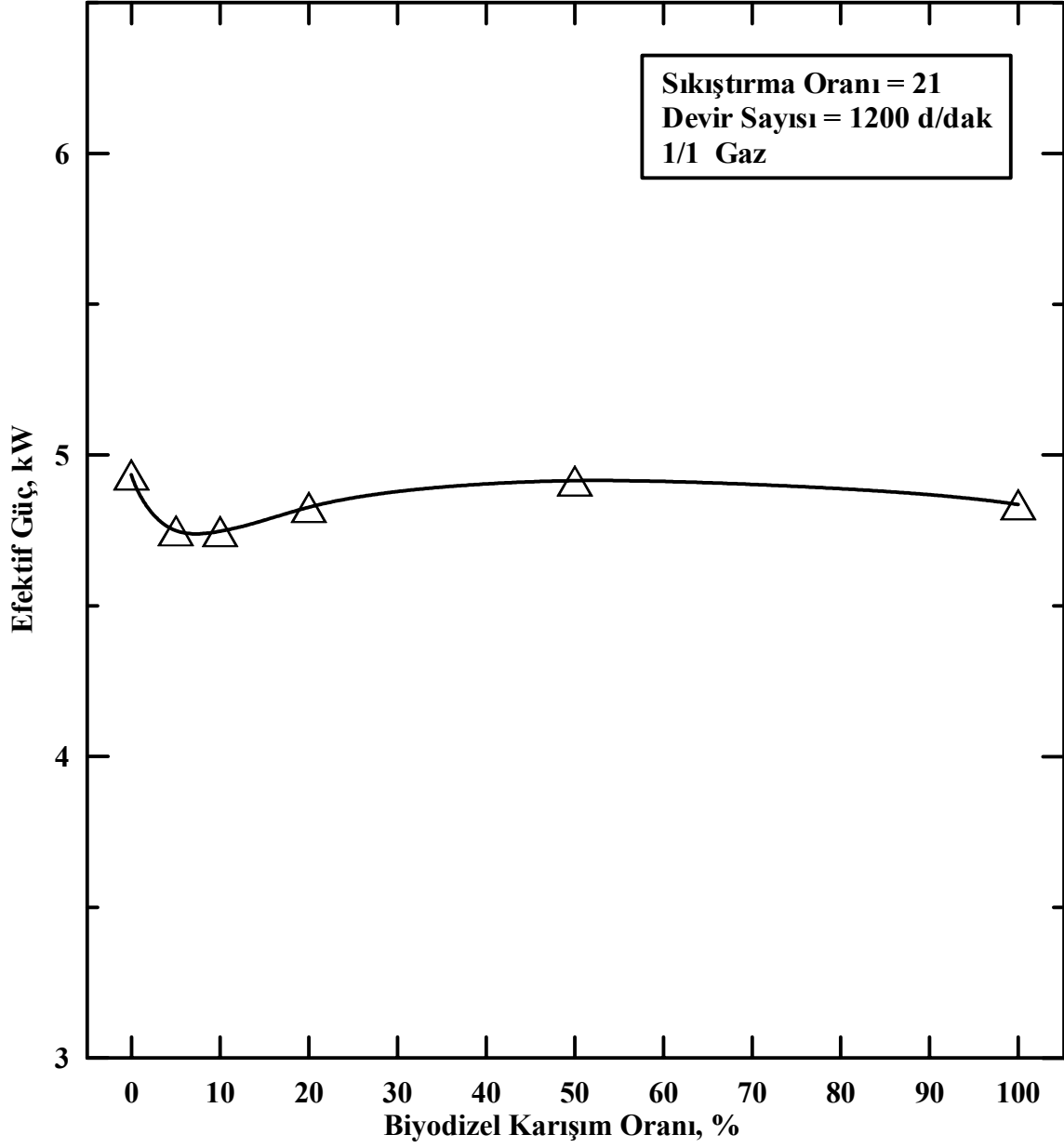
Şekil 79. $n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda efektif gücün biyodizel karışım oranıyla değişimi



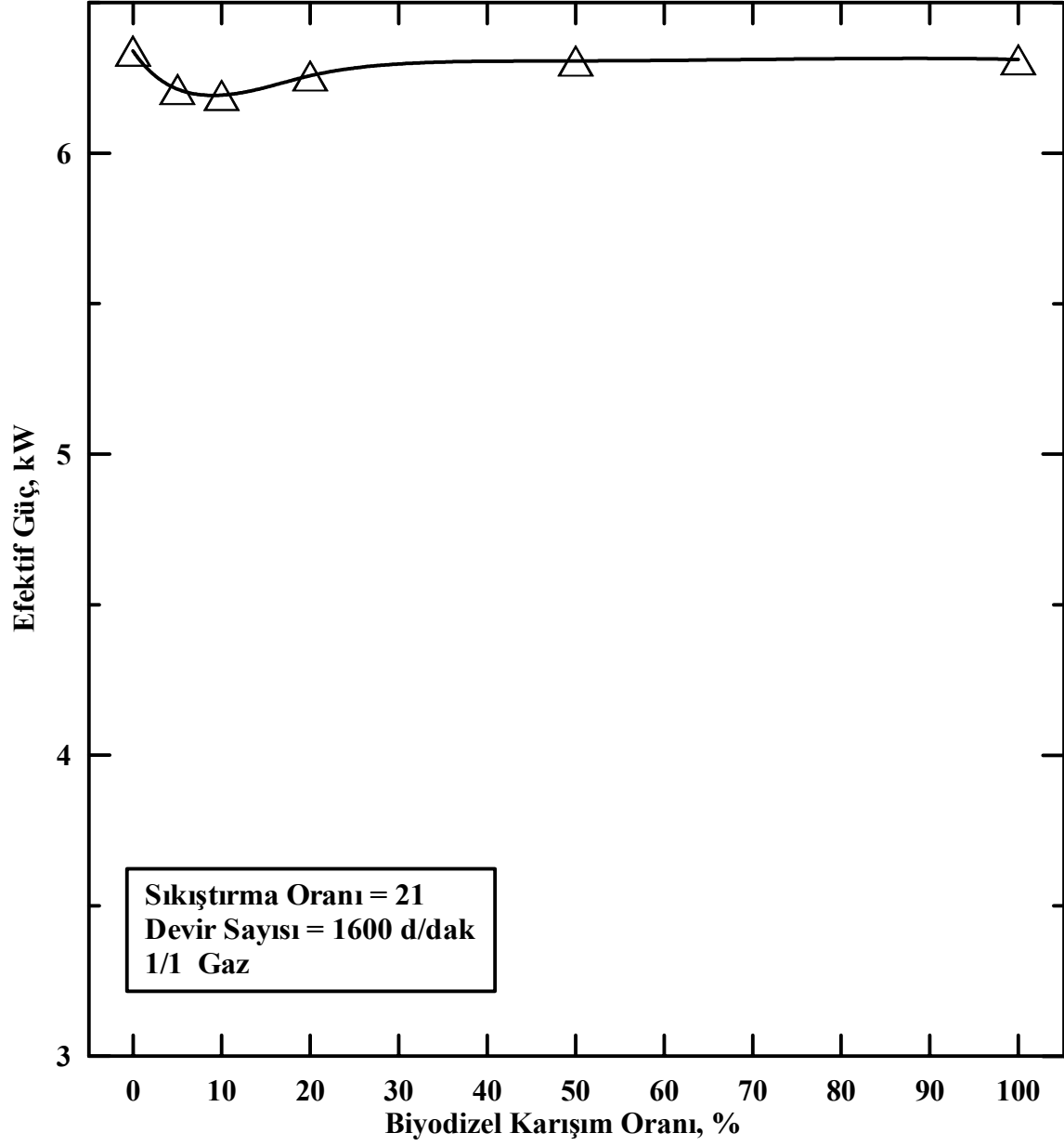
Şekil 80. $n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda efektif gücün biyodizel karışım oranıyla değişimi



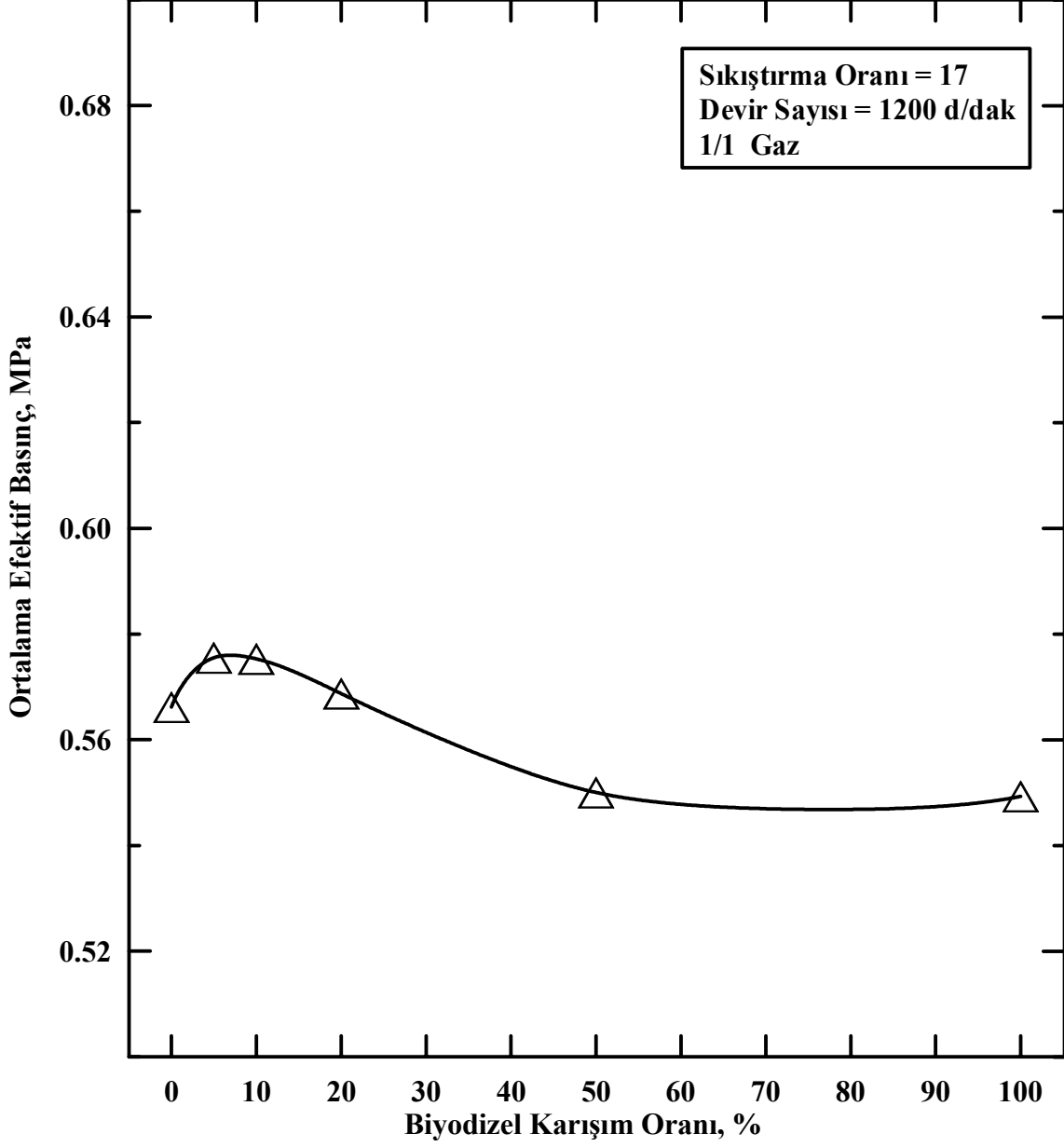
Şekil 81. $n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda efektif gücün biyodizel karışım oranıyla değişimi



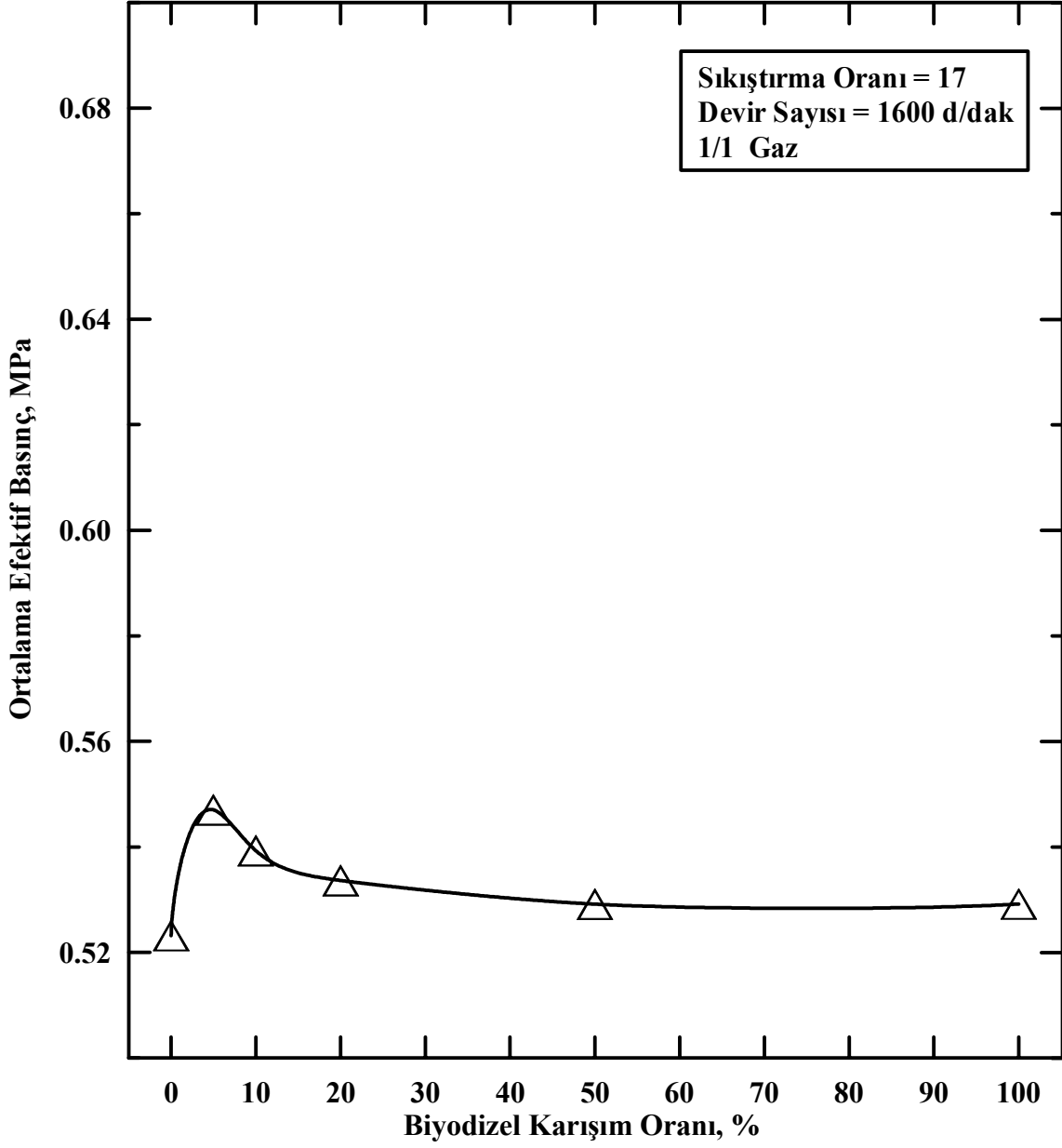
Şekil 82. $n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda efektif gücün biyodizel karışım oranıyla değişimi



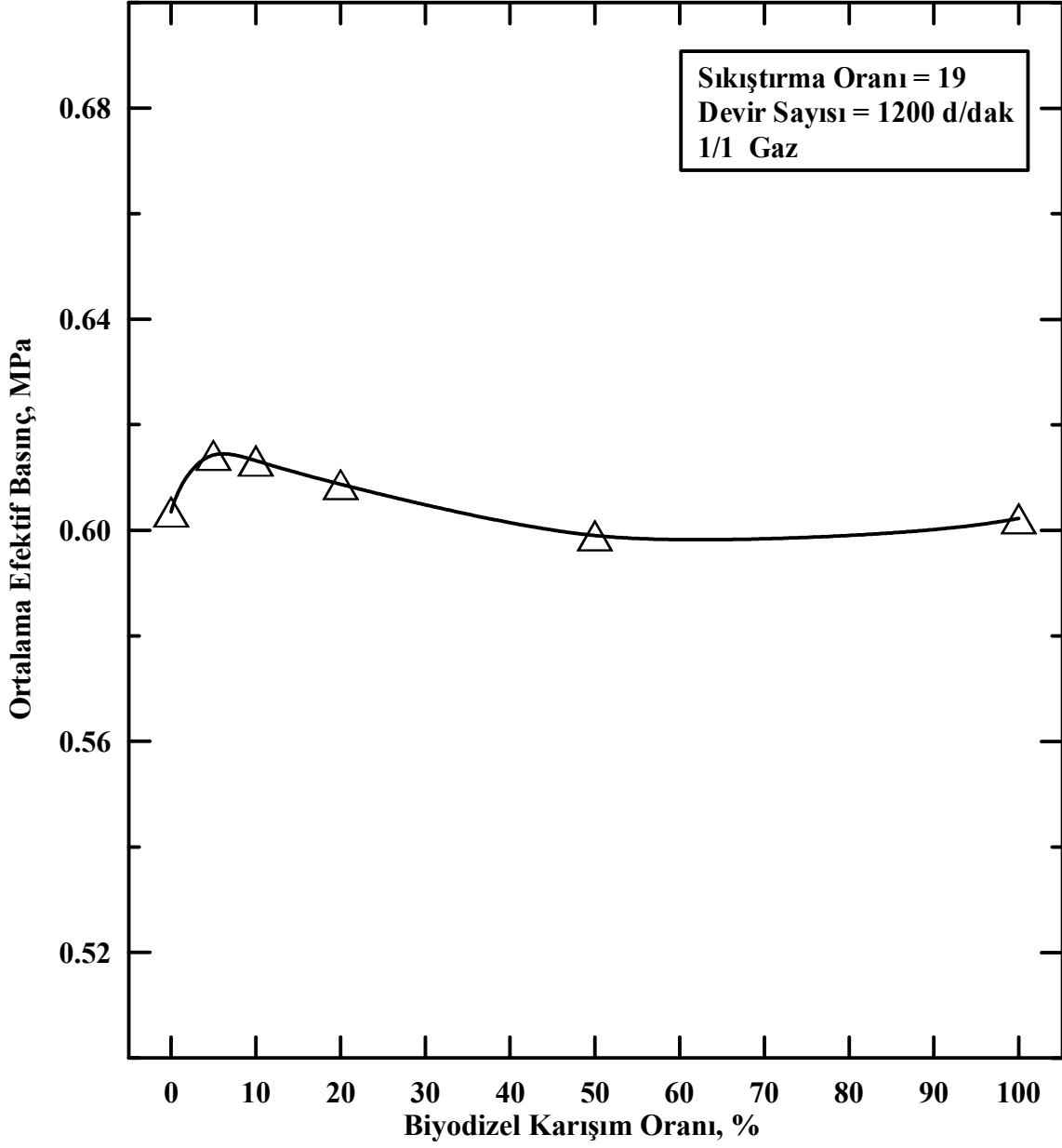
Şekil 83. $n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda efektif gücün biyodizel karışım oranıyla değişimi



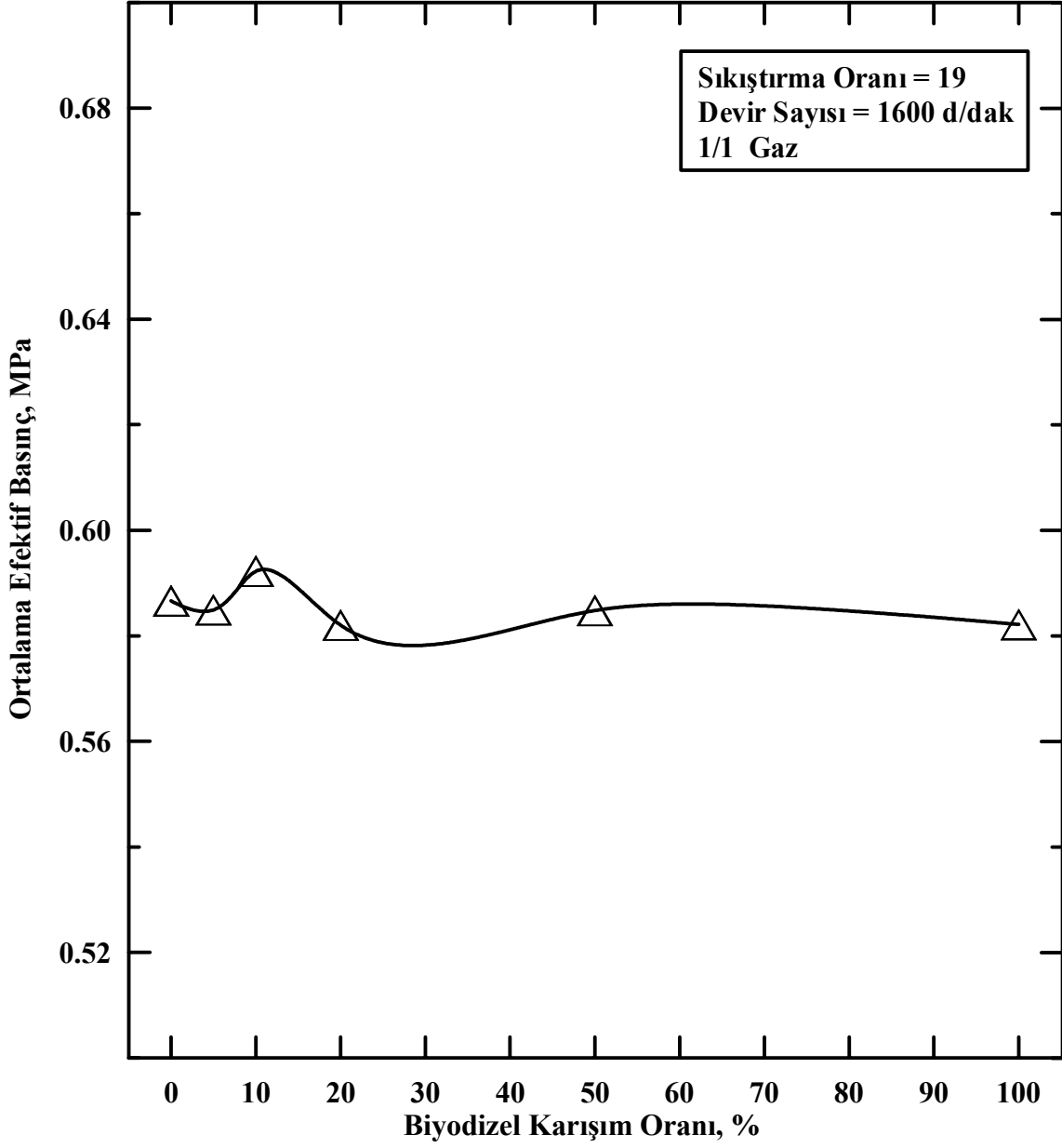
Şekil 84. $n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda ortalama efektif basıncın biyodizel karışım oranıyla değişimi



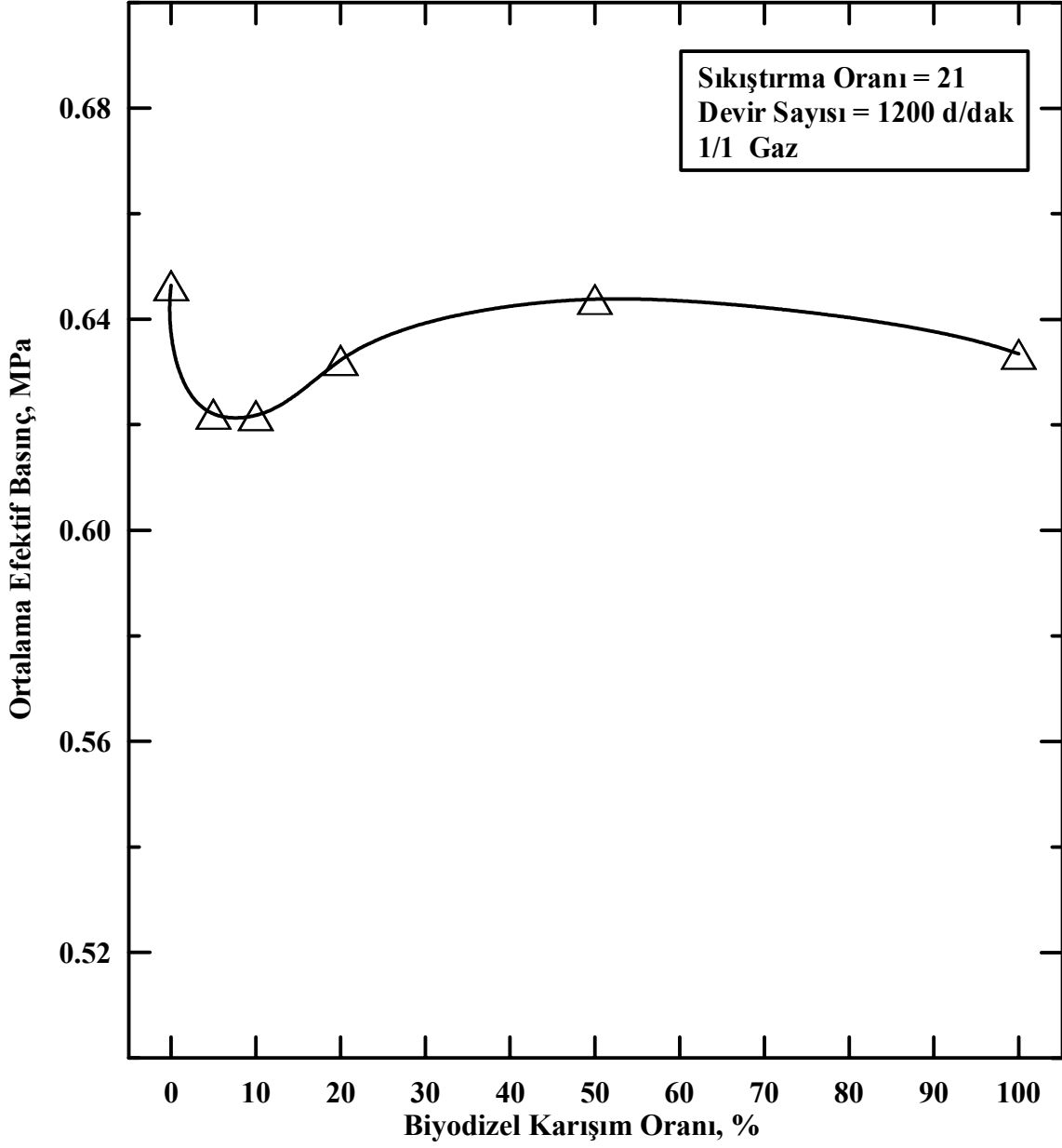
Şekil 85. $n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda ortalama efektif basıncın biyodizel karışım oranıyla değişimi



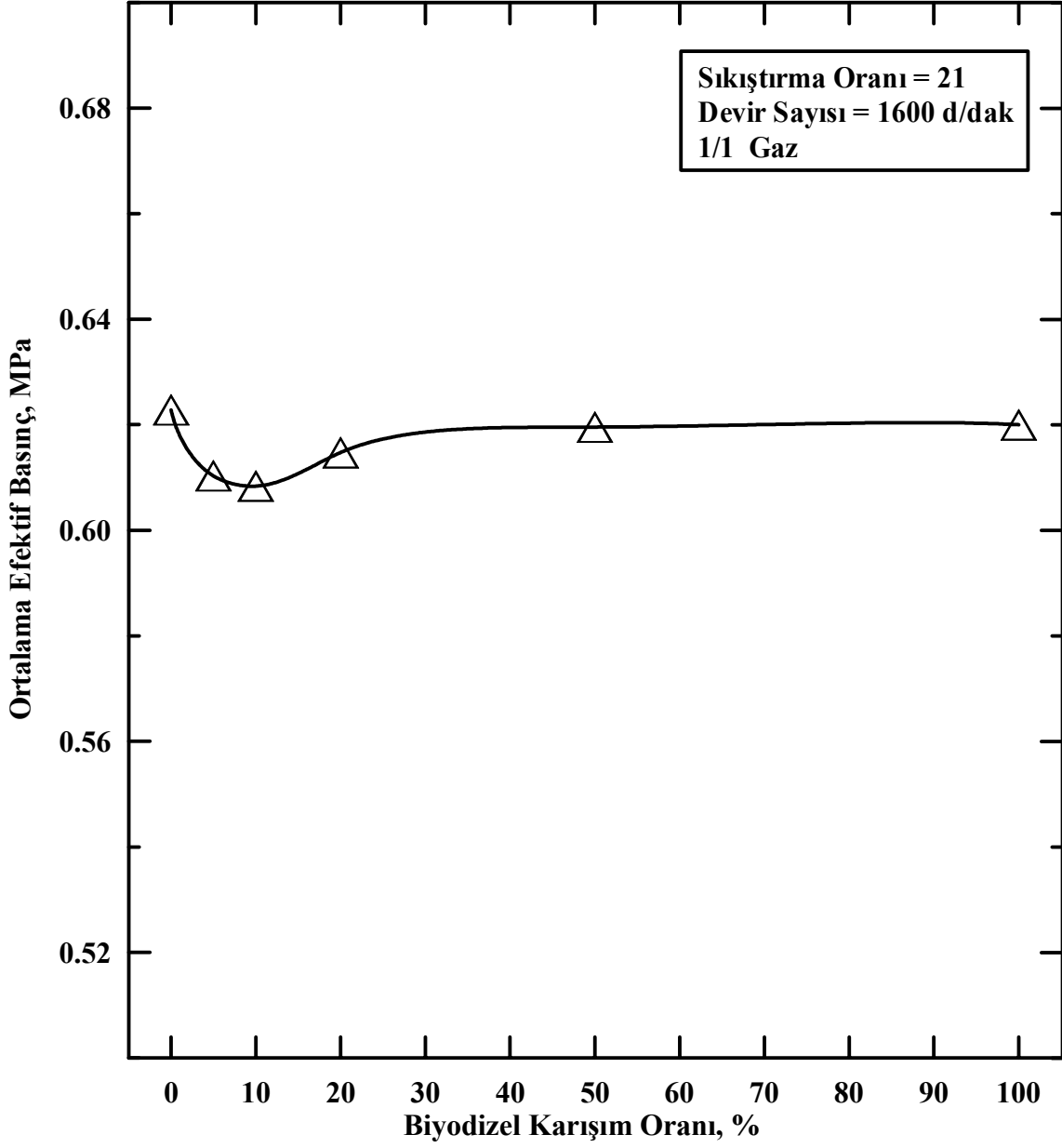
Şekil 86. $n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda ortalama efektif basıncın biyodizel karışım oranıyla değişimi



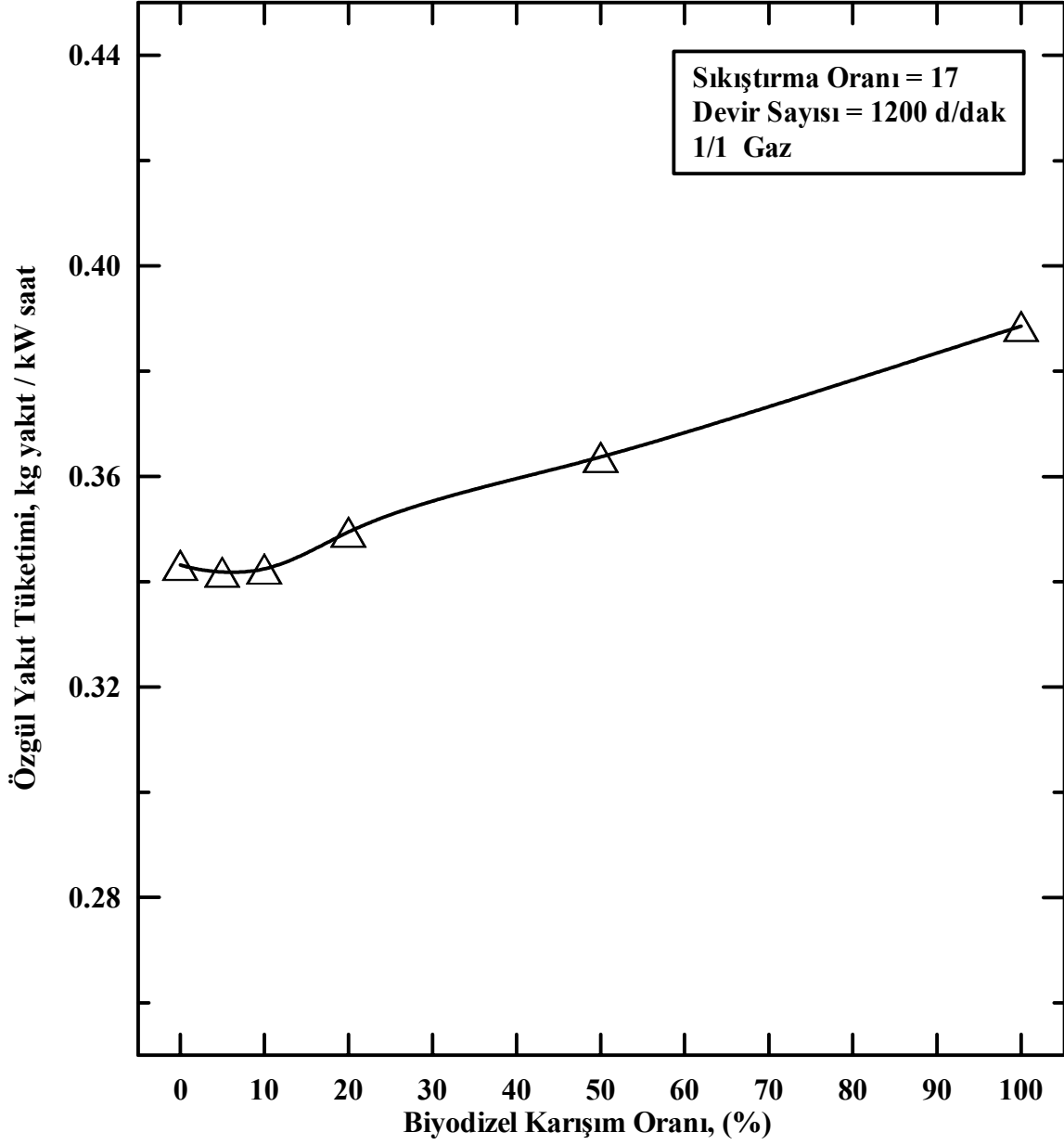
Şekil 87. $n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda ortalama efektif basıncın biyodizel karışım oranıyla değişimi



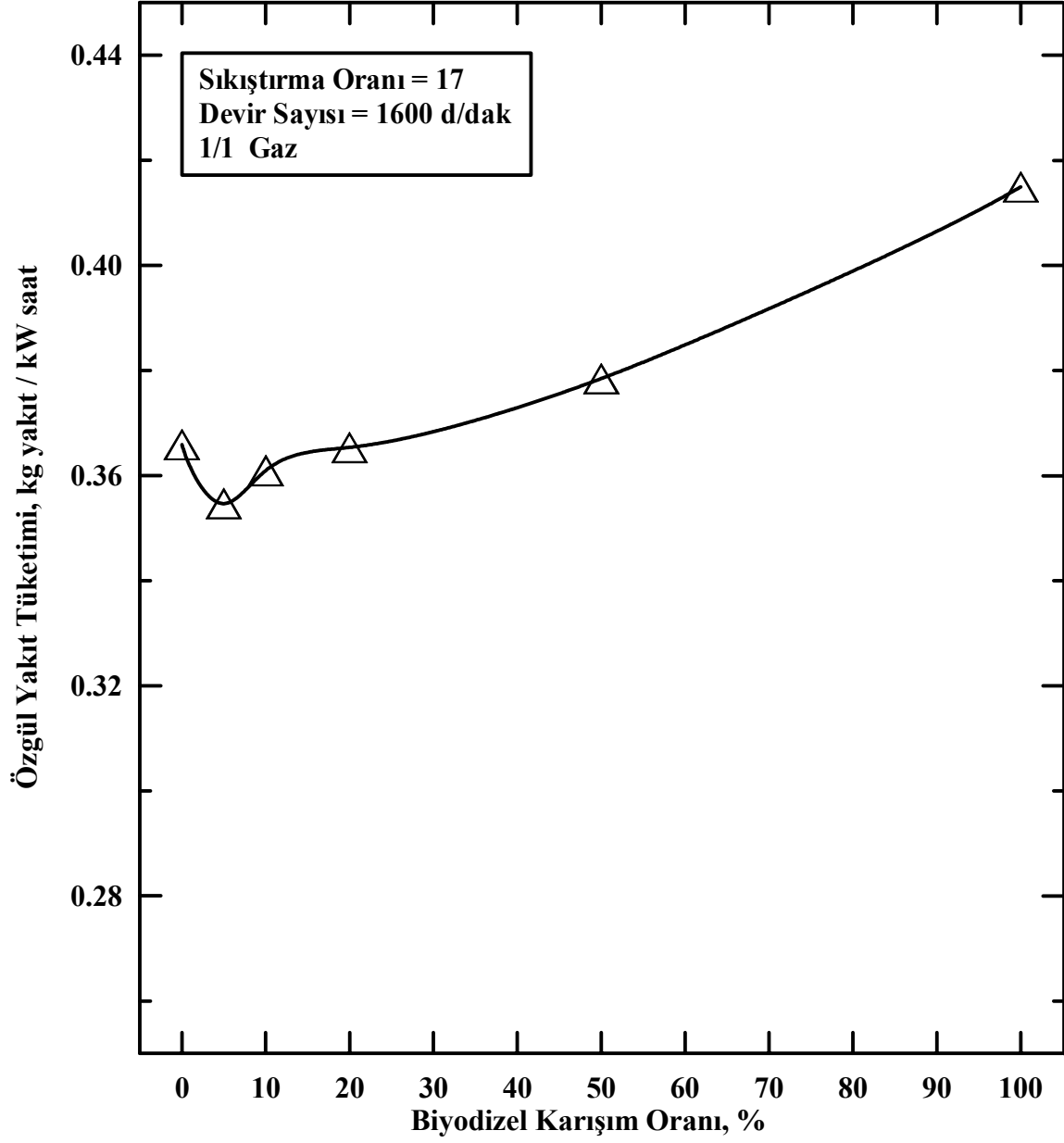
Şekil 88. $n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda ortalama efektif basıncın biyodizel karışım oranıyla değişimi



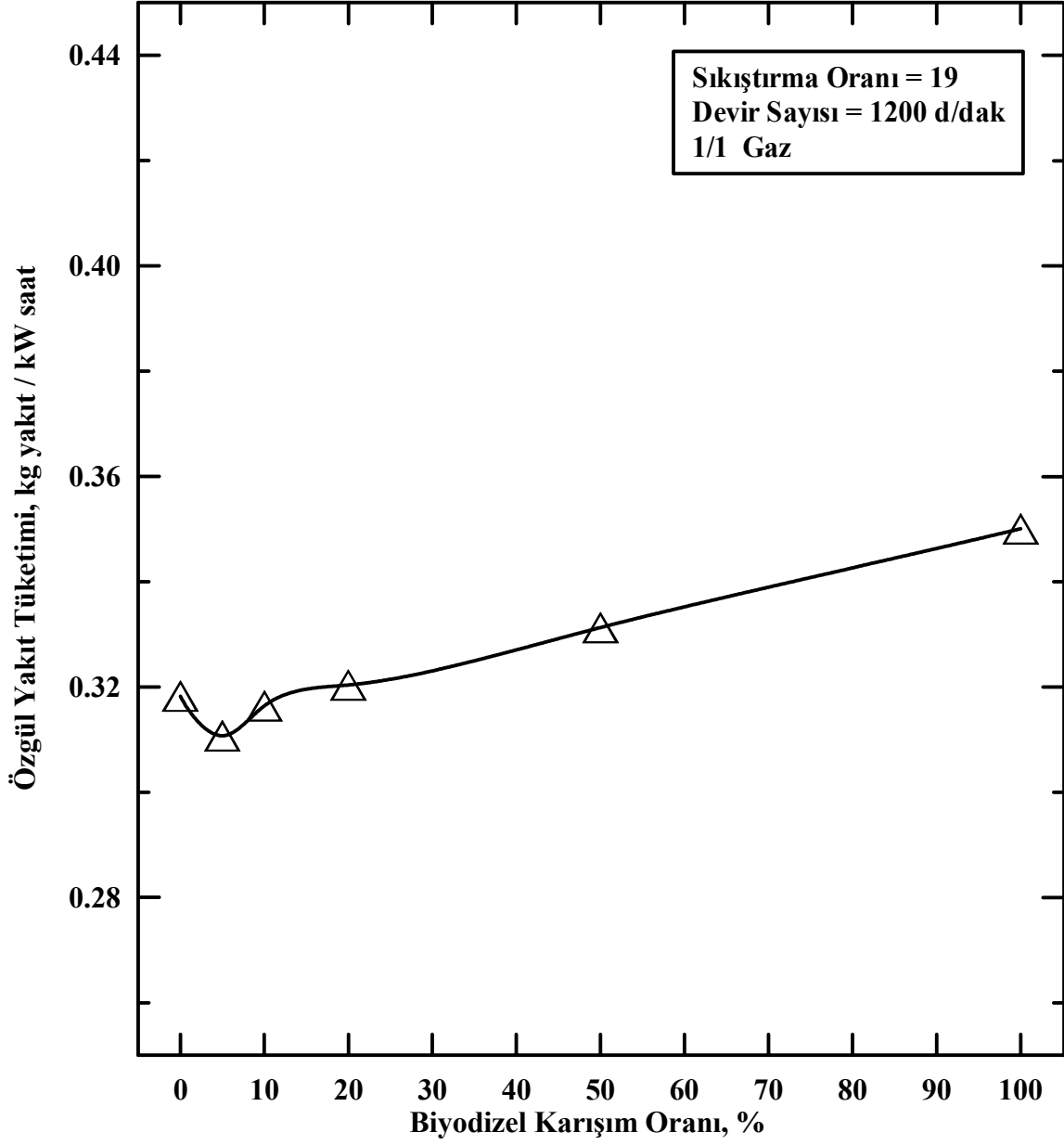
Şekil 89. $n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda ortalama efektif basıncın biyodizel karışım oranıyla değişimi



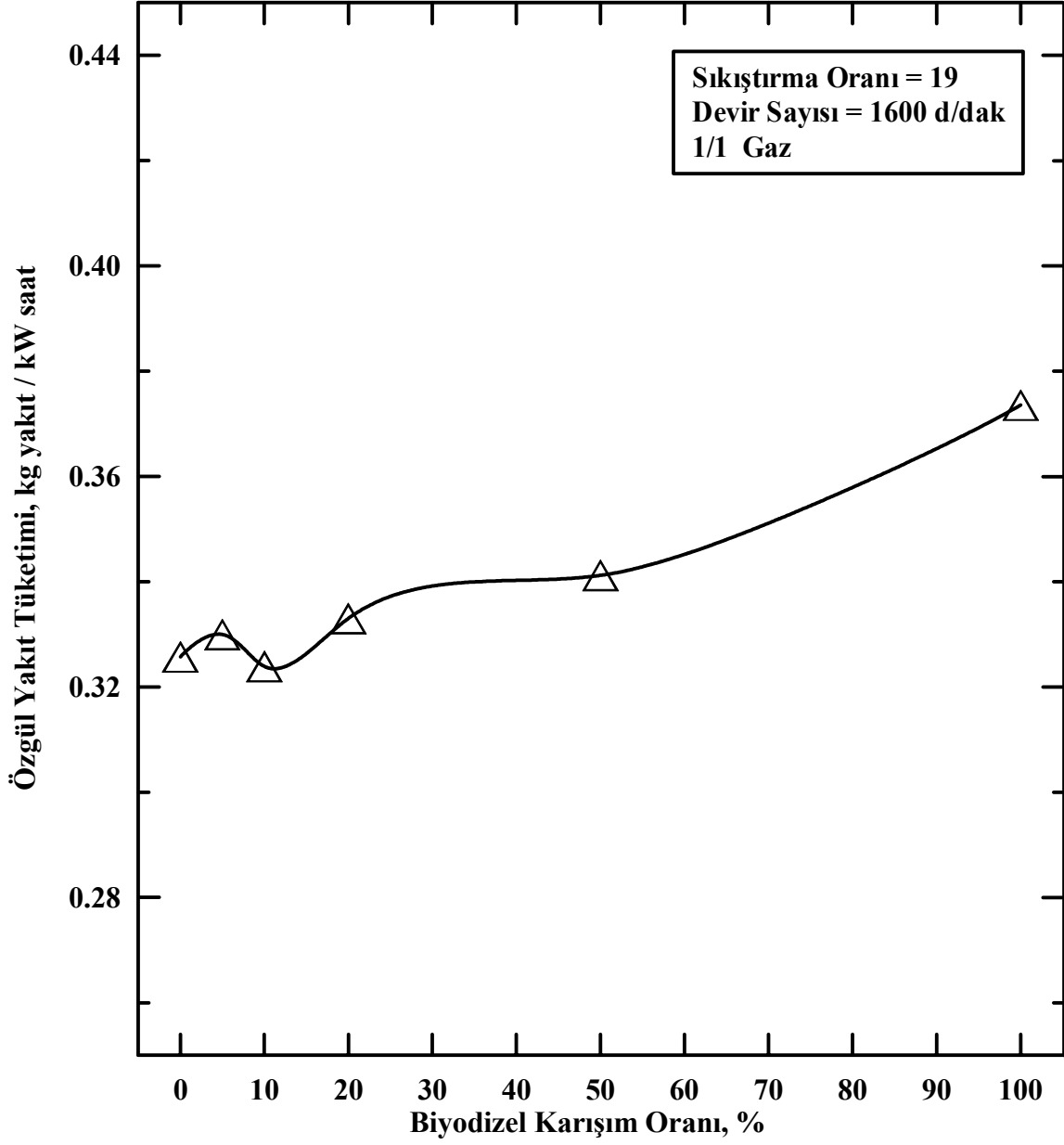
Şekil 90. $n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda özgül yakıt tüketiminin biyodizel karışım oranıyla değişimi



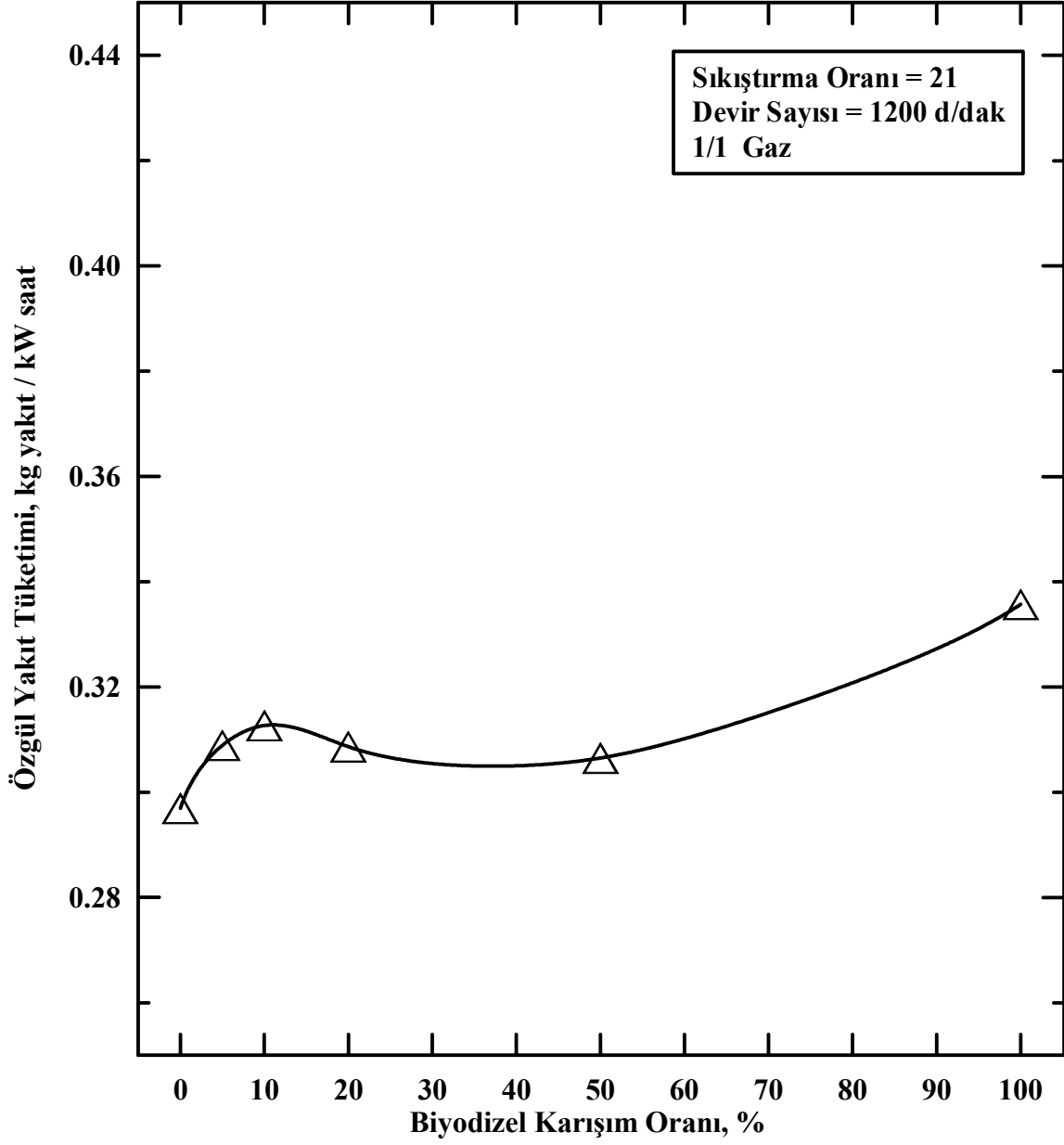
Şekil 91. $n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda özgül yakıt tüketiminin biyodizel karışım oranıyla değişimi



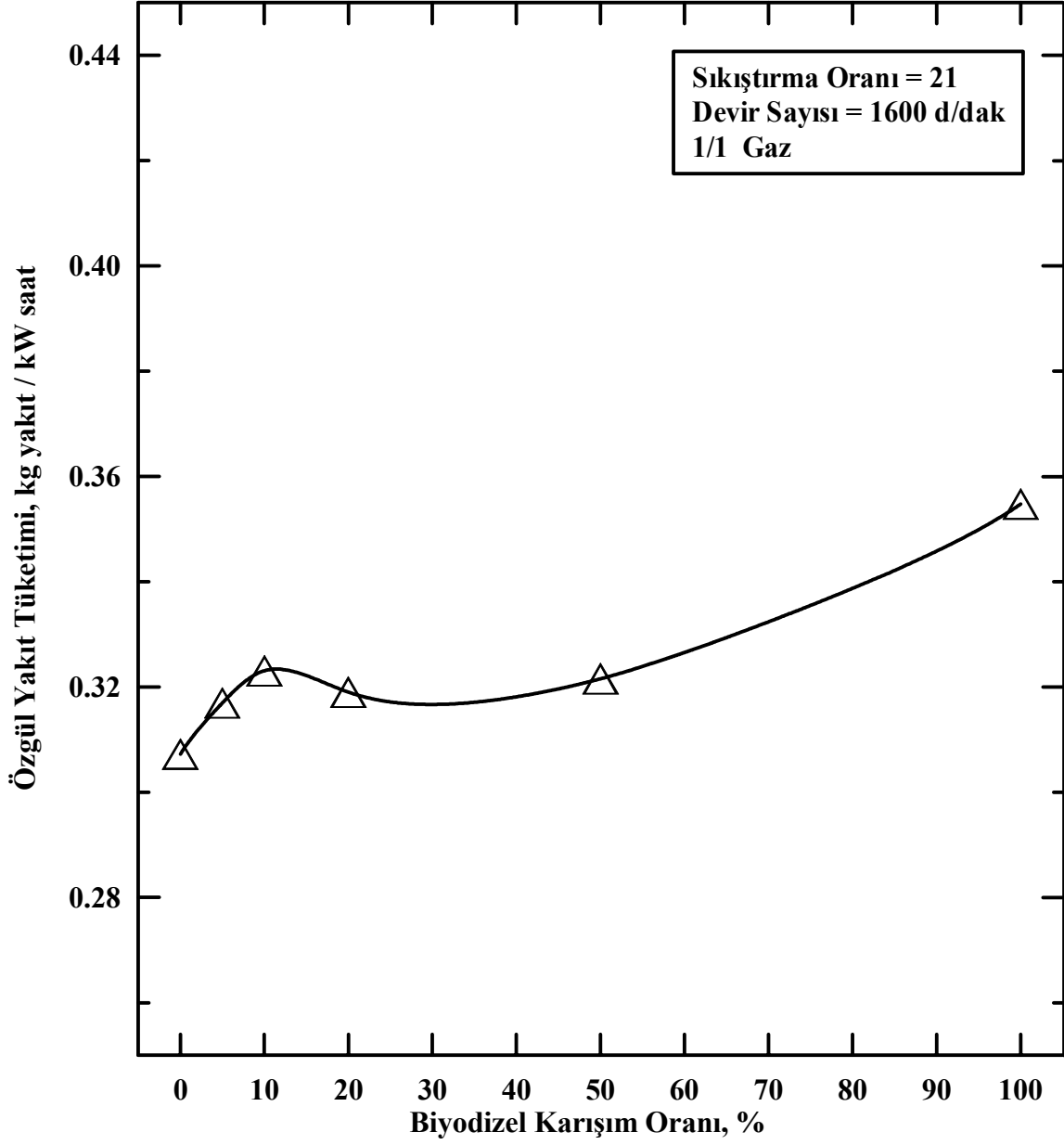
Şekil 92. $n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda özgül yakıt tüketiminin biyodizel karışım oranıyla değişimi



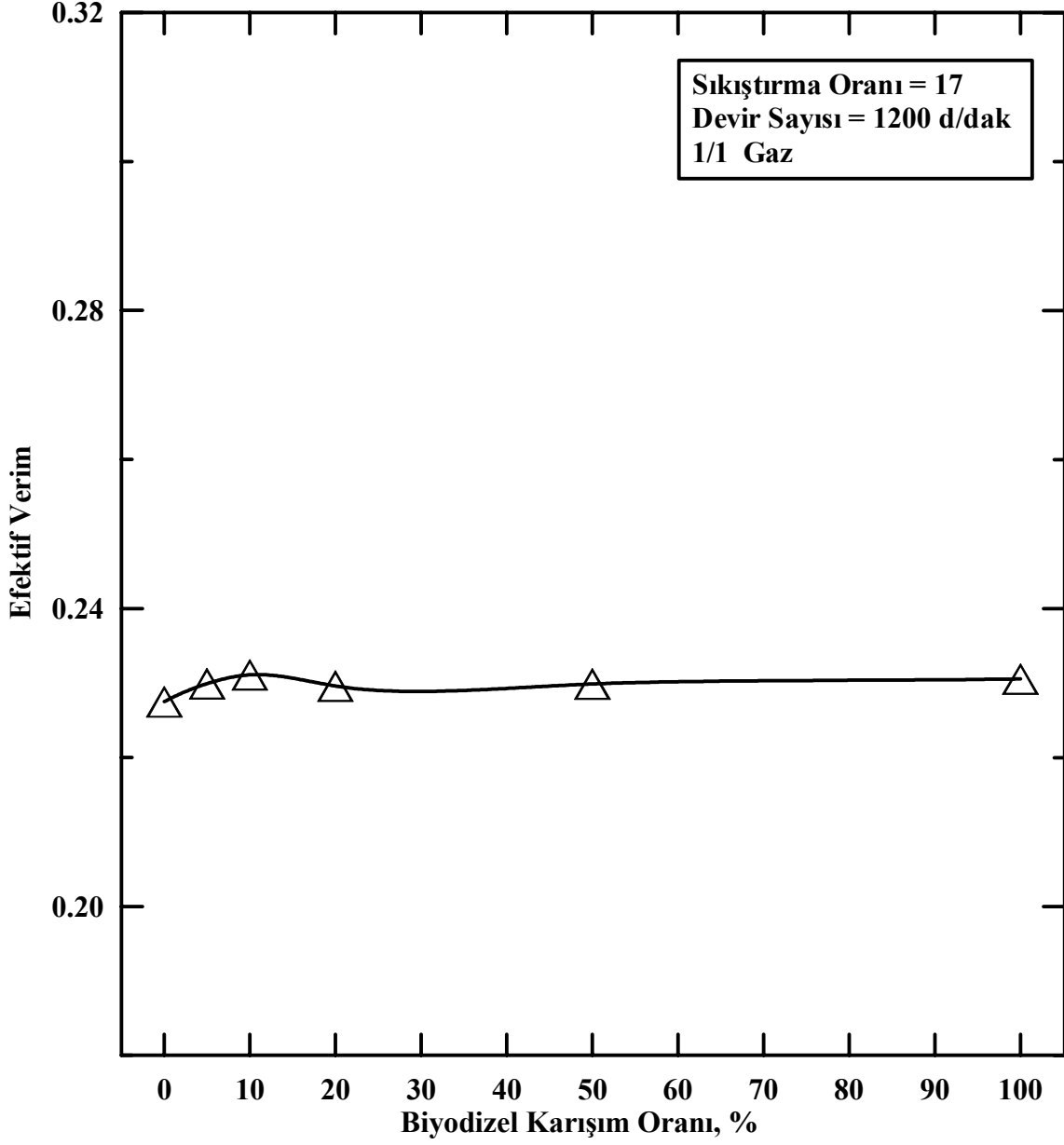
Şekil 93. $n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda özgül yakıt tüketiminin biyodizel karışım oranıyla değişimi



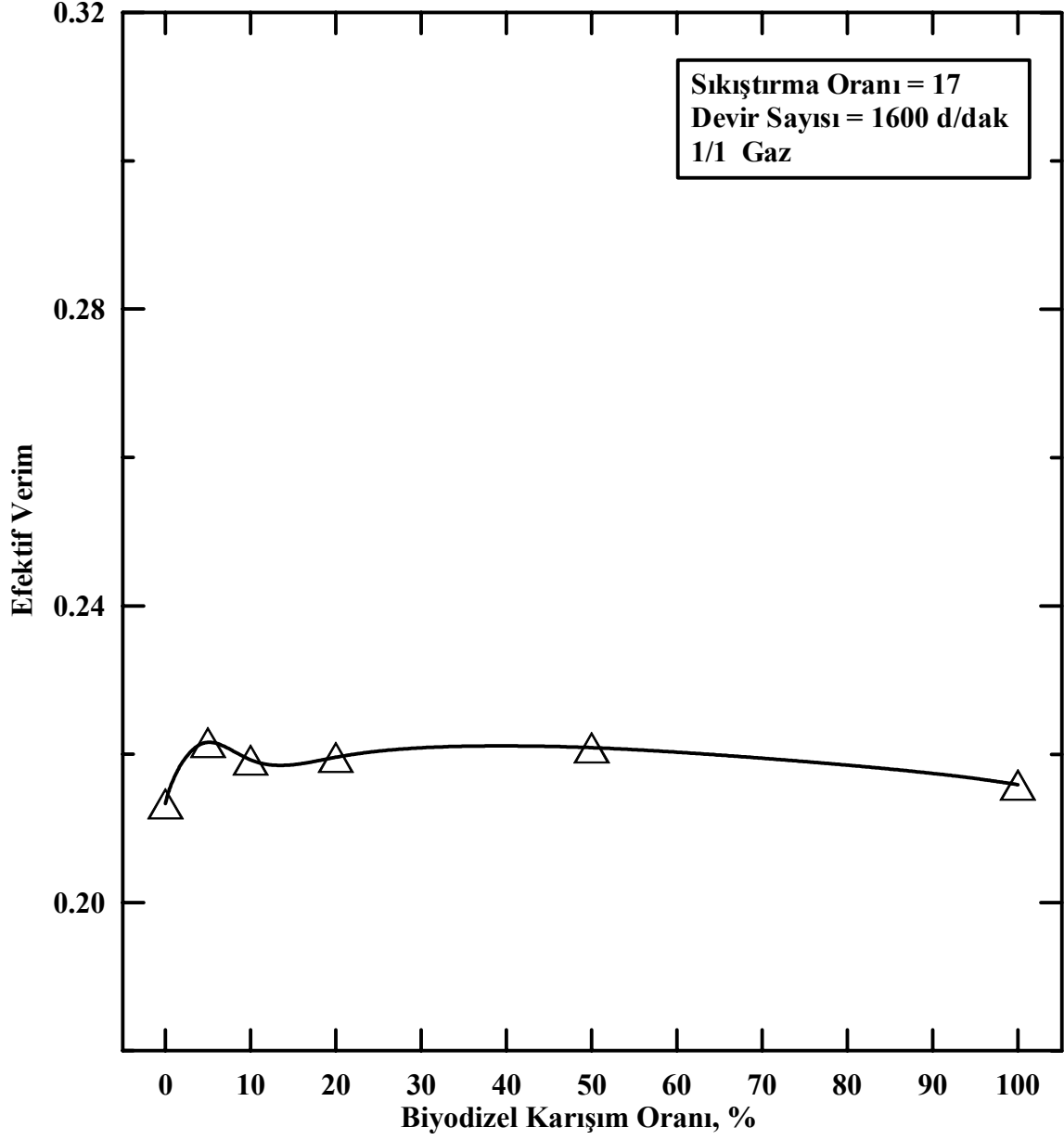
Şekil 94. $n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda özgül yakıt tüketiminin biyodizel karışım oranıyla değişimi



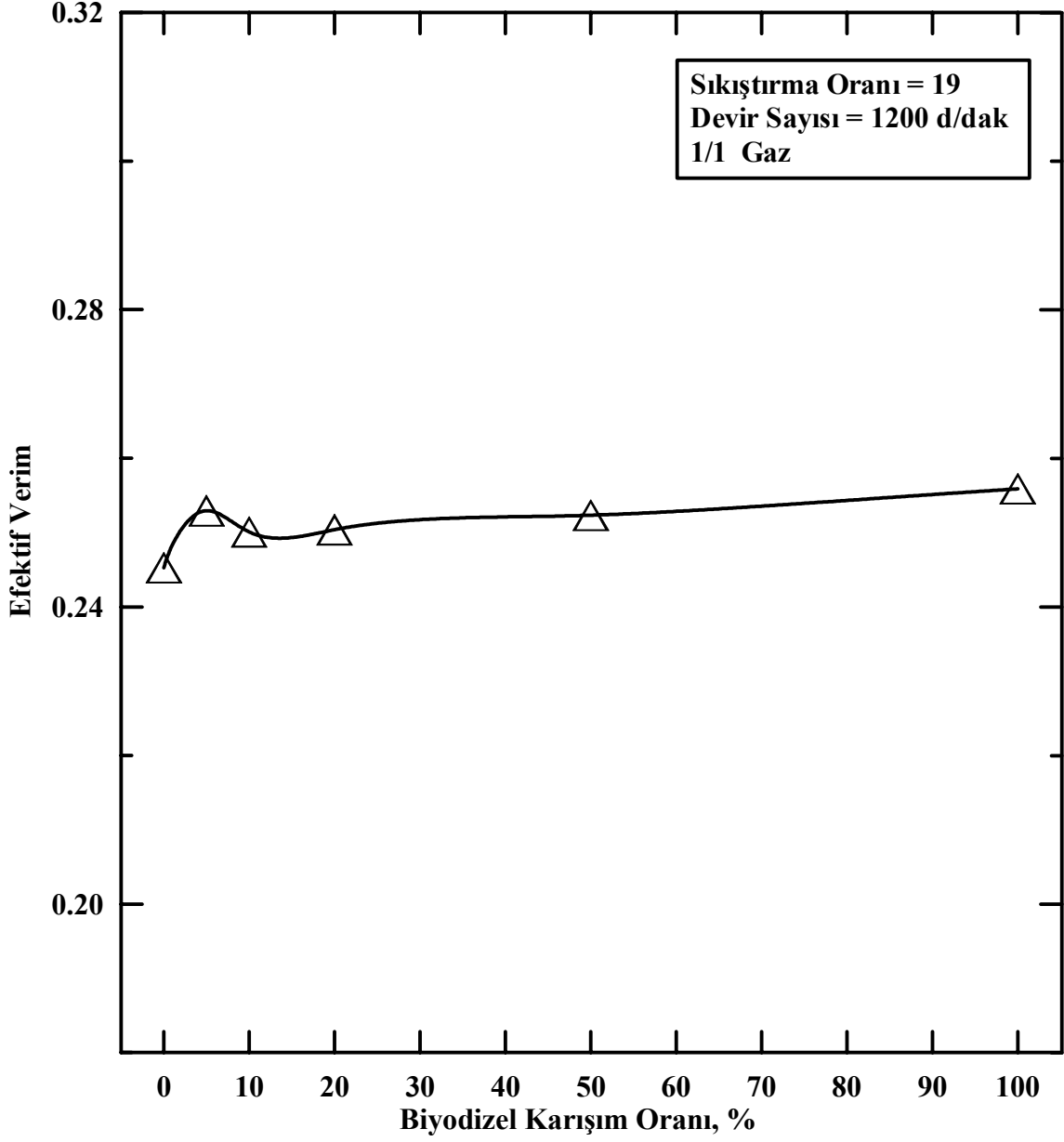
Şekil 95. $n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda özgül yakıt tüketiminin biyodizel karışım oranıyla değişimi



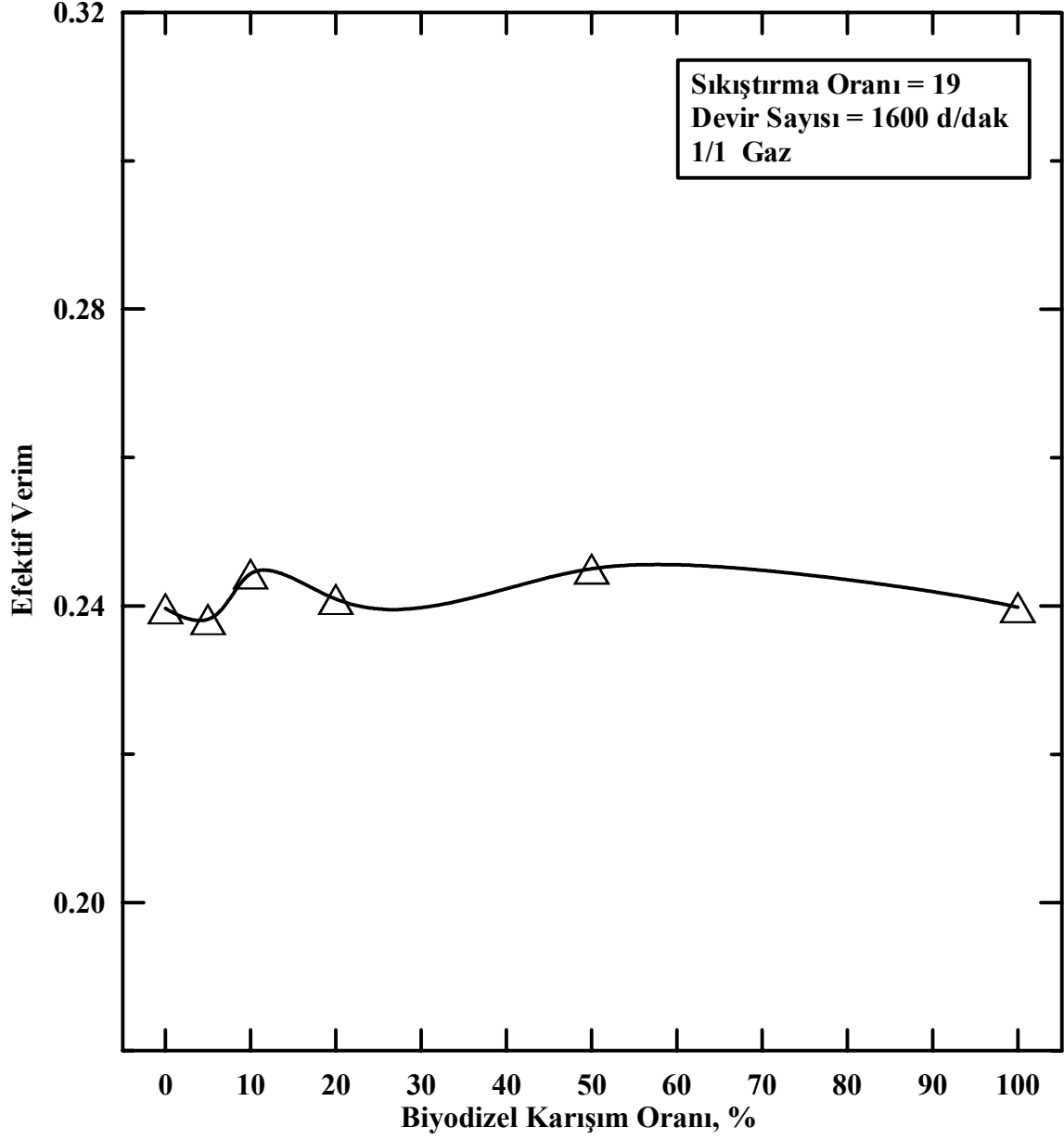
Şekil 96. $n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda efektif verimin biyodizel karışım oranıyla değişimi



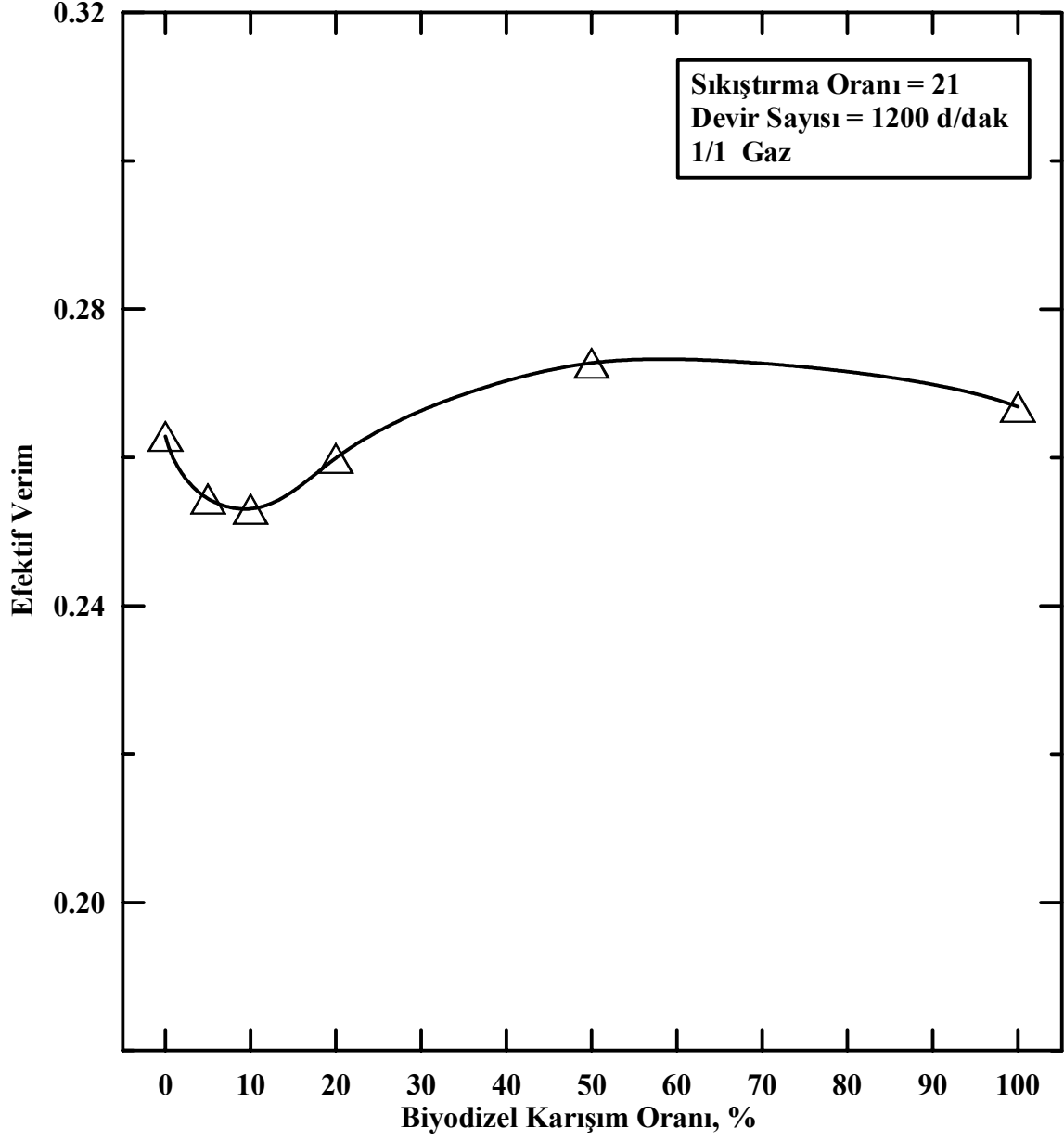
Şekil 97. $n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda efektif verimin biyodizel karışım oranıyla değişimi



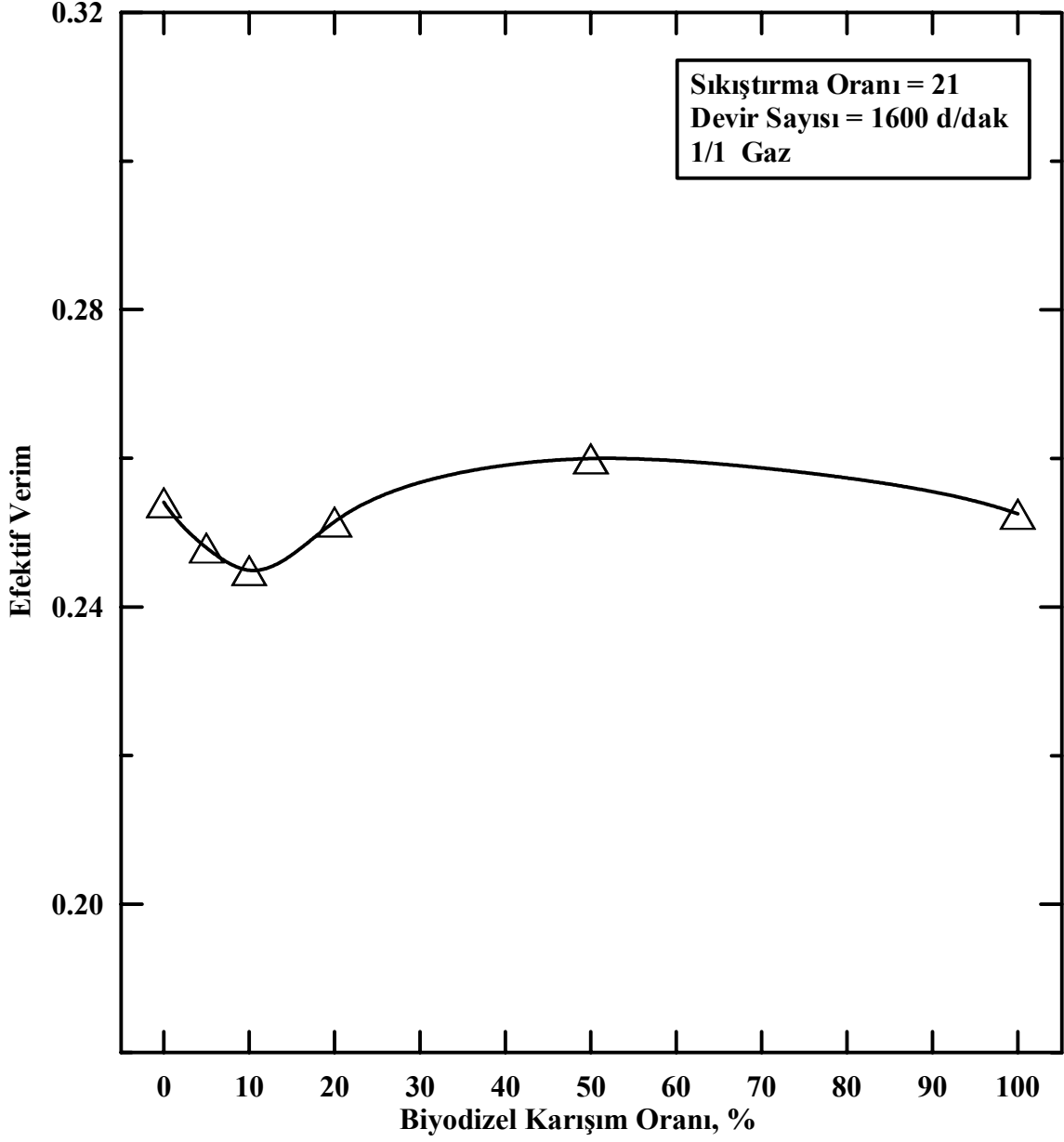
Şekil 98. $n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda efektif verimin biyodizel karışım oranıyla değişimi



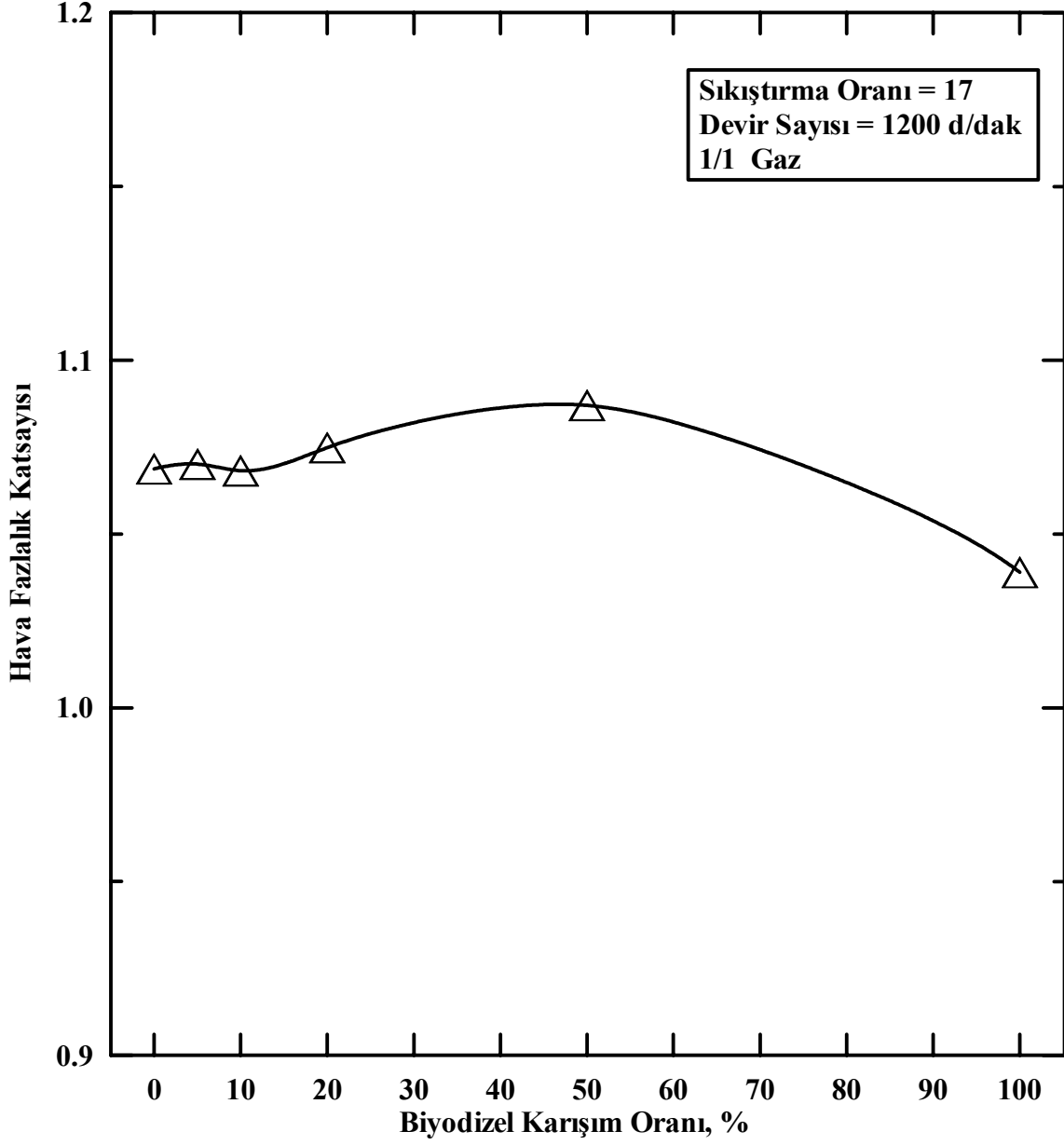
Şekil 99. $n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda efektif verimin biyodizel karışım oranıyla değişimi



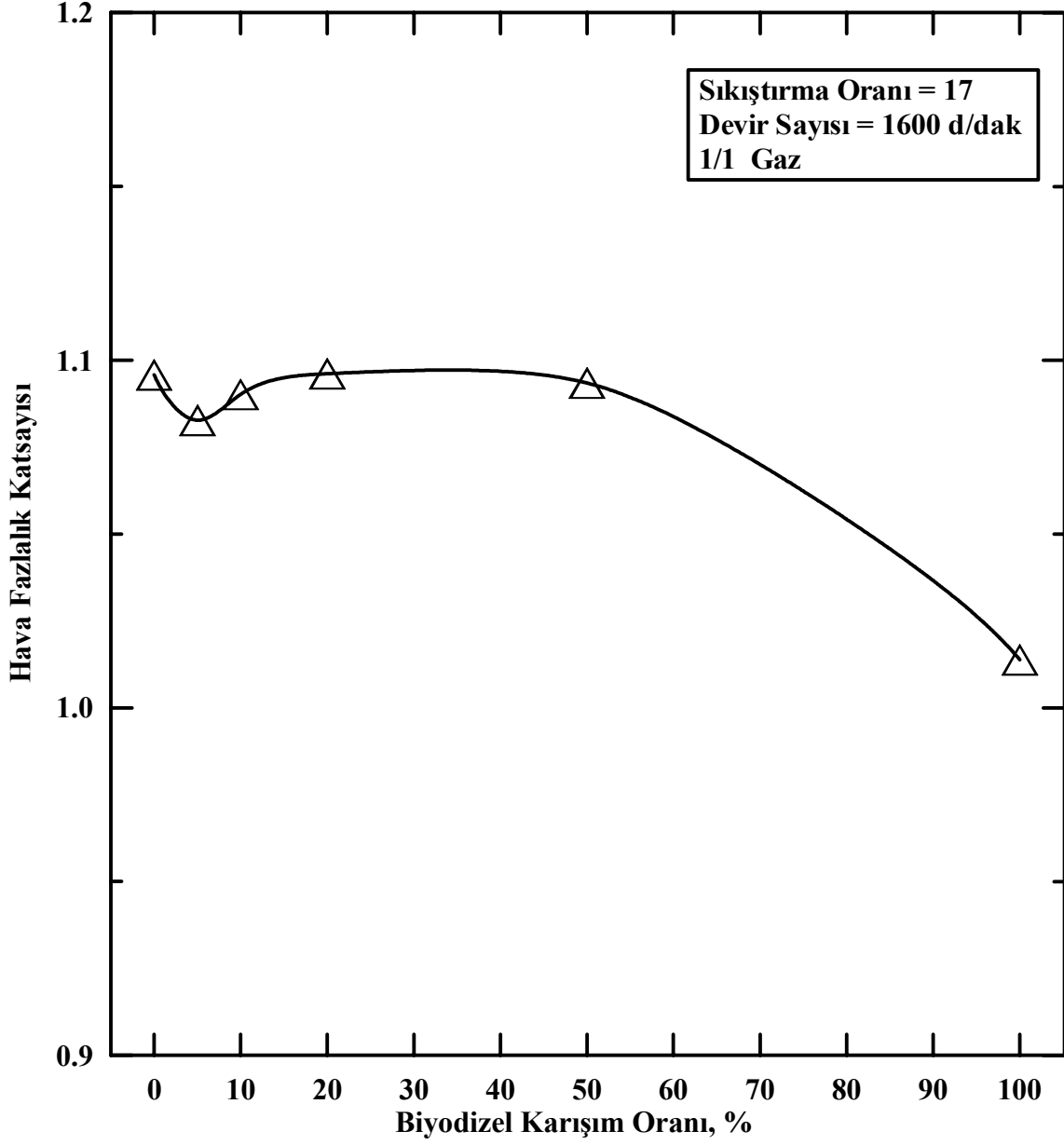
Şekil 100. $n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda efektif verimin biyodizel karışım oranıyla değişimi



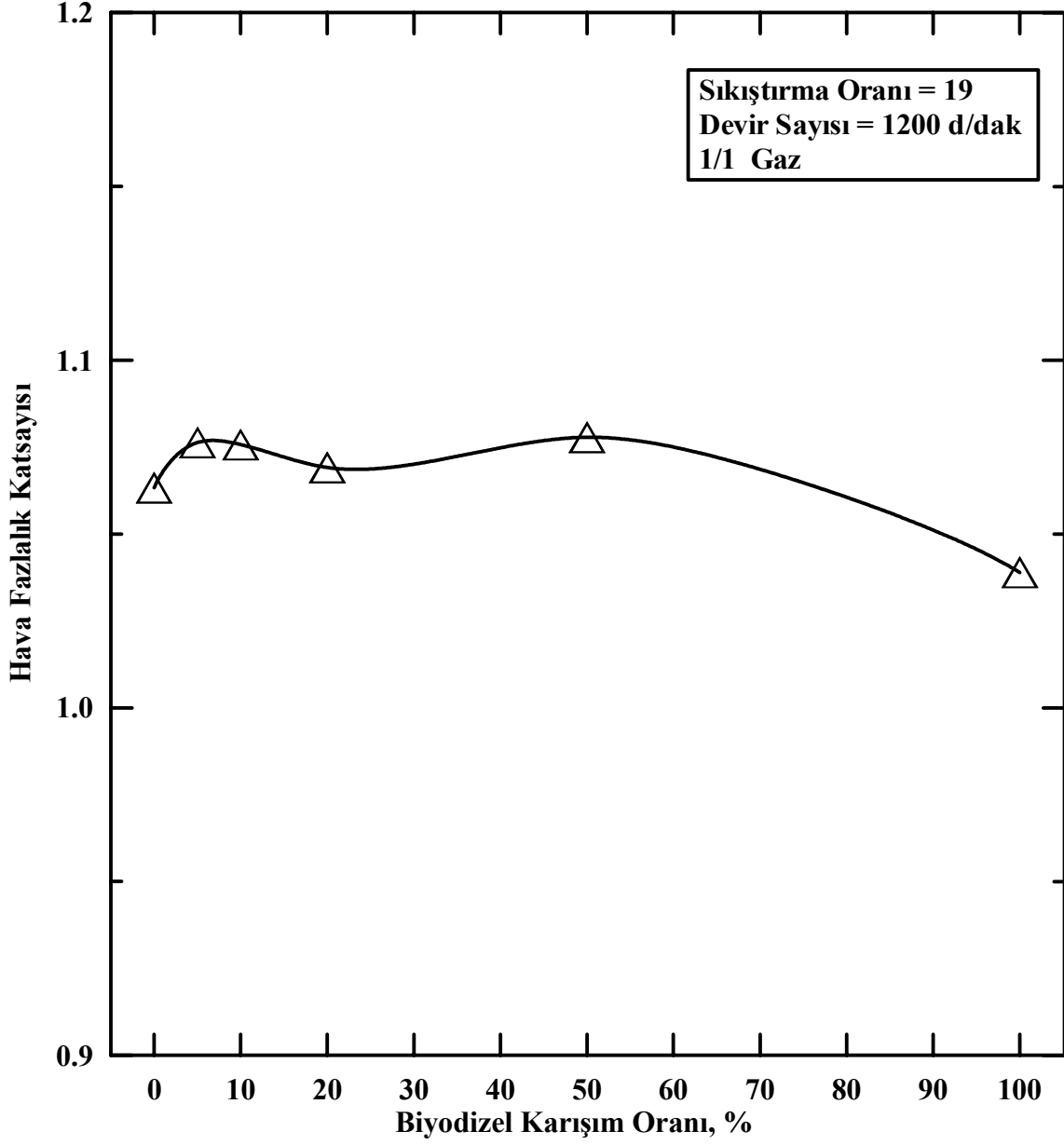
Şekil 101. $n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda efektif verimin biyodizel karışım oranıyla değişimi



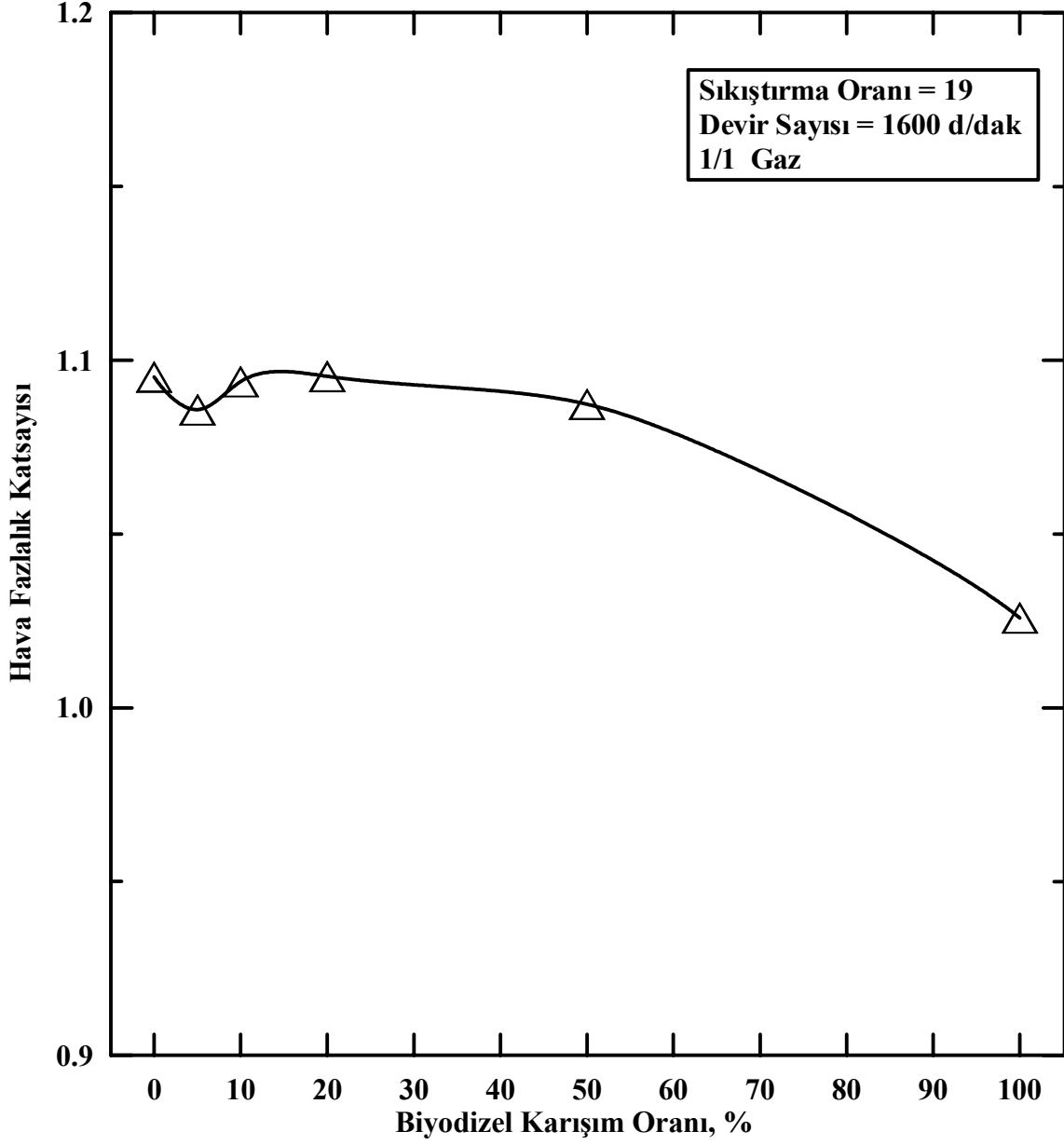
Şekil 102. $n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda hava fazlalık katsayısının biyodizel karışım oranıyla değişimi



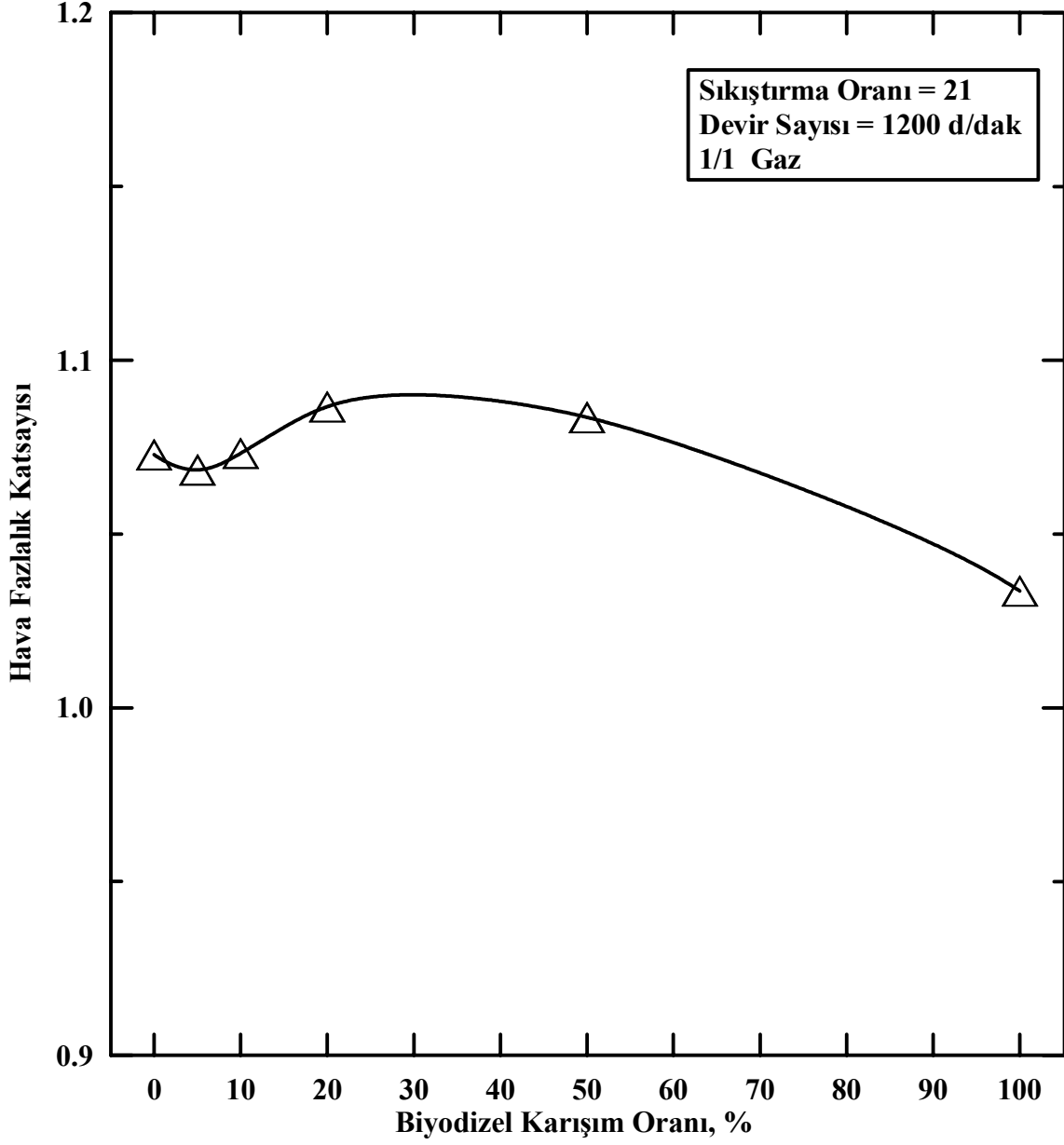
Şekil 103. $n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 17$ olması durumunda hava fazlalık katsayısının biyodizel karışım oranıyla değişimi



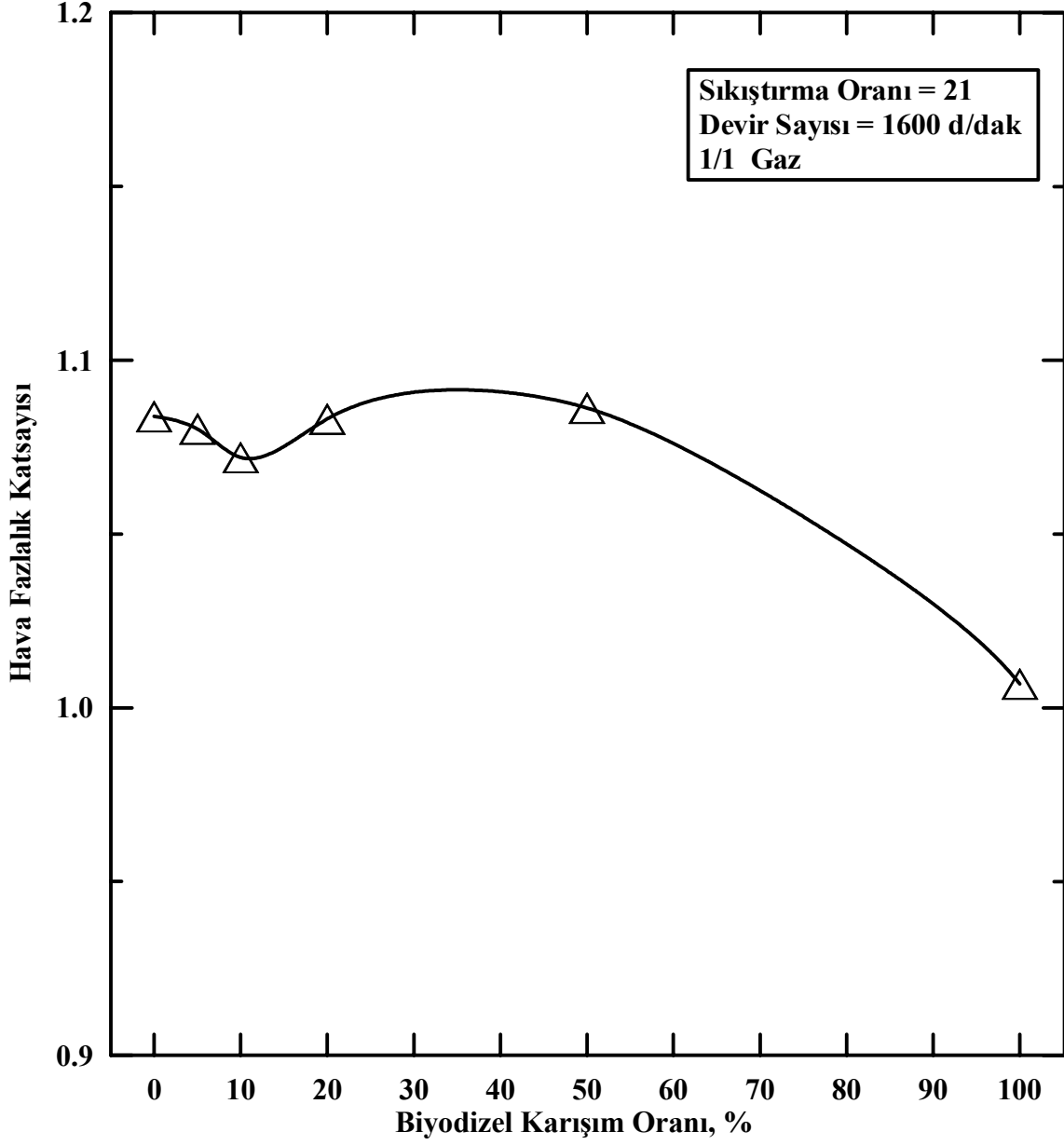
Şekil 104. $n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda hava fazlalık katsayısının biyodizel karışım oranıyla değişimi



Şekil 105. $n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 19$ olması durumunda hava fazlalık katsayısının biyodizel karışım oranıyla değişimi



Şekil 106. $n = 1200$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda hava fazlalık katsayısının biyodizel karışım oranıyla değişimi



Şekil 107. $n = 1600$ d/dak, $\varepsilon = 21$ olması durumunda hava fazlalık katsayısının biyodizel karışım oranıyla değişimi

4. SONUÇLAR

Bulgular ve tartışma bölümündeki açıklamalarda da belirtildiği gibi dizel yakıtına belli oranlarda biyodizel katılarak ya da biyodizelin saf olarak dizel motorlarında kullanılması ile döndürme momenti, efektif güç ve ortalama efektif basınç değerlerinde genel olarak çok az düşüşler görülmektedir. Bunun yanında bazı motor şartlarında bazı karışımlar için daha iyi sonuçlar elde edildiği de gözlenmiştir. Efektif verim ve hava fazlalık katsayısı değerlerinde genel olarak artışlar elde edilmiştir. Bu deneysel çalışmada elde edilen başlıca sonuçlar özet olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Tüm yakıt karışımları için döndürme momenti değerlerinde saf dizel yakıtına göre ortalama %1 ile %2 arasındaki oranlarda, buna paralel bir şekilde ortalama efektif basınç değerlerinde de %1 ile %3 arasındaki oranlarda azalmalar görülmektedir.

2. Döndürme momenti ve ortalama efektif basınç değerlerindeki değişime paralel bir şekilde tüm yakıt karışımları için efektif güç değerlerinde de saf dizel yakıtına göre %1 ile %3 arasındaki oranlarda azalmalar görülmektedir.

Döndürme momenti, ortalama efektif basınç ve efektif güç değerlerindeki bu azalma, biyodizelin ısı değerinin saf dizel yakıtının ısı değerinden %12,85 oranında daha düşük olması ve viskozite değerinin ise yine saf dizel yakıtına göre %59,7 oranında daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu oranlara nazaran performans değerlerindeki düşüşün çok az olması, biyodizelin yoğunluğunun saf dizel yakıtına göre daha yüksek olması ve yapısında oksijen bulunması dolayısıyla yanmayı iyileştirerek aradaki bu farkı dengelemesinin bir sonucudur.

3. Özgül yakıt tüketimi değerlerinde, tüm yakıt karışımları için saf dizel yakıtına göre ortalama %4 ile %13 arasındaki oranlarda bir artış görülmektedir. Bu durum, biyodizelin ısı değerinin saf dizel yakıtının ısı değerinden daha düşük olmasına rağmen aynı performansı elde edebilmek için silindire daha çok yakıt gönderilmesi gerekliliğiyle açıklanabilir. Bunun yanı sıra biyodizelin yoğunluğunun saf dizel yakıtının yoğunluğundan daha fazla olması nedeniyle silindire kütle bazında daha çok yakıt gitmesi de yakıt tüketiminin artma nedenlerindedir.

4. Efektif verim değerlerinde, tüm yakıt karışımları için saf dizel yakıtına göre ortalama %2 ile %3 arasındaki oranlarda bir artış görülmektedir. Buna benzer şekilde

hava fazlalık katsayısı değerlerinde, B100 yakıtı hariç diğer tüm yakıt karışımları için saf dizel yakıtına göre ortalama %1 oranında artış görülmektedir.

Efektif verim ve hava fazlalık katsayısı değerlerindeki artış, biyodizelin yapısında oksijen bulundurmasından kaynaklanmaktadır. B100 yakıtı için hava fazlalık katsayısı değerinin düşük çıkması ise bu yakıt için özgül yakıt tüketimi değerinin diğer yakıt karışımlarına oranla oldukça yüksek değerler vermesiyle açıklanmaktadır.

5. Düşük sıkıştırma oranlarında, yani $\varepsilon = 17$ olması durumunda, tüm performans değerleri için B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarının B50 ve B100 yakıtlarına oranla daha iyi sonuçlar verdikleri görülmüştür. Yüksek sıkıştırma oranlarında, yani $\varepsilon = 21$ olması durumunda, ise tüm performans değerleri için B50 ve B100 yakıtlarının kullanılmasıyla B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarına oranla daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum, düşük sıkıştırma oranlarında iyi bir yanma için düşük viskozite değerinin diğer etkenlere göre daha önemli olmasına karşın, yüksek sıkıştırma oranlarında iyi bir yanma için silindir içerisindeki yakıt ve oksijen miktarının fazla olmasının diğer etkenlere göre daha önemli olmasına bağlı olarak açıklanabilir. Böylelikle düşük sıkıştırma oranlarında viskozitesi daha düşük olan B05, B10 ve B20 yakıt karışımları viskozitesi yüksek olan B50 ve B100 yakıtlardan daha iyi sonuç vermektedir. Yüksek sıkıştırma oranlarında ise yoğunlukları ve yapılarındaki oksijen miktarları daha fazla olan B50 ve B100 yakıtları kullanıldığında; B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarına göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.
6. Devir sayısının artmasıyla birlikte saf dizel yakıtı, B05, B10, B20, B50 ve B100 yakıtlarının performans değerleri arasındaki fark azalmaktadır. Yani devir sayısı arttıkça elde edilen sonuçlar birbirlerine yaklaşmaktadır.

5. ÖNERİLER

Bu deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında aşağıdaki öneriler yapılabilir.

1. Benzer deneyler farklı deney motorları ve taşıt motorlarıyla da yapılarak elde edilen sonuçlar genelleştirilebilir.
2. Modern eksoz ölçüm cihazları kullanılarak emisyon ölçümlerinin de yapılmasıyla yanma hakkında daha ayrıntılı sonuçlara ulaşılabilir.
3. Deneylede kullanılan yakıt ve yakıt karışımları için viskozite, ısıl değer ve yoğunluk ölçümleri gerçekleştirilebilmiştir. İleriki çalışmalarda bu özelliklere ek olarak başta setan sayısı olmak üzere diğer fiziksel ve kimyasal özelliklerin de belirlenmesi, elde edilen sonuçların daha sağlıklı yorumlanmasında katkı sağlayacaktır.
4. İlerideki çalışmalarda biyodizelin üretim aşaması da laboratuvar şartlarında gerçekleştirilerek, sıcaklık ve diğer bazı parametrelerin üretilen biyodizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkileri de araştırılarak, dizel motorlarına daha uygun biyodizel üretimi konusunda da çalışmalar yapılabilir.
5. Farklı bitkisel, hayvansal ve atık yağlardan biyodizel üretimi gerçekleştirilerek, motorlara en uygun yakıt ve yakıt karışımlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar genişletilebilir.
6. Performans deneylerinin yanı sıra biyodizel yakıtının motorlarda uzun süreli kullanılması durumunda çeşitli motor elemanları üzerindeki etkilerinin incelenmesine yönelik çalışmalar da gerçekleştirilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Akdere, Y., 2006. Soya Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarda Yakıt olarak Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Bayraktar, H. ve Durgun O., 2004. Investigation the Effects of LPG on Spark Ignition Engine Combustion and Performance, Energy Conversion and Management 46, 2317-2333.
- Bayraktar, H., 2005. Experimental and Theoretical Investigation of Using Gasoline-Ethanol Blends in Spark-Ignition Engines, Renewable Energy 30, 1733-1747.
- Bayraktar, H., 2007. An Experimental Study on the Performance Parameters of an Experimental CI Engine Fueled with Diesel-Methanol-Dodecanol Blends, Fuel 87, 158-164.
- Bilgin, A., Durgun, O. ve Şahin, Z., 2002. The Effects of Diesel-Ethanol Blends on Diesel Engine Performance, Energy Sources, 24, 432-440.
- Bilgin, A. ve Sezer, İ., 2008. Effects of Methanol Addition to Gasoline on the Performance and Fuel Cost of a Spark Ignition Engine, Energy & Fuels, 22, 2782-2788.
- Cıgızoğlu, K.B., Özaktaş, T. ve Karaosmanoğlu, F., 1997. Used Sunflower Oil as an Alternative Fuel for Diesel Engines, Energy Sources, 19, 559-566.
- Demirbaş, A., 2002. Biodiesel Fuels from Vegetable Oils Via Catalytic and Non-Catalytic Supercritical Alcohol Transesterifications and Other Methods: a survey, Energy Conversion and Management 44, 2093-2109.
- Demirsoy, M. ve Kındıroğlu, K., 1997. Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt olarak Değişik Yağların Kullanılması, 1. Uluslar Arası Katılımlı Otomotiv Teknolojisi Kongresi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Adana.
- Dizar, Ö., 2003. Kullanılmış Kızartma Yağı Metil Esterinin Alternatif Dizel Yakıtı olarak Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Durgun, O., 1995. Motorlarda Deneysel Yöntemler, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Trabzon.
- Durgun, O. ve Şahin, Z., 2004. Etanol Fumigasyonunun Dizel Motoru Çevrim Parametreleri, Motor Karakteristikleri ve Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkisi, 8. Uluslar Arası Yanma Sempozyumu, Gazi Üniversitesi, Ankara.

- Enerji Raporu, 2001. Türkiye Enerji Raporu, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara.
- Hacıkadiroğlu, H., 2007. Bitkisel Yağ Esterleri-Motorin Karışımının Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İlkılıç, C. ve Öner, C., 2003. Bir Dizel Motorunda Ayçiçek Yağı Metil Esteri ile Motorin Karışımı Kullanılarak Egzoz Gazı Emisyonlarının İncelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Elazığ, 15, 579-588.
- Karabektaş, M., 2002. Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt olarak Biodizel Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- McDonnel, K. P., Ward, S. M., Mc Nully, P. B. ve Howard-Hildige, R., 2000. Results of Engine and Vehicle Testing of Semi-Refined Rapeseed Oil, Transactions of the ASAE, 43, 1309-1316.
- Ölçüm, T., 2006. Biyodizel Teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özcan, S., 2006. Biyodizel ve Motorin ile Çalıştırılan Örnek Taşıtın Standart Seri Çevrimlerinde Tükettiği Yakıt ve Yayıdığı Emisyonun Nümerik Yöntemle Etüdü, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pulkrabek, W. W., 2004. Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, Second Edition, Pearson Prentice-Hall, U.S.A.
- Schmidt, K. ve Gerpen, J.H.V., 1996. The Effect of Biodiesel Fuel Composition on Diesel Combustion and Emissions, SAE Tech. Paper, U.S.A., 39, 805-816.
- Sezer, İ., 2002. 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.
- Şen, Z., Karaosmanoğlu, F., Şahin, A. D., Öztopal, A. ve Çetinkaya, M., 2004. V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Usta, N., Can, Ö. ve Öztürk, E., 2004. Yüksek Serbest Yağ Asitlerine Sahip Bitkisel Yağ Kaynaklarından Biyodizel Üretimi ve Dizel Motorunda Kullanımı, 8. Uluslararası Yanma Sempozyumu, Gazi Üniversitesi, Ankara, 252-262.

Yücesu, H. S., Altın, R. ve Çetinkaya S., 2001. Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelenmesi, Türk J Engin Environ Sci, TÜBİTAK, 25, 39-49.

URL-1, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=467>, Türkiye'deki taşıt sayısı. 27 Mayıs 2007.

7. EKLER

Ek Tablo 1. $\varepsilon = 17$ olması durumunda, saf dizel yakıtı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Döndürme Momenti [Nm]	33,600	33,600	33,400	33,600	33,400	33,300	32,950	31,050
Efektif Güç [kW]	3,242	3,602	3,938	4,322	4,654	4,997	5,298	5,325
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,566	0,566	0,563	0,566	0,563	0,561	0,555	0,523
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,347	0,345	0,347	0,343	0,343	0,347	0,349	0,366
Efektif Verim	0,225	0,226	0,225	0,227	0,227	0,225	0,224	0,213
Hava Fazlalık Katsayısı	1,097	1,074	1,069	1,069	1,066	1,072	1,068	1,096

Ek Tablo 2. $\varepsilon = 19$ olması durumunda, saf dizel yakıtı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Döndürme Momenti [Nm]	37,100	36,600	36,250	35,800	35,700	35,550	35,400	34,800
Efektif Güç [kW]	3,581	3,925	4,276	4,607	4,977	5,337	5,695	5,971
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,625	0,617	0,611	0,603	0,602	0,599	0,597	0,587
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,308	0,313	0,315	0,318	0,321	0,321	0,323	0,326
Efektif Verim	0,253	0,249	0,248	0,245	0,243	0,243	0,242	0,240
Hava Fazlalık Katsayısı	1,094	1,080	1,068	1,063	1,061	1,082	1,069	1,095

Ek Tablo 3. $\varepsilon = 21$ olması durumunda, saf dizel yakıtı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Döndürme Momenti [Nm]	38,550	38,250	38,600	38,350	38,250	37,950	37,700	36,950
Efektif Güç [kW]	3,720	4,102	4,553	4,935	5,332	5,697	6,064	6,340
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,650	0,645	0,651	0,646	0,645	0,640	0,635	0,623
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,297	0,301	0,295	0,297	0,298	0,301	0,303	0,307
Efektif Verim	0,263	0,259	0,265	0,263	0,262	0,259	0,257	0,254
Hava Fazlalık Katsayısı	1,093	1,081	1,071	1,073	1,070	1,075	1,072	1,084

Ek Tablo 4. $\varepsilon = 17$ olması durumunda, B05 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Döndürme Momenti [Nm]	35,300	35,100	34,450	34,350	34,300	34,050	33,450	32,650
Efektif Güç [kW]	3,386	3,741	4,039	4,393	4,753	5,081	5,348	5,568
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,591	0,588	0,577	0,576	0,575	0,570	0,560	0,547
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,336	0,333	0,344	0,342	0,340	0,342	0,349	0,355
Efektif Verim	0,234	0,236	0,228	0,230	0,231	0,230	0,225	0,222
Hava Fazlalık Katsayısı	1,083	1,086	1,056	1,070	1,072	1,073	1,061	1,083

Ek Tablo 5. $\varepsilon = 19$ olması durumunda, B05 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Döndürme Momenti [Nm]	36,750	36,650	37,050	36,650	36,300	36,200	35,700	34,900
Efektif Güç [kW]	3,526	3,908	4,345	4,689	5,031	5,404	5,710	5,954
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,616	0,614	0,621	0,614	0,608	0,607	0,598	0,585
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,309	0,312	0,312	0,311	0,317	0,324	0,326	0,330
Efektif Verim	0,254	0,252	0,252	0,253	0,248	0,243	0,241	0,238
Hava Fazlalık Katsayısı	1,106	1,097	1,067	1,076	1,069	1,065	1,059	1,086

Ek Tablo 6. $\varepsilon = 21$ olması durumunda, B05 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Döndürme Momenti [Nm]	35,700	36,600	36,950	37,100	37,050	36,900	36,600	36,400
Efektif Güç [kW]	3,427	3,904	4,336	4,749	5,138	5,510	5,856	6,212
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,599	0,614	0,620	0,622	0,621	0,619	0,614	0,610
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,324	0,319	0,312	0,309	0,312	0,315	0,317	0,317
Efektif Verim	0,242	0,247	0,252	0,254	0,252	0,249	0,248	0,248
Hava Fazlalık Katsayısı	1,108	1,072	1,067	1,068	1,061	1,067	1,067	1,080

Ek Tablo 7. $\varepsilon = 17$ olması durumunda, B10 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Döndürme Momenti [Nm]	33,850	34,450	34,850	34,350	34,000	33,950	33,400	32,200
Efektif Güç [kW]	3,246	3,670	4,084	4,392	4,709	5,064	5,338	5,489
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,567	0,577	0,584	0,575	0,569	0,569	0,559	0,539
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,349	0,343	0,342	0,342	0,345	0,346	0,352	0,361
Efektif Verim	0,227	0,230	0,232	0,231	0,229	0,229	0,225	0,219
Hava Fazlalık Katsayısı	1,099	1,075	1,050	1,068	1,068	1,076	1,065	1,090

Ek Tablo 8. $\varepsilon = 19$ olması durumunda, B10 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Döndürme Momenti [Nm]	36,150	36,250	36,750	36,600	36,100	36,000	35,650	35,350
Efektif Güç [kW]	3,468	3,864	4,309	4,681	5,002	5,372	5,699	6,028
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,606	0,607	0,616	0,613	0,605	0,603	0,597	0,592
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,316	0,318	0,318	0,316	0,321	0,321	0,326	0,324
Efektif Verim	0,250	0,249	0,249	0,250	0,246	0,246	0,243	0,244
Hava Fazlalık Katsayısı	1,112	1,092	1,075	1,076	1,062	1,079	1,074	1,094

Ek Tablo 9. $\varepsilon = 21$ olması durumunda, B10 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Döndürme Momenti [Nm]	36,600	37,000	37,300	37,100	36,800	36,800	36,550	36,300
Efektif Güç [kW]	3,512	3,945	4,375	4,747	5,101	5,493	5,845	6,193
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,613	0,620	0,625	0,622	0,617	0,617	0,613	0,608
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,318	0,317	0,316	0,313	0,319	0,318	0,320	0,323
Efektif Verim	0,249	0,250	0,250	0,253	0,248	0,248	0,247	0,245
Hava Fazlalık Katsayısı	1,114	1,091	1,064	1,073	1,072	1,067	1,067	1,072

Ek Tablo 10. $\varepsilon = 17$ olması durumunda, B20 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Döndürme Momenti [Nm]	34,500	34,350	34,450	34,050	33,800	33,900	33,300	31,950
Efektif Güç [kW]	3,299	3,650	4,027	4,342	4,669	5,043	5,308	5,432
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,576	0,574	0,575	0,569	0,565	0,566	0,556	0,534
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,341	0,344	0,348	0,349	0,348	0,349	0,354	0,365
Efektif Verim	0,235	0,233	0,230	0,230	0,230	0,230	0,227	0,220
Hava Fazlalık Katsayısı	1,122	1,094	1,058	1,075	1,082	1,089	1,076	1,096

Ek Tablo 11. $\varepsilon = 19$ olması durumunda, B20 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Döndürme Momenti [Nm]	37,250	37,300	37,050	36,450	36,050	36,000	35,550	34,850
Efektif Güç [kW]	3,562	3,963	4,330	4,647	4,979	5,355	5,665	5,924
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,622	0,623	0,619	0,609	0,602	0,601	0,594	0,582
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,310	0,312	0,318	0,320	0,323	0,325	0,328	0,333
Efektif Verim	0,259	0,257	0,253	0,250	0,248	0,247	0,245	0,241
Hava Fazlalık Katsayısı	1,113	1,099	1,063	1,069	1,076	1,086	1,088	1,095

Ek Tablo 12. $\varepsilon = 21$ olması durumunda, B20 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Döndürme Momenti [Nm]	38,100	38,100	38,050	37,900	37,800	37,650	37,200	36,850
Efektif Güç [kW]	3,639	4,043	4,442	4,827	5,215	5,594	5,922	6,257
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,636	0,636	0,635	0,632	0,631	0,628	0,621	0,615
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,309	0,308	0,312	0,309	0,310	0,314	0,319	0,319
Efektif Verim	0,260	0,261	0,258	0,260	0,258	0,256	0,251	0,251
Hava Fazlalık Katsayısı	1,115	1,092	1,067	1,087	1,073	1,079	1,065	1,083

Ek Tablo 13. $\varepsilon = 17$ olması durumunda, B50 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Döndürme Momenti [Nm]	33,750	33,850	33,500	32,950	33,300	32,950	32,600	31,700
Efektif Güç [kW]	3,226	3,595	3,913	4,199	4,597	4,899	5,193	5,386
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,563	0,565	0,559	0,550	0,556	0,550	0,544	0,529
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,357	0,356	0,364	0,364	0,356	0,365	0,371	0,378
Efektif Verim	0,234	0,235	0,230	0,230	0,235	0,229	0,225	0,221
Hava Fazlalık Katsayısı	1,106	1,090	1,066	1,087	1,096	1,087	1,068	1,093

Ek Tablo 14. $\varepsilon = 19$ olması durumunda, B50 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Döndürme Momenti [Nm]	37,200	37,050	36,200	35,850	35,800	35,900	35,600	35,000
Efektif Güç [kW]	3,559	3,938	4,233	4,573	4,947	5,342	5,676	5,953
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,622	0,619	0,605	0,599	0,598	0,600	0,595	0,585
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,314	0,317	0,330	0,331	0,332	0,333	0,341	0,341
Efektif Verim	0,267	0,264	0,254	0,252	0,252	0,251	0,245	0,245
Hava Fazlalık Katsayısı	1,120	1,093	1,071	1,078	1,079	1,081	1,071	1,087

Ek Tablo 15. $\varepsilon = 21$ olması durumunda, B50 yakıt karışımı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Döndürme Momenti [Nm]	38,550	38,500	38,500	38,500	38,050	37,950	37,600	37,050
Efektif Güç [kW]	3,691	4,096	4,505	4,915	5,262	5,652	6,000	6,306
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,645	0,644	0,644	0,644	0,636	0,635	0,629	0,620
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,302	0,307	0,308	0,306	0,310	0,314	0,319	0,322
Efektif Verim	0,276	0,272	0,271	0,273	0,269	0,266	0,262	0,260
Hava Fazlalık Katsayısı	1,119	1,092	1,080	1,084	1,082	1,081	1,071	1,086

Ek Tablo 16. $\varepsilon = 17$ olması durumunda, B100 yakıtı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Döndürme Momenti [Nm]	33,800	33,250	32,900	32,800	33,000	32,950	32,550	31,600
Efektif Güç [kW]	3,241	3,542	3,856	4,193	4,570	4,915	5,202	5,387
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,566	0,557	0,551	0,549	0,553	0,552	0,545	0,529
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,370	0,377	0,386	0,389	0,387	0,391	0,403	0,415
Efektif Verim	0,242	0,237	0,232	0,231	0,231	0,229	0,222	0,216
Hava Fazlalık Katsayısı	1,085	1,069	1,048	1,039	1,041	1,033	1,014	1,014

Ek Tablo 17. $\varepsilon = 19$ olması durumunda, B100 yakıtı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Döndürme Momenti [Nm]	36,100	36,350	36,350	35,950	35,850	35,700	35,500	34,750
Efektif Güç [kW]	3,463	3,874	4,261	4,598	4,967	5,327	5,675	5,925
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,605	0,609	0,609	0,602	0,601	0,598	0,595	0,582
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,340	0,341	0,346	0,350	0,356	0,360	0,367	0,374
Efektif Verim	0,264	0,263	0,259	0,256	0,252	0,249	0,244	0,240
Hava Fazlalık Katsayısı	1,091	1,075	1,048	1,039	1,027	1,023	1,009	1,026

Ek Tablo 18. $\varepsilon = 21$ olması durumunda, B100 yakıtı için performans değerlerinin devir sayısına göre değişimi

Devir Sayısı [d/dk]	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Döndürme Momenti [Nm]	38,600	38,350	37,950	37,750	37,550	37,550	37,500	36,950
Efektif Güç [kW]	3,708	4,094	4,456	4,836	5,211	5,612	6,004	6,311
Ortalama Efektif Basınç [MPa]	0,648	0,643	0,637	0,633	0,630	0,630	0,629	0,620
Özgül Yakıt Tüketimi [kg yakıt/kW saat]	0,319	0,324	0,331	0,336	0,342	0,343	0,349	0,355
Efektif Verim	0,281	0,277	0,271	0,267	0,262	0,262	0,257	0,253
Hava Fazlalık Katsayısı	1,085	1,070	1,041	1,034	1,018	1,020	1,001	1,007

ÖZGEÇMİŞ

04.01.1981 tarihinde Trabzon'un Çaykara ilçesine bağlı Maraşlı köyünde dünyaya geldi. İlkokulu Trabzon Dumlupınar İlkokulunda, ortaokulu Trabzon Kanuni Anadolu Lisesinde okudu. Lise öğrenimini ise Trabzon Lisesinde tamamladı. 2000 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünü kazandı ve aynı bölümden 2004 yılında mezun oldu. Aynı yıl güz döneminde Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2006 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalına yatay geçiş yaparak Yüksek Lisans öğrenimine burada devam etti. Aralık 2007'de Rize Üniversitesi Rize Meslek Yüksekokulu Otomotiv programına okutman olarak atandı. Halen bu göreve devam etmekte olup, İngilizce bilmektedir.