

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





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



**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /**

**Tezin Savunma Tarihi : / /**

**Tez Danışmanı :**

**Trabzon**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Muhammet Mustafa KURT Tarafından Hazırlanan**

**HOMOJEN DOLGULU DİZEL YANMASI İLKESİNE GÖRE ÇALIŞAN BİR DİZEL  
MOTORUNDA MOTOR KARAKTERİSTİKLERİNİN VE EKSOZ EMİSYONLARININ  
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 14 /01/2020 gün ve 1837 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
DOKTORA TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Zehra ŞAHİN**

**Üye : Prof. Dr. Orhan DURGUN**

**Üye : Prof. Dr. Atilla BİLGİN**

**Üye : Prof. Dr. Kamil KAYGUSUZ**

**Üye : Prof. Dr. Mete AVCI**

*Z. Sahin*  
*Orhan Durgun*  
*Atilla Bilgin*  
*Kamil Kaygusuz*  
*Mete Avcı*

**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Fosil yakıtlarının enerji kaynağı olarak kullanılması, beraberinde getirdiği ekonomik maliyetlerin yanında büyük ölçüde çevre kirliliğine de neden olmaktadır. Motorlu taşıt sayısının sürekli olarak artış göstermesi, kaynaklarımızın hızla azalmasında ve çevre kirliliğinin artmasında çok önemli bir etken olarak gündeme gelmektedir. Bu nedenle motor ve motorlu taşıt üreticileri, ürünlerinin hem ekonomik hem de çevreye daha az zararlı olmasını sağlamak için uzun yıllardır araştırma ve geliştirme faaliyetleri yürütmektedir. Ülkemizde son yıllarda, savunma sanayi başta olmak üzere motor ve motorlu taşıt üretimi sektörlerinde yerleşme faaliyetleri büyük hız kazanmıştır. Özellikle bu sektörlerde ihtiyaç duyulan içten yanmalı motorları yerli imkânlarla üretebilen özel sektör firmalarımız bulunmaktadır ve bu firmalar da yeni ihtiyaçlar doğrultusunda araştırma ve geliştirme faaliyetlerine ağırlık vermişlerdir.

Sunulan tez çalışmasında; güncel bir dizel motorunun, homojen dolgulu dizel yanması prensibine göre çalıştırılmasının, motor karakteristikleri, yanma, açığa çıkan ısı oranı, yakıt maliyeti ve eksoz emisyonları ( $\text{NO}_x$  ve is) üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Burada amaç, benzin motorları ile dizel motorlarının iyi özelliklerini mümkün olduğu kadar bir arada sağlanabilmesine çalışmaktır. Bu nedenle; benzin, yüksek oranlarda emme havası içerisine püskürtülerek, motorun homojen dolgulu motor gibi çalıştırılması sağlanmıştır. Ayrıca motorun orijinal sıkıştırma oranı da düşürülerek dizel motoru, benzin motoruna benzetilmeye çalışılmıştır.

Tez çalışması süresince bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan tez danışmanım Prof. Dr. Zehra ŞAHİN'e ve emekli olana kadar danışmanlığımı sürdüren ve çalışmalarımıza her zaman destek sağlayan Prof. Dr. Orhan DURGUN'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca; deney düzeneğinin kurulmasında emeği geçen Dr. Öğretim Üyesi Coşkun BAYRAM'a, indikatör sisteminin devreye sokulmasında destek sağlayan Dr. Öğretim Üyesi Mehmet TURHAL'a, deneylerde veri okunmasına destek sağlayan Gemi İnş. ve Gemi Mak. Yük. Müh. Mustafa TUTU'ya ve Tek. Şenol DÜBÜŞ'e teşekkürü borç bilirim. Tez çalışmam süresince gösterdiği özveriden ötürü eşim Tomris KURT'a teşekkür ederim.

Muhammet Mustafa KURT  
Trabzon 2020

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum ‘‘Homojen Dolgulu Dizel Yanması İlkesine Göre alışan Bir Dizel Motorunda Motor Karakteristiklerinin ve Eksoz Emisyonlarının Deneysel Olarak İncelenmesi’’ başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Zehra şAHİN’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 05/02/2020

Muhammet Mustafa KURT

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Taraması .....	3
1.2.1. Homojen Dolgulu Sıkıştırma Ateşlemeli Motorlar (HDSA) ile İlgili Çalışmalar.....	5
1.2.2. Ön Karışımli Fakir Dizel Yanması (ÖKFDY) ile İlgili Çalışmalar .....	10
1.2.3. Fumigasyon ve Homojen Dolgulu Dizel Yanması (HDDY) ile İlgili Çalışmalar.....	13
1.3. Tez Çalışmasının Amacı .....	19
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	22
2.1. Deney Düzeneği .....	23
2.1.1. Deney Düzeneğinin Genel Tanıtımı.....	23
2.1.2. Dizel Motoru ve Sıkıştırma Oranının Değiştirilmesi .....	26
2.1.3. Veri Derleme Kartı ile Elde Edilen Veriler ve ÜÖN'nin Tespiti.....	28
2.2. Motor Karakteristikleri ve Eksoz Emisyonları.....	30
2.2.1. Döndürme Momenti ve Efektif Güç.....	32
2.2.2. Özgül Yakıt Tüketimi ve Efektif Verim.....	33
2.2.3. BF Durumunda Yakıtın Birleşik Yoğunluğunun, Alt Isıl Değerinin ve Hava Fazlalık Katsayısının Hesaplanması.....	35
2.2.4. Motor Performans Karakteristikleri ve Eksoz Emisyonları Değerlerinin Değişim Oranlarının Hesaplanması.....	36
2.3. İndikatör Diyagramı .....	36
2.4. Maliyet Analizi.....	37

2.5.	Hata Analizi ve Belirsizlikler .....	38
2.6.	Açığa Çıkan Isı Oranının Belirlenmesi .....	38
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA .....	40
3.1.	Giriş .....	40
3.2.	Benzin Fumigasyonunun Motor Karakteristikleri ve Azot Oksitler Üzerindeki Etkisi .....	40
3.2.1.	2000 d/d'de BF'nin Motor Karakteristikleri ve Azot Oksitler Üzerindeki Etkileri .....	41
3.2.2.	2500 d/d'de BF'nin Motor Karakteristikleri ve Azot Oksitler Üzerindeki Etkileri .....	52
3.2.3.	3000 d/d'de BF'nin Motor Karakteristikleri ve Azot Oksitler Üzerindeki Etkileri .....	60
3.2.4.	3500 d/d'de BF'nin Motor Karakteristikleri ve Azot Oksitler Üzerindeki Etkileri .....	70
3.2.5.	4000 d/d'de BF'nin Motor Karakteristikleri ve Azot Oksitler Üzerindeki Etkileri .....	78
3.3.	Benzin Fumigasyonunun Duman Koyuluğu (İsler ve Opasite) Üzerindeki Etkileri .....	87
3.4.	Benzin Fumigasyonunun; Açığa Çıkan Isı Oranı, Silindir Basınçları ve Silindir Sıcaklıkları Üzerindeki Etkileri .....	89
3.4.1.	2000 d/d'de Benzin Fumigasyonunun; Açığa Çıkan Isı Oranı, Silindir Basınçları ve Silindir Sıcaklıkları Üzerindeki Etkileri .....	89
3.4.2.	2500 d/d'de Benzin Fumigasyonunun; Açığa Çıkan Isı Oranı, Silindir Basınçları ve Silindir Sıcaklıkları Üzerindeki Etkileri .....	97
3.4.3.	3000 d/d'de Benzin Fumigasyonunun; Açığa Çıkan Isı Oranı, Silindir Basınçları ve Silindir Sıcaklıkları Üzerindeki Etkileri .....	102
3.4.4.	3500 d/d'de Benzin Fumigasyonunun; Açığa Çıkan Isı Oranı, Silindir Basınçları ve Silindir Sıcaklıkları Üzerindeki Etkileri .....	107
3.4.5.	4000 d/d'de Benzin Fumigasyonunun; Açığa Çıkan Isı Oranı, Silindir Basınçları ve Silindir Sıcaklıkları Üzerindeki Etkileri .....	112
3.5.	Benzin Fumigasyonunun Yakıt Maliyeti Üzerindeki Etkileri .....	118
4.	SONUÇLAR .....	124
5.	ÖNERİLER .....	130
6.	KAYNAKLAR .....	132

ÖZGEÇMİŞ

Doktora Tezi

## ÖZET

### HOMOJEN DOLGULU DİZEL YANMASI İLKESİNE GÖRE ÇALIŞAN BİR DİZEL MOTORUNDA MOTOR KARAKTERİSTİKLERİNİN VE EKSOZ EMİSYONLARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Muhammet Mustafa KURT

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Zehra ŞAHİN  
2020, 139 Sayfa

Sunulan tez çalışmasında benzin fumigasyonunun (BF); motor karakteristikleri, yanma, açığa çıkan ısı oranı, eksoz emisyonları ve yakıt maliyeti üzerindeki etkileri, bir otomobil dizel motorunda deneysel olarak incelenmiştir. Burada %0, 5, 10, 15 ve 20 gibi beş farklı BF oranı, beş farklı devir sayısı ve iki farklı sıkıştırma oranı için deneyler yapılmıştır. Benzini emme havası içerisine püskürtebilmek için, emme manifolduna adapte edilmiş bir karbüratör eklenmiştir. Deneylerde kullanılan motorun orijinal sıkıştırma oranı 18.25'tir ve conta kalınlığı değiştirilerek motorun sıkıştırma oranı 17'ye düşürülmüştür.

Her iki sıkıştırma oranı için BF'nin uygulanması ile seçilen tüm çalışma koşullarında özgül yakıt tüketiminin ve toplam yakıt maliyetinin önemli ölçüde azaldığı ve efektif verimin önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir. Azot oksitler, 2000 ve 2500 d/d devir sayılarında BF ile genellikle azalmıştır ancak 3000, 3500 ve 4000 d/d devir sayılarında çoğunlukla artmıştır. İşler %10 BF oranına kadar azalmıştır ancak bu orandan sonra yeniden artmaya başlamıştır. Her iki sıkıştırma oranı için BF durumunda açığa çıkan ısı oranının krank mili açısına göre değişimini gösteren eğrilerin, saf dizel yakıtının (SDY) eğrilerinden biraz farklı olduğu görülmüştür. SDY ile ilgili eğride üst ölü noktadan (ÜÖN) sonra olmak üzere bir tepenin (maksimum açığa çıkan ısı oranı noktasının) bulunmasına karşın, BF durumundaki eğride ÜÖN'den önce bir tane ve ÜÖN'den sonra da bir tane olmak üzere iki tepenin olduğu görülmüştür. Ayrıca BF oranı arttıkça, ilk tepenin yüksekliğinin arttığı ve ikinci tepenin yüksekliğinin azaldığı bunun yanında yanma süresinin kısaldığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Dizel motoru, Homojen dolgulu dizel yanması (HDDY), Benzin fumigasyonu (BF), Motor karakteristikleri, Isı oluşum analizi, Azot oksitler, Yakıt maliyeti



PhD. Thesis

## SUMMARY

### EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ENGINE CHARACTERISTICS AND EXHAUST EMISSIONS IN A DIESEL ENGINE OPERATED IN HOMOGENEOUS CHARGE DIESEL COMBUSTION PRINCIPLE

Muhammet Mustafa KURT

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of mechanical Engineering  
Supervisor: Prof. Zehra ŞAHİN  
2020, 139 Pages

In the present thesis, the effects of gasoline fumigation (GF) on engine characteristics, combustion, heat release rate (HRR), exhaust emissions and total fuel cost have been experimentally investigated on an automotive diesel engine. Here, experiments have been carried out for five different fumigation ratios such as 0, 5, 10, 15 and 20%, five different engine speeds and two different compression ratios. An adapted carburetor was mounted on the intake manifold of the engine to introduce gasoline into intake air. The original compression ratio of the engine is 18.25 and it was reduced to 17 by using a thicker cylinder head gasket.

It was determined that; specific fuel consumption and the total fuel cost decreased and effective efficiency increased significantly in all of the selected operating conditions with the application of BF for both compression ratios. Nitrogen oxides generally decreased with BF at 2000 and 2500 rpm but they generally increased with BF at 3000, 3500 and 4000 rpm. Opacity decreased until 10% GF ratio, but after this ratio it started to increase again. It was observed that; HRR graphs of GF are different from HRR graphs of neat diesel fuel (NDF) for both of the compression ratios. There has been only one peak (maximum HRR point) at the NDF graphs after top dead center (TDC) but have been two at the GF graphs; one before TDC and one after TDC. As the GF increased; the height of the first peak increased and the height of the second peak decreased and also combustion duration decreased.

**Keywords:** Diesel engine, Homogeneous charge diesel combustion (HCDC), Gasoline fumigation (GF), Engine characteristics, Heat release rate (HRR) analysis, NO<sub>x</sub> emissions, Fuel cost

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No:

Şekil 1.1.	a) Dizel motorunun, b) benzin motorunun ve c) homojen dolgulu motorun şematik gösterimi.....	3
Şekil 1.2.	a) HDSA motorun, b) ÖKFDY motorun ve c) HDDY motorun şematik gösterimi .....	4
Şekil 1.3.	Benzin motorunun ve HDSA motorun çalışma koşullarının karşılaştırılması ...	9
Şekil 2.1.	Deney düzeneğinin önden görünümü .....	23
Şekil 2.2.	Deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	24
Şekil 2.3.	Ayarlanabilir karbüratör .....	25
Şekil 2.4.	60-2 Tip volanın şematik gösterimi.....	29
Şekil 2.5.	Örnek bir krank konum sensörü verisi grafiği.....	29
Şekil 2.6.	Volanın bir turuna tekabül eden verinin grafiği .....	30
Şekil 2.7.	Matlab programından elde edilen örnek bir indikatör diyagramı.....	37
Şekil 3.1.	2000 d/d'de; $\epsilon=18.25$ ve $\epsilon=17$ için ÖYT'nin, BF oranına göre değişimleri ....	42
Şekil 3.2.	2000 d/d'de; ÖYT'nin, BF oranına göre değişim oranları (a) $\epsilon=18.25$ ve (b) $\epsilon=17$ .....	42
Şekil 3.3.	2000 d/d'de; $\epsilon=18.25$ ve $\epsilon=17$ için efektif verimin, BF oranına göre değişimleri .....	43
Şekil 3.4.	2000 d/d'de; efektif verimin, BF oranına göre değişim oranları (a) $\epsilon=18.25$ ve (b) $\epsilon=17$ .....	43
Şekil 3.5.	2000 d/d'de; $\epsilon=18.25$ ve $\epsilon=17$ için $\alpha$ 'nın, BF oranına göre değişimleri.....	46
Şekil 3.6.	2000 d/d'de; $\alpha$ 'nın, BF oranına göre değişim oranları (a) $\epsilon=18.25$ ve (b) $\epsilon=17$ .....	46
Şekil 3.7.	2000 d/d'de; $\epsilon=18.25$ ve $\epsilon=17$ için $T_e$ 'nin, BF oranına göre değişimleri .....	48
Şekil 3.8.	2000 d/d'de; $T_e$ 'nin, BF oranına göre değişim oranları (a) $\epsilon=18.25$ ve (b) $\epsilon=17$ .....	48
Şekil 3.9.	2000 d/d'de; $\epsilon=18.25$ ve $\epsilon=17$ için NOx'in, BF oranına göre değişimleri.....	49
Şekil 3.10.	2000 d/d'de; NOx'in, BF oranına göre değişim oranları (a) $\epsilon=18.25$ ve (b) $\epsilon=17$ .....	49
Şekil 3.11.	2500 d/d'de; $\epsilon=18.25$ ve $\epsilon=17$ için ÖYT'nin, BF oranına göre değişimleri ....	53
Şekil 3.12.	2500 d/d'de; ÖYT'nin, BF oranına göre değişim oranları (a) $\epsilon=18.25$ ve (b) $\epsilon=17$ .....	53

Şekil 3.13. 2500 d/d'de; $\varepsilon=18.25$ ve $\varepsilon=17$ için efektif verimin, BF oranına göre değişimleri .....	54
Şekil 3.14. 2500 d/d'de; efektif verimin, BF oranına göre değişim oranları (a) $\varepsilon=18.25$ ve (b) $\varepsilon=17$ .....	54
Şekil 3.15. 2500 d/d'de; $\varepsilon=18.25$ ve $\varepsilon=17$ için $\alpha$ 'nın, BF oranına göre değişimleri.....	56
Şekil 3.16. 2500 d/d'de; $\alpha$ 'nın, BF oranına göre değişim oranları (a) $\varepsilon=18.25$ ve (b) $\varepsilon=17$ .....	56
Şekil 3.17. 2500 d/d'de; $\varepsilon=18.25$ ve $\varepsilon=17$ için $T_e$ 'nin, BF oranına göre değişimleri .....	57
Şekil 3.18. 2500 d/d'de; $T_e$ 'nin, BF oranına göre değişim oranları (a) $\varepsilon=18.25$ ve (b) $\varepsilon=17$ .....	57
Şekil 3.19. 2500 d/d'de; $\varepsilon=18.25$ ve $\varepsilon=17$ için $NO_x$ 'in, BF oranına göre değişimleri.....	58
Şekil 3.20. 2500 d/d'de; $NO_x$ 'in, BF oranına göre değişim oranları (a) $\varepsilon=18.25$ ve (b) $\varepsilon=17$ .....	58
Şekil 3.21. 3000 d/d'de; $\varepsilon=18.25$ ve $\varepsilon=17$ için ÖYT'nin, BF oranına göre değişimleri ....	62
Şekil 3.22. 3000 d/d'de; ÖYT'nin, BF oranına göre değişim oranları (a) $\varepsilon=18.25$ ve (b) $\varepsilon=17$ .....	62
Şekil 3.23. 3000 d/d'de; $\varepsilon=18.25$ ve $\varepsilon=17$ için efektif verimin, BF oranına göre değişimleri .....	63
Şekil 3.24. 3000 d/d'de; efektif verimin, BF oranına göre değişim oranları (a) $\varepsilon=18.25$ ve (b) $\varepsilon=17$ .....	63
Şekil 3.25. 3000 d/d'de; $\varepsilon=18.25$ ve $\varepsilon=17$ için $\alpha$ 'nın, BF oranına göre değişimleri.....	65
Şekil 3.26. 3000 d/d'de; $\alpha$ 'nın, BF oranına göre değişim oranları (a) $\varepsilon=18.25$ ve (b) $\varepsilon=17$ .....	65
Şekil 3.27. 3000 d/d'de; $\varepsilon=18.25$ ve $\varepsilon=17$ için $T_e$ 'nin, BF oranına göre değişimleri .....	66
Şekil 3.28. 3000 d/d'de; $T_e$ 'nin, BF oranına göre değişim oranları (a) $\varepsilon=18.25$ ve (b) $\varepsilon=17$ .....	66
Şekil 3.29. 3000 d/d'de; $\varepsilon=18.25$ ve $\varepsilon=17$ için $NO_x$ 'in, BF oranına göre değişimleri.....	67
Şekil 3.30. 3000 d/d'de; $NO_x$ 'in, BF oranına göre değişim oranları (a) $\varepsilon=18.25$ ve (b) $\varepsilon=17$ .....	67
Şekil 3.31. 3500 d/d'de; $\varepsilon=18.25$ ve $\varepsilon=17$ için ÖYT'nin, BF oranına göre değişimleri ....	71
Şekil 3.32. 3500 d/d'de; ÖYT'nin, BF oranına göre değişim oranları (a) $\varepsilon=18.25$ ve (b) $\varepsilon=17$ .....	71
Şekil 3.33. 3500 d/d'de; $\varepsilon=18.25$ ve $\varepsilon=17$ için efektif verimin, BF oranına göre değişimleri .....	72
Şekil 3.34. 3500 d/d'de; efektif verimin, BF oranına göre değişim oranları (a) $\varepsilon=18.25$ ve (b) $\varepsilon=17$ .....	72

Şekil 3.35. 3500 d/d'de; $\varepsilon=18.25$ ve $\varepsilon=17$ için $\alpha$ 'nın, BF oranına göre değişimleri.....	73
Şekil 3.36. 3500 d/d'de; $\alpha$ 'nın, BF oranına göre değişim oranları (a) $\varepsilon=18.25$ ve (b) $\varepsilon=17$ .....	73
Şekil 3.37. 3500 d/d'de; $\varepsilon=18.25$ ve $\varepsilon=17$ için $Te$ 'nin, BF oranına göre değişimleri .....	75
Şekil 3.38. 3500 d/d'de; $Te$ 'nin, BF oranına göre değişim oranları (a) $\varepsilon=18.25$ ve (b) $\varepsilon=17$ .....	75
Şekil 3.39. 3500 d/d'de; $\varepsilon=18.25$ ve $\varepsilon=17$ için $NOx$ 'in, BF oranına göre değişimleri.....	76
Şekil 3.40. 3500 d/d'de; $NOx$ 'in, BF oranına göre değişim oranları (a) $\varepsilon=18.25$ ve (b) $\varepsilon=17$ .....	76
Şekil 3.41. 4000 d/d'de; $\varepsilon=18.25$ ve $\varepsilon=17$ için ÖYT'nin, BF oranına göre değişimleri ....	79
Şekil 3.42. 4000 d/d'de; ÖYT'nin, BF oranına göre değişim oranları (a) $\varepsilon=18.25$ ve (b) $\varepsilon=17$ .....	79
Şekil 3.43. 4000 d/d'de; $\varepsilon=18.25$ ve $\varepsilon=17$ için efektif verimin, BF oranına göre değişimleri .....	80
Şekil 3.44. 4000 d/d'de; efektif verimin, BF oranına göre değişim oranları (a) $\varepsilon=18.25$ ve (b) $\varepsilon=17$ .....	80
Şekil 3.45. 4000 d/d'de; $\varepsilon=18.25$ ve $\varepsilon=17$ için $\alpha$ 'nın, BF oranına göre değişimleri.....	81
Şekil 3.46. 4000 d/d'de; $\alpha$ 'nın, BF oranına göre değişim oranları (a) $\varepsilon=18.25$ ve (b) $\varepsilon=17$ .....	81
Şekil 3.47. 4000 d/d'de; $\varepsilon=18.25$ ve $\varepsilon=17$ için $Te$ 'nin, BF oranına göre değişimleri .....	84
Şekil 3.48. 4000 d/d'de; $Te$ 'nin, BF oranına göre değişim oranları (a) $\varepsilon=18.25$ ve (b) $\varepsilon=17$ .....	84
Şekil 3.49. 4000 d/d'de; $\varepsilon=18.25$ ve $\varepsilon=17$ için $NOx$ 'in, BF oranına göre değişimleri.....	85
Şekil 3.50. 4000 d/d'de; $NOx$ 'in, BF oranına göre değişim oranları (a) $\varepsilon=18.25$ ve (b) $\varepsilon=17$ .....	85
Şekil 3.51. 2000 d/d ve 2500 d/d için döndürme momentine göre opasite değerleri .....	88
Şekil 3.52. 2000 d/d ve 2500 d/d için döndürme momentine göre opasite değişim oranları.....	88
Şekil 3.53. 2000 d/d ve 2500 d/d için BF oranına göre opasite değişim oranları.....	89
Şekil 3.54. YSO'da ve 2000 d/d'de farklı BF oranları için; a) açığa çıkan ısının, b) silindir basınçlarının ve c) sıcaklıklarının KA'ya göre değişimleri .....	93
Şekil 3.55. DSO'da ve 2000 d/d'de farklı BF oranları için; a) açığa çıkan ısının, b) silindir basınçlarının ve c) sıcaklıklarının KA'ya göre değişimleri .....	95
Şekil 3.56. YSO'da ve 2500 d/d'de farklı BF oranları için; a) açığa çıkan ısının, b) silindir basınçlarının ve c) sıcaklıklarının KA'ya göre değişimleri .....	98
Şekil 3.57. DSO'da ve 2500 d/d'de farklı BF oranları için; a) açığa çıkan ısının, b) silindir basınçlarının ve c) sıcaklıklarının KA'ya göre değişimleri .....	101

Şekil 3.58. YSO'da ve 3000 d/d'de farklı BF oranları için; a) açığa çıkan ısının, b) silindir basınçlarının ve c) sıcaklıklarının KA'ya göre değişimleri .....	103
Şekil 3.59. DSO'da ve 3000 d/d'de farklı BF oranları için; a) açığa çıkan ısının, b) silindir basınçlarının ve c) sıcaklıklarının KA'ya göre değişimleri .....	106
Şekil 3.60. YSO'da ve 3500 d/d'de farklı BF oranları için; a) açığa çıkan ısının, b) silindir basınçlarının ve c) sıcaklıklarının KA'ya göre değişimleri .....	108
Şekil 3.61. DSO'da ve 3500 d/d'de farklı BF oranları için; a) açığa çıkan ısının, b) silindir basınçlarının ve c) sıcaklıklarının KA'ya göre değişimleri .....	111
Şekil 3.62. YSO'da ve 4000 d/d'de farklı BF oranları için; a) açığa çıkan ısının, b) silindir basınçlarının ve c) sıcaklıklarının KA'ya göre değişimleri .....	113
Şekil 3.63. DSO'da ve 4000 d/d'de farklı BF oranları için; a) açığa çıkan ısının, b) silindir basınçlarının ve c) sıcaklıklarının KA'ya göre değişimleri .....	117
Şekil 3.64. 2000 d/d'de; yakıt maliyetinin, BF oranına göre değişim oranları (a) $\epsilon=18.25$ ve (b) $\epsilon=17$ .....	119
Şekil 3.65. 2500 d/d'de; yakıt maliyetinin, BF'ye göre değişim oranları (a) $\epsilon=18.25$ ve (b) $\epsilon=17$ .....	120
Şekil 3.66. 3000 d/d'de; yakıt maliyetinin, BF'ye göre değişim oranları (a) $\epsilon=18.25$ ve (b) $\epsilon=17$ .....	121
Şekil 3.67. 3500 d/d'de; yakıt maliyetinin, BF'ye göre değişim oranları (a) $\epsilon=18.25$ ve (b) $\epsilon=17$ .....	122
Şekil 3.68. 4000 d/d'de; yakıt maliyetinin, BF'ye göre değişim oranları (a) $\epsilon=18.25$ ve (b) $\epsilon=17$ .....	123

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No:

Tablo 2.1. NO <sub>x</sub> ölçüm cihazının teknik özellikleri .....	26
Tablo 2.2. Renault K9K700 motorunun teknik özellikleri .....	27
Tablo 2.3. Basınç sensörünün teknik özellikleri .....	28
Tablo 2.4. Ölçümlerden elde edilen verilere ilişkin örnek tablo.....	31
Tablo 2.5. Deney ölçümlerinin sonuçlarını veren örnek tablo.....	32
Tablo 2.6. Dizel yakıtının ve benzinin bazı özellikleri .....	34
Tablo 3.1. Devir sayılarına karşılık seçilen moment değerleri .....	41
Tablo 3.2. 2000 d/d'de; $\epsilon=18.25$ ve $\epsilon=17$ için be, $\eta_e$ , $\alpha$ , Te ve NO <sub>x</sub> oranının BF oranına göre değişimleri .....	50
Tablo 3.3. 2500 d/d'de; $\epsilon=18.25$ ve $\epsilon=17$ için be, $\eta_e$ , $\alpha$ , Te ve NO <sub>x</sub> oranının BF oranına göre değişimleri .....	59
Tablo 3.4. 3000 d/d'de; $\epsilon=18.25$ ve $\epsilon=17$ için be, $\eta_e$ , $\alpha$ , Te ve NO <sub>x</sub> oranının BF oranına göre değişimleri .....	68
Tablo 3.5. 3500 d/d'de; $\epsilon=18.25$ ve $\epsilon=17$ için be, $\eta_e$ , $\alpha$ , Te ve NO <sub>x</sub> oranının BF oranına göre değişimleri .....	77
Tablo 3.6. 4000 d/d'de; $\epsilon=18.25$ ve $\epsilon=17$ için be, $\eta_e$ , $\alpha$ , Te ve NO <sub>x</sub> oranının BF oranına göre değişimleri .....	86
Tablo 3.7. 2000 d/d'de; yakıt maliyetinin, BF'ye göre değişim oranları.....	119
Tablo 3.8. 2500 d/d'de; yakıt maliyetinin, BF'ye göre değişim oranları.....	120
Tablo 3.9. 3000 d/d'de; yakıt maliyetinin, BF'ye göre değişim oranları.....	121
Tablo 3.10. 3500 d/d'de; yakıt maliyetinin, BF'ye göre değişim oranları .....	122
Tablo 3.11. 4000 d/d'de; yakıt maliyetinin, BF'ye göre değişim oranları .....	123

## SEMBOLLER DİZİNİ

AB:	: Avrupa Birliği
B	: Toplam yakıt tüketimi [kg/h]
$b_e$ , ÖYT	: Özgöl yakıt tüketimi [kg/kWh]
BF	: Benzin fumigasyonu
CNG	: Sıkıştırılmış doğal gaz (Compressed Natural Gas)
CO	: Karbon monoksit
D	: Silindir çapı [mm]
DME	: Dimetil eter
DP	: Direkt püskürtmeli
DSO	: Düşük sıkıştırma oranı
EGR:	: Eksoz gazı resirkülasyonu
$F_1$	: Dizel yakıtının fiyatı [TL]
$F_2$	: Benzinin fiyatı [TL]
H	: Strok uzunluğu [mm]
HC	: Hidrokarbon
HDDY	: Homojen dolgulu dizel yanması
HDSA	: Homojen dolgulu sıkıştırma ateşleme
$H_u$	: Yakıtın alt ısııl değeri [kJ/kg]
İYM	: İçten yanmalı motorlar
KA	: Krank açısı [ $^{\circ}$ ]
$L_{vc}$	: Ölü hacme ait strok uzunluğu [mm]
$M_d$	: Döndürme momenti [Nm]
n	: Devir sayısı [d/d]

$N_e$	: Efektif güç [kW]
$NO_x$	: Azotoksitler [ppm]
ÖKFDY	: Ön karışımli fakir dizel yanması
$P_0$	: Ortam basıncı [bar]
PM	: Parçacık madde
SDY	: Saf dizel yakıtı
SPCCI	: Buji kontrollü sıkıştırma ateşleme (Spark Controlled Compression Ignition)
$T_0$	: Ortam sıcaklığı [K]
TG	: Tutuşma gecikmesi
ÜÖN	: Üst ölü nokta
$V$	: Hacim [ $cm^3$ ]
$V_a$	: Toplam silindir hacmi [ $cm^3$ ]
$V_c$	: Ölü hacim [ $cm^3$ ]
$V_h$	: Strok hacmi [ $cm^3$ ]
YSO	: Yüksek sıkıştırma oranı
$\alpha$	: Hava fazlalık katsayısı
$\eta_e$	: Efektif verim
$\omega$	: Açısal hız [1/s]
$\varepsilon$	: Sıkıştırma oranı
$\rho_b$	: Benzinin yoğunluğu [ $kg/m^3$ ]
$\rho_d$	: Dizel yakıtının yoğunluğu [ $kg/m^3$ ]
$r_i$	: Fumigasyon yakıtının fiyatının ana yakıt fiyatına oranı
$S_i$	: Fumigasyon yakıtının yoğunluğunun ana yakıt yoğunluğuna oranı
$\Delta m$	: Belirli bir sürede harcanan yakıtın kütlesi
$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e} 100$	: BF durumunda efektif verimin SDY durumuna göre değişim oranı [%]



## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Yüz yılı aşkın süredir birçok farklı alanda kullanılmakta olan içten yanmalı motorlar (İYM), fosil yakıt kaynaklarının azalması ve çevresel kirliliğin artması nedeniyle daha ekonomik ve çevreye daha az zararlı hale getirilmeye çalışılmaktadır. Bu iki temel problem (kaynakların azalması ve çevre kirliliği) çerçevesinde İYM'lerde yapılan iyileştirmelerin yanında, çeşitli uluslararası anlaşmalarla eksoz emisyonları için belirli sınırlamalar da tanımlanmıştır. Örneğin Avrupa Birliği (AB), eksoz emisyonları için bazı sınırlamalar belirlemiş ve Birlik içerisinde kullanılan motorlu taşıtların bu sınırlamalara uymasını zorunlu hale getirmiştir. Bu sınırlamalara bir örnek olarak dizel motorlu otomobiller için belirlenen emisyon standartları Tablo 1'de verilmiştir (Avrupa Komisyonu Regülasyonu, 2007). Amerika Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency-EPA) ise 19 Şubat 1993'te Amerika Resmi Gazetesinde (Federal Registry) yayımlanan bir kanunla, 1994 ve sonrası yıllarda üretilen taşıtlarda Tümüleşik Teşhis (On Board Diagnostics-OBD) sistemi bulundurulması zorunluluğu getirmiştir. Bu sistem, aracın eksoz emisyonu değerleri belirli sınırların üzerine ulaştığı zaman sürücüyü ikaz etmektedir. Daha sonraki yıllarda bu sistemin kullanım zorunluluğunu içeren anlaşmalar Avrupa Birliği ülkeleri ile diğer bazı ülkeler tarafından da imzalanmıştır.

Tablo 1. Dizel motorlu otomobiller için AB emisyon standartları (Avrupa Komisyonu Regülasyonu, 2007).

Seviye	Geçerlilik Tarihi	CO [mg/km]	NO <sub>x</sub> [mg/km]	HC+NO <sub>x</sub> [mg/km]	PM [mg/km]
Euro 1	Temmuz 1992	3160	-	97	14
Euro 2	Ocak 1996	1000	-	700	80
Euro 3	Ocak 2000	640	500	560	50
Euro 4	Ocak 2005	500	250	300	25
Euro 5	Eylül 2009	500	180	230	5
Euro 6	Eylül 2014	500	80	170	5

Motor ve motorlu taşıt üreticileri uymakla yükümlü oldukları düzenlemelerin yanında, müşteri taleplerine paralel olarak ürünlerinin ekonomik ve çevreye daha az zararlı olmasını da istemektedirler. Bu nedenle üreticiler ve araştırmacılar, İYM'lerin ekonomik ve çevreye daha az zararlı hale getirilmeleri için uzun uğraşlar vermektedirler. İçten yanmalı motorlara ilişkin yapılan deneysel ve teorik çalışmaların büyük bir bölümünün amacı; verimin iyileştirilmesi ve eksoz emisyonlarının azaltılmasıdır.

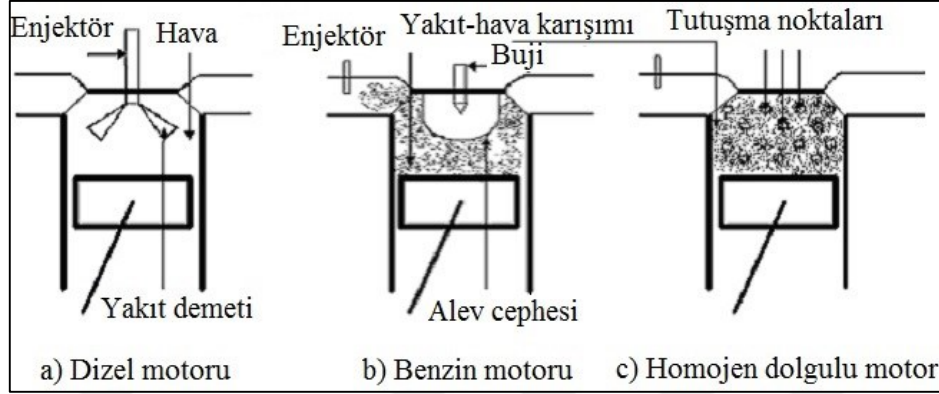
Daha önceleri ticari taşıtlarda, iş makinelerinde ve gemilerde kullanımı yaygın olan dizel motorları, geliştirilen turboşarj, ortak yakıt yollu püskürtme (common-rail), eksoz gazı resirkülasyonu gibi sistemleri de içermek üzere taşıtlarda da sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Dizel motorunun benzin motoruna nazaran daha verimli olması ve genellikle dizel yakıtının perakende satış fiyatının daha ucuz olması da dizel motorlarının yaygınlaşmasında önemli etkenler olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer taraftan dizel motorlarındaki en büyük emisyon problemleri olan parçacık madde (PM) ve azot oksit ( $NO_x$ ) emisyonlarının, yukarıda bahsedilen ek donanımlar yardımıyla görece olarak daha düşük seviyelere indirilmiş olması da dizel motorlarının kullanımını yaygınlaştırmaktadır.

Tüm bu iyileştirmelere karşın içten yanmalı motorların ve özellikle dizel motorlarının eksoz emisyonları istenildiği kadar azaltılamamıştır. Otomotiv firmaları ve bilim insanları, dizel motorlarının verimini daha da artırmak ve aynı zamanda eksoz gazlarını azaltabilmek için çok değişik çalışmalar yapmaktadırlar (Walter ve Gatellier, 2003; Can vd., 2016; Ren vd., 2018). Bunlara örnekler olarak, motorlarda alternatif yakıt karışımları ve fumigasyon yönteminin uygulanması gibi çalışmalar verilebilir (Şahin ve Durgun, 2007; Chauhan vd., 2011; Sezer, 2012; Özer, 2014; Şahin vd., 2017; Aktaş, 2019; Şahin vd., 2019). Bununla birlikte mevcut yakıtların ekonomik kullanımı ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır (Durgun ve Ayvaz, 1996; Şahin vd., 2008, Hoseinpour vd., 2017).

Dört zamanlı dizel motorları verimleri en yüksek olan termik kuvvet makineleridir. Buna karşılık tutuşma gecikmesi nedeni ile devir sayıları düşüktür. Dört zamanlı benzin motorları ise sıkıştırma oranları görece olarak daha düşük, dolayısı ile verimleri de daha düşük ve yakıt tüketimi daha yüksek kuvvet makineleridir. Buna karşılık devir sayıları dizel motorlarına göre daha yüksektir (Durgun, 2007).

Homojen dolgulu motorlar ise sıkıştırma ateşlemeli ve buji ateşlemeli motorların iyi özelliklerini bir arada bulundurabilen motorlardır ve sıkıştırma ateşlemeli motorların verimliliği ile buji ateşlemeli motorların düşük eksoz emisyonları özelliklerini bir arada sağlayabilmektedirler. Homojen dolgulu motorlarda, yakıt-hava karışımının ateşlenmesi

çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 1.1’de; a) dizel motorunun, b) benzin motorunun ve c) homojen dolgulu motorun şematik gösterimi sunulmuştur.

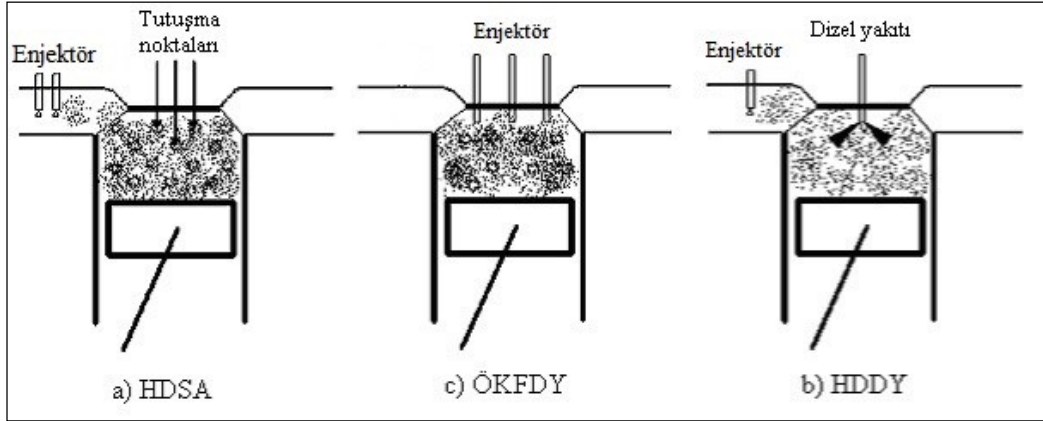


Şekil 1.1. a) Dizel motorunun, b) benzin motorunun ve c) homojen dolgulu motorun şematik gösterimi

Dizel motorlarında hem verimin artırılması hem de eksoz emisyonların düşürülmesi yönünde yapılan tüm bu iyileştirmelerin yanında, benzin ve dizel motorlarının iyi özelliklerini bir arada bulunduran sistemler üzerine yapılan araştırmaların sayısı da gittikçe artmaktadır.

## 1.2. Literatür Taraması

“Kontrollü şekilde kendi kendine tutuşma” olarak da tanımlanabilen homojen dolgunun sıkıştırılarak ateşlenmesi yöntemi, literatürde; aktif termo atmosfer yanması (ATAC), ön karışımli sıkıştırma ateşlemesi (PCCI), homojen dolgulu dizel yanması (HCDC), ön karışımli fakir dizel yanması (PREDIC) gibi farklı isimlerle adlandırılmaktadır. Çeşitli yakıtların kullanılabilirdiği bu yöntemlere ilişkin araştırmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir (Warnatz ve Dibble 2001). Literatürde, temel olarak üç farklı tip homojen dolgulu motora rastlanmıştır. Homojen dolgunun ateşlenmesi; bazı ek donanımlar yardımıyla, sadece sıkıştırılarak veya dizel yakıtı ile gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 1.2’de a) Homojen Dolgulu Sıkıştırma Ateşlemeli (HDSA), b) Ön Karışımli Fakir Dizel Yanması (ÖKFDY) ve c) Homojen Dolgulu Dizel Yanması (HDDY) ilkesine göre çalışan motorların şematik gösterimi sunulmuştur.



Şekil 1.2. a) HDSA motorun, b) ÖKFDY motorun ve c) HDDY motorun şematik gösterimi

Birinci yöntem, emme kanalında oluşturulan homojen dolgunun kendi kendine tutuşana kadar sıkıştırılması ilkesine dayanmaktadır. Bu şekilde çalışan motorlara Homojen Dolgulu Sıkıştırma Ateşlemeli (HDSA) (Homogenous Charge Compression Ignition-HCCI) motor denilmektedir. İkinci homojen dolgu yönteminde yakıt, sıkıştırmanın başlangıcında çok erken avanslı olarak püskürtülmektedir. Böylece kısmi olarak homojenize bir dolgu elde edilmekte ve üst ölü nokta (ÜÖN) yakınlarında yanma kendi kendine başlamaktadır. Bu yöntem ise Ön Karışımli Fakir Dizel Yanması (ÖKFDY) (Premixed Lean Diesel Combustion-PREDIC) veya Ön Karışımli Sıkıştırma Ateşlemesi (Premixed Compression Ignition-PCI) olarak adlandırılmıştır. Üçüncü yöntemde ise emme kanalında homojen dolgu oluşturulmaktadır ancak burada homojen dolgunun ateşlenmesi, sıkıştırma sürecinin sonlarında, direkt olarak sıkıştırılmış homojen dolgunun içerisine yakıt püskürtülmesi yöntemiyle gerçekleşmektedir. Bu yöntem, literatürde Homojen Dolgulu Dizel Yanması (HDDY) (Homogenous Charge Diesel Combustion-HCDC) olarak adlandırılmıştır (Suzuki vd., 1998).

Literatürde, konvansiyonel dizel yanmasına alternatif olarak düşünülen bu yöntemlerin karşılaştırmalarına da rastlanmıştır. Homojen dolgunun ateşlenmesi farklı isimlerle belirtilse de, yukarıda sözü geçen üç ana ilkeye göre sınıflandırıldıkları görülmektedir. Örneğin Shim vd. (2020) homojen dolgulu motor modellerinden HDSA, ÖKFDY ve HDDY yöntemlerini tek silindirli bir ağır dizel motorunda gerçekleştirerek yanma, eksoz emisyonları ve verimlilik açısından karşılaştırmıştır. Her üç yöntemin de EURO VI standartlarının altında  $NO_x$  ve PM emisyonu değerleri oluşturduklarını belirtmişlerdir. Tek yakıtlı yöntemlerde (HDSA ve ÖKFDY) yanma fazının kontrolü zordur.

Bu sorunu gidermek amacı ile %40 ve üzeri oranlarda EGR uygulanarak ve çoklu püskürtme yöntemleri kullanılarak, en iyi ısıl verimi sağlayacak yanma fazının belirlenmesi gerekmektedir. Burada eksik yanma nedeni ile toplam HC ve CO emisyonları açısından dizel motoruna göre 38 kat daha fazla emisyon üretilmektedir. Bu nedenle tek yakıtın kullanıldığı homojen dolgulu yanma modelleri henüz ticarileşebilir durumda değildir. Yazarlar HDDY modeline göre çalıştırdıkları motorda doğalgaz fumigasyonu kullanmış ve homojen dolguyu dizel yakıtı ile ateşlemişlerdir. Diğer iki yönteme kıyasla bu yanma modelinde yanma fazının kontrolü fumigasyon oranı ile püskürtme zamanının ayarlanabilmesi nedeniyle daha kolaydır. Düşük yüklerde %40 fumigasyonun uygulanması durumunda, ısıl verimde %45.3 ve CO<sub>2</sub> emisyonlarında %14.3 iyileşme elde edilebilmiştir. Buna karşın dizel motoruna göre 7.8 kat fazla HC emisyonu üretildiği görülmüştür. HC emisyonlarının, dizel motoruna göre yüksek olmasına karşın, tek yakıtlı diğer iki yanma modeline göre oldukça düşük olduğunu belirtmek gerekir.

Mazda firması, yakın zamanda SPCCI (Buji Kontrollü Sıkıştırma Ateşleme-Spark Controlled Compression Ignition) olarak tanımlanan yanma modeline göre çalışan bir motoru kullanacağını açıklamıştır. Bu yanma modelinde; düşük yüklerde fakir benzin-hava karışımının HDSA motorlarda olduğu gibi kendi kendine tutuşması ve yüksek yüklerde zengin benzin-hava karışımının buji desteği ile ateşlenmesi söz konusudur. Üretici firma, bu yöntemde performans karakteristiklerinde ve eksoz emisyonlarında kayda değer iyileşmelerin elde edildiğini belirtmektedir (URL-1, 2019).

Homojen dolgunun ateşlenmesi ve yanmanın kontrolü için literatürde birçok yöntem denenmiştir. Bunlar arasında EGR, değişken supap zamanlaması, emme kanalının ısıtılması, turboşarj, sıkıştırma oranının düşürülmesi vb. gibi motor ve yan donanımlarının modifikasyonlarının yanında, farklı yakıtların bir arada kullanımı da yer almaktadır (Christensen vd., 1999; Morimoto vd., 2001; Fatih vd., 2011).

Yukarıda açıklanan yöntemlere ilişkin literatürde muhtelif çalışmalara rastlanmıştır. Söz konusu çalışmalar ayrıık bölümler halinde aşağıda sunulmaktadır.

### **1.2.1. Homojen Dolgulu Sıkıştırma Ateşlemeli Motorlar (HDSA) ile İlgili Çalışmalar**

Benzin ve dizel motorların iyi özelliklerini bir arada bulandıran homojen dolgulu sıkıştırma ateşlemeli (HDSA) (Homogenous Charge Compression Ignition-HCCI)

motorların ilk örneği Onishi vd. (1979) tarafından 1979 yılında alternatif bir yanma tipi olarak düşünülmüştür. İki zamanlı bir motora uygulanan bu sistem, aktif termo atmosfer yanma (Active Thermo Atmosphere Combustion-ATAC) olarak adlandırılmıştır.

Thring (1989) tarafından yapılan bir çalışmada HDSA yanma, dört zamanlı bir motorda bazı koşullar altında düzgün ve kararlı şekilde elde edilebilmiştir. HDSA motor; emme kayıpları olmaksızın, düşük yükte çalışabilme olanağı ile bir dizel motoru gibi yakıt ekonomisi sağlayabilmenin yanında, aynı motorda tam yük altında çalışabilmesi ile benzin motorlara nazaran daha fazla güç olanağı sunmuştur.

Aoyama vd. (1996) tarafından geliştirilen bir HDSA motorda, motor karakteristikleri ve eksoz emisyonları deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada tek silindirli, benzinli ve emme manifolduna yakıt püskürtülen bir motor kullanılmıştır. Sıkıştırma oranı 17.4 olan motor 33-34/1 hava-yakıt oranı aralığında kararlı olarak çalışmıştır ve yanma dizel motorlarında olduğu gibi rastgele noktalarda kendiliğinden oluşmuştur. Ardından alev cephesi yanma odası boyunca gelişme göstermiştir. Kararlı yanma koşullarında bu motordan, klasik dizel motoruna eşit yakıt ekonomisi ve çok daha düşük NO<sub>x</sub> konsantrasyonları elde edilmiştir.

HDSA motorlarda yakıt, sıkıştırma ateşlemeli bir motorda olduğu gibi kendi kendine tutuşabilecek şekilde yeteri kadar yüksek bir sıcaklığa maruz bırakılmaktadır ancak sıkıştırma ateşlemeli motorun tersine, homojen olarak karışmış bir yakıt-hava karışımı kullanılmaktadır. Homojen karışım, buji ateşlemeli motorlardaki gibi düşük basınçlı bir püskürtme sistemi veya bir karbüratör aracılığıyla emme sistemi içerisinde oluşturulmaktadır ve ayrıca herhangi bir ateşleme sistemine gerek duyulmamaktadır. Yanma hızını sınırlamak için çok seyreltik karışımlar kullanılmalıdır. Yüksek seyreltim oranları, yüksek hava-yakıt karışımı oranları veya eksoz gazı resirkülasyonu (Exhaust Gas Recirculation-EGR) kullanılarak elde edilebilmektedir. Eğer karışım fazla zengin ise, yanma hızı çok artar ve vuruntuya bağlı problemlere neden olur. Çok fakir karışım ise eksik yanmaya veya geç yanmaya (misfire) neden olur. Benzin motorlarında, karışımın buji civarında yeterince homojen olmamasından kaynaklanan erken alev gelişimi nedeniyle çevrimden-çevrime değişimler/farklılıklar büyüktür. HDSA motorlarda ise yanma birçok noktada aynı anda başladığı için çevrimden-çevrime farklılıklar daha az görülür. Ayrıca tüm karışım homojene yakın şekilde yanmaktadır. Bu yolla düzensiz alev büyümesi de engellenmiş olur (Christensen vd., 1997).

Christensen vd. (1998) tek silindirli ve dört zamanlı bir dizel motorunu HDSA motor olarak çalıştırarak, aşırı doldurmanın HDSA motor üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada izo-oktan, etanol ve CNG olmak üzere üç farklı yakıt kullanılmıştır. İki farklı sıkıştırma oranı (17 ve 19) kullanılarak 0, 1 ve 2 bar emme basınçlarında deneyler yapılmıştır. Aşırı doldurmanın HDSA motorlarda ortalama indike basınç üzerinde önemli düzeyde etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen en yüksek ortalama indike basınç değeri 14 bardır ve bu değere yakıt olarak CNG kullanılması, emme basıncının 2 bar, püskürtme basıncı üst limitinin 250 bar ve sıkıştırma oranının 17 olması durumunda ulaşılmıştır. Daha düşük bir sıkıştırma oranı ve daha yüksek bir emme basıncı değerinde ortalama indike basınç değerinin artacağı ancak buna paralel olarak da verimin düşeceği belirtilmiştir. Motor yükü ve emme basıncı arttıkça hidrokarbon emisyonlarının azaldığını gözlemlemişlerdir. Karbon monoksit (CO) emisyonlarının ise yakıt-hava oranına ve emme havasının sıcaklığına bağlı olduğunu açıklamışlardır. Zengin karışım sınırına yakın karışım oranında ve emme havasının sıcak olması durumunda çok az karbon monoksit oluştuğu görülmüştür. Tüm durumlarda NO<sub>x</sub> konsantrasyonunun çok düşük değerlere ulaştığını gözlemlemişlerdir.

Klasik dizel motoru ile HDSA motorlar karşılaştırıldığında; HDSA motorların düşük NO<sub>x</sub> konsantrasyonları ve düşük is miktarı oluşturdukları görülür. Dizel motorlarında yakıtça zengin bölgelerde is, sıcak stokiometrik bölgelerde de NO<sub>x</sub> oluşumu gözlenir. Burada iki farklı mekanizmanın var oluşu nedeni ile hem NO<sub>x</sub> konsantrasyonlarını hem de is oluşumunu, yanmayı iyileştirerek aynı anda azaltmak çok zordur. Bu problemlerin aşılması amacı ile homojen dolgu yöntemi uygulanabilmektedir. HDSA'nın en önemli sorunu, geniş bir yük-devir aralığında ateşleme zamanlamasının ayarlanma gereğidir. Benzin ve dizel motorları ile karşılaştırıldıklarında yanmamış hidrokarbonların daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Christensen vd., 1999).

Christensen ve Johansson (1999) sıkıştırma oranı 18 olan HDSA bir motora su püskürtülmesi yoluyla ateşleme zamanını kontrol etmeyi ve yanma hızını yavaşlatmayı deneysel olarak incelemişlerdir. Üç farklı yakıt için (izo-oktan, etanol ve sıkıştırılmış doğalgaz) farklı oranlarda su püskürtülmesinin, farkı oranlarda yakıt-hava karışımlarının ve farklı emme basınçlarının etkileri göz önüne alınmıştır. Su püskürtülmesi ile ateşleme zamanının kontrolünün çok dar bir aralıkta mümkün olduğunu buna karşın yanmamış hidrokarbon ve karbon monoksit emisyonlarının yükseldiğini belirlemişlerdir. Aynı zamanda su püskürtmesinin soğutma etkisi doğurarak yanma hızını azalttığı, böylece

maksimum basıncı düşürerek HDSA motorun yük limitini yükselttiğini de gözlemlemişlerdir.

Flowers vd. (2000) tek silindirli ve sıkıştırma oranı 16 olan bir CFR (Cooperative Fuel Research) motorunu HDSA motor olarak çalıştırmışlardır. Ekivalans oranı 0.2-0.4 aralığında olacak şekilde propan ve dimetileter (DME) karışımı kullanılmış, farklı emme havası sıcaklıkları altında motor hızı 1800 d/d olarak sabit tutulmuştur. Tutuşma gecikmesinin (TG) HDSA yanma sürecine etkilerini incelemek üzere deneyler yapılmış, tutuşma gecikmesinin artmasıyla, indike verimin arttığı belirlenmiştir. Aynı zamanda, tutuşma gecikmesinin artması ile ortalama indike efektif basıncın azaldığı görülmüştür. Tutuşmanın daha da geciktirilmesi ise HC emisyonlarını arttırmış, buna karşın azot-oksit emisyonlarını kayda değer şekilde düşürmüştür.

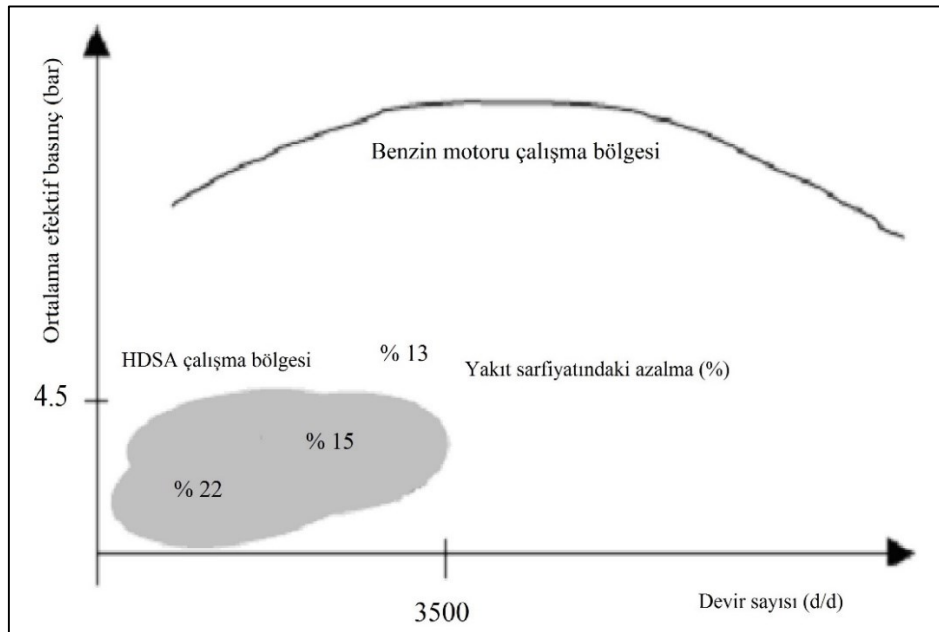
Au vd. (2001) 1.9 litre toplam strok hacimli 4 silindirli ve sıkıştırma oranı 18.8 olan bir Volkswagen TDI dizel motorunun emme kanalına 18 kW gücündeki bir hava ısıtıcısı ekleyerek, bu motoru HDSA motor olarak çalıştırmışlardır. Yakıt olarak benzin kullanılmış ve emme manifoldundan püskürtülmüştür. Eksozdan emme kanalına gönderilen eksoz gazlarının oranı bir EGR valfi yardımıyla ayarlanmıştır. Sabit emme sıcaklığı altında yanmanın başlamasının EGR oranıyla ilişkisinin çok zayıf olduğu ancak yanma süresinin EGR oranına bağlı olduğu gözlemlenmiştir. EGR oranının, ortalama indike basınca veya indike verime pek bir etkisi olmadığı da görülmüş ve tüm EGR oranları için  $NO_x$  emisyonlarının çok düşük olduğu, yanmamış hidrokarbon ve CO emisyonlarının yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Klasik bir benzin ya da dizel motorunda yanma, ateşleme veya kendi kendine tutuşma ardından bir alev yardımı ile başlar. Bu nedenle kısa bir zaman dilimi içinde toplam yakıtın sadece küçük bir bölümü yanar. Bunun sonucu olarak maksimum basınç ve enerjinin açığa çıkış oranı görece olarak düşük olur. HDSA'da ise yakıt-hava karışımı kısa bir zaman diliminde birçok noktada aynı anda ateşlenir ve yanar. Sonuç olarak HDSA'da maksimum basınç ve enerjinin açığa çıkış oranı daha yüksektir. Bu yüksek basınca dayanabilmesi için motorun daha sağlam bir yapıda üretilmesi gerekmektedir. Buna karşın çok seyreltik yakıt-hava karışımlarının kullanımı ile yanma hızı ve maksimum basınç değerleri sınırlanabilmektedir. HDSA'da gerçekleşen hızlı yanmayı daha geniş bir zamana yaymak için, farklı kendi kendine tutuşma özellikleri olan iki farklı yakıt da kullanılabilir. Bunun yanında kendi kendine tutuşma sıcaklığı düşük yakıtların kullanılması ile emme sıcaklığının daha düşük tutulması sağlanabilmektedir (Mack vd., 2004).



Persson vd. (2004) doğal emişli, sıralı altı silindirli, sıkıştırma oranı 10.3 olan 2.9 litre toplam strok hacimli bir Volvo benzin motorunu negatif supap bindirme yaparak HDSA motor olarak çalıştırmışlardır. Standart emme kanalı enjektörleri kullanılmış ve pistonlarda veya silindir kafasında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Emme havasının sıcaklığını kontrol edebilmek için bir ısı eşanjörü kullanılmıştır. Motorun; benzin motoru ve HDSA motoru durumlarında çalışmasına ilişkin karakteristikleri karşılaştırılmıştır. HDSA motorda silindir sıcaklıkları daha düşük olduğu için hidrokarbon (HC) emisyonlarının daha fazla, buna karşın fakir karışımlı yanma olduğu için de  $\text{NO}_x$  konsantrasyonunun ve CO emisyonlarının çok düşük olduğu gözlemlenmiştir. Emme havasının sıcaklığının yükseltilmesinin ise sadece biraz daha supap bindirmesi etkisi yaptığı gözlemlenmiştir.

Jillian vd. (2008) tarafından; tek silindirli (sıkıştırma oranı 13.2) ve dört silindirli (sıkıştırma oranı 11), dört zamanlı, doğal emişli Ford marka motorlar, ticari benzin kullanılarak ve değişken supap zamanlaması uygulanarak HDSA motor olarak çalıştırılmış, yakıt tüketimi ve eksoz emisyonları incelenmiştir. Motorların HDSA olarak çalışabilmesi için çok fakir yakıt-hava karışımına veya önceki çevrimden kalan artık eksoz gazları vasıtası ile oluşturulan seyreltik yakıt-hava karışımına gerek duyulmuştur. Seyreltme işlemi kendi kendine tutuşma için gerekli olan ısı enerjisine ihtiyacı azaltmakta, çok hızlı ısı açığa çıkışını engelleyerek vuruntuyu önlemektedir.



Şekil 1.3. Benzin motorunun ve HDSA motorun çalışma koşullarının karşılaştırılması (Jillian vd., 2008).

Değişik hız ve yük durumları için supap zamanlaması ve emme manifoldu basınçları değiştirilerek deneyler yapılmış, konvansiyonel benzin motordan başlanarak HDSA yanma elde edilene kadar negatif supap bindirmesi denenmiştir. Elde edilen maksimum ortalama efektif basınç 4.5 bar ve maksimum devir 3500 d/d olarak belirlenmiştir. Şekil 1.3'te motorun benzin motoruna kıyasla yakıt tüketimindeki azalma ve HDSA yanma ile elde edilebilen motor hızı ve ortalama efektif basınç değişimleri görülmektedir. HDSA çalışma bölgesi olarak tanımlanan alanın, en fazla 4.5 bar, ortalama efektif basınç ve 3500 d/d devir sayısı ile sınırlı olduğu görülmektedir. Bu aralıkta, özellikle düşük yüklerde ve düşük devir sayılarında % 22'ye varan yakıt tasarrufu elde edilebilmiştir.

### **1.2.2. Ön Karışımli Fakir Dizel Yanması (ÖKFDY) ile İlgili Çalışmalar**

Harada vd. (1998) karışım oluşumunun Ön Karışımli Fakir Dizel Yanması - ÖKFDY üzerine etkileri incelemişlerdir. İğne tipi enjektör kullanımının homojen bir karışım oluşturabilmesi ve yakıt demetinin silindir çeperine çarpmasını engellemesi açısından ÖKFDY motorlarda uygulanabilir olduğunu açıklamışlardır. Deney motoru olarak tek silindirli, doğal emişli ve sıkıştırma oranı 16.5 olan bir dizel motoru kullanılmıştır. Motorun, biri merkezde ve diğer ikisi yanlarda olmak üzere üç tane enjektörü vardır ve her bir enjektörün püskürtme zamanlaması ayrı ayrı kontrol edilebilmektedir. Gerçek anlamda homojen bir karışım elde edilebilmesi için emme kanalından silindir içerisine gaz yakıtlar gönderilmiştir. Düşük kaynama sıcaklığı olan ve dizel yakıtı ile benzer ateşlenme özellikleri taşıyan DME ve erken ateşleme elde edebilmek için metan kullanılmıştır. Yanma odasının içerisindeki karışım dağılımının ve miktarının, yakıt demetinden ve yanma odası şeklinden etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Eksoz emisyonları açısından en iyi hava fazlalık katsayısının 2.3 olduğunu belirlemişlerdir. Emme havasının içerisine gaz yakıtın homojen dolgu oluşturacak şekilde gönderilmesi durumunda düşük NO<sub>x</sub> konsantrasyonu değerleri elde edilmiştir.

Seko vd. (1998) tarafından su soğutmalı, tek silindirli, dört zamanlı ve direkt püskürtmeli bir motor, metanol ile ÖKFDY ilkesine göre çalıştırılmış, 17.1, 23.3 ve 27.2 gibi farklı sıkıştırma oranları denenmiştir. Aynı motor, karşılaştırma amaçlı olarak 15.6 sıkıştırma oranında dizel motoru olarak da çalıştırılmıştır. Bu çalışmada kendi kendine tutuşmanın temel faktörünün, ateşleme anındaki gaz sıcaklığı olduğunu ve bu sıcaklığın 1000 K üzerine çıktığında kendi kendine tutuşmanın gerçekleştiğini belirlemişlerdir.

Metanol ile çalışan ÖKFDY motorun  $\text{NO}_x$  konsantrasyonunun 2 g/kWh değerinin altında olduğunu belirtmişlerdir.

Hashizume vd. (1998) tarafından geliştirilen iki aşamalı yanma modelinin birinci aşamasında yakıt yanma odasına çok erken püskürtülmüş ve sıkıştırılarak ateşlenmiştir (ÖKFDY). İkinci aşamada ise ÖKFDY tamamlandıktan sonra yakıt tekrar yanma odasına püskürtülmektedir. Burada zaten yüksek olan silindir içi gaz sıcaklıklarından yararlanılarak ikinci aşamada yanma gerçekleşebilmektedir. İkinci aşamada yanma düşük  $\text{O}_2$  konsantrasyonunda gerçekleştiği için düşük  $\text{NO}_x$  konsantrasyonu ve is değerleri elde edilebilmiştir. Bu yanma sistemi MULDIC (Multiple Stage Diesel Combustion) olarak adlandırılmıştır.

Kimura vd. (1999) Modulated Kinetics (MK) olarak adlandırdıkları yanma yöntemini tek ve dört silindirli motorlara uygulayarak, yanma ve emisyon karakteristiklerini incelemişlerdir. MK yanma modeli yakıt tüketimini arttırmaksızın düşük silindir sıcaklığı ve ön karışimli yanma karakteristiği ile  $\text{NO}_x$  konsantrasyonunu ve is emisyonlarını düşürmektedir. Ön karışimli yanma ilkesine dayalı bu modelde ateşleme gecikmeli olarak yapılmaktadır ve püskürtülen yakıtın piston çukuruına doğru yayılmasını kolaylaştıracak şekilde yuvarlaklaştırılmış bir yanma odası kullanılmıştır. Ek olarak yüksek bir girdap etkisi oluşturularak, yanmamış hidrokarbon emisyonlarının düşürülmesi sağlanmıştır. Deneysel sonuçlar MK yanma modelinin soğutma kayıplarını da azalttığını göstermiştir. Yüksek oranda EGR kullanılması ile düşürülen oksijen oranı ve geciktirilen püskürtme zamanının ortak etkisi olarak  $\text{NO}_x$  konsantrasyonunda ve islerde azalma belirlenmiştir. Düşük sıkıştırma oranının EGR soğutmasının ve yüksek basınçlı yakıt püskürtülmesi uygulamasının MK motordaki çalışma aralığını genişlettiği görülmüştür.

Shimazaki vd. (1999) direkt püskürtmeli, sıkıştırma oranı 16.5 olan tek silindirli bir dizel motorunu ÖKFDY motoru olarak çalıştırmışlardır. Kullanılan gaz yakıtlar DME ve propandır ve emme kanalına belirli oranlarda karıştırılarak gönderilmiştir. Kullanılan sıvı yakıt ise dizel yakıtı olup, emme kanalına gönderilmeden önce bir buharlaştırıcı üniteden geçirilerek gaz haline getirildikten sonra n-pentan ile karışım halinde emme kanalına gönderilmiştir. Motor hızı 750 ila 2000 d/d aralığında değiştirilerek ÖKFDY çalışma bölgesi belirlenmeye çalışılmıştır. Karışım heterojenliğinin, motor hızının ve püskürtme zamanının, ateşleme zamanı ve yanma hızı üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Yüksek yük durumunda hava fazlalık katsayısının 2.0 ~ 2.4 aralığında olduğu belirlenmiştir. Bu limitin dizel vuruntusu veya  $\text{NO}_x$  konsantrasyonu nedeniyle sınırlandırıldığını belirtmişlerdir.

Iwabuchi vd. (1999) direkt püskürtmeli (DP), dört zamanlı ve tek silindirli bir motorda setan sayısı 58 olan 2 numara hafif yağ kullanarak, motoru ÖKFDY şeklinde çalıştırmışlardır. Enjektör memesi silindir kafasına dik olarak tam ortaya yerleştirilmiştir. En düşük sıkıştırma oranı 12 olarak belirlenmiştir ve deney esnasında değişik oranlar denenmiştir. Delikli klasik bir enjektör kullanıldığında yakıt demeti fazla ilerlemiş ve yanma odası duvarına etki etmiştir. Bu durumda,  $NO_x$  konsantrasyonu düşük olmasına karşın, ÖYT'nin ve hidrokarbon emisyonunun yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle kısa ve geniş bir demet oluşturulmasının gerekli olduğu kanısına varılmıştır. ÖKFDY'nin parlak alev bölgesinde değil de yanma odası boyunca gerçekleştiğini gözlememişlerdir. Buna ek olarak aşırı doldurmanın ÖKFDY motorun çalışma aralığını genişlettiği görülmüştür.

Sjöberg vd. (2002) altı silindirli, direkt püskürtmeli, turboşarjlı ve sıkıştırma oranı 18 olan bir ağır vasıta dizel motorunun tek silindirine benzin püskürtme amacı ile yeni bir yolcu taşıtı enjektörü eklemişlerdir. Diğer beş silindirin direkt dizel enjektörleri aynen korunmuştur. EGR'nin kullanılmadığı durumlarda, turboşarj devre dışı bırakılmış ve ÖKFDY olarak çalışan silindirin emme kanalına elektrikli ısıtıcılar eklenmiştir. EGR'nin kullanılması durumunda ise altıncı silindirin tüm eksoz gazları ÖKFDY olarak çalışan birinci silindire yönlendirilmiştir. EGR'nin uygulanmadığı durumda; emme strokunun tam ortasında benzin püskürtülmesinin en homojen dolguyu oluşturduğunu, 0.29 ekivalans oranında  $NO_x$  ve is emisyonlarının aynı anda düşürüldüğünü ve yüksek yanma verimi elde edildiğini, emme dolgusunun bir dizel silindirinden sağlanan EGR ile seyreltilmesinin yanmayı iyileştirdiğini ve vuruntuyu azalttığını gözlemlemişlerdir.

Sjöberg ve Dec (2004) sıkıştırma oranı 18 olan Cummins marka direkt püskürtmeli bir dizel motorunun püskürtme sistemini bir direkt benzin enjektörü (Gasoline Direct Injector – GDI) ile değiştirerek, emme kanalına eklenen diğer bir direkt benzin enjektörü yardımı ile motoru ÖKFDY motoru olarak çalışacak şekilde düzenlemiş, homojen dolgunun sıcaklığının motor karakteristiklerine etkilerini incelemişlerdir. Burada yakıt olarak izo-oktan kullanılmıştır ve deneysel çalışmanın sonucunda emme işlemindeki ısı transferi miktarının emme dolgusunun, sıcaklık değişimi ile lineer olarak değiştiğini açıklamışlardır. Motor hızının artması ile emme işlemindeki ısı transferi etkisinin azalmadığını gözlemlemişlerdir. Yanma odasına direkt püskürtülen yakıtın buharlaşması nedeniyle dolgunun soğumasının püskürtme zamanlaması ile değişim gösterdiğini, püskürtme zamanının geciktirilmesi ile yakıt demetinin piston yüzeyine çarpmasının azaltıldığını ve

sonuç olarak yakıtın buharlaşması için gereken ısının çoğunun dolgudan karşılandığını açıklamışlardır.

### **1.2.3. Fumigasyon ve Homojen Dolgulu Dizel Yanması (HDDY) ile İlgili Çalışmalar**

Odaka vd. (1992) ağır yükler altında çalışan 11.6 litre hacimli ve direkt püskürtmeli bir dizel motorunda EGR kullanarak metanol fumigasyonunun incelemişlerdir. EGR oranı %0-20 aralığında değiştirilmiş ve fumigasyon oranı %30'a kadar artırılmıştır. Fumigasyon oranı arttıkça islerin azaldığını ve yakıt tüketiminin iyileştiğini, EGR'nin NO<sub>x</sub> üzerindeki etkisinin metanol fumigasyonundan bağımsız olduğunu ve yüksek yüklerde EGR ve metanol fumigasyonunun birlikte NO<sub>x</sub>'i daha etkin şekilde düşüreceğini, buna karşın CO ve HC emisyonlarının arttığını bildirmişlerdir.

Homojen dolgulu dizel yanması ilk olarak Japonya mülga Trafik Güvenliği ve Zararları Araştırma Enstitüsü'nde (Traffic Safety and Nuisance Research Institute) Suzuki vd. (1997) tarafından geliştirilmiştir. Yakıtın büyük kısmı, fumigasyon şeklinde emme kanalından motora gönderilmiş ve az miktarda yakıtın, direkt silindir içine püskürtülmesi ile ateşleme kontrolü sağlanmıştır. Bu çalışmada, yüksek yüklerde ani basınç artışları nedeni ile oluşan gürültünün büyük bir problem oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Klasik direkt püskürtmeli dizel motorlarında yakıtın silindir içerisine püskürtülmesinden dolayı ortalama olarak fakir karışimli bir yanma gerçekleşmesine karşın, yanma odası boyunca yakıt-hava karışımı zenginden fakire doğru geniş bir aralıkta değişir. NO<sub>x</sub> oluşumu zengin ve fakir bölgeler arasındaki stokiyometrik bölgelerde, is ise yanmanın yavaş olduğu difüzyon yanma periyodunda oluşur. Bu problemin giderilmesi için, yakıtın çoğunun homojen bir yakıt-hava karışımı olarak yanma odasına avanslı şekilde gönderildiği ve az miktarda dizel yakıtının ateşleyici olarak yanma odasına sıkıştırma zamanının sonlarına doğru direkt olarak püskürtüldüğü bir homojen dolgulu dizel yanması düşünülmüştür (Ishii vd. 1997). Buna göre zengin karışım bölgesi olmaksızın, yakıt-hava oranı dağılımının homojen hale gelmesi ile yanmanın silindir içerisinde sadece fakir karışım aşamasında olması ve dolayısı ile NO<sub>x</sub> oluşumunun sınırlandırılması beklenmiştir. Ayrıca is oluşumunun da difüzyon yanma bölgesinin küçülmesi nedeni ile düşük olacağı tahmin edilmiştir. Bu yöntem ile aynı zamanda ateşlemenin geniş bir yük aralığı boyunca kontrol altında tutulması sağlanmaktadır. HDDY olarak çalışan bu tür bir motorda yapılan deneyler

sonucunda silindir içerisindeki bölgesel yüksek sıcaklıkların oluşumu azaltılarak  $\text{NO}_x$  konsantrasyonu azaltılmıştır.

Suzuki vd. (1997) tarafından sıkıştırma oranı 20.4 olan direkt püskürtmeli bir AVL dizel motorunun emme kanalına yakıt enjektörü eklenerek HDDY motor şeklinde çalışması sağlanmış ve bu motorun emisyon karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Deney boyunca motor hızı 1500 d/d'da sabit tutulmuş, ön karışım yakıtı olarak izo-oktan kullanılmış, ön karışım oranı %0-100 aralığında değiştirilerek dizel yakıtı ÜÖN'den 15 derece önce püskürtülmüş ve %0-30 aralığında EGR uygulanmıştır. Tüm yük aralığı boyunca, izo-oktan yakıtının oranının artması ile is ve  $\text{NO}_x$  miktarlarında düşüş olduğu belirtilmiştir. Ön karışım oranı %80 ve daha yüksek iken  $\text{NO}_x$  konsantrasyonu belirgin şekilde azalmıştır. Ateşleme için gerekli olan dizel yakıtı miktarının, ön karışımın düzeyine bağlı olduğu ve yük miktarı arttıkça ateşleme için gerekli olan dizel yakıtı miktarının azaldığı belirlenmiştir. Ön karışım oranının artması ile hidrokarbon emisyonunun arttığı görülmüştür. Bunun, yanma odası içerisinde alev olmayan bölgelerdeki bir kısım ön karışım dolgusunun yanmamış olarak kalmasından kaynaklandığı ileri sürülmüştür. Bu nedenle yanma odası şeklinin ve silindir içerisindeki hava hareketlerinin geliştirilmesi gerektiğini açıklamışlardır. Düşük  $\text{NO}_x$  konsantrasyonu ile sınırlı çalışma bölgesinin, ön karışım yakıtının oktan sayısı ile ilişkili olduğunu ve oktan sayısı azaldıkça düşük  $\text{NO}_x$  konsantrasyonu ile sınırlı çalışma bölgesinin genişlediğini, buna karşın yük üst limitinin de düştüğünü açıklamışlardır. Deney boyunca düşük  $\text{NO}_x$  konsantrasyonu ile sınırlı çalışma bölgesi, ön karışım yakıtının oktan sayısı 50-100 aralığında değiştirilmesi ile hava-yakıt karışımının %28-80 aralığında olduğu durumda elde edilmiştir. Bunun yanında ön karışım yakıtının oktan sayısı değiştirilmeksizin motora EGR uygulanmasının tüm yük bölgesi boyunca  $\text{NO}_x$  konsantrasyonunu düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. EGR ile birlikte tutuşma gecikmesi artmış ve dizel yakıtının ön karışım dolgusu ile karışması iyileşmiştir. Bu nedenle yanma gelişimi göreceli olarak yavaşlamış ve yalnızca  $\text{NO}_x$  konsantrasyonu değil, is oluşumu da kontrol edilebilmiştir. Bunun yanında ÖYT'nin azalabileceği de belirtilmiştir.

Yine 4 zamanlı, 4 silindirli ve sıkıştırma oranı 20.4 olan bu tip bir motorda, karışım oranı %0-100 aralığında değiştirilerek yanmanın kontrolü için deneyler yapılmış, birincil ve ikincil yakıt olarak dizel yakıtı kullanılmış ve motor farklı yüklerde, 1500 d/d devirde HDDY motor olarak çalıştırılmıştır. Düşük  $\text{NO}_x$  konsantrasyonu ve is değerleri elde edilebilmesi için yüksek oranda homojen dolgunun kullanılması gerektiği, düşük yükte  $\text{NO}_x$  konsantrasyonunu ve is değerlerini azaltmak için yüksek oranda homojen dolgu

kullanılabileceği ancak bu durumda yakıt tüketimi ve hidrokarbon emisyonu problemi olduğu gözlemlenmiştir (Suzuki vd., 1998). Motorun NO<sub>x</sub> konsantrasyonunu artırmadan tam yükte çalışabilmesinin, püskürtülen ateşleyici yakıtın miktarının değiştirilmesi ile sağlanabileceği görülmüştür.

Abu-Qudais vd. (2000), tek silindirli bir dizel motorunda etanol fumigasyonunun ve etanol-dizel yakıt karışımının, eksoz emisyonları ve motor performansına etkilerini incelemiştir. Fumigasyon yönteminin, karışım yönteminden daha iyi sonuçlar verdiğini, en uygun etanol fumigasyonu oranının %20 olduğunu, bu fumigasyon oranında ısıl verimin %7.5 arttığını, CO emisyonlarının %55 ve HC emisyonlarının %36 artırdığını, buna karşın is konsantrasyonunu %51 oranında azalttığını belirtmişlerdir.

Zaidi vd. (2002) direkt püskürtmeli bir dizel motorunda, dizel fumigasyonunun eksoz emisyonlarına etkilerini incelemiştir. Emme kanalında hava ile dizel yakıtını karıştırmak sureti ile %30'a kadar fumigasyon oranı uygulamışlardır. %30'un üzerindeki fumigasyon oranlarında NO<sub>x</sub>'lerin yüksek oranda azaldığını, ancak vuruntu probleminin olduğunu belirtmişlerdir.

Lee vd. (2003) tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda homojen dolgu motorlarla ilgili deneysel ve sayısal bir çalışma yapmışlardır. Söz konusu çalışmada benzin, emme kanalında havanın içerisine püskürtülmüştür ve bu fakir homojen karışım ÜÖN civarında dizel yakıtı ile ateşlenmiştir. Burada %40, 60 ve 85 gibi farklı oranlardaki benzin, emme kanalında havanın içerisine püskürtülmüş ve bu durumun etkileri incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada %30 oranında EGR uygulanmasının etkisi de incelenmiştir. Emme kanalına eklenen benzin oranı arttıkça, silindir basıncı ve yanma süresi azalmıştır ve yanma genişleme işlemine doğru kaymıştır. Ayrıca emme kanalına püskürtülen benzin oranı arttıkça NO<sub>x</sub> konsantrasyonu ve isler önemli düzeyde azalmıştır. Yine EGR'nin uygulanması ile NO<sub>x</sub> konsantrasyonu azalmıştır. HC'ler ise emme kanalına eklenen benzin oranı ile artmıştır fakat artış oranı EGR ile az da olsa kontrol edilebilmiştir.

Himabindu ve Mahalakshmi (2006) sıkıştırma oranı 17.5 olan bir dizel motorunu HDDY motor şeklinde çalıştırarak NO<sub>x</sub> konsantrasyonunu ve is emisyonlarını düşürmeye çalışmışlardır. Burada farklı oranlarda gönderilen benzin ile homojen dolgu elde edilmiştir ve söz konusu homojen dolgu ÜÖN yakınlarında dizel yakıtı ile ateşlenmiştir. Düşük benzin oranlarında motorun dizel motoru gibi davrandığı gözlemlenmiştir. Benzin oranının artması ile motorun indike verim ve eksoz emisyon karakteristiklerinde iyileşme elde edilmiştir. %40 benzin karışımı oranında en iyi sonuç elde edilmiştir ve daha yüksek karışımlarda

vuruntu oluşmuştur. %40 karışım oranında ve %75 yükte  $\text{NO}_x$  konsantrasyonu %51.1 oranında azalmıştır. Yazarlar, islerde de belirgin şekilde azalmanın olduğu belirtmişlerdir.

Himabindu ve Mahalakshmi (2007) tarafından sıkıştırma oranı 17.5 olan direkt püskürtmeli bir dizel motorunda, çift yakıt kullanarak performans ve emisyon karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Klasik bir dizel motorunun emme kanalına yakıt enjektörü eklenerek HDDY motor olarak çalıştırılması sağlanmıştır. Ana yakıt olarak benzin, ikincil (yakıcı) yakıt olarak da dizel yakıtı ve sarasol kullanılmıştır ve %10 ila %40 oranlarında birincil yakıt kullanımının etkileri incelenmiştir. %40 oranında benzin kullanılması durumunda indike verimin ve eksoz emisyonu değerlerinin en iyi olduğu belirlenmiş, daha yüksek oranlarda ise vuruntu sorunu deneyi sınırlamıştır.

Cheng vd. (2008), biyodizel yakıtlı, dört silindirli, doğal emişli ve direkt püskürtmeli bir dizel motorunda, %10 metanol karışımını ve %10 metanol fumigasyonunu incelemiştir. Dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında hem karışım yönteminin, hem de fumigasyon yönteminin  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  ve PM emisyonlarında iyileşme sağladığını gözlemlemiştir. Düşük yüklerde karışım yönteminin ısı verimi daha fazla artırdığını, orta ve yüksek yüklerde ise fumigasyon yönteminin ısı verimi daha fazla artırdığını belirtmişlerdir.

Chapman ve Boehman (2008) common-rail ve turboşarjlı bir dizel motorunda dimetil-eter (DME) fumigasyonunu incelemiştir. DME, emme kanalına en fazla %44 oranında gönderilmiş ve homojen DME-hava karışımı, dizel yakıtı ile ateşlenmiştir. Yazarlar %44 fumigasyon oranına kadar  $\text{NO}_x$ 'in azalmasına karşın CO, HC ve PM emisyonlarının arttığını, ayrıca maksimum silindir basıncının da kayda değer derecede yükseldiğini bildirmişlerdir. PM'deki artışın sebebi olarak, DME miktarının artmasıyla ortamdaki oksijen miktarının azalması gösterilmiştir.

Park vd. (2011) common-rail ve dört silindirli bir dizel motorunda etanol karışımının etkilerini incelemiştir. Etanol karışımlı dizel yakıtı kullanımının düşük yüklerde  $\text{NO}_x$ 'i azalttığı ancak yüksek yüklerde artırdığını gözlemlemiştir.

Chauhan vd. (2011) 1500 d/d sabit hızda çalışan direkt püskürtmeli bir motorda etanol fumigasyonunun etkilerini incelemiştir. Motor devri sabit tutularak; yüksüz durumda ve %20, 45, 70 ve 100 yüklerde %48'e kadar fumigasyon oranı uygulanmıştır. Etanol fumigasyonu basit bir karbüratör yardımıyla gerçekleştirilmiş ve motorda başka bir değişiklik yapılmamıştır. Yapılan deneylerde yükün artmasıyla birlikte, eksoz gazı



sıcaklıklarında azalma olduğunu, orta yüklerde CO emisyonlarının azaldığını, yüksüz ve yüksek yük durumlarında arttığını ve NO<sub>x</sub>'in %16'ya kadar azaldığını belirtmişlerdir.

Surawski vd. (2012) dört silindirli bir Ford 2701C test motorunda, etanol fumigasyonunun eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Etanol, ısı eşanjöründe buharlaştırılarak bir enjektör yardımı ile emme kanalına gönderilmiş ve en fazla % 40 fumigasyon oranı denenmiştir. PM ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında belirgin düşüşler görülmesine karşın, HC ve CO emisyonlarının arttığını belirtmişlerdir.

Surawski vd. (2014) 5.9 L hacimli ve 6 silindirli, Cummins marka bir dizel motorunda LPG fumigasyonunun incelemişlerdir. 1500 ve 2500 d/d devir sayılarında yapılan deneylerde, %0-29.2 aralığında fumigasyon oranı uygulamışlardır. LPG'nin düşük setan sayısı nedeniyle tutuşma gecikmesinin arttığını, NO emisyonlarının azaldığını, PM oranlarının çok fazla değişmediğini ancak HC ve CO emisyonlarının kayda değer şekilde arttığını gözlemlemişlerdir. Isıl verimin 2500 d/d ve tam yükte arttığını, 1500 d/d ve tam yükte değişmediğini ve diğer durumlarda azaldığını belirtmişlerdir.

Wang vd. (2015) %6-100 oran aralığında metanol fumigasyonu uygulanan altı silindirli, turboşarjlı ve direkt püskürtmeli bir dizel motorunda, motorun çalışma aralığını ve yanma karakteristiklerini incelemişlerdir. Düşük yüklerde (%20), homojen karışımın soğutma etkisi nedeniyle yanmanın kötüleştiğini, yüksek yüklere ulaşıldıkça motorun aşırı gürültülü çalışmaya başladığını ve silindir içi basınç eğrilerinden güçlü akustik salınımlar oluşabileceği belirtilmiştir. Pilot dizel püskürtmesinin oransal olarak azalması ve fumigasyonun emme sıcaklığını düşürmesi, bazen HDSA benzeri vuruntuya neden olmuştur. Metanol miktarındaki artış, tutuşma gecikmesini artırmış ve homojen dolgunun kendi kendine tutuşmasına ve yüksek basınç artış oranları oluşmasına neden olmuştur. Motorun sağlıklı çalışabileceği fumigasyon oranının, motor yüküne bağlı olduğunu ve %43.5 yükte %76 fumigasyon oranı uygulanabildiğini gözlemlemişlerdir.

Pan vd. (2015) %0-40 aralığında metanol fumigasyonu uygulanan altı silindirli, turboşarjlı bir ağır dizel motorunda, emme havası sıcaklığının performans karakteristikleri ve eksoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Deneyler 1500 d/d sabit devirde ve ortalama efektif basıncın %75'i kadar yüklü şekilde yapılmıştır. Emme havası sıcaklığı ise 20-80 °C aralığında değiştirilmiştir. Emme havası sıcaklığı azaltıldıkça, tutuşma gecikmesi uzamış ve geç yanma nedeni ile daha düşük silindir basınçları elde edilmiştir. Aynı zamanda maksimum silindir basıncı da üst ölü noktadan daha uzakta gerçekleşmiştir. Isıl verimin de emme havası sıcaklığı ile ilgili olduğu görülmüştür ve emme havası sıcaklığı arttıkça ısı

verim artmıştır.  $\text{NO}_x$  ve NO konsantrasyonu, metanol fumigasyonu arttıkça azalmış, buna karşın  $\text{NO}_2$  konsantrasyonu artmıştır. Emme havası sıcaklığı arttıkça  $\text{NO}_2$  konsantrasyonu düşmesine karşın  $\text{NO}_x$  konsantrasyonu artmıştır. Diğer çalışmalara benzer şekilde fumigasyon oranı arttıkça HC ve CO emisyonlarının arttığı, ancak emme havası sıcaklığı arttıkça HC ve CO emisyonlarının azaldığı görülmüştür. Fumigasyonla birlikte PM emisyonlarının düştüğü, buna karşın emme havası sıcaklığı arttıkça PM'lerin arttığı belirtilmiştir.

Şahin vd. (2015) turboşarjlı ve direkt püskürtmeli Renault K9K700 motorunda n-bütanol-dizel karışımının ve n-bütanol fumigasyonunun motor performansı, eksoz emisyonları ve ısı oluşumu üzerine etkilerini incelemişlerdir. Hem karışım, hem de fumigasyon yöntemi isleri azaltmış, fumigasyon yönteminin isleri azaltmada daha etki olmuştur. nB2 karışımı durumunda (%2 bütanol, %98 dizel yakıtı)  $\text{NO}_x$  azalmış, nB4 ve nB6 karışım durumlarında artmıştır. Fumigasyon durumunda ise 2000 d/d devir sayısında tüm çalışma şartlarında azalmış, 4000 d/d devir sayısında ise nerdeyse değişmemiştir.  $\text{NO}_x$  üzerinde fumigasyon yöntemi, karışım yöntemine göre daha etkili olmuştur. Diğer çalışmalarda da görüldüğü üzere HC ve  $\text{CO}_2$  emisyonlarının arttığı ve karışım yönteminde  $\text{CO}_2$  konsantrasyonunun daha fazla arttığı belirtilmiştir. Karışım durumlarında efektif güç düşmüş, ÖYT nB2 karışımı durumunda biraz azalmış ve diğer karışım oranlarında artmıştır. Genel olarak nB2 karışımı durumunda daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Jamuwa vd. (2016) tek silindirli bir dizel motoruna etanol fumigasyonu uygulamış, motor performansı, eksoz emisyonları ve yanma parametrelerini incelemişlerdir. Saf dizel durumuna kıyasla, düşük yüklerde ısıl verimde %11.2 artış ve yüksek yüklerde %6 artış elde edilmiştir.  $\text{NO}_x$ 'te %22, islerde %41 ve  $\text{CO}_2$  emisyonunda %27 azalma gözlenirken, HC ve CO emisyonlarında sırasıyla %144 ve %139 artış elde edilmiştir. Fumigasyon oranının artmasıyla maksimum basınç noktası 1-4 krank açısı kadar ileri kaymış, basınçtaki maksimum artış oranı ise 0.3-0.5 bar/KA olarak belirlenmiştir.

Ren vd. (2018), standart bir dizel motorunda Euro 5 standartlarını sağlayabilecek şekilde BF yöntemi ile çift yakıt kullanımını incelemişlerdir. Yapılan deneylerde; sıkıştırma oranını 18'den 16'ya indirerek orta ve düşük yüklerde BF oranını %15-20 civarı artırmayı ve is oluşumunu azaltmayı başarmışlardır. Sıkıştırma oranını düşürmek sureti ile ÖYT'de çok az bir artış olmasına karşın  $\text{NO}_x$  ve PM emisyonlarında %40-60 aralığında iyileşmeler gözlemişlerdir.

Telli vd. (2018) tek silindirli bir dizel motorunda %11.5-52.3 oran aralığında etanol fumigasyonunu incelemişlerdir. Yazarlar; islerde %69 azalma ve ısı veriminde %22.9 artış gözlemlemişlerdir. Buna karşın ÖYT’de belirgin bir artış olduğunu ve bunun nedeninin etanol ile dizel yakıtının ısı değerindeki farktan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Emme ve eksoz sıcaklıklarının sırasıyla %17 ve %21 oranında azaldığını, etanolün yüksek oranda oksijen içermesinden ötürü hava fazlalık katsayısının arttığını da gözlemlemişlerdir.

Sharma ve Dhar (2019) tek silindirli ve sabit devirli bir Kirloskar TV1 dizel motorunda, %25, 50 ve 75 yüklerde, hidrojen fumigasyonunun yanma ve eksoz emisyonları üzerine etkilerini incelemişlerdir. Hidrojenin seyreltme etkisi, düşük yüklerde maksimum silindir basıncını düşürmüştü ve ısı oluşumunu azaltmıştır. Yüksek yüklerde ise hidrojenin yanmaya etkisi artmış, maksimum silindir basıncını yükselterek ısı oluşumunu artırmıştır. Düşük yüklerde hidrojen, tutuşma gecikmesini ve yanama süresini artırmış, orta ve yüksek yüklerde tam tersi etkide bulunmuştur. Eksoz emisyonlarındaki alifatik ve aromatik bileşiklerin %5 fumigasyon oranında bile %10 civarında azaldığı belirtilmiştir.

Yukarıda belirtilen tüm homojen dolgulu yanma yöntemlerinde  $NO_x$  ve PM emisyonlarında iyileşmeler elde edilmiş, ancak HC ve CO emisyonlarında artış meydana gelmiştir. Özellikle ÖKFDY yönteminde fakir yakıt-hava karışımı kullanılması nedeni ile yüksek yüklerde çıkılamamıştır. HDSA yönteminde ise yüksek yüklerde vuruntuyu kontrol etmek oldukça zordur. HDDY yöntemi ise motorun nispeten daha yüksek yüklerde çalışmasına olanak tanımaktadır. Bu yöntemde de HC ve CO emisyonlarında artış görülmesine karşın, diğer iki yöntem nazaran genelde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bazı çalışmalarda emme sıcaklığının artırılması gibi önlemler alınarak HC ve CO emisyonlarında dizel motoruna kıyasla daha düşük değerler elde edilebilmiştir.

### **1.3. Tez Çalışmasının Amacı**

Sunulan tez çalışmasının amacı; günümüzde piyasada kullanılmakta olan bir otomobil dizel motorunda, iki farklı sıkıştırma oranında BF uygulayarak, BF’nin; kullanılan motorun performans, yanma, açığa çıkan ısı oranı, maliyet ve eksoz emisyonları ( $NO_x$  ve is) parametreleri üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesidir. Aslında böylece mevcut bir dizel motorunun homojen dolgulu dizel yanması şeklinde çalıştırılması planlanmıştır. Söz konusu motorun homojen dolgulu dizel yanması (HDDY) şeklinde çalıştırılabilmesi için

kolay buharlaşabilen benzinin, emme manifoldunda emme havası içerisine püskürtülmesi gerekmektedir.

Fumigasyon yöntemi, literatürde HDDY yanma modeli başlığı altında sıklıkla kullanılmış bir yöntemdir. Buna karşın, ilgili yöntemin uygulandığı motorlarda tüm çalışma koşulları altında homojen dolgunun ateşlenmesi ve yanma açısından olumlu sonuçların elde edilmesi zordur. Yani HDDY ilkesine göre çalıştırılan motorlardan, performans karakteristikleri ve eksoz emisyonlarının açısından yararlı sonuçların elde edilebilmesi için ek donanımların kullanılması veya motorun çeşitli çalışma parametrelerinde değişikliklerin ve uyarlamaların yapılması gerekmektedir. Öte yandan literatür taramalarından da görülebileceği gibi, HDDY ilkesine göre çalıştırılan motorlar genellikle belirli devir sayılarında çalıştırılmıştır, yani çalışma aralığı çok sınırlı tutulmuştur. Bazı çalışmalarda; EGR, homojen dolgunun ısıtılması vb. yöntemler kullanılarak veya ana yakıt miktarı azaltılarak daha geniş çalışma aralıkları incelenebilmiştir (Suzuki vd., 1997; Lee vd., 2003; Surawski vd., 2012; Surawski vd., 2014; Pan vd., 2015).

KTÜ Makine Mühendisliği bölümünde, 35 yıldan beri Durgun'un başlatmış olduğu hafif yakıt fumigasyonları (etanol ve benzin fumigasyonu) ile ilgili hem deneysel (Ayvaz, 1991; Durgun ve Ayvaz, 1996; Şahin vd., 2008; Şahin vd., 2015) hem de sayısal (Şahin ve Durgun, 2007a; Şahin ve Durgun., 2007b) çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Ancak ilgili çalışmalarda emme havasının içerisine eklenen hafif yakıt oranı genellikle % 10'nun altında tutulmuştur ve daha yüksek oranlara pek çıkılmamıştır. Söz konusu çalışmalardan motor performans karakteristikleri ve eksoz emisyonları açısından yararlı sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca KTÜ Makine Mühendisliği bölümünde hafif yakıt fumigasyonu, tek silindirli bir deney düzeneğinde ve indirekt püskürtmeli bir otomobil dizel motorunda da gerçekleştirilmiştir (Şahin vd., 2008; Şahin vd., 2012). Sunulan tez çalışmasında ise BF, Renault tarafından üretilen K9K700 kodlu, direkt püskürtmeli güncel bir otomobil dizel motorunda deneysel olarak incelenmiştir. İlgili motorun orijinal sıkıştırma oranı 18.25'tir ve ayrıca aynı motorun sıkıştırma oranı, daha kalın bir conta kullanılarak 17'ye indirilmiştir. Burada amaç, mevcut bir dizel motorunu homojen dolgulu dizel yanması ilkesine göre çalıştırabilmek ve ayrıca motoru bir ölçüde benzin motoruna benzetebilmektir.

Sunulan tez çalışmasında, benzini emme havası içerisine püskürtebilmek için uyarlanmış bir karbüratör kullanılmıştır. BF'nin uygulandığı deney sisteminde ve motorda başka önemli bir değişiklik yapılmamıştır. Dolayısı ile söz konusu yöntemin büyük bir maliyet artışı doğurmadan bir dizel motorunda kolaylıkla uygulanabileceği söylenebilir. Bu

çalışmada %5, 10, 15 ve 20 BF oranları seçilmiştir. Fumigasyon oranının ayarlanması, karbüratör ana memesinin kesitini kontrol eden ve özel olarak üretilmiş olan bir vida yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Söz konusu vida tasarlanarak Trabzon Sanayiinde imal edilmiştir. Tam yükte çalışan motor için istenen fumigasyon oranı yaklaşık olarak ayarlandıktan sonra, belirli moment değerleri elde edilecek şekilde motor yükü azaltılmıştır. Yükün azaltılmasına karşın, karbüratör ayarı değiştirilmemiş ve motor silindirlerine mümkün olduğu kadar homojen dolgunun emilmesi sağlanmıştır. Böylece, düşük moment değerlerinde BF oranları % 40 düzeylerine kadar çıkarılabilmektedir. Böylelikle %20'nin üzerindeki BF oranlarının etkileri de deneysel olarak incelenebilmiştir. Deneysel çalışmada, literatürden farklı olarak çalışma aralığı çok geniş tutulmuştur ve BF çok ayrıntılı bir biçimde incelenmiştir. Burada; BF için, 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 d/d gibi 5 farklı devir sayısı seçilmiştir ve her devir sayısı için 15 Nm aralıklarla 5 adet döndürme momenti değeri seçilmiş ve her devirde, 5 farklı yük için deneyler yapılmıştır. Önce deneyler saf dizel yakıtı (SDY) için gerçekleştirilmiş ve ardından da motorun orijinal sıkıştırma oranında BF'nin etkileri incelenmiştir. Daha sonra motorun contası değiştirilmiş ve daha kalın bir conta kullanılarak sıkıştırma oranı 17'ye düşürülmüştür. Orijinal sıkıştırma oranında yapılan deneylerin benzerleri 17 sıkıştırma oranında da gerçekleştirilmiştir. Böylece; BF sonuçları, SDY sonuçları ile iki farklı sıkıştırma oranında ayrıntılı olarak karşılaştırılmıştır ve irdelenmiştir. Sonuç olarak sunulan tez çalışmasında, güncel taşıtlarda kullanılan Renault K9K700 tipi bir dizel motorunda BF'nin, motor karakteristikleri, yanma, açığa çıkan ısı oranı, eksoz emisyonları (NO<sub>x</sub> ve is) ve yakıt maliyeti üzerindeki etkileri iki farklı sıkıştırma oranında deneysel olarak ayrıntılı bir biçimde incelenmiştir. Literatürde yapılan deneysel çalışmalarda ise seçilen çalışma koşullarının ve parametrelerin ilgili tez çalışmasına göre oldukça kısıtlı aralıklarda olduğu görülmüştür. Bu çalışmada; hem deneysel çalışmanın ayrıntıları hem de deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların değerlendirilmesi sistematik bir biçimde yapılmış ve sunulmuştur.

Deneysel çalışmanın mevcut taşıtlarda kullanılan bir dizel motorunda yapılmış olması da, tez çalışmasından elde edilen sonuçların otomotiv sanayisinde doğrudan uygulanabileceği düşünüldüğünde, ayrı bir önem kazanmaktadır. Ayrıca mevcut motorda sıkıştırma oranının düşürülmesi ve orijinal sıkıştırma oranıyla uyumlu deneylerin bu oranda da yapılarak karşılaştırılmış olması, tezin diğer bir özgünlüğü ve katkısıdır.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Sunulan tez çalışmasında; güncel bir taşıtta kullanılan turboşarjlı bir dizel motorunda (Renault, K9K 700), iki farklı sıkıştırma oranı için BF'nin motor performans parametreleri, yanma, açığa çıkan ısı, maliyet ve eksoz emisyonları ( $\text{NO}_x$  ve is) üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Motorun orijinal sıkıştırma oranı 18.25'tir. Bu nedenle; tez çalışmasında önce BF motorun orijinal sıkıştırma oranında ayrıntılı bir biçimde incelenmiştir. Ardından conta kalınlığı değiştirilerek, motorun sıkıştırma oranı 17'ye indirilmiştir. İki farklı sıkıştırma oranında BF'nin etkilerini yorumlayabilmek için orijinal sıkıştırma oranında yapılan deneylerin benzerleri 17 sıkıştırma oranında da gerçekleştirilmiştir. Aslında burada amaç, mevcut bir dizel motorunda iki farklı sıkıştırma oranında BF uygulayarak, motorun homojen dolgulu dizel yanması şeklinde çalışmasını deneysel olarak incelemek ve karşılaştırmaktır. Bu amacı gerçekleştirmek için kullanılan deney düzeneğine ve motorda yapılan değişikliklere uygulanan ölçüm yöntemlerine ve hesaplamalara ilişkin bilgiler aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı bir biçimde sunulmuştur.

Söz konusu tez çalışmasının deneyleri KTÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarında mevcut olan deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği su freni ile yüklenmektedir. Su freni tarafından yutulan gücün karşılığı olan ve döndürme momentini doğuran kuvvet, deney sisteminden doğrudan okunabilmektedir. Böylece her deney için döndürme momenti ve efektif güç hesaplanabilmektedir.

Ayrıca silindir içi basınç verilerini ölçen, krank açısının konumunu belirleyen ve basınç-hacim grafiğinin osiloskopta gösterilmesini sağlayan bir elektronik ünite de mevcuttur. İlgili üniteden doğrudan veri alınmasına ve işlenmesine uygun bir düzenleme bulunmamaktadır. Bu nedenle silindir içi basınç verisinin alınabilmesi ve işlenebilmesi için bir veri derleme kartı programlanarak sisteme eklenmiştir. Buradan elde edilen veriler kullanılarak ardışık olarak birçok çevrim için, silindir içi basınç değerleri elde edilebilmiştir.

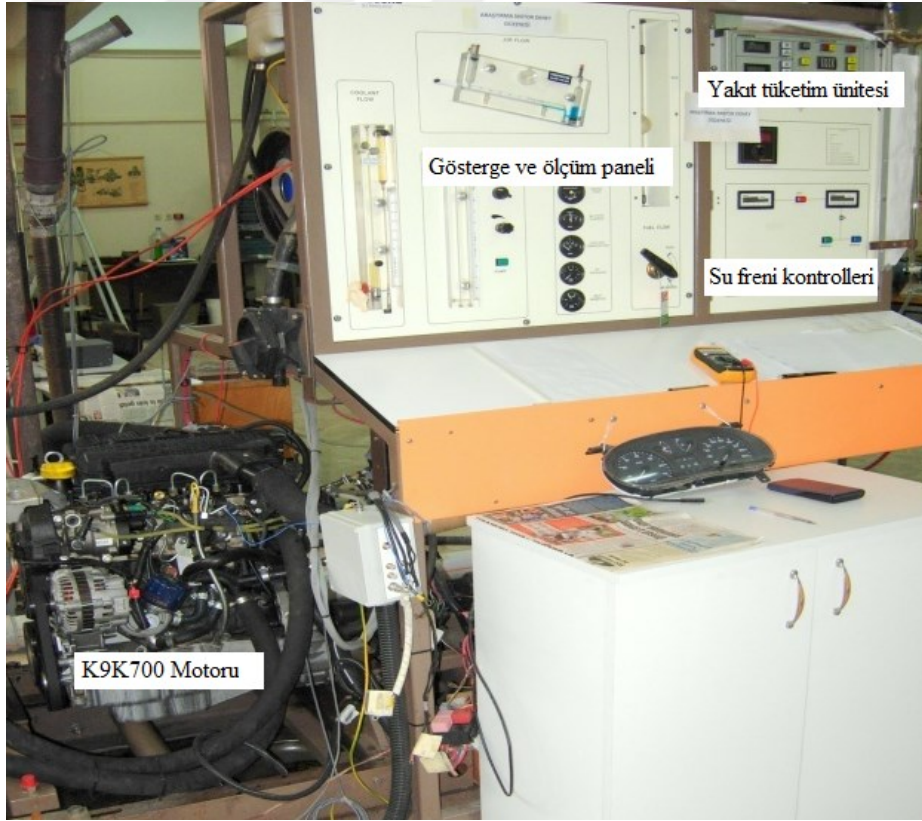
Yine deney düzeneğinde yer alan iki adet manyetik sensör, deney düzeneği ana mili üzerinde yer alan volanın üzerindeki bir çentiği algılayarak krank açısını belirleyebilmektedir. Bu veri de bilgisayarda işlenebilir olmaktan ziyade sadece indikatör diyagramının bir osiloskop yardımıyla gösterimi için kullanılmaktadır. Bu nedenle, silindir içi basınç verisinin, krank açısı dolayısı ile silindir hacmi verisi ile eşzamanlı olarak

eşleştirilebilmesi için motorun kendi krank konum sensöründen veri derleme kartı aracılığıyla veri alınmıştır. Bu veri, basınç verisi ile eşzamanlı olarak alınmış ve hacim verisi üretilerek indikatör diyagramı elde edilebilmiştir. Aynı zamanda konum verilerinden, devir sayısı verileri de türetilmiştir. Bu konularla ilgili ayrıntılı bilgiler ilerleyen bölümlerde sunulmuştur.

## 2.1. Deney Düzenegi

### 2.1.1. Deney Düzeneginin Genel Tanıtımı

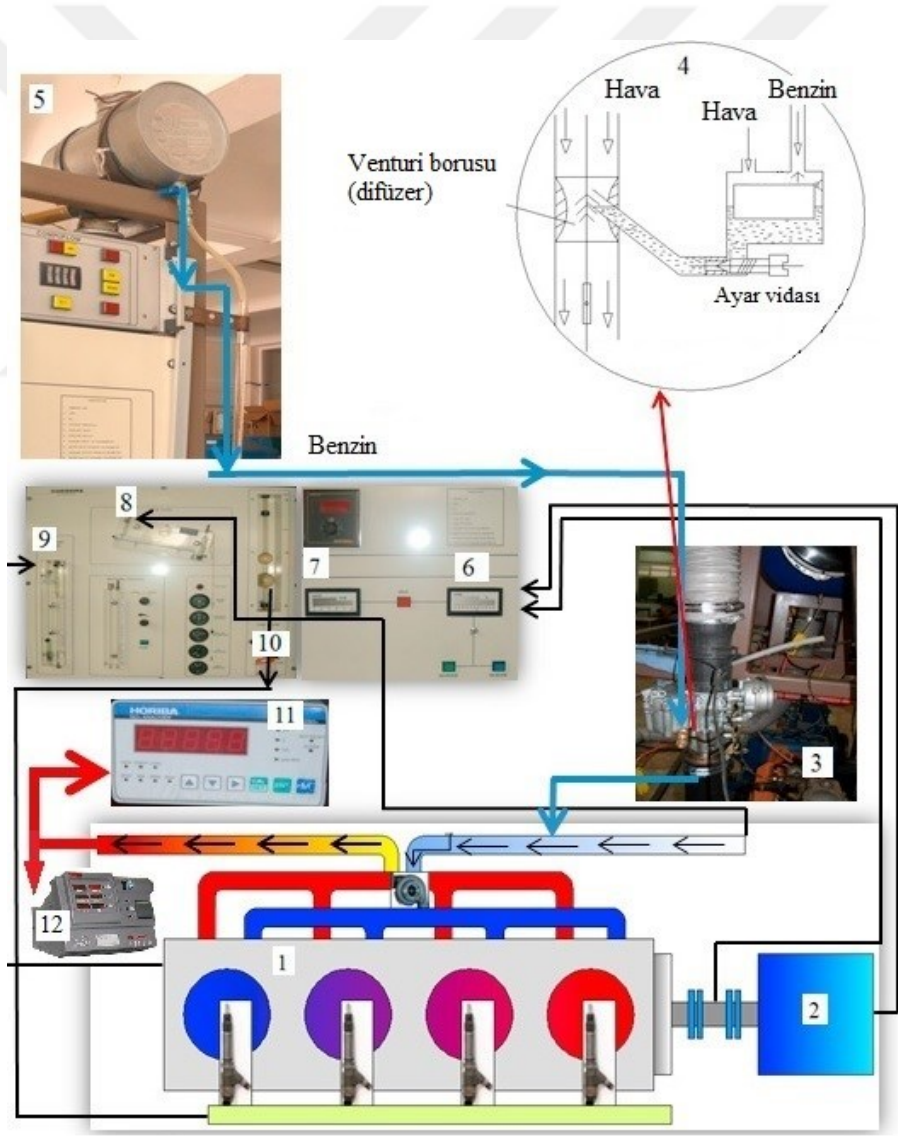
Deney düzeneginin önden görünüşü Şekil 2.1’de şematik resmi ise Şekil 2.2’de sunulmuştur. Motorun ürettiği güç, suyun içinde dönen bir çarkın enerjisiyi yutması ilkesine göre çalışan bir su freni sistemi ile harcanmaktadır. Deney sisteminin kontrol panosunda bulunan kontrol elemanı aracılığı ile motorun istenilen yükte ve devirde çalıştırılması sağlanmaktadır.



Şekil 2.1. Deney düzeneginin önden görünümü

Yine kontrol panosunda, motorun gaz düzeneğinin bağlandığı bir gaz kolu bulunmaktadır. Yapılan incelemelerde, motora ait gaz düzeneğinin 5 Volt gerilim ile çalıştığı ve gerilim kontrollü bir sensörünün olduğu tespit edilmiştir. Bu düzeneğe bağlanan bir voltmetre yardımı ile gaz konumu da hassas şekilde ayarlanabilmektedir.

Kontrol panosundaki birimler ile tüketilen yakıt miktarı ve süresi, su yükleme ünitesindeki momentin karşılığı olan kuvvet, emme havası ve soğutma suyu orifisindeki basınç farkı değerleri, emme havası sıcaklığı, soğutma suyu giriş-çıkış sıcaklıkları, eksoz gazı sıcaklığı ve eksoz kalorimetresinin giriş-çıkış sıcaklıkları okunabilmektedir. Ayrıca sisteme fumigasyon yakıtı için de bir ölçekli cam tüp eklenmiş, böylece ölçüm süresince tüketilen fumigasyon yakıtı miktarı hesaplanmıştır.

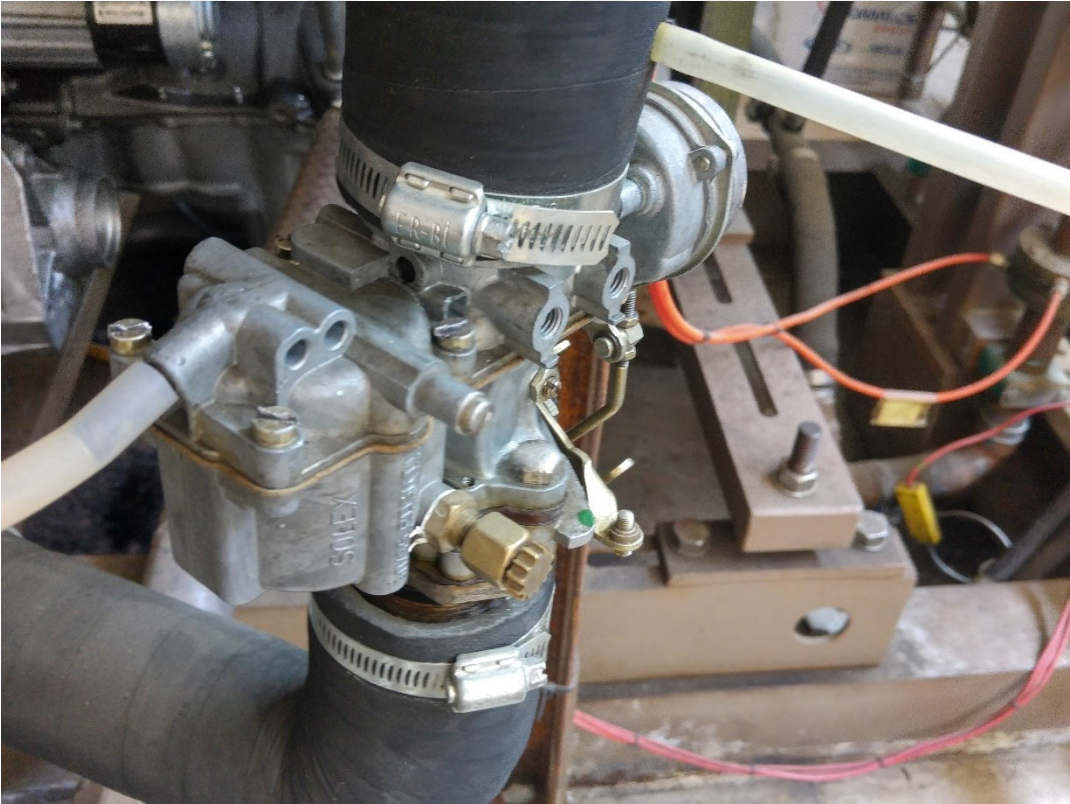


Şekil 2.2. Deney düzeneğinin şematik gösterimi



Şekil 2.2’de deney düzeneğine ilişkin temel birimler gösterilmiştir. Burada sırası ile 1 dizel motorunu, 2 yükleme ünitesini, 3 ve 4 karbüratörü, 5 benzin tankını, 6 yük ölçüm göstergesini, 7 devir ölçüm göstergesini, 8 emme havası manometresini, 9 soğutma suyu akımölçerini, 10 ölçekli kabı (benzin), 11 NO<sub>x</sub> analiz cihazını ve 12 is ölçüm cihazını göstermektedir.

BF’nin gerçekleştirilebilmesi için, deney düzeneğinin emme kanalına; Şekil 2.2’de kesit resmi verilmiş olan bir karbüratör eklenmiştir. Karbüratörün tüm ek donanımları devre dışı bırakılmış, buna karşın benzin miktarını kontrol etmek için karbüratör ana memesine geçiş kesitini değiştirebilen ince dişli bir ayar vidası monte edilmiştir. Vidanın sıkıştırılması ile karbüratör ana memesi daraltılabilmektedir. Bir dizi ön çalışma neticesinde istenilen fumigasyon oranları yaklaşık olarak belirlendikten sonra fumigasyon deneyleri yapılmıştır. Tam gaz konumunda yapılan fumigasyon oranı ayarı, düşük moment değerlerinde ve düşük gaz konumlarında değişmekte ve fumigasyon oranlarında artış görülmektedir. Kullanılan ayarlı karbüratörün görünümü Şekil 2.3’te sunulmuştur.



Şekil 2.3. Ayarlanabilir karbüratör

Tez çalışmasında eksoz emisyonları olarak yalnızca  $\text{NO}_x$  ve isler ölçülmüştür.  $\text{NO}_x$ 'i ölçmek için Horiba tarafından üretilmiş bir  $\text{NO}_x$  ölçüm cihazı ve isleri ölçmek için Sun firması tarafından üretilmiş olan is ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ayrıca Cussons tarafından üretilen bir kalorimetre de deney sistemine eklenmiştir.  $\text{NO}_x$  ölçüm cihazı hava/yakıt oranını, hava fazlalık katsayısını ve eksoz gazları içerisindeki oksijen miktarını da ölçebilmektedir.  $\text{NO}_x$  ölçüm cihazının ölçüm aralıkları ve duyarlılık değerleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1.  $\text{NO}_x$  ölçüm cihazının teknik özellikleri

Marka-model	Horiba - MEXA 720 $\text{NO}_x$
Sensör tipi	$\text{ZrO}_2$
$\text{NO}_x$ ölçüm aralığı [ppm]	0 – 3000
Hava-yakıt oranı ölçüm aralığı	9.5 – 200
$\alpha$ ölçüm aralığı	0.65 – 13.7
$\text{O}_2$ oranı ölçüm aralığı	% (0.0 – 50)
Doğruluk ( $\text{NO}_x$ için)	$\pm 30$ [ppm] veya göstergede $\pm \% 3$

### 2.1.2. Dizel Motoru ve Sıkıştırma Oranının Değiştirilmesi

Deney düzeneğinde kullanılan motora ilişkin teknik bilgiler Tablo 2.2'de sunulmuştur. Motorun deney düzeneğine monte edilmesinden sonra, katalog değerlerinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir. İlk deneyler motorun orijinal sıkıştırma oranı olan 18.25'te yapılmıştır. Motorun emme sistemine karbüratör eklenmeden önce SDY için farklı yük ve devirlerde deneyler yapılmıştır. Daha sonra deney düzeneğinin emme kanalına Şekil 2.3'te gösterilen ayarlı karbüratör eklenmiştir. Bundan başka deney motorda her hangi bir değişiklik yapılmamıştır ve motor homojen dolgulu dizel yanması ilkesine göre çalıştırılmıştır. Önce orijinal sıkıştırma oranında BF deneyleri tamamlanmıştır. Orijinal sıkıştırma oranındaki deneyler tamamlandıktan sonra motorun sıkıştırma oranı değiştirilmiştir. Sıkıştırma oranını değiştirmek için önceden de belirtildiği gibi farklı kalınlıktaki bir silindir kapak contası kullanılmıştır. Sıkıştırma oranının değiştirilmesi için eski ve yeni contanın sıkıştırma sonrası kalınlık verileri sağlanmış ve sıkıştırma oranı aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

Tablo 2.2. Renault K9K700 motorunun teknik özellikleri

Ticari kodu	K9K700
Tipi	Direkt püskürtmeli, turboşarjlı, dizel
Sıkıştırma oranı	18.25
Silindir çapı – strok uzunluğu [mm]	76 – 80.5
Silindir sayısı	4
Toplam strok hacmi [cm <sup>3</sup> ]	1461
Maksimum güç [kW] ve devri [d/d]	48, 4000
Maksimum moment [Nm] ve devri [d/d]	160, 1750

Değiştirilmiş sıkıştırma oranının belirlenmesi için öncelikle ölü hacme ait strok uzunluğu hesaplanmıştır. Eski ve yeni contanın ilgili kataloglardan sıkıştırılmış durumdaki kalınlıkları sırasıyla 0.78 mm ve 1.17 mm olarak bulunmuştur. Yeni ölü hacme ait strok uzunluğuna, conta kalınlığından kaynaklanan uzama miktarı (Fark: 1.17 - 0.78 = 0.39 mm) eklendikten sonra yeni ölü hacim ve yeni sıkıştırma oranı hesaplanmıştır. Söz konusu hesaplamalar, ilgili bağıntılarla birlikte aşağıda sunulmuştur.

$$V_h = \frac{\pi.D^2.H}{4} = 365185.01 \text{ mm}^3 \quad (2.1)$$

$$V_c = \frac{V_h}{18.25 - 1} = 21170.15 \text{ mm}^3 \quad (2.2)$$

$$L_{V_c} = \frac{4.V_c}{\pi.D^2} = 4.6667 \text{ mm} \quad (2.3)$$

$$L_{V_{c2}} = L_{V_c} + \text{Fark} = 5.0567 \text{ mm} \quad (2.4)$$

$$V_{c2} = \frac{\pi.D^2.L_{V_{c2}}}{4} = 22939.37 \text{ mm}^3 \quad (2.5)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{V_h + V_{c2}}{V_{c2}} = 16.9196 \quad (2.6)$$

2.1 ile 2.6 arasında sunulan bağıntılarda;  $D$  silindir çapını,  $H$  strok uzunluğunu,  $V_h$  strok hacmini,  $V_c$  ölü hacmi,  $L_{Vc}$  ölü hacme ilişkin strok uzunluğunu ve  $\varepsilon$  sıkıştırma oranını göstermektedir. 2 indisi ise yeni sıkıştırma oranına karşılık gelmektedir. Sunulan tez çalışmasında motorun orijinal sıkıştırma oranı, “yüksek sıkıştırma oranı (YSO)” olarak ve yeni sıkıştırma oranı “düşük sıkıştırma oranı (DSO)” olarak ifade edilmiştir.

### 2.1.3. Veri Derleme Kartı ile Elde Edilen Veriler ve ÜÖN'nin Tespiti

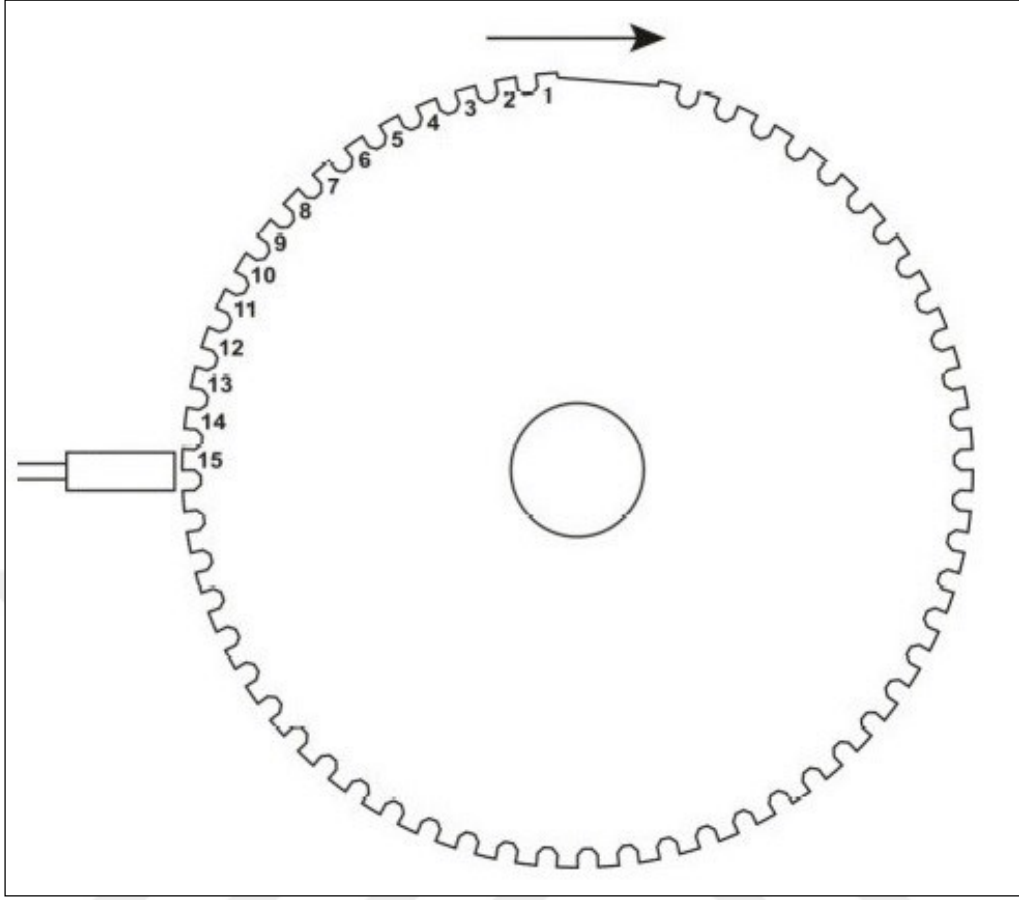
Burada, AVL firmasına ait 40 kHz frekansta çalışabilen ve 6 kanallı bir veri kartı kullanılmıştır. Veriler LabVIEW programı ile bilgisayara aktarılmış, sensör özelliklerine göre gerekli hesaplamalar yapılarak gerçek değerler MATLAB programında elde edilmiştir. Silindir içi basınç sensörü de yine AVL firmasından temin edilmiştir ve teknik özellikleri Tablo 2.3'te sunulmuştur.

Tablo 2.3. Basınç sensörünün teknik özellikleri

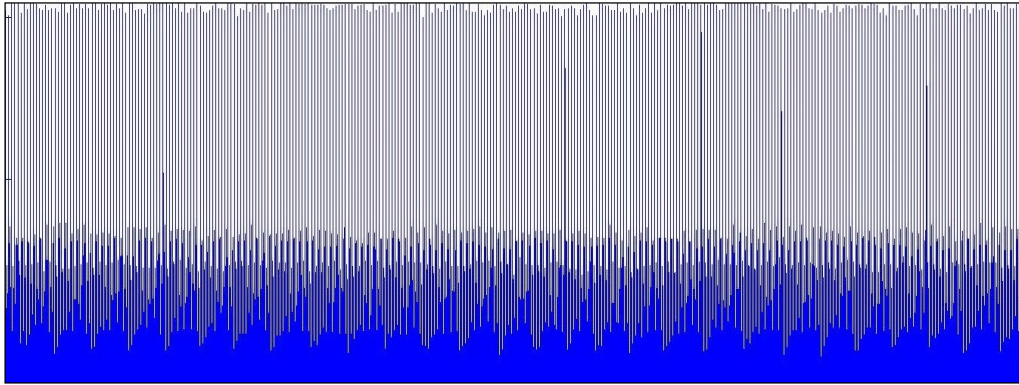
Modeli	GH12P
Tipi	Piezo elektrik
Ölçüm aralığı	0-150 bar
Ölçüm hassasiyeti	$\pm 16.5 \mu\text{C}/\text{bar}$

Basınç sensörünün ürettiği analog veriler, veri derleme kartı yardımıyla dijital verilere dönüştürülmüştür. Bu veriler, krank açısı verileri ile eşzamanlı alınmıştır ve Matlab programında hazırlanan bir yazılım yardımıyla basınç-açı ve basınç-hacim grafikleri elde edilmiştir. Basınç, zaman, krank açısı ve hacim verilerinden de; devir sayısı, efektif güç ve ortalama efektif basınç büyüklükleri hesaplanmıştır. Her bir verinin alınma süresi 8 s olarak belirlenmiştir ve bu süre boyunca her bir ölçüm için 320 000 adet veri alınmıştır. Böylece ardışık olarak her adımda yaklaşık 75-100 adet çevrimin hesabı yapılabilmektedir.

Krank açısının belirlenmesi için K9K700 motorunun kendi krank konum sensörü kullanılmıştır. Renault fabrikası ile yapılan görüşmeler sonucunda, üst ölü noktanın yerinin belirlendiği doküman elde edilmiştir. Motora ait volanın üzerinde 58 adet diş bulunmaktadır ve iki adet dişe karşılık gelen bölüm boş bırakılmıştır. Şekil 2.4'te şematik gösterimi verilen bu tip volanlar “60-2” tip volan olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.4. 60-2 Tip volanın şematik gösterimi

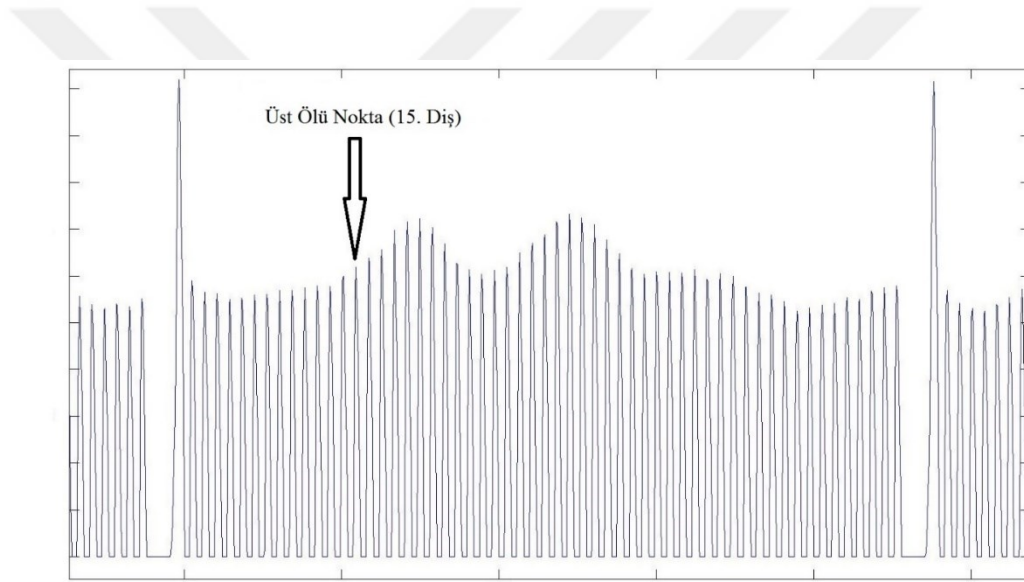


Şekil 2.5. Örnek bir krank konum sensörü verisi grafiği

İki adet boş dişe karşılık gelen nokta, referans olarak belirlenmekte ve işlemcilere yeterli süre tanınması açısından ilerleyen dişlerden bir tanesi, birinci silindirin üst ölü noktasına tekabül edecek şekilde montaj yapılmaktadır. Kullanılan volanda, birinci silindire ait üst ölü nokta, referans boşluktan sonraki on beşinci dişin tam orta noktasına denk

gelmektedir. Krank konum sensöründen, veri derleme kartına veri aktarılması için öncelikle sensörden paralel elektrik akımı alınmış ve motorun çalışmasını etkilememek için akımı zayıflatıcı bir devre kullanılmıştır.

Veri kartına aktarılan analog veriler, dijitale dönüştürülerek Matlab programında işlenmektedir. Ardışık olarak sağlanan krank konum sensörü verilerine bir örnek Şekil 2.5'te sunulmuştur. Daha sonra bu veri içerisinde, teknik veriler doğrultusunda yazılımsal olarak üst ölü nokta belirlenmiştir. Şekil 2.6'da 60-2 diş volanın bir turuna tekabül eden verinin grafiği sunulmuştur. Her bir diş için bir tepe noktası ve boş bırakılan iki diş genişliğindeki düz bölüm burada rahatlıkla görülebildiği gibi, yazılımsal olarak da üst ölü noktanın belirlenmesi kolaylıkla yapılabilmektedir.



Şekil 2.6. Volanın bir turuna tekabül eden verinin grafiği

## 2.2. Motor Karakteristikleri ve Eksoz Emisyonları

Burada, döndürme momenti, efektif güç, yakıt tüketimi ve efektif verim gibi motor karakteristiklerinin hesabında Durgun (2007) tarafından verilen hesap yöntemi kullanılmıştır. Söz konusu hesap yöntemi Matlab programı şeklinde programlanmıştır.

Ölçümlerden elde edilen veriler öncelikle Excel programında oluşturulan ve Tablo 2.4'te sunulan bir tabloya aktarılmıştır. Ayrıca hazırlanan programda, motorun teknik özellikleri ve kullanılan yakıtların kapalı formülleri için önceden belirlenen değerler girilmiştir.



Hazırlanan veri tablolarının programda okutulması sonucunda, sırası ile döndürme momenti, efektif güç, ÖYT ve hava fazlalık katsayısı büyüklükleri hesaplatılmıştır. Böylece; hazırlanan program kullanılarak, döndürme momenti, efektif güç, ortalama efektif basınç değerleri, ÖYT ve efektif verim vb. gibi motor performans karakteristikleri hesaplanabilmektedir. Program, motor karakteristiği değerlerini bir Excel tablosu şeklinde derleyebilmektedir. Deneysel verilerin Matlab programında koşturulması ile Motor karakteristiklerine ilişkin elde edilen sonuçlara bir örnek Tablo 2.5'te sunulmuştur.

Tablo 2.5. Deneysel verilerden elde edilen sonuçlara ilişkin örnek bir tablo

Deney no	1	2	3	4	5	6
Devir sayısı [d/d]	2001.00	2002.33	2003.00	2000.00	2002.67	2001.33
Döndürme momenti [Nm]	151.272	134.655	119.948	105.8195	89.961	75.5405
Efektif güç [kW]	32.01849	28.52030	25.41377	22.80985	19.05716	15.99170
Ortalama efektif basınç [bar]	1.314504	1.170108	1.042309	0.936916	0.781732	0.656422
ÖYT [kg/kWh]	0.244646	0.233032	0.244761	0.249528	0.255565	0.265625
Efektif verim	0.34675	0.364031	0.346587	0.339966	0.331934	0.319364
Hava fazlalık katsayısı	1.407229	1.567896	1.675237	1.808901	2.057343	2.266382

### 2.2.1. Döndürme Momenti ve Efektif Güç

Deney düzeneğinde yer alan bir göstergeden, su yükleme sisteminin yuttuğu güce karşılık gelen kuvvet verisi okunabilmektedir. Moment kolu uzunluğu  $L=0.2865$  m olarak verildiğinden, motorun döndürme momenti aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır.

$$M_d[\text{Nm}] = F \cdot L \quad (2.7)$$

Motorun devir sayısı ise yine deney düzeneği üzerindeki ilgili göstergeden okunabilmektedir. Böylece 2.7 bağıntısından belirlenen moment değeri ve 2.8 bağıntısından belirlenen açısal hız değeri kullanılarak efektif güç 2.9 bağıntısından hesaplanmıştır.

$$\omega[1/s] = \frac{2\pi n}{60} \quad (2.8)$$

$$N_{e,1}[\text{kW}] = \frac{M_d \omega}{1000} \quad (2.9)$$



Deneyin yapıldığı  $P_0$  ve  $T_0$  dış ortam koşulları ve havanın nemi motor performansını etkileyebilir. Farklı koşullarda yapılan motor deneylerinin sonuçlarının birbiri ile sağlıklı bir şekilde karşılaştırılabilmesi için, standart koşullara dönüştürülmeleri ve nem açısından düzeltilmeleri gerekir. Standart atmosfer koşulları  $20\text{ }^\circ\text{C}$  ve  $1.013 \cdot 10^5\text{ Pa}$  alınır ve deney koşullarındaki sıcaklık  $T_0$  ve basınç  $P_0$  olarak belirtilir ise, deney sonunda belirlenen  $N_{e,1}$  efektif gücü dizel motorları için aşağıda verilen bağıntıya göre düzeltilip standart koşullara dönüştürülerek hesaplanabilmektedir.

$$N_{e[\text{kW}]} = N_{e,1} \cdot X_{\text{nem}} \cdot \frac{0.1013}{P_0} \cdot \frac{T_0}{293} \quad (2.10)$$

2.7 ile 2.10 arasında sunulan bağıntılarda;  $F$  [N] deney düzeneğinden okunan su freni gücünü,  $n$  [d/d] ise motor devrini ifade etmektedir.  $X_{\text{nem}}$  nem düzeltme katsayısıdır ve her deney için yağ ve kuru termometre sıcaklıklarına göre Durgun (2007) tarafından verilen düzeltme eğrisinden okunmuştur.

### 2.2.2. Özgül Yakıt Tüketimi ve Efektif Verim

Deneylerde kullanılan dizel yakıtının ve benzinin, ÖYT ve efektif verim hesaplamalarında da kullanılan bazı özellikleri Tablo 2.6'da sunulmuştur.

SDF ve BF durumlarında motorun toplam yakıt tüketimi, ÖYT ve efektif verimi, aşağıda sunulan bağıntılar yardımıyla hesaplanmıştır (Kızıltan, 1988; Şahin vd., 2015; Durgun, 2018).

$$B[\text{kg/h}] = \frac{\Delta m \cdot 3600}{\Delta t \cdot 1000} \quad , \text{SDY} \quad (2.11\text{-a})$$

$$B[\text{kg/h}] = \frac{(30 + \Delta V_b \cdot \rho_b) \cdot 3600}{\Delta t \cdot 1000} \quad , \text{BF} \quad (2.11\text{-b})$$

$$b_e[\text{kg/kWh}] = \frac{B}{N_e} \quad (2.12)$$

$$\eta_e = \frac{3600}{H_u \cdot b_e} \quad (2.13)$$

2.13 bağıntısında kullanılan  $H_u$  yakıtın alt ısıl değeridir ve aşağıda verilen Mendeleyev formülü kullanılarak hesaplanmıştır (Durgun, 2018).

$$H_u \text{ [kJ/kg]} = \left[ 33.91 \cdot c' + 125.6 \cdot h' - 10.89 \cdot (o_y' - s') - 2.51 \cdot (9h' - w') \right] \cdot 10^{-3} \quad (2.14)$$

Burada  $\Delta t$  [s],  $\Delta m = 30$  [gram] dizel yakıtının harcanma süresidir.  $\Delta V_b$  ise  $\Delta t$  süresi boyunca ölçekli kap içerisinde harcanan benzinin hacmidir.  $H_u$  yakıtın alt ısıl değerini,  $\rho_d$  ve  $\rho_b$  sırasıyla SDY'nin ve benzinin yoğunluğunu göstermektedir. Isıl değer hesabında ve diğer yanma hesaplarında gerekli olan, yakıtın elemansel bileşimi ile ilgili  $c'$ ,  $h'$  ve  $o_y'$  değerleri, yakıtın kapalı (kimyasal) formülünden yararlanarak belirlenmiştir.

Tablo 2.6. Dizel yakıtının ve benzinin bazı özellikleri (Heywood, 1998; Durgun, 2013; Şahin vd., 2015; Imran vd., 2013; Hoseinpour vd., 2017).

	<b>Dizel yakıtı</b>	<b>Benzin</b>
Kimyasal formül	$C_{14.342}H_{24.75}O_{0.0495}$	$C_7H_{17}$
Mol kütlesi [kg/kmol]	198.0017	101.2130
Yoğunluk [kg/m <sup>3</sup> ]	814 *	737 *
Alt ısıl değer [kJ/kg]	42437 **	45609 **
Fiyat [TL/L], 26 Eylül 2019, Trabzon	6.46862	7.05184
Buharlaşma gizli ısısı (kJ/kg)	270	305
Parlama noktası (°C)	74-76	-
Kaynama noktası (°C)	125-400	38-204
Kinematik viskozite (mm/s)	3.4	0.63
Setan sayısı	45-50	-
Oktan sayısı	-	96-98
Elemansel bileşim	$c'=0.8700$ $h'=0.1260$ $o_y'=0.0040$	$c'=0.8307$ $h'=0.1693$

\* Laboratuvarda ölçülmüştür.

\*\* Mendeleyev formülünden hesaplanmıştır.

### 2.2.3. BF Durumunda Yakıtın Birleşik Yoğunluğunun, Alt Isıl Değerinin ve Hava Fazlalık Katsayısının Hesaplanması

Fumigasyon durumunda yakıtın birleşik özelliklerinin belirlenmesi için ilk kez Durgun (1993) tarafından önerilmiş olan ve Şahin vd. (2015) tarafından da kullanılan ve aşağıda verilen bağıntılardan yararlanılarak ilgili hesaplar yapılmıştır.

$$\rho_{BF} \left[ \text{kg/m}^3 \right] = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot \rho_i)}{100} \quad (2.15)$$

$$H_{u, BF} \left[ \text{kJ/kg} \right] = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot \rho_i \cdot H_{u, i})}{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot \rho_i)} \quad (2.16)$$

$$h_{\min} \left[ \text{kg}_{\text{hava}} / \text{kg}_{\text{yak}} \right] = \frac{1}{0.234} \left[ \frac{8 \cdot c'}{3} + 8 \cdot h' - o_y' \right] \quad (2.17)$$

$$h_{\min, BF} \left[ \text{kg}_{\text{hava}} / \text{kg}_{\text{yak}} \right] = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot \rho_i \cdot h_{\min, i})}{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot \rho_i)} \quad (2.18)$$

Burada her bir yakıtın minimum hava miktarı elemansel bileşimlerden yararlanılarak Durgun (2018) tarafından verilen 2.18 bağıntısından hesaplanmıştır. Yukarıdaki bağıntılarda;  $x_i$  yakıtların hacimsel oranlarını,  $\rho_i$  [ $\text{kg/m}^3$ ] yakıtların yoğunluklarını,  $H_{u, i}$  [ $\text{kJ/kg}$ ] yakıtların alt ısıl değerlerini ve  $h_{\min, i}$  [ $\text{kg}_{\text{hava}}/\text{kg}_{\text{yakıt}}$ ] yakıtların teorik (ideal) hava miktarını temsil etmektedir.

Hava fazlalık katsayısının hesabında öncelikle motorun emme kanalına bağlı olan manometredeki  $\Delta h$  yükseklik farkı okunmuş ve motorun emdiği hava debisi aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır.

$$\dot{m}_h = C_d \cdot A_0 \cdot (2 \cdot \Delta h \cdot g \cdot \rho_h)^{1/2} \quad (2.19)$$

Bu bağıntıda  $\dot{m}_h$  [ $\text{kg/s}$ ] emme havası debisi,  $A_0$  [ $\text{m}^2$ ] orifisin kesit alanı,  $C_d$  orifis katsayısı,  $\Delta h$  [ $\text{mm}$ ] eğik manometrede okunan değer,  $\rho_h$  [ $\text{kg/m}^3$ ] havanın yoğunluğu ve  $g$

[m/s<sup>2</sup>] ise yer çekimi ivmesidir. Deney sisteminin kataloğunda C<sub>d</sub> orifis katsayısı 0.596 olarak verilmiştir.

Toplam yakıt tüketimi ve minimum hava miktarı elemansel bileşimden yararlanılarak bulunduktan sonra hava fazlalık katsayısı; fumigasyon durumundaki birleşik minimum hava miktarı ve toplam yakıt tüketimi kullanılarak aşağıdaki bağıntılardan (Durgun 2018) hesaplanmıştır.

$$h \left[ \text{kg}_{\text{hava}} / \text{kg}_{\text{yak}} \right] = \frac{\dot{m}_h \cdot 3600}{B} \quad (2.20)$$

$$\alpha = \frac{h}{h_{\text{min}}} \quad (2.21)$$

#### 2.2.4. Motor Performans Karakteristikleri ve Eksoz Emisyonları Değerlerinin Değişim Oranlarının Hesaplanması

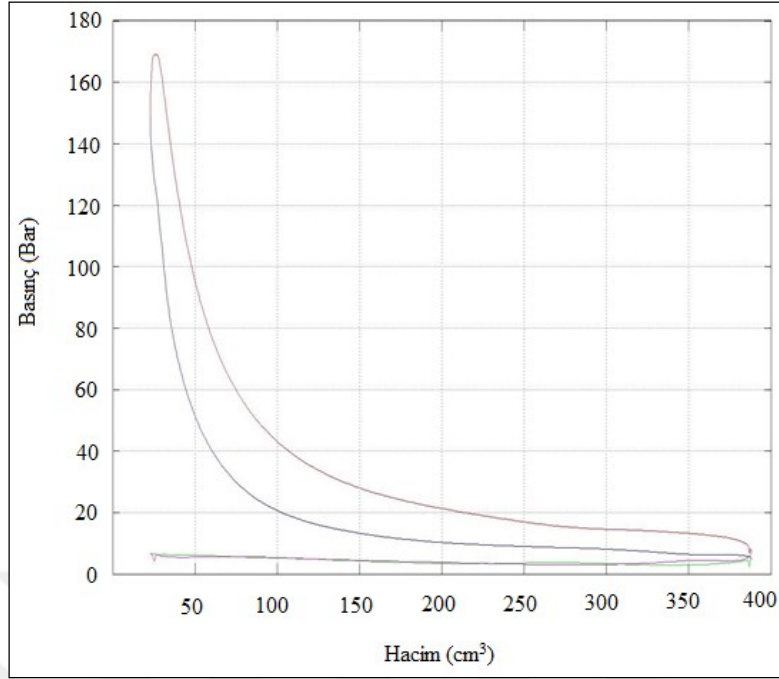
BF'nin motor karakteristikleri ve NO<sub>x</sub> üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak için, bu büyüklüklerde SDY'ye göre meydana gelen değişimler ilk kez Durgun (2007) tarafından verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır. Örneğin efektif verimdeki değişim oranı;

$$\frac{\Delta \eta_e}{\eta_e} 100[\%] = ((\eta_{e, BF} - \eta_{e,d}) / \eta_{e,d}) \cdot 100 \quad (2.22)$$

bağıntısından belirlenmiştir. Diğer motor karakteristikleri, NO<sub>x</sub> ve isteki değişimler de benzer şekilde hesaplanmıştır.

### 2.3. İndikatör Diyagramı

Daha önce de belirtildiği üzere, silindir içi basınç ve krank açısı verileri, bir veri derleme kartı yardımıyla dijital verilere dönüştürülmüş ve her deney için ardışık olarak 100'e yakın çevrim için indikatör diyagramı ve basınç-açı eğrileri elde edilmiştir. Programdan elde edilen örnek bir indikatör diyagramı Şekil 2.7'de sunulmuştur. Bu verilerden yararlanılarak açığa çıkan ısı oranı analizi yapılmıştır.



Şekil 2.7. Matlab programından elde edilen örnek bir indikatör diyagramı

İndikatör diyagramı yardımı ile indike güç hesabı da yapılabilmektedir. Ayrıca krank milinin her bir açı değeri için basınç verileri elde edilebilmiş, devir sayısı da hassas olarak hesaplanabilmektedir.

#### 2.4. Maliyet Analizi

Yapılan deneylerde ÖYT’de iyileşmeler elde edilmiş olmasına karşın, kullanılan fumigasyon yakıtının, dizel yakıtından daha pahalı olması nedeni ile maliyet analizi yapılması gereği doğmuştur. Dizel yakıtının ve benzinin fiyatları, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK) tarafından günlük olarak yayımlanan verilerden yararlanarak belirlenmiş ve 26.09.2019 tarihindeki fiyatlar göz önüne alınmıştır.

Maliyet analizi Durgun (1993)’un geliştirmiş olduğu maliyet analizi yöntemi uygulanarak yapılmıştır. Durgun tarafından oluşturulan bağıntı;

$$\frac{\Delta F}{F_1} \cdot 100[\%] = \frac{F_2 - F_1}{F_1} \cdot 100 = \left[ \frac{x_1 + \sum_{i=1}^n x_i \cdot r_i}{x_1 + \sum_{i=1}^n x_i \cdot s_i} \left( 1 + \frac{\Delta b_e}{b_e} \right) - 1 \right] \cdot 100 \quad (2.23)$$

şeklindedir. Bağıntıda geçen oranlar aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$r_1 = F_1/F_1, \quad r_1 = F_1/F_1 = 1, \quad r_2 = F_2/F_1 = 7.05184/6.46862 = 1.09016143 \quad (2.24)$$

$$S_1 = \rho_1/\rho_d, \quad S_1 = \rho_d/\rho_d = 1, \quad S_2 = \rho_b/\rho_d = 737/814 = 0.90540541 \quad (2.25)$$

## 2.5. Hata Analizi ve Belirsizlikler

Tez çalışması için yapılan deneylerde; 5 adet devir sayısı, 6 farklı yükleme durumu, 2 adet sıkıştırma oranı ve 5 adet fumigasyon oranı için yapılan tüm ölçümler üçer kez tekrarlanmıştır. Deneysel çalışmalarda son yıllarda sıklıkla kullanılan ve Kline ve McClintock (Holman, 2012) tarafından sunulan belirsizlik analizi uygulanarak hata analizi yapılmıştır. Her bir ölçüm üçer kez tekrarlandığı için “Student t dağılımı” yöntemi uygulanmıştır.

Ölçüm sayısı üç olduğundan, serbestlik derecesi  $3-1=2$  olarak bulunmuş ve %10 anlamlılık düzeyi ile 2 serbestlik derecesi için dağılım tablosunda t değeri 2.920 olarak belirlenmiştir. Bu yöntemle; moment ve ÖYT değerlerinin belirsizlik aralığı sırasıyla %0.1-0.5 ve %0.1-6.5 olarak tahmin edilmiştir. Tahmin edilen hata oranlarının deney sonuçlarını çok fazla etkilemeyeceği düşünülmektedir.

## 2.6. Açığa Çıkan Isı Oranının Belirlenmesi

Deneysel sırasında ölçülen silindir basıncı verilerinden yararlanarak açığa çıkan ısı oranı belirlenebilmektedir. Sunulan tez çalışmasında, açığa çıkan ısı oranı için literatürden çok iyi bilinen (Heywood, 1998) aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır.

$$\frac{dQ}{d\theta} = \frac{\gamma}{\gamma-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{\gamma-1} V \frac{dP}{d\theta} \quad (2.26)$$

Denklem 2.26’da belirtilen; Q [J/derece] açığa çıkan ısı oranını, P [bar] silindir basıncını, V [cm<sup>3</sup>] silindir hacmini,  $\gamma$  özgül ısıların oranını ve  $\theta$  [derece] krank açısını göstermektedir. Burada, emme supabının kapanması ile eksoz supabının açılması aralığında

KA boyunca açığa çıkan ısının analizi yapılabilmektedir. Ortalama silindir sıcaklıkları ise ideal gaz denkleminde elde edilmektedir.



### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Giriş

Homojen dolgulu olarak çalıştırılan bir dizel motorunun performans karakteristiklerine, yanmasına, yakıt maliyetine ve eksoz emisyonlarına ilişkin bulgular bu bölümde sunulmuş ve irdelenmiştir. Tez çalışması boyunca motor karakteristikleri ile ilgili birçok parametrenin ölçülüp hesaplanmış olmasına karşın burada yalnızca; ÖYT'nin, efektif verimin, hava fazlalık katsayısının ve eksoz gazı sıcaklıklarının sunulması tercih edilmiştir. Burada her çalışma koşulu için  $NO_x$  ölçülmüştür. Bununla birlikte isler yalnızca orijinal sıkıştırma oranında, 2000 ve 2500 d/d devirlerde ölçülmüştür. Sunulan tez çalışmasında sonuçların daha iyi görülüp yorumlanması amacı ile aşağıdaki sıra izlenecektir. İlk önce Bölüm 3.2'de; seçilen devir sayıları için, ÖYT'nin, efektif verimin, hava fazlalık katsayısının, eksoz gazı sıcaklıklarının ve  $NO_x$ 'in farklı yüklem durumları için BF oranlarına göre değişim eğrileri her bir sıkıştırma oranı için verilmiştir. Hemen ardından da ilgili büyüklüklerde SDY'ye göre oluşan artma veya azalma oranlarını gösteren sütun grafikler sunulmuştur. Ayrıca her bir özelliğin değişim oranları tablo şeklinde de sunulmuş ve belirlenen iyileşmeler, kırmızıdan-yeşile renk skalasında gösterilmiştir. 2000 d/d'den 4000 d/d'ye kadar sıra ile bu sistematik devam ettirilmiştir. Bölüm 3.3'te ise BF'nin is üzerindeki etkileri sunulmuştur. Bölüm 3.4'te ise her iki sıkıştırma oranı ve seçilen her bir devir sayısı için BF'nin silindir basınçları, sıcaklıkları ve açığa çıkan ısı oranı üzerindeki etkileri sunulmuştur ve irdelenmiştir. Burada; silindir basınçları, sıcaklıkları ve açığa çıkan ısı oranları sonuçlarından yalnızca en yüksek moment değerindeki eğriler verilmiştir. Bulgular ve tartışmaların son bölümü olan Bölüm 3.5'te ise BF'nin yakıt maliyeti üzerindeki etkilerine ve irdelenmesine yer verilmiştir.

#### 3.2. Benzin Fumigasyonunun Motor Karakteristikleri ve Azot Oksitler Üzerindeki Etkisi

Seçilen BF oranlarında ve seçilen her bir devir sayısında farklı döndürme momentleri için deneyler yapılmıştır. Örneğin; DSO'da, 2000 d/d devirde ve %20 BF oranında yaklaşık 170 Nm moment elde edilirken, 4000 d/d devirde elde edilebilen moment değeri 60 Nm'nin



de altında olabilmektedir. Bu nedenle, sağlıklı bir karşılaştırma yapabilmek için her devir sayısına karşılık gelen ve 15 Nm aralıklarla belirlenen moment değerleri Tablo 3.1’de sunulmuştur.

Tablo 3.1. Devir sayılarına karşılık seçilen moment değerleri

	150 Nm	135 Nm	120 Nm	105 Nm	90 Nm	75 Nm	60 Nm
2000 d/d	X	X	X	X	X	-	-
2500 d/d	X	X	X	X	X	-	-
3000 d/d	-	X	X	X	X	X	-
3500 d/d	-	X	X	X	X	X	-
4000 d/d	-	-	X	X	X	X	X

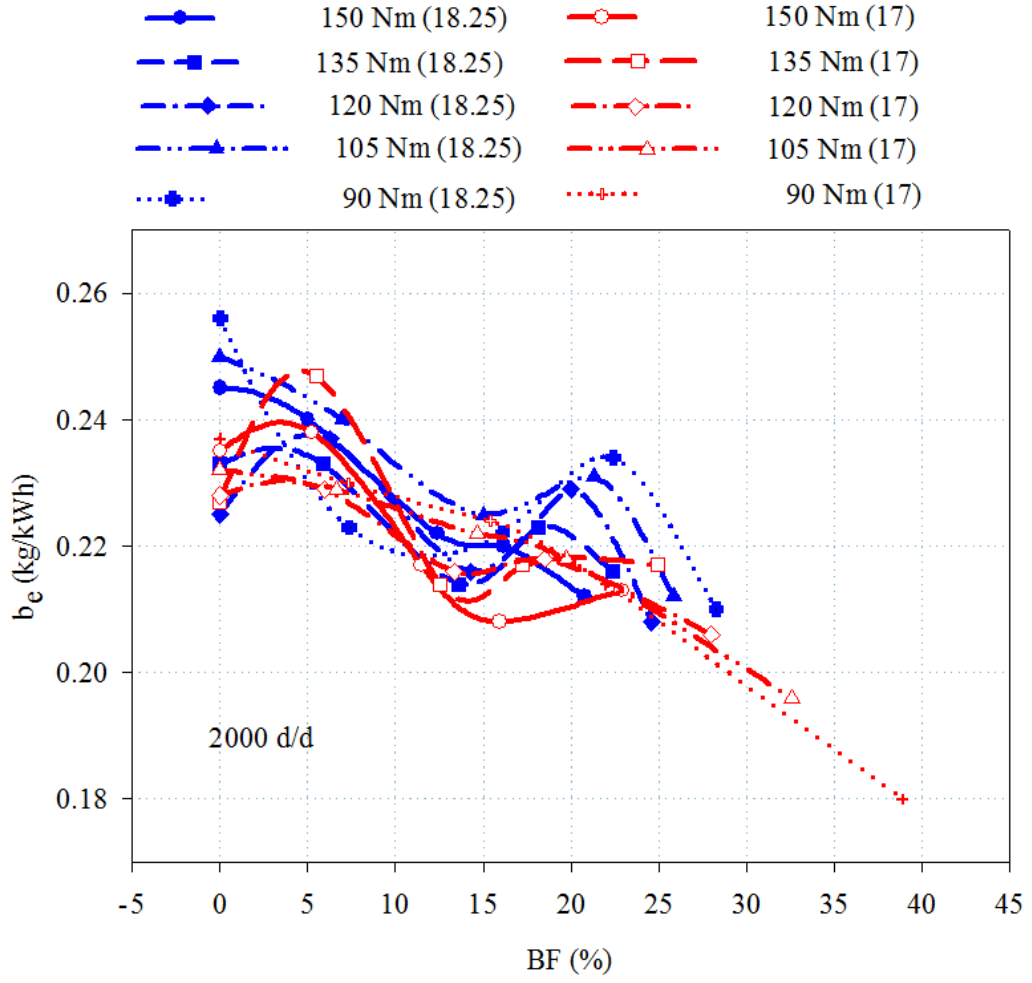
Her bir devir sayısında 15 Nm aralıklarla seçilen moment değerleri için BF’nin motor karakteristikleri ve NO<sub>x</sub> üzerindeki etkileri, ayrıca SDY’ye göre değişim oranları sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

### 3.2.1. 2000 d/d’de BF’nin Motor Karakteristikleri ve Azot Oksitler Üzerindeki Etkileri

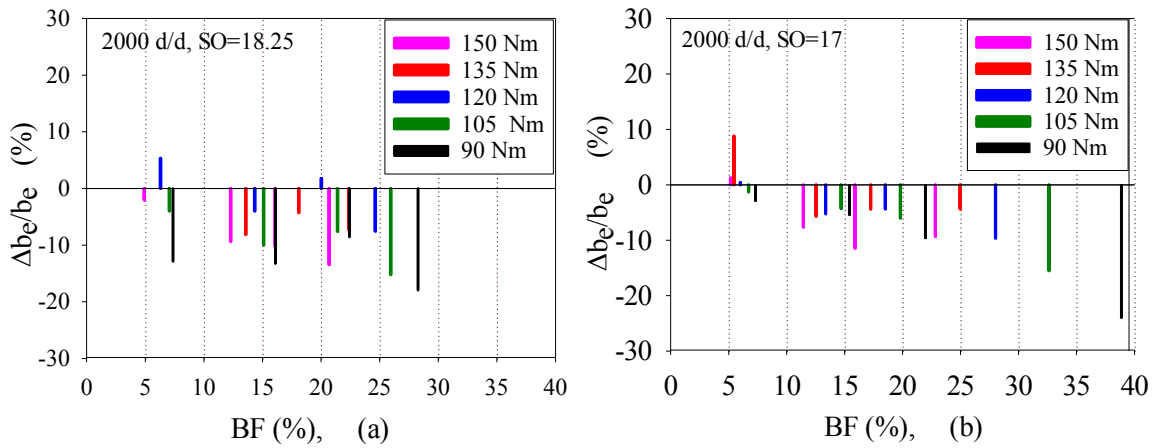
2000 d/d devir sayısındaki yük değerleri 150, 135, 120, 105 ve 90 Nm şeklinde seçilmiştir. Bu devir sayısı için yapılan yorumlarda ve irdelemelerde; 150 Nm ile 135 Nm yüksek yükler, 120 Nm orta yük ve 105 Nm ile 90 Nm düşük yükler olarak anılmıştır.

Şekil 3.1’de hem YSO’da hem de DSO’da, ÖYT’nin BF oranlarına göre değişimleri sunulmuştur. Şekil 3.2 (a)’da YSO’da ve Şekil 3.2 (b)’de DSO’da, ÖYT’de SDY’ye göre gerçekleşen artma ve azalma oranları, sütun grafiğinde sunulmuştur. Ayrıca Tablo 3.2’de de her iki sıkıştırma oranı için BF ile ÖYT’de, SDY’ye göre gözlenen artış ve azalmalar sayısal olarak sunulmuştur.

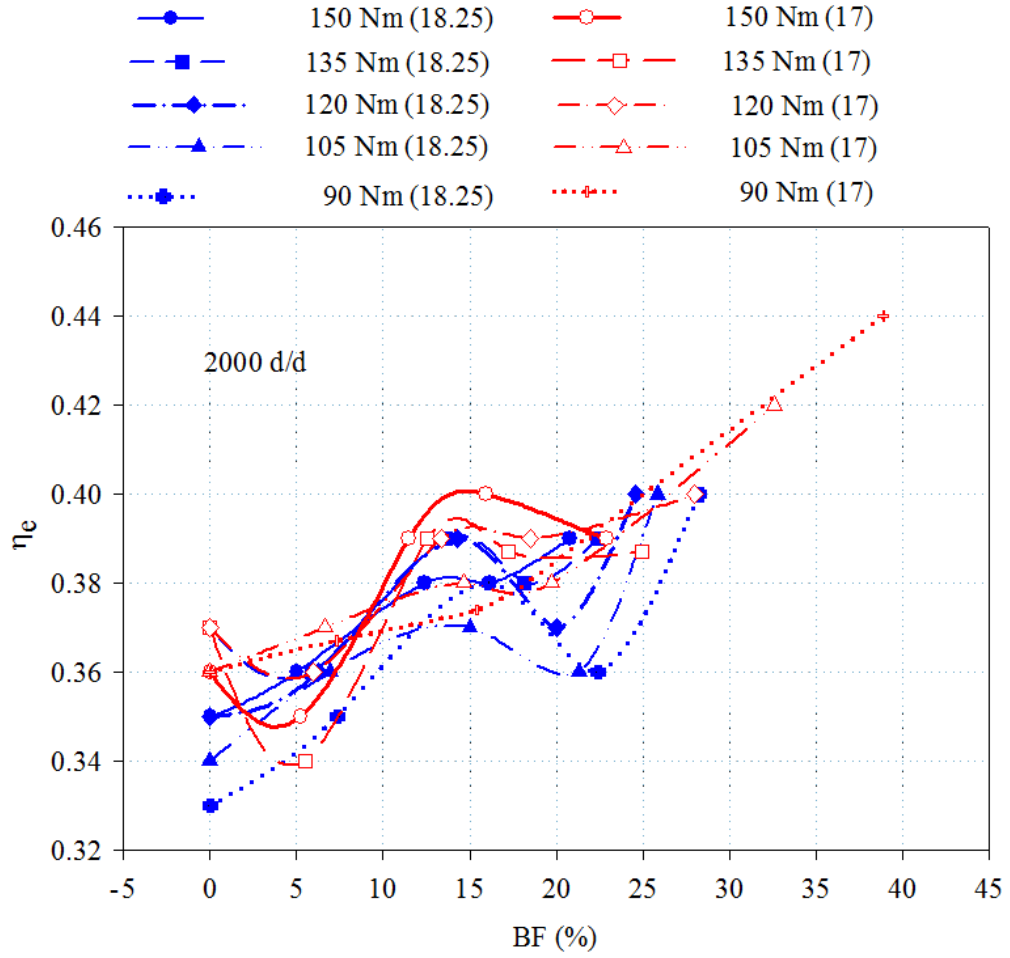
2000 d/d’de, her iki sıkıştırma oranında da seçilen tüm yük değerlerinde genel olarak BF arttıkça, ÖYT’de azalma elde edilmiştir. YSO’da elde edilen maksimum azalma oranı, 90 Nm yükte ve %28.27 BF oranında %17.97 olarak bulunmuştur. DSO’da ise elde edilen maksimum azalma 90 Nm yükte ve %38.87 BF oranında %24.05 olmuştur.



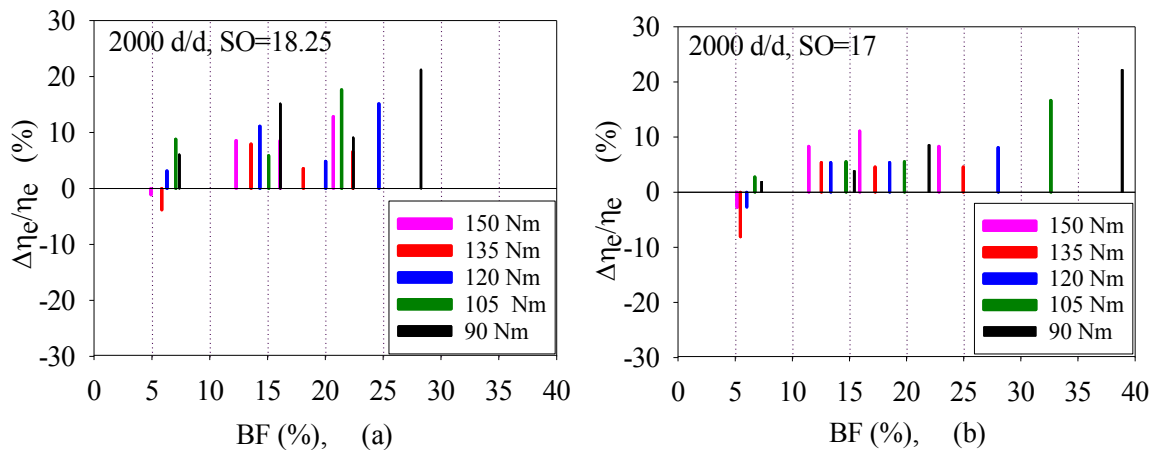
Şekil 3.1. 2000 d/d'de;  $\varepsilon=18.25$  ve  $\varepsilon=17$  için ÖYT'nin, BF oranına göre değişimleri



Şekil 3.2. 2000 d/d'de; ÖYT'nin, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\varepsilon=18.25$  ve (b)  $\varepsilon=17$



Şekil 3.3. 2000 d/d'de;  $\epsilon=18.25$  ve  $\epsilon=17$  için efektif verimin, BF oranına göre değişimleri



Şekil 3.4. 2000 d/d'de; efektif verimin, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$

Her iki sıkıştırma oranı için, efektif verimin BF'ye göre değişimleri Şekil 3.3'te sunulmuştur. Şekil 3.4 (a)'da YSO'da ve Şekil 3.2 (b)'de DSO'da efektif verimde SDY göre meydana gelen artma ve azalma oranları sütun grafiği şeklinde de gösterilmiştir. YSO'da elde edilen maksimum artma oranı, 90 Nm yükte ve %28.27 BF oranında %17.97 olarak belirlenmiştir. DSO'da ise elde edilen maksimum artma oranı 90 Nm yük ve %38.87 BF oranında %24.05 şeklinde gerçekleşmiştir.

ÖYT'deki azalmanın ve aynı şekilde efektif verimdeki artışın, BF ile yanmanın iyileşmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Benzin, emilmekte olan havanın içerisine basit bir karbüratörle püskürtülmüştür. Dizel yakıtı, sıkıştırma işlemi sonunda püskürtme avansı altında benzin-hava karışımı içerisine püskürtülmüştür ve bu çalışmada püskürtülen dizel yakıtı miktarında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

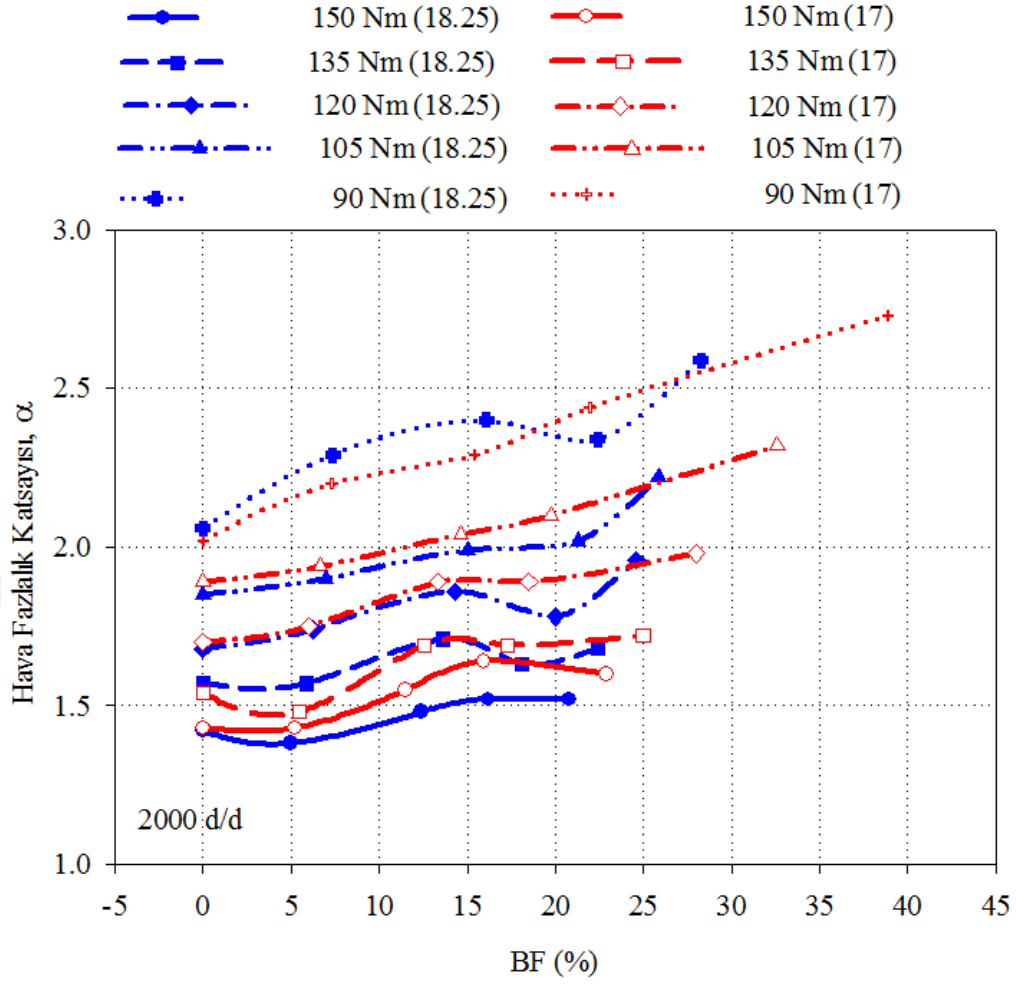
Sunulan çalışmada, dizel yakıtının tutuşma gecikmesi sonunda kendi kendine tutuşarak yandığı ve ardından da dizel yakıtının bu ilk yanmasının etkisi ile çevresindeki buharlaşmış ve tutuşmaya hazır şekilde bekleyen benzin-hava karışımının birden bire yandığı düşünülmektedir. Aslında bu durum, Bölüm 3.4.1'deki ısı açığa çıkma analizi şekillerinden de görülebilir. Özellikle %10 BF oranından sonra, bu ani yanmanın ve karmaşık gaz hareketlerinin katkısı ile yanmanın daha etkili olduğu ilgili şekillerden anlaşılmaktadır. Böylece, benzinin ani yanması sonunda akım karışıklıklarının ve ek gaz hareketlerinin oluştuğu tahmin edilmektedir. Bu ek gaz hareketlerinin ise, daha sonra püskürtülen dizel yakıtının, hava ile daha iyi ve homojen olarak karışmasına yardım ettiği ve böylece yanma işlemini iyileştirdiği düşünülmektedir (Ayvaz, 1991; Goldsworthy, 2013; Şahin ve Durgun, 2009; Şahin vd., 2015; Şahin ve Aksu, 2015). Bu nedenle yanmanın iyileştiği, ÖYT'nin azaldığı ve efektif verimin arttığı tahmin edilebilir. Ayrıca ÖYT'nin azalmasına hava fazlalık katsayısının artışının da etkisinin olduğu söylenebilir. Hava fazlalık katsayısının etkilerine ilişkin değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.

Hava fazlalık katsayısının, her iki sıkıştırma oranı için BF'ye göre değişimi Şekil 3.5'te verilmiştir. Şekil 3.6 (a)'da YSO'da ve Şekil 3.6 (b)'de ise DSO'da hava fazlalık katsayısında SDY'ye göre meydana gelen artma ve azalma oranları sütun grafikler şekline sunulmuştur. Ayrıca Tablo 3.2'de de her iki sıkıştırma oranı için BF ile hava fazlalık katsayısında SDY'ye göre meydana gelen artma ve azalma oranları sayısal olarak sunulmuştur. YSO'da, hava fazlalık katsayısında gözlenen maksimum artış; 90 Nm yükte %28.27 BF oranında %25.73 şeklinde belirlenmiştir. DSO'da ise hava fazlalık

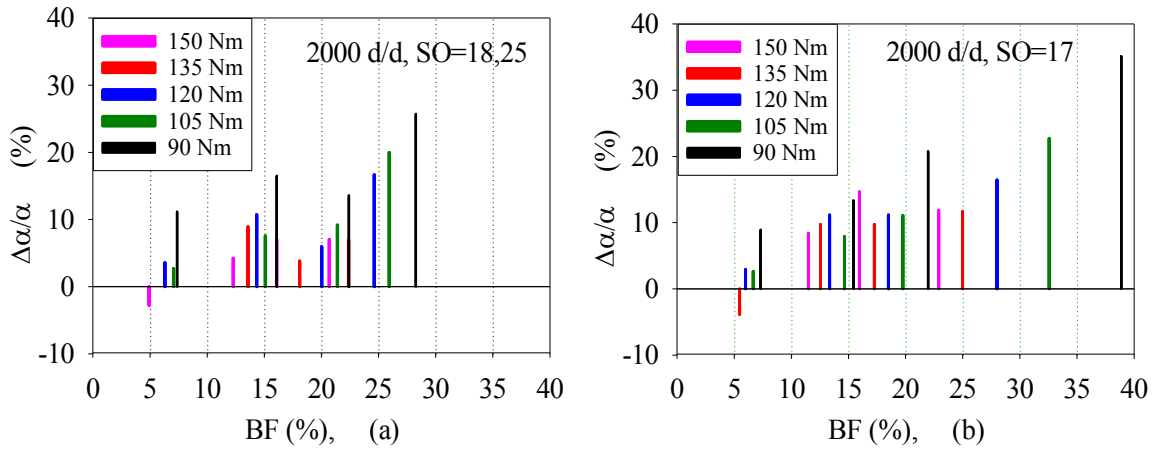
katsayısındaki maksimum artış; 90 Nm yükte %38.87 BF oranında %35.15 olarak belirlenmiştir.

ÖYT grafiklerinden de görüldüğü üzere, ÖYT’de maksimum azalmalar da aynı BF oranlarında sağlanmıştır. Bu nedenle hava fazlalık katsayısındaki değişiminin ÖYT’yi önemli ölçüde etkilediği düşünülmektedir. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 (a ve b)’den görülebileceği gibi, seçilen tüm çalışma koşullarında BF’nin artmasıyla hava fazlalık katsayısı da artmıştır. Bu durumun emme manifolduna püskürtülen benzinin buharlaşması sonucu meydana geldiği söylenebilir. Benzin, emme manifoldunda buharlaştığında, çevreden buharlaşma ısısını çekmektedir ve böylece benzin-hava karışımının soğumasına neden olmaktadır. Bu durumda silindire daha fazla hava emilebileceği ve dolayısı ile motorun volümetrik (hacimsel) veriminin ve toplam veriminin artabileceği tahmin edilmektedir. Literatürden bilindiği gibi motorun volümetrik veriminin artması, motorun efektif verimini artırmakta ve aynı zamanda ÖYT’yi de azaltmaktadır (Durgun, 2018; Heywood, 1998). Böylece hava fazlalık katsayısının artması, hem volümetrik verimin artmasına ve hem de yanmanın iyileşmesine katkı sağlamaktadır. Sonuç olarak bu etkilerin ÖYT’nin azalmasını ve efektif verimin artmasını sağladığı söylenebilir.

Literatürde etanol fumigasyonu (EF) ile ilgili çalışmaların sayısı BF’ye göre daha fazladır. EF ile ilgili yapılan çalışmalarda da, EF ile efektif verimin arttığı ve ÖYT’nin azaldığı belirlenmiştir. Abu-Qudais vd. (2000) tek silindirli bir dizel motorunda etanol fumigasyonunu incelemiştir ve %20 etanol fumigasyonu durumunda efektif verimin %7.5 düzeyinde arttığını deneysel olarak belirlemiştir. Goldsworthy (2013) bir gemi dizel motorunda farklı etanol-su karışımını emme havasının içerisine püskürterek ayrıntılı bir deneysel çalışma yapmıştır. Bu çalışmada etanol-su karışımının emme havasına püskürtülmesinin efektif verimi arttırdığı belirlenmiştir. Telli vd. (2018) yine tek silindirli bir motorda etanol fumigasyonunu incelemiştir. Söz konusu çalışmada dizel yakıtına benzer B7 yakıtı ana yakıt olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada yazarlar, EF ile efektif verimin %26.2 düzeyinde arttığını deneysel olarak belirlemiştir. Ayrıca literatürde BF ile ilgili çalışmalarda da; BF ile efektif verimin arttığı ve ÖYT’nin azaldığı görülmüştür (Hoseinpour vd., 2017; Şahin vd., 2008).



Şekil 3.5. 2000 d/d'de;  $\epsilon=18.25$  ve  $\epsilon=17$  için  $\alpha$ 'nın, BF oranına göre değişimleri



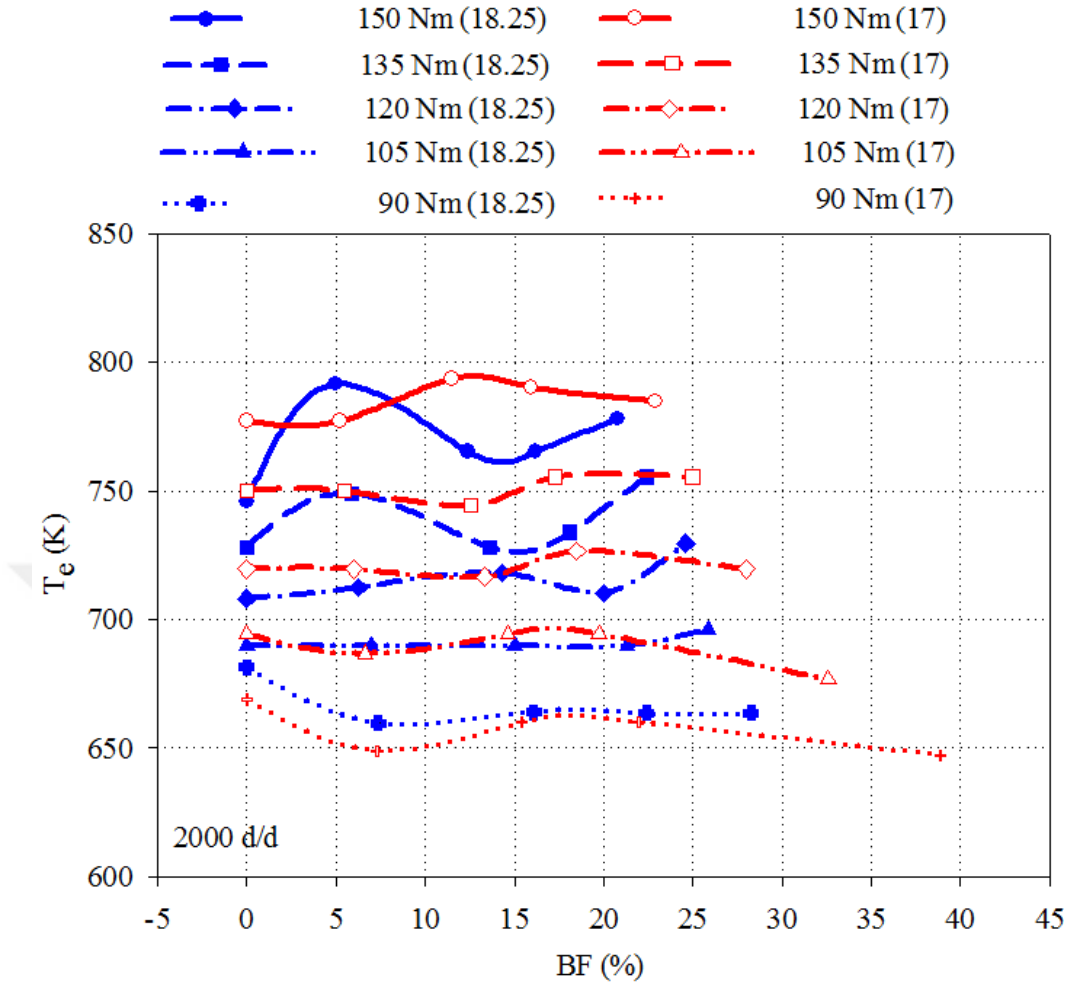
Şekil 3.6. 2000 d/d'de;  $\alpha$ 'nın, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$

YSO'da ve DSO'da, seçilen beş farklı yük için eksoz gazı sıcaklıklarının BF'ye göre değişimleri Şekil 3.7'de sunulmuştur. Şekil 3.8 (a)'da ve Şekil 3.8 (b)'de YSO'da ve DSO'da, eksoz gazı sıcaklıklarında gözlenen artma ve azalma oranları gösterilmiştir. İlgili artma ve azalma değerleri ayrıca Tablo 3.2'de sayısal olarak verilmiştir. YSO'da; BF ile 90 Nm yük değeri dışındaki diğer yük değerlerinde genellikle eksoz gazı sıcaklıkları artmıştır.

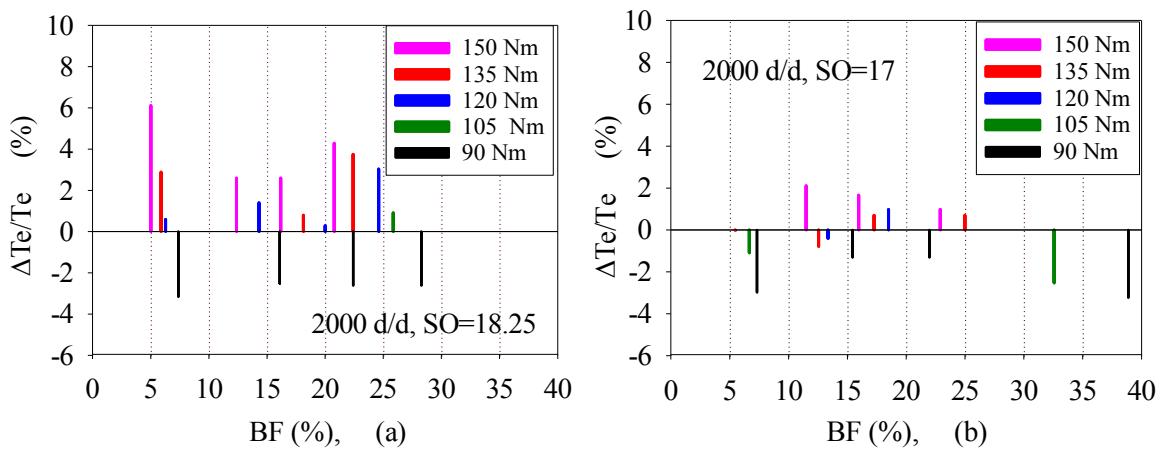
Eksoz gazı sıcaklıkları; DSO'da BF ile 150 Nm, 135 Nm ve 120 Nm gibi yüksek yük değerlerinde genel olarak artmış ancak 105 Nm ve 90 Nm gibi düşük yük değerlerinde ise azalmıştır. Eksoz gazı sıcaklıklarının değişim oranları, tüm durumlar için %-3 ila %6 aralığında seyretmiştir. Düşük yüklerde hava fazlalık katsayısının daha fazla artmasının yanında eksoz gazı sıcaklıklarında düşüş gerçekleşmiş, yüksek yüklerde ise tam tersi bir durum oluşmuştur. Ren vd. (2007) eksoz gazı sıcaklıklarındaki değişimin, yanma sıcaklıkları ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Yanma sıcaklıklarının düşük yüklerde azalması nedeniyle  $NO_x$ 'te düşük yüklerde daha belirgin azalmalar olmuştur.

Şekil 3.9'da hem YSO'da hem de DSO'da  $NO_x$ 'in BF oranlarına göre değişimleri sunulmuştur. Şekil 3.10 (a)'da YSO'da ve Şekil 3.10 (b)'de DSO için  $NO_x$  oranında SDY'ye göre meydana gelen artma ve azalma oranları sunulmuştur. Tablo 3.2'de de her iki sıkıştırma oranı için BF ile  $NO_x$  oranında SDY'ye göre meydana gelen artma ve azalmalar sayısal olarak verilmiştir.

YSO'da; 150 Nm yük değerinde %10 BF'den sonra  $NO_x$  oranı artmıştır ancak diğer tüm yük değerlerinde azalmıştır. BF oranı arttıkça  $NO_x$  oranındaki azalma oranları da artmıştır. YSO'da elde edilen maksimum azalma, 90 Nm yükte ve %28.27 fumigasyon oranında %41.59 olarak belirlenmiştir. DSO'da ise  $NO_x$  oranı 150 Nm ve 135 Nm gibi yüksek yük değerlerinde artmış ancak diğer düşük yük değerlerinde azalmıştır. DSO'da elde edilen maksimum azalma 120 Nm yük ve %22.89 BF oranında %29.37 şeklinde elde edilmiştir.

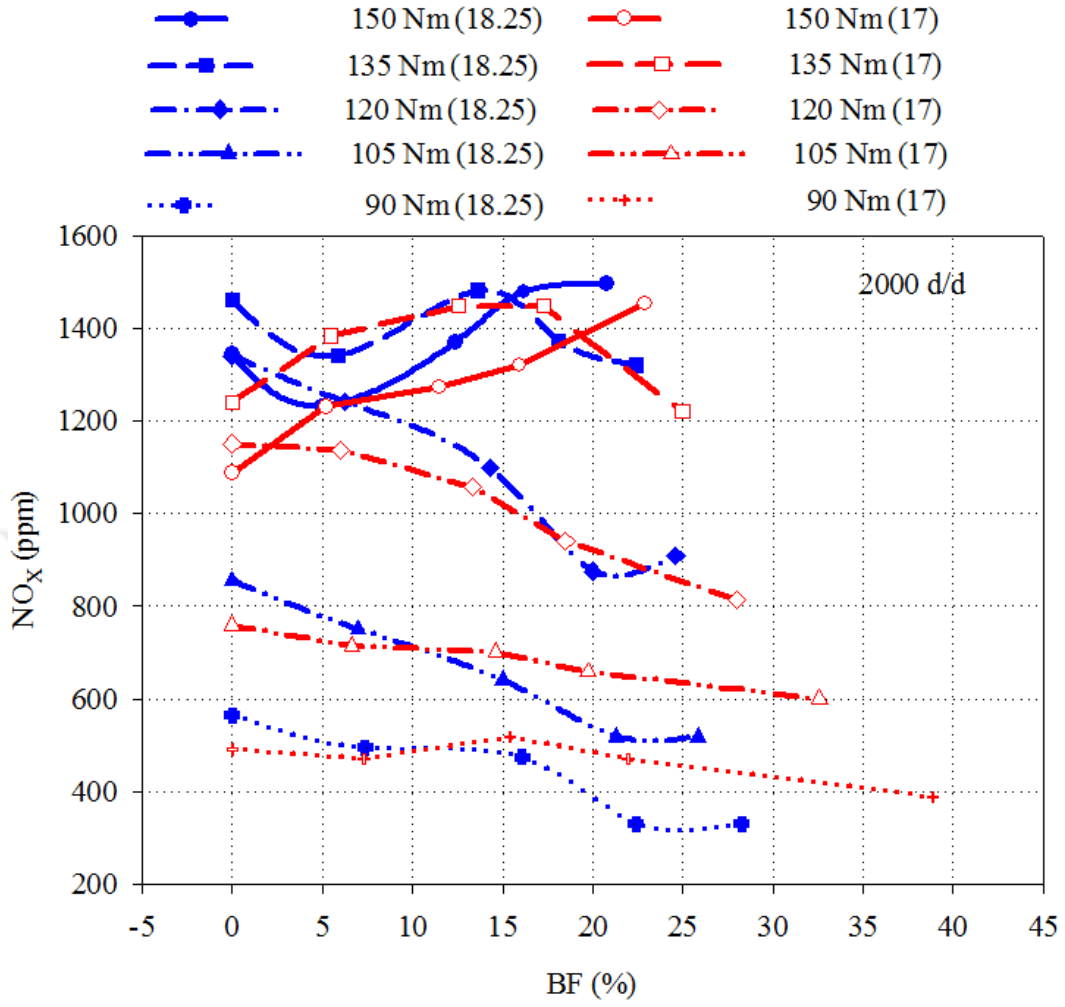


Şekil 3.7. 2000 d/d'de;  $\epsilon=18.25$  ve  $\epsilon=17$  için  $T_e$ 'nin, BF oranına göre değişimleri

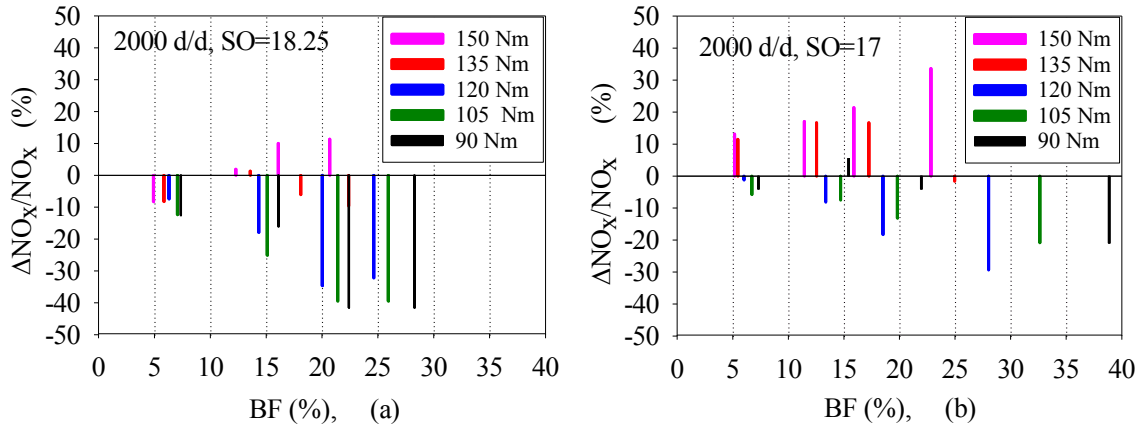


Şekil 3.8. 2000 d/d'de;  $T_e$ 'nin, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$





Şekil 3.9. 2000 d/d'de;  $\epsilon=18.25$  ve  $\epsilon=17$  için NO<sub>x</sub>'in, BF oranına göre değişimleri



Şekil 3.10. 2000 d/d'de; NO<sub>x</sub>'in, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$

Tablo 3.2. 2000 d/d'de;  $\varepsilon=18.25$  ve  $\varepsilon=17$  için  $b_e$ ,  $\eta_e$ ,  $\alpha$ ,  $T_e$  ve  $NO_x$  oranının BF oranına göre değişimleri

% $\Delta b_e/b_e$										
	150 Nm		135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	5.00	-2.04	5.88	0.00	6.27	5.33	6.97	-4.00	7.36	-12.89
	12.37	-9.39	13.60	-8.15	14.30	-4.00	15.00	-10.00	16.09	-13.28
	16.17	-10.20	18.12	-4.29	20.00	1.78	21.32	-7.60	22.41	-8.59
	20.78	-13.47	22.41	-7.30	24.60	-7.56	25.85	-15.20	28.27	-17.97
DSO	5.22	1.28	5.47	8.81	5.99	0.44	6.66	-1.29	7.31	-2.95
	11.49	-7.66	12.55	-5.73	13.34	-5.26	14.64	-4.31	15.42	-5.49
	15.95	-11.49	17.26	-4.41	18.49	-4.39	19.75	-6.03	21.97	-9.70
	22.89	-9.36	24.98	-4.41	28.00	-9.65	32.57	-15.52	38.87	-24.05
% $\Delta \eta_e/\eta_e$										
	150 Nm		135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	5.00	2.04	5.88	0.00	6.27	-5.33	6.97	4.00	7.36	12.89
	12.37	9.39	13.60	8.15	14.3	4.00	15.00	10.00	16.09	13.28
	16.17	10.20	18.12	4.29	20	-1.78	21.32	7.60	22.41	8.59
	20.78	13.47	22.41	7.30	24.6	7.56	25.85	15.20	28.27	17.97
DSO	5.22	-1.28	5.47	-8.81	5.99	-0.44	6.66	1.29	7.31	2.95
	11.49	7.66	12.55	5.73	13.34	5.26	14.64	4.31	15.42	5.49
	15.95	11.49	17.26	4.41	18.49	4.39	19.75	6.03	21.97	9.70
	22.89	9.36	24.98	4.41	28	9.65	32.57	15.52	38.87	24.05
% $\Delta \alpha/\alpha$										
	150 Nm		135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	5.00	-2.82	5.88	0.00	6.27	3.57	6.97	2.70	7.36	11.17
	12.37	4.23	13.60	8.92	14.30	10.71	15.00	7.57	16.09	16.50
	16.17	7.04	18.12	3.82	20.00	5.95	21.32	9.19	22.41	13.59
	20.78	7.04	22.41	7.01	24.60	16.67	25.85	20.00	28.27	25.73
DSO	5.22	0.00	5.47	-3.90	5.99	2.94	6.66	2.65	7.31	8.91
	11.49	8.39	12.55	9.74	13.34	11.18	14.64	7.94	15.42	13.37
	15.95	14.69	17.26	9.74	18.49	11.18	19.75	11.11	21.97	20.79
	22.89	11.89	24.98	11.69	28.00	16.47	32.57	22.75	38.87	35.15

Tablo 3.2'nin devamı

% $\Delta T_e/T_e$										
	150 Nm		135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	5.00	6.12	5.88	2.89	6.27	0.59	6.97	0.00	7.36	-3.17
	12.37	2.60	13.60	0.00	14.30	1.40	15.00	0.00	16.09	-2.54
	16.17	2.60	18.12	0.80	20.00	0.29	21.32	0.00	22.41	-2.62
	20.78	4.29	22.41	3.75	24.60	3.04	25.85	0.91	28.27	-2.62
DSO	5.22	0.00	5.47	-0.03	5.99	0.00	6.66	-1.10	7.31	-2.99
	11.49	2.11	12.55	-0.79	13.34	-0.41	14.64	0.00	15.42	-1.32
	15.95	1.67	17.26	0.70	18.49	0.98	19.75	0.00	21.97	-1.32
	22.89	0.98	24.98	0.70	28.00	0.00	32.57	-2.54	38.87	-3.24
% $\Delta NO_x/NO_x$										
	150 Nm		135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	5.00	-8.33	5.88	-8.28	6.27	-7.45	6.97	-12.38	7.36	-12.57
	12.37	1.93	13.60	1.37	14.30	-17.96	15.00	-25.12	16.09	-16.11
	16.17	0.01	18.12	-6.09	20.00	-34.65	21.32	-39.49	22.41	-41.59
	20.78	11.38	22.41	-9.64	24.60	-32.19	25.85	-39.49	28.27	-41.59
DSO	5.22	13.14	5.47	11.52	5.99	-1.22	6.66	-5.80	7.31	-4.07
	11.49	17.10	12.55	16.68	13.34	-8.17	14.64	-7.52	15.42	5.50
	15.95	21.42	17.26	16.68	18.49	-18.33	19.75	-13.19	21.97	-4.07
	22.89	33.64	24.98	-1.61	28.00	-29.37	32.57	-20.84	38.87	-20.98

Motorun orijinal sıkıştırma oranı 18.25'tir ve motorun püskürtme sistemi söz konusu sıkıştırma oranına göre optimize edilmiştir. Sunulan çalışmada ise sıkıştırma oranı 17'ye kadar indirilmiştir fakat sıkıştırma oranının düşürülmesine karşın püskürtme sisteminde herhangi bir düzenleme ve ayarlama yapılmamıştır. Dolayısı ile bu durumda, motor çalışırken daha fazla zorlandığı ve yanma sıcaklıklarının BF ile pek azalamadığı görülmüştür. Bu durumun  $NO_x$  oranının artmasına neden olabileceği düşünülmektedir. Motorun DSO'da ve özellikle yüksek devirlerde çalışırken daha çok zorlandığı deneyler sırasında gözlemlenmiştir. Ayrıca Tablo 3.2 incelendiğinde, DSO'da hava fazlalık katsayılarındaki artışların YSO'ya göre daha fazla olduğu görülmektedir. Literatürden bilindiği gibi  $NO_x$ 'in oluşumuna yüksek sıcaklıklar ve yüksek hava fazlalık katsayısı değerleri etki etmektedir (Heywood 1998). Bu nedenle DSO'da;  $NO_x$  oranı, YSO'ya göre daha az azalmıştır ve bazı yük değerlerinde artış göstermiştir. Ayrıca BF ile eksoz gazı sıcaklıkları ve yanma süresince silindir içerisindeki karışımın sıcaklıkları her iki sıkıştırma oranında da artmıştır. Bu nedenlerle, özellikle yüksek yüklerde  $NO_x$ 'ler artmıştır. Her iki

sıkıştırma oranı için, BF ile yanma süresince silindir içerisindeki karışımın sıcaklık değişimleri, Bölüm 3.4'te eğriler şeklinde sunulmuştur.

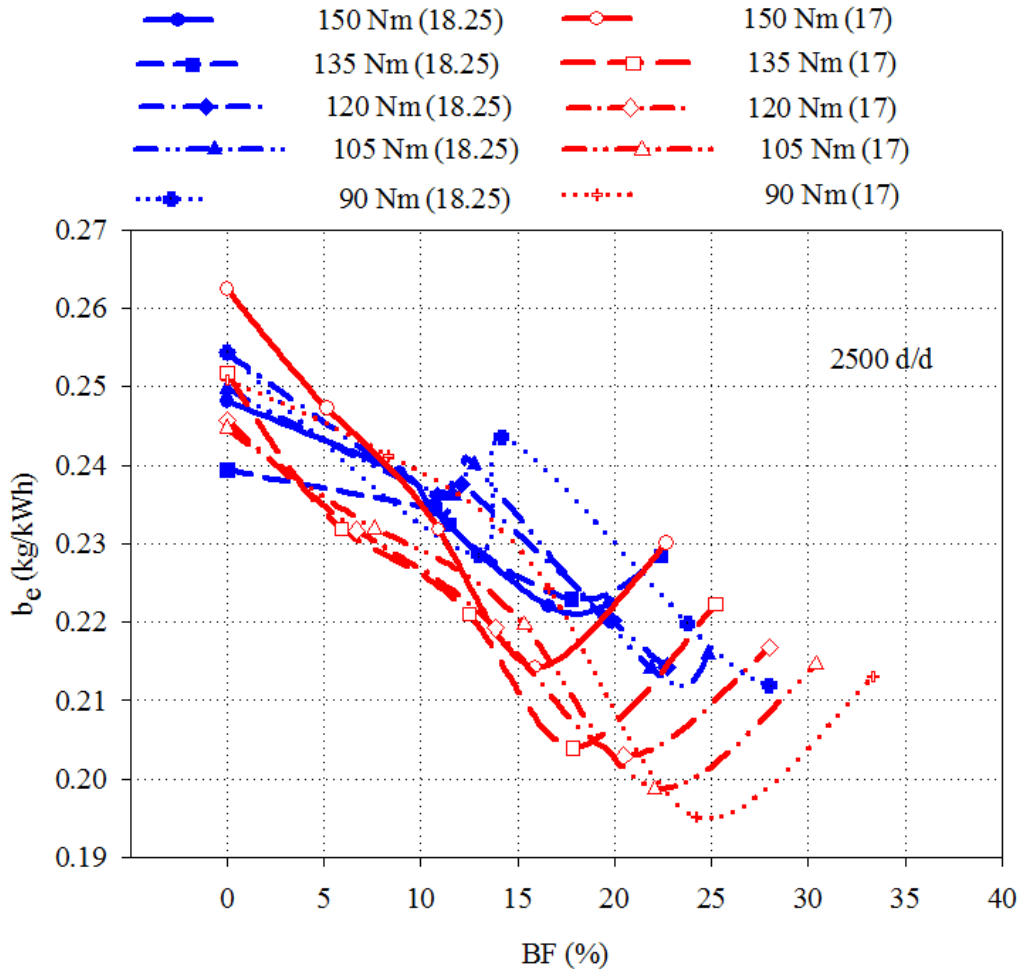
### 3.2.2. 2500 d/d'de BF'nin Motor Karakteristikleri ve Azot Oksitler Üzerindeki Etkileri

2500 d/d devir sayısındaki yük değerleri; 150, 135, 120, 105 ve 90 Nm şeklinde seçilmiştir. Bu devir sayısı için yapılan yorumlarda; 150 Nm ile 135 Nm yüksek yükler, 120 Nm orta yük ve 105 Nm ile 90 Nm düşük yükler olarak adlandırılmıştır.

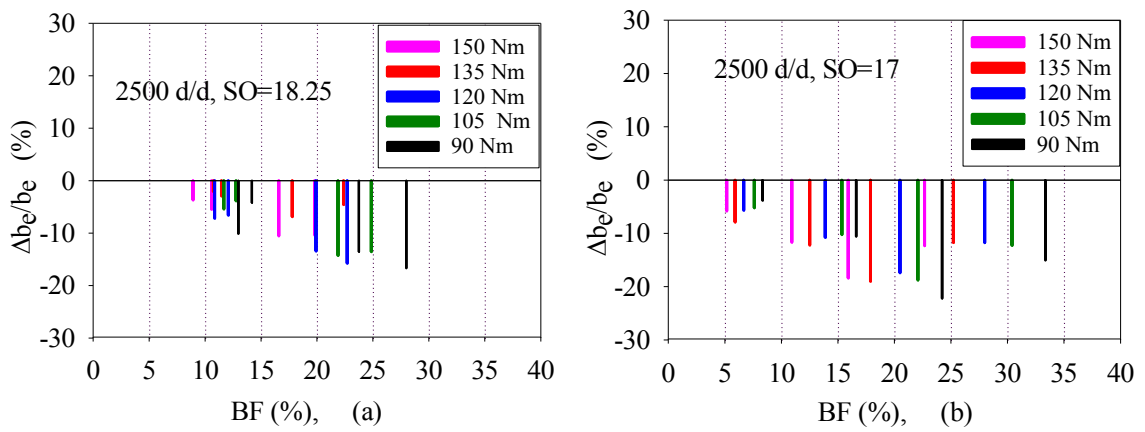
Şekil 3.11'de, hem YSO'da hem de DSO'da ÖYT'nin BF oranlarına göre değişimleri sunulmuştur. Şekil 3.12 (a)'da YSO'da ve Şekil 3.12 (b)'de ise DSO'da ÖYT'de SDY'ye göre meydana gelen artma ve azalma oranları sütun grafikler biçiminde gösterilmiştir. Ayrıca Tablo 3.3'te ise her iki sıkıştırma oranı için BF ile ÖYT'de SDY'ye göre belirlenen artma ve azalmalar sayısal olarak sunulmuştur.

2500 d/d'de ve her iki sıkıştırma oranında da seçilen tüm yük değerlerinde BF'nin artmasıyla ÖYT azalmıştır. YSO'da elde edilen maksimum azalma; 90 Nm yükte ve %27.97 BF oranında %16.71 olarak bulunmuştur. DSO'da ise elde edilen maksimum azalma; 90 Nm yük ve %24.21 BF oranında %22.24 şeklinde çıkmıştır. Düşük yüklerde ÖYT'deki azalmanın daha etkili olduğu görülmüştür. 2500 d/d'de ÖYT'deki azalma BF'nin olumlu etkilerinden kaynaklanmaktadır. BF'nin yararlı etkileri ise 2000 d/d'de ayrıntılı olarak sunulmuştur.

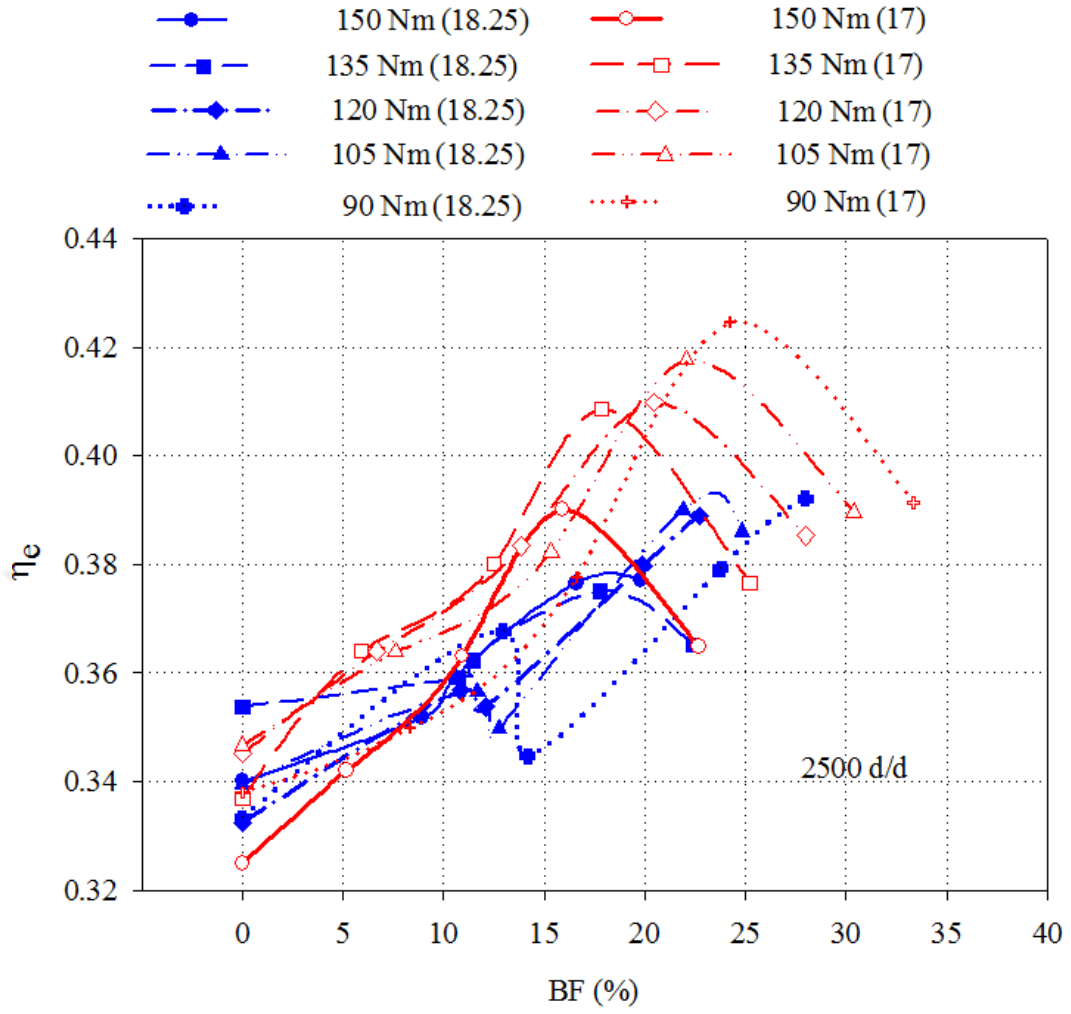
Her iki sıkıştırma oranında, efektif verimin BF'ye göre değişimleri Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Şekil 3.14 (a)'da YSO'da ve Şekil 3.14 (b)'de DSO'da SDY'ye göre efektif verimde belirlenen artma ve azalma oranları sütun grafikler şeklinde de sunulmuştur. Ayrıca Tablo 3.3'te de her iki sıkıştırma oranı için BF ile efektif verimde SDY'ye göre meydana gelen artma ve azalma oranları sayısal olarak sunulmuştur. YSO'da elde edilen maksimum artış oranları; 90 Nm yükte ve %27.97 BF oranında %16.71 olarak belirlenmiştir. DSO'da ise ulaşılan maksimum artış oranı; 90 Nm yük ve %24.21 BF oranında %22.24 şeklinde olmuştur. BF oranının artması ile efektif verimin de arttığı ve DSO'da daha yüksek efektif verim değerleri elde edildiği görülmektedir. 2500 d/d'de; BF'nin ÖYT ve efektif verim üzerindeki etkileri DSO'da, YSO'ya göre daha etkili olmuştur. Bu durumun, sıkıştırma oranının azalması ile motorun homojen dolgulu dizel yanması ilkesine daha yakın şekilde çalışmasından ve dizel vuruntusunun azalmasından kaynaklandığı söylenebilir.



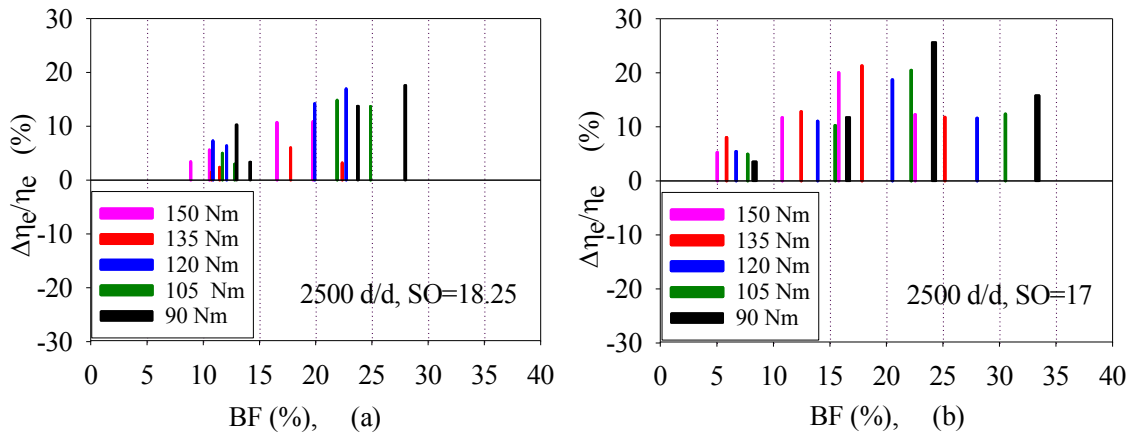
Şekil 3.11. 2500 d/d'de;  $\varepsilon=18.25$  ve  $\varepsilon=17$  için ÖYT'nin, BF oranına göre değişimleri



Şekil 3.12. 2500 d/d'de; ÖYT'nin, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\varepsilon=18.25$  ve (b)  $\varepsilon=17$



Şekil 3.13. 2500 d/d'de;  $\epsilon=18.25$  ve  $\epsilon=17$  için efektif verimin, BF oranına göre değişimleri

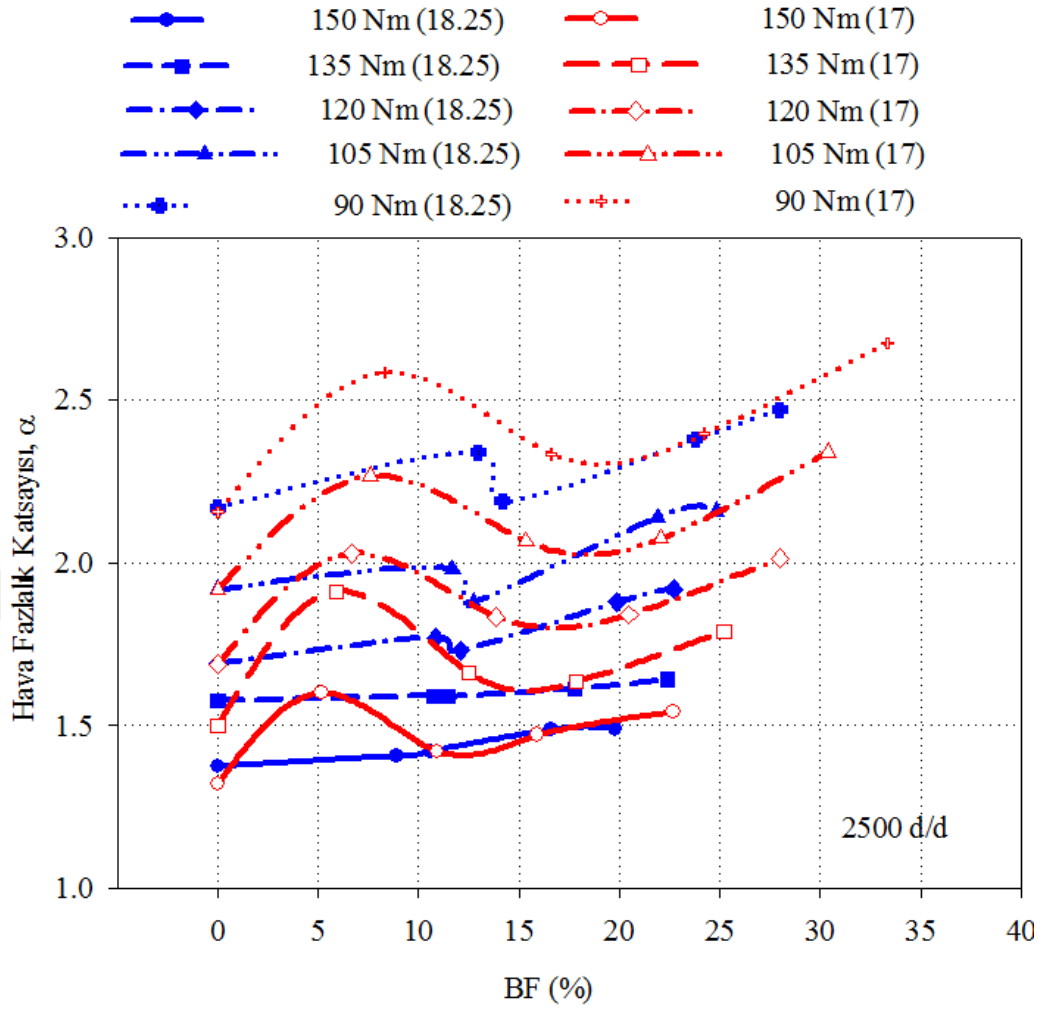


Şekil 3.14. 2500 d/d'de; efektif verimin, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$

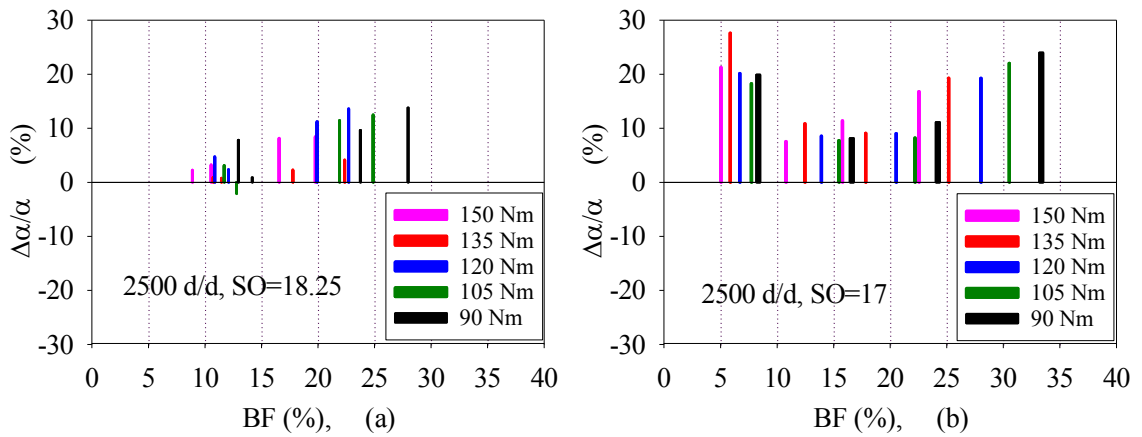
Şekil 3.15 ve 3.16 incelendiğinde, her iki sıkıştırma oranında, BF ile hava fazlalık katsayısının arttığı görülebilir. Düşük yüklerdeki hava fazlalık katsayısının değerleri 2'nin üzerine çıkmaktadır. Düşük yüklerde püskürtülen dizel yakıtı azaldığından dolayı hava fazlalık katsayısı artmaktadır. 17 sıkıştırma oranında yaklaşık %5 BF oranında ve seçilen tüm yüklerde hava fazlalık katsayısı diğer BF oranlarına göre daha fazla artmıştır ve yaklaşık %20 düzeylerinde artışlar belirlenmiştir. Yine DSO'da ve diğer BF oranlarında da hava fazlalık katsayısında hemen hemen benzeri artış oranları elde edilmiştir. Burada da daha önceden belirtildiği gibi, hava fazlalık katsayısındaki artışın BF ile volümetrik verimin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 3.15 ve 3.16'dan görülebileceği gibi BF ile hava fazlalık katsayısındaki artışlar DSO'da yaklaşık %5 BF oranı dışında çok farklı çıkmamıştır. YSO'da en yüksek artış, yine 90 Nm yükte ve %27.97 BF oranında %13.82 düzeyinde gerçekleşmiştir. Yüksek yüklerdeki artış oranları ise %0.77-8.45 aralığında olmuştur. Buna karşın DSO'da, hava fazlalık katsayısındaki en büyük artış oranı; 135 Nm yükte ve %5.16 BF oranında %27.63 olarak belirlenmiştir.

Her iki sıkıştırma oranı için, eksoz gazı sıcaklıklarının BF oranlarına göre değişimleri Şekil 3.17'de sunulmuştur. Hem düşük ve hem de YSO için yüksek yüklerde eksoz gazı sıcaklıklarının arttığı görülmüştür. Seçilen BF oranlarında 150 Nm'de ve 18.25 sıkıştırma oranında eksoz gazı sıcaklık değeri 754 K'den 804 K'ye, 17 sıkıştırma oranı için ise 788 K'den 823 K'ye çıkmıştır. Şekil 3.18'den de görüleceği üzere, YSO'da BF ile eksoz gazı sıcaklığında ölçülen maksimum azalma; 90 Nm yükte %27.97 BF oranında %10.56 düzeyinde olmuştur. Yine aynı sıkıştırma oranında, eksoz gazı sıcaklığındaki en yüksek artış ise 150 Nm yükte ve %19.78 BF oranında %6.63 düzeyinde ölçülmüştür. DSO'da ise eksoz gazı sıcaklıklarında belirgin bir düşüş elde edilmemiş olup, yüksek yüklerde %6.47'ye kadar sıcaklık artışı olmuştur.

Şekil 3.19'da ve Şekil 3.20'de görüleceği üzere, seçilen tüm çalışma koşulları için BF ile  $NO_x$  oranı genel olarak azalmıştır ve özellikle yüksek yüklerdeki azalmalar daha etkin olmuştur. BF ile  $NO_x$  oranındaki azalma oranları düşük yüklerde daha az çıkmıştır. İlgili şekilden görülebileceği gibi YSO'da BF ile  $NO_x$  oranında meydana gelen azalma oranları DSO'ya göre daha etkilidir. YSO'da BF ile hava fazlalık katsayısındaki artışların DSO'ya göre daha az olması nedeniyle YSO'da  $NO_x$  oranındaki azalmalar daha yüksek, buna karşın ÖYT'de azalmalar daha düşük olmuştur. Literatürden bilindiği gibi (Heywood, 1998) hava fazlalık katsayısının artmasının, ÖYT'ye olumlu fakat  $NO_x$ 'in oluşumu üzerinde olumsuz etkisi vardır.

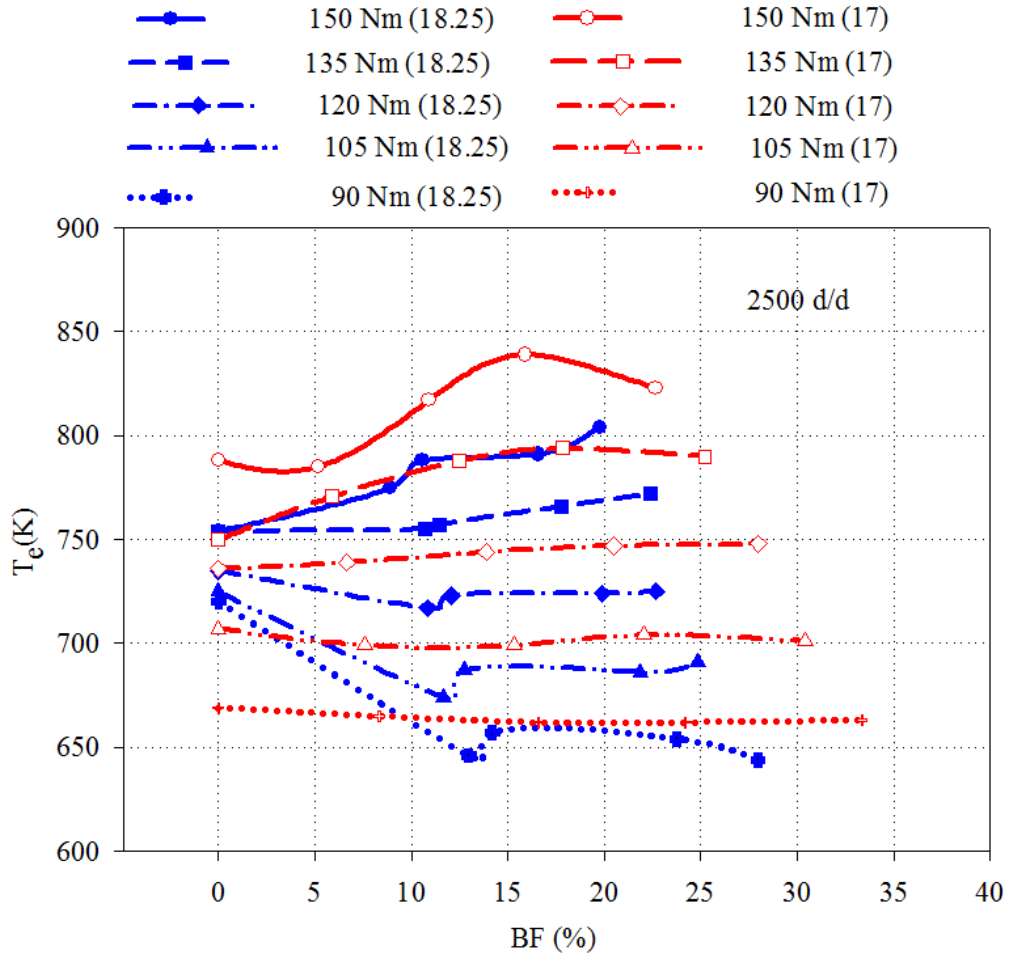


Şekil 3.15. 2500 d/d'de;  $\epsilon=18.25$  ve  $\epsilon=17$  için  $\alpha$ 'nın, BF oranına göre değişimleri

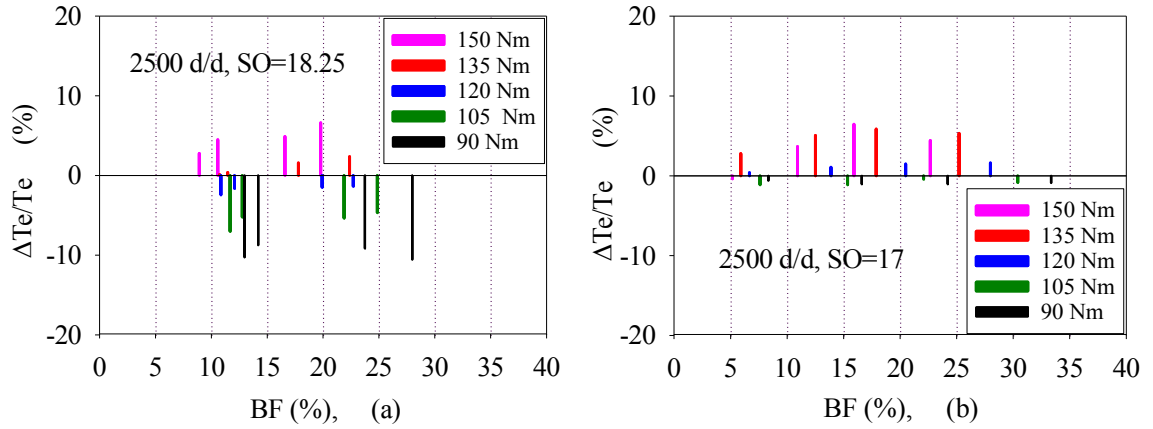


Şekil 3.16. 2500 d/d'de;  $\alpha$ 'nın, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$

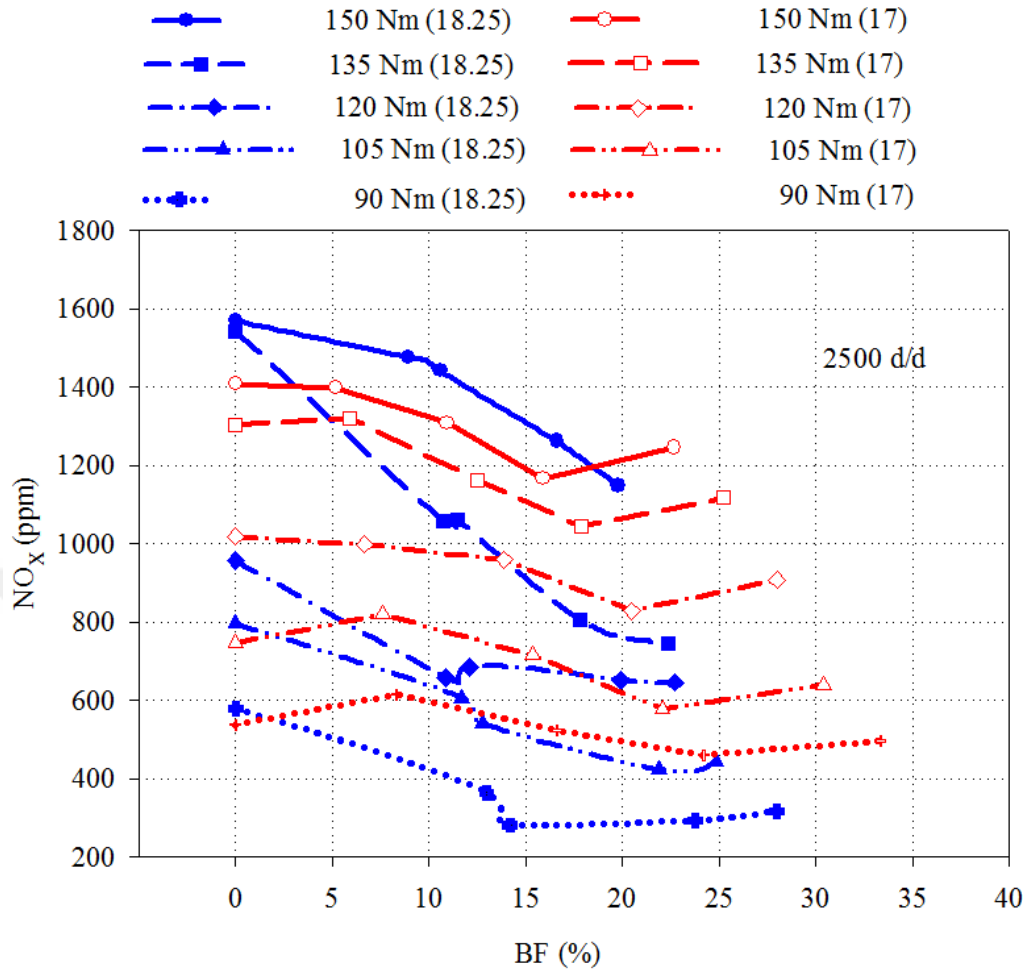




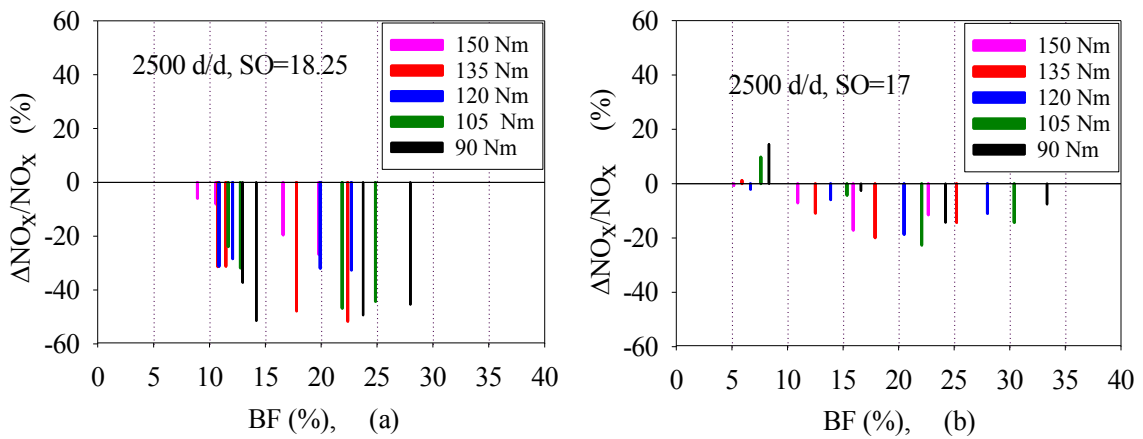
Şekil 3.17. 2500 d/d'de;  $\epsilon=18.25$  ve  $\epsilon=17$  için  $T_e$ 'nin, BF oranına göre değişimleri



Şekil 3.18. 2500 d/d'de;  $T_e$ 'nin, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$



Şekil 3.19. 2500 d/d'de;  $\varepsilon=18.25$  ve  $\varepsilon=17$  için NO<sub>x</sub>'in, BF oranına göre değişimleri



Şekil 3.20. 2500 d/d'de; NO<sub>x</sub>'in, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\varepsilon=18.25$  ve (b)  $\varepsilon=17$

Tablo 3.3. 2500 d/d'de;  $\varepsilon=18.25$  ve  $\varepsilon=17$  için  $b_e$ ,  $\eta_e$ ,  $\alpha$ ,  $T_e$  ve  $NO_x$  oranının BF oranına göre değişimleri

% $\Delta b_e/b_e$										
	150 Nm		135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	8.91	-3.71	10.73	-2.09	10.85	-7.19	11.67	-5.44	12.96	-10.14
	10.57	-5.48	11.46	-2.92	12.07	-6.60	12.76	-3.88	14.18	-4.25
	16.58	-10.56	17.78	-6.89	19.90	-13.44	21.88	-14.29	23.75	-13.60
	19.78	-10.39	22.37	-4.59	22.70	-15.76	24.85	-13.57	27.97	-16.71
DSO	5.16	-5.83	5.90	-7.90	6.66	-5.70	7.60	-5.23	8.33	-3.87
	10.91	-11.70	12.50	-12.23	13.87	-10.79	15.34	-10.26	16.60	-10.60
	15.90	-18.40	17.87	-19.02	20.49	-17.42	22.07	-18.80	24.21	-22.24
	22.67	-12.34	25.21	-11.76	27.98	-11.76	30.40	-12.30	33.35	-15.07
% $\Delta \eta_e/\eta_e$										
	150 Nm		135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	8.91	3.71	10.73	2.09	10.85	7.19	11.67	5.44	12.96	10.14
	10.57	5.48	11.46	2.92	12.07	6.60	12.76	3.88	14.18	4.25
	16.58	10.56	17.78	6.89	19.90	13.44	21.88	14.29	23.75	13.60
	19.78	10.39	22.37	4.59	22.70	15.76	24.85	13.57	27.97	16.71
DSO	5.16	5.83	5.90	7.90	6.66	5.70	7.60	5.23	8.33	3.87
	10.91	11.70	12.50	12.23	13.87	10.79	15.34	10.26	16.60	10.60
	15.90	18.40	17.87	19.02	20.49	17.42	22.07	18.80	24.21	22.24
	22.67	12.34	25.21	11.76	27.98	11.76	30.40	12.30	33.35	15.07
% $\Delta \alpha/\alpha$										
	150 Nm		135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	8.91	2.26	10.73	0.94	10.85	4.73	11.67	3.13	12.96	7.83
	10.57	3.25	11.46	0.77	12.07	2.37	12.76	-2.08	14.18	0.92
	16.58	8.17	17.78	2.30	19.90	11.24	21.88	11.46	23.75	9.68
	19.78	8.46	22.37	4.15	22.70	13.61	24.85	12.50	27.97	13.82
DSO	5.16	21.29	5.90	27.63	6.66	20.18	7.60	18.28	8.33	19.91
	10.91	7.58	12.50	10.88	13.87	8.58	15.34	7.75	16.60	8.17
	15.90	11.41	17.87	9.11	20.49	9.05	22.07	8.24	24.21	11.12
	22.67	16.81	25.21	19.31	27.98	19.28	30.40	22.05	33.35	23.99

Tablo 3.3'ün devamı

% $\Delta T_e/T_e$										
	150 Nm		135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	8.91	2.79	10.73	0.13	10.85	-2.45	11.67	-7.03	12.96	-10.28
	10.57	4.51	11.46	0.40	12.07	-1.63	12.76	-5.24	14.18	-8.75
	16.58	4.91	17.78	1.59	19.90	-1.50	21.88	-5.38	23.75	-9.17
	19.78	6.63	22.37	2.39	22.70	-1.36	24.85	-4.69	27.97	-10.56
DSO	5.16	-0.38	5.90	2.80	6.66	0.41	7.60	-1.13	8.33	-0.60
	10.91	3.68	12.50	5.07	13.87	1.09	15.34	-1.13	16.60	-1.05
	15.90	6.47	17.87	5.87	20.49	1.49	22.07	-0.42	24.21	-1.05
	22.67	4.44	25.21	5.33	27.98	1.63	30.40	-0.85	33.35	-0.90
% $\Delta NO_x/NO_x$										
	150 Nm		135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	8.91	-5.93	10.73	-31.37	10.85	-31.24	11.67	-23.90	12.96	-37.31
	10.57	-8.09	11.46	-31.24	12.07	-28.42	12.76	-31.82	14.18	-51.47
	16.58	-19.57	17.78	-47.83	19.90	-31.97	21.88	-46.79	23.75	-49.40
	19.78	-26.83	22.37	-51.65	22.70	-32.60	24.85	-44.28	27.97	-45.42
DSO	5.16	-0.71	5.90	1.23	6.66	-2.06	7.60	9.79	8.33	14.53
	10.91	-7.10	12.50	-10.89	13.87	-5.89	15.34	-4.29	16.60	-2.61
	15.90	-17.19	17.87	-19.94	20.49	-18.74	22.07	-22.65	24.21	-14.34
	22.67	-11.51	25.21	-14.34	27.98	-10.99	30.40	-14.34	33.35	-7.64

Şekil 3.20'deki sütun grafikleri incelendiğinde; YSO için  $NO_x$  oranındaki maksimum azalmanın; 90 Nm yükte %14.18 BF oranında %51.47 olduğu görülebilir. DSO'da da genel olarak  $NO_x$ 'te düşüş olmasına karşın; 90 Nm yük ve %8.33 BF oranında %14.53 artış, 105 Nm yük ve %7.6 BF oranında %9.78 artış belirlenmiştir. BF oranları arttıkça bu yüklerde de azalmalar gerçekleşmiştir. DSO'daki maksimum azalma 105 Nm yükte %22.07 BF oranında %22.65 düzeyinde gerçekleşmiştir.

### 3.2.3. 3000 d/d'de BF'nin Motor Karakteristikleri ve Azot Oksitler Üzerindeki Etkileri

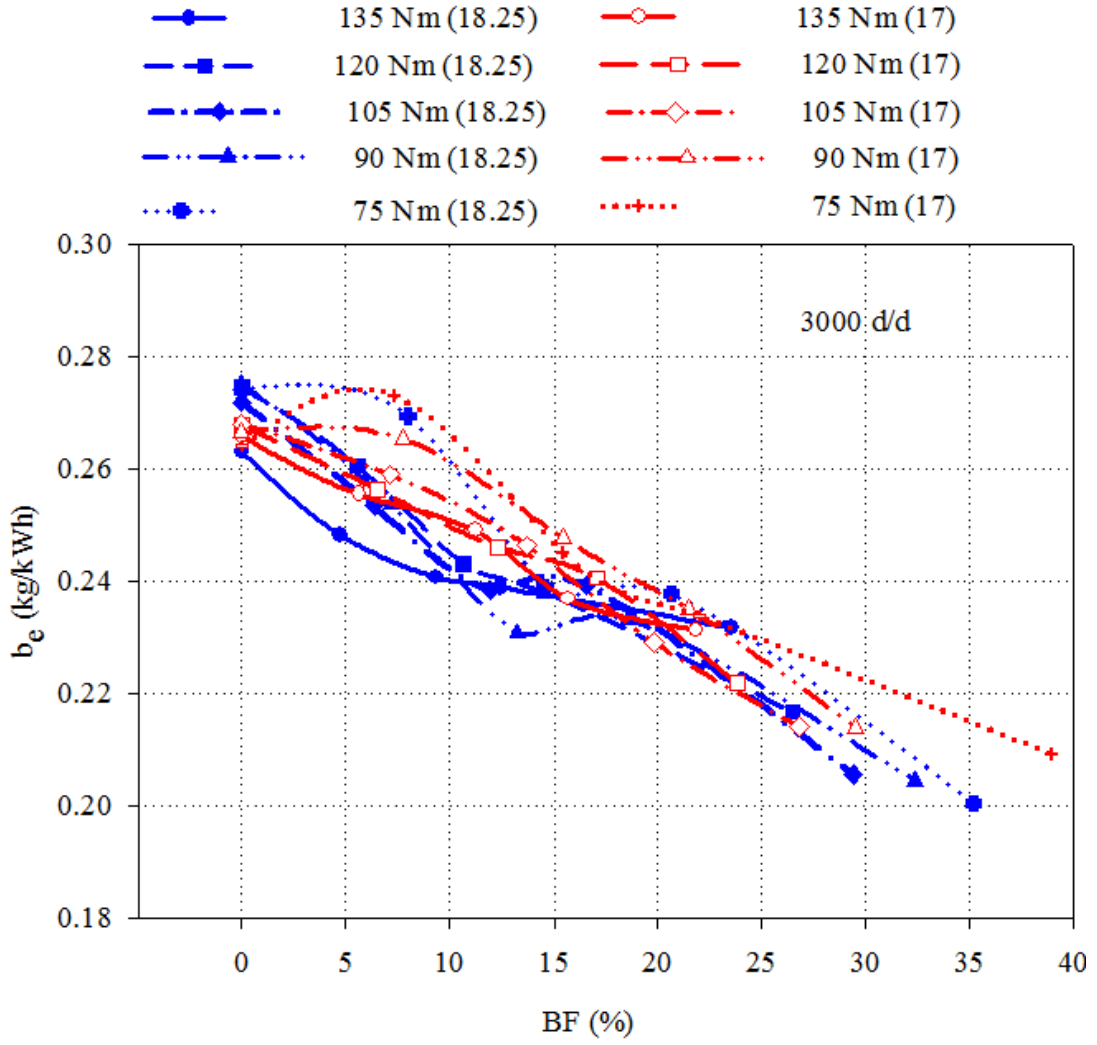
3000 d/d devir sayısındaki yük değerleri; 150 Nm döndürme momentine ulaşamadığı için 135, 120, 105, 90 ve 75 Nm şeklinde seçilmiştir. Bu devir sayısı için yapılan yorumlarda; 135 Nm ile 120 Nm'den yüksek yükler, 105 Nm'den orta yük ve 90 Nm ile 75 Nm'den düşük yükler olarak söz edilecektir.

Şekil 3.21’de, hem YSO’da hem de DSO’da ÖYT’nin BF oranlarına göre değişimleri sunulmuştur. Şekil 3.22 (a)’da YSO için ve Şekil 3.22 (b)’de DSO için; ÖYT’de SDY durumuna göre oluşan artma ve azalma oranları sütun grafikler şeklinde gösterilmiştir. Ayrıca Tablo 3.4’te de her iki sıkıştırma oranı için BF ile ÖYT’de SDY durumuna göre oluşan artma ve azalmalar sayısal olarak sunulmuştur.

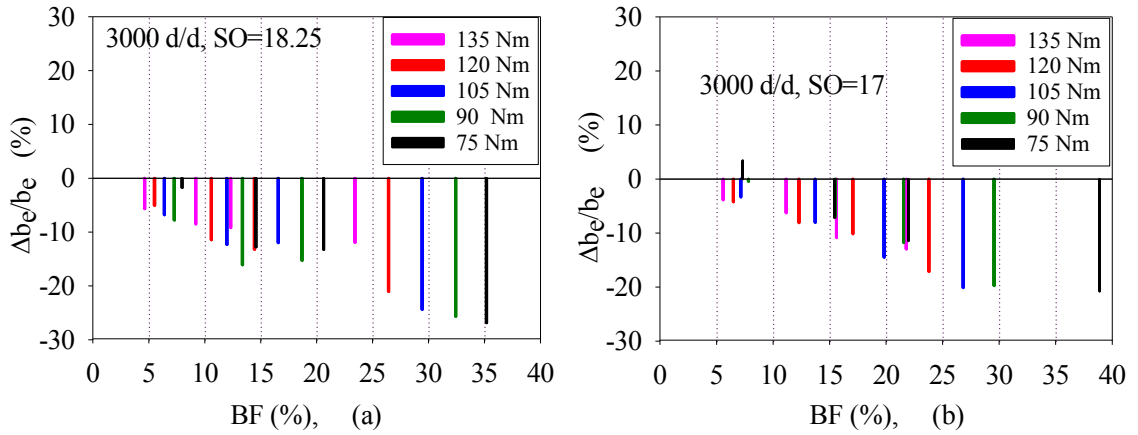
İlgili şekillerden ve tablodan görülebileceği gibi; seçilen tüm çalışma koşullarında, BF ile ÖYT önemli ölçüde azalmıştır ve BF oranı arttıkça ÖYT’deki azalma oranları da artmıştır. 3000 d/d’de ve YSO’da; ÖYT’deki maksimum azalma oranı, 75 Nm yükte ve %35.18 BF oranında %26.89 olarak belirlenmiştir. Aynı devirde ve DSO’da, ÖYT’deki maksimum azalma oranı 75 Nm yükte ve %38.87 BF oranında %20.80 olarak belirlenmiştir. Tablo 3.4’ten de görülebileceği gibi; 3000 d/d’de, motorun 18.25 orijinal sıkıştırma oranında BF’nin ÖYT ve aynı zamanda efektif verim üzerindeki olumlu etkileri DSO’ya göre daha belirgindir. Diğer devirlerde de olduğu gibi, 3000 d/d’de da yük azaldıkça püskürtülen dizel yakıtı azalmasına rağmen, emme havasına eklenen benzin değişmediği için BF oranları artmıştır.

3000 d/d’de; BF ile ÖYT’deki azalmaların, BF ile püskürtülen dizel yakıtının hava ile daha hızlı ve homojen karışması ve yanma işleminin iyileşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu konu ile ilgili ayrıntılı bilgiler yukarıdaki paragraflarda sunulmuştur. Literatürden bilindiği gibi (Heywood, 1998; Durgun, 2018) ÖYT ile efektif verim ters orantılıdır. Dolayısı ile Şekil 3.23’ten ve Şekil 3.24’ten görülebildiği gibi; iki sıkıştırma oranında da, BF ile efektif verimler önemli ölçüde artmıştır ve BF oranı arttıkça efektif verimdeki artış oranları daha etkili olmuştur. Ayrıca BF’nin efektif verim üzerindeki olumlu etkileri YSO’da daha baskın çıkmıştır.

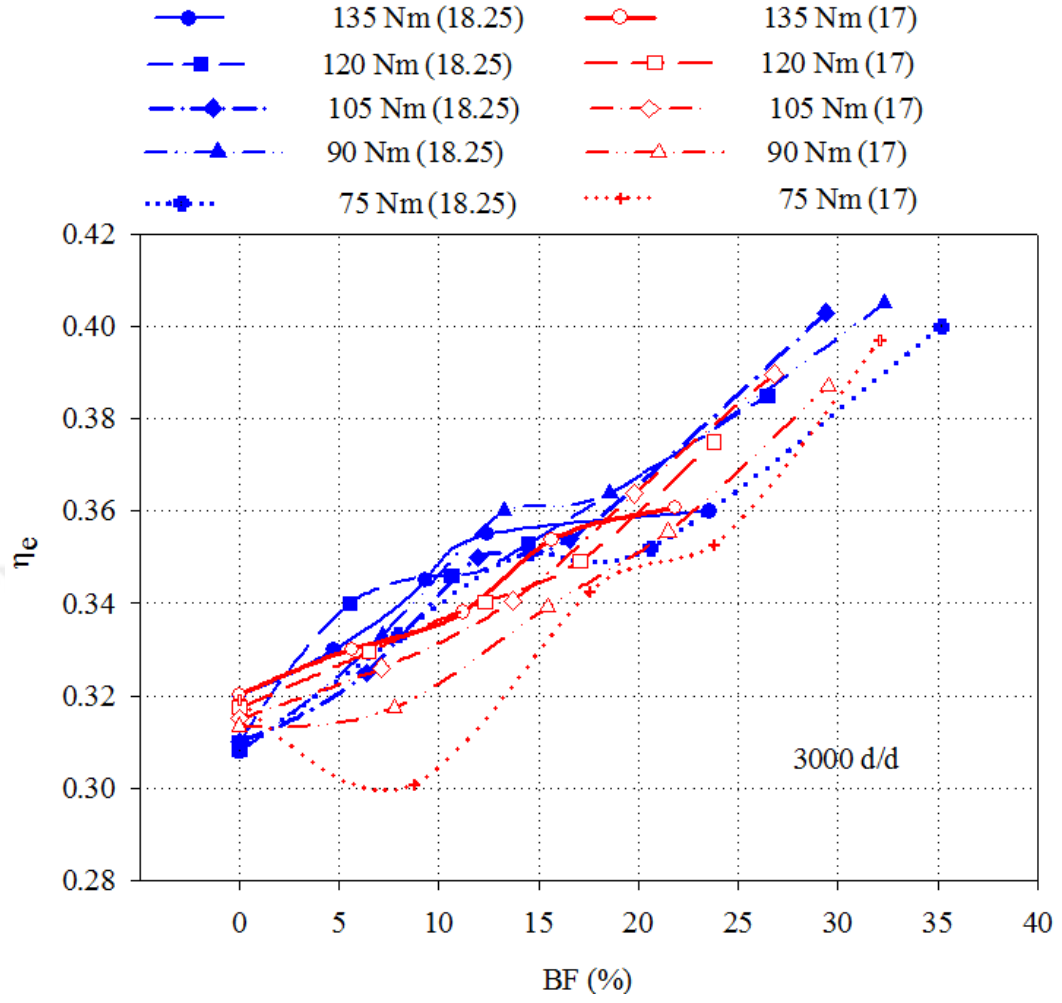
Her iki sıkıştırma oranı için; BF’nin hava fazlalık katsayısı üzerindeki etkileri Şekil 3.25, Şekil 3.26 (a ve b) ve Tablo 3.4’te gösterilmiştir. Şekil 3.25’ten görülebileceği gibi her iki sıkıştırma oranında da hava fazlalık katsayısı değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır ve yük azaldıkça püskürtülen dizel yakıtı azalacağından hava fazlalık katsayısı değerleri artmıştır.



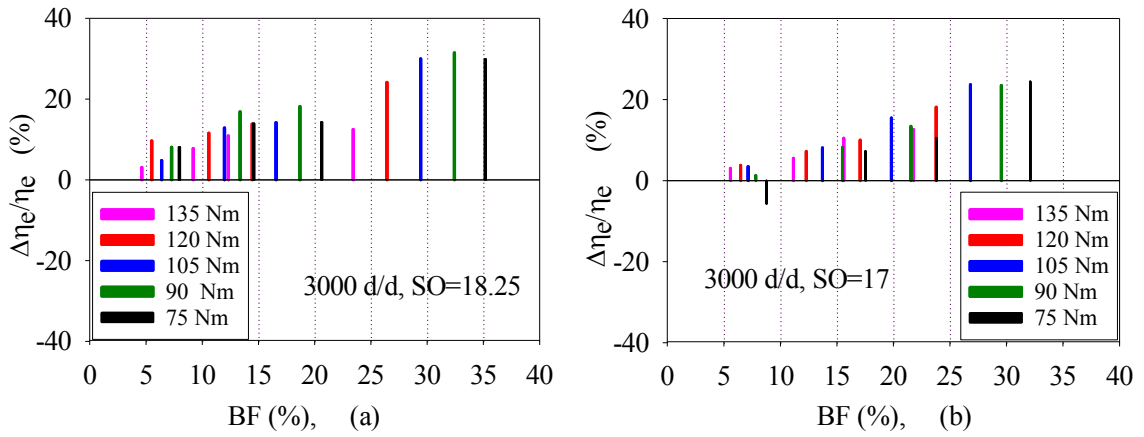
Şekil 3.21. 3000 d/d'de;  $\epsilon=18.25$  ve  $\epsilon=17$  için ÖYT'nin, BF oranına göre değişimleri



Şekil 3.22. 3000 d/d'de; ÖYT'nin, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$



Şekil 3.23. 3000 d/d'de;  $\epsilon=18.25$  ve  $\epsilon=17$  için efektif verimin, BF oranına göre değişimleri



Şekil 3.24. 3000 d/d'de; efektif verimin, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$

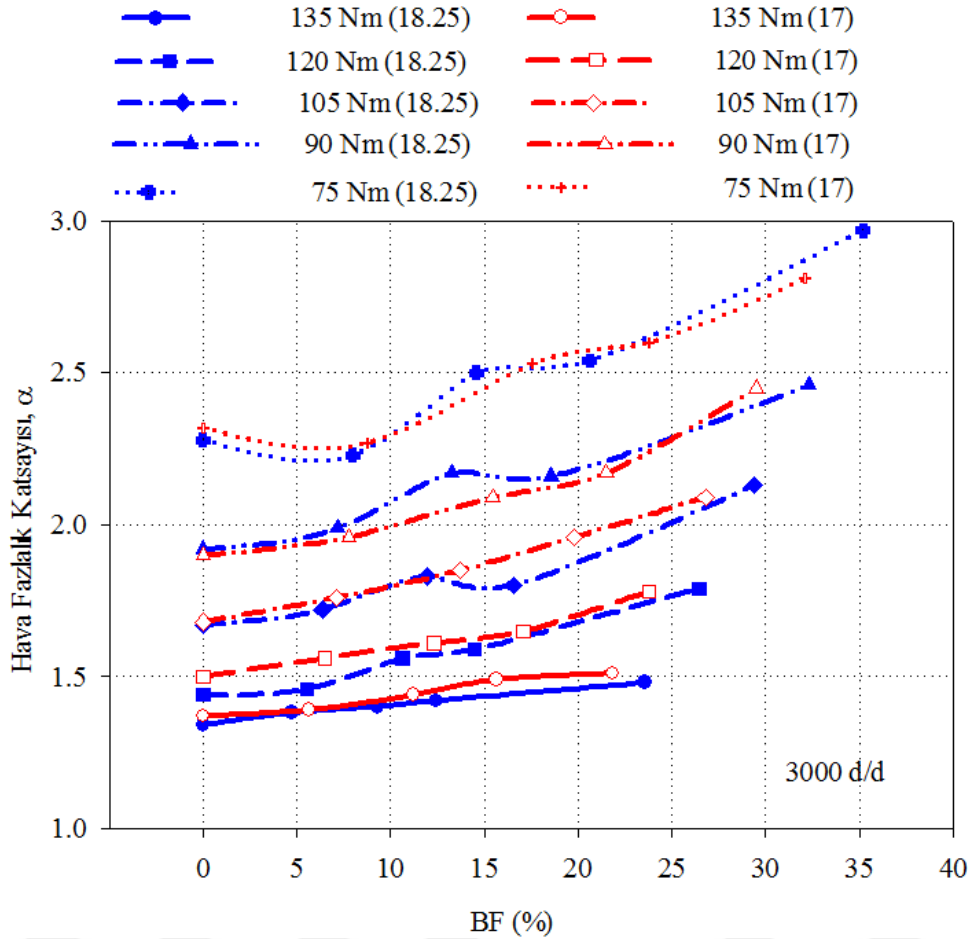
Şekil 3.25'ten görülebileceği gibi, özellikle düşük yüklerde hava fazlalık katsayısı değerleri 3 düzeylerine kadar yükselmiştir. Şekil 3.25, Şekil 3.26 (a ve b) ve Tablo 3.4 incelendiğinde BF ile hava fazlalık katsayılarının arttığı görülmüştür. Şekil 3.26 (a ve b)'den açıkça görülebileceği gibi her iki sıkıştırma oranında da BF oranı arttıkça hava fazlalık katsayılarındaki artış oranları daha yüksek çıkmıştır. Bunun sonucu olarak, BF ile ÖYT'nin azaldığı ve aynı zamanda efektif verimin arttığı, yukarıdaki ÖYT ve efektif verim eğrilerinden görülebilir (Şekil 3.21 ve Şekil 3.22). BF durumunda emme havası içerisine püskürtülen benzinin buharlaşması sonucu ortamdan ısı çekildiği için taze dolgunun (benzin-hava karışımı) soğuduğu düşünülmektedir. Bu durumun, motorun volümetrik verimini ve dolayısı ile efektif verimi arttırdığı söylenebilir. Yüksek BF oranı durumunda bu etkinin daha belirgin olduğu anlaşılmaktadır.

3000 d/d'de her iki sıkıştırma oranında da hava fazlalık katsayılarında elde edilen maksimum artışlar şu şekildedir: YSO'da; hava fazlalık katsayısındaki maksimum artış oranını 75 Nm yükte ve %35.18 BF oranında %30.26 olarak belirlenmiştir. DSO'da; hava fazlalık katsayısındaki maksimum artış oranı 90 Nm yükte. %29.50 BF oranında %28.95 olarak belirlenmiştir.

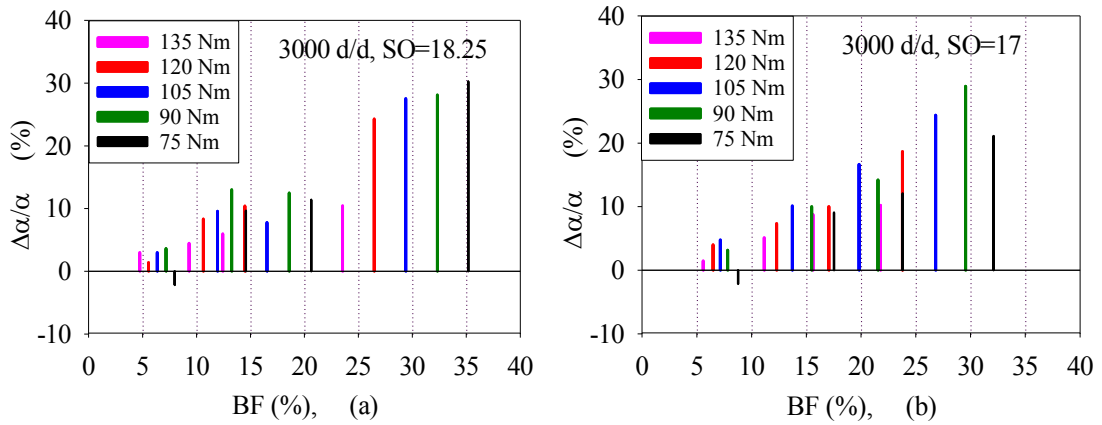
Şekil 3.27 ve Şekil 3.28'de; 3000 d/d'de, her iki sıkıştırma oranı için BF'nin eksoz gazı sıcaklıkları üzerindeki etkileri sunulmuştur. YSO'da seçilen tüm yüklerde BF ile eksoz gazı sıcaklıklarının arttığı ancak yüksek BF oranlarında ise eksoz gazı sıcaklıklarındaki artış oranlarının azaldığı görülebilir. Ayrıca, Şekil 3.28 (a)'dan yüksek yüklerdeki artışların, orta ve düşük yüklerdeki artışlara göre daha etkin olduğu anlaşılabilir. 18.25 sıkıştırma oranı için; BF ile eksoz gazı sıcaklıklarında, 135 Nm yükte yaklaşık %2.4-8.7 ve 120 Nm yükte ise yaklaşık %3.6-4.7 aralıklarında artışlara rastlanmıştır. Diğer orta ve düşük yükler için belirlenen artış değerleri bu yüklere göre daha düşüktür.

Benzer şekilde 17 sıkıştırma oranı için de yüksek yüklerde sıcaklık artışına rastlanmış ve en belirgin artışlar 135 Nm yükte elde edilmiştir. Maksimum sıcaklık artışı 135 Nm yükte %21.83 BF oranında %6.46 olarak belirlenmiştir. Buna karşın DSO'da orta ve düşük yüklerde eksoz gazı sıcaklıklarının azaldığı görülmüştür. Şekil 3.28 (a ve b)'den görülebileceği gibi; BF ile DSO'da, eksoz gazı sıcaklıklarında orta ve düşük yüklerde azalmalar gözlenirken YSO'da eksoz gazı sıcaklıkları genel olarak artmıştır.

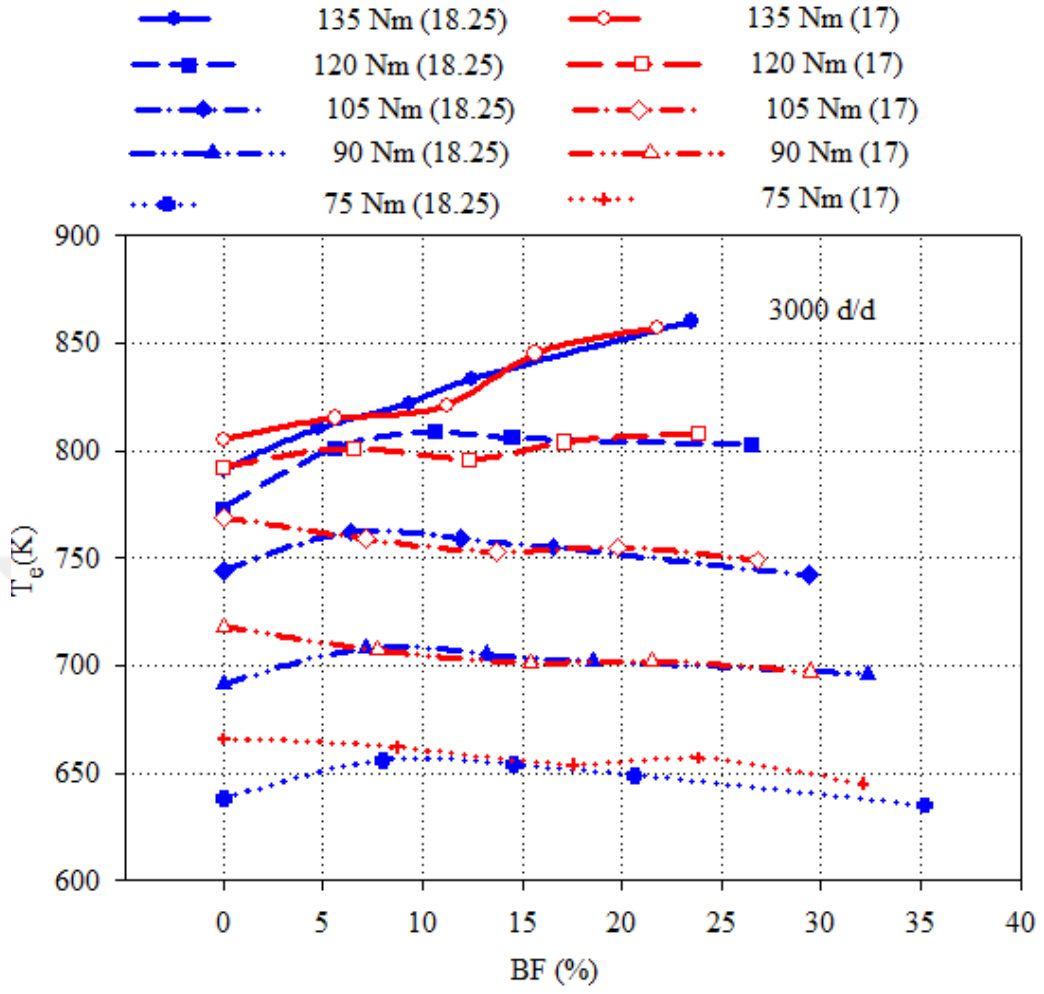




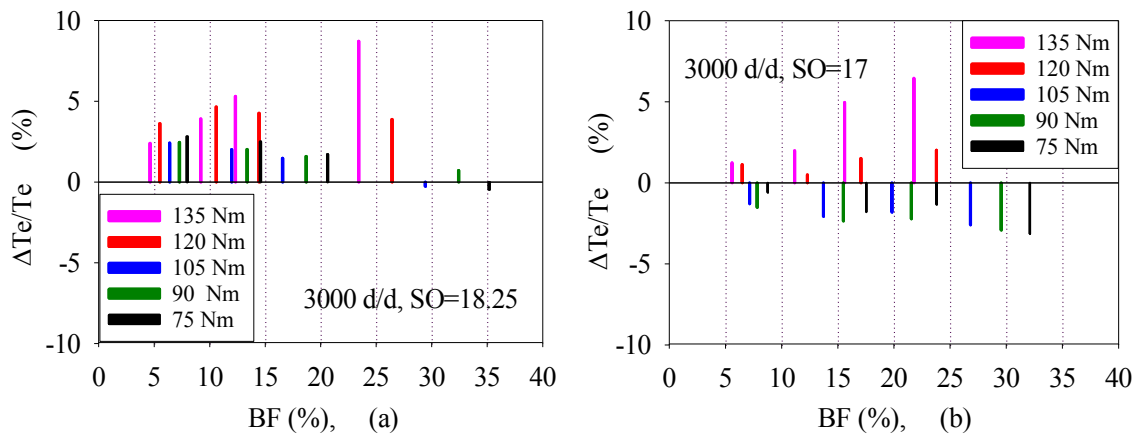
Şekil 3.25. 3000 d/d'de;  $\epsilon=18.25$  ve  $\epsilon=17$  için  $\alpha$ 'nın, BF oranına göre değişimleri



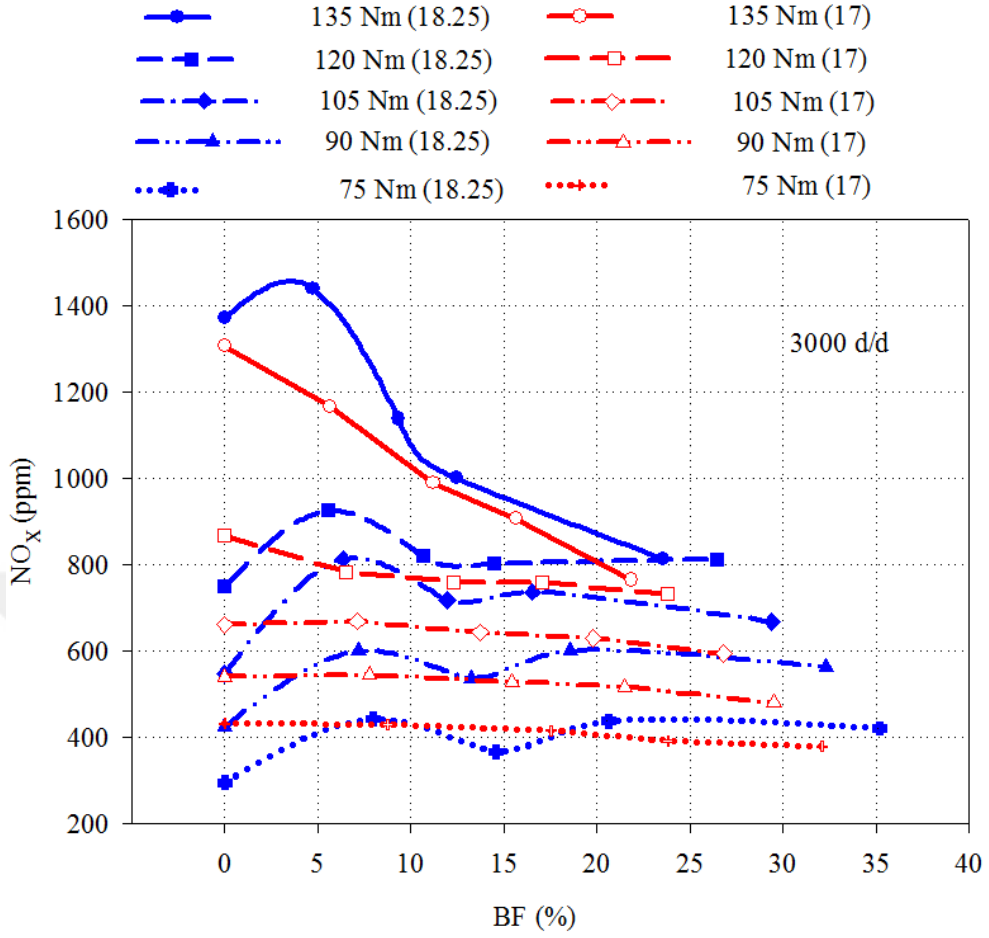
Şekil 3.26. 3000 d/d'de;  $\alpha$ 'nın, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$



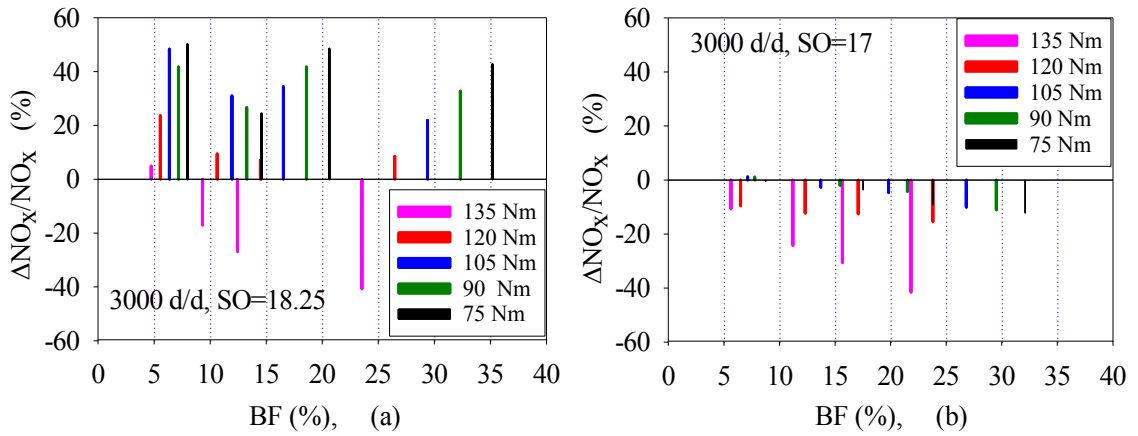
Şekil 3.27. 3000 d/d'de;  $\epsilon=18.25$  ve  $\epsilon=17$  için  $T_e$ 'nin, BF oranına göre değişimleri



Şekil 3.28. 3000 d/d'de;  $T_e$ 'nin, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$



Şekil 3.29. 3000 d/d'de;  $\varepsilon=18.25$  ve  $\varepsilon=17$  için NO<sub>x</sub>'in, BF oranına göre değişimleri



Şekil 3.30. 3000 d/d'de; NO<sub>x</sub>'in, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\varepsilon=18.25$  ve (b)  $\varepsilon=17$

Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'da; 3000 d/d'de, her iki sıkıştırma oranı için BF'nin NO<sub>x</sub> üzerindeki etkileri sunulmuştur. Şekil 3.30 (a)'dan görülebileceği gibi; YSO'da ve 135 Nm yük değerinde, BF ile NO<sub>x</sub> genel olarak azalmıştır ve BF oranı arttıkça azalma oranları da artmıştır. Diğer yük değerlerinde ise NO<sub>x</sub>, BF ile önemli ölçüde artmıştır ve azot oksitlerde %50'lere varan artışlara rastlanmıştır. NO<sub>x</sub>'teki en fazla düşüş 135 Nm için %23.53 BF oranında %40.73 olarak belirlenmiştir.

DSO'da da benzer şekilde NO<sub>x</sub>'teki en belirgin azalma 135 Nm'de elde edilmiş ve maksimum iyileşme %21.83 BF oranında %41.55 oranında belirlenmiştir. Diğer yüklerde ise BF ile NO<sub>x</sub>'te %15'lere varan iyileşmeler elde edilmiştir. Ayrıca Şekil 3.30 (b)'den görülebileceği gibi yüksek yük değerlerinde NO<sub>x</sub>'te elde edilen iyileşmeler daha yüksek çıkmıştır. Her iki sıkıştırma oranı göz önüne alındığında DSO'da BF ile NO<sub>x</sub>'te elde edilen iyileşmeler YSO'ya göre daha iyi olmuştur. Şekil 3.20'den görülebileceği gibi BF ile DSO'da eksoz gazı sıcaklıklarında meydana gelen artışlar YSO'ya göre daha düşük çıkmıştır ve hatta DSO'da BF ile orta ve düşük yüklerde eksoz gazı sıcaklıkları azalmıştır. Eksoz gazı sıcaklıklarının düşük olmasından, silindir sıcaklıklarının da düşük olacağı tahmin edilebilir. Sıcaklıkların düşük olması ise NO<sub>x</sub> oluşumunu azaltabilir (Heywood, 1998). 3000 d/d'de, DSO'da BF, NO<sub>x</sub> açısından daha çevreci sonuçlar vermiştir.

Tablo 3.4. 3000 d/d'de;  $\varepsilon=18.25$  ve  $\varepsilon=17$  için  $b_e$ ,  $\eta_e$ ,  $\alpha$ ,  $T_e$  ve NO<sub>x</sub> oranının BF oranına göre değişimleri

		% $\Delta b_e/b_e$									
		135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm		75 Nm	
		BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO		4.74	-5.67	5.55	-5.07	6.35	-6.81	7.16	-7.78	7.97	-1.75
		9.30	-8.52	10.62	-11.44	11.94	-12.33	13.25	-16.11	14.57	-12.81
		12.43	-9.20	14.48	-13.23	16.53	-11.99	18.57	-15.27	20.62	-13.28
		23.53	-11.94	26.46	-21.06	29.39	-24.39	32.31	-25.67	35.18	-26.89
DSO		5.63	-3.88	6.50	-4.26	7.13	-3.36	7.77	-0.45	7.31	3.41
		11.20	-6.29	12.30	-8.11	13.70	-8.06	15.44	-7.06	15.42	-7.20
		15.65	-10.88	17.07	-10.16	19.80	-14.52	21.50	-11.79	21.97	-11.48
		21.83	-12.98	23.80	-17.15	26.80	-20.12	29.50	-19.74	38.87	-20.80

Tablo 3.4'ün devamı

% $\Delta\eta_e/\eta_e$										
	135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm		75 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	4.74	5.67	5.55	5.07	6.35	6.81	7.16	7.78	7.97	1.75
	9.30	8.52	10.62	11.44	11.94	12.33	13.25	16.11	14.57	12.81
	12.43	9.20	14.48	13.23	16.53	11.99	18.57	15.27	20.62	13.28
	23.53	11.94	26.46	21.06	29.39	24.39	32.31	25.67	35.18	26.89
DSO	5.63	3.88	6.50	4.26	7.13	3.36	7.77	0.45	7.31	-3.41
	11.20	6.29	12.30	8.11	13.70	8.06	15.44	7.06	15.42	7.20
	15.65	10.88	17.07	10.16	19.80	14.52	21.50	11.79	21.97	11.48
	21.83	12.98	23.80	17.15	26.80	20.12	29.50	19.74	38.87	20.80
% $\Delta\alpha/\alpha$										
	135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm		75 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	4.74	2.99	5.55	1.39	6.35	2.99	7.16	3.65	7.97	-2.19
	9.30	4.48	10.62	8.33	11.94	9.58	13.25	13.02	14.57	9.65
	12.43	5.97	14.48	10.42	16.53	7.78	18.57	12.50	20.62	11.40
	23.53	10.45	26.46	24.31	29.39	27.54	32.31	28.13	35.18	30.26
DSO	5.63	1.46	6.50	4.00	7.13	4.76	7.77	3.16	8.76	-2.16
	11.20	5.11	12.30	7.33	13.70	10.12	15.44	10.00	17.52	9.05
	15.65	8.76	17.07	10.00	19.80	16.67	21.50	14.21	23.80	12.07
	21.83	10.22	23.80	18.67	26.80	24.40	29.50	28.95	32.10	21.12
% $\Delta T_e/T_e$										
	135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm		75 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	4.74	2.40	5.55	3.62	6.35	2.42	7.16	2.46	7.97	2.82
	9.30	3.92	10.62	4.66	11.94	2.02	13.25	2.03	14.57	2.51
	12.43	5.31	14.48	4.27	16.53	1.48	18.57	1.59	20.62	1.72
	23.53	8.72	26.46	3.88	29.39	-0.27	32.31	0.72	35.18	-0.47
DSO	5.63	1.24	6.50	1.14	7.13	-1.30	7.77	-1.53	8.76	-0.60
	11.20	1.99	12.30	0.51	13.70	-2.08	15.44	-2.37	17.52	-1.80
	15.65	4.97	17.07	1.52	19.80	-1.82	21.50	-2.23	23.80	-1.35
	21.83	6.46	23.80	2.02	26.80	-2.60	29.50	-2.92	32.10	-3.15
% $\Delta NO_x/NO_x$										
	135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm		75 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	4.74	4.96	5.55	23.63	6.35	48.36	7.16	41.75	7.97	50.17
	9.30	-17.06	10.62	9.48	11.94	31.02	13.25	26.65	14.57	24.41
	12.43	-26.97	14.48	7.08	16.53	34.49	18.57	41.75	20.62	48.47
	23.53	-40.74	26.46	8.54	29.39	21.90	32.31	32.78	35.18	42.71
DSO	5.63	-10.71	6.50	-9.57	7.13	1.21	7.77	1.11	8.76	-0.46
	11.20	-24.25	12.30	-12.34	13.70	-2.72	15.44	-2.04	17.52	-3.70
	15.65	-30.60	17.07	-12.57	19.80	-4.69	21.50	-4.26	23.80	-9.26
	21.83	-41.55	23.80	-15.46	26.80	-10.14	29.50	-11.11	32.10	-12.27

### 3.2.4. 3500 d/d'de BF'nin Motor Karakteristikleri ve Azot Oksitler Üzerindeki Etkileri

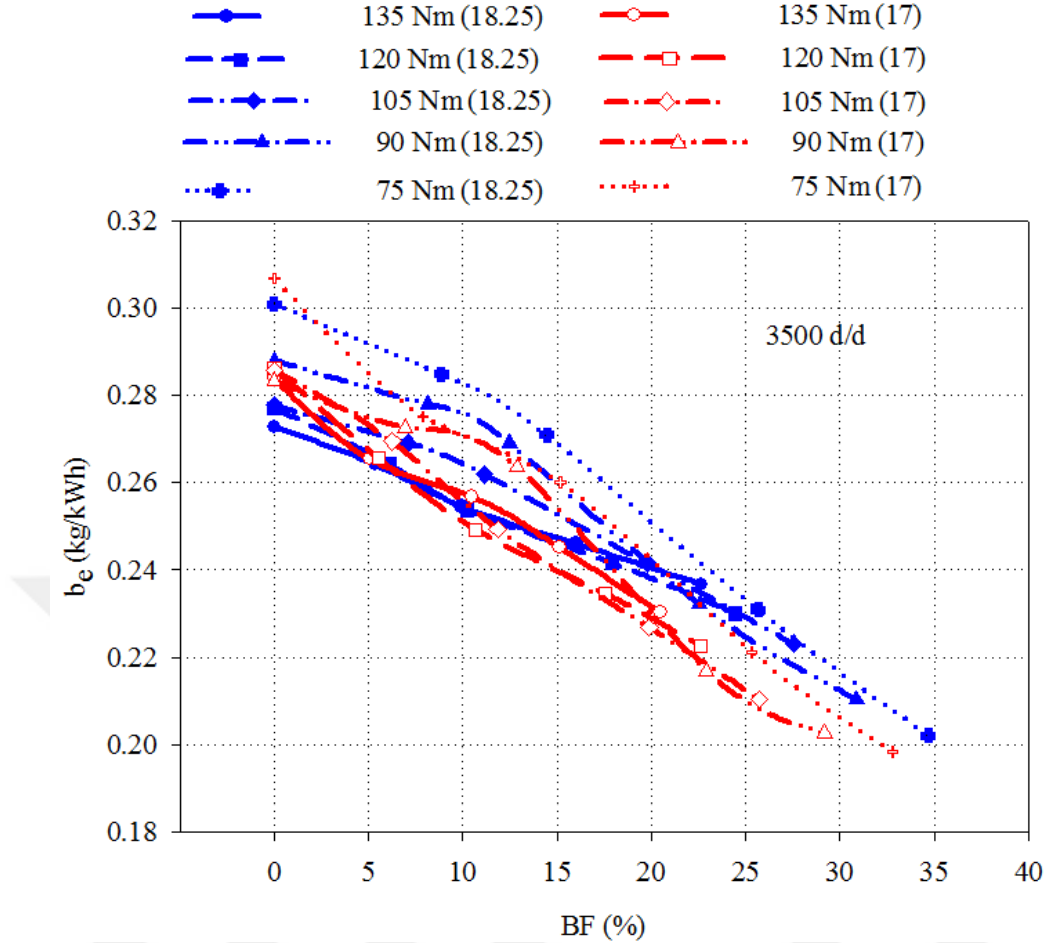
3500 d/d devir sayısındaki yük değerleri de, tıpkı 3000 d/d gibi 150 Nm döndürme momentine ulaşamadığı için 135, 120, 105, 90 ve 75 Nm şeklinde seçilmiştir. Bu devir sayısı için yapılan yorumlarda da; 135 Nm ile 120 Nm yüksek yükler, 105 Nm orta yük ve 90 Nm ile 75 Nm düşük yükler olarak anılmıştır.

Şekil 3.31'de, hem YSO'da hem de DSO'da ÖYT'nin BF oranlarına göre değişimleri sunulmuştur. Şekil 3.32 (a)'da YSO'da ve Şekil 3.32 (b)'de DSO'da ÖYT'de SDY'ye göre meydana gelen artma ve azalma oranları sütun grafiklerde gösterilmiştir. Ayrıca Tablo 3.5'te de her iki sıkıştırma oranı için BF ile ÖYT'de SDY'ye göre meydana gelen artma ve azalmalar sayısal olarak sunulmuştur.

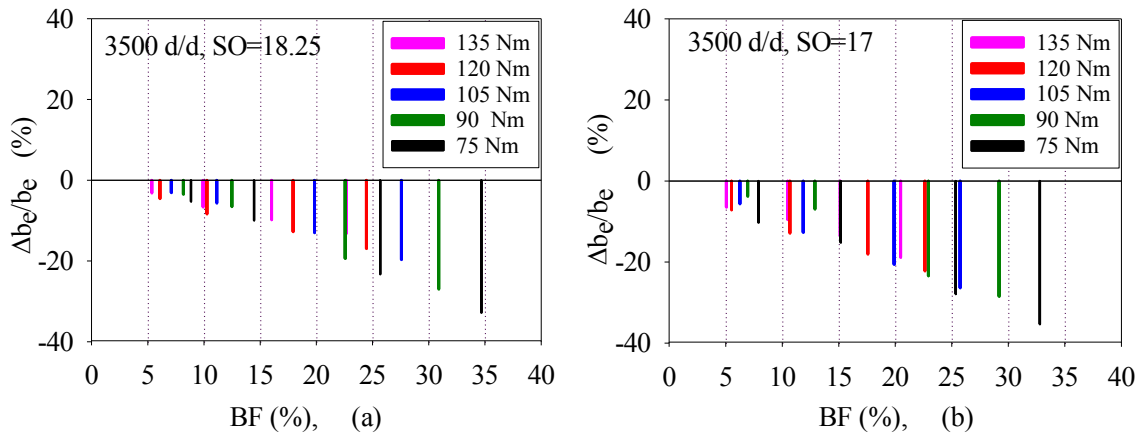
Şekil 3.32 (a ve b)'den görüleceği gibi, her iki sıkıştırma oranında da; SDY'ye göre, BF oranının artmasına ve yük miktarının azalmasına paralel olarak ÖYT iyileşmiştir. Özellikle düşük yüklerde elde edilen iyileşmenin, her iki sıkıştırma oranında da 75 Nm yükte en üst düzeyde olduğu görülmektedir. Söz konusu iyileşmeler; YSO için ile %34.67 BF oranında %32.83 düzeyinde ve DSO için %32.79 BF oranında %35.34 düzeyinde belirlenmiştir.

Şekil 3.33'ten, efektif verimin yaklaşık olarak 0.28 - 0.42 aralığında değiştiği ve BF oranının artması ile efektif verimin arttığı görülmektedir. Şekil 3.34 (a ve b)'de sunulan efektif verimin değişim oranları incelendiğinde de BF ile efektif verimin belirgin şekilde arttığı görülebilmektedir. BF'nin efektif verim üzerindeki olumlu etkileri DSO'da daha baskın çıkmıştır. Bunun nedeni ise Şekil 3.36'da görülebileceği gibi, DSO'da hava fazlalık katsayısındaki artışın daha yüksek olmasından kaynaklanabilir. Hava fazlalık katsayısındaki artışın olası nedenlerinden birisinin, motorun volümetrik veriminin artması olduğu düşünülmektedir. Volümetrik verimin artması, motorun toplam verimi olan efektif verimi artırmaktadır (Durgun, 2018). Bu konu ile ilgili irdelemeler yukarıda diğer devir sayıları ile ilgili yorumlarda ayrıntılı olarak yapılmıştır.

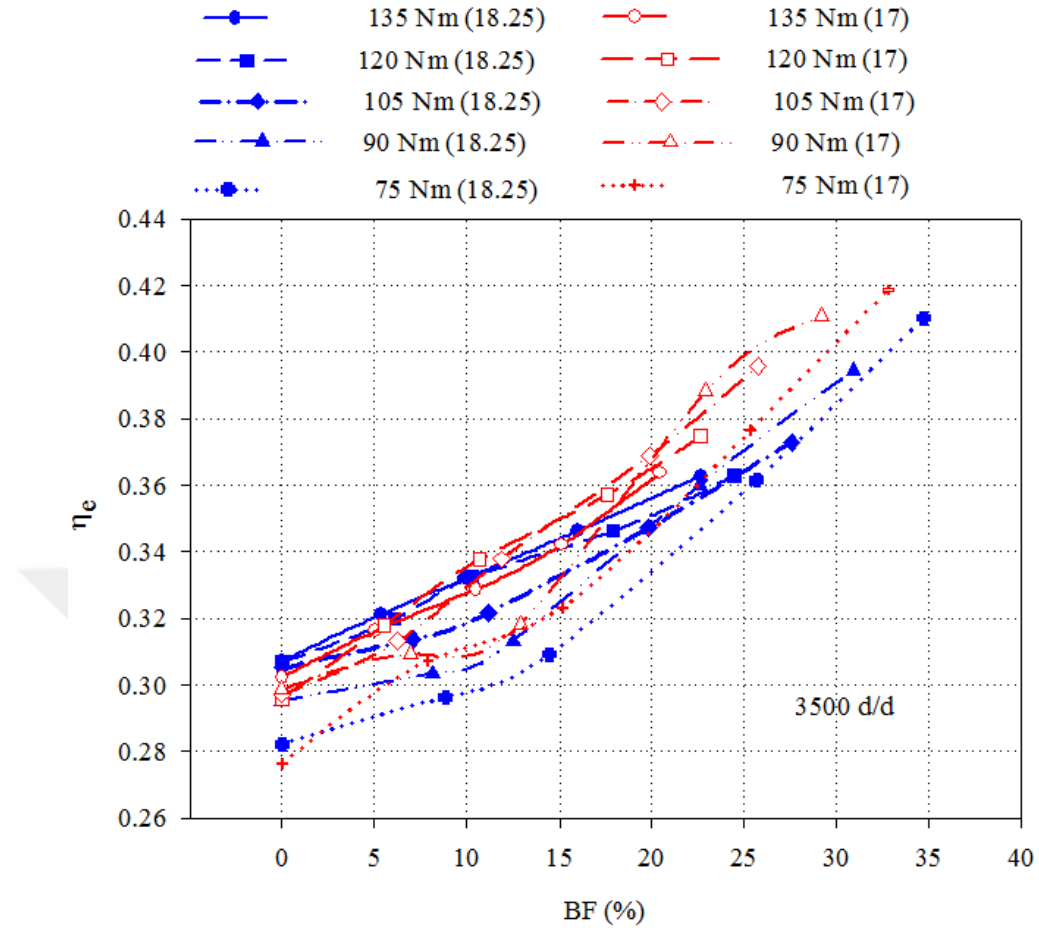
Hava fazlalık katsayısına ilişkin her iki sıkıştırma oranına ait değişim grafikleri Şekil 3.35'te sunulmuştur. İlgili şekillerden görülebileceği gibi; her iki sıkıştırma oranında, BF oranı arttıkça hava fazlalık katsayısı önemli düzeyde yükselmiştir ve düşük yüklerdeki artışlar daha belirgin olmuştur. Özellikle düşük yüklerde hava fazlalık katsayısı yine 2'nin üzerinde değerler almış ve 3'lere kadar yükselmiştir.



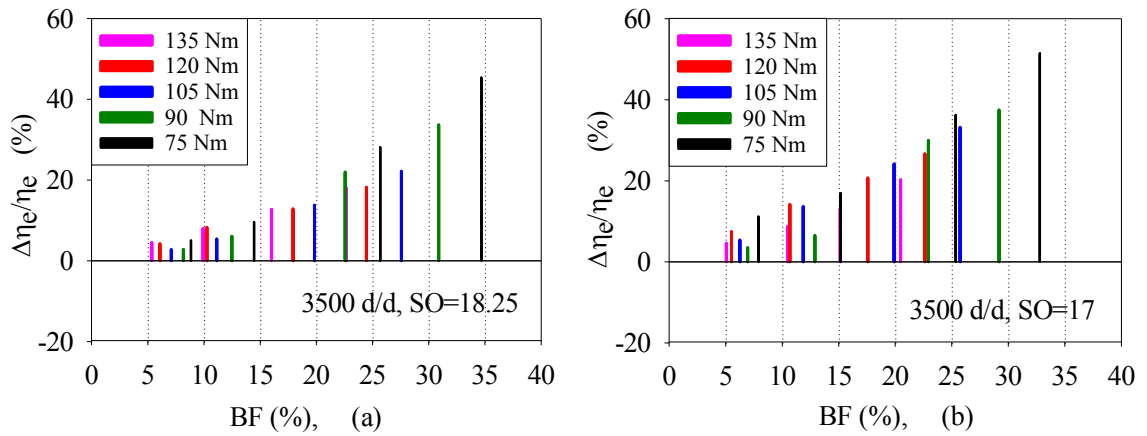
Şekil 3.31. 3500 d/d'de;  $\varepsilon=18.25$  ve  $\varepsilon=17$  için ÖYT'nin, BF oranına göre değişimleri



Şekil 3.32. 3500 d/d'de; ÖYT'nin, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\varepsilon=18.25$  ve (b)  $\varepsilon=17$

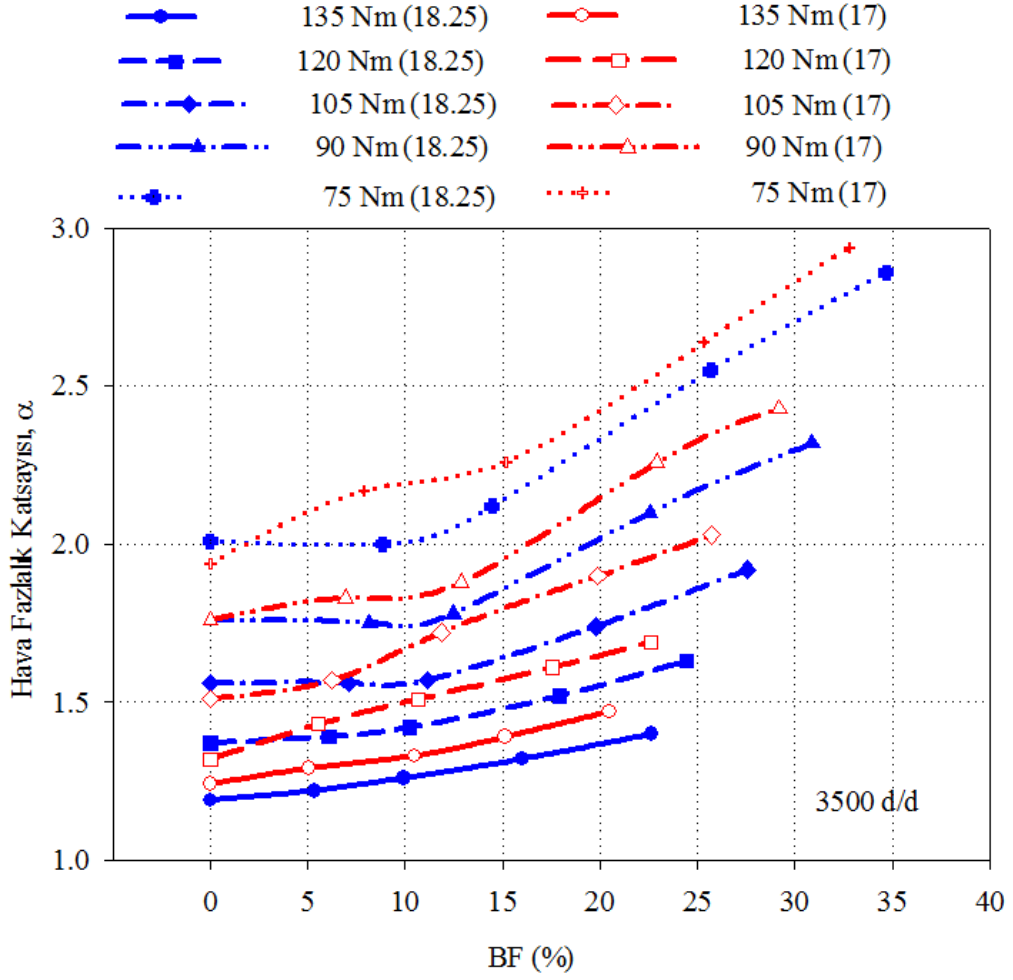


Şekil 3.33. 3500 d/d’de;  $\epsilon=18.25$  ve  $\epsilon=17$  için efektif verimin, BF oranına göre değişimleri

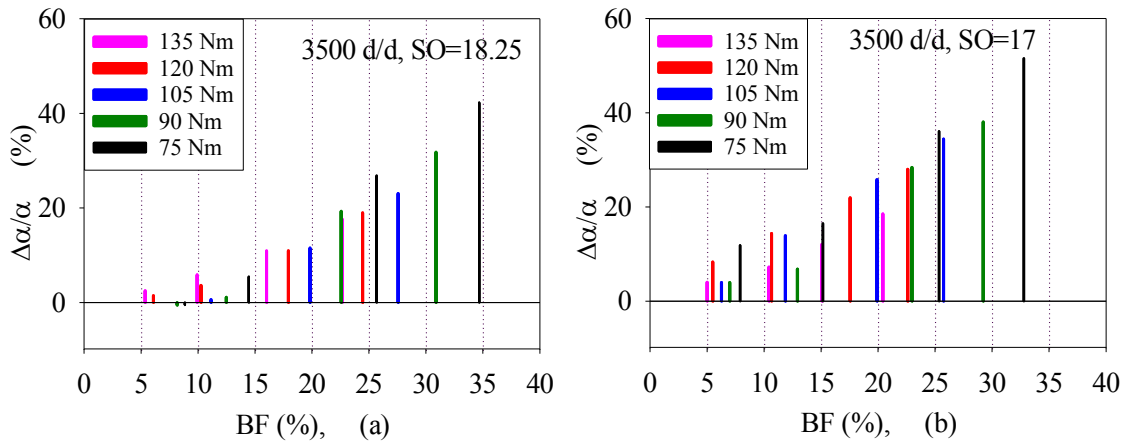


Şekil 3.34. 3500 d/d’de; efektif verimin, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$





Şekil 3.35. 3500 d/d'de;  $\epsilon=18.25$  ve  $\epsilon=17$  için  $\alpha$ 'nın, BF oranına göre değişimleri



Şekil 3.36. 3500 d/d'de;  $\alpha$ 'nın, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$

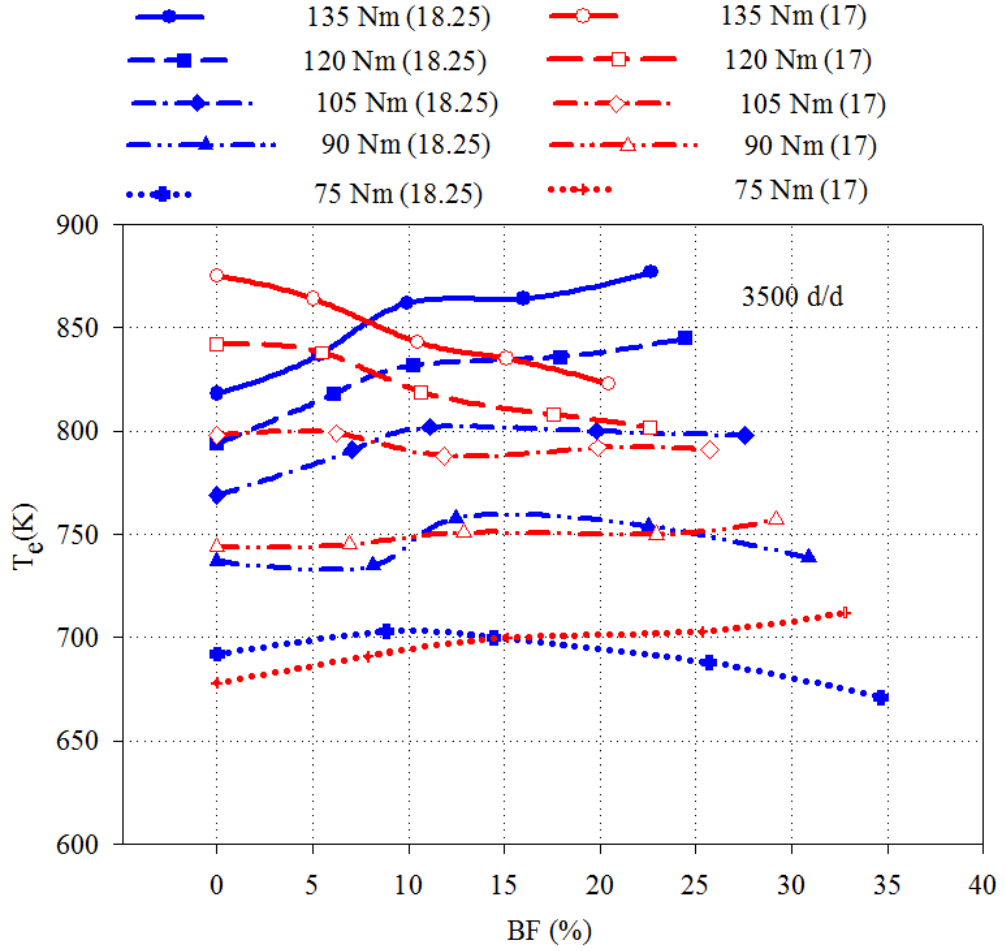
Şekil 3.36 (a ve b)'da sunulan değişim oranlarına ilişkin grafikler incelendiğinde; YSO için yük değeri azaldıkça hava fazlalık katsayısının BF oranı ile birlikte arttığı görülmektedir. En yüksek hava fazlalık katsayısı değişimi 75 Nm yükte ve %34.37 BF oranında %42.29 olarak belirlenmiştir. Benzer davranışlar DSO için de gözlemlenmiş ve en yüksek hava fazlalık katsayısı değişimi yine 75 Nm yükte, %32.79 BF oranında %51.55 olarak belirlenmiştir.

Şekil 3.37'de hem YSO'da hem de DSO'da, eksoz gazı sıcaklıklarının BF oranlarına göre değişimleri sunulmuştur. Şekil 3.38 (a)'da YSO'da ve Şekil 3.38 (b)'de DSO'da, eksoz gazı sıcaklıklarında SDY'ye göre gerçekleşen artma ve azalma oranları, sütun grafikleri olarak sunulmuştur. Ayrıca Tablo 3.5'te de her iki sıkıştırma oranı için BF ile ÖYT'de, SDY'ye göre meydana gelen artış ve azalmalar sayısal olarak sunulmuştur.

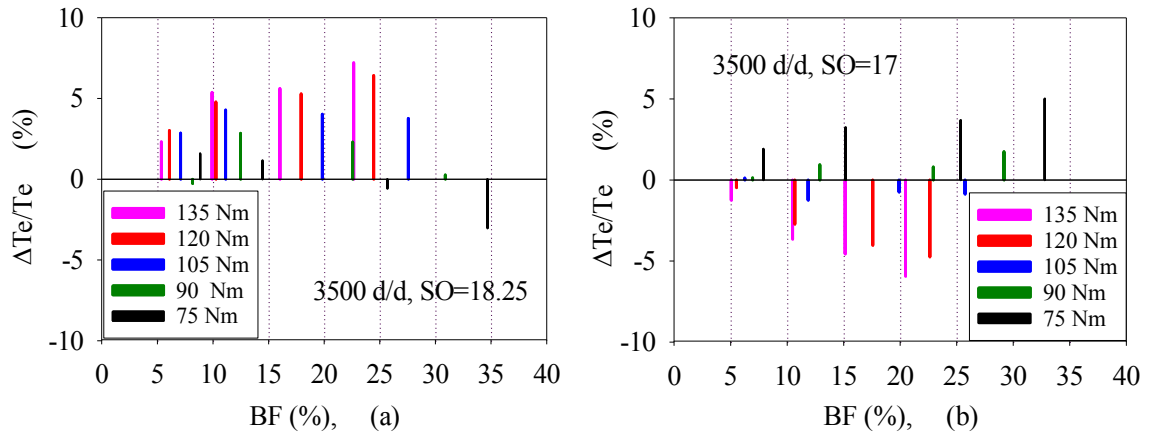
Şekil 3.38 (a ve b)'de sunulan eksoz gazı sıcaklıklarının oransal değişimleri incelendiğinde; YSO'da yüksek yüklerde sıcaklık artışı olduğu ve sadece 75 Nm yükte ve yüksek BF oranlarında %0.58-3.03 şeklinde düşüş olduğu görülmektedir. DSO'da ise çoğunlukla yüksek yüklerde düşüş elde edilmiş ve en fazla düşüş; 135 Nm yükte, %20.47 BF'de %5.94 olarak belirlenmiştir. Genel olarak eksoz gazı sıcaklıklarının çok fazla değişmediği, DSO'da özellikle yüksek yüklerde düşüşlerin daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Şekil 3.39 ve Şekil 3.40'da; 3000 d/d'de, her iki sıkıştırma oranı için BF'nin NO<sub>x</sub> oluşumu üzerindeki etkileri sunulmuştur. Ayrıca Tablo 3.5'te sayısal olarak NO<sub>x</sub> değişim oranları verilmiştir. Şekil 3.40 (a)'dan görülebileceği gibi; YSO'da yük azaldıkça NO<sub>x</sub> değerlerinin belirgin şekilde arttığı dikkat çekmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, hava fazlalık katsayısının artmasının bu sonuçlarda daha etkili olduğu düşünülmektedir. YSO'da 135 Nm yükte BF ile NO<sub>x</sub> değerlerinin azaldığı ve %22.65 BF oranında %23.44 düzeyinde iyileşme elde edildiği görülmektedir. YSO için orta yükteki %40 civarı olan artış oranı, BF oranının artması ile birlikte %20'lere kadar düşmüştür.

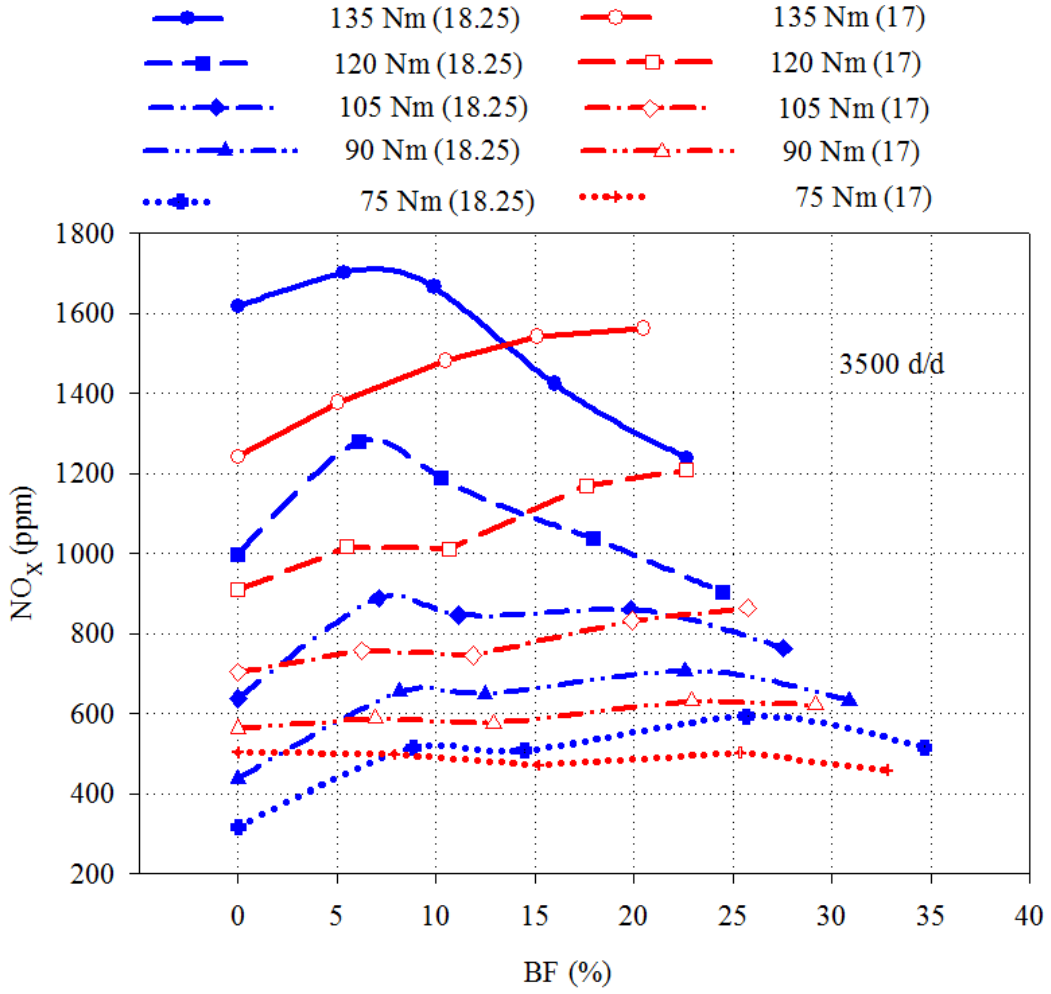
DSO'da ise YSO'nun tersine, düşük yüklerde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. DSO'da da artışlar olmakla birlikte YSO'da görüldüğü kadar yüksek bir artış söz konusu olmamıştır. DSO'da yüksek yüklerde %10.88-33.04 düzeylerinde değişen artış oranı, yükün azalması ve BF oranının artması ile azalma eğilimi göstermiştir. Böylece azotoksitler sonunda 75 Nm yükte ve %32.79 BF oranında %9.13 oranında azalma göstermiştir. Her iki sıkıştırma oranı göz önüne alındığında DSO'da BF ile NO<sub>x</sub>'te elde edilen iyileşmeler YSO'ya göre daha iyi olmuştur.



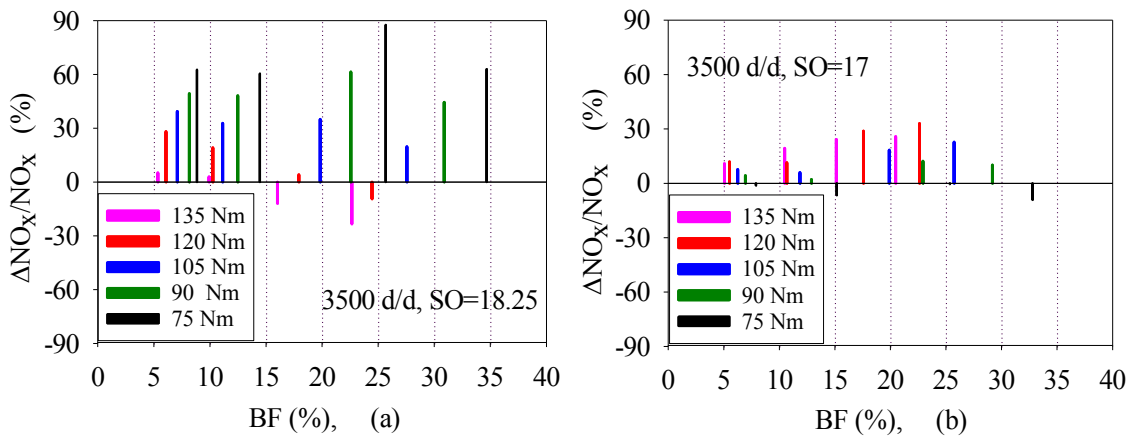
Şekil 3.37. 3500 d/d'de;  $\epsilon=18.25$  ve  $\epsilon=17$  için  $T_e$ 'nin, BF oranına göre değişimleri



Şekil 3.38. 3500 d/d'de;  $T_e$ 'nin, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$



Şekil 3.39. 3500 d/d'de;  $\epsilon=18.25$  ve  $\epsilon=17$  için  $\text{NO}_x$ 'in, BF oranına göre değişimleri



Şekil 3.40. 3500 d/d'de;  $\text{NO}_x$ 'in, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$

Tablo 3.5. 3500 d/d'de;  $\varepsilon=18.25$  ve  $\varepsilon=17$  için  $b_e$ ,  $\eta_e$ ,  $\alpha$ ,  $T_e$  ve  $NO_x$  oranının BF oranına göre değişimleri

% $\Delta b_e/b_e$										
	135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm		75 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	5.35	-3.15	6.08	-4.58	7.08	-3.10	8.16	-3.47	8.84	-5.32
	9.91	-6.67	10.25	-8.38	11.13	-5.69	12.47	-6.56	14.45	-9.97
	16.01	-9.82	17.92	-12.78	19.82	-13.04	22.56	-19.41	25.67	-23.30
	22.65	-13.23	24.45	-16.97	27.56	-19.70	30.88	-26.98	34.67	-32.83
DSO	5.05	-6.48	5.51	-7.16	6.25	-5.67	6.94	-3.78	7.89	-10.27
	10.47	-9.55	10.67	-12.89	11.85	-12.71	12.88	-6.95	15.16	-15.19
	15.12	-13.63	17.56	-18.06	19.89	-20.62	22.93	-23.44	25.35	-27.91
	20.47	-18.88	22.62	-22.22	25.73	-26.39	29.18	-28.49	32.79	-35.34
% $\Delta \eta_e/\eta_e$										
	135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm		75 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	5.35	3.15	6.08	4.58	7.08	3.10	8.16	3.47	8.84	5.32
	9.91	6.67	10.25	8.38	11.13	5.69	12.47	6.56	14.45	9.97
	16.01	9.82	17.92	12.78	19.82	13.04	22.56	19.41	25.67	23.30
	22.65	13.23	24.45	16.97	27.56	19.70	30.88	26.98	34.67	32.83
DSO	5.05	6.48	5.51	7.16	6.25	5.67	6.94	3.78	7.89	10.27
	10.47	9.55	10.67	12.89	11.85	12.71	12.88	6.95	15.16	15.19
	15.12	13.63	17.56	18.06	19.89	20.62	22.93	23.44	25.35	27.91
	20.47	18.88	22.62	22.22	25.73	26.39	29.18	28.49	32.79	35.34
% $\Delta \alpha/\alpha$										
	135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm		75 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	5.35	2.52	6.08	1.46	7.08	0.00	8.16	-0.57	8.84	-0.50
	9.91	5.88	10.25	3.65	11.13	0.64	12.47	1.14	14.45	5.47
	16.01	10.92	17.92	10.95	19.82	11.54	22.56	19.32	25.67	26.87
	22.65	17.65	24.45	18.98	27.56	23.08	30.88	31.82	34.67	42.29
DSO	5.05	4.03	5.51	8.33	6.25	3.97	6.94	3.98	7.89	11.86
	10.47	7.26	10.67	14.39	11.85	13.91	12.88	6.82	15.16	16.49
	15.12	12.10	17.56	21.97	19.89	25.83	22.93	28.41	25.35	36.08
	20.47	18.55	22.62	28.03	25.73	34.44	29.18	38.07	32.79	51.55

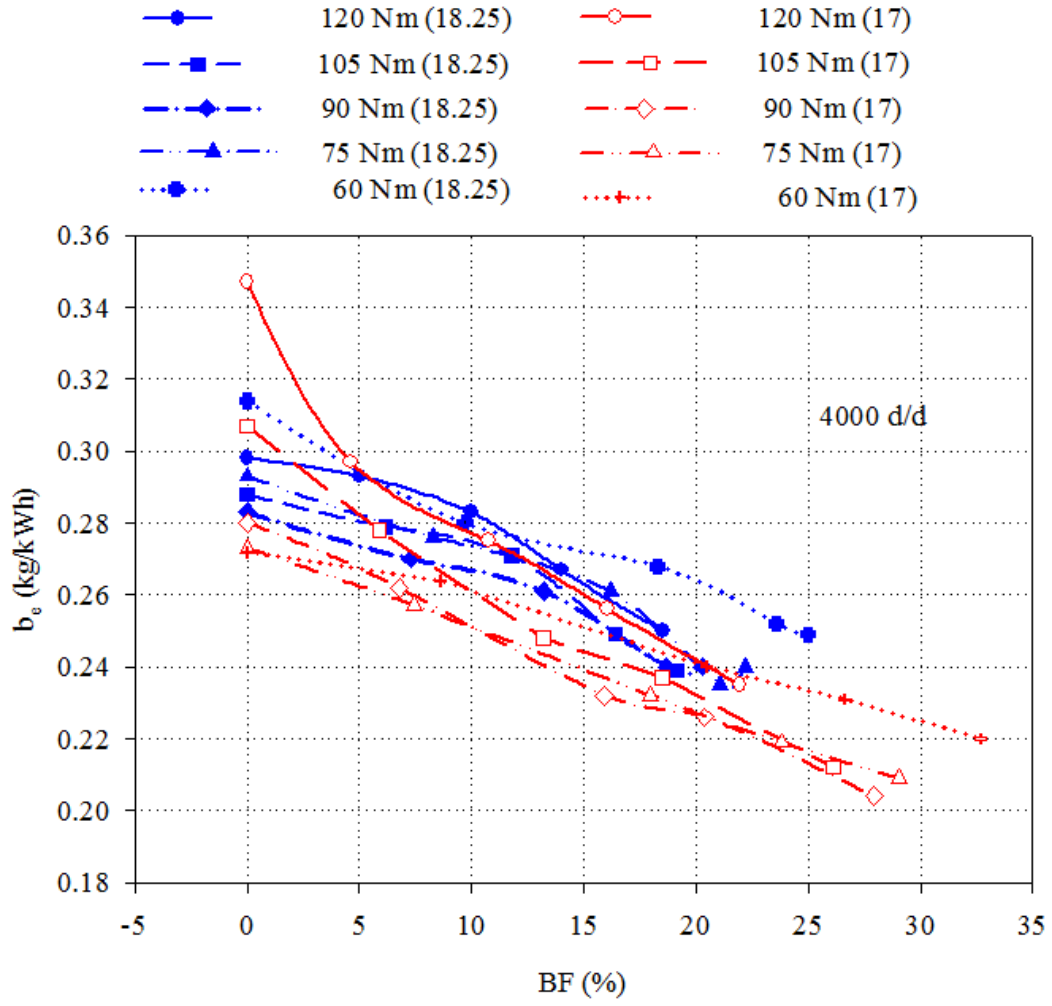
Tablo 3.5'in devamı

% $\Delta T_e/T_e$										
	135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm		75 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	5.35	2.32	6.08	3.02	7.08	2.86	8.16	-0.27	8.84	1.59
	9.91	5.38	10.25	4.79	11.13	4.29	12.47	2.85	14.45	1.16
	16.01	5.62	17.92	5.29	19.82	4.03	22.56	2.31	25.67	-0.58
	22.65	7.21	24.45	6.42	27.56	3.77	30.88	0.27	34.67	-3.03
DSO	5.05	-1.26	5.51	-0.48	6.25	0.13	6.94	0.13	7.89	1.92
	10.47	-3.66	10.67	-2.73	11.85	-1.25	12.88	0.94	15.16	3.24
	15.12	-4.57	17.56	-4.04	19.89	-0.75	22.93	0.81	25.35	3.69
	20.47	-5.94	22.62	-4.75	25.73	-0.88	29.18	1.75	32.79	5.01
% $\Delta NO_x/ NO_x$										
	135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm		75 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	5.35	5.19	6.08	28.18	7.08	39.40	8.16	49.32	8.84	62.66
	9.91	2.97	10.25	19.16	11.13	32.81	12.47	48.17	14.45	60.44
	16.01	-12.00	17.92	4.11	19.82	35.01	22.56	61.42	25.67	87.66
	22.65	-23.44	24.45	-9.43	27.56	19.78	30.88	44.52	34.67	62.97
DSO	5.05	10.88	5.51	11.89	6.25	7.68	6.94	4.26	7.89	-1.19
	10.47	19.34	10.67	11.45	11.85	5.97	12.88	2.13	15.16	-6.55
	15.12	24.25	17.56	28.85	19.89	18.35	22.93	12.26	25.35	-0.40
	20.47	25.79	22.62	33.04	25.73	22.76	29.18	10.12	32.79	-9.13

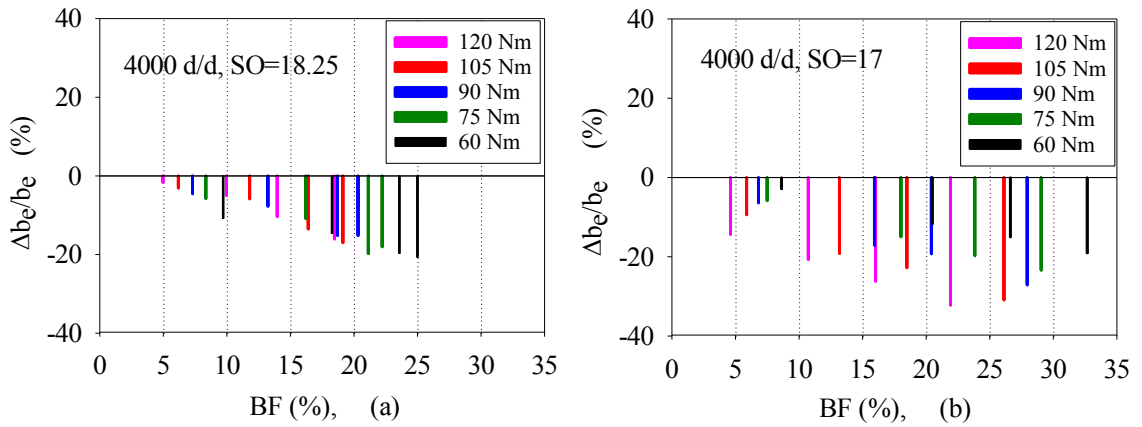
### 3.2.5. 4000 d/d'de BF'nin Motor Karakteristikleri ve Azot Oksitler Üzerindeki Etkileri

4000 d/d devir sayısındaki yüklemem momenti değerleri; 150 Nm ve 135 Nm döndürme momentlerine ulaşamadığı için 120, 105, 90, 75 ve 60 Nm şeklinde seçilmiştir. Bu devir sayısı için yapılan yorumlarda; 120 Nm ile 105 Nm yüksek yükler, 90 Nm orta yük ve 75 Nm ile 60 Nm düşük yükler olarak anılmıştır.

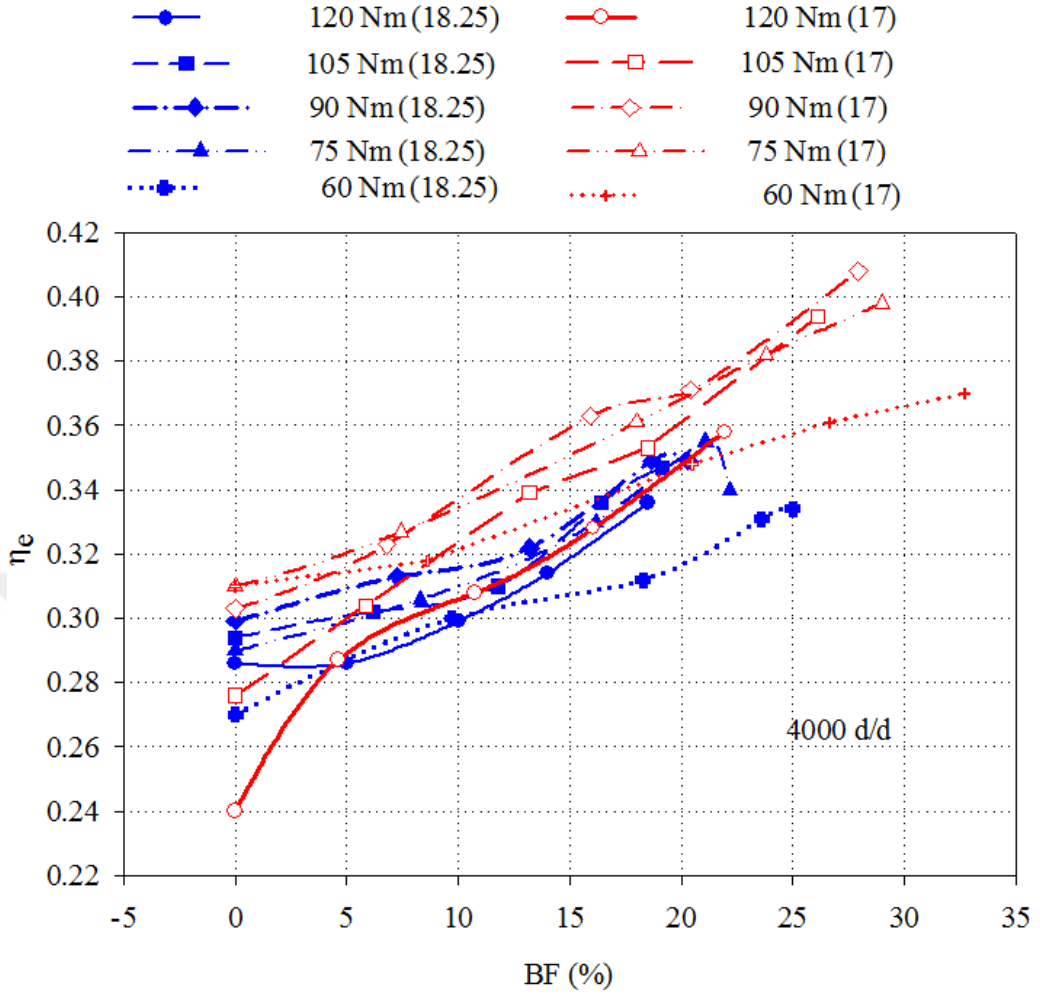
Şekil 3.41'de hem YSO'da hem de DSO'da, ÖYT'nin BF oranlarına göre değişimleri sunulmuştur. Şekil 3.42 (a)'da YSO'da ve Şekil 3.42 (b)'de DSO'da ÖYT'de SDY'ye göre gerçekleşen artma ve azalma oranları, sütun grafikleri olarak sunulmuştur. Ayrıca Tablo 3.6'da da her iki sıkıştırma oranı için BF ile ÖYT'de, SDY'ye göre meydana gelen artış ve azalmalar sayısal olarak sunulmuştur.



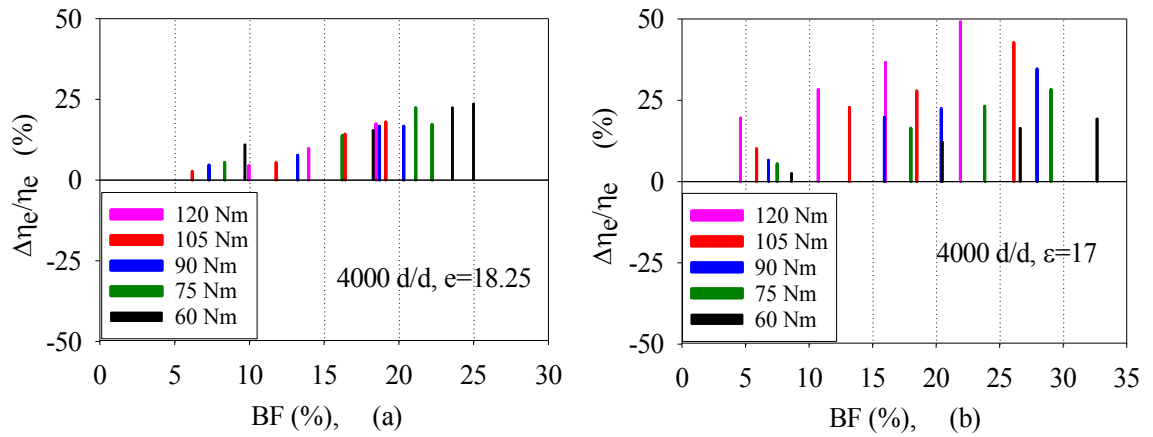
Şekil 3.41. 4000 d/d'de;  $\epsilon=18.25$  ve  $\epsilon=17$  için ÖYT'nin, BF oranına göre değişimleri



Şekil 3.42. 4000 d/d'de; ÖYT'nin, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$

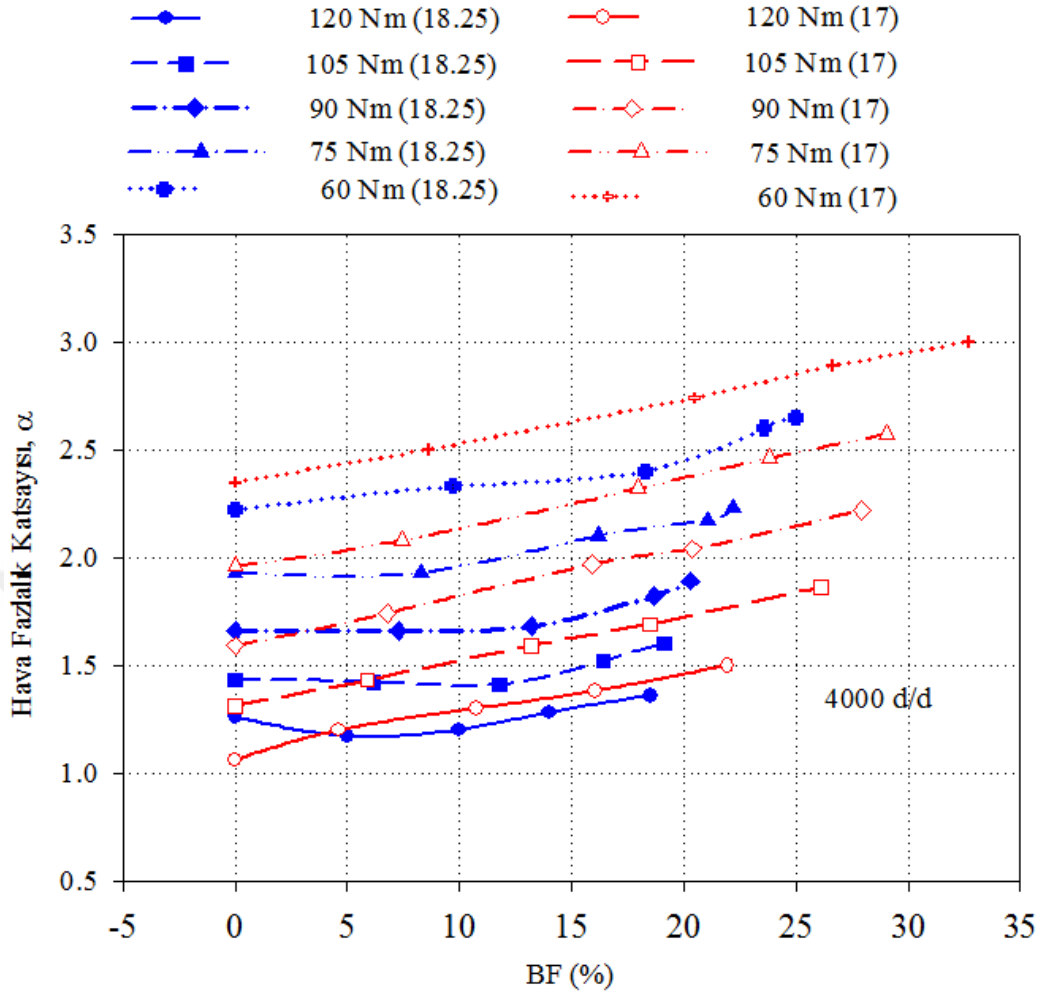


Şekil 3.43. 4000 d/d'de;  $\epsilon=18.25$  ve  $\epsilon=17$  için efektif verimin, BF oranına göre değişimleri

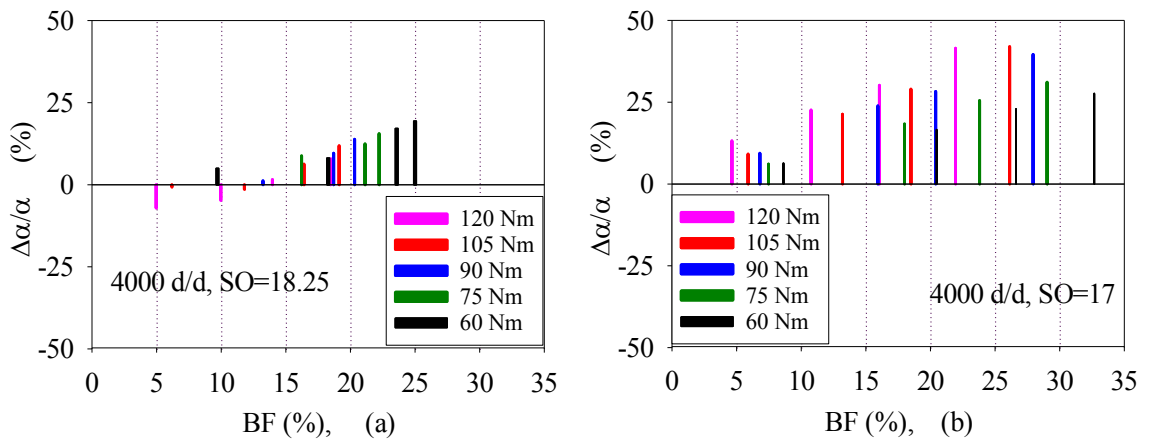


Şekil 3.44. 4000 d/d'de; efektif verimin, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$





Şekil 3.45. 4000 d/d'de;  $\epsilon=18.25$  ve  $\epsilon=17$  için  $\alpha$ 'nın, BF oranına göre değişimleri



Şekil 3.46. 4000 d/d'de;  $\alpha$ 'nın, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$

4000 d/d'de, her iki sıkıştırma oranında da seçilen tüm yük değerlerinde genel olarak BF arttıkça, ÖYT'de azalma elde edilmiştir. YSO'da elde edilen maksimum azalma oranı, 60 Nm yükte ve %25.00 BF oranında %20.70 olarak belirlenmiştir. DSO'da ise elde edilen maksimum azalma 120 Nm yükte ve %21.94 BF oranında %32.28 şeklinde olmuştur. BF'nin ÖYT üzerindeki olumlu etkileri YSO'da daha belirgin olmuştur. Ancak DSO'da özellikle yüksek yüklerde ÖYT açısından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Her iki sıkıştırma oranı için, efektif verimin BF'ye göre değişimleri Şekil 3.43'te sunulmuştur. Şekil 3.44 (a)'da YSO'da ve Şekil 3.44 (b)'de DSO'da efektif verimde SDY'ye göre meydana gelen artma ve azalma oranları sütun grafikleri şeklinde gösterilmiştir. Ayrıca oransal değişimler sayısal olarak da Tablo 3.6'da sunulmuştur. 4000 d/d'de, her iki sıkıştırma oranında da seçilen tüm yük değerlerinde BF ile efektif verimler önemli ölçüde artmıştır ve BF oranı arttıkça efektif verimdeki artışlar daha etkili olmuştur. YSO'da elde edilen maksimum artış; 60 Nm yükte ve %25.00 BF oranında %20.70 olarak belirlenmiştir. DSO'da ise elde edilen maksimum artış; 120 Nm yükte ve %21.94 BF oranında %32.28 olmuştur. BF'nin yararlı etkileri 2000 d/d için yapılan yorumlarda ayrıntılı olarak sunulmuştur. BF'nin efektif verim üzerindeki olumlu etkileri YSO'da daha belirgin olmuştur. Bununla birlikte; DSO'da özellikle yüksek yüklerde, BF efektif verim açısından daha olumlu sonuçlar vermektedir.

Her iki sıkıştırma oranı için; BF'nin hava fazlalık katsayısı üzerindeki etkileri Şekil 3.45, Şekil 3.46 (a ve b) ve Tablo 3.6'da gösterilmiştir. Şekil 3.45'ten görülebileceği gibi, özellikle düşük yüklerde hava fazlalık katsayısı değerleri 3'e kadar yükselmiştir. Şekil 3.45, Şekil 3.46 (a ve b) ve Tablo 3.6 incelendiğinde; BF ile hava fazlalık katsayılarının arttığı görülebilir. Şekil 3.46 (a ve b)'den açıkça görülebileceği gibi, her iki sıkıştırma oranında da BF oranı arttıkça hava fazlalık katsayısı da artmaktadır. Bunun sonucu olarak, BF ile ÖYT'nin azaldığı ve aynı zamanda efektif verimin arttığı, yukarıdaki ÖYT ve efektif verim eğrilerinden görülebilir.

4000 d/d'de her iki sıkıştırma oranında hava fazlalık katsayısında ulaşılan maksimum artışlar şu şekildedir: YSO'da; hava fazlalık katsayısındaki maksimum artış oranı 60 Nm yükte ve %25.00 BF oranında %19.37 olarak belirlenmiştir. DSO'da ise; hava fazlalık katsayısındaki maksimum artış oranı 105 Nm yükte, %26.13 BF oranında %41.98 olmuştur. Hava fazlalık katsayısının, YSO için düşük yüklerde daha fazla artmasına karşın DSO için yüksek yüklerde daha fazla artması dikkat çekicidir. DSO için yüksek yüklerde BF ile eksoz

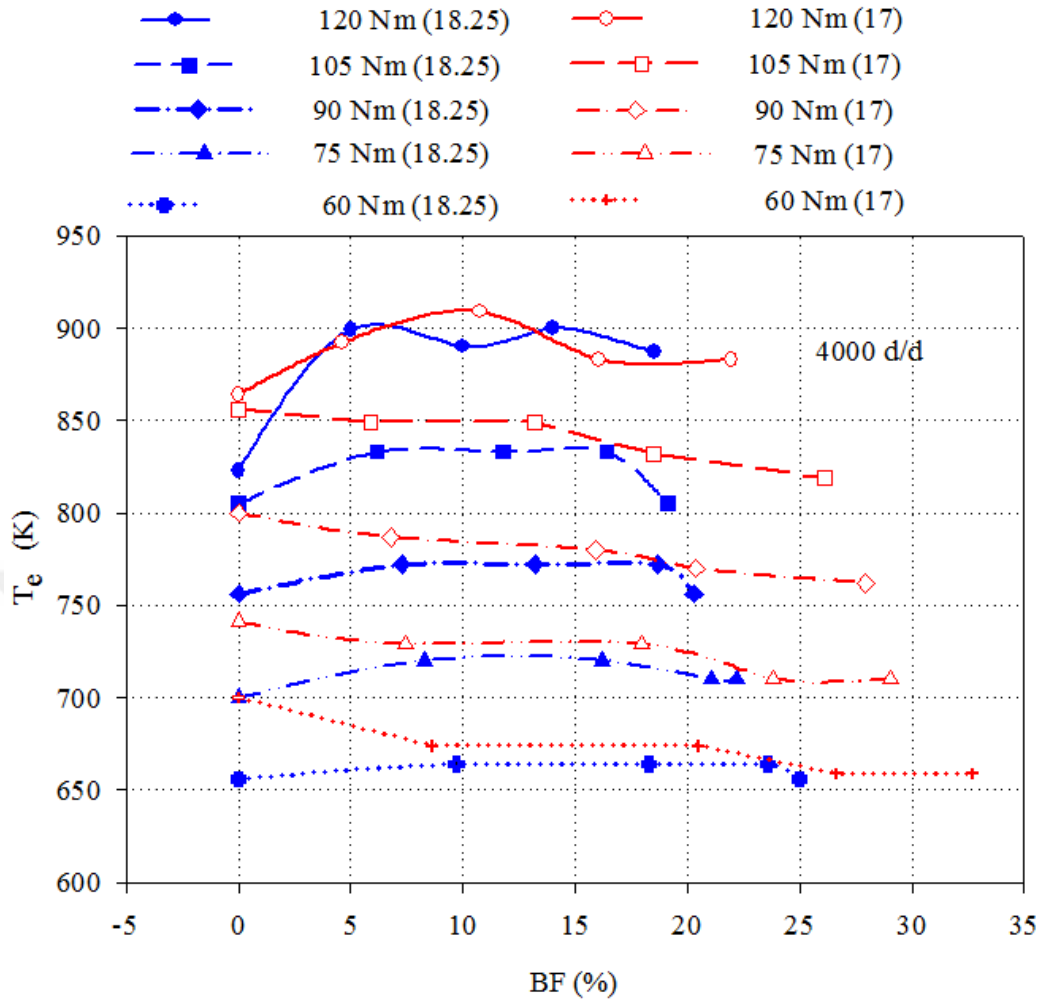
gazı sıcaklıklarındaki artış da YSO'ya göre daha düşüktür. Bu iki bulgu doğrultusunda, yüksek yükler için DSO'da  $\text{NO}_x$  oranının da YSO'ya göre daha düşük çıkması olağandır.

Şekil 3.47 ve Şekil 3.48'de; 4000 d/d'de, her iki sıkıştırma oranı için BF'nin eksoz gazı sıcaklıkları üzerindeki etkileri sunulmuştur. YSO'da seçilen tüm yüklerde BF ile eksoz gazı sıcaklıklarının arttığı ancak yüksek BF oranlarında ise eksoz gazı sıcaklıklarındaki artış oranlarının azaldığı görülebilir. Ayrıca, Şekil 3.48 (a)'dan yüksek yüklerdeki artışların, orta ve düşük yüklerdeki artışlara göre daha etkin olduğu anlaşılabilir. YSO için; BF ile eksoz gazı sıcaklıklarında, 120 Nm yükte yaklaşık %7.78-9.36 ve 120 Nm yükte ise yaklaşık %0-3.48 aralıklarında artışlar elde edilmiştir. Diğer orta ve düşük yükler için belirlenen artış değerleri bu yüklere göre daha düşüktür.

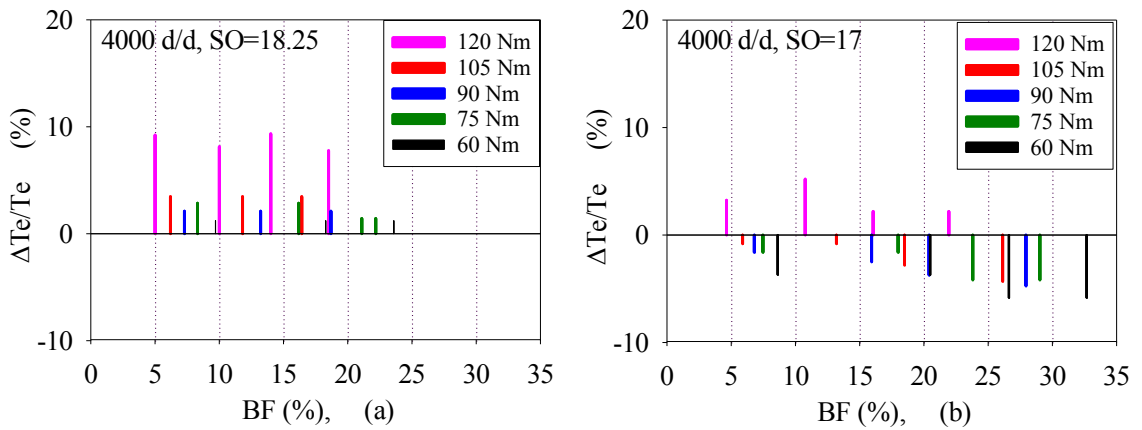
DSO için sadece 120 Nm yükte %2.20-5.21 aralığında sıcaklık artışı olmuş, buna karşın diğer yük değerlerinde, sıcaklıklarda azalma olmuştur. Maksimum sıcaklık artışı 120 Nm yükte %10.75 BF oranında %5.21 oranında ölçülmüştür. Buna karşın DSO'da diğer tüm yüklerde eksoz gazı sıcaklıklarının azaldığı görülmüştür. Eksoz gazı sıcaklıklarındaki en büyük azalma ise; 60 Nm yükte, %26.62 ve %32.67 BF oranlarında %5.86 düzeylerinde olmuştur.

Şekil 3.49 ve Şekil 3.50'de; 4000 d/d'de, her iki sıkıştırma oranı için BF'nin  $\text{NO}_x$  oranı üzerindeki etkileri sunulmuştur. Şekil 3.50 (a)'dan görülebileceği gibi; 120 Nm yük değerinde, her iki sıkıştırma oranında da BF ile  $\text{NO}_x$  oranı genel olarak artmıştır ve %42'lere varan artışlar gözlenmiştir. Diğer yük değerlerinde ise  $\text{NO}_x$  oranı, BF ile azalmıştır. YSO için  $\text{NO}_x$  oranındaki en yüksek artış; 120 Nm için %14.00 BF oranında %42.48 olarak belirlenmiştir. DSO için ise  $\text{NO}_x$  oranındaki en yüksek artışın; 120 Nm için %21.94 BF oranında %27.97 olduğu görülmüştür.

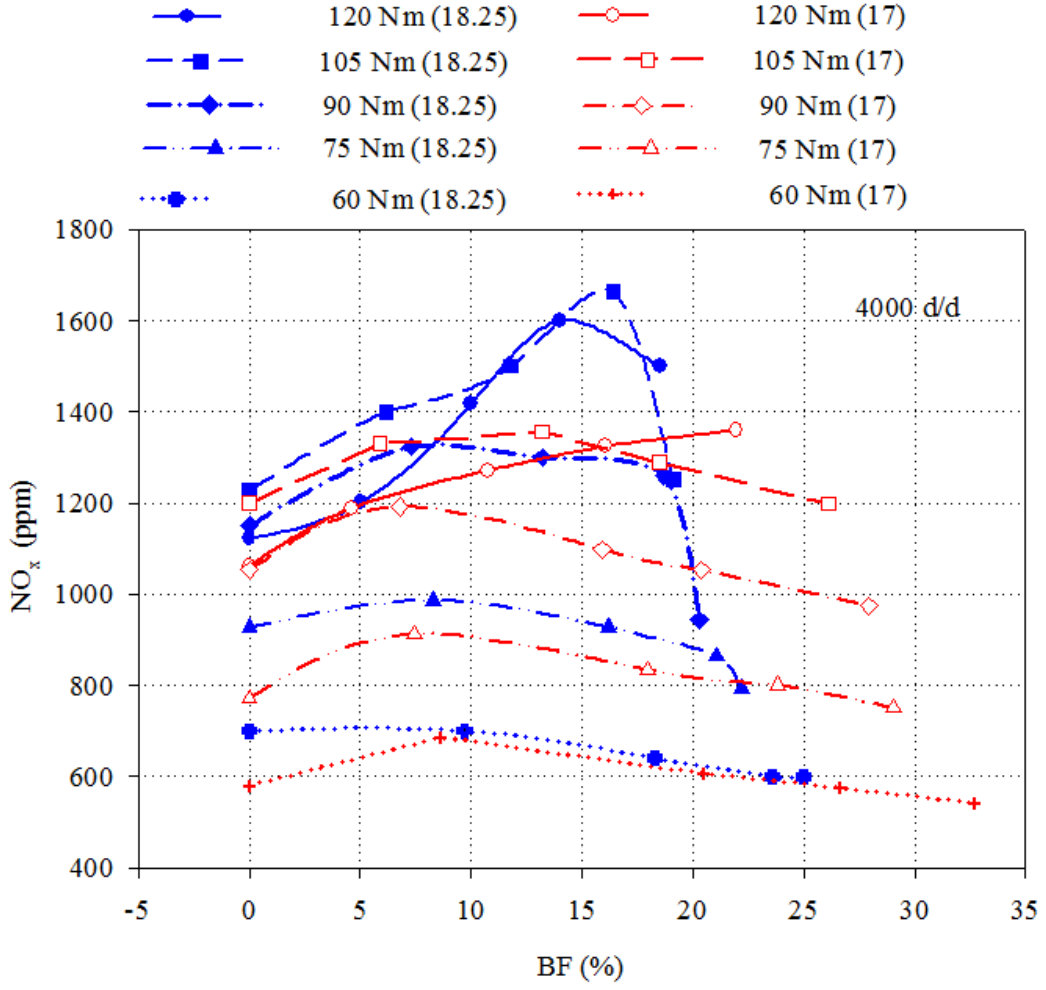
YSO için  $\text{NO}_x$  oranındaki maksimum azalma 90 Nm yükte, %20.31 BF oranında %18.00 olmuştur. DSO'da da benzer şekilde  $\text{NO}_x$  oranındaki maksimum azalma 90 Nm yükte, %27.94 BF oranında %7.50 olarak belirlenmiştir. Ayrıca Şekil 3.50 (b)'den görülebileceği gibi düşük yük değerlerinde  $\text{NO}_x$ 'te elde edilen iyileşmeler daha yüksek çıkmıştır. Her iki sıkıştırma oranı göz önüne alındığında, düşük yüklerde YSO'da, yüksek yüklerde ise DSO'da daha çevreci sonuçlar elde edilmiştir.



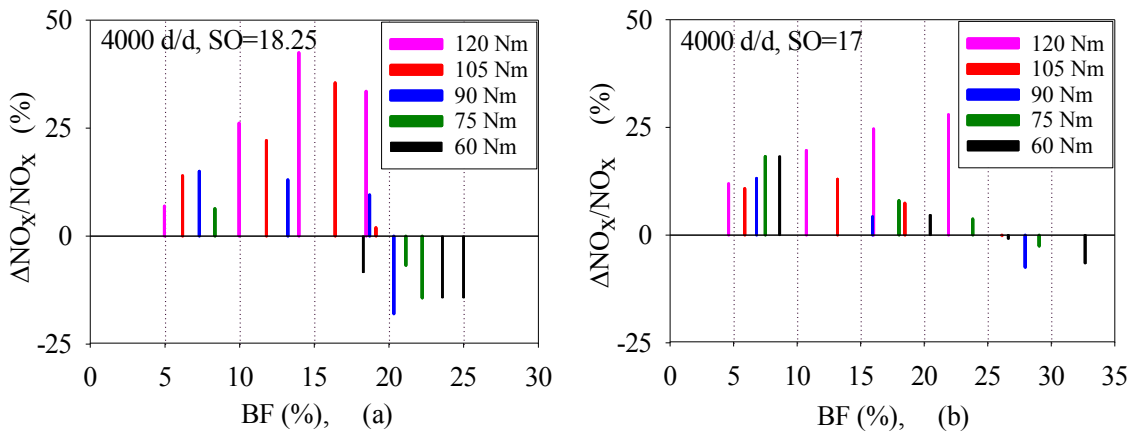
Şekil 3.47. 4000 d/d'de;  $\epsilon=18.25$  ve  $\epsilon=17$  için  $T_e$ 'nin, BF oranına göre değişimleri



Şekil 3.48. 4000 d/d'de;  $T_e$ 'nin, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$



Şekil 3.49. 4000 d/d'de;  $\epsilon=18.25$  ve  $\epsilon=17$  için  $\text{NO}_x$ 'in, BF oranına göre değişimleri



Şekil 3.50. 4000 d/d'de;  $\text{NO}_x$ 'in, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$

Tablo 3.6. 4000 d/d'de;  $\varepsilon=18.25$  ve  $\varepsilon=17$  için  $b_e$ ,  $\eta_e$ ,  $\alpha$ ,  $T_e$  ve  $\text{NO}_x$  oranının BF oranına göre değişimleri

% $\Delta b_e/b_e$										
	120 Nm		105 Nm		90 Nm		75 Nm		60 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	5.00	-1.68	6.19	-3.12	7.28	-4.59	8.30	-5.80	9.70	-10.83
	10.00	-5.03	11.80	-5.90	13.21	-7.77	16.17	-10.92	18.28	-14.65
	14.00	-10.40	16.41	-13.54	18.69	-15.19	21.09	-19.80	23.58	-19.75
	18.51	-16.11	19.14	-17.01	20.31	-15.19	22.18	-18.09	25.00	-20.70
DSO	4.63	-14.41	5.88	-9.45	6.79	-6.43	7.46	-5.86	8.62	-2.94
	10.75	-20.75	13.18	-19.22	15.92	-17.14	17.99	-15.02	20.48	-11.76
	16.04	-26.22	18.49	-22.80	20.40	-19.29	23.80	-19.78	26.62	-15.07
	21.94	-32.28	26.13	-30.94	27.94	-27.14	29.02	-23.44	32.67	-19.12
% $\Delta \eta_e/\eta_e$										
	120 Nm		105 Nm		90 Nm		75 Nm		60 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	5.00	1.68	6.19	3.12	7.28	4.59	8.30	5.80	9.70	10.83
	10.00	5.03	11.80	5.90	13.21	7.77	16.17	10.92	18.28	14.65
	14.00	10.40	16.41	13.54	18.69	15.19	21.09	19.80	23.58	19.75
	18.51	16.11	19.14	17.01	20.31	15.19	22.18	18.09	25.00	20.70
DSO	4.63	14.41	5.88	9.45	6.79	6.43	7.46	5.86	8.62	2.94
	10.75	20.75	13.18	19.22	15.92	17.14	17.99	15.02	20.48	11.76
	16.04	26.22	18.49	22.80	20.40	19.29	23.80	19.78	26.62	15.07
	21.94	32.28	26.13	30.94	27.94	27.14	29.02	23.44	32.67	19.12
% $\Delta \alpha/\alpha$										
	120 Nm		105 Nm		90 Nm		75 Nm		60 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	5.00	-7.14	6.19	-0.70	7.28	0.00	8.30	0.00	9.70	4.95
	10.00	-4.76	11.80	-1.40	13.21	1.20	16.17	8.81	18.28	8.11
	14.00	1.59	16.41	6.29	18.69	9.64	21.09	12.44	23.58	17.12
	18.51	7.94	19.14	11.89	20.31	13.86	22.18	15.54	25.00	19.37
DSO	4.63	13.21	5.88	9.16	6.79	9.43	7.46	6.12	8.62	6.38
	10.75	22.64	13.18	21.37	15.92	23.90	17.99	18.37	20.48	16.60
	16.04	30.19	18.49	29.01	20.40	28.30	23.80	25.51	26.62	22.98
	21.94	41.51	26.13	41.98	27.94	39.62	29.02	31.12	32.67	27.66

Tablo 3.6'nın devamı

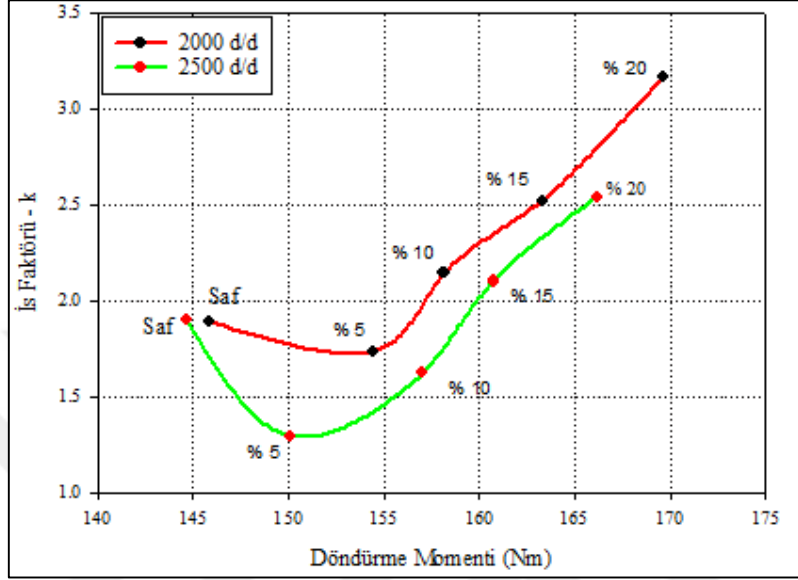
% $\Delta T_e/T_e$										
	120 Nm		105 Nm		90 Nm		75 Nm		60 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	5.00	9.23	6.19	3.48	7.28	2.12	8.30	2.86	9.70	1.22
	10.00	8.14	11.80	3.48	13.21	2.12	16.17	2.86	18.28	1.22
	14.00	9.36	16.41	3.48	18.69	2.12	21.09	1.43	23.58	1.22
	18.51	7.78	19.14	0.00	20.31	0.00	22.18	1.43	25.00	0.00
DSO	4.63	3.24	5.88	-0.82	6.79	-1.63	7.46	-1.62	8.62	-3.71
	10.75	5.21	13.18	-0.82	15.92	-2.50	17.99	-1.62	20.48	-3.71
	16.04	2.20	18.49	-2.80	20.40	-3.75	23.80	-4.18	26.62	-5.86
	21.94	2.20	26.13	-4.32	27.94	-4.75	29.02	-4.18	32.67	-5.86
% $\Delta NO_x/ NO_x$										
	120 Nm		105 Nm		90 Nm		75 Nm		60 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	5.00	6.95	6.19	14.01	7.28	15.04	8.30	6.36	9.70	0.00
	10.00	26.18	11.80	22.15	13.21	13.04	16.17	0.00	18.28	-8.43
	14.00	42.48	16.41	35.50	18.69	9.57	21.09	-6.80	23.58	-14.29
	18.51	33.57	19.14	1.95	20.31	-18.00	22.18	-14.35	25.00	-14.29
DSO	4.63	11.96	5.88	10.83	6.79	13.20	7.46	18.29	8.62	18.28
	10.75	19.68	13.18	13.00	15.92	4.27	17.99	8.04	20.48	4.66
	16.04	24.67	18.49	7.42	20.40	0.00	23.80	3.76	26.62	-0.86
	21.94	27.97	26.13	-0.17	27.94	-7.50	29.02	-2.59	32.67	-6.55

### 3.3. Benzin Fumigasyonunun Duman Koyuluğu (İsler ve Opasite) Üzerindeki Etkileri

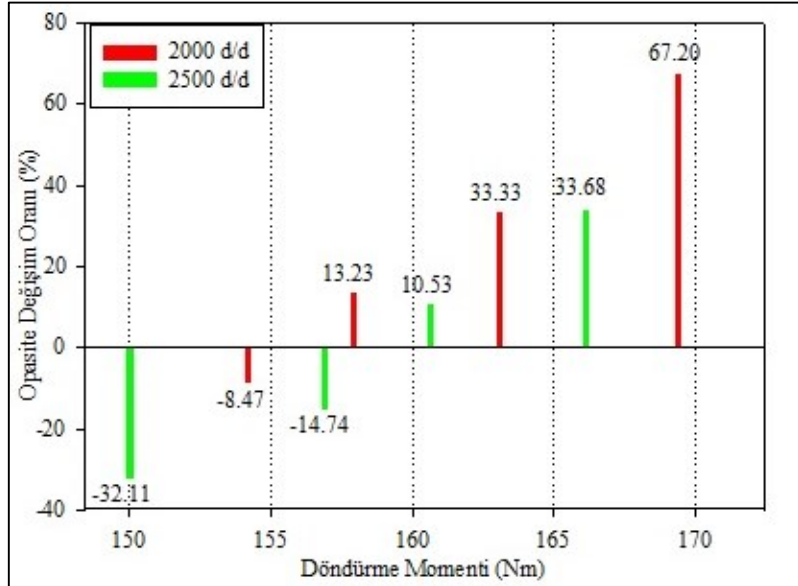
İs ölçümleri (opasite) 18.25 sıkıştırma oranında, 2000 ve 2500 d/d devir sayıları için gerçekleştirilmiştir. Her iki devir sayısında, döndürme momentine göre opasite değişim değerleri Şekil 3.51'de sunulmuştur. İs ölçüm cihazının tam gazda çalışması nedeniyle; tam gaz konumunda ve her bir BF oranında 2000 ve 2500 d/d devir sayılarını verecek olan yük, deney düzeneğinde sabitlenerek ölçümler alınmıştır.

İslere ilişkin opasite değerlerinin döndürme momentine göre değişimleri Şekil 3.51'de ve ayrıca değişim oranlarının sütun grafikleri Şekil 3.52'de sunulmuştur. Şekil 3.53'te ise opasite değerlerinin değişimleri BF oranına göre çizilmiş ve ayrıca sütun grafikleri şeklinde de gösterilmiştir. Söz konusu şekiller incelendiğinde; 2000 d/d devrinde %5.23 BF oranında islerin en düşük değer olan %32.11 oranına kadar azaldığı ve BF oranı arttıkça islerin tekrar arttığı görülebilir. Benzer şekilde; 2500 d/d devir sayısında da islerin %9.94 BF oranında en düşük değer olan %14.74'e kadar azaldığı, daha sonrasında BF ile arttığı görülmektedir. Söz

konusu şekilden de görülebileceği gibi isler düşük BF oranlarında azalmıştır. BF arttıkça isler artmaya başlamıştır. Benzeri sonuçlar literatürde de bulunmuştur (Abu-Qudais vd., 2000; Goldsworthy, 2013).

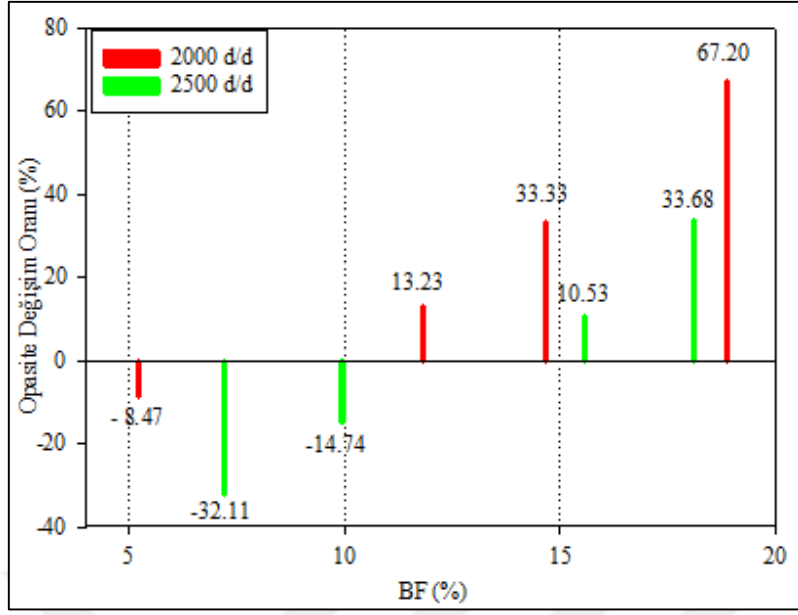


Şekil 3.51. 2000 d/d ve 2500 d/d için döndürme momentine göre opasite değerleri



Şekil 3.52. 2000 d/d ve 2500 d/d için döndürme momentine göre opasite değişim oranları





Şekil 3.53. 2000 d/d ve 2500 d/d için BF oranına göre opasite değişim oranları

### 3.4. Benzin Fumigasyonunun; Açığa Çıkan Isı Oranı, Silindir Basınçları ve Silindir Sıcaklıkları Üzerindeki Etkileri

Bu bölümde BF'nin; açığa çıkan ısı, silindir basınçları ve sıcakları üzerindeki etkileri aşağıda grafikler şeklinde sunulmuştur. 2000 d/d'den 4000 d/d'ye kadar 500 d/d aralıklar ile önce YSO ve ardından da DSO için ilgili eğriler sırasıyla verilmiş ve yorumlanmıştır. Söz konusu eğriler, tam gazda ve tam yük altında çalışmakta olan motordan alınan veriler kullanılarak ısı oluşum analizinin uygulanması ile elde edilmiştir.

#### 3.4.1. 2000 d/d'de Benzin Fumigasyonunun; Açığa Çıkan Isı Oranı, Silindir Basınçları ve Silindir Sıcaklıkları Üzerindeki Etkileri

YSO için; 2000 d/d'de BF'nin, açığa çıkan ısı oranı, sıcaklık ve basınç üzerindeki etkileri Şekil 3.54 (a-c)'de sırasıyla gösterilmiştir. Söz konusu eğriler motorun tam gaz ve tam yük durumu için çizilmiştir. Devir sayısını sabit tutmak için her fumigasyon oranında yükleme uygun şekilde ayarlanmıştır. Böylece yük değerlerinin (döndürme momentinin) genellikle arttığı görülebilir. BF uygulanırken dizel yakıtı miktarında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır ve benzin ek olarak emilmekte olan havanın içerisine püskürtülmüştür; yani motorun püskürtme sisteminde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Böylece BF ile döndürme momentinin değişmiş olması doğaldır.

Şekil 3.54 (a)'da, BF ile açığa çıkan ısı oranını gösteren eğrilerin SDY'ye göre biraz farklı olduğu açıkça görülebilir. SDY ve %5.23 BF oranında açığa çıkan ısı eğrisinde yalnızca bir tepe bulunmaktadır ve bu tepe, ÜÖN'den sonra meydana gelen ve dizel yakıtının ve benzinin yanması sonucunda oluşan maksimum ısı oranını göstermektedir. SDY'nin yanması sonucu açığa çıkan ısı enerjisi eğrisinin buna benzer olduğu literatürden çok iyi bilinmektedir (Heywood, 1998). Diğer BF oranlarında söz konusu şekil incelendiğinde, açığa çıkan ısı eğrisinde iki ayrı tepenin meydana geldiği görülebilir. Birinci tepenin ÜÖN'den önce benzinin aniden yanması sonucu oluştuğu düşünülmektedir. İkinci tepenin ise ÜÖN'den sonra dizel yakıtının ve kalan benzinin yanmasından kaynaklandığı bilinmektedir. BF oranı arttıkça, birinci tepenin yüksekliğinin arttığı ve ikinci tepenin yüksekliğinin azaldığı görülebilir. Aslında %14.67 ve %18.88 BF oranlarından sonra yanmanın biraz bozulduğu ve açığa çıkan ısı eğrisinde üç tepenin meydana geldiği ilgili şekilden anlaşılabilir.

Deneyleerde kullanılan otomobil dizel motoru common-rail püskürtme sistemine ve elektronik kontrol ünitesine sahiptir. Bu nedenle, %14.67 ve 18.88 BF oranlarında, emme manifoldundan alınan sinyallere göre benzinin anlık yanmasından sonra (ÜÖN'den önce) yeniden ek dizel yakıtı püskürtülmüş veya püskürtme basıncı değiştirilmiş olabilir. Söz konusu yakıtın buharlaşıp tutuşma sıcaklığına erişebilmesi için çok kısa bir süre geçtiği düşünülmektedir. Bu kısa zaman aralığında, açığa çıkan ısı oranı eğrisinde biraz azalma meydana gelmiş ve üçüncü bir tepe noktasının oluşmasına neden olmuştur. Tutuşma sıcaklığına erişen dizel yakıtı yanmaya başladığında açığa çıkan ısı oranının yeniden arttığı görülmüştür. Bundan sonra da dizel yakıtının püskürtülmesi devam etmiştir. Ancak etkin yanma başladığı için yukarıda açıklanan durum yani dizel yakıtının buharlaşarak tutuşma sıcaklığına erişmesi için oluşan durum meydana gelmemiştir ve ana yanma evresi oluşmuştur. Seçilen diğer devir sayılarında da, yüksek sıkıştırma oranında yüksek benzin fumigasyon oranlarında açığa çıkan ısı oranı eğrisinde 3. tepe meydana gelmiştir ancak düşük sıkıştırma oranında böyle bir durum meydana gelmemiştir.

BF uygulaması durumunda, yukarıdaki bölümlerde de anlatıldığı gibi dizel motorunda çok fazla bir değişiklik yapılmamıştır. Yalnızca uyarlanmış bir karbüratör emme manifolduna eklenmiştir ve bu karbüratör kullanılarak benzin, emme havasının içerisine püskürtülmüştür. Emme havasının içerisine püskürtülen benzinin sıkıştırma işlemi boyunca buharlaştığı ve yanmaya hazır duruma geldiği düşünülmektedir. Bu arada, sıkıştırma işlemi sonunda, püskürtme avansı kadar önce püskürtülen dizel yakıtının tutuşma gecikmesi

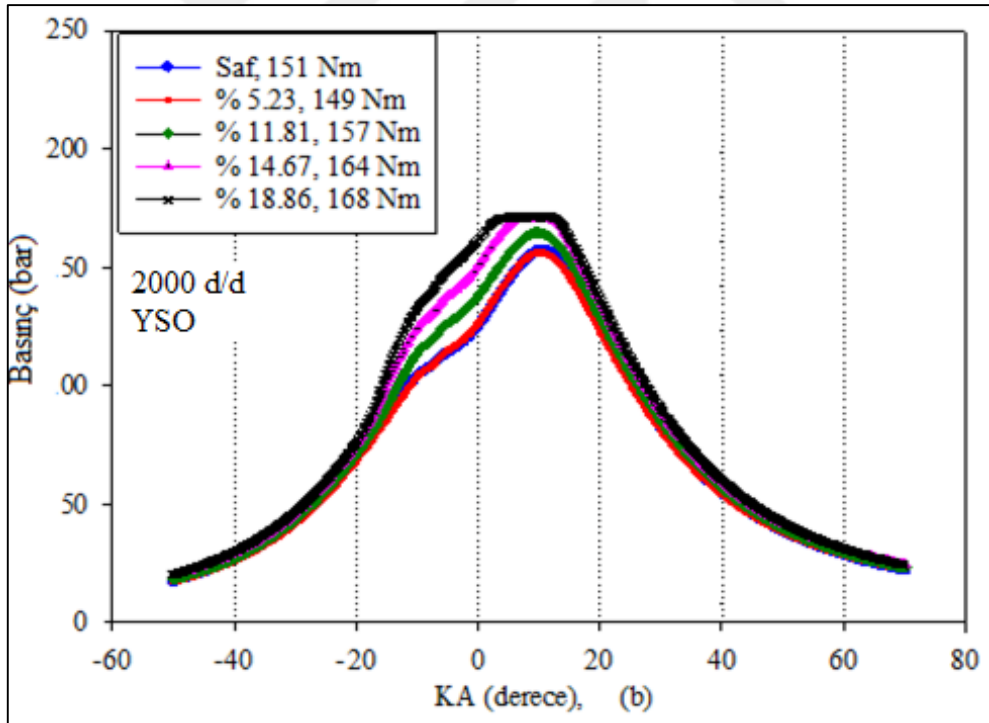
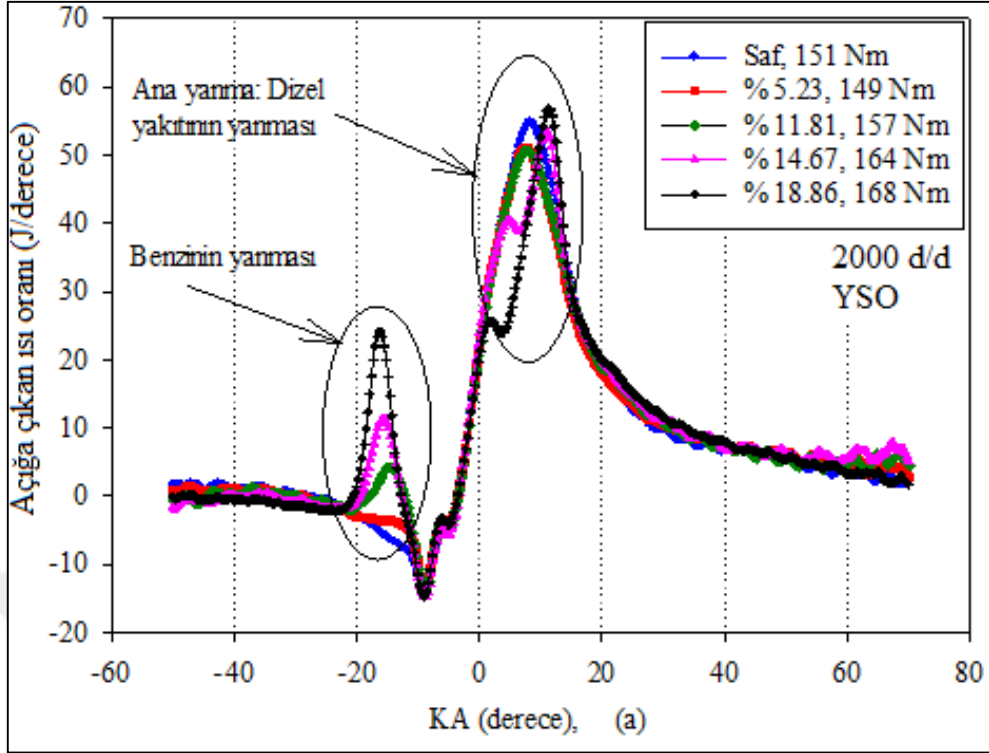
sonunda kendi kendine yanmasının hemen ardından, dizel yakıtının çevresinde yanmaya hazır olarak bekleyen benzinin (benzin-hava karışımının) birden bire yandığı Şekil 3.54 (a)'dan da anlaşılmaktadır. Düşük BF oranında (%5.23) benzinin tamamen buharlaştığı ancak hava ile yanabilecek zenginlikte bir karışım oluşturamadığı düşünülmektedir. Diğer yüksek BF oranlarında, tutuşma gecikmesi sonunda benzinin bu anlık yanması nedeni ile birinci tepeyi oluşturduğu açıkça görülebilir. Literatürde de etanol fumigasyonu durumunda benzeri yorumlar yapılmıştır (Şahin vd., 2015; Goldsworthy, 2013). Yüksek BF oranlarında tüm benzin yandıktan sonra açığa çıkan ısıda bir miktar azalma görülmektedir. Ardından püskürtülmekte olan dizel yakıtı yanarak ısı oluşumu tekrar artmaktadır. Bu durum BF oranı arttıkça daha belirgin şekilde görülmektedir.

Şekil 3.54 (b)'de farklı BF oranları için silindir basınçlarının KA'ya göre değişimleri gösterilmiştir. BF ile silindir basınçlarının arttığı ilgili şekilden görülebilir. SDY durumunda maksimum gaz basıncı ÜÖN'den sonra 10.73 KA'da 157.25 bar olarak ölçülmüştür. %5.23, 11.81, 14.47 ve 18.86 BF oranları için ölçülen maksimum silindir basınçları sırasıyla 157.12, 165.69, 169.04 ve 170.30 bar ve bu basınçların oluştuğu açılar ise 10.11, 9.71, 9.35 ve 10.70 KA şeklindedir. %18.86 BF durumunda ÜÖN'den sonra meydana gelen basınç değerlerinin bazıları, basınç sensörünün ölçebileceği sınırdan daha büyük olduğu için, bu karışım oranında meydana gelen bazı basınç değerlerinin tam olarak ölçemediği tahmin edilmektedir. Seçilen BF oranları için maksimum basınçların SDY durumuna göre daha erken meydana geldiği Şekil 3.54 (b)'den görülebilir. Burada, BF ile dizel yakıtının yanma süresinin kısaldığı tahmin edilmektedir. Literatürden bilindiği gibi dizel motorlarında püskürtülen dizel yakıtının hava ile hızlı ve homojen karışması çok önemlidir ve bu olaylar yanma verimini ve yanma süresini etkilemektedir (Heywood, 1998). BF uygulaması ile dizel yakıtının tutuşma gecikmesi sonunda yanmasının hemen ardından, benzinin anlık yanmasının, yanma odası içerisinde akım karışıklıklarına ve girdaplara neden olduğu düşünülmektedir. Söz konusu karışıklıkların ise daha sonra püskürtülecek dizel yakıtı ile havanın daha hızlı ve daha homojen olarak karışmasına yardım ettiği tahmin edilebilir. Ancak yüksek BF oranlarında karışımın anlık yanmasının, homojen karışıma yardım etmesinin yanında titreşim ve gürültüye neden olabileceği ilgili şekillerden anlaşılabilir. Titreşim ve dizel vuruntusu oluşturmayacak şekilde yanmanın ÜÖN civarında ve yaklaşık sabit hacimde oluşması durumunda verimin daha iyi olduğu literatürden bilinmektedir (Heywood, 1998).

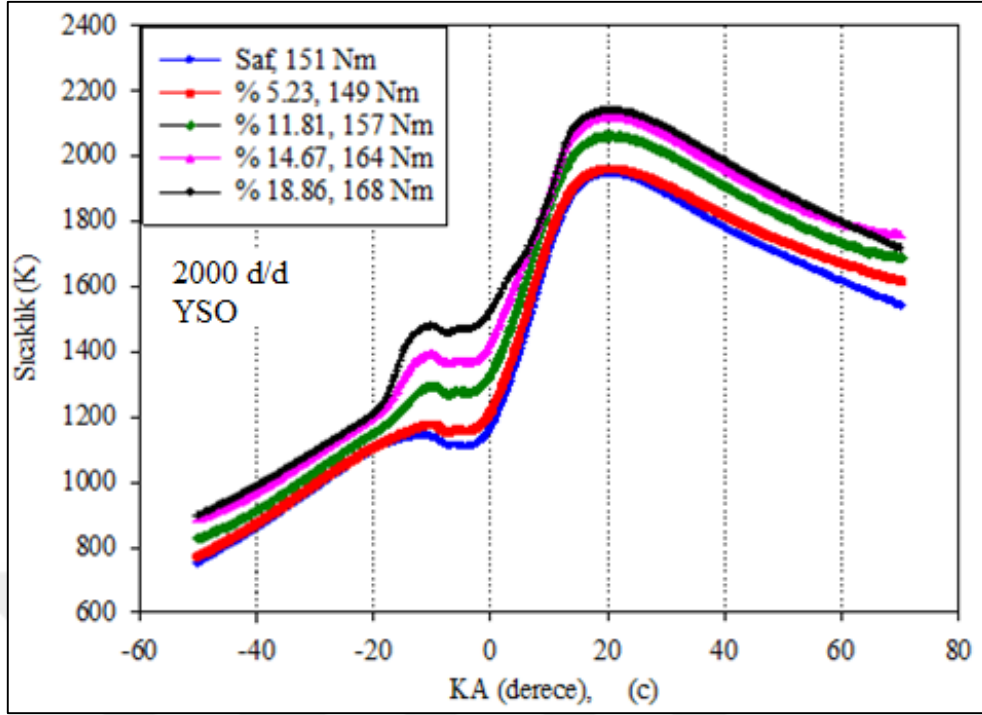
YSO'da %11.81, 14.67 ve 18.86 BF oranlarında benzinin anlık yanması sonucu sıcaklıklarda ani artış görülmektedir. Ayrıca BF oranı arttıkça, maksimum sıcaklıkların da arttığı Şekil 3.54 (c)'den görülmektedir. SDY durumunda maksimum sıcaklığın 1943.71 K ve oluştuğu açının 20.70 KA olduğu görülmektedir. %5.23, 11.81, 14.47 ve 18.86 BF oranlarında ise sırası ile hesaplanan maksimum sıcaklıklar 1958.31, 2058.28, 2115.62 ve 2138.27 K olarak ve bu sıcaklıkların oluştuğu açılar sırası ile 20.43, 20.39, 20.82 ve 20.03 KA olarak belirlenmiştir. Seçilen maksimum döndürme momentinde, YSO için NO<sub>x</sub>'te gözlenen ortalama %1.25'lik artışın, sıcaklıklardaki artış nedeniyle gerçekleştiği düşünülmektedir.

Yanma sonunda açığa çıkan ısı değişiminden yararlanarak dizel yakıtının yanma süresi yaklaşık olarak tahmin edilebilir. Literatüre göre, açığa çıkan maksimum ısının %10'u ile %90'ını oluşturan aralık yanma süresi olarak alınabilir (Muinos vd., 2017; Zhang vd., 2014; Singh vd., 2014). Bu analize göre 2000 d/d'de SDY durumunda yanma süresi 13.5 KA olarak belirlenmiştir. %5.23, 11.81, 14.47 ve 18.86 BF oranları için ise yanma süreleri sırasıyla; 13.3, 12.8, 14.76 ve 15.11 KA şeklinde belirlenmiştir. Buradan %10'a kadar olan BF oranlarında yanma süresinin çok az da olsa kısaldığı, fakat daha sonra biraz arttığı görülebilir.

DSO için; 2000 d/d'de BF'nin, açığa çıkan ısı oranı, sıcaklık ve basınç üzerindeki etkileri Şekil 3.55 (a-c)'de sırasıyla gösterilmiştir. DSO'daki eğriler de motorun tam gaz ve tam yük durumu için çizilmiştir. Şekil 3.55 (a-c) incelendiğinde, BF ile belirli devirler için gerekli yük değerlerinin (döndürme momentinin) arttığı görülebilir. Yukarıdaki bölümde de anlatıldığı gibi, BF uygulanırken dizel yakıtı miktarında her hangi bir değişiklik yapılmamıştır ve benzin, ek olarak emilmekte olan havanın içerisine püskürtülmüştür. Yani motorun püskürtme sisteminde her hangi bir değişiklik yapılmamıştır. Böylece çeşitli BF oranlarında aynı devri sağlamak için gerekli olan yüklemenin, dolayısı ile döndürme momentinin artması doğaldır.



Şekil 3.54. YSO'da ve 2000 d/d'de farklı BF oranları için; a) açığa çıkan ısının, b) silindir basınçlarının ve c) sıcaklıklarının KA'ya göre değişimleri



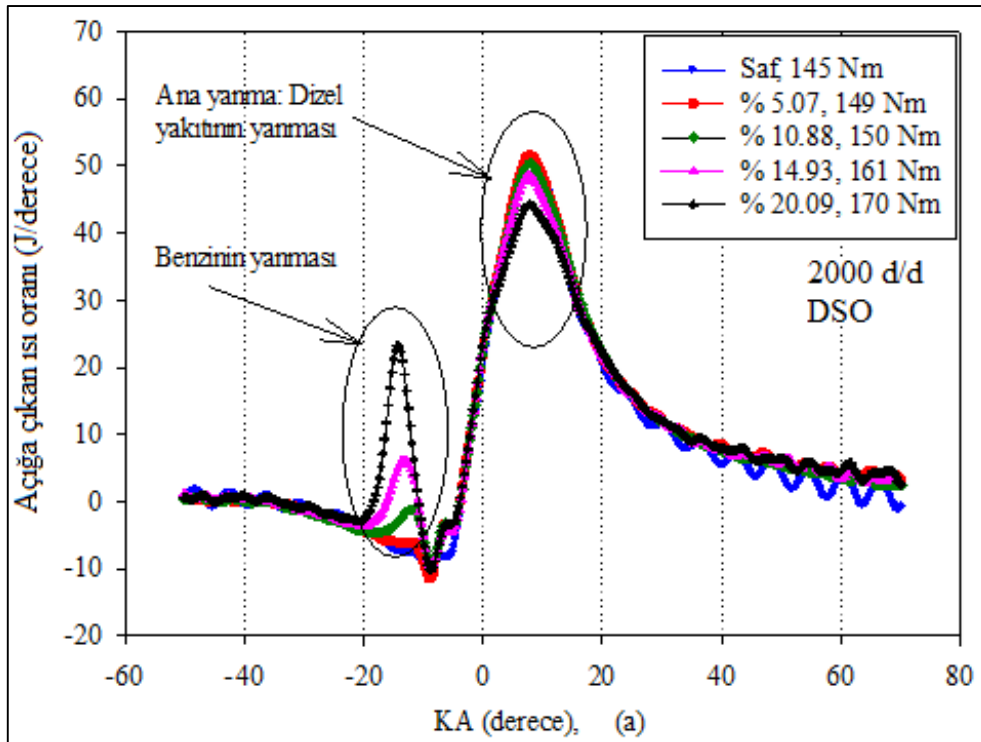
Şekil 3.54'ün devamı

Şekil 3.55 (a)'da görülebileceği gibi; DSO'da da, BF ile açığa çıkan ısı oranını gösteren eğriler, SDY durumuna göre biraz farklıdır. SDY ve %5.07 gibi düşük BF oranında açığa çıkan ısı eğrisinde yalnızca bir tepe bulunmaktadır ve bu tepe, ÜÖN'den sonra meydana gelen ve dizel yakıtı ile benzinin yanması sonucunda oluşan maksimum ısı oranını göstermektedir. Diğer BF oranları için söz konusu şekil incelendiğinde, açığa çıkan ısı eğrisinde iki ayrı tepenin meydana geldiği görülebilir. Birinci tepenin, benzinin üst ölü noktadan önce aniden yanmasından oluştuğu düşünülmektedir. İkinci tepenin ise ÜÖN'den sonra dizel yakıtının (ve varsa kalan benzinin) yanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. BF oranı arttıkça birinci tepenin yüksekliğinin arttığı ve ikinci tepenin yüksekliğinin azaldığı görülebilir. Şekil 3.55 (a)'dan anlaşılabilir gibi %20.09 BF oranında benzinin anlık yanması sonucu açığa çıkan ısı oranı, diğer BF oranlarına göre çok daha yüksektir. Bu durum, Şekil 3.55 (b) ve Şekil 3.55 (c)'de sunulan basınç ve sıcaklık değişimi eğrilerinde de kendisini göstermiştir. Sonuçta, %20.09 BF oranında motorun daha titreşimli ve gürültülü çalışacağı tahmin edilebilir.

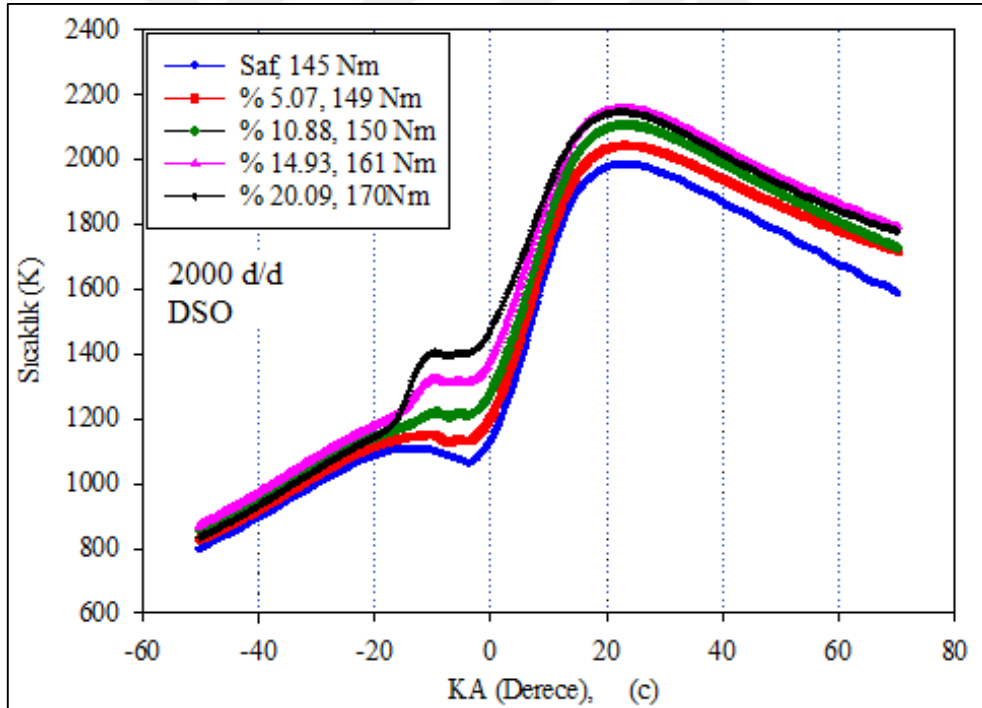
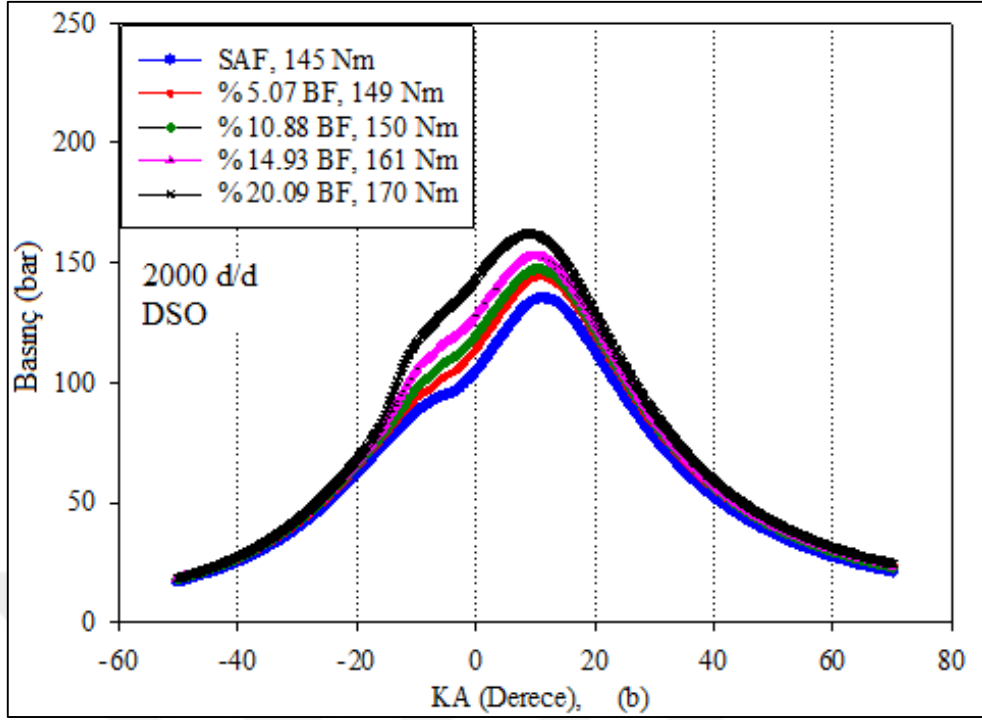
Şekil 3.55 (b)'de farklı BF oranları için silindir basınçlarının KA'ya göre değişimleri sunulmuştur. BF ile silindir basınçlarının arttığı ilgili şekilden görülebilir. SDY durumunda maksimum gaz basıncı ÜÖN'den sonra 11.40 KA'da 135.14 bar olarak ölçülmüştür. %5.07,

10.88, 14.93 ve 20.09 BF oranları için ölçülen maksimum silindir basınçları sırasıyla 144.21, 147.46, 153.16 ve 162.26 bar ve bu basınçların oluştuğu açılar ise 10.83, 10.46, 9.75 ve 8.94 KA şeklindedir. Buradan, seçilen BF oranları için maksimum basınçların SDY durumuna göre daha erken meydana geldiği görülmektedir ve BF ile dizel yakıtının yanma süresinin kısaldığı tahmin edilmektedir. Homojen karışımın etkilerinin YSO durumunda belirgin olduğu ve daha önceden yapılan açıklamalardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

DSO'da %14.93 ve 20.09 BF oranlarında benzinin anlık yanması sonucu sıcaklıklarda ani artış görülmektedir. Ayrıca BF oranı arttıkça, maksimum sıcaklıkların da arttığı Şekil 3.55 (c)'den görülmektedir. SDY durumunda maksimum sıcaklığın 1979.92 K ve oluştuğu açının 23.70 KA olduğu görülmektedir. %5.07, 10.88, 14.93 ve 20.09 BF oranlarında ise sırası ile hesaplanan maksimum sıcaklıklar 2041.78, 2105.22, 2155.86 ve 2145.03 K olarak ve bu sıcaklıkların oluştuğu açılar sırası ile 23.33, 23.50, 23.15 ve 22.57 KA olarak belirlenmiştir. YSO sonuçları ile karşılaştırıldığında; DSO'da maksimum sıcaklıkların ve bu sıcaklıkların oluştuğu açı değerlerinin arttığı görülmektedir. Seçilen maksimum döndürme momentinde, DSO için  $\text{NO}_x$ 'te gözlenen ortalama %21.33'lük artışın, sıcaklıklardaki artış nedeniyle oluştuğu düşünülmektedir.



Şekil 3.55. DSO'da ve 2000 d/d'de farklı BF oranları için; a) açığa çıkan ısının, b) silindir basınçlarının ve c) sıcaklıklarının KA'ya göre değişimleri



Şekil 3.55'in devamı

DSO'da yanma süreleri açığa çıkan ısı oranı eğrisinden yaklaşık olarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. SDY, %5.07, 10.88, 14.93 ve 20.09 BF durumlarına göre yanma süreleri sırasıyla 15.10, 13.72, 13.33, 13.40 ve 14.23 KA olarak belirlenmiştir. Böylece BF ile yanma sürelerinin genel olarak kısaldığı görülmektedir. Bu durumun BF ile meydana gelen akım



karişikliklerinin, püskürtülen dizel yakıtı ile havanın hızlı ve homojen karişmasına sağladığı iyileşmeden kaynaklandığı düşünölmektedir.

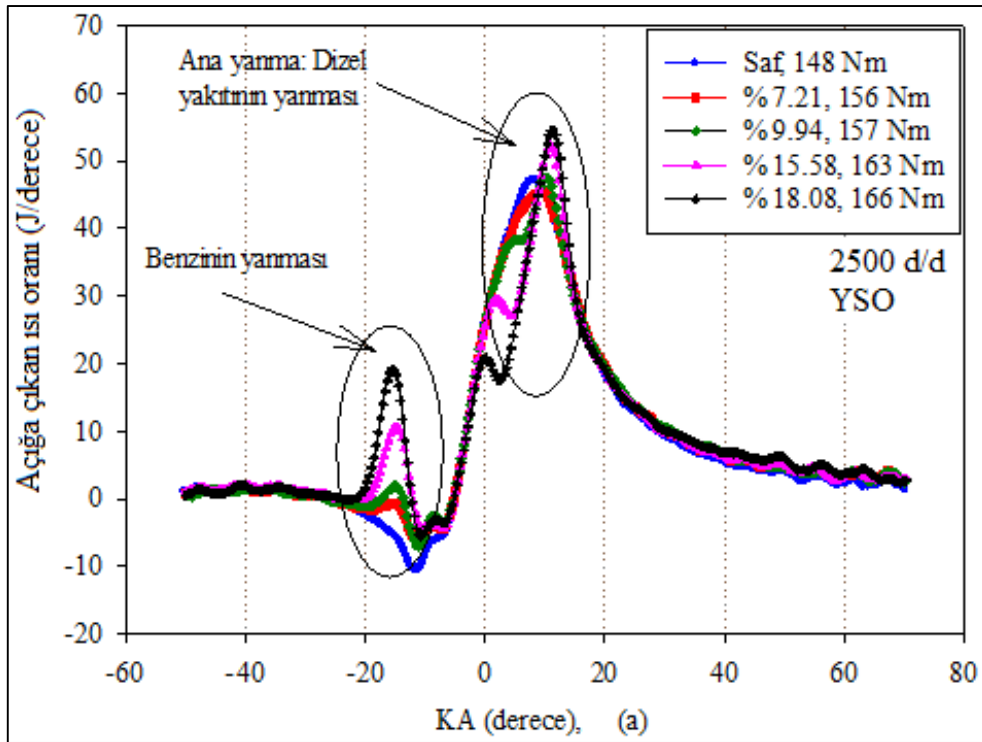
### **3.4.2. 2500 d/d'de Benzin Fumigasyonunun; Açığa Çıkan Isı Oranı, Silindir Basınçları ve Silindir Sıcaklıkları Üzerindeki Etkileri**

YSO için tam gaz ve tam yük durumunda, 2500 d/d'de BF'nin; açığa çıkan ısı oranı, basınç ve sıcaklık üzerindeki etkileri Şekil 3.56 (a-c)'da sırasıyla gösterilmiştir. Şekil 3.56 (a)'da göröldüğü üzere, SDY ve %7.21 BF durumlarında açığa çıkan ısı eğrilerinde bir adet tepe noktası görölmüştür ve bu durum, ÜÖN'den sonra dizel yakıtının yanmasından doğmaktadır. %9.94, 15.58 ve 18.08 gibi daha yüksek BF oranlarında ise benzinin anlık yanmasından kaynaklanan tepe noktasının yanında, ana yanma süresince ikinci ve üçüncü maksimumlar oluşmakta ve böylece toplamda üç adet tepe noktası yer almaktadır. Ayrıca %9.94, 15.58 ve 18.08 BF durumlarında, hem benzin yanmasına ilişkin tepenin hem de ana yanmada oluşan tepenin %7.21 BF durumuna göre daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Bu durumun, yüksek BF oranlarında dizel yakıtına ek olarak fumigasyon yakıtının kullanılmasından yani silindire daha fazla ısının sokulmasından kaynaklandığı söylenebilir. En yüksek tepenin oluştuğu KA aralığı görece olarak daha kısa olmakta, yani ısının açığa çıkması daha kısa bir aralıkta gerçekleşmektedir. Sonuçta; %9.94, 15.58 ve 18.08 BF oranlarında, tam gaz ve tam yük durumunda yanmanın biraz daha değişik karakterde olduğu görölmektedir. Yukarıda söylendiği gibi; %9.94, 15.58 ve 18.08 BF oranlarında açığa çıkan ısı eğrilerinde üç tepe meydana gelmiştir. Yüksek BF oranlarında ana yanma evresinden önce meydana gelen üçüncü tepenin oluşmasının nedeni 2000 d/d devir sayısındaki gibi açıklanabilir.

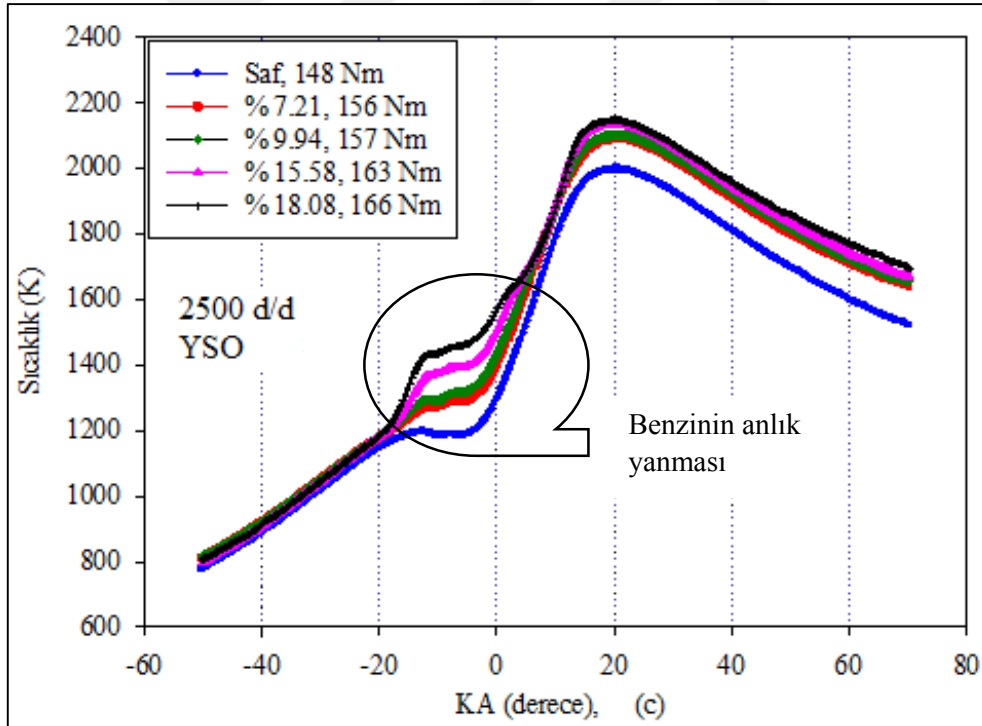
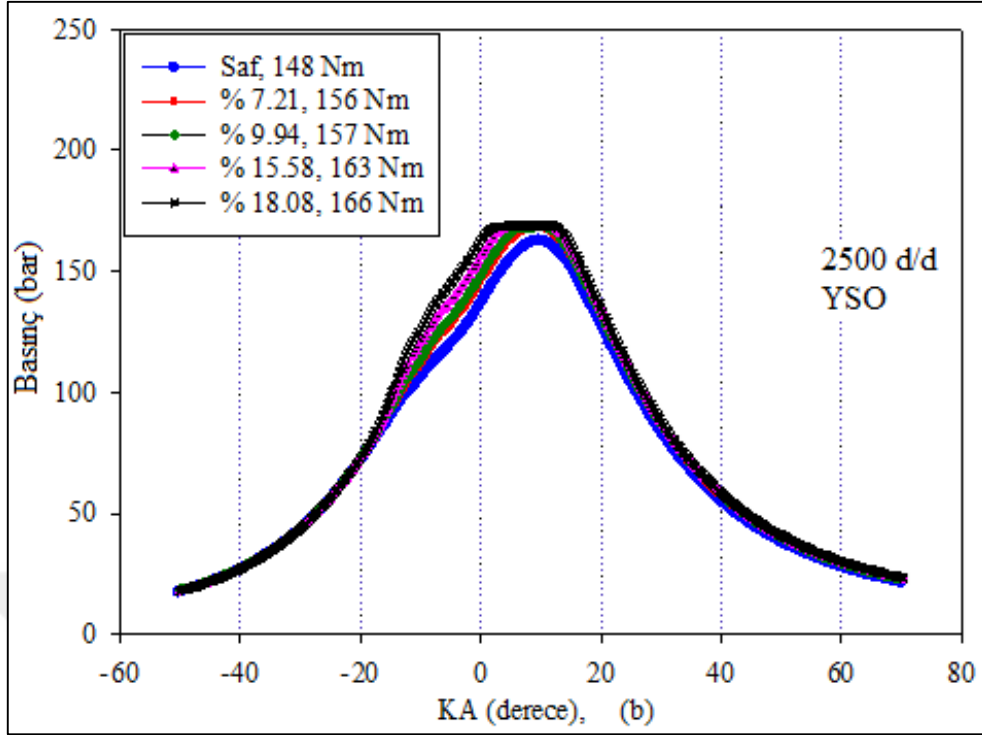
Şekil 3.56 (b)'de; YSO'da, farklı BF oranları için silindir basınçlarının KA'ya göre değişimleri gösterilmiştir. BF oranı arttıkça silindir basınçları da ek enerji nedeni ile doğal olarak artış göstermiştir. Burada, yüksek BF oranlarında oluşan yüksek basınç nedeni ile basınç sensörünün algılama sınırına ulaşıldığından belirli bir seviyenin üzerindeki basınçlar ölçülememiştir. SDY durumunda maksimum gaz basıncı ÜÖN'den sonra 9.75 KA'da 162.79 bar olarak ölçölmüştür. %7.21, 9.94, 15.58 ve 18.08 BF oranları için ölçölen maksimum silindir basınçları sırasıyla 168.47, 168.65, 168.81 ve 168.96 bar, bu basınçların oluştuğu açılar ise sırasıyla 9.04, 9.63, 8.23 ve 6.19 KA şeklindedir. %15.58 ve 18.08 BF oranında basınç sensörünün algılama sınırına ulaştığı gözlemlendiğinden, bu BF oranları için

maksimum basıncın ve oluştuğu açının göz ardı edilmesi gerekmektedir. Yine de SDY durumuna göre BF oranı arttıkça maksimum basınçların oluşumunun ÜÖN'ye bir miktar yaklaştığı belirlenmiştir. Basınç artışının nedenleri 2000 d/d devir sayısında irdelendiği gibidir. Yani dizel yakıtına ek olarak benzinin ÜÖN'den önce yanması, silindir sıcaklıklarını ve basınçlarını artırmıştır. Bundan dolayı silindir basınçları ve sıcaklıkları SDY'ye göre daha yüksek değerler almış ve BF oranı arttıkça ilgili değerler önemli ölçüde artmıştır. Basınç eğrilerinden ve deneydeki gözlemlerden, motorun oldukça düzgün ve kararlı çalıştığı söylenebilir.

YSO için; sıcaklıkları gösteren Şekil 3.56 (c) eğrisi incelendiğinde, BF ile silindir sıcaklıklarının da arttığı görülmektedir. Yukarıdaki paragrafta da belirtildiği gibi bunun muhtemel nedeninin, fumigasyon yakıtının önemli bir bölümünün ÜÖN'den önce anlık yanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. SDY durumunda maksimum sıcaklığın 1996.04 K ve oluştuğu açının 19.88 KA olduğu görülmektedir. %7.21, 9.94, 15.58 ve 18.08 BF oranlarında ise sırası ile hesaplanan maksimum sıcaklıklar 2090.55, 2099.14, 2134.16 ve 2144.40 K olarak ve bu sıcaklıkların oluştuğu açılar sırası ile 21.09, 20.20, 19.83 ve 19.70 KA olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.56. YSO'da ve 2500 d/d'de farklı BF oranları için; a) açığa çıkan ısının, b) silindir basınçlarının ve c) sıcaklıklarının KA'ya göre değişimleri



Şekil 3.56'nın devamı

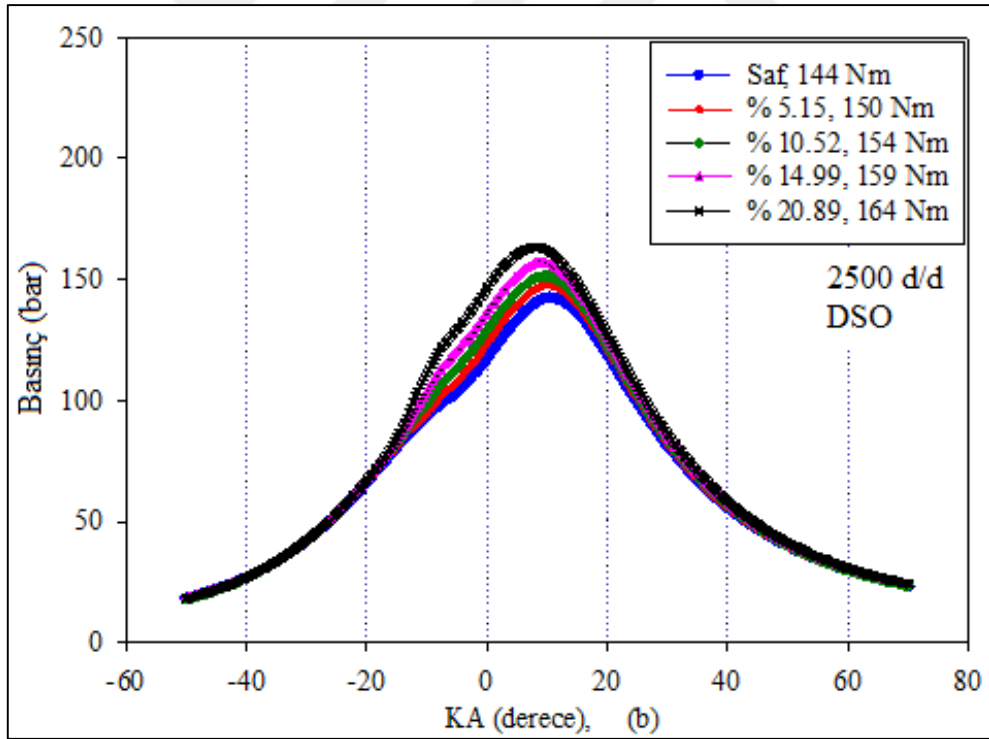
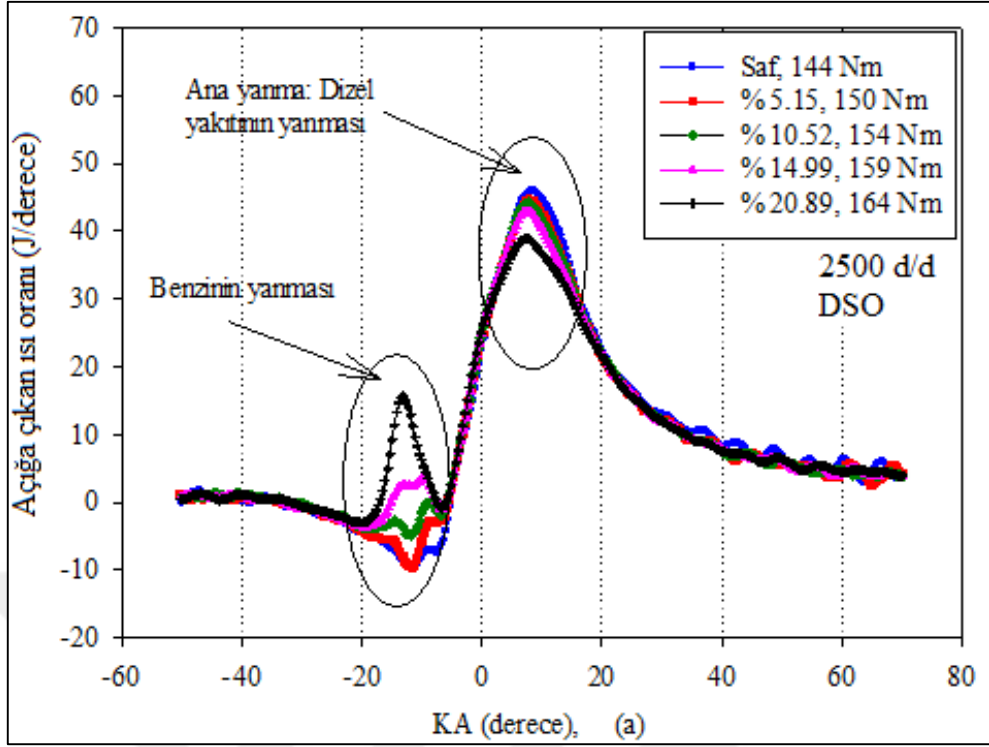
Yanma süreleri incelendiğinde, 2500 d/d'de SDY durumunda yanma süresi 15.37 KA olarak belirlenmiştir. %7.21, 9.94, 15.58 ve 18.08 BF oranları için ise yanma süreleri

sırasıyla; 15.80, 15.10, 16.47 ve 16.51 KA şeklinde belirlenmiştir. Buradan BF oranı ile yanma sürelerinin çok fazla değişmediği söylenebilir.

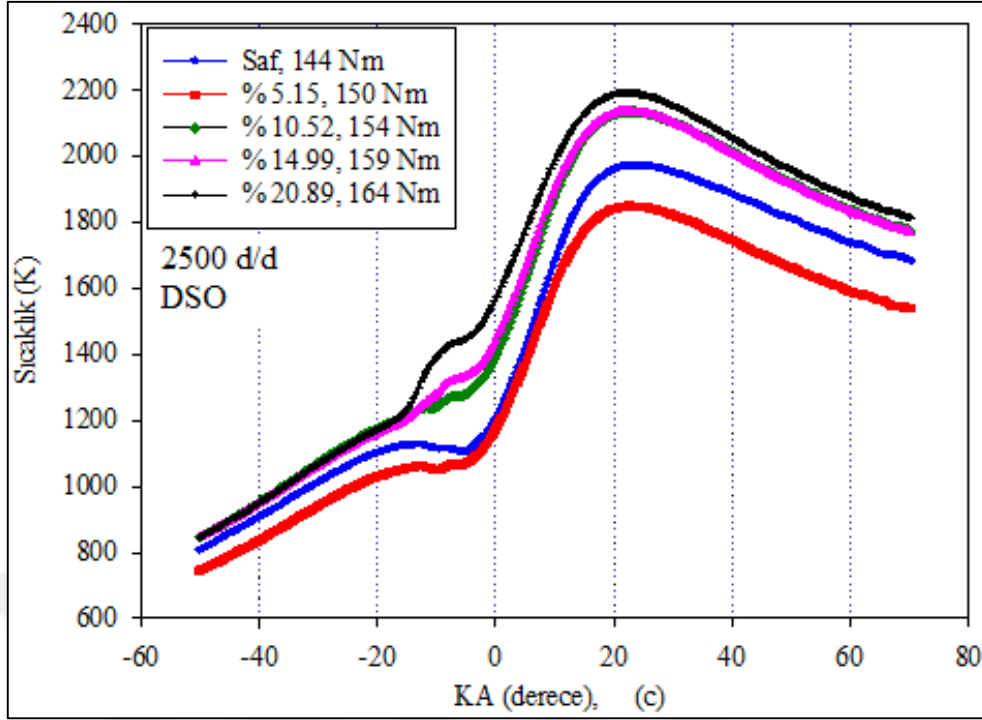
DSO için; 2500 d/d'de, BF'nin, açığa çıkan ısı oranı, basınç ve sıcaklık üzerindeki etkileri Şekil 3.57 (a-c)'de sırasıyla verilmiştir. Şekil 3.57 (a) incelendiğinde, SDY durumunda açığa çıkan ısı eğrisinin literatürde verilen klasik dizel yanmasını gösteren eğriye benzediği görülmektedir. Yani tutuşma gecikmesinden sonra dizel yakıtının önemli bir bölümünün yandığı ana yanma evresi ÜÖN civarında meydana gelmiştir ve maksimum açığa çıkan ısı oranı ÜÖN'den yaklaşık (6-10) KA sonra meydana gelmiştir. Bununla birlikte 2000 d/d devir sayısında da ayrıntılı anlatıldığı gibi BF ile açığa çıkan ısı eğrisinde birisi ÜÖN'den önce ve diğeri de ÜÖN'den sonra olmak üzere iki tepe oluşmuştur. Ayrıca ilgili eğri incelendiğinde BF oranı arttıkça birinci tepenin yüksekliğinin arttığı ve ikinci tepenin yüksekliğinin azaldığı görülebilir. Ek olarak Şekil 3.57 (a)'dan anlaşılacağı gibi; %5.15, ve 10.52 BF durumlarında, sıkıştırma süresince fumigasyon yakıtının buharlaşmasının devam ettiği ve dizel yakıtının ilk yanmasına kadar çevreden ısı çektiği görülmektedir.

Bununla birlikte %14.99 ve 20.89 BF oranlarında bu durumun meydana gelmediği ve yanmanın daha erken başladığı anlaşılabilir. Aslında düşük BF oranlarında benzin-hava karışımının yanabilme sınırlarına ulaşamadığı da tahmin edilebilir. %5.15 BF oranında benzinin yanmadığı Şekil 3.57 (c)'de sunulan silindir sıcaklıkları eğrisinden de görülebilir. Bu nedenle söz konusu oranın silindir sıcaklıkları değerleri SDY durumundaki sıcaklık değerlerinden daha düşük çıkmıştır. DSO için; Şekil 3.57 (b) incelendiğinde, maksimum basınçların oluştuğu KA'nın BF ile ÜÖN'ye yaklaştığı görülmektedir. SDY, %5.15, 10.52, 14.99 ve 20.89 BF durumları için maksimum basınçlar sırasıyla; 10.53 KA'da 142.25 bar, 10.14 KA'da 147.59 bar, 9.64 KA'da 151.52 bar, 9.04 KA'da 156.87 bar ve 8.13 KA'da 163.35 bar olarak belirlenmiştir. Yine bu veriler doğrultusunda yanma süresinin bir miktar kısaldığı söylenebilir.

Şekil 3.57 (c) incelendiğinde, SDY'ye göre sadece %5.15 BF durumunda sıcaklıkların azaldığı ve diğer BF oranlarında sıcaklıkların arttığı görülmektedir. Bu durumun nedeni açığa çıkan ısı eğrisinin açıklamasının yapıldığı yukarıdaki paragrafta belirtilmiştir. SDY durumunda maksimum sıcaklığın 1969.21 K ve oluştuğu açının 24.08 KA olduğu görülmektedir. %5.15, 10.52, 14.99 ve 20.89 BF oranlarında ise sırası ile hesaplanan maksimum sıcaklıklar 1847.46, 2132.27, 2134.73 ve 2190.41 K olarak ve bu sıcaklıkların oluştuğu açılar sırası ile 22.78, 22.87, 22.36 ve 22.13 KA olarak belirlenmiştir. DSO'da oluşan maksimum sıcaklıkların ve oluşma açılarının BF ile arttığı görülmüştür.



Şekil 3.57. DSO'da ve 2500 d/d'de farklı BF oranları için; a) açığa çıkan ısı, b) silindir basınçlarının ve c) sıcaklıklarının KA'ya göre değişimleri



Şekil 3.57'nin devamı

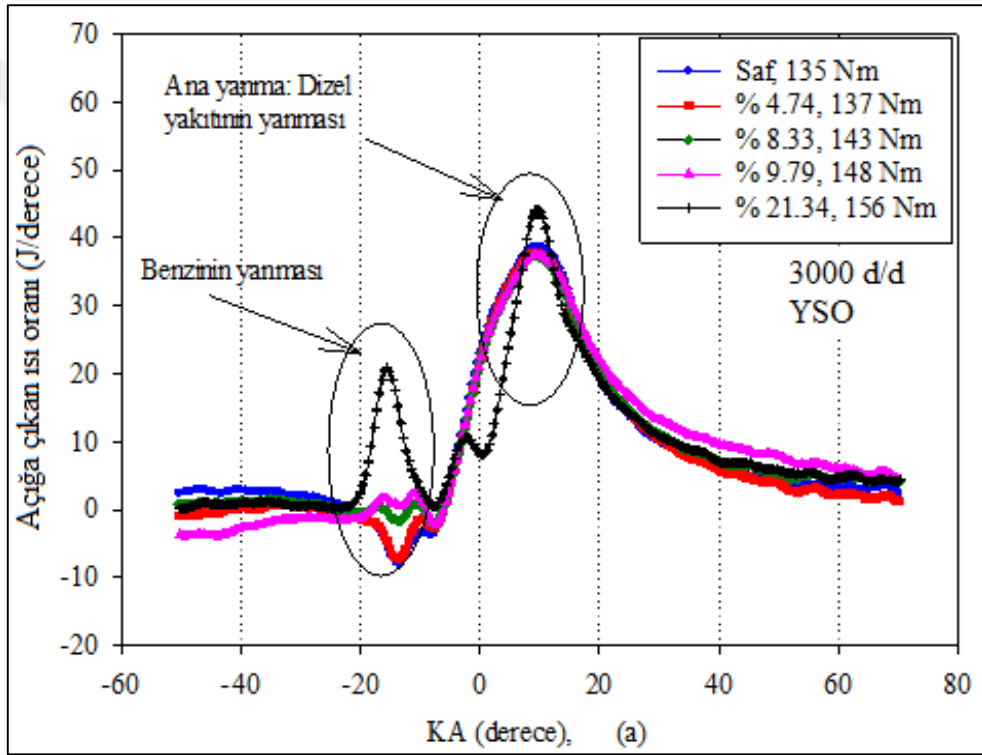
Yanma süreleri incelendiğinde, 2500 d/d'de SDY durumunda yanma süresi 16.18 KA olarak belirlenmiştir. %5.15, 10.52, 14.99 ve 20.89 BF oranları için ise yanma süreleri sırasıyla; 15.31, 15.49, 15.16 ve 16.26 KA şeklinde belirlenmiştir. Buradan BF oranı ile yanma sürelerinin çok az olsa da azaldığı söylenebilir.

### 3.4.3. 3000 d/d'de Benzin Fumigasyonunun; Açığa Çıkan Isı Oranı, Silindir Basınçları ve Silindir Sıcaklıkları Üzerindeki Etkileri

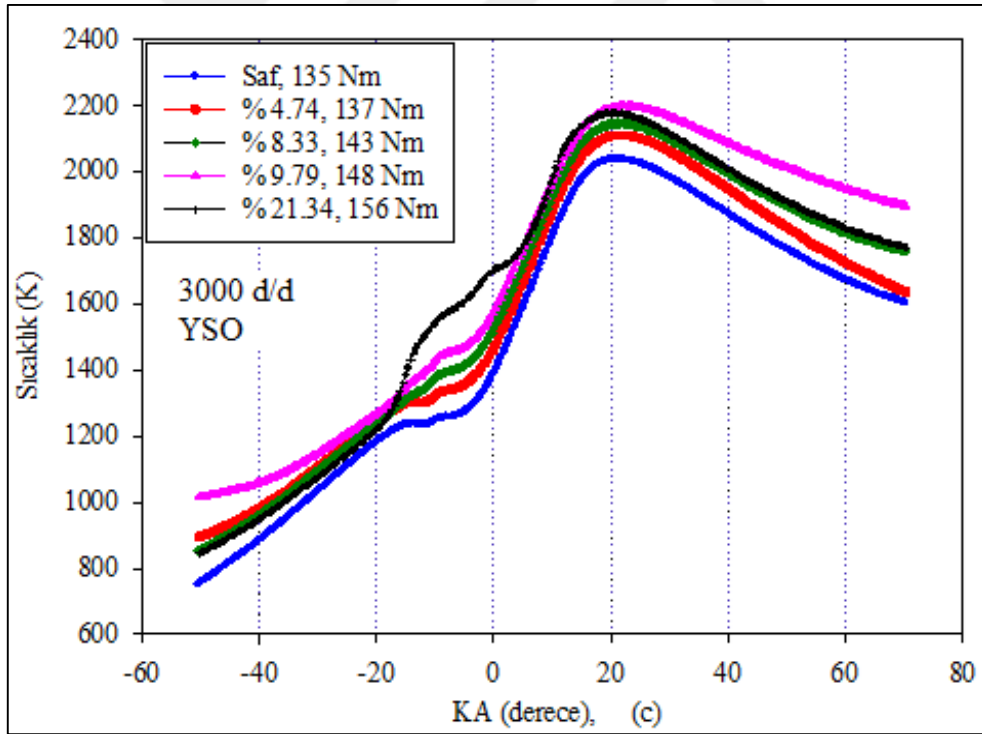
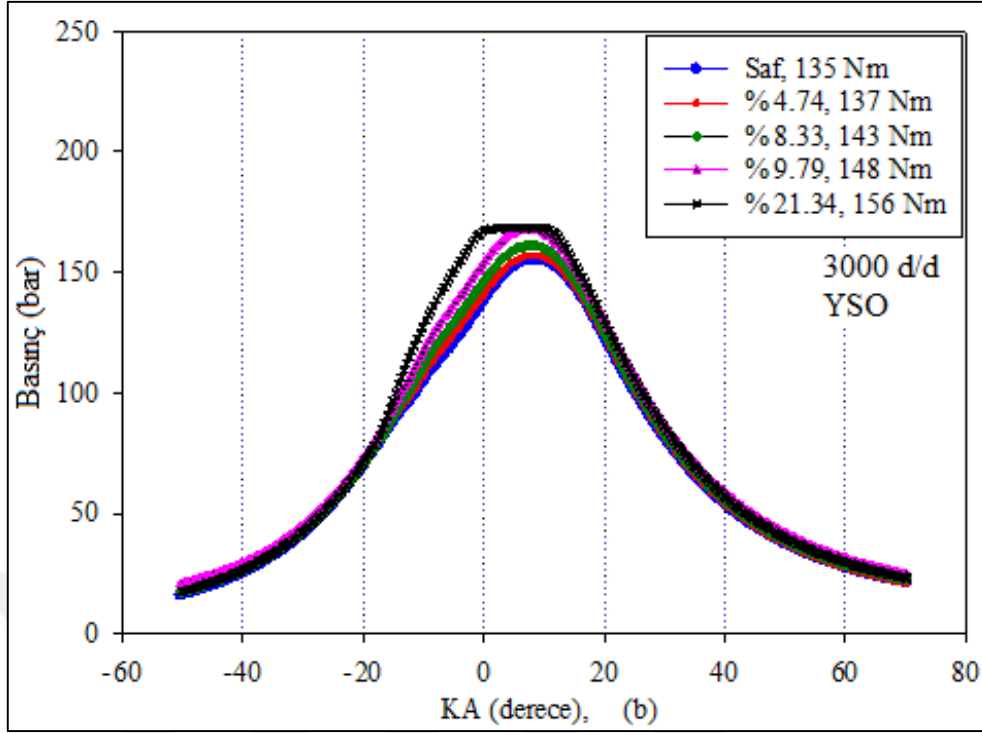
YSO için 3000 d/d'de BF'nin; açığa çıkan ısı, basınç ve sıcaklık üzerindeki etkileri Şekil 3.58 (a-c)'de sırasıyla gösterilmiştir. Bu devirde de açığa çıkan ısı eğrisinin 2000 ve 2500 d/d'deki eğrilere benzediği ve BF ile açığa çıkan ısı eğrisinde iki tepe meydana geldiği görülebilir. Ancak %21.34 BF durumunda, söz konusu eğride üç tepenin oluştuğu ve yanmanın düzensizleşmeye başladığı fark edilebilir. Bu durum Şekil 3.58 (c)'deki sıcaklık değişimi eğrilerindeki sıcaklığın ani yükselmesi ile de uyuşmaktadır. 3000 d/d devir sayısında, ana yanma evresinden önce üçüncü bir tepenin oluşum nedenleri, yukarıda 2000 d/d devir sayısı için verilen yorumlarda açıklanmıştır.

Şekil 3.58 (b)'de farklı BF oranları için silindir basınçlarının KA'ya göre değişimleri gösterilmiştir. BF oranı arttıkça silindir basınçları da doğal olarak artış göstermiştir. Burada,

%21.34 BF durumunda oluşan yüksek basınçlar nedeni ile basınç sensörünün algılama sınırına ulaşılmış ve belirli bir değerin üzerindeki basınçlar ölçememiştir. SDY durumunda maksimum basınç ÜÖN'den sonra 8.55 KA'da 155.51 bar olarak ölçülmüştür. %4.74, 8.33, 9.79 ve 21.34 BF oranları için ölçülen maksimum silindir basınçları sırasıyla 157.24, 161.22, 167.89 ve 168.43 bar, bu basınçların oluştuğu açılar ise sırasıyla 8.35, 7.65, 7.44 ve 9.22 KA şeklinde olmuştur. SDY durumuna göre BF oranı arttıkça maksimum basınçların doğal olarak arttıkları ve oluşumlarının ÜÖN'ye biraz yaklaştığı ve aslında yanma süresinin biraz kısaldığı söylenebilir.



Şekil 3.58. YSO'da ve 3000 d/d'de farklı BF oranları için; a) açığa çıkan ısı, b) silindir basınçlarının ve c) sıcaklıklarının KA'ya göre değişimleri



Şekil 3.58'in devamı

Sıcaklıkları gösteren Şekil 3.58 (c) incelendiğinde, BF ile sıcaklıkların arttığı görülebilir. %21.34 BF durumunda sıcaklık artışının diğer karışım oranlarına göre daha yüksek olduğu açıktır. SDY durumunda maksimum sıcaklığın 2037.57 K ve oluştuğu açının



20.70 KA olduğu görülmektedir. %4.74, 8.33, 9.79 ve 21.34 BF oranlarında ise sırası ile hesaplanan maksimum sıcaklıklar 2109.06, 2144.90, 2197.39 ve 2176.05 K olarak ve bu sıcaklıkların oluştuğu açılar sırası ile 21.44, 21.60, 22.32 ve 20.46 KA olarak belirlenmiştir.

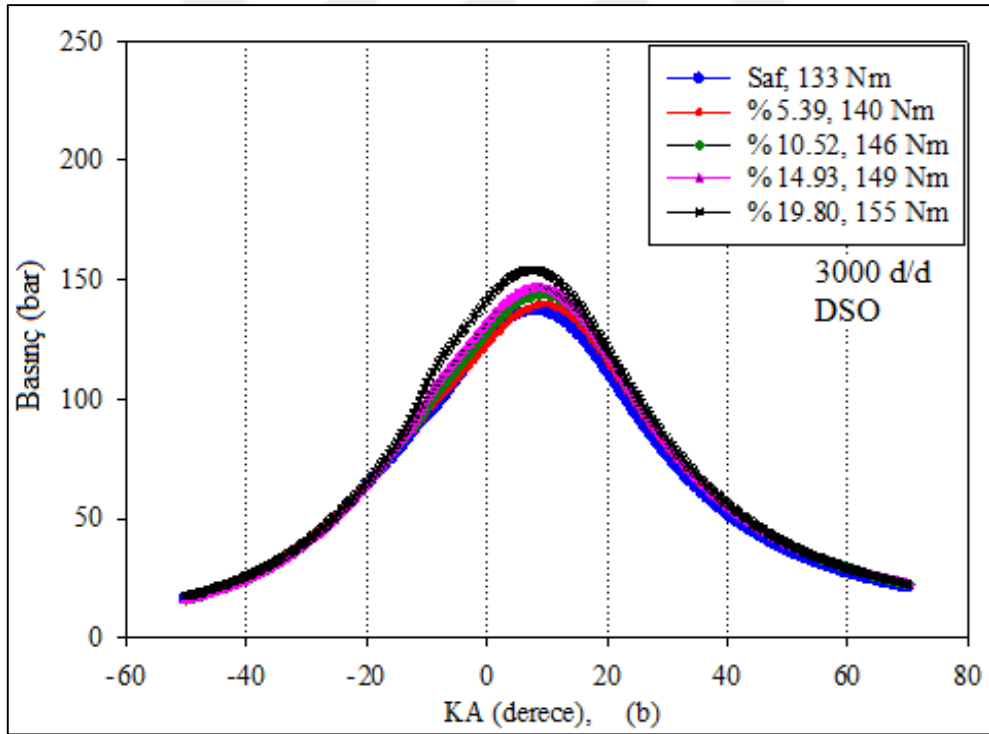
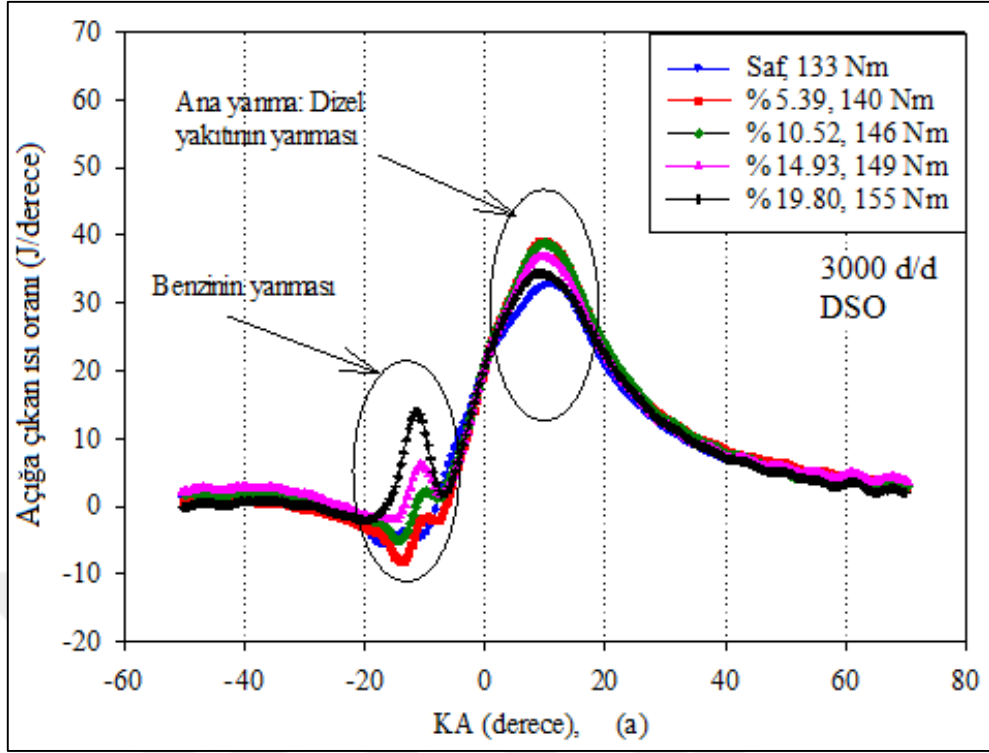
Yanma süreleri, açığa çıkan ısı eğrilerinden yaklaşık olarak hesaplanarak, 3000 d/d'de SDY durumunda yanma süresinin 18.45 KA olduğu görülmüştür. %4.74, 8.33, 9.79 ve 21.34 BF oranları için ise yanma süreleri sırasıyla; 18.05, 18.00, 18.48 ve 16.19 KA şeklinde belirlenmiştir. Buradan BF oranı ile yanma sürelerinin genel olarak kısaldığı söylenebilir.

DSO için; 3000 d/d'de, BF'nin, açığa çıkan ısı oranı, silindir basınçları ve sıcaklıkları üzerindeki etkileri Şekil 3.59 (a-c)'de sırasıyla gösterilmiştir. BF ile açığa çıkan ısı eğrisinde yukarıdaki devirlerdeki gibi BF ile iki tepenin meydana geldiği ve BF oranı arttıkça birinci tepenin yüksekliğinin arttığı ve ikinci tepenin yüksekliğinin azaldığı görülebilir. DSO'da %19.80 gibi yüksek BF oranlarında yanmanın YSO'dan biraz farklı olduğu fark edilebilir. YSO'da %21.34 gibi yüksek BF oranında yanmada üç tepenin meydana geldiği görülmüştür, oysa DSO'da yalnızca iki tepe oluşmuştur.

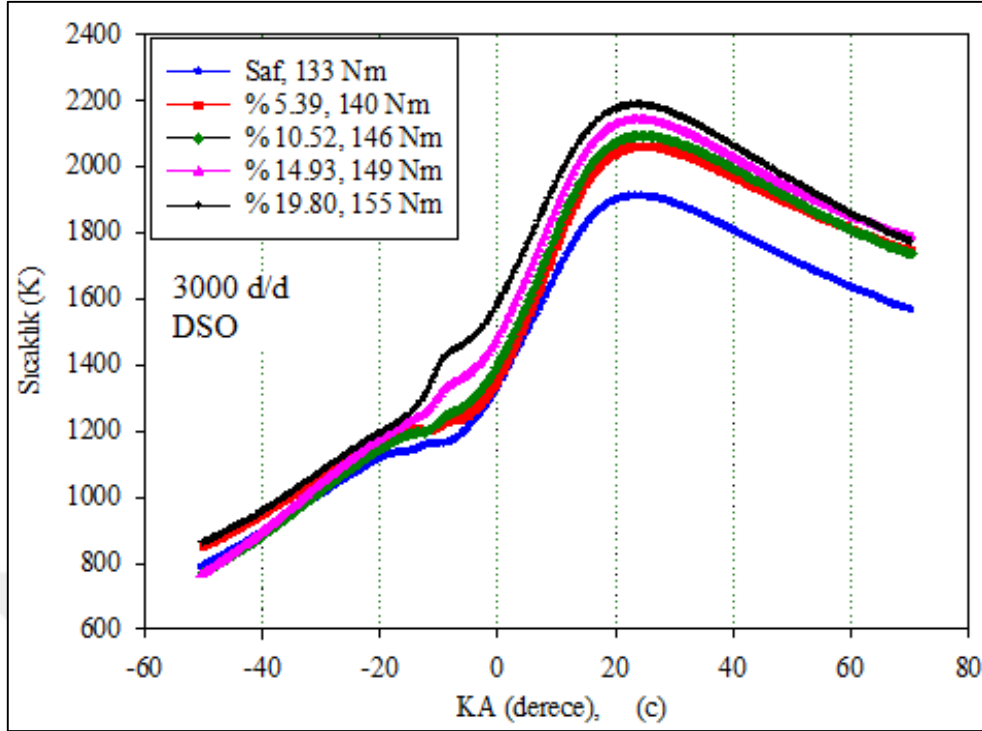
Şekil 3.59 (b)'de farklı BF oranları için silindir basınçlarının KA'ya göre değişimleri gösterilmiştir. BF oranı arttıkça burada da silindir basınçları doğal olarak artış göstermiştir. SDY durumunda maksimum basınç ÜÖN'den sonra 8.15 KA'da 137.09 bar olarak ölçülmüştür. %5.39, 10.52, 14.93 ve 19.80 BF oranları için ölçülen maksimum silindir basınçları sırasıyla 139.77, 144.04, 146.65 ve 154.01 bar, bu basınçların oluştuğu açılar ise sırasıyla 9.91, 9.28, 8.81 ve 7.68 KA şeklindedir. SDY durumuna göre BF oranı arttıkça maksimum basınçların oluşumunun ÜÖN'ye biraz yaklaştığı belirlenmiştir.

Sıcaklıkları gösteren Şekil 3.59 (c) incelendiğinde, BF ile sıcaklıkların da arttığı görülebilir. SDY durumunda maksimum sıcaklığın 1909.16 K ve oluştuğu açının 23.40 KA olduğu görülmektedir. %5.39, 10.52, 14.93 ve 19.80 BF oranlarında ise sırası ile hesaplanan maksimum sıcaklıklar 2059.20, 2090.83, 2140.63 ve 2187.13 K ve bu sıcaklıkların oluştuğu açılar sırası ile 24.78, 24.66, 23.73 ve 23.49 KA olarak belirlenmiştir. YSO sonuçları ile karşılaştırıldığında; DSO'da maksimum sıcaklıkların biraz daha düşük olduğu ancak bu sıcaklıkların oluştuğu açı değerlerinin arttığı görülebilir.

Yanma süreleri hesaplandığında, 3000 d/d'de SDY durumunda yanma süresi 22.09 KA çıkmıştır. %5.39, 10.52, 14.93 ve 19.80 BF oranları için ise yanma süreleri sırasıyla; 18.92, 19.45, 19.43 ve 19.42 KA şeklinde belirlenmiştir. Böylece BF oranı ile yanma sürelerinin az da olsa kısaldığı görülmektedir.



Şekil 3.59. DSO'da ve 3000 d/d'de farklı BF oranları için; a) açığa çıkan ısının, b) silindir basınçlarının ve c) sıcaklıklarının KA'ya göre değişimleri



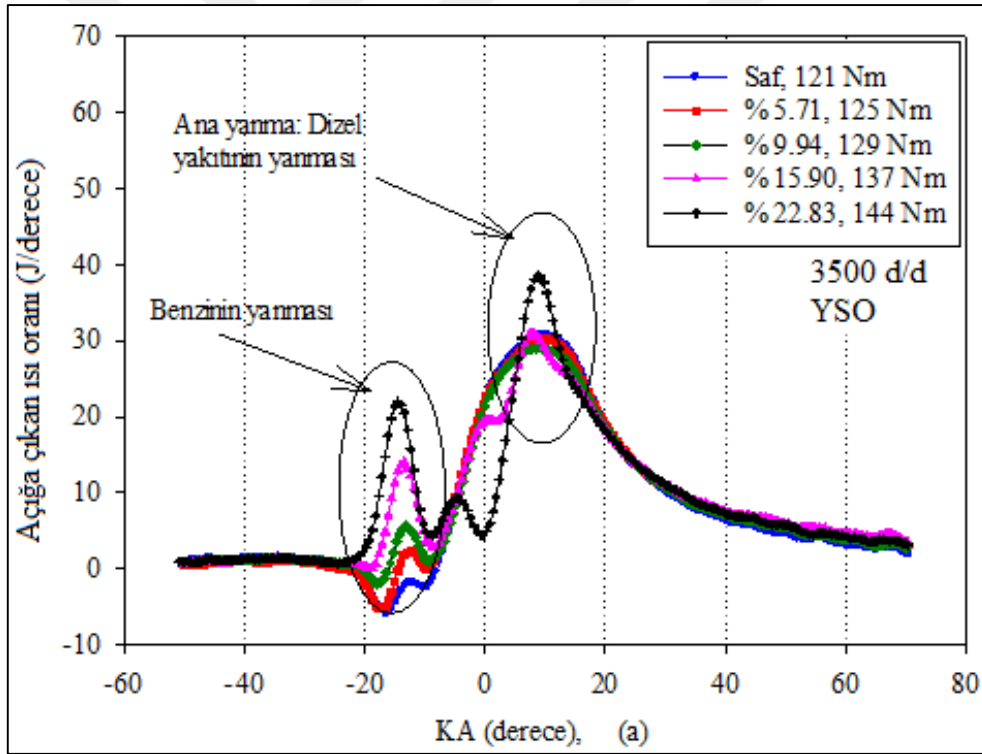
Şekil 3.59'un devamı

#### 3.4.4. 3500 d/d'de Benzin Fumigasyonunun; Açığa Çıkan Isı Oranı, Silindir Basınçları ve Silindir Sıcaklıkları Üzerindeki Etkileri

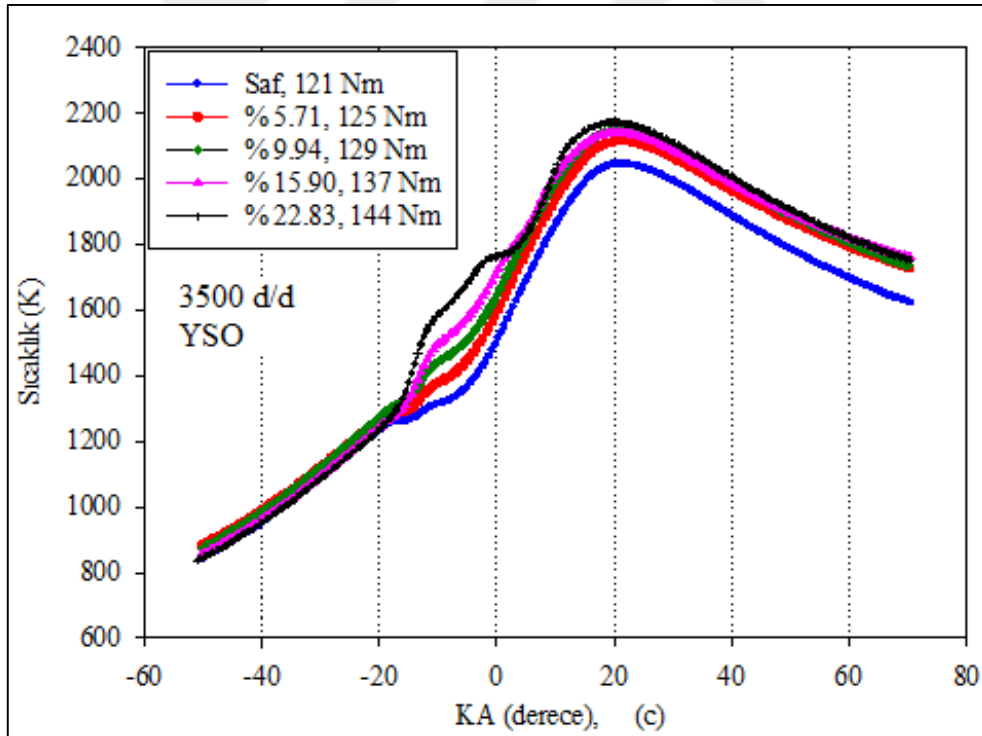
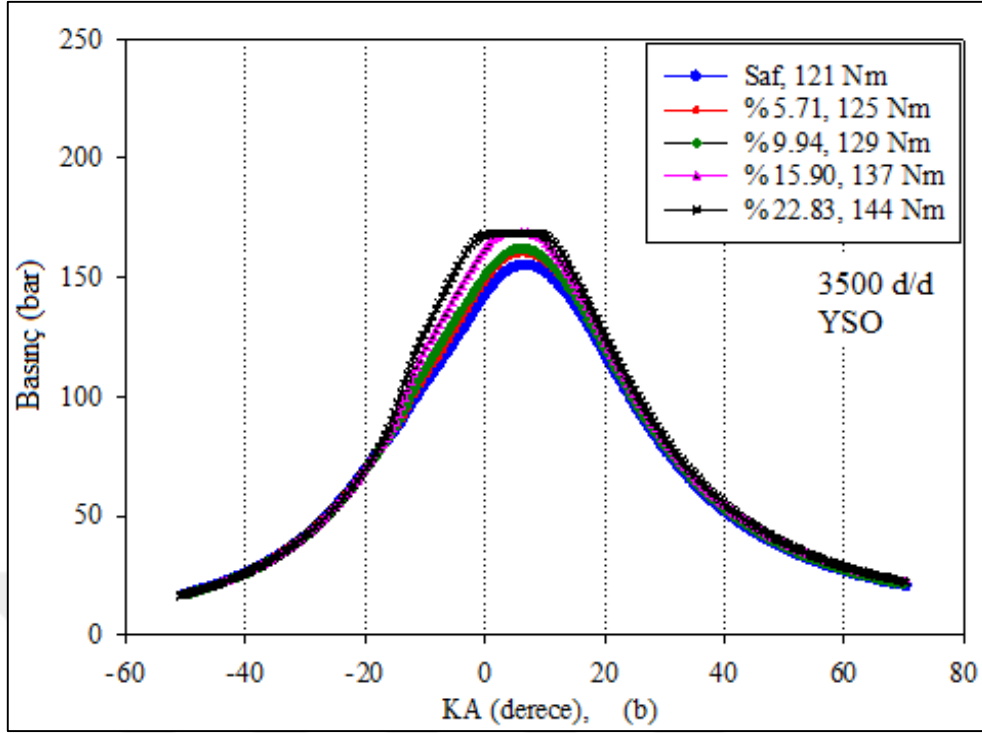
YSO için 3500 d/d'de, BF'nin, açığa çıkan ısı oranı, sıcaklık ve basınç üzerindeki etkileri Şekil 3.60 (a-c)'de sırasıyla gösterilmiştir. Şekil 3.60 (a)'dan görüleceği üzere, açığa çıkan ısı eğrilerinde %5.71 ve 9.94 BF durumlarında iki adet tepe noktası oluşmuştur ve BF oranı arttıkça birinci tepenin yüksekliğinin artmış ve ikinci tepenin yüksekliği azalmıştır. Ancak %15.90 ve 22.83 BF durumunda açığa çıkan ısı eğrisinde üç adet tepe noktası oluşmuştur ve bu durum %22.83 BF oranında daha belirgin olmaktadır. Aslında açığa çıkan ısı eğrisinde üç tepenin meydana geldiği durumlarda, püskürtülen dizel yakıtının daha hızlı yandığı söylenebilir. Açığa çıkan ısı eğrisinden yanma süreleri incelendiğinde de bu durum görülebilir. Örneğin 3500 d/d'de SDY durumunda yanma süresi 20.94 KA olarak belirlenmiştir. %5.71, 9.94, 15.90 ve 22.83 BF oranları için ise yanma süreleri sırasıyla; 21.59, 21.57, 17.38 ve 18.46 KA şeklinde belirlenmiştir. Buradan BF oranı ile yanma sürelerinin genel olarak kısaldığı görülmektedir. Özellikle açığa çıkan ısı eğrisinde üç tepenin meydana geldiği %15.90 ve 22.83 BF oranlarında yanma süreleri oldukça kısalmıştır. Yanma süresinin kısaldığı durumunda aynı dizel yakıtı daha kısa süre içinde yandığından Şekil 3.61'de görülebileceği gibi %15.90 ve 22.83 BF oranlarında silindir

sıcaklıkları da daha yüksek çıkmıştır. Sıcaklıkların artması, efektif verim açısından olumlu sonuç verirken  $NO_x$  açısından olumsuzluk doğurmaktadır.

Şekil 3.60 (b)'de farklı BF oranları için silindir basınçlarının KA'ya göre değişimleri gösterilmiştir. BF oranı arttıkça silindir basınçları doğal olarak artmıştır. Burada, %22.83 BF durumunda yüksek basınçlar nedeni ile basınç sensörünün algılama sınırına ulaşılmış ve belirli bir değerin üzerindeki basınç ölçülememiştir. SDY durumunda maksimum basınç ÜÖN'den sonra 6.55 KA'da 155.09 bar olarak ölçülmüştür. %5.71, 9.94, 15.90 ve 22.83 BF oranları için ise maksimum silindir basınçları sırasıyla 160.24, 161.26, 168.43 ve 168.58 bar olarak ölçülmüştür ve bu basınçların olduğu açılar ise sırasıyla 6.58, 6.32, 5.53 ve 4.48 KA şeklinde belirlenmiştir. SDY durumuna göre BF oranı arttıkça maksimum basınçların oluşumunun ÜÖN'ye bir miktar yaklaştığı ve yanmanın da biraz hızlandığı söylenebilir.



Şekil 3.60. YSO'da ve 3500 d/d'de farklı BF oranları için; a) açığa çıkan ısı oranının, b) silindir basınçlarının ve c) sıcaklıklarının KA'ya göre değişimleri



Şekil 3.60'ın devamı

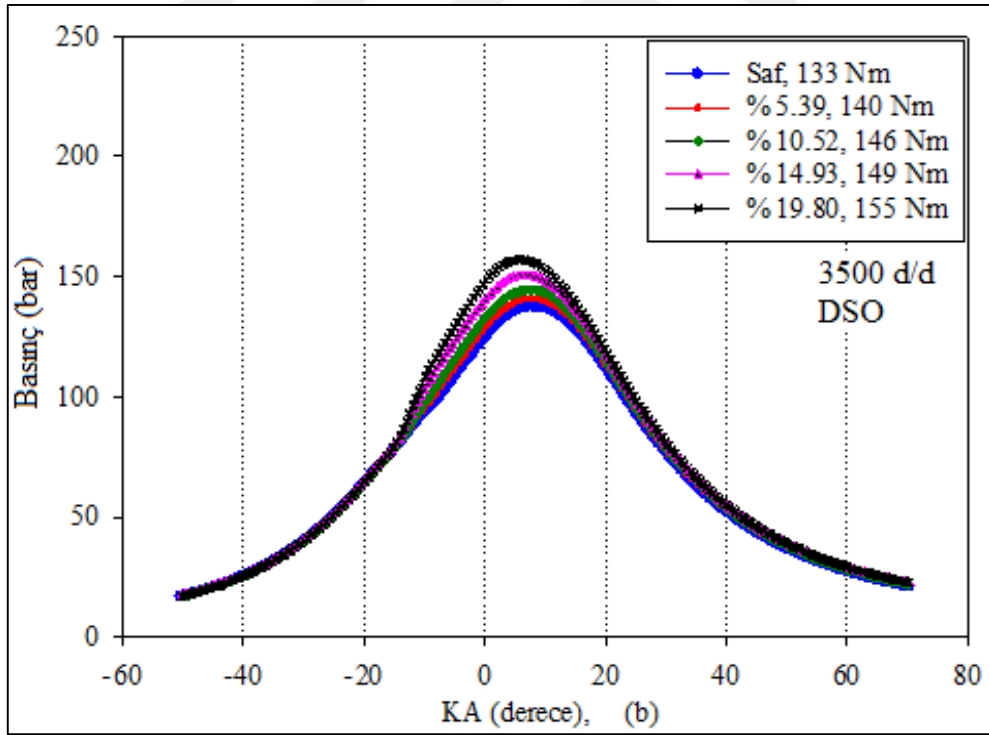
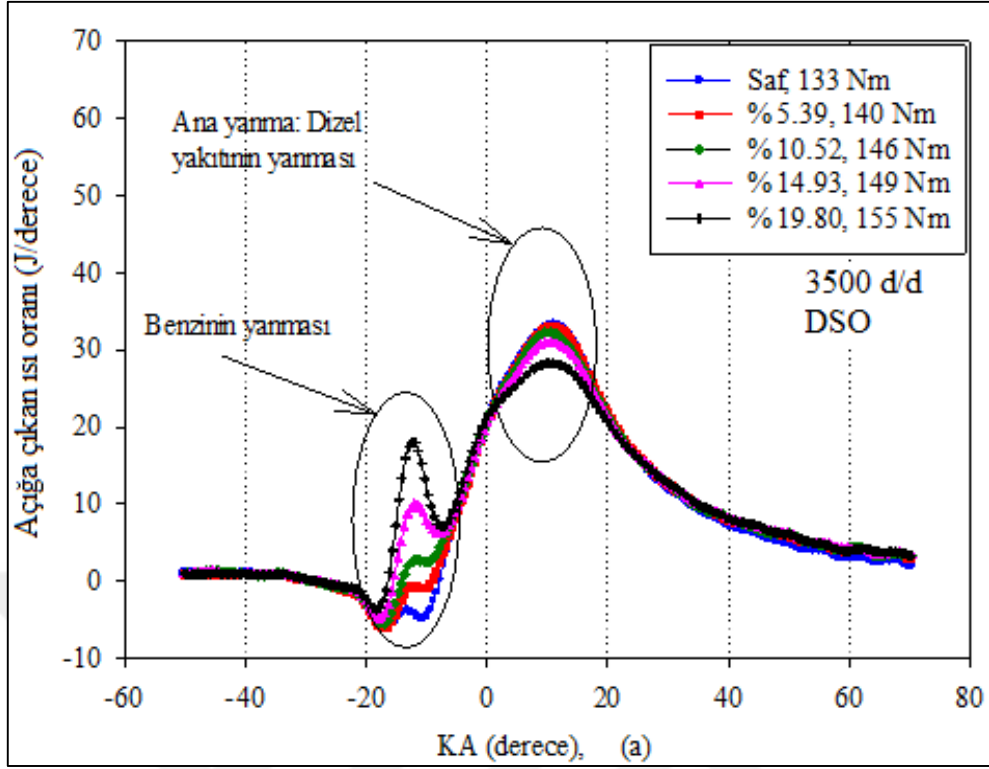
Sıcaklıkları gösteren Şekil 3.60 (c) incelendiğinde; BF oranı arttıkça sıcaklıkların da arttığı, dolayısı ile bu sıcaklık artışlarının 3500 d/d'de ve 135 Nm'de  $\text{NO}_x$ 'te de artışa neden olduğu görülmektedir. Söz konusu durum Şekil 3.40 (a)'da da açıkça görülebilir. SDY

durumunda maksimum sıcaklığın 2043.79 K olduğu ve 21.21 KA'da olduğu görülmektedir. %5.71, 9.94, 15.90 ve 22.83 BF oranlarında ise sırası ile hesaplanan maksimum sıcaklıklar 2114.05, 2145.97, 2139.53 ve 2169.74 K olarak ve bu sıcaklıkların olduğu açılar ise 21.33, 21.05, 20.80 ve 19.78 KA olarak belirlenmiştir.

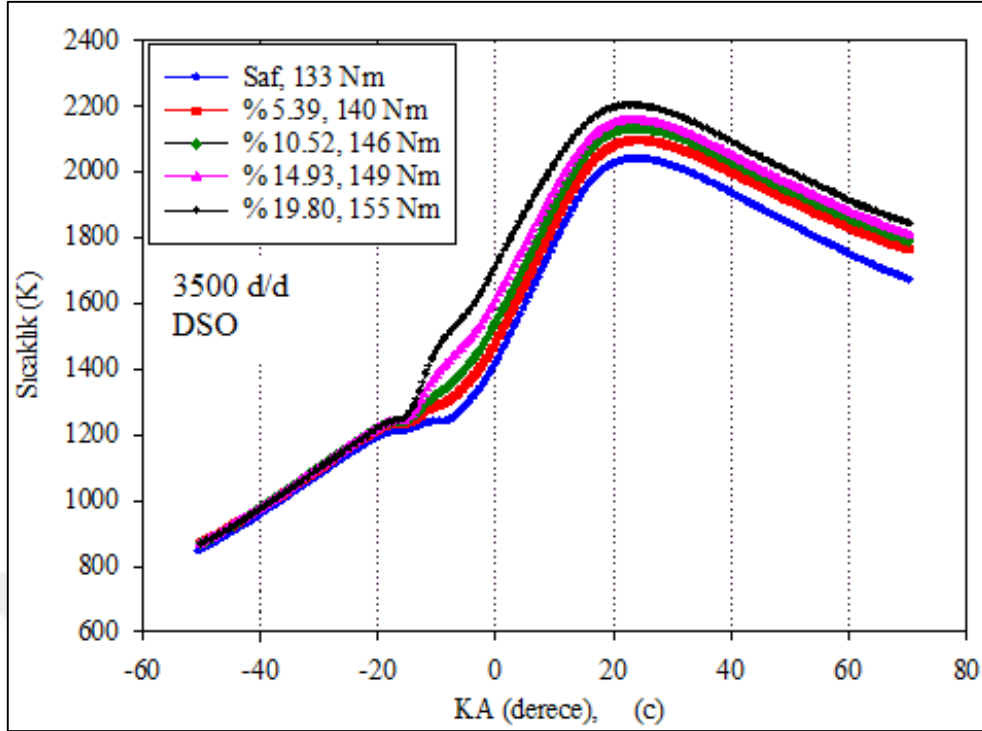
DSO için 3500 d/d'de BF'nin; açığa çıkan ısı oranı, sıcaklık ve basınç üzerindeki etkileri Şekil 3.61 (a-c)'de sırasıyla gösterilmiştir. Şekil 3.61 (a)'da görülebileceği gibi, BF ile açığa çıkan ısı eğrilerinde iki ayrı tepenin meydana geldiği görülebilir. Birinci tepenin ÜÖN'den önce benzinin aniden yanması nedeni ile olduğu düşünülmektedir. İkinci tepenin ise ÜÖN'den sonra dizel yakıtının ve kalan benzinin yanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Eğrilerde BF oranı arttıkça, birinci tepenin yüksekliğinin arttığı ve ikinci tepenin yüksekliğinin azaldığı görülebilir. DSO için 3500 d/d'de açığa çıkan ısı eğrisinde BF ile üç tepe durumu ortaya çıkmamıştır. Oysa ilgili devirde YSO ve yüksek BF oranlarında açığa çıkan ısı eğrisinde üç tepe meydana gelmiştir. Bu durumda DSO'da, yüksek BF oranlarında yanmanın daha düzgün, yani titreşimsiz ve ani basınç artışları olmadan sürdüğü söylenebilir.

Şekil 3.61 (b)'de farklı BF oranları için silindir basınçlarının KA'ya göre değişimleri gösterilmiştir. BF oranı arttıkça doğal olarak silindir basınçları da artış göstermiştir. SDY durumunda maksimum basınç ÜÖN'den sonra 7.87 KA'da 137.65 bar olarak ölçülmüştür. %5.39, 10.52, 14.93 ve 19.80 BF oranları için ölçülen maksimum silindir basınçları sırasıyla 140.95, 144.49, 150.47 ve 157.12 bar ve bu basınçların olduğu açılar ise sırasıyla 7.91, 7.39, 6.87 ve 5.56 KA olmuştur. SDY durumuna göre BF oranı arttıkça maksimum basınçların arttığı ve bir miktar öne geldiği belirlenmiştir.

Sıcaklıkları gösteren Şekil 3.61 (c) incelendiğinde, BF ile sıcaklıkların arttığı anlaşılmaktadır. Burada SDY durumunda maksimum sıcaklığın 2036.92 K ve olduğu açının 24.14 KA olduğu görülmektedir. %5.39, 10.52, 14.93 ve 19.80 BF oranlarında ise sırası ile hesaplanan maksimum sıcaklıklar 2094.61, 2130.98, 2156.11 ve 2203.52 K ve bu sıcaklıkların olduğu açılar sırası ile 24.25, 23.23, 23.26 ve 22.52 KA olarak belirlenmiştir. YSO sonuçları ile karşılaştırıldığında; DSO'da maksimum sıcaklıkların düşük BF oranında azaldığı, BF oranı arttıkça arttığı ve bu sıcaklıkların olduğu açı değerlerinin ise büyüdüğü görülmektedir.



Şekil 3.61. DSO'da ve 3500 d/d'de farklı BF oranları için; a) açığa çıkan ısının, b) silindir basınçlarının ve c) sıcaklıklarının KA'ya göre değişimleri



Şekil 3.61'in devamı

Yanma süreleri incelendiğinde, 3500 d/d'de SDY durumunda yanma süresi 22.56 KA olarak belirlenmiştir. Buna karşın %5.39, 10.52, 14.93 ve 19.80 BF oranları için ise yanma süreleri sırasıyla; 22.66, 23.22, 21.67 ve 21.72 KA şeklinde belirlenmiştir. Buradan BF oranı ile yanma sürelerinin bir miktar azaldığı söylenebilir.

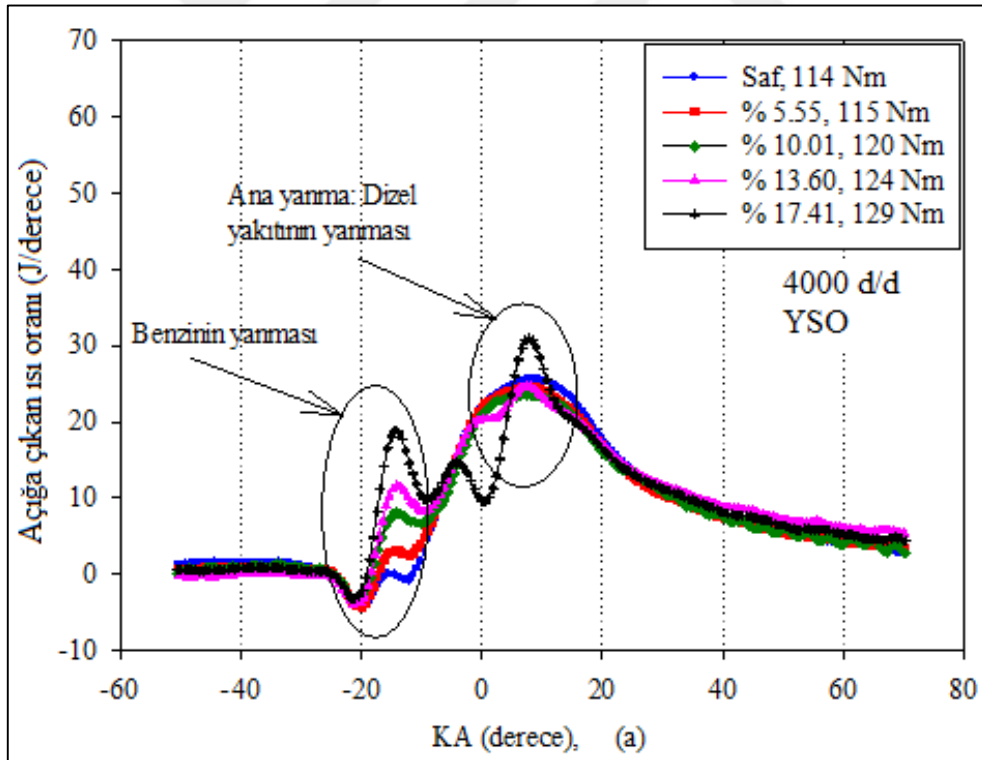
#### 3.4.5. 4000 d/d'de Benzin Fumigasyonunun; Açığa Çıkan Isı Oranı, Silindir Basınçları ve Silindir Sıcaklıkları Üzerindeki Etkileri

YSO için 4000 d/d'de, BF'nin, açığa çıkan ısı oranı, sıcaklık ve basınç üzerindeki etkileri Şekil 3.62 (a-c)'de sırasıyla gösterilmiştir. Şekil 3.62 (a)'dan görüleceği üzere, açığa çıkan ısı eğrilerinde %5.55 ve 10.01 BF durumlarında iki adet tepe noktası oluştuğu ve BF oranı arttıkça birinci tepenin yüksekliğinin artmış ve ikinci tepenin yüksekliğinin azalmış olduğu görülmektedir. Ancak %13.60 ve 17.41 BF durumunda ise açığa çıkan ısı eğrisinde üç adet tepe noktası oluşmuştur ve bu durum %17.41 BF oranında daha belirgin olmaktadır. Aslında açığa çıkan ısı eğrisinde üç tepe meydana geldiğinde püskürtülen dizel yakıtının daha hızlı yandığı söylenebilir. Açığa çıkan ısı eğrisinden yanma süreleri incelendiğinde de bu durum gözlenebilir. Örneğin, 4000 d/d'de SDY durumunda yanma süresi 22.56 KA

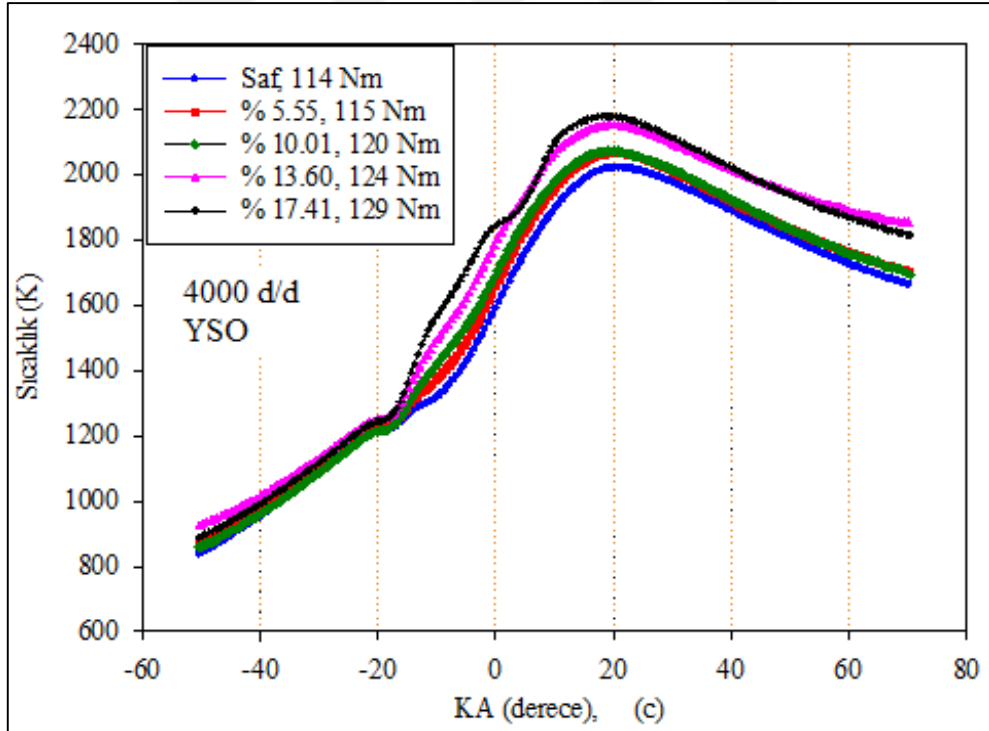
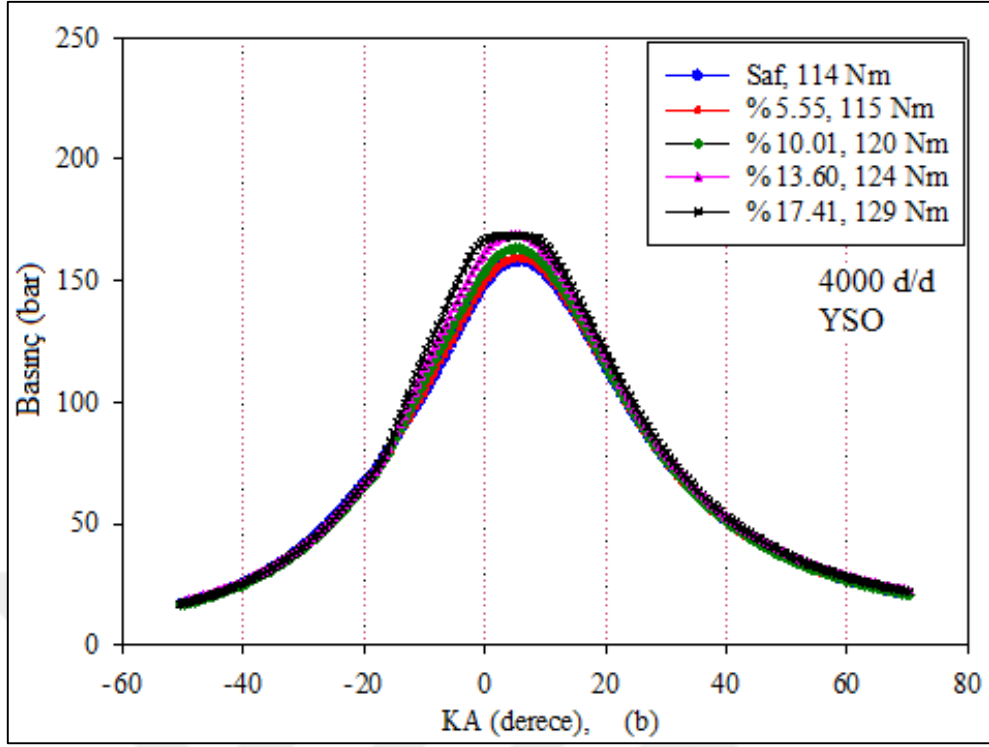


olarak belirlenmiştir. %5.39, 10.52, 14.93 ve 19.80 BF oranları için ise yanma süreleri sırasıyla; 22.66, 23.22, 21.67 ve 21.72 KA şeklinde hesaplanmıştır. Buradan BF oranı ile yanma sürelerinin genel olarak kısaldığı görülmektedir. Özellikle açığa çıkan ısı eğrilerinden üç tepenin meydana geldiği görülmektedir ve %14.93 ile 19.80 BF oranlarında yanma süreleri oldukça kısalmıştır.

Şekil 3.62 (b)'de farklı BF oranları için silindir basınçlarının KA'ya göre değişimleri gösterilmiştir. BF oranı arttıkça silindir basınçları da artış göstermiştir. Burada, %17.41 BF durumunda oluşan yüksek basınç nedeni ile basınç sensörünün algılama sınırı aşıldığından belirli bir değerden yüksek basınçlar ölçülememiştir. SDY durumunda maksimum basınç ÜÖN'den sonra 5.99 KA'da 158.05 bar olarak ölçülmüştür. %5.55, 10.01, 13.60 ve 17.41 BF oranları için ölçülen maksimum silindir basınçları sırasıyla 159.32, 163.26, 168.56 ve 168.32 bar, bu basınçların oluştuğu açılar ise sırasıyla 5.40, 5.12, 4.51 ve 4.81 KA şeklinde belirlenmiştir.



Şekil 3.62. YSO'da ve 4000 d/d'de farklı BF oranları için; a) açığa çıkan ısı, b) silindir basınçlarının ve c) sıcaklıklarının KA'ya göre değişimleri



Şekil 3.62'nin devamı

Yine %17.41 BF durumunda basınç sensörünün algılama sınırına ulaşıldığı görülmektedir. Bu nedenle bu BF oranında maksimum basıncın, gerçekte ölçülen değerden daha yüksek olduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak SDY durumuna göre BF oranı arttıkça

maksimum basınçların da doğal olarak arttığı ve ÜÖN'ye biraz daha yakın bir açıda oluştukları görülmektedir. Şekil 3.62 (c)'de görülebileceği gibi %14.93 ve 19.80 BF oranlarında silindir sıcaklıkları da daha yüksek çıkmıştır. Sıcaklıkların artması, efektif verim açısından olumlu sonuç verirken NO<sub>x</sub> açısından olumsuzluk doğurmaktadır. SDY durumunda maksimum sıcaklığın 2020.19 K ve oluştuğu açının 20.97 KA olduğu görülmektedir. %5.55, 10.01, 13.60 ve 17.41 BF oranlarında ise sırası ile hesaplanan maksimum sıcaklıklar 2065.41, 2070.40, 2147.17 ve 2178.22 K olarak ve bu sıcaklıkların oluştuğu açılar ise 19.80, 20.22, 20.15 ve 18.63 KA olarak belirlenmiştir.

Burada 4000 d/d yüksek devirde BF için şu yorumların yapılmasında fayda vardır: 4000 d/d devir sayısında, dizel yakıtının ana yanması (açığa çıkan ısı eğrisinde 2. tepe) ile benzinin anlık yanması (açığa çıkan ısı eğrisinde 1. tepe), KA bakımından birbirine çok yaklaşmıştır. Bilindiği üzere literatürde, açığa çıkan maksimum ısının %10'u ile %90'ını oluşturan aralık yanma süresi olarak alınabilmektedir (Muinos vd., 2017; Zhang vd., 2014; Singh vd., 2014). Yanma süresi; açığa çıkan maksimum ısının %10'luk değeri, maksimum açığa çıkan ısıdan önceki verilerden yararlanarak ve açığa çıkan maksimum ısının %90'ına denk gelen değer, maksimum açığa çıkan ısıdan sonraki verilerden yararlanılarak bulunmaktadır. Böylece aradaki açı farkının hesaplanması yolu ile yanma süresi belirlenmektedir. Deney sonuçlarından, homojen dolgunun kendi kendine tutuşması süresince açığa çıkan ısı ile dizel yakıtının ana yanması (Klasik dizel yanmasında bu evre karışım kontrollü yanma evresi veya ana yanma evresi olarak bilinir) süresince açığa çıkan ısı, düşük devirlerde rahatlıkla ayırt edilebilmektedir. Yüksek devirlerde (sunulan deneylerdeki 4000 d/d'de) ise benzinin anlık yanması ile dizel yakıtının ana yanma evresi arasında çok kısa bir süre olduğundan, açığa çıkan ısının maksimum değerinin %10'una denk gelen veri, benzinin anlık yanmasının başlangıcında oluşmaktadır. Bu nedenle; yanma süresi belirlenirken, homojen dolgulu motorlara daha uygun bir hesap yönteminin geliştirilmesinin daha doğru olacağı söylenebilir.

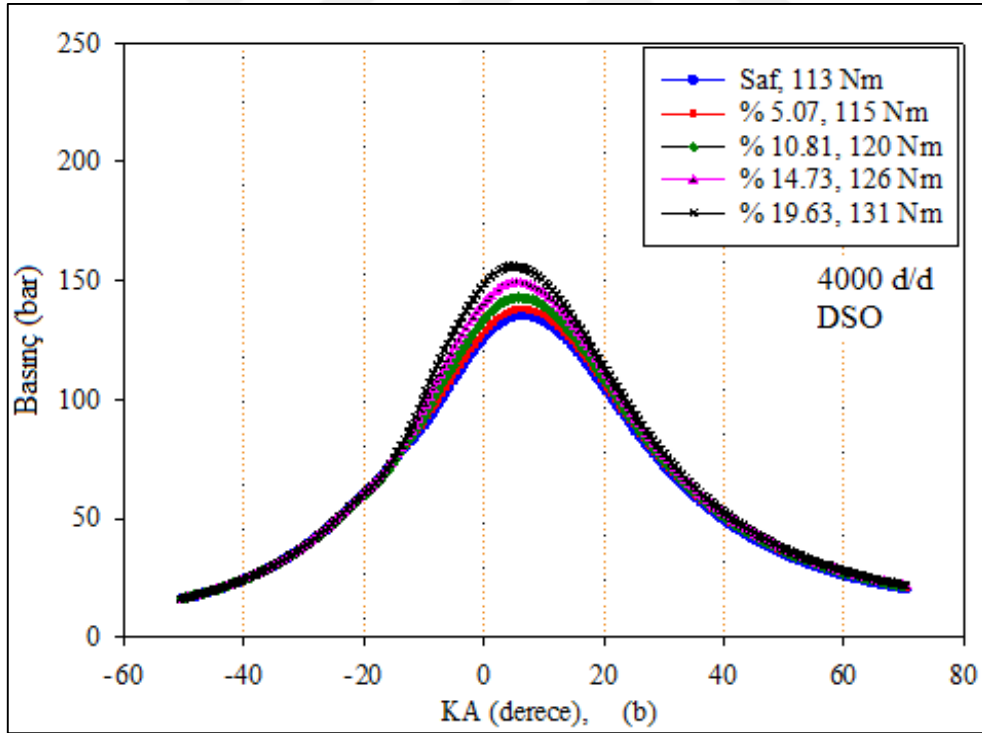
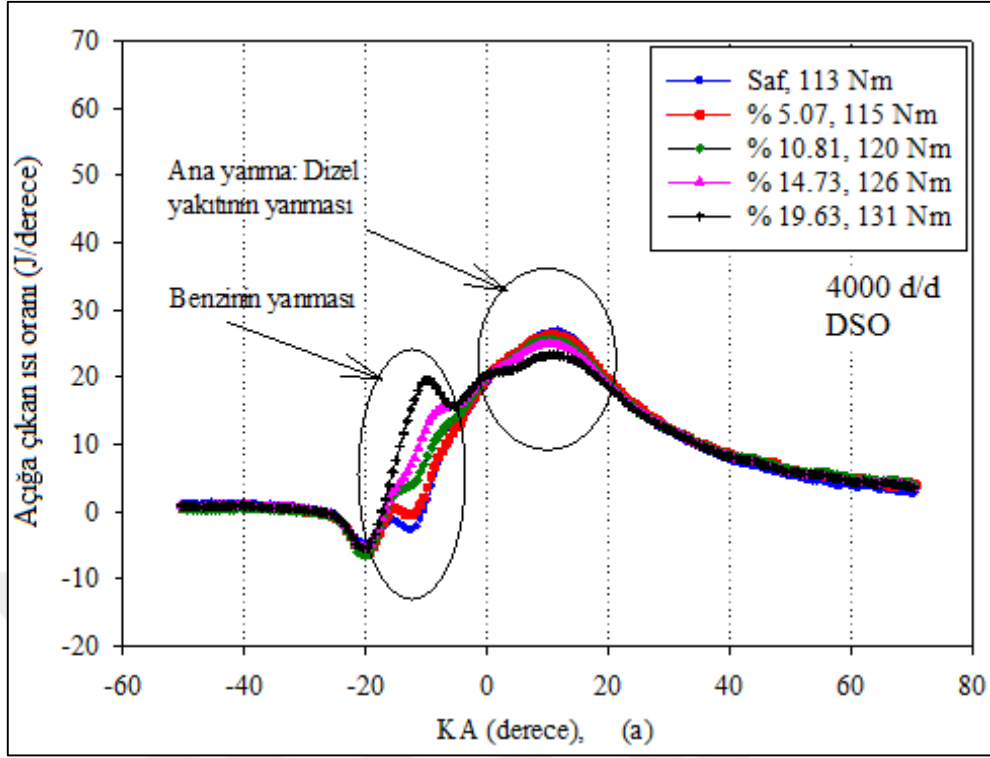
DSO için 4000 d/d'de BF'nin; açığa çıkan ısı, sıcaklık ve basınç üzerindeki etkileri Şekil 3.63 (a-c)'de sırasıyla gösterilmiştir. Burada %19.63 BF durumunda ana yanmanın bir miktar bozulduğu, genel olarak benzin yanmasının ana yanma ile neredeyse birleştiği görülmektedir. Şekil 3.63 (a) incelendiğinde, SDY durumunda açığa çıkan ısı eğrisinin literatürde verilen klasik dizel yanmasını gösteren eğriye benzediği görülmektedir. Bununla birlikte 2000 d/d devir sayısında da ayrıntılı biçimde açıklandığı gibi BF ile açığa çıkan ısı eğrisinde birisi ÜÖN'den önce ve diğeri de ÜÖN'den sonra olmak üzere iki tepe meydana

gelmektedir. Ayrıca ilgili eğri incelendiğinde BF oranı arttıkça birinci tepenin yüksekliğinin arttığı ve ikinci tepenin yüksekliğinin ise azaldığı görülebilir. Diğer taraftan %14.73 ve 19.63 BF oranlarında yine üç farklı tepe noktası gözlenebilmektedir.

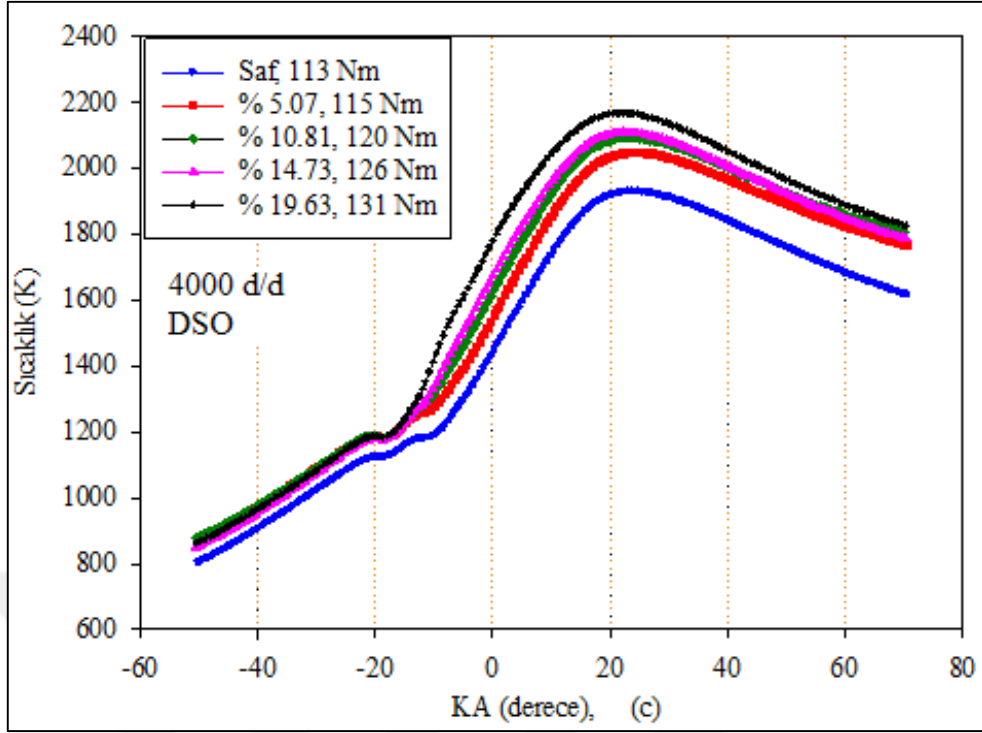
Şekil 3.63 (b)'de farklı BF oranları için silindir basınçlarının KA'ya göre değişimleri gösterilmiştir. SDY durumunda maksimum basınç ÜÖN'den sonra 6.89 KA'da 135.29 bar olarak ölçülmüştür. %5.07, 10.81, 14.73 ve 19.63 BF oranları için ölçülen maksimum silindir basınçları sırasıyla 138.20, 142.85, 149.13 ve 156.16 bar, bu basınçların oluştuğu açılar ise 6.31, 6.31, 5.41 ve 4.81 KA şeklinde olmuştur. SDY durumuna göre BF oranı arttıkça maksimum basınçların arttığı ve ÜÖN'den biraz önce oluştukları görülmektedir. Ancak maksimum basınçların oluştuğu açılar ÜÖN'ye yaklaşmasına karşın, 4000 d/d'de ve DSO'da BF ile yanma süreleri artmıştır.

Sıcaklıkları gösteren Şekil 3.63 (c) incelendiğinde, BF ile sıcaklıkların doğal olarak arttığı görülmektedir. Bu durumda, SDY'nin yanında ek olarak benzinin de yandığı düşünüldüğünde sıcaklıkların artması doğaldır. Çünkü burada BF uygulanırken püskürtülen dizel yakıtı miktarında değişiklik yapılmamıştır. SDY durumunda maksimum sıcaklığın 1928.04 K ve oluştuğu açının 23.68 KA olduğu görülmektedir. %5.07, 10.81, 14.73 ve 19.63 BF oranlarında ise sırası ile hesaplanan maksimum sıcaklıklar 2046.23, 2092.30, 2107.56 ve 2167.14 K ve bu sıcaklıkların oluştuğu açılar sırası ile 23.72, 23.16, 22.84 ve 22.24 KA olarak belirlenmiştir. YSO sonuçları ile karşılaştırıldığında; DSO'da maksimum sıcaklıkların çok fazla değişmediği ancak bu sıcaklıkların oluştuğu açı değerlerinin arttığı görülmektedir.

Yanma süreleri incelendiğinde; 4000 d/d'de SDY durumunda yanma süresi 25.77 KA olarak belirlenmiştir. %5.07, 10.81, 14.73 ve 19.63 BF oranları için ise yanma süreleri sırasıyla; 25.82, 27.67, 32.45 ve 33.06 KA şeklinde belirlenmiştir. 4000 d/d'de ve DSO'da da dizel yakıtının ana yanma evresi ile benzin anlık yanması evresinin birbirine yakın olmuştur. Buna karşın, özellikle %14.73 ve 19.63 gibi yüksek BF oranlarında benzin anlık yanmasının devam ettiği ve belki de dizel yakıtının ana yanması ile birleştiği de düşünülebilir. Bunun sonucunda da yanma süresinin uzadığı tahmin edilebilir.



Şekil 3.63. DSO'da ve 4000 d/d'de farklı BF oranları için; a) açığa çıkan ısı, b) silindir basınçlarının ve c) sıcaklıklarının KA'ya göre değişimleri



Şekil 3.63'ün devamı

Aslında benzinin anlık yanmasından sonra yanmamış olan bir miktar benzinin dizel yakıtı ile yanmaya devam edeceği öngörülebilir. Ayrıca BF ile silindir sıcaklıkları daha yüksek olduğu dizel yakıtının art yanmaları da devam edebilir. Aslında bu durum basınç ve açığa çıkan ısı eğrileri birlikte incelendiğinde daha iyi anlaşılmaktadır. BF ile yanma süresinin arttığı ancak maksimum basınçların olduğu KA'ların ÜÖN'ye yaklaştığı görülmektedir. Bu nedenle, dizel yakıtının art yanmasının devam ettiği söylenebilir. Böylece dizel yakıtının art yanmasının, yanma süresini artırmış olduğu düşünülmektedir. Dizel yakıtı daha iyi yandığı ve silindir sıcaklıkları attığı zaman toplam hidrokarbonların azalacağı, buna karşın NO<sub>x</sub>'lerin artacağı literatürden bilinmektedir (Heywood, 1998; Durgun, 2018).

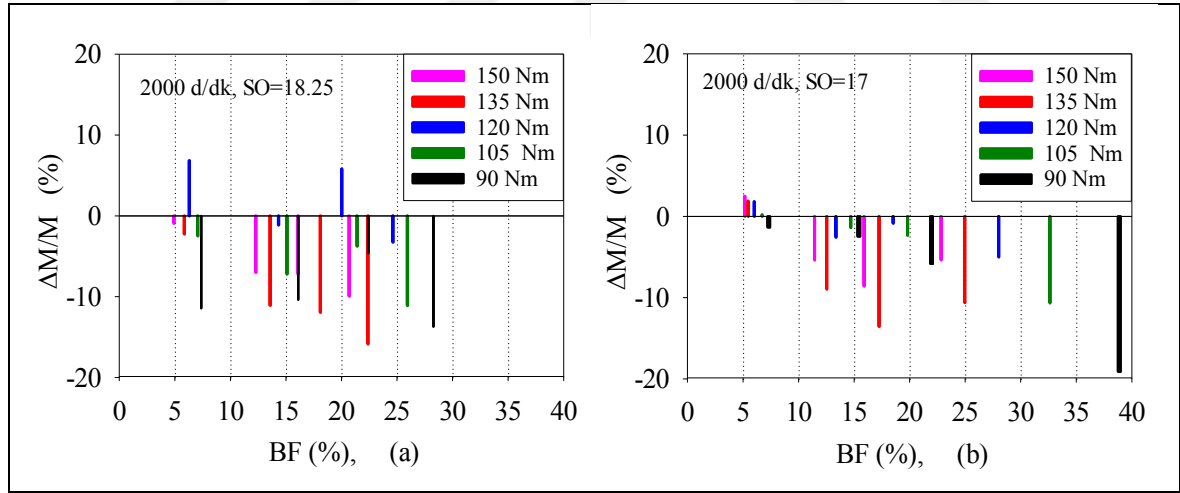
### 3.5. Benzin Fumigasyonunun Yakıt Maliyeti Üzerindeki Etkileri

2000 d/d devir sayısı için yakıt maliyetindeki değişim oranları Tablo 3.7'de sunulmuştur. Ayrıca BF ile saf duruma göre, yakıt maliyetindeki tüm değişimler sütun grafiği şeklinde Şekil 3.64 (a ve b)'te verilmiştir.

İlgili şekiller ve Tablo 3.7 incelendiğinde, birkaç durum hariç BF oranlarının çoğunda yakıt maliyetinin azaldığı ve düşük yüklerde yakıt maliyetindeki düşüşün daha belirgin olduğu görülebilir. 2000 d/d’de yakıt maliyetindeki en fazla iyileşme; YSO için 90 Nm döndürme momentinde, %28.27 BF durumunda %13.73 olarak, DSO için yine 90 Nm döndürme momentinde, %38.87 BF durumunda %19.12 olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.7. 2000 d/d’de; yakıt maliyetinin, BF’ye göre değişim oranları

	150 Nm		135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	5.00	-0.91	5.88	1.35	6.27	6.83	6.97	-2.49	7.36	-11.45
	12.37	-7.00	13.60	-5.52	14.30	-1.13	15.00	-7.20	16.09	-10.41
	16.17	-7.22	18.12	-0.80	20.00	5.80	21.32	-3.76	22.41	-4.63
	20.78	-9.94	22.41	-3.29	24.60	-3.26	25.85	-11.10	28.27	-13.73
DSO	5.22	2.50	5.47	10.18	5.99	1.82	6.66	0.20	7.31	-1.35
	11.49	-5.38	12.55	-3.21	13.34	-2.59	14.64	-1.39	15.42	-2.48
	15.95	-8.59	17.26	-1.06	18.49	-0.85	19.75	-2.35	21.97	-5.85
	22.89	-5.37	24.98	0.09	28.00	-5.01	32.57	-10.67	38.87	-19.12



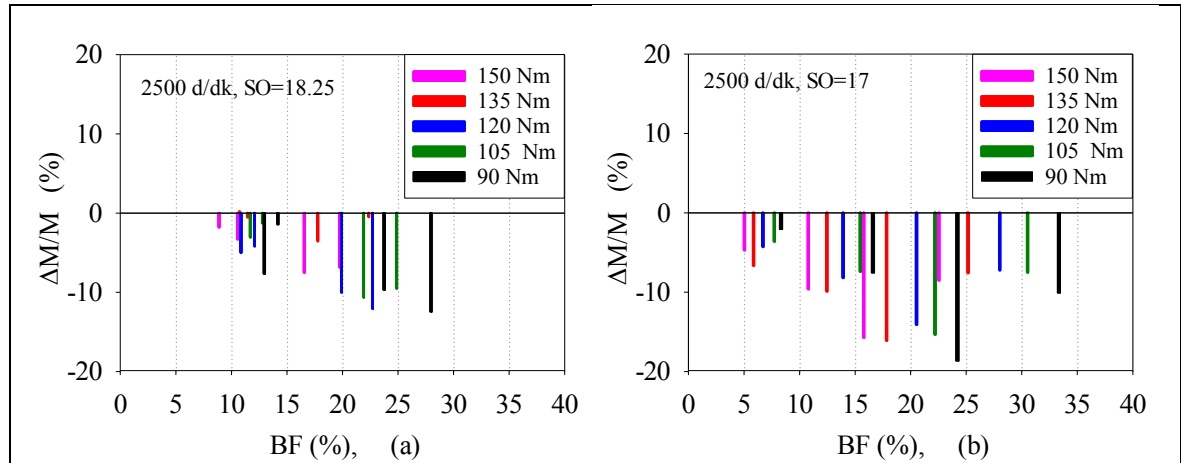
Şekil 3.64. 2000 d/d’de; yakıt maliyetinin, BF oranına göre değişim oranları (a)  $\varepsilon=18.25$  (b)  $\varepsilon=17$

Benzer şekilde 2500 d/d devir sayısı için yakıt maliyetindeki değişim oranları Tablo 3.8’de sunulmuştur. Ayrıca söz konusu devirde hem YSO ve hem de DSO için yakıt maliyetindeki tüm değişimler sütun grafiği şeklinde Şekil 3.65 (a ve b)’de verilmiştir.

İlgili şekiller ve Tablo 3.8 incelendiğinde, 2500 d/d devir sayısında her iki sıkıştırma oranı için de yakıt maliyetinde önemli azalmalar sağlandığı anlaşılmaktadır. BF ile yakıt maliyetinde meydana gelen azalmaların aslında ÖYT'deki azalmadan kaynaklandığı düşünülmektedir. Yakıt maliyetindeki maksimum azalmalar; YSO için, 90 Nm döndürme momentinde, %27.97 BF durumunda %12.44 ve DSO için yine 90 Nm döndürme momentinde, %33.35 BF durumunda %10.11 olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.8. 2500 d/d'de; yakıt maliyetinin, BF'ye göre değişim oranları

	150 Nm		135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	8.91	-1.81	10.73	0.19	10.85	-5.01	11.67	-3.07	12.96	-7.67
	10.57	-3.31	11.46	-0.52	12.07	-4.19	12.76	-1.27	14.18	-1.41
	16.58	-7.53	17.78	-3.55	19.90	-10.03	21.88	-10.65	23.75	-9.69
	19.78	-6.88	22.37	-0.47	22.70	-12.08	24.85	-9.52	27.97	-12.44
DSO	5.16	-4.71	5.90	-6.66	6.66	-4.28	7.60	-3.61	8.33	-2.09
	10.91	-9.61	12.50	-9.89	13.87	-8.19	15.34	-7.41	16.60	-7.57
	15.90	-15.73	17.87	-16.10	20.49	-14.09	22.07	-15.33	24.21	-18.67
	22.67	-8.51	25.21	-7.58	27.98	-7.23	30.40	-7.51	33.35	-10.11



Şekil 3.65. 2500 d/d'de; yakıt maliyetinin, BF'ye göre değişim oranları (a)  $\epsilon=18.25$  ve (b)  $\epsilon=17$

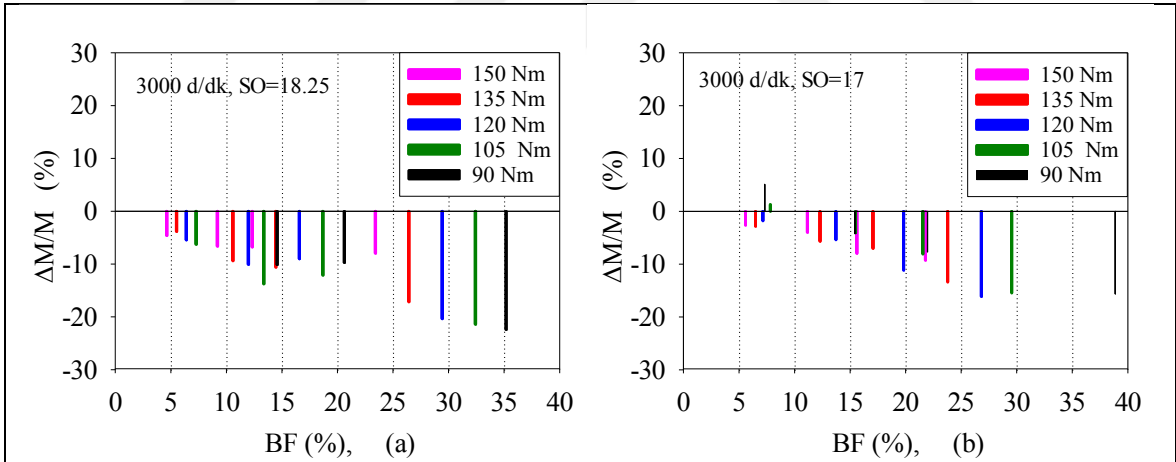
3000 d/d devir sayısı için yakıt maliyetindeki değişim oranları Tablo 3.9'da sunulmuştur. Ayrıca söz konusu devirde hem YSO ve hem de DSO için yakıt maliyetindeki tüm değişimler sütun grafiği şeklinde Şekil 3.66 (a ve b)'de verilmiştir.



İlgili şekiller ve Tablo 3.9 incelendiğinde, 3000 d/d devir sayısında her iki sıkıştırma oranı için de yakıt maliyetinde önemli azalmalar sağlandığı anlaşılmaktadır. Yakıt maliyetindeki maksimum azalmalar; YSO için, 75 Nm döndürme momentinde, %35.18 BF durumunda %22.46 ve DSO için yine 75 Nm döndürme momentinde, %38.87 BF durumunda %15.66 olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.9. 3000 d/d'de; yakıt maliyetinin, BF'ye göre değişim oranları

	135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm		75 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	4.74	-4.63	5.55	-3.86	6.35	-5.46	7.16	-6.29	7.97	0.00
	9.30	-6.64	10.62	-9.40	11.94	-10.09	13.25	-13.76	14.57	-10.16
	12.43	-6.79	14.48	-10.61	16.53	-9.02	18.57	-12.12	20.62	-9.77
	23.53	-7.98	26.46	-17.18	29.39	-20.37	32.31	-21.43	35.18	-22.46
DSO	5.63	-2.64	6.50	-2.85	7.13	-1.80	7.77	1.28	7.31	5.11
	11.20	-4.02	12.30	-5.70	13.70	-5.41	15.44	-4.09	15.42	-4.24
	15.65	-8.00	17.07	-7.04	19.80	-11.17	21.50	-8.10	21.97	-7.71
	21.83	-9.29	23.80	-13.39	26.80	-16.15	29.50	-15.46	38.87	-15.66



Şekil 3.66. 3000 d/d'de; yakıt maliyetinin, BF'ye göre değişim oranları (a)  $\varepsilon=18.25$  ve (b)  $\varepsilon=17$

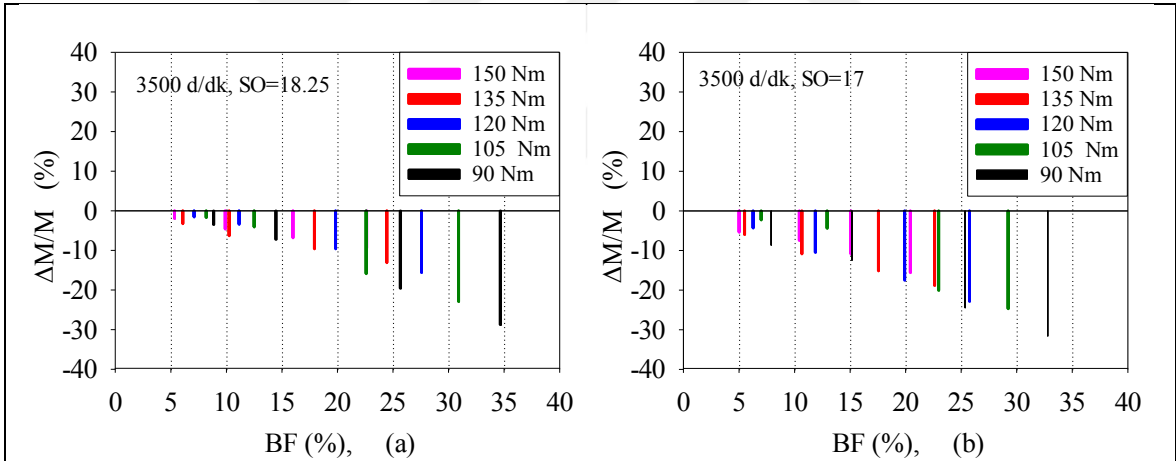
3500 d/d devir sayısı için yakıt maliyetindeki değişim oranları Tablo 3.10'da sunulmuştur. Ayrıca söz konusu devirde hem YSO ve hem de DSO için yakıt maliyetindeki tüm değişimler sütun grafiği şeklinde Şekil 3.67 (a ve b)'de verilmiştir.

İlgili şekiller ve Tablo 3.10 incelendiğinde, 3500 d/d devir sayısında her iki sıkıştırma oranı için de BF ile yakıt maliyetinde önemli azalmalar sağlandığı anlaşılmaktadır. Yakıt

maliyetindeki maksimum azalmalar; YSO için, 75 Nm döndürme momentinde, %34.67 BF durumunda %28.80 ve DSO için yine 75 Nm döndürme momentinde, %32.79 BF durumunda %31.61 olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.10. 3500 d/d'de; yakıt maliyetinin, BF'ye göre değişim oranları

	135 Nm		120 Nm		105 Nm		90 Nm		75 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	5.35	-1.96	6.08	-3.26	7.08	-1.55	8.16	-1.71	8.84	-3.47
	9.91	-4.64	10.25	-6.33	11.13	-3.42	12.47	-4.08	14.45	-7.25
	16.01	-6.85	17.92	-9.63	19.82	-9.63	22.56	-15.90	25.67	-19.61
	22.65	-9.44	24.45	-13.12	27.56	-15.63	30.88	-22.95	34.67	-28.80
DSO	5.05	-5.39	5.51	-5.98	6.25	-4.33	6.94	-2.27	7.89	-8.69
	10.47	-7.49	10.67	-10.87	11.85	-10.49	12.88	-4.41	15.16	-12.52
	15.12	-10.92	17.56	-15.15	19.89	-17.50	22.93	-20.07	25.35	-24.48
	20.47	-15.61	22.62	-18.83	25.73	-22.84	29.18	-24.70	32.79	-31.61



Şekil 3.67. 3500 d/d'de; yakıt maliyetinin, BF'ye göre değişim oranları (a)  $\varepsilon=18.25$  ve (b)  $\varepsilon=17$

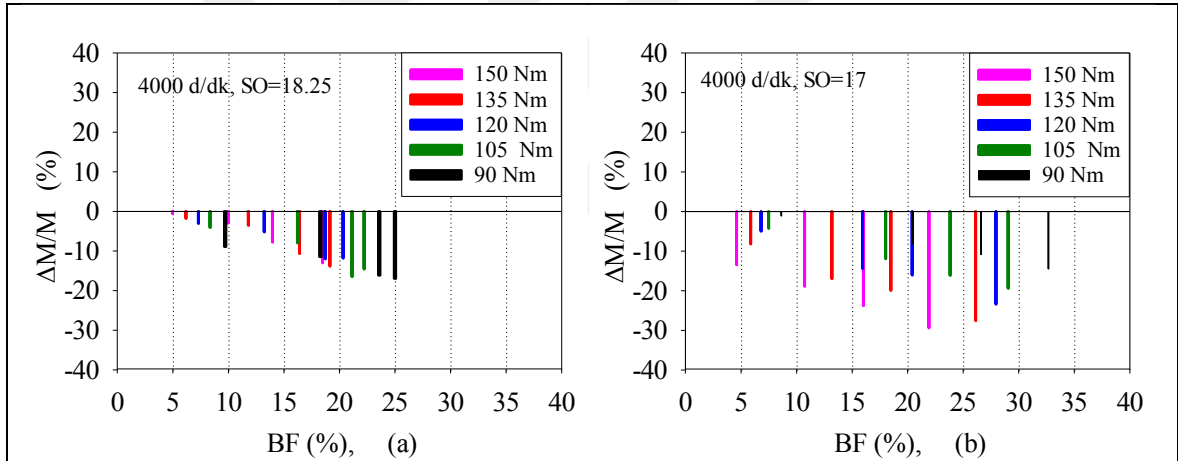
4000 d/d devir sayısı için yakıt maliyetindeki değişim oranları Tablo 3.11'de sunulmuştur. Ayrıca söz konusu devirde hem YSO ve hem de DSO için yakıt maliyetindeki tüm değişimler sütun grafiği şeklinde Şekil 3.65 (a ve b)'de verilmiştir.

İlgili şekiller ve Tablo 3.11 incelendiğinde, 4000 d/d devir sayısında her iki sıkıştırma oranı içinde yakıt maliyetinde önemli azalmalar sağlandığı anlaşılmaktadır. Yakıt maliyetindeki maksimum azalmalar; YSO için, 60 Nm döndürme momentinde, %25.00 BF durumunda %16.96 ve DSO için 120 Nm döndürme momentinde, %16.04 BF durumunda

%23.79 olarak belirlenmiştir. DSO için yüksek yüklerde yakıt maliyetinin daha düşük gerçekleşmesi dikkat çekicidir.

Tablo 3.11. 4000 d/d'de; yakıt maliyetinin, BF'ye göre değişim oranları

	120 Nm		105 Nm		90 Nm		75 Nm		60 Nm	
	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]	BF [%]	Değişim [%]
YSO	5.00	-0.54	6.19	-1.75	7.28	-3.02	8.30	-4.06	9.70	-8.93
	10.00	-2.95	11.80	-3.52	13.21	-5.19	16.17	-7.96	18.28	-11.52
	14.00	-7.77	16.41	-10.64	18.69	-12.02	21.09	-16.49	23.58	-16.14
	18.51	-13.00	19.14	-13.85	20.31	-11.80	22.18	-14.57	25.00	-16.96
DSO	4.63	-13.49	5.88	-8.23	6.79	-4.99	7.46	-4.28	8.62	-1.08
	10.75	-18.90	13.18	-16.97	15.92	-14.43	17.99	-11.94	20.48	-8.21
	16.04	-23.79	18.49	-19.94	20.40	-16.05	23.80	-16.14	26.62	-10.87
	21.94	-29.40	26.13	-27.57	27.94	-23.40	29.02	-19.40	32.67	-14.47



Şekil 3.68. 4000 d/d'de; yakıt maliyetinin, BF'ye göre değişim oranları (a)  $\varepsilon=18.25$  ve (b)  $\varepsilon=17$

#### 4. SONUÇLAR

Sunulan tez çalışmasında, güncel taşıtlarda kullanılan Renault K9K700 tipi bir dizel motorunda BF'nin, motor karakteristikleri, yanma, açığa çıkan ısı oranı, eksoz emisyonları ( $\text{NO}_x$  ve is) ve maliyet üzerindeki etkileri iki farklı sıkıştırma oranı için deneysel olarak incelenmiştir. Burada; %0, 5, 10, 15 ve 20 gibi 5 farklı BF oranı ve 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 d/d gibi 5 farklı devir sayısı seçilmiştir. Ayrıca her bir devir sayısında 5 farklı döndürme momenti değeri belirlenmiştir. Deneysel sistemde ve motorda her hangi bir değişiklik yapılmadan önce SDY deneyleri yapılmıştır. Daha sonra, motorun emme manifolduna adapte edilmiş bir karbüratör eklenmiş ve bu karbüratör aracılığı ile ayarlanan miktarda benzin, emme havasının içerisine püskürtülmüştür. Tez çalışmasının birinci bölümünde, SDY ve BF deneyleri motorun orijinal sıkıştırma oranı olan 18.25'te yapılmıştır ve sonuçlar SDY'ye göre karşılaştırılarak ayrıntılı biçimde irdelenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise; tez çalışmasının amacını gerçekleştirmek için, yani motoru homojen dolgulu motora benzetebilmek için motorun sıkıştırma oranı, daha kalın bir silindir kapak contası kullanılarak 17'ye düşürülmüştür. Sıkıştırma oranı 17'ye düşürüldükten sonra, önce SDY ve ardından da yukarıda seçilen BF oranlarında ve devir sayılarında tüm deneyler tekrarlanmıştır. Böylece; BF sonuçları, hem SDY sonuçları ile hem de farklı sıkıştırma oranlarında karşılaştırılmış ve irdelenmiştir. Aşağıda, sunulan çalışmadan elde edilen başlıca sonuçlar kısaca özetlenmiştir:

1. Deneyler sonucunda; BF ile seçilen tüm çalışma koşullarında, saf duruma kıyasla ÖYT'nin önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 d/d devir sayılarında, seçilen en yüksek moment değerlerinde, YSO ve DSO için seçilen BF'ler ile ÖYT'de ortalama olarak elde edilen değişimler sırasıyla %-8.78, -7.54, -8.83, -8.22 ve -8.31 ve %-6.81, -12.07, -8.51, -12.14 ve -23.42 olarak belirlenmiştir.

Motorun maksimum döndürme momentinin olduğu 2000 d/d'de ve YSO'da, ÖYT'de elde edilen maksimum azalma, 90 Nm yükte ve %28.27 BF oranında %17.97 olarak bulunmuştur. Bu devir için DSO'da, ÖYT'de elde edilen maksimum azalma ise 90 Nm yükte ve %38.87 BF oranında %24.05 olarak elde edilmiştir. Motorun maksimum efektif gücünün olduğu 4000 d/d nominal devir sayısında ve YSO durumunda 60 Nm yükte ve %25.00 BF oranında %20.70 ile ÖYT'de maksimum iyileşmeye ulaşılmıştır. Nominal devirde DSO'da

ise ÖYT'deki maksimum iyileşme 120 Nm yükte ve %21.94 BF oranında %32.28 olarak belirlenmiştir.

**2.** BF ile ÖYT'deki azalmalar etkin olduğu için; BF, SDY'ye göre daha ekonomik olmuştur. BF ile seçilen tüm çalışma koşullarında yakıt maliyetinin önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 d/d devir sayılarında; belirlenen en yüksek moment değerlerinde, YSO ve DSO için seçilen BF'ler ile maliyette sağlanan ortalama değişimler sırasıyla, %-6.27, -4.88, -6.51, -5.72 ve -6.07 ve %4.21, -9.64, -5.99, -9.85 ve -21.40 olarak belirlenmiştir.

2000 d/d devir sayısında ve YSO durumunda 90 Nm yükte ve %28.27 BF oranında %13.73 ile yakıt maliyetinde maksimum iyileşme elde edilmiştir. Bu devir için DSO'da ise maliyetteki maksimum iyileşme 90 Nm yükte ve %38.87 BF oranında %19.12 olarak belirlenmiştir. 4000 d/d devir sayısında ve YSO durumunda 60 Nm yükte ve %25.00 BF oranında %16.96 ile yakıt maliyetinde maksimum iyileşmeye ulaşılmıştır. Nominal devir için DSO'da, maliyetteki maksimum iyileşme 120 Nm yükte ve %21.94 BF oranında %29.40 olarak belirlenmiştir.

**3.** BF ile seçilen tüm çalışma koşullarında efektif verimlerin önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir. 2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 d/d devir sayılarında, belirlenen en yüksek moment değerlerinde, YSO ve DSO için seçilen BF'ler ile efektif verimde ortalama olarak elde edilen değişimler sırasıyla %8.78, 7.54, 8.83, 8.22 ve 8.31 ve %6.81, 12.07, 8.51, 12.14 ve 23.42 şeklinde bulunmuştur.

2000 d/d devir sayısında ve YSO durumunda 90 Nm yükte ve %28.27 BF oranında %17.97 ile efektif verimde maksimum iyileşme elde edilmiştir. Bu devir için DSO'da ise efektif verimdeki maksimum iyileşme 90 Nm yükte ve %38.87 BF oranında %24.05 olarak belirlenmiştir. 4000 d/d devir sayısında ve YSO durumunda, 60 Nm yükte ve %25.00 BF oranında %20.70 ile efektif verimde maksimum iyileşmeye ulaşılmıştır. Nominal devir için DSO'da ise efektif verimdeki maksimum iyileşme 120 Nm yükte ve %21.94 BF oranında %32.28 olarak belirlenmiştir.

**4.** NO<sub>x</sub>; hem YSO hem de DSO durumunda, 2000 ve 2500 d/d devir sayılarında genellikle azalmıştır ancak 3000, 3500 ve 4000 d/d devir sayılarında genel olarak artmıştır. 3000 d/d devir sayısında ise; YSO'da sadece 135 Nm yükte ve yüksek BF oranlarında iyileşme elde edilebilmiştir. Yine bu devirde DSO'da hemen hemen tüm durumlarda iyileşmeler elde edilmiş, yükün ve BF'nin artması ile iyileşme de artmıştır. NO<sub>x</sub> açısından DSO'daki sonuçların YSO'daki sonuçlara göre genellikle daha iyi olduğu görülmüştür.

2000, 2500, 3000, 3500 ve 4000 d/d devir sayılarında, belirlenen en yüksek moment değerlerinde, YSO ve DSO için seçilen BF'ler ile NO<sub>x</sub>'te ortalama olarak elde edilen değişimler sırasıyla %1.25, -15.11, -19.95, -6.82 ve 27.30 ve %21.33, -9.13, -26.78, 20.07 ve 21.07 şeklinde belirlenmiştir.

2000 d/d'de ve YSO'da, NO<sub>x</sub>'te elde edilen maksimum azalma; 90 Nm yükte, %22.41 ile 28.27 BF durumlarında %41.59 olarak belirlenmiştir. Söz konusu devir için DSO'da, NO<sub>x</sub>'te elde edilen maksimum azalma ise 120 Nm yükte ve %28.00 BF oranında %29.37 şeklinde elde edilmiştir. 2500 d/d'de ve YSO'da, NO<sub>x</sub>'te elde edilen maksimum azalma; 135 Nm yükte, %22.37 BF durumunda %51.65 olarak belirlenmiştir. Bu devir için DSO'da ise NO<sub>x</sub>'te elde edilen maksimum azalma 105 Nm yükte ve %22.07 BF oranında %22.65 şeklinde oluşmuştur.

4000 d/d devir sayısında ve YSO durumunda 90 Nm yükte ve %20.31 BF durumunda %18.00 ile NO<sub>x</sub>'te maksimum azalmaya ulaşılmıştır. Nominal devirde DSO'da ise NO<sub>x</sub>'teki maksimum azalma 90 Nm yükte ve %27.94 BF oranında %7.50 olarak belirlenmiştir.

**5.** Bu tez çalışmasında isler (opasite değerleri), yalnızca YSO'da ve 2000 ile 2500 d/d olmak üzere iki farklı devir sayısında ölçülmüştür. Genel olarak her iki devir sayısında da düşük BF oranlarında islerin azaldığı ve BF oranı arttıkça islerin de arttığı görülmüştür. İslerde belirlenen en büyük azalmalar 2500 d/d'de %7.22 BF oranında %32.11 ve 2000 d/d'de %5.23 BF oranında %8.47 olarak belirlenmiştir.

**6.** Hem YSO hem de DSO için, BF ile açığa çıkan ısı oranının krank mili açısına göre değişimini gösteren eğriler SDY'nin eğrisinden biraz farklı olmuştur. SDY durumunda ilgili eğrilerde ÜÖN'den sonra olmak üzere bir tepenin (maksimum açığa çıkan ısı oranı noktasının) bulunmasına karşın, BF durumunda ilgili eğrilerde ÜÖN'den önce bir tane ve ÜÖN'den sonra bir tane olmak üzere iki tepenin oluştuğu görülmüştür. İlk tepenin; emme havasına eklenen benzinin, dizel yakıtının tutuşma gecikmesi sonunda yanmasının hemen ardından anlık yanmasından kaynaklandığı düşünülmüştür ve BF oranı arttıkça ilk tepenin yüksekliğinin arttığı ve ikinci tepenin yüksekliğinin ise azaldığı belirlenmiştir.

**7.** Hem YSO hem de DSO için, BF ile silindir basınçlarının ve sıcaklıklarının arttığı görülmüştür. BF oranı arttıkça hem silindir basınçlarındaki hem de silindir sıcaklıklarındaki artışlar daha etkin olmuştur.

2000 d/d devir sayısı ve YSO için, SDY durumunda maksimum gaz basıncı ÜÖN'den sonra 10.73 KA'da 157.25 bar olarak ölçülmüştür. Aynı devir ve sıkıştırma oranında; %5.23, 11.81, 14.47 ve 18.86 BF oranları için ölçülen maksimum silindir basınçları sırasıyla 157.12,

165.69, 169.04 ve 170.30 bar ve bu basınçların oluştuğu açılar ise 10.11, 9.71, 9.35 ve 10.70 KA olmuştur. YSO durumunda BF ile maksimum basınçların arttığı görülmektedir. 2000 d/d devir sayısı ve DSO için, SDY durumunda maksimum gaz basıncı ÜÖN'den sonra 11.40 KA'da 135.14 bar olarak ölçülmüştür. Aynı devir ve sıkıştırma oranı için %5.07, 10.88, 14.93 ve 20.09 BF oranlarında ölçülen maksimum silindir basınçları sırasıyla 144.21, 147.46, 153.16 ve 162.26 bar ve bu basınçların oluştuğu açılar ise 10.83, 10.46, 9.75 ve 8.94 KA olmuştur. DSO durumunda da BF ile maksimum basınçların arttığı, bu basınçların oluştuğu açı değerlerinin ise BF ile küçüldüğü görülmektedir.

4000 d/d devir sayısı ve YSO için, SDY durumunda maksimum gaz basıncı ÜÖN'den sonra 5.99 KA'da 158.05 bar olarak ölçülmüştür. Aynı devir ve sıkıştırma oranında %5.55, 10.01, 13.60 ve 17.41 BF oranları için ölçülen maksimum silindir basınçları sırasıyla 159.32, 163.26, 168.56 ve 168.32 bar ve bu basınçların oluştuğu açılar ise 5.40, 5.12, 4.51 ve 4.81 KA olmuştur. YSO durumunda BF ile maksimum basınçların arttığı ve bu basınçların oluştuğu açı değerlerinin küçüldüğü görülmektedir. 4000 d/d devir sayısı ve DSO için, SDY durumunda maksimum gaz basıncı ÜÖN'den sonra 6.89 KA'da 135.29 bar olarak ölçülmüştür. Aynı devir ve sıkıştırma oranı için %5.07, 10.81, 14.73 ve 19.63 BF oranlarında ölçülen maksimum silindir basınçları sırasıyla 138.20, 142.85, 149.13 ve 156.16 bar ve bu basınçların oluştuğu açılar ise 6.31, 6.31, 5.41 ve 4.81 KA olmuştur. DSO durumunda da BF ile maksimum basınçların arttığı ve bu basınçların oluştuğu açı değerlerinin küçüldüğü görülmektedir. Tüm devir sayıları için DSO'daki maksimum basınçların ise YSO'dakilere nazaran daha düşük değerler aldığı ve genelde daha büyük açılarda oluştuğu belirlenmiştir.

2000 d/d devir sayısı ve YSO için, SDY durumunda maksimum sıcaklık ÜÖN'den sonra 20.70 KA'da 1943.71 K olarak ölçülmüştür. Aynı devir ve sıkıştırma oranında %5.23, 11.81, 14.47 ve 18.86 BF oranları için ölçülen maksimum sıcaklıklar sırasıyla 1958.31, 2058.28, 2115.62 ve 2138.27 K ve bu sıcaklıkların oluştuğu açılar ise sırasıyla 20.43, 20.39, 20.82 ve 20.03 KA olmuştur. YSO'da maksimum sıcaklıkların BF ile arttığı belirlenmiştir. 2000 d/d devir sayısı ve DSO için, SDY durumunda maksimum sıcaklık ÜÖN'den sonra 23.70 KA'da 1979.92 K olarak ölçülmüştür. Aynı devir ve sıkıştırma oranı için %5.07, 10.88, 14.93 ve 20.09 BF oranlarında ölçülen maksimum sıcaklıklar sırasıyla 2041.78, 2105.22, 2155.86 ve 2145.03 K ve bu sıcaklıkların oluştuğu açılar ise sırasıyla 23.33, 23.50, 23.15 ve 22.57 KA olmuştur. DSO durumunda da BF ile maksimum sıcaklıkların arttığı görülmektedir.

4000 d/d devir sayısı ve YSO için, SDY durumunda maksimum sıcaklık ÜÖN'den sonra 20.97 KA'da 2020.19 K olarak ölçülmüştür. Aynı devir ve sıkıştırma oranında %5.55, 10.01, 13.60 ve 17.41 BF oranları için ölçülen maksimum sıcaklıklar sırasıyla 2065.41, 2070.40, 2147.17 ve 2178.22 K ve bu sıcaklıkların oluştuğu açılar ise sırasıyla 19.80, 20.22, 20.15 ve 18.63 KA olmuştur. YSO'da maksimum sıcaklıkların BF ile arttığı belirlenmiştir. 4000 d/d devir sayısı ve DSO için, SDY durumunda maksimum gaz sıcaklığı ÜÖN'den sonra 23.68 KA'da 1928.04 K olarak ölçülmüştür. Aynı devir ve sıkıştırma oranı için, %5.07, 10.81, 14.73 ve 19.63 BF oranlarında ölçülen maksimum sıcaklıklar sırasıyla 2046.23, 2092.30, 2107.56 ve 2167.14 K ve bu sıcaklıkların oluştuğu açılar ise sırasıyla 23.72, 23.16, 22.84 ve 22.24 KA olmuştur. DSO durumunda da BF ile maksimum sıcaklıkların arttığı görülmektedir. 2000 d/d devir sayısında DSO'daki maksimum sıcaklıkların YSO'dakilere göre biraz daha yüksek olduğu ve daha yüksek açı değerlerinde oluştuğu görülmektedir. 4000 d/d devir sayısında ise DSO'daki maksimum sıcaklıkların YSO'dakilere göre biraz daha düşük olduğu ve yine daha yüksek açı değerlerinde oluştuğu görülmektedir.

**8.** Hem YSO hem de DSO için, BF ile yanma sürelerinin genel olarak kısaldığı belirlenmiştir. 2000 d/d devir sayısı ve YSO için yanma süreleri; SDY ve %5.23, 11.81, 14.47 ve 18.86 BF oranları için sırasıyla 13.50, 13.30, 12.80, 14.76 ve 15.11 KA şeklinde hesaplanmıştır. 2000 d/d devir sayısında ve DSO'da yanma süreleri ise; SDY ve %5.07, 10.88, 14.93 ve 20.09 BF oranları için sırasıyla 15.10, 13.72, 13.33, 13.40 ve 14.23 KA şeklinde bulunmuştur.

Nominal devir olan 4000 d/d devir sayısında, YSO için yanma süreleri; SDY ve %5.55, 10.01, 13.60 ve 17.41 BF oranları için sırasıyla 24.56, 25.80, 31.98, 26.47 ve 27.04 KA olarak hesaplanmıştır. 4000 d/d devir sayısı ve DSO için yanma süreleri ise; SDY ve %5.07, 10.81, 14.73 ve 19.63 BF oranları için sırasıyla 25.77, 25.82, 27.67, 32.45 ve 33.06 KA olarak hesaplanmıştır. Buradan 4000 d/d'de BF ile yanma sürelerinin genel olarak arttığı görülmektedir.

**9.** Yukarıdaki sonuçlar incelendiğinde % 15'ten daha düşük oranlarda BF'nin mevcut dizel motorlarında çok küçük değişikliklerle ve ekonomik bir biçimde uygulanabileceği söylenebilir. Kullanılan motorda, orijinal sıkıştırma oranı olan 18.25 için %15'ten daha düşük oranlarda BF'nin uygulanması sonucunda; ÖYT'nin ve maliyetin önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte; NO<sub>x</sub>'te, BF ile yüksek devirlerde beklenen azalma tam olarak sağlanamamıştır. Söz konusu motorunun genellikle düşük devirlerde



kullanılacağı düşünülduğünde, BF ile 2000 ve 2500 d/d devir sayılarında  $\text{NO}_x$ 'in önemli ölçüde azalması bir üstünlük olarak görülebilir. İşlerin ise 2000 ve 2500 d/d devir sayılarında düşük BF oranlarında etkin bir biçimde azaldığı belirlenmiştir. Böylece ilgili motorda 18.25 orijinal sıkıştırma oranında %15'ten daha düşük oranlarda BF uygulandığında, daha ekonomik ve daha çevreci sonuçlara ulaşılabileceği belirlenmiştir.

**10.** Sıkıştırma oranı 17'ye düşürülerek BF uygulandığında,  $\text{NO}_x$  açısından orijinal sıkıştırma oranına göre daha iyi sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Yakıt tüketimi ve maliyet açısından da sonuçlar orijinal sıkıştırma oranı sonuçlarına çok benzemektedir. Aslında motorun püskürtme sistemi DSO'ya göre yeniden düzenlenebilirse sonuçların daha da iyileşebileceği tahmin edilmektedir. Böylece düşük sıkıştırma oranlı dizel motorlarında %15-20'den daha düşük oranlarda BF uygulanarak dizel motorları homojen dolgulu dizel motoru şeklinde çalıştırılabilir. Bu uygulamaların daha ekonomik ve çevreci olacağı kolaylıkla öngörülebilir.

## 5. ÖNERİLER

1. Sonuçlar bölümünde sunulan açıklamalar ve yorumlar yalnızca deneylerde kullanılan Renault K9K700 tipi dizel motoruna ilişkindir. Sonuçların genelleştirilebilmesi için deneylerin farklı sıkıştırma oranlarına sahip değişik tip dizel motorlarında da yapılması önerilebilir. Aslında deneysel çalışmaların pahalı ve zaman alıcı olduğu düşünüldüğünde, dizel motoru çevrimlerini hesaplayabilen bilgisayar programlarının hazırlanmasının ne kadar önemli olduğu anlaşılır. Çevrim programlarının bir kez doğruluğu ispatlandıktan sonra, çok değişik sayısal uygulamalar kısa sürede yapılabilir ve sonuçlar değişik açılardan irdelenebilir. Teorik çalışmalardan sonra daha az sayıda deney ile genelleştirilmiş sonuçlara ulaşılabilir.

2. Güncel taşıt motorunda sıkıştırma oranının biraz daha düşürülerek 17'den daha düşük sıkıştırma oranlarında da benzeri deneylerin yapılmasının daha yararlı olacağı söylenebilir. Sıkıştırma oranı düşürüldüğünde, motorun püskürtme sisteminde her hangi bir değişiklik yapılmamıştır. DSO ve aynı zamanda YSO'da da BF uygulandığında püskürtme sisteminde püskürtme basıncı, avansı ve süresi gibi parametreler üzerinde değişiklikler yapılarak en uygun çalışma koşulları bulunabilir. Bu durumlarda özellikle NO<sub>x</sub> açısından daha iyi sonuçların elde edilebileceği düşünülmektedir.

3. Sunulan tez çalışmasında; benzin emme havasının içerisine adapte edilmiş bir karbüratör aracılığı ile püskürtülmüştür. İleride yapılacak çalışmalarda karbüratör yerine elektronik olarak kontrol edilebilen düşük püskürtme basınçlı bir püskürtme sisteminin kullanılması önerilebilir. Ayrıca benzinin ön yanmasının, ana yanmaya eklenmesi amacıyla homojen dolgunun hazırlanması, doğrudan motorun içine sıkıştırma zamanının başlangıcında kontrollü olarak benzin püskürtebilecek bir enjektörün ve kontrol sisteminin kullanılması yardımıyla gerçekleştirilebilir.

4. NO<sub>x</sub>'i azaltmanın en iyi yöntemlerinden birisi emme havasına su püskürtmektir. Aynı motorda aynı çalışma koşulları altında BF ile birlikte emme havasına farklı bir enjektörle farklı oranlarda su püskürtülebilir. Ardından sonuçlar BF sonuçları ile karşılaştırılarak değişik irdelemeler yapılabilir.

5. Sunulan tez çalışmasında; BF'nin, eksoz emisyonlarından sadece NO<sub>x</sub> ve belirli devir sayılarında is (opasite) üzerindeki etkileri belirlenebilmiştir. Özellikle hidrokarbonlar (HC) ve karbon monoksit (CO) gibi eksoz emisyonlarının da ölçülmesinin, sonuçların daha

sağlıklı değerlendirilmesi açısından yararlı olacağı düşünülmektedir. Literatürden de görüleceği üzere, homojen dolgulu motorlarda hidrokarbon (HC) ve karbon monoksit (CO) emisyonlarında genellikle artış olmaktadır. Bu nedenle; BF'nin hem isler hem de HC ve CO emisyonları üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için; seçilen tüm çalışma koşulunda söz konusu emisyon değerlerinin ölçülmesinin yararlı olacağı söylenebilir. Literatürden ve basından bilindiği üzere, 2020'den sonra dizel motorlu taşıtların bazı Avrupa başkentlerinde kullanılmasına sınırlamalar getirilecektir. Bu nedenle, daha farklı motorlar ve daha farklı sıkıştırma oranları için, BF'nin hem motorun performans parametreleri hem de çevre kirliliği açısından incelenmesinin önemli olduğu düşünülmektedir.



## 6. KAYNAKLAR

- Abu-Qudais, M., Haddad, O. ve Qudaisat, M., 2000. The Effect of Alcohol Fumigation on Diesel Engine Performance and Emissions, *Energy Conversion & Management*, 41, 389-399.
- Aktaş, F., Karaaslan, S., Kılıç, M. ve Yücel, N., 2019. Farklı Oranlarda Etanol ve Metanol Katkısının Tam Yük Altında Dört Silindirli Dizel Bir Motorun Performans ve Emisyon Değerlerine Olan Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 22, 4, 967-977.
- Aoyama, T., Hattori, Y. ve Mizuta, J., 1996. An Experimental Study on Premixed-Charge Compression Ignition Gasoline Engine, SAE, 960081.
- Au, M.,Y., Girard, J.,W., Dibble, R., Flowers, D., Aceves, S.,M., Frias, J.,M., Smith, R., Seibel, C. ve Maas, U., 2001. 1.9-Liter Four-Cylinder HCCI Engine Operation with Exhaust Gas Recirculation, SAE, 2001011894.
- Ayvaz, Y., 1991. Dizel Motorlarında Dizel Yakıtı-Benzin Karışımlarının Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Can, Ö., Yücesu, H.,S., Çınar, C., Baydır, Ş.,A., Şahin, F. ve Öztürk, E., 2016. Port Tipi Etanol Yakıt Enjeksiyonlu HCCI Motorunda Motor Yük Değişiminin Yanma Karakteristiğine Etkisi, *Fuels and Combustion in Engineering*, 3, 34-40.
- Chapman, E.,M. ve Boehman, A.,L., 2008. Pilot Ignited Premixed Combustion of Dimethyl Ether in a Turbodiesel Engine, *Fuel Processing Technology*, 89, 1262-1271.
- Chauhan, B.,S., Kumar, N., Pal, S.,S. ve Jun, Y.,D., 2011. Experimental Studies on Fumigation of Ethanol in a Small Capacity Diesel Engine, *Energy*, 36, 1030-1038.
- Cheng, C.,H., Cheung, C.,S., Chan, T.,L., Lee, S.,C., Yao, C.,D. ve Tsang, K.,S., 2008. Comparison of Emissions of a Direct Injection Diesel Engine Operating on Biodiesel with Emulsified and Fumigated Methanol, *Fuel*, 87, 1870–1879.
- Christensen, M. ve Johansson, B., 1999. Homogeneous Charge Compression Ignition with Water Injection, SAE, 1999010182.
- Christensen, M., Hultqvist, A. ve Johansson, B., 1999. Demonstrating the Multi Fuel Capability of a Homogeneous Charge Compression Ignition Engine with Variable Compression Ratio, SAE, 1999013679.
- Christensen, M., Johansson, B. ve Einewall, P., 1997. Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Using Isooctane, Ethanol and Natural Gas - A Comparison with Spark Ignition Operation, SAE, 972874.

- Christensen, M., Johansson, B., Amnéus, P. ve Mauss, F., 1998. Supercharged Homogeneous Charge Compression Ignition, SAE, 980787.
- Durgun, O. ve Ayyaz, Y., 1996. The Use of Diesel Fuel–Gasoline Blends in Diesel Engines, Proceedings of the First Trabzon International Energy and Environmental Symposium, 905–912.
- Durgun, O. ve Şahin, Z., 2004. Dizel Motorlarında Benzin Fumigasyonunun Motor Karakteristikleri Üzerindeki Etkileri, Otomotiv Teknolojileri Kongresi (OTEKON'04), Bursa, 75-83.
- Durgun, O., 1993. Yakıtlar ve Yanma Ders Notları, K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Basılmamış, Trabzon.
- Durgun, O., 2007. Motorlar I-II Ders Notları, Makine Mühendisliği Bölümü, K.T.Ü., Basılmamış, Trabzon.
- Durgun, O., 2013. Motorlarda Deneysel Yöntemler Ders Notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Basılmamış, Trabzon.
- Durgun, O., 2018. İçten Yanmalı Motorlar, Temel İlkeler, TMMOB Gemi Mühendisleri Odası, İstanbul.
- Fatihi, M., Saray, R.,K., ve Checkel M.,D., 2011. The Influence of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on Combustion and Emissions of n-Heptane/Natural Gas Fueled Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Engines, Applied Energy, 88, 12, 4719-4724.
- Flowers, D., Aceves, S., Smith, R., Torres, J., Girard, J. ve Dibble, R., 2000. HCCI in a CFR Engine: Experiments and Detailed Kinetic Modeling, SAE, 2000010328.
- Goldsworthy, L., 2013. Fumigation of a Heavy Duty Common Rail Marine Diesel Engine with Ethanol–Water Mixtures, Experimental Thermal Fluid Sciences, 47, 48-59.
- Harada, A., Shimazaki, N., Sasaki, S., Miyamoto, T., Akagawa, H. ve Tsujimura, K., 1998. The Effects of Mixture Formation on Premixed Lean Diesel Combustion Engine, SAE, 980533.
- Hashizume, T., Miyamoto, T., Akagawa, H. ve Tsujimura, K., 1998. Combustion and Emission Characteristics of Multiple Stage Diesel Combustion, SAE, 980505.
- Heywood, J.,B., 1998. Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill Inc., New York.
- Himabindu, M. ve Mahalakshmi, N.,V., 2006. Experimental Investigation in Homogenous Charge Diesel Combustion Engine for Simultaneous Reduction of NO<sub>x</sub> and Smoke, SAE, 2006013574.

- Himabindu, M. ve Mahalakshmi, N.,V., 2007. Experimental Studies on Dual Fuel Homogeneous Charge Diesel Combustion Engines to Improve Emission Characteristics, SAE, 2007014065.
- Holman, J.,P., 2012. Experimental Methods for Engineers, Eighth Edition, McGraw-Hill, New York.
- Hoseinpour, M., Sadrnia, H., Tabasizadeh, M. ve Ghobadian, B., 2017. Energy and Exergy Analyses of a Diesel Engine Fueled with Diesel, Biodiesel-Diesel Blend and Gasoline Fumigation, Energy, 141, 2408-2420.
- Imran, A., Varman, M., Masjuki, H.,H. ve Kalam, M.,A., 2013. Review on Alcohol Fumigation on Diesel Engine: A Viable Alternative Dual Fuel Technology for Satisfactory Engine Performance and Reduction of Environment Concerning Emission, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 26, 739-751.
- Ishii, H., Koike, N., Suzuki, H. ve Odaka, M., 1997. Exhaust Purification of Diesel Engines by Homogeneous Charge with Compression Ignition Part 2: Analysis of Combustion Phenomena and NO<sub>x</sub> Formation by Numerical Simulation with Experiment, SAE, 970315.
- Iwabuchi, Y., Kawai, K., Shoji, T. ve Takeda, Y., 1999. Trial of New Concept Diesel Combustion System - Premixed Compression-Ignited Combustion, SAE, 1999010185.
- Jamuwa, D.,K., Sharma, D. ve Soni, S.,L., 2016. Experimental Investigation of Performance, Exhaust Emission and Combustion Parameters of Stationary Compression Ignition Engine Using Ethanol Fumigation in Dual Fuel Mode, Energy Conversion and Management, 115, 221-231.
- Jillian, A., Hardy, J. ve Heywood, J.,B., 2008. Fuel Economy Benefits and Aftertreatment Requirements of a Naturally Aspirated HCCI-SI Engine System, SAE, 2008012512.
- Kızıltan, E.,E., 1988. Motor Yakıtlarına Alkol Katılmasının Motor Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kimura, S., Aoki, O., Ogawa, H., Muranaka, S. ve Enomoto, Y., 1999. New Combustion Concept for Ultra-Clean and High-Efficiency Small DI Diesel Engines, SAE, 1999013681.
- Lee, C.,S., Lee, K.,H. ve Kim, D.,S., 2003. Experimental and Numerical Study on the Combustion Characteristics of Partially Premixed Charge Compression Ignition Engine with Dual Fuel, Fuel, 82, 553-560.
- Mack, J.,H., Flowers, D.,L., Buchholz, B.,A. ve Dibble, R.,W., 2004. Investigation of HCCI Combustion of Diethyl Ether and Ethanol Mixtures Using Carbon 14 Tracing and Numerical Simulations, Proceedings of the Combustion Institute, 30, 2693-2700.

- Morimoto, S., Kawabata, Y., Sakurai, T., ve Amano, T., 2001. Operating Characteristics of a Natural Gas-Fired Homogeneous Charge Compression Ignition Engine (Performance Improvement Using EGR), SAE, 2001011034.
- Muinos, M., Soloiu, V., Moncada, J., Gaubert, R., Molina, G. ve Williams, J., 2017. Experimental Investigation on the Combustion and Emission Characteristics of n-Butanol/GTL and n-Butanol/Diesel Blends in a Single-Cylinder MD-CI Engine, SAE, 2017010719.
- Odaka, M., Koike, N., Tsukamoto, Y. ve Narusawa, K., 1992. Optimizing Control of NO<sub>x</sub> and Smoke Emissions from DI Engine with EGR and Methanol Fumigation, SAE, 920468.
- Official Journal of the European Union, 29.06.2017. Regulation (EC) No 715/2007 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2007 on Type Approval of Motor Vehicles with Respect to Emissions from Light Passenger and Commercial Vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on Access to Vehicle Repair and Maintenance Information, 171, 1-16.
- Onishi, S., Jo, S.,H., Shoda, K., Jo, P.,D. ve Kato, S., 1979. Active Thermo-Atmospheric Combustion (ATAC) – A New Combustion Process for Internal Combustion Engines, SAE, 790501.
- Özer, S., 2014. Alkollerin İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19, 1.
- Pan, W., Yao, C., Han, G., Wei, H. ve Wang, Q., 2015. The Impact of Intake Air Temperature on Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Methanol Dual Fuel Engine, Fuel, 162, 101-110.
- Park, S.,H., Youn, I.,M. ve Lee, C.,S., 2011. Influence of Ethanol Blends on The Combustion Performance and Exhaust Emission Characteristics of a Four-Cylinder Diesel Engine at Various Engine Loads and Injection Timings, Fuel 90, 748-755.
- Persson, H., Agrell, M., Olsson, J.,O., Johansson, B. ve Ström, H., 2004. The Effect of Intake Temperature on HCCI Operation Using Negative Valve Overlap, SAE, 2004010944.
- Ren, S., Wang, B., Zhang, J., Wang, Z. ve Wang, J., 2018. Application of Dual-Fuel Combustion over The Full Operating Map in a Heavy-Duty Multi-Cylinder Engine with Reduced Compression Ratio and Diesel Oxidation Catalyst, Energy Conversion and Management, 166, 1-12.
- Ren, Y., Huang, Z., Miao, H., Jiang, D., Zeng, K., Liu, B. ve Wang, X., 2007. Combustion and Emission Characteristics of a Direct-Injection Diesel Engine Fueled with Diesel-Diethyl Adipate Blends, Energy & Fuels, 21, 1474-1482.

- Şahin, Z. ve Aksu, O.,N., 2015. Experimental Investigation of the Effects of Using Low Ratio n-Butanol/Diesel Fuel Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in a Turbocharged DI Diesel Engine, *Renewable Energy*, 77, 279-290.
- Şahin, Z. ve Durgun, O., 2007a. Theoretical Investigation of Light-Fuel Fumigation on Diesel Engine Performance and Emissions, *Energy Con. and Management*, 48, 1952-1964.
- Sahin, Z. ve Durgun, O., 2007b. High Speed Direct Injection (DI) Light-Fuel (Gasoline) Fumigated Vehicle Diesel Engine, *Fuel*, 86, 388–399.
- Şahin, Z. ve Durgun, O., 2009. Dizel Motorları için Klasik ve Alternatif Yakıtlar ve Kullanım Yöntemleri, 17. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Sivas.
- Şahin, Z. ve Durgun, O., 2009. Prediction of the Effects of Ethanol-Diesel Fuel Blends on Diesel Engine Performance Characteristics, Combustion, Exhaust Emissions, and Cost, *Energy and Fuel*, 23, 1707-1717.
- Şahin, Z., Aksu, O.,N. ve Bayram, C., 2019. Experimental Investigation of the Effects of n-Butanol/Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in a Spark Ignition Engine, 3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET 2019), Bayburt, 25, 870-879.
- Şahin, Z., Durgun, O. ve Aksu, O.,N., 2015. Experimental Investigation of n-Butanol/Diesel Fuel Blends and n-Butanol Fumigation-Evaluation of Engine Performance, Exhaust Emissions, Heat Release and Flammability Analysis, *Energy Conversion and Management*, 103, 778-789.
- Şahin, Z., Durgun, O. ve Bayram, C., 2008. Experimental Investigation of Gasoline Fumigation in a Single Cylinder Direct Injection (DI) Diesel Engine, *Energy*, 33, 1298-1310.
- Sahin, Z., Durgun, O. ve Bayram, C., 2012. Experimental Investigation of Gasoline Fumigation in a Turbocharged IDI Diesel Engine, *Fuel*, 95, 113–121.
- Şahin, Z., Durgun, O. ve Kurt, M.,M., 2015. Experimental Investigation of Improving Diesel Combustion and Engine Performance by Ethanol Fumigation-Heat Release and Flammability Analysis, *Energy Conversion and Management*, 89, 175-187.
- Seko, T., Kuroda, E. ve Hamano, Y., 1998. Methanol Lean Burn in an Auto-Ignition DI Engine, *SAE*, 980531.
- Sezer, İ., 2012. Dietil Eter-Motorin Karışımlarının Motor Performansına Etkilerinin Deneysel İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Müh. Mimarlık Fakültesi Dergisi* 27, 117-124.



- Sharma, P. ve Dhar, A., 2019. Effect of Hydrogen Fumigation on Combustion Stability and Unregulated Emissions in a Diesel Fueled Compression Ignition Engine, *Applied Energy*, 253, 1-9.
- Shim, E., Park, H. ve Bae, C., 2020. Comparisons of Advanced Combustion Technologies (HCCI, PCCI, and Dualfuel PCCI) on Engine Performance and Emission Characteristics in a Heavyduty Diesel Engine, *Fuel*, 262, 1-12.
- Shimazaki, N., Akagawa, H. ve Tsujimura, K., 1999. An Experimental Study of Premixed Lean Diesel Combustion, SAE, 1999010181.
- Singh, S.,B., Dhar, A. ve Agarwal, A.,K., 2015. Technical Feasibility Study of Butanol-Gasoline Blends for Powering Medium-Duty Transportation Spark Ignition Engine, *Renewable Energy*, 76, 706-716.
- Sjöberg, M. ve Dec, J.,E., 2004. An Investigation of the Relationship Between Measured Intake Temperature, BDC Temperature, and Combustion Phasing for Premixed and DI HCCI Engines, SAE, 2004011900.
- Sjöberg, M., Edling, L.,O., Eliassen, T., Magnusson, L. ve Angström, H.,E., 2002. GDI HCCI: Effects of Injection Timing and Air Swirl on Fuel Stratification, Combustion and Emissions Formation, SAE, 2002010106.
- Surawski, N.,C., Miljevic, B., Bodisco, T.,A., Situ, R., Brown R.,J. ve Ristovski, Z.,D., 2014. Performance and Gaseous and Particle Emissions from a Liquefied Petroleum Gas (LPG) Fumigated Compression Ignition Engine, *Fuel*, 133, 17-25.
- Surawski, N.,C., Ristovski, Z.,D, Brown, R.,J. ve Situ, R., 2012. Gaseous and Particle Emissions From an Ethanol Fumigated Compression Ignition Engine, *Energy Conversion and Management*, 54, 145-151.
- Suzuki, H., Koike, N. ve Odaka, M., 1998. Combustion Control Method of Homogeneous Charge Diesel Engines, SAE, 980509.
- Suzuki, H., Koike, N., Ishii, H. ve Odaka, M., 1997. Exhaust Purification of Diesel Engines by Homogeneous Charge with Compression Ignition Part 1: Experimental Investigation of Combustion and Exhaust Emission Behavior Under Pre-Mixed Homogeneous Charge Compression Ignition Method, SAE, 970313.
- Telli, G.,D., Altafini, C.,R., Rosa, J.,S. ve Costa, C.,A., 2018. Experimental Investigation of a Compression Ignition Engine Operating on B7 Direct Injected and Hydrous Ethanol Fumigation, *Energy*, 165, 106-117.
- Thring, R.,H., 1989. Homogeneous-Charge Compression-Ignition (HCCI) Engines, SAE, 892068.
- URL-1, <https://www2.mazda.com/en/next-generation/technology/>, Mazda, 26 Kasım 2019.

- Walter, B. ve Gatellier, B., 2003. Near Zero NO<sub>x</sub> Emissions and High Fuel Efficiency Diesel Engine: The NADITM Concept Using Dual Mode Combustion, *Oil & Gas Science and Technology*, 58, 101-114.
- Wang, Q., Wei, L., Pan, W. ve Yao, C., 2015. Investigation of Operating Range in a Methanol Fumigated Diesel Engine, *Fuel* 140, 164-170.
- Warnatz, J., Maas, U. ve Dibble, R.,W., 2001. *Combustion: Physical and Chemical Fundamentals, Modeling and Simulation, Experiments, Pollutant Formation*, 3<sup>rd</sup> Edition, Springer, New York.
- Zaidi. K., Andrews. G..E. ve Greenhaugh. J..H., 2002. Effect of Partial Fumigation of the Intake Air with Fuel on a DI Diesel Engine Emissions, SAE, 2002011156.
- Zhang, Z., Wang, T., Jia, M., Wei, Q., Meng, X. ve Shu, G., 2014. Combustion and Particle Number Emissions of a Direct Injection Spark Ignition Engine Operating on Ethanol/Gasoline and n-Butanol/Gasoline Blends with Exhaust Gas Recirculation, *Fuel*, 130, 177-188.

## ÖZGEÇMİŞ

Muhammet Mustafa KURT, 1979 yılında Antalya'nın Gazipaşa ilçesinde doğdu. Ortaokul ve lise öğrenimini Mehmet Emin Resulzade Anadolu Lisesinde (Ankara) tamamladı. Lisans eğitimini 2002 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde ve yüksek lisans eğitimini 2006 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında tamamladı.

2003 yılında KOSGEB-K.T.Ü. Teknoloji Geliştirme Merkezi'nde Uzman Yardımcısı olarak göreve başladı. Sırasıyla, 2011 yılında KOSGEB Giresun Müdürlüğüne Müdür olarak ve 2015 yılında KOSGEB Rize Müdürlüğüne Müdür olarak atandı. 2017 yılında KOSGEB Trabzon Müdürlüğünde Müdür olarak başladığı görevini halen devam ettirmektedir.

1 adet SCI indeksli makalesi, 3 adet uluslararası hakemli makalesi ve 1 adet yurt dışı bildirisi bulunan Muhammet Mustafa KURT, evli ve iki çocuk babasıdır ve iyi derecede İngilizce bilmektedir.