

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTTO MOTORLARINDA
YANMADAKİ KARARSIZLIKLARIN
ARAŞTIRILMASI VE İNCELENMESİ

Mak. Yük. Müh. Süleyman TOKAY

F. B. E.. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Makinaları Programında
Hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi
Tez Danışmanı
Jüri Üyeleri

: 7 Ekim 1999
: Prof. Dr. Orhan DENİZ (YTÜ)
: Prof. Dr. Metin ERGENEMAN (İTÜ)
: Prof. Dr. Ertuğrul ARSLAN (İTÜ)

TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İSTANBUL, 1999

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
2. SİLİNDİR BASINÇ DEĞİŞİMLERİ	4
3. ÇEVİRİMSSEL DEĞİŞİMLERİN GÖSTERGELERİ	7
3.1 Basınçla İlgili Parametreler	8
3.2 Yanmayla İlgili Parametreler	10
3.3 Alev Önüyle İlgili Parametreler	11
3.4 Egzost Gazıyla İlgili Parametreler	12
4. YANMA GELİŞİMİ	13
4.1 Kıvılcım Oluşumu ve Alev Başlangıç Evresi	13
4.2 İlk Alev Gelişimi	14
4.3 Türbülanslı Alev Yayılım Safhası	15
5. ÇEVİRİMSSEL DEĞİŞİMİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER	17
5.1 Karışım Bileşimi İle İlgili Faktörler	17
5.1.1 Yakıt tipi	18
5.1.2 Karışımın denge oranı	19
5.1.3 Karışımın fakirleşmesi	22
5.2 Çevrimsel Silindir İçindeki Taze Dolgu İle İlgili Faktörler	24
5.3 Ateşleme ve Buji İle İlgili Faktörler	25
5.3.1 Ateşleme avansı	25
5.3.2 Kıvılcım deşarj özellikleri.....	26
5.3.3 Kıvılcım boşluğu	27
5.3.4 Buji elektrot şekli	27
5.3.5 Bujilerin sayısı ve yeri	28
5.4 Silindir İçi Karışım Hareketi İle İlgili Faktörler	28
5.4.1 Kıvılcım boşluğu bölgesinde ortalama akış hızı	29
5.4.2 Türbülans Yoğunluğu.....	30
5.4.3 Silindir içi akış şekli.....	31

6.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	32
6.1	Deney Motoru	32
6.2	Kuvvetlendirici ve Mikro İşlemci Kartı	36
6.3	Deneyler ve Sonuçları	39
6.3.1	Bujinin Ü.Ö.N.' ya göre konumunun çevrimsel değişimlere etkisinin deneysel olarak incelenmesi	39
6.3.2	Buji tırnak aralığının çevrimsel değişimlere etkisinin deneysel olarak incelenmesi	46
7.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	54
	KAYNAKLAR	56
	EKLER	61
Ek 1:	Buji Konumuna göre Yapılan deneyin Sonuçları	62
Ek 2:	Buji Tırnak Aralığına göre Yapılan Deneyin Sonuçları	85
	ÖZGEÇMİŞ	120



SİMGE LİSTESİ

$\overline{P_{me}}$	Her bir çevrimdeki maksimum basıncın aritmetik ortalaması
$\Delta\theta_b$	Yanma süresi
$\Delta\theta_d$	Ateşleme gecikmesi
$\theta(dP/d\theta)_{max}$	Maksimum basınç artış oranının meydana geldiği krank açısı
$\Delta\theta_{xb}$	Ateşlemeden belli bir kütle oranının yanmasına kadar geçen zaman süre
$(dP/d\theta)_{max}$	Maksimum basınç artış oranı
$(dQ/d\theta)_{max}$	Maksimum ısı açığa çıkma oranı
$(dX_b/d\theta)_{max}$	Silindir içi yanmış kütle kısmının maksimum değişim oranı
θP_{max}	Maksimum silindir içi basıncının meydana geldiği krank açısı
σ_{Pme}	Her bir çevrimdeki maksimum basıncın standart sapması
A	Amper
d_f	Alev çekirdek merkezinin buji tırnak aralığından mesafesi
DK_{Pme}	Ortalama efektif basınçtaki çevrimsel değişim katsayısı
K	Kelvin
P_{max}	Maksimum silindir içi basıncı
P_{mi}	Her bir çevrimin ortalama indike basıncı
r_f	Eşdeğer alev yarıçapı
V	Volt

KISALTMA LİSTESİ

EGR	Egzost Gaz Resirkülasyonu
KMA	Krank Mili Açısı
LDV	Laser Doppler Velocimeter
MBT	Maksimum Frenleme Torku
SAE	Society of Automotive Engineers
Ü.Ö.N.	Üst Ölü Nokta



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Beş Başarılı çevrim için basınç – zaman diyagramları	4
Şekil 3.1	Her bir çevrimde maksimum silindir içi basıncı ve meydana geldiği krank açısındaki krank açısındaki değişim	8
Şekil 3.2	Solda, her bir çevrimde maksimum basınç ve meydana geldiği krank açısı Sağda, ortalama indike efektif basınç ve meydana geldiği krank açısı	10
Şekil 5.1	Krank açısına bağlı olarak alev çekirdeği çapının seyreltmenin fonksiyonu olarak değişimi	23
Şekil 5.2	Krank açısına bağlı olarak alev çekirdeği yarıçapındaki standart sapmanın seyreltmenin fonksiyonu olarak değişimi	24
Şekil 6.1	Su soğutmalı basınç algılayıcı sensör	33
Şekil 6.2	Deney setinin genel görünüşü	34
Şekil 6.3	Deney setinin önden görünüşü	34
Şekil 6.4	Deney setinin üstten görünüşü	35
Şekil 6.5	Deney setinin yandan görünüşü	35
Şekil 6.6	Mikro işlemci kartın şematik şekli	37
Şekil 6.7	Kuvvetlendirici ve mikro işlemci kartlarının görünüşü	37
Şekil 6.8	Osiloskop ve amplifikatörün genel görünüşü	38
Şekil 6.9	Dört farklı çalışma için bujinin yanma odası içerisindeki konumları	39
Şekil 6.10	S = 0 mm buji konumunda, motor devir sayılarına göre değişim katsayısının değişimi	41
Şekil 6.11	S = 1,25 mm buji konumunda, motor devir sayılarına göre değişim katsayısının değişimi	41
Şekil 6.12	S = 2,50 mm buji konumunda, motor devir sayılarına göre değişim katsayısının değişimi	42
Şekil 6.13	S = 3,75 mm buji konumunda, motor devir sayılarına göre değişim katsayısının değişimi	42
Şekil 6.14	1000 d/d dakika motor hızında buji konumuna göre değişim katsayısının değişimi	43
Şekil 6.15	1500 d/d dakika motor hızında buji konumuna göre değişim katsayısının değişimi	43
Şekil 6.16	2000 d/d dakika motor hızında buji konumuna göre değişim katsayısının değişimi	44
Şekil 6.17	2500 d/d dakika motor hızında buji konumuna göre değişim katsayısının değişimi	44
Şekil 6.18	3000 d/d dakika motor hızında buji konumuna göre değişim katsayısının değişimi	45
Şekil 6.19	3500 d/d dakika motor hızında buji konumuna göre değişim katsayısının değişimi	45
Şekil 6.20	Deneylerde kullanılan bujinin değiştirilen tırnak aralığı bölgesi	46
Şekil 6.21	0,5 mm buji tırnak aralığında, motor devir sayılarına göre değişim katsayısının değişimi	48
Şekil 6.22	0,6 mm buji tırnak aralığında, motor devir sayılarına göre değişim katsayısının değişimi	48
Şekil 6.23	0,7 mm buji tırnak aralığında, motor devir sayılarına göre değişim katsayısının değişimi	49
Şekil 6.24	0,8 mm buji tırnak aralığında, motor devir sayılarına göre değişim katsayısının değişimi	49
Şekil 6.25	0,9 mm buji tırnak aralığında, motor devir sayılarına göre değişim katsayısının değişimi	50

Şekil 6.26	1,0 mm buji tırnak aralığında, motor devir sayılarına göre değişim katsayısının değişimi	50
Şekil 6.27	1000 d/d motor hızında buji tırnak aralığına göre değişim katsayısının değişimi	51
Şekil 6.28	1500 d/d motor hızında buji tırnak aralığına göre değişim katsayısının değişimi	51
Şekil 6.29	2000 d/d motor hızında buji tırnak aralığına göre değişim katsayısının değişimi	52
Şekil 6.30	2500 d/d motor hızında buji tırnak aralığına göre değişim katsayısının değişimi	52
Şekil 6.31	3000 d/d motor hızında buji tırnak aralığına göre değişim katsayısının değişimi	53
Şekil 6.32	3500 d/d motor hızında buji tırnak aralığına göre değişim katsayısının değişimi	53
Şekil Ek 1.1	1000 d/d motor devri için $s = 0$ durumunda silindir içi basınç değişimi ...	73
Şekil Ek 1.2	1500 d/d motor devri için $s = 0$ durumunda silindir içi basınç değişimi ...	73
Şekil Ek 1.3	2000 d/d motor devri için $s = 0$ durumunda silindir içi basınç değişimi ...	74
Şekil Ek 1.4	2500 d/d motor devri için $s = 0$ durumunda silindir içi basınç değişimi ...	74
Şekil Ek 1.5	3000 d/d motor devri için $s = 0$ durumunda silindir içi basınç değişimi ...	75
Şekil Ek 1.6	3500 d/d motor devri için $s = 0$ durumunda silindir içi basınç değişimi ...	75
Şekil Ek 1.7	1000 d/d motor devri için $s = 1.25$ durumunda silindir içi basınç değişimi	76
Şekil Ek 1.8	1500 d/d motor devri için $s = 1.25$ durumunda silindir içi basınç değişimi	76
Şekil Ek 1.9	2000 d/d motor devri için $s = 1.25$ durumunda silindir içi basınç değişimi	77
Şekil Ek 1.10	2500 d/d motor devri için $s = 1.25$ durumunda silindir içi basınç değişimi	77
Şekil Ek 1.11	3000 d/d motor devri için $s = 1.25$ durumunda silindir içi basınç değişimi	78
Şekil Ek 1.12	3500 d/d motor devri için $s = 1.25$ durumunda silindir içi basınç değişimi	78
Şekil Ek 1.13	1000 d/d motor devri için $s = 2.50$ durumunda silindir içi basınç değişimi	79
Şekil Ek 1.14	1500 d/d motor devri için $s = 2.50$ durumunda silindir içi basınç değişimi	79
Şekil Ek 1.15	2000 d/d motor devri için $s = 2.50$ durumunda silindir içi basınç değişimi	80
Şekil Ek 1.16	2500 d/d motor devri için $s = 2.50$ durumunda silindir içi basınç değişimi	80
Şekil Ek 1.17	3000 d/d motor devri için $s = 2.50$ durumunda silindir içi basınç değişimi	81
Şekil Ek 1.18	3500 d/d motor devri için $s = 2.50$ durumunda silindir içi basınç değişimi	81
Şekil Ek 1.19	1000 d/d motor devri için $s = 3.75$ durumunda silindir içi basınç değişimi	82
Şekil Ek 1.20	1500 d/d motor devri için $s = 3.75$ durumunda silindir içi basınç değişimi	82
Şekil Ek 1.21	2000 d/d motor devri için $s = 3.75$ durumunda silindir içi basınç değişimi	83
Şekil Ek 1.22	2500 d/d motor devri için $s = 3.75$ durumunda silindir içi basınç değişimi	83
Şekil Ek 1.23	3000 d/d motor devri için $s = 3.75$ durumunda silindir içi basınç değişimi	84
Şekil Ek 1.24	3500 d/d motor devri için $s = 3.75$ durumunda silindir içi basınç değişimi	84
Şekil Ek 2.1	1000 d/d motor devri için 0.5 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	102
Şekil Ek 2.2	1500 d/d motor devri için 0.5 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	102
Şekil Ek 2.3	2000 d/d motor devri için 0.5 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	103
Şekil Ek 2.4	2500 d/d motor devri için 0.5 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	103
Şekil Ek 2.5	3000 d/d motor devri için 0.5 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	104
Şekil Ek 2.6	3500 d/d motor devri için 0.5 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	104

Şekil Ek 2.7	1000 d/d motor devri için 0.6 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	105
Şekil Ek 2.8	1500 d/d motor devri için 0.6 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	105
Şekil Ek 2.9	2000 d/d motor devri için 0.6 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	106
Şekil Ek 2.10	2500 d/d motor devri için 0.6 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	106
Şekil Ek 2.11	3000 d/d motor devri için 0.6 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	107
Şekil Ek 2.12	3500 d/d motor devri için 0.6 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	107
Şekil Ek 2.13	1000 d/d motor devri için 0.7 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	108
Şekil Ek 2.14	1500 d/d motor devri için 0.7 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	108
Şekil Ek 2.15	2000 d/d motor devri için 0.7 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	109
Şekil Ek 2.16	2500 d/d motor devri için 0.7 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	109
Şekil Ek 2.17	3000 d/d motor devri için 0.7 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	110
Şekil Ek 2.18	3500 d/d motor devri için 0.7 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	110
Şekil Ek 2.19	1000 d/d motor devri için 0.8 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	111
Şekil Ek 2.20	1500 d/d motor devri için 0.8 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	111
Şekil Ek 2.21	2000 d/d motor devri için 0.8 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	112
Şekil Ek 2.22	2500 d/d motor devri için 0.8 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	112
Şekil Ek 2.23	3000 d/d motor devri için 0.8 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	113
Şekil Ek 2.24	3500 d/d motor devri için 0.8 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	113
Şekil Ek 2.25	1000 d/d motor devri için 0.9 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	114
Şekil Ek 2.26	1500 d/d motor devri için 0.9 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	114
Şekil Ek 2.27	2000 d/d motor devri için 0.9 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	115
Şekil Ek 2.28	2500 d/d motor devri için 0.9 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	115
Şekil Ek 2.29	3000 d/d motor devri için 0.9 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	116
Şekil Ek 2.30	3500 d/d motor devri için 0.9 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	116
Şekil Ek 2.31	1000 d/d motor devri için 1.0 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	117

Şekil Ek 2.32	1500 d/d motor devri için 1.0 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi.....	117
Şekil Ek 2.33	2000 d/d motor devri için 1.0 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	118
Şekil Ek 2.34	2500 d/d motor devri için 1.0 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	118
Şekil Ek 2.35	3000 d/d motor devri için 1.0 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	119
Şekil Ek 2.36	3500 d/d motor devri için 1.0 mm buji tırnak aralığında silindir içi basınç değişimi	119



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge Ek 1.1.	Buji konumu $s = 0$ mm için yapılan deneyde motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar	63
Çizelge Ek 1.2.	Buji konumu $s = 1.25$ mm için yapılan deneyde motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar.....	65
Çizelge Ek 1.3.	Buji konumu $s = 2.50$ mm için yapılan deneyde motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar.....	67
Çizelge Ek 1.4.	Buji konumu $s = 3.75$ mm için yapılan deneyde motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar	69
Çizelge Ek 1.5.	Buji Konumu için yapılan dört farklı deneyde motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar	71
Çizelge Ek 1.6.	Buji Konumu için yapılan dört farklı deneyde buji konumuna göre elde edilen sonuçlar	72
Çizelge Ek 2.1.	Buji tırnak aralığı 0,5 mm için yapılan deneyde motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar	86
Çizelge Ek 2.2.	Buji tırnak aralığı 0,6 mm için yapılan deneyde motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar	88
Çizelge Ek 2.3.	Buji tırnak aralığı 0,7 mm için yapılan deneyde motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar	90
Çizelge Ek 2.4.	Buji tırnak aralığı 0,8 mm için yapılan deneyde motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar	92
Çizelge Ek 2.5.	Buji tırnak aralığı 0,9 mm için yapılan deneyde motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar	94
Çizelge Ek 2.6.	Buji tırnak aralığı 1,0 mm için yapılan deneyde motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar	96
Çizelge Ek 2.7.	Buji tırnak aralığı için yapılan altı farklı deneyde motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar	98
Çizelge Ek 2.8.	Buji tırnak aralığı için yapılan altı farklı deneyde tırnak aralığına göre elde edilen sonuçlar	100

ÖNSÖZ

“ Otto Motorlarında Yanmadaki Kararsızlıkların Araştırılması ve İncelenmesi “ konulu bu tezde yanmadaki kararsızlıklar motor devir sayısı değiştirilerek, buji konumunun yanma odasında Üst Ölü Noktaya göre yeri ve buji tırnak aralığı parametre alınarak daha önce farklı parametreler ile yapılmış çalışmaların ışığında, temel esaslar göz önünde bulundurularak araştırılmış ve laboratuvar şartlarındaki çalışmalar sonucunda incelenmiştir.

Otto Motorlarında yanmadaki kararsızlıkların veya diğer bir anlatımı ile çevrimsel değişimlerin etkisi yadsınamaz. Bu nedenle bu tez çalışması, bu konunun idraki içinde yapılmıştır.

Bu konuyu aldığım zamanlarda elim bir trafik kazasında yitirdiğimiz değerli hocam Yrd. Doç Dr. Adnan BALIK’ ın anısını hala sürdürmeği kendim için bir borç sayıyorum.

Tez konusunun belirlenmesinde, tezin yönlendirilmesinde ve tezin bu aşamaya gelmesinde katkıları olan, bilgilerini benimle paylaşan ve beni her konuda destekleyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Orhan DENİZ’ e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca deneysel çalışmamın özünü oluşturan, bilgilerin elektronik olarak değerlendirilmesi konusunda yardımlarını esirgemeyen Elektrik Mühendisliği Bölümü Arş. Gör. Faruk BAKAN’ a, tüm Otomotiv Anabilim Dalı Öğretim Üye ve Yardımcılarına, Otomotiv Anabilim Dalı Laboratuvarındaki mesai arkadaşlarıma ve çalışmam için kendisi özveride bulunan Eşim Öznur’ a teşekkürler.

ÖZET

Bu tezde, tek silindirli buji ateşlemeli bir motorda meydana gelen maksimum basınçtaki çevrimsel değişimler, buji tırnak aralığı ve buji tırnak aralığının üst ölü noktaya göre uzaklığının bir fonksiyonu olarak incelenmiştir.

Genel olarak buji ateşlemeli motorlardaki yanma çevrimden çevrime maksimum basınçta beklendiği gibi değişmektedir. Bu değişimler alev hızı ve yanma süresindeki değişimlere atfedilebilir.

Bu çalışmada, ben her bir çevrimde maksimum basınçların standart sapmasını inceledim.

Deneysel çalışmaların sonunda, değişim katsayısının hem buji tırnak aralığı ve hem de buji tırnak bölgesinin üst ölü noktadan uzaklaşması ile etkilendiği görülmüştür.

Buji tırnak bölgesi ve üst ölü nokta arasındaki mesafe artarken, çevrimden çevrime değişimler bu bölgenin türbülansın daha az etkilenmesinden dolayı azalmaktadır. Bununla birlikte, eğer buji tırnak aralığı 0.8 mm' den daha yüksek bir değere, örneğin 0.9 mm ya da 1.0 mm' ye alındığında benzer şekilde özellikle yüksek hızlarda çevrimsel değişimler düşmektedir.

ABSTRACT

In this thesis, cyclic variations in maximum pressure in a single cylinder spark - ignition engine have been determined as a function of the spark gap and spark gap location according to top dead centre.

Typically, combustion in spark ignition engines varies appreciably from cycle to cycle in maximum pressure. These variations are associated with considerable variations in flame speed and combustion duration. Cyclic variations originate early in the burning period.

In this study, I researched the standart deviations of the maximum pressures in individual cycles.

At the end of the experimental studies, it has been shown that the coefficient of variations is being effected the spark gap and the spark gap location according to top dead centre.

When the distance between spark gap and top dead centre increased, cycle - to - cycle variations decreased because of it is being less effected of turbulence. However , if spark gap is increased from 0.8 mm to 0.9 mm or 1.0 mm, cyclic variations is decreased especially at high engine speed.

1. GİRİŞ

Otto Motorlarında silindir basınç değişimleri incelendiğinde; çevrimden çevrime basınç değişimlerinin meydana geldiği gözlenir. Yanmadaki farklılıklardan kaynaklanan bu çevrimsel değişimler buji ateşlemeli motorlarda çok büyük önem kazanmıştır ve 30 - 40 yıldır incelenmektedir. Bu konu, pek çok araştırmacı tarafından incelenmiş ve gözlenmiş olmasına rağmen, nedenleri halâ tam olarak açıklanamamıştır.

Basınç gelişiminin yanma prosesine bağlı olması nedeni ile, yanma prosesindeki asıl değişimler çevrimden çevrime farklılıkların temelini oluşturur. Yani Otto motorunda çevrimden çevrime değişim problemi; esas olarak bir çevrimden bir sonraki çevrime yanmadaki değişim problemidir. Çevrimsel yanma değişimleri tüm buji ateşlemeli motorlarda ve bu motorların tüm çalışma şartlarında meydana gelir ve hava/yakıt oranının stokyometrik değerden uzaklaşması ile (zengin karışım ya da fakir karışım) ve özellikle fakir karışım tarafında basınç dalgalanmaları birdenbire artmaktadır. Bu olay, tüm hidrokarbon esaslı yakıtların tamamında gözlenmiştir (Soltau, 1960).

Yanmadaki ve silindirler arasındaki basınç gelişiminde meydana gelen çevrimsel değişimleri azaltmak ya da gidermek; istenen emisyon seviyeleri ve gerekli yakıt ekonomisine ulaşmak için yardımcı olabilir. Eğer çevrimsel yanma değişimleri kontrol edilebilse idi; öyle ki tüm çevrimler optimum çevrim kadar yanmayı sağlasın, hem yakıt ekonomisi bakımından hem de egzost emisyonları bakımından pek çok gelişme sağlanabilirdi (Heywood, 1988).

Bu değişimler çok fazla olduğunda otomobilin sürülebilirliğini de etkiler. Çevrimsel basınç değişiminin kontrol edilmesi ile motordan kaynaklanan gürültü azaltılabilir. Böylece kontrolden elde edilen bir diğer yarar da motor gürültüsündeki azalma ve taşıtın sürüş konforundaki gelişmedir.

Bununla beraber, çevrimsel yanma değişimlerinin yüksek değerlere ulaşması ile egzost emisyonları da yüksek olacağından, çevrimsel yanma değişimleri minimuma indirilmelidir. Örneğin, çevrimsel değişimleri azaltmak amacı ile; motorun zengin karışım ile çalıştırılması çevrimsel değişimleri azaltmasına rağmen yanmamış hidrokarbon emisyonlarını ve motorun özgül yakıt sarfiyatını artırır. Aynı şekilde motorun fakir karışım ile çalıştırılması pek çok yanma şeklini de (kısmi yanma, yanmama gibi) ortaya çıkarır (Barton vd., 1971).

Çevrimsel yanma değişimlerinin ilk çalışmaları; inceleme tarzındaki çalışmalardır. Bu çalışmalar yanma ve basınç gelişimi için çevrimsel değişimler üzerinde motorun ve çalışma farklılıklarının etkisinin belirlenmesinde yardımcı olmuştur. Daha sonraki çalışmalar ise; ilk araştırmacıların bulguları üzerine, genellikle problemin özel konusu üzerinde yoğunlaşma şeklinde gerçekleşmiştir ve bunların çoğu istatistiksel çalışmalardır.

Araştırmacılar çevrimsel değişimi çok sayıda işletme parametresi uygulayarak açıklamaya çalışmışlardır. Bunlar; ardışık çevrimlerde yakıt/hava oranındaki değişimler, silindirde yakıt ile havanın homojen olmayan dağılımı, ve özellikle buji bölgesindeki karışımın türbülans değeridir. Bütün bu faktörler çevrimsel değişim üzerinde az çok etkiye sahiptir. Fakat, buji bölgesindeki karışımın türbülans değeri, değişimler üzerinde daha baskın bir rol oynamaktadır.

Motordaki çevrimden çevrime basınç değişimlerini minimuma indirmek için; çevrimden çevrime yanma değişimleri minimuma indirilmeli ve / veya yanma oranı maksimuma çıkarılmalıdır. Bu amaçlara ulaşmak için, motor çalışmasının etkisi ve yanma oranları üzerindeki dizayn değişiklikleri kadar, yanma değişimlerinin nedenleri de tam anlamıyla anlaşılmış olmalıdır (Young, 1981).

Soltau, (1960); yüksek hız fotoğraflama tekniğini kullanarak yanma değişimlerinin kıvılcım ve ön alevin oluşması arasındaki sürede meydana gelen değişimlerden kaynaklandığını gözlemlemiştir. Ateşleme sistemi, yakıt tipi, karışım oluşumu ve zenginliği, egzost gaz resirkülasyonu ve sıkıştırma oranı gibi çevrimsel değişime yol açan pek çok motor değişkenini incelemiştir. Çevrimsel değişimi her bir çevrim ve ortalama çevrim arasındaki maksimum basınçların ortalama farkı olarak açıklamıştır. Çevrimsel değişimi; maksimum basınç ya da ortalama indike basıncın ortalama değerinin bir oranı olarak gösterir.

Barton (1971); buji ateşlemeli motorlarda meydana gelen çevrimsel değişimlerin ateşleme anında buji çevresindeki gaz hızında meydana gelen değişimlerden kaynaklandığını belirtmiştir. Gaz hızındaki değişimler ilk yanma safhasındaki değişimlere neden olur, yani ateşleme sonrası yanma süresi içinde yanan yakıt miktarı toplam yakıt miktarının % 5' i dir. İlk yanma süresindeki değişimler, maksimum basıncın meydana geldiği krank açısının standart sapmasıdır. İlk yanma süresindeki değişimler ve yanma prosesi, çevrimden çevrime basınç değişimlerinin süresini belirler.

Patterson (1960), yanma oranı değişiminin asıl nedeninin kıvılcım anında buji yakınında meydana gelen hız değişimlerine bağlı olduğunu söylemiştir. Çevrimsel yanma değişiminin başarılı çevrimlerde yanma odası boyunca oluşan alev gelişimindeki rasgele bir değişim olduğu belirtilmiş ve çevrimsel yanma değişimi, basınç değişim oranının bir ölçüsü olarak açıklanmıştır.

Vichnievsky (1955), çevrimsel maksimum basınç değişimini istatistiksel olarak incelemiş ve çevrimsel değişimlerin bir çok yakıt ile ve tüm motor çalışma şartları altında gerekleştiiğini göstermiştir.

Bu çalışmanın amacı çevrimsel değişimlerin ana kaynağı olarak görülen kıvılcım anında buji bölgesindeki gaz hareketlerinin veya bir başka deyişle türbülansın etkisini gözlemlemektir. Bu amaçla, ateşleme bujisinin tırnak aralığı ve üst ölü noktaya olan uzaklığı değiştirilerek maksimum basınç, maksimum basıncın meydana geldiğı krank açısı ve ortalama indike basınçta meydana gelen standart sapma değerleri incelenmiştir.

Bu çalışmada; çevrimsel değişimlerin bir sonucu olarak gözlemlenen silindir basınç değişimleri tek silindirli bir motora monte edilen basınç algılayıcı sensör yardımı ile alınıp bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir. Basınç algılayıcı sensörden alınan analog sinyal, analog olarak alınan üst ölü nokta konum sinyali ile bir kartta birleştirilmiş ve diğer kartta bu sinyaller dijital sinyale çevrilip bilgisayarda işlenmesi uygun hale getirilmiştir.

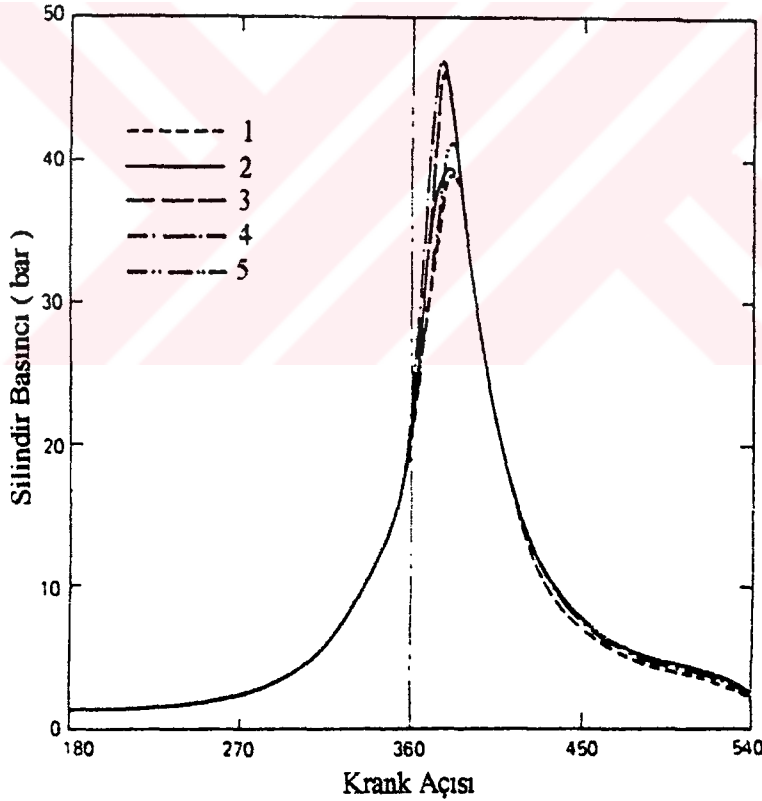
Yakıt olarak, Türkiye’ de üretilen normal benzin (% 85 karbon ve % 15 hidrojen) kullanılmıştır. Yakıt ısıtılmamış ve ortam şartlarında (22° C sıcaklık ve % 80 bağıl nem) motora verilmiştir.

Bujinin üst ölü noktaya göre yer değiştirmesi sonucu sıkıştırma oranındaki binde 7.3’ lük fark sıkıştırma oranı değişimi olarak alınmamış ve ihmal edilmiştir.

2. SİLİNDİR BASINÇ DEĞİŞİMLERİ

Yıllar boyunca motor dizayn eden araştırmacılar devamlı olarak motorların güçlerinden daha fazla yararlanmayı ve daha yüksek bir ekonomi sağlamayı hedeflemişlerdir. Sıkıştırma oranı artırılarak bu yolda önemli adımlar atılmıştır. Bu olay; hem yakıt kalitesi ve hem de yanma odasındaki gelişmeler sayesinde mümkün olmuştur. Çünkü yakıtın oktan sayısının yüksek olması sıkıştırma oranındaki yükselmeye yol açmıştır. (yakıtın oktan sayısı sıkıştırma oranını sınırlayan bir faktördür). Bunun üzerine ilave edilen gelişmeler artık motor - yakıt ilişkisi üzerinde olmaktadır.

Günümüzde yakıt ekonomisi için en önemli sorun, motor optimum verimde çalışırken motorun verdiği kararsız güç çıkışıdır. Dalgalanma olarak adlandırılan bu kararsızlık, otomobillerde giderilemez. Yumuşak çalışan bir motor için, gerekli şartları sağlamak amacı ile ekonomiklik zorunlu olarak uygulanır. Bu ise egzost emisyonlarının artmasına neden olur.



Şekil 2.1 Beş başarılı çevrim için basınç – zaman diyagramları (Stone, 1992)

Güçteki bu dalgalanmalar silindir içinde bir çevrimden bir sonraki çevrime yanmanın aynı olmamasından kaynaklanır. Hatta çok silindirli motorlarda silindirler arasında belirli farklar

vardır. Bu yanma farkları ise silindir basınç gelişimindeki değişimler olarak gözlemlenmektedir.

Eğer yanma değişimleri ortadan kaldırılırsa, motor en iyi ekonomi ile çalıştırılıp, en iyi güç çıkışı elde edilecektir. Bu ise tüm motorlarda egzost emisyonlarındaki azalma kadar önemli olan % 10 - 20 daha ekonomik çalışmayı sağlar. Hem motorun sert çalışması ve hem de oktan gereksinimi yanma değişimleri ile artarken, bu değişimlerin ortadan kaldırılması daha yüksek oktanlı yakıtlara gerek duyulmadan daha yüksek sıkıştırma oranlı motorlara izin verecektir.

Buji ateşlemeli motorlarda silindir basınç değişimi temel ve yaygın bir yanma problemidir. Bu soruna yol açan temel faktörler; yanmanın başlangıcındaki ve yanma oranındaki farklılıklardır.

Daha önceki çalışmaların ışığında, ateşleme anında çevrimsel yanma değişimlerinin ana nedeninin buji yakınında meydana gelen karışımın hız farkı olduğu görülmüştür. Çevrimsel karışımın hız farkının nasıl azaltılabileceği tam olarak açıklık kazanmamakla beraber (maskeli supap kullanılarak karışımın homojen hale getirilmesi sağlanmaktadır) bunun meydana getirebileceği olumsuz etki ortalama yanma oranı artırılarak giderilmeye çalışılabilir.

Buji ateşlemeli bir motorda basınç gelişimi yanma ve piston hareketinin bir sonucudur. Yanmadan kaynaklanan silindir basıncının bir çevrimden bir sonraki çevrime aynı şekilde tekrarlanmaması yaygın bir gözlemdir. Bundan başka, çok silindirli bir motorda herhangi bir silindirde hiç bir zaman aynı ortalama basınç meydana gelmez. Bu tekrarlanamamazlık buji ateşlemeli motorlarda “ yanma değişimi “ ya da “ yanmadaki kararsızlıklar “ olarak adlandırılır.

Taşıt Testleri de, fakir karışım ile çalıştırılan bir motorun stabil olmayan hareketinin çevrimsel yanma değişimlerinden olduğunu göstermiştir. Bu değişimler fakir karışımın neden olduğu silindirler arasındaki ortalama basınç farkını yükseltir. Eğer motor dalgalanma olmaksızın çalıştırılabilirse, ekonomik olarak % 10 - 20 kazanç sağlanabilir (Patterson, 1966).

Yanma prosesindeki çevrimden çevrime değişimler iki sebepten dolayı önemlidir:

Birincisi: ortalamadan daha hızlı çevrimler daha hızlı ateşleme zamanına ve daha yavaş çevrimler daha yavaş ateşleme zamanına sahip iken güç ve verimde kayıplar söz konusudur. Yani ateşleme avansı çok geç ya da çok erken olursa güç ve verimde kayıplar meydana gelir.

İkincisi: bu; motor çalışmasını sınırlayan çevrimsel değişimlerin uç noktalarıdır. Ateşleme zamanının çok önce olduğu daha hızlı yanma çevrimleri vuruntuya daha çok meyillidir. Bu yüzden daha hızlı yanma çevrimleri motorun oktan gereksinimini ve sıkıştırma oranının sınırlarını belirler.

Optimum zamanlamaya göre gecikmeli olan daha yavaş yanma çevrimleri tam olmayan yanmaya daha meyillidir. Bu yüzden, bu çevrimler motorun pratik olarak fakir çalışma limitini ya da egzost gaz resirkülasyon miktarının sınırlarını belirler. Çevrimden çevrime değişimlerden dolayı, hem ateşleme avansı ve hem de ortalama hava / yakıt oranı her zaman motor için uygun değerlerde olmalıdır (Heywood, 1988).

Bugün için buji ateşlemeli bir motorda egzost emisyonlarının azaltılması için uygun çevrimsel değişimin elverdiği maksimum fakir karışım oranlarına doğru bir yönelme görülmektedir. Fakat bu çalışma esnasında çevrimsel değişimler önemlidir ve ufak bir tekleme (yanmama veya kısmi yanma) emisyonların azaltılmasındaki avantajı dezavantaja dönüştürmektedir (Barton vd., 1971).

Fakir karışım ile yanmada pek çok yanma modellerinin ortaya çıktığı görülmektedir. Önceki çevrimin bir sonraki çevrime olan etkileri hava yakıt oranının artması ile netleşmektedir. Çevrimden çevrime değişimlerden kaynaklanan silindir basınç değişimlerinin buji ateşlemeli motorların çalışabileceği hava yakıt oranını belirlediği bilinir ve fakir karışım ile çalışma durumunda alevin başlama ve yayılma oranları düşer. Dolayısıyla eksik yanma ve kısmi yanma meydana gelir. Fakir karışım ile çalıştırılma durumunda buji ateşlemeli motorlar çok değişik yanma tipleri sergiledikleri için, tanımlamanın yapılabilmesi çevrimsel değişimin azaltılması ya da kontrolü için önemli fırsatlar sağlayacaktır. Örneğin bir çevrimdeki eksik yanmanın bir önceki çevrimden mi kaynaklandığı yoksa bir sonraki çevrime mi etki edeceğini bilmek önemli olacaktır.

3. ÇEVİRİMSSEL DEĞİŞİMLERİN GÖSTERGELERİ

Yanma sürecinde meydana gelen çevrimsel değişimlerin etkilerinden birisi, ortalama indike basınçtaki çevrimsel değişimlerdir. Ortalama indike basınç, P_{mi} ; yanma sürecinde meydana gelen ısı açığa çıkma oranı, silindir çeperlerinde oluşan ısı kaybı ve piston hareketi yüzünden meydana gelen hacim değişimi gibi değişken faktörler tarafından belirlenen silindir içi basınç evreleriyle ilgili bir parametredir.

Matekunas (1983) ve Heywood (1988)'a göre, çevrimsel değişimler, farklı gruplardaki parametreler tarafından tanımlanabilirler.

Basınçla ilgili parametreler:

- maksimum silindir içi basıncı : P_{max}
- maksimum silindir içi basıncın meydana geldiği krank açısı : θP_{max}
- maksimum basınç artış oranı : $(dP/d\theta)_{max}$
- maksimum basınç artış oranının meydana geldiği krank açısı : $\theta(dP/d\theta)_{max}$
- her bir çevrimin ortalama indike basıncı, P_{mi}

Yanmayla ilgili parametreler:

- maksimum ısı açığa çıkma oranı : $(dQ/d\theta)_{max}$
- silindir içi yanmış kütle kısmının maksimum değişim oranı : $(dX_b/d\theta)_{max}$
- ateşleme gecikmesi : $\Delta\theta_d$
- yanma süresi : $\Delta\theta_b$
- ateşlemeden belirli bir kütle oranının yanmasına kadar geçen zaman (krank açısı dereceleri) : $\Delta\theta_{xb}$

Alev önüyle ilgili parametreler:

- alev önü pozisyonu, yuvarlatılmış alev önü alanı, ya da belirli bir krank açısındaki alev hacmi
- silindir içerisinde önceden belirlenmiş iki farklı bölgeye alev önünün varışı arasında meydana gelen krank açısındaki sapma
- farklı krank açılarında buji boşluğunda oluşan alev çekirdek merkezinin yer değiştirmesi

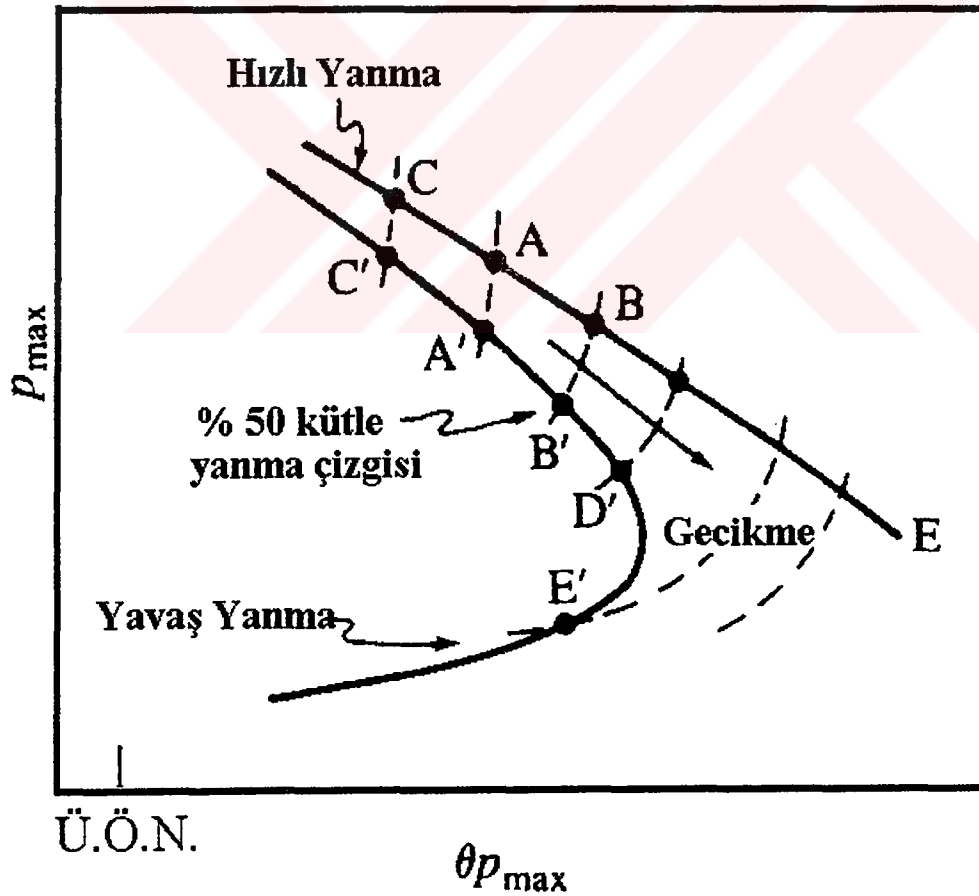
Egzost gazıyla ilgili parametreler:

- egzost gazı içindeki farklı bileşenlerin konsantrasyonu

Görüldüğü gibi, farklı araştırmacılar çevrimsel değişim kavramını tanımlamak için farklı göstergeler kullanmışlardır. Farklı tanımların incelenmesi ve bunların diğer önemli parametrelerle olan ilişkisi, kullanım için en uygun tanımın yapılabilmesinde çok değerli bir araç olabilir. Basınçla ilgili parametreler hakkındaki araştırma, Matekunas tarafından yapılmış, Heywood tarafından genişletilmiştir.

3.1 Basınçla İlgili Parametreler

Bu parametrelerin, bir basınç algılayıcı sensör ile çok kolay bir biçimde ölçülebilmesi, basınçla ilgili parametrelerin kullanımını doğal bir seçenek haline getirmiştir. Böylece, silindir içi basınç, zamana veya krank açısına göre kaydedilebilir. Maksimum silindir içi basıncı ve bunun meydana geldiği krank açısı arasındaki ilişki Şekil 3.1' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Her bir çevrimde maksimum silindir içi basıncı ve meydana geldiği krank açısındaki değişim. (Heywood, 1988)

Ayrıca yanma oranının etkisi ve ateşleme gecikmesinin sonuna uygun krank açısının olduğu yanma başlangıç süresi de P_{max} ve $\theta_{P_{max}}$ ile gösterilmiştir. Diğer bütün noktalar geç ve erken zamanlamaya denk gelirken, A ve A' noktaları Maksimum Frenleme Torku yanma başlangıç zamanına karşılık gelir. Bu nedenle, her iki eğri üzerindeki çeşitli noktalar ateşleme gecikmesi süresinde oluşan çeşitli değişimleri simgelemektedirler. Dikkat edilirse, hızlı yanmada P_{max} ve $\theta_{P_{max}}$ arasındaki ilişki tüm değerlerde hemen hemen doğrusalken, yavaş yanmada bu doğrusallık ancak belli bir gecikmeye (D noktasına) kadar sürmektedir. Daha sonraki gecikmelerde, genişlemenin etkisi piston hareketi nedeniyle önemli bir faktör haline geldiğinde, yanmanın çok geç bir evresine denk gelen bir ard yanma bölgesi oluşur. Görülüyor ki, maksimum basıncın değeri; yanma süresi, ortalama yanma hızı ve ateşleme gecikmesi gibi parametrelere bağlıdır. Bu parametreler, kendi başlarına emme basıncı, yakıt/hava oranı ve resirküle egzost gazı oranına vs. bağlıdır. Eğer hepsi dahil olursa bütün faktörlerin maksimum basıncın çevrimsel değişimindeki rollerinin göreceli önemlerinin yorumlanması oldukça güçleşir. Aynı durum $dp/d\theta$ için de geçerlidir.

Doğrusal mesafedeki (Şekil 3.1) silindir içi azami basıncında oluşan krank açısı, az da olsa yanma hızına bağlıdır. Bu yüzden $\theta_{P_{max}}$ 'daki çevrimsel değişimler, ateşleme gecikmesindeki çevrimsel değişimler olarak yorumlanabilir (Matekunas 1983). Bu netice Şekil 3.2' de doğrulanmaktadır. Maksimum basınç artış oranının meydana geldiği krank açısındaki $(dp/d\theta)_{max}$, çevrimsel değişim ölçümü daha kapsamlı ve daha az kullanışlı olmasına rağmen, çeşitli parametreler arasında ayırım yapmaya yardımcı da olabilir.

Pratik bir bakış açısıyla, taşıtın sürülebilirliği üzerinde (yakıt sarfıyatı ve emisyon değerleri) yanma prosesindeki çevrimsel değişimlerin etkisi için önemli bir kazançtır. Basınç bölgelerinden elde edilebilen çevrimsel değişimin bir ölçümü, genellikle yüzde olarak verilen, ortalama indike efektif basınçtaki değişim katsayısıdır.

$$DK_{P_{me}} = \frac{\sigma_{P_{me}}}{P_{me}} 100 \quad [\%]$$

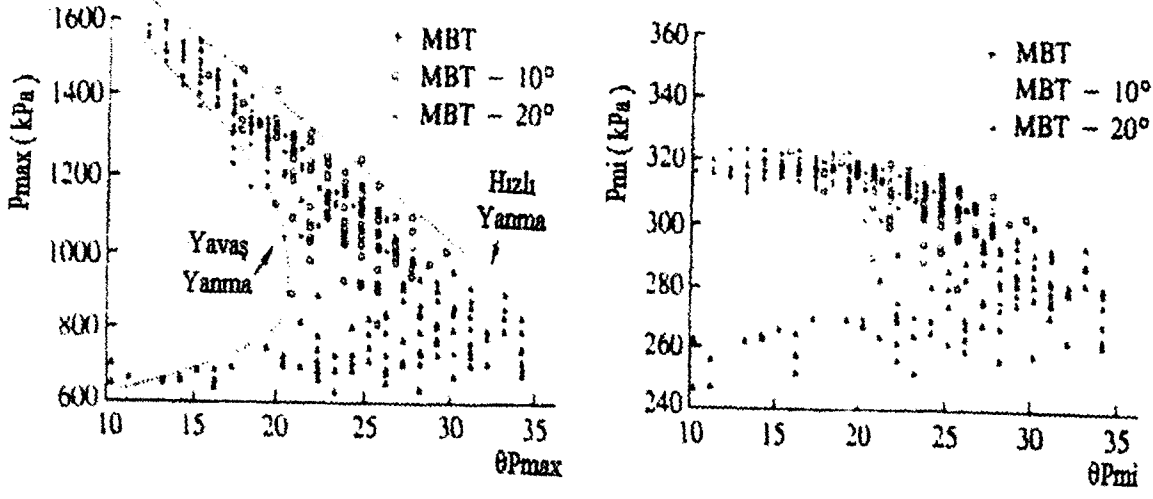
Burada;

$DK_{P_{me}}$: Ortalama efektif basınçtaki çevrimsel değişim katsayısı

$\sigma_{P_{me}}$: Her bir çevrimdeki maksimum basıncın standart sapması

$\overline{P_{me}}$: Her bir çevrimdeki maksimum basıncın aritmetik ortalaması

Neticede, taşıtın sürülebilirlik problemi genellikle $DK_{P_{me}}$ ' in %10' u aşması durumunda ortaya çıkar (Heywood 1988).



Şekil 3.2 Solda, her bir çevrimde maksimum basıncın meydana geldiği krank açısı

Sağda, Ortalama indike basınç ve meydana geldiği krank açısı

(Heywood, 1988)

Ateşleme avansı Maksimum Frenleme Torkuna ayarlı iken ortalama indike basınçtaki çevrimsel değişimler minimumdur. Ayrıca, ateşleme zamanı ileri alındıkça, P_{max} ve $(dp/d\theta)_{max}$ ' daki çevrimler değişimlerin düşüşü dikkat çekicidir (Stone, 1992).

P_{max} çevrimsel değişimlerin ölçümü için en uygun temeli teşkil etmektedir. Bunun ilk avantajı ölçüm kolaylığı, ikincisi ise gösterge işlemindeki çevrimsel değişimlere, diğer herhangi bir parametreden daha duyarlı olmasıdır. Ancak, araştırmalarda sunulan $\theta_{P_{max}}$ ile P_{max} arasındaki korelasyonlar çeşitli deneylerde farklılıklar oluşturabilir.

3.2 Yanmayla İlgili Parametreler

Pratik olarak, yanmayla ilgili parametreler termodinamik ısı açığa çıkış modellerinden biri veya bir diğeri yardımı ile basınç diyagramından türetilmiştir. Bu yüzden, öncelikli verileri almak için değil silindir içi basınç gelişimini yorumlamak için kullanılırlar. Literatürde, maksimum ısı açığa çıkış oranını $(dQ/d\theta)_{max}$ ve maksimum yanmış kütle miktarını $(dX_b/d\theta)_{max}$, bir çevrimsel değişim göstergesi olarak bulmak oldukça zordur. Ateşleme

gecikmesi ($A\theta d$), yanma süresi ($A\theta b$) ve ateşlemeden belli bir kütle oranının yanmasına kadar geçen zaman gibi yanmayla ilgili parametrelerin kullanımı daha yaygındır. Bunun ötesinde, unutulmamalıdır ki; yanma süresi kullanılırken, yanma süresinin değişimi, yanma hızındaki değişimler hakkında direk bilgiler sağlıyormuş gibi görünüyorsa da aynı zamanda yanma süresinin daha az kullanışlı bir parametre olmasını sağlayan ateşleme gecikmesinden de etkilenmektedir.

Ateşleme gecikmesi ile ilgili olarak, ortalama değeri ve değişiminin büyük oranda çevrimsel değişimin belirlenmesinde etkili olduğu genel olarak kabul görmektedir. Ateşleme gecikmesi motor işletme faktörü ile bağlantılıdır. Daha küçük bir ateşleme gecikmesi genelde motorun daha yumuşak çalışmasını sağlar. Bu yüzden; ateşleme gecikmesi yanmanın ilk safhalarında, çevrimsel değişimin boyutunu gösteren iyi bir parametre olarak ele alınmaktadır. Bununla beraber, daha sonra anlatılacağı gibi, ateşleme gecikmesi, yanmanın ilk safhalarındaki çevrimsel değişimler için (rasgele yönlendirme ve alev çekirdeği konveksiyon hızı, yakıt-hava oranı ve seyreltik miktarındaki kısmi dalgalanmalar) bilgi vermediği gibi, çok fazla doyurucu bir parametre de değildir. Ayrıca; ateşleme gecikmesi, yanmanın daha önceki safhalarındaki basınç ölçümlerinden elde edilirken, basınç kayıt sistemlerinin doğruluklarına da oldukça duyarlıdır. Bu nedenle, basınç kayıtlarındaki en küçük hatalar yanlış sonuçlar doğmasına neden olabilir. Bütün bunlar araştırmacıları alev-önüne ilişkin parametrelerin kullanımından yararlanmaya zorlamaktadır.

3.3 Alev Önüyle İlgili Parametreler

Alev önüyle ilgili parametreler, genellikle görüntüleme teknikleri (fiber-optikler, Schlieren veya gölge fotoğraflanması, LDV gibi) veya iyonizasyon boşluğu teknikleri yardımı ile elde edilirler. Bu araçlar, alev çekirdeği gelişimindeki küçük değişikliklerin tespit edilmesine yardımcı olurken ayrıca, alev çekirdeği konveksiyon hızı ve yönü, alev-önü buruşmasının hızı ve büyüklüğü, alev çekirdek yarıçapı büyüme hızı v.b gibi farklı faktörlerin ayırımına da yardımcı olmaktadır. Diyebiliriz ki; alev önüyle ilgili parametreler, sözü edilen faktörlerin değerlendirilebilmesi için çok değerli bilgiler sağlamaktadır. En çok kabul gören parametreler arasında eşdeğer alev yarıçapı (r_f), ve alev çekirdek merkezinin buji tırnak aralığından mesafesi (d_f) yer almaktadır. Ne yazık ki; bu önemli bilgileri elde etmek oldukça pahalı ve karmaşıktır. Bununla beraber, görüntülü tekniklerin bir çoğu, dar bir araştırma sahasıyla sınırlanmaktadır, ve bu durumun çözülmesi ise oldukça güçtür. Bu yüzden, alev önüyle ilgili

parametreler çoğunlukla alev gelişiminin ilk safhalarının analizinde kullanılır. Yukarıda bahsi geçen tekniklerin kullanımındaki zorluklardan bir tanesi de, silindirin içine optik giriş için özel olarak dizayn edilmiş araştırma motorlarına ihtiyaç duyulmasıdır.

3.4 Egzost Gazıyla İlgili Parametreler

Bu gruptaki parametreler, egzost gazı konsantrasyonundaki çevrimsel dalgalanmalar ile ilgilidir. Her ne kadar, bu parametreler çevrimsel değişiklikleri tanımlamak veya açıklamak için kullanılsalar da, hava/yakıt oranının silindir-içi heterojenliği, yanma ürünlerinin maksimum sıcaklıklardaki çevrimsel değişimi gibi çevrimden çevrime değişim ile ilgili çeşitli parametreler hakkında önemli bir bilgi toplamak için kullanılabilir.

Yukarıda belirtilenlerden anlaşılabileceği gibi, sınırlı sayıda parametre, çevrimden çevrime değişimin göstergesi olarak tercih edilmektedir. Bunlar; basınç ile ilgili parametrelerden maksimum silindir içi basıncı, maksimum silindir basıncının meydana geldiği krank açısı ve Ortalama İndike Efektif Basınç, alev önü ile ilgili parametrelerden eşdeğer alev yarıçapı ve alev çekirdek merkezinin buji turnak aralığına olan mesafesidir. Bütün bu çevrimden çevrime değişim tahminlerinde, sınırlı olsalar da, pratik bir öneme sahip olan ilk üçünün (P_{max} , θP_{max} ve P_{mi}) elde edilmesi en kolaylarıdır. Eğer ilk gruptan seçilecekse, pratik olarak ateşleme zamanının Maksimum Frenleme Torkuna göre ayarlanmış olduğu göz önüne alınmalıdır. Bu yüzden P_{max} 'daki çevrimsel değişim; diğerleri arasında en çok göze çarpan olacaktır. Bununla birlikte, ilk alev çekirdeği, gelişim safhalarındaki çevrimsel değişim ile sınırlanırsa, o zaman θP_{max} en uygun parametre haline gelir. Ortalama İndike Efektif Basıncıdaki çevrimsel değişim yanma sürecindeki çevrimsel değişime cevap veren motoru göstermek için en uygundur.

Alev-önü ile ilgili parametreler ise, silindir içi yanma ve çevrimsel değişimin asıl nedenlerinin daha iyi kavranabilmesi için değerli bilgiler sağlamaktır.

4. YANMA GELİŞİMİ

Bir motorun ortalama indike basıncındaki çevrimsel değişimlerin, asıl olarak yanma sürecindeki çevrimsel yanma değişimlerine atfedilmesi yüzünden, yanma sürecine bakmak ve yönetici mekanizmaları ve etkileyici faktörleri analiz etmek gerekir. Genel olarak kabul edildiği gibi, başarılı bir çevrimdeki yanma süreci aşağıdaki dört ana kategoriye ayrılabilir.

1. Ateşleme ve alev başlangıcı
2. İlk alev çekirdeği gelişimi
3. Türbülanslı alevin yayılması (yanmanın asıl evresi)
4. Alev bitimi

Önceki her evre kendinden sonraki evreyi etkiler, sıralanmış evrelerden her biri farklı yönlendirici nedenlerden etkilenmektedir. Son evre açık bir şekilde görüldüğü gibi çevrimsel değişimi etkilemez. Bu nedenle açıklama olarak gereksinim duyulmamıştır.

Herhangi bir safhada yönlendirici parametrelerin sayısı da oldukça önemlidir, ve bir çoğunun içeriği de farklıdır. Ark oluşumunun karakteri, karışım özellikleri, buji ve yanma odası geometrisi, akış alanının yapısı bu parametreler arasındadır. Bu parametrelerden bazıları tamamen bağımsız iken, bazıları karşılıklı ilişki halindedir. Bununla birlikte, türbülans; karışımın homojen olmamasına neden olur, böylelikle de buji tırnak aralığındaki ortalama akış hızı, ark oluşum özelliğini etkiler.

4.1 Kıvılcım Oluşumu ve Alev Başlangıç Evresi

Kıvılcım oluşumu, bir ateşlemeyi takiben elektrodlar arasındaki voltaj yükselmesini izleyen, tırnak arasındaki elektriksel kıvılcım tarafından başlatılır.

Ateşleme evresini, birkaç yüz mikro saniye süren elektrik arkı fazı izler (Sher ve Keck 1986). Bu safhada plazma çekirdeği boyut olarak büyür, ve elektrotlara ısı transferi ve genişleme nedeniyle sıcaklık 6000 K' e kadar düşer (Kalgathgi 1982, Heywood 1988). Akım hala oldukça yüksekken, gerilim 50-100 V' a düşer. (Sher ve Keck 1986, Kalgathgi 1987, Heywood 1988). Bu safhada, kıvılcım karakteri, harici akış alanından etkilenir, kıvılcım etrafındaki ortalama hız deşarj kanalının akış yönünde genişler ve bu sayede uzunluğu artar

(De Soete, 1983, Le Coz 1992). Kıvılcım kanalındaki enerji depolanmasının büyümesine rağmen, ortalama hız yükselirken, kıvılcım süresi kısalır (De Soete, 1983). Bu noktada, buji yönlendirilmesi ile ilgili olan ortalama akımın önemine de dikkat çekmek gerekir.

Kıvılcımın son evresi, oluşumu ve karakteristiği ateşleme sisteminin tipine bağlı olan akkor ışık saçımıdır(Heywood, 1988). Bu yüzden, bir kondansatör boşalımında, indüksiyonlu kıvılcımda, bu evre çok az milisaniye sürerken, ısıltı evresi ihmal edilebilir.(Kalgathgi, 1987, Heywood, 1988). Bu evre çok düşük bir güçle oluşmaktadır (10 W düzeyinde). Ancak, bu uzun süre devam ettiğinde (kıvılcım tarafından toplanan enerjinin %90'ı oranında) evredeki toplam enerji bırakımı en yüksek oranına gelir. (Kalgathgi, 1982, Heywood, 1988). Gerilim, 500V'a kadar yükselirken, akım 100 ile 200 mA' in altında kalır. Deşarjın pozitif kolonunun sıcaklığı, adyabatik alev sıcaklığına yakın olan 3000K düzeyindedir. Isıltı boşalımı süresince, kendini sürdürebilen alev yayılımı ortaya çıkar. Bu devredeki alev gelişimi oldukça karışıktır ve yanma, akış alanı, karışım bileşimi, kıvılcım enerji bırakımı ve buji geometrisi ile ilgili bir çok faktör tarafından yönlendirir. Bu evrede, yanma sürecinin giderek yönlendirici faktörlerden birisi olması nedeniyle ısıldama evresiyle aşağıdaki alev çekirdeği gelişim kısmıyla net bir bağlantısı yoktur.

4.2 İlk Alev Gelişimi

Bu evre yanmış kütle oranının %1 ile %2'ye ulaştığı süre olarak tanımlanır. (Gatowski vd., 1984) Çevrimde, toplam yanma süresinin %30'unu kaplar. Başlangıç alevinin çok sayıdaki faktöre duyarlı olması, bu konuyu çevrimsel değişim ile ilgili en can alıcı evre haline getirir.

Türbülanslı karışımlarda ateşleme prosesinin karakteristik bir özelliği kritik ateşleme enerjilerinin dağılımı ve ısınmış gaz bölgesinden yayılan alev gelişim oranlarıdır. Buji elektrot bölgesindeki karışımda türbülanslı hız dalgalanmaları yanmadaki değişimlerin asıl nedenidir. (Chomiak, 1988)

Alev, kıvılcım atlamasından sonra düzgün yüzeyli, kabaca küresel, yaklaşık 1 °KMA'da şekillenerek, tırnak aralığında oluşur. (Gatowski vd., 1984, Taqalian ve Heywood, 1986). Alev boyutu bir çok türbülanslı skala ile karşılaştırıldığında, küçük, oldukça düzgün yüzeyi koruyacaktır. Gatowski et al atlamadan sonraki ilk 3 °KMA boyunca düzgün yüzeyi araştırmıştır.(1984). Bu periyotta alev gelişim hızı, çekirdek gelişimi hızı ve kütle yanmasına

bağlı olarak gelişir (Ho ve Santavicca 1987). Farklı araştırmacılar (Taqualian ve Heywood, 1986, Bianco vd., 1991) bu evredeki yanma hızının laminar değerine yakın olduğunu belirtmişlerdir. Bu yüzden, yanmanın bu evresindeki çevrimsel değişim, karışımın lokal denge oranındaki dalgalanmalar, seyreltik miktarı ve lokal termodinamik koşulların üstünlüğüne bağlanmıştır.

İzleyen bu alt bölümde, alev-önü ile türbülanslı girdaplar, sürecin asıl faktörlerinden birisi haline gelir.

Alev boyutu, akışın içerisindeki en büyük girdap büyüklüğüne ulaşmaya kadar, bir bütün olarak elektrotlardan ortalama akışla ve düzenli geniş ölçümlü dalgalanmalarla birkaç milimetre uzağa gidebilir (Hacohen vd., 1992). Bir bütün olarak çekirdeğin hareketi, buji elektrotları ile temas halindeki yüzey bölgesindeki anlık kırılmalarını ve katı cisimler tarafından müdahaleye uğramayan aktif alev-önü bölgesini belirler. Bu iki parametre, çekirdekten elektrotlara olan ısı kaybı ve yanmadan kaynaklanan ısı açığa çıkışı arasındaki dengeyi kurar ve böylece büyük oranda çekirdeğin büyüme hızını belirler. Çok duyarlı akış alanı, çekirdeği, elektrotlardan ve güç kaynağından ayırır. Çekirdeğin gelişim yönü, gelişimin diğer evrelerini de etkiler. Bu yüzden, eğer çekirdek, oda duvarlarına doğru ilerlerse, kısmi bir sönmeye de neden olabilir.

Alev çekirdeği, bir kısım geniş girdaplar tarafından etkilendiği bir boyuta ulaştığında gelişimine türbülanslı yanmanın alevli bölgesinde devam eder. Bu süreç, genellikle türbülanslı alev yayılımı evresi olarak anılır.

4.3 Türbülanslı Alev Yayılım Safhası

Bu evrede, silindir içindeki taze dolgunun büyük bir kısmı yanmıştır. Süresi, genel olarak yanmış kütle oranının %10 ile %90'ı arasındaki zaman farkı olarak tanımlanır. Fiziksel olarak, bu bölüm, sabit bir türbülanslı alev yayılımının oluşmasından sonra başlar ve silindir içindeki kütlenin alev önüne dahil olmasıyla son bulur. Bu süreci, alev-önünün arkasındaki yanmamış karışımın bazı kalmış kabarcıkları hala yanarken yanma önünün silindir çeperlerine ulaştığı bitim süreci izler.

Her durumda, yanma hızı büyük ölçüde aktif alev-önü alanına bağlıdır. Eğer, alev önceki evrelerde belirtildiği gibi, çekirdeğin merkezinde küresel olarak yayılsaydı, oda konfigürasyonu ile birlikte yanma odasındaki çekirdeğin yerleşimi, ani alev-önü bölgesine yönelirdi. Bu durumda, buji yerleşimi de yanma odasıyla ilgili çekirdek pozisyonu değiştirildiğinden etkileyici bir faktör olacaktır ki; her durumda çekirdeğin merkezi buji çevresindeki tırnak aralığı çevresine rastgele yerleştirilecektir. Gerçekte, silindirdeki yönlendirilmiş ortalama hızın varlığı küresel yayılımı bozar ve oda içerisinde buharlaşmasını sağlar. Bununla beraber, yanma hızı arttıkça, alev şeklinin küreden uzaklaşması ve merkezinin alev yayılımı sırasındaki buharlaşma mesafesi de azalacaktır.

Meydana gelen etki, oldukça fazla sayıdaki küçük olayların ortalamasından elde edildiği için, tasarlanan evrede, karışım bileşimindeki yerel dalgalanmaların akış hızı dikkate değer bir rol oynamaz. Bütün eşitlik değerlerindeki ve karışımın zayıflama düzeyindeki çevrimsel değişim de, ortalama türbülans yoğunluğundaki çevrimsel değişim kadar önemlidir. Karışımın bileşimi ile ilgili parametreler, laminar alev hızındaki yanma oranını etkilerken, türbülans karakteristiği etkili alev-önü bölgesini etkileme yönünde hareket eder. Alev yayılımı safhasında, verilen herhangi bir krank açısında, türbülans şiddetindeki çevrimsel değişim büyük oranda yanma safhasındaki çevrimsel değişime bağlıdır, örneğin ilk alev çekirdeği gelişim süresindeki çevrimsel değişim gibi. Bu yüzden, ilk alev çekirdeği gelişimi evresiyle alev yayılımı evresi arasında çok yakın bir ilişki vardır. Bu ilişki, yanma safhasının yanında olup, ilk çekirdeğin yerinden ve şeklinden de anlaşılmaktadır. Bununda ötesinde, taze dolgunun büyük bir kısmı, yanmanın asıl evresinde, yandığı için, dolgu yük verimindeki çevrimsel değişim diğer bir etkileyici faktör haline gelir.

5. ÇEVİRİMSSEL DEĞİŞİMİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Bu bölümde, çevrimsel değişim ile farklı biçimlerde ilgili olan iki faktör grubundan bahsedeceğiz. İlk grup çevrimsel değişimin ortaya çıkabileceği faktörleri içerirken, ikinci gruptakiler motorun birinci gruptaki faktörlere hassasiyetini belirleyen faktörleri içermektedir. Örneğin, denge oranı, buji yeri ya da yakıt tipi; yanmada kendi kendine çevrimsel değişimi meydana getirmez, fakat diğer faktörler karışımın türbülans kıvılcım boşalımı karakteristiği vasıtası ile oluşan çevrimsel değişimin boyutuna etki eder.

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi, ateşleme gecikmesi süresi için sıkça başvurulmuş ilk alev çekirdeğinin gelişim safhasındaki çevrimsel değişim motor performansındaki çevrimsel değişimler için en önemlisidir. Bu gerçek, farklı araştırmacılar tarafından “ateşleme gecikmesi süresi kısaltıldıkça, motor performansındaki çevrimsel değişim düşecektir.” prensibi kadar kabul görmektedir (Stone vd. 1992).

Her bir çevrimsel değişim faktörü aşağıdaki dört kaynaktan biri ile alakalıdır.

- Karışım bileşimi
- Çevrimsel silindir içindeki taze dolgu
- Ateşleme ve buji tırnak aralığı
- Silindir-içi karışım hareketi

İkinci grupta yer alan faktörler, yanmanın ana safhasını etkilerken, diğer bütün faktörler yanmanın herhangi bir evresinde rol oynayabilirler.

5.1 Karışım Bileşimi İle İlgili Faktörler

Bu grupta yer alan faktörler;

1. Yakıt tipi
2. Karışımın denge oranı
3. Karışımın Fakirleşmesi

5.1.1 Yakıt tipi

Yakıt tipinin motor performansı ve onun çevrimsel değişimi üzerindeki etkisi, ilk alev çekirdeği gelişimi esnasında oldukça önemli olan laminar yanma hızıyla direk olarak bağlantılıdır.

Young (1981), çevrimsel değişimi etkileyen yakıt tipinin iki özelliğinden bahsetmiştir. Bunlar, maksimum alev hızının meydana geldiği denge oranı ve bu maksimum değerin büyüklüğüdür. Farklı yakıtlar için, yanma odasında maksimum reaksiyon-önü hızında meydana gelen denge oranı 1:0 ile 1:45 arasındayken, bu maksimumun değeri 40 ile 50 m/s düzeyindedir. Diğer taraftan, farklı ticari benzinler karşılaştırıldığında, basınç gelişimi ile ilgili çevrimsel değişimdeki farkların azaldığı bulunur.

Heywood ve Vilchis (1984), kare kesitli tek silindirli bir motorun yanma odasındaki alev gelişimi ile ilgili olarak, propan ve hidrojen arasında bir kıyaslama yapmışlardır. Her iki yakıtın laminar yanma hızları motor koşulları altında, büyüklük olarak değişiklik göstermiştir (propan için yaklaşık 1 m/s ve hidrojen için yaklaşık 8 m/s). Yanma odasında oluşan proseslerin görüntülenmesi ve kaydedilmesi için Schlieren fotoğraf teknikleri kullanılmıştır. Hidrojen-hava karışımının yanma oranının, propan hava karışımınınkinden çok daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Hidrojen alevi daha küresel ve varsayılandan daha az düzensizdir. Hidrojenin yanması durumunda alevin büyüklüğü ve şekli de, çevrimden çevrime hemen hemen aynı şekilde tekrar etmektedir ve alev kıvılcım aralığının ortasında kalmaktadır. Bunun aksine, propan alev gelişiminin aynı evreleri için, birçok özellikte aynı önemli çevrimsel değişimler mevcuttur. Bu, önceki bölümlerde belirtilen ” yüksek yanma oranı silindir-içi hareketin etkisini azaltır.” teziyle de tutarlıdır ve hidrojendeki basınç gelişiminde meydana gelen daha küçük çevrimden çevrime değişimleri açıklar.

Stone (1992), deneylerini farklı yapılarıdaki üç saf yakıt ile yapmıştır. (Bunlar; izo-oktan, toluen ve metanol’ dür.) Basınçla ilgili tüm parametreler değişken sıkıştırma oranlı Otto motorunda ölçülür ve yanma performansını belirlemek için kullanılır. Farklı denge oranları, sıkıştırma oranları ve gaz keleşği konumu kullanılarak farklı çalışma koşullarına ulaşılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki; yakıtlar arasındaki fark, kendisini en çok fakir karışımlarda ve gecikmiş ateşlemeli karışımlarda göstermektedir ve en yavaş yanan yakıt (metanol) en

yüksek $DK_{P_{mi}}$ ’ e sahiptir. Araştırmada şu da belirtilmiştir ki; genelde, yakıtlar arasındaki farklar, hava-yakıt oranındaki bir birimlik değişimde oluşan farklardan daha küçüktür.

Son yıllarda yakıt tipiyle ilgili araştırmalar yapan araştırmacı kalmadı. Bu, muhtemelen, “ yakıtın laminar alev hızı arttıkça yanma hızı artar ve motor tarafından daha az çevrimsel değişim oluşur “ genel kanısından kaynaklanmaktadır.

Bir yakıtı, diğer bir yakıttan ayıran diğer bir parametre ise onun ısıtma değeridir. Bu parametre, alevin genişleme oranı ve adyabatik alev sıcaklığı vasıtasıyla yanma hızını etkileyebilir.

5.1.2 Karışımın Denge Oranı

Herhangi bir yakıt besleme (gerek enjeksiyon gerekse de karbüratör) sistemindeki yakıt atomizasyonu ve buharlaşma prosesi asla mükemmel değildir. Bazen, ihmal edilemeyecek büyüklükteki yakıt damlacıkları, ateşlemeye kadar, silindirin içinde kalırlar. Ve hatta, karışım bileşenleri arasındaki mükemmel olmayan karışıma (egzost artıkları ve resirküle olmuş gazlar da dahil olmak üzere), yanma odasında, özel karışım heterojenliğine neden olurlar. Bu yüzden, denge oranı ve buji ıtnak aralığı çevresindeki seyreltme miktarı çevrimden çevrime değişiklik gösterebilir. Bir sonuç olarak, ilk alev çekirdeği gelişim evresinde çevrimsel değişim oluşacaktır.

Karışım homojenleştikçe, çevrimsel değişim azalır. Bu konuda farklı araştırmacılar, farklı sonuçlar elde etmiştir. Örneğin, Patterson (1966) özellikle fakir karışımlarda, iyi karışmış propan-hava karışımının, normal olarak karıştırılmış benzin-hava karışımına göre daha çok tercih edilebilir olduğu sonucuna varmıştır. Bunun tam tersi olarak, Soltau (1960), gaz yakıtlar için emme manifolduna püskürtülen ya da karıştırılan sıvı yakıtlardan daha fazla bir basınç stabilitesine dikkat çekmemiştir.

Diğer taraftan P_{mi} dalgalanmalarıyla ilgili olarak, küçük bir tutarsız sonuç elde edilmiştir. Artık gaz heterojenliğinin elimine edilmesinin, P_{mi} dalgalanmalarında % 25 - 50’ lik bir azalmaya neden olduğu görülmektedir. Araştırmacılar bu sonuçları açıklarken, aslında iki çalışma çeşidindeki, farklı artık gaz düzeyleri arasında bir fark olmadığını vurgulamışlar ve düzenli çalışma koşulları altında dahi, artık gazın taze dolgu ile iyi bir şekilde karışacağı sonucuna varmışlardır. P_{mi} ’ deki azalma silindir içindeki atlamalı ateşleme esnasında

çevrimsel değişimlerin azalması ile sonuçlanır. İzleyen aşamalar çevrimsel silindir dolgusundaki değişimlerde detaylı olarak anlatılacaktır. Aslında, farklı artık gaz düzeyleri elde etmeyi başaramadıkları için, araştırmacıların, çalışmalarının bu bölümünde amaçlarına ulaşamadıklarını da vurgulamak gerekir.

Özet olarak, yanma üzerinde çevrimsel değişime hem motor performansı ve hem de yanma odasındaki karışım heterojenliğindeki bağımlılık tartışılır. Sztenderowitz ve Heywood (1990), Belmont vd.' nin (1991) devam eden iddialarında, tüm silindir hacmi, her birinin sıfırdan sonsuza doğru giden H/Y oranları olan, çok sayıda eşit kütle elementlerine bölünebilir. Ancak, bu elementlerin büyüklükleri göz ardı edilmiştir. Sadece heterojenlik düzeyiyle ilgilenildiğinde, Eltinge tekniği akılcıdır, çünkü, yeterli sayıda çok elementin toplam silindir içi yanmasından kaynaklanan egzost gazlarının analizine dayanmaktadır. Bunun tersi, ilk alev çekirdeği yanma evresinden bahsedildiğinde (Belmont vd. 1991), ilgili elementlerin sayısı çok daha sınırlı olduğundan, farklı ölçütler önem kazanmaktadır. Kısaca, farklı ölçütleri, türbülans yapısına ve buna bağlı olarak motor dizaynına ve çalışma rejimine bağlıdır. Belmont vd. (1991), bu ölçümleri milimetreler veya milimetrik farklarla ifade etmişlerdir. Ateşleme zamanındaki türbülans yapısı iyileştikçe, ilk alev çekirdeği formasyonuna katılan element sayısı ve buji çevresinde varolan yanabilir maddeler arasındaki bağlantılar da artmaktadır.

Böyle bir durumda, ilk yanma safhası, karışımın heterojenliğine daha az duyarlıdır. Bu etkiye örnek, Pundir vd. (1981)'nin sonuçlarıdır. Maskeli supabın kurulması ile karışıma girdap hareketi kazandırmışlar ve P_{max} değişiminin düşüşüne tanık olmuşlardır. Karışım heterojenlik düzeyi sabit kalırken. Bu araştırma göstermiştir ki, yanmadaki çevrimsel değişimler üzerindeki heterojenlik etkisi silindir içi türbülans karakteristiği kontrol edilerek azaltılabilir.

Karışımın heterojenlik ölçütlerinin genel durumundaki bir nokta da gözden kaçırılmamalıdır. Üiform elementlerin hacminden daha büyük örnek hacimli bir gaz modelinin kullanımı, karışımın heterojenliği hakkında doğru olmayan sonuçlara ulaşılmasına neden olur. Çok büyük bir örnek hacim birçok element içerir, fakat örneğin analizi onların üstünde bir ortalama Y/H oranı verir. Bu yüzden, Matsui vd. (1979) ve Hamai vd. (1986), sırasıyla 0.4 cc ve 1.1 cc'yi örnek olarak almışlardır. Bu hacimler yukarıda sözü geçen Belmont vd.' in tahminleriyle karşılaştırıldığında oldukça büyüktür. Ayrıca, şunu da hatırlatmalıyız ki, lokal karışım örnekleme metodu belirli karışım heterojenliği ile tüm taze dolgu içindeki çevrimsel değişimi birbirinden ayırmaya izin vermez.

Genel olarak, motordaki çevrimsel değişim üzerine karışımın denge oranının etkisinin, laminar yanma hızına bağlı olduğu ve en yüksek yanma hızına, stokyometrik ya da az miktarda zenginleştirilmiş karışımlarda ulaşılacağı belirtilmiştir (Young, 1981). Bu yüzden, stokyometrik orandan herhangi bir sapma, ateşleme gecikmesi zamanındaki ve çevrimsel değişim düzeyindeki yükselişle sonuçlanacak olan laminar yanma hızındaki düşüşe neden olur.

Young (1981) çeşitli araştırmacıların sonuçlarını özetlemiş ve yanma değişimlerinin bütün göstergelerindeki minimum değişikliklerin, tipik olarak 1.1 ila 1.25 arasındaki denge oranlarında oluşan az miktarda zengin karışımlarda olduğu sonucuna varmıştır. Bu karışım oranı, en iyi güç değerlerine eşittir ve en kısa yanma süresi ve en yüksek orandaki çevrim basıncını vermeye meyillidir.

Hill (1988) ile Hill ve Kapil (1989), deneyimlerini fakir karışımlardaki farklı hızlarda ve denge oranlarında Ricardo Hydra motoruna uygulamıştır. Basınç verilerinin frekans dağılımı üzerinde denge oranının bir örneğini sunmaktadır. Denge oranının 0.926'dan 0.727'ye düşüşü P_{max} ' ın yaklaşık iki katı bir relatif standart sapma ile sonuçlandığı görülür. Her ne kadar, 3000 d/d' lık hız, maksimum çevrimsel değişim koşullarıyla kıyaslandığında, oldukça yüksek gibi görünse de, çevrimsel değişim üzerinde motor hızının etkisinin, denge oranının etkisinden daha düşük olduğunu göstermektedir.

Bu şekil ayrıca, denge oranı ve P_{max} ' ın relatif standart sapması arasında, en azından test koşulları düzeyinde, hemen hemen lineer bir bağlantıyı sergilemektedir.

Pundir vd. (1981), motordaki çevrimsel değişim üzerinde dolgunun homojen olmamasının etkisini araştırmışlardır. Yanma odasındaki dolgu homojensizliği ve P_{max} ' daki çevrimsel değişimde denge oranının güçlü ve benzer etkilerini bulmuşlardır. Böylece dolgunun homojen olmaması ve çevrimsel değişimin stokyometrik karışımlara yakın bir karışımda minimuma ulaştığını bulmuşlardır. Yine, denge oranı ile P_{max} ' daki çevrimsel değişim arasındaki lineer korelasyon fakir karışım koşullarında görülebilir. Motor çevrimsel değişimindeki homojen olmama ve bilim adamları tarafından sağlanan deneysel şartlara çok daha fazla önem verilecektir. Araştırmacılar yanma odasındaki dolgu heterojenliğinin tüm denge oranlarına bağlı olması durumunda herhangi bir açıklama getirememişlerdi.

5.1.3 Karışımın Fakirleşmesi

Silindirde egzost gazlarının mükemmel olmayan atılmalarından dolayı, önceki başarılı çevrimlerden kalan artık gaz miktarı sıfır değildir. Ayrıca, NO_x emisyonunun düşürülmesi için bilinen yollardan birisi EGR' dir. Böyle bir karışım, yanabilirliği ve laminar yanma hızını azaltır.

Seyreltik miktarı değişiminin metotları, gaz keleşbeği açılma değişimi, test edilen atlamalı ateşleme çevrimleri, EGR miktarının değişimi ve ilave katıkların katılmasıdır. Tüm bu çalışmaların neticeleri gerek egzost gazları ile ve gerekse de diğer gazlarla genelde çevrimsel değişimin artmasına neden olan seyreltmedeki artış konusuna önderlik eder. Bu eğilimlerin açıklaması, karışımın fakirleşmesinin etkisine benzerdir (Young, 1980).

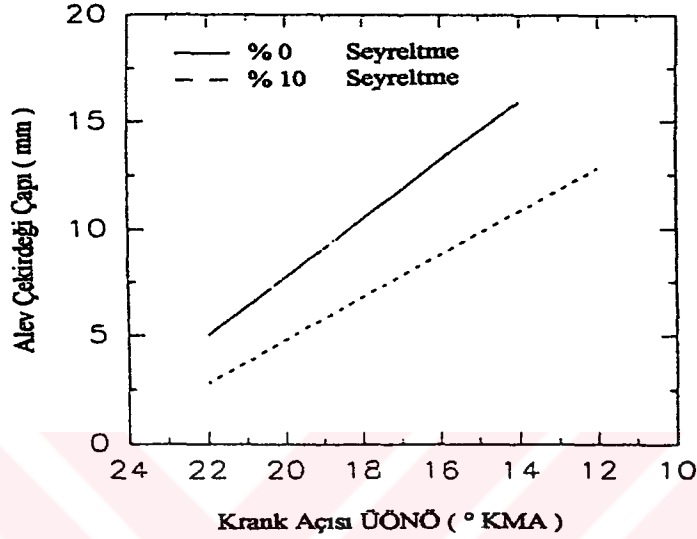
Basınçla ilgili parametrelerdeki çevrimsel değişim yanmayla ilgili parametrelerdeki benzer dalgalanmalardan ileri gelir. Bu, atmosfer koşullarındaki akım reaktörünün içindeki zayıf karışımda gelişen ilk alev çekirdeği gelişimine ilişkin Ho ve Santavicca (1987)' nın yaptığı araştırmalarla ispatlanmıştır. Denge oranı düşürölürken, alev çekirdeği gelişimindeki artan değişim bu sonuçta da oldukça açıktır.

Yukarıdaki bölümden yola çıkılarak, denge oranının, çevrimsel değişime ani bir etkisi olmaksızın, derece derece düşebileceği düşünölülebilir. Pratik olarak, motor çalışmasındaki denge oranı sınırlıdır. Bu sınır zayıf yanmama limiti olarak bilinir. Bu limit motordan motora değişir ve motor çalışma şartlarına bağlıdır.

Açıkça, karışım stokyometriye yaklaştıkça çevrimsel değişim azalır. Bununla beraber, girişte bahsedildiği gibi, motorun zayıf çalışmasının asıl eğilimine ters düştüğünden bunun çevrimsel değişim problemine bir çözüm olduğu düşünölmemelidir. Tersine, en zayıf motor çalışması için arzu edilir ve çevrimsel değişim diğer şartlar kullanılarak azaltılır.

Weaver ve Santanicca (1992), farklı krank açılarında seyreltilmemiş, alev çekirdeği boyutunda çevrimsel değişimdeki etkisini araştırmıştır. Araştırma, iki stroklu ve tek silindirli bir motorun, kare kesitli bir piston tarafından temsil edilerek, iki quartz camlı iki boyutlu Schlieren fotoğraf tekniğine imkan sağlayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar 0% ve

10%'lük iki seyreltme fraksiyon değeri için karşılaştırılmıştır. % 0'lık fraksiyon, mükemmel silindir temizlenmesini temin edebilmek için, atlamalı ateşlemeyle, her 10 çevrimin 9'unda elde edilmiştir. % 10'luk fraksiyon, aynı atlamalı ateşleme ve ek olarak azot girişiyle elde edilmiştir. Alev çekirdeği yarıçapının standart sapmasına ve değişim katsayısına olan etkisi Şekil 5.1 ve 5.2' de gösterilmiştir. Dikkat edilmelidir ki, standart sapma, seyreltme ile etkilenmemesine rağmen, relatif değişimler, seyreltme şartlarında büyük ölçüde artmaktadır.

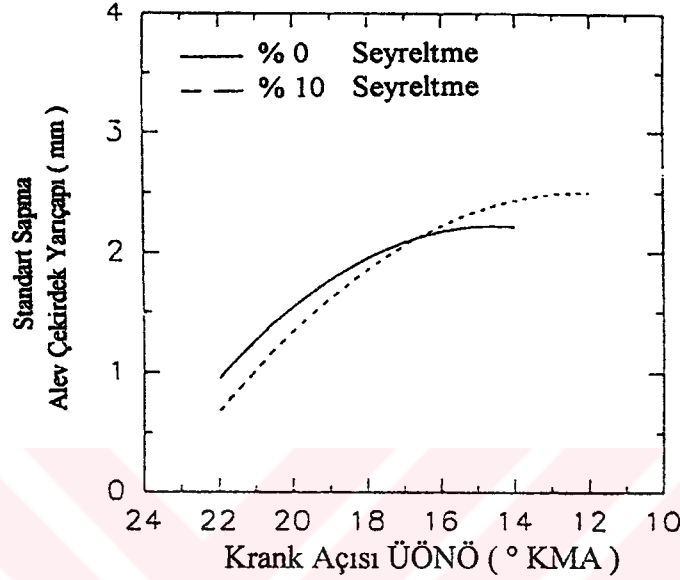


Şekil 5.1 Krank açısına bağlı olarak alev çekirdeği çapının seyreltmenin fonksiyonu olarak değişimi (Weaver ve Santavicca, 1992)

Bu etkinin sebebi, seyreltilmiş karışımlarda daha yavaş bir çekirdek gelişimidir. Bu yüzden, herhangi bir krank açısında, alevin boyutu daha küçüktür, ve aynı standart sapmayla, alev yarıçapındaki relatif değişimler daha büyük olacaktır. Aynısı, basınçla ilgili parametrelerdeki relatif değişimler için de söylenebilir. % 10'luk bir seyreltmenin P_{max} 'ın standart sapmasında % 6'lık bir artışa, $(dP/d\theta)_{max}$ 'ın standart sapmasında % 34'lük düşüşe neden olduğu açıkça görülebilir ki, $(dP/d\theta)_{max}$ 'ın standart sapmasındaki düşüş yanıltmamalıdır, her iki durumdaki yüzde değişimler hemen hemen ikiye katlanmıştır. Alev çekirdeği yarıçapındaki dalgalanmalarla, farklı krank açılarındaki P_{max} ve $(dP/d\theta)_{max}$ 'daki dalgalanmalar arasındaki bağıntı, 0 % ve 10 % seyreltme için yakın değerlere sahiptir.

EGR yüzdesinin, motor performansındaki çevrimsel değişime olan etkisi ve yanma karakteristiği hakkındaki bilgiler hala yeterli değildir.

Seyreltici yüzdesi arttıkça, yanma hızı azalır ve motor performansındaki çevrimsel değişim büyür ortak fikri araştırmacılar tarafından kabul görmektedir. Bununla beraber, emisyon düzenlemeleri, EGR' nin kullanımını teşvik etmektedir, bu yüzden, çevrimsel değişim üzerinde EGR' nin olumsuz etkisini telafi etmenin yolları üzerine yoğunlaşmak gerekir. Bu, karışımın negatif etkisini azaltmak için, diğer faktörlerin de göz önüne alındığı tüm denge oranına dikkat çekmektedir.



Şekil 5.2 Krank açısına bağlı olarak alev çekirdeği yarıçapındaki standart sapmanın seyreltmenin fonksiyonu olarak değişimi (Weaver ve Santavicca, 1992)

5.2 Çevrimsel Silindir İçindeki Taze Dolgu İle İlgili Faktörler

Bu gruptaki faktörler silindir içerisinde sıkıştırma süreci sonunda karışım kütleindeki değişimlere neden olan faktörleri içermektedir. Bu faktörler genellikle basınç ile ilgili parametreleri etkilemektedir.

Silindir içinde meydana gelen maksimum basınç P_{max} , ve bunun meydana geldiği krank açısı θ_{Pmax} arasında bir bağlantı bulunmaktadır (Şekil 2.1). Matekunas (1983)' ın çalışmaları sonucu elde edilen veriler şöyle değerlendirilebilir: Ortalama indike efektif basınçtaki dalgalanmalar, her bir çevrim başına yakılan yakıt miktarındaki çevrimsel değişimler ile kontrol edilebilirler ve bunların katkısı yaklaşık olarak % 50-75 arasındadır.

Taze dolgunun artık gaz miktarı ile karışımı, artık gaz sıcaklığının taze dolgunun volümetrik verimine olan etkisi, artık gaz miktarındaki değişimler, genellikle deneysel sonuçlar ile değil kabaca hesaplar yapılarak değerlendirilmiştir (Ozdor vd. 1994).

5.3 Ateşleme ve Buji İle İlgili Faktörler

Buji tasarımı ve ateşleme karakteristikleri, alev çekirdeği gelişim safhasında birincil öneme sahiptir. Bu kademe ve tüm çevrim özellikleri arasında güçlü bir bağıntı olması nedeni ile bu etkenler, tüm motor verimini etkilemektedir. Bu konudaki etkenler genel olarak iki ayrı bölümde incelenebilir;

1. Ateşleme sistemi ile ilgili faktörler:

Ateşleme avansı, ateşleme deşarj özellikleri,

2. Buji ile ilgili etkiler.

Buji kıvılcım boşluğu, buji elektrotunun şekli.

Tüm bu faktörler, alev başlangıcı ve alev oluşumunun ilk kademesini büyük ölçüde etkilemektedir. Yanmanın sonraki kademelerinde ise, bujinin yeri, ve yanma odasındaki ateşleme bujilerinin sayısı önemli bir rol oynamaya başlar.

5.3.1 Ateşleme avansı

Yanma ve basınç oluşumundaki minimum çevrimsel değişimler Maksimum Frenleme Torkunun ateşleme avansında meydana gelmektedir (Young, 1980). Ateşleme avansında çevrimsel değişimlerin etkisi karışımın fakir ya da zengin olmasına ya da buji yerine göre değişim göstermektedir. Bu şekilde karışım zayıfladıkça ya da buji yerinin yanma odasının merkezinden sapması arttıkça çevrimsel değişimlerin maksimum değeri daha belirgin olmaktadır. Karışım zenginleştikçe ve bujinin yeri yanma bölgesinin çevresine alındığında yanma hızı artmaktadır.

Aşırı öne alınmış bir ateşleme avansı ile, yüksek P_{max} ve bu basıncın meydana geldiği krank açısının ortalama değerleri ile nisbi değişiklikler meydana getirmektedir. Ortalama indike basınçta çevrimsel değişimlerin minimuma indirilmesi, MBT ateşleme zamanının katı bir

şekilde sınırlandırılması ile gerçekleştirilebilir. Fakat yavaş yanmalı motorlarda, yani fakir karışım ile çalışan motorlarda ateşleme avansının bu değerde tutulmasının hassasiyeti zor olmaktadır.

5.3.2 Ateşleme deşarj özellikleri

Bir kıvılcımın deşarj olmasında yani boşalmasında bir kaç özellik birden göze çarpmaktadır. Bunlar; kıvılcım süresi, kıvılcım enerjisi, vs. dir. Kıvılcım boşaltımı özelliklerinin, karışım ateşlenebildikçe çevrimsel değişimlere herhangi bir etkisi yoktur (Young, 1980). Yani hangi yük ve hızda çalışırsa çalışsın herhangi bir tekleme olmadığı sürece kıvılcım enerjisinin çevrimlerin tekrarlanabilirliği üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Başka bir deyişle, alev çekirdeği oluştuktan sonra belirli bir yolu takip ederek yanacaktır.

Hava / yakıt oranının yanabilirliği sınırında, kıvılcım enerjisinin düşmesi ile tekleme başlar fakat bu farklı bir sorundur. Bu koşullar altında bujinin ateşleme sistemi ile biriktirilen enerji seviyesi ateşlemeyi gerçekleştirmek için yeterlidir ve hatalı ateşleme sadece elektrot açıklığı normal değer altına düştüğünde meydana gelir. Bu nedenle bu konuyu etkileyen en önemli özellik buji tırnak açıklığıdır. Bu, eksik yanma ya da yanmama noktasını oluşturur (Patterson, 1966). Fakat bu konu ayrı bir bölümde incelenecektir. Daha önce yapılan çalışmalarda kıvılcım deşarj özelliklerinin çevrimsel değişimlere olan etkisi sadece yapılan çalışmalarda kullanılan ateşleme sistemlerinin farklı olmasından ya da farklı motor tiplerinden ya da çalışma rejimlerinden kaynaklanmaktadır.

Kıvılcım boşluğundaki gaz hareketleri kıvılcım süresini etkilemektedir. Kıvılcım boşluğundaki ortalama hız azaldıkça kıvılcım deşarj süresi uzamaktadır (Le Coz, 1992)

Kıvılcım süresinde daha yüksek bir enerji ve daha uzun bir kıvılcım süresi, kısa zamanda daha büyük hacimli bir alev bölgesinin oluşmasına neden olur. Bununla birlikte ateşleme gecikmesi süresi kısaldığında, çevrimsel değişimlerin azalması beklenmektedir (Sher ve Keck).

Eğer kıvılcım enerjisi artarsa yanmanın ilk kademelerinde daha hızlı bir başlangıç alev çekirdeği meydana gelir ki, bu da MBT (Maksimum Frenleme Torku) zamanlamasında ortalama indike basınç değerlerinin standart sapmasında bir azalmayı beraberinde getirecektir (Heywood, 1988).

Bunun yanında ateşleme noktalarındaki kıvılcım iki değişik şekilde meydana gelmektedir. Bunlar; düşük enerji seviyesine sahip seri birdeşarj ve yüksek enerji seviyesine sahip tek birdeşarj. Her iki durumda da ateşlenebilirlik olduktan sonra çevrimsel değişimlere etkisi hemen hemen yoktur veya yok denecek kadar azdır (Patterson, 1966).

5.3.3 Kıvılcım boşluğu

Kıvılcım boşluğunun etkisi iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Birincisi; kesme gerilimi ve enerjisindeki değişimdir. Boşluk arttıkça bu boşluktan geçecek olan gerilim artar vedeşarj kademesinde serbest bırakılan enerji seviyesi artar. İkinci etki ise, alev çekirdeğinden kaybedilen enerji yüzdesinin ısı transferi yoluyla elektrotlara olan değişimidir.

Kıvılcım boşluğunun artması genellikle alev çekirdeği hacmini artırır. Bu nedenle yukarıda sayılan ilk etki alev başlangıcının ilk kademelerinde, ikinci etki ise alev çekirdeği büyümesi kademesinde belirgin olmaktadır.

Sonuç olarak kıvılcım boşluğunun artması ile, orijinal alev çekirdek büyüklüğü de artmaktadır. Bu şekilde alev hızı da artmaktadır.

5.3.4 Buji elektrot şekli

Buji elektrotlarının şekli, alev çekirdeğinden elektrotlara ısı kaybının belirlenmesinde ana etkindir. İnce ve/veya keskin uçlu elektrotlardan daha uygun çekirdek ısı dengesi beklenilmesi doğaldır. Çünkü ısı geçişi az olmaktadır. Ancak bu tip elektrotlar daha güçlü bir aşınmaya maruz kalırlar. Bunun nedeni ise ısı geçişinin az olması nedeni ile daha yüksek sıcaklıklarda çalışmasıdır. Bu şekilde ince ya da keskin uçlu elektrotların yüzey sıcaklıkları daha yüksek olur. Bu ise motorun yüksek yüklerdeki çalışması esnasında ön ateşlemeye neden olarak vuruntulu çalışmaya sebebiyet verebilir.

Elektrotlar incelidikçe, ilk alev çekirdeği gelişim hızı artmakta ve bunun çevrimsel değişimleri azalmaktadır. Buna rağmen ince elektrotların kullanılmasındaki mahzurlar elektrot kaplama malzemelerinin daha da geliştirilmesi ile giderilebilir.

5.3.5 Bujilerin sayısı ve yeri

İdeal olarak kuvvetli bir dönme hareketi bulunmadığında tek bir buji kıvılcım boşluğunun merkezi olarak yanma odasının tam merkezine yerleştirilmelidir. Birden çok buji kullanımı, yanma odasında taze dolgunun birden çok noktadan ateşlenmesi anlamına gelir. Bu ise tüm yanma odasında alev varma zamanının kısalması ve kütle yanma hızının artması anlamına gelir.

Aynı anda ortaya çıkan alev çekirdeklerinin sayısı arttıkça ilk yanma hızı artar. Bunun da ötesinde ateşleme bölgelerinin sayısı arttıkça, yavaş veya kısmi yanmalı çevrimlerin daha çok ortadan kalkması nedeni ile çevrimsel değişimler azalacaktır.

Klasik bir buji eksenel açıdan simetrik değildir. Buna rağmen arkın, merkez elektrot ile şase arasında oluştuğu dikkate alınırsa, ortalama akım yönüne göre bujinin yeri elektrotların çevresindeki yerel akım alanını etkilemektedir. Farklı ateşleme bujisi kullanıldığında çevrimden çevrime değişimlerde çok fazla bir değişim olmamaktadır. Bununla birlikte, çevrimsel enerji açığa çıkış oranındaki değişimler üzerinde buji sayısının etkileri tüm motor hızlarında hemen hemen aynıdır.

Ayrıca çevrimsel değişimler sadece ilk alev gelişimine bağlı değil aynı zamanda yerel alev gelişim oranlarına da bağlıdır, yani çevrimsel değişim sadece türbülans değil, aynı zamanda silindir içindeki taze dolgunun hareketinden de etkilenmektedir. (Beshai vd., 1989)

5.4 Silindir İçi Karışım Hareketi İle İlgili Faktörler

İçten yanmalı bir motorda silindir içindeki akış esas olarak türbülanslıdır. Türbülans kuvvetlerinin yapısının, motordaki yanma üzerinde çevrimsel değişim konusunda en etkili parametre olarak dikkate alınması gerekir. Silindir içindeki türbülans hareketi kaçınılmaz bir özellik olmasından dolayı motor performansındaki çevrimsel değişim tam olarak ortadan kaldırılamaz. Türbülanslı akışın iki etkisi vardır;

Birincisi; türbülanslı akış, alev ön alanını artırmak sureti ile yanmayı hızlandırırken, yanmış ve yanmamış taze dolgu kısımları arasında ısı ve kütle transferini iyileştirir. Bu şekilde çevrimsel değişimler azalma eğilimine girer.

İkincisi; buji ateşleme boşluğu bölgesindeki rasgele akış şekli, taze dolgu hızının sahip olduğu büyüklük ve yönündeki dalgalanmalara neden olur. Bu, ilk alev çekirdeği gelişiminde çevrimsel değişimin sebebidir. Her iki etki de yanma odası geometrisi, buji yeri vs. gibi diğer etkenler ile ilgilidir. Bu sebeple, her iki etkinin katkısı motordan motora değişebilir.

Karışım Hareketi ile ilgili etkenler şunlardır:

- Kıvılcım boşluğu bölgesinde ortalama akış hızı
- Türbülans yoğunluğu

Değişen akış şekli yanmanın tüm kademeleri boyunca türbülans özelliklerinde değişikliklere neden olur. Buji yeri, kıvılcım boşluğu civarındaki yerel akış şeklini etkilemektedir.

5.4.1 Kıvılcım boşluğu bölgesinde ortalama akış hızı

Kıvılcım boşluğu bölgesinde ortalama akış hızının bir çok önemli etkisi vardır. İlk alev çekirdeği oluşum kademesinde, alev çekirdeğini ısı kayıplarını azaltarak elektrotlardan iletletmektedir (Pischinger ve Heywood, 1990). İstenmeyen bir durumda (uygun olmayan bir şekilde yerleştirilmiş bir buji, uygun olmayan türbülans akışı, vs.) bu iletim elektrotlardan birine veya yanma odası çeperlerine olmaktadır. İlk alev çekirdeği iletimi, alev başlangıç kademesinde kütle yanma hızını etkilemekte ve bu şekilde belirli bir krank açısında ateşleme gecikmesi zamanını ve alev çekirdeği yarıçapını değiştirmektedir. Bununda ötesinde ortalama akıştaki çevrimsel değişim, çekirdeği kıvılcım boşluğu bölgesinde farklı yerlere getiren rasgele iletime de neden olabilir. Bu durumda her hangi bir çevrimde alev yayılma kademesi ilk alev çekirdeği merkezinin ilk yerine bağlı olacaktır; bu merkez, yanma odasına ne kadar yakın olursa çevrimde de o seviyede hızlı bir yanma beklenebilir.

Akış hızındaki bir artış kıvılcım süresinde bir azalmaya neden olur (De Soete, 1983). Ateşleme anında kıvılcım bölgesindeki akış hızının, alev çekirdeğinin büyümesine ve henüz yanmamış olan bölgeye iletimine önemli derecede etkisi olur. Bu etki yanmadan kaynaklanan çevrimsel değişimlerin asıl nedenlerinden birisini teşkil etmektedir.

İlk kademelerde alev çekirdeğinin konumu ve büyüme hızındaki çevrimsel değişimler Otto motorlarındaki basınç değişimindeki dalgalanmaların asıl nedenidir. Silindir içindeki ortalama akış, tamamı ile çevrimsel değişimleri oluşturmaz. Çekirdeğin yer değiştirmesi ve yönü konusundaki tüm değişiklikler türbülanslı akışta çekirdeğin rasgele yer değiştirmesine dayandırılmaktadır.

Pischinger ve Heywood, 1990, ateşleme avansı ve buji yeri konusunda ortalama akış hızının önemli bir rol oynadığını kabul etmişlerdir. Çevrimsel değişimleri minimuma indirmek için ortalama akış hızı değerleri 3 - 5 m/s aralığında tutulmalıdır. Alev gelişimindeki çevrimsel değişkenliğin 2/3' ü alevin çekirdek merkezinin bujiden hareketi esnasında oluşmakta, geri kalan kısmı ise karışım kompozisyonu ve türbülansa dayandırılabilir.

Ateşleme öncesi geçen zaman azaldıkça ortalama hız ve türbülans yoğunluğu artmaktadır. Ortalama akım hızı ve türbülans yoğunluğu arttıkça yanma süresi azalmaktadır (Arcoumanis ve Bae, 1993).

Ele alınan çalışmalarda, etki düzeyi tam olarak belirli olmasa da, ortalama akışın, alev çekirdeğinin büyüme hızında kıvılcım karakteristiklerini değiştirdiği ve alev çekirdek iletimini etkilediği bulunmuştur.

5.4.2 Türbülans Yoğunluğu

Türbülansın iyileştirilmesi ile yanma oranı artarken, çevrimsel değişimler azalmaktadır. Yanma sonucu elde edilen enerji miktarı anlık yanma hızına ve alev ön alanına bağlıdır. Alev önü alanı türbülans tarafından etkilenir. Yanma esnasındaki türbülans, alev ön alanını kırıtırıp buruşturarak artırır. Bu şekilde bir miktar türbülansın alev gelişim oranı için avantajlı olduğu görülmektedir.

Fakat alev demeti gelişimi için bütün dalgalanmalar uygun değildir. Hızlı girdap akışları alevi soğutabilir (Ko ve Andersson, 1989). Türbülans şiddeti artarken akışta bu girdapların oluşma olasılığı artar ve lokal alev soğuması meydana gelebilir. Türbülans şiddeti küçük ise denge oranının 0.8' den büyük oranlarında alevin başlangıç stabilitesini etkiler. Gerçekte karışım türbülans tarafından harekete maruz bırakıldıkça, oluşan dalgalanmalar gibi kıvılcım karakteristikleri de artar.

İlk alev demetinin gelişimi için küçük ölçekli türbülans çok önemlidir. Fakat buji bölgesinde meydana gelen yüksek hızlardaki çevrimsel değişimin basınçtaki çevrimsel değişimler üzerinde çok büyük bir katkısı yoktur. Denge oranı 0.7 olan karışımlarda bir miktar daha yüksek değerdeki türbülans şiddeti alev demetinin gelişimini iyileştirmektedir.

Türbülans şiddetinin ortalama piston hızı ile hemen hemen lineer olduğu bilinir. Yani piston ortalama hızı artarken, türbülans şiddeti artmaktadır. Bu şekilde ortalama piston hızının etkisi değişik motor hızlarında ilk alev demeti gelişimi ile karşılaştırma yapılarak incelenebilir.

Sonuç olarak, alev demetinin gelişim oranının çevrimler arasındaki değişimini azaltmak için buji boşluğu bölgesindeki türbülans şiddeti artırılmalıdır. Motor devir sayısı artarken piston ortalama hızının ona paralel olarak artması, motorun yüksek devirlerdeki çalışması esnasında çevrimsel değişimlerin azalacağı fikrini doğrulamaktadır. Fakat bu durum türbülans şiddetinin bir sınırına kadar doğrudur. Bu değerin üzerine çıkıldığında yerel alevin sönmesine neden olan alevin uzaması şeklinde ters bir etki oluşur.

Diğer yandan, ortalama türbülans şiddeti, motor çalışma şartlarına, özellikle karışımın denge oranına ve kıvılcım karakteristiklerine de bağlıdır. İncelenen makalelerde, yüksek türbülans şiddetinin belirli bir sınıra kadar alev yayılımının ana fazında faydalı olduğu görülmüştür.

5.4.3 Silindir içi akış şekli

Motorun yanma odası içerisinde çeşitli akış şekillerine rastlanabilir. Bir yanma odasındaki gerçek akış şekli motor tasarımı ile belirlenebilir. Özellikle yanma odası şekli, emme manifoldunun şekli, emme supaplarının tipleri ve konfigürasyonu en etkili faktörlerdir. Silindir içindeki akış şekli ayrıca pistonun şekli ve motor çalışma şartlarına da bağlıdır.

Maksimum yanma oranındaki değişimler, yanma odası içindeki bulunan akış modelindeki değişimlerden ve silindire her bir çevrimde giren yakıt miktarındaki değişimlerden de etkilenebilir. Ayrıca, alev gelişim prosesindeki değişimler maksimum yanma oranındaki değişimlere neden olmaktadır.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Deney Motoru

Deneylerimizde Yıldız Teknik Üniversitesi Motorlar Laboratuvarında bulunan 171 cm³, tek silindirli, yandan supaplı, L kafa, Honda 171 cc G42 model benzinli deney motoru kullanılmıştır. Motor manyetik ateşleme sistemi ile çalıştırılmakta ve basit bir karbüratör kullanılmaktadır.

Deney motoruna ait veriler aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Sıkıştırma Oranı	6.5 : 1
Çap	65.8 mm
Strok	50.2 mm
Silindir hacmi	171 cm ³
Silindir Sayısı	1
Emme supabı çapı	29 mm
Egzost supabı çapı	26 mm
Ateşleme Avansı	35 ° Ü.Ö.N.Ö.

Çevrimsel değişimin etkilerinin incelenmesi amacı ile yapılan ölçümlerin en yaygını olan her bir çevrimin maksimum basıncı, maksimum basıncın meydana geldiği krank açısı ve her bir çevrime ait indike ortalama efektif basınç değerlerinin elde edilmesi için gerekli olan sinyaller motorun silindir kafasına monte edilen bir basınç algılayıcı sensör ve motor miline bağlı 536 mm çaplı bir disk üzerindeki Ü.Ö.N konumunu gösteren manyetik bir konum sensörü tarafından algılanılmış ve her iki sinyal eş zamanlı olarak aynı amplifikatöre verilmiştir.

Deneylerde ticari bir buji kullanılmıştır. Bujide orijinal olarak mevcut bulunan pul, buji elektrotlarının üst ölü noktaya göre konumu değiştirilirken ya çıkarılmış ya da farklı kalınlıklardaki pullar bu pula ilave yükseklik kazandırmak amacı ile ilave edilmiştir.

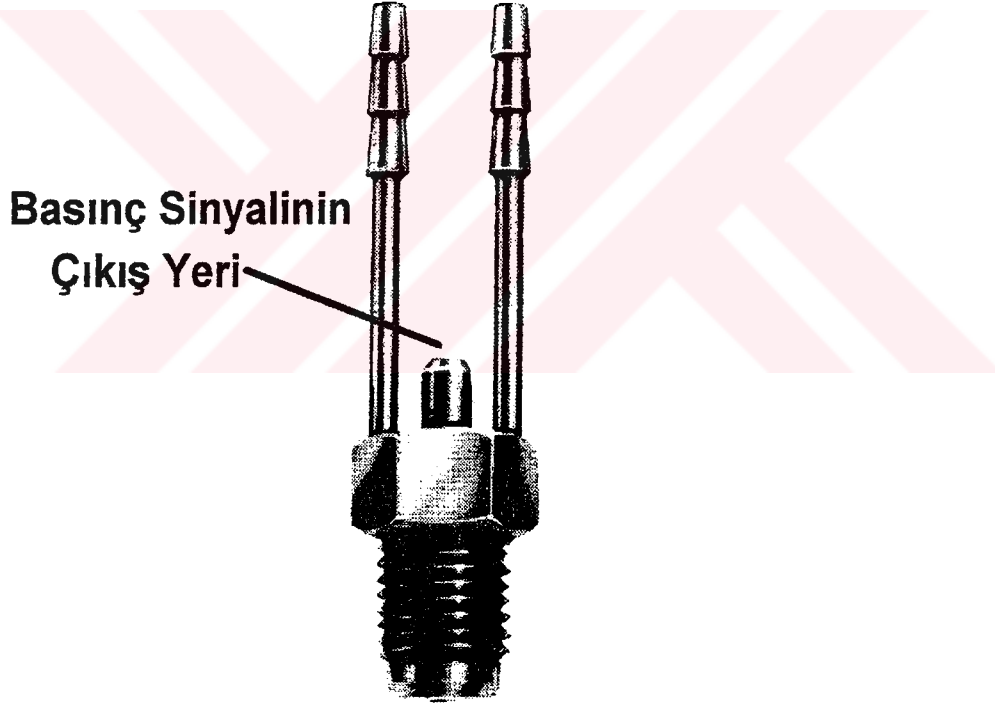
Deneylerde ateşleme avansı sabit tutulmuştur. Böylece çevrimden çevrime değişimlerin etkileri incelenirken motor hızına bağlı olarak ateşleme avansının değişimi, çalışmanın güvenilirliğini artırmak amacı ile 35° KMA ÜÖNÖ sabit bırakılmıştır.

Deneylerde motor yüksüz olarak çalıştırılmış ve hava fazlalık katsayısı ölçülmemiştir.

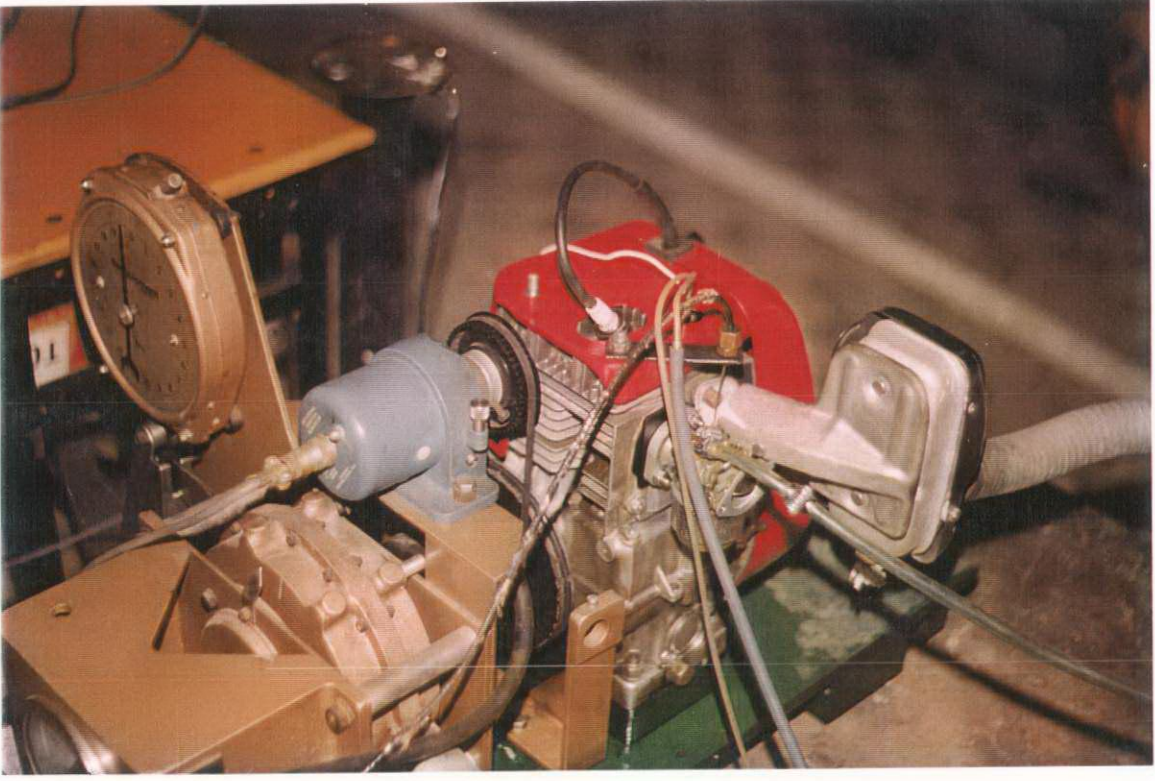
Silindir kafasına monte edilen AVL 8QP serisi 8QP500C model su soğutmalı basınç algılayıcı sensör ile motorun işletim şartlarındaki silindir içi basıncı analog sinyal olarak alınmıştır.

Bu sayede eş zamanlı olarak alınan, silindir içi basıncı sinyali ve Ü.Ö.N. konum sinyali bir kuvvetlendirici kartta toplandıktan, işlenmesi için uygun hale getirildikten sonra her iki sinyal mikro işlemci karta gönderilir.

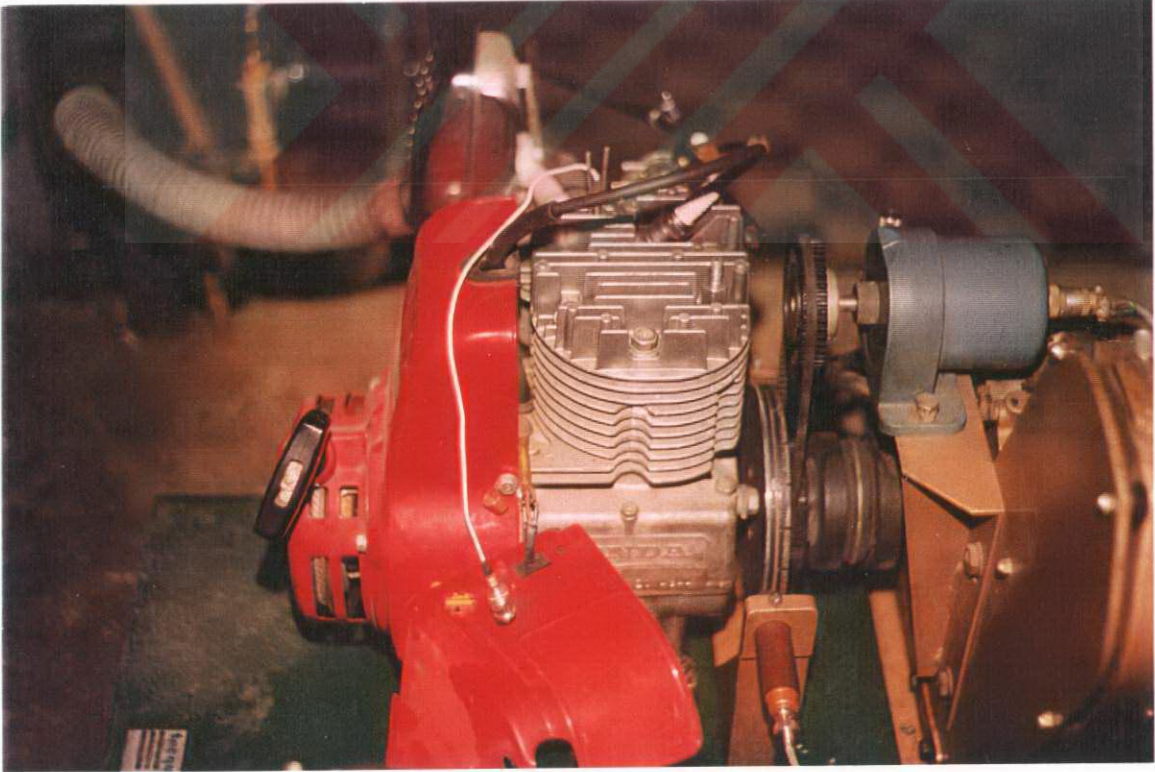
Soğutma Suyu Giriş ve Çıkışları



Şekil 6.1 Su soğutmalı basınç algılayıcı sensör



Şekil 6.2 Deney setinin genel görünüşü



Şekil 6.3 Deney setinin önden görünüşü

6.2 Kuvvetlendirici ve Mikro İşlemci Kartı

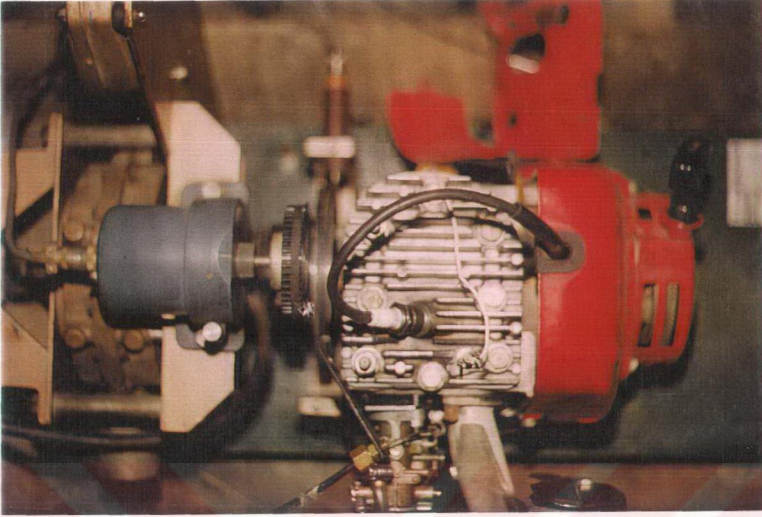
Motorun silindir kafasına yerleştirilen basınç algılayıcı sensör ve Ü.Ö.N. konum sensöründen gelen ve amplifikatörde yükseltilecek sinyaller, üzerinde iki adet Op – amp (LM 353 ya da LF 353, işlemsel amplifikatör) olan karta gelir. Her bir Op – amp bir sinyal için kullanılır. Burada bu sinyaller ayrı ayrı ve eş zamanlı olarak önce buffer ile kuvvetlendirilir, sonra karşılaştırılır. 0 V ya da +5 V olan bu sinyaller mikro işlemci kart üzerindeki mikro işlemcinin ADC1 ve ADC2 girişlerine verilir. İki adet Op – amp, mikro işlemci kart üzerindeki doğrultucu ve regülatörün +12 ve -12 V çıkışlarından beslenir.

Kartın üzerindeki iki potansiyometreden (ayarlı direnç) biri sinyalin genliğini ayarlarken diğeri sinyalin üst konumunu belirlememize yardımcı olur.

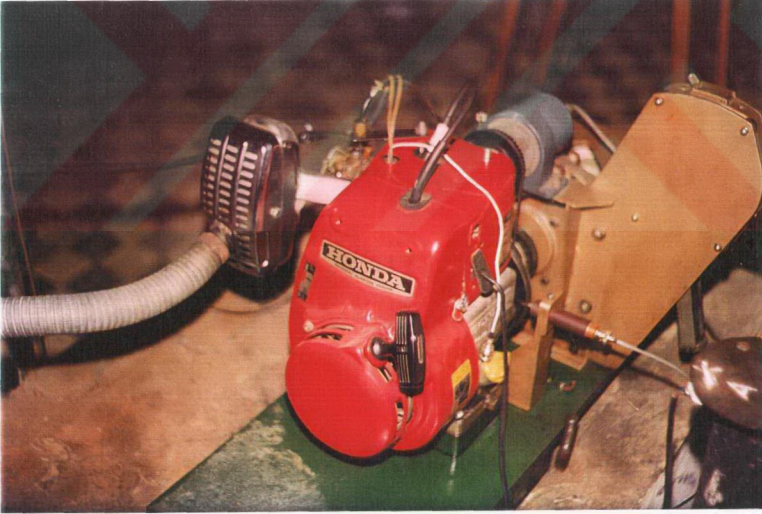
Deney yapılırken aynı zamanda her bir Op – amp' ın çıkışından Osiloskopta sinyalin görülmesi sağlanır.

Mikro işlemci kartın girişinde 220 V AC gerilim bir transformatör ve bir doğrultucu ve gerilim regülatörü (7812) ile hem iki Op – amp' ın ve hem de mikro işlemcinin beslenmesi sağlanır. Mikro işlemcinin (PIC167C76) içinde bir adet RS 232 modülü vardır. Bu modülden alınan sinyaller RS – 232 gerilim konverterinden geçirilip 9-pin RS – 232 konnektöründen bilgisayarın seri girişine verilir.

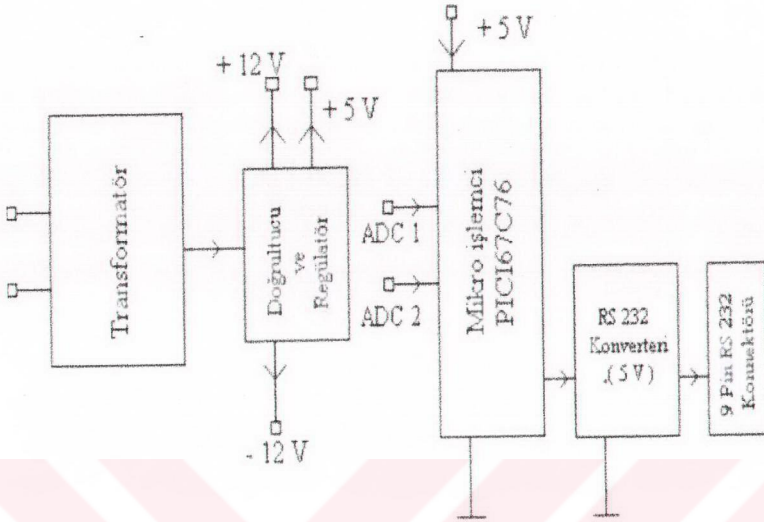
Deneylerde 486 DX 66 model bir bilgisayar kullanılmıştır. Bilgisayara yüklenen program vasıtası ile değerlendirici karttan gelen sinyaller veri olarak saklanmış ve Excel programında bu veriler kullanıma uygun hale getirilmiştir.



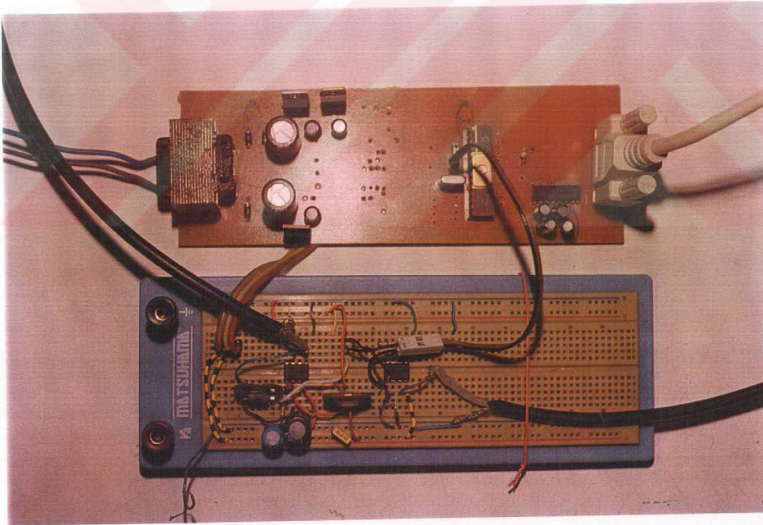
Şekil 6.4 Deney setinin üstten görünüşü



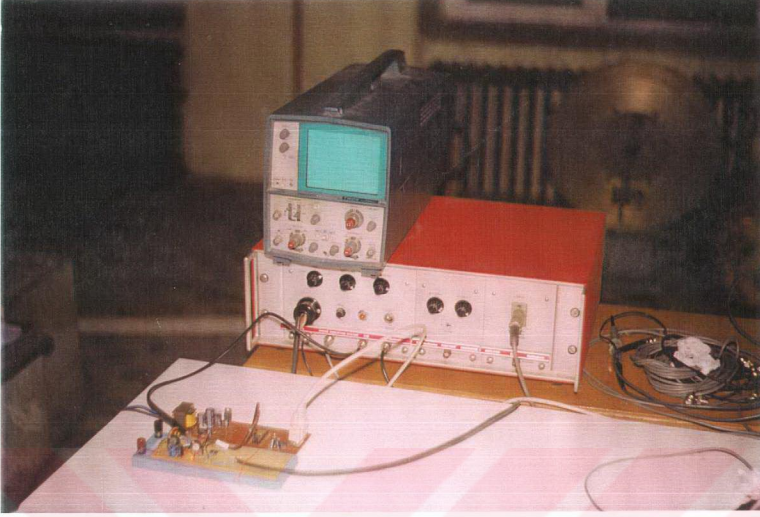
Şekil 6.5 Deney setinin yandan görünüşü



Şekil 6.6 Mikro işlemci kartın şematik şekli



Şekil 6.7 Kuvvetlendirici ve mikro işlemci kartlarının görünüşü



Şekil 6.8 Osiloskop ve amplifikatörün genel görünüşü

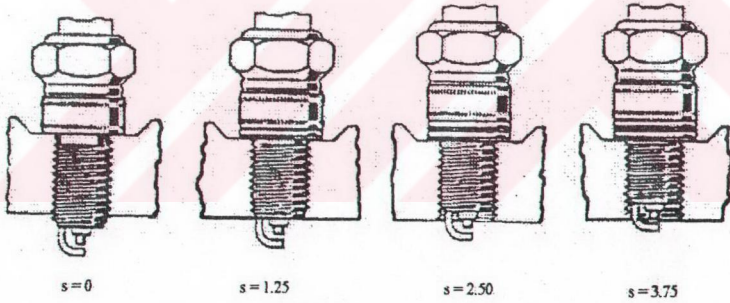
6.3 Deneyler ve Sonuçları

6.3.1 Bujinin Ü.Ö.N.' ya göre konumunun çevrimsel değişimlere etkisinin deneysel olarak incelenmesi

Bujinin Ü.Ö.N.' ya göre konumunun çevrimsel değişimlere etkisinin incelenmesi amacı ile motor 1000 - 3500 d/d aralığında çalıştırılıp 6 farklı devir sayısında ölçümler alınmıştır. Bu deneyler 4 farklı buji konumunda yapılmıştır; $s = 0, 1.25, 2.50$ ve 3.75 mm. Bu deneylerde buji üzerinde bulunan orijinal pul ile aynı yüksekliğe sahip pullar kullanılmıştır.

Bu sayede buji konumu orijinal değerinde ($s = 1.25$) ve orijinal değerinden farklı değerlerde deneyler yapılarak buji tırnak aralığı bölgesinde türbülansın özellikleri değerlendirilmiştir.

Bu deneyin amacı buji tırnak bölgesi Ü.Ö.N.' ya daha yakınlaştırılarak ya da Ü.Ö.N.' dan daha da uzaklaştırılarak (yukarı çekilerek) iddia edildiği gibi türbülansın bu bölgedeki etkisi basınç - zaman diyagramlarından elde edilen sonuçlar ile değerlendirilmiştir.

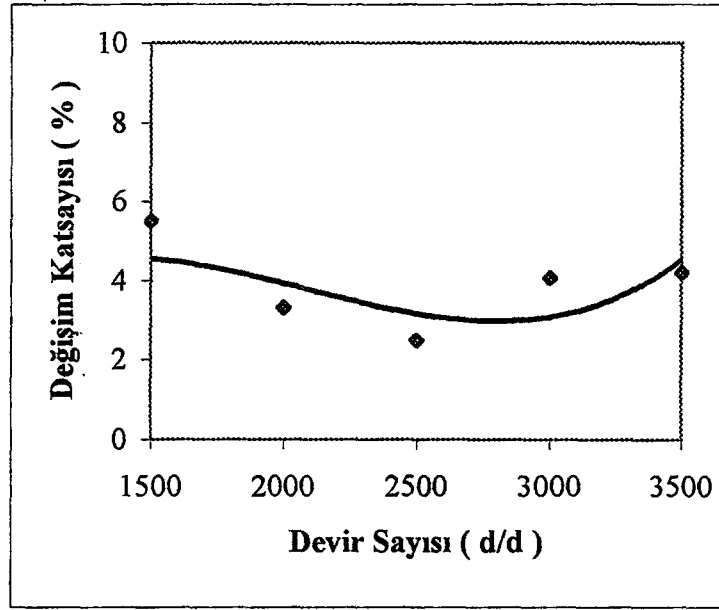


Şekil 6.9 Dört farklı çalışma için bujinin yanma odası içerisindeki konumları

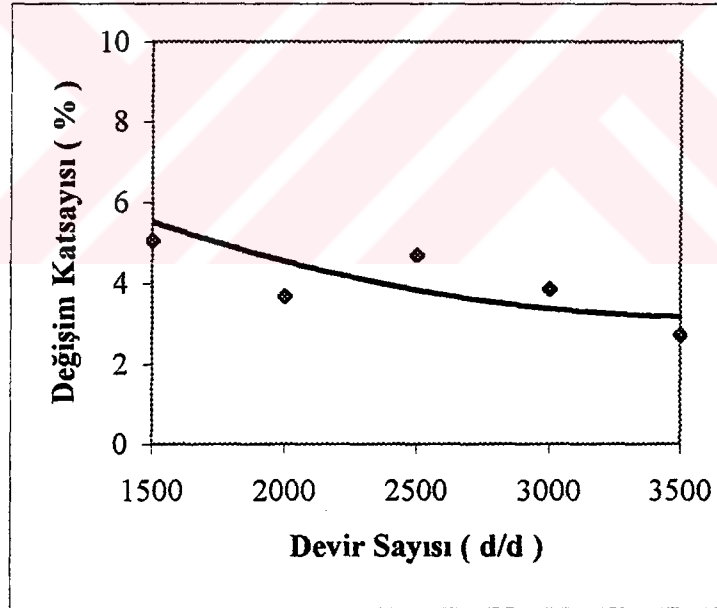
Bir sonraki sayfadan itibaren verilen ilk iki sayfadaki dört şekilde dört farklı buji konumu için devir sayılarına göre değişim katsayılarının değişimi, daha sonraki üç sayfada bulunan altı şekilde ise belirli bir motor hızı için buji konumunun değişim katsayılarına etkisi gösterilmektedir.

Bu deneye ait veriler Ek 1' deki çizelgelerde ve her bir durum için silindir içi basınç değişiminin grafikleri Ek 1' deki şekillerde verilmektedir.

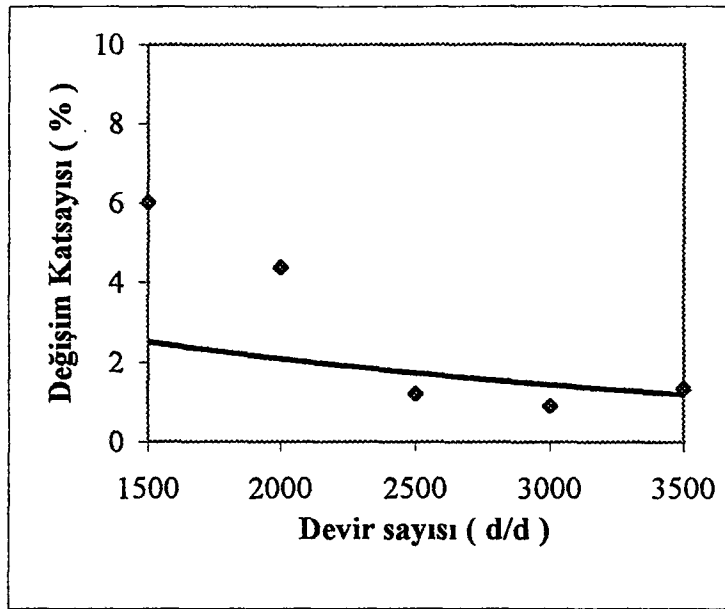




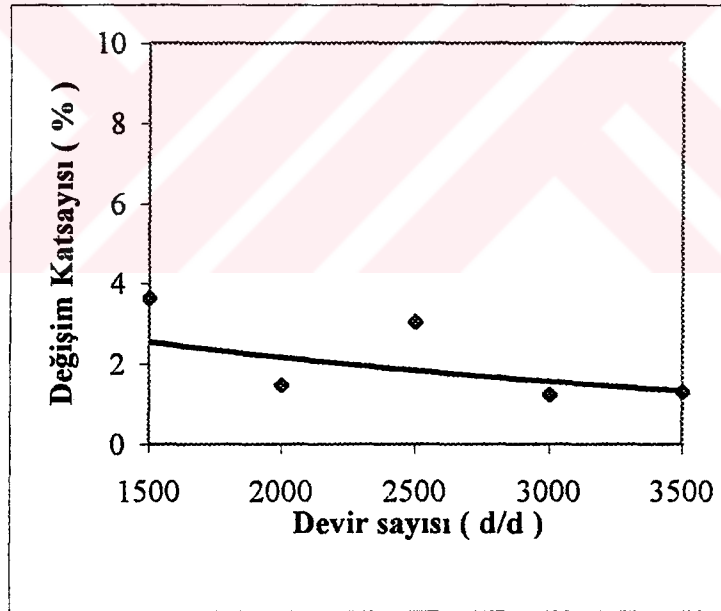
Şekil 6.10 $S = 0$ mm buji konumunda, motor devir sayılarına göre değişim katsayısının değişimi



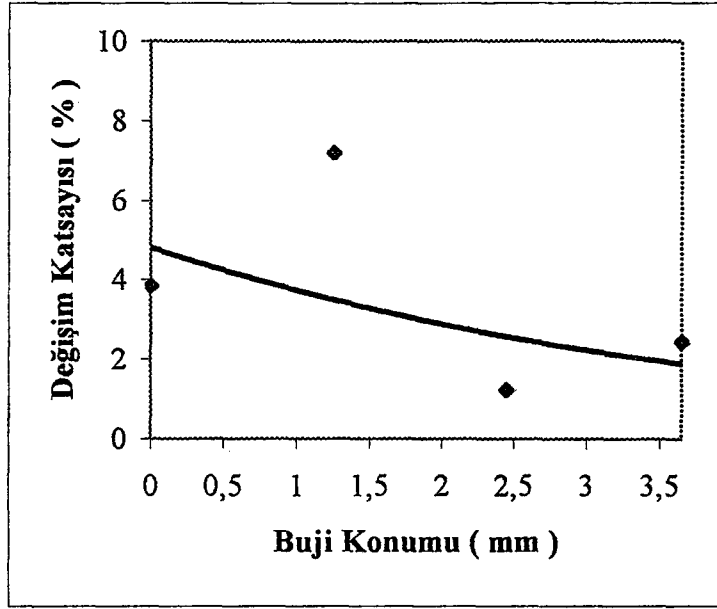
Şekil 6.11 $S = 1,25$ mm buji konumunda, motor devir sayılarına göre değişim katsayısının değişimi



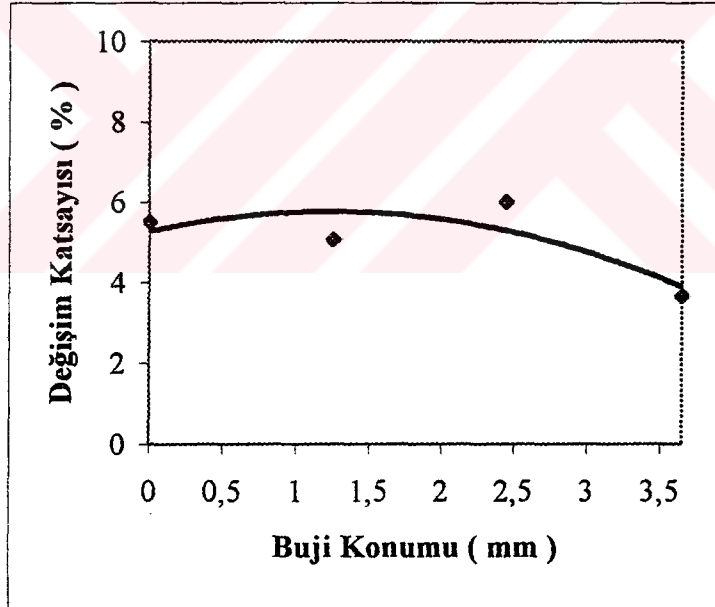
Şekil 6.12 S = 2,50 mm buji konumunda, motor devir sayılarına göre değişim katsayısının değişimi



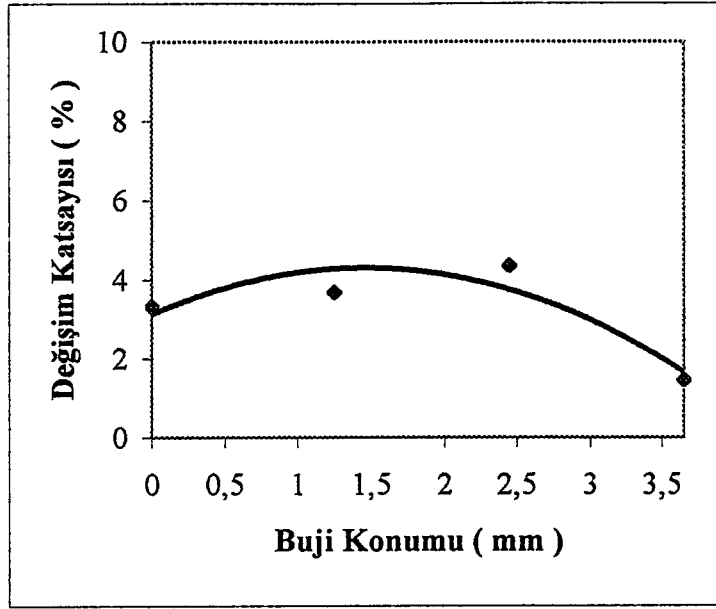
Şekil 6.13 S = 3,75 mm buji konumunda, motor devir sayılarına göre değişim katsayısının değişimi



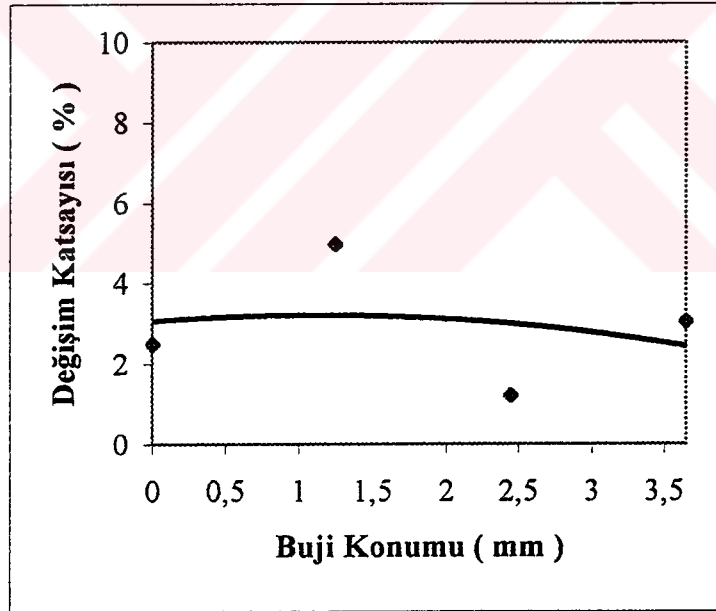
Şekil 6.14 1000 d/d motor hızında buji konumuna göre değişim katsayısının değişimi



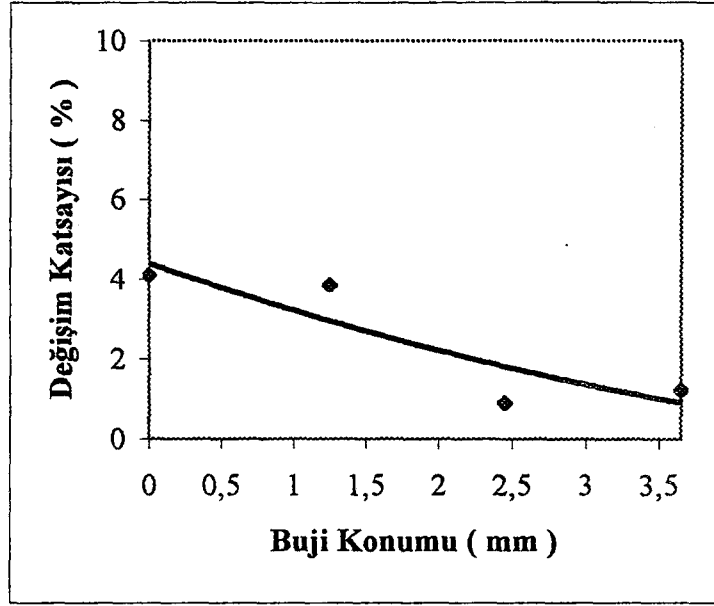
Şekil 6.15 1500 d/d motor hızında buji konumuna göre değişim katsayısının değişimi



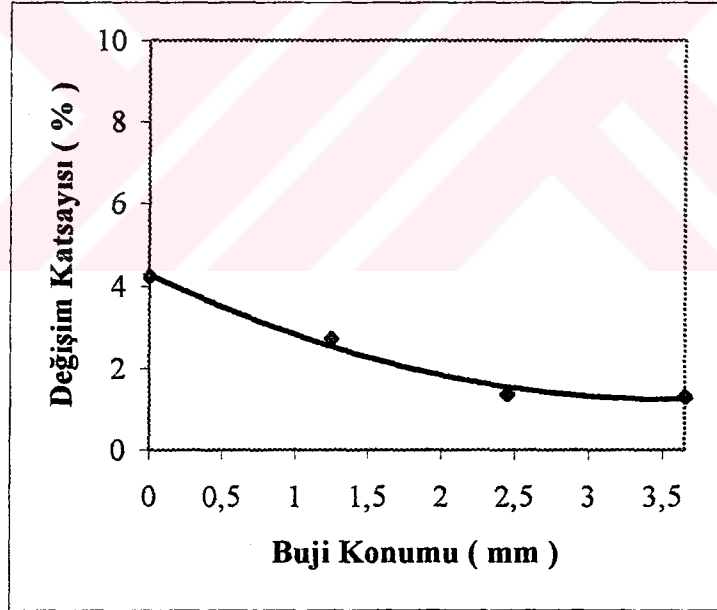
Şekil 6.16 2000 d/d motor hızında buji konumuna göre değişim katsayısının değişimi



Şekil 6.17 2500 d/d motor hızında buji konumuna göre değişim katsayısının değişimi



Şekil 6.18 3000 d/d motor hızında buji konumuna göre değişim katsayısının değişimi



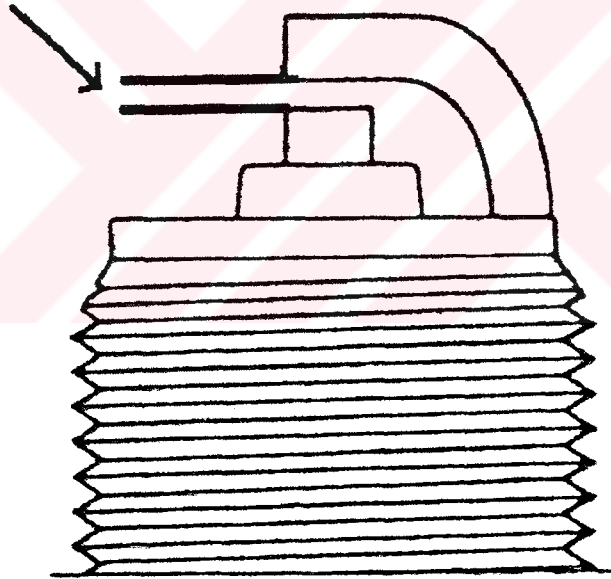
Şekil 6.19 3500 d/d motor hızında buji konumuna göre değişim katsayısının değişimi

6.3.2 Buji tırnak aralığının çevrimsel değişimlere etkisinin deneysel olarak incelenmesi

Buji tırnak aralığının çevrimsel değişimlere etkisinin incelenmesi amacı ile motor 1000 - 3500 d/d aralığında çalıştırılıp 6 farklı devir sayısında ölçümler alınmıştır. Bu deneyler 6 farklı buji tırnak aralığında yapılmıştır; 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0 mm. Bu deneylerde buji tırnak aralığı 0.5 mm' den başlayarak 1.0 mm' ye kadar açılmış ve her bir değer sente ile ölçülmüştür.

Bu sayede buji tırnak aralığının orijinal değerinde (0.8 mm) ve orijinal değerinden farklı değerlerde deneyler yapılarak buji tırnak aralığındaki değişimin etkisi deneysel yolla açıklanmaya çalışılmıştır.

Bu deneyin amacı genel bir kanı olarak düşünülen ve değerlendirilen 0.8 mm buji tırnak aralığının çevrimsel değişimlere etkisi konusunda ne kadar doğru olup olmadığı sorusuna cevap almaktır.

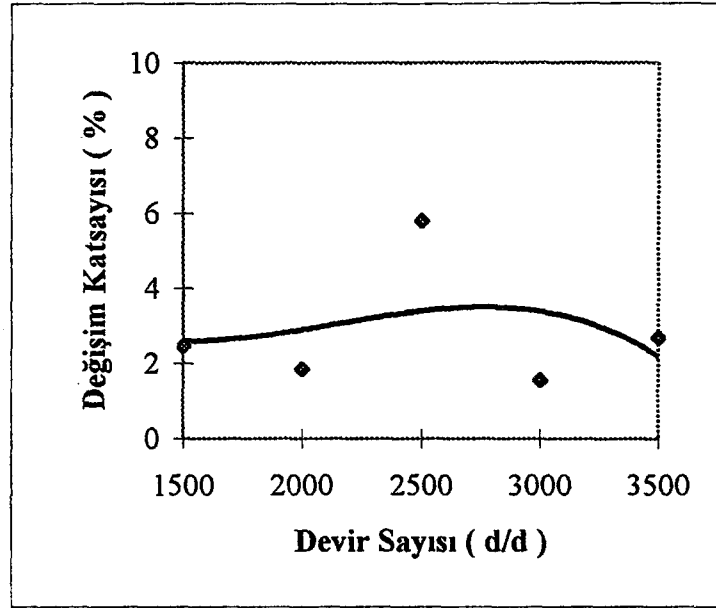


Şekil. 6.20 Deneylerde kullanılan bujinin değiştirilen tırnak aralığı bölgesi

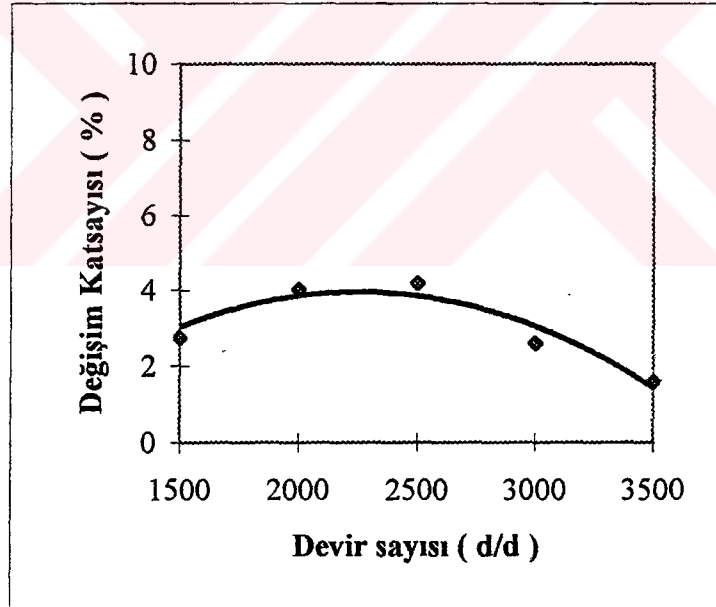
Bir sonraki sayfadan itibaren verilen ilk üç sayfadaki altı şekilde altı farklı buji tırnak aralığı değeri için devir sayılarına göre değişim katsayılarının değişimi, daha sonraki üç sayfada bulunan altı şekilde ise belirli bir motor hızı için buji tırnak aralığının değişim katsayılarına etkisi gösterilmektedir.

Bu deneye ait veriler Ek 2' deki çizelgelerde ve her bir durum için silindir içi basınç değişiminin grafikleri Ek 2' deki şekillerde verilmektedir.

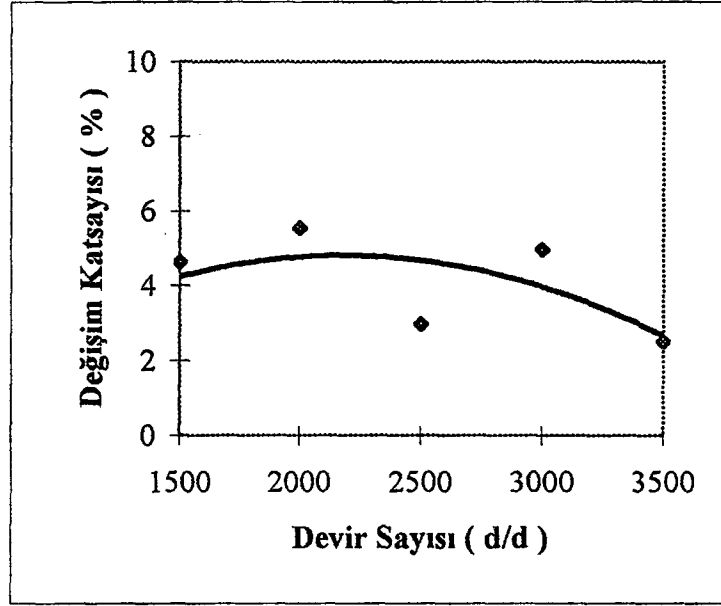




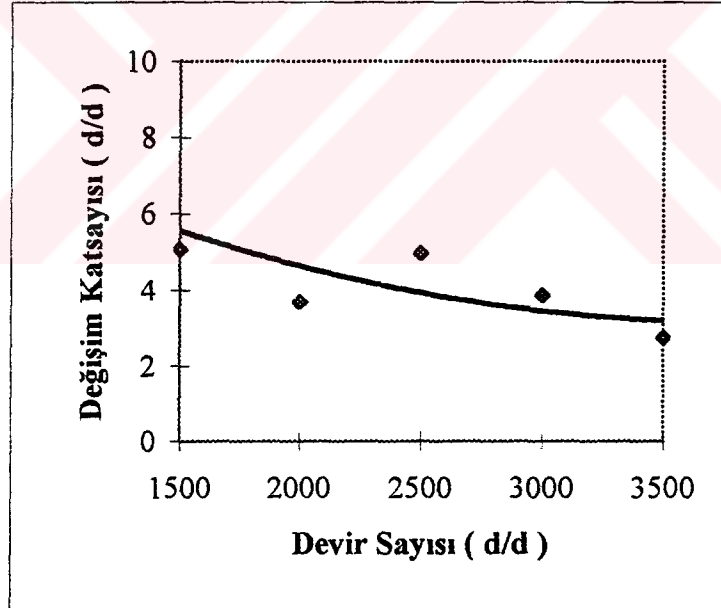
Şekil 6.21 0,5 mm buji tırnak aralığında, motor devir sayılarına göre değişim katsayısının değişimi



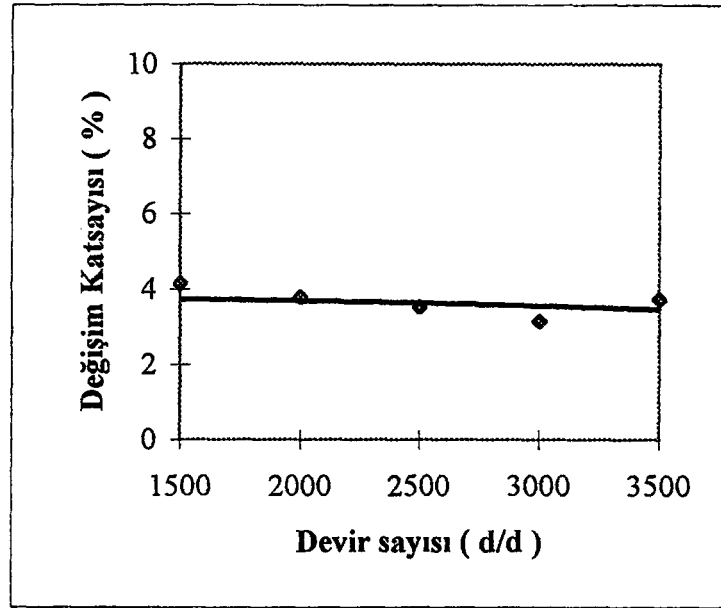
Şekil 6.22 0,6 mm buji tırnak aralığında, motor devir sayılarına göre değişim katsayısının değişimi



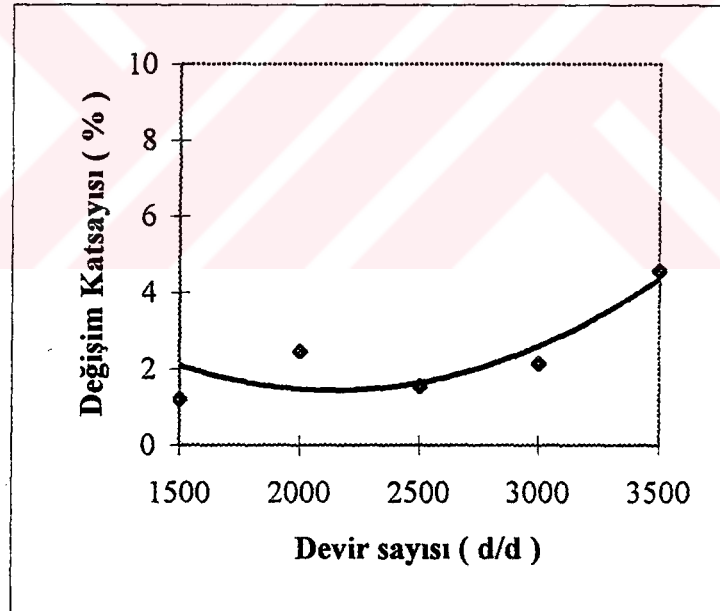
Şekil 6.23 0,7 mm buji tırnak aralığında, motor devir sayılarına göre değişim katsayısının değişimi



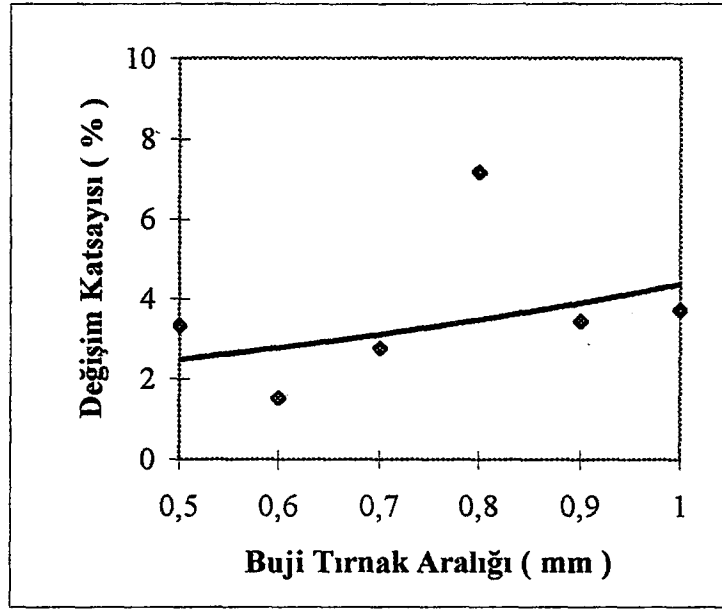
Şekil 6.24 0,8 mm buji tırnak aralığında, motor devir sayılarına göre değişim katsayısının değişimi



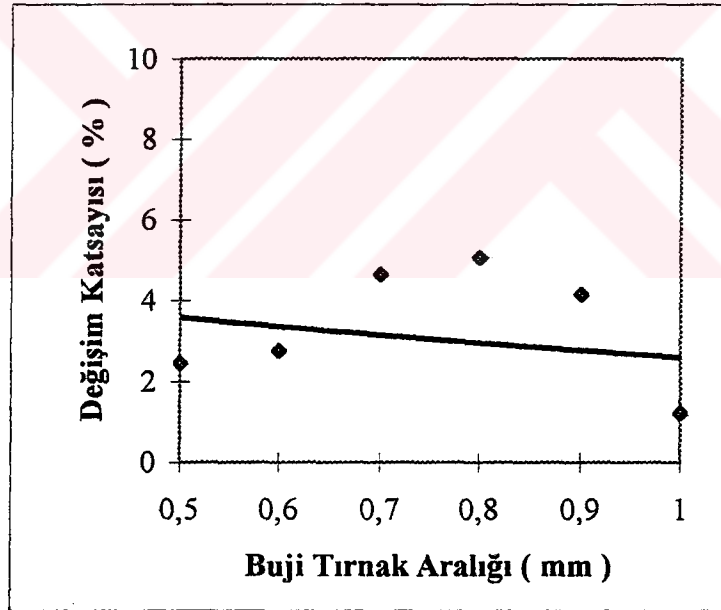
Şekil. 6.25 0,9 mm buji tırnak aralığında, motor devir sayılarına göre değişim katsayısının değişimi



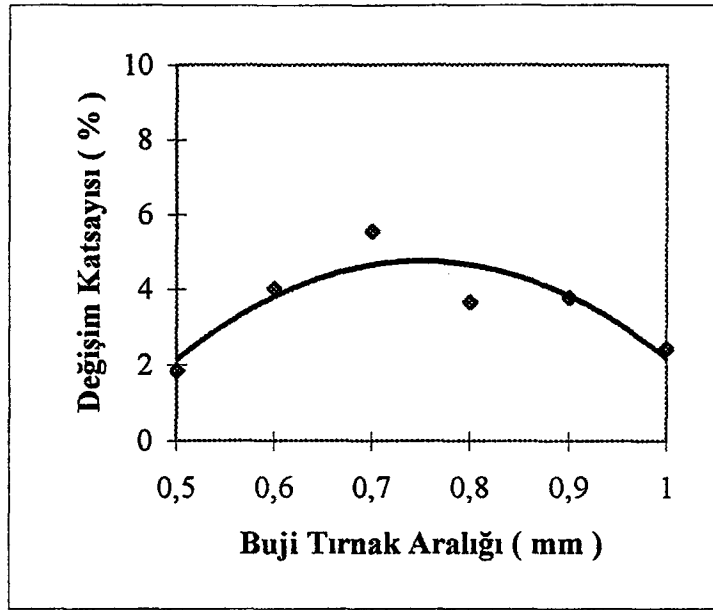
Şekil 6.26 1,0 mm buji tırnak aralığında, motor devir sayılarına göre değişim katsayısının değişimi



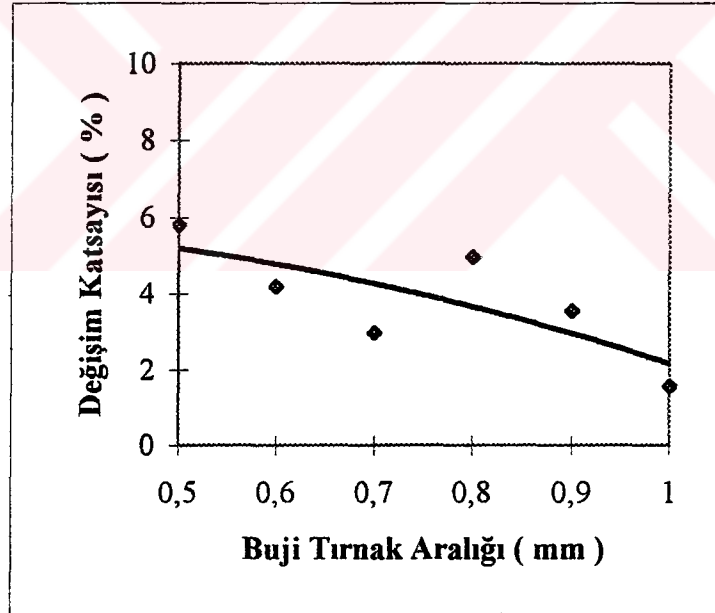
Şekil 6.27 1000 d/d motor hızında buji tırnak aralığına göre değişim katsayısının değişimi



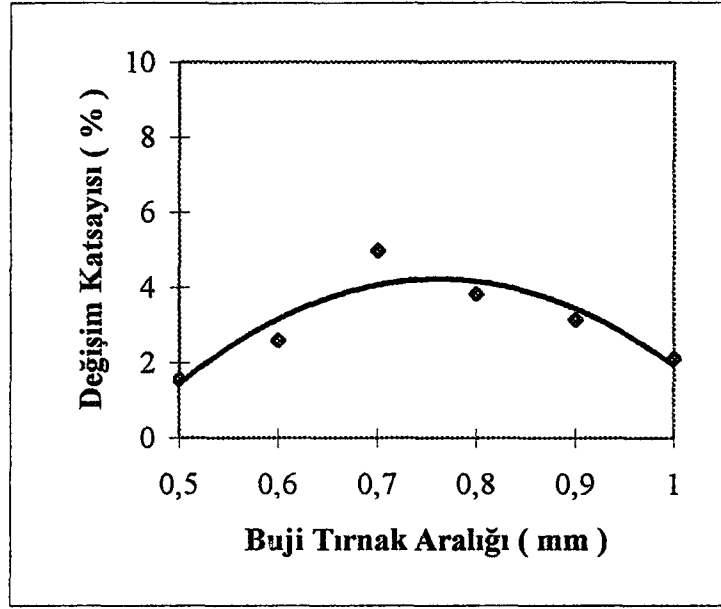
Şekil 6.28 1500 d/d motor hızında buji tırnak aralığına göre değişim katsayısının değişimi



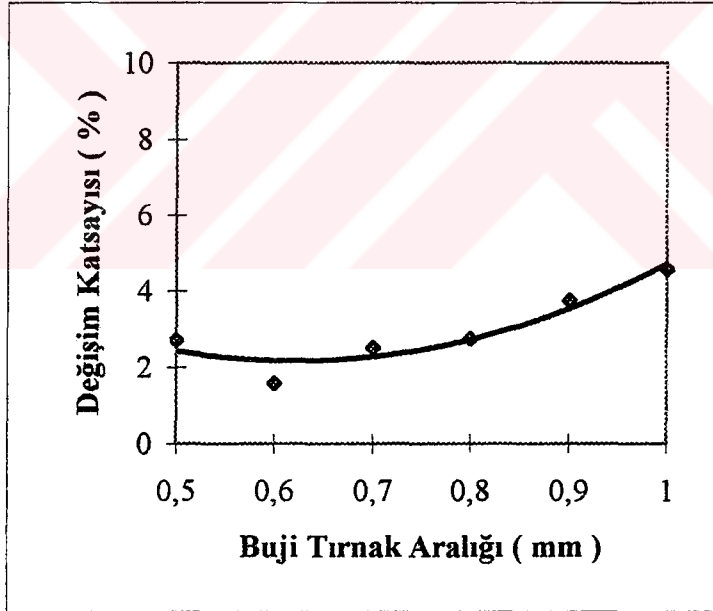
Şekil 6.29 2000 d/d motor hızında buji tırnak aralığına göre değişim katsayısının değişimi



Şekil 6.30 2500 d/d motor hızında buji tırnak aralığına göre değişim katsayısının değişimi



Şekil 6.31 3000 d/d motor hızında buji tırnak aralığına göre değişim katsayısının değişimi



Şekil 6.32 3500 d/d motor hızında buji tırnak aralığına göre değişim katsayısının değişimi

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER:

Bu çalışma sadece laboratuvar şartlarında yapılmış olan bir çalışma olup, kullanılan motor bir taşıt motoru değildir. Dolayısıyla deney sonuçları bu motora ait deney sonuçlarıdır ve bu sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Sonuç kısmını iki farklı grupta toplamak mümkündür:

1- Buji konumuna göre yapılan deneylerde, açıkça görülmektedir ki, ilk iki deneyde ($s = 0$ ve $s = 1.25$ mm) motor devir sayılarına göre değişim katsayıları incelendiğinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Öte yandan sonraki iki deneyde ($s = 2.50$ ve $s = 3.75$) buji tırnak bölgesi tamamen içeri çekilmiş olup değişim katsayılarının motor devir sayılarına göre değişimi ilk iki deneye göre bariz bir şekilde düşmektedir.

Devir sayılarına göre ele alındığında; düşük devirlerden yüksek devirlere çıkıldıkça değişim katsayısı düşmektedir. Şekillerin genel bir eğilimi buji konumunun artması ile değişim katsayısının düştüğü şeklindedir. 2500 d/d' ya kadar yani düşük devirlerde değişim katsayısı özellikle orijinal buji konumunda yüksek değerler verirken, 2500 d/d' da bu eğri tüm buji konumlarında hemen hemen aynı değeri almıştır.

Bununla birlikte, yüksek devirlere çıkıldığında (3000 d/d ve 3500 d/d), buji konumunun değişim katsayısına etkisi daha belirgin bir hal almıştır. Buji konumu arttıkça değişim katsayısı lineer olarak azalmaktadır.

Düşük devirlerde dolgunun tam homojen olmaması, bir önceki çevrimden kalan artık gazların tam olarak atılamamasının sonucu olarak yanma hızının düşmesi ile beraber buji konumunun etkisi tam olarak görülemez iken, yüksek devir sayılarında bu etki açıkça görülmektedir.

Yani, bujiyi Ü.Ö.N.' dan yukarı doğru çektiğimizde dolayısıyla buji tırnak aralığını türbülansstan uzaklaştırdıkça değişim katsayıları yani çevrimsel değişimler azalmaktadır.

2- Buji tırnak aralığının çevrimsel değişimlere etkisinin incelendiği deneylerde, daha farklı sonuçlar gözlemlenmiştir.

Buji tırnak aralığı değerinin 0.8 mm olduğu duruma kadar, eğriler göstermiştir ki orta hız kademelerinde yüksek değişim katsayıları elde edilir. Bunun nedeni buji tırnak aralığı değeri azaldıkça kıvılcımın daha küçük bir bölgede oluşması yani alev çekirdeğinin o an için küçük olması ve özellikle düşük devirlerde buji tırnak bölgesindeki türbülansın fazla etkilenmemesidir.

0.8 mm' de devir sayısına bağlı olarak lineer bir azalma kaydedilmiş, 0.9 mm buji tırnak aralığı şartında ise, her devir sayısında aynı ve % 4' lük bir değişim katsayısı değeri bulunmuştur.

Devir sayılarına göre inceleme yapıldığında, genel eğilim buji tırnak aralığının ara değerlerinin, - özellikle 0.8 mm - çevrimsel değişimler için kötü bir değer olduğudur.

Genel bir sonuç olarak şu söylenebilir;

Genellikle piyasada geçerli olan buji tırnak aralığı çevrimsel değişimler için olumsuz bir değerdir. Ve bu değer yerine 0.8 mm' den daha büyük olan 0.9 ya da 1.0 mm çevrimsel değişimler için daha uygun görülmektedir.

Bunun yanında buji tırnak aralığının türbülanslı bölgeden uzaklaştırılması ile çevrimsel değişimlerdeki azalma çarpıcıdır. Bu nedenle 1.25 mm buji konumu yerine 3.75 mm' lik buji konumunun kullanılması değişim katsayısındaki büyük bir azalma ile sonuçlanır.

KAYNAKLAR

Abdel-Gayed, R.G., Bradley, D., Lawes, M. ve Lung, F.K.K., (1986), “ Premixed Turbulent Burning During Explosions “, Twenty-first Symposium (International) on Combustion / The Combustion Institute, Pg. 497-504

Anbarasu, M., Abata, D.L. ve Moilanen, P.C., (1994), “ Modeling of early pressure Rise and Flame Growth in a Spark Ignition Engine “, SAE Paper No. 941930

Arcoumanis, C, Bae, C.S. ve Hu, Z., (1994), “ Flow and Combustion in Four-Valve, Spark-Ignition Optical Engine “, SAE Paper No. 940475

Barton, R.K., Lestz, S.S. ve Meyer, W.E. (1971), “ An Emprical Model for Correlating Cycle by Cycle Cylinder Gas Motion and Combustion Variations of a SI Engine “, SAE Paper No. 710163

Barton, R.K., Kenemuth, D.K., Lestz, S.S. ve Meyer, W.E., (1970), “ Cycle-by-Cycle Variations of a Spark Ignition Engine - A Statistical Analysis “, SAE Paper No. 700488

Beretta, G.P., Rashidi, M. ve Keck, J.C., (1983), “ Turbulent Flame Propagation and Combustion in Spark Ignition Engines “, Combustion and Flame 52: Pg. 217-245

Beshai, S., Deniz, O., Chomiak, J. ve Gupta, A., (1988), “ Cycle-by-Cycle Variation of Maximum Energy release Rates in a Spark Ignition “, Forum On Industrial Applications of Fluid Mechanics-1988

Beshai, S., Deniz, O., Chomiak, J. ve Gupta, A., (1989), “ An Experimental Study of the Variations in Cyclic Energy Release Rates in a Spark Ignition Engine “, AIAA / ASME / SAE / ASEE 25th Joint Propulsion Conference, 1989

Bianco, Y., Cheng, W.K. ve Heywood, J.B., (1991), “ The Effects of Initial Flame Kernel Conditions on Flame Development in SI Engine “, SAE Paper No. 912402

Blizard, N.C. ve Keck, J.C., (1974), “Experimental and Theoretical Investigation of Turbulent Burning Model for Internal Combustion Engines “, SAE Paper No. 740191

Boulouchos, K., Steiner, T. ve Dimopoulos, P., (1994), “ Investigation of Flame Speed Models for the Flame Growth Period During Premixed Engine Combustion “, SAE Paper No. 940476

Brehob, D.D. ve Newman, C.E., (1992), “ Monte Carlo simulation of Cycle byCycle Variability “, SAE Paper No. 922165

Brown, A.G., Stone, C.R. ve Beckwith, P., (1996), “ Cycle-by-Cycle Variations in S.I. Engine Combustion - Part I: Flame speed and Combustion Measurements and a Simplified Turbulent Combustion Model “, SAE Paper No. 960612

Brown, A.G., Stone, C.R. ve Beckwith, P., (1996), “ Cycle-by-Cycle Variations in S.I. Engine Combustion - Part II: Modelling of Flame Kernel Displacement as a Cause of Cycle-by-Cycle Variations “, SAE Paper No. 960613

Checkel, M.D. ve Sing-Khing Ting, D., "Turbulence Effects on Developing Turbulent Flames in a Constant Volume Combustion Chamber", SAE Paper No. 930867

Cho, Y. S., Santavicca, D.A. ve Sonntag, R.M., (1992), "The Effect of Spark Power on Spark-Ignited Flame Kernel Growth", SAE Paper No. 922168

Cho, Y. -S. ve Santavicca, D.A., (1993), "The Effect of Incomplete Fuel-Air Mixing on Spark-Ignited Flame Kernel Growth", SAE Paper No. 932715

Chomiak, J., (1980), "Flame Development from an Ignition Kernel in Laminar and Turbulent Homogeneous Mixtures", Seventeenth Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, Pg. 255-263

Connolly, F.T., (1994) "Direct Estimation of Cyclic Combustion Pressure Variability Using Engine Speed Fluctuations in an Internal Combustion Engine", SAE Paper No. 940143

Daily, J.W., (1988), "Cycle-to-Cycle Variations: A Chaotic Process ? ", Combustion Science and Technology, Vol. 57, Pg. 149-162

Daw, C.S., Kennel, M.B., Finney, C.E.A. ve Connolly, F.T., (1998), "Observing and Modeling nonlinear dynamics in an Internal Combustion Engine", The American Physical Society, Vol. 57, Pg. 2811-2819, Mart 1998

Deniz, O. ve Balık, A., (1990), "Otto Motorlarında Yanma Kararsızlıklarının Deneysel Olarak İncelenmesi", Mühendis ve Makine, Vol. 31, No. 362, Pg. 21-24

Gatowski, J.A., Heywood, J.B. ve Deleplace, C., (1984), "Flame Photographs in a Spark - Ignition Engine", Combustion and Flame 56, Pg. 71-81

Green, J.B., Daw, C.S., Armfield, J.S., Finney, C.E.A. ve Durhetaki, P., "Time Irreversibility of Cycle-by-Cycle Engine Combustion Variations", Proceedings of the 1998 Technical Meeting of the Central States Section of the Combustion Institute

Grünefeld, G., Beushausen, V., Andresen, P. ve Hentschel, W., (1994), "A Major Origin of Cyclic Energy Conversion Variations in SI Engines: Cycle-by-Cycle Variations of the Equivalence ratio and Residual Gas of the Initial Charge", SAE Paper No. 941880

Hacohen, J., Belmont, M.R., Yossefi, D., Thomas, J.C. ve Thurley, R., (1993), "The Effect of Flame Kernel Surface Stretch on Cyclic Variability in an S.I. Engine", SAE Paper No. 932717

Hacohen, J., Belmont, M.R. ve Ashcroft, S.J., (1994), "Flame Speeds in a Spark Ignition Engine", SAE Paper No. 942050

Hall, M.J., (1989), "The Influence of Fluid Motion on Flame Kernel Development and Cyclic Variation in a Spark Ignition Engine", SAE Paper No. 890991

Hamai, K., Kawajiri, H., Ishizuka, T. ve Nakai, M., (1986), "Combustion Fluctuation Mechanism Involving Cycle-to-Cycle Spark Ignition Variation Due to Gas Flow Motion in S.I. Engines", Twenty-first Symposium (International) on Combustion / The Combustion

Institute, Pg. 505-512

Hansel, J.G., (1970), " A Turbulent Combustion Model of Cycle-to-Cycle Combustion Variations in spark-Ignition Engines " Combustion science and Technology, Vol. 2, Pg. 223-225

Herweg, R., Begleris, Ph., Zettlitz, A. ve Ziegler, G.F.W., (1988), " Flow Field Effects on Flame Kernel Formation in a spark-Ignition Engine ", SAE Paper No. 881639

Herweg, R. Ve Maly, R.R., (1992), " A Fundamental Model for Flame Kernel Formation in S.I. Engines ", SAE Paper No. 922243

Heywood, J.B.,(1988) Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill International Editions

Hill, P.G., (1988) " Cyclic Variations and turbulence structure in spark-Ignition Engines ", Combustion and Flame, Vol. 72, Pg. 73-89

Hill, P.G. ve Kapil, A., (1989), " The relationship Between Cyclic Variations in Spark-Ignition Engines and the Small structure of Turbulence ", Combustion and Flame 78: Pg. 237-247

Johansson, B., (1993), " Influence of the Velocity Near the Spark Plug on Early Flame Development ", SAE Paper No. 930481

Johansson, B., (1994), " The Influence of Different frequencies in the Turbulence on Early Flame Development in a Spark Ignition Engine ", SAE Paper No. 940990

Karim, D.J., (1967), " An Examination of the Natural Random Cyclic Pressure Variations In a Spark - Ignition Engine ", Journal Of the Institute of Petroleum, Vol. 53, No. 519, Mart 1967

Le Coz, J.F., Henriot, S. ve Pinchon, P., (1990), " An experimental and computational Analysis of the Flow Field in a Four-Valve Spark Ignition Engine - Focus on Cycle-Resolved Turbulence ", SAE Paper No. 900056

Le Coz, J.F., (1992), " Cycle-to-Cycle Correlations Between flow Field and Combustion Initiation in an S.I. Engine ", SAE Paper No. 920517

Li, C.F., Duan, Q.C., Maroteaux, F. ve Murat, M., (1994), " Time -Resolved Measurement of Fuel Transient Behaviour and Cycle to Cycle Variation of Local Fuel/Air Equivalence Ratio in Gasoline Engines ", SAR Paper No. 940989

Lord, D.L., Anderson, R.W., Brehob, D.D. ve Kim, Y., (1993), " The Effects of Charge motion on Early Flame Kernel Development ", SAE Paper NO. 930463

Ma, F., Liu, C., Jiang, D. ve Zhou, L., (1994), " study on Validation of Turbulent Entrainment Combustion Model for Spark-Ignition Engines ", SAE Paper No. 941935

Martin, J.K., Plee, S.L. ve Remboski Jr., D.J., (1988), " Burn Modes and Prior-Cycle Effects on Cyclic Variations in Lean-Burn Spark - ignition Engine Combustion ", SAE Paper No. 880201

Matekunas, F.A., (1983) “ Modes and Measures of Cyclic Combustion Variability “, SAE Paper No. 830337

Matsui, K., Tanaka, T. ve Ohigashi, S., (1979), “ Measurement of Local Mixture Strength at Spark Gap of S.I. Engines “, SAE Paper No. 790483

Matsuoka, S., Yamaguchi, T. Ve Umemura, Y., (1971), “ Factors Influencing the Cyclic Variation of Combustion of Spark Ignition Engine “, SAE Paper No. 710586

McAlary, G.M., (1997), “ Cycle Variations in a SI Engine “, Quenn’s University at Kingston, <http://conn.me.queensu.ca/andrzej/cycle.htm>

Ozdor, N., Dulger, M. Ve Sher, E., (1994), “ Cyclic Variability in Spark Ignition Engines - A Literature Survey “, SAE Paper No. 940987

Patterson, D.J., (1966), “ Pressure Variations, A Fundemental Combustion Problem “, SAE Paper No. 660129

Pischinger, S. ve Heywood, J.B., (1988), “ A Study of Flame Development and Engine Performance with Breakdown Ignition Systems in a Visualization Engine “, SAE Paper No. 880518

Pischinger, S. ve Heywood, J.B., (1990), “ How Heat Losses to the Spark Plug Electrodes affect Flame Kernel Development in an SI-Engine “, SAE Paper No. 900021

Rashidi, M., (1981), “ The Nature of Cycle-by-Cycle Variation in the S.I. Engine from High Speed Photographs “, Combustion And Flame 42, Pg. 111-122

Robinet, C., Andrzejewski, J. ve Higelin, P., (1997), “ cycle-by-Cycle Variation Study of an S.I. Engine Fired by Spark Plug and a Non Conventional Device “, SAE Paper No. 972986

Shen, H. ve Jiang, D., (1992), “Investigation on the flame Initiation and early Development in a Spark Ignition Engine “, SAE Paper No. 922239

Shen, H., Hinze, P.C. ve Heywood, J.B., (1994), “ A Model for Flame Initiation and Early Development in SI Engine and its application to Cycle-to-Cycle Variations “, SAE Paper No. 942049

Soltau, J.P., (1960), “ Cylinder Pressure Variations in Petrol Engines “, The Institute of Mechanical Engineering Proceedings of the Automobile Division, No: 2, Pg. 99-117

Sztenderowicz, M.L. ve Heywood, J.B., (1990), “ Cycle-to-Cycle IMEP Fluctuations in a Stoichiometrically-Fueled S.I. Engine at Low Speed and Load “, SAE Paper No. 902143

Vichnievsky, R., (1955), “ Combustion in Petrol Engines “, Proceedings Joint Conference on Combustion, Pg. 285-299

Weaver, C.E. ve Santavicca, D.A., (1992), “ Correlation of Cycle-Resolved Flame Kernel Growth and Cylinder Pressure in an Optically-Accessible Engine “, SAE Paper No. 922171

Whitelaw, J.H. ve Xu, H.M., (1993), “ An Experimental Study of Gas Velocity, Flame Propagation and Pressure in a Spark Ignition Engine “, SAE Paper No. 932702

Witze, P.O. ve Mendes-Lopes, J.M.C., (1985), “ Direct Measurement of the Turbulent Burning Velocity in a Homogeneous-Charge Engine “, SAE Paper No. 851531

Witze, P.O., Hall, M.J. ve Bennett, M.J., (1990), “ Cycle- Resolved Measurements of Flame kernel Growth and Motion Correlated with Combustion Duration “, SAE Paper No. 900023

Yossefi, D., Belmont, M.R., Thurley, R., Thomas, J.C. ve Hacohen, J, (1993), “ A Coupled Experimental - theoretical Model of Flame Kernel Development in a Spark Ignition Engine “, SAE Paper No. 932716

Young, M.B., (1981), “ Cyclic Dispersion in the Homogeneous- Charge Spark - Ignition Engine - A Literature Survey “, SAE Paper No. 810020

Zhao, X., Matthews, R.D. ve Elizay, J.L., (1993), “ three-Dimensional Numerical Simulation of Flame Propagation in Spark Ignition Engines “, SAE Paper No. 1993

Zhao, F.Q., Taketomi, M., Nishida, K. ve Hiroyasu, H., (1994), “ PLIF Measurements of the Cyclic Variation of Mixture Concentration in a SI Engine “, SAE Paper No. 940988

Ziegler, G.F.W., Wagner, E.P., Saggau, B., Maly, R. ve Herden, W., (1984), “ Influence of a Breakdown Ignition system on Performance and Emission Characteristics “, SAE Paper No. 840992

Ziegler, G.F.W., Zettlitz, A., Meinhardt, P., Herweg, R., Maly, R. ve Pfister, W., (1988), “ Cycle-Resolved Two - Dimensional Flame Visualization in a Spark-Ignition Engine “, SAE Paper No. 881634

EKLER

Ek 1: Buji konumuna gören yapılan deneyin sonuçları

Ek 2: Buji tırnak aralığına göre yapılan deneyin sonuçları



Ek 1: Buji konumuna göre yapılan deneyin sonuçları

Çizelge Ek 1.1 Buji konumu s=0 için yapılan deneyde
motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar

Devir Sayısı	Ü.Ö.N. zamanı (ms)	Pmax zamanı (ms)	Zaman farkı (ms)	Açısal değer ° KMA	Pmax değeri (Mpa)	
1000	80,4	84,4	4	24	1,675	
1000	178,4	181,2	2,8	16	1,625	
1000	276	279,6	3,6	21	1,6625	
1000	374,4	382,8	8,4	50	1,8125	Ortalama: 1,68958
1000	472,4	476	3,6	21	1,6625	Standart Sapma: 0,06491
1000	570	574,4	4,4	26	1,7	Değişim Katsayısı: 3,84188
1500	26	28,4	2,4	21	1,7	
1500	96	98,8	2,8	25	1,725	
1500	166,4	172	5,6	50	1,8375	
1500	236,8	239,2	2,4	21	1,8	
1500	306,8	309,6	2,8	25	1,75	
1500	377,6	380	2,4	21	1,775	
1500	448	450,8	2,8	25	1,775	Ortalama: 1,79583
1500	519,6	525,6	6	54	2,0375	Standart Sapma: 0,09902
1500	590,4	593,2	2,8	25	1,7625	Değişim Katsayısı: 5,5138
2000	10,4	12,4	2	24	1,85	
2000	66	68	2	24	1,825	
2000	122	124,4	2,4	28	1,85	
2000	178,4	182	3,6	43	2,025	
2000	234	235,6	1,6	19	1,8375	
2000	289,6	291,6	2	24	1,8375	
2000	346	348	2	24	1,875	
2000	402	404	2	24	1,8875	
2000	458,4	461,2	2,8	33	1,95	Ortalama: 1,87273
2000	514,4	516,4	2	24	1,825	Standart Sapma: 0,0622
2000	570,4	572,4	2	24	1,8375	Değişim Katsayısı: 3,32156
2500	45,6	49,2	3,6	54	2,075	
2500	90,8	92,4	1,6	24	1,925	
2500	136,8	140,4	3,6	53	2,1	
2500	182,4	183,6	1,2	17	1,9625	
2500	227,6	229,2	1,6	23	1,975	
2500	273,2	276,4	3,2	47	1,9875	
2500	318,8	320,8	2	30	1,975	
2500	364,4	365,6	1,2	18	1,95	
2500	409,6	411,2	1,6	23	1,95	
2500	455,2	458	2,8	42	2	
2500	500,8	502,4	1,6	23	1,975	Ortalama: 1,98462
2500	546	548,4	2,4	35	1,975	Standart Sapma: 0,04978
2500	591,6	593,6	2	30	1,95	Değişim Katsayısı: 2,50825

Devir Sayısı	Ü.Ö.N. zamanı (ms)	Pmax zamanı (ms)	Zaman farkı (ms)	Açısal değer ° KMA	Pmax değeri (Mpa)		
3000	9,6	11,2	1,6	28	2,125		
3000	49,6	51,2	1,6	28	2,0375		
3000	90	92	2	36	2,075		
3000	130,4	132	1,6	28	2,0625		
3000	170,8	172,4	1,6	28	2,0625		
3000	211,2	212,8	1,6	28	2,0625		
3000	251,6	254,8	3,2	57	2,275		
3000	292,4	294	1,6	28	2,075		
3000	332,8	334,4	1,6	28	2,075		
3000	373,2	376,4	3,2	57	2,3375		
3000	413,6	417,2	3,6	64	2,1125		
3000	453,6	455,2	1,6	28	2,075		
3000	494	495,6	1,6	28	2,0875	Ortalama:	2,10417
3000	534	536	2	36	2,075	Standart Sapma:	0,08643
3000	574,8	576,4	1,6	28	2,025	Değişim Katsayısı:	4,10759
3500	29,2	30,4	1,2	25	2,2		
3500	61,6	63,2	1,6	33	2,1875		
3500	94,4	96	1,6	33	2,1625		
3500	126,8	128,4	1,6	33	2,225		
3500	159,6	162,4	2,8	58	2,3875		
3500	192	194,8	2,8	58	2,5375		
3500	224,8	226,4	1,6	33	2,225		
3500	257,2	258,8	1,6	33	2,2125		
3500	290	291,6	1,6	33	2,2125		
3500	322,4	324	1,6	33	2,2		
3500	355,2	356,8	1,6	33	2,175		
3500	388	389,6	1,6	33	2,225		
3500	420,8	422,4	1,6	33	2,2		
3500	453,6	455,2	1,6	33	2,1875		
3500	486,4	488	1,6	33	2,25		
3500	519,6	521,2	1,6	33	2,275	Ortalama:	2,24861
3500	552,8	555,6	2,8	58	2,3875	Standart Sapma:	0,09548
3500	585,6	587,2	1,6	33	2,225	Değişim Katsayısı:	4,24598

Çizelge Ek 1.2 Buji konumu s=1,25 için yapılan deneyde
motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar

Devir Sayısı	Ü.Ö.N. zamanı	Pmax zamanı	Zaman farkı	Açısal değer	Pmax değeri	
(d/d)	(ms)	(ms)	(ms)	° KMA	(Mpa)	
1000	102,8	106,8	4	24	1,7875	
1000	208,4	212	3,6	21	1,7	
1000	314	321,2	7,2	43	1,9125	Ortalama: 1,835
1000	419,2	427,2	8	48	2,025	Standart Sapma: 0,13211
1000	522,4	525,6	3,2	19	1,75	Değişim Katsayısı: 7,19947
1500	16,8	22,8	6	54	1,925	
1500	88,4	93,6	5,2	46	1,9125	
1500	160,4	165,2	4,8	43	1,925	
1500	231,6	233,6	2	18	1,775	
1500	302,8	304,8	2	18	1,7875	
1500	374	376,4	2,4	21	1,7875	
1500	445,6	448	2,4	21	1,85	Ortalama: 1,87778
1500	518	524	6	54	2,075	Standart Sapma: 0,09515
1500	589,6	592,4	2,8	25	1,8625	Değişim Katsayısı: 5,06724
2000	23,2	25,2	2	24	1,875	
2000	78,4	82,4	4	48	2,025	
2000	133,2	136,8	3,6	43	1,9375	
2000	188	190	2	24	1,875	
2000	242,8	247,2	4,4	52	1,9375	
2000	297,6	299,2	1,6	19	1,9625	
2000	352	355,2	3,2	38	2,0125	
2000	406,8	408,4	1,6	19	1,8875	
2000	461,2	465,6	4,4	52	2,0125	Ortalama: 1,95795
2000	516	518,8	2,8	33	2,1	Standart Sapma: 0,0723
2000	570,4	573,2	2,8	33	1,9125	Değişim Katsayısı: 3,69262
2500	6	7,6	1,6	24	1,9375	
2500	50,4	54	3,6	54	2,3	
2500	94,4	98	3,6	53	2,05	
2500	138,4	140	1,6	23	1,95	
2500	182,4	184,4	2	30	1,975	
2500	226,4	228,4	2	30	1,975	
2500	270,8	272,4	1,6	23	1,975	
2500	314,8	316,4	1,6	23	1,9375	
2500	359,2	361,6	2,4	36	2,025	
2500	403,6	405,6	2	30	2	
2500	447,6	449,6	2	30	2,025	
2500	492	493,6	1,6	24	1,925	Ortalama: 2,0125
2500	536,4	538	1,6	24	1,9625	Standart Sapma: 0,09988
2500	580,8	584	3,2	48	2,1375	Değişim Katsayısı: 4,96297

Devir Sayısı	Ü.Ö.N. zamanı (ms)	Pmax zamanı (ms)	Zaman farkı (ms)	Açısal değer ° KMA	Pmax değeri (Mpa)		
3000	13,2	14,4	1,2	21	2,0875		
3000	52,8	55,6	2,8	50	2,175		
3000	92,4	93,6	1,2	21	2,125		
3000	132	134,4	2,4	43	2,2375		
3000	171,2	172,8	1,6	28	2,15		
3000	210,8	213,6	2,8	50	2,325		
3000	250	251,2	1,2	21	2,125		
3000	289,2	291,2	2	36	2,1125		
3000	328,8	330	1,2	21	2,075		
3000	368	370,4	2,4	43	2,35		
3000	407,2	408,4	1,2	21	2,1125		
3000	446,4	447,6	1,2	21	2,1125		
3000	485,6	486,8	1,2	21	2,1	Ortalama:	2,15667
3000	524,8	528	3,2	57	2,1125	Standart Sapma:	0,0833
3000	564	566,4	2,4	43	2,15	Değişim Katsayısı:	3,86247
3500	21,6	23,6	2	42	2,3125		
3500	54	55,2	1,2	25	2,2875		
3500	86,4	87,2	0,8	16	2,25		
3500	118,8	121,2	2,4	50	2,375		
3500	151,2	152	0,8	16	2,275		
3500	183,6	185,6	2	42	2,3125		
3500	216	216,8	0,8	16	2,25		
3500	248	249,2	1,2	25	2,275		
3500	280,4	281,2	0,8	16	2,2625		
3500	312,8	315,6	2,8	58	2,3875		
3500	345,2	346,4	1,2	25	2,25		
3500	377,6	378,4	0,8	16	2,2625		
3500	410	411,2	1,2	25	2,2625		
3500	442	443,2	1,2	25	2,2625		
3500	474,4	475,2	0,8	16	2,2375		
3500	506,8	508,8	2	42	2,4625	Ortalama:	2,28819
3500	539,2	540	0,8	16	2,25	Standart Sapma:	0,06235
3500	571,2	572	0,8	16	2,2125	Değişim Katsayısı:	2,7248

Çizelge Ek 1.3 Buji konumu $s=2,50$ için yapılan deneyde
motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar

Devir Sayısı	Ü.Ö.N. zamanı (ms)	Pmax zamanı (ms)	Zaman farkı (ms)	Açısal değer ° KMA	Pmax değeri (Mpa)	
1000	25,2	30	4,8	28	1,7875	
1000	124,4	128,4	4	24	1,75	
1000	223,2	226,4	3,2	19	1,725	
1000	322,8	326,8	4	24	1,75	Ortalama: 1,74792
1000	422	425,2	3,2	19	1,7375	Standart Sapma: 0,02153
1000	522	524,8	2,8	16	1,7375	Değişim Katsayısı: 1,23175
1500	21,2	23,6	2,4	21	1,8625	
1500	88,8	90,8	2	18	1,85	
1500	156,4	159,2	2,8	25	1,8375	
1500	224	229,2	5,2	46	2,1875	
1500	291,2	293,6	2,4	21	1,9	
1500	358,4	360,8	2,4	21	1,825	
1500	425,2	427,6	2,4	21	1,8375	Ortalama: 1,89444
1500	492	494	2	18	1,8375	Standart Sapma: 0,1139
1500	558,8	561,2	2,4	21	1,9125	Değişim Katsayısı: 6,01229
2000	37,6	39,6	2	24	1,975	
2000	92	96,4	4,4	52	2,2125	
2000	146	148	2	24	1,975	
2000	200,4	202	1,6	19	1,9375	
2000	254,4	256,4	2	23	1,9375	
2000	308,4	310,4	2	24	1,9375	
2000	362,4	364	1,6	19	1,925	
2000	416,4	417,6	1,2	14	1,875	
2000	470,4	474,8	4,4	52	2	Ortalama: 1,97045
2000	524,4	526	1,6	19	1,95	Standart Sapma: 0,08647
2000	578,4	580,4	2	24	1,95	Değişim Katsayısı: 4,38839
2500	12	14	2	30	2,0625	
2500	58	59,6	1,6	24	2,075	
2500	104,4	105,6	1,2	17	2,075	
2500	150,4	152	1,6	23	2,075	
2500	196,4	198,4	2	30	2,0875	
2500	242,8	244	1,2	17	2,0625	
2500	288,8	290,8	2	30	2,0875	
2500	334,8	336,4	1,6	23	2,0625	
2500	380,8	382,8	2	30	2,0625	
2500	426,8	428,8	2	30	2,0375	
2500	473,2	474,8	1,6	24	2	Ortalama: 2,06538
2500	519,6	521,2	1,6	24	2,1	Standart Sapma: 0,02508
2500	566	567,6	1,6	24	2,0625	Değişim Katsayısı: 1,2143

Devir Sayısı	Ü.Ö.N. zamanı	Pmax zamanı	Zaman farkı	Açısal değer	Pmax değeri		
(d/d)	(ms)	(ms)	(ms)	° KMA	(Mpa)		
3000	12	14	2	36	2,225		
3000	50,4	52	1,6	28	2,1875		
3000	88,8	92	3,2	57	2,2625		
3000	127,2	129,2	2	35	2,2125		
3000	165,6	167,6	2	36	2,225		
3000	204	205,6	1,6	28	2,2		
3000	242,4	244	1,6	28	2,2125		
3000	280,8	282,4	1,6	28	2,1875		
3000	319,2	321,2	2	36	2,225		
3000	357,6	359,2	1,6	28	2,2125		
3000	396	398	2	36	2,1875		
3000	434,8	436,4	1,6	28	2,225		
3000	473,6	475,2	1,6	28	2,2		
3000	512,4	514	1,6	28	2,2	Ortalama:	2,21328
3000	551,2	552,8	1,6	28	2,2375	Standart Sapma:	0,02014
3000	590	592	2	36	2,2125	Değişim Katsayısı:	0,90994
3500	18,4	20	1,6	33	2,2625		
3500	51,2	52,4	1,2	25	2,1625		
3500	84	85,6	1,6	33	2,225		
3500	117,2	118,4	1,2	25	2,25		
3500	150	151,6	1,6	33	2,2125		
3500	182,8	184,4	1,6	33	2,2625		
3500	216	217,6	1,6	33	2,2375		
3500	249,2	250,4	1,2	25	2,2125		
3500	282,4	283,6	1,2	25	2,275		
3500	315,2	316,8	1,6	33	2,2375		
3500	348,8	350,4	1,6	33	2,175		
3500	382	383,6	1,6	33	2,2125		
3500	415,2	416,4	1,2	25	2,2125		
3500	448,4	449,6	1,2	25	2,2375		
3500	481,6	482,8	1,2	25	2,225		
3500	514,8	516,4	1,6	33	2,225	Ortalama:	2,22361
3500	548,4	549,6	1,2	25	2,225	Standart Sapma:	0,03059
3500	581,6	583,2	1,6	33	2,175	Değişim Katsayısı:	1,37548

Çizelge Ek 1.4 Buji konumu s=3,75 için yapılan deneyde
motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar

Devir Sayısı	Ü.Ö.N. zamanı	Pmax zamanı	Zaman farkı	Açısal değer	Pmax değeri	
(d/d)	(ms)	(ms)	(ms)	° KMA	(Mpa)	
1000	79,6	82,8	3,2	19	1,675	
1000	168,8	180,4	11,6	69	1,6875	
1000	274	283,2	9,2	55	1,725	
1000	371,6	377,6	6	36	1,775	Ortalama: 1,71875
1000	468,8	474,8	6	36	1,6875	Standart Sapma: 0,04239
1000	566	572	6	36	1,7625	Değişim Katsayısı: 2,4663
1500	55,2	57,6	2,4	21	1,825	
1500	124,8	127,2	2,4	21	1,8125	
1500	194,4	196,8	2,4	21	1,8	
1500	264	266,8	2,8	25	1,8	
1500	334,4	340,4	6	54	1,9875	
1500	404	406,4	2,4	21	1,8125	Ortalama: 1,82656
1500	473,2	475,6	2,4	21	1,775	Standart Sapma: 0,06663
1500	542,8	546	3,2	28	1,8	Değişim Katsayısı: 3,64768
2000	4	5,6	1,6	19	1,8625	
2000	60	62,4	2,4	28	1,8875	
2000	117,2	118,8	1,6	19	1,85	
2000	173,6	175,2	1,6	19	1,8375	
2000	230	232	2	24	1,875	
2000	286	288,4	2,4	28	1,925	
2000	342,8	344,4	1,6	19	1,925	
2000	398,8	400,8	2	24	1,8625	
2000	455,2	457,2	2	24	1,875	Ortalama: 1,87614
2000	511,6	513,2	1,6	19	1,875	Standart Sapma: 0,02764
2000	567,6	569,6	2	24	1,8625	Değişim Katsayısı: 1,47347
2500	10	11,6	1,6	24	2,075	
2500	56	57,6	1,6	24	2,125	
2500	102	103,6	1,6	23	2,125	
2500	148	150,8	2,8	42	2,2375	
2500	193,6	195,2	1,6	23	2,125	
2500	239,6	241,2	1,6	23	2,1	
2500	285,2	287,2	2	30	2,0875	
2500	331,2	332,8	1,6	24	2,1	
2500	377,2	378,4	1,2	17	2,125	
2500	423,2	424,4	1,2	17	2,075	
2500	468,8	470,4	1,6	23	2,125	Ortalama: 2,13173
2500	514,4	518,4	4	60	2,3	Standart Sapma: 0,06487
2500	560,4	561,6	1,2	18	2,1125	Değişim Katsayısı: 3,04329

Devir Sayısı	Ü.Ö.N. zamanı	Pmax zamanı	Zaman farkı	Açısal değer	Pmax değeri		
(d/d)	(ms)	(ms)	(ms)	° KMA	(Mpa)		
3000	15,6	17,6	2	36	2,1875		
3000	53,2	54,8	1,6	28	2,225		
3000	90,4	92	1,6	28	2,175		
3000	127,6	129,2	1,6	28	2,1875		
3000	164,8	166,4	1,6	28	2,2		
3000	202	203,6	1,6	28	2,2		
3000	239,6	241,2	1,6	28	2,225		
3000	277,2	279,2	2	36	2,2375		
3000	314,8	316,4	1,6	28	2,2125		
3000	352,4	354	1,6	28	2,2125		
3000	390	391,6	1,6	28	2,1875		
3000	427,6	429,6	2	36	2,2875		
3000	465,2	466,8	1,6	28	2,2125		
3000	503,2	504,8	1,6	28	2,2	Ortalama:	2,20781
3000	540,8	542,8	2	36	2,1875	Standart Sapma:	0,02734
3000	578,8	580,8	2	36	2,1875	Değişim Katsayısı:	1,23826
3500	30	31,6	1,6	33	2,3125		
3500	62,4	64	1,6	33	2,275		
3500	94,4	97,6	3,2	67	2,2625		
3500	126,4	128	1,6	33	2,275		
3500	158,4	160	1,6	33	2,275		
3500	190,8	192	1,2	25	2,3375		
3500	222,8	224,4	1,6	33	2,35		
3500	254,8	256	1,2	25	2,2875		
3500	286,8	288,4	1,6	33	2,275		
3500	318,8	321,6	2,8	58	2,3125		
3500	350,8	352	1,2	25	2,2375		
3500	382,8	384,4	1,6	33	2,275		
3500	414,8	416	1,2	25	2,3		
3500	446,8	448	1,2	25	2,325		
3500	478,8	480	1,2	25	2,3		
3500	510,4	512	1,6	33	2,25	Ortalama:	2,29097
3500	542,4	544	1,6	33	2,3125	Standart Sapma:	0,02995
3500	574,4	576	1,6	33	2,275	Değişim Katsayısı:	1,30742

Çizelge Ek 1.5 Buji konumu için yapılan dört farklı deneyde motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar

0 mm

(d/d)	Ortalama	(d/d)	St. Sapma	(d/d)	DK
1000	1,68	1000	0,064	1000	3,84
1500	1,79	1500	0,099	1500	5,51
2000	1,87	2000	0,062	2000	3,32
2500	1,98	2500	0,049	2500	2,5
3000	2,11	3000	0,086	3000	4,1
3500	2,24	3500	0,095	3500	4,24

1,25 mm

(d/d)	Ortalama	(d/d)	St. Sapma	(d/d)	DK
1000	1,835	1000	0,13	1000	7,19
1500	1,87	1500	0,09	1500	5,06
2000	1,95	2000	0,07	2000	3,69
2500	2,01	2500	0,099	2500	4,69
3000	2,15	3000	0,083	3000	3,86
3500	2,28	3500	0,62	3500	2,72

2,50 mm

(d/d)	Ortalama	(d/d)	St. Sapma	(d/d)	DK
1000	1,74	1000	0,021	1000	1,23
1500	1,89	1500	0,113	1500	6,01
2000	1,97	2000	0,086	2000	4,38
2500	2,06	2500	0,025	2500	1,21
3000	2,21	3000	0,02	3000	0,909
3500	2,22	3500	0,03	3500	1,37

3,75 mm

(d/d)	Ortalama	(d/d)	St. Sapma	(d/d)	DK
1000	1,71	1000	0,042	1000	2,46
1500	1,82	1500	0,066	1500	3,64
2000	1,87	2000	0,027	2000	1,47
2500	2,13	2500	0,064	2500	3,04
3000	2,2	3000	0,027	3000	1,23
3500	2,29	3500	0,029	3500	1,3

Çizelge Ek 1.6 Buji konumu için yapılan dört farklı deneyde
buji konumuna göre elde edilen sonuçlar

1000 d/d	DK	1000 d/d	Ort.	1000 d/d	St. Sapma
0	3,84	0	1,68	0	0,064
1,25	7,19	1,25	1,835	1,25	0,13
2,45	1,23	2,45	1,74	2,45	0,021
3,65	2,46	3,65	1,71	3,65	0,042

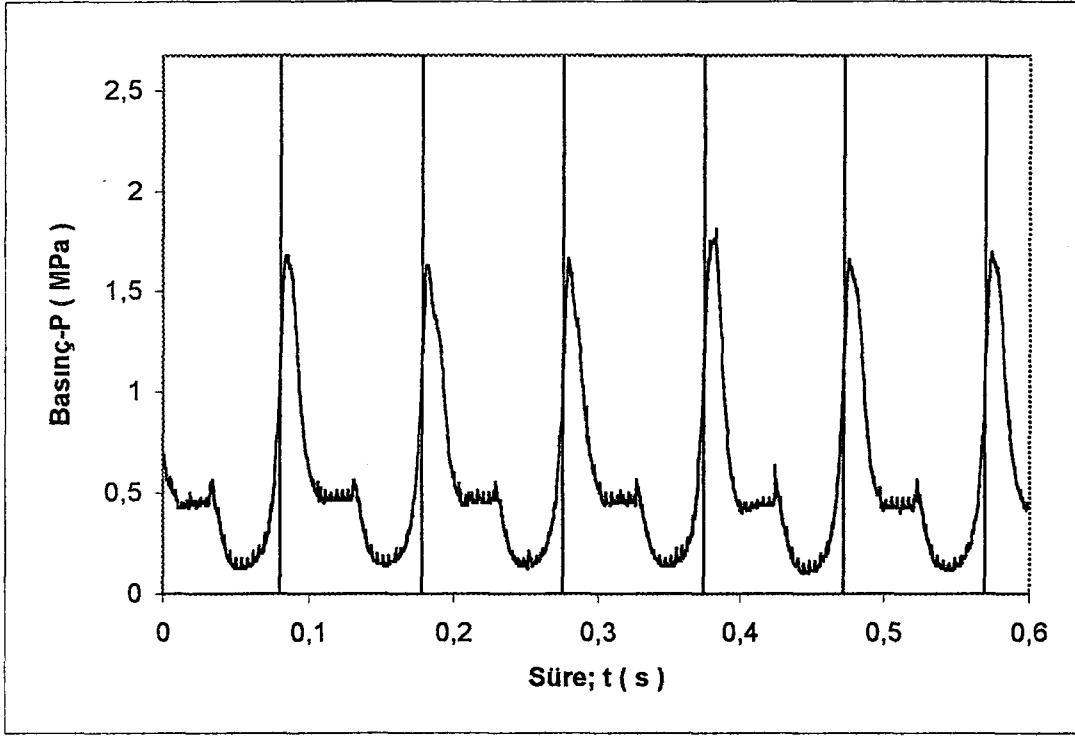
1500 d/d	DK	1500 d/d	Ort.	1500 d/d	St. Sapma
0	5,51	0	1,79	0	0,094
1,25	5,06	1,25	1,87	1,25	0,09
2,45	6,01	2,45	1,89	2,45	0,113
3,65	3,64	3,65	1,82	3,65	0,066

2000 d/d	DK	2000 d/d	Ort.	2000 d/d	St. Sapma
0	3,32	0	1,87	0	0,062
1,25	3,69	1,25	1,95	1,25	0,07
2,45	4,38	2,45	1,97	2,45	0,086
3,65	1,47	3,65	1,87	3,65	0,027

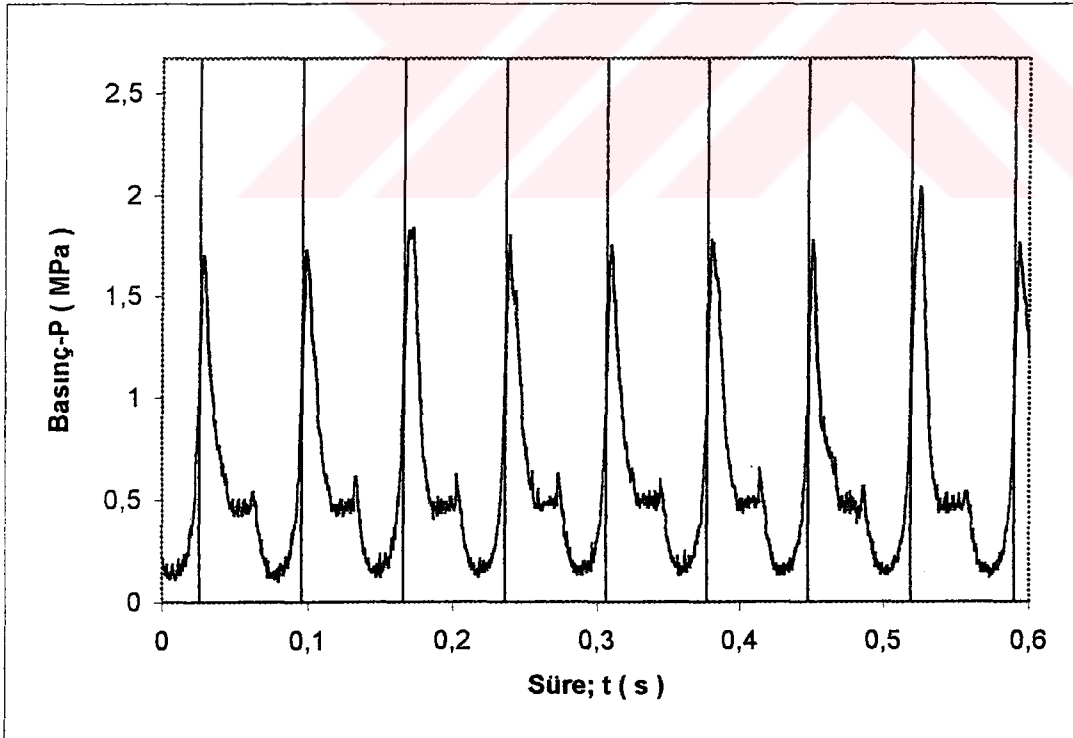
2500 d/d	DK	2500 d/d	Ort.	2500 d/d	St. Sapma
0	2,5	0	1,98	0	0,049
1,25	4,96	1,25	2,01	1,25	0,099
2,45	1,21	2,45	2,06	2,45	0,025
3,65	3,04	3,65	2,13	3,65	0,064

3000 d/d	DK	3000 d/d	Ort.	3000 d/d	St. Sapma
0	4,1	0	2,11	0	0,086
1,25	3,86	1,25	2,15	1,25	0,083
2,45	0,909	2,45	2,21	2,45	0,02
3,65	1,23	3,65	2,2	3,65	0,027

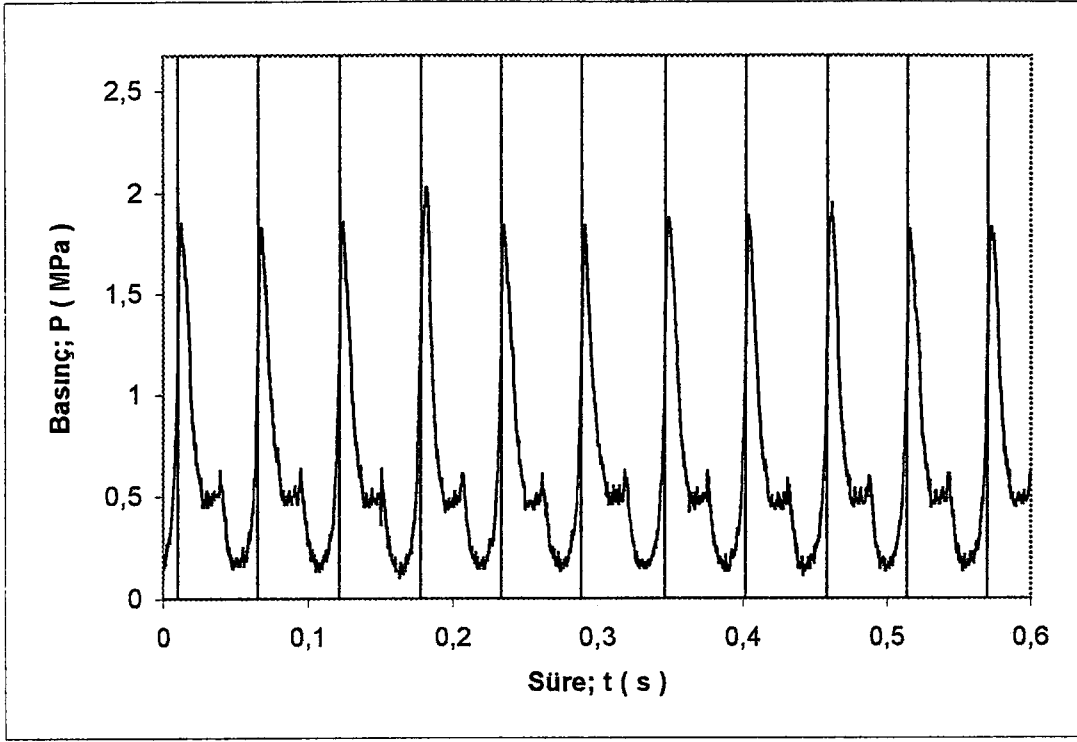
3500 d/d	DK	3500 d/d	Ort.	3500 d/d	St. Sapma
0	4,24	0	2,24	0	0,095
1,25	2,72	1,25	2,28	1,25	0,62
2,45	1,37	2,45	2,22	2,45	0,03
3,65	1,3	3,65	2,29	3,65	0,029



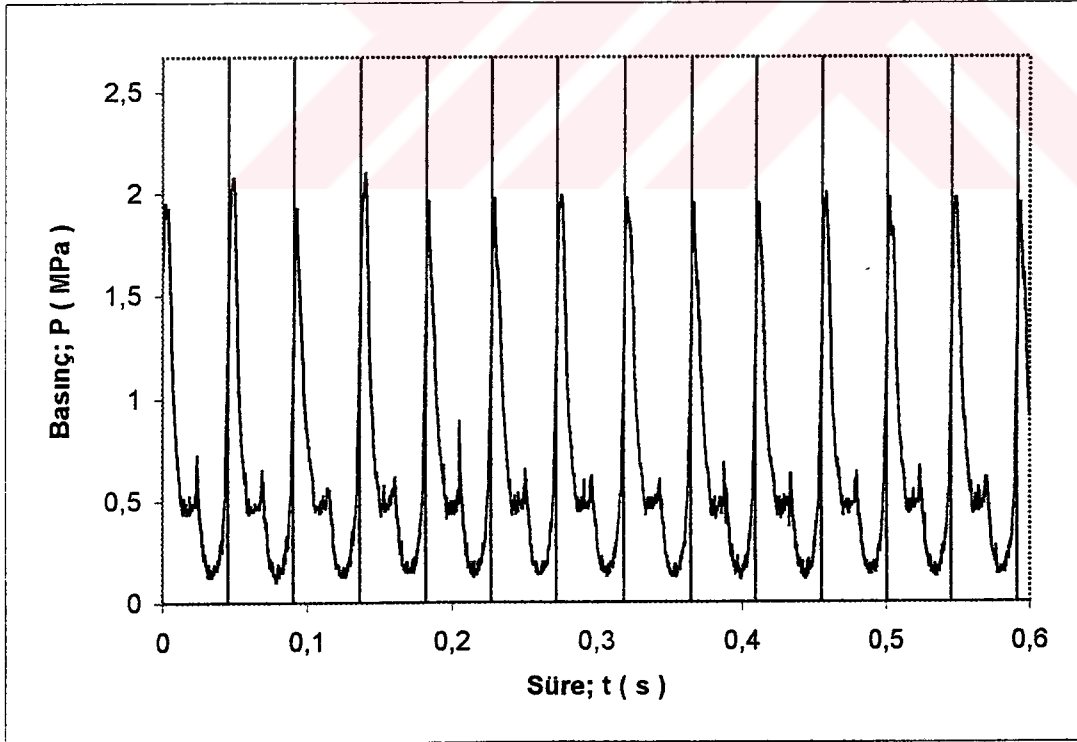
Şekil Ek 1.1 1000 d/d motor devri için $s = 0$ durumunda
silindir içi basıncının değişimi



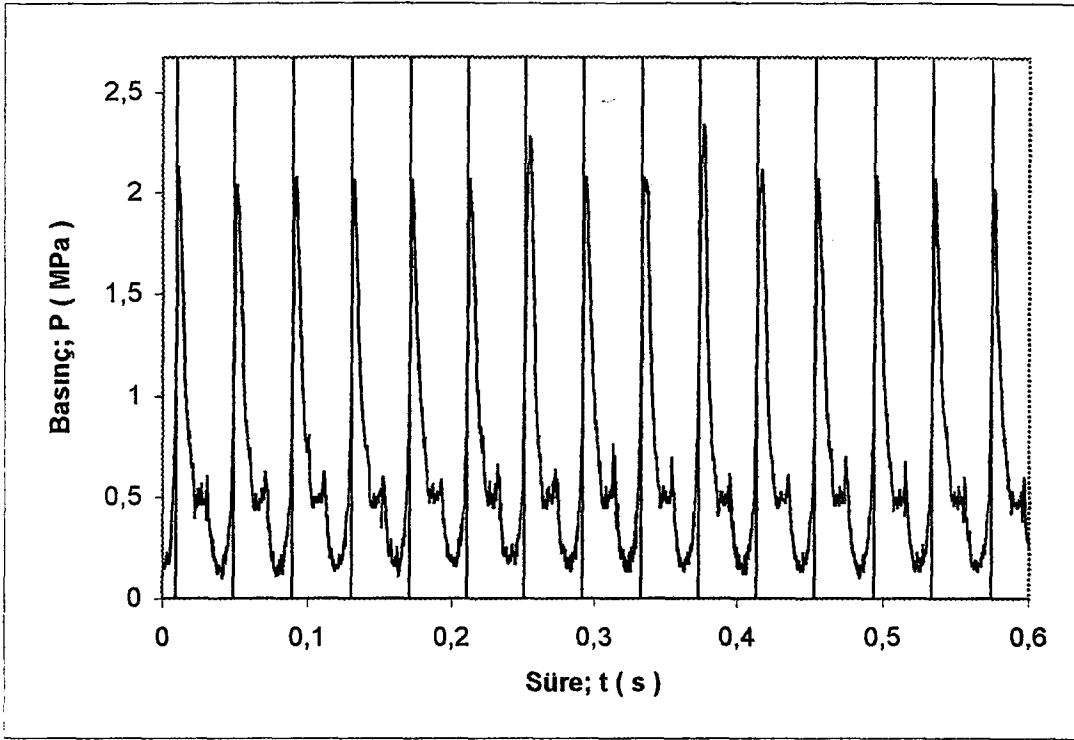
Şekil Ek 1.2 1500 d/d motor devri için $s = 0$ durumunda
silindir içi basıncının değişimi



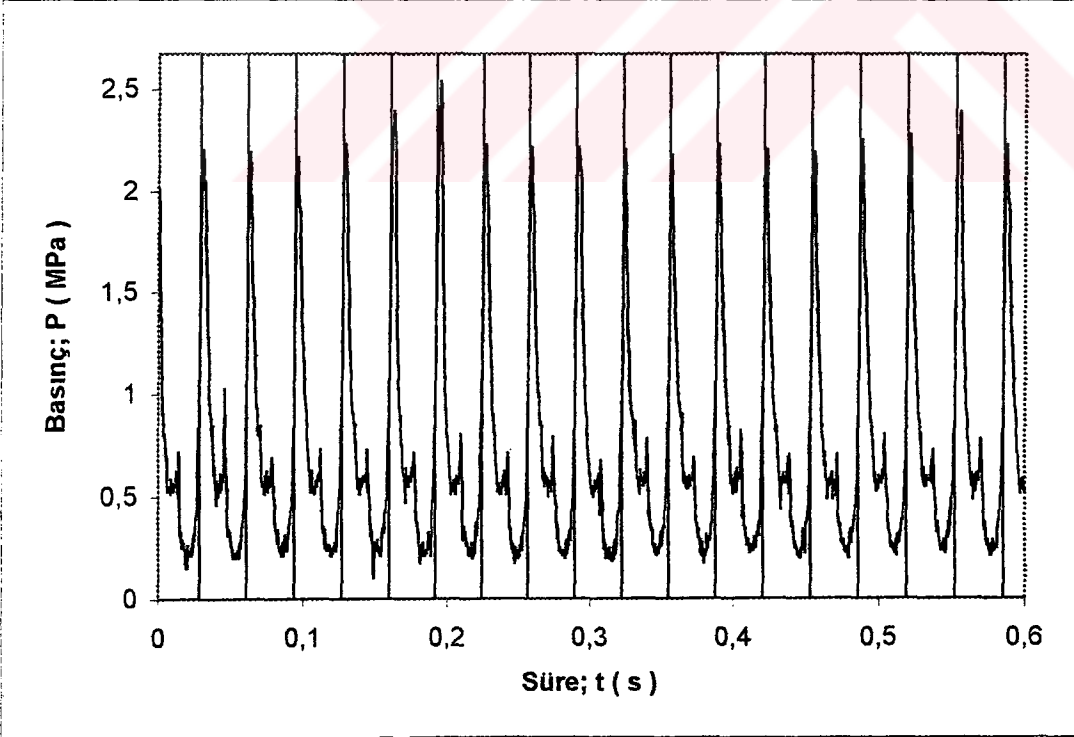
Şekil Ek 1.3 2000 d/d motor devri için $s = 0$ durumunda silindir içi basıncının değişimi



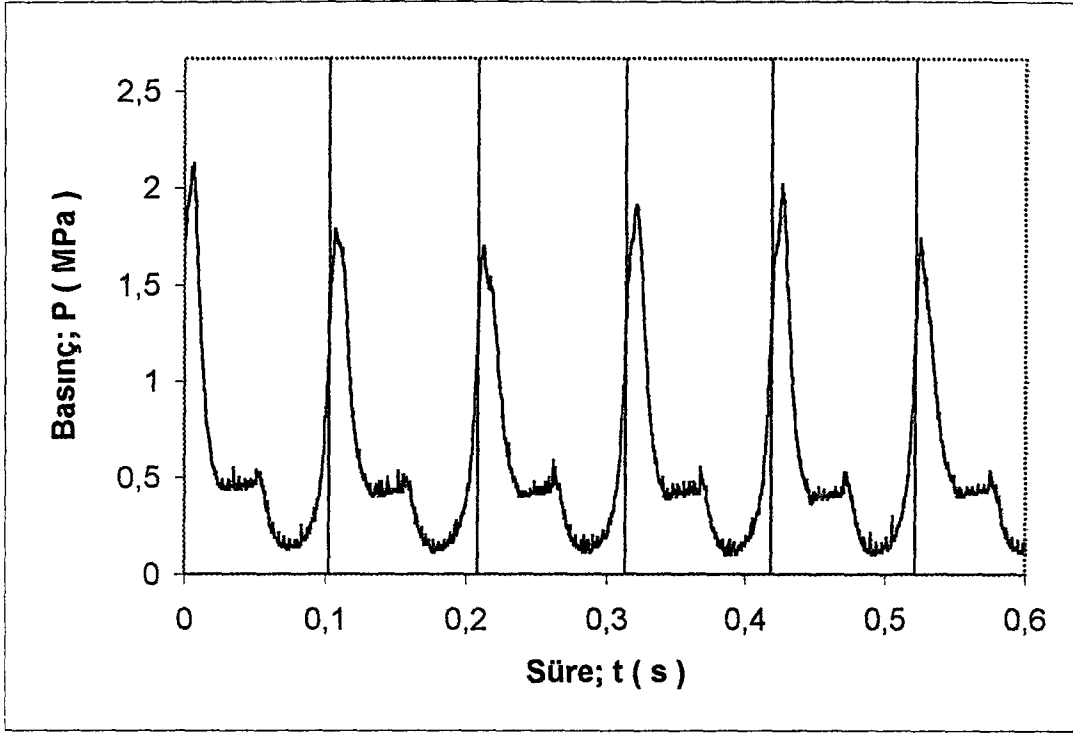
Şekil Ek 1.4 2500 d/d motor devri için $s = 0$ durumunda silindir içi basıncının değişimi



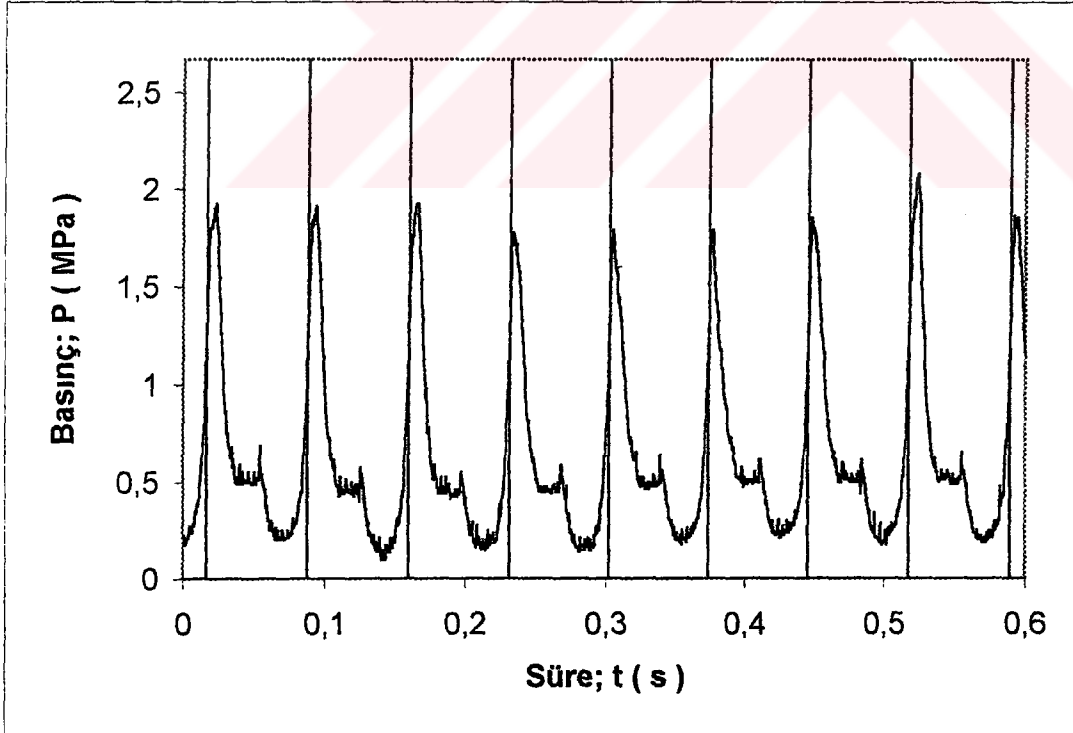
Şekil Ek 1.5 3000 d/d motor devri için $s = 0$ durumunda
silindir içi basıncının değişimi



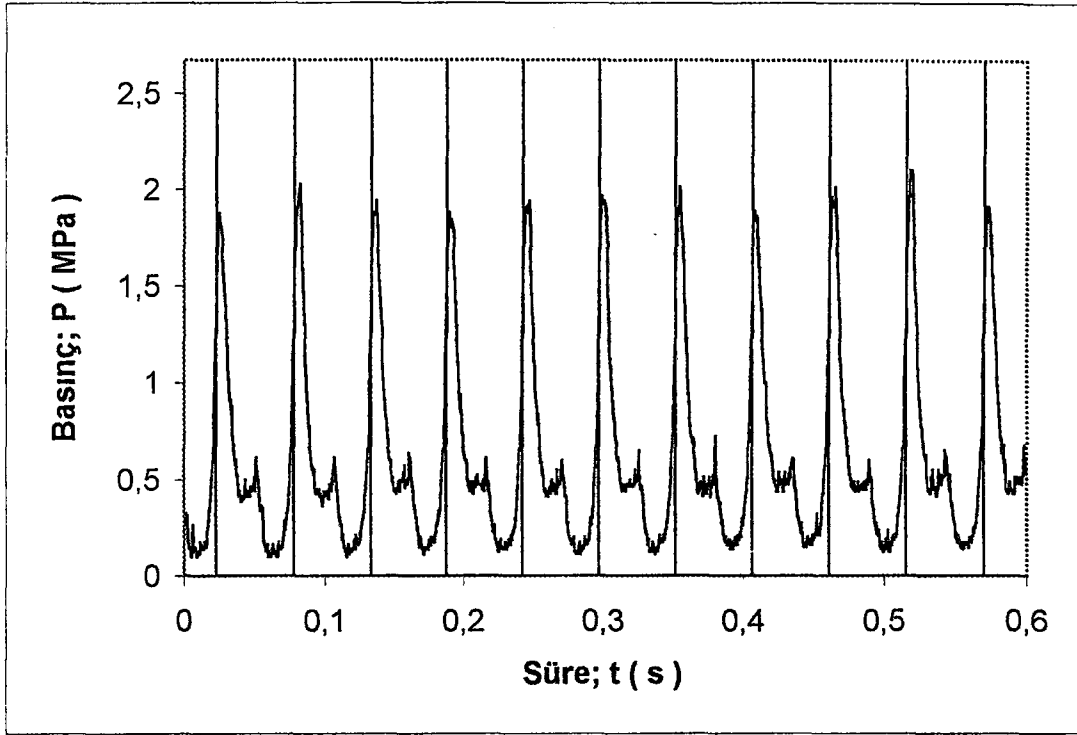
Şekil Ek 1.6 3500 d/d motor devri için $s = 0$ durumunda
silindir içi basıncının değişimi



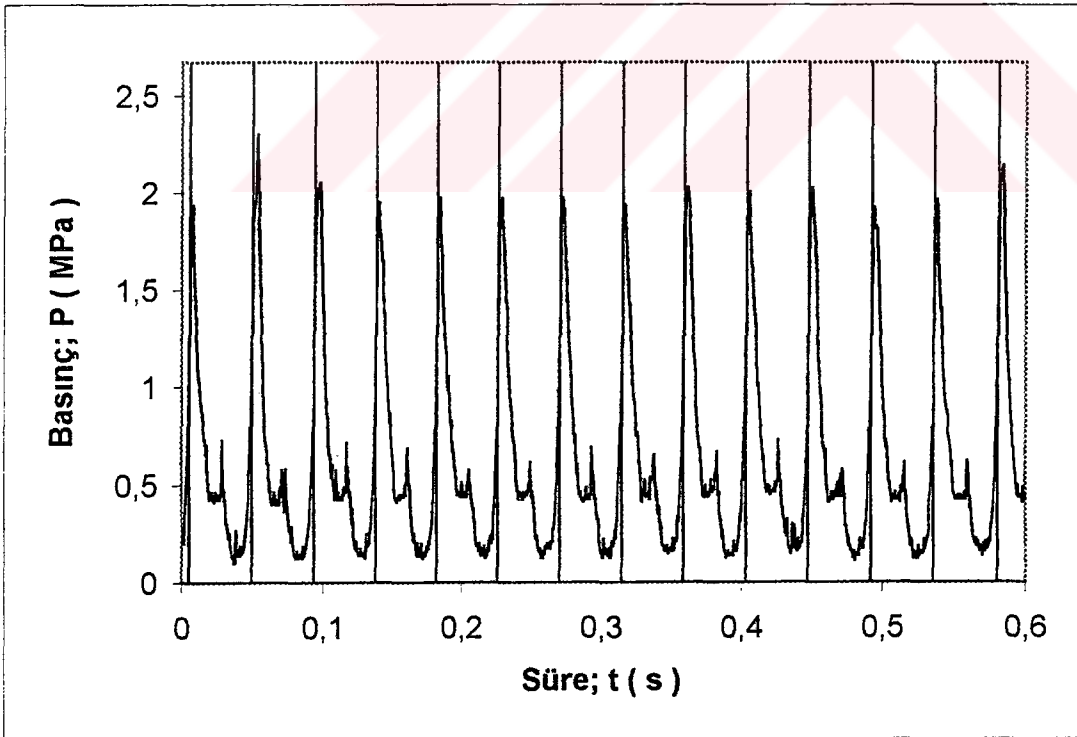
Şekil Ek 1.7 1000 d/d motor devri için $s = 1,25$ durumunda
silindir içi basıncının değışimi



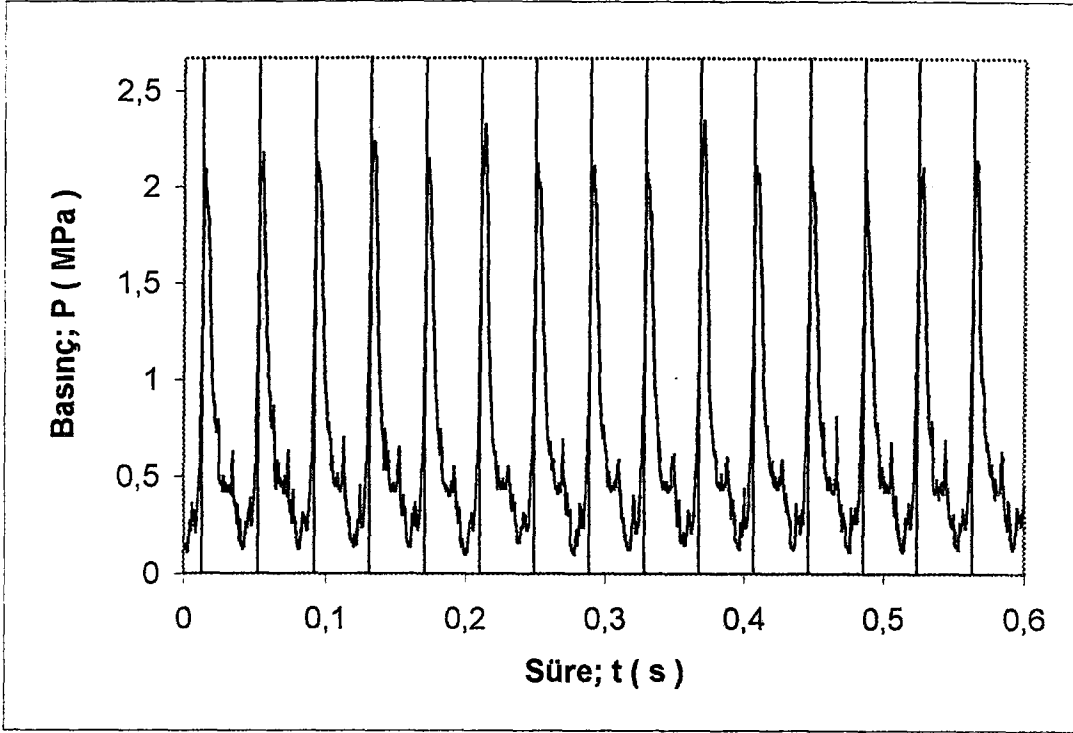
Şekil Ek 1.8 1500 d/d motor devri için $s = 1,25$ durumunda
silindir içi basıncının değışimi



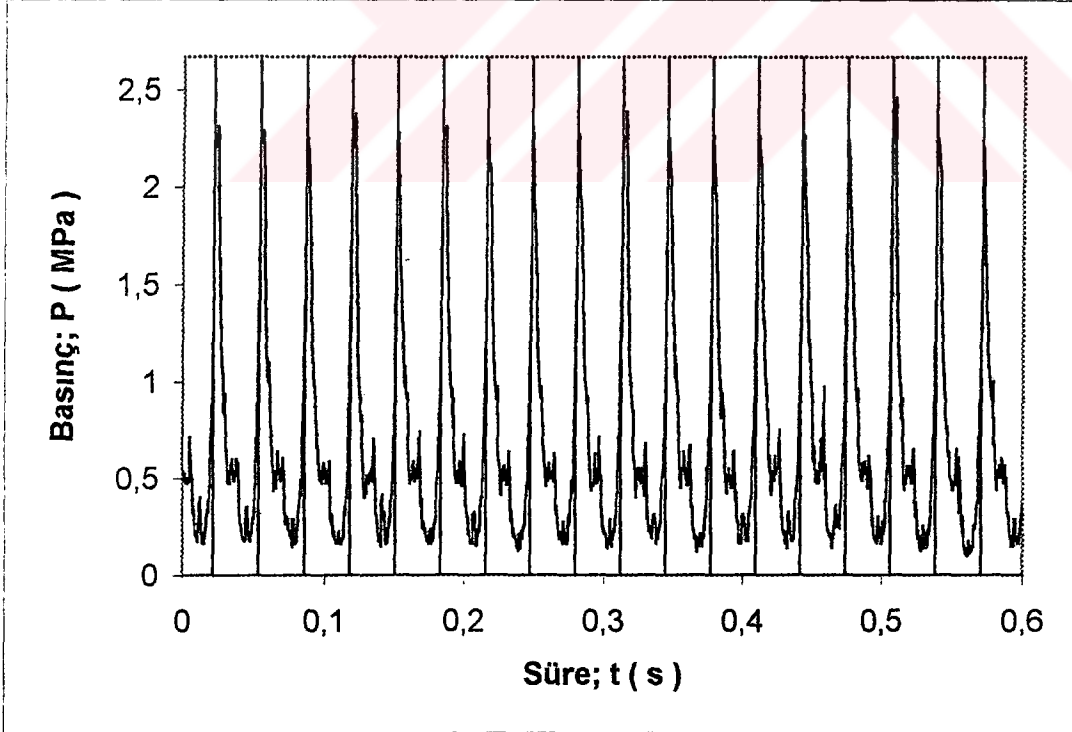
Şekil Ek 1.9 2000 d/d motor devri için $s = 1,25$ durumunda
silindir içi basıncının değişimi



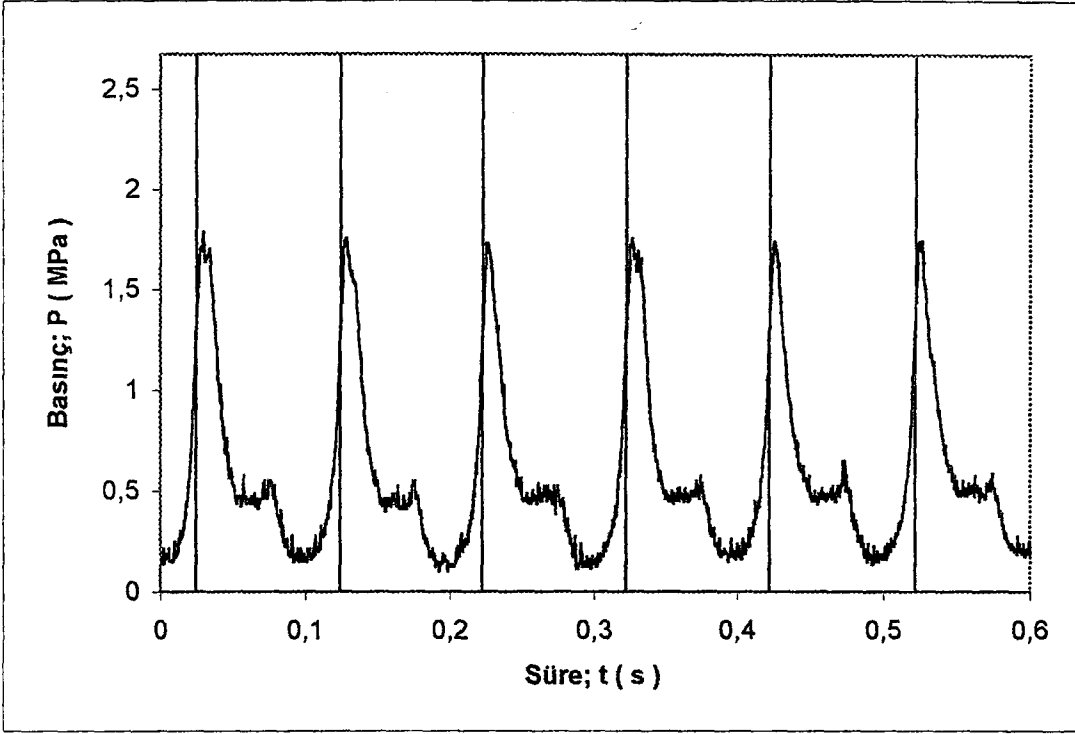
Şekil Ek 1.10 2500 d/d motor devri için $s = 1,25$ durumunda
silindir içi basıncının değişimi



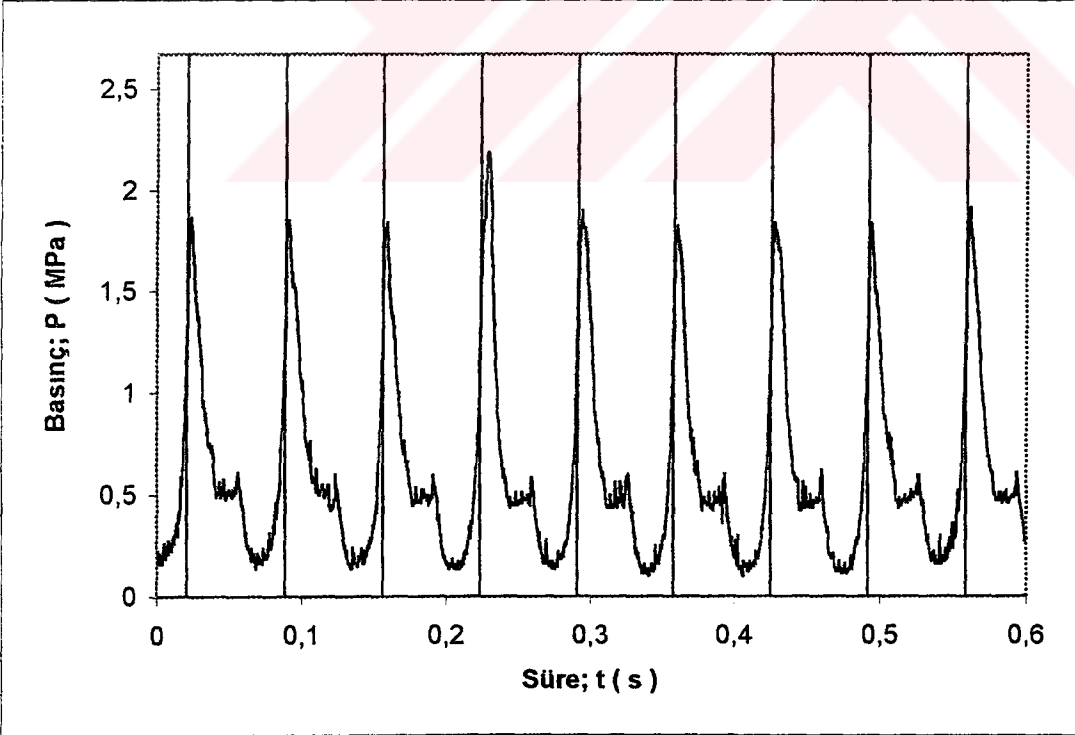
Şekil Ek 1.11 3000 d/d motor devri için $s = 1,25$ durumunda
silindir içi basıncının değışimi



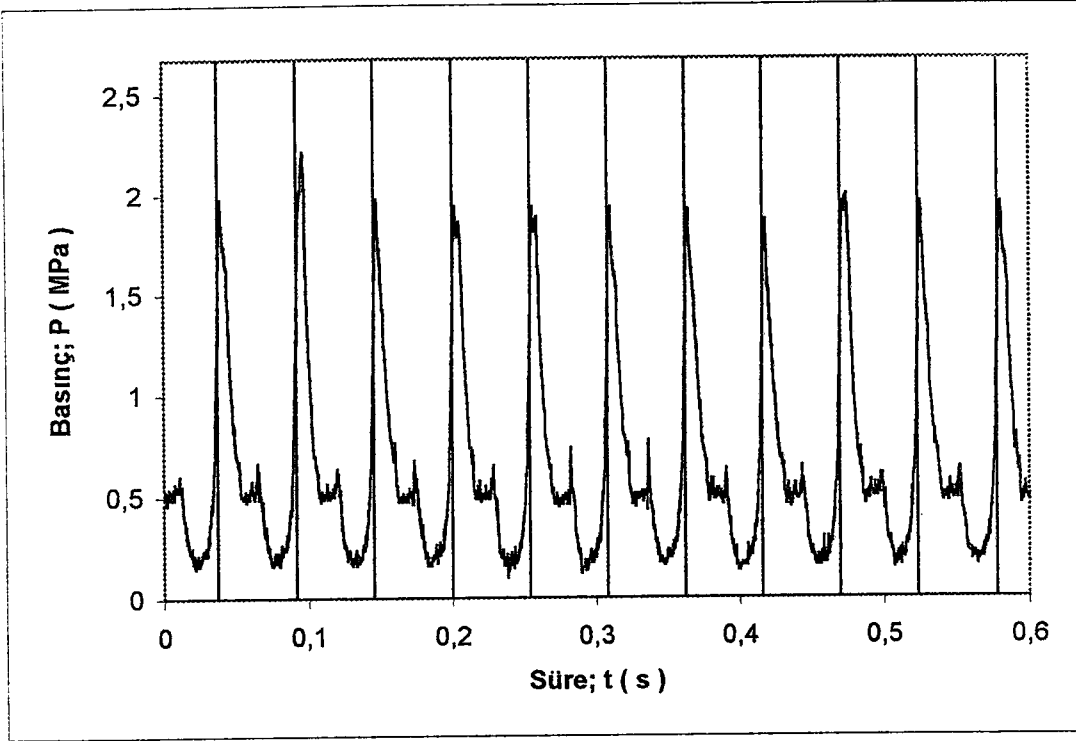
Şekil Ek 1.12 3500 d/d motor devri için $s = 1,25$ durumunda
silindir içi basıncının değışimi



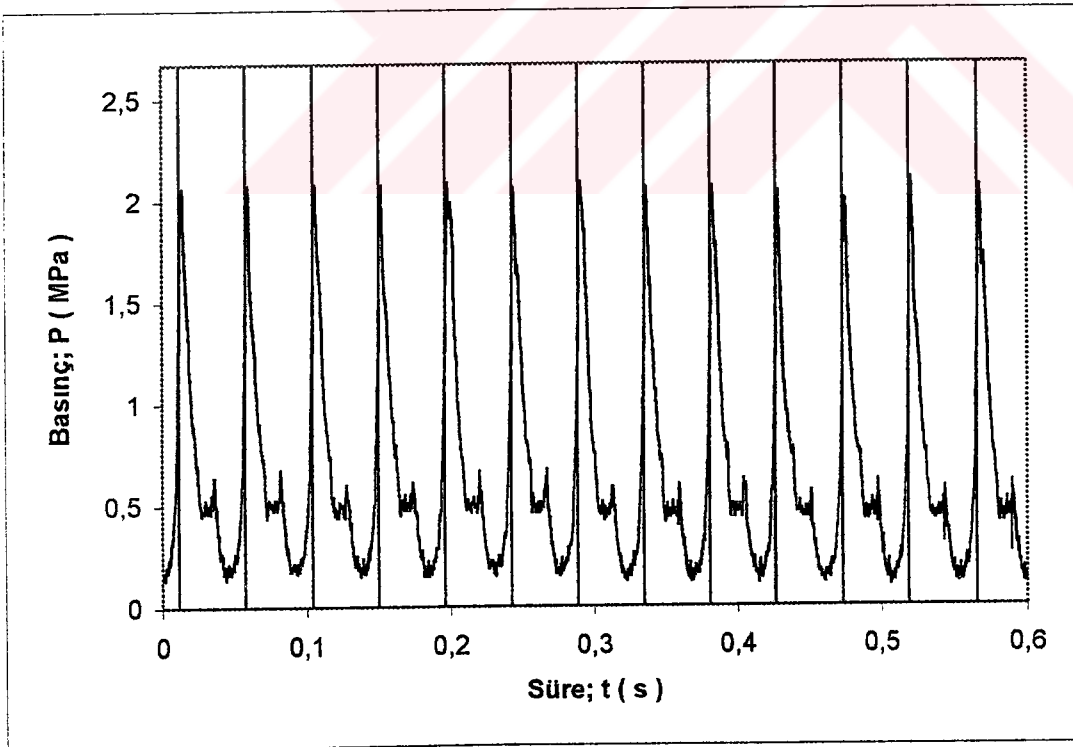
Şekil Ek 1.13 1000 d/d motor devri için $s = 2,50$ durumunda
silindir içi basıncının değışimi



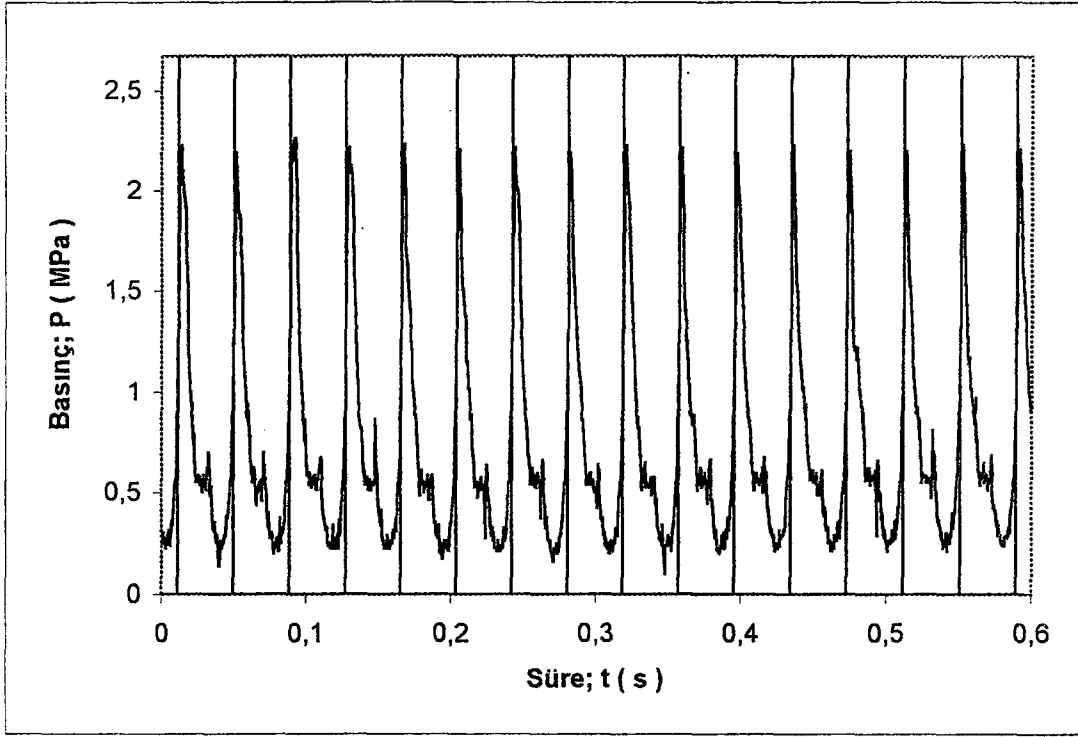
Şekil Ek 1.14 1500 d/d motor devri için $s = 2,50$ durumunda
silindir içi basıncının değışimi



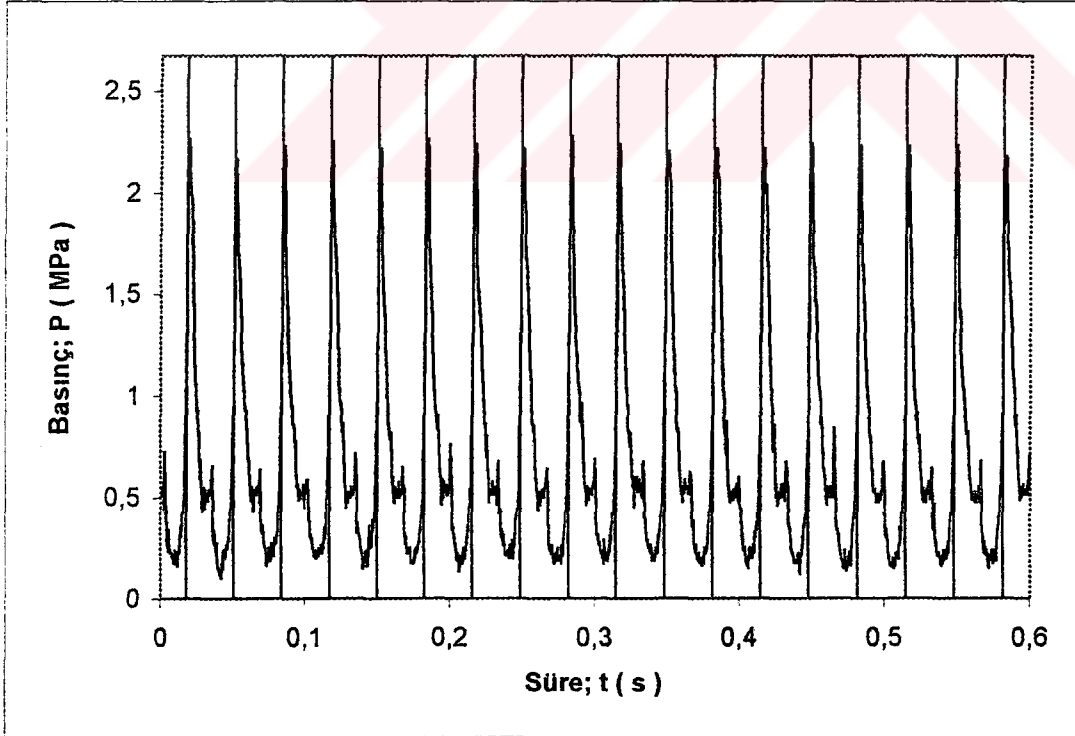
Şekil Ek 1.15 2000 d/d motor devri için $s = 2,50$ durumunda
silindir içi basıncının değişimi



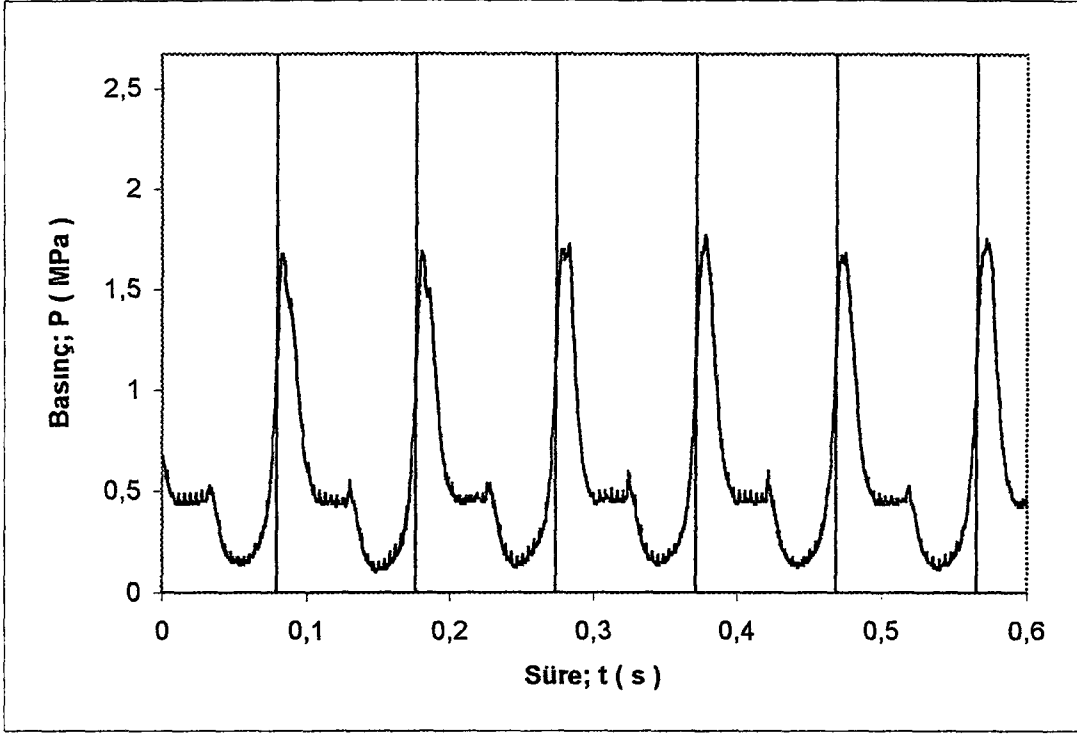
Şekil Ek 1.16 2500 d/d motor devri için $s = 2,50$ durumunda
silindir içi basıncının değişimi



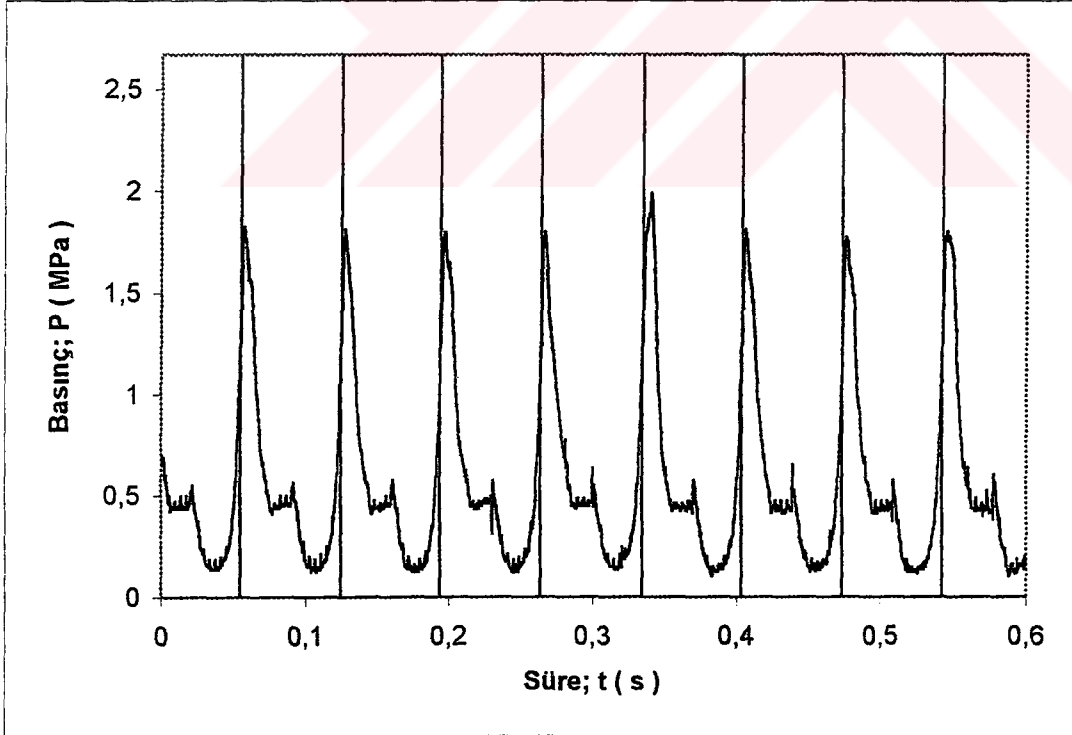
Şekil Ek 1.17 3000 d/d motor devri için $s = 2.50$ durumunda
silindir içi basıncının değişimi



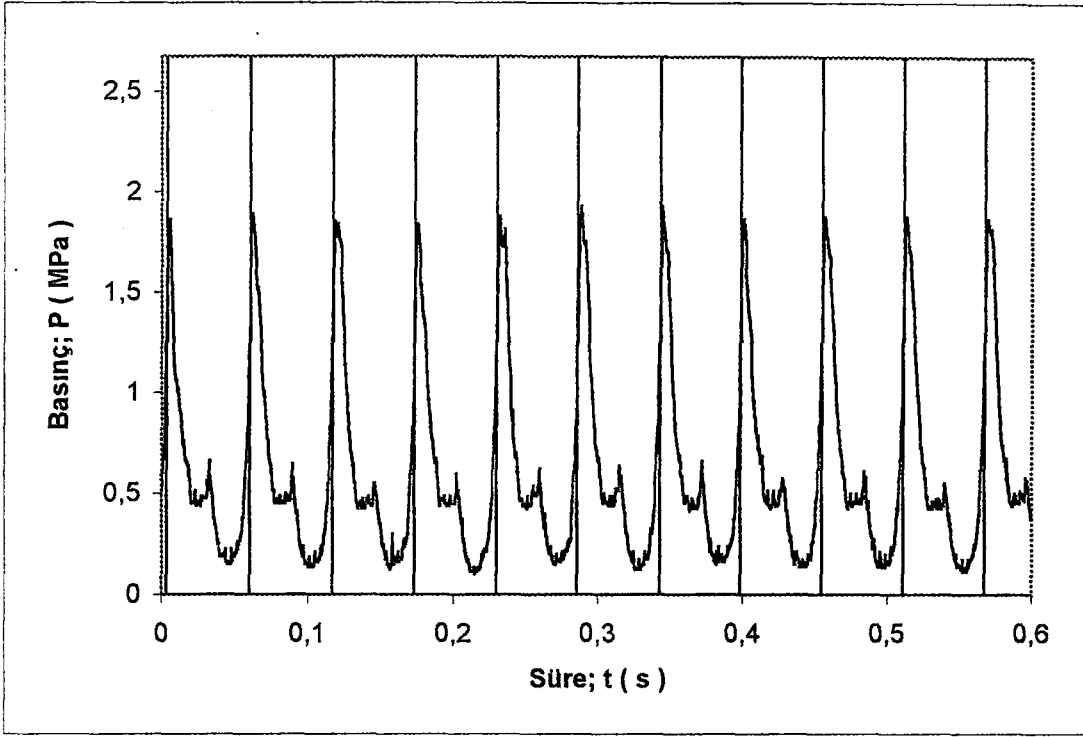
Şekil Ek 1.18 3500 d/d motor devri için $s = 2,50$ durumunda
silindir içi basıncının değişimi



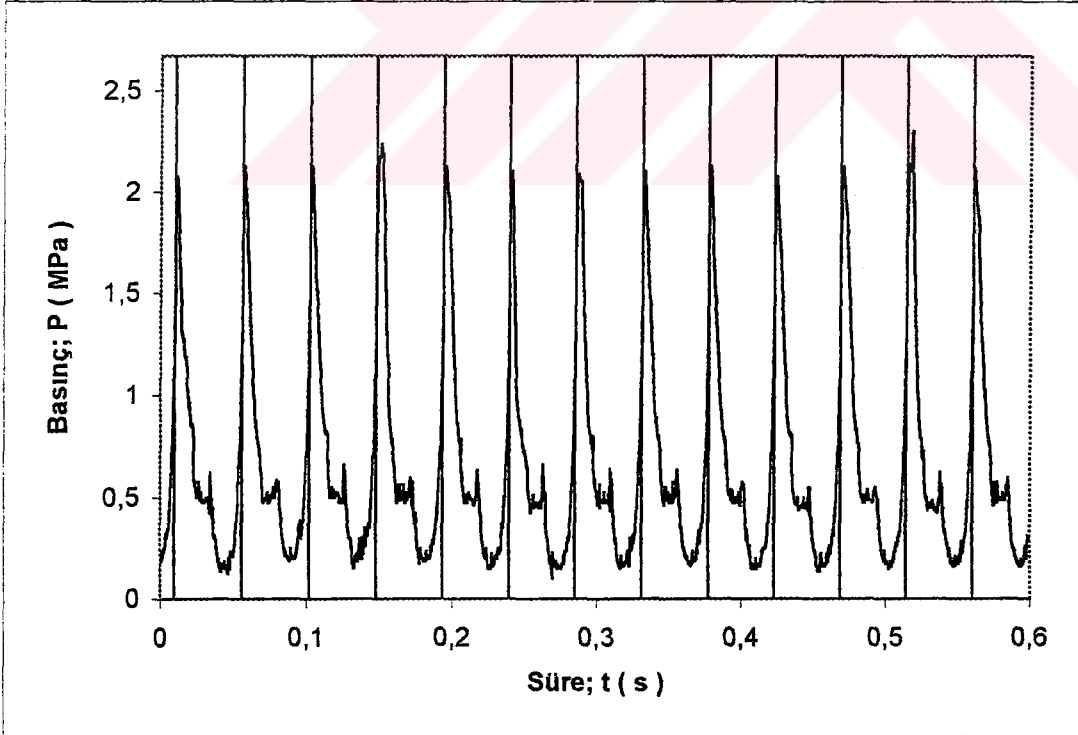
Şekil Ek 1.19 1000 d/d motor devri için $s = 3,75$ durumunda
silindir içi basıncının değişimi



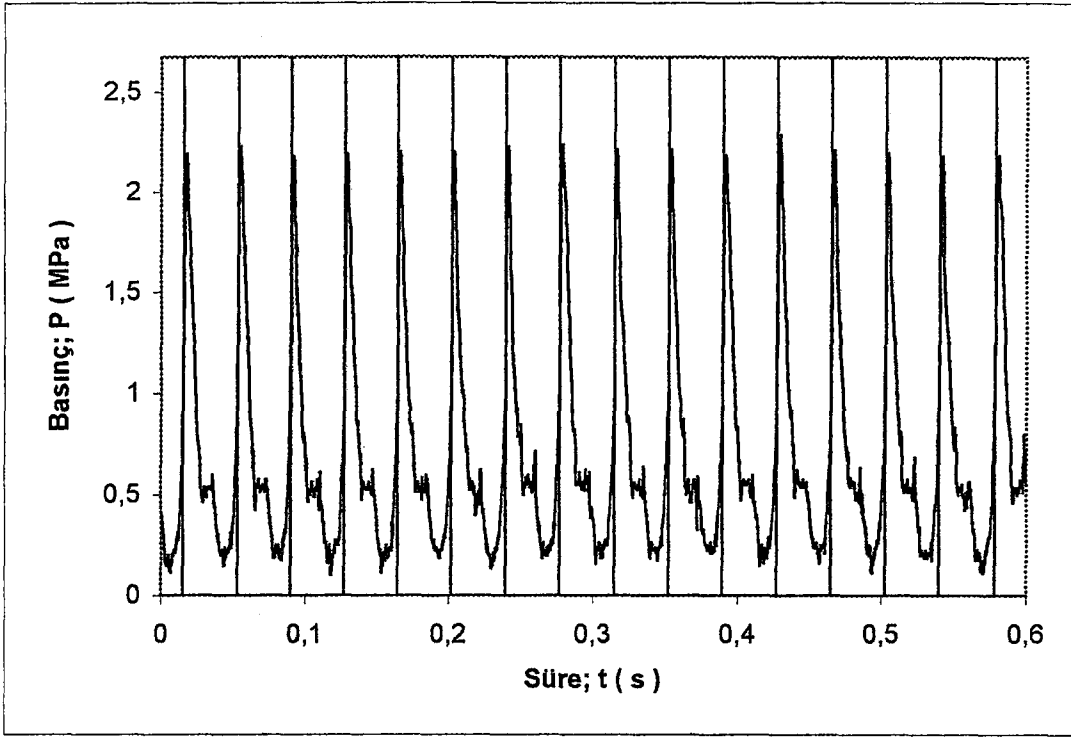
Şekil Ek 1.20 1500 d/d motor devri için $s = 3,75$ durumunda
silindir içi basıncının değişimi



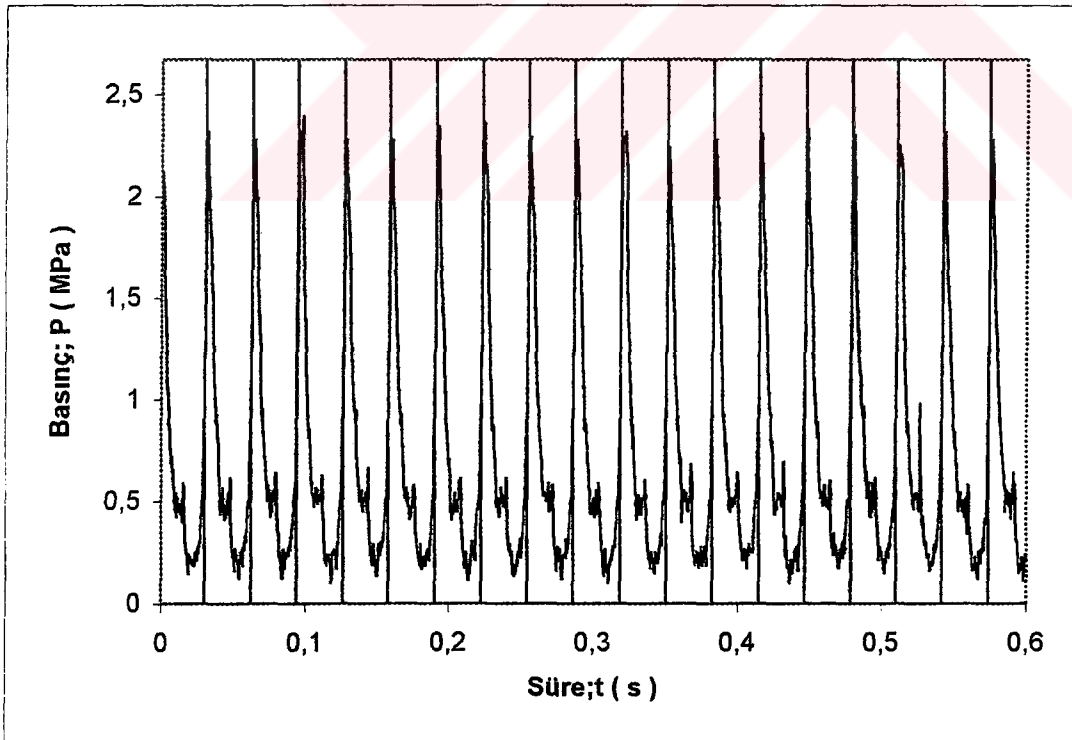
Şekil Ek 1.21 2000 d/d motor devri için $s = 3,75$ durumunda
silindir içi basıncının değişimi



Şekil Ek 1.22 2500 d/d motor devri için $s = 3,75$ durumunda
silindir içi basıncının değişimi



Şekil Ek 1.23 3000 d/d motor devri için $s = 3,75$ durumunda
silindir içi basıncının değişimi



Şekil Ek 1.24 3500 d/d motor devri için $s = 3,75$ durumunda
silindir içi basıncının değişimi

Ek 2: Buji tırnak aralığına göre yapılan deneyin sonuçları

Çizelge Ek 2.1 Buji tırnak aralığı 0,5 mm için yapılan deneyde motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar

Devir Sayısı	Ü.Ö.N. zamanı	Pmax zamanı	Zaman farkı	Açısal değer	Pmax değeri	
(d/d)	(ms)	(ms)	(ms)	° KMA	(Mpa)	
1000	23,6	27,6	4	24	1,6625	
1000	130,8	135,2	4,4	26	1,675	
1000	242	246,4	4,4	26	1,7375	
1000	353,6	359,6	6	36	1,8	Ortalama: 1,72708
1000	464,8	470	5,2	31	1,7	Standart Sapma: 0,05778
1000	575,2	583,2	8	48	1,7875	Değişim Katsayısı: 3,34553
1500	38	40	2	18	1,8	
1500	105,2	107,6	2,4	21	1,775	
1500	172,8	175,2	2,4	21	1,7875	
1500	240,4	243,6	3,2	28	1,8375	
1500	307,6	310,4	2,8	25	1,8375	
1500	375,2	378	2,8	25	1,8625	
1500	442	446	4	36	1,925	Ortalama: 1,83056
1500	509,2	511,2	2	18	1,8375	Standart Sapma: 0,04512
1500	575,2	578	2,8	25	1,8125	Değişim Katsayısı: 2,46469
2000	28,4	31,2	2,8	33	1,925	
2000	81,6	84	2,4	28	1,975	
2000	135,2	137,6	2,4	28	1,975	
2000	188,8	191,2	2,4	28	1,9875	
2000	242,4	244,8	2,4	28	1,9875	
2000	295,6	298	2,4	28	1,975	
2000	348,8	351,2	2,4	28	1,9375	
2000	402,4	404,8	2,4	28	1,9125	
2000	455,6	458	2,4	28	1,9125	Ortalama: 1,96364
2000	509,2	511,6	2,4	28	1,9875	Standart Sapma: 0,03642
2000	562,4	564,8	2,4	28	2,025	Değişim Katsayısı: 1,85492
2500	15,2	17,6	2,4	36	2,0875	
2500	60,8	62,8	2	30	2,05	
2500	106	108,4	2,4	36	2,0125	
2500	152	154,4	2,4	36	2,075	
2500	197,6	202,4	4,8	72	2,275	
2500	243,2	246,4	3,2	48	2,1625	
2500	288,8	292,8	4	60	2,1625	
2500	334,4	336,8	2,4	36	2,125	
2500	379,6	382	2,4	35	2,025	
2500	424,8	426,8	2	30	2	
2500	470	472	2	30	2	Ortalama: 2,10769
2500	515,2	517,2	2	30	2,0125	Standart Sapma: 0,12253
2500	560,4	564,4	4	60	2,4125	Değişim Katsayısı: 5,81355

Devir Sayısı	Ü.Ö.N. zamanı	Pmax zamanı	Zaman farkı	Açısal değer	Pmax değeri	
(d/d)	(ms)	(ms)	(ms)	° KMA	(Mpa)	
3000	29,2	30,4	1,2	21	2,0875	
3000	67,6	69,2	1,6	28	2,1125	
3000	106,4	108	1,6	28	2,1375	
3000	144,8	146,8	2	36	2,1625	
3000	183,6	185,2	1,6	28	2,175	
3000	222,4	224	1,6	28	2,15	
3000	261,2	262,8	1,6	28	2,1375	
3000	300	301,6	1,6	28	2,1625	
3000	338,8	340,4	1,6	28	2,175	
3000	378	379,6	1,6	28	2,1875	
3000	416,8	418,4	1,6	28	2,225	
3000	456	457,6	1,6	28	2,175	
3000	494,8	496,4	1,6	28	2,1625	Ortalama: 2,16167
3000	533,6	536,8	3,2	57	2,2	Standart Sapma: 0,03389
3000	572,4	574	1,6	28	2,175	Değişim Katsayısı: 1,56796
3500	7,2	8,4	1,2	25	2,275	
3500	39,2	40,8	1,6	33	2,2875	
3500	71,6	72,8	1,2	25	2,3	
3500	103,6	105,2	1,6	33	2,3	
3500	136	137,6	1,6	33	2,325	
3500	168,4	170,8	2,4	50	2,3125	
3500	200,4	202	1,6	33	2,3125	
3500	233,6	235,6	2	42	2,4375	
3500	264,8	266	1,2	25	2,2875	
3500	297,2	300	2,8	58	2,4	
3500	329,2	331,2	2	42	2,3125	
3500	361,6	362,8	1,2	25	2,275	
3500	393,6	394,8	1,2	25	2,225	
3500	426	427,2	1,2	25	2,2375	
3500	458	460	2	42	2,25	
3500	490	491,6	1,6	33	2,225	Ortalama: 2,28681
3500	522,4	523,6	1,2	25	2,2	Standart Sapma: 0,06235
3500	554,4	555,6	1,2	25	2,2	Değişim Katsayısı: 2,72645

Çizelge Ek 2.2 Buji tırnak aralığı 0,6 mm için yapılan deneyde motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar

Devir Sayısı	Ü.Ö.N. zamanı (ms)	Pmax zamanı (ms)	Zaman farkı (ms)	Açısal değer ° KMA	Pmax değeri (Mpa)	
1000	52,4	57,6	5,2	31	1,6875	
1000	161,2	166	4,8	28	1,75	
1000	269,6	275,2	5,6	33	1,7	Ortalama: 1,705
1000	378,8	383,6	4,8	28	1,6875	Standart Sapma: 0,02592
1000	488,8	493,6	4,8	28	1,7	Değişim Katsayısı: 1,52027
1500	52,4	55,6	3,2	28	1,8	
1500	124,8	128,4	3,6	32	1,75	
1500	197,2	200,8	3,6	32	1,7875	
1500	270	272,8	2,8	25	1,8125	
1500	342,4	346	3,6	32	1,8125	
1500	415,2	421,6	6,4	57	1,925	Ortalama: 1,8125
1500	487,6	490,8	3,2	28	1,8	Standart Sapma: 0,05
1500	559,2	563,2	4	36	1,8125	Değişim Katsayısı: 2,75862
2000	24	26,4	2,4	28	1,9625	
2000	79,6	82,4	2,8	33	1,875	
2000	135,2	139,6	4,4	52	2,1125	
2000	190,4	192,8	2,4	28	1,9375	
2000	246	248,4	2,4	28	1,95	
2000	301,2	303,6	2,4	28	1,85	
2000	356,8	359,2	2,4	28	1,8625	
2000	412,4	414,4	2	24	1,875	
2000	467,6	470	2,4	28	1,8625	Ortalama: 1,9125
2000	523,2	525,6	2,4	28	1,875	Standart Sapma: 0,07685
2000	578,8	580,8	2	24	1,875	Değişim Katsayısı: 4,01841
2500	35,2	37,6	2,4	36	1,9875	
2500	80,8	83,2	2,4	36	1,9625	
2500	126,4	128,8	2,4	36	1,975	
2500	172	176	4	60	2,2625	
2500	217,2	219,6	2,4	36	1,9625	
2500	262,4	266,8	4,4	66	2,05	
2500	308	310,4	2,4	35	1,9875	
2500	353,2	355,2	2	30	1,9625	
2500	398,4	402,4	4	60	2,1125	
2500	443,6	446,4	2,8	41	2,025	
2500	488,8	491,2	2,4	35	1,975	Ortalama: 2,02981
2500	534	538	4	60	2,075	Standart Sapma: 0,08517
2500	579,2	582,4	3,2	47	2,05	Değişim Katsayısı: 4,19587

Devir Sayısı	Ü.Ö.N. zamanı	Pmax zamanı	Zaman farkı	Açısal değer	Pmax değeri	
(d/d)	(ms)	(ms)	(ms)	° KMA	(Mpa)	
3000	6,4	8,8	2,4	43	2,15	
3000	45,6	48,8	3,2	57	2,2	
3000	84,4	86,4	2	36	2,1375	
3000	123,6	125,6	2	36	2,1375	
3000	162,4	164,4	2	36	2,1625	
3000	201,6	203,6	2	36	2,175	
3000	240,4	242,4	2	36	2,175	
3000	279,6	281,6	2	36	2,15	
3000	318,8	320,8	2	36	2,1375	
3000	358	360	2	36	2,1875	
3000	397,2	399,2	2	36	2,175	
3000	436,4	438,4	2	36	2,175	
3000	475,2	477,6	2,4	43	2,1625	
3000	514,4	518,8	4,4	79	2,375	Ortalama: 2,175
3000	553,6	555,6	2	36	2,1625	Standart Sapma: 0,05664
3000	592,4	594,4	2	36	2,1375	Değişim Katsayısı: 2,60424
3500	8,4	10	1,6	33	2,2875	
3500	39,6	41,6	2	42	2,275	
3500	71,6	73,2	1,6	33	2,2625	
3500	103,2	105,2	2	42	2,3125	
3500	134,8	136,8	2	42	2,275	
3500	166,4	168,4	2	42	2,2875	
3500	198	199,6	1,6	33	2,225	
3500	230	231,6	1,6	33	2,275	
3500	261,2	263,2	2	42	2,275	
3500	292,8	295,6	2,8	58	2,275	
3500	324,4	326,4	2	42	2,25	
3500	356,4	358	1,6	33	2,225	
3500	388	390	2	42	2,25	
3500	419,6	422	2,4	50	2,3625	
3500	451,6	453,2	1,6	33	2,2875	
3500	483,2	484,8	1,6	33	2,225	
3500	514,8	516,8	2	42	2,225	Ortalama: 2,27237
3500	546,8	548,4	1,6	33	2,275	Standart Sapma: 0,03598
3500	578,4	580,4	2	42	2,325	Değişim Katsayısı: 1,5835

Çizelge Ek 2.3 Buji turnak aralığı 0,7 mm için yapılan deneyde motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar

Devir Sayısı	Ü.Ö.N. zamanı (ms)	Pmax zamanı (ms)	Zaman farkı (ms)	Açısal değer ° KMA	Pmax değeri (Mpa)	
1000	40,8	47,2	6,4	38	1,6875	
1000	148,8	154	5,2	31	1,675	
1000	257,2	263,2	6	36	1,7375	
1000	364,8	372	7,2	43	1,775	Ortalama: 1,73958
1000	471,2	477,2	6	36	1,775	Standart Sapma: 0,04836
1000	579,2	588,4	9,2	55	1,7875	Değişim Katsayısı: 2,77989
1500	24,8	28	3,2	28	1,7625	
1500	94	97,2	3,2	28	1,8125	
1500	164	170,4	6,4	57	1,775	
1500	233,2	236,4	3,2	28	1,7625	
1500	303,2	309,6	6,4	57	1,9375	
1500	372,8	376,8	4	36	1,7625	
1500	442,4	446	3,6	32	1,75	Ortalama: 1,80694
1500	512,4	519,2	6,8	61	1,9625	Standart Sapma: 0,08388
1500	582,4	585,6	3,2	28	1,7375	Değişim Katsayısı: 4,642
2000	51,6	55,6	4	48	1,9125	
2000	107,2	109,2	2	24	1,8	
2000	163,2	166,4	3,2	38	1,8375	
2000	219,2	221,6	2,4	28	1,8625	
2000	275,2	278	2,8	33	1,8625	
2000	331,2	334	2,8	33	1,9	
2000	387,2	392	4,8	57	2,1875	
2000	442,8	445,2	2,4	28	1,8625	Ortalama: 1,9025
2000	498,4	502	3,6	43	1,9	Standart Sapma: 0,10587
2000	554,4	556,8	2,4	28	1,9	Değişim Katsayısı: 5,56475
2500	14	16,4	2,4	36	1,9625	
2500	59,2	61,6	2,4	36	2,0875	
2500	104,4	106,8	2,4	35	2,025	
2500	149,2	151,6	2,4	36	1,9	
2500	194,4	199,2	4,8	71	2,0375	
2500	239,6	244	4,4	66	2,1125	
2500	284,8	287,2	2,4	35	1,9875	
2500	330	332,4	2,4	35	1,975	
2500	375,2	377,2	2	30	1,9875	
2500	420	422,4	2,4	35	1,9125	
2500	465,2	467,6	2,4	36	2,0125	Ortalama: 2,00192
2500	510,4	512,8	2,4	35	2,0125	Standart Sapma: 0,0597
2500	555,6	558	2,4	35	2,0125	Değişim Katsayısı: 2,98197

Devir Sayısı	Ü.Ö.N. zamanı	Pmax zamanı	Zaman farkı	Açısal değer	Pmax değeri	
(d/d)	(ms)	(ms)	(ms)	° KMA	(Mpa)	
3000	12	14	2	36	2,075	
3000	52	55,6	3,6	64	2,4875	
3000	92	95,2	3,2	57	2,1625	
3000	132	134,4	2,4	43	2,2	
3000	172	174,4	2,4	43	2,1125	
3000	211,6	214	2,4	43	2,075	
3000	251,6	253,6	2	36	2,0625	
3000	291,6	293,6	2	36	2,1	
3000	331,6	333,6	2	36	2,1375	
3000	371,6	374	2,4	43	2,075	
3000	411,6	413,6	2	36	2,1	
3000	451,6	454	2,4	43	2,1125	
3000	491,6	495,6	4	72	2,1375	Ortalama: 2,14417
3000	531,6	533,6	2	36	2,2375	Standart Sapma: 0,10699
3000	571,6	574	2,4	43	2,0875	Değişim Katsayısı: 4,99005
3500	2,8	4,4	1,6	33	2,2875	
3500	34,8	36,4	1,6	33	2,2375	
3500	66,8	68,4	1,6	33	2,2375	
3500	98,8	100,4	1,6	33	2,2375	
3500	130,8	133,6	2,8	58	2,25	
3500	162,8	164,4	1,6	33	2,225	
3500	194,8	196,4	1,6	33	2,1625	
3500	226,8	228	1,2	25	2,1625	
3500	258,8	260	1,2	25	2,2125	
3500	290,8	292,4	1,6	33	2,225	
3500	322,8	324,4	1,6	33	2,2	
3500	355,2	356,4	1,2	25	2,2	
3500	387,2	388,8	1,6	33	2,1875	
3500	419,6	421,2	1,6	33	2,225	
3500	452	453,6	1,6	33	2,1625	
3500	484,4	486	1,6	33	2,2	
3500	516,8	518	1,2	25	2,15	Ortalama: 2,21908
3500	549,2	551,6	2,4	50	2,4	Standart Sapma: 0,05596
3500	581,6	582,8	1,2	25	2,2	Değişim Katsayısı: 2,52172

Çizelge Ek 2.4 Buji tırnak aralığı 0,8 mm için yapılan deneyde motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar

Devir Sayısı	Ü.Ö.N. zamanı	Pmax zamanı	Zaman farkı	Açısal değer	Pmax değeri	
(d/d)	(ms)	(ms)	(ms)	° KMA	(Mpa)	
1000	102,8	106,8	4	24	1,7875	
1000	208,4	212	3,6	21	1,7	
1000	314	321,2	7,2	43	1,9125	Ortalama: 1,835
1000	419,2	427,2	8	48	2,025	Standart Sapma: 0,13211
1000	522,4	525,6	3,2	19	1,75	Değişim Katsayısı: 7,19947
1500	16,8	22,8	6	54	1,925	
1500	88,4	93,6	5,2	46	1,9125	
1500	160,4	165,2	4,8	43	1,925	
1500	231,6	233,6	2	18	1,775	
1500	302,8	304,8	2	18	1,7875	
1500	374	376,4	2,4	21	1,7875	
1500	445,6	448	2,4	21	1,85	Ortalama: 1,87778
1500	518	524	6	54	2,075	Standart Sapma: 0,09515
1500	589,6	592,4	2,8	25	1,8625	Değişim Katsayısı: 5,06724
2000	23,2	25,2	2	24	1,875	
2000	78,4	82,4	4	48	2,025	
2000	133,2	136,8	3,6	43	1,9375	
2000	188	190	2	24	1,875	
2000	242,8	247,2	4,4	52	1,9375	
2000	297,6	299,2	1,6	19	1,9625	
2000	352	355,2	3,2	38	2,0125	
2000	406,8	408,4	1,6	19	1,8875	
2000	461,2	465,6	4,4	52	2,0125	Ortalama: 1,95795
2000	516	518,8	2,8	33	2,1	Standart Sapma: 0,0723
2000	570,4	573,2	2,8	33	1,9125	Değişim Katsayısı: 3,69262
2500	6	7,6	1,6	24	1,9375	
2500	50,4	54	3,6	54	2,3	
2500	94,4	98	3,6	53	2,05	
2500	138,4	140	1,6	23	1,95	
2500	182,4	184,4	2	30	1,975	
2500	226,4	228,4	2	30	1,975	
2500	270,8	272,4	1,6	23	1,975	
2500	314,8	316,4	1,6	23	1,9375	
2500	359,2	361,6	2,4	36	2,025	
2500	403,6	405,6	2	30	2	
2500	447,6	449,6	2	30	2,025	
2500	492	493,6	1,6	24	1,925	Ortalama: 2,0125
2500	536,4	538	1,6	24	1,9625	Standart Sapma: 0,09988
2500	580,8	584	3,2	48	2,1375	Değişim Katsayısı: 4,96297

Devir Sayısı	Ü.Ö.N. zamanı (ms)	Pmax zamanı (ms)	Zaman farkı (ms)	Açısal değer ° KMA	Pmax değeri (Mpa)		
3000	13,2	14,4	1,2	21	2,0875		
3000	52,8	55,6	2,8	50	2,175		
3000	92,4	93,6	1,2	21	2,125		
3000	132	134,4	2,4	43	2,2375		
3000	171,2	172,8	1,6	28	2,15		
3000	210,8	213,6	2,8	50	2,325		
3000	250	251,2	1,2	21	2,125		
3000	289,2	291,2	2	36	2,1125		
3000	328,8	330	1,2	21	2,075		
3000	368	370,4	2,4	43	2,35		
3000	407,2	408,4	1,2	21	2,1125		
3000	446,4	447,6	1,2	21	2,1125		
3000	485,6	486,8	1,2	21	2,1	Ortalama:	2,15667
3000	524,8	528	3,2	57	2,1125	Standart Sapma:	0,0833
3000	564	566,4	2,4	43	2,15	Değişim Katsayısı:	3,86247
3500	21,6	23,6	2	42	2,3125		
3500	54	55,2	1,2	25	2,2875		
3500	86,4	87,2	0,8	16	2,25		
3500	118,8	121,2	2,4	50	2,375		
3500	151,2	152	0,8	16	2,275		
3500	183,6	185,6	2	42	2,3125		
3500	216	216,8	0,8	16	2,25		
3500	248	249,2	1,2	25	2,275		
3500	280,4	281,2	0,8	16	2,2625		
3500	312,8	315,6	2,8	58	2,3875		
3500	345,2	346,4	1,2	25	2,25		
3500	377,6	378,4	0,8	16	2,2625		
3500	410	411,2	1,2	25	2,2625		
3500	442	443,2	1,2	25	2,2625		
3500	474,4	475,2	0,8	16	2,2375		
3500	506,8	508,8	2	42	2,4625	Ortalama:	2,28819
3500	539,2	540	0,8	16	2,25	Standart Sapma:	0,063
3500	571,2	572	0,8	16	2,2125	Değişim Katsayısı:	2,7531

Çizelge Ek 2.5 Buji tırnak aralığı 0,9 mm için yapılan deneyde
motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar

Devir Sayısı	Ü.Ö.N. zamanı	Pmax zamanı	Zaman farkı	Açısal değer	Pmax değeri	
(d/d)	(ms)	(ms)	(ms)	° KMA	(Mpa)	
1000	93,2	97,2	4	24	1,65	
1000	197,6	204,4	6,8	40	1,7375	
1000	301,6	306	4,4	26	1,675	Ortalama: 1,695
1000	406,4	410	3,6	21	1,6375	Standart Sapma: 0,05903
1000	511,2	517,6	6,4	38	1,775	Değişim Katsayısı: 3,48251
1500	2,4	4,8	2,4	21	1,8125	
1500	73,2	78	4,8	43	1,8125	
1500	143,6	147,2	3,6	32	1,8375	
1500	214,4	216,4	2	18	1,7625	
1500	284,8	291,2	6,4	57	2	
1500	355,6	357,6	2	18	1,8	
1500	426	430,8	4,8	43	1,9375	Ortalama: 1,85
1500	496,4	500	3,6	32	1,8	Standart Sapma: 0,0768
1500	566,8	570,4	3,6	32	1,8875	Değişim Katsayısı: 4,15142
2000	18	22,8	4,8	57	2,075	
2000	70,4	72,4	2	24	1,9125	
2000	123,2	125,6	2,4	28	1,95	
2000	175,6	178	2,4	28	1,925	
2000	228	232	4	48	2,0875	
2000	280	282,4	2,4	28	1,8625	
2000	332,4	334,4	2	24	1,875	
2000	384,4	386,4	2	24	1,975	
2000	436,4	440,4	4	48	1,975	
2000	488,8	490,8	2	24	1,875	Ortalama: 1,94375
2000	540,8	542,4	1,6	19	1,9	Standart Sapma: 0,07395
2000	592,8	594,8	2	24	1,9125	Değişim Katsayısı: 3,80455
2500	37,2	38,8	1,6	23	1,9625	
2500	82	83,6	1,6	23	1,9875	
2500	126,4	128	1,6	23	1,975	
2500	170,8	172,8	2	30	2,0375	
2500	215,2	216,8	1,6	24	1,975	
2500	259,6	262	2,4	35	2	
2500	304,4	306,4	2	30	1,975	
2500	348,8	350,8	2	30	1,975	
2500	393,2	395,2	2	30	2,025	
2500	437,6	440	2,4	35	2,025	
2500	482	485,6	3,6	54	2,05	Ortalama: 2,02019
2500	526,4	529,6	3,2	48	2,0375	Standart Sapma: 0,07172
2500	570,4	574	3,6	54	2,2375	Değişim Katsayısı: 3,55032

Devir Sayısı	Ü.Ö.N. zamanı	Pmax zamanı	Zaman farkı	Açısal değer	Pmax değeri	
(d/d)	(ms)	(ms)	(ms)	° KMA	(Mpa)	
3000	19,6	20,8	1,2	21	2,15	
3000	57,2	58,8	1,6	28	2,125	
3000	95,2	96,4	1,2	21	2,15	
3000	132,8	134,4	1,6	28	2,1625	
3000	170,8	172,4	1,6	28	2,1375	
3000	208,4	210	1,6	28	2,15	
3000	246,4	249,2	2,8	50	2,375	
3000	284	285,6	1,6	28	2,1625	
3000	322	323,2	1,2	21	2,1125	
3000	359,6	360,8	1,2	21	2,1625	
3000	397,6	398,8	1,2	21	2,1125	
3000	435,6	436,8	1,2	21	2,125	
3000	473,2	474,8	1,6	28	2,1	
3000	511,2	512,4	1,2	21	2,05	Ortalama: 2,14453
3000	549,2	550,4	1,2	21	2,1125	Standart Sapma: 0,068
3000	587,2	588,4	1,2	21	2,125	Değişim Katsayısı: 3,17098
3500	6	8,8	2,8	58	2,6625	
3500	38	39,2	1,2	25	2,325	
3500	70	70,8	0,8	16	2,2	
3500	101,6	103,2	1,6	33	2,2875	
3500	133,6	134,4	0,8	16	2,225	
3500	165,6	166,4	0,8	16	2,325	
3500	197,2	198,8	1,6	33	2,35	
3500	228,8	230	1,2	25	2,3375	
3500	260,8	261,6	0,8	16	2,3125	
3500	292,4	294	1,6	33	2,325	
3500	324	325,2	1,2	25	2,325	
3500	356	357,6	1,6	33	2,3625	
3500	387,6	389,2	1,6	33	2,3875	
3500	419,2	420,4	1,2	25	2,275	
3500	451,2	452	0,8	16	2,325	
3500	482,8	484	1,2	25	2,3375	
3500	514,4	515,6	1,2	25	2,3625	Ortalama: 2,33421
3500	546	547,2	1,2	25	2,3625	Standart Sapma: 0,08779
3500	578	578,8	0,8	16	2,2625	Değişim Katsayısı: 3,76087

Çizelge Ek 2.6 Buji tırnak aralığı 1,0 mm için yapılan deneyde
motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar

Devir Sayısı	Ü.Ö.N. zamanı (ms)	Pmax zamanı (ms)	Zaman farkı (ms)	Açısal değer ° KMA	Pmax değeri (Mpa)	
1000	6	10	4	24	1,675	
1000	108,4	113,2	4,8	28	1,6625	
1000	211,2	214,4	3,2	19	1,6625	
1000	314	319,6	5,6	33	1,7	Ortalama: 1,69792
1000	417,6	426	8,4	50	1,825	Standart Sapma: 0,06394
1000	520	523,2	3,2	19	1,6625	Değişim Katsayısı: 3,76589
1500	60	63,6	3,6	32	1,725	
1500	130	132,8	2,8	25	1,7625	
1500	199,6	202	2,4	21	1,75	
1500	269,2	272	2,8	25	1,725	
1500	339,2	342	2,8	25	1,7125	
1500	409,2	412	2,8	25	1,7	Ortalama: 1,72813
1500	478,8	481,6	2,8	25	1,7125	Standart Sapma: 0,02086
1500	548,8	552	3,2	28	1,7375	Değişim Katsayısı: 1,20727
2000	24,8	26,8	2	24	1,85	
2000	78,8	80,8	2	24	1,9	
2000	132,4	134,8	2,4	28	1,85	
2000	186,8	191,2	4,4	52	1,9875	
2000	240,8	242,4	1,6	19	1,85	
2000	294,8	296,4	1,6	19	1,875	
2000	348,4	352	3,6	43	1,925	
2000	402,4	404,8	2,4	28	1,8625	
2000	456	458,8	2,8	33	1,875	Ortalama: 1,88295
2000	509,6	512	2,4	28	1,8875	Standart Sapma: 0,04231
2000	563,6	565,2	1,6	19	1,85	Değişim Katsayısı: 2,24677
2500	6,8	9,2	2,4	36	2	
2500	50,4	52,4	2	30	2	
2500	94,4	96,8	2,4	35	2,0375	
2500	138	140,4	2,4	36	2,0125	
2500	182	184,4	2,4	36	2,025	
2500	226	228,4	2,4	36	1,975	
2500	270	272,4	2,4	35	1,9875	
2500	314	316	2	30	1,9625	
2500	358	361,6	3,6	54	2,05	
2500	402	404,4	2,4	35	2	
2500	446	448,4	2,4	35	1,975	
2500	490	492,4	2,4	35	2	Ortalama: 2,00893
2500	534	536,4	2,4	35	2,075	Standart Sapma: 0,03117
2500	578	580,4	2,4	35	2,025	Değişim Katsayısı: 1,55179

Devir Sayısı	Ü.Ö.N. zamanı	Pmax zamanı	Zaman farkı	Açısal değer	Pmax değeri	
(d/d)	(ms)	(ms)	(ms)	° KMA	(Mpa)	
3000	34,8	36,4	1,6	28	2,1125	
3000	73,6	76	2,4	43	2,15	
3000	112,8	114,4	1,6	28	2,1	
3000	151,6	153,2	1,6	28	2,0625	
3000	190,4	192	1,6	28	2,075	
3000	229,2	230,8	1,6	28	2,2	
3000	268,4	270	1,6	28	2,1625	
3000	307,2	309,2	2	36	2,2	
3000	346	347,6	1,6	28	2,15	
3000	384,8	386,4	1,6	28	2,15	
3000	423,6	425,6	2	36	2,1125	
3000	462,8	464,8	2	36	2,1625	
3000	501,6	503,2	1,6	28	2,0875	Ortalama: 2,135
3000	540,4	542	1,6	28	2,1	Standart Sapma: 0,04585
3000	579,6	582,8	3,2	57	2,2	Değişim Katsayısı: 2,14777
3500	8,8	11,2	2,4	50	2,25	
3500	40,8	42,4	1,6	33	2,1875	
3500	72,8	74,4	1,6	33	2,2	
3500	105,2	106,4	1,2	25	2,175	
3500	137,2	138,4	1,2	25	2,2625	
3500	169,2	172	2,8	58	2,4125	
3500	201,2	204	2,8	58	2,425	
3500	233,6	236	2,4	50	2,4	
3500	265,6	266,8	1,2	25	2,225	
3500	297,6	298,8	1,2	25	2,2125	
3500	329,2	330,8	1,6	33	2,2	
3500	361,6	362,8	1,2	25	2,2125	
3500	393,6	395,2	1,6	33	2,225	
3500	425,2	428	2,8	58	2,275	
3500	457,6	459,2	1,6	33	2,225	
3500	489,6	492	2,4	50	2,5375	
3500	521,2	522,8	1,6	33	2,2125	Ortalama: 2,27632
3500	553,2	554,8	1,6	33	2,225	Standart Sapma: 0,10392
3500	585,2	588,4	3,2	67	2,3875	Değişim Katsayısı: 4,56511

Çizelge Ek 2.7 Buji tırnak aralığı için yapılan dört farklı deneyde motor devir sayılarına göre elde edilen sonuçlar

0,5 mm

(d/d)	Ortalama	(d/d)	St. Sapma	(d/d)	DK
1000	1,727	1000	0,05	1000	3,34
1500	1,83	1500	0,045	1500	2,46
2000	1,96	2000	0,036	2000	1,85
2500	2,1	2500	0,12	2500	5,81
3000	2,16	3000	0,033	3000	1,56
3500	2,28	3500	0,062	3500	2,72

0,6 mm

(d/d)	Ortalama	(d/d)	St. Sapma	(d/d)	DK
1000	1,705	1000	0,0259	1000	1,52
1500	1,8125	1500	0,05	1500	2,758
2000	1,9125	2000	0,076	2000	4,018
2500	2,029	2500	0,085	2500	4,19
3000	2,175	3000	0,056	3000	2,6
3500	2,27	3500	0,035	3500	1,58

0,7 mm

(d/d)	Ortalama	(d/d)	St. Sapma	(d/d)	DK
1000	1,73	1000	0,048	1000	2,78
1500	1,8	1500	0,083	1500	4,64
2000	1,9	2000	0,105	2000	5,56
2500	2	2500	0,059	2500	2,98
3000	2,14	3000	0,1	3000	5
3500	2,21	3500	0,055	3500	2,52

0,8 mm

(d/d)	Ortalama	(d/d)	St. Sapma	(d/d)	DK
1000	1,835	1000	0,132	1000	7,19
1500	1,87	1500	0,095	1500	5,06
2000	1,95	2000	0,072	2000	3,69
2500	2,012	2500	0,099	2500	4,96
3000	2,156	3000	0,083	3000	3,86
3500	2,28	3500	0,062	3500	2,75

0,9 mm

(d/d)	Ortalama	(d/d)	St. Sapma	(d/d)	DK
1000	1,695	1000	0,059	1000	3,48
1500	1,85	1500	0,076	1500	4,15
2000	1,94	2000	0,074	2000	3,8
2500	2,02	2500	0,071	2500	3,55
3000	2,14	3000	0,068	3000	3,17
3500	2,33	3500	0,087	3500	3,76

1,0 mm

(d/d)	Ortalama	(d/d)	St. Sapma	(d/d)	DK
1000	1,697	1000	0,063	1000	3,76
1500	1,728	1500	0,02	1500	1,207
2000	1,8829	2000	0,042	2000	2,46
2500	2	2500	0,031	2500	1,55
3000	2,135	3000	0,045	3000	2,14
3500	2,27	3500	0,103	3500	4,56



Çizelge Ek 2.8 Buji tırnak aralığı için yapılan dört farklı deneyde tırnak aralığına göre elde edilen sonuçlar

1000 d/d	DK	1000 d/d	Ort.	1000 d/d	St. Sapma
0,5	3,34	0,5	1,727	0,5	0,05
0,6	1,52	0,6	1,705	0,6	0,0259
0,7	2,78	0,7	1,73	0,7	0,048
0,8	7,19	0,8	1,835	0,8	0,132
0,9	3,48	0,9	1,695	0,9	0,059
1	3,76	1	1,697	1	0,063

1500 d/d	DK	1500 d/d	Ort.	1500 d/d	St. Sapma
0,5	2,46	0,5	1,83	0,5	0,045
0,6	2,758	0,6	1,8125	0,6	0,05
0,7	4,64	0,7	1,8	0,7	0,083
0,8	5,06	0,8	1,87	0,8	0,095
0,9	4,15	0,9	1,85	0,9	0,076
1	1,207	1	1,728	1	0,02

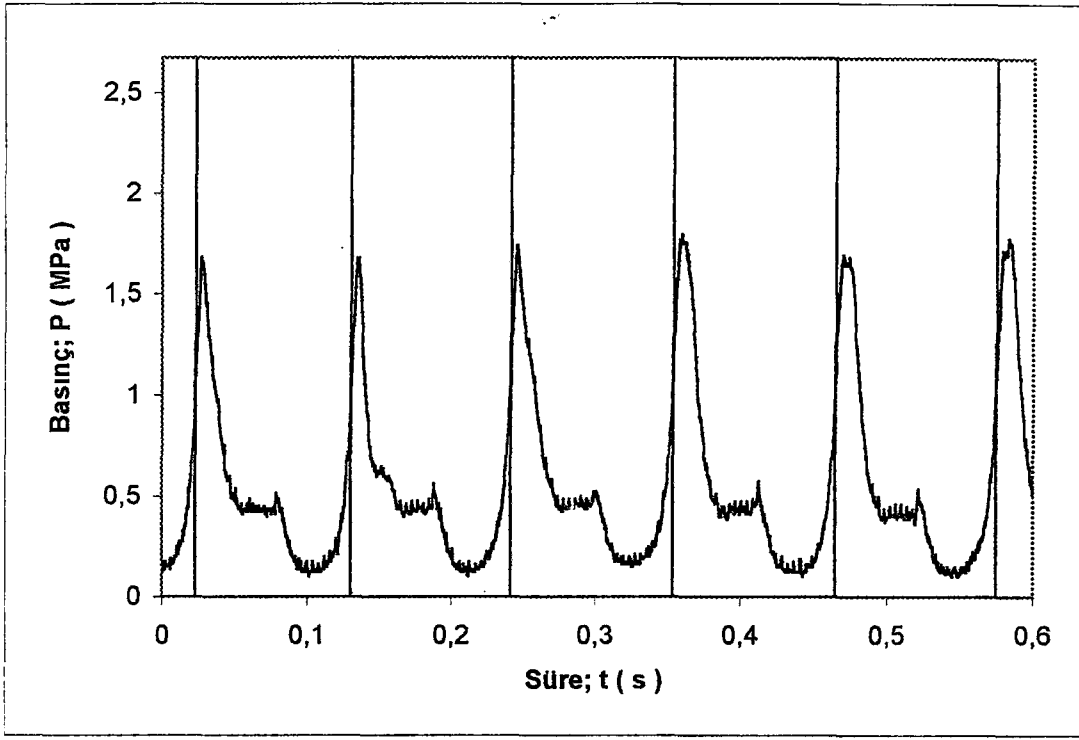
2000 d/d	DK	2000 d/d	Ort.	2000 d/d	St. Sapma
0,5	1,85	0,5	1,96	0,5	0,036
0,6	4,018	0,6	1,9125	0,6	0,076
0,7	5,56	0,7	1,9	0,7	0,105
0,8	3,69	0,8	1,95	0,8	0,072
0,9	3,8	0,9	1,94	0,9	0,074
1	2,46	1	1,8829	1	0,042

2500 d/d	DK	2500 d/d	Ort.	2500 d/d	St. Sapma
0,5	5,81	0,5	2,1	0,5	0,12
0,6	4,19	0,6	2,029	0,6	0,085
0,7	2,98	0,7	2	0,7	0,059
0,8	4,96	0,8	2,012	0,8	0,099
0,9	3,55	0,9	2,02	0,9	0,071
1	1,55	1	2	1	0,031

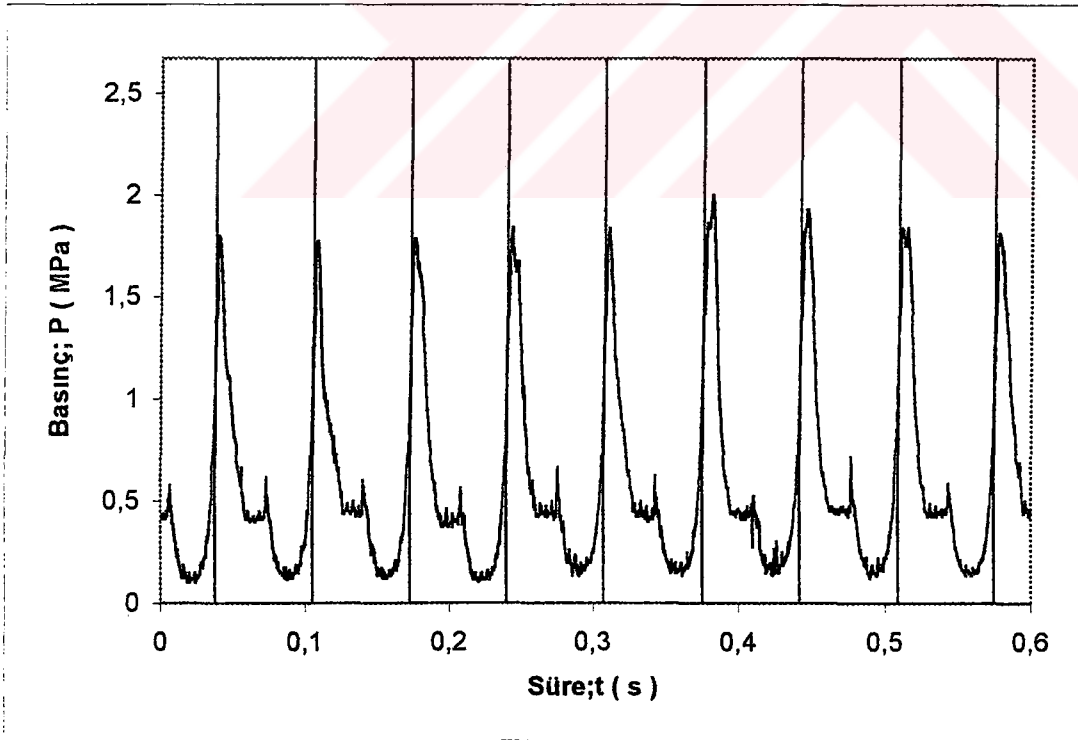
3000 d/d	DK	3000 d/d	Ort.	3000 d/d	St. Sapma
0,5	1,56	0,5	2,16	0,5	0,033
0,6	2,6	0,6	2,175	0,6	0,056
0,7	5	0,7	2,14	0,7	0,1
0,8	3,86	0,8	2,156	0,8	0,083
0,9	3,17	0,9	2,14	0,9	0,068
1	2,14	1	2,135	1	0,045

3500 d/d	DK	3500 d/d	Ort.	3500 d/d	St. Sapma
0,5	2,72	0,5	2,28	0,5	0,062
0,6	1,58	0,6	2,27	0,6	0,035
0,7	2,52	0,7	2,21	0,7	0,055
0,8	2,75	0,8	2,28	0,8	0,062
0,9	3,76	0,9	2,33	0,9	0,087
1	4,56	1	2,27	1	0,103

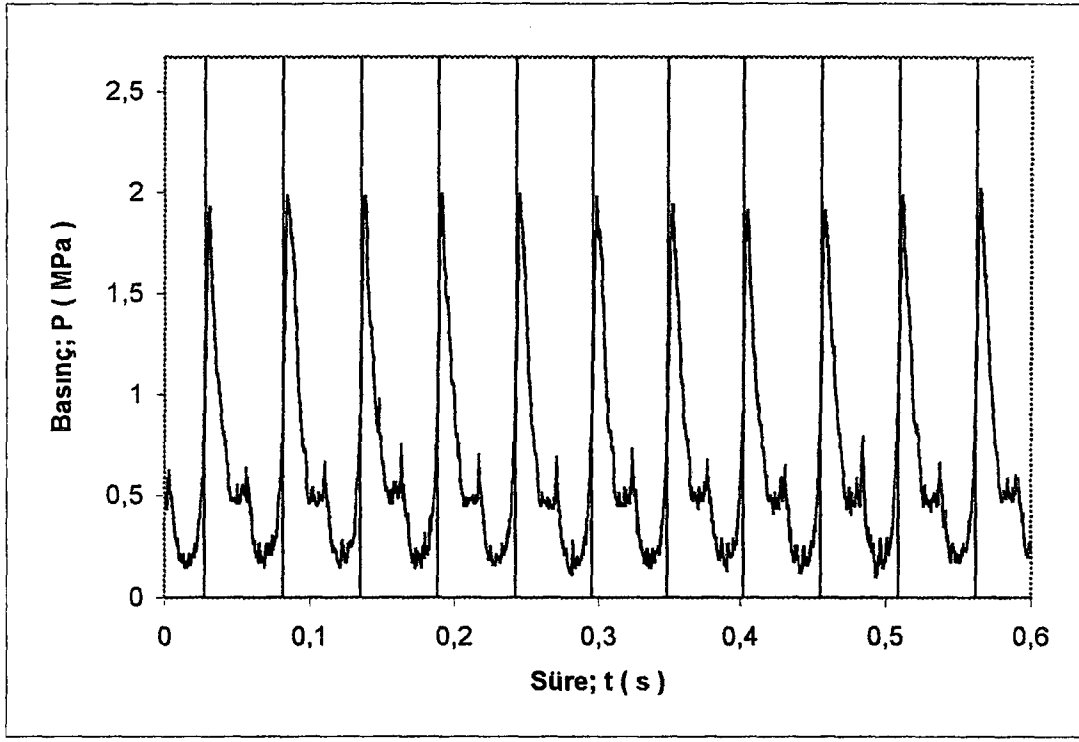




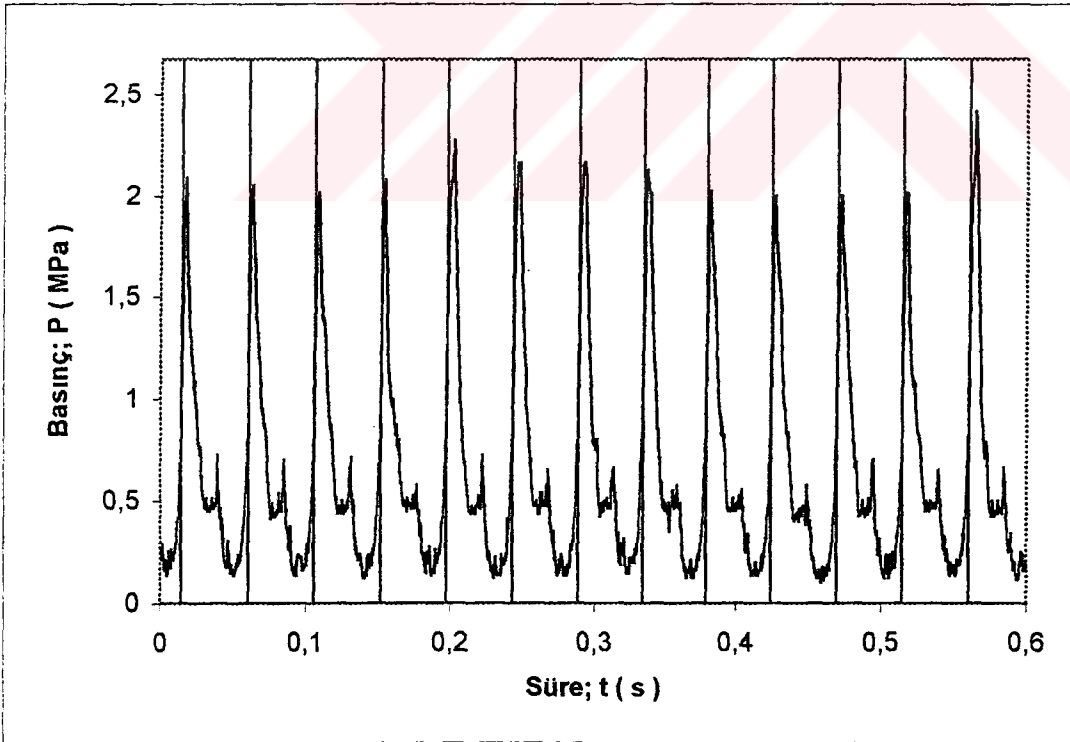
Şekil Ek 2.1 1000 d/d motor devri için 0,5 mm buji ırnak aralığında silindir içi basıncının değışimi



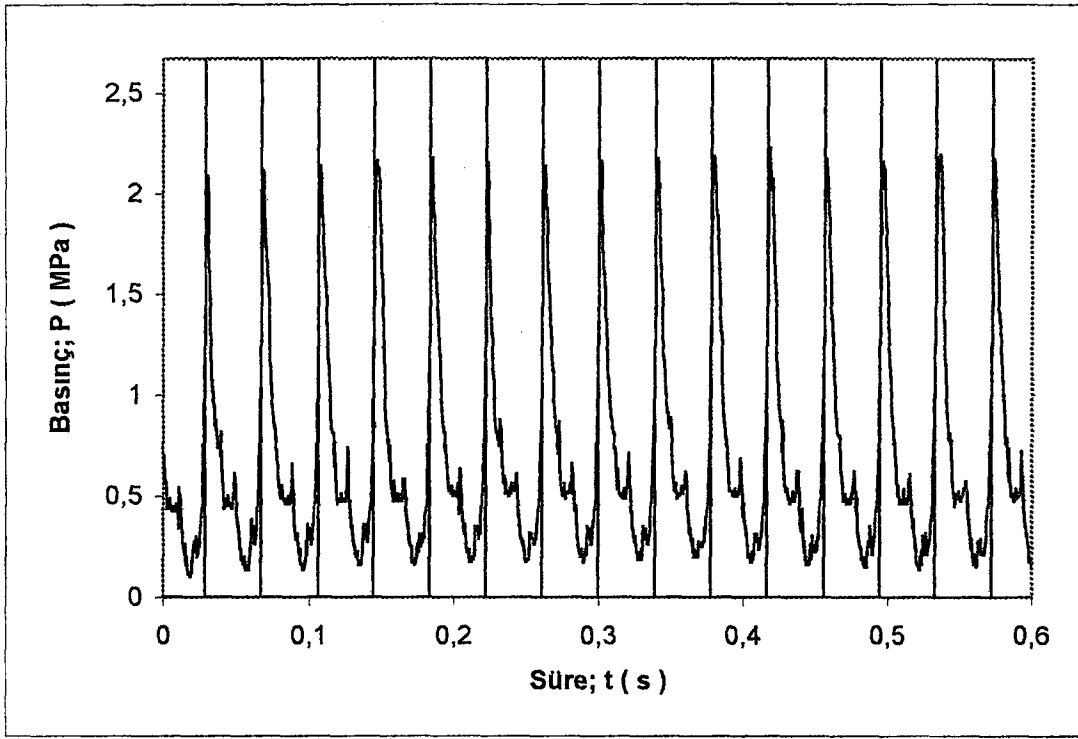
Şekil Ek 2.2 1500 d/d motor devri için 0,5 mm buji ırnak aralığında silindir içi basıncının değışimi



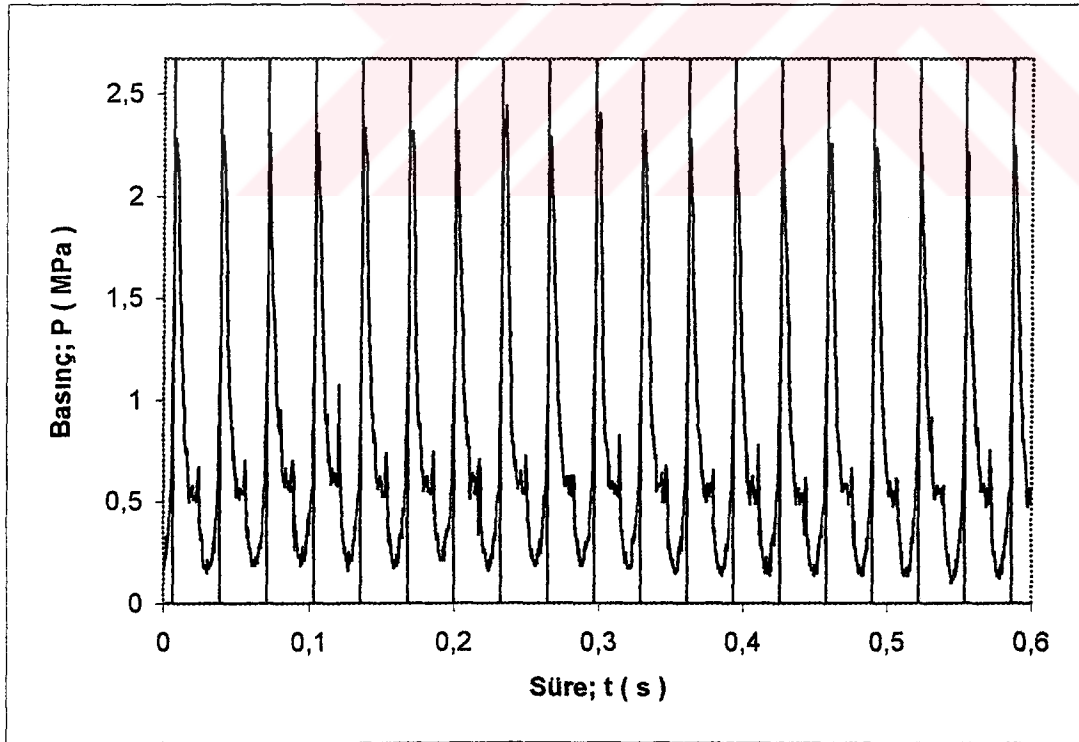
Şekil Ek 2.3 2000 d/d motor devri için 0,5 mm buji ırnak aralığında silindir içi basıncının değışimi



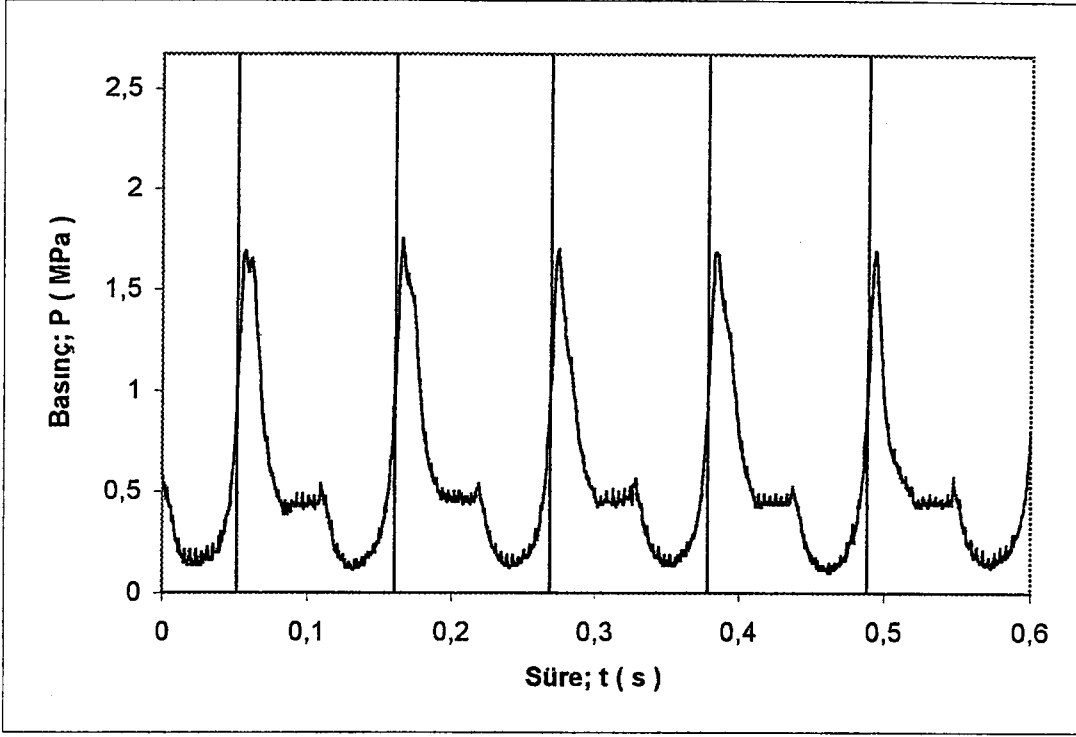
Şekil Ek 2.4 2500 d/d motor devri için 0,5 mm buji ırnak aralığında silindir içi basıncının değışimi



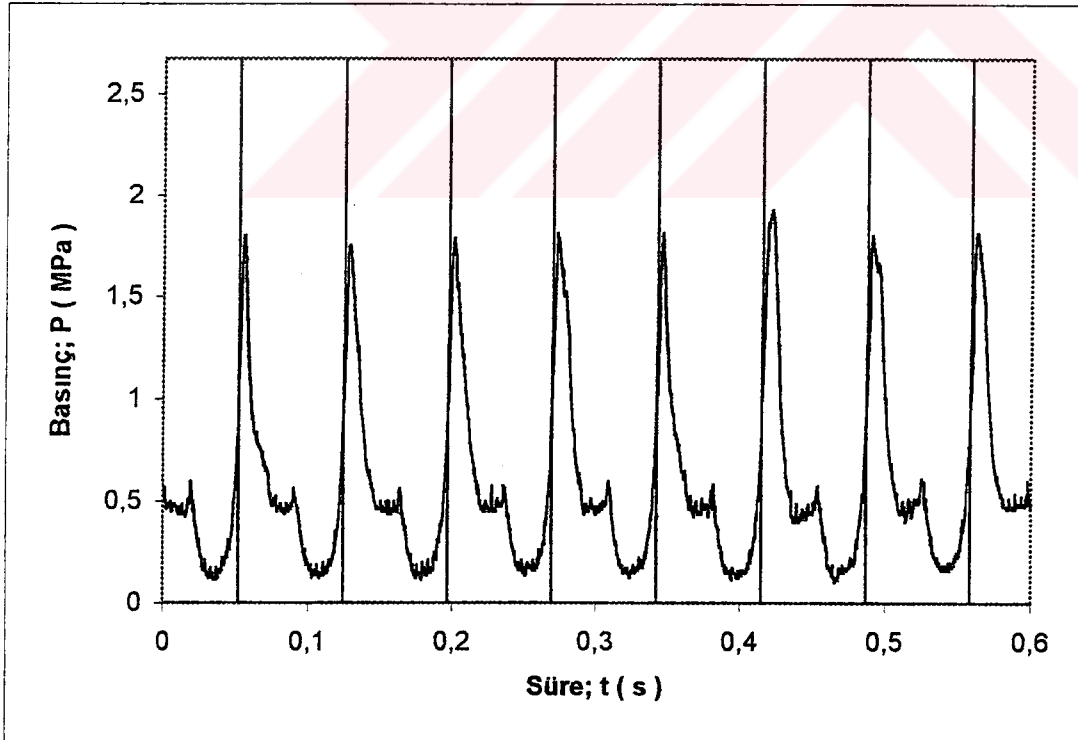
Şekil Ek 2.5 3000 d/d motor devri için 0,5 mm buji urnal aralığında silindir içi basıncının değışimi



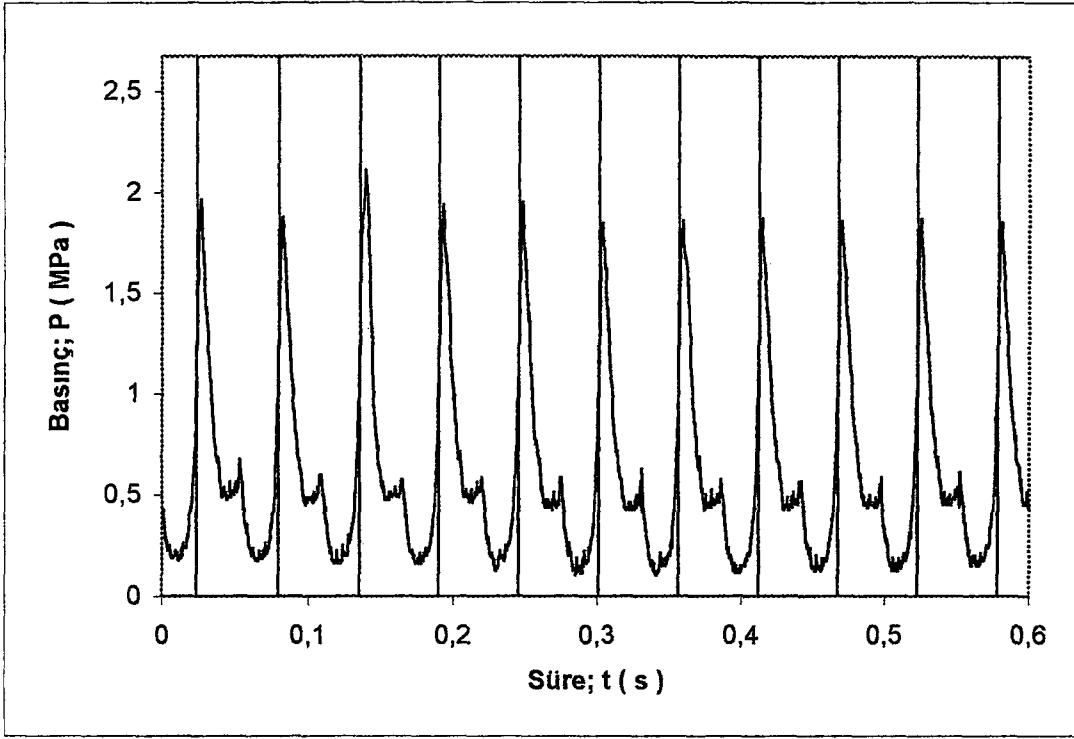
Şekil Ek 2.6 3500 d/d motor devri için 0,5 mm buji urnal aralığında silindir içi basıncının değışimi



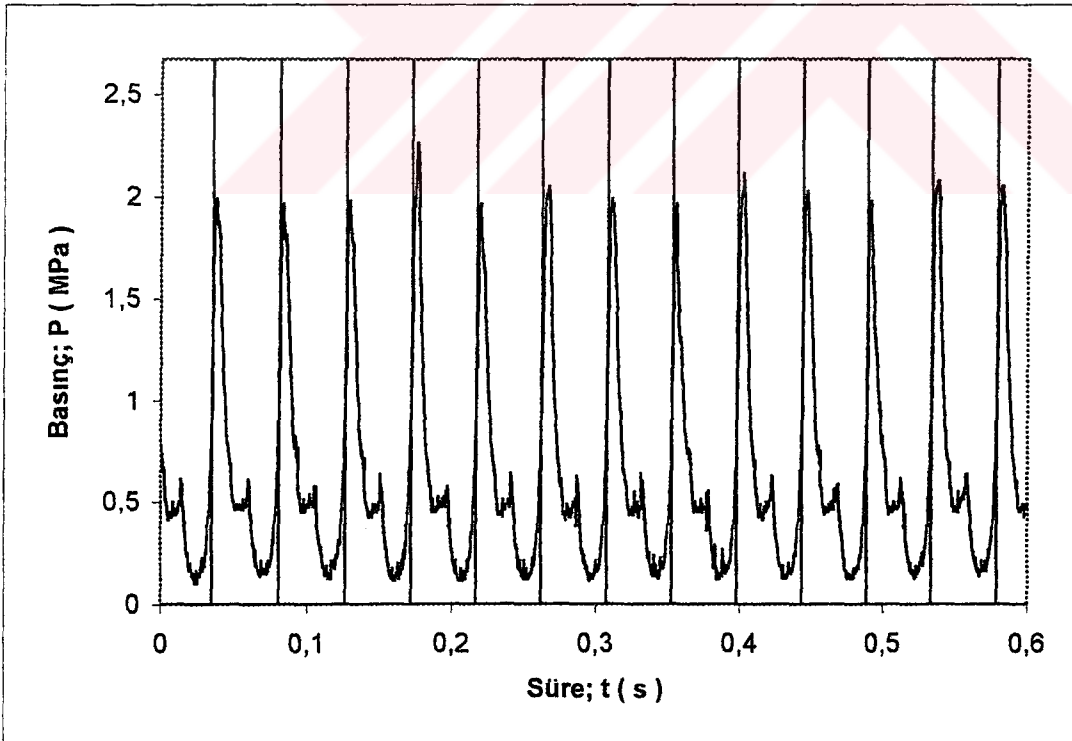
Şekil Ek 2.7 1000 d/d motor devri için 0.6 mm buji ırnak aralığında silindir içi basıncının değışimi



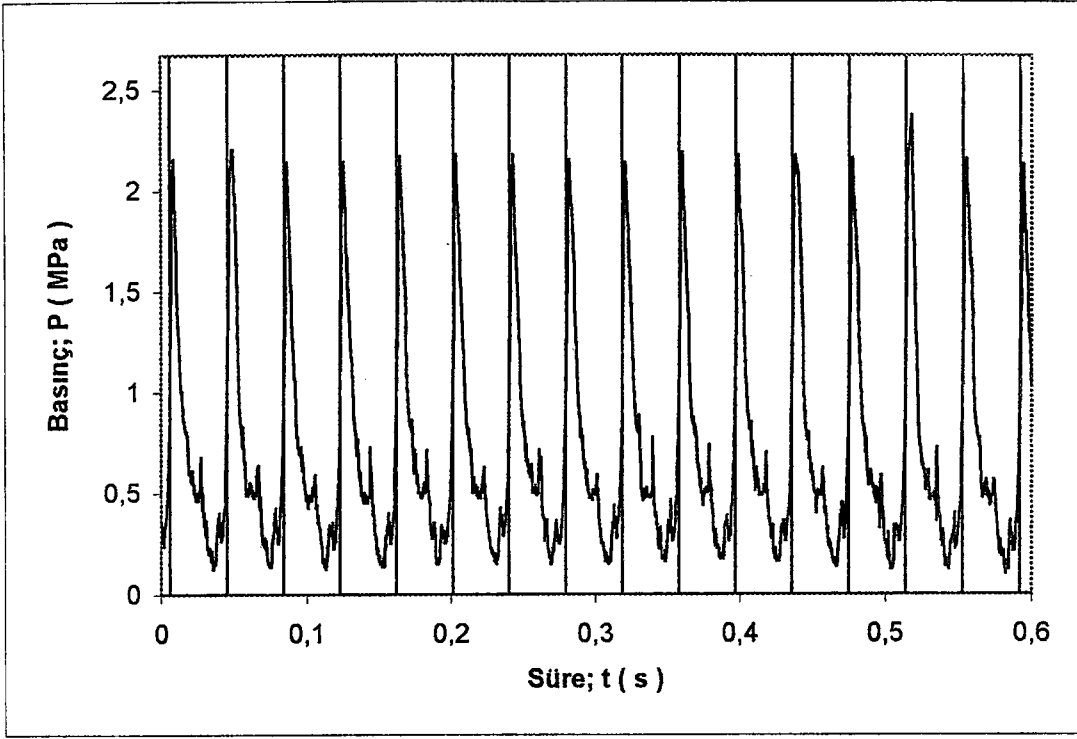
Şekil Ek 2.8 1500 d/d motor devri için 0,6 mm buji ırnak aralığında silindir içi basıncının değışimi



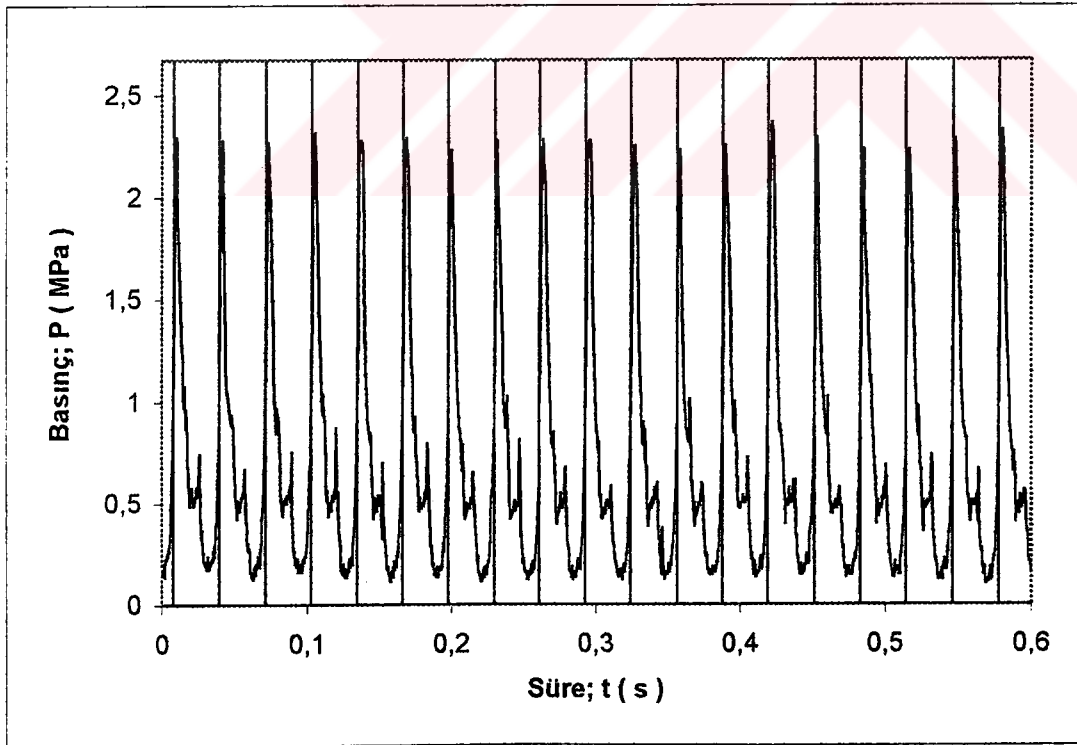
Şekil Ek 2.9 2000 d/d motor devri için 0,6 mm buji ırtak aralığında silindir içi basıncının değışimi



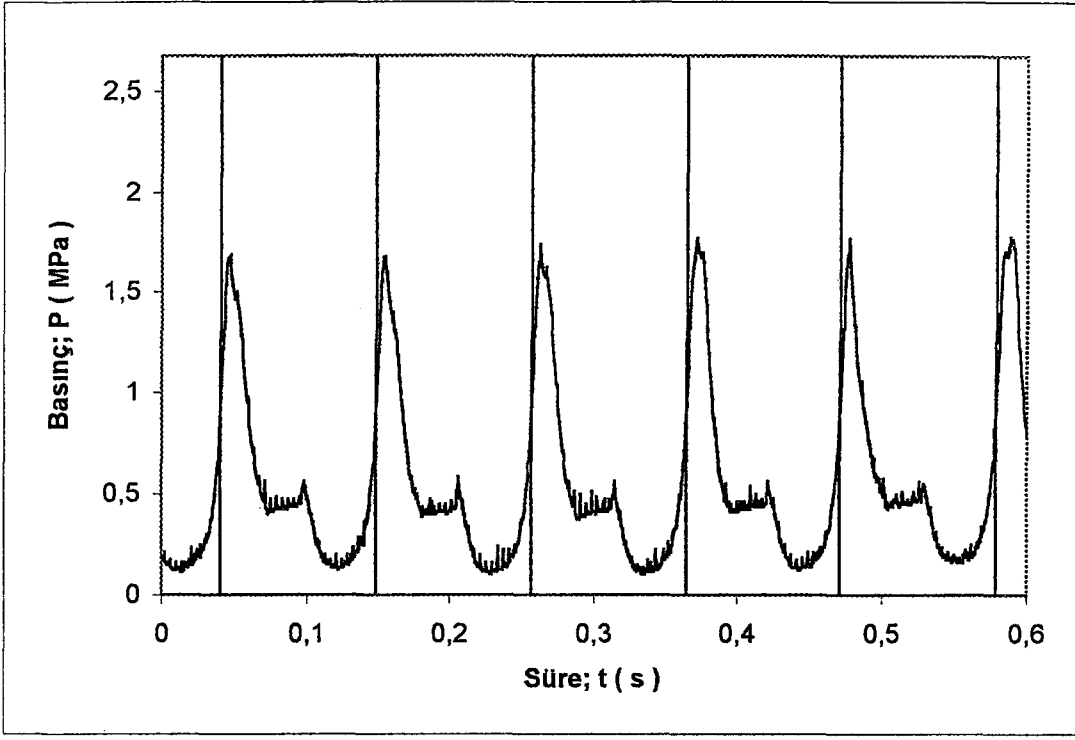
Şekil Ek 2.10 2500 d/d motor devri için 0,6 mm buji ırtak aralığında silindir içi basıncının değışimi



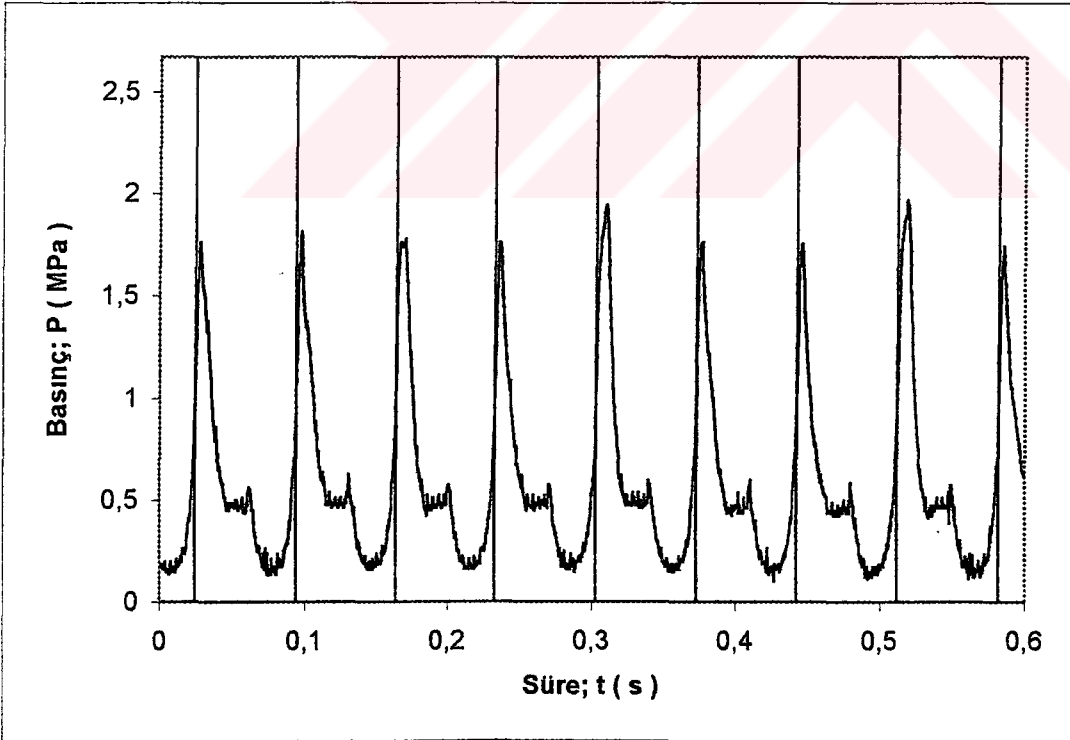
Şekil Ek 2.11 3000 d/d motor devri için 0,6 mm buji ırnak aralığında silindir içi basıncının değışimi



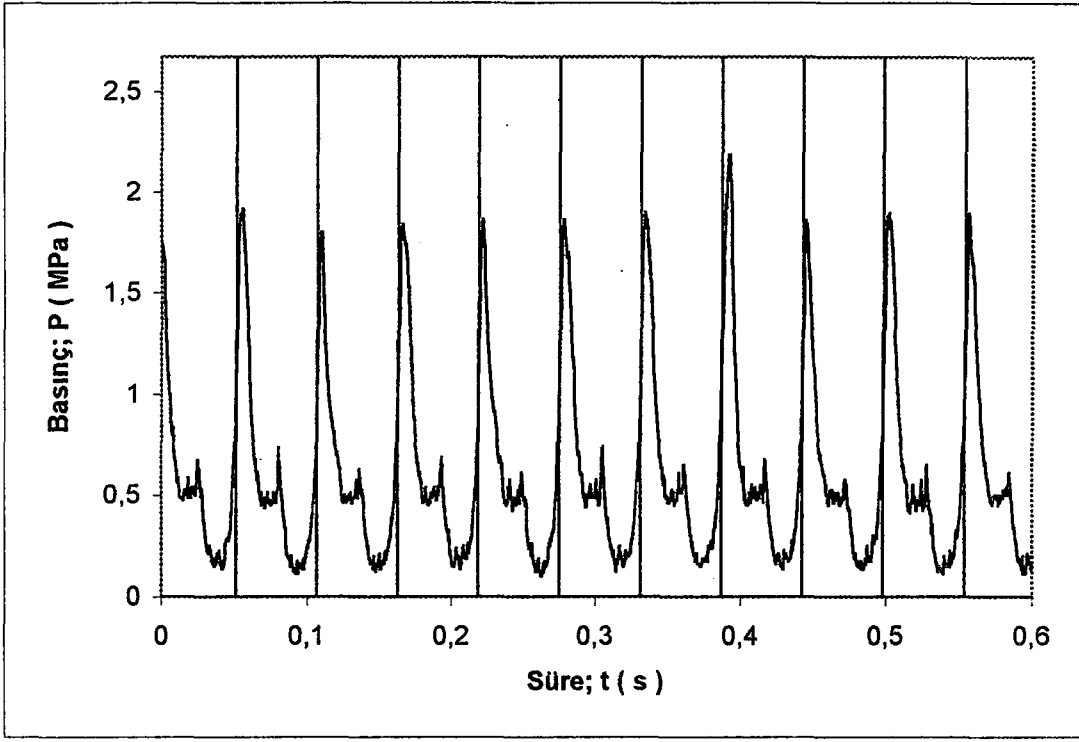
Şekil Ek 2.12 3500 d/d motor devri için 0,6 mm buji ırnak aralığında silindir içi basıncının değışimi



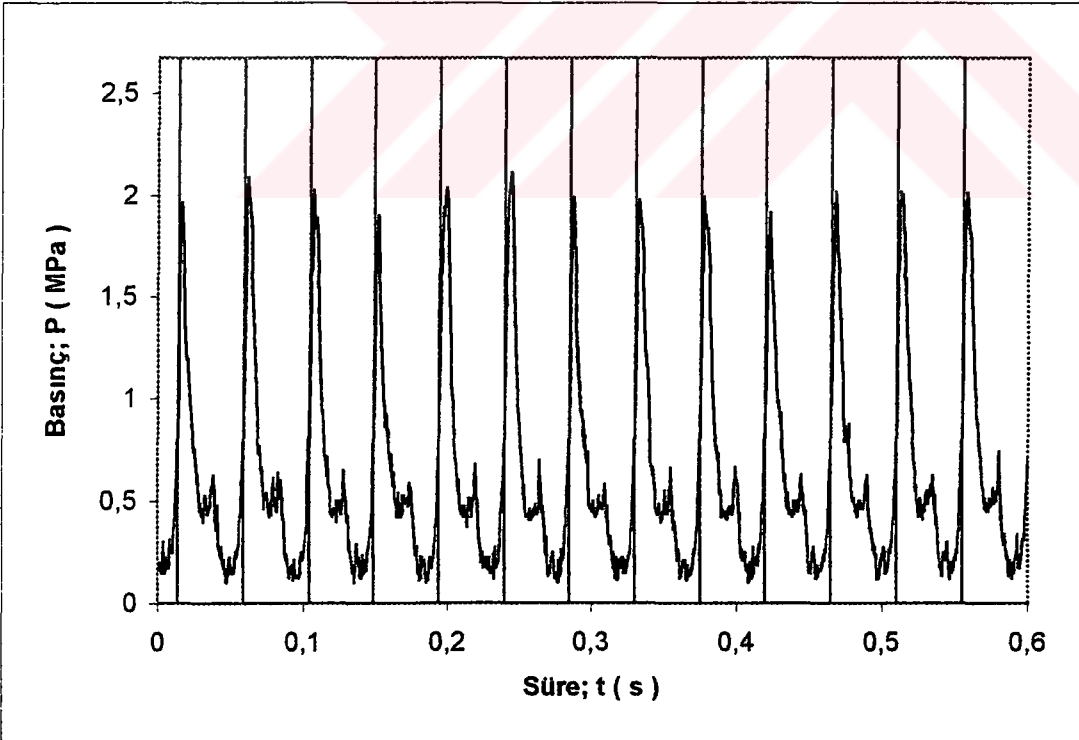
Şekil Ek 2.13 1000 d/d motor devri için 0,7 mm buji turnak aralığında
silindir içi basıncının değişimi



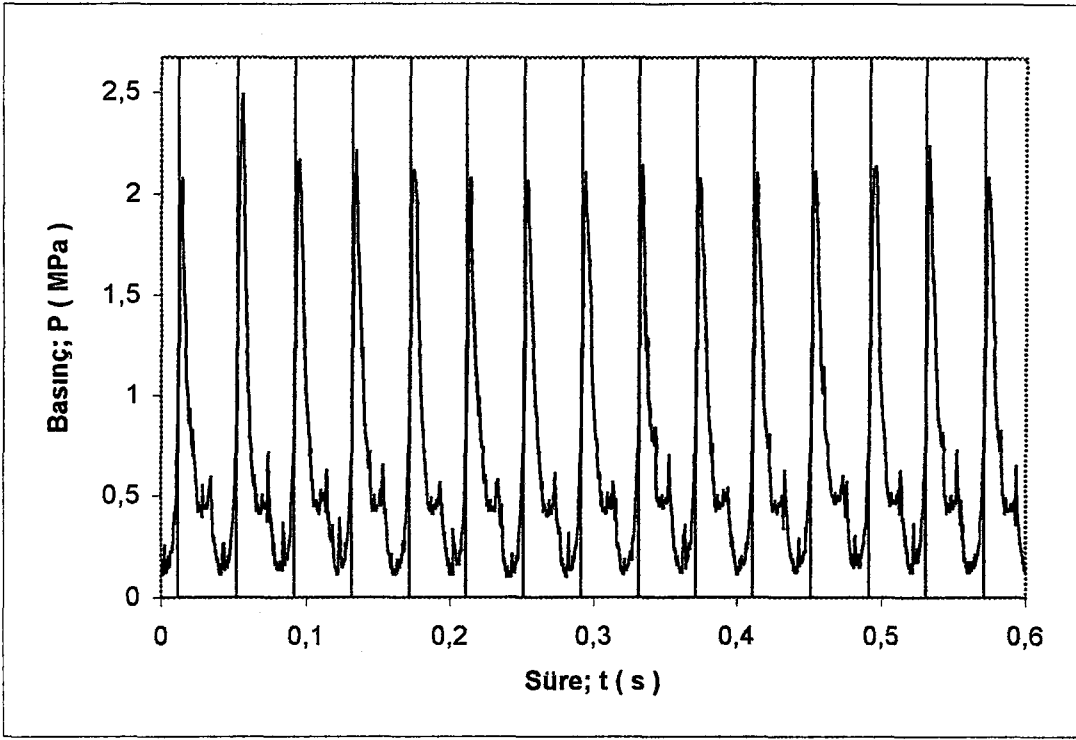
Şekil Ek 2.14 1500 d/d motor devri için 0,7 mm buji turnak aralığında
silindir içi basıncının değişimi



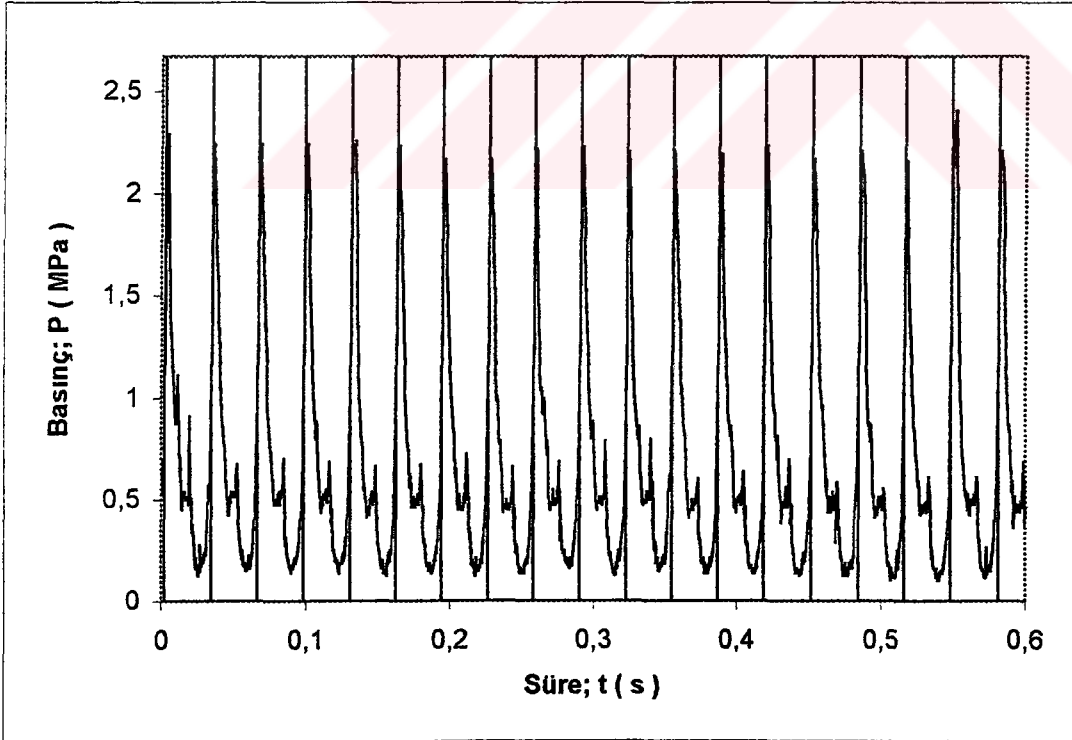
Şekil Ek 2.15 2000 d/d motor devri için 0,7 mm buji turnak aralığında
silindir içi basıncının değişimi



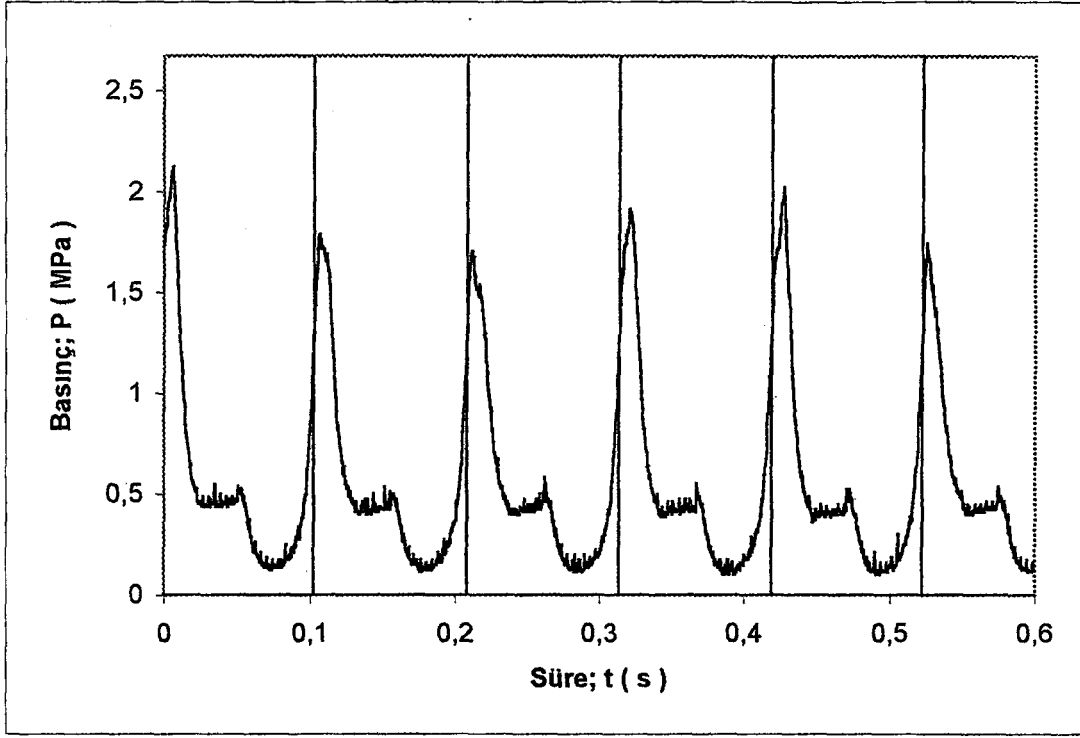
Şekil Ek 2.16 2500 d/d motor devri için 0,7 mm buji turnak aralığında
silindir içi basıncının değişimi



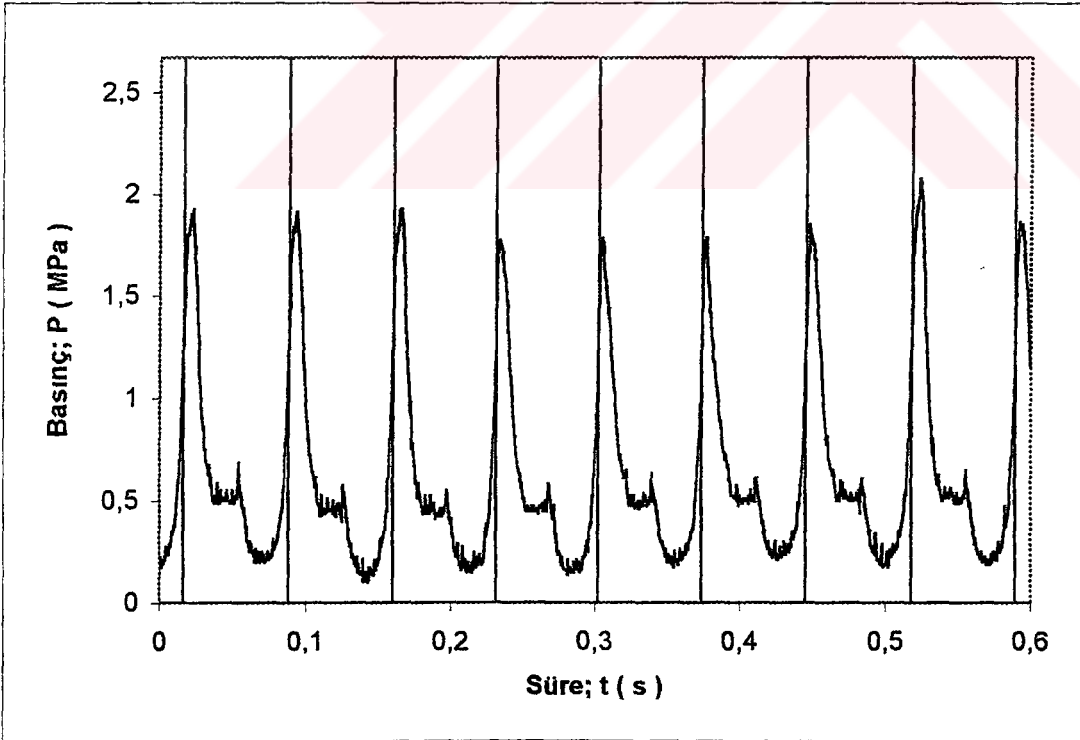
Şekil Ek 2.17 3000 d/d motor devri için 0,7 mm buji turnak aralığında
silindir içi basıncının değişimi



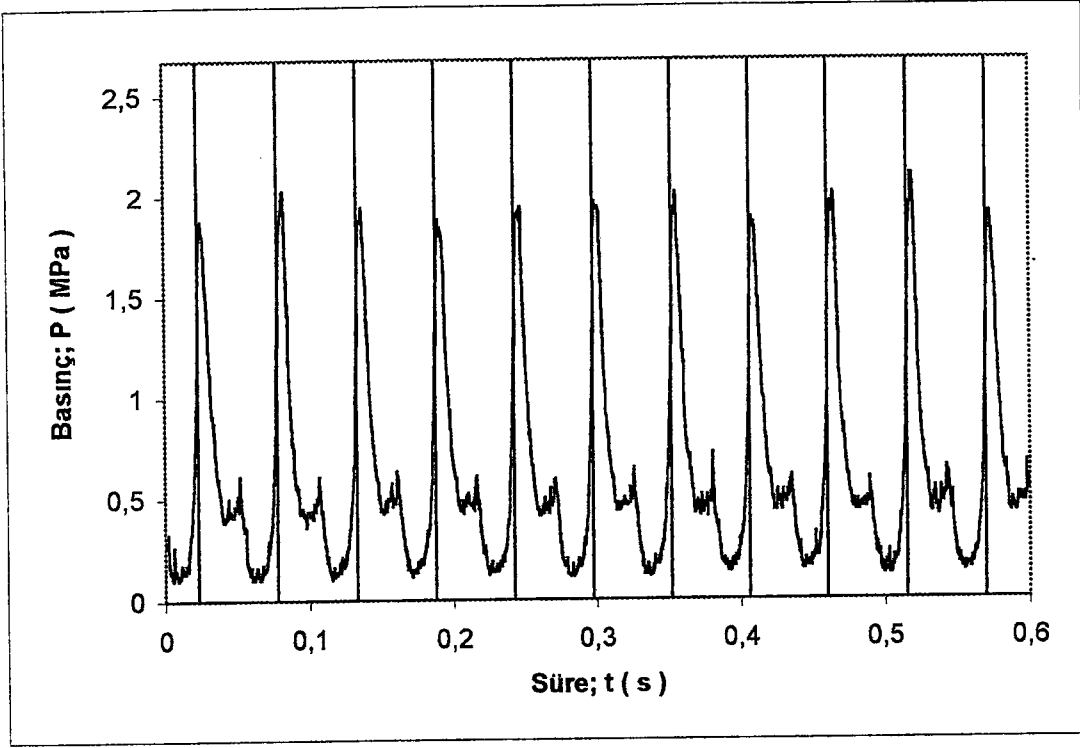
Şekil Ek 2.18 3500 d/d motor devri için 0,7 mm buji turnak aralığında
silindir içi basıncının değişimi



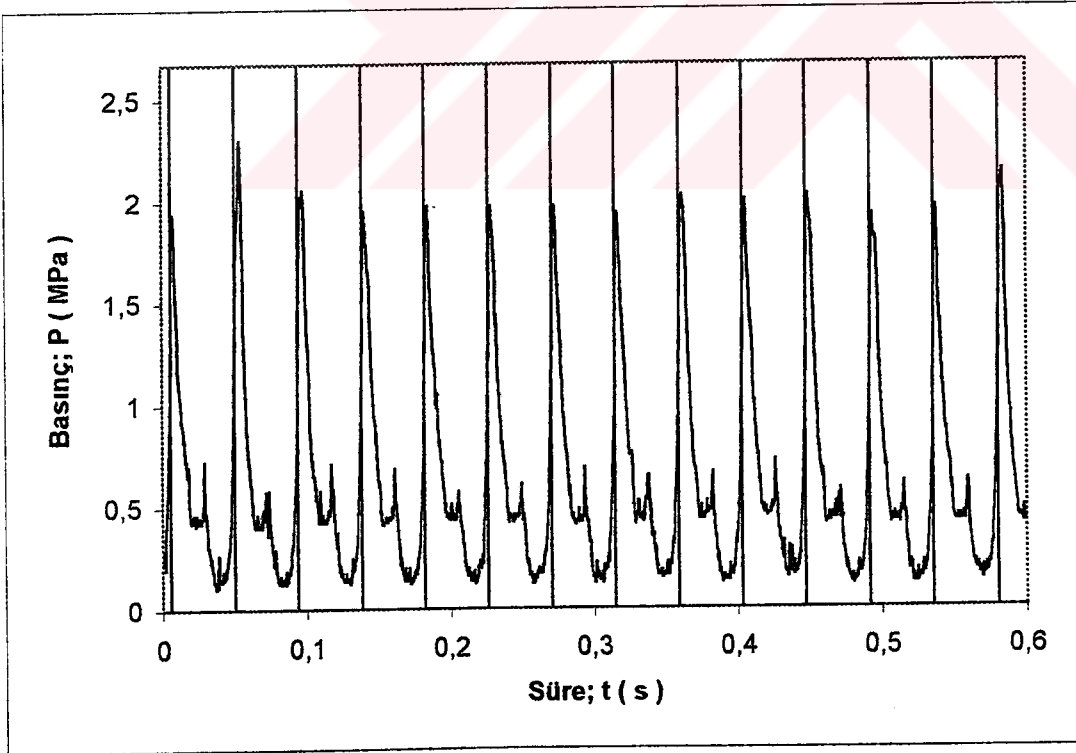
Şekil Ek 2.19 1000 d/d motor devri için 0,8 mm buji ırtak aralığında
silindir içi basıncının değışimi



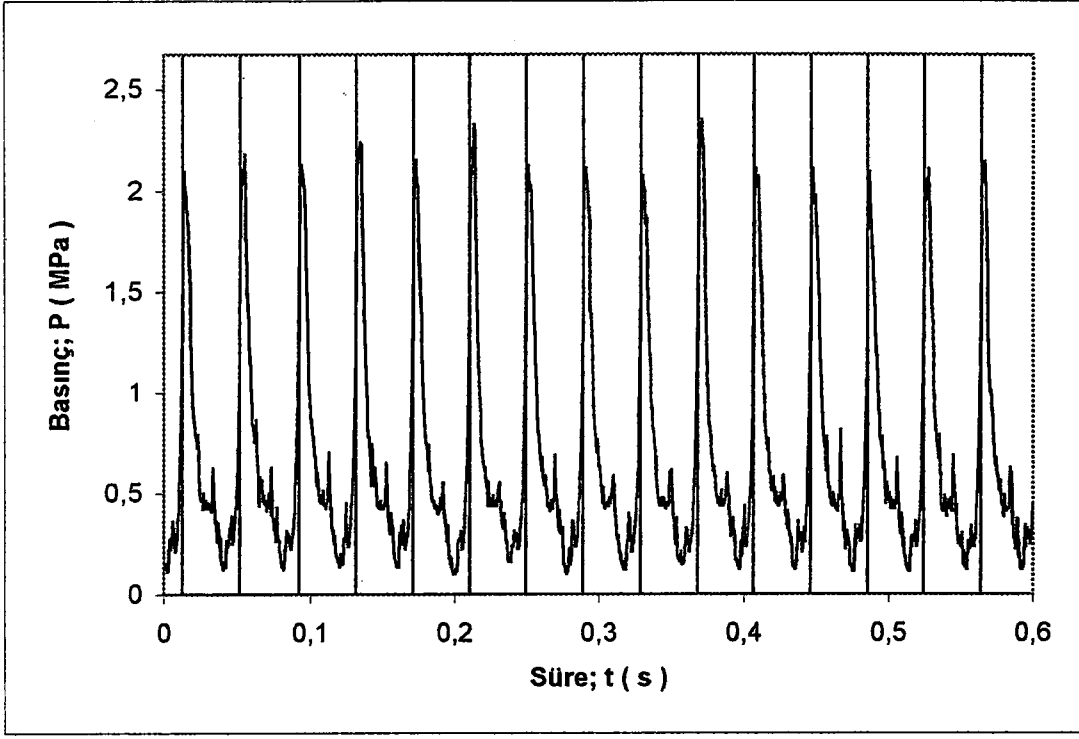
Şekil Ek 2.20 1500 d/d motor devri için 0,8 mm buji ırtak aralığında
silindir içi basıncının değışimi



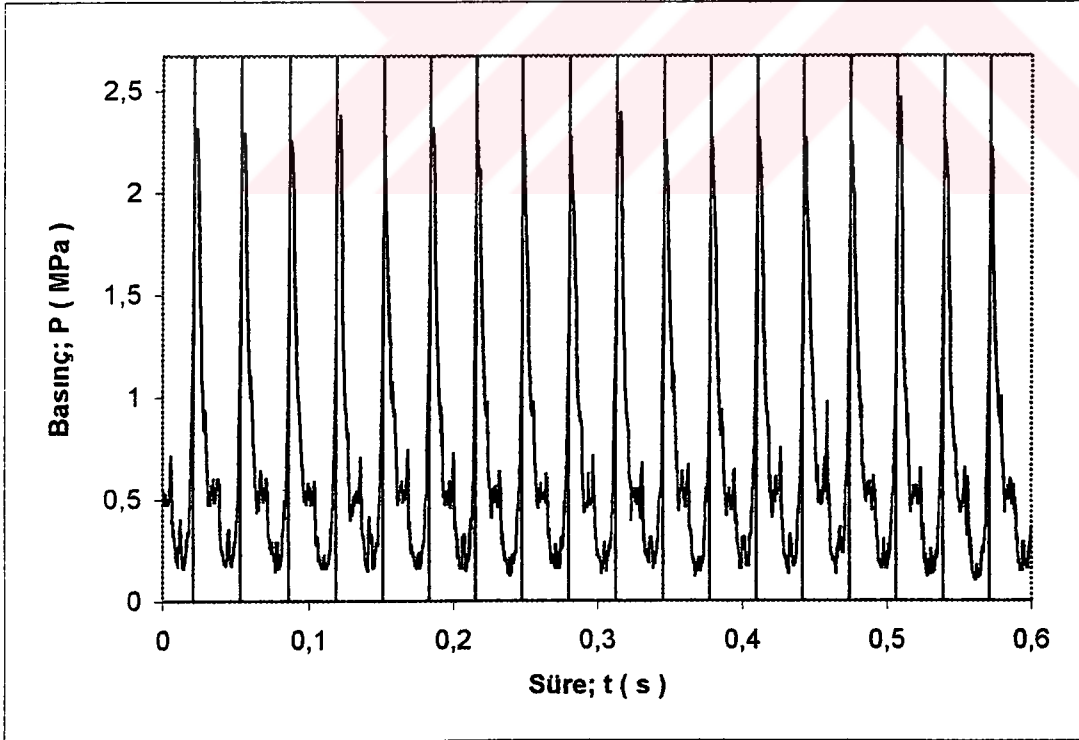
Şekil Ek 2.21 2000 d/d motor devri için 0,8 mm buji turnak aralığında
silindir içi basıncının değişimi



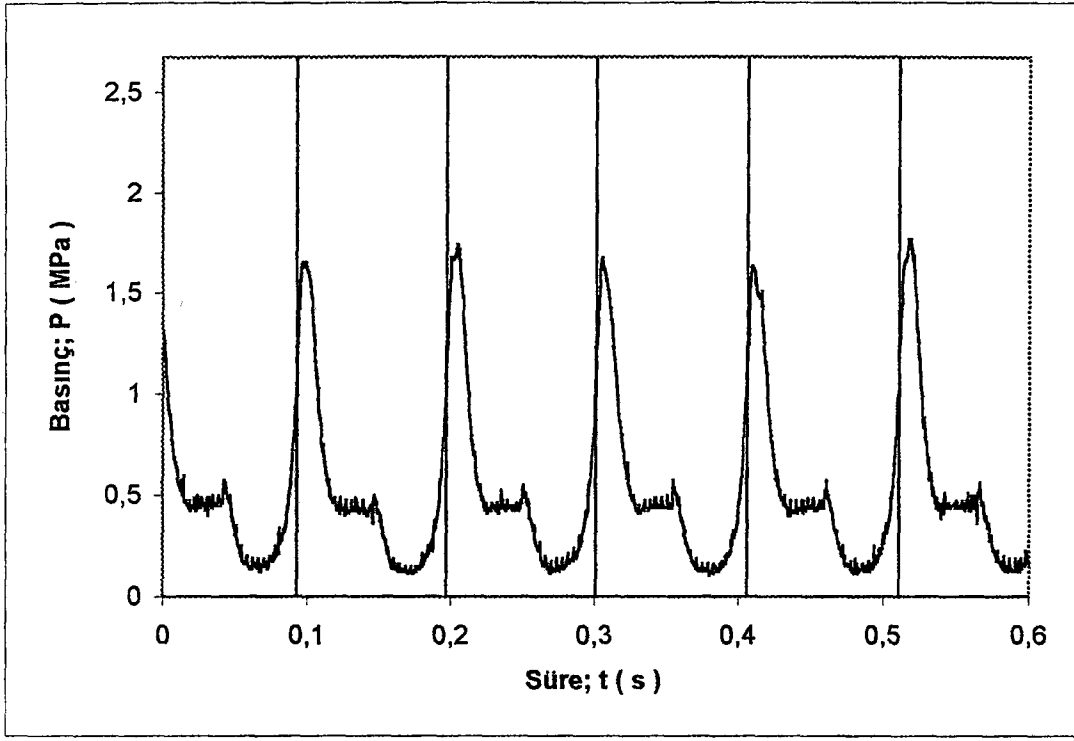
Şekil Ek 2.22 2500 d/d motor devri için 0,8 mm buji turnak aralığında
silindir içi basıncının değişimi



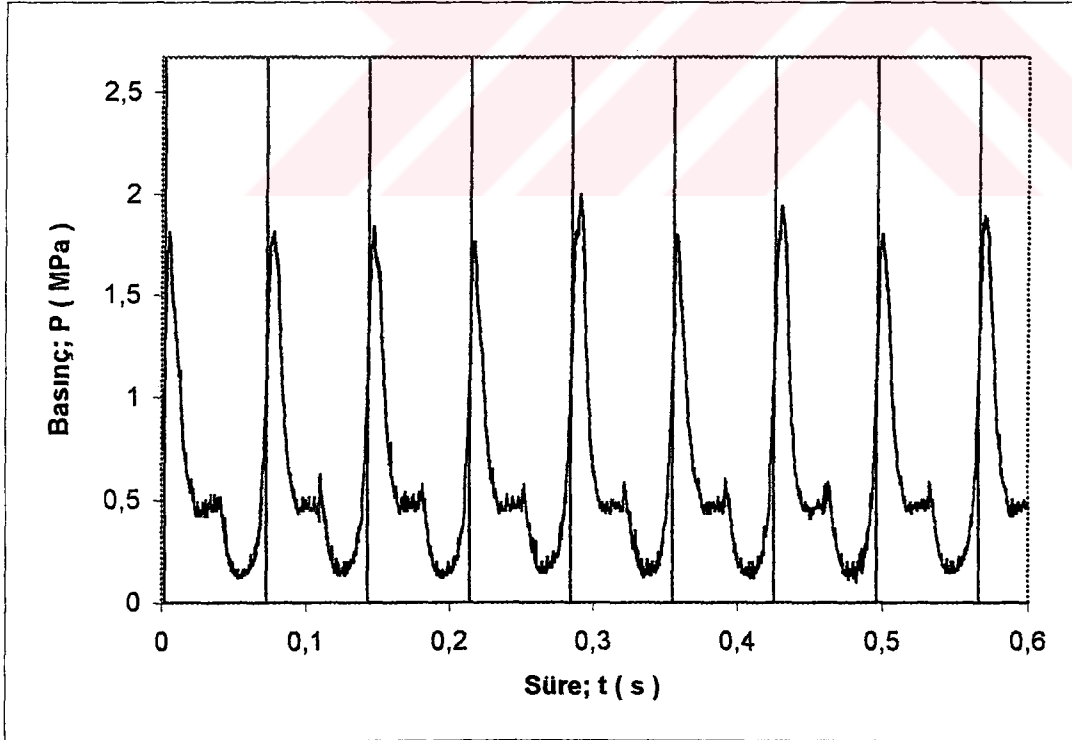
Şekil Ek 2.23 3000 d/d motor devri için 0,8 mm buji ırnak aralığında silindir içi basıncının değışimi



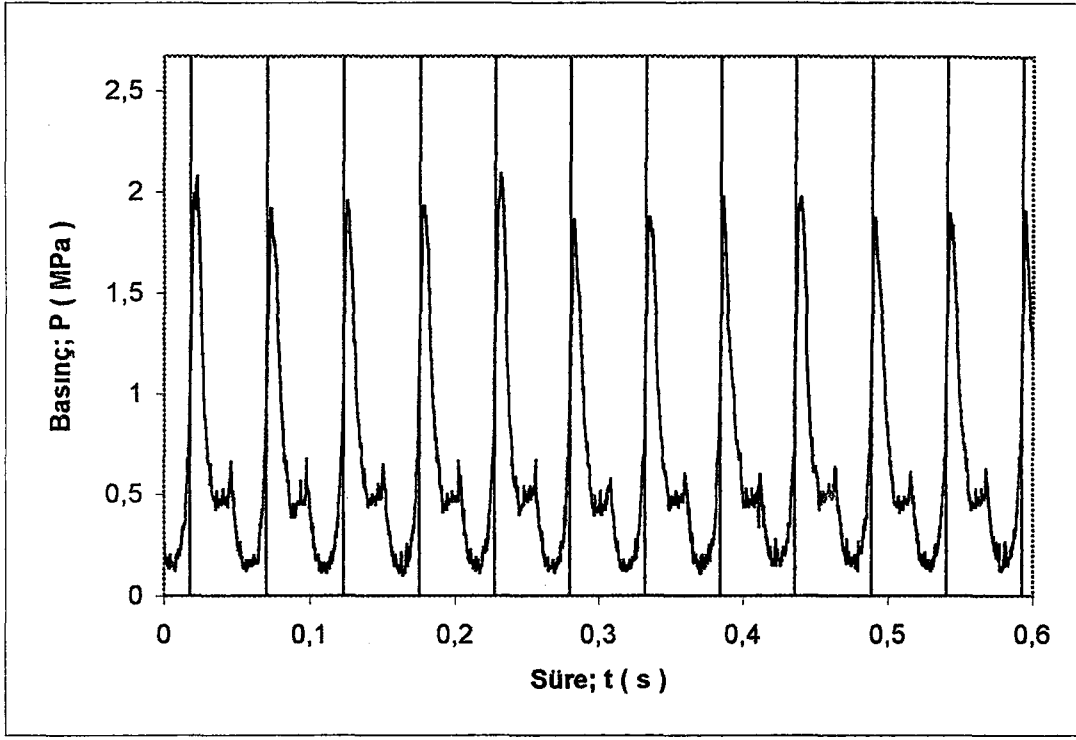
Şekil Ek 2.24 3500 d/d motor devri için 0,8 mm buji ırnak aralığında silindir içi basıncının değışimi



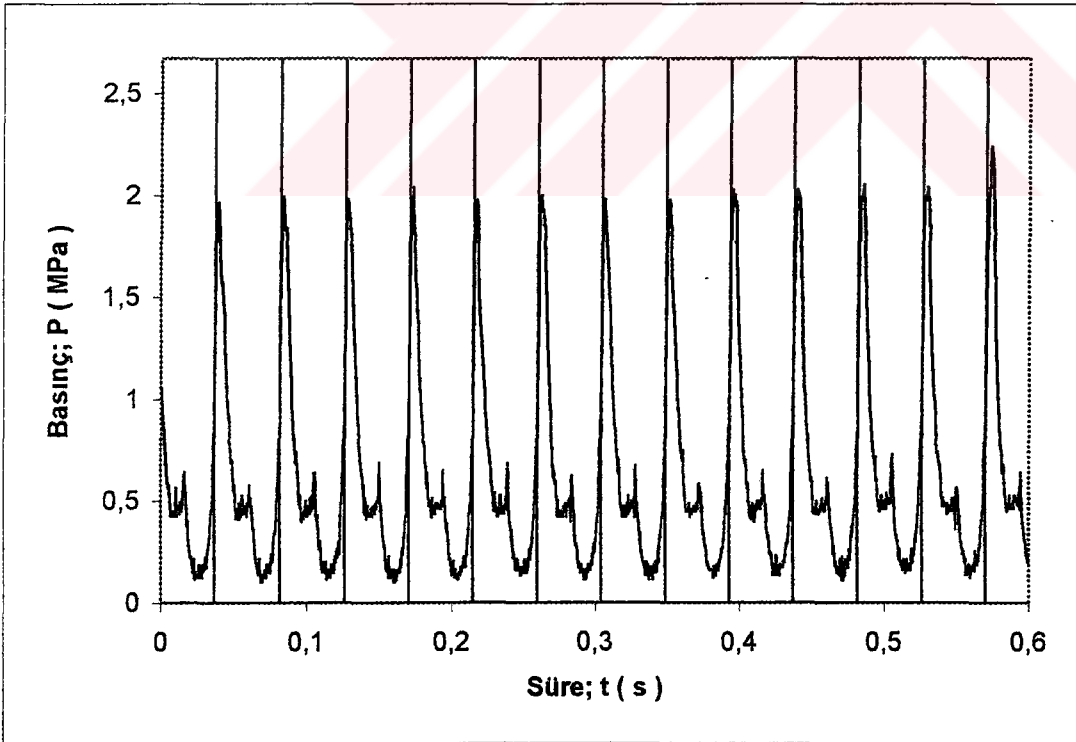
Şekil Ek 2.25 1000 d/d motor devri için 0,9 mm buji ırtak aralığında silindir içi basıncının değışimi



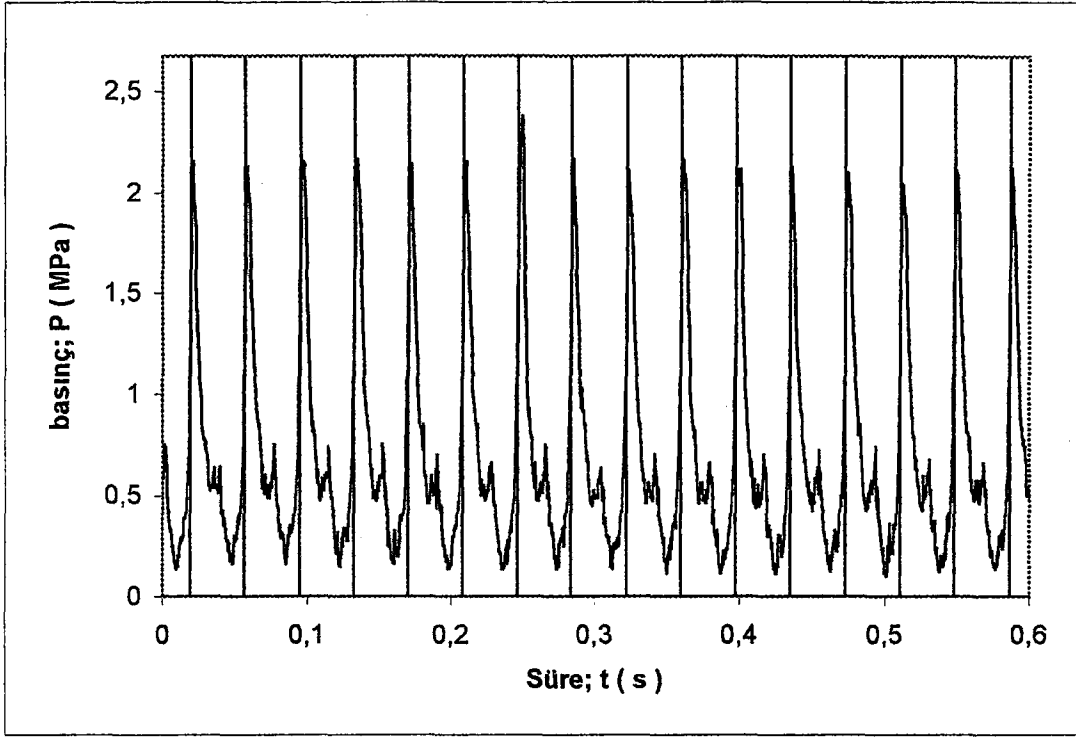
Şekil Ek 2.26 1500 d/d motor devri için 0,9 mm buji ırtak aralığında silindir içi basıncının değışimi



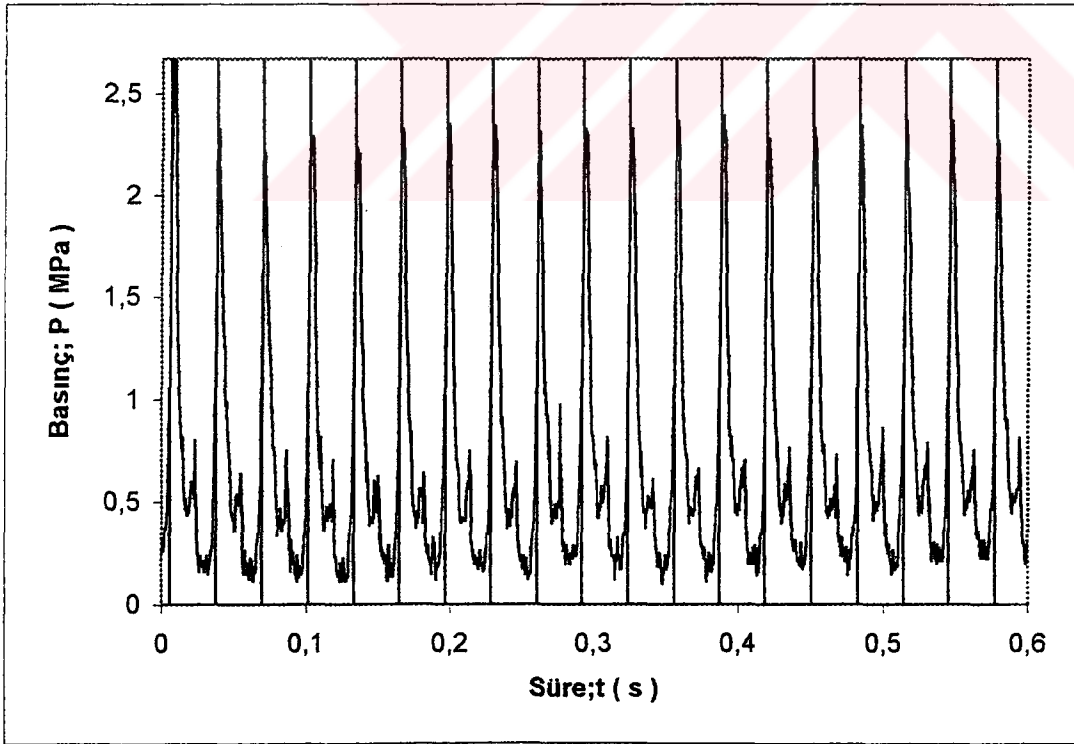
Şekil Ek 2.27 2000 d/d motor devri için 0,9 mm buji tırnak aralığında silindir içi basıncının değışimi



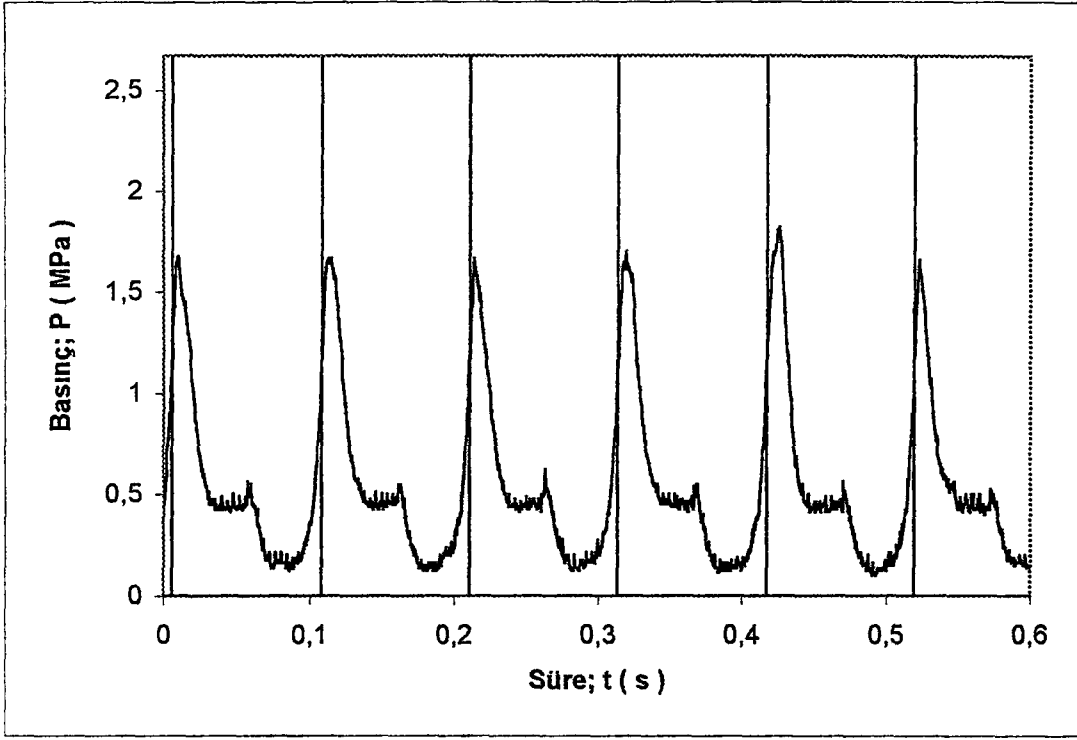
Şekil Ek 2.28 2500 d/d motor devri için 0,9 mm buji tırnak aralığında silindir içi basıncının değışimi



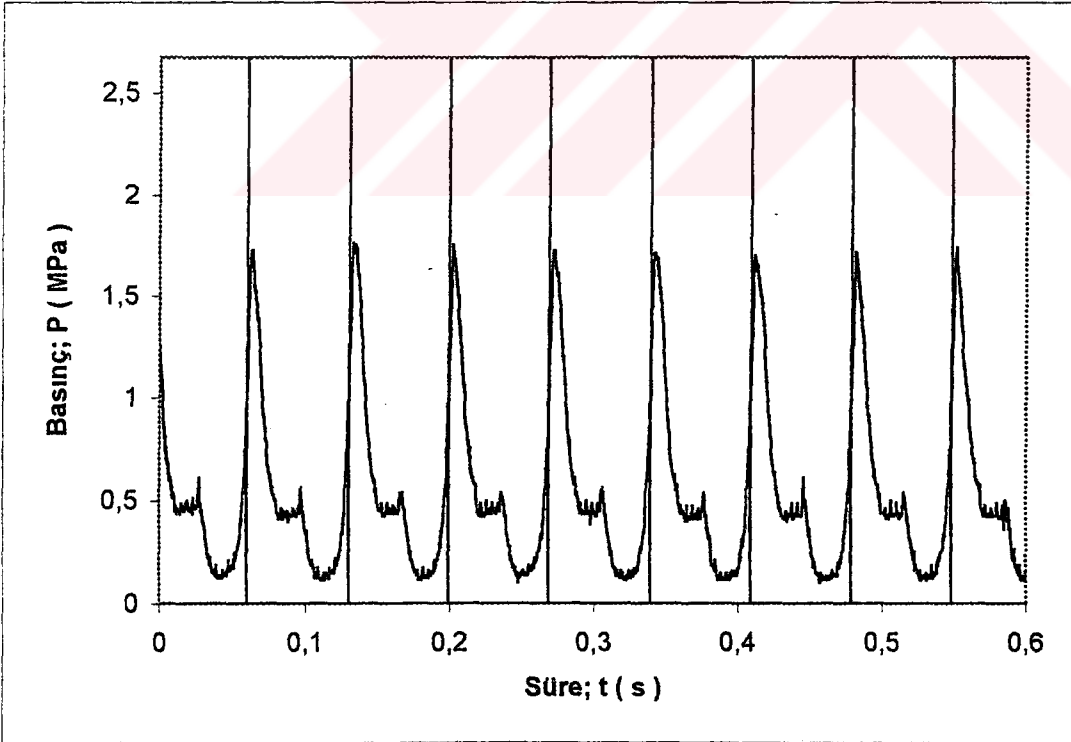
Şekil Ek 2.29 3000 d/d motor devri için 0,9 mm buji turnak aralığında
silindir içi basıncının değişimi



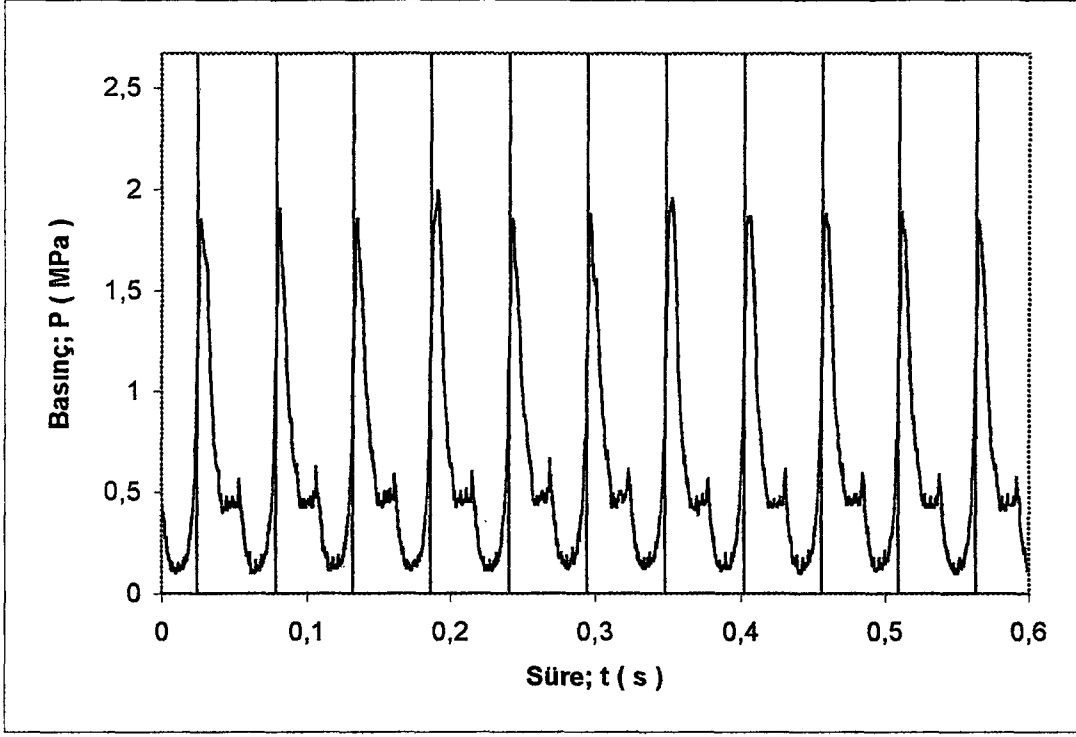
Şekil Ek 2.30 3500 d/d motor devri için 0,9 mm buji turnak aralığında
silindir içi basıncının değişimi



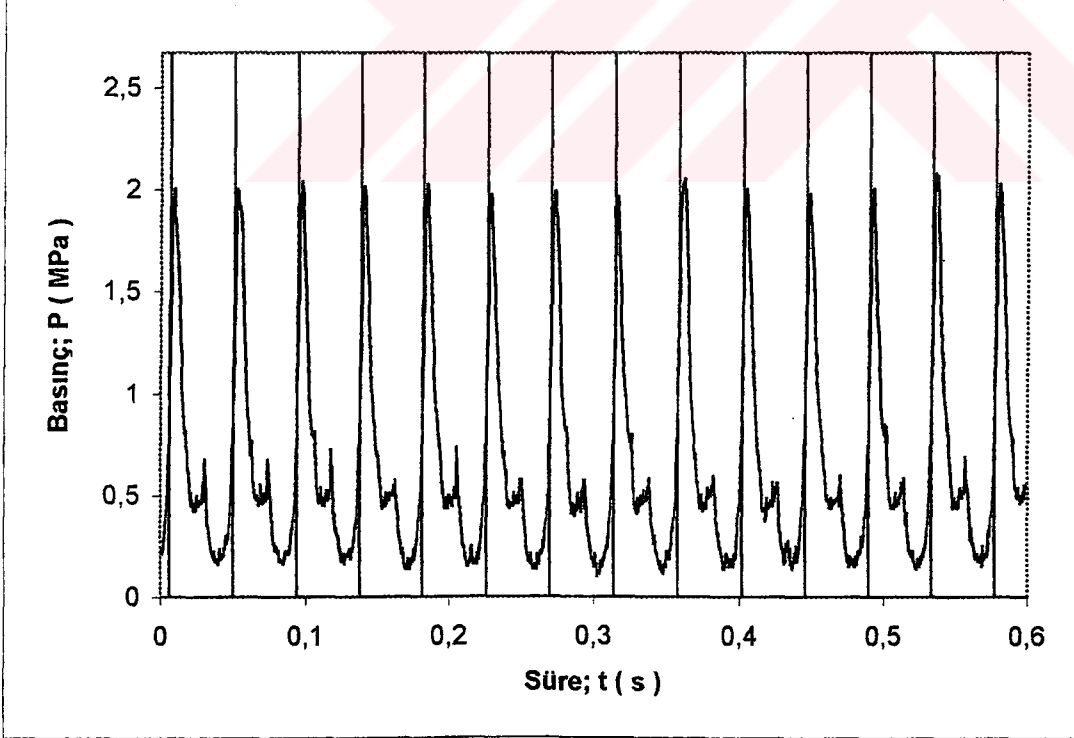
Şekil Ek 2.31 1000 d/d motor devri için 1,0 mm buji ırnak aralığında silindir içi basıncının değışimi



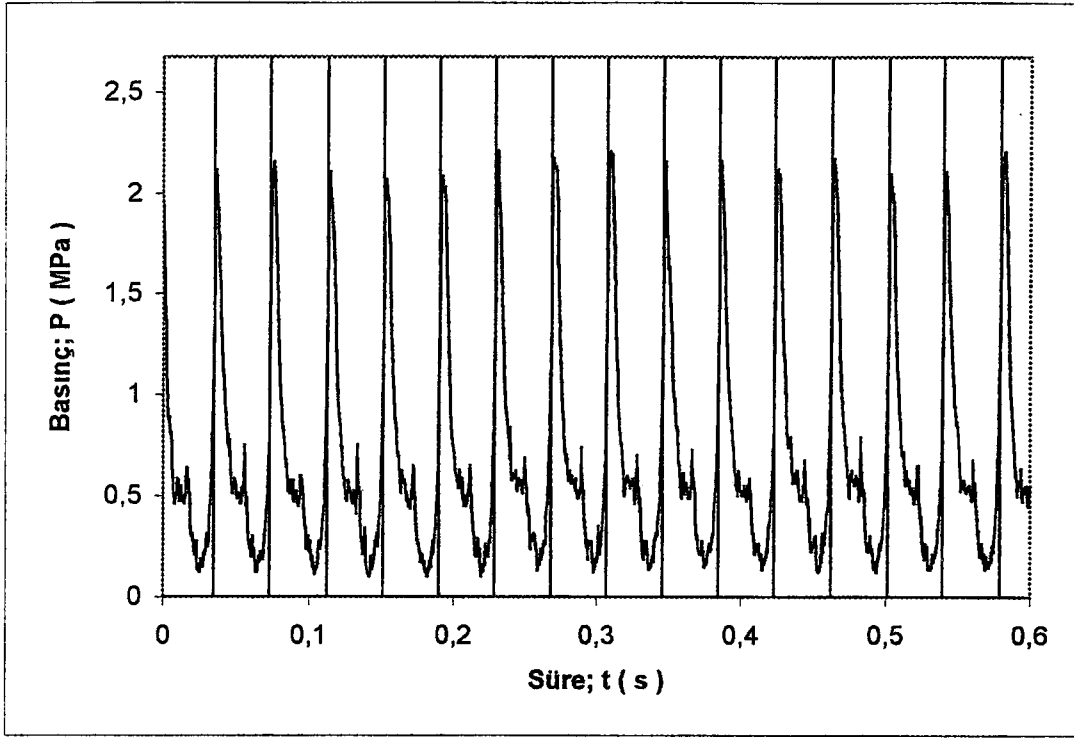
Şekil Ek 2.32 1500 d/d motor devri için 1,0 mm buji ırnak aralığında silindir içi basıncının değışimi



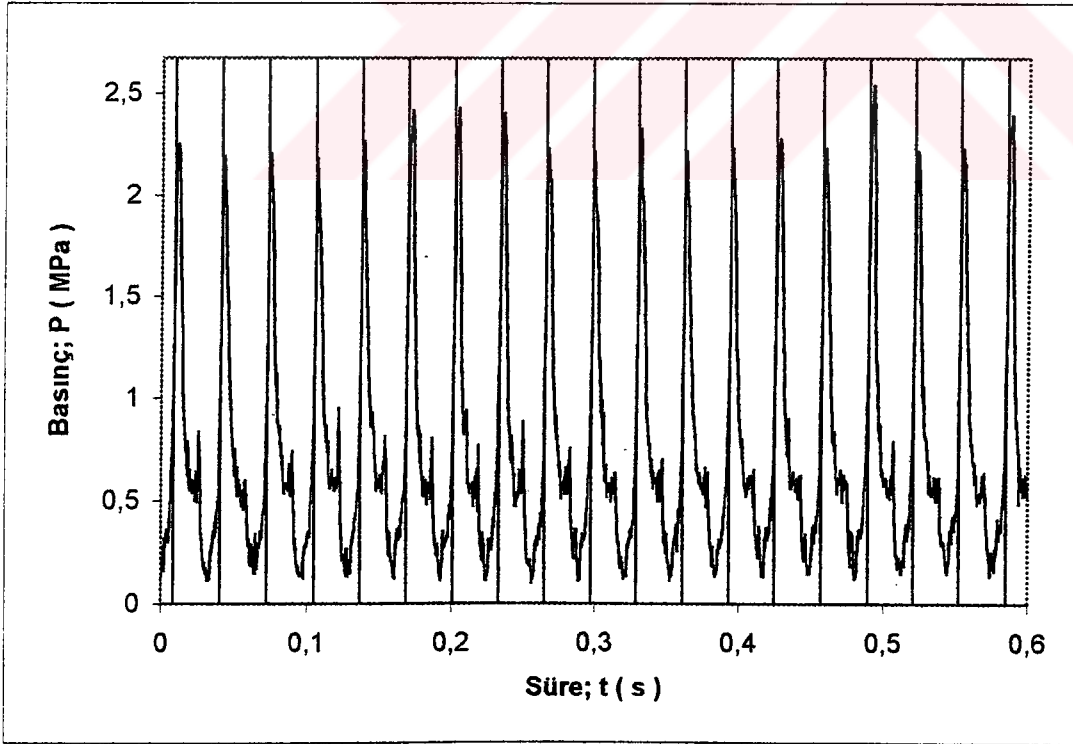
Şekil Ek 2.33 2000 d/d motor devri için 1,0 mm buji ırnak aralıında silindir içi basıncının değışimi



Şekil Ek 2.34 2500 d/d motor devri için 1,0 mm buji ırnak aralıında silindir içi basıncının değışimi



Şekil Ek 2.35 3000 d/d motor devri için 1,0 mm buji ırnak aralığında silindir içi basıncının değışimi



Şekil Ek 2.36 3500 d/d motor devri için 1,0 mm buji ırnak aralığında silindir içi basıncının değışimi

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	23.08.1968	
Doğum Yeri	İstanbul	
Lise	1982-1985	Haydarpaşa Endüstri Meslek Lisesi Elektronik Bölümü
Lisans	1986-1990	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1990-1993	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Programı
Doktora	1993-Devam ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Programı

Çalıştığı Kurum

1993-Devam ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı
-------------------	---

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN MERKEZİ