

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1 GİRİŞ	1
1.1 Amaç	1
1.2 Genel Bilgiler	2
1.2.1 Dizel Motorlarda Yanma ve Egzoz Sistemi Emisyonlarının Oluşumu	2
1.2.2 Egzoz Emisyonları	4
1.2.3 Egzoz Emisyon Standartları	12
1.3 Dizel Motorlarında Egzoz Sistemi Salımları Kontrol Yöntemleri	17
1.4 NO _x Emisyonlarının Azaltılmasında Dikkate Alınan Temel Parametreler	24
1.4.1 Yakıt Enjeksiyon Sistemi Özellikleri	24
1.4.2 Yakıt Kalitesi	25
1.4.3 Oksijen Konsantrasyonu	25
1.5 Motor Çalışma Karakteristiklerinin NO _x Üzerine Etkisi	26
1.5.1 Püskürtme Zamanının Etkisi	26
1.5.2 Püskürtme Basıncının Etkisi	26
1.5.3 Eşdeğerlik Oranının Etkisi	27
1.5.4 Dolgu Sıcaklığının ve Basıncının Etkisi	28
1.5.5 Türbülans Etkisi	28
1.5.6 Sıkıştırma Oranının Etkisi	29
1.6 Literatürdeki Çalışmalar	29
2 KULLANILAN MATERYAL VE YÖNTEM	31
2.1 Materyal	31
2.2 Test Düzeneği	33
2.3 Testlerde Kullanılan Yakıt	42
2.4 Kullanılan Yöntem	43

3	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	45
3.1	Püskürtme Oranı Testi(Test 1).....	46
3.2	Püskürtme Avansı Testi(Test 2)	46
3.3	Püskürtme Basıncı Testi(Test 3).....	47
4	DEĞERLENDİRME	48
4.1	Püskürtme Oranı Testi(Test 1).....	48
4.2	Püskürtme Avansı Testi(Test 2)	67
4.3	Püskürtme Basıncı Testi(Test 3).....	83
5	SONUÇ	103
	KAYNAKLAR.....	108
	ÖZGEÇMİŞ.....	109

SİMGE LİSTESİ

λ Hava fazlalık katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

AIR	İkincil Hava Püskürtme Prosesi
AÖN	Alt Ölü Nokta
CAA	Kanada Otomobil Topluluğu (Canadian Automobile Association)
CFC	Kloroflorokarbon
CKP	Krank Pozisyon Sensörü
CNG	Sıkıştırılmış Doğalgaz (Compressed Natural Gas)
DGT	Değişken Geometrilili Turboşarj
DLC	Veri Soketi (Data Link Connector)
DPF	Dizel Partikül Filtresi
ECE	Avrupa Ekonomik Komisyonu
EDC-PCM	Güç Aktarım Sistemi Kumanda Modülü
EDS	Ecotorq Diagnostik Sistemi
EGR	Egzoz Gazı Resirkülasyon Sistemi
EKÜ	Elektronik Kontrol Ünitesi
EOBD	Avrupa Araç Üzeri Teşhis Sistemi
K	Kelvin Derece
LAN	Yerel Ağ Bağlantısı (Local Area Network)
LPG	Sıvı Petrol Gazı (Liquid Petroleum Gas)
MAF	Kütlesel Hava Akışı
MAK	Maksimum Atmosfer Konsantrasyonu
MIL	Emisyon Kontrol Hatası İkaz Lambası
PM	Madde Parçacıkları
ULEV	Ultra Düşük Emisyonlu Araç (Ultra Low Emission Vehicle)
UV	Ultraviyole
ÜÖN	Üst Ölü Nokta

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Püskürtülen yakıt demetinde ilk tutuşmanın yeri	2
Şekil 1.2 Dizel madde parçacıklarının (PM) yapısı.....	6
Şekil 1.3 Parikül yapısı.....	7
Şekil 1.4 Egzoz emisyonlarının çevreye etkisi.....	10
Şekil 1.5 Egzoz emisyon standartları	16
Şekil 1.6 Yardımcı ekipmanlı dizel motor dizaynı.....	17
Şekil 1.7 Egzoz sistemi şematik şekli.....	18
Şekil 1.8 Emisyon kontrol hatası ikaz lambası.....	22
Şekil 1.9 EOBD egzoz salım sınırları.....	24
Şekil 1.10 Setan sayısının NO_x 'e etkisi.....	25
Şekil 1.11 Eşdeğerlik oranına bağlı olarak NO_x ve NO konsantrasyonları.....	27
Şekil 1.12 Kademeli (kısıyıcı) pimli meme ve püskürtücü şekli.....	30
Şekil 2.1 Testlerde kullanılan motor	31
Şekil 2.2 Test motorunun orjinal güç-tork eğrisi.....	32
Şekil 2.3 Testlerde kullanılan dinamometre	33
Şekil 2.4 Gaz analiz cihazı	34
Şekil 2.5 Gaz analiz cihazının yapısı.....	35
Şekil 2.6 Egzoz numunesi alma düzeni	37
Şekil 2.7 Silindir içi basınç ölçme cihazı	38
Şekil 2.8 Basınç ölçme sensörü montaj kesit resmi	38
Şekil 2.9 Testlerde kullanılan encoder ve elemanları.....	39
Şekil 2.10 Silindir içi basınç ölçme düzeni veri toplayıcısı	40
Şekil 2.11 İs ölçüm cihazı	40
Şekil 2.12 Test düzeneği.....	41
Şekil 2.13 Test düzeneğine bağlanmış deney motoru	41
Şekil 2.14 Enjektör yapısı.....	44
Şekil 3.1 Ön ve ana püskürtme şematik şekli.....	45
Şekil 4.1 1428x1000x(-6) çalışma noktalarında güç grafiği	49
Şekil 4.2 1428x1000x(-6) çalışma noktalarında tork grafiği.....	49
Şekil 4.3 1779x1000x(-6) çalışma noktalarında güç grafiği	50
Şekil 4.4 1779x1000x(-6) çalışma noktalarında tork grafiği.....	50
Şekil 4.5 2130x1000x(-6) çalışma noktalarında güç grafiği	51

Şekil 4.6 2130x1000x(-6) çalışma noktalarında tork grafiği.....	51
Şekil 4.7 1000x(-6)x 5% çalışma noktalarında güç grafiği	52
Şekil 4.8 1000x(-6)x 5% çalışma noktalarında tork grafiği	52
Şekil 4.9 1000x(-6)x 10% çalışma noktalarında güç grafiği	53
Şekil 4.10 1000x(-6)x 10% çalışma noktalarında tork grafiği	53
Şekil 4.11 1000x(-6)x 20% çalışma noktalarında güç grafiği	54
Şekil 4.12 1000x(-6)x 20% çalışma noktalarında tork grafiği	54
Şekil 4.13 1428x1000x(-6) çalışma noktasında silindir içi basıncı değişimi.....	55
Şekil 4.14 1779x1000x(-6) çalışma noktasında silindir içi basıncı değişimi.....	56
Şekil 4.15 2130x1000x(-6) çalışma noktasında silindir içi basıncı değişimi.....	56
Şekil 4.16 1428x1000x(-6) çalışma noktasında NO _x oluşumu.....	57
Şekil 4.17 1428x1000x(-6) çalışma noktasında is oluşumu	57
Şekil 4.18 1779x1000x(-6) çalışma noktasında NO _x oluşumu.....	58
Şekil 4.19 1779x1000x(-6) çalışma noktasında is oluşumu	58
Şekil 4.20 2130x1000x(-6) çalışma noktasında NO _x oluşumu.....	59
Şekil 4.21 2130x1000x(-6) çalışma noktasında is oluşumu	59
Şekil 4.22 1000x(-6)x5% çalışma noktasında NO _x oluşumu	60
Şekil 4.23 1000x(-6)x5% çalışma noktasında is oluşumu.....	60
Şekil 4.24 1000x(-6)x10% çalışma noktasında NO _x oluşumu	61
Şekil 4.25 1000x(-6)x10% çalışma noktasında is oluşumu.....	61
Şekil 4.26 1000x(-6)x20% çalışma noktasında NO _x oluşumu	62
Şekil 4.27 1000x(-6)x20% çalışma noktasında is oluşumu.....	62
Şekil 4.28 1428x1000x(-6) çalışma noktasında HC oluşumu	63
Şekil 4.29 1428x1000x(-6) çalışma noktasında CO oluşumu	63
Şekil 4.30 1779x1000x(-6) çalışma noktasında HC oluşumu	64
Şekil 4.31 1779x1000x(-6) çalışma noktasında CO oluşumu	64
Şekil 4.32 2130x1000x(-6) çalışma noktasında HC oluşumu	65
Şekil 4.33 2130x1000x(-6) çalışma noktasında CO oluşumu	65
Şekil 4.34 1428x1000x(-6) çalışma noktasında özgül yakıt tüketimi	66
Şekil 4.35 1779x1000x(-6) çalışma noktasında özgül yakıt tüketimi	66

Şekil 4.36 2130x1000x(-6) çalışma noktasında özgül yakıt tüketimi	67
Şekil 4.37 1428x20,80x1000 çalışma noktalarında güç grafiği	68
Şekil 4.38 1428x20,80x1000 çalışma noktalarında tork grafiği.....	68
Şekil 4.39 1779x20,80x1000 çalışma noktalarında güç grafiği	69
Şekil 4.40 1779x20,80x1000 çalışma noktalarında tork grafiği.....	69
Şekil 4.41 2130x20,80x1000 çalışma noktalarında güç grafiği	70
Şekil 4.42 2130x20,80x1000 çalışma noktalarında tork grafiği.....	70
Şekil 4.43 1428x20,80x1000 çalışma noktasında silindir içi basıncı değişimi	71
Şekil 4.44 1779x20,80x1000 çalışma noktasında silindir içi basıncı değişimi	71
Şekil 4.45 2130x20,80x1000 çalışma noktasında silindir içi basıncı değişimi	72
Şekil 4.46 1428x20,80x1000 çalışma noktasında NO _x oluşumu	73
Şekil 4.47 1428x20,80x1000 çalışma noktasında is oluşumu	73
Şekil 4.48 1779x20,80x1000 çalışma noktasında NO _x oluşumu	74
Şekil 4.49 1779x20,80x1000 çalışma noktasında is oluşumu	74
Şekil 4.50 2130x20,80x1000 çalışma noktasında NO _x oluşumu	75
Şekil 4.51 2130x20,80x1000 çalışma noktasında is oluşumu	75
Şekil 4.52 20,80x1000x(-6) çalışma noktasında NO _x oluşumu.....	76
Şekil 4.53 20,80x1000x(-6) çalışma noktasında is oluşumu	76
Şekil 4.54 20,80x1000x(-4) çalışma noktasında NO _x oluşumu.....	77
Şekil 4.55 20,80x1000x(-4) çalışma noktasında is oluşumu	77
Şekil 4.56 20,80x1000x(-2) çalışma noktasında NO _x oluşumu.....	78
Şekil 4.57 20,80x1000x(-2) çalışma noktasında is oluşumu	78
Şekil 4.58 1428x20,80x1000 çalışma noktasında HC oluşumu	79
Şekil 4.59 1428x20,80x1000 çalışma noktasında CO oluşumu	79
Şekil 4.60 1779x20,80x1000 çalışma noktasında HC oluşumu	80
Şekil 4.61 1779x20,80x1000 çalışma noktasında CO oluşumu	80
Şekil 4.62 2130x20,80x1000 çalışma noktasında HC oluşumu	81
Şekil 4.63 2130x20,80x1000 çalışma noktasında CO oluşumu	81
Şekil 4.64 1428x20,80x1000 çalışma noktasında özgül yakıt tüketimi	82
Şekil 4.65 1779x20,80x1000 çalışma noktasında özgül yakıt tüketimi	82
Şekil 4.66 2130x20,80x1000 çalışma noktasında özgül yakıt tüketimi	83

Şekil 4.67 1428x20,80x(-6) çalışma noktalarında güç grafiği	84
Şekil 4.68 1428x20,80x(-6) çalışma noktalarında tork grafiği.....	84
Şekil 4.69 1779x20,80x(-6) çalışma noktalarında güç grafiği	85
Şekil 4.70 1779x20,80x(-6) çalışma noktalarında tork grafiği.....	85
Şekil 4.71 2130x20,80x(-6) çalışma noktalarında güç grafiği	86
Şekil 4.72 2130x20,80x(-6) çalışma noktalarında tork grafiği.....	86
Şekil 4.73 20,80x(-6)x900 çalışma noktalarında güç grafiği	87
Şekil 4.74 20,80x(-6)x900 çalışma noktalarında tork grafiği.....	87
Şekil 4.75 20,80x(-6)x800 çalışma noktalarında güç grafiği	88
Şekil 4.76 20,80x(-6)x800 çalışma noktalarında tork grafiği.....	88
Şekil 4.77 20,80x(-6)x700 çalışma noktalarında güç grafiği	89
Şekil 4.78 20,80x(-6)x700 çalışma noktalarında tork grafiği.....	89
Şekil 4.79 1428x20,80x(-6) çalışma noktasında silindir içi basınç değişimi	90
Şekil 4.80 1779x20,80x(-6) çalışma noktasında silindir içi basınç değişimi	90
Şekil 4.81 2130x20,80x(-6) çalışma noktasında silindir içi basınç değişimi	91
Şekil 4.82 1428x20,80x(-6) çalışma noktasında NO _x oluşumu.....	92
Şekil 4.83 1428x20,80x(-6) çalışma noktasında is oluşumu	92
Şekil 4.84 1779x20,80x(-6) çalışma noktasında NO _x oluşumu.....	93
Şekil 4.85 1779x20,80x(-6) çalışma noktasında is oluşumu	93
Şekil 4.86 2130x20,80x(-6) çalışma noktasında NO _x oluşumu.....	94
Şekil 4.87 2130x20,80x(-6) çalışma noktasında is oluşumu	94
Şekil 4.88 20,80x(-6)x900 çalışma noktasında NO _x oluşumu	95
Şekil 4.89 20,80x(-6)x900 çalışma noktasında is oluşumu	95
Şekil 4.90 20,80x(-6)x800 çalışma noktasında NO _x oluşumu	96
Şekil 4.91 20,80x(-6)x800 çalışma noktasında is oluşumu	96
Şekil 4.92 20,80x(-6)x700 çalışma noktasında NO _x oluşumu	97
Şekil 4.93 20,80x(-6)x700 çalışma noktasında is oluşumu	97
Şekil 4.94 1428x20,80x(-6) çalışma noktasında HC oluşumu	98
Şekil 4.95 1428x20,80x(-6) çalışma noktasında CO oluşumu	98
Şekil 4.96 1779x20,80x(-6) çalışma noktasında HC oluşumu	99
Şekil 4.97 1779x20,80x(-6) çalışma noktasında CO oluşumu	99
Şekil 4.98 2130x20,80x(-6) çalışma noktasında HC oluşumu	100
Şekil 4.99 2130x20,80x(-6) çalışma noktasında CO oluşumu	100

Şekil 4.100 1428x20,80x(-6) çalışma noktasında özgül yakıt tüketimi	101
Şekil 4.101 1779x20,80x(-6) çalışma noktasında özgül yakıt tüketimi	101
Şekil 4.102 2130x20,80x(-6) çalışma noktasında özgül yakıt tüketimi	102

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Egzoz bileşenleri ve etkileri	4
Çizelge 1.2 Avrupa standartı aşama 1	13
Çizelge 1.3 Avrupa standartı aşama 2	14
Çizelge 1.4 Avrupa standartı aşama 3	15
Çizelge 1.5 Avrupa standartı aşama 4	16
Çizelge 1.6 Avrupa standartı aşama 3 ile EOBD değerlerinin karşılaştırılması	23
Çizelge 2.1 Gaz analiz cihazının teknik özellikleri	37
Çizelge 2.2 Basınç ölçme sensörünün teknik özellikleri	39
Çizelge 2.3 Voltaj yükselticinin teknik özellikleri	40
Çizelge 2.4 Testlerde kullanılan yakıtın teknik özellikleri	42
Çizelge 3.1 Ön ve ana enjeksiyon arasındaki test süreleri	45
Çizelge 3.2 Püskürtme oranı testi çalışma noktaları	46
Çizelge 3.3 Püskürtme avansı testi çalışma noktaları	47
Çizelge 3.4 Püskürtme basıncı testi çalışma noktaları	47
Çizelge 5.1 Test 1 sonuçları	106
Çizelge 5.2 Test 2 sonuçları	106
Çizelge 5.3 Test 3 sonuçları	107

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Yönetmeliği'nin 12. ve 24. Maddeleri gereğince hazırlanmış ve Enstitü Kurulu'nun 1 Temmuz 1997 gün ve 44/3 sayılı kararı ile kabul edilmiş olan kılavuza uygun olarak hazırlanmıştır.

Çalışmadaki ana hedefim, insan sağlığına zararlı olan egzoz emisyonlarının azaltılmasına ilişkin şimdiye kadar yapılan çalışmalar gözönünde bulundurularak püskürtmenin fazlara ayrılması yönteminin NO_x ve is oluşumuna etkisini incelemektir.

Tez çalışmam dört temel bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın kimliğini belirleyen bu dört temel çizgiyi belirtmekte yarar görüyorum.

- Giriş : Çalışmanın amacı, bu konuyla ilgili geçmişte yapılan çalışmalar ve zehirli gaz azaltma yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir.
- Kullanılan Materyal ve Yöntem : Deneysel çalışmalarda kullanılan test düzeneği, örnek dizel motor ve kullanılan yöntem açıklanmaya çalışılmıştır.
- Deneysel Çalışma Sonuçları : Elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır.
- Yorum ve Öneriler : Sonuçlara ilişkin yorum yapılmıştır.

Bu tezi yazarken elde edilen yeni bilgi ve belgeler kullanılarak, konulara açıklık getirmeye çalıştım.

Çalışmalarımı gerçekleştirirken benden yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Muammer Özkan'a ve deneysel çalışmalar konusunda imkan sağlayan Ford Otomotiv Sanayi A.Ş.'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Günümüz enjeksiyon teknolojisinde, yanma gürültüsü ve egzoz emisyonlarını azaltmak, bunun yanında motor performansını artırmak için kademeli enjeksiyon sistemlerini geliştirmiştir. Bu açıdan püskürtmenin fazlara ayrılması yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde, silindire önce az miktarda yakıt püskürtülür ve püskürtülen bu yakıt hemen yanarak yanma odasının ısınmasını sağlamaktadır. Böylece esas yanmaya yönelik ideal şartlar oluşturulmuş olmaktadır. Bu çalışmada günümüz dizel motorlarında püskürtmenin fazlara ayrılmasını NO_x ve is oluşumuna etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler : püskürtmenin fazlara ayrılması, egzoz emisyonu

ABSTRACT

Today's injection technology has improved graded injection systems in order to decrease combustion noise, exhaust emissions and also in order to raise engine performance. Because of this reason, separating the injection to phases method is developed. At this method, first of all a small amount of fuel is injected and this amount of fuel immediately burns and combustion room warms up. So ideal conditions for real combustion are formed. In this study, the effects of injection phases at the diesel engines are investigated.

Key words : separating injection to phases, exhaust emission

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki artışın çok hızlı olması, gerektiği kadar çevreye ilgiyi gösterilmemesi çevre kirliliği bakımından önemli sorunları da beraberinde getirmektedir. Hava kirliliği de çevre kirliliğinin alt maddelerinin en önemlilerindendir. Çünkü belirli bir yer ile sınırlı olmadığından çeşitli bölgelere yayılma riski mevcuttur. Kaynağı belirli bir yer olup çevre bölgelere rahatlıkla yayılabilir. Bu nedenle hava kirliliği ile mücadelede öncelikle kaynakların tespit edilip, bu kaynakların oluşturduğu kirliliğin azaltılması yoluna gidilmelidir.

Atmosferdeki hava kirliliğinin en önemli kaynaklarından birisi de içten yanmalı motorlardır. İçten yanmalı motorlarda fosil kaynaklı yakıtların aşırı kullanımı sonucu atmosferdeki taşıt kaynaklı hava kirliliği tehlikeli boyutlara ulaşmıştır. Gelişmiş ülkelerde taşıt kaynaklı kirlilikten biri olan egzoz emisyonlarına sınırlamalar getirilmiştir. Bu sebeple egzoz emisyonların azaltılması konusunda yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Ülkemizde olduğu gibi yolcu ve yük taşımacılığının büyük bir bölümünün karayolu taşıtları ile yapıldığı ülkelerde egzoz emisyonları ayrı bir önem arz etmektedir. Yolcu ve yük taşımacılığında kullanılan taşıtların çoğunda dizel motorları kullanılmaktadır. Çünkü benzinli motorlara oranla daha yüksek verimlilik elde edilmekte ve böylece yakıt tasarrufu sağlanmaktadır.

Dizel motor, püskürtülen yakıt parçacıklarının tamamının kurum oluşturmada yakılması amacıyla hava fazlalığı ile çalışır. Bu durum, benzin motorlarına göre NO_x ve madde parçacıklarını (PM) oluşturma potansiyelini arttırmaktadır. Bu yüzden dizel motorlarından kaynaklanan emisyonların azaltılması gerekmektedir.

1.1 Amaç

Doğal kaynakların sınırlı olması nedeniyle zaman zaman karşılaşılan enerji sıkıntıları tüm uluslara zarar vermektedir. Bunun yanısıra artan küresel ısınma, çevre kirliliği gibi nedenler kamuoyunun daha fazla bilinçlenmesine neden olmuştur. Dolayısıyla verimliliği arttırılmış, çevre dostu yanma sistemlerinin geliştirilmesi için üreticilere olan baskılar artarak devam etmektedir. Buna bağlı olarak katı yükümlülükler getirilmiştir.

Dizel motorlarından kaynaklanan en önemli emisyonlar birileri de azot oksit (NO_x) ve is emisyonlarıdır. Bu nedenle bu çalışmada örnek bir dizel motorlarında emisyonlarının azaltılması

üzerinde durulmuş, ve bu amaçla püskürtmenin fazlara ayrılması yönteminin NO_x ve is oluşumunun üzerine etkisi araştırılmıştır.

1.2 Genel Bilgiler

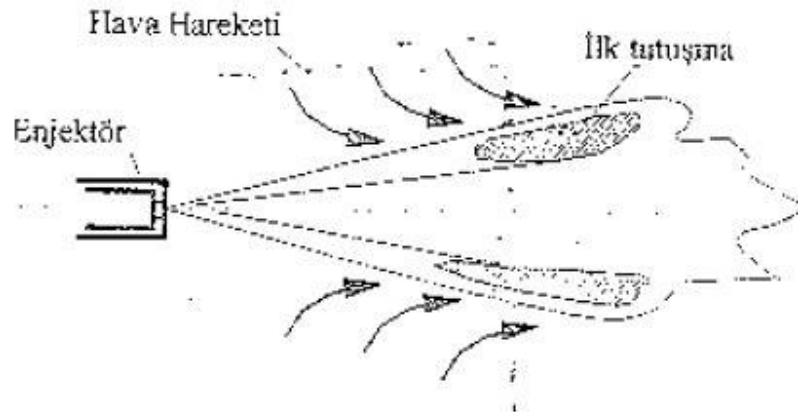
1.2.1 Dizel Motorlarında Yanma ve Egzoz Emisyonlarının Oluşumu

Yanma olayı fiziksel ve kimyasal etkileşimlerden oluşan karmaşık bir olaydır. Yanmayı oluşturan fiziksel olaylar genellikle kütle ve enerji iletimi ile ilgilidir. Kimyasal reaksiyonlar ise yakıt ile oksidant arasındaki moleküler seviyedeki etkileşimlerdir.

Dizel motorlarında yanma, yanma odasına yakıtın püskürtülmeye başlandığı andan, yanma ürünlerinin dışarıya atıldığı egzoz zamanı başlangıcına kadar geçen süre içerisindeki tüm fiziksel ve kimyasal olayları içerir. Dizel motorlarında yanma odası içerisinde homojen bir karışım yoktur. Sıkıştırma oranı yüksek olduğundan yanma odasında sıkıştırma zamanında yüksek sıcaklık ve basınç oluşur. Bu ortama püskürtülen yakıtın buharlaşmaya başlaması ile birlikte reaksiyonlarda oluşmaya başlamaktadır.

Dizel motorlarda yanma olayı dört faza ayrılarak incelenebilir.

- Tutuşma Gecikmesi
- Ani (KontROLSÜZ) Yanma
- Difüzyon Kontrollü Yanma
- Art Yanma



Şekil 1.1 Püskürtülen yakıt demetinde ilk tutuşmanın yeri

Tutuşma gecikmesi; yakıtın püskürtölmeye başladığı an ile tutuşmaya başladığı an arasındaki safhadır. Püskürtölen yakıt damlacıklarının buharlaşması belli bir süre almaktadır. Damlacıkların etrafında püskürtmenin hemen ardından bir buhar tabakası oluşmakta ve yanma bu buhar tabakasında başlamaktadır. Buhar fazındaki yakıtın yanma hızı buhar tabakasını çevreleyen havanın oksijen konsantrasyonu ile orantılıdır. Tutuşma gecikmesini etkileyen en önemli etkenler; yakıt kalitesi, basınç ve sıcaklıktır. Yüksek basınç ve sıcaklık tutuşma gecikmesini kısaltır. Tutuşma gecikmesi süresince püskürtölen yakıt miktarı tutuşma gecikmesini etkilemez. Yakıt tutuşma gecikmesi süresince silindirlere girer ve tutuşma başlayıncaya kadar birikir.

Ani yanma; tutuşma gecikmesi süresince yakıt silindirlere girmekte ve buharlaşmaktadır. Gene bu süre zarfında damlacıklar daha küçük parçacıklara bölünüp hava ile daha iyi karışmaktadırlar. Yanma başladığı zaman ise oksijenle temas eden yakıt büyük bir hızla yanar. Bu yanma hızı silindir içindeki basınç artış hızını (dp/dt) da belirler. Yüksek bir basınç yükselme hızı, hareketli motor parçalarına ani bir yük uygulaması demek olacağından, bu parçalarda tahribata sebep olur. Bu olaya dizel vuruntusu adı verilir.

Yanmanın bu safhası tutuşma gecikmesine oranla çok daha kısa olduğundan yakıtın büyük bir kısmı tutuşma gecikmesi süresince püskürtölmektedir. Dolayısıyla maksimum basıncı tayin eden tutuşma gecikmesidir.

Kontrollü yanma; tutuşma gecikmesinde püskürtölen yakıtın tamamen yanması ile bu safhaya geçilir. Ani yanma süresi sonundaki basınç ve sıcaklık çok yüksek olduğundan bu safhayı takiben püskürtölen yakıt oksijen bulunca hemen yanar. Yanmaya hazır karışım miktarı ile yanma kontrol edilir. Bu safhadaki yanma hızı yakıt buharı ile havanın karışmasına bağlıdır. Verimin yüksek olması için yanmanın ÜÖN'ya mümkün olduğunca yakın tamamlanması istenir.

Kontrollü yanma ile egzoz supabının açılmasına kadar geçen süre, yakıtın küçük bir kısmı henüz yanmadığından, art yanma olarak kabul edilebilir. Yakıtça zengin yanma ürünleri ve is içindeki enerji hala açığa çıkabilir. Bu safhada yanma tamamlanmakta silindir hacminin artması sebebiyle de basınç ve sıcaklık düşmektedir (Borat ve ark., 1992, Heywood, 1988).

Dizel motorlarında işletme şartları sık sık değişmekte ve bazı hallerde hava/yakıt oranı istenen oranların dışına çıkmaktadır. Diğer bir ifade ile dizel motorunun HC, NO_x, is, aldehit (HCHO) gibi kirletici bileşenleri artmaktadır. (Balcı, 1995).

Dizel motorlarından kaynaklanan zararlı egzoz emisyonların başında mutojenik ve kansorejenik etkiye sahip olan katı parçacıklar (partiküller) gelmektedir. Yanma esnasında is oluşumu, difizyon yanması sırasında başlar ve püskürtme süresinde is konsantrasyonu hızla artar. Püskürtme sonunda da maksimum düzeye ulaşır. Daha sonraki safhada is oksitlenmeye başlar. Ancak alev sıcaklığı düşmeye başladıkça oksitlenme yavaşlar ve 1400 °C'nin altında etkisini kaybeder. Dolayısıyla is bu konsantrasyon seviyesinde dışarı atılır (Kammato ve ark., 1983).

1.2.2 Egzoz Emisyonları

Egzoz gazının bileşenleri ve çevre üzerindeki etkileri şunlardır.

Çizelge 1.1 Egzoz bileşenleri ve etkileri

Egzoz Bileşeni	Kimyasal Sembolü	Kaynağı	Etkileri
Karbon Monoksit	CO	Yakıttaki karbon ile yanma havasındaki oksijenin tamamlanmamış kimyasal bileşimi	Çok zehirlidir, alyuvar hücrelerinde (hemoglobinin) birikir
Karbon Dioksit	CO ₂	Yakıttaki karbon ile yanma havasındaki oksijenin kimyasal bileşimi	Kısa vadede zararsız ancak atmosferdeki sera etkisi oluşumunda istenmeyen etkileri vardır
Hidrokarbonlar	HC	Yanmamış ve kısmen yanmış yakıt	Sağlığa zararlıdır, NO _x ile birlikte dumanlı sis ve ozon oluşumunda etkilidir
Nitrojen Oksitler	NO _x	Havadaki nitrojen ile oksijenin yüksek sıcaklıklarda meydana gelen kimyasal bileşimi	Sağlığa zararlıdır, paslanmaya ve HC ile birlikte dumanlı sis ve ozon oluşumunda etkilidir.
Oksijen	O	Havadaki oksijenin herhangi bir kimyasal bileşim oluşturmamış hali	Yok
Nitrojen	N ₂	Havadaki nitrojenin herhangi bir kimyasal bileşim oluşturmamış hali	Yok
Su	H ₂ O	Yakıttaki hidrojen ile havadaki oksijenin kimyasal bileşimi, ayrıca yakıt içerisinde de olabilir	Yok
Kükürt Dioksit	SO ₂	Kükürt (çoğunlukla dizel yakıtta) ile yanma havasındaki oksijenin kimyasal bileşimi	Zararsızdır, ancak asit yağmuru halini aldığı anda hayvanlar ve bitki örtüsü için zararlıdır
Madde Parçacıkları	PM	Katı maddeler (kurum, is bunlardan biridir), örneğin dizel motorlar tarafından üretilen egzoz gazındaki maddeler	Hidrokarbonlar kuruma yapıştıklarından sağlığa zararlıdır

Nitrojen (Azot) Oksitler (NO_x)

NO , NO_2 , N_2O ve benzeri bileşiklerin tümü NO_x olarak tanımlanmaktadır. Azot, sekiz farklı oksit oluşturmaya rağmen hava kirliliği bakımından NO (azotmonoksit) ve NO_2 (azotdioksit) en önemlileridir. Azot oksitler, azotun havadaki oksidasyonu ile meydana gelirler. Bu reaksiyon sadece yüksek sıcaklıklarda (>1800 K) ve ortamda yeterli oksijen var iken meydana gelebilir. Karışım içindeki havanın yüksek sıcaklıkta iyonize olması ile açığa çıkan azot nedeniyle oluşan NO_x emisyonlarını azaltmak için temel olarak silindir için sıcaklığının azaltılması gerekmektedir.

Azot oksitler kandaki hemoglobin ile birleşmektedir. Ciğerdeki nemle birleşerek nitrik asit oluştururlar. Oluşan asit miktarının konsantrasyonunun azlığı nedeniyle etkisi de az olmaktadır. Ancak zamanla birikerek solunum yolu hastalıkları bulunan kişiler için tehlike oluşturmaktadır (Ergeneman ve ark. 1998). Ayrıca NO_x 'ler aerosol ve fotokimyasal duman oluşumu ile ozon tabakasının tahribine yol açmaktadırlar (Kaytakoğlu, 1995).

Dizel motorlarda yanma sonucu, oluşan emisyonlardan biri olan azotoksitin hacimce % 90'ı NO , % 5'i NO_2 ve kalan % 5 N_2O (diazotmonoksit), N_2O_3 (diazottrioksit) ve N_2O_5 'ten (diazotpentaoksit) oluşur. Çevre şartlarında NO - NO_2 dengesi NO_2 oluşturacak yöndedir. Egzoz gazlarının akış hızının yavaş olması durumunda dizel egzozunda NO , NO_2 'ye dönüşecektir.

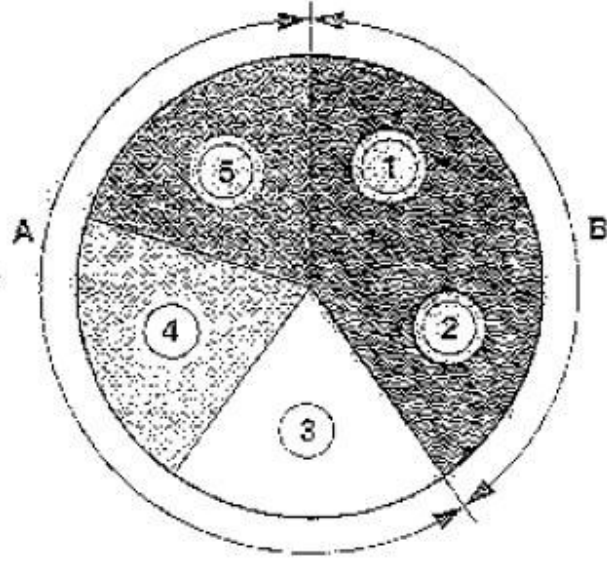
Azot oksitler içinde NO ; kokusuz bir gazdır. Akciğerlerin çalışmasını bozar, mukoza zarını tahriş eder ve felç yapıcı etkisi vardır. Nitrik asit oluşumuna sebep olur. Çevre şartlarında kararsızdır ve oksijenle birleşerek NO_2 'ye dönüşür. Maksimum işyeri atmosferi değeri (MAK) 9 mg/m³ tür.

Azotdioksit (NO_2); keskin kokulu kırmızı kahverengi karışımı bir gazdır. Düşük yoğunlukta olması halinde bile akciğeri tahriş eder, dokulara ve mukoza zarına zarar verir. MAK değeri 9 mg/m³ tür (Schafer, 1995).

N_2O ise; renksiz ve tatlı kokulu bir gazdır.

Madde Parçacıkları (PM)

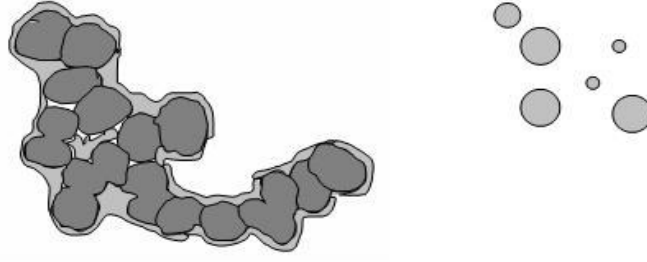
Dizel motorların egzozlarında bulunan madde parçacıkları (PM); kurum, yakıt kalıntıları ve özellikle yağlama yağı, inorganik bileşikler ve metal bileşiklerdir.



Şekil 1.2 Dizel madde parçacıklarının (PM) yapısı

- | | |
|---|--|
| A | Organik olarak çözünemeyen bileşenler |
| B | Organik olarak çözünebilen bileşenler (yer değiştirmiş hidrokarbonlar) |
| 1 | Yakıt |
| 2 | Yağlama Yağı |
| 3 | İnorganik Bileşikler |
| 4 | Metal Bileşikler |
| 5 | Kurum (İs) |

Madde parçacıklarından biri olan kurum yanmamış karbon partikülleridir ve özellikle dizel motorlarında oluşmaktadır. Kurum zararlı bileşenleri bünyesinde taşıyarak ve solunum sisteminde birikerek insan sağlığına zararlı olmaktadır.



Şekil 1.3 Partikül yapısı

Partiküller, düşünülmemeyecek kadar karmaşık bir emisyondur. Dizel motorları egzozundan atılan partiküller karbon-hidrojen zincirinden oluşmakta olup bünyelerinde yanmamış hidrokarbonları, oksitlenmiş hidro karbonları, polinükleer aromatikleri ve kükürt dioksit, azot oksit ve sülfirik asit gibi inorganik bileşenleri bulundurmaktadırlar. Parçacıklar, yanma odasında yakıtın atomizasyonunun (yakıtın parçalara ayrılması) yetersiz olduğu zaman oluşmaktadır. Püskürtülen yakıt zerreciklerinin çapı büyüdükçe yakıtın yanma odası içerisinde buharlaşması uzun zaman almaktadır. Süre arttıkça yakıt zerreciğinin merkezi buharlaşmak için yeterli zaman bulamayacaktır.

1800 K üzerindeki yanma odası sıcaklıklarında buharlaşmamış olan yakıt molekülleri parçalanmaya, güçlü karbon yapıları oluşturmaya başlayacaktır; bu ise parçacıkların artmasına neden olacaktır.

Yüksek basınçlı dizel yakıt püskürtme sistemlerinde küçük çaplı yakıt zerrecikleri oluşmaktadır; bunun sonucunda yakıt zerrecikleri damlaları tam olarak buharlaşmakta ve partikül (parçacık) oluşumu azalmaktadır.

Karbonmonoksit (CO)

Renksiz ve kokusuz bir gazdır. Hemoglobine bağlanma yeteneği oksijene (O_2) göre daha fazla olduğundan kandaki O_2 taşıyıcısı hemoglobine bağlanarak, kandaki O_2 miktarını azaltır. Vücut hücrelerinin O_2 alma imkanını engelleyerek zehirlenme ve boğulmaya sebep olur. Uzun süre 100 ppm CO içeren ortamda kalınırsa hafif baş ağrıları, 500 ppm CO içeren ortamda kalınırsa şiddetli baş ağrıları, baş dönmesi ve baygınlık, 2000 ppm'nin üzerinde ise şuur kaybı, nabız ve solunum zayıflaması ve ölüm olayı görülür (Kaytakoğlu, 1995, Schafer, 1995, Ergeneman ve ark. 1998)

Karbon monoksit, yakıt içerisinde bulunan karbonun tam olarak okside olmamasından (yanmamasından) oluşmaktadır. Yetersiz oksidasyon, zengin karışım içerisinde genel veya bölgesel yanma yaşanması durumunda oluşmaktadır.

Dizel motorlar yüksek oksijen miktarı ile çalışmaktadır; bu nedenle CO emisyonu yüksek olmaktadır. Yanma odası yapısı/şekli ile hava akış hareketlerinin en iyi hale getirilmesi, yüksek türbülans sağlanmasıyla yanma odası içerisindeki zengin bölgelerin azaltılması sonucunda CO emisyonu azaltılabilmektedir.

Yanmamış Hidrokarbonlar (HC)

Taşıtlarda yakıt deposu ve karbüratörden buharlaşma yolu ile veya motordan egzoz gazları ile birlikte atmosfere atılan yanmamış veya kısmen yanmış HC'ler genellikle kötü kokulu ve tahriş edici maddelerdir. Bileşimlerine bağlı olarak az ya da çok uyuşturucu etkisi vardır. Özellikle solunum sistemi ve göz bozulduklarına ve kansere sebep olurlar. Gaz halindeki HC'ler güneş ışığı altında azot oksitlerle birleşerek "fotokimyasal sis-smog" olarak adlandırılan bir sis tabakası oluştururlar. Bu tabaka gözlerin yanmasına ve sulanmasına, solunum sisteminin etkilenmesine sebep olurken, aynı zamanda bitkiler içinde zararlı olmaktadır (Kaytakoğlu, 1995, Schafer, 1995).

Yanmamış yakıt;

- Yanma odasında bölgesel olarak oksijen eksikliği (bölgesel olarak kötü yakıt dağılımı) yaşanması ve/veya
- Yakıtın yanma odasının soğuk bölgelerine (yanma odası cidarları v.s.) püskürtülmesi durumunda oluşmaktadır.

Direk püskürtmeli sistemlerde yanma odası formu ile:

- Yüksek türbülans sağlanması ile yakıtın yanma odasında ideal dağılımı sağlanmakta (yakıtın zengin olduğu bölgeler oluşmamakta),
- Küçük bir yapıya sahip olan yanma odası formu ile yanma odası cidarlarında yeterli sıcaklık sağlanmakta ve yanmamış yakıt oluşumu engellenmektedir.

Kısmen yanmamış hidrokarbonlar özellikle dizel motorların egzozlarında bulunan ve göz ile burunda tahrişe yol açan çok halkalı aromatik hidrokarbonları (PAH) oluşturur.

Motorun karter ve yakıt sistemindeki buharlaşmış salımlar yoluyla da HC salımları meydana gelir. Hidrokarbonlar ile nitrojen oksitlerin her ikisi de ozon ve dumanlı sis oluşumundan sorumludur.

Aldehitler

Aldehitler hidrokarbonların kısmi oksidasyonu sonucu oluşan ürünlerdir. Özellikle düşük sıcaklıklardaki reaksiyonlarda oluşurlar. Keskin kokulu ve uyuşturucu etkili bileşiklerdir. Bazıları kansere yol açar. Aldehitler genellikle form aldehit (HCHO) ve akrolein (C₂H₃CHO)'den oluşmaktadırlar. Dizel egzozundaki kötü kokulu, gözleri ve solunum sistemini tahriş edici etkinin önemli kaynağı form aldehittir. Form aldehitin MAK değeri 0.6 mg/m³'tür (Ergeneman ve ark., 1998, Schafer, 1995).

Kükürt dioksit (SO₂)

Renksiz, sert kokulu bir gazdır. Mukoza zarını tahriş eder. Solunum yolları, akciğer ve karaciğer hastalıklarına sebep olmaktadır. Su ile birleştiğinde insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkileri bulunan sülfürik aside dönüşmektedir. MAK değeri 2 mi/ m³'tür (Ergeneman ve ark., 1998 Schafer, 1995).

Karbon Dioksit (CO₂)

Tam yanmada yakıtın tepkime ürünlerinden biridir. CO₂, yakıtta bulunan karbon (C) ile yanma havasında bulunan oksijenin (O₂) birleşmesinden meydana gelir. Su içerisinde çözünen karbon dioksit, karbonik asiti oluşturur.

Bitkiler güneş ışığının etkisi altında fotosentez olarak adlandırılan işlemi gerçekleştirerek karbon dioksiti, karbon (C – Bitkide bulunan) ve oksijene dönüştürür. Karbondioksit az miktarlardayken zararsız olmasına rağmen yüksek CO₂ seviyesinin atmosferde sera etkisi oluşumuna yol açtığı bilinmektedir.

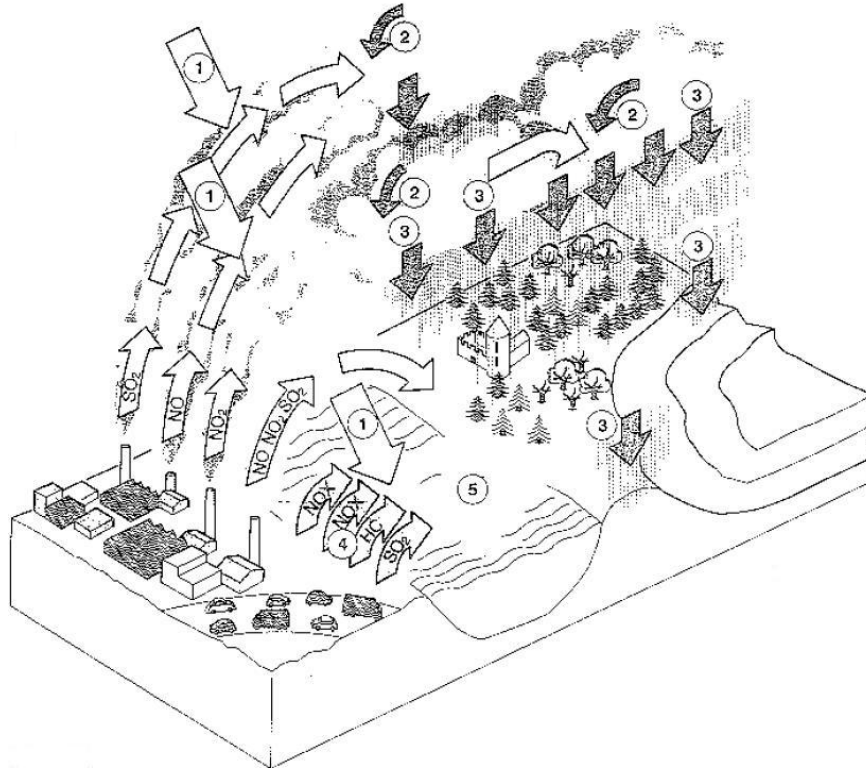
Ozon

Motorlu araç egzozlarından atmosfere karışan hidrokarbonlar güneş ışığında nitrojen oksitleri ile tepkimeye girerek ozonu oluşturur. Ozon, atmosferin stratosfer tabakasında zararlı UV ışınlarını tutarak son derece önemli bir görevi yerine getirmesine rağmen, soluduğumuz havada bulunan ozon insan sağlığına son derece zararlıdır.

Dumanlı Sis

Dumanlı sis, ılık hava tabakasının altında sıkışmış soğuk bir hava tabakasında yoğun bir hava kütlesinin birikmesi sonucu oluşur. Bu durum belirli bazı hava koşullarında ortaya çıkar. Bunun yerini, hidrokarbonlar ve nitrojen oksitlerinin neden olduğu yeni bir tür dumanlı sis olan fotokimyasal dumanlı sis almıştır.

Araç egzoz gazlarında diğer maddeler ile birlikte bulunan bu maddeler güneş ışığı ile tepkimeye girerek sağlık için zararlı olan ozon gazını oluşturur. Özellikle kalabalık geniş yerleşim alanları bulunan büyük şehirlerde dumanlı sis oluşumu riski oldukça yüksektir. Bazı ülkelerde, dumanlı sise karşı araçların trafiğe çıkışlarının yasaklanmasına kadar varabilen katı önlemler alınmaktadır.



Şekil 1.4 Egzoz emisyonlarının çevreye etkisi

- | | |
|---|--------------------------------|
| 1 | Güneş ışığı |
| 2 | Su (H ₂ O) |
| 3 | Asit Yağmuru |
| 4 | Motorlu araçtaki egzoz gazları |
| 5 | Dumanlı sis/ozon |

Sera Etkisi

Güneş'in iç bölgelerinde oluşan füzyon tepkimeleri sırasında, çok büyük miktarlarda enerji açığa çıkar. Bu enerji yavaş yavaş Güneş'in yüzeyine doğru iletilir ve oradan da bütün dalgaboylarındaki elektromanyetik dalgalar biçiminde uzaya yayılır. Güneş sistemindeki gezegenler, büyüklüklerine ve Güneş'e olan uzaklıklarına göre, bu enerjinin küçük bir bölümünü paylaşırlar, geri kalanı uzayda yayılmayı sürdürür.

Dünya'ya gelen ışınların yaklaşık dörtte biri, bulutlardan yansiyarak uzaya döner. Geri kalan enerjinin yaklaşık dörtte birini stratosferdeki ozon tabakasıyla, troposferdeki bulutlar ve su buharı soğurur. Atmosferin soğurduğu ışınların % 90'ı bizim göremediğimiz kızılötesi ve morötesi ışınlar, % 10'u da görünür ışındır. Bir başka deyişle atmosfer, Güneş'ten gelen görünür ışınların onda dokuzunun yeryüzüne geçişini engellemez. Yeryüzüne ulaşan bu ışınlar da onu ısıtır. Tropikal kuşaktan yükselen sıcak hava kutuplara doğru, soğuk kutup havası da yüzeye inip ekvatora doğru yönelir. Böylece atmosfer olayları, su çevrimi, karbon çevrimi vb. süreçler dünyada yaşamın sürmesi sağlanır.

Gelen ışınlarla ısınan Dünya, tıpkı dev bir radyatör gibi davranmaya başlar. Ancak bu ısıyı Güneş gibi tüm dalgaboylarında yayamaz; yalnızca kızılötesi ışınlar biçiminde yayabilir. Yüzeyden yayılan bu ışınların yalnızca küçük bir bölümü uzaya gidebilir. Çünkü atmosferdeki su buharı, karbondioksit ve metan molekülleri bu ışınları soğurur; sonra da yüzeye doğru yansıtır. Böylece Dünya'nın yüzeyi ve troposfer, olması gerekenden daha sıcak olur. Bu olay, Güneş ışınlarıyla ısınan ama içindeki ısıyı dışarıya bırakmayan seraları andırır ve bu nedenle de doğal sera etkisi olarak bilinir.

Bu sürecin başlıca aktörleri olan, su buharı, karbon dioksit ve metan da sera etkisi yapan gazlar ya da kısaca sera gazları olarak anılırlar. Bunların yanı sıra azot oksit ve kloroflorokarbonlar (CFC) da sera etkisi yapar. Ancak bunların atmosferdeki oranları çok küçüktür.

Bununla birlikte tropik yağmur ormanlarının yanmasıyla da tahrip edilen bitkiler havada bulunan CO₂ gazını alarak fotosentez işlemini gerçekleştirememektedir.

1.2.3 Egzoz Emisyon Standartları

Tarihçesine bakacak olursak;

Hava kirliliği ile ilgili kısıtlamalar ilk olarak Los Angeles kentinin dumanlı sis oluşumuna müsait konumu nedeniyle California'da başlamıştır. 1968 yılında California'da otomobillerdeki CO ve HC salımları sınırlandırılmıştır. 1971 yılında ise NO_x salımları için de sınırlandırma getirilmiştir. ABD'deki diğer 49 eyalet de California örneğini izlediler, California halen en sıkı yönetmeliklere sahip eyalettir.

Japonya da ABD'deki kadar katı egzoz gazı salım yönetmelikleri uygulamaya başlamıştır. Bunları takiben Kanada, Avustralya, İsveç, İsviçre ve Avusturya benzer yönetmelikleri çıkartmak durumunda kaldılar.

Egzoz gazı salım yönetmeliklerine sahip diğer ülkeler arasında ECE (Avrupa Ekonomik Komisyonu) yönetmeliğini uygulayan diğer Avrupa ülkeleri bulunmaktaydı. Doksanlı yılların başlarına kadar Avrupa'da ortak kullanılan yönetmelikler bulunmamaktaydı. İsveç, İsviçre ve Avusturya, daha sonra Almanya, Finlandiya ve Danimarka gibi ülkeler yasalar tarafından zorunlu tutulmayan 83US, 85US, 87US ve CAA standartlarını çıkarttılar. 1993 yılından bu yana tüm Avrupa'da birleştirilmiş değişiklik talimatları uygulanmaktadır.

Günümüzde farklı egzoz salım standartları içeren başlıca üç grup bulunmaktadır.

- ABD
- Japonya
- Avrupa

Bu üç grubun egzoz salım yönetmelikleri egzoz sistemi salımlarının kontrolünde kullanılan sürüş periyodları ve egzoz salım sınırları itibariyle birbirlerinden farklılık gösterir. Avrupa'da uygulanan egzoz salım standartlarının temelini oluşturan talimat 70/220/EEC sayılı talimattır. Günümüze kadar çıkarılan tüm talimatlar ve gelecekte çıkarılacak olan talimatlar, değişiklik talimatlarıdır.

Avrupa standartı aşama 1-2-3 ve 4 için egzoz salım sınırları şu şekildedir.

Çizelge 1.2 Avrupa standartı aşama 1

Kirlетici Madde	Birim	Tip Onayı		Üretim	
		Benzinli	Dizel	Benzinli	Dizel
CO	g/km	2,72	2,72	3,16	3,16
HC	g/km	-	-	-	-
NOx	g/km	-	-	-	-
HC+NOx	g/km	0,97	0,97	1,13	1,13
		-	1,36 ^(*)	-	1,58 ^(*)
PM	g/km	-	0,14	-	0,18
			0,196 ^(*)		0,25 ^(*)
Dayanıklılık testi	-	80.000 km ya da 5 yıl			
Buharlaşmış HC Salımları	g/test	2	-	2	-

* Direkt püskürtmeli dizel motorlar (sınırlar 1,4 faktörü ile çarpılır.)

Çizelge 1.3 Avrupa standartı aşama 2

Kirlenici Madde	Birim	Sınırlar (Tip Onayı = Üretim)		
		Benzinli	Dizel	Direkt Püskürtmeli Dizel
CO	g/km	2,2	1	1
HC	g/km	-	-	-
NO _x	g/km	-	-	-
HC+NO _x	g/km	0,5	0,7	0,9
PM	g/km	-	0,08	0,1
CO ₂	g/km	Üretici tarafından araç kullanım kılavuzlarında belirtilen sınırlara bakınız(**)		
Dayanıklılık testi	-	80.000 km ya da 5 yıl		
Buharlaştırılmış HC Salımları	g/test	2	-	

Şu an gaz ile (LPG ve CNG) çalışan araçlara aynı egzoz salım sınırları uygulanmaktadır.

** M1 araçları için (sürücü dahil dokuz kişiye kadar oturma kapasitesine sahip ve izin verilen azami brüt ağırlığı 3.500 kg'a kadar olan binek araçlar, vanlar ve arazi araçları dahil). Üreticinin belirlediği sınır (belirli bir seri için üretici tarafından açıklanan) tip onayı testi sırasında en fazla %4 oranda aşılabilir ve bu sınır üretim kontrolü sırasında istatistikî olarak iyileştirilmelidir.

Çizelge 1.4 Avrupa standartı aşama 3

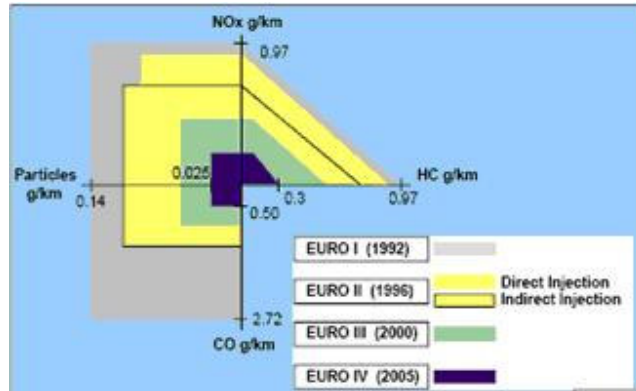
Kirlenici Madde	Birim	Sınırlar	
		Benzinli	Dizel
CO	g/km	2,3	0,64
HC	g/km	0,2	-
NO _x	g/km	0,15	0,5
HC+NO _x	g/km	-	0,56
PM	g/km	-	0,05
CO ₂	g/km	Üretici tarafından araç kullanım kılavuzlarında belirtilen sınırlara bakınız ^(**)	
EOBD	-	Evet ^(***)	2003 yılında itibaren
Dayanıklılık testi	-	80.000 km ya da 5 yıl	
Buharlaşmış HC Salımları	g/test	2	-
7°C'de düşük sıcaklık testi	-	Evet	Evet

** M1 araçları için (sürücü dahil dokuz kişiye kadar oturma kapasitesine sahip ve izin verilen azami brüt ağırlığı 3.500 kg'a kadar olan binek araçlar, vanlar ve arazi araçları dahil). Üreticinin belirlediği sınır (belirli bir seri için üretici tarafından açıklanan) tip onayı testi sırasında en fazla %4 oranda aşılabilir ve bu sınır üretim kontrolü sırasında istatistiki olarak iyileştirilmelidir.

*** Ocak 2002 tarihinden itibaren geçerli olacaktır.

Çizelge 1.5 Avrupa standartı aşama 4

Kirlenici Madde	Birim	Sınırlar	
		Benzinli	Dizel
CO	g/km	1	0,5
HC	g/km	0,1	-
NOx	g/km	0,08	0,25
HC+NOx	g/km	-	0,3
PM	g/km	-	0,025
CO ₂	g/km	Üretici tarafından araç kullanım kılavuzlarında belirtilen sınırlara bakınız(**)	
EOBD	-	Evet	Evet
Dayanıklılık testi	-	100.000 km ya da 5 yıl	
Buharlaşmış HC Salımları	g/test	2	-
7°C'de düşük sıcaklık testi	-	Evet	Evet



Şekil 1.5 Egzoz emisyon standartları

** M1 araçları için (sürücü dahil dokuz kişiye kadar oturma kapasitesine sahip ve izin verilen azami brüt ağırlığı 3.500 kg'a kadar olan binek araçlar, vanlar ve arazi araçları dahil). Üreticinin belirlediği sınır (belirli bir seri için üretici tarafından açıklanan) tip onayı testi sırasında en fazla %4 oranda aşılabilir ve bu sınır üretim kontrolü sırasında istatistiki olarak iyileştirilmelidir.

1.3 Dizel Motorlarında Egzoz Sistemi Salımları Kontrol Yöntemleri

Dizel motorların egzoz sistemi salımlarının azaltılması amacı ile alınan genel teknik önlemleri iki grupta toparlayabiliriz.

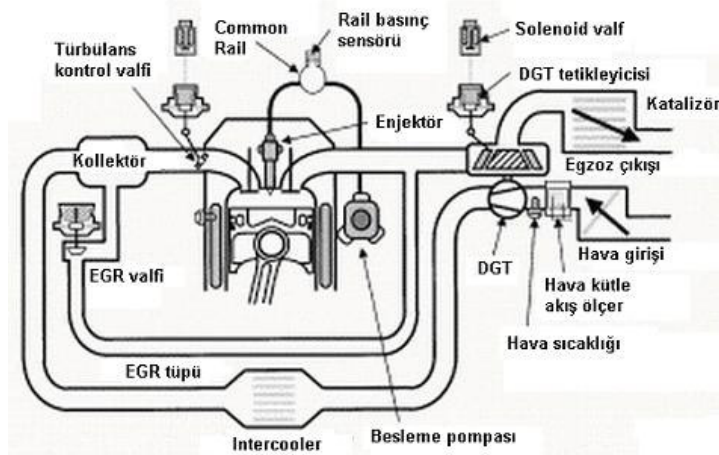
Motor ve Motor Yönetimi

- Küçük motorlarda bile direkt püskürtme kullanılması.
- Klasik mühendisliğin geliştirilmesi (örneğin yanma odasının tasarımı, karışımı oluşturmak için gereken girdap hareketinin optimize edilmesi, yakıt püskürtücülerinin gözden geçirilmesi, yakıt püskürtme basıncının artırılması).
- Elektronik kumandalı yakıt püskürtme zamanlaması, yakıt sevki başlangıcının yüke göre ayarlanması, çalıştırma sırasında fazla yakıtın sıcaklığa bağlı olarak denetlenmesi, sıcaklığa göre elektronik rölanli takviyesi yapılmasını sağlayan elektronik motor yönetimi.
- Ortak galeri mühendisliği (yakıtın çok daha yüksek basınçla kullanılması).

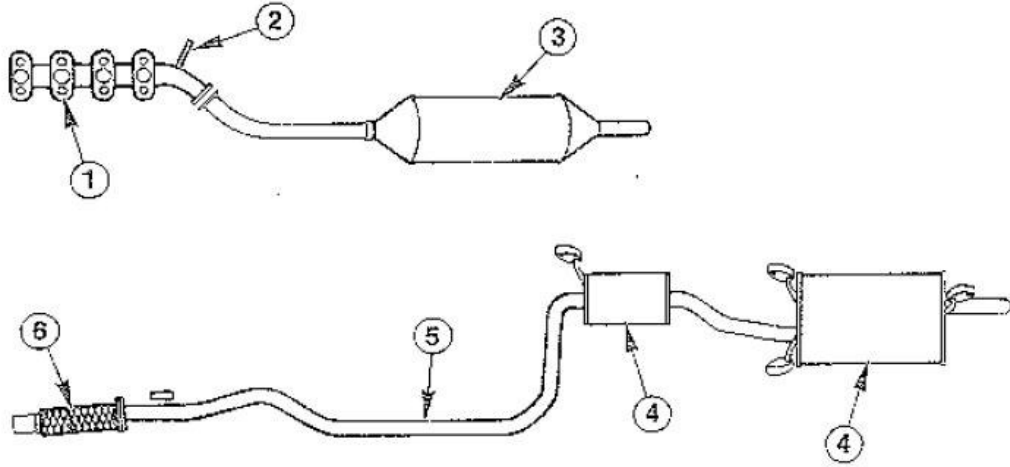
Egzoz Gazı Son İşleme Yöntemi

- Doğrudan egzoz manifolduna monte edilmiş oksidasyon egzoz gazı dönüştürücüsünün kullanılması.
- NO_x seviyesinin düşürülmesi amacıyla turboşarj ve ara soğutucu kullanılması.
- EGR kullanımı.
- NO_x salımının azaltılması amacıyla bir soğutucu ile birlikte elektronik kumandalı egzoz gazı çevrimi yapılması (Egzoz soğutma).
- Madde parçacıkları kapanları.
- Partikül filtresi.
- Aktif/pasif fakir NO_x katalizörleri.

Bu sistemlerin araç üzerindeki genel dizaynlarını Şekil 1.6'da gösterilmektedir. Bu sistemler genelde elektronik kontrol ünitesindeki (EKÜ) yazılım ile kontrol edilmektedir.



Şekil 1.6 Yardımcı ekipmanlı dizel motor dizaynı



Şekil 1.7 Egzoz sistemi şematik şekli

- | | |
|-----------------------|----------------|
| 1 Egzoz Manifoldu | 5 Egzoz Borusu |
| 2 EGR Bağlantısı | 6 Esnek Boru |
| 3 Katalitik Konvertör | |
| 4 Susturucu | |

EGR (Egzoz Gazları Resirkülasyonu Sistemi)

Nitrojen oksit emisyon değerini düşürmek için EGR sistemi kullanılarak egzoz gazlarının aracın elektronik kontrol modülü tarafından belirlenen belirli bir kısmı emme havasına geri gönderilmektedir. Bu şekilde ortamdaki oksijen miktarı ve yanma şiddeti azalmakta, yanma sıcaklığı düşmektedir.

Hızlanma veya ağır motor yüklerine bağlı olarak yanma odası içindeki sıcaklığın yükselmesi (1800K ve üzeri) ile karışım içindeki hava ve azot reaksiyona girip NO_x oluştururlar. Bu yüzden NO_x emisyonunu azaltmanın en iyi yolu yanma odasındaki sıcaklığı düşürmektir.

Hava-yakıt karışımı ile egzoz gazları birbirine karıştıkları zaman, hava-yakıt karışımı içerisinde bulunan yakıtın oranı doğal olarak düşer (karışım daha fakir olur) ve buna ilaveten bu karışımın yanması ile meydana gelen ısıнын bir kısmı egzoz gazı ile sistemden atılır. Yanma odası içindeki maksimum sıcaklık böylece düşer ve açığa çıkan NO_x miktarı azalır (Anonymous, 1992).

İç ve dış egzoz gazı geri çevrimi birbirinden farklıdır. İç egzoz gazı çevrimi subap bindirmesi aracılığıyla sağlanır. Egzoz sübabı açıkken emme sübabı açılmaya başladığı an, piston emme

zamanı sırasında dışarı atılan egzoz gazlarının bir kısmını emer ve bunları yeniden çevrime dahil eder.

Dış egzoz gazı geri çevrim sisteminde ise egzoz gazı, egzoz manifoldundan bir sübap ve bir boru aracılığıyla emme sistemine götürülür. Yakıt pompası taze hava ve egzoz gazından oluşan bu gazlı karışıma az miktarda yakıt ilave eder.

EGR kontrolünü olabildiğince kesin ve etkili yapabilmek için silindirlere geri kazandırılan egzoz gazlarının miktarları ölçülmelidir. Bu ölçme işlemi bazı sistemlerde EGR valfindeki bir sensör aracılığıyla sağlanır. Bu gözlem fonksiyonu egzoz gazının %30'unun silindirlere geri döndürülmesine olanak sağlar. Elektronik sistemlerde geri döndürülen egzoz gazları, kütleli hava akış (MAF) sensörüyle ölçülür. Egzoz gazlarının silindirlere geri döndürülen miktarı yüksekse, emilen hava kütlesi dibe çöker ve püskürtülen yakıt miktarı buna göre değişir.

Turboşarj ve Ara Soğutucu

Turboşarj ile, doğal emişli bir motora göre çok daha fazla hava silindir içerisine alınabilmektedir. Yanma odasına daha fazla havanın alınması sonucu yakıtın tamamen yanması mümkün hale gelmekte, böylece PM emisyonları azalmaktadır. Aslında turboşarjın temel görevi, taşıtlarda kullanılan küçük ve yüksek devirli dizel motorlarında tork ve gücü arttırmaktır. Gücün artırılmasına ilave olarak, turboşarj üniteleri yakıt tüketimini de azaltır.

Turboşarj üniteleri, çıkan egzoz gazının enerjisinden yararlanır. Silindirden dışarı çıkan egzoz gazı bir türbini çalıştırır. Bu türbin bir kompresör çarkına bir mil aracılığıyla bağlıdır. Bu türbinden ne kadar çok egzoz gazı geçerse, türbin de kompresör milini o kadar hızlı çalıştırır.

Kompresör çarkı emme manifolduna yerleştirilmiştir. Motorun ihtiyaç duyduğu hava artık normal yolla emilmez, ama 0,2-0,8 barlık bir basınçla silindirlere basılır. Bu nedenle turboşarj ünitesinin verimliliği doğrudan motor devrine bağlıdır. Düşük motor devirlerinde egzoz gazının ve dolayısıyla takviye basıncının üretimi azdır. Motor devri arttıkça basınç da aşırı yükselirse, basıncın daha fazla artması bir kesme valfiyle önlenir. Bunun için egzoz gazının akışı bölünür ve egzoz gazı fazlası bir bypass valfi aracılığıyla türbinden geçirilir.

Hava turboşarj ünitesinde sıkıştırıldığı zaman, hem hava sıcaklığı, hem de hava basıncı artar. Bu nedenle bazı uygulamalarda ara soğutucular kullanılır. Soğutucu tarafından soğutulan hava daha yüksek bir yoğunluğa ulaşır. Dolayısıyla silindirin yüklenmesini arttırır. Bu artışta güçte artışa

yol açar.

Değişken Geometrilili Turboşarj (DGT)

Son yıllarda, motorun tüm hız-yük şartlarında ve geçici rejimde herhangi bir kayıp olmaksızın iyi bir performans elde etmek için DGT kullanılmaya başlanmıştır. DGT sisteminde, giren egzoz gazını sınırlandırmak için türbin tekerleği üzerinde bulunan kanatçıkların yönü bir tetikleyici ile ayarlanmaktadır. Bu değişken akış oranları, istenen basınç ve sıcaklık şartlarının oluşmasına izin verir. Düşük motor hızlarında yani yakıt akışının az olduğu durumlarda DGT türbin çarklarına giren havayı azaltır, böylece istenen yüklere göre turbo gücünü optimize eder. Motorun yüksek basınç üretimini sürdürmesi gerektiği durumlarda, hız/yük veya yüksek yakıt akışına göre, DGT hava giriş kısmını iyice açar bunun yanında turboşarjın aşırı hızlı dönüşüne de izin vermez.

Egzoz Gazı Dönüştürücüsü (Katalitik Konvertör)

Egzoz emisyon değerlerini düşürmek için diğer bir uygulama ise egzoz gazı dönüştürücüsüdür (katalitik konvertör). Egzoz gazı dönüştürücüsünün çalışma prensibi; nitrojen oksit moleküllerini parçalayarak ayrıştırarak nitrojen ve oksijen molekülleri elde etmektir.

Egzoz gazı dönüştürücüsü içerisinde karbon monoksit (CO) ve yanmamış yakıt (HC) molekülleri oksitlenerek CO₂ ve H₂O moleküllerine dönüştürülmekte ve duman oluşumu belirli bir oranda engellenmektedir.

İlk olarak 1970 yılında kullanılan katalitik konvertör, sadece CO ve HC emisyonlarını kontrol edebilmiştir. Daha sonra, 1980 yılının başında NO_x emisyonlarını da kontrol eden katalik konvertörler kullanılmaya başlandı. Katalitik konvertörler %97'ye varan oranlarda HC, %96'ya varan oranlarda CO ve %90'a varan oranlarda NO_x emisyonlarını azaltmaktadır (11).

Katalitik konvertör temel olarak bir metal yuva, bir taşıyıcı ve katalitik kaplamadan oluşur. İki farklı taşıyıcı sistem vardır.

- Seramit monolitler, içlerinden çok sayıda küçük kanallar geçen seramik bloklardır. Egzoz gazı bu kanallardan geçer. Seramik malzeme, yüksek sıcaklıklara dirençli magnezyum alüminyum bir slihattır.
- Metalik monolitler çok yüksek sıcaklıklara dirençlidir. Bu nedenle genellikle motora çok yakın olarak takılırlar (kapalı bağlantılı katalitik konvertörler). Bunun anlamı, katalitik konvertörün çabuk ısınması ve dolayısıyla çabuk başlamasıdır.

Katalitik konvertörlerin bu değişimleri gerçekleştirebilmeleri için özellikle 300°C veya üzerinde sıcaklarda olması gerekmektedir. Bu yüzden, şu an içten yanmalı motorlardan kaynaklanan emisyonların %60-80'i motorun soğuk çalışma şartlarında meydana gelmektedir. Artan bu soğuk çalışma emisyonlarını azaltmanın yollarından biri ULEV (Ultra-Low Emission Vehicle) ve çağdaş emisyon düzenlemeleridir. Geçmiş yıllarda soğuk çalışma emisyonlarını azaltmak için birkaç yaklaşım geliştirilmiştir. Elektrik ısıtmalı ve yakıt ısıtmalı konvertörler, sistemi 10 saniyeden 2 dakikaya kadar ısıtarak konvertör çalışma şartlarının daha çabuk oluşmasını sağlamaktadır. Bu sistemler motorun soğuk çalışma şartlarında oluşan CO ve HC emisyonlarında %70 oranında azalış meydana getirmektedir (12). Bu, sistemi daha kompleks ve hassas hale getirirken, maliyetin artmasına da yol açar. Bir başka yaklaşım da konvertörü egzoz manifolduna yakın bir yere ve egzoz gazlarının akış yönünün yukarısına yerleştirmektir. Böylece konvertör 1 dakikanın altında çalışma sıcaklığına ulaşmaktadır. Son zamanlarda Honda bu yaklaşımlı katalitik konvertörü ULEV normlarını yakalamak için CIVIC modelinde kullanmıştır.

Dizel Partikül Filtreleri (DPF)

Dizel partikül filtreleri (DPF) dizel kaynaklı partikül emisyonlarının Avrupa standartları aşama 3 emisyon standartlarına getirilmesinde temel etkindir. Uygun filtre malzemeleri kullanılarak, dizel parçacıklarının %99'undan fazlasını tutmak mümkündür. Dizel parçacıkları, dizel partikül filtresinde toplanır. Filtrenin toplama kapasitesi sınırlı olduğundan uygun yüksek egzoz gazı sıcaklıklarında (yaklaşık 550°C) yakılır. Bununla birlikte, katalizör yakıt katkısı (seryum) kullanılarak, oksitlenme derecesi 450°C'ye düşürülebilir. Bu katkı maddeleri dizel parçacıkların yanmasını hızlandırır ve meydana geldiği sıcaklığı düşürür.

Az önce de belirtildiği şekilde, egzoz gazında bulunan parçacıklar, dizel parçacık filtresinde toplanır. Parçacık filtresi vasıtasıyla basınçtaki düşüş (dizel partikül filtresinin fark basıncı algılayıcısı vasıtasıyla ölçülür) filtredeki kurum yükünü gösterir. Bununla birlikte dizel parçacık filtresinin kurum yükü kapasitesi düzenli aralıklarla temizlenecek (rejenere edilmelidir – dizel parçacıklarının yakılması/oksidlenmesi) şekilde sınırlandırılmıştır.

Yenileme işleminden sonra, yakıt katkısından, motor yağından ve yakıttan kaynaklanan kalıntılar dizel parçacık filtresinde kalır. Bu bileşenler, daha fazla dönüştürülmez ve sadece dizel partikül filtresinde belli bir sınıra kadar biriktirilebilirler. Bu, dizel partikül filtrelerinin da belirli bakım aralıklarıyla değiştirilmesi anlamına gelir.

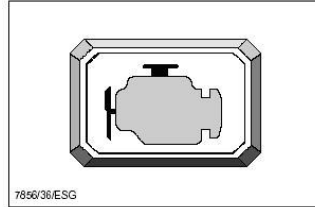
Partikül filtresi, bal peteği yapısında olup, duvarları gözenekli silikon karbit maddesinden yapılmıştır. İlâveten, tek tek kanallar bir tarafta yalıtılmıştır ve birbirine göre kaçıktır.

Yanma meydana geldikten sonra, bazı dizel parçacıkları hala egzoz gazında mevcut olabilir. Filtre işleminin parçası olarak, dizel parçacıkları ile yüklü egzoz gazları, dizel partikül filtresine girer ve sonra yalıtılmış kanalların şaşırtmalı konumunun sonucu olarak gözenekli duvarlardan geçmeye zorlanır. Gözenekli duvarların ara odalarındaki dizel parçacık oluşumu, filtreleme etkisini daha da artırır.

Avrupa Araç Üzeri Teşhis Sistemi (EOBD)

EOBD Sistemi bir diagnostik sistemidir; PCM (Powertrain Control Modul- Motor Yönetim Sistemi Modülü) içerisinde entegre olarak bulunmaktadır. EOBD Sistemi tarafından emisyon kontrol sistemleri ve motor yönetim sistemi komponentleri sürekli olarak kontrol edilmektedir. Salımları etkileyen sistemler ve elemanlar üzerinde kontrol, izleme sistemleri ile kontrol edilir.

Sistem içerisinde bulunan Emisyon Kontrol Hatası İkaz Lambası (Emission Control Malfunction Indicator Lamp -MIL-), emisyon değerlerinin etkileneceği bir durum oluştuğunda yanmaktadır.



Şekil 1.8 Emisyon kontrol hatası ikaz lambası

Hata bilgisi, Motor Yönetim Sistemi Modülü'ne kaydedilmektedir. Hata bilgisine özel ekipmanlar tarafından ulaşılabilir.

EOBD sistemi tarafından;

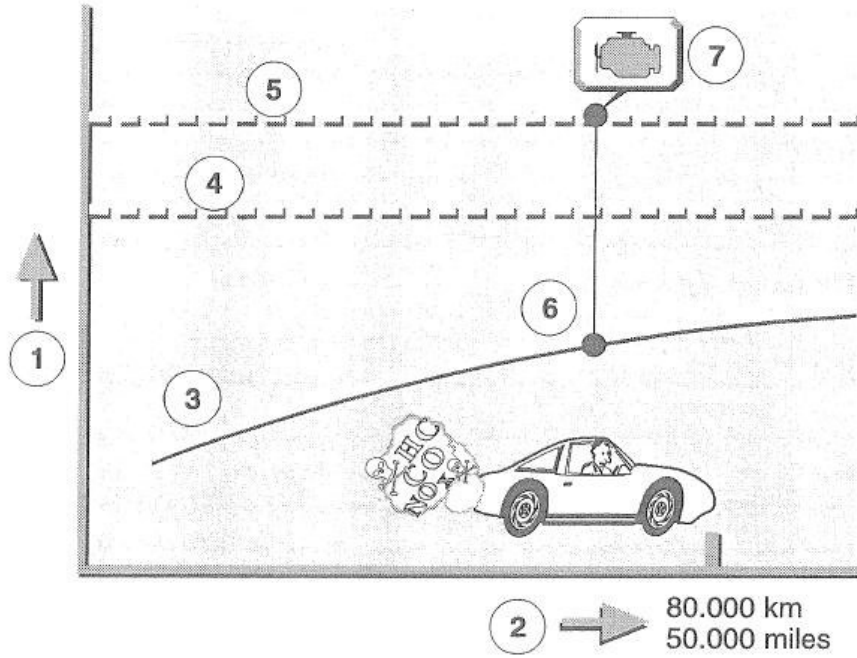
- 5 adet izleyici yardımıyla emisyon kontrol komponentleri ve egzoz sistemi izlenmektedir.
- Motor yanma hataları izlenmektedir.
- Birincil ve ikincil ısıtılmalı oksijen sensörleri izlenmektedir.
- Yakıt sistemi izlenmektedir.
- Katalitik konvertör verimliliği izlenmektedir.
- Egzoz gazı sönüştürücüsü (EGR) izlenmektedir.

- İkincil hava püskürtme prosesi (AIR) izlenmektedir.
- Emisyon kontrol hatası ikaz lambası yakılmaktadır; hata bilgisi kaydedilmektedir.
- Hata kaydedilen çalışma koşulları belirtilmektedir (Dondurulmuş Veriler).
- Emisyon kontrol hatalarının ne zaman ve ne şekilde belirtilmesi gerektiğini belirler.
- Yönetim sistemi çıktılarının (motor devri, sıcaklık v.s.) standartlaştırılması sağlanmaktadır.
- Komponent ve sistemlerin ad ve kısaltmalarının standartlaştırılması sağlanmaktadır (SAE J1930).
- Hata kodlarının (Fault or Diagnostic Trouble Codes –DTC-) tüm üreticiler için standartlaştırılması sağlanmaktadır.
- Diagnostik ekipmanları ile iletişimin standartlaştırılması sağlanmaktadır (SAE J1850).
- Veri Soketi'nin (Data Link Connector –DLC-) standartlaştırılması sağlanmaktadır (SAE J 1962).

EOBD Sistemi, Avrupa'da 01.01.2001 tarihi itibarıyla kayıtlı olan araçlar için geçerli olan Euro Standard Stage 3 (Avrupa Standardı, Seviye 3) içerisinde bulunmaktadır. EOBD sınır değerleri daima Avrupa Standartı 3. Aşama sınır değerlerinin en düşük seviyede hedeften sapması, salım denetimi arıza gösterge lambasının (MIL) hala kaçınılmaz olarak devreye sokulacağı anlamına gelmez.

Çizelge 1.6 Avrupa standardı aşama 3 ile EOBD değerlerinin karşılaştırması

Sınır Değerler	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)
Avrupa Standartı 3. Aşama	2,3	0,2	0,15
EOBD (Avrupa araç üzeri teşhis sistemi)	3,2	0,4	0,6



Şekil 1.9 EOBBD egzoz salım sınırları

- | | |
|---|---|
| 1 Egzoz salımları | 5 EOBBD salım sınırları |
| 2 Kat edilen mesafe | 6 Salımları etkileyen sistem arızası |
| 3 Araçtan çıkan egzoz salımları | 7 Salım denetimi arıza gösterge lambası |
| 4 Avrupa Standartı 3. Aşama egzoz salım sınırları | |

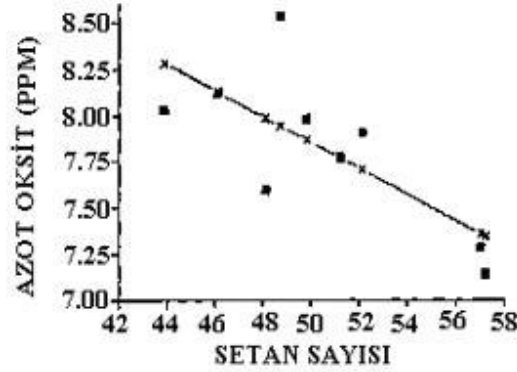
1.4 NO_x Emisyonlarının Azaltılmasında Dikkate Alınan Temel Parametreler

Dizel motorlarında oluşan NO_x emisyonlarını azaltmak için aşağıdaki bazı temel parametrelerden yararlanılır.

1.4.1 Yakıt Enjeksiyon Sistemi Özellikleri

Yakıt enjeksiyon sistemi özellikleri hava ile yakıtın karışması ve yanmasına etkir. Çalışma şartlarında alevin oluşumu ve yayılması, yakıtın atomizasyonu ve yakıt dağıtımı, enjeksiyon sistemi özelliklerinden etkilenir.

1.4.2 Yakıt Kalitesi



Şekil 1.10 Setan sayısının NO_x 'e etkisi

Dizel yakıtında en önemli özelliklerinden birisi setan sayısıdır. Setan sayısı yakıtın dizel motorunda sıkıştırma sonucu ısınan havanın içinde kendi kendine tutuşma özelliğini belirleyen bir sayıdır. Setan sayısının fazla olması tutuşma gecikmesi periyodunu azaltmakta ve yanma odasında biriken yakıtın ani yanması ile oluşan hızlı basınç artışını önlemektedir. Yakıt daha erken tutuşarak yanmaya başlayacaktır. Fakat bu sırada sıkıştırma devam ettiği için silindir içi sıcaklık ve buna bağlı olarak NO , oluşumu artacaktır. Bu yüzden yanma başlamadan önce daha az yakıt püskürtülmelidir. Böylece üst ölü nokta (ÜÖN) civarında yanan yakıt miktarı azalacağından maksimum yanma sıcaklığı düşecektir (Newton, 1996, Ergeneman ve ark. 1998).

1.4.3 Oksijen Konsantrasyonu

Karışım içindeki oksijen konsantrasyonu arttırıldıkça PM ve yanmamış HC emisyonları azalır. Oksijen konsantrasyonunun artırılması tutuşma gecikmesini kısaltır. Bu durum püskürtme avansının azaltılmasına imkan sağlar. Avansın azaltılması ile NO_x emisyonları azalır. (Lida ve ark., 1988).

1.5 Motor Çalışma Karakteristiklerinin NO_x Üzerindeki Etkisi

1.5.1 Püskürtme Zamanının Etkisi

Diğer parametreler sabit kabul edilirse, direk püskürtmeli bir dizel motorunda püskürtme başlangıcının bir miktar öne alınması tutuşma gecikmesini arttıracığından bu safhada silindirlere daha fazla yakıt püskürtülecektir. Tutuşma ile birlikte dizel motoru yanma süreçlerinden biri olan ani yanma periyodunda birim krank derecesi başına düşen basınç değişimi ($dp/d\alpha$) aşırı derecede artacağından çevrimin maksimum sıcaklığı ve basıncı da yükselecektir. Buna bağlı olarak NO_x emisyonlarında bir artış olacaktır (Khan ve ark., 1971).

Püskürtme avansının azaltılması NO_x emisyonlarını azaltırken, is oluşumunu artırır. Bu durum püskürtme basıncının arttırılmasını gerektirir. Dolayısıyla malzeme dayanımı ve yakıt sisteminin fiyatının artması gibi sorunlar ortaya çıkacaktır. Avansın azaltılması silindir içi maksimum basıncı düşürür, fakat yanmamış yakıt miktarı artacağından, yakıt tüketimi kötüleşmektedir. Ayrıca avansın aşırı azaltılması hafif yüklerde teklemeye sebep olmaktadır (Austion ve ark. 1960, Needham ve ark., 1993, Chan ve ark., 1997).

Normal çalışma şartlarında püskürtme avansının ÜÖN'dan 10°-15°önce olması durumunda tutuşma gecikmesi minimumdur. Tutuşma gecikmesindeki artış püskürtmenin daha erken veya daha geç yapılmasından kaynaklanır. Çünkü sıkıştırma zamanındaki havanın sıcaklığı ve basıncı ÜÖN'ya yaklaştıkça önemli miktarda artar. Eğer püskürtme erken başlarsa, püskürtme başlangıcındaki basınç ve sıcaklık düşük olacağından tutuşma gecikmesi artar. Eğer püskürtme ÜÖN'ya çok yakın yapılırsa, püskürtme başlangıcındaki basınç ve sıcaklık yüksek olmasına rağmen, pistonun alt ölü noktaya (AÖN) doğru hareket edip silindir hacmini genişletmesinden dolayı tutuşma gecikmesi süresi artacaktır. Bu yüzden uygun püskürtme avansı bu iki nokta arasında olmalıdır (Heyvrood, 1988).

1.5.2 Püskürtme Basıncının Etkisi

Enjektörler, yakıtı silindirlere yüksek basınçta atomize halde püskürten yakıt sistemi elemanlarıdır. Enjektör püskürtme basıncına bağlı olarak püskürtülen yakıt taneciklerinin çapı değişmektedir. Püskürtme basıncı arttıkça yakıtın enjektörden çıkış hızı da artar ve tanecik çapı küçülür. Çap dağılım aralığı daralır, daha üniform tanecikler oluşur. Küçük taneciklerin ataleti

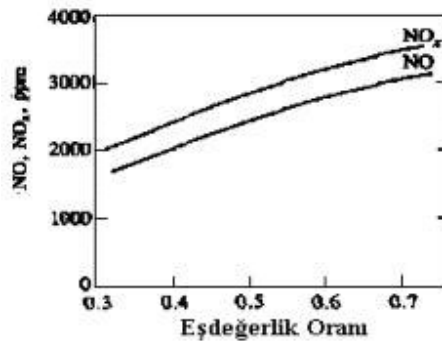
daha düşük olduğundan nüfuz mesafeleri daha kısadır. Bunun sonucunda tutuşma gecikmesi kısılacığından NO_x oluşumu azalacaktır (Borat ve ark., 1992, Horrochs, 1994).

Püskürtme basıncının düşmesi ile yakıt tanecik çapı büyümektedir. Tanecik çapının büyümesi ise tutuşma gecikmesi periyodunun uzamasına yol açmaktadır. Bu durum tutuşmadan sonraki kontrolsüz yanma periyodu sırasındaki birim krank açısı başına düşen basınç artış miktarını yükselteceğinden, NO_x artışına sebep olmaktadır (İçingür ve ark 1996).

1.5.3 Eşdeğerlik Oranının Etkisi

Dizel motorlarında silindir içerisinde sıfırdan sonsuza kadar değişen değerlerde hava yakıt oranları mevcuttur. Dolayısıyla önemli olan püskürtülen yakıt miktarı değil yanma öncesi buharlaşan yakıt miktarıdır (Borat ve ark., 1992). Yanma odası içindeki gerçek yakıt/hava oranı, stokiyometrik yakıt/hava oranına bölüldüğünde elde edilen büyüklüğe eşdeğerlik oranı adı verilir.

Dizel motorlarında güç ayarı motora emilen havanın içine püskürtülen yakıt miktarının değiştirilmesi ile yapılır. Motor gücü azaltılmak isteniyorsa, püskürtülen yakıt miktarı azaltılır. Böylece karışım oranı yük durumuna göre değiştirilmektedir ve motor genelde fakir karışım ile çalışmaktadır. Emisyonlar bakımından ana sorun NO_x üretiminden kaynaklanmaktadır. NO_x emisyonları artan yüke bağlı olarak artış gösteren sıcaklıklar nedeniyle artmaktadır (Ergeneman ve ark., 1998) NO oluşumu, eşdeğerlik oranı 0,9 ile 1,0 arasında iken maksimum olur (Merker ve ark.. 1993).



Şekil 1.11 Eşdeğerlik oranına bağlı olarak NO_x ve NO konsantrasyonları

Şekil 1.22'de eşdeğerlik oranının NO_x konsantrasyonuna etkisi görülmektedir. Eşdeğerlik oranı arttıkça ağır yüklerde maksimum basıncın (dolayısıyla maksimum sıcaklığın) artması karışımın daha geniş bir bölgede stokiyometrik orana yakın bir değerde yanmasını sağlar. Bu durumda NO_x oluşumu artacaktır. Eşdeğerlik oranının azaltılması ile NO_x emisyonları azalır. Fakat dizel motorlarında yakıtın düzgün püskürtülememesinden dolayı bu azalış fazla değildir (Vioculescu ve ark., 1978).

1.5.4 Dolgu Sıcaklığının ve Basıncının Etkisi

Şekil 1.23'de dolgu basınç ve sıcaklığının NO_x ve is emisyonlarına etkisi görülmektedir. Düşük dolgu sıcaklığı ve basıncında NO_x ve is emisyonları da düşüktür. Dolgu basınç ve sıcaklığının artırılması tutuşma gecikmesini kısaltır. Yakıtın püskürtülmesi sırasında silindir içi sıcaklığının daha fazla olmasına dolayısıyla NO_x emisyonlarının artmasına sebep olur. Dolum havasının soğutulması NO_x emisyonlarının azaltılmasını sağlar. Dolum basıncının artırılması ile NO_x 'ler önce artar, daha sonra düşer.

Dolum basıncının artırılması ile NO_x oluşumunu arttıran faktörler; lokal oksijen ve azot miktarının ve yakıt spreyinin sınır tabakalarındaki dağılımın artmasıdır. Bu etki alev alanını arttırarak birim zamanda yanan kütle miktarını arttırır. Dolayısıyla NO_x oluşumu artar. Diğer yandan dolum basıncının arttırılarak sıcaklığının azaltılması ve yoğunluğu fazla olan hava içinde yakıt spreyinin dağılmasının azaltılması, yakıt spreyinin karşısındaki lokal hava yakıt oranlarını azaltacağından NO_x oluşumu azaltılmış olur (Herzog ve ark., 1992).

1.5.5 Türbülans Etkisi

Türbülans oranının değiştirilmesi yakıtın buharlaşmasına ve hava yakıt karışım işlemine etkir. Ayrıca sıkıştırma süresince silindir cidarı ısı transferine ve püskürtme sırasındaki sıcaklığa da etkir. Normal çalışma sırasında türbülans oranındaki değişimin tutuşma gecikmesi üzerindeki etkisi küçüktür. Türbülans ile motorun ilk çalışması sırasında yüksek buharlaşma ve karışım elde edildiğinden bu etki daha önemlidir (Furuham ve ark., 1972).

Türbülans oranının azaltılması ile yakıt ve havanın karışması için gerekli zaman arttırılmış olur. Böylece yakıt damlacıklarının etrafındaki oksijen konsantrasyonu azalır. Sonuçta yanma sıcaklığı aşırı yükselmez. Ancak ısı verim kötüleşir (Newton ve ark., 1996).

Dolgu hareketinin azaltılması püskürtülen yakıtın hava ile karışmasını azaltır. Yanan karışım bölgesindeki yanmamış karışım miktarını arttırır. Sonuçta NO_x emisyonları azalacaktır. Fakat is emisyonları artacaktır. Is emisyonlarının azaltılabilmesi için püskürtme basıncı arttırılmalıdır (Thien, 1965).

1.5.6 Sıkıştırma Oranının Etkisi

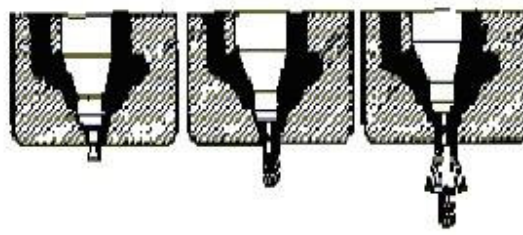
Bu değişken, tutuşma gecikmesini kontrol eder. Direk püskürtmeli dizel motorlarında NO oluşumuna etkiyen önemli faktörlerden biridir.

Püskürtme avansının sabit kalması şartıyla, sıkıştırma oranının azaltılması tutuşma gecikmesini uzatacaktır. Dolayısıyla bu süre boyunca püskürtülen yakıt miktarı artacağından silindir içi maksimum sıcaklık yükselecek ve buna bağlı olarak NO oluşumu artacaktır. Sıkıştırma oranının arttırılması ile tutuşma gecikmesi kısılacağından NO oluşumu azalacaktır. Fakat sürtünme işi artacağından çevrim verimi kötüleşecektir (Middlemiss, 1978).

1.6 Literatürdeki Çalışmalar

NO_x emisyonlarını düşürebilmek amacıyla uygulanan yöntemler genelde ortam içinde belirli noktalarda oluşan doruk sıcaklıkların düşürülmesi, bu bölgelerde kalınma sürelerinin kısaltılması veya bu bölgelerdeki oksijen derişiminin azaltılması yollarını seçmektedir (Garg 1994; Wood 1994). Su veya su buharı püskürtülerek veya soğutma çubukları ile yanma ortamından enerji çekilmesi ilkesine dayanan ve alev soğutma olarak tanımlanan yöntemlerde bir yandan ortam sıcaklıkları düşürülürken, bir yandan da buralarda kalınma süreleri azaltılmaktadır (Teng ve Huang 1996). Ancak yanma tepkimesinin tamamlanamaması sonucu istenmeyen oranda CO açığa çıkması, NO_x oluşumunu azaltmak uğruna uygulanmasına rağmen bu yöntemin getirdiği yeni bir olumsuzluk olmaktadır.

Yakıtın kademeli püskürtülmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Burada önemli olan ilk kademede püskürtülecek olan yakıt miktarıdır. Yakıtın iki kademede püskürtülmesi ile PM emisyonlarında önemli artış olmadan NO_x azaltılmıştır (Cihan ve ark., 1997).



Şekil 1.12 Kademeli (kısıcıcı) pimli meme ve püskürtme şekli (15)

Aşamalı yanma, NO salgılanmasını azaltma yönünde kullanılan bir başka yöntem olup, birincil yanma bölgesinde yakıt/hava karışımı yakıt-fazla olacak biçimde hazırlanır. Püskürtmenin başlangıcında pimin silindirik kısmı meme deliği içindedir ve yakıtın geçeceği kesit dardır. Dolayısıyla silindire daha az yakıt püskürtülür. Püskürtülen yakıt miktarı, iğne yukarıya kalktıkça artar. Çünkü pimin silindirik kısmı meme deliğinden çekildikçe, yakıtın geçtiği kesit büyümektedir (Bilginpek, 1989).

Başlangıçta püskürtülen yakıt miktarı az iken iğne yukarı kalktıkça püskürtülen yakıt miktarı da artacaktır. Böylece tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıt miktarı azaltılarak, maksimum basınç ve buna bağlı olarak NO_x emisyonları da azalacaktır. (Borat ve ark., 1992).

2. KULLANILAN YÖNTEM VE MATERYAL

2.1 Materyal

Deneyle Ford Otomotiv Sanayi A.Ş. Motor Dinamometre Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Deneylede kullanılan dizel motorunun görünüşü Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Bu motora ait teknik bilgiler de aşağıda verilmiştir.

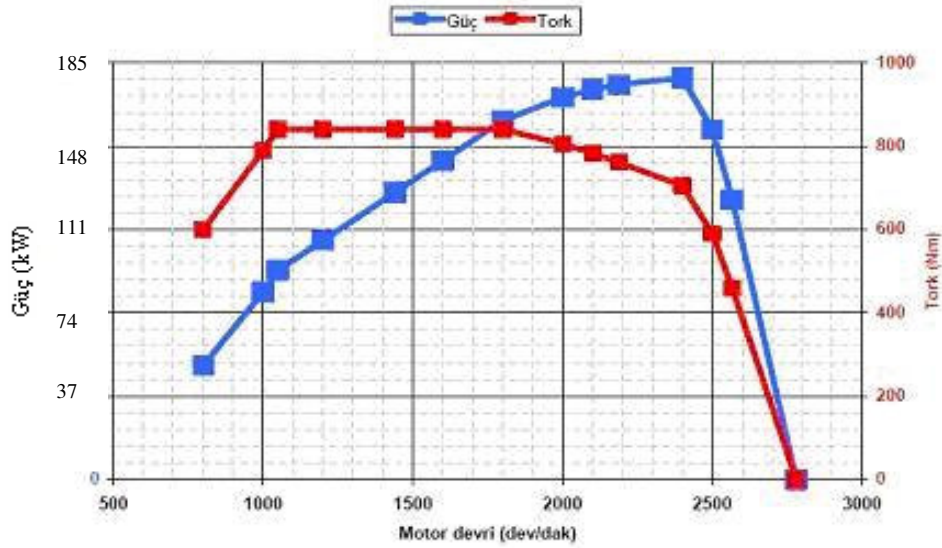


Şekil 2.1 Testlerde kullanılan motor

Teknik Spesifikasyonlar :

- Motor Hacmi : 7.33 lt
- Sıkıştırma Oranı : 17.4:1
- Silindir Çap / Kurs : 112 / 124 mm
- Ateşleme Sırası : 1,5,3,6,2,4
- Güç Versiyonları : 177 kW (2400 d/d)
- Motor Torku : 840 Nm (1050-1800 d/d)
- Yağ Kapasitesi : 28 litre

- Soğukta Çalıştırabilme : -25 °C
- Güç Kayıpsız Rakım : 2650 m
- Yakıt Enjeksiyon Sistemi : 1400 bar ortak yakıt yolu, Bosch TDCi
- Gürültü Seviyesi : 93.4 dBA
- Emisyon seviyesi : Euro 1-3
- Yağda Kurum : 0.22 g/h
- Ağırlık : 708 kg (Kuru Ağırlık)
- Püskürtme Avansı : -2 KMA
- Püskürtme Basıncı : 1000 bar



Şekil 2.2 Test motorunun orjinal güç-tork eğrisi

2.2 Test Düzeneği

Testler, Ford Otosan Gölcük Fabrikasında Ürün Geliştirme merkezinden bulunan dinamometrelerinde yapılmıştır. Aşağıda bu testlerde kullanılan test düzeneğindeki ekipmanlar ile ilgili bilgiler yer almaktadır.

Dinamometre (AVL AFA 404/8)

Cihaz giriş havasını şartlandırabilir, tam kapalı çevrim olarak çalışır.



Şekil 2.3 Testlerde kullanılan dinamometre

Tork Kapasitesi : 1867 Nm (4000 rpm'e kadar sabit)

Güç Kapasitesi : 440 kW (4000 rpm – 8000 rpm arasında)

Operasyon Tipi : Aktif ve Pasif Mod

Dönme Hissi : CW ve CCW

Genel Doğruluk : %0,3 tam ölçek tork ± 1 rpm

Kontrol Doğruluk : %0,5 tork ± 5 rpm

Tork Cevabı : 0 – max tork için yaklaşık 10 – 20 ms

Hız Cevabı : Nominal tork için 5000 rpm/sec

İşlemler Sırasında Ortam Sıcaklığı : +5 °C ile + 40 °C arası

Aşırı Yük Kapasitesi : % 25

Ortam Bağıl Nemi : Mak. %95 yoğunlaştırılmış

Karakteristik Toleransı : Sinyal genişliğinin asıl değerine bağlı, $\leq \pm \% 0,1$

Nominal duyarlılıkla bağlantılı olarak doğrusallıktan sapma : $\leq \pm \% 0,03$

Çıkış sinyalindeki farklılaşmaya istinaden standart sapma : $\leq \pm \% 0,02$

Koruma Sınıfı : IP54

Gaz Analiz Cihazı (Horiba Mexa 7100 DEGR)

Egzoz emisyonlarının ölçülmesinde Horiba Mexa 7100DEGR model egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır.



Şekil 2.4 Gaz analiz cihazı

Cihaz, her ünitenin özel bir fonksiyonu olduğu çeşitli birimlerden oluşmuştur.



Şekil 2.5 Gaz analiz cihazının yapısı

Ana Kontrol Ünitesi (MCU), Mexa 7100DEGR sistemindeki tüm üniteleri kontrol eder ve izler. Red Hat Linux işletim sistemi kullanan bir PC'yi taban alan MCU arayüz kontrol birimlerine giden bir LAN bağlantısı aracılığıyla bütün sistem modüllerine komut gönderir ve bütün sistem modüllerinden veri toplar.

Arayüz Kontrolörü (IFC) bir iletişim ünitesidir. Bütün sistem modüllerini ana kontrol ünitesine bağlar. Ana kontrol ünitesinin LAN üzerinden gönderdiği komutları yorumlar ve komutları uygun modüle gönderir. Modüllerden aldığı sinyalleri de ana kontrol ünitesine gönderir. IFC ile bağımsız modüller arasındaki iletişim; ana kontrol ünitesine LAN aracılığıyla, çözümleyicilere dijital veri yolu ile, numune işlemi sistemi, selonoid valfler ve kalibrasyon gazı seçici ünitelerine çoklu bağlantı RS 485 ile, gaz bölücüsüne RS 232 ile, sıcaklık ve basınç gibi yardımcı sinyaller için analog portalarla sağlanır.

Analiz ünitesi (ANR), maksimum beş çözümleyici modülü içerisinde barındırır. Bazı çözümleyici modüller iki bileşeni ölçtüğü için, beş çözümleyiciden oluşan bir analiz ünitesi maksimum yedi bileşeni analiz eder.

Güç kaynağı ünitesi (PSU), her bir modüle düzenli enerji sağlar. MCY tarafından komut verildiğinde modüller için güçö çevrimi yapar.

Selonoid valf seçicisi (SVS), gazları çözümleyici modüllere gönderir.

Numune işletimi sistemi (SHS), örneklenen gazın nemini giderir ve çözümleyicilere pompalar. Çözümleyici gazı soğutarak ve hassas ölçümlere müdahale eden nemi gidererek korur.

Bu cihaz ile CO, CO₂, O₂, NO/NO_x, HC, N₂O, SO₂, THC, CH₄ ve SF₆ gazlarını analiz edebilme yeteneğine sahiptir. Motorin ile çalışan motorun haricinde benzin, alkol ve CNG ile çalışan motorlarda yapılacak testlerde de bu cihaz kullanılabilir.

Cihazın probu egzoz hattında katalist sonrasına bağlanmıştır. Ölçülecek gazın analizöre ulaşması için geçen süre 10 sn.'dir. Bu süre kadar beklenmesinin ardından ölçümler alınmıştır.



Şekil 2.6 Egzoz numunesi alma düzeni

Çizelge 2.1 Gaz analiz cihazının teknik özellikleri

Hız	4 L/dak
Örnek Giriş Basıncı	Normal hatlar için 0 ila 30 kPa
Gazla yıkama	Harici atölye havası
Ortam koşulları	5-40°C, bağıl nem olarak 80%'den az
Boyutlar ve Ağırlık	W x D x H 570 x 850 x 1190 / 1500 / 1562 / 1785 / 1970 mm 22.4 x 33.5 x 46.9 / 59.1 / 61.5 / 70.3 / 77.6 in Mak. 350 kg / 772 lb
Güç	100/120/200/220/230/240 V AC ($\pm 10\%$ Mak.250V), 50/60 Hz (± 1 Hz)
Hassasiyet	$\pm 1.0\%$ FS veya $\pm 2.0\%$ RS
Kalibrasyon Yöntemi	Mikroişlemci kontrollü, otomatik gaz seçimi

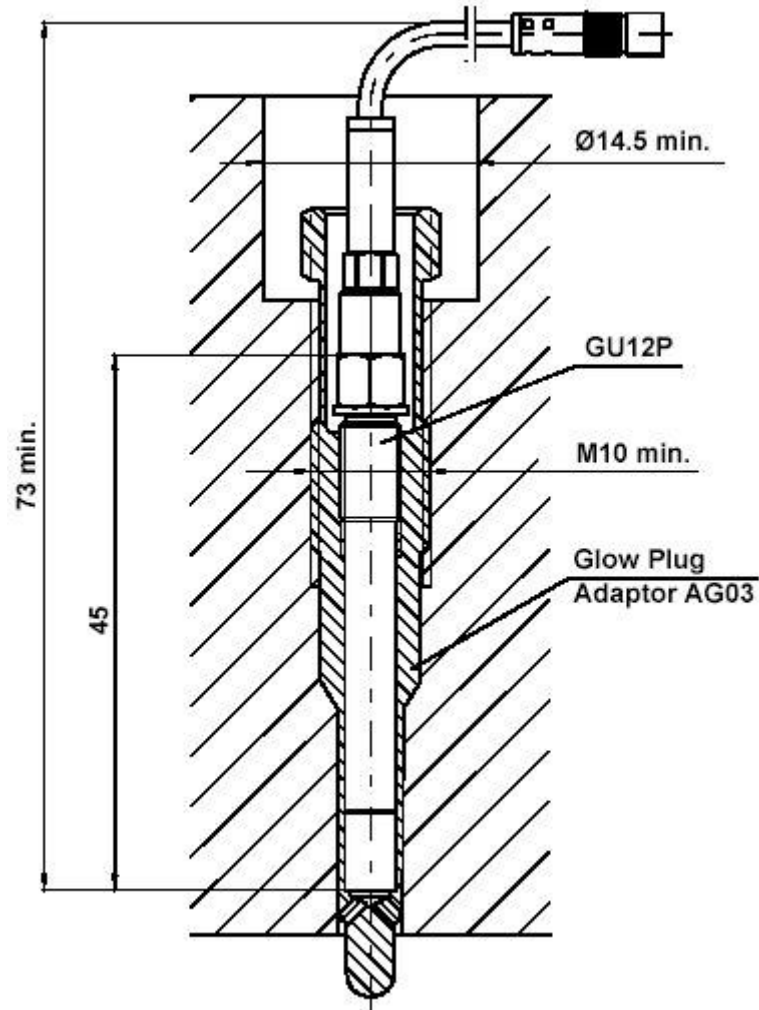
Silindir İçi Basınç Ölçümü

Basınç Ölçme Sensörü (AVL GU12P)

Silindir içi basıncın ölçülmesinde kızdırma bujileri sökölüp yerine silindir içi basınç ölçme sensörleri takılmıştır.



Şekil 2.7 Silindir içi basınç ölçme sensörü



Şekil 2.8 Basınç ölçme sensörü montaj kesit resmi

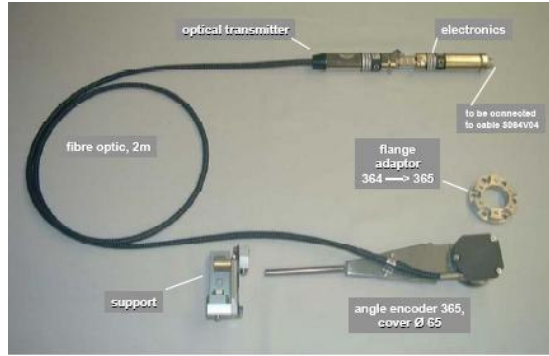
Bu sensörlere ait teknik özellikler aşağıdaki çizelgede yer almaktadır..

Çizelge 2.2 Basınç ölçme sensörünün teknik özellikleri

Ölçüm Aralığı	0...200 bar (2900 psi), 20MPa
Aşırı Yükleme	250 bar (3625 psi), 25 Mpa
Hassasiyet (Nominal)	15 pC/bar (1,03 pC/psi), 150 pC/Mpa
Doğrusallık	< $\pm 0,3\%$ FSO
Doğal Frekans	130 kHz
İvmelenme Hassasiyeti	< 0,001 bar/g
Şiddetli Etki Direnci	> 2000 g
Çalışma Sıcaklık Aralığı	400 °C'ye kadar
Termal Hassasiyet	20...400 °C < $\pm 2\%$ 200...300 °C < $\pm 0,5\%$
Kapasidans	7 pF
Ağırlığı (Kablosuz)	5 gr
Montaj Torku	1,5 Nm

AVL Encoder 365C

Krank açısına bağlı olarak silindir konumunu belirlemek üzere encoder cihazı kullanılmıştır.



Şekil 2.9 Testlerde kullanılan encoder ve elemanları

Data Toplama Ünitesi (AVL Indiset 620 ve AVL Amplifier 3066A03)

Indiset modülüne monte edilmiş olan amplifier ile encoder ve sensörlerden gelen voltaj yükseltip filtre edilir. Bu şekilde indiset modülüne sevk edilir.



Şekil 2.10 Silindir içi basınç ölçme düzeni veri toplayıcısı

Çizelge 2.3 Voltaj yükseltecinin teknik özellikleri

Kanal sayısı	2
Ölçüm aralığı	100 ile 16000 pC 10V çıkış voltajı için
Ölçüm aralığı ayarları	1,2,5,10,20,50 bar/V
Dönüştürücü hassasiyeti	1,00 ... 99,9 pC/bar
Doğrusallık	$<\pm 0,01$ % FSO
Frekansı	200 kHz
Çıkış voltaj aralığı	(-)10 V ile (+)10 V

İndiset modülünde datalar toplanıp silindir içi basınç değerleri PC'ye aktarılır.

İs Ölçümü (AVL 415)

İs ölçümü, AVL 415 cihazı ile ve filtreleme kağıdı yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntem ile çok düşük değerleri ölçebilecek hassasiyet yakalanmıştır. Cihazın probu egzoz hattına bağlandı. Filtreleme kağıdındaki siyahlık reflektometre ile ölçülmektedir. Bu ölçüm değeri is miktarını vermektedir.



Şekil 2.11 İs ölçüm cihazı



Şekil 2.12 Test düzeneği



Şekil 2.13 Test düzeneğine bağlanmış deney motoru

2.3 Testlerde Kullanılan Yakıt

Testlerde kullanılan motorine (50 ppm) (EN590) ait teknik spesifikasyonlar şu şekildedir.

Çizelge 2.4 Testlerde kullanılan yakıtın teknik özellikleri

No	Özellik	Birim	Değer	Sınır	Deney Yöntemi	Sonuç
1	Yoğunluk(15 °C' ta)	kg/m ³	820-845		TS 1013 EN ISO 3675	831,8
2	Polisiklik Aromatic Hidrokarbonlar	% ağırlık	11	En çok	TS EN 12916	2
3	Parlama Noktası	°C	55	En az	TS 1273 EN 22719	76
4	Soğuk Filtre Tıkanma Noktası(SFTN)	°C			TS EN 116	
	Kış (a)		-15	En çok		-2
	Yaz (b)		5	En çok		
5	Damıtma				TS 1232 EN ISO 3405	
	250°C' ta elde edilen	% hacim	65	En çok		21,8
	350°C' ta elde edilen	% hacim	85	En az		92,8
	360°C' ta elde edilen	% hacim	95	En az		96,2
6	Kükürt	mg/kg	50	En çok	TS EN ISO 20846	38,9
7	Karbon Kalıntısı (%10 damıtma kalıntısından)	% ağırlık	0,3	En çok	TS 6148 EN ISO 10370	0,01
8	Viskozite (40 °C 'ta)	cst	2,0- 4,5		TS 1451 EN ISO 3104	3,48
9	Bakır Şerit Korozyonu (3 saat 50 °C' ta)	Derece	No.1	En çok	TS 2741 EN ISO 2160	No.1a
10	Kül	% ağırlık	0,01	En çok	TS 1327 EN ISO 6245	0,0002
11	Setan indisi	hesapla	46	En az	TS 2883 EN ISO 4264	59,1
12	Setan sayısı		51	En az		65,5
13	Su	mg/kg	200	En çok	TS 6147 EN ISO 12937	200
14	Toplam kirlilik	mg/kg	24	En çok	TS EN 12662	2,89
15	Oksidasyon kararlılığı	g/m ³	25	En çok	TS EN ISO 12205	1,43
16	Yağlama özelliği(wsd) 60 °C' ta düzeltilmiş aşınma izi çağı	µm	460	En çok	TS EN ISO 12156-1	426

* 1Ekim-31Mart (± 15 gün)

** 1Nisan-30 Eylül (± 15 gün)

2.4 Kullanılan Yöntem

Dizel motor teknolojisindeki birçok önemli gelişme, güçte artış, yakıt tüketimi, motor gürültüsü ve egzoz emisyonlarında azalma sağlamıştır. Bunlardan bir tanesi de ortak yakıt yollu yakıt enjeksiyon sistemidir.

Bu sistem, direkt enjeksiyonlu dizel motorlara kolay adaptasyonu ve yüksek verimleri nedeniyle dizel motorlarında yüksek oranda kullanılmaya başlamıştır. Aynı zamanda ortak yakıt yollu enjeksiyon basıncının yüksek olması ve kontrol mekanizmasının esnekliği ile de dikkatleri üzerine çekmiştir. Dizel elektronik sistemlerinde kullanılan solenoid valftaki gelişmeler, enjeksiyon zamanlamasının daha hassas olmasını sağlamış ve böylece yanma verimi artmıştır.

Bu çalışmada yapılan testlerde kullanılan deney motorunda da ortak yakıt yollu enjeksiyon sistemi bulunmaktadır. Bu sistemde enjeksiyon basıncı, motor hızı ve enjekte edilecek yakıt miktarı birbirinden bağımsız olarak çalışır. Püskürtmeye hazır durumdaki yakıt, basınç altında ortak yakıt yolunda depo edilir. Motorun hız ve yük şartları sürücü tarafından tanımlanırken, enjeksiyon başlangıcı ve enjeksiyon süresi EKÜ tarafından hesaplanarak solenoid tetiklenir.

Bu çalışmada, yakıt sisteminin özelliklerinde yararlanarak püskürtmenin fazlara ayrılmasının NO_x ve is oluşumunu üzerine etkisi incelenmiştir.

Bu yöntemde, silindire önce az miktarda yakıt püskürtülür ve püskürtülen bu yakıt hemen yanarak yanma odasının ısınmasını sağlamaktadır. Böylece esas yanmaya yönelik ideal şartlar oluşturulmuş olmaktadır. Bu püskürtmeye ön enjeksiyon adı verilir. Ardından ana enjeksiyon yapılmaktadır. Testlerin belirlenmesinde püskürtme oranı, püskürtme basıncı, püskürtme avansı ve iki faz arasındaki süre parametreleri kullanılmıştır.

Yakıt transferi ve zamanlaması her tip yakıt enjeksiyon sisteminde motor torkunu ve çıkış gücünü, yakıt tasarrufunu, emisyonları etkileyen ana parametrelerdir. Yakıt transferi püskürtme basıncının ve süresinin bir fonksiyonudur. Ortak yakıt yolu enjeksiyon sistemlerinde enjeksiyon zamanlamasıyla birlikte bu iki parametre de klasik yakıt sistemlerinde bulunandan daha sıkı aralıklarda kontrol edilebilir. Belirli yakıt miktarları farklı basınçlarda farklı zamanlarda verilen enerjiyle transfer edilebilir.

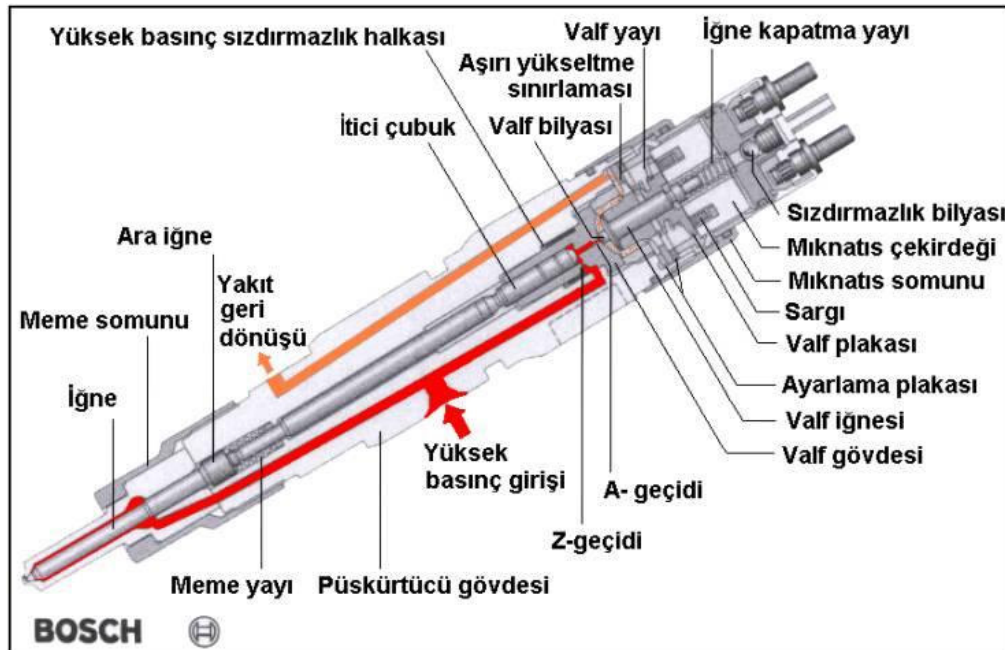
Modern dizel motorlarda başlangıçtaki enjeksiyon oranının (oran değişimi) kesin kontrolüne ihtiyaç vardır. Örneğin, tutuşma gecikmesi çalışma koşullarına bağlıdır ve araç hızlanırken sabit hız ve yükte gittiğinde sürdüğünden daha uzun sürecektir. Ayrıca, turbo

üniteli motorlarda hızlanma sırasında bir çekiş kaybı (turbo lag) meydana gelir. Uzun süreli bir şehir içi sürüşünden sonra hızlanma sırasında turbo lag ve düşük silindir çeperi ısısına bağlı olarak fazla yanma gürültüsü ve HC emisyonları oluşur. Bu olumsuz etkiler enjeksiyon oranı değişimiyle kontrol edilebilir.

Enjektörler tarafından püskürtülen yakıtın, püskürtme basıncının artması ile birlikte yakıtın enjektörden çıkış hızı artar ve tanecik çapı küçülür. Bu taneciklerin ataleti daha düşük olduğundan nüfuz mesafeleri daha kısadır. Bunun sonucunda tutuşma gecikmesi kısalır, dolayısıyla NO_x oluşumu azalacaktır.

Püskürtme avansının öne alınması tutuşma gecikmesini arttırır. Yanma odası sıcaklığı buna bağlı olarak da NO_x miktarı artacaktır. Yakıt püskürtme başlangıcının gecikmesi durumunda ise eksik yanma meydana gelir, bu durumda da HC ortaya çıkacaktır. Yakıt hava karışımının hareket hızı ve kalitesi yakıt püskürtme başlangıcına bağlıdır, sistem bunu sağlayamaz ise kurum oluşur.

Testlerde ön ve ana enjeksiyon püskürtme oranları (toplam püskürtülen miktar değişmeden) ile iki faz arasındaki sürenin NO_x ve is oluşumu üzerine etkileri de incelenmiştir. Test motorundaki enjektörlerin anahtarlanma süresi yaklaşık 0,3 ms'dir, değişikliklere hızlı bir şekilde tepki vermektedir. Aşağıda bu enjektörün yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.14 Enjektör yapısı

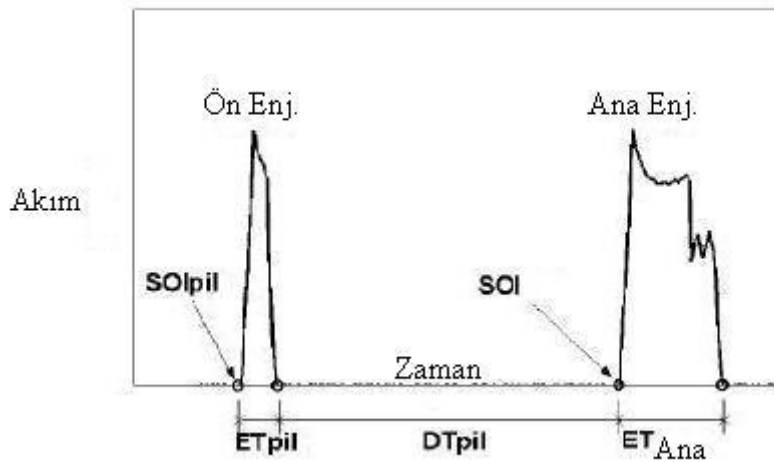
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Testlere başlanmadan deneylerde kullanılacak dizel motorunun tüm kontrolleri (subap ayarı, ...vb.) yapılmıştır. Deneylerden evvel motor orta devirlerde hafif yüklerde çalıştırılıp rejime girmesi sağlanmıştır.

Testlerde; püskürtme basıncı, püskürtme avansı, ön ve ana enjeksiyon püskürtme oranları ile iki faz arasındaki süre ana değişkenlerimiz olmak üzere çalışma noktaları belirlenmiştir. Şöyle ki, üç motor hızı seçilmiş ve her test için iki değişken sabitlenip diğer değişkenin iki faz arasındaki süreden ne derece etkilenecek NO_x ve is oluşumuna sebebiyet verip vermediği incelenmiştir. Toplam 3 ayrı test gerçekleştirilmiştir. Her test için 9 çalışma noktası mevcuttur. Herbir çalışma noktası için iki faz arası süre için 5 ayrı süre için testler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.1 Ön ve ana enjeksiyon arasındaki test süreleri

DT _{pil} (μs)	86	746	1406	2066	2728
------------------------	----	-----	------	------	------



Şekil 3.1 Ön ve ana püskürtme şematik şekli

ET_{pil} : Ön enjeksiyon süresi (Testlerde bu değer sbt. kabul edilmiştir.)

ET_{ana} : Ana enjeksiyon süresi (Testlerde bu değer sbt. kabul edilmiştir.)

DT_{pil} : Ön ve ana enjeksiyon arasındaki süre

SOI_{pil} : Ön enjeksiyon avansı

SOI_{ana} : Ana enjeksiyon avansı (Testlerde bu değer sbt. kabul edilmiştir.)

3.1 Püskürtme Oranı Testi (Test 1)

Test başlangıcında seçilmiş olan üç motor hızı için püskürtme basıncı, püskürtme avansı sabit bırakılmış, püskürtme oranının etkisi incelenmiştir. Püskürtülecek toplam yakıt miktarı değişmeyecek şekilde ön enjeksiyonda toplam yakıtın %5'i, %10'u ve %20'si püskürtülerek testler gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde 9 çalışma noktası belirlenmiştir.

Çizelge 3.2 Püskürtme oranı testi çalışma noktaları

No	Çalışma Noktaları	Motor Hızı	Püs. Basıncı	SOI _{pil}	Ön Enj. Mik.	Ana Enj. Mik.
		(rpm)	(bar)	(CA)	(%)	
1	1428x1000x(-6)x5,95	1428	1000	-6	5%	95%
2	1428x1000x(-6)x10,90	1428	1000	-6	10%	90%
3	1428x1000x(-6)x20,80	1428	1000	-6	20%	80%
4	1779x1000x(-6)x5,95	1779	1000	-6	5%	95%
5	1779x1000x(-6)x10,90	1779	1000	-6	10%	90%
6	1779x1000x(-6)x20,80	1779	1000	-6	20%	80%
7	2130x1000x(-6)x5,95	2130	1000	-6	5%	95%
8	2130x1000x(-6)x10,90	2130	1000	-6	10%	90%
9	2130x1000x(-6)x20,80	2130	1000	-6	20%	80%

Her çalışma noktası için de 86 µs ile 2728 µs arasında değişen 5 ayrı süre üzerinde çalışılmıştır.

3.2 Püskürtme Avansı Testi (Test 2)

Test başlangıcında seçilmiş olan üç motor hızı için püskürtme basıncı, püskürtme oranı sabit bırakılmış, püskürtme avansının etkisi incelenmiştir. Püskürtme oranı olarak %20 ön enjeksiyon değeri sabit olarak alınmıştır. Püskürtme avansı -6 KMA, -4 KMA ve -2 KMA olacak şekilde testler gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde 9 çalışma noktası belirlenmiştir.

Çizelge 3.3 Püskürtme avansı testi çalışma noktaları

No	Çalışma Noktaları	Motor Hızı	Ön Enj. Mik.	Ana Enj. Mik.	Püs. Basıncı	SOI _{pil}
		(rpm)	(%)		(bar)	(CA)
1	1428x20,80x1000x(-6)	1428	20%	80%	1000	-6
2	1428x20,80x1000x(-4)	1428	20%	80%	1000	-4
3	1428x20,80x1000x(-2)	1428	20%	80%	1000	-2
4	1779x20,80x1000x(-6)	1779	20%	80%	1000	-6
5	1779x20,80x1000x(-4)	1779	20%	80%	1000	-4
6	1779x20,80x1000x(-2)	1779	20%	80%	1000	-2
7	2130x20,80x1000x(-6)	2130	20%	80%	1000	-6
8	2130x20,80x1000x(-4)	2130	20%	80%	1000	-4
9	2130x20,80x1000x(-2)	2130	20%	80%	1000	-2

Her çalışma noktası için de 86 µs ile 2728 µs arasında değişen 5 ayrı süre üzerinde çalışılmıştır.

3.3 Püskürtme Basıncı Testi (Test 3)

Test başlangıcında seçilmiş olan üç motor hızı için püskürtme avansı, püskürtme oranı sabit bırakılmış, püskürtme basıncının etkisi incelenmiştir. Püskürtme basıncı 900 bar, 800 bar ve 700 bar olacak şekilde testler gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde 9 çalışma noktası belirlenmiştir.

Çizelge 3.4 Püskürtme basıncı testi çalışma noktaları

No	Çalışma Noktaları	Motor Hızı	Ön Enj. Mik.	Ana Enj. Mik.	SOI _{pil}	Püs. Basıncı
		(rpm)	(%)		(CA)	(bar)
1	1428x20,80x(-6)x900	1428	20%	80%	-6	900
2	1428x20,80x(-6)x800	1428	20%	80%	-6	800
3	1428x20,80x(-6)x700	1428	20%	80%	-6	700
4	1779x20,80x(-6)x900	1779	20%	80%	-6	900
5	1779x20,80x(-6)x800	1779	20%	80%	-6	800
6	1779x20,80x(-6)x700	1779	20%	80%	-6	700
7	2130x20,80x(-6)x900	2130	20%	80%	-6	900
8	2130x20,80x(-6)x800	2130	20%	80%	-6	800
9	2130x20,80x(-6)x700	2130	20%	80%	-6	700

Her çalışma noktası için de 86 µs ile 2728 µs arasında değişen 5 ayrı süre üzerinde çalışılmıştır.

4. DEĞERLENDİRME

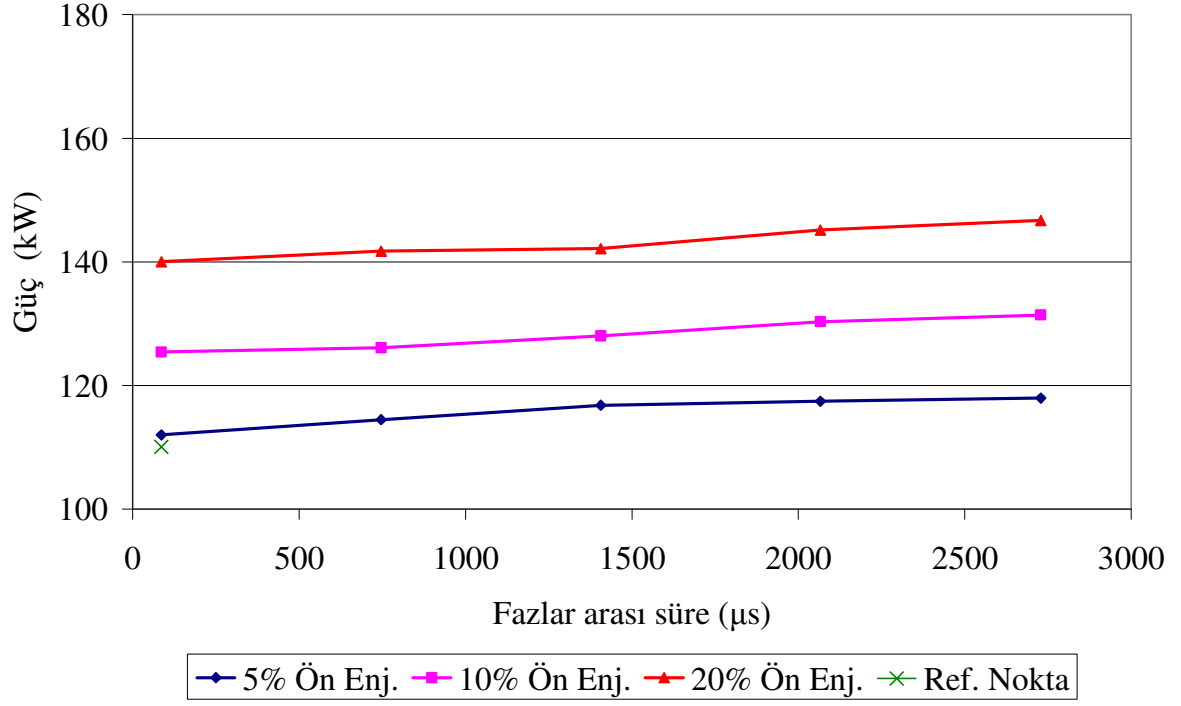
Bu bölümde, her test için belirlenen 9 ayrı çalışma noktasında iki faz arasındaki sürenin değiştirilmesiyle elde edilen test sonuçları değerlendirilmiştir. Tüm testlerde püskürtme ön ve ana püskürtme olmak üzere 2 fazda uygulanmıştır.

Literatür araştırmasında da gördüğümüz üzere püskürtme faz sayısını 2 fazdan daha arttırdığımızda silindir içi basınç ve sıcaklıkları artmakta dolayısıyla NO_x oluşumu artma eğilimi göstermektedir. (Felice E.Corcione, Bianca M.Vaglieco, Giuseppe E.Corcione ve Mario Lavorgna, 2002)

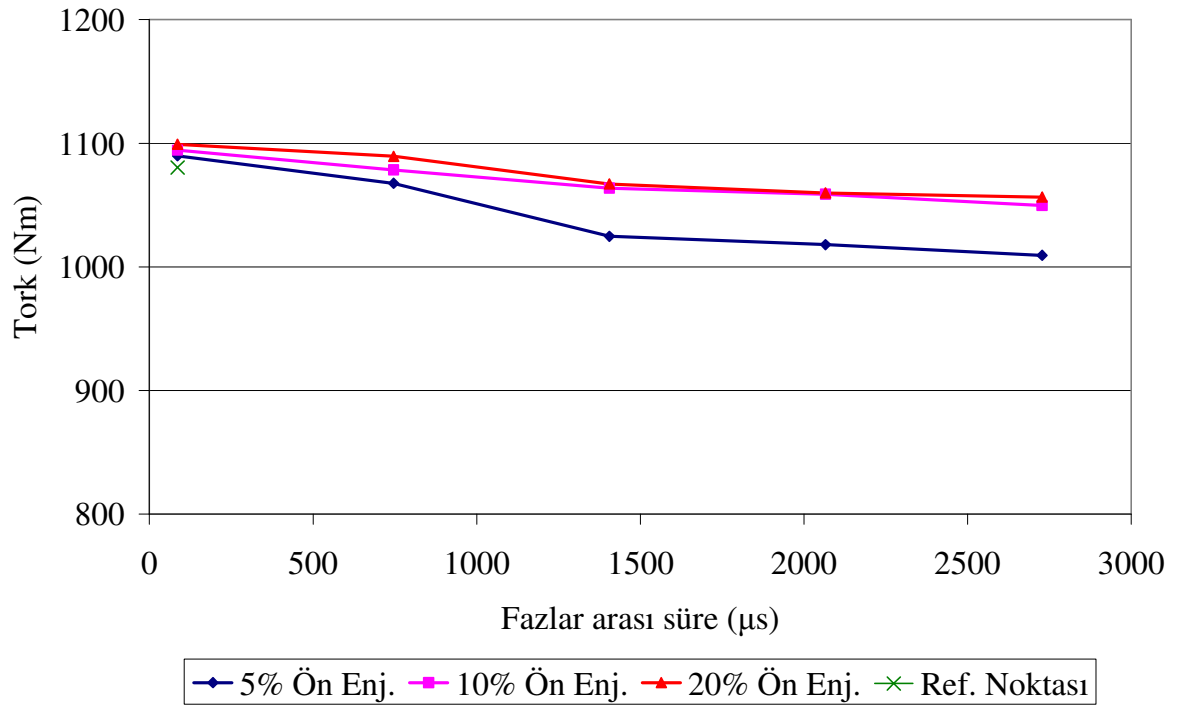
Her testte (püskürtme oranı, püskürtme basıncı ve püskürtme avansı) iki faz arasındaki sürenin tork, güç, özgül yakıt tüketimi, silindir içi basınçları, NO_x , is, HC ve CO üzerine etkisi incelenmiştir.

4.1 Püskürtme Oranı Testi (Test 1)

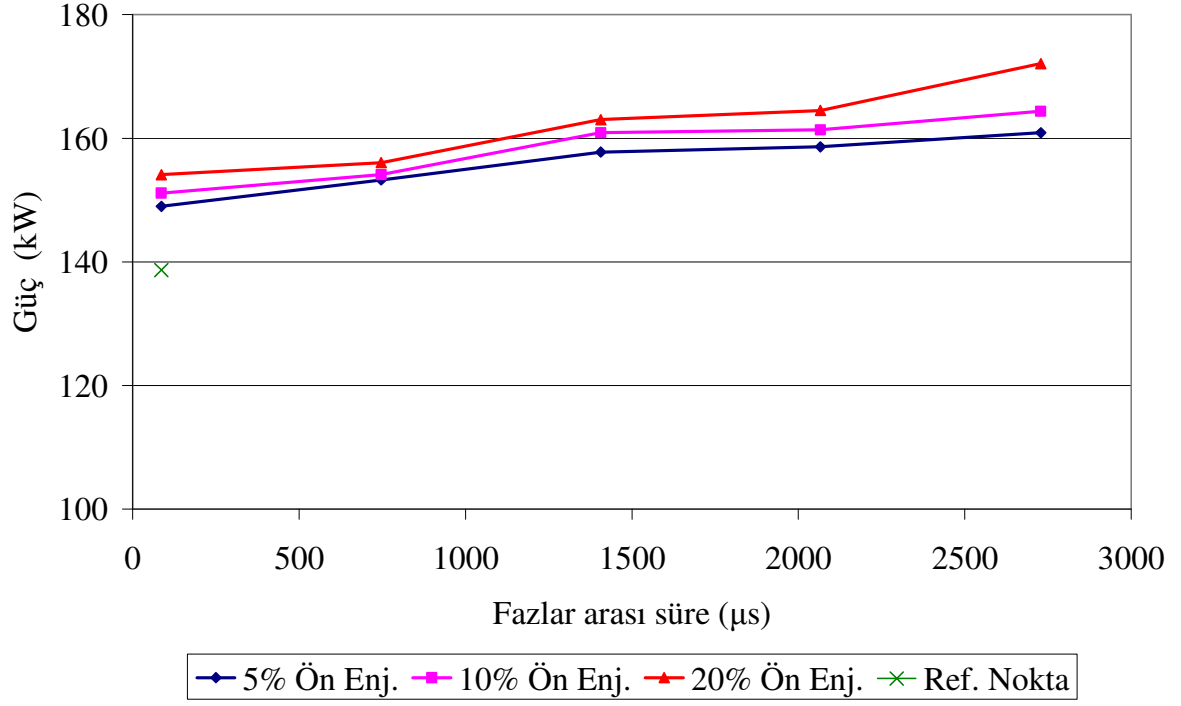
İlk olarak püskürtme oranı testlerinde 1428 rpm, 1779 rpm ve 2130 rpm motor hızlarında 5%, 10% ve 20% ön püskürtme oranı için iki faz arası sürenin tork ve güce etkisi incelenmiştir. Referans noktası ise ön püskürtmesiz yapılan ölçümdür.



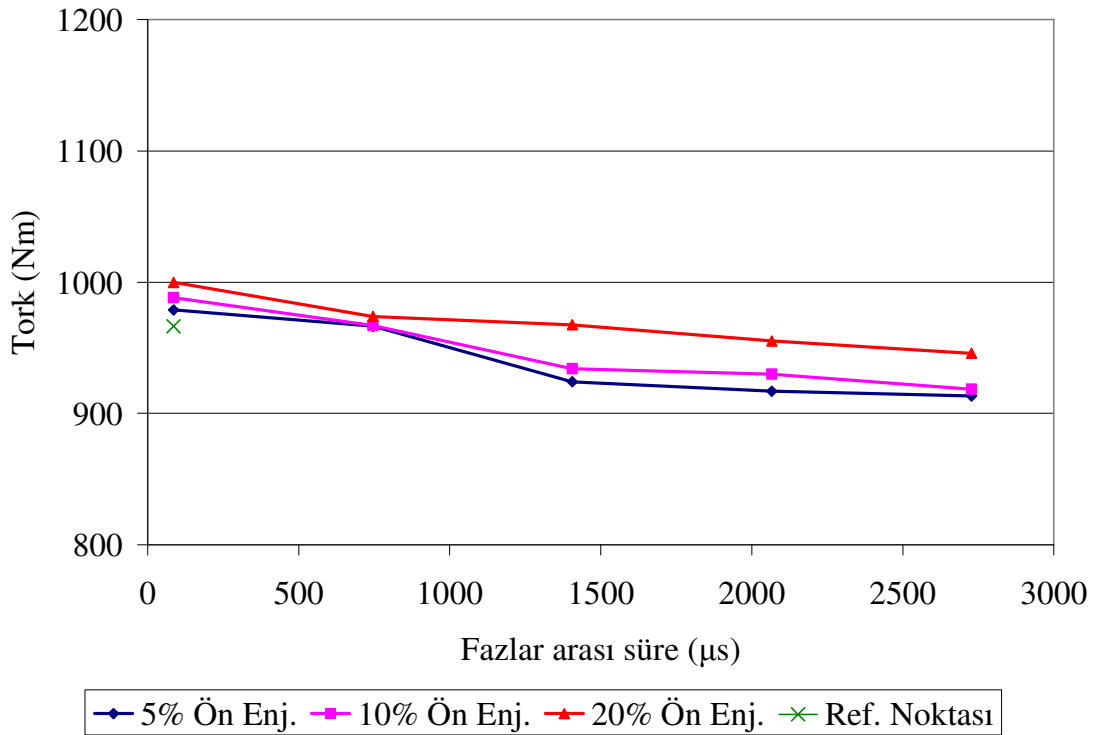
Şekil 4.1 1428x1000x(-6) çalışma noktalarında güç grafiği



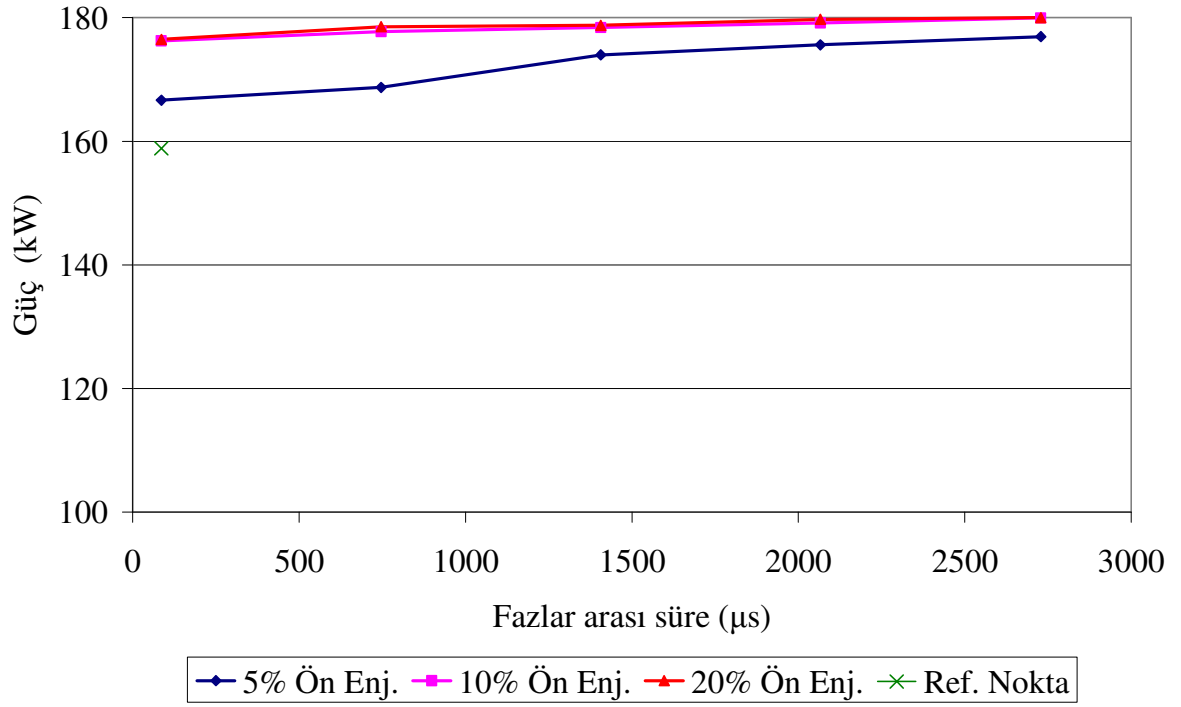
Şekil 4.2 1428x1000x(-6) çalışma noktalarında tork grafiği



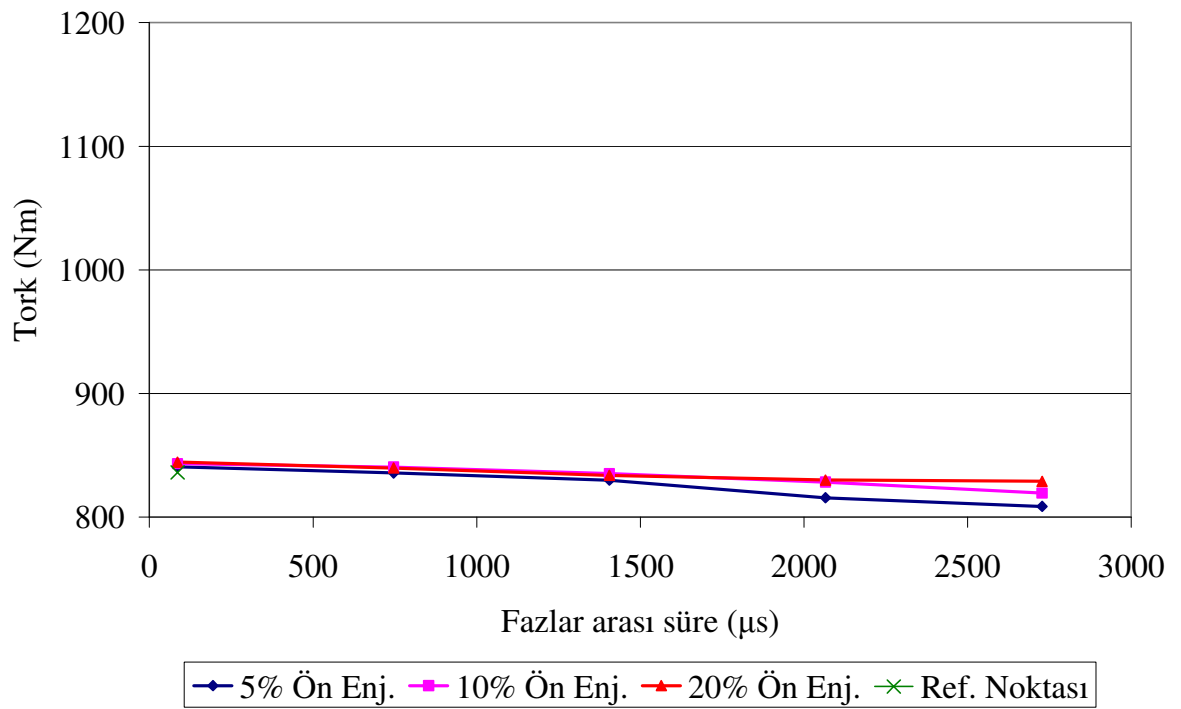
Şekil 4.3 1779x1000x(-6) çalışma noktalarında güç grafiği



Şekil 4.4 1779x1000x(-6) çalışma noktalarında tork grafiği

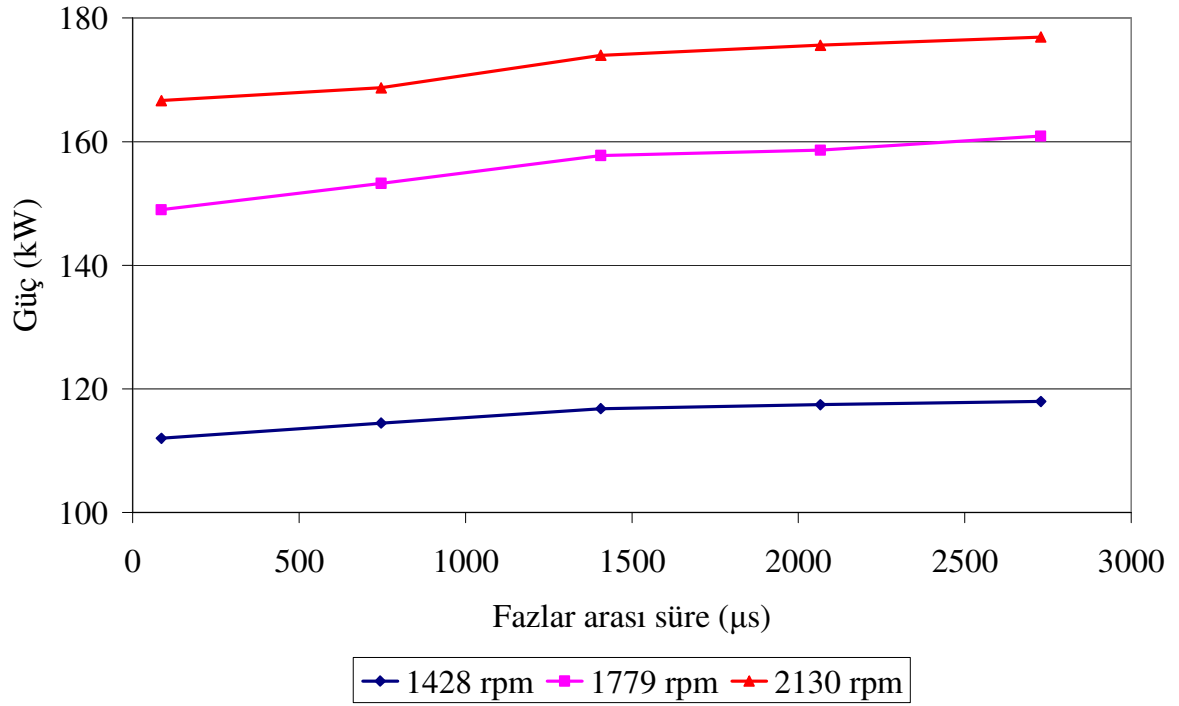


Şekil 4.5 2130x1000x(-6) çalışma noktalarında güç grafiği

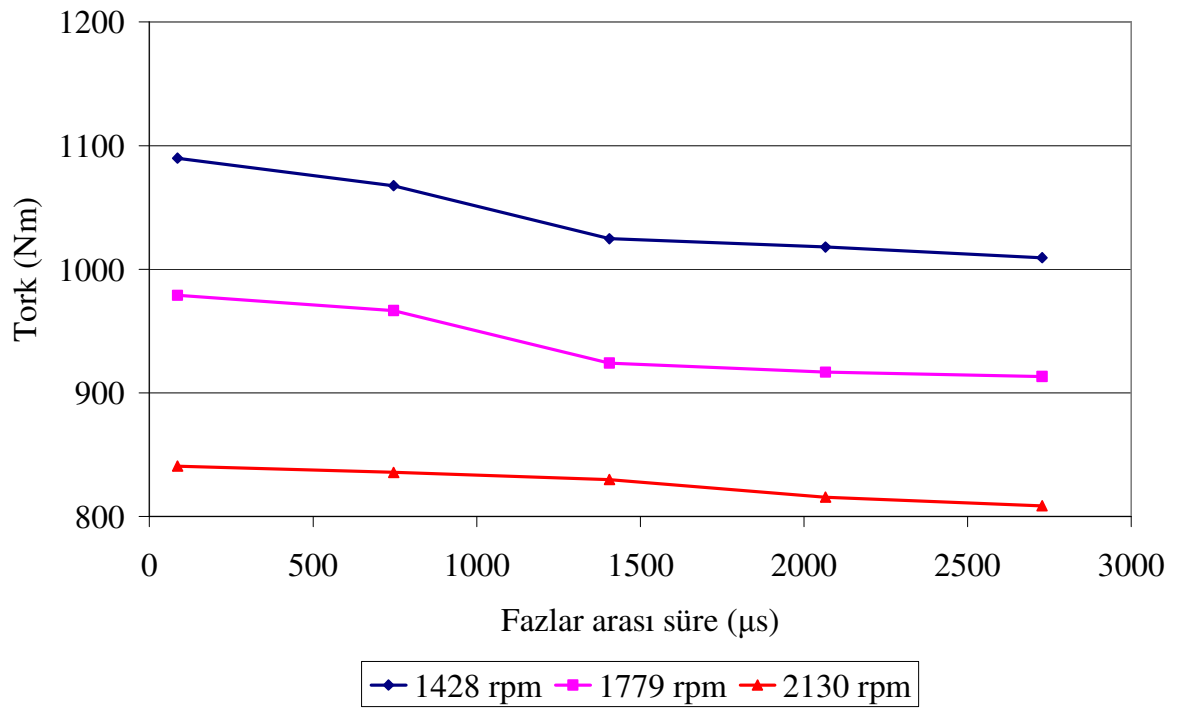


Şekil 4.6 2130x1000x(-6) çalışma noktalarında tork grafiği

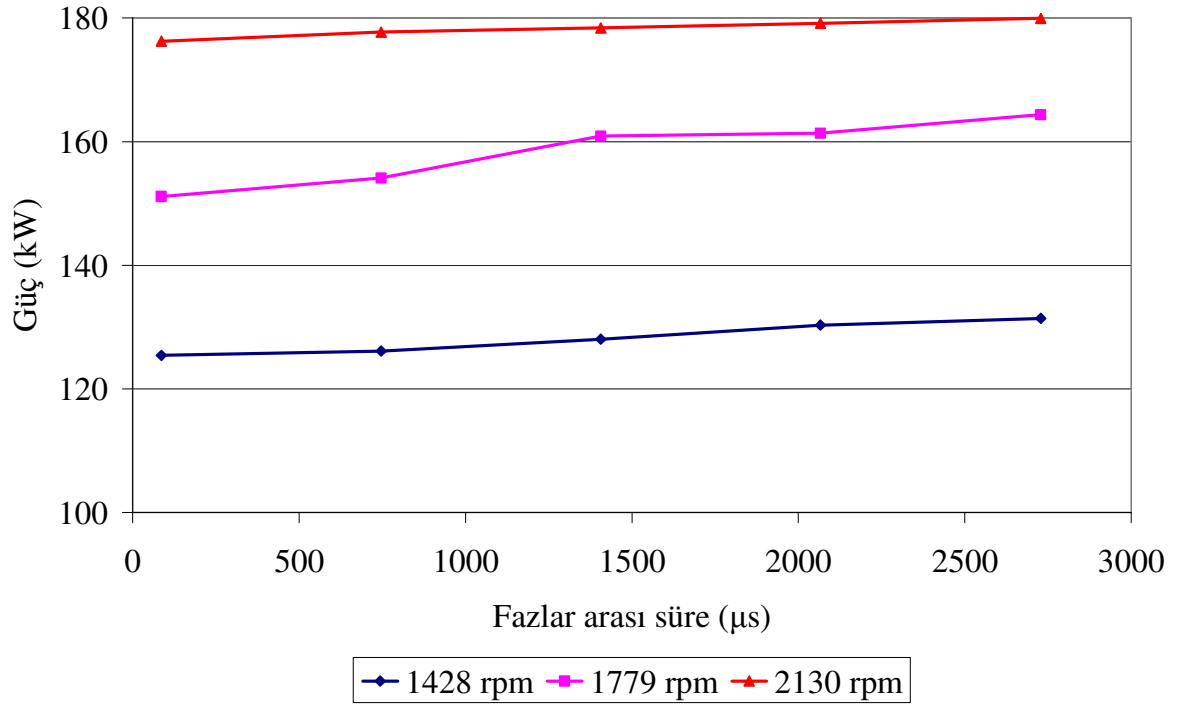
Motor hızına göre her bir ön enjeksiyon oranındaki tork ve güç karşılaştırılsa;



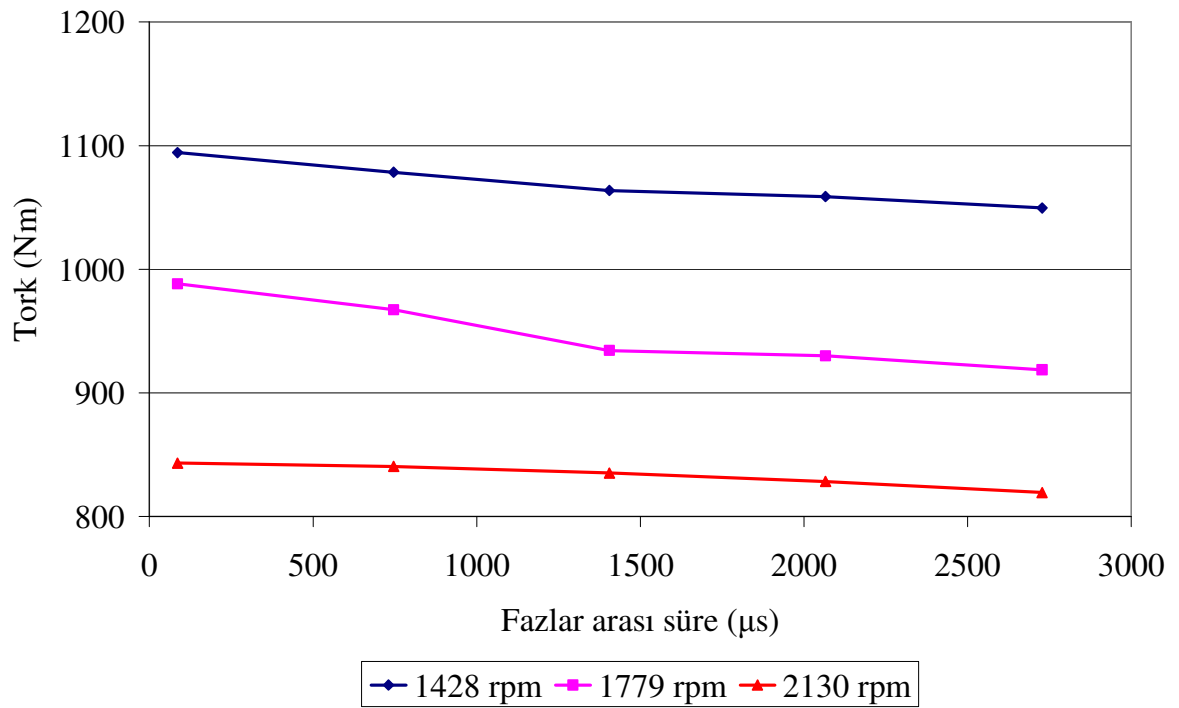
Şekil 4.7 1000x(-6)x5% çalışma noktalarında güç grafiği



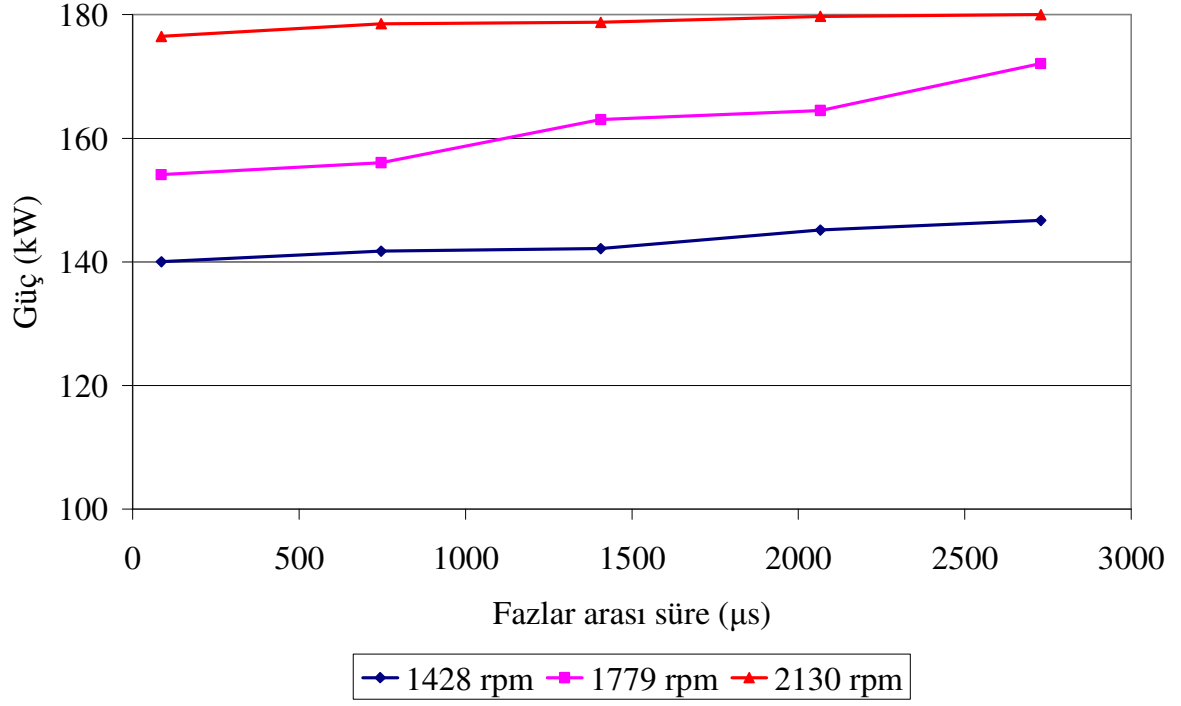
Şekil 4.8 1000x(-6)x5% çalışma noktalarında tork grafiği



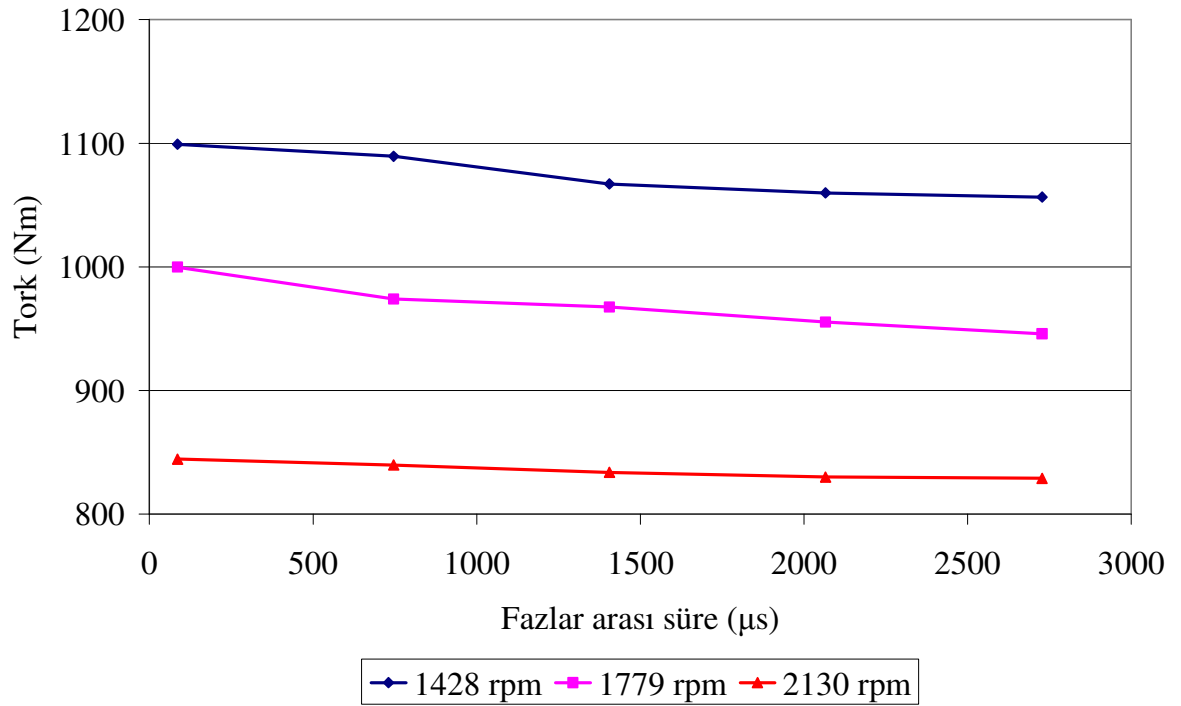
Şekil 4.9 1000x(-6)x10% çalışma noktalarında güç grafiği



Şekil 4.10 1000x(-6)x10% çalışma noktalarında tork grafiği

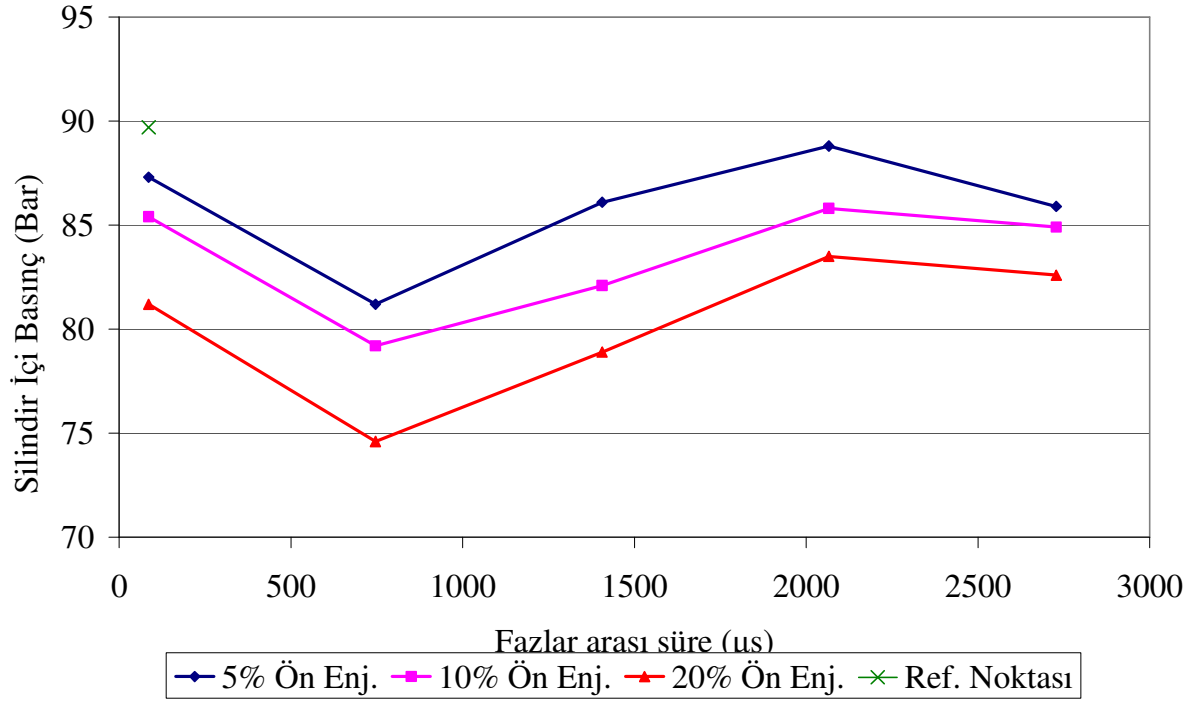


Şekil 4.11 1000x(-6)x20% çalışma noktalarında güç grafiği

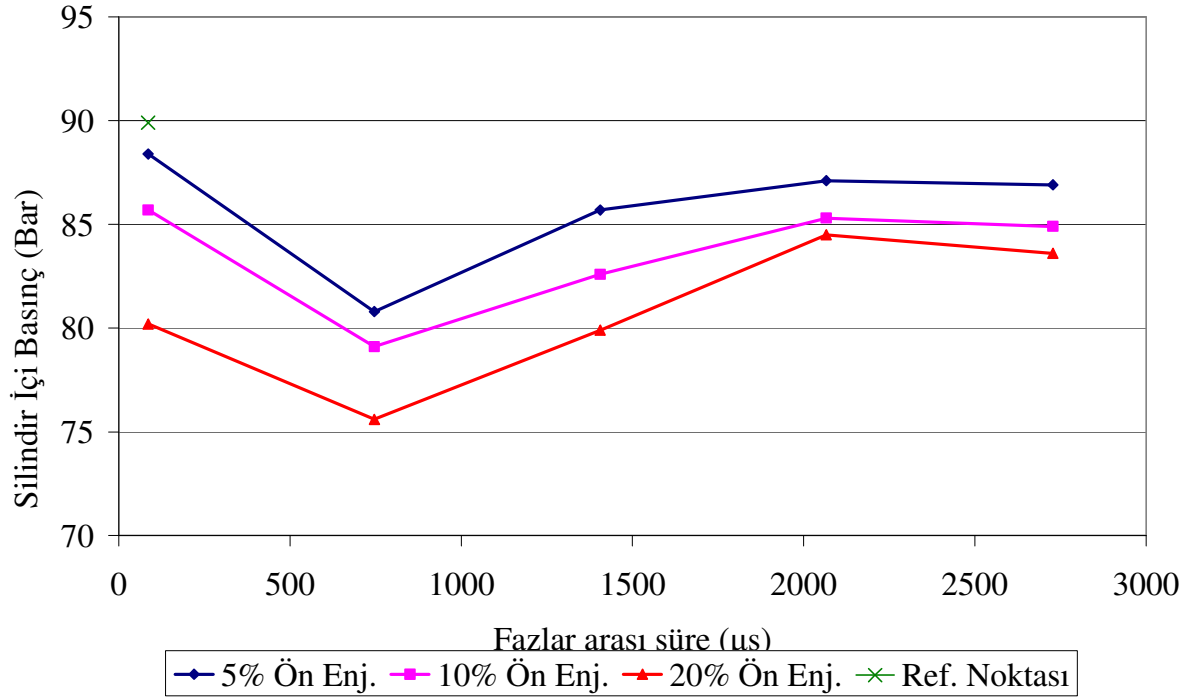


Şekil 4.12 1000x(-6)x20% çalışma noktalarında tork grafiği

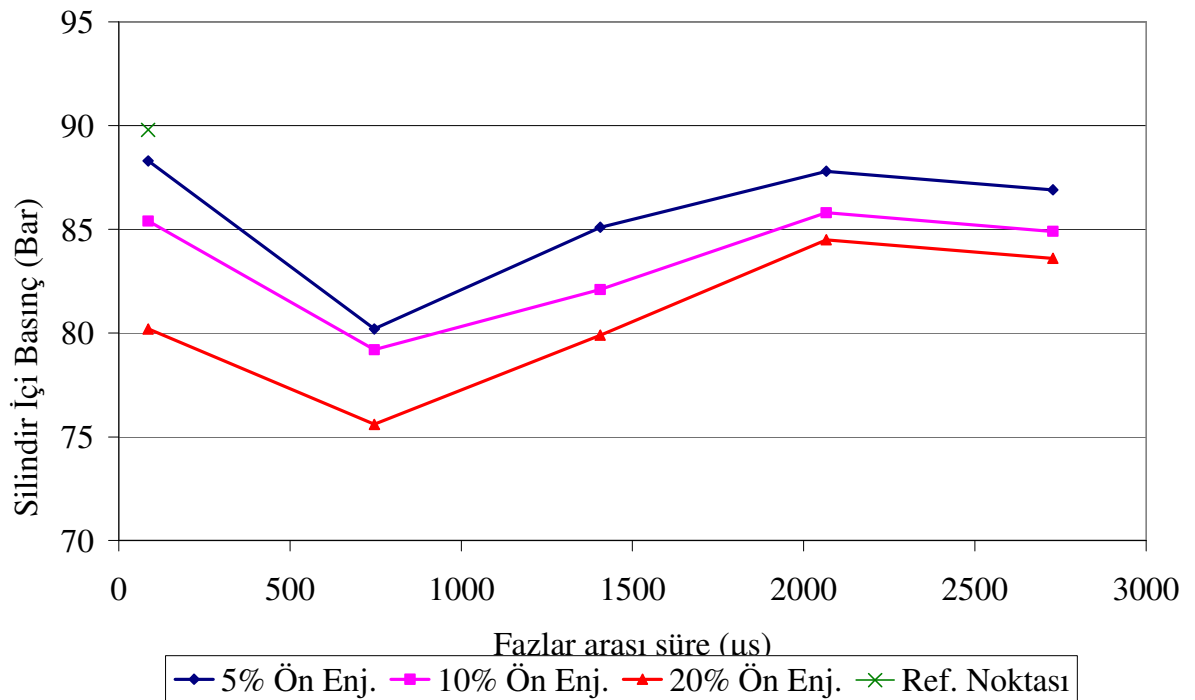
Silindir içi basınç değişimlerini incelediğimizde, en fazla NO_x oluşumunun silindir içi basıncının en yüksek olduğu noktalarda oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.13 1428x1000x(-6) çalışma noktasında silindir içi basıncı değişimi

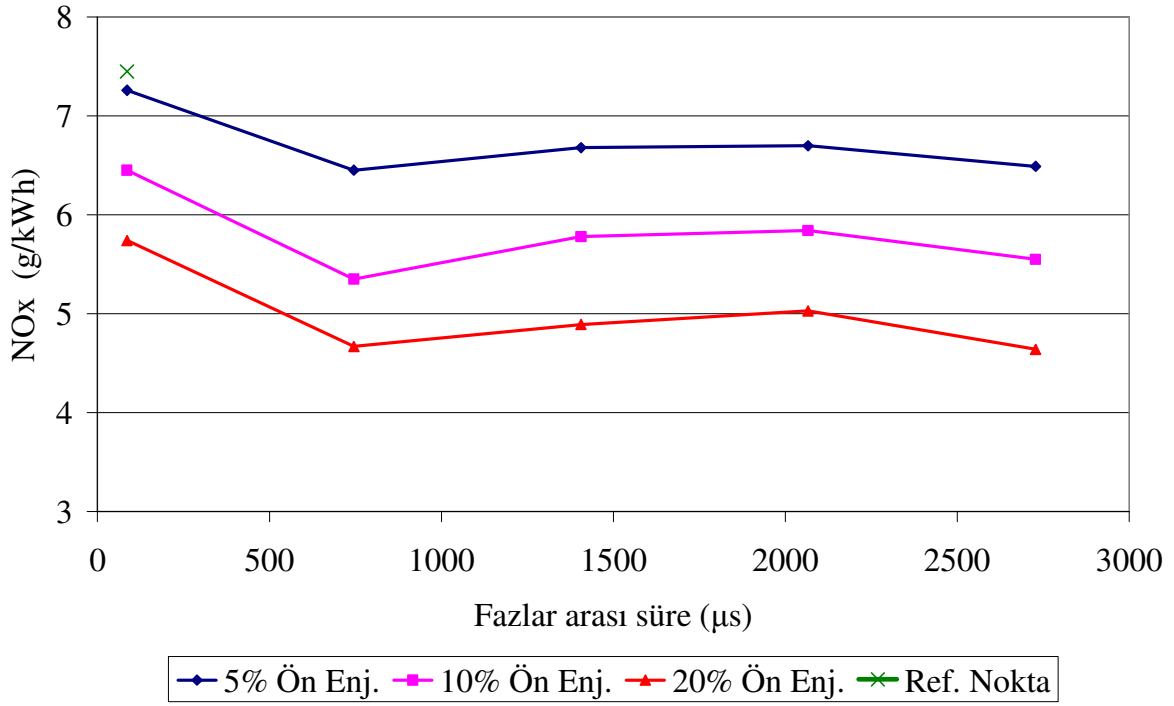


Şekil 4.14 1779x1000x(-6) çalışma noktasında silindir içi basıncı değişimi

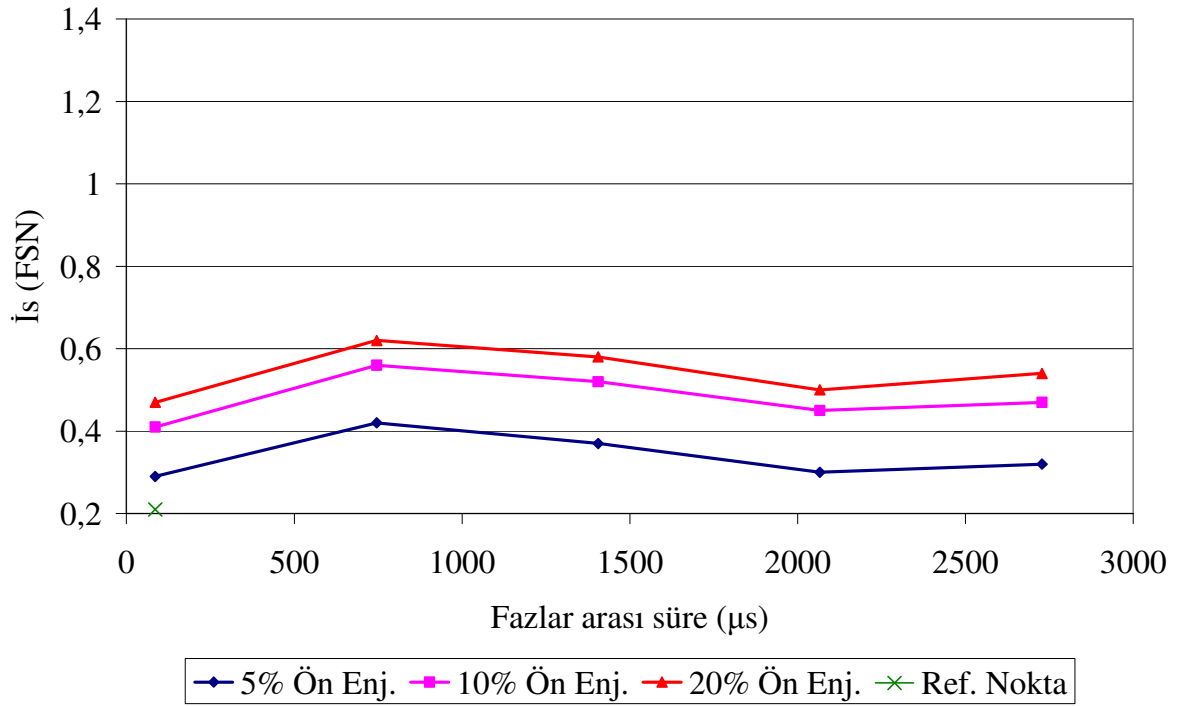


Şekil 4.15 2130x1000x(-6) çalışma noktasında silindir içi basıncı değişimi

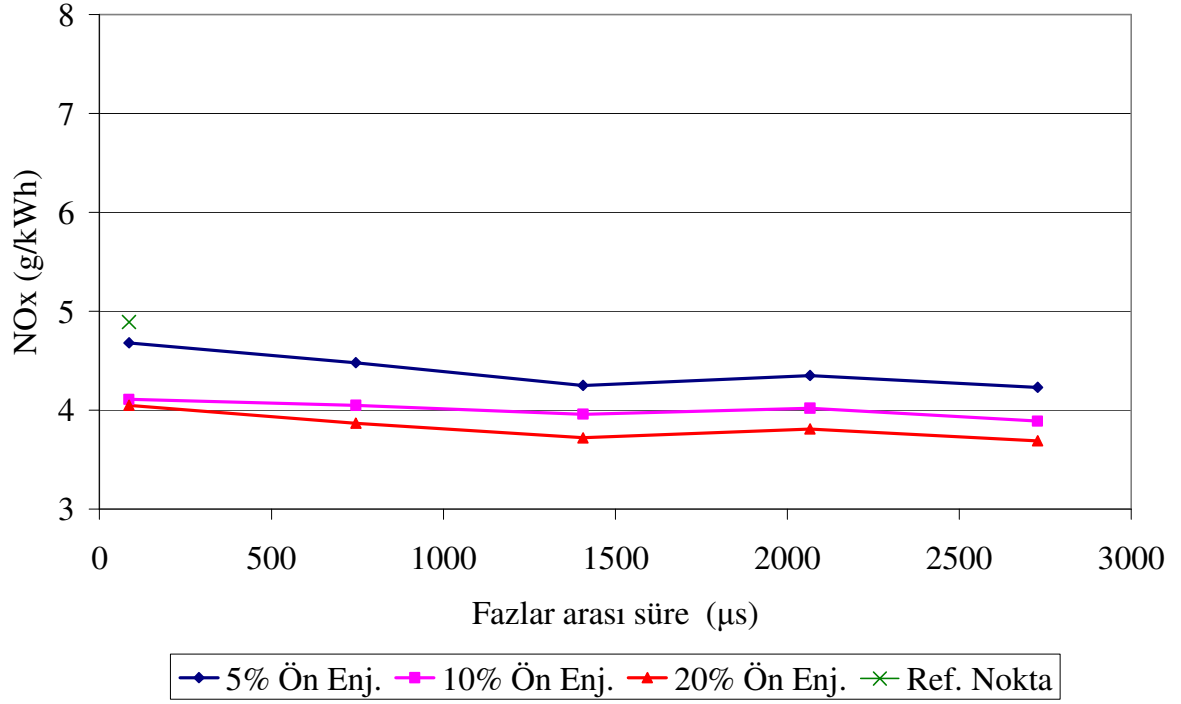
Üç motor hızında 5%, 10% ve 20% ön püskürtme oranı için iki faz arası sürenin NO_x , $\dot{I}_s$, HC ve CO oluşumuna etkisi incelenmiştir. Referans noktası ön püskürtmesiz yapılan ölçümdür.



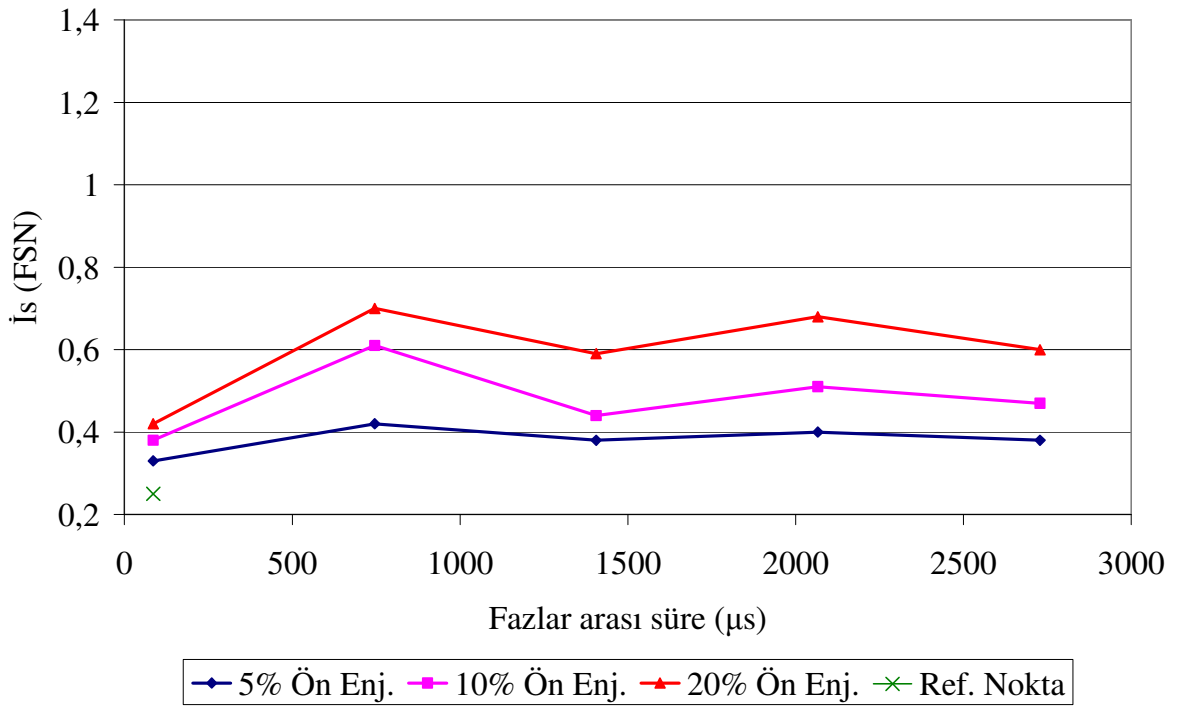
Şekil 4.16 1428x1000x(-6) çalışma noktasında NO_x oluşumu



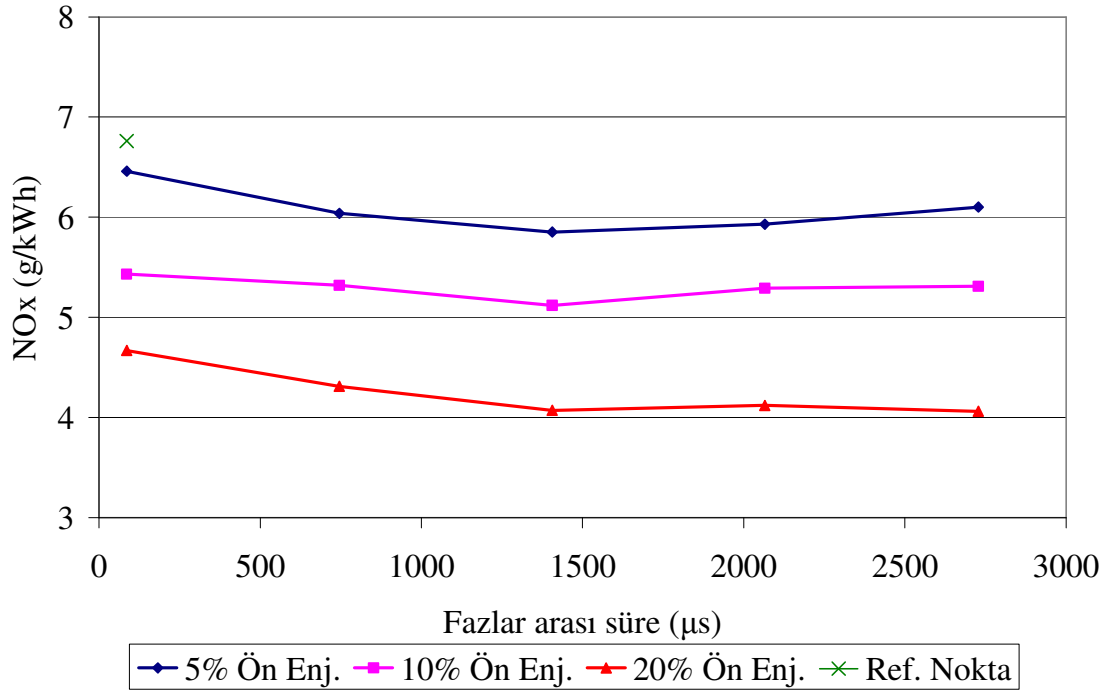
Şekil 4.17 1428x1000x(-6) çalışma noktasında $\dot{I}_s$ oluşumu



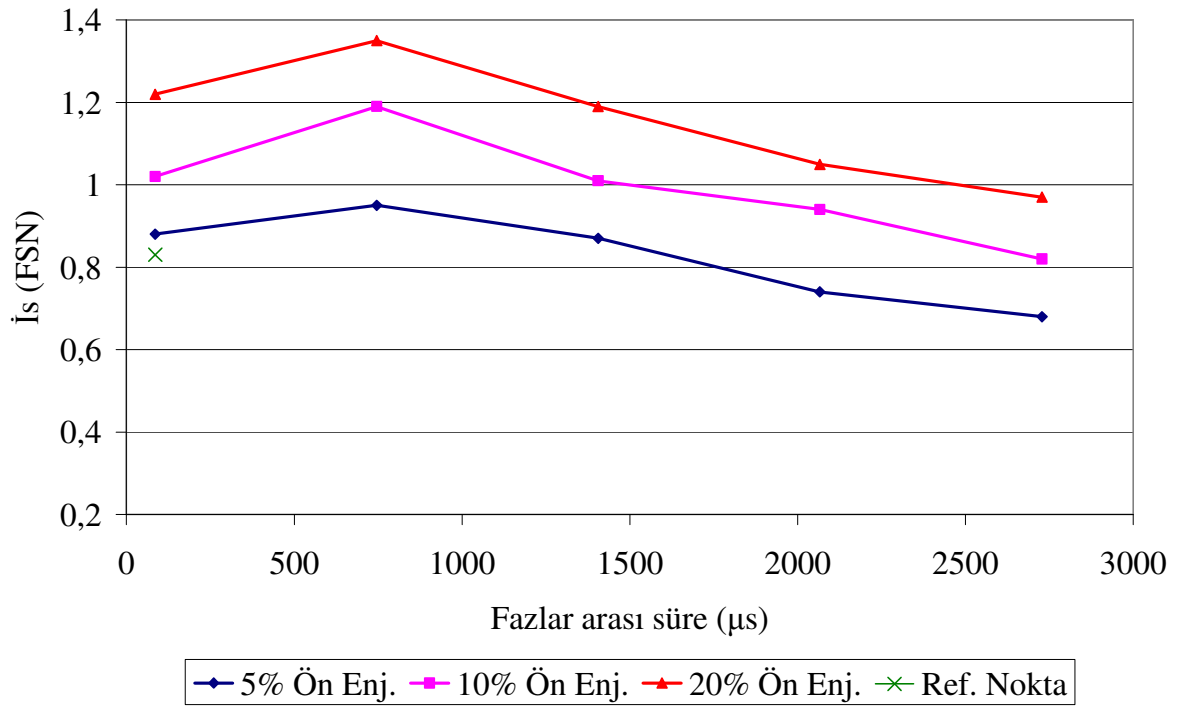
Şekil 4.18 1779x1000x(-6) çalışma noktasında NO_x oluşumu



Şekil 4.19 1779x1000x(-6) çalışma noktasında is oluşumu

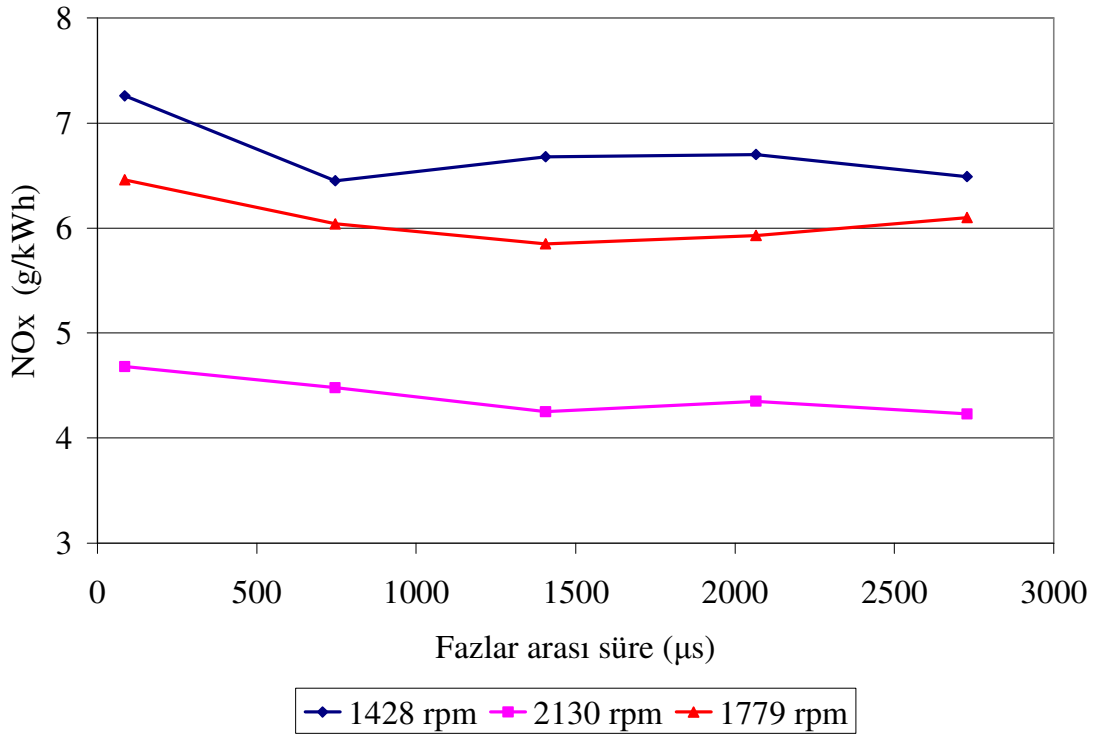


Şekil 4.20 2130x1000x(-6) çalışma noktasında NO_x oluşumu

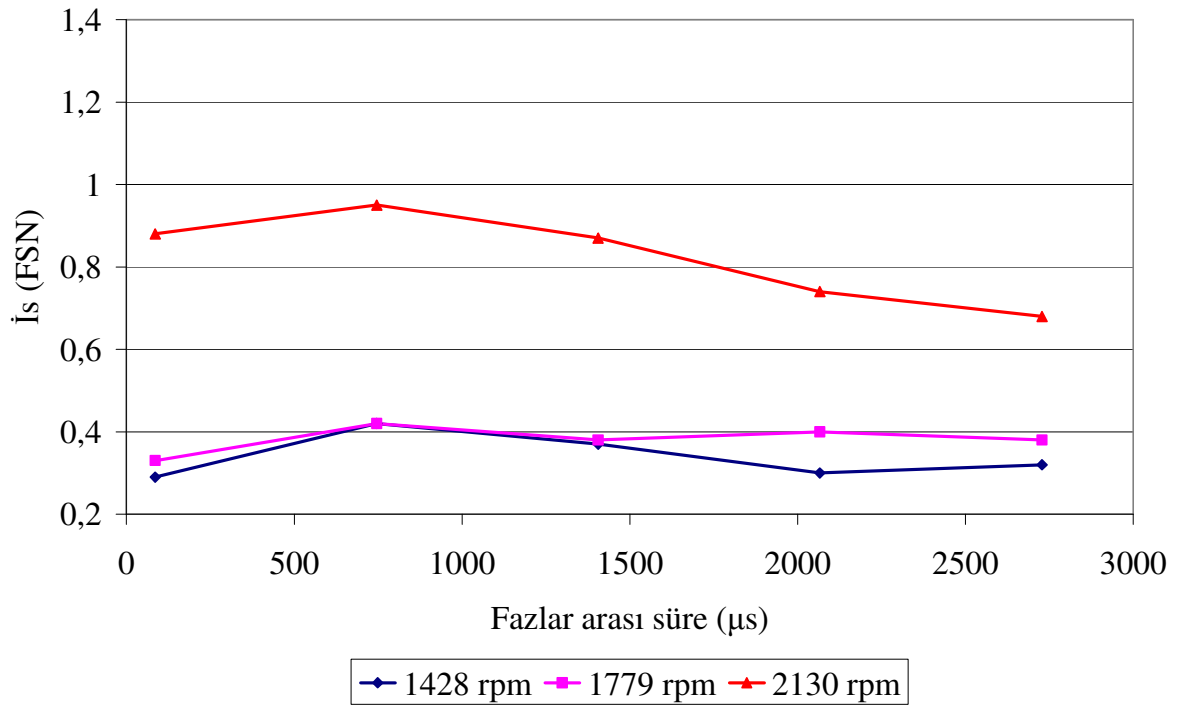


Şekil 4.21 2130x1000x(-6) çalışma noktasında is oluşumu

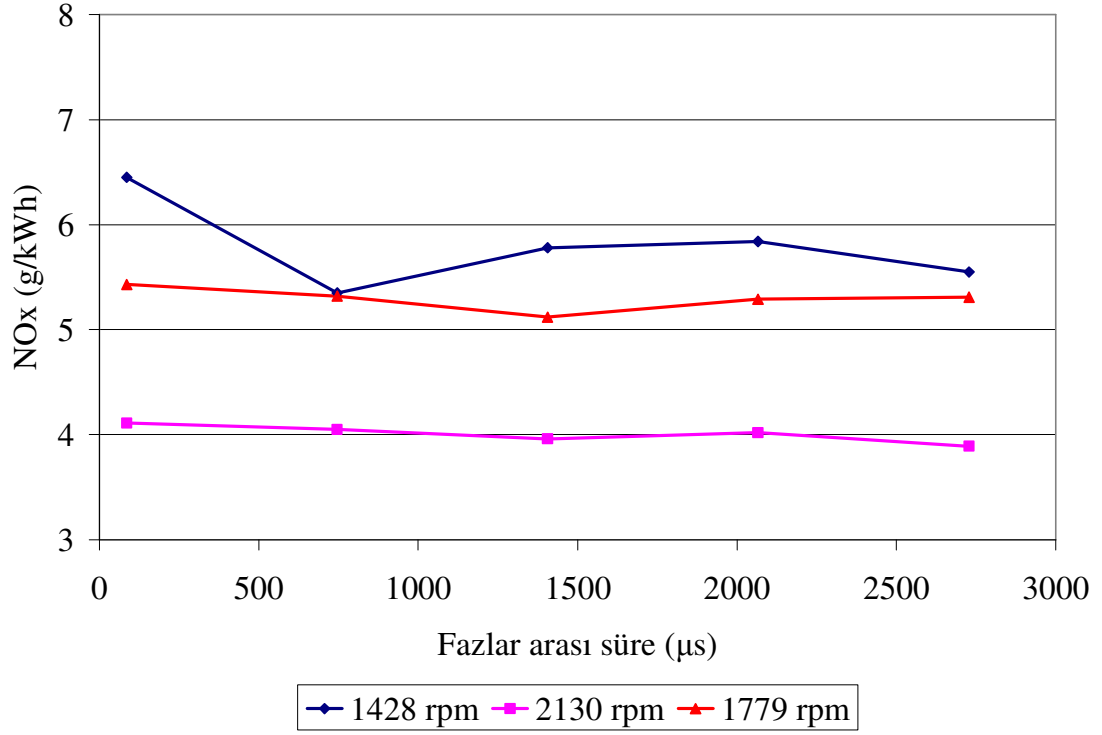
Motor hızına göre her bir ön enjeksiyon oranındaki NO_x ve is oluşumunu karşılaştırsak;



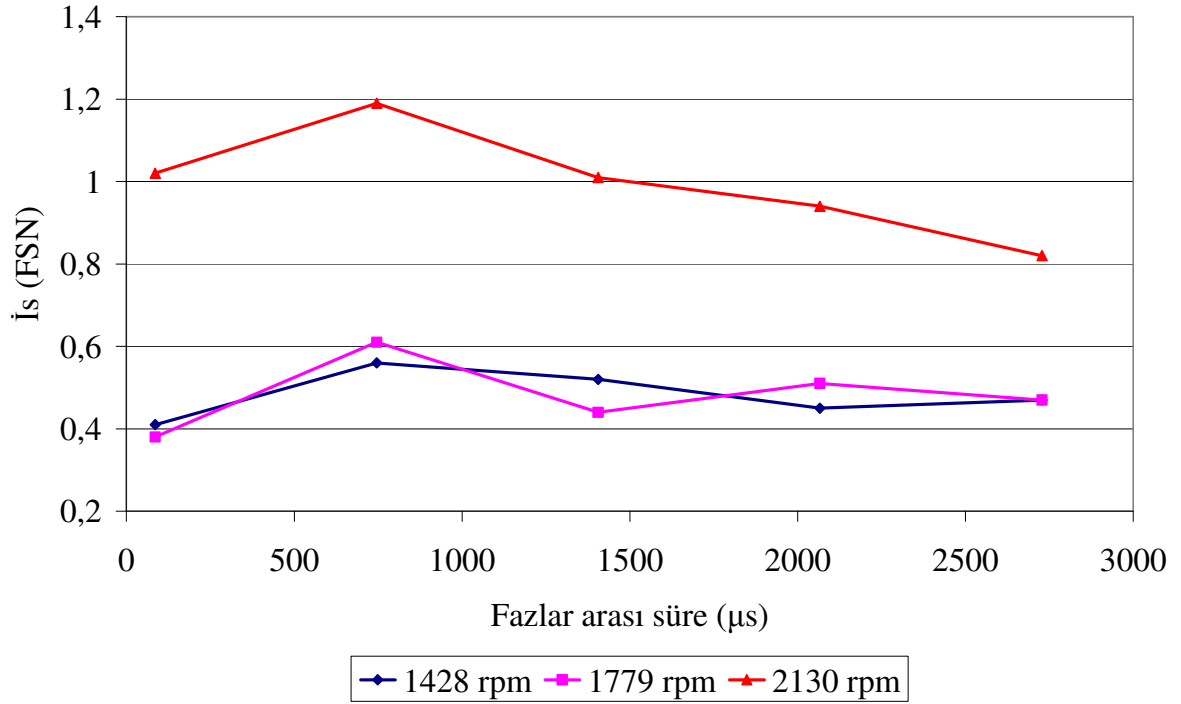
Şekil 4.22 $1000 \times (-6) \times 5\%$ çalışma noktasında NO_x oluşumu



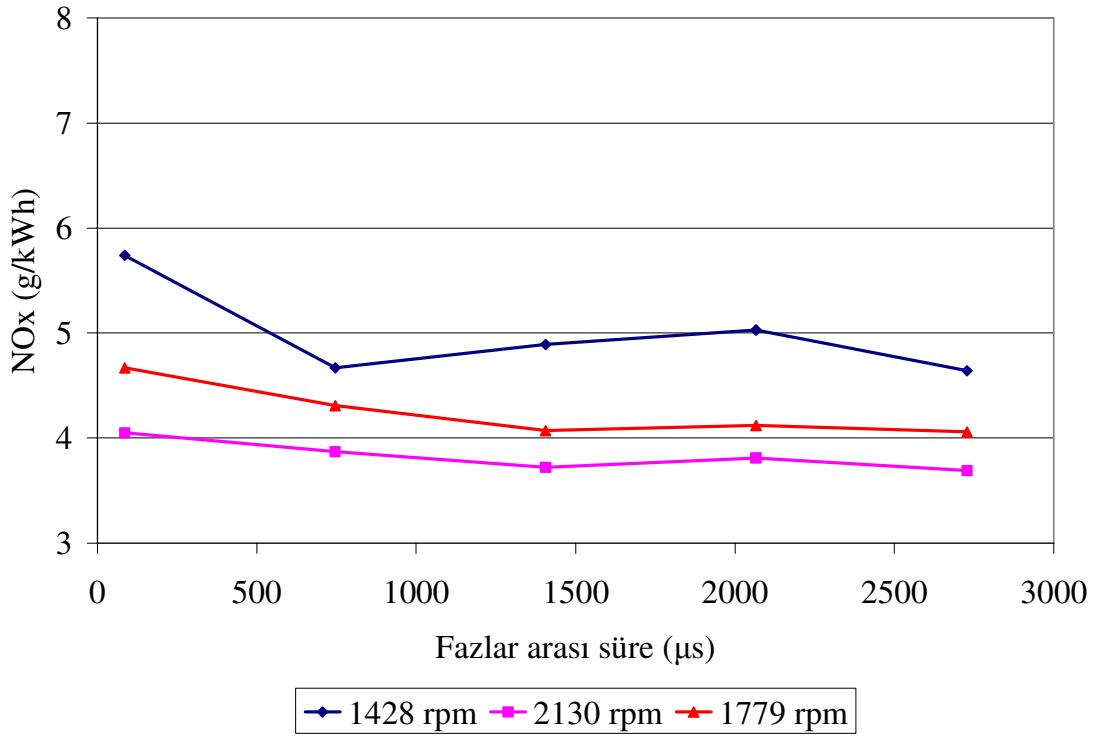
Şekil 4.23 $1000 \times (-6) \times 5\%$ çalışma noktasında is oluşumu



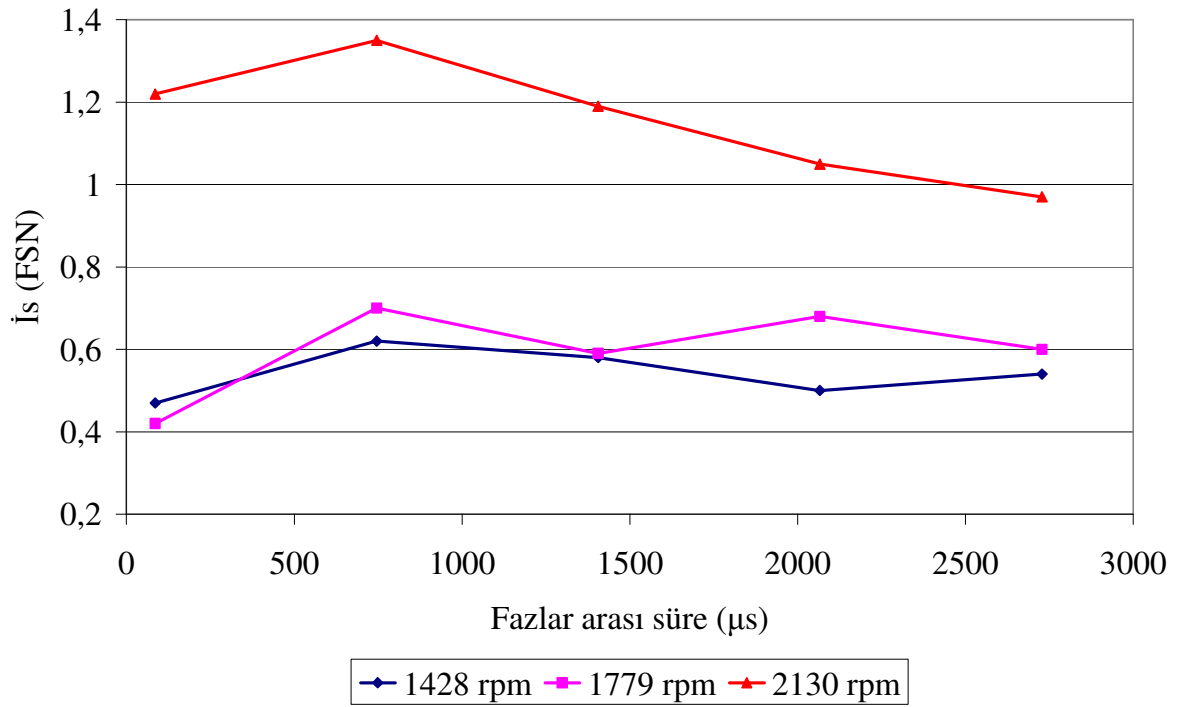
Şekil 4.24 1000x(-6)x 10% çalışma noktasında NO_x oluşumu



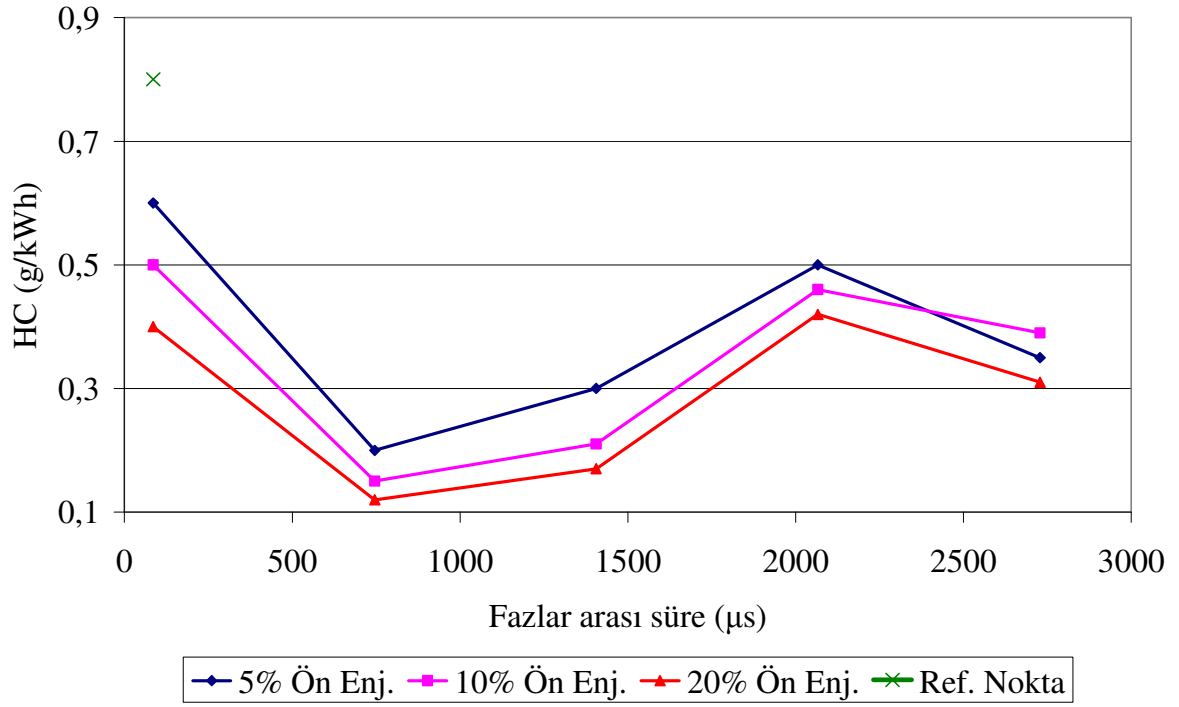
Şekil 4.25 1000x(-6)x 10% çalışma noktasında İs oluşumu



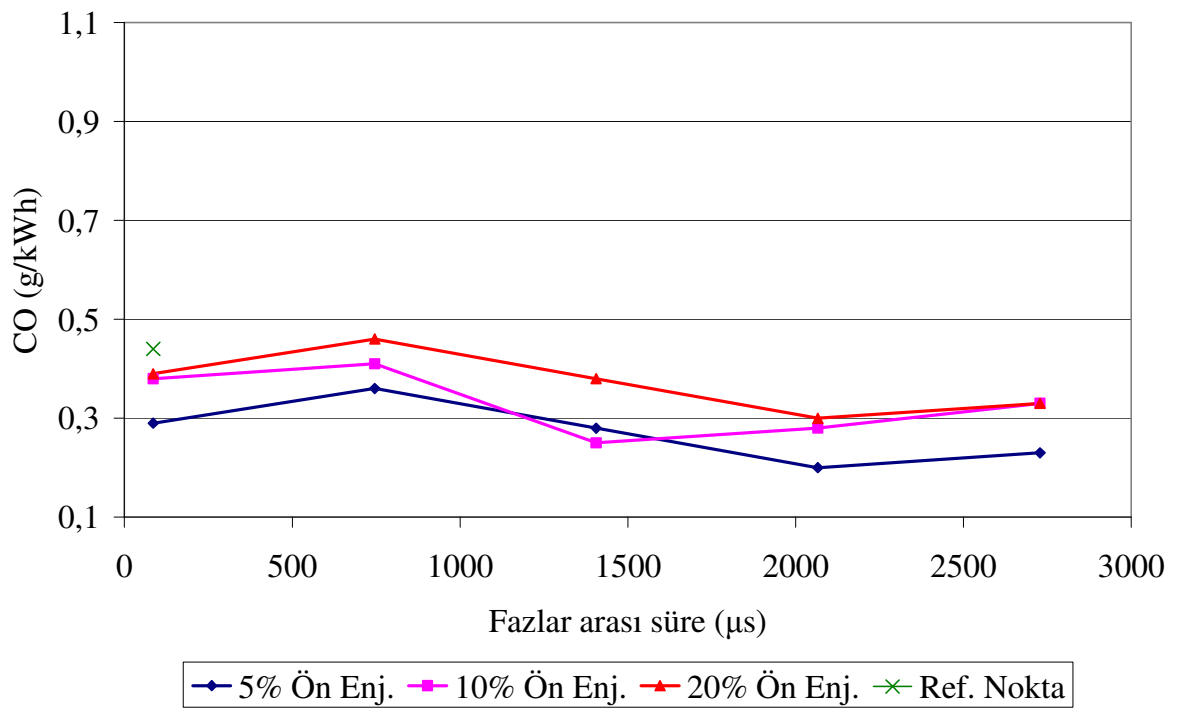
Şekil 4.26 1000x(-6)x 20% çalışma noktasında NO_x oluşumu



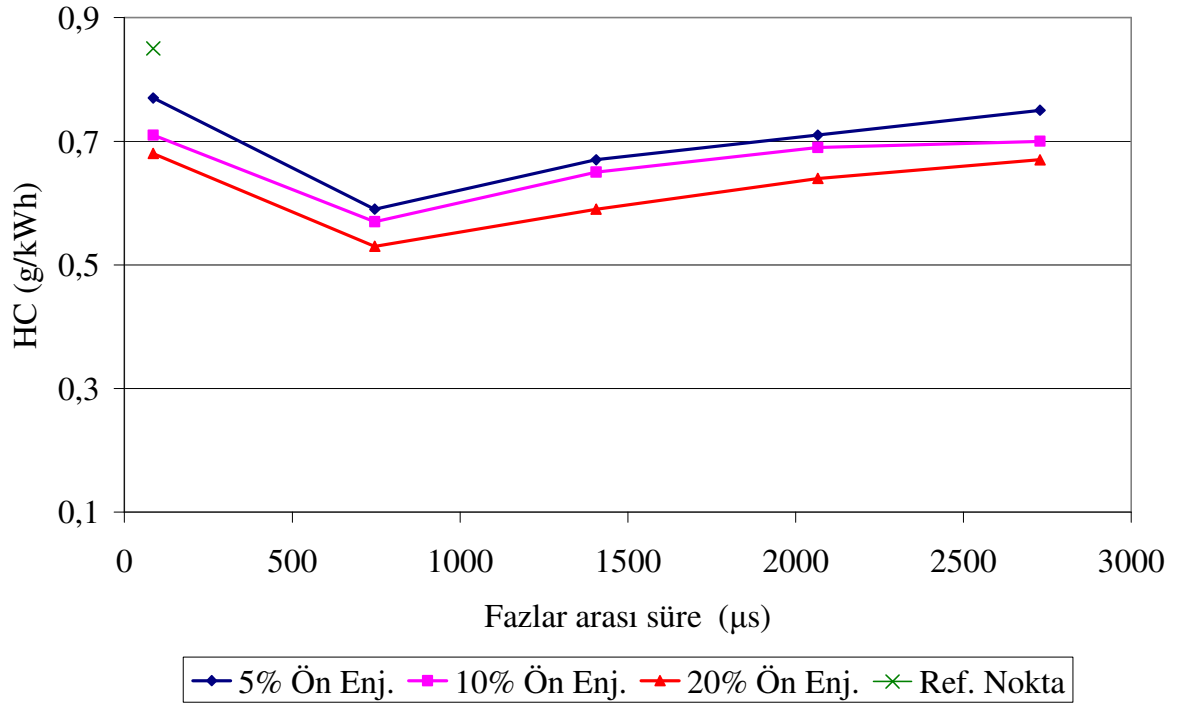
Şekil 4.27 1000x(-6)x 20% çalışma noktasında is oluşumu



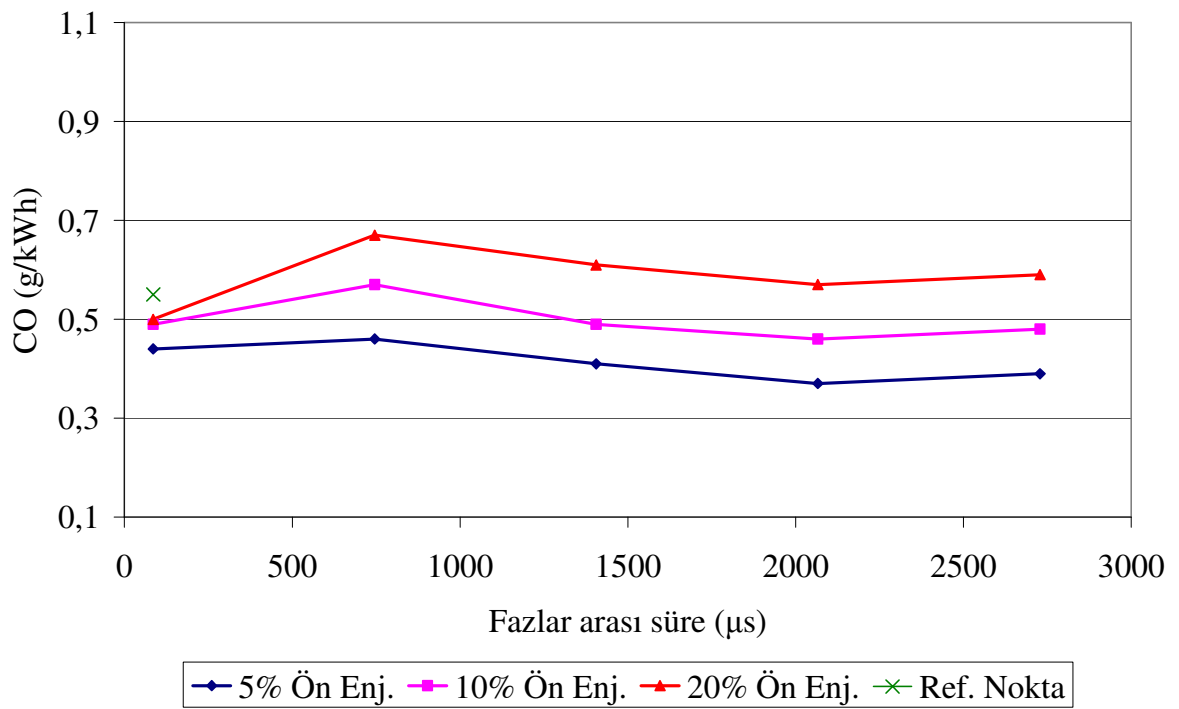
Şekil 4.28 1428x1000x(-6) çalışma noktasında HC oluşumu



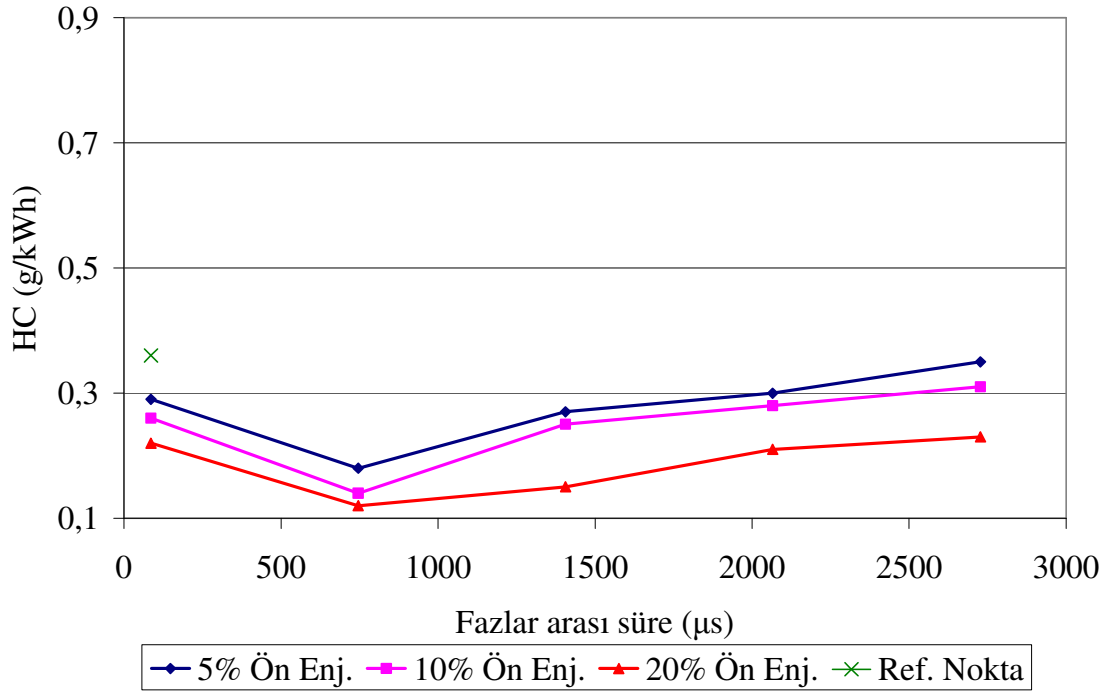
Şekil 4.29 1428x1000x(-6) çalışma noktasında CO oluşumu



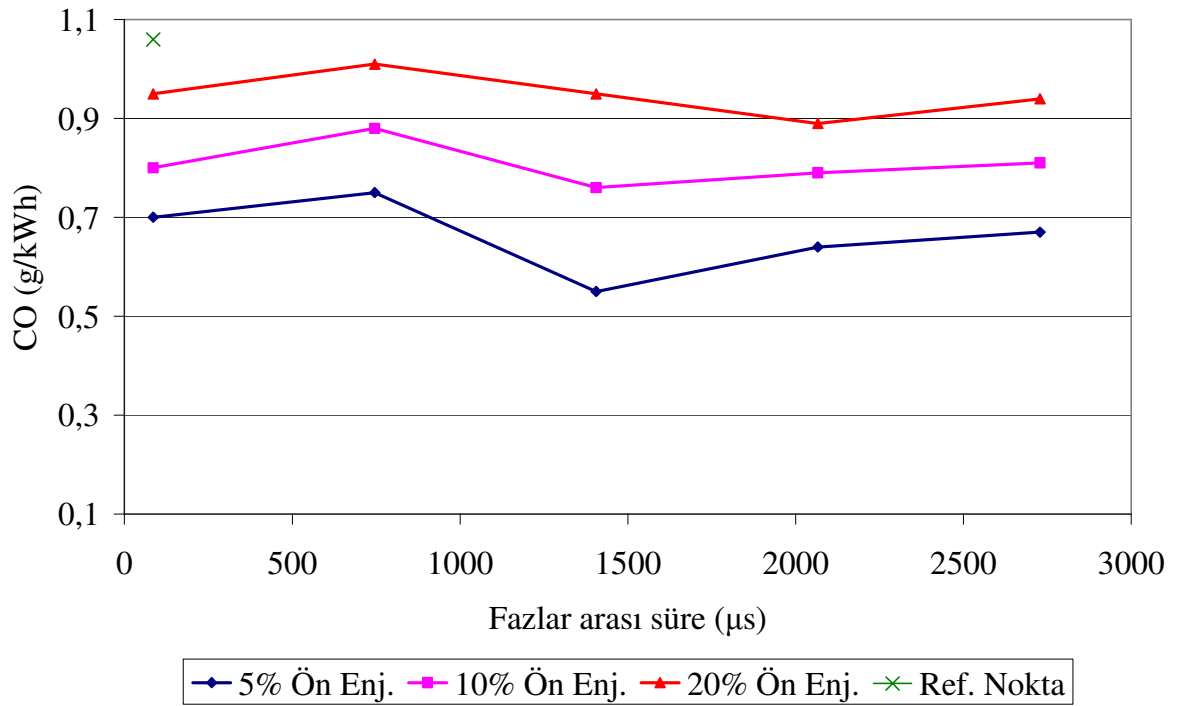
Şekil 4.30 1779x1000x(-6) çalışma noktasında HC oluşumu



Şekil 4.31 1779x1000x(-6) çalışma noktasında CO oluşumu

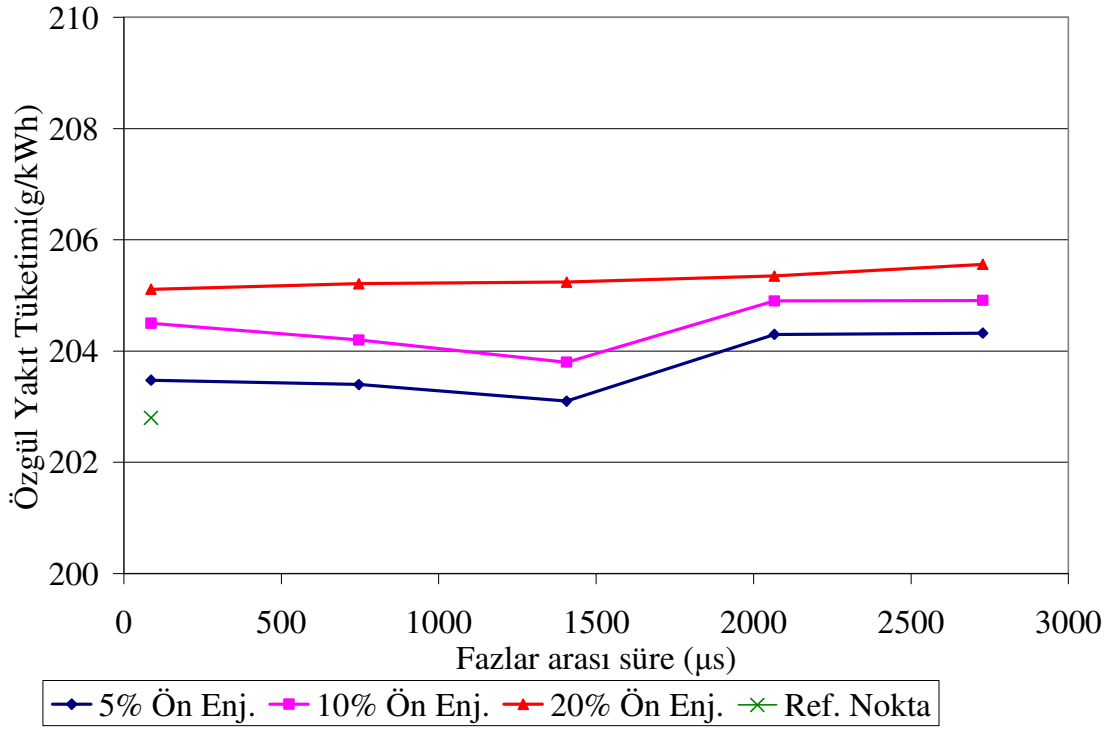


Şekil 4.32 2130x1000x(-6) çalışma noktasında HC oluşumu

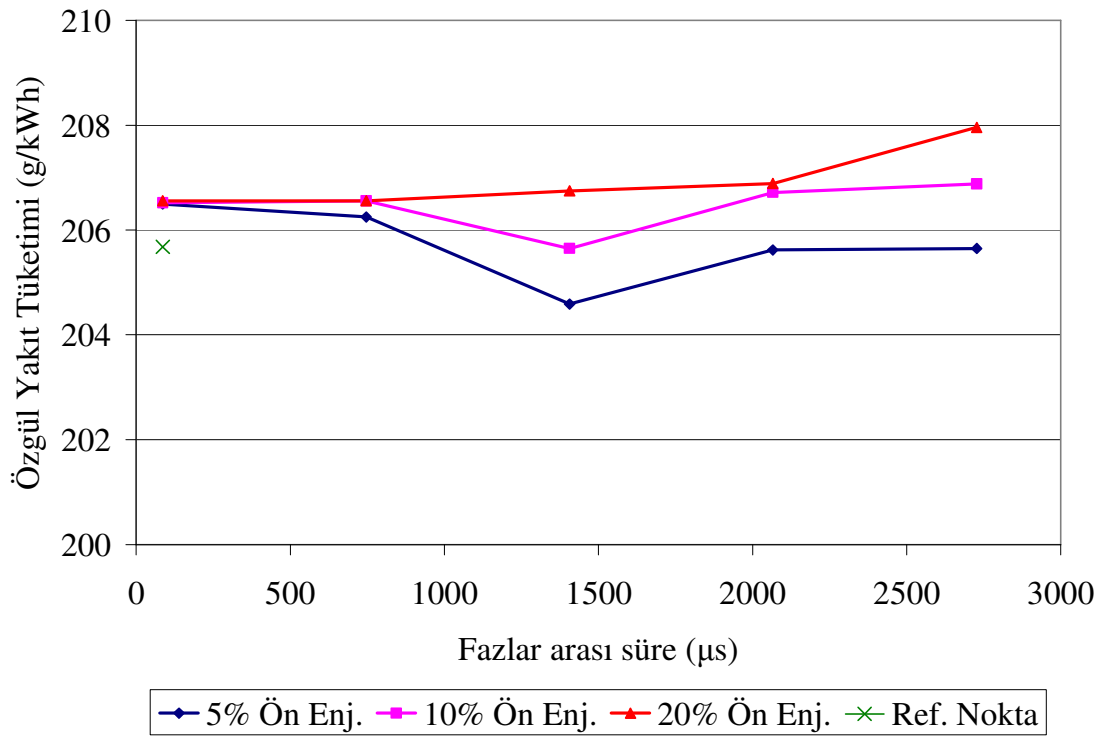


Şekil 4.33 2130x1000x(-6) çalışma noktasında CO oluşumu

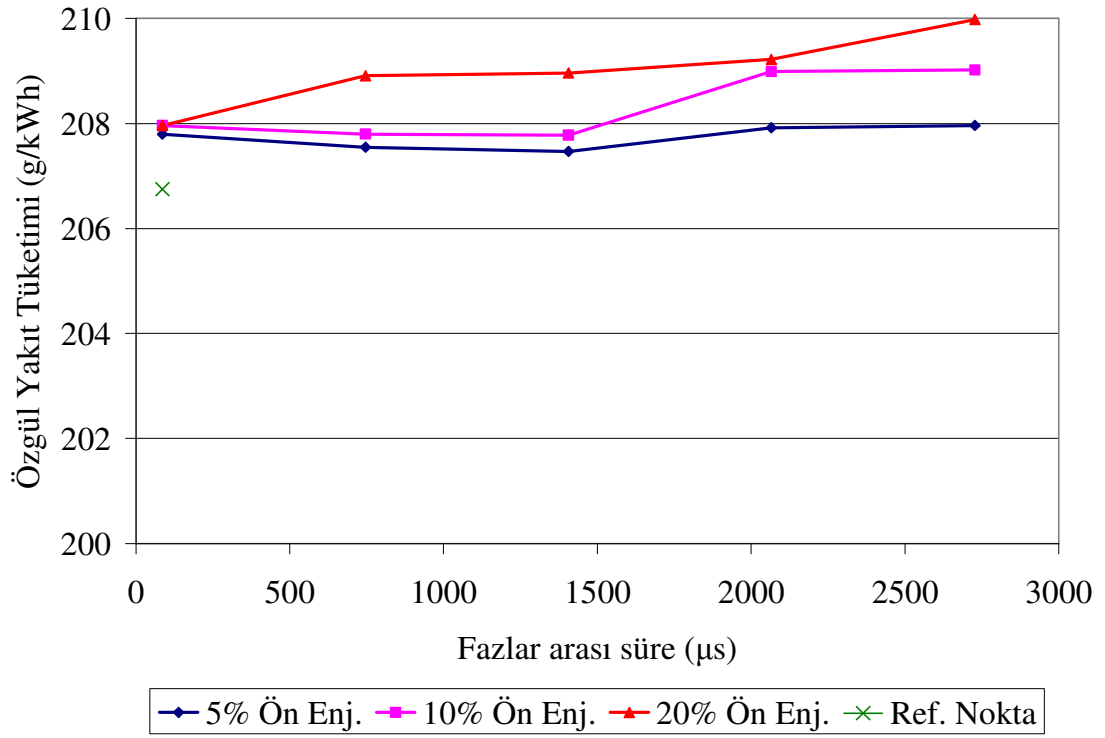
Motor hızına göre her bir ön enjeksiyon oranındaki NO_x ve is oluşumunu karşılaştırırsak;



Şekil 4.34 1428x1000x(-6) çalışma noktasında özgül yakıt tüketimi



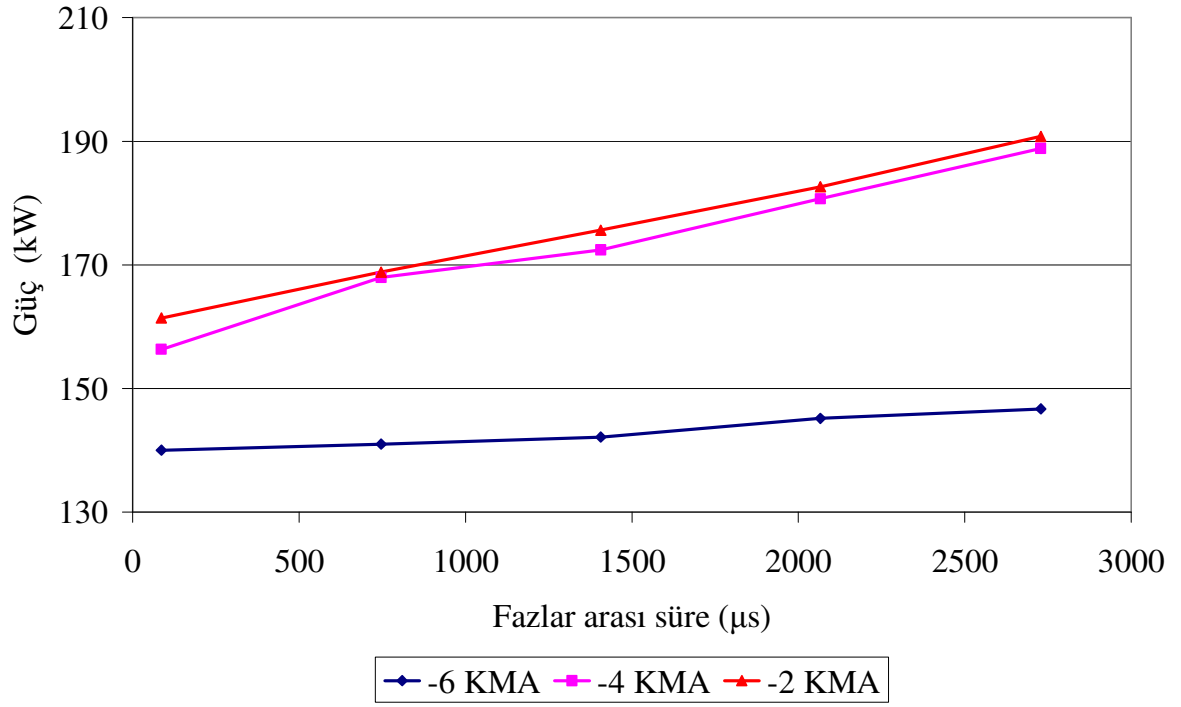
Şekil 4.35 1779x1000x(-6) çalışma noktasında özgül yakıt tüketimi



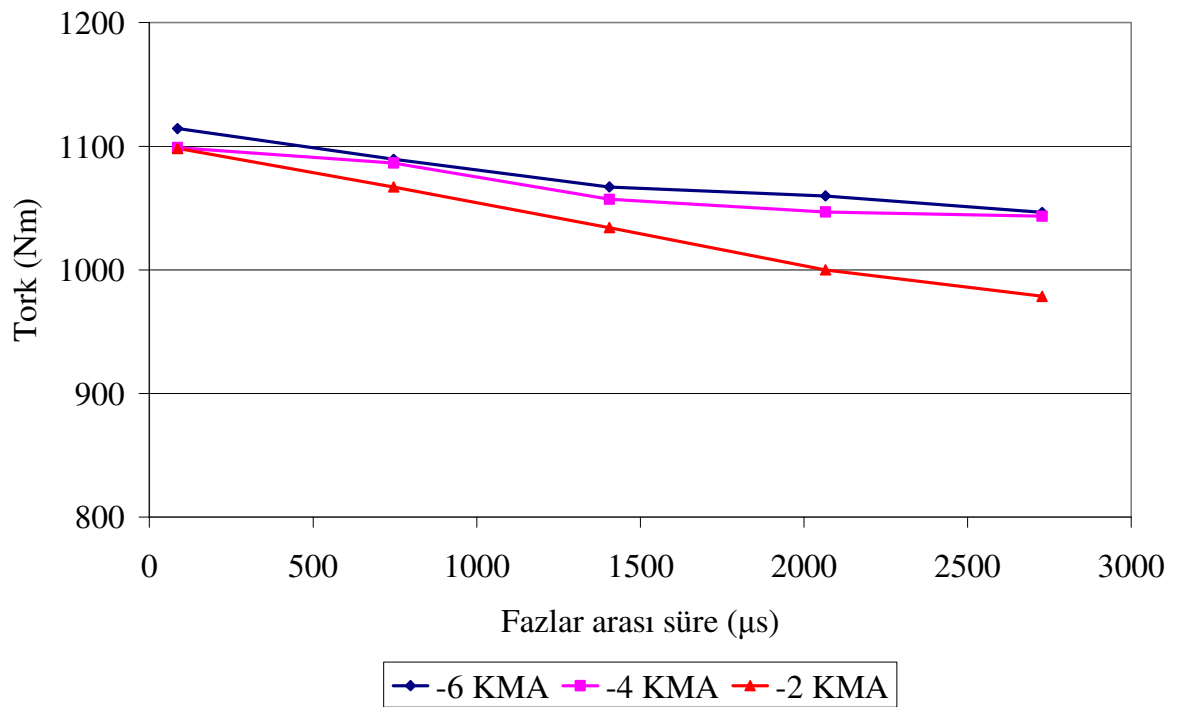
Şekil 4.36 2130x1000x(-6) çalışma noktasında özgül yakıt tüketimi

4.2 Püskürtme Avansı Testi (Test 2)

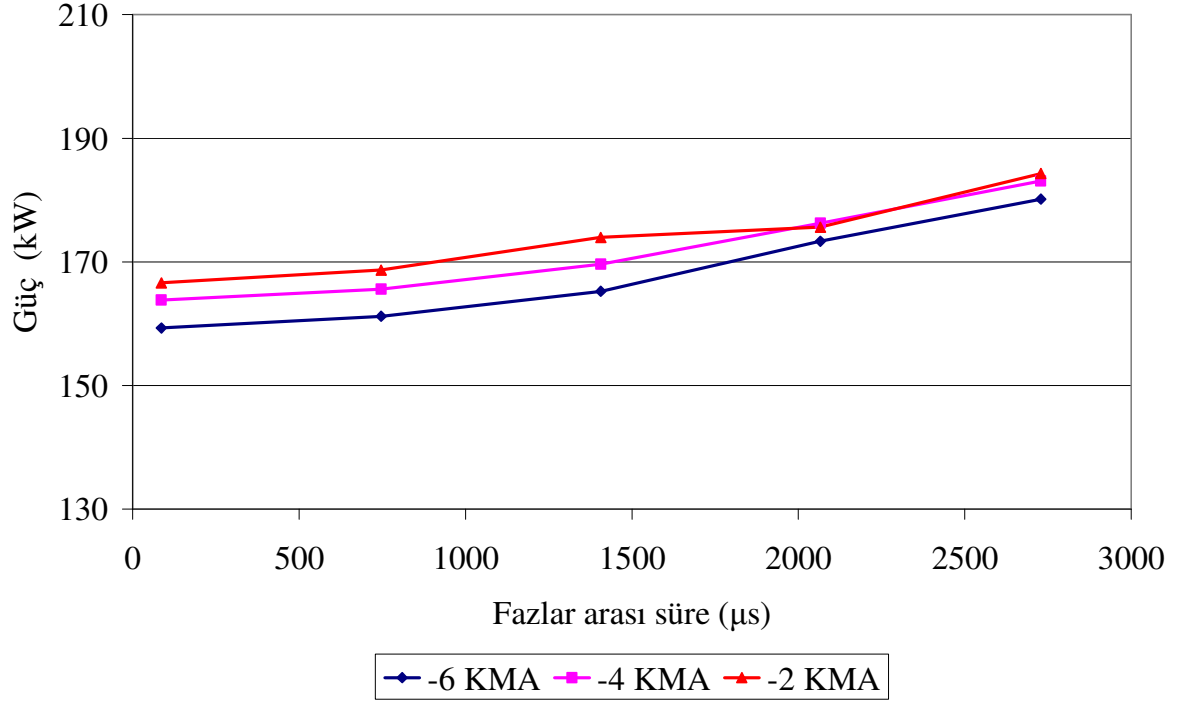
Püskürtme avansı testlerinde ilk olarak, 1428 rpm, 1779 rpm ve 2130 rpm motor hızlarında -6 KMA, -4 KMA ve -2 KMA püskürtme avansları için iki faz arası sürenin tork ve güce etkisi incelenmiştir.



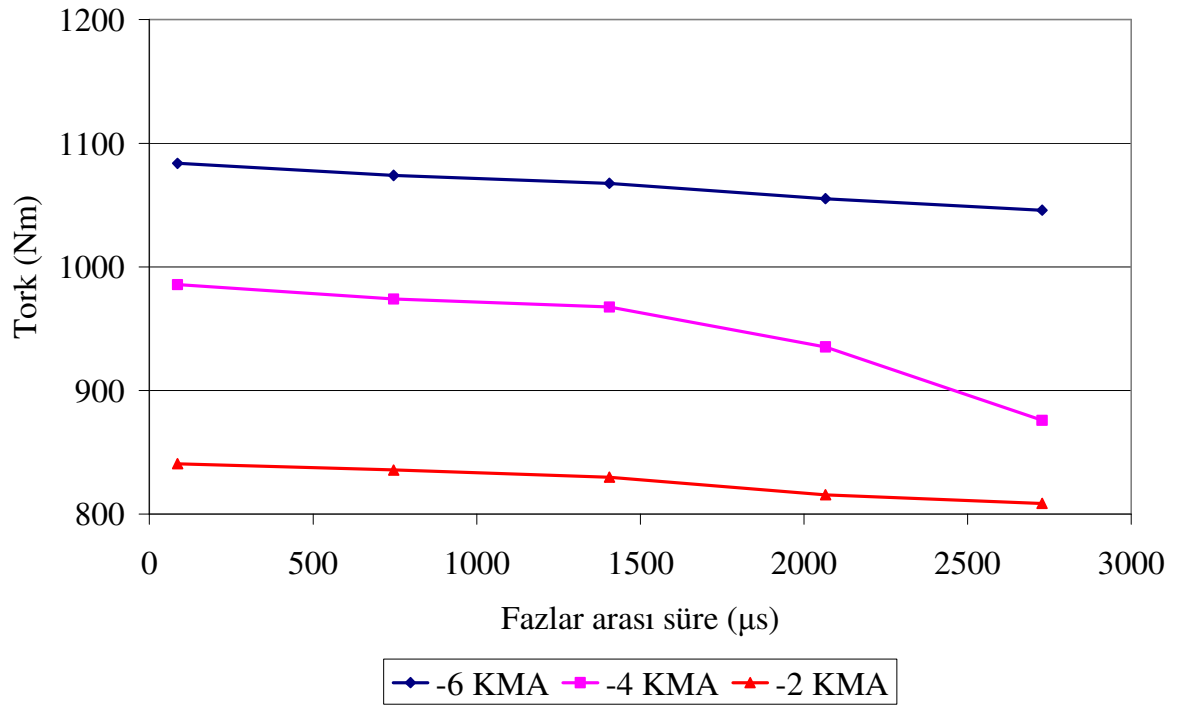
Şekil 4.37 1428x20,80x1000 çalışma noktalarında güç grafiği



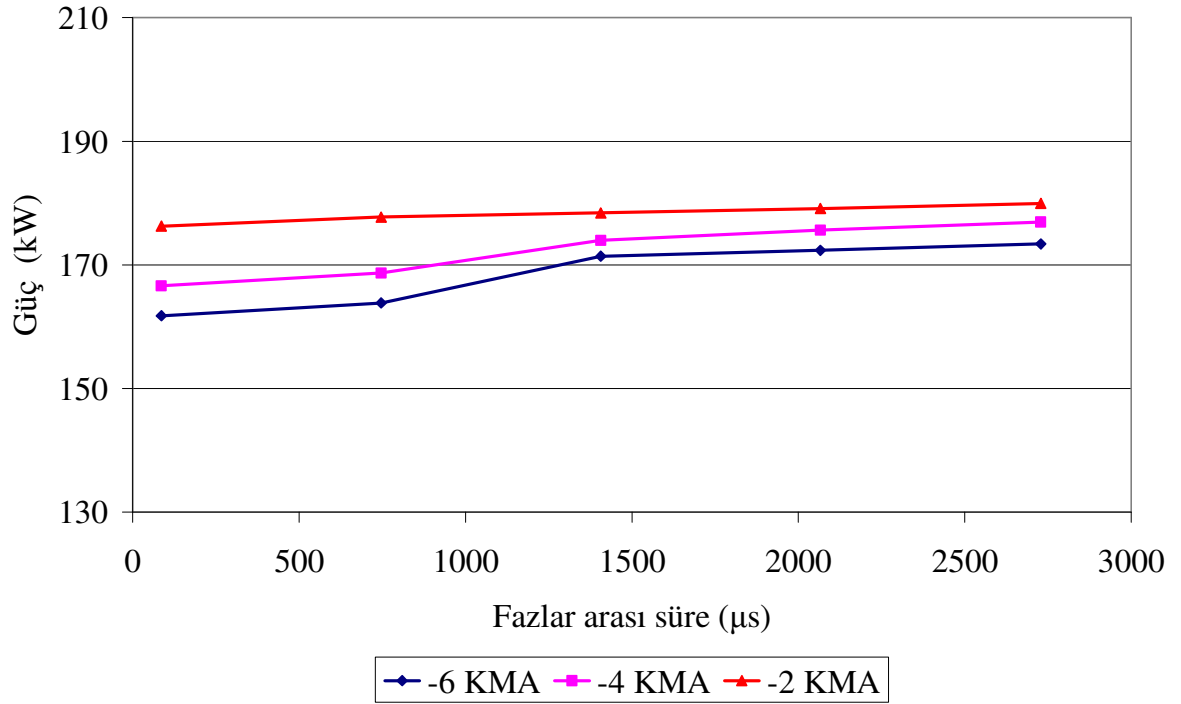
Şekil 4.38 1428x20,80x1000 çalışma noktalarında tork grafiği



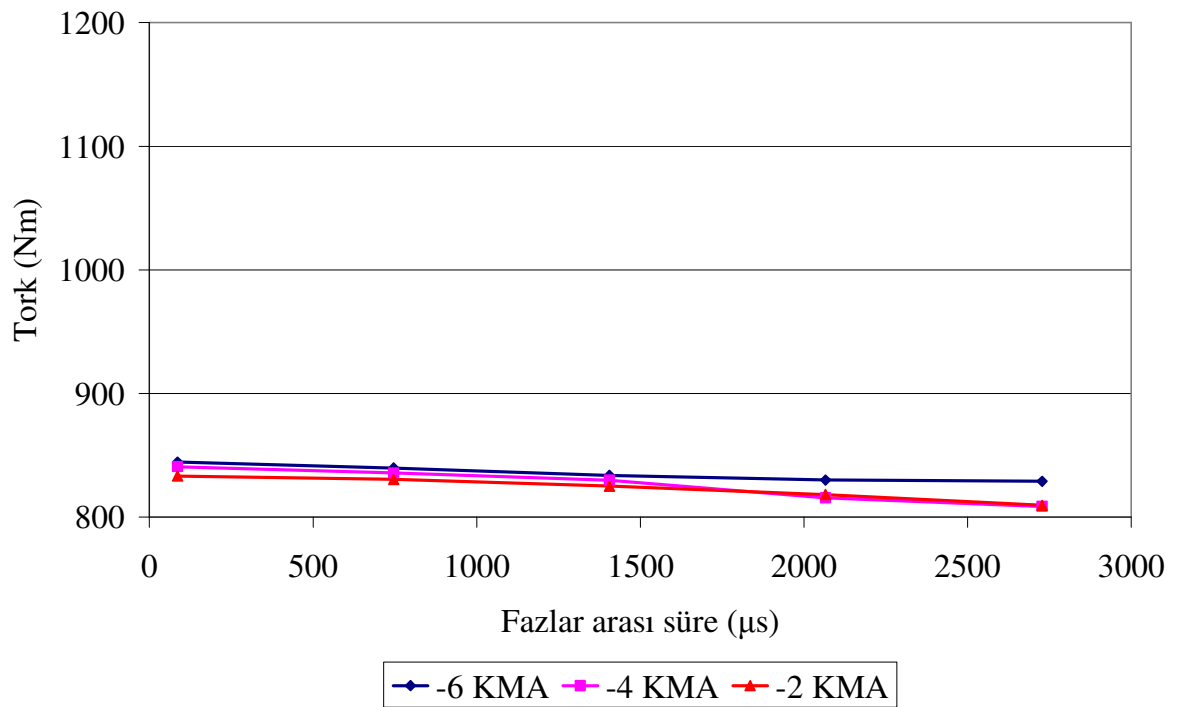
Şekil 4.39 1779x20,80x1000 çalışma noktalarında güç grafiği



Şekil 4.40 1779x20,80x1000 çalışma noktalarında tork grafiği

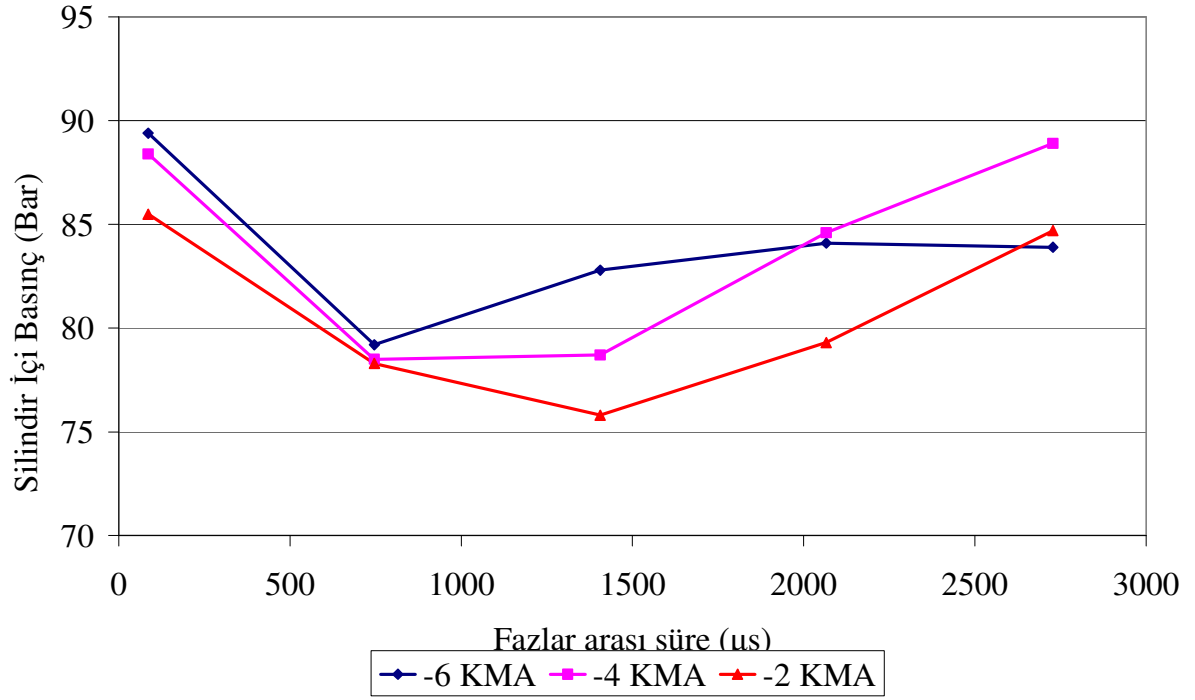


Şekil 4.41 2130x20,80x1000 çalışma noktalarında güç grafiği

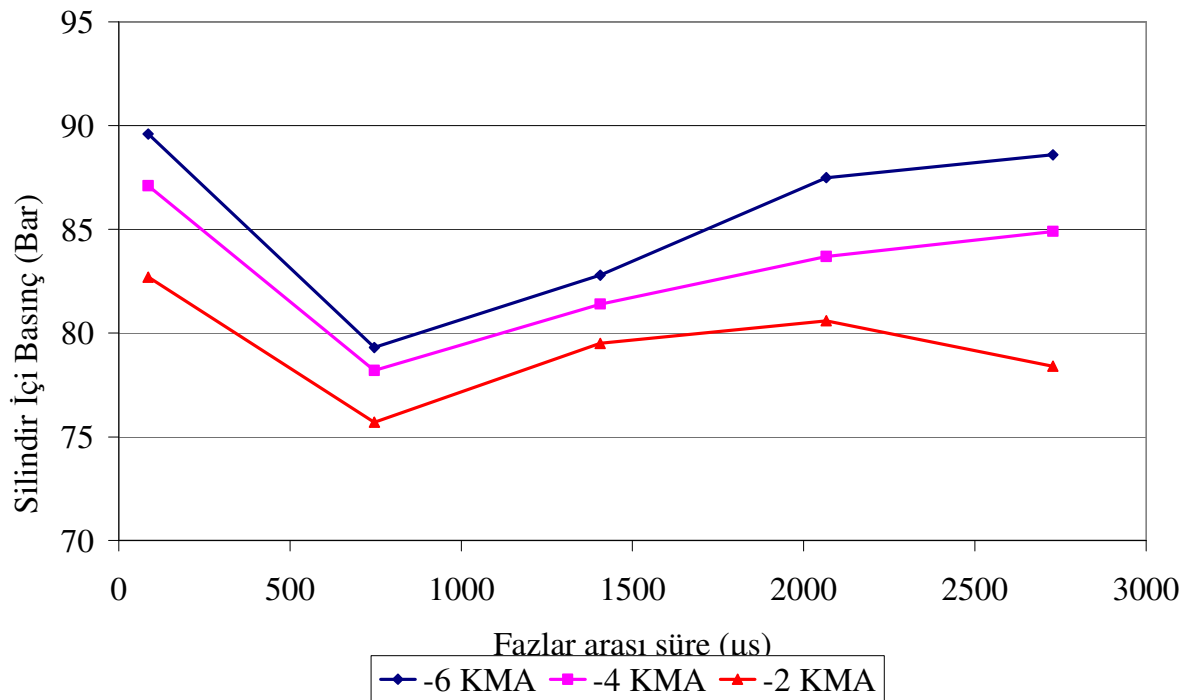


Şekil 4.42 2130x20,80x1000 çalışma noktalarında tork grafiği

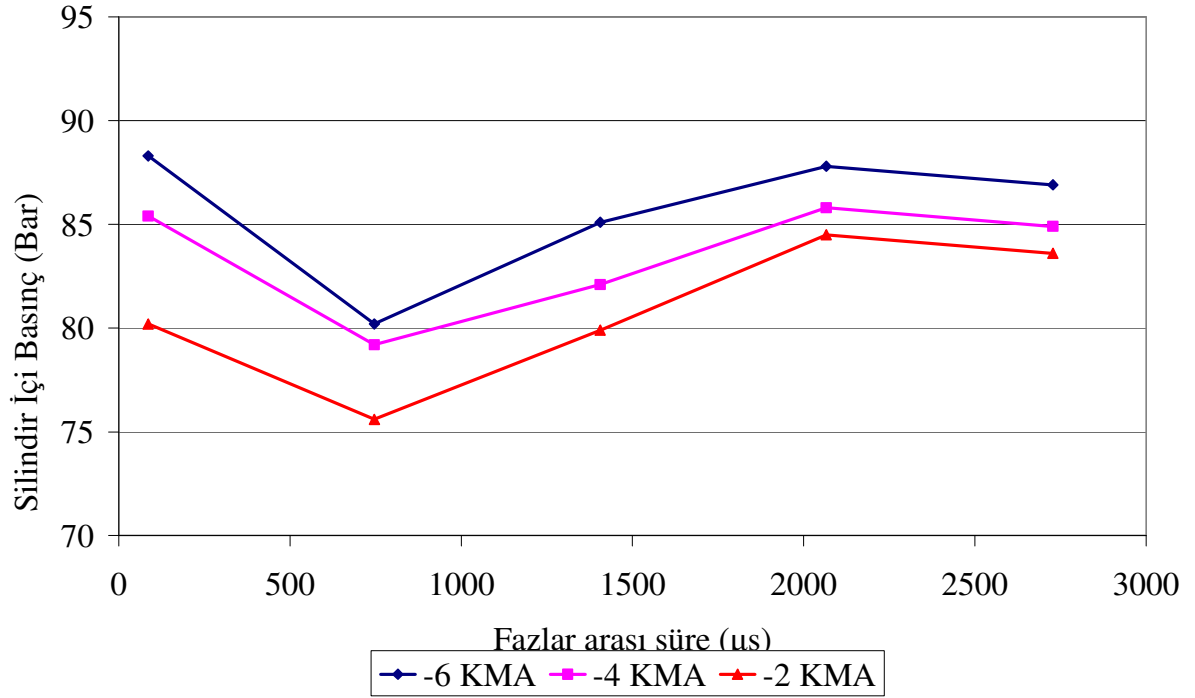
Silindir içi basınç değişimlerini incelediğimizde, en fazla NO_x oluşumunun silindir içi basıncının en yüksek olduğu noktalarda olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.43 1428x20,80x1000 çalışma noktasında silindir içi basıncı değişimi

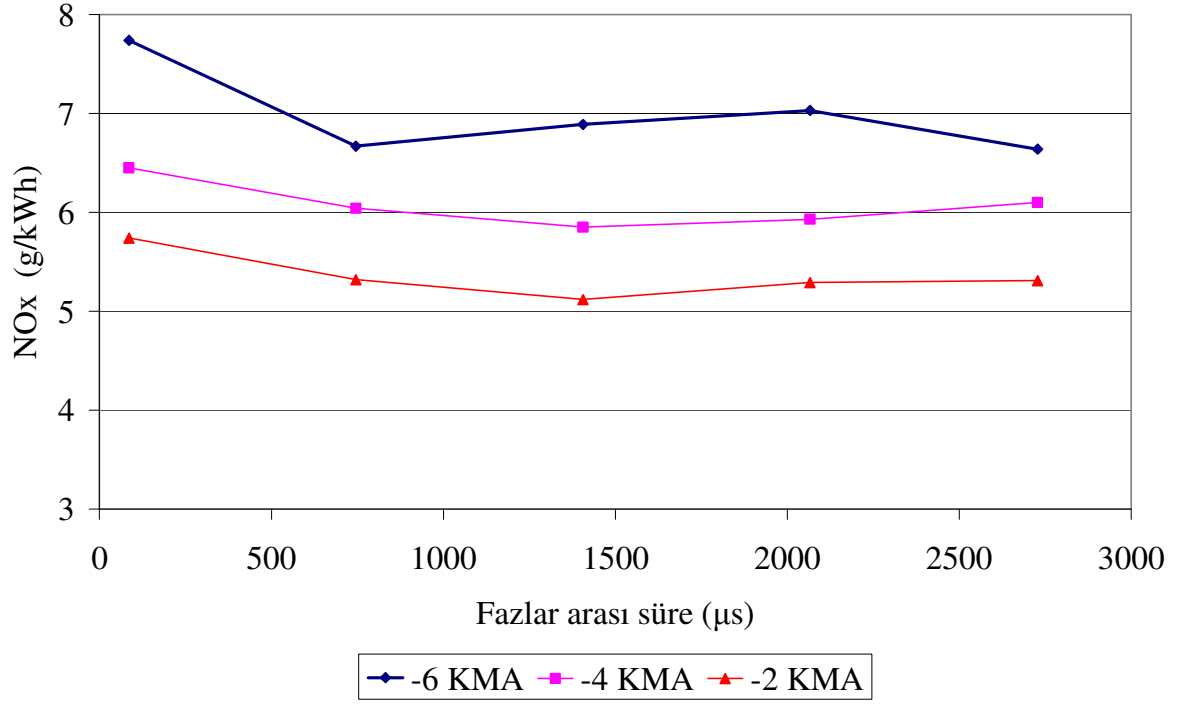


Şekil 4.44 1779x20,80x1000 çalışma noktasında silindir içi basıncı değişimi

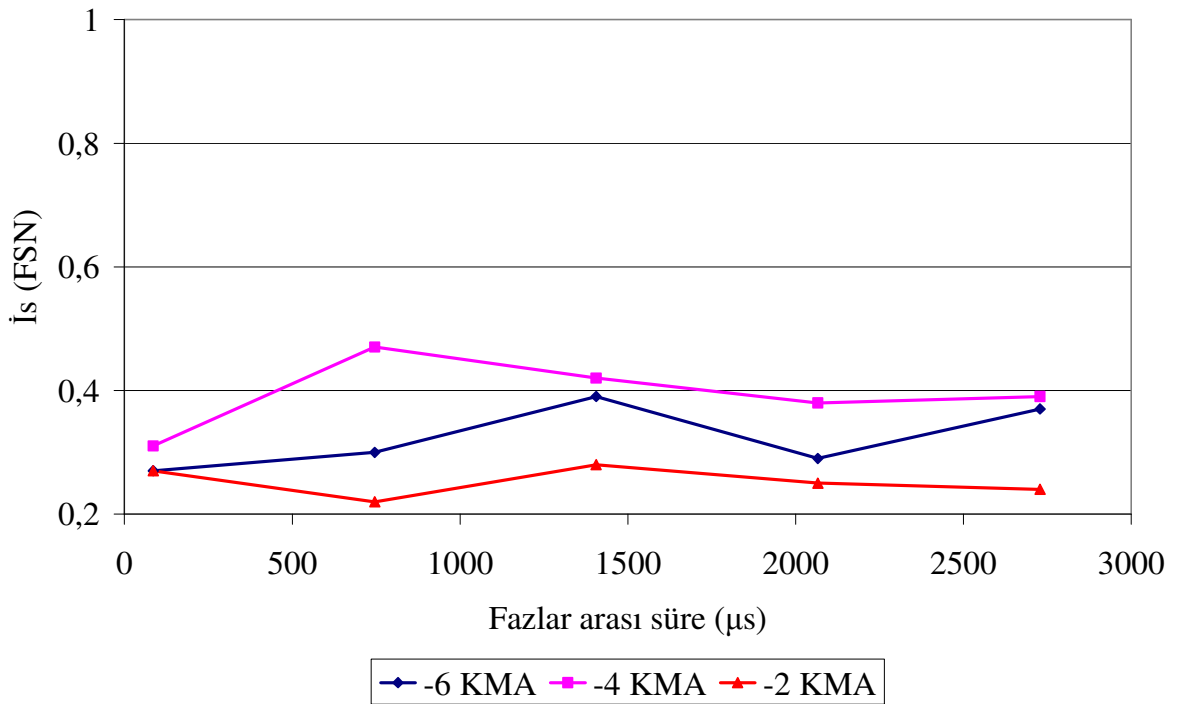


Şekil 4.45 2130x20,80x1000 çalışma noktasında silindir içi basıncı değişimi

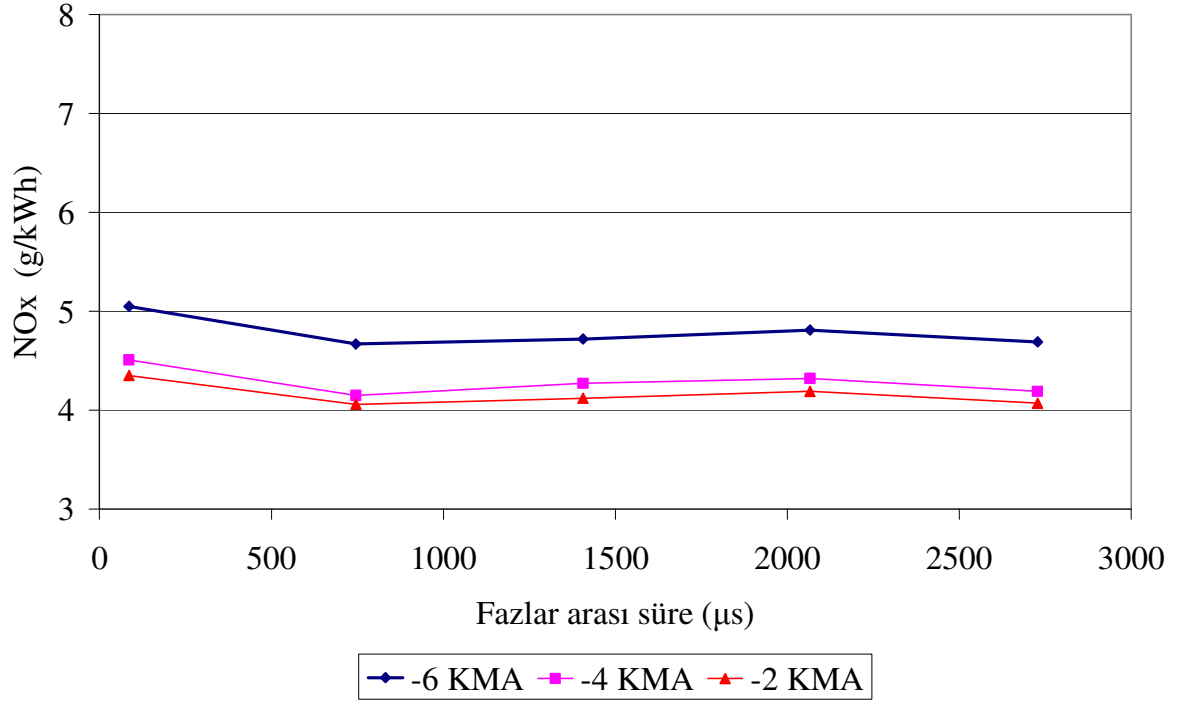
1428 rpm, 1779 rpm ve 2130 rpm motor hızlarında -6 KMA, -4 KMA ve -2 KMA püskürtme avansında, iki faz arası sürenin NO_x , is, HC ve CO oluşumuna etkisi incelenmiştir. Aşağıdaki şekillerde de görüleceği üzere avansın azaltılması ile birlikte oluşan NO_x miktarı azalmış, is oluşumu ise artmıştır.



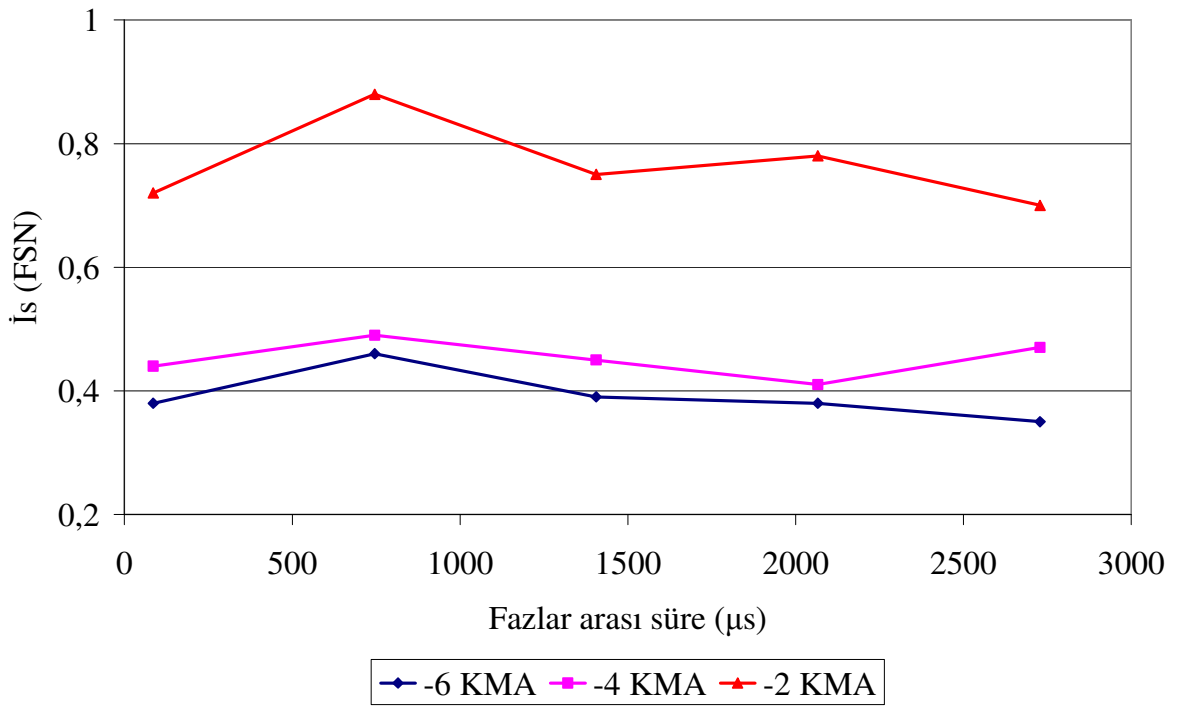
Şekil 4.46 1428x20,80x1000 çalışma noktasında NO_x oluşumu



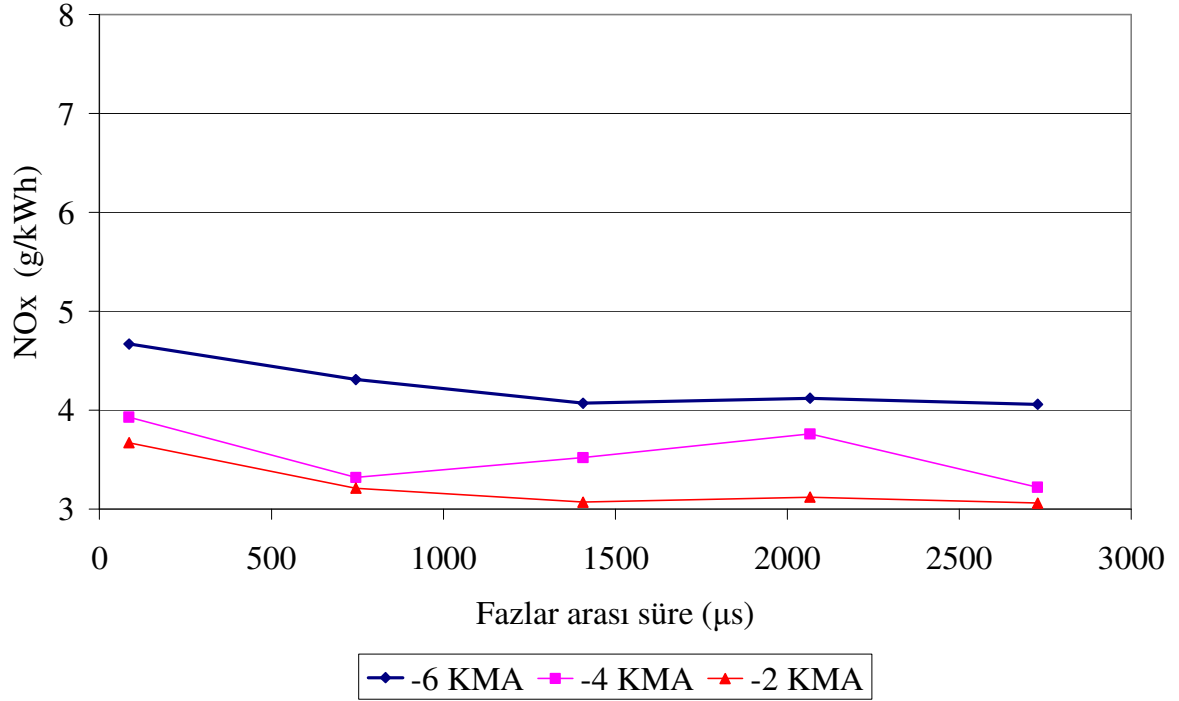
Şekil 4.47 1428x20,80x1000 çalışma noktasında is oluşumu



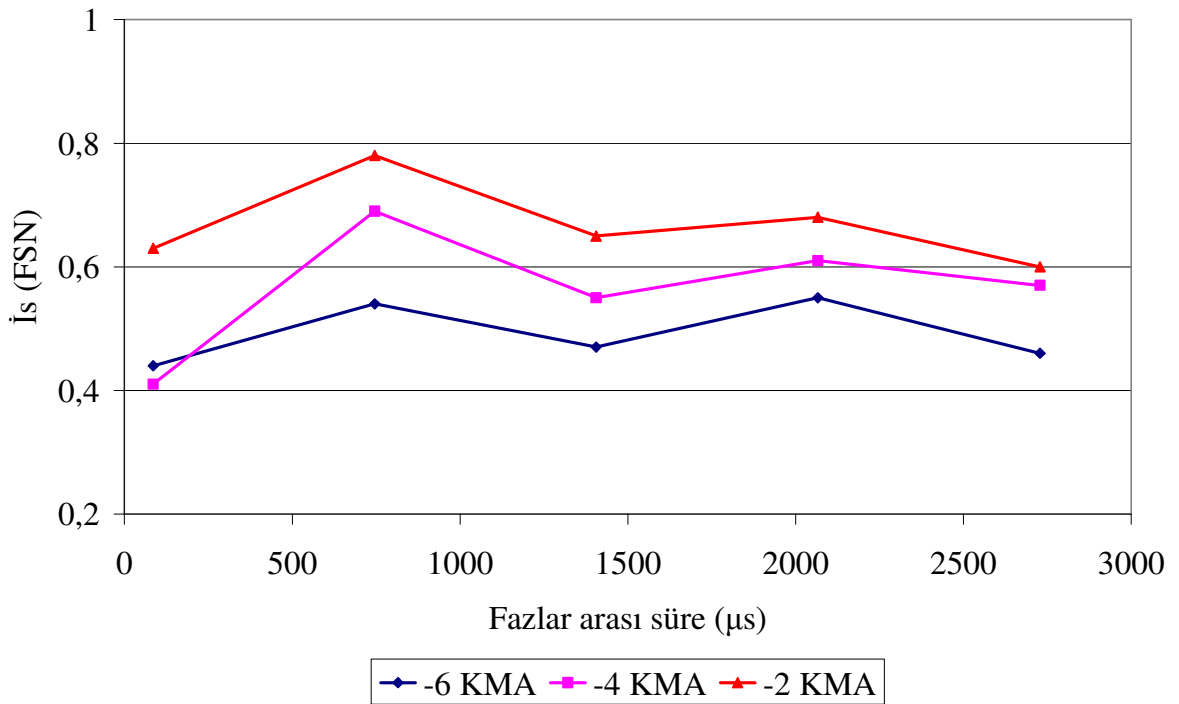
Şekil 4.48 1779x20,80x1000 çalışma noktasında NO_x oluşumu



Şekil 4.49 1779x20,80x1000 çalışma noktasında is oluşumu



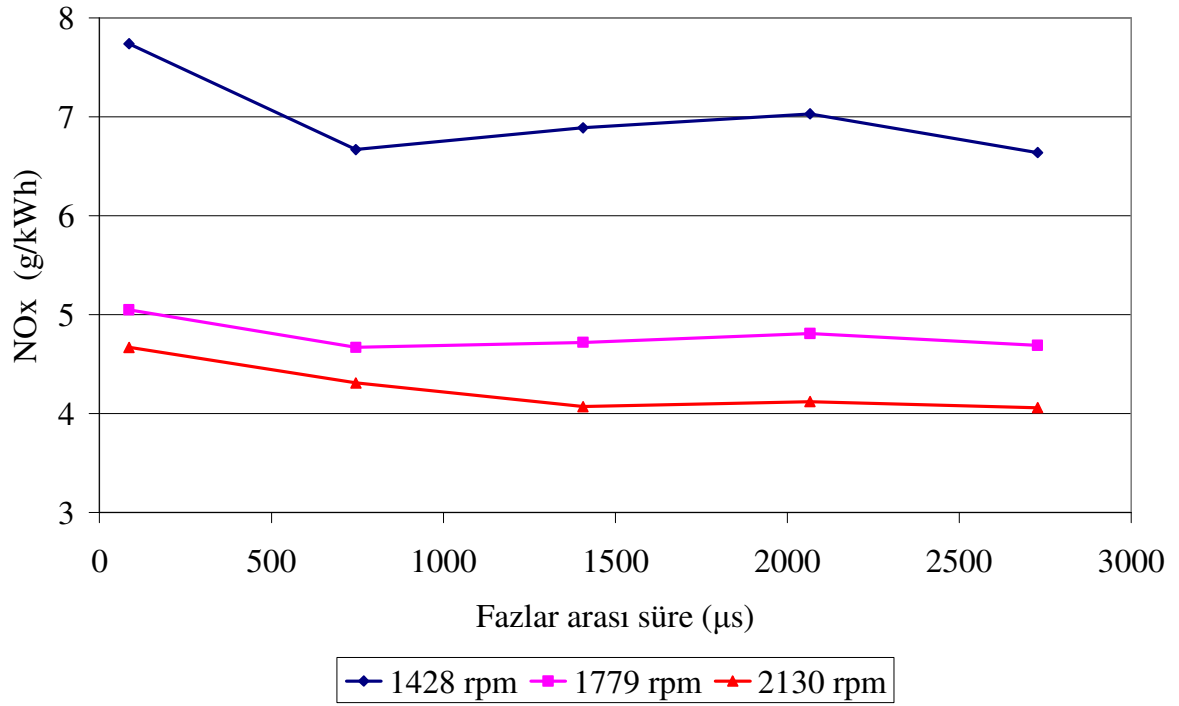
Şekil 4.50 2130x20,80x1000 çalışma noktasında NO_x oluşumu



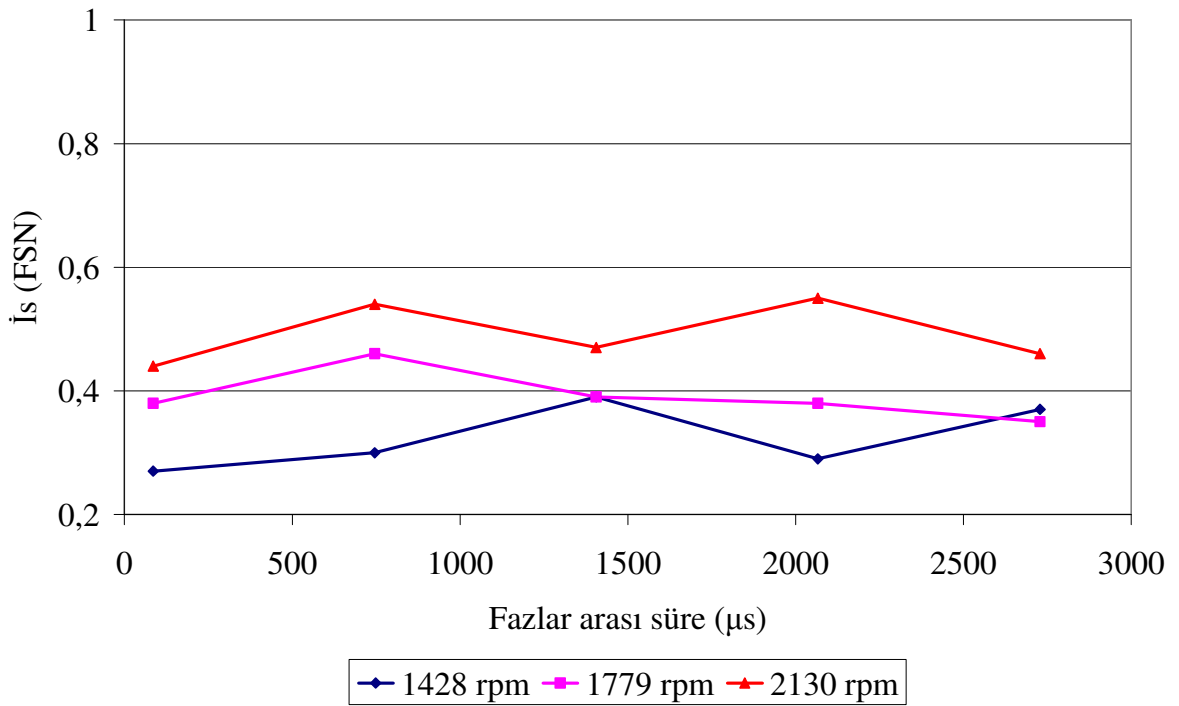
Şekil 4.51 2130x20,80x1000 çalışma noktasında is oluşumu

Motor hızına göre her bir püskürtme avansındaki NO_x ve is oluşumunu karşılaştırdığımızda, en fazla NO_x oluşumunun düşük devirlerde meydana geldiği, is oluşumunun ise düşük

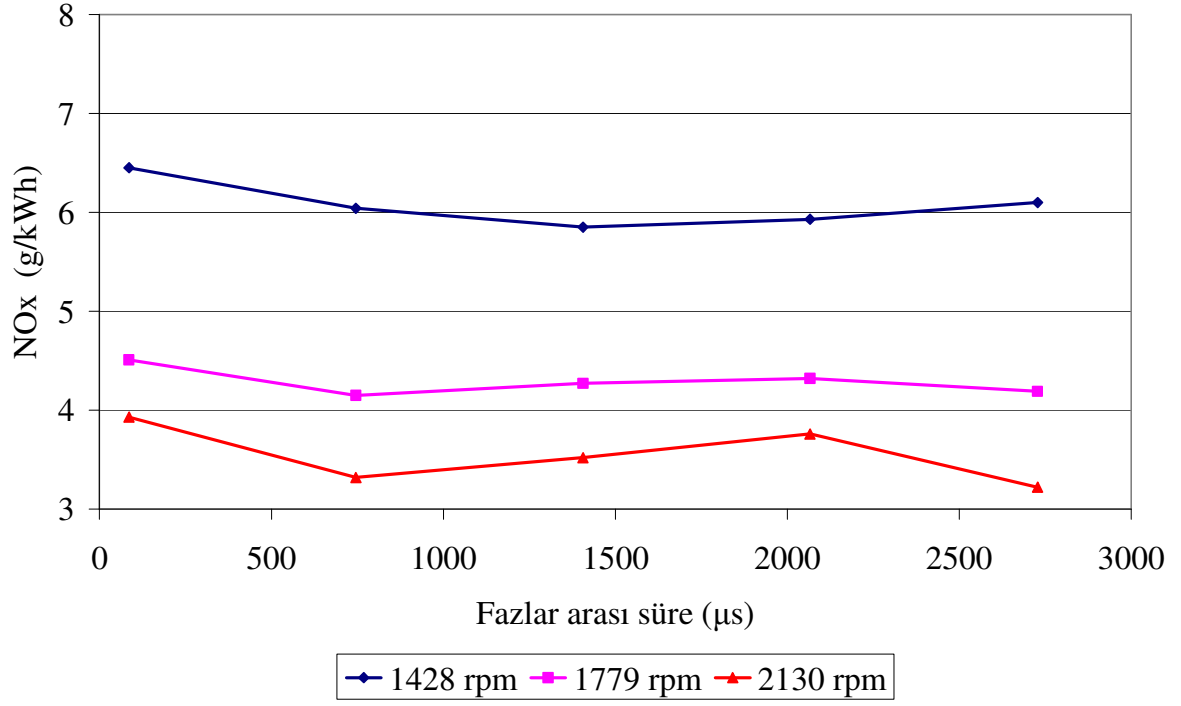
devirlerde düşük değerlerde kaldığı tespit edilmiştir.



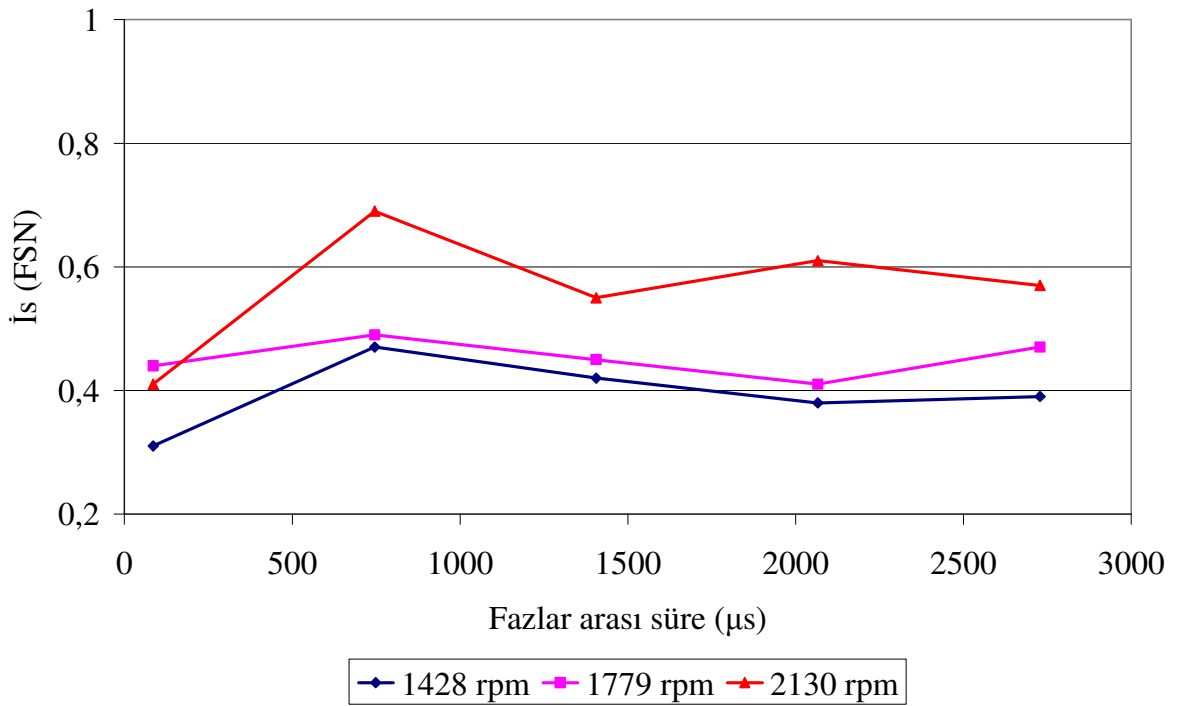
Şekil 4.52 20,80x1000x(-6) çalışma noktasında NO_x oluşumu



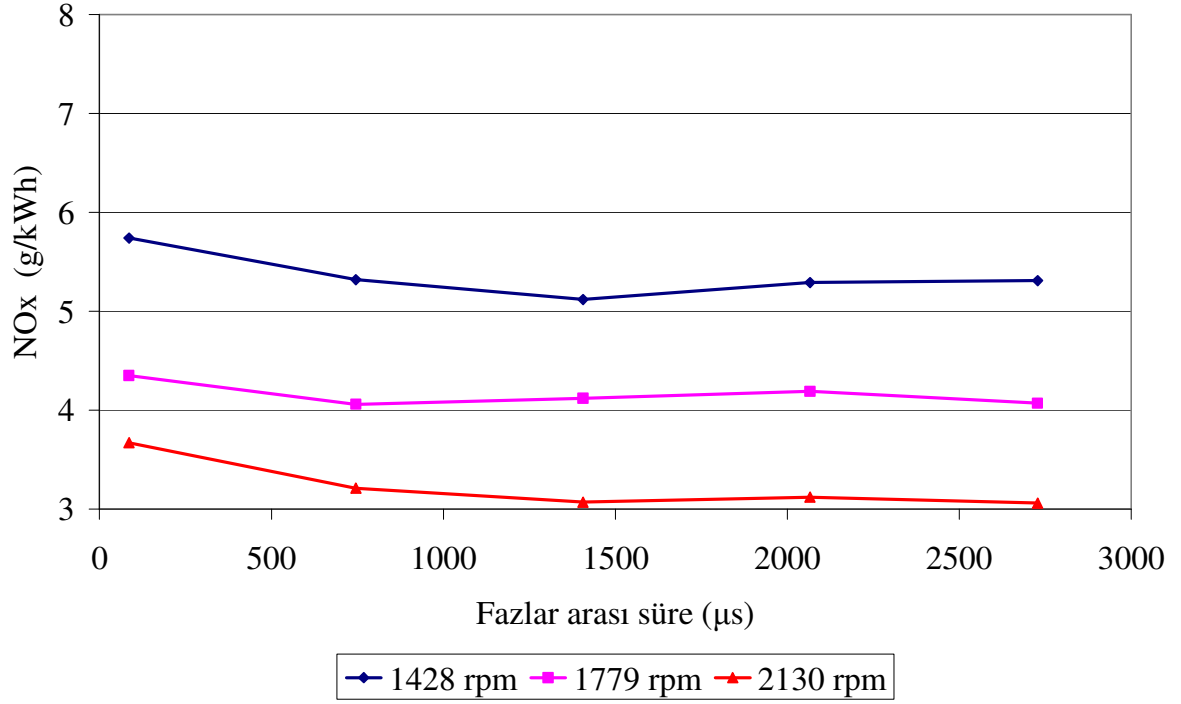
Şekil 4.53 20,80x1000x(-6) çalışma noktasında is oluşumu



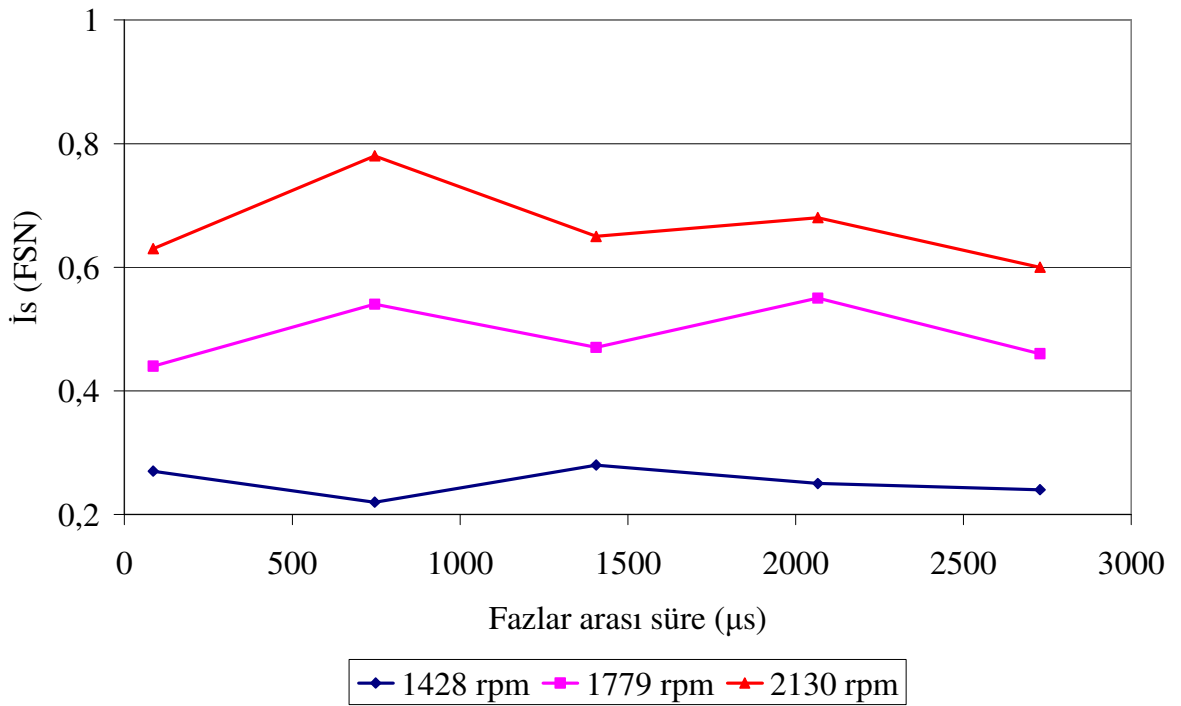
Şekil 4.54 20,80x1000x(-4) çalışma noktasında NOx oluşumu



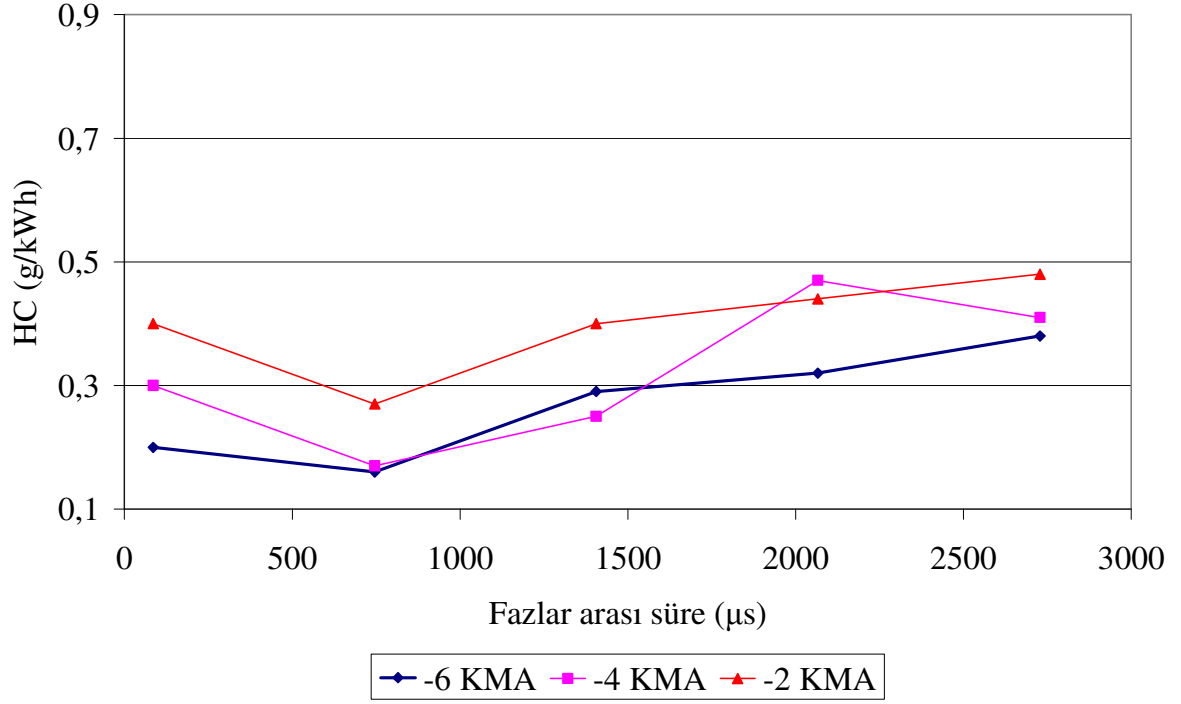
Şekil 4.55 20,80x1000x(-4) çalışma noktasında is oluşumu



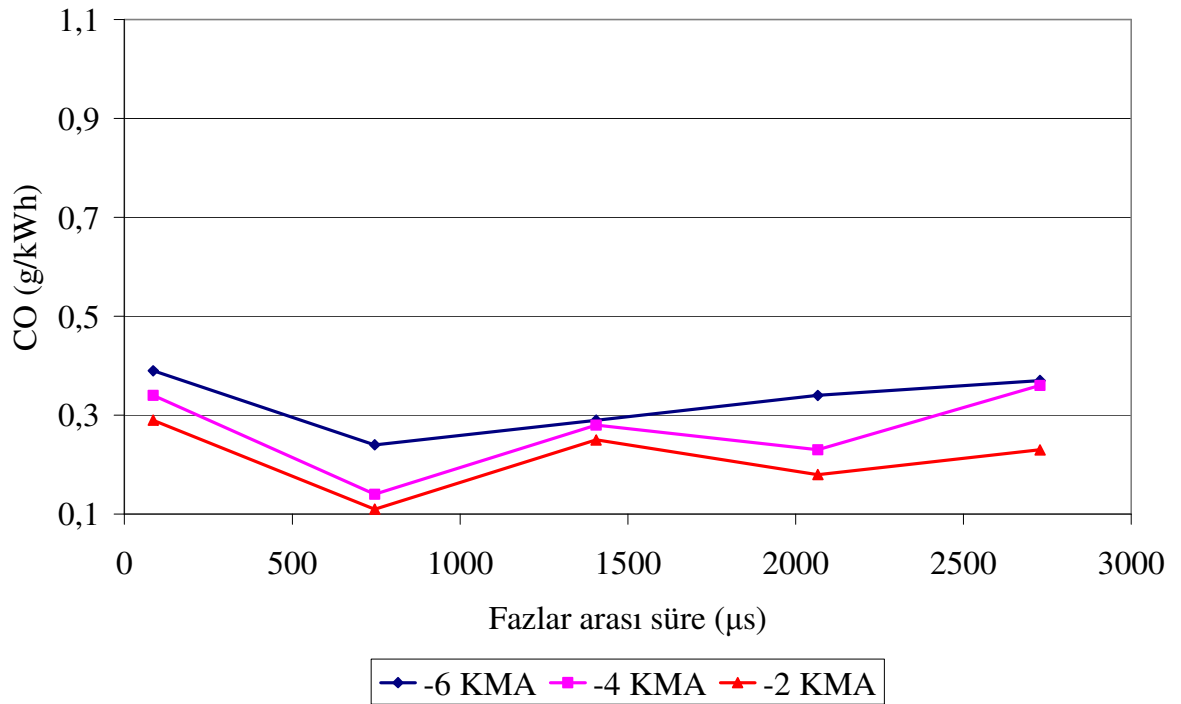
Şekil 4.56 20,80x1000x(-2) çalışma noktasında NO_x oluşumu



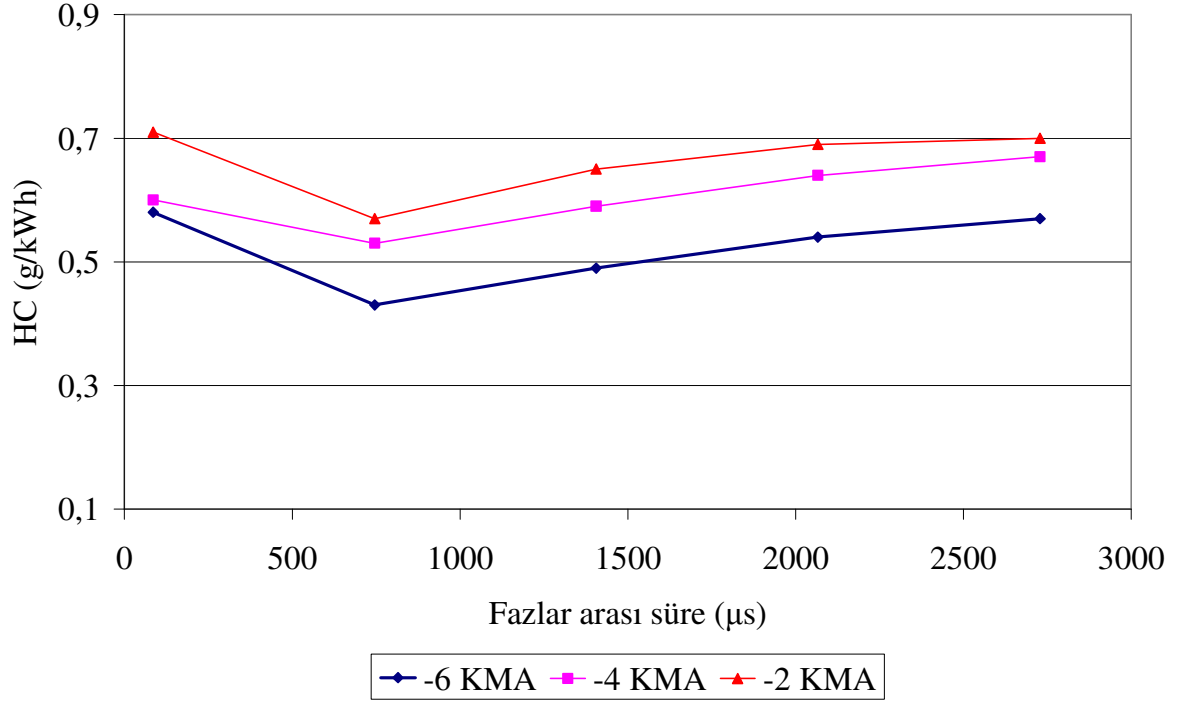
Şekil 4.57 20,80x1000x(-2) çalışma noktasında is oluşumu



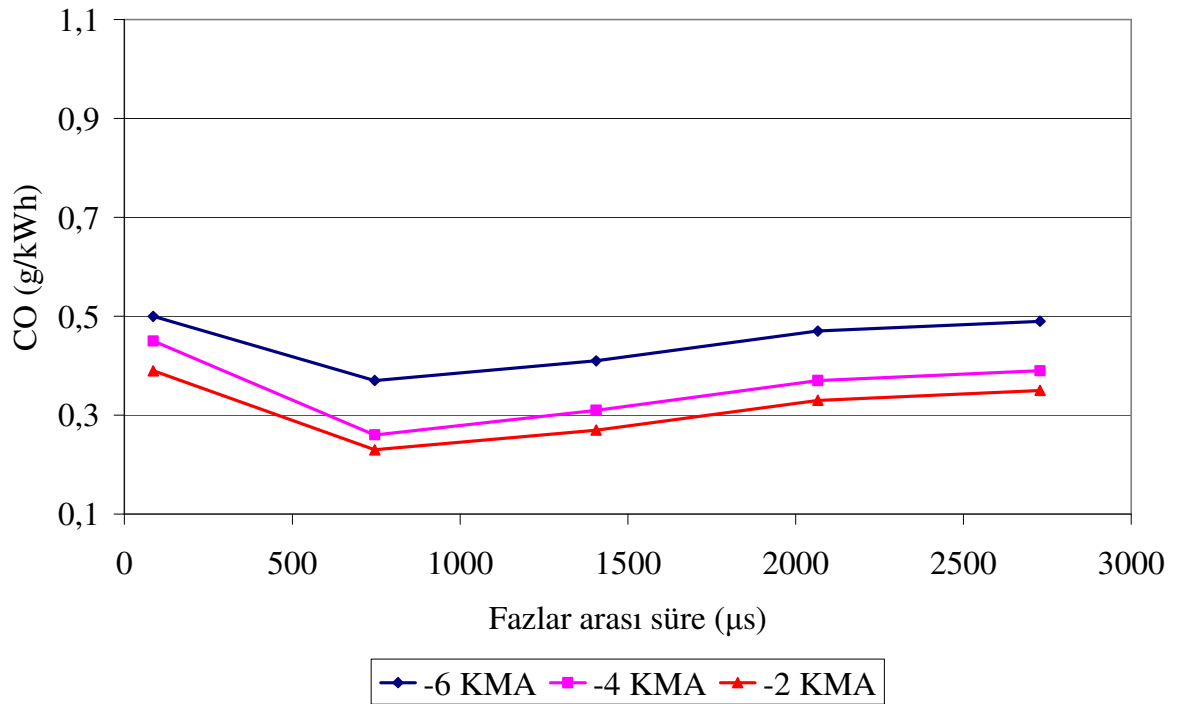
Şekil 4.58 1428x20,80x1000 çalışma noktasında HC oluşumu



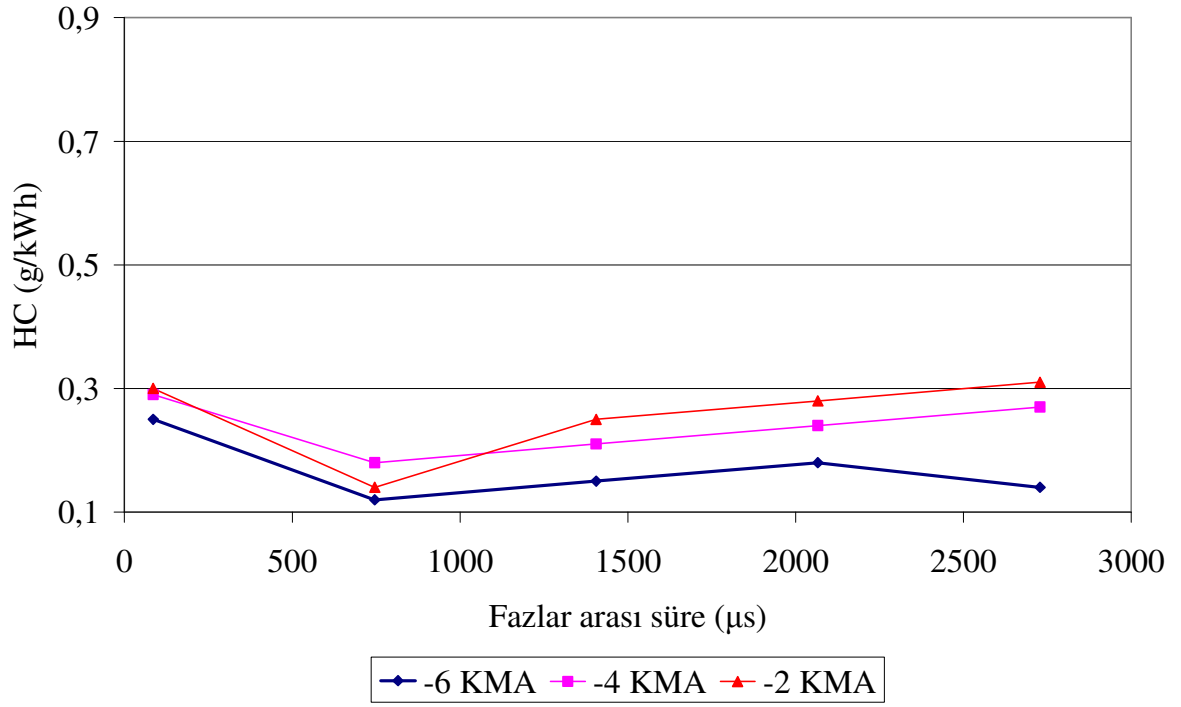
Şekil 4.59 1428x20,80x1000 çalışma noktasında CO oluşumu



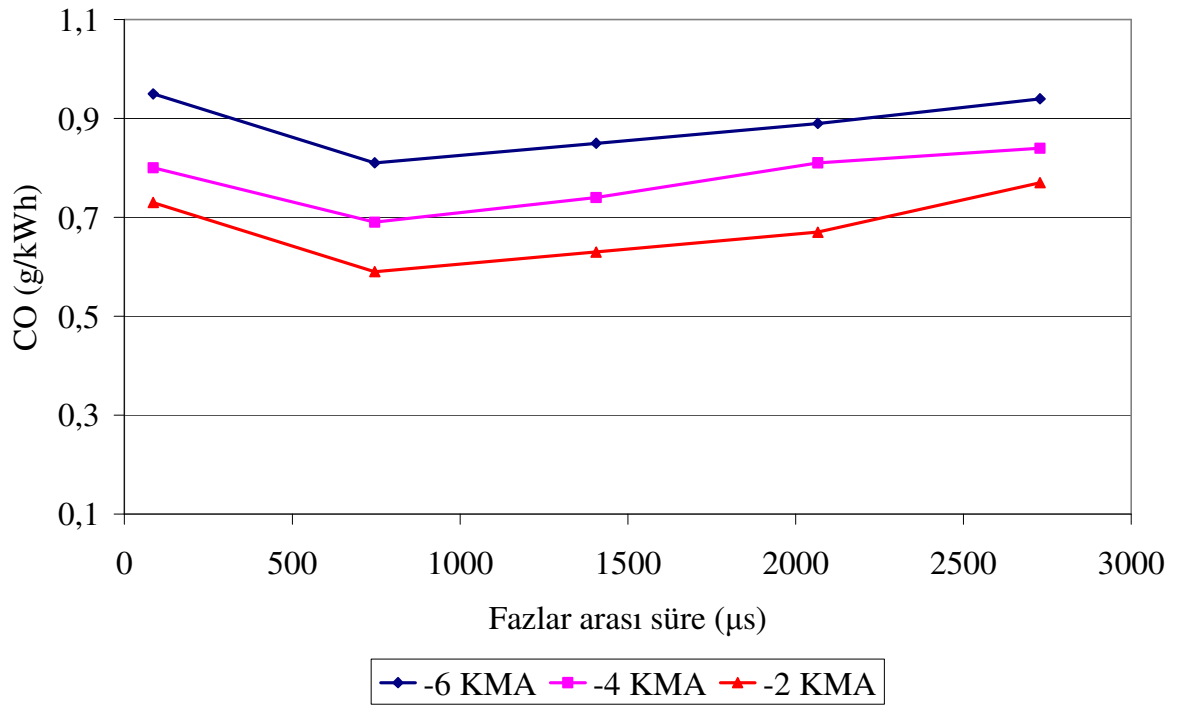
Şekil 4.60 1779x20,80x1000 çalışma noktasında HC oluşumu



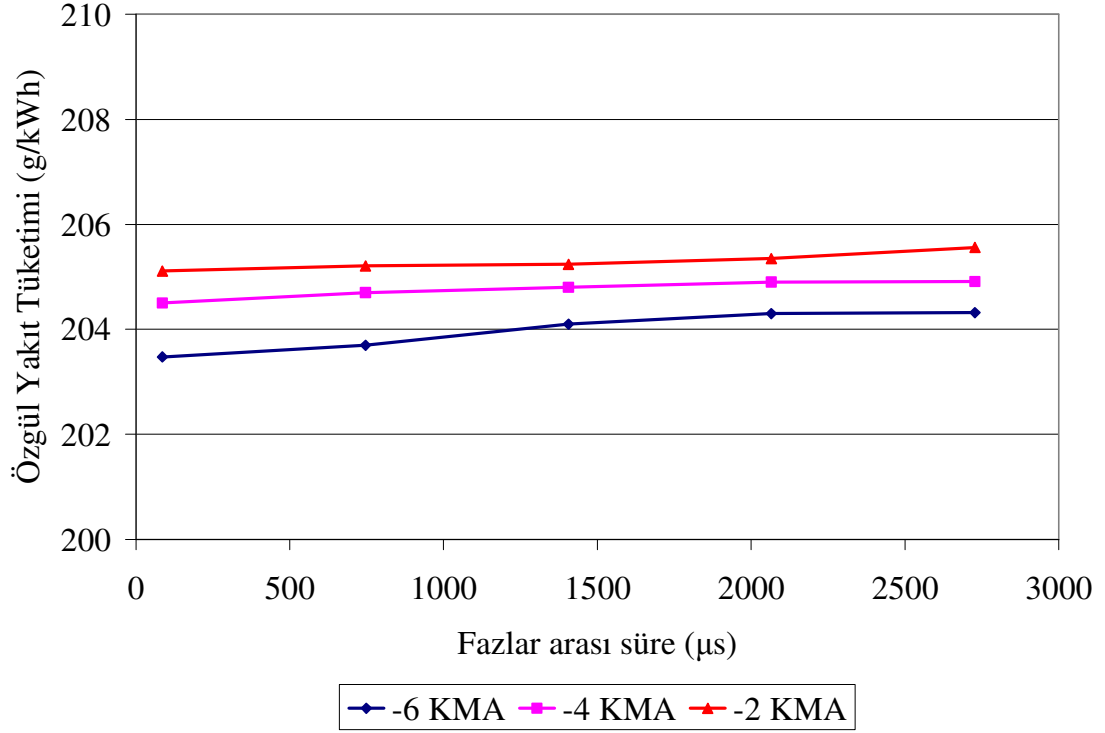
Şekil 4.61 1779x20,80x1000 çalışma noktasında CO oluşumu



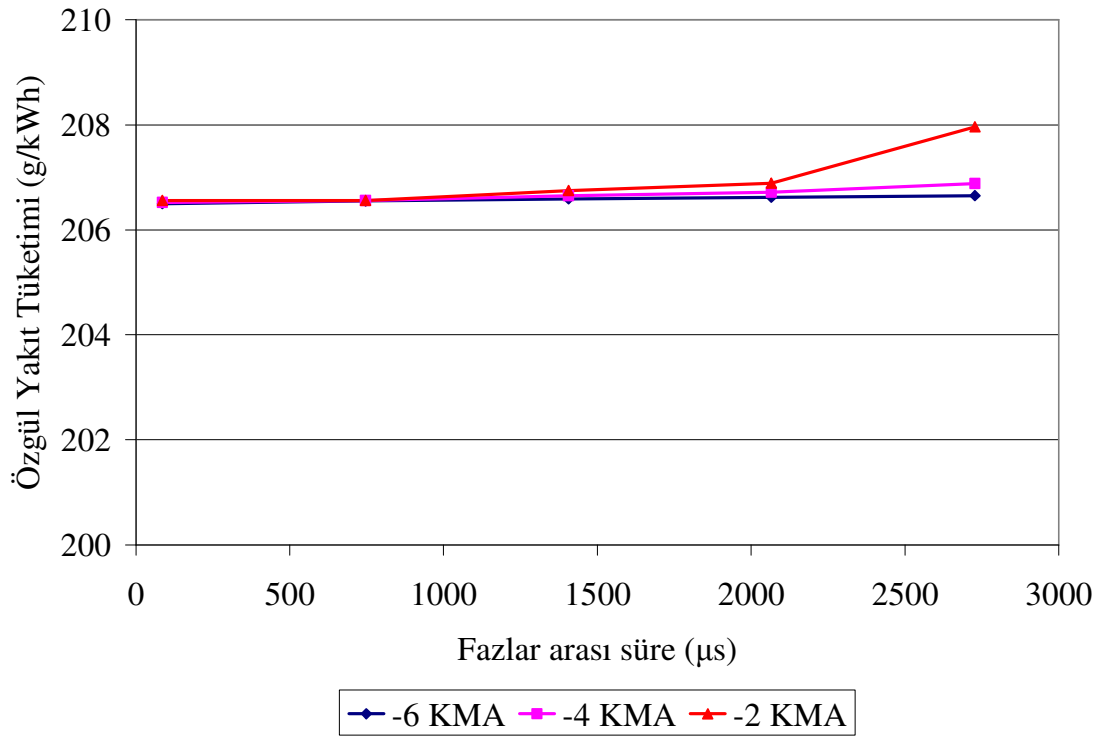
Şekil 4.62 2130x20,80x1000 çalışma noktasında HC oluşumu



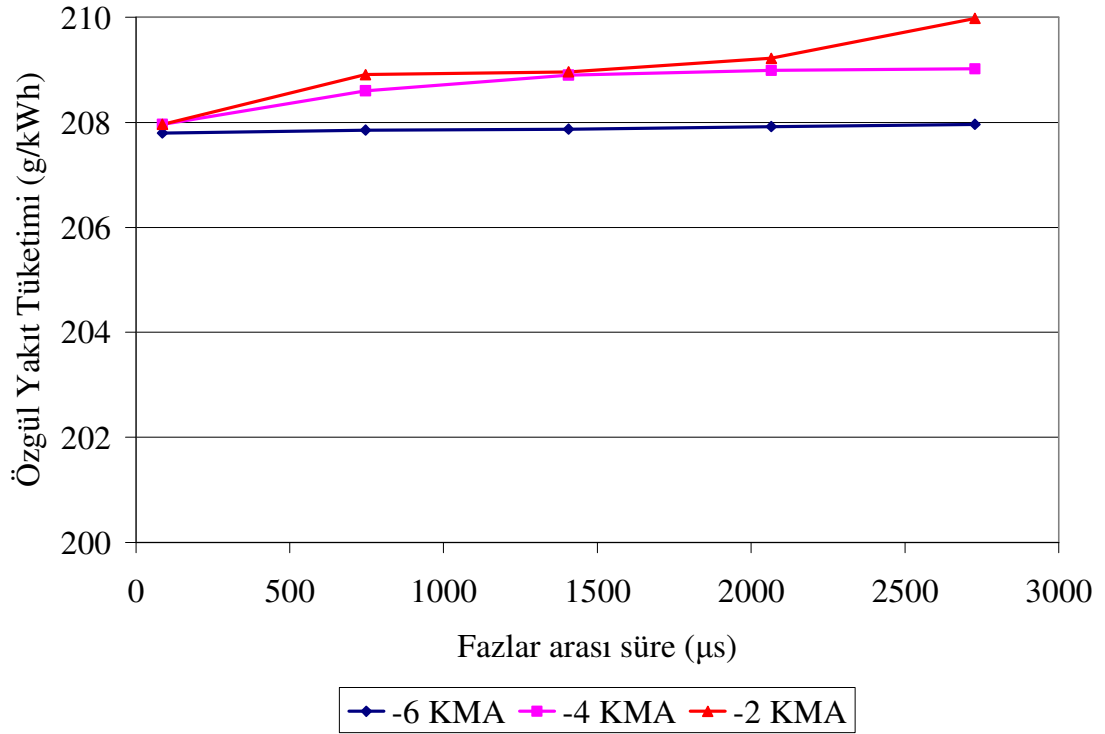
Şekil 4.63 2130x20,80x1000 çalışma noktasında CO oluşumu



Şekil 4.64 1428x20,80x1000 çalışma noktasında özgül yakıt tüketimi



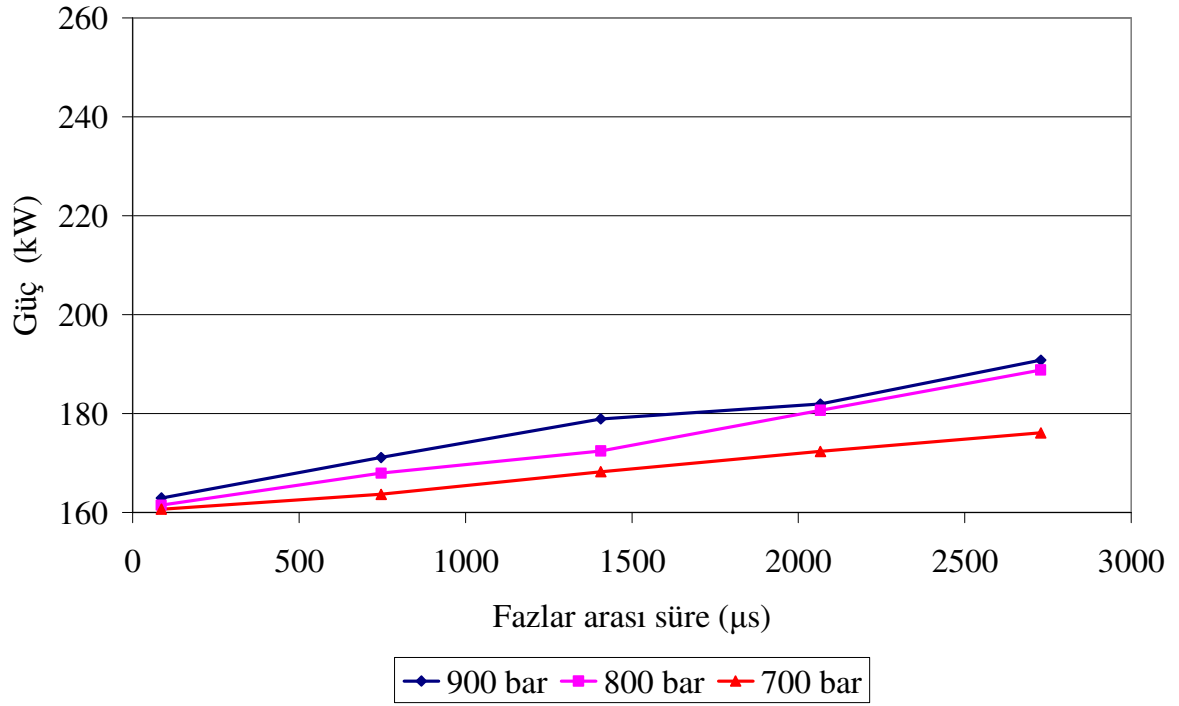
Şekil 4.65 1779x20,80x1000 çalışma noktasında özgül yakıt tüketimi



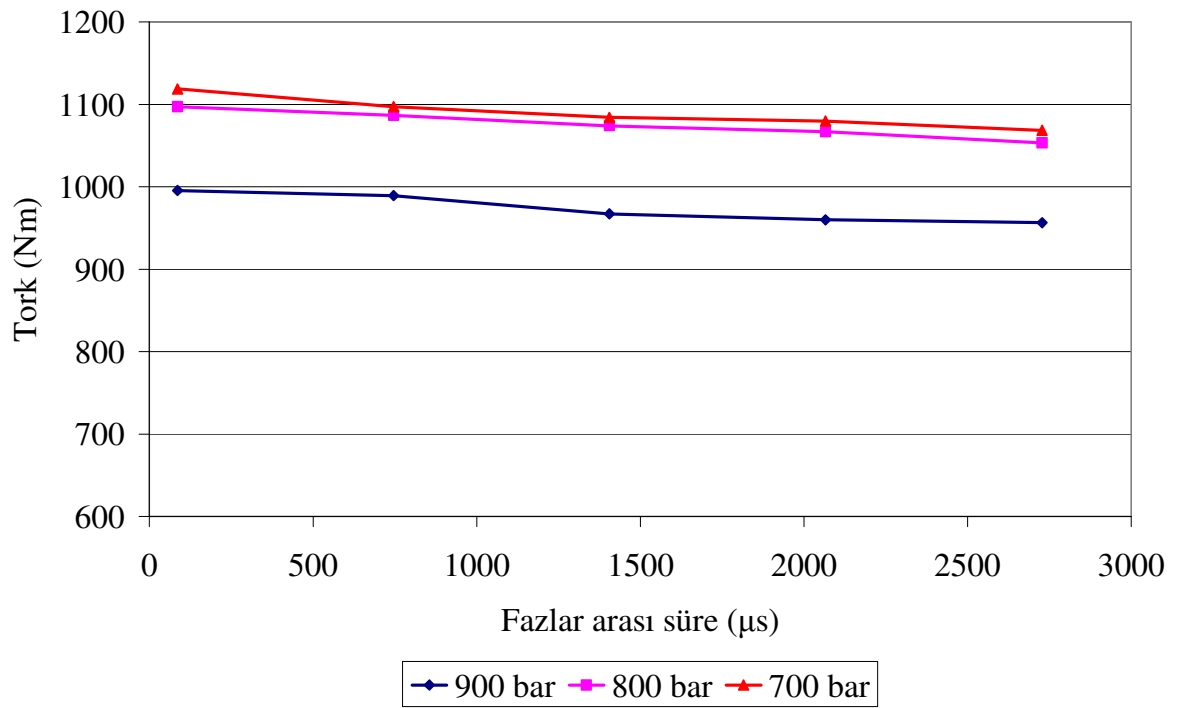
Şekil 4.66 2130x20,80x1000 çalışma noktasında özgül yakıt tüketimi

4.3 Püskürtme Basıncı Testi (Test 3)

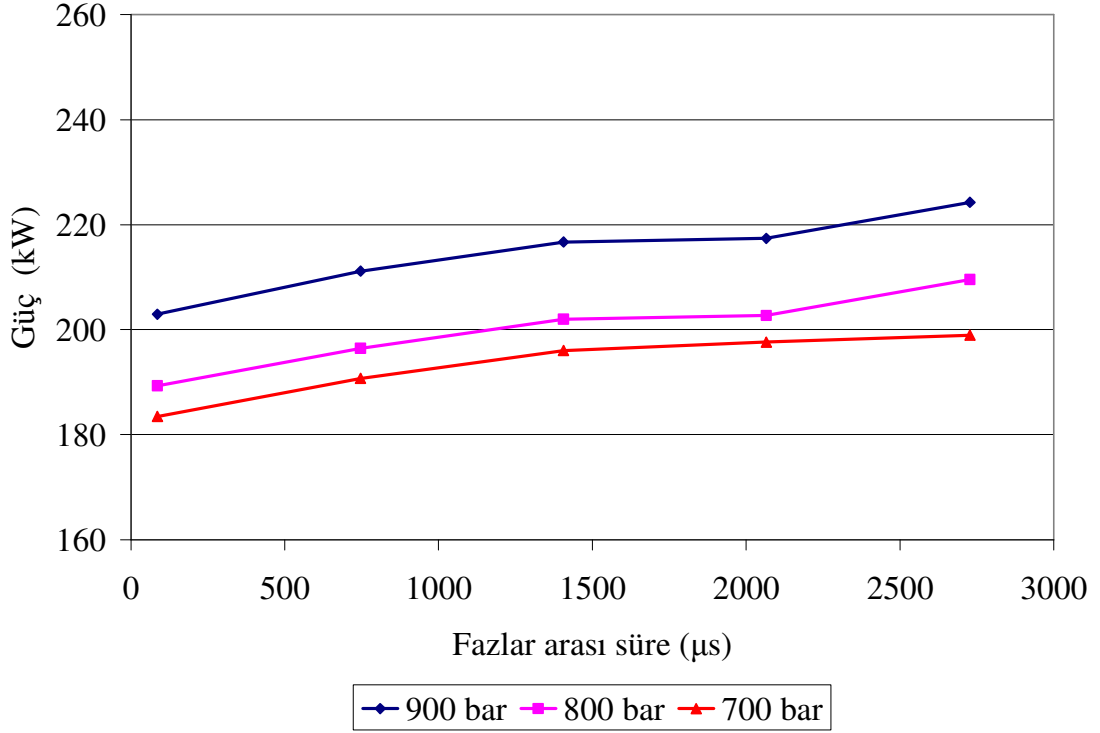
Püskürtme basıncı testlerinde ilk olarak 1428 rpm, 1779 rpm ve 2130 rpm motor hızlarında 900 bar, 800 bar ve 700 bar püskürtme avansları için iki faz arası sürenin tork ve güce etkisi incelenmiştir.



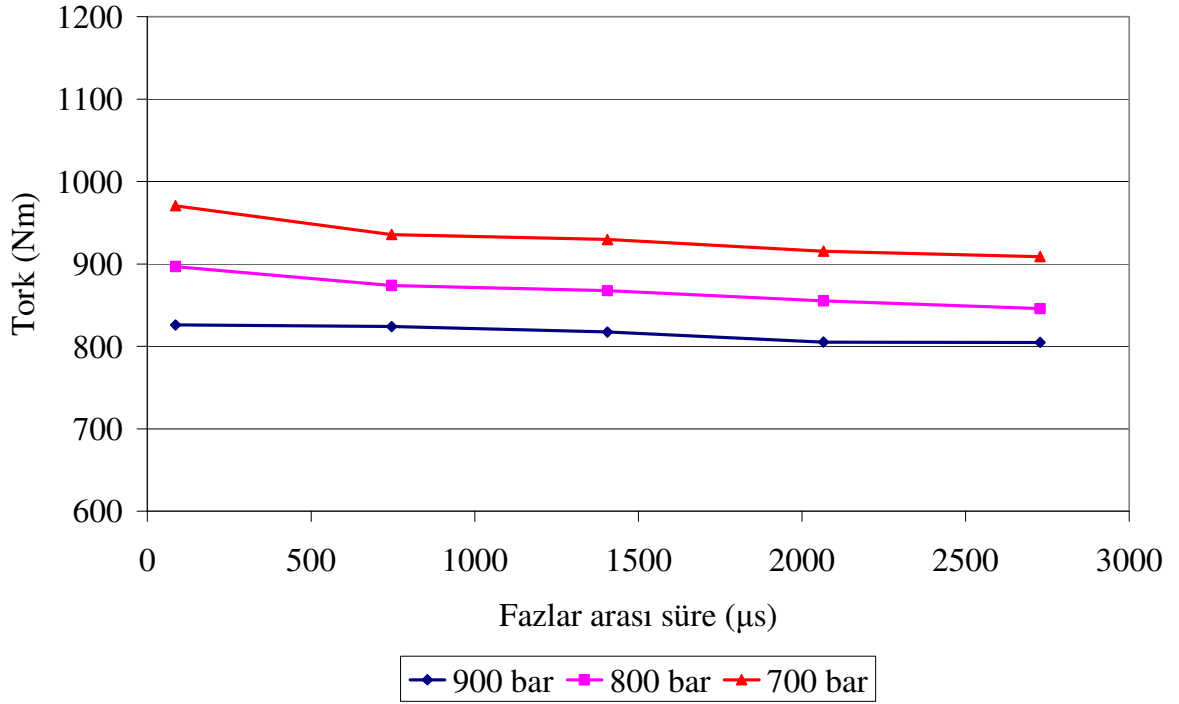
Şekil 4.67 1428x20,80x(-6) çalışma noktalarında güç grafiği



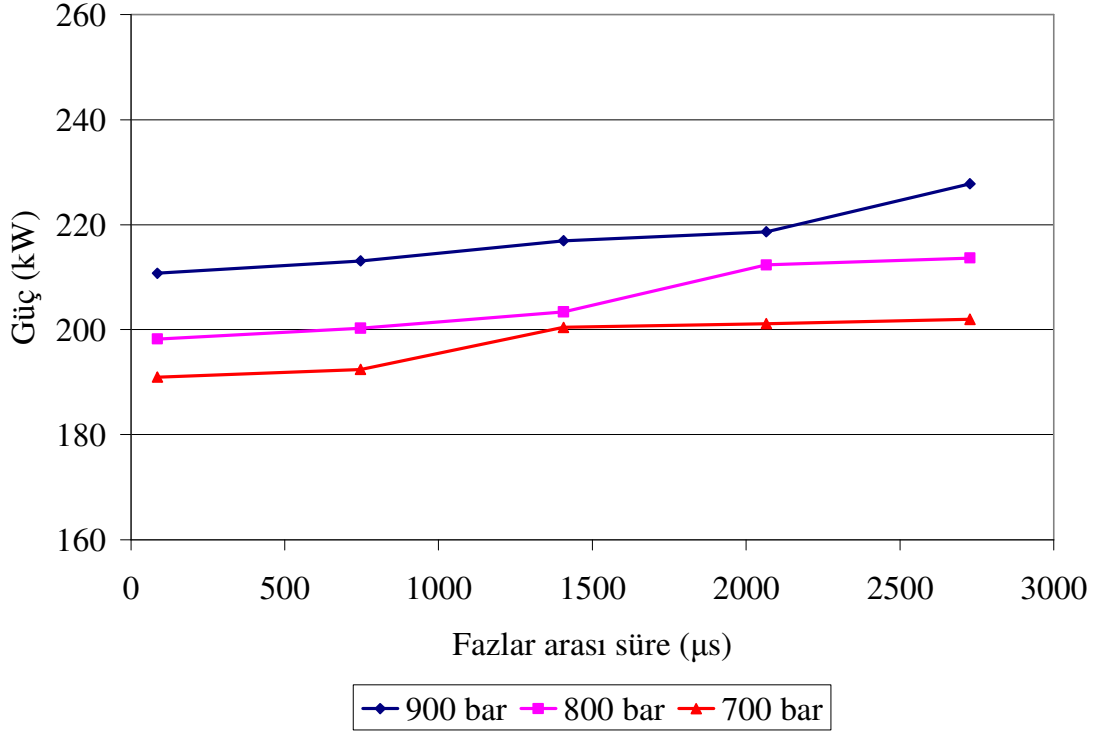
Şekil 4.68 1428x20,80x(-6) çalışma noktalarında tork grafiği



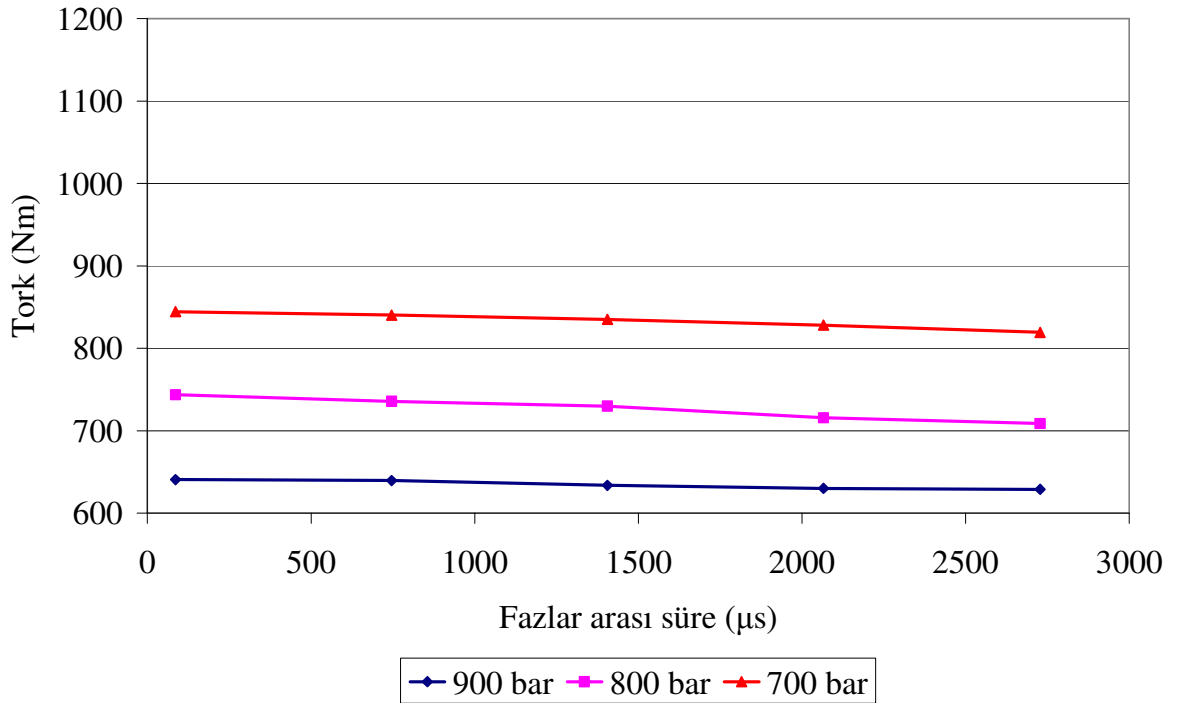
Şekil 4.69 1779x20,80x(-6) çalışma noktalarında güç grafiği



Şekil 4.70 1779x20,80x(-6) çalışma noktalarında tork grafiği

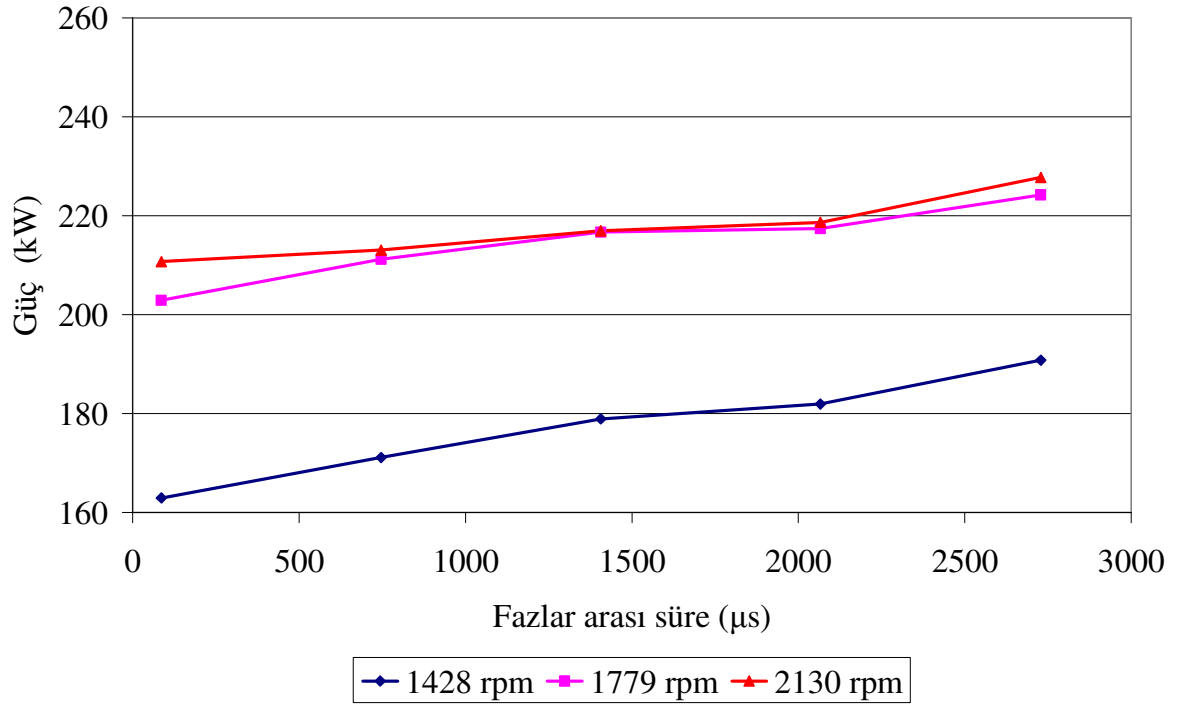


Şekil 4.71 2130x20,80x(-6) çalışma noktalarında güç grafiği

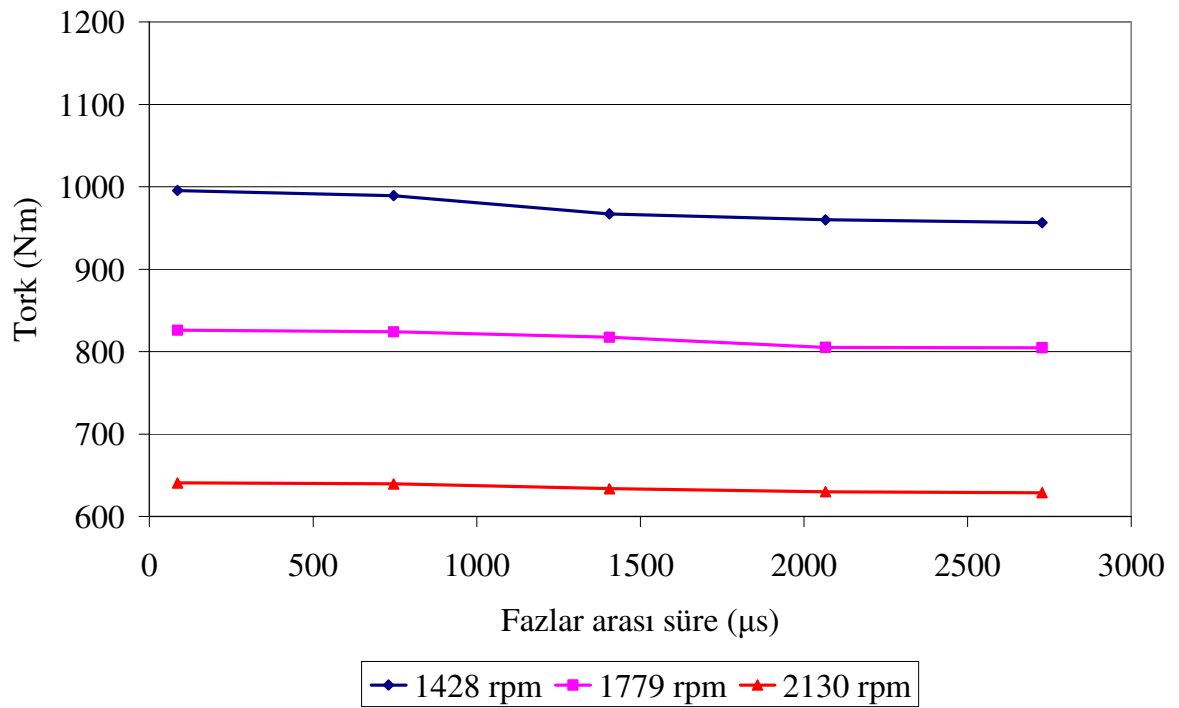


Şekil 4.72 2130x20,80x(-6) çalışma noktalarında tork grafiği

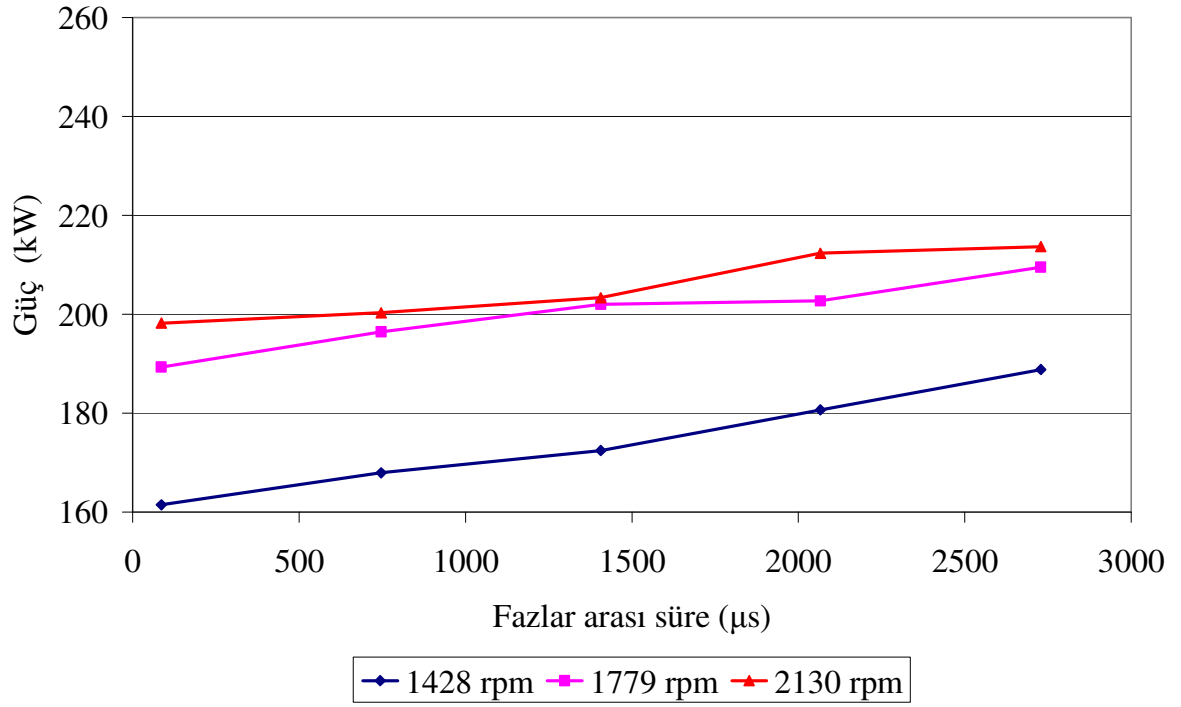
Motor hızına göre her bir püskürtme avansındaki tork ve güç karşılaştırılsa;



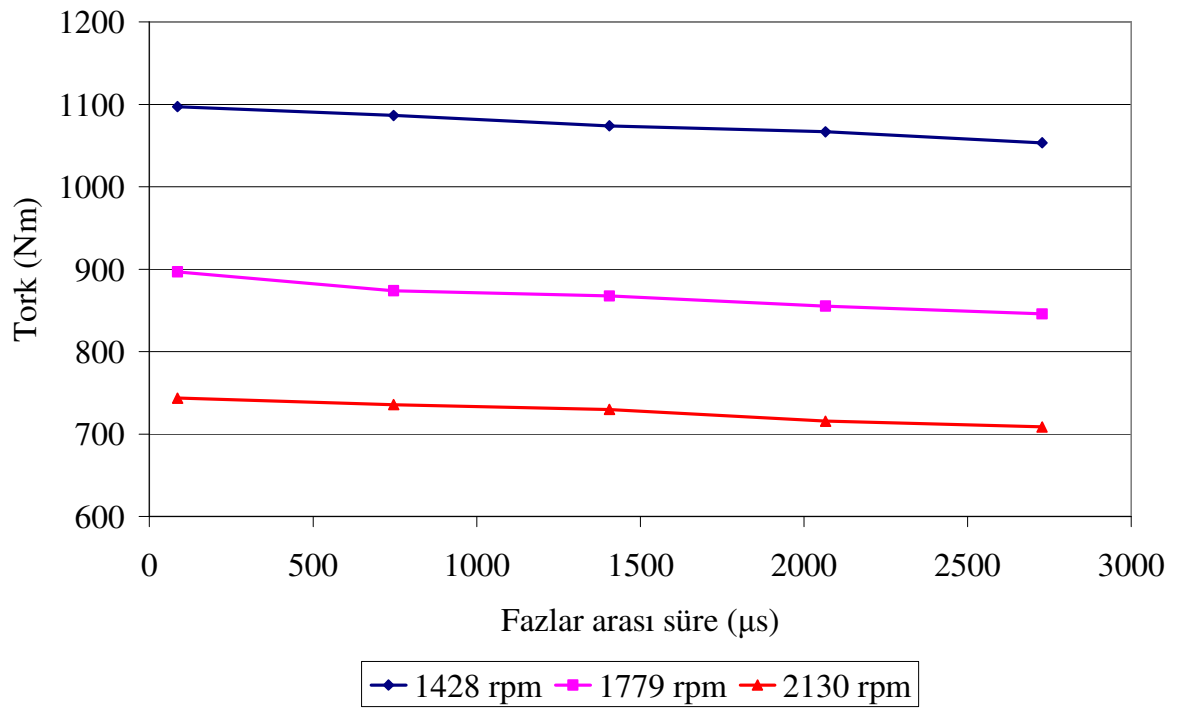
Şekil 4.73 20,80x(-6)x900 çalışma noktalarında güç grafiği



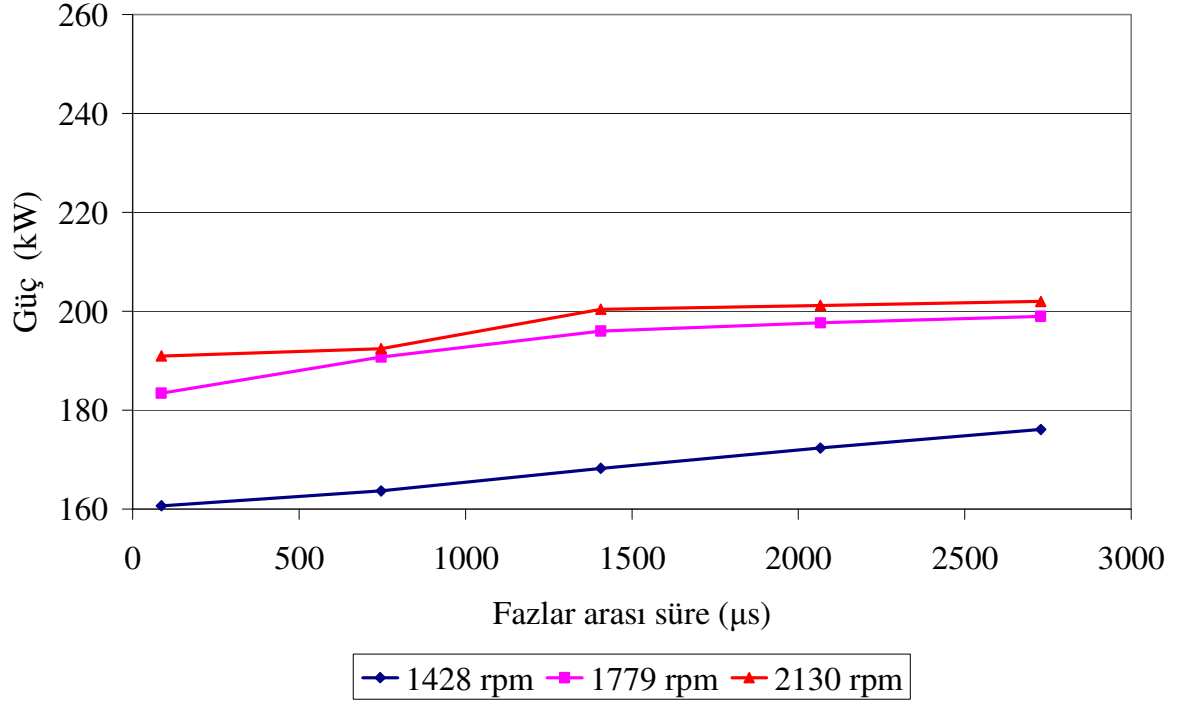
Şekil 4.74 20,80x(-6)x900 çalışma noktalarında tork grafiği



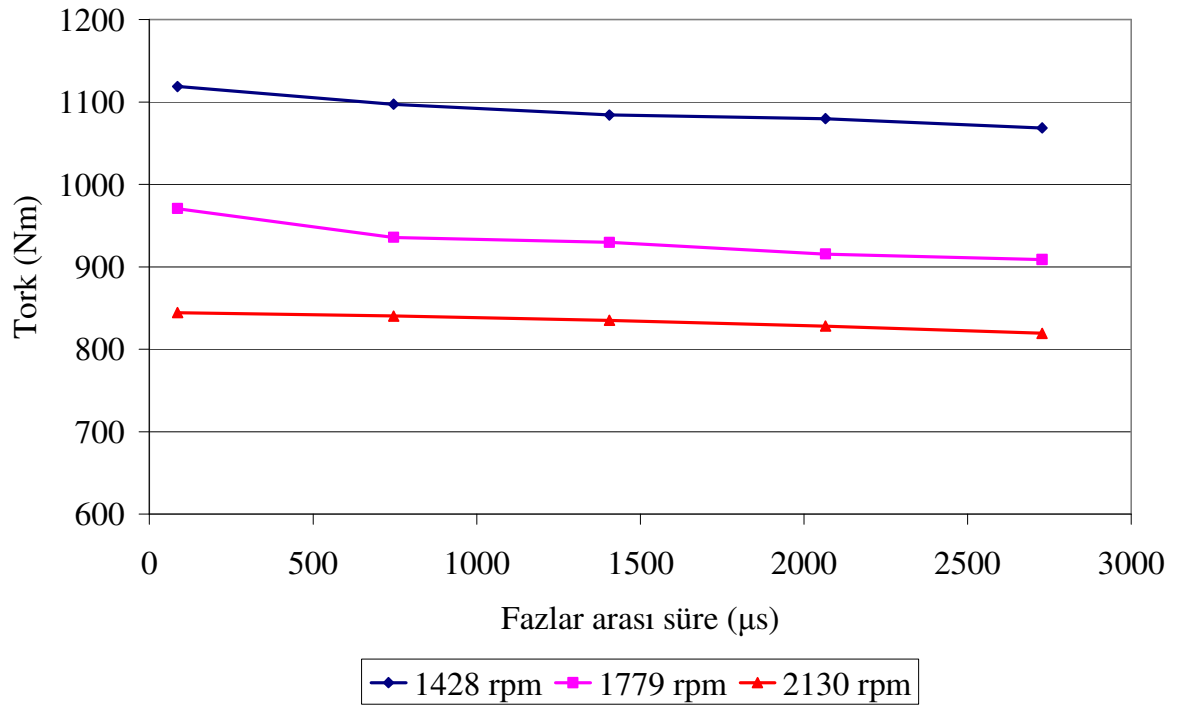
Şekil 4.75 20,80x(-6)x800 çalışma noktalarında güç grafiği



Şekil 4.76 20,80x(-6)x800 çalışma noktalarında tork grafiği

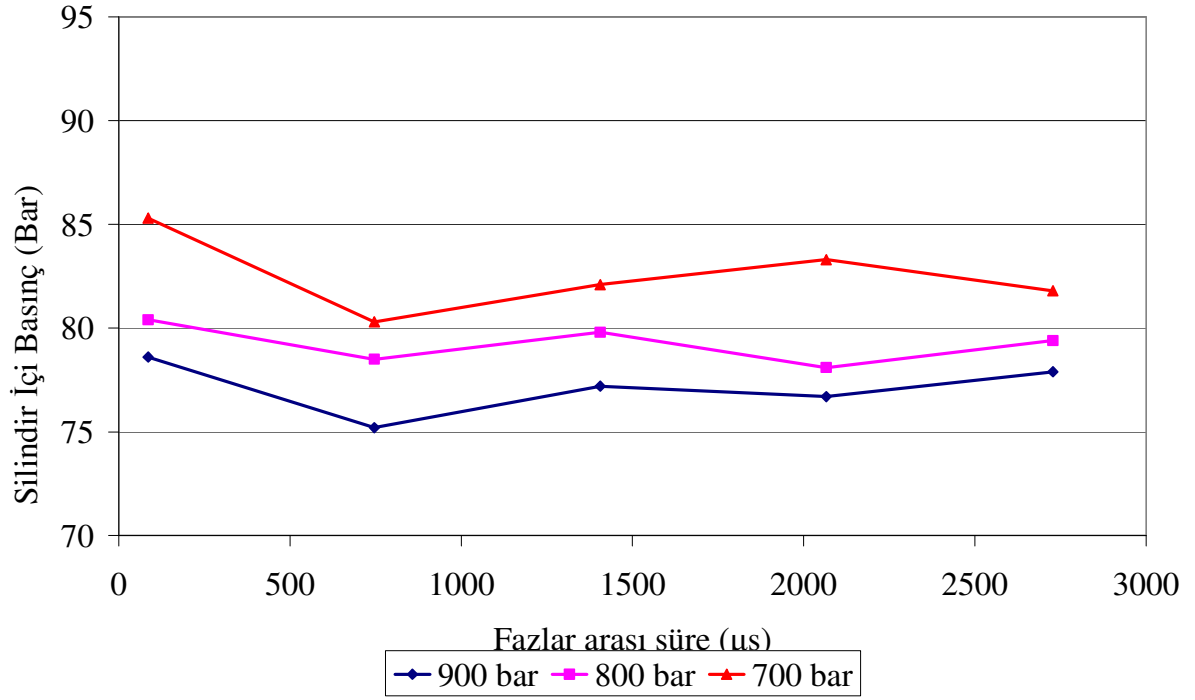


Şekil 4.77 20,80x(-6)x700 çalışma noktalarında güç grafiği

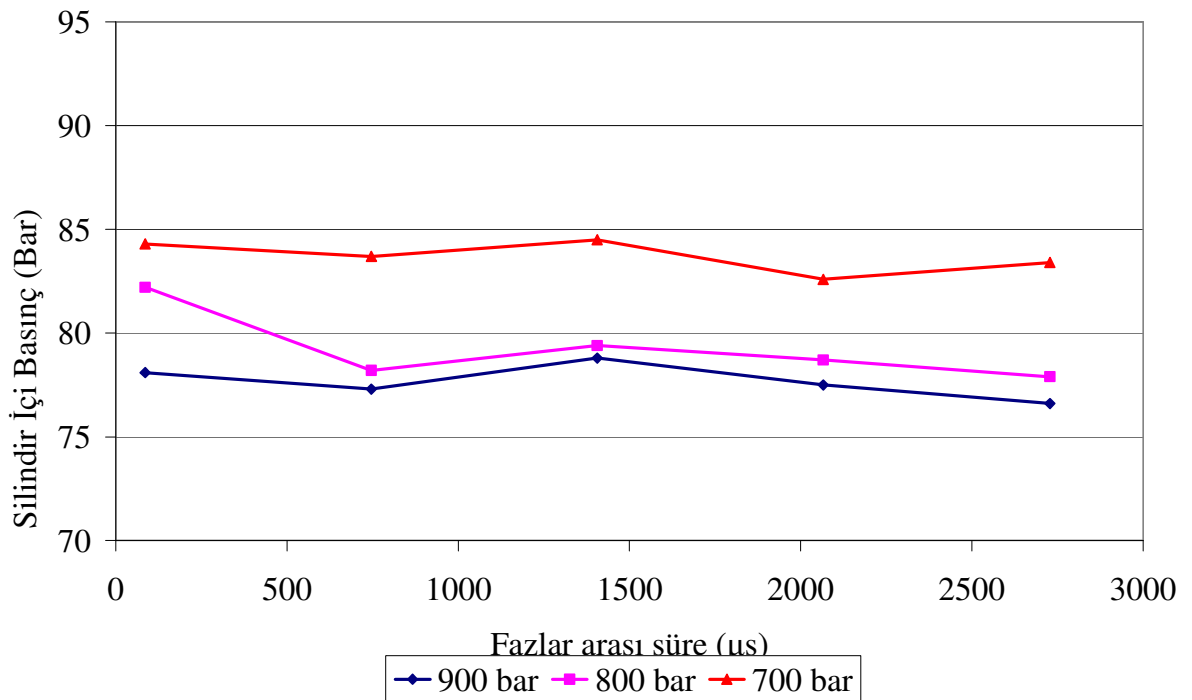


Şekil 4.78 20,80x(-6)x700 çalışma noktalarında tork grafiği

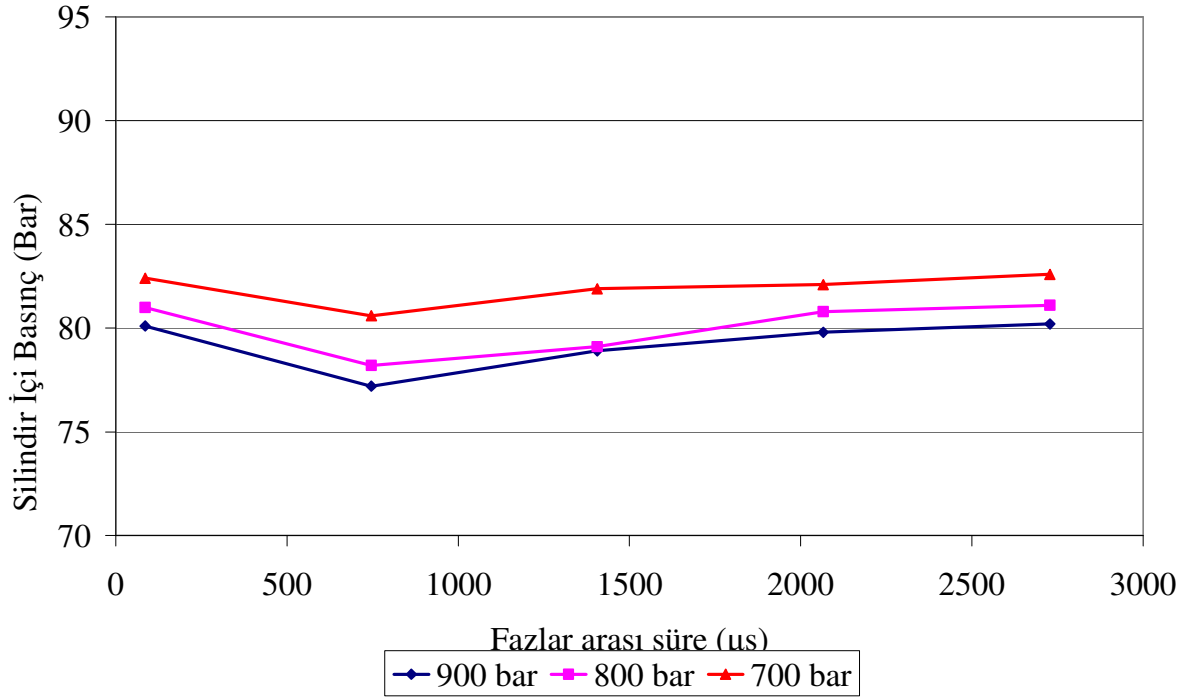
Silindir içi basınç değişimlerini incelediğimizde, en fazla NO_x oluşumunun silindir içi basıncının en yüksek olduğu noktalarda oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.79 1428x20,80x(-6) çalışma noktasında silindir içi basıncı değişimi

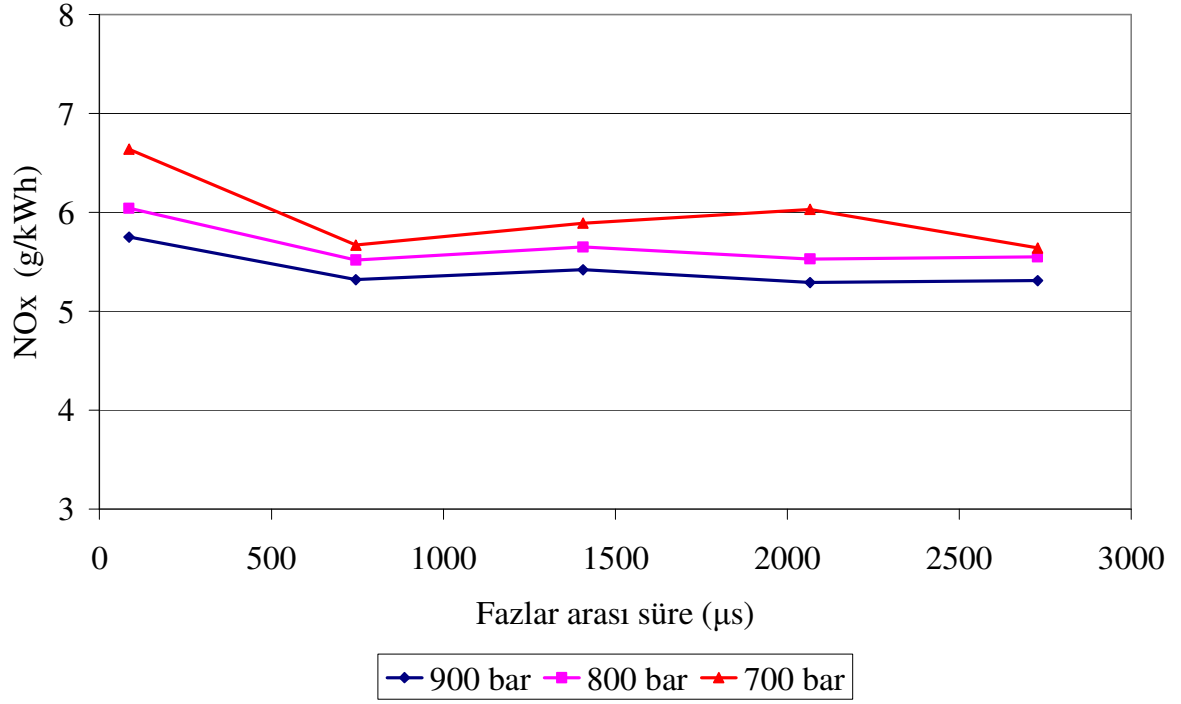


Şekil 4.80 1779x20,80x(-6) çalışma noktasında silindir içi basıncı değişimi

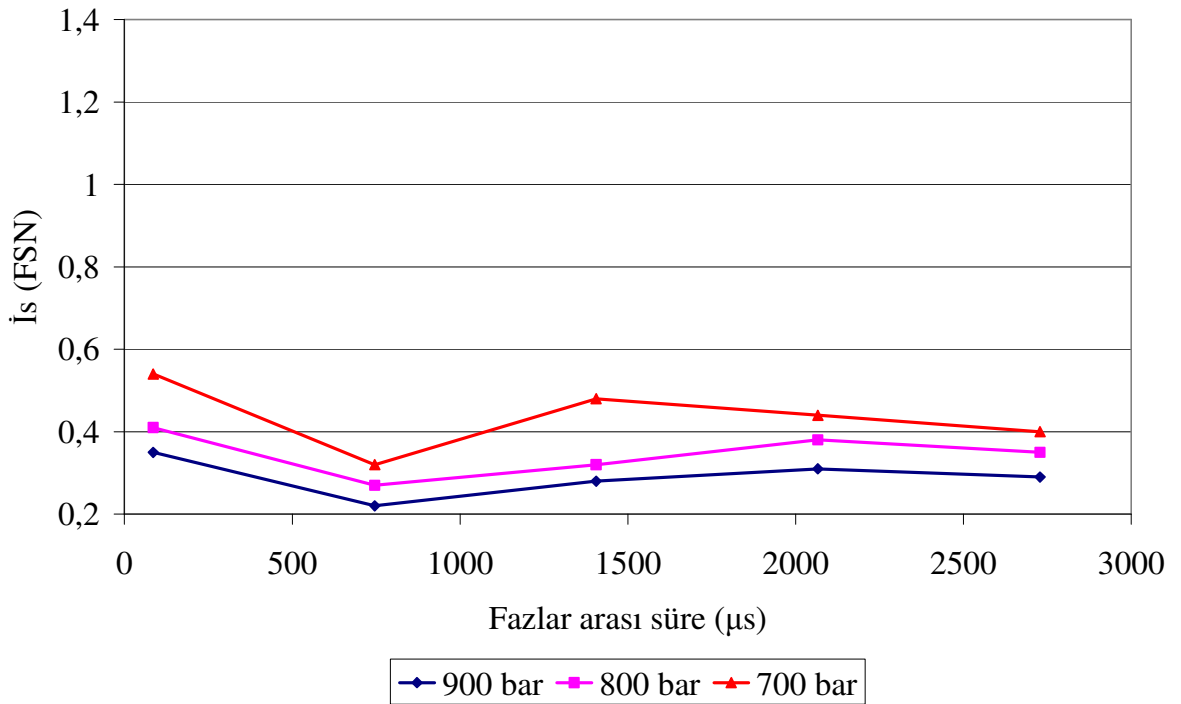


Şekil 4.81 2130x20,80x(-6) çalışma noktasında silindir içi basıncı değişimi

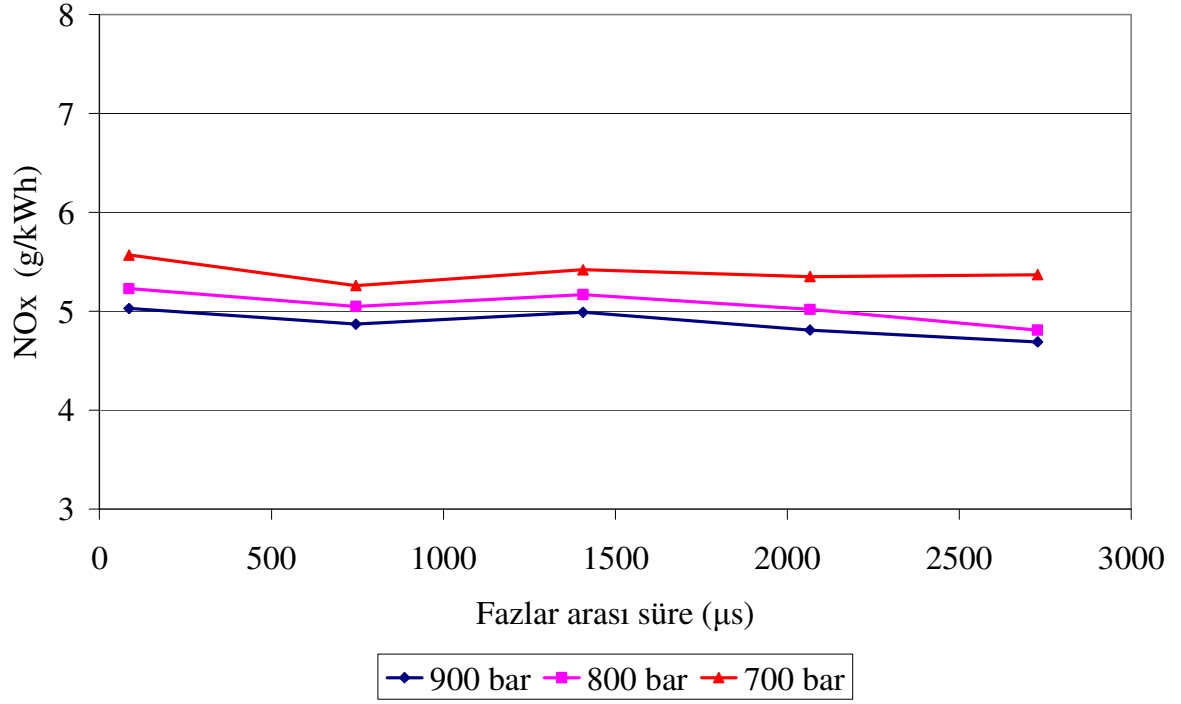
1428 rpm, 1779 rpm ve 2130 rpm motor hızlarında 900 bar, 800 bar ve 700 bar püskürtme basıncında, iki faz arası sürenin NO_x , is, HC ve CO oluşumuna etkisi incelenmiştir. Püskürtme basıncı yakıt daha iyi parçalanıp damlacık çapı küçüldüğünden dolayı tutuşma gecikmesi kısılmaktadır. Aşağıdaki şekillerde de görüldüğü üzere bu durumun etkisiyle NO_x ve is oluşumu azalmıştır.



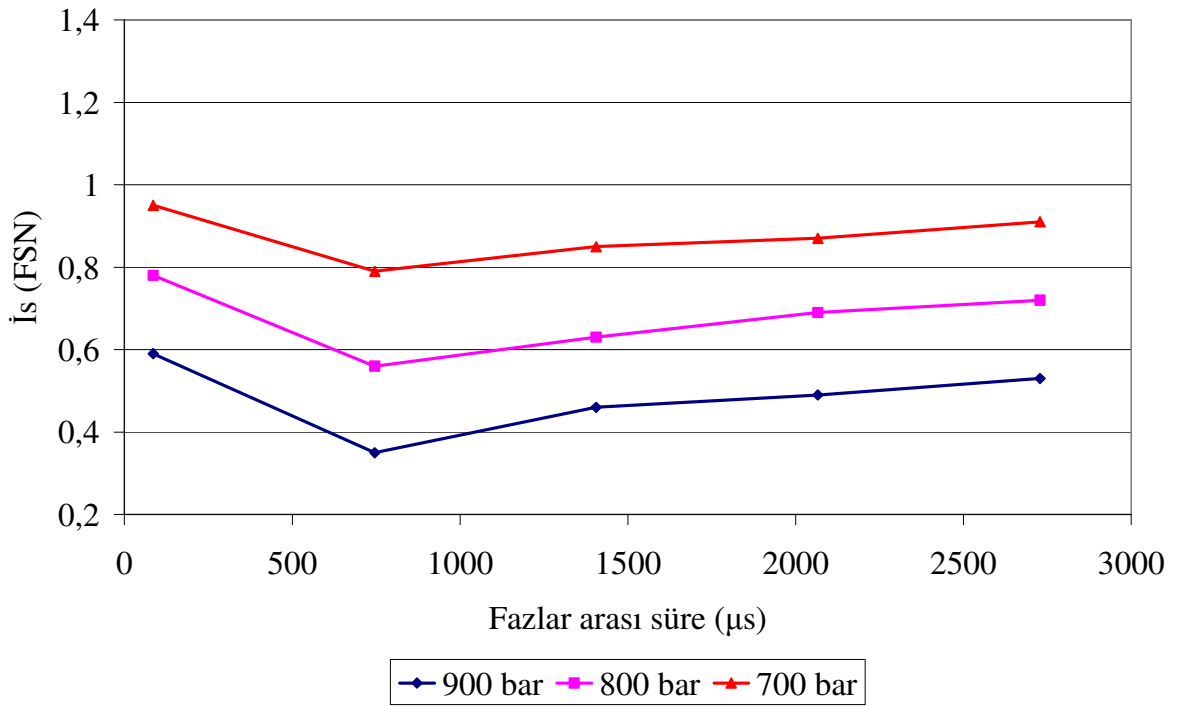
Şekil 4.82 1428x20,80x(-6) çalışma noktasında NO_x oluşumu



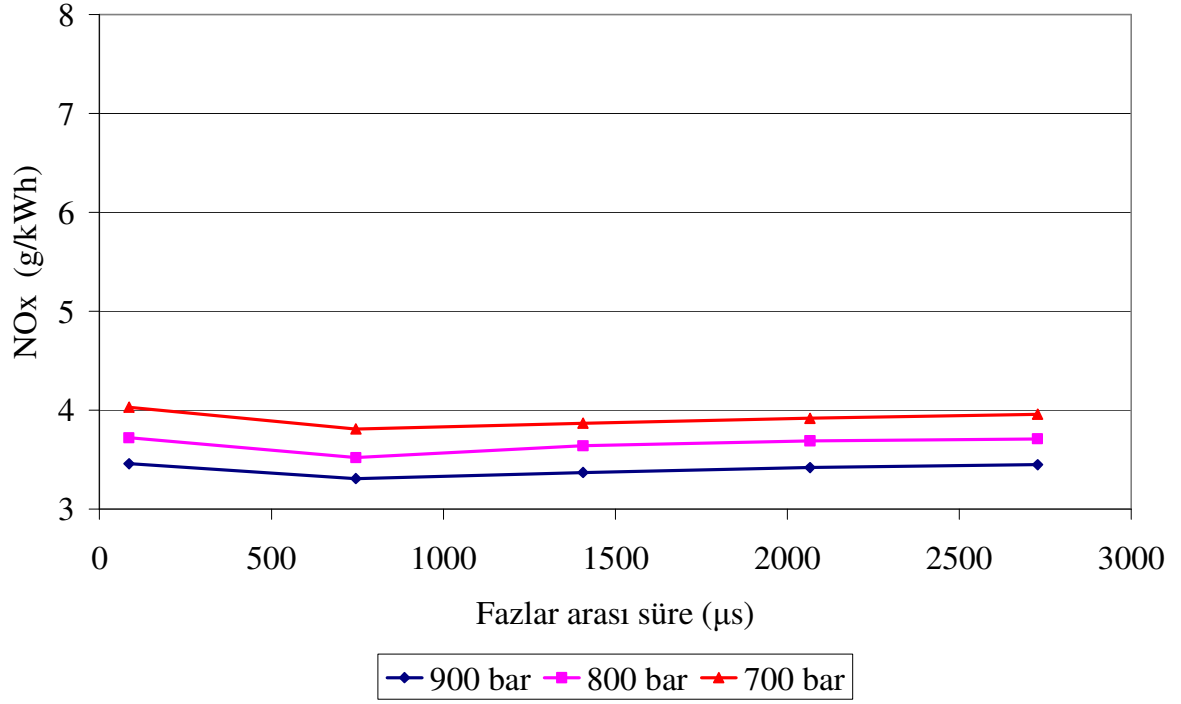
Şekil 4.83 1428x20,80x(-6) çalışma noktasında İs oluşumu



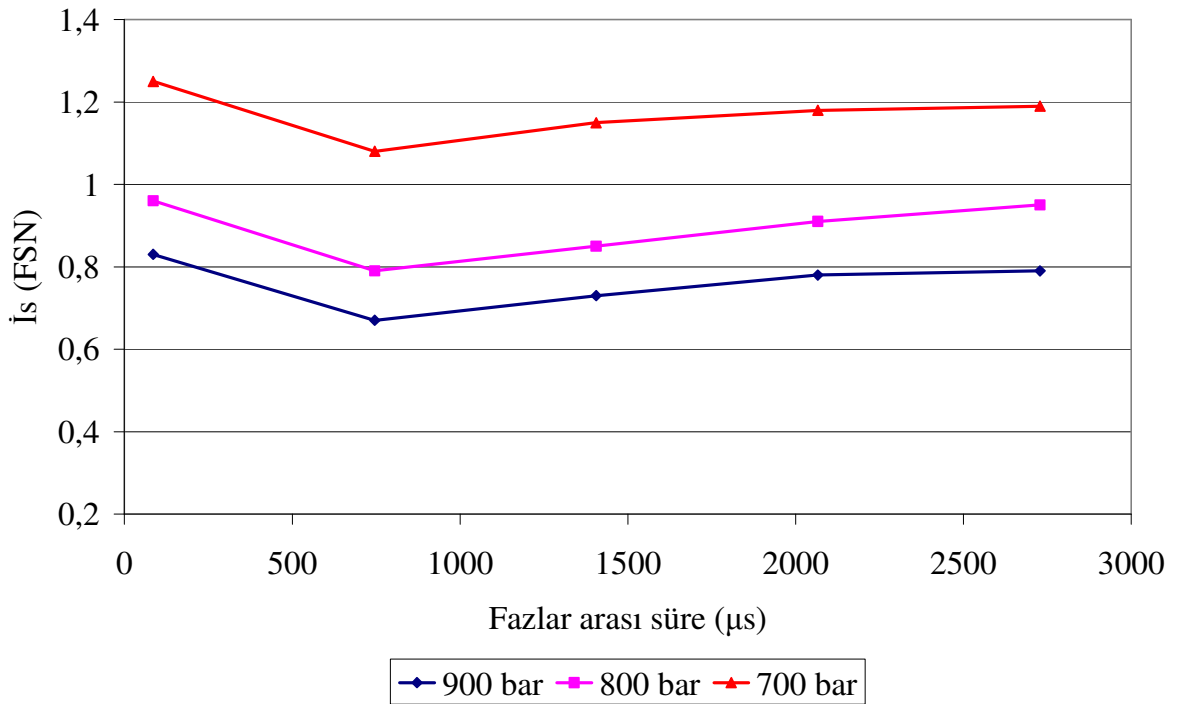
Şekil 4.84 1779x20,80x(-6) çalışma noktasında NO_x oluşumu



Şekil 4.85 1779x20,80x(-6) çalışma noktasında is oluşumu



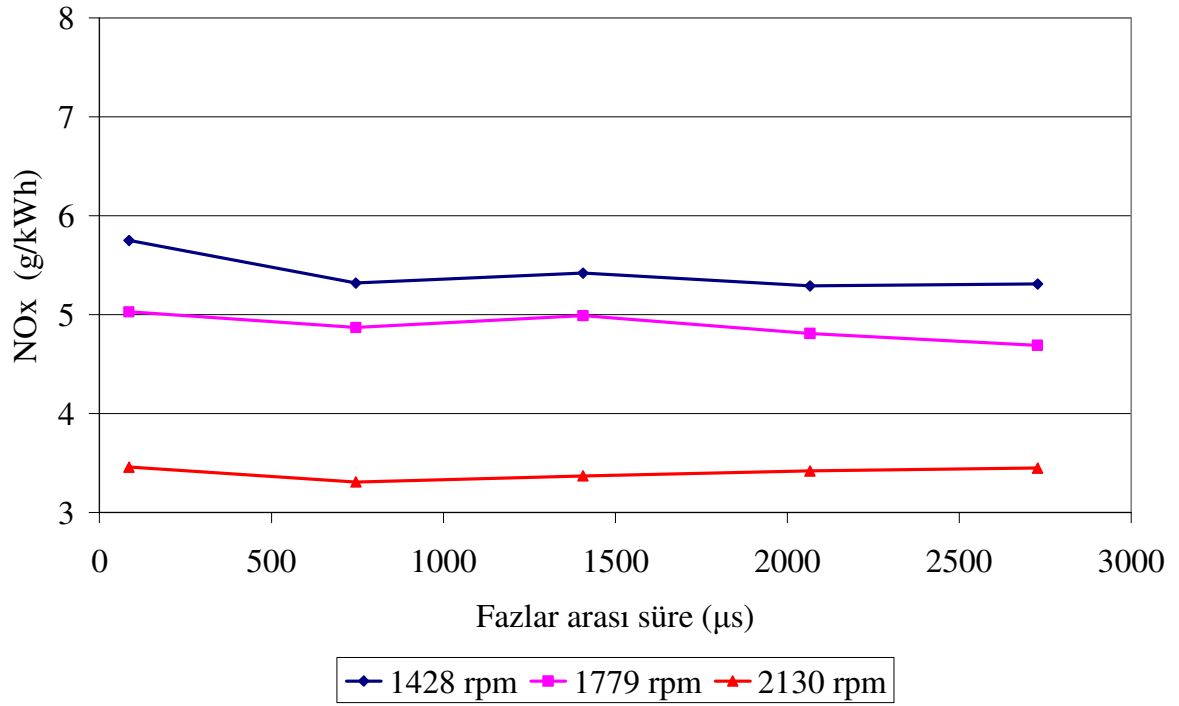
Şekil 4.86 2130x20,80x(-6) çalışma noktasında NO_x oluşumu



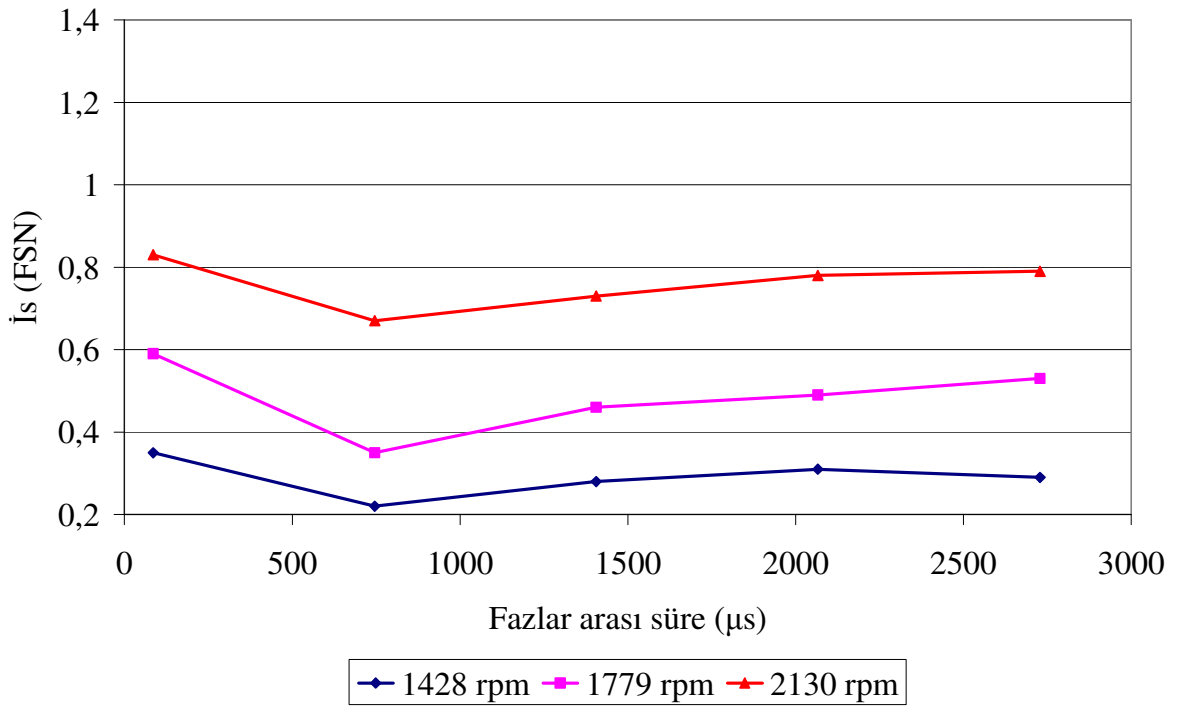
Şekil 4.87 2130x20,80x(-6) çalışma noktasında is oluşumu

Motor hızına göre her bir püskürtme basıncındaki NO_x ve is oluşumunu karşılaştırdığımızda en fazla NO_x oluşumunun düşük devirlerde meydana geldiği, is oluşumunun ise düşük

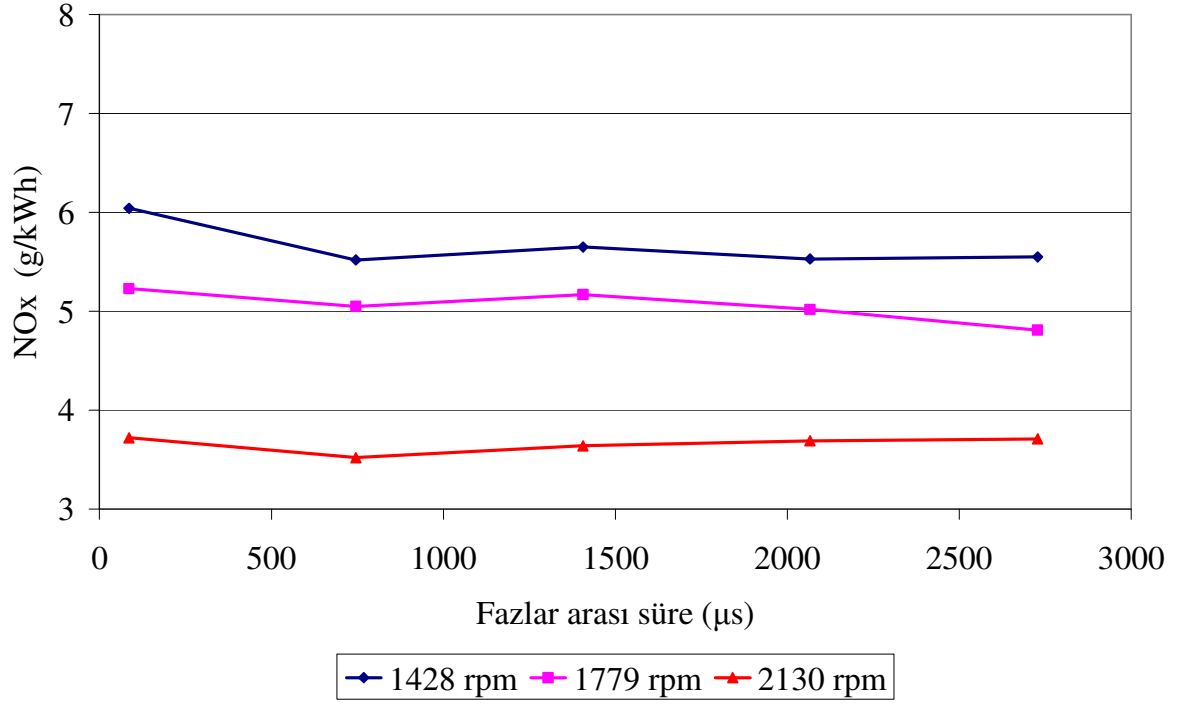
devirlerde düşük değerlerde kaldığı tespit edilmiştir.



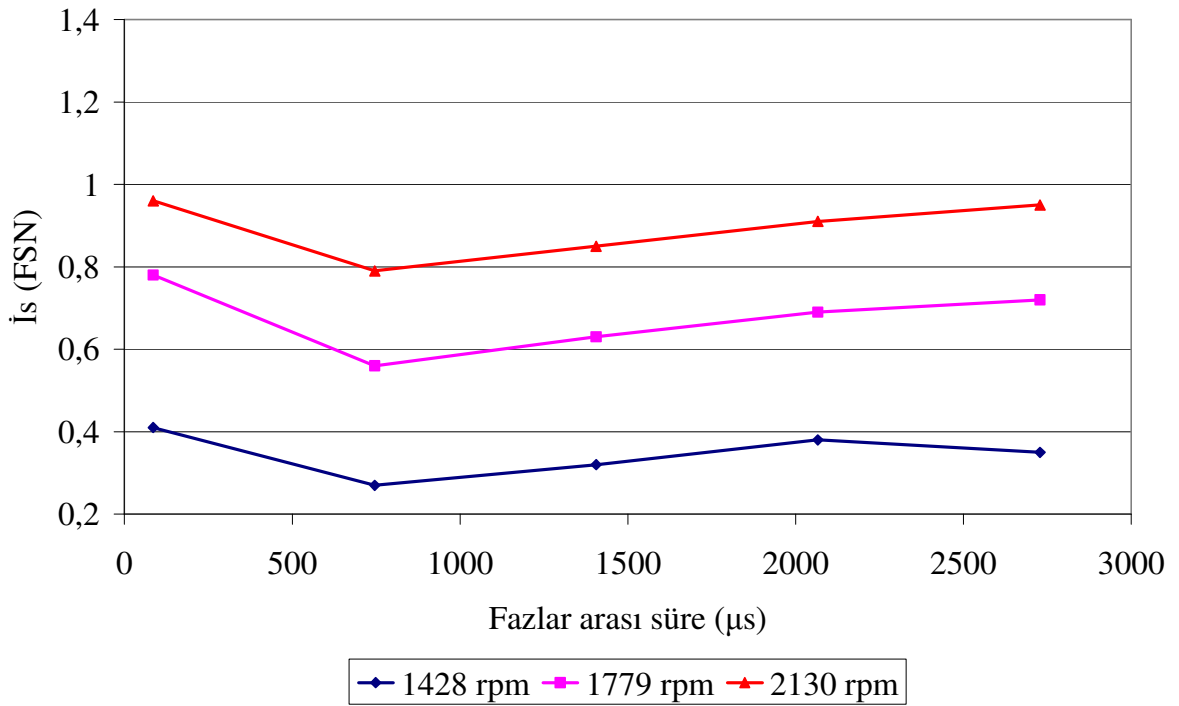
Şekil 4.88 20,80x(-6)x900 çalışma noktasında NO_x oluşumu



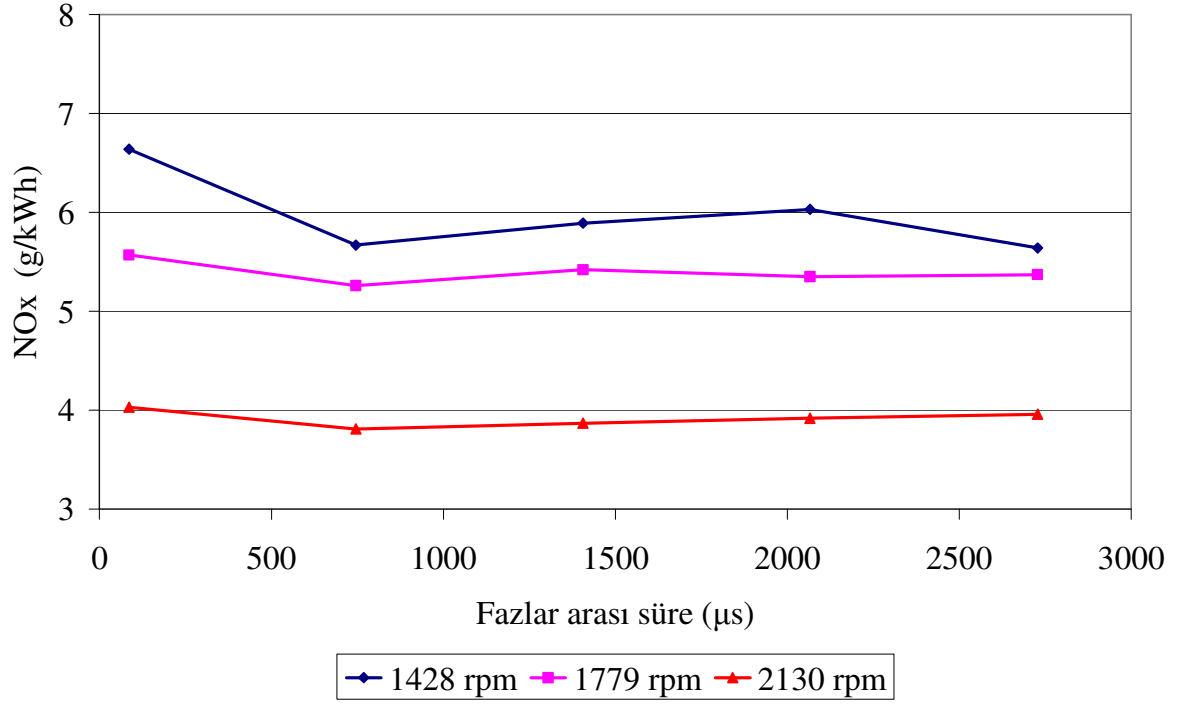
Şekil 4.89 20,80x(-6)x900 çalışma noktasında is oluşumu



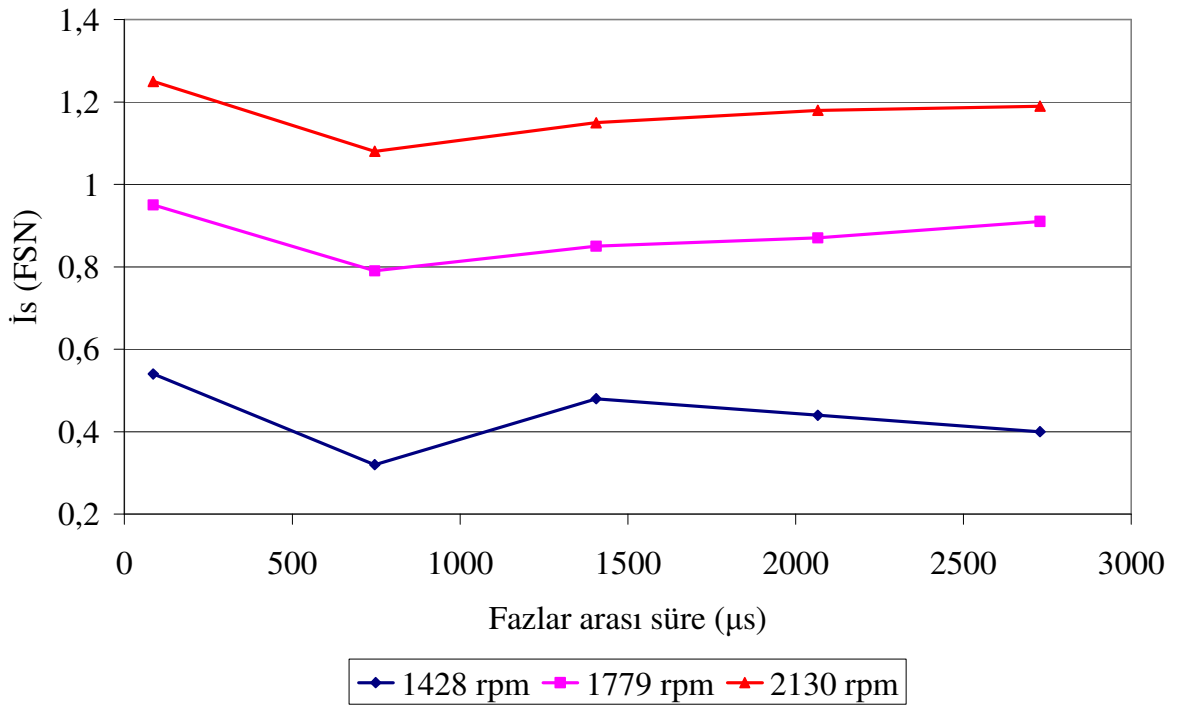
Şekil 4.90 20,80x(-6)x800 çalışma noktasında NO_x oluşumu



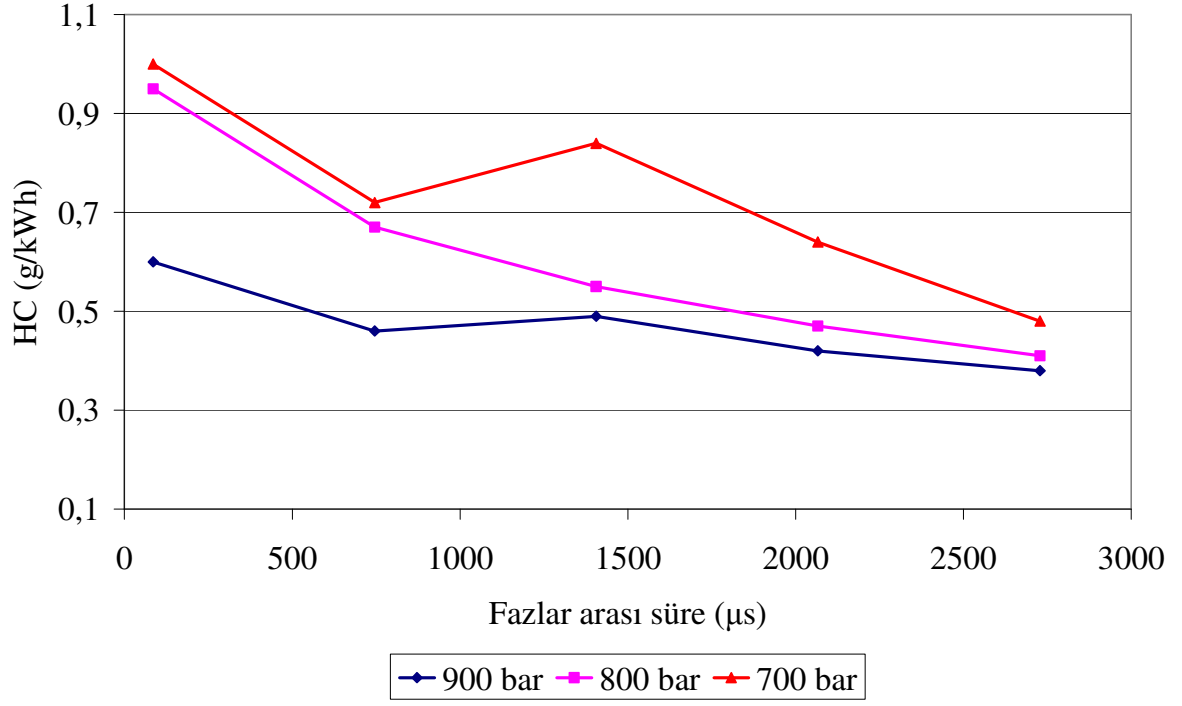
Şekil 4.91 20,80x(-6)x800 çalışma noktasında is oluşumu



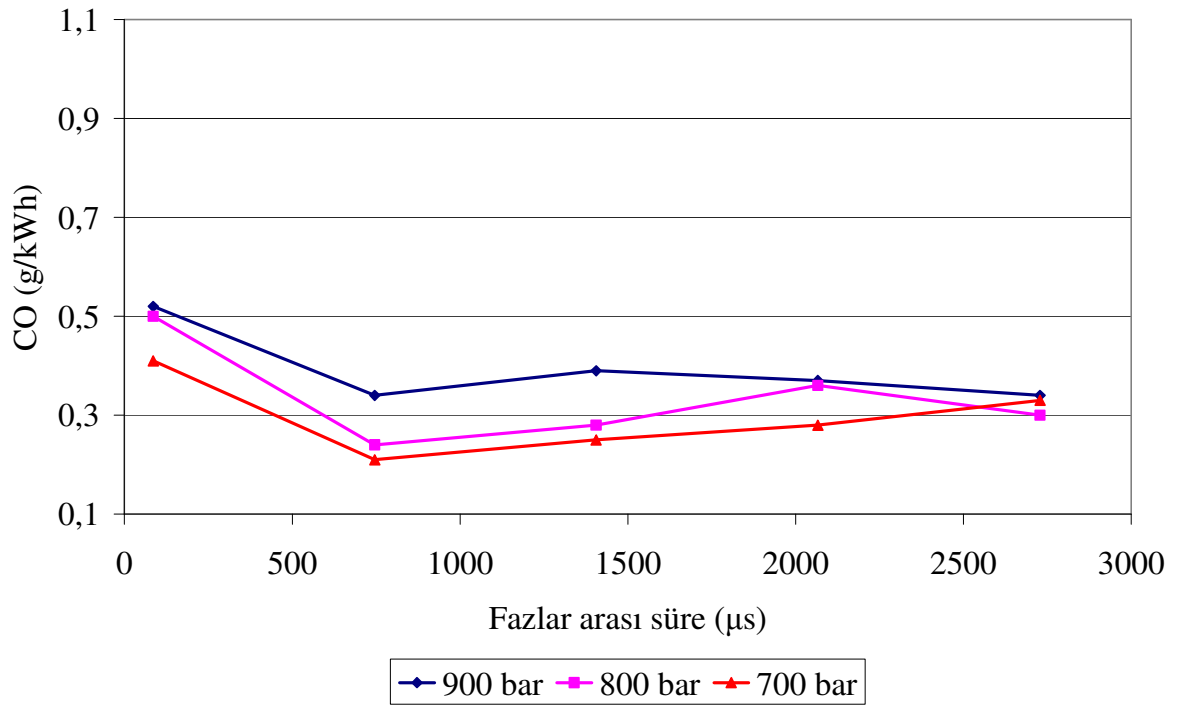
Şekil 4.92 20,80x(-6)x700 çalışma noktasında NO_x oluşumu



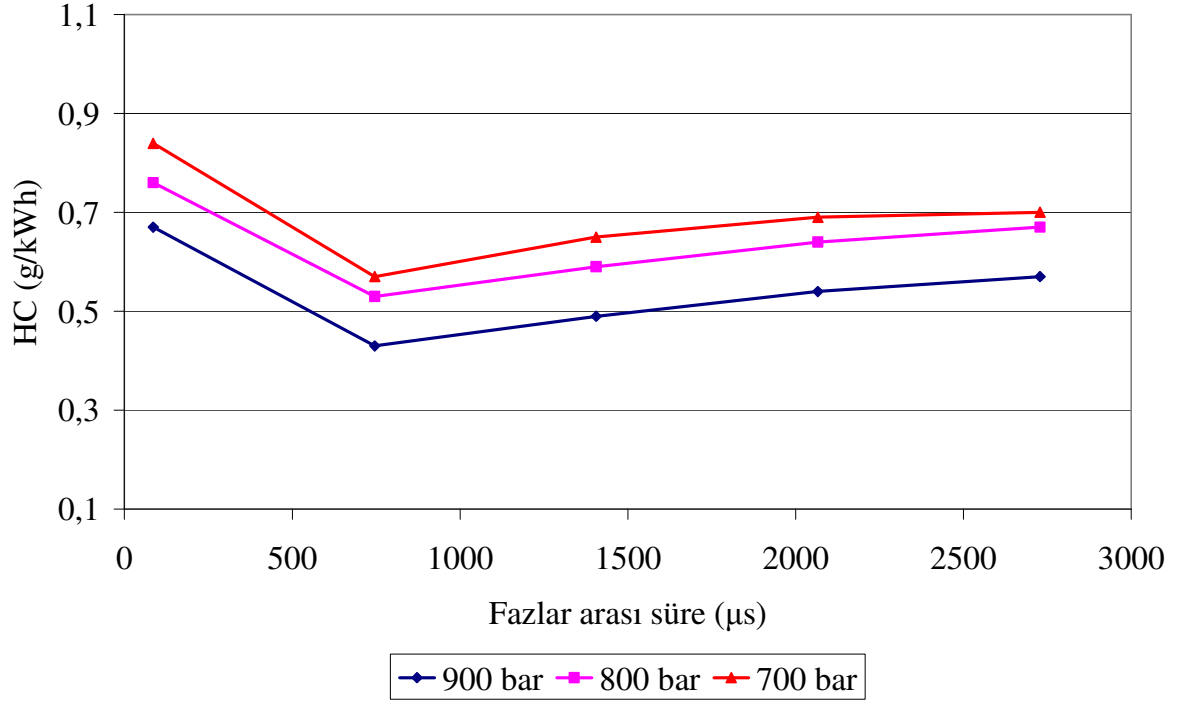
Şekil 4.93 20,80x(-6)x700 çalışma noktasında is oluşumu



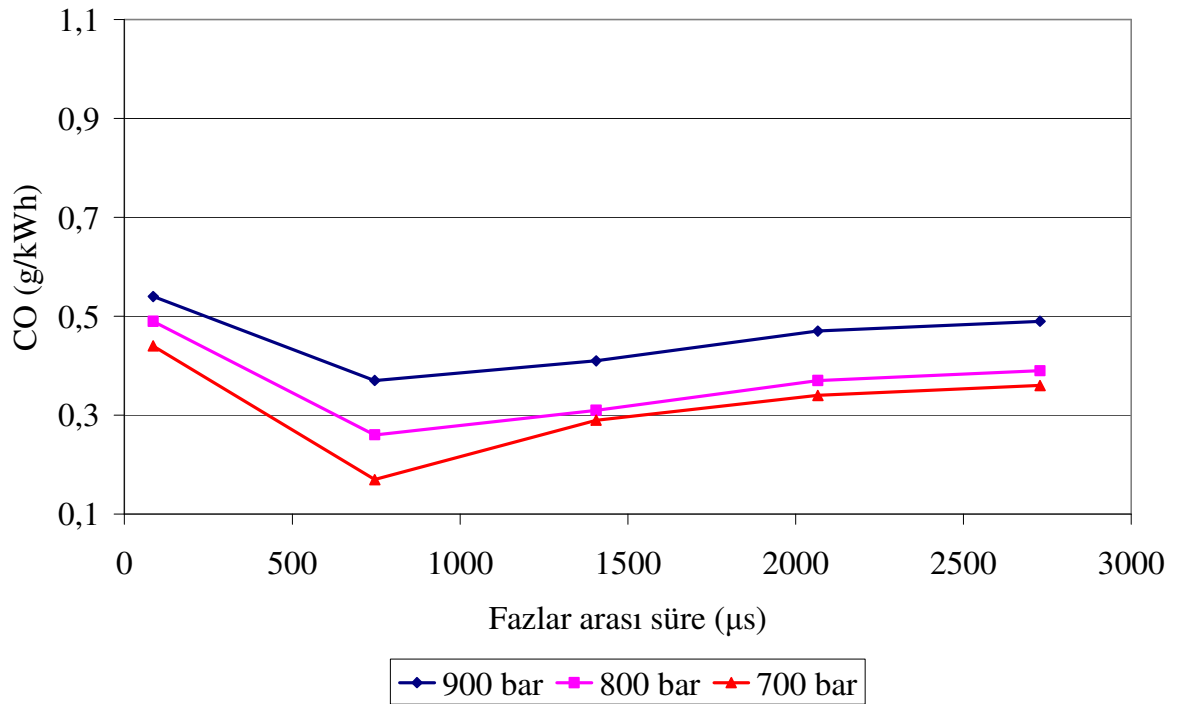
Şekil 4.94 1428x20,80x(-6) çalışma noktasında HC oluşumu



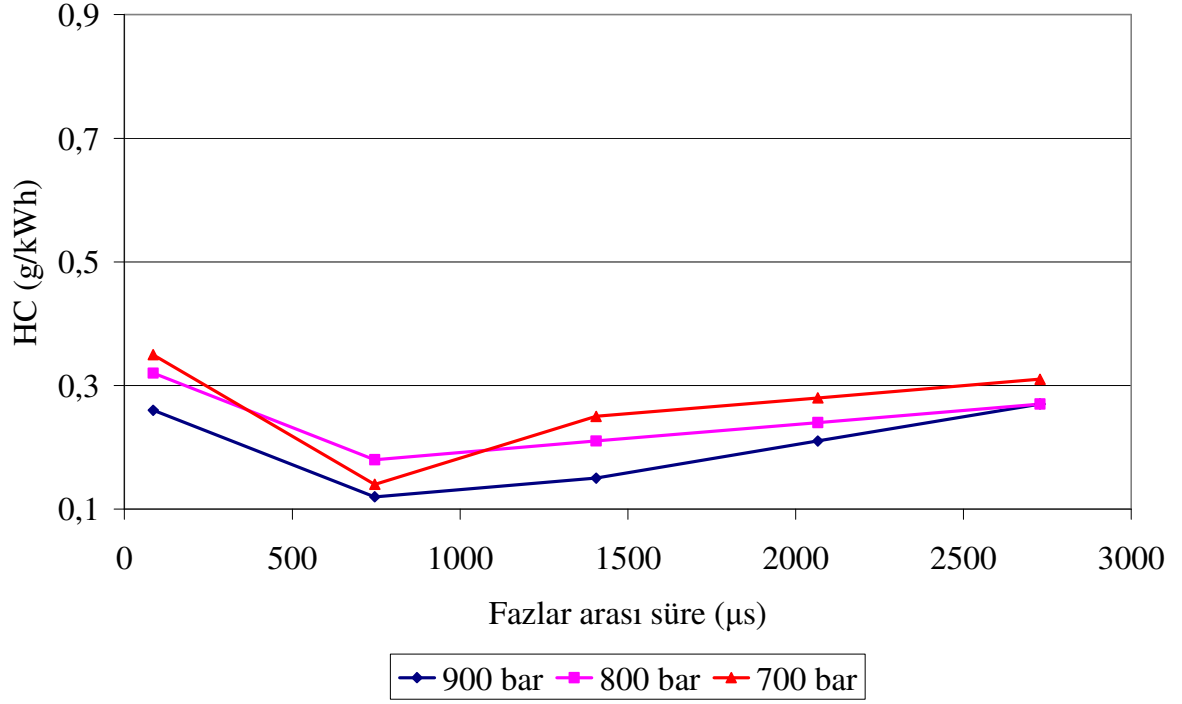
Şekil 4.95 1428x20,80x(-6) çalışma noktasında CO oluşumu



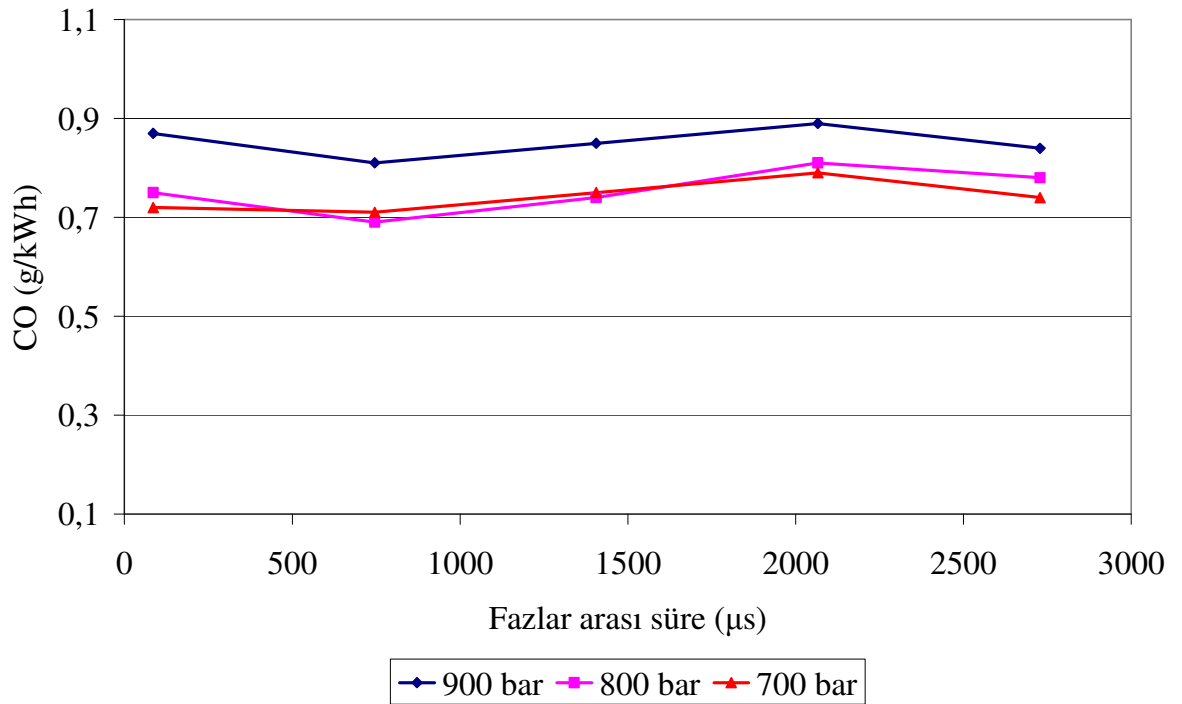
Şekil 4.96 1779x20,80x(-6) çalışma noktasında HC oluşumu



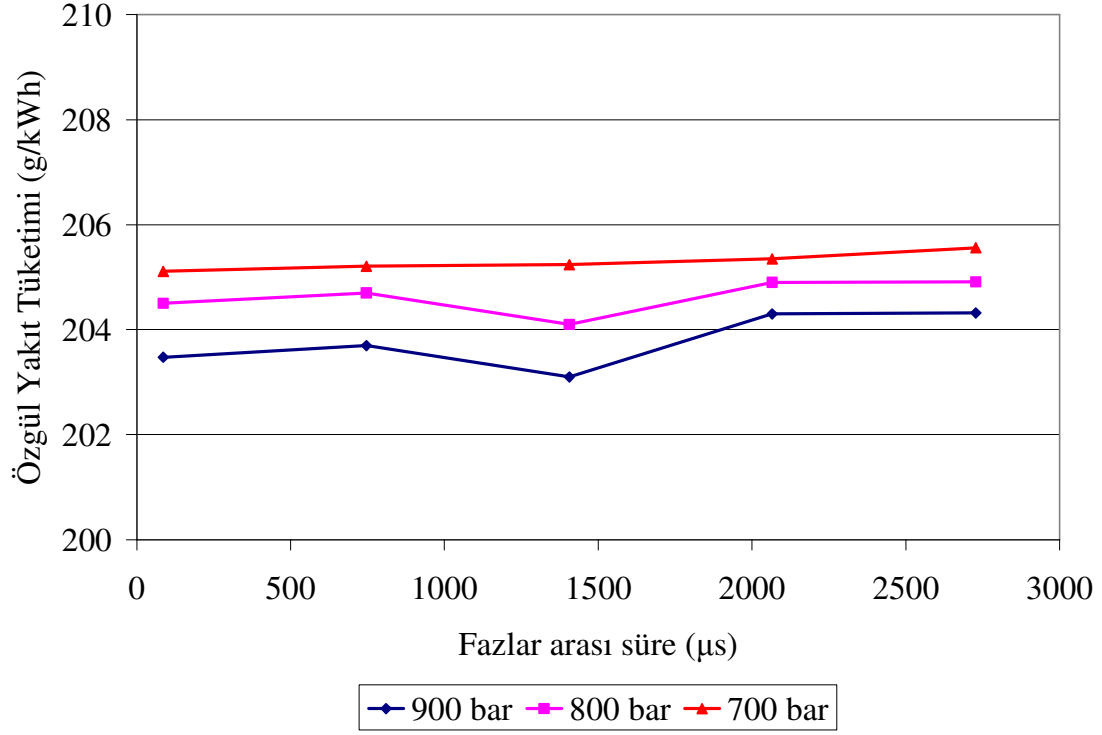
Şekil 4.97 1779x20,80x(-6) çalışma noktasında CO oluşumu



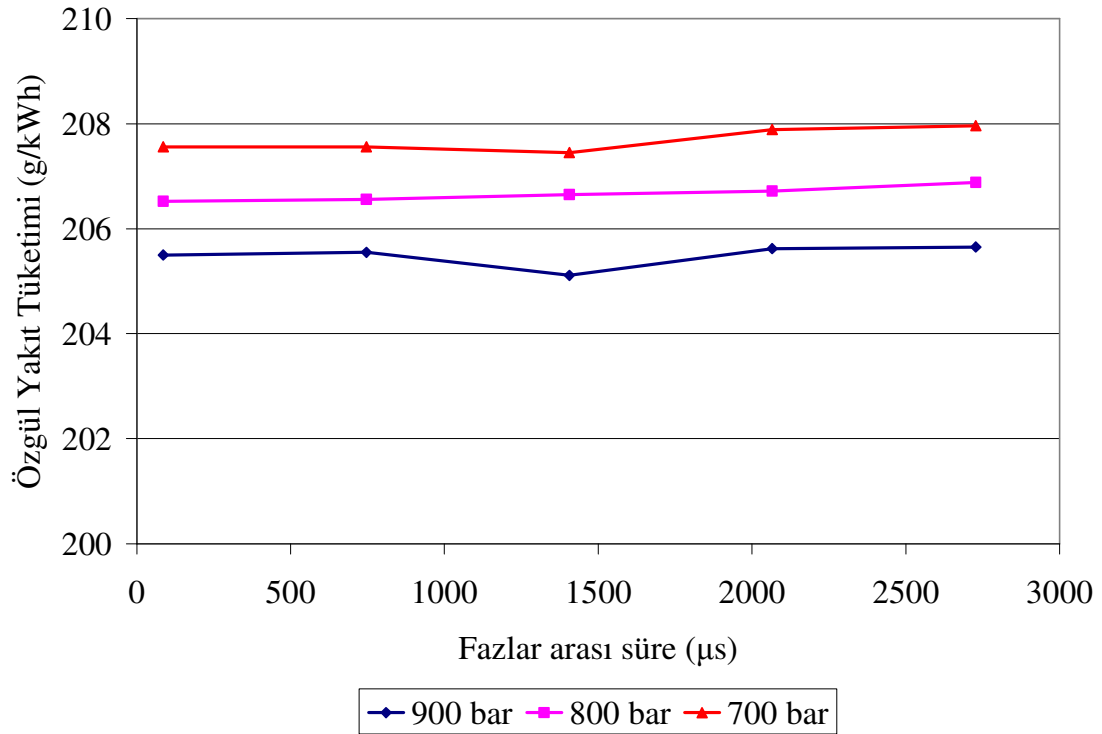
Şekil 4.98 2130x20,80x(-6) çalışma noktasında HC oluşumu



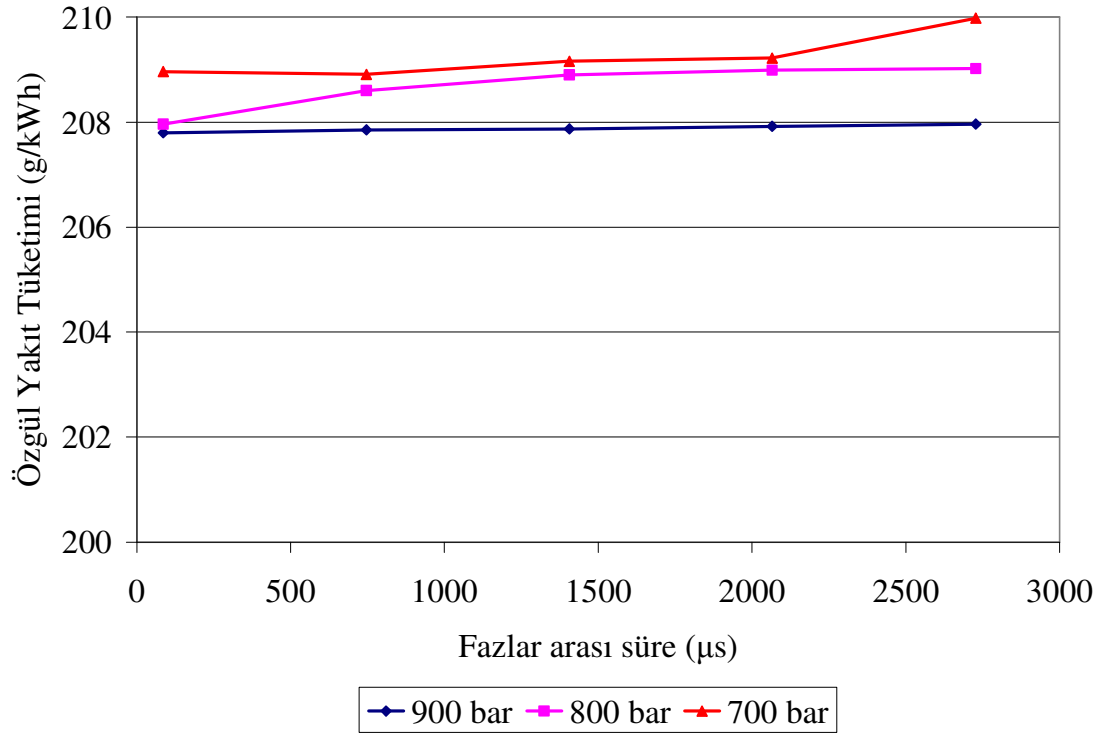
Şekil 4.99 2130x20,80x(-6) çalışma noktasında CO oluşumu



Şekil 4.100 1428x20,80x(-6) çalışma noktasında özgül yakıt tüketimi



Şekil 4.101 1779x20,80x(-6) çalışma noktasında özgül yakıt tüketimi



Şekil 4.102 2130x20,80x(-6) çalışma noktasında özgül yakıt tüketimi

5. SONUÇ

Günümüzde gelişmekte olan enjeksiyon teknolojisi ile NO_x emisyonlarını azaltılmaya çalışılmaktadır. Bu yöntemlerden birtanesi de püskürtmenin fazlara ayrılmasıdır.

Ön ve ana püskürtme yapılarak; fazlar arasındaki sürenin güç, tork, silindir içi basınçları, özgül yakıt tüketimi, NO_x , CO ve HC üzerine etkisi incelenmiştir. Bu doğrultuda;

Püskürtme oranı arttıkça güç artmaktadır, aynı zamanda fazlar arasındaki sürenin de 500 ile 2728 μs arasında değişmesi esnasında güçte artış saptanmıştır. Örnek olarak 1779 rpm’de, 1000 bar püskürtme basıncı ve -6 KMA püskürtme avansı için ölçülen güç değeri için referans noktası olan ön püskürtmesiz ölçümden %20 ön püskürtmeli ölçüm daha yüksektir. 86 μs için ön püskürtmesiz 138,68 kW güç ölçülürken, 86 μs için %20 ön püskürtmeli 148,98 kW güç ölçülür. %20 ön püskürtmeli test için süre 2728 μs ’ye olduğunda elde edilen güç 160,89 kW’dır. Aynı şekilde püskürtme oranı arttığında tork değerlerinde bir yükselme görülmüş, ancak süre 2728 μs ’ye yaklaştıkça bir azalma tespit edilmiştir. Örnek olarak 2130 rpm’de, 1000 bar püskürtme basıncı ve -6 KMA püskürtme avansı için ölçülen tork değeri için referans noktası olan ön püskürtmesiz ölçüm %20 ön püskürtmeli ölçümden daha düşüktür. 86 μs için ön püskürtmesiz 836,2 Nm tork elde edilirken, 86 μs için %20 ön püskürtmeli 844,5 Nm tork elde edilir. %20 ön püskürtmeli test için süre 2728 μs ’ye olduğunda elde edilen güç 828,9 Nm’dir.

Püskürtme oranı arttıkça silindir içi basınçları azalmaktadır, aynı zamanda fazlar arasındaki sürenin de 500 ile 1000 μs arasında değişmesi esnasında silindir içi basınçlarında bir azalma ardından yükselme saptanmıştır. Örnek olarak 1428 rpm’de, 1000 bar püskürtme basıncı ve -6 KMA püskürtme avansı için ölçülen silindir içi basınç değeri için referans noktası olan ön püskürtmesiz ölçüm %20 ön püskürtmeli ölçümden daha yüksektir. 86 μs için ön püskürtmesiz 89,7 bar silindir içi basınç ölçülürken, 86 μs için %20 ön püskürtmeli 87,3 bar silindir içi basınç ölçüldü.

Püskürtme oranı arttıkça NO_x oluşumunun azaldığı, is oluşumunun ise arttığı görülmüştür. Aynı zamanda fazlar arasındaki sürenin de 500 ile 1000 μs arasında değişmesi esnasında NO_x oluşumunda azalma ardından bir artış saptanmıştır. Örnek olarak 1428 rpm’de, 1000 bar püskürtme basıncı ve -6 KMA püskürtme avansı için ölçülen NO_x değeri için referans noktası olan ön püskürtmesiz ölçüm %20 ön püskürtmeli ölçümden daha yüksektir. 86 μs için ön püskürtmesiz 7,45 g/kWh NO_x ölçülürken, 86 μs için %20 ön püskürtmeli 7,26 g/kWh NO_x

ölçüldü. İis oluşumu ise 500 ile 1000 μ s arasında artmış sonra azalmıştır. Örnek olarak 1779 rpm’de, 1000 bar püskürtme basıncı ve -6 KMA püskürtme avansı için ölçülen is değeri için referans noktası olan ön püskürtmesiz ölçüm %20 ön püskürtmeli ölçümden daha düşüktür. 86 μ s için ön püskürtmesiz 0,25 FSN is ölçülürken, 86 μ s için %20 ön püskürtmeli 0,33 FSN is ölçüldü.

Püskürtme oranı arttıkça HC oluşumunun azaldığı, CO oluşumunun ise arttığı görülmüştür. Aynı zamanda fazlar arasındaki sürenin de 500 ile 1000 μ s arasında değişmesi esnasında HC oluşumunda azalma ardından bir artış saptanmıştır. Örnek olarak 1428 rpm’de, 1000 bar püskürtme basıncı ve -6 KMA püskürtme avansı için ölçülen HC değeri için referans noktası olan ön püskürtmesiz ölçüm %20 ön püskürtmeli ölçümden daha yüksektir. 86 μ s için ön püskürtmesiz 0,8 g/kWh HC ölçülürken, 86 μ s için %20 ön püskürtmeli 0,6 g/kWh HC ölçüldü. CO oluşumu ise 500 ile 1000 μ s arasında artmış sonra azalmıştır. Örnek olarak 1779 rpm’de, 1000 bar püskürtme basıncı ve -6 KMA püskürtme avansı için ölçülen CO değeri için referans noktası olan ön püskürtmesiz ölçüm %20 ön püskürtmeli ölçümden daha düşüktür. 86 μ s için ön püskürtmesiz 0,55 g/kWh HC ölçülürken, 86 μ s için %20 ön püskürtmeli 0,44 g/kWh HC ölçüldü.

Ön püskürtme oranının çok fazla artırılması halinde ise motor performansı düşmektedir.

Püskürtme avansı azaldıkça güç artmaktadır, aynı zamanda fazlar arasındaki sürenin de 500 ile 2728 μ s arasında değişmesi esnasında güçte artış saptanmıştır. Örnek olarak 1779 rpm’de, 1000 bar püskürtme basıncı ve 20,80 püskürtme oranı için 86 μ s’de -6 KMA için 159,27 kW güç ölçülürken, 86 μ s’de -2 KMA için 166,62 kW güç ölçülür. Aynı şekilde püskürtme avansı azaldıkça tork değerlerinin de azaldığı görülmüş. Örnek olarak 2130 rpm’de, 1000 bar püskürtme basıncı ve 20,80 püskürtme oranı için 86 μ s’de -6 KMA için 161,67 Nm tork ölçülürken, 86 μ s’de -2 KMA için 176,25 Nm tork ölçülür.

Püskürtme avansı arttıkça silindir içi basınçları artmaktadır, aynı zamanda fazlar arasındaki sürenin de 500 ile 1000 μ s arasında değişmesi esnasında silindir içi basınçlarında bir azalma ardından yükselme saptanmıştır. Örnek olarak 1428 rpm’de, 1000 bar püskürtme basıncı ve 20,80 püskürtme oranı için 86 μ s’de -6 KMA için 89,4 bar silindir içi basıncı ölçülürken, 86 μ s’de -2 KMA için 85,5 bar silindir içi basıncı ölçülür.

Püskürtme avansı arttıkça NO_x oluşumunun arttığı, is oluşumunun ise azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda fazlar arasındaki sürenin de 500 ile 1000 μ s arasında değişmesi esnasında NO_x oluşumunda azalma ardından bir artış saptanmıştır. İis oluşumu ise 500 ile 1000 μ s arasında

artmış sonra azalmıştır.

Püskürtme avansı arttıkça HC oluşumunun azaldığı, CO oluşumunun ise arttığı görülmüştür. Aynı zamanda fazlar arasındaki sürenin de 500 ile 1000 μ s arasında değişmesi esnasında HC ve CO oluşumunda azalma ardından bir artış saptanmıştır.

Püskürtme avansının çok ileriye alınması ise pilot yanmayı bozacağından, miktar ve zamanın belirli bir değer aralığında sınırlandırılması gerekmektedir.

Püskürtme basıncı azaldıkça güç azalmakta, aynı zamanda fazlar arasındaki sürenin de 500 ile 2728 μ s arasında değişmesi esnasında güçte artış saptanmıştır. Aynı şekilde püskürtme basıncı azaldıkça tork değerlerinin de arttığı görülmüş.

Püskürtme basıncı arttıkça silindir içi basınçları azalmakta, aynı zamanda fazlar arasındaki sürenin de 500 ile 1000 μ s arasında değişmesi esnasında silindir içi basınçlarında bir azalma ardından yükselme saptanmıştır.

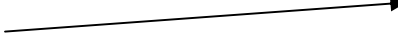
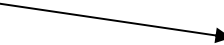
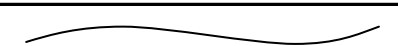
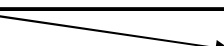
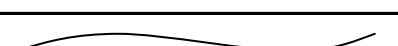
Püskürtme basıncı arttıkça NO_x ve is oluşumunun azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda fazlar arasındaki sürenin de 500 ile 1000 μ s arasında değişmesi esnasında NO_x oluşumunda azalma ardından bir artış saptanmıştır. Is oluşumu ise 500 ile 1000 μ s arasında artmış sonra azalmıştır. Püskürtme basıncı arttırıldığında yakıt daha iyi parçalandığından tutuşma gecikmesi kısalmaktadır.

Püskürtme basıncı arttıkça HC oluşumunun azaldığı, CO oluşumunun ise arttığı görülmüştür. Aynı zamanda fazlar arasındaki sürenin de 500 ile 1000 μ s arasında değişmesi esnasında HC ve CO oluşumunda azalma ardından bir artış saptanmıştır.

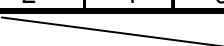
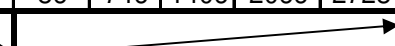
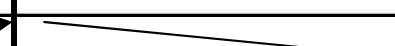
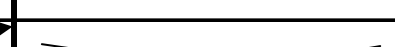
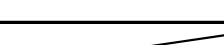
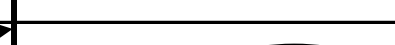
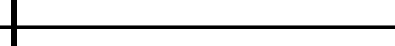
Özgül yakıt tüketimi ise püskürtme oranı testinde %20 ön püskürtme oranı için referans değeri olan ön püskürtmesiz ölçüm değerinde daha yüksektir. Örneğin 1428 rpm'de 1000 püskürtme basıncı ve -6 KMA için ön püskürtme olamadan özgül yakıt tüketimi 202,8 g/kWh iken %20 ön püskürtme oranı için 86 μ s'de bu değer 203,5 g/kWh'dir. Fazlar arasındaki sürenin çok büyük bir etkisi görülmemiştir. Püskürtme avansı testinde ise avans azaldıkça özgül yakıt tüketiminin arttığı görülmüştür. Püskürtme basıncı testinde de püskürtme basıncının azalması halinde özgül yakıt tüketiminin arttığı anlaşılmıştır.

Aşağıdaki çizelgelerde sonuç bölümüne (her teste ait) ilişkin özet tablo yer almaktadır.

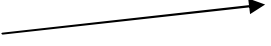
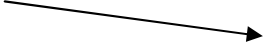
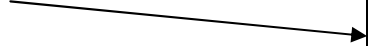
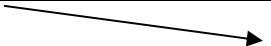
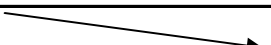
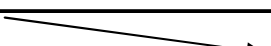
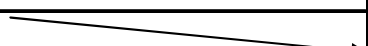
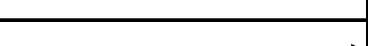
Çizelge 5.1 Test 1 sonuçları

Püs. Basıncı : 1000 bar Püs. Avansı : -6 CA	TEST 1								
	Püskürtme Oranı (%)			Fazlar Arası Süre (µs)					
	5	10	20	86	746	1406	2066	2728	
Güç (kW)									
Tork (Nm)									
Silindir İçi Basıncı (Bar)									
NOx (g/kWh)									
İs (FSN)									
HC (g/kWh)									
CO (g/kWh)									
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)									

Çizelge 5.2 Test 2 sonuçları

Püs. Oranı : %20,80 Püs. Basıncı : 1000 bar	TEST 2								
	Püskürtme Avansı (CA)			Fazlar Arası Süre (µs)					
	2	4	6	86	746	1406	2066	2728	
Güç (kW)									
Tork (Nm)									
Silindir İçi Basıncı (Bar)									
NOx (g/kWh)									
İs (FSN)									
HC (g/kWh)									
CO (g/kWh)									
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)									

Çizelge 5.3 Test 3 sonuçları

Püs. Oranı : %20,80 Püs. Avansı : -6 CA	TEST 3								
	Püskürtme Basıncı (bar)			Fazlar Arası Süre (µs)					
	700	800	900	86	746	1406	2066	2728	
Güç (kW)									
Tork (Nm)									
Silindir İçi Basıncı (Bar)									
NOx (g/kWh)									
İs (FSN)									
HC (g/kWh)									
CO (g/kWh)									
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)									

KAYNAKLAR

Archer, M. and Greg Bell, G."Advanced Electronic Fuel Injection Systems-An Emissions Solution for both 2- and 4-stroke Small Vehicle Engines", SAE Paper, No: 2001-01-0010, 2001.

Beatrice, C., Belardini, and Bertoli, C. "Diesel Combustion Control in Common Rail Engines by New Injection Strategies ", Int.J., Engine Research, Vol (3):1, Sf: 23-36, 2002.

C.Soruşbay, "Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Sera Gazlarının Kontrolü" ,İstanbul 2002.

D.A. Nehmer and R.D. Reitz "Measurement of the Effect of Injection Rate and Split Injections on Diesel Engine Soot and NO_x Emissions", SAE Paper, No: 940668, 1994.

Felice E.Corcione, Bianca M.Vaglieco, Giuseppe E.Corcione and Mario Lavorgna "Potential of Multiple Injection Strategy for Low Emission Diesel Engines", SAE Paper, No:2002-01-1150, 2002.

Ford Otosan Teknik Servis Eğitimi, (1999), "Egzoz ve Ses Salımları", 15 Ekim 1999, İstanbul.

Lundqvist, U., Smedler, G. and Stalhammar, P. "A Comparison Between Different EGR Systems for HD Diesel Engines and Their Effect on Performance, Fuel Consumption and Emissions", SAE Paper, No: 2000-01-0226, 2000.

Lüders, H., Stommel, P. and Geckler, S. "Diesel Exhaust Treatment - New Approaches to Ultra Low Emission Diesel Vehicles", SAE paper, No :1999-01-0108, 1999.

M.Landwehr and C. Marie-Lilliu, "Transportation Projections in OECD Regions Detailed Report", International Energy Agency, Mayıs 2002.

Mohammad Ghaffarpour and Rodica Baranescu "NO_x Reduction Using Injection Rate Shapping and Intercooling in Diesel Engines", SAE Paper, No: 960845, 1996.

Prof. Dr. Metin Ergeneman, Prof. Dr. Behçet Safgönül, Prof. Dr. H. Ertuğrul Arslan, Prof. Dr. Cem Soruşbay, (1999), "İçten Yanmalı Motorlar", 1999, İstanbul, 107-132.

STST, Ford Otosan, (1999), "Dizel Motor İşletim Esasları" , 11 Ekim 1999, İstanbul.

T.C.Tow, D.A. Pierpont and R.D. Reitz "Reducing Particulate and NO_x Emissions by Using Multiple Injections in a Heavy Duty D.I.Diesel Engine", SAE Paper, No:940897, 1994.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 06.08.1980

Doğum yeri İstanbul

Lise 1995-1998 Özel Üsküdar Fen Lisesi

Lisans 1998-2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2002-Devam ediyor Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Enerji Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2000-Devam ediyor Ford Otomotiv Sanayi A.Ş.