

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRONİK YAKIT SİSTEMİ UYARLANMIŞ BİR DİZEL MOTORUNDA
PERFORMANS AÇISINDAN PÜSKÜRTME KARAKTERİSTİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

ERDAL TUNÇER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
Doç. Dr. TARKAN SANDALCI**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK YAKIT SİSTEMİ UYARLANMIŞ BİR DİZEL MOTORUNDA
PERFORMANS AÇISINDAN PÜSKÜRTME KARAKTERİSTİKLERİNİN
BELİRLENMESİ

Erdal TUNÇER tarafından hazırlanan tez çalışması 19.04.2016 tarihin de aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Tarkan Sandalcı
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Tarkan Sandalcı
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Övün Işın
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Özgen Akalın
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Tarkan Sandalcı 'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans eğitimim süresince benden desteklerini esirgemeyen, Şahin Metal Yönetim Kurulu Başkanı ve aynı zamanda test motorunun tasarımcısı Makine Mühendisi Mustafa Eser' e ve Erin Motor A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Ersin Şahin'e, testlerin yapılmasındaki yardımları için, Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden Araştırma Görevlisi Yasin Karagöz'e ve hayatımda her an desteği ile yanımda olan Eşim Özlem Tunçer ve Kızım Ada Tunçer' e teşekkürü borç bilirim.

Nisan, 2016

Erdal Tunçer

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	5
BÖLÜM 2	
DİZEL MOTORLAR.....	6
2.1 Dizel Motorun Kısa Tanımı	6
2.2 Dizel Motorlarda Yanma	7
2.2.1 Tutuşma gecikmesi	9
2.2.2 KontROLSÜZ Yanma.....	12
2.2.3 Kontrollü Yanma	13
2.2.4 Art Yanma	13
2.3 Egzoz Emisyon Oluşumları	13
2.3.1 Karbon monoksit (CO) oluşumu	14
2.3.2 Karbondioksit (CO ₂) Oluşumu	15
2.3.3 Hidrokarbon (HC) Oluşumu;	15
2.3.4 Azot Oksitlerin (NO _x) Oluşumu	16
2.3.5 İs Oluşumu	21
BÖLÜM 3	
DİZEL YAKIT PÜSKÜRTME SİSTEMLERİ	22
3.1 Yakıt Pompaları	22
3.1.1 İnline tipi pompalar	23
3.1.2 Eksenel Dağıtıcı Pompalar	26
3.1.3 Radyal Dağıtıcı Pompalar	26

3.2	Enjektörler.....	27
3.2.1	Mekanik Enjektörler	28
3.2.2	Solenoid ve Piezo Enjektörler.....	29
3.3	Common-Rail.....	29
BÖLÜM 4		
4.1	Test Motorunun Tanıtımı	31
4.2	Emisyon Ölçüm Cihazları	32
4.3	Motor Kontrol Ünitesi	34
4.4	Dinamometre	35
4.5	Basınç Ölçüm Ekipmanları.....	37
4.6	Test Odası.....	40
4.7	Yakıt ölçümü.....	41
4.8	Elektronik Kontrollü Motora Geçerken Yapılan İşlemler	41
BÖLÜM 5		
TESTLER.....		45
5.1	Mekanik Motor Testleri	45
5.2	Elektronik Motor Testleri	47
5.2.1	Püskürtme Avansı 12° KMA	47
5.2.2	Püskürtme Avansı 16° KMA	52
5.2.3	Püskürtme Avansı 20° KMA	57
5.2.4	Püskürtme Avansı 24° KMA	61
5.2.5	Ortak Olarak Çıkılabilen En Yüksek Devre Göre Püskürtme Süresi Karşılaştırması.....	65
5.2.6	Sabit 1500 Devir, 1.2ms Püskürtme Süresi.....	73
5.2.7	Sabit 1500 Devir, 1.4 ms Püskürtme Süresi.....	74
5.2.8	Sabit 1500 Devir, 1.6ms Püskürtme Süresi.....	75
5.2.9	Sabit 1500 Devir, 1.8ms Püskürtme Süresi.....	76
BÖLÜM 6		
KARŞILAŞTIRMA VE SONUÇ.....		77
6.1	Karşılaştırma.....	77
6.1.1	Güç.....	78
6.1.2	Tork.....	79
6.1.3	Özgül Yakıt Tüketimi	80
6.1.4	CO Emisyonu.....	81
6.1.5	HC Emisyonu	81
6.1.6	NOx Emisyonları	82
6.1.7	İs Emisyonu	82
6.2	Sonuç.....	82

KISALTMA LİSTESİ

AÖN	Alt Ölü Nokta
CO	Karbon monoksit
HC	Yanmamış Hidrokarbonlar
İYM	İçten Yanmalı Motor
KMA	Krank Mili Açısı
max	Maksimum
min	Minimum
NOx	Azot oksitler
ppm	Milyonda Parçacık Sayısı
ÜÖN	Üst Ölü Nokta
vol %	Hacmen yüzde

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2-1 Dizel motor çevrimi(Bosch yayınları, 1999.)	7
Şekil 2-2 Test Motorunun Yanma Odası.....	8
Şekil 2-3 Ricardo Comet Ön Yanma Odası(Diesel Engine Reference Book, 1999)	8
Şekil 2-4 Yakıt demeti.....	9
Şekil 2-5 Yanma Evreleri (Internal combustion handbook basics, 2004).....	11
Şekil 2-6 Sert ve yumuşak çalışma için püskürtme eğrileri(Internal combustion handbook basics, 2004).....	12
Şekil 2-7 Emisyon oluşumu(Handbook Diesel Engine,2010.).....	14
Şekil 2-8 Setan sayısı etkisi	17
Şekil 2-9 EGR miktarı etkisi.....	18
Şekil 2-10 Püskürtme avansı etkisi.....	19
Şekil 2-11 Türbülans etkisi	20
Şekil 2-12 Sıkıştırma oranı etkisi	21
Şekil 3-1 Test Motoru Pompası	23
Şekil 3-2 İline pompa çalışma ilkesi(Handbook of Diesel Engines, 2010)	24
Şekil 3-3 Test motoru pompasının stop ve tam gaz halleri.....	25
Şekil 3-4 Test motoru pompasının bağlantı şekli	25
Şekil 3-5 Eksenel dağıtıcı tip pompa çalışma ilkesi (Handbook of Diesel Engines, 2010)	26
Şekil 3-6 Radyal dağıtıcı pompa çalışma ilkesi(Handbook of Diesel Engines, 2010)....	27
Şekil 3-7 Enjektör çeşitleri(Handbook of Diesel Engines, 2010)	28
Şekil 3-8 Test motoru mekanik enjektörü Bosch	28
Şekil 3-9 Test motoru selenoid enjektörü Bosch	29
Şekil 3-10 Common-rail enjeksiyon sistemi çalışma ilkesi(Handbook of Diesel Engines, 2010)	30
Şekil 4-1 Deney Motoru	32
Şekil 4-2 Emisyon cihazları	32
Şekil 4-3 AVL DiCom 4000 ölçüm özellikleri.....	33
Şekil 4-4 AVL 415S ölçüm özellikleri.....	33
Şekil 4-5 Elektronik Kontrol Ünitesi.....	34
Şekil 4-6 Dinamometre kontrol ünitesi	35
Şekil 4-7 Testler esnasında kontrol ünitesinden görünüm	35

Şekil 4-8	Yük hücresinin teknik özellikleri	36
Şekil 4-9	Dinamometrenin yükleme karakteristiği.....	36
Şekil 4-10	Basınç sensörü ve teknik özellikleri	37
Şekil 4-11	Kullanılan Osiloskopun teknik özellikleri	38
Şekil 4-12	Charge amplifier teknik özellikleri	39
Şekil 4-13	Yıldız Teknik Üniversitesi Motorlar Laboratuvarı	40
Şekil 4-14	Yakıt ölçüm debimetresi.....	41
Şekil 4-15	Basınç sensörünün kafa konumu ve özel anahtarı.....	42
Şekil 4-16	Common-rail sistemi.....	43
Şekil 4-17	Üst ölü nokta belirlenmesi.....	44
Şekil 4-18	Solenoid enjektör için kafada yapılan değişiklikler.....	44
Şekil 5-1	Mekanik motor performans grafiği	46
Şekil 5-2	Mekanik motor emisyon grafiği	46
Şekil 5-3	12° KMA Püskürtme avansı-1,2 ms püskürtme süresi için performans grafiği	47
Şekil 5-4	12°KMA Püskürtme avansı-1,2 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği ...	48
Şekil 5-5	12°KMA Püskürtme avansı-1,4 ms püskürtme süresi için performans grafiği	49
Şekil 5-6	12° KMA Püskürtme avansı-1,4 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği ..	49
Şekil 5-7	12 °KMA Püskürtme avansı-1,6 ms püskürtme süresi için performans grafiği	50
Şekil 5-8	12°KMA Püskürtme avansı-1,6 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği ...	50
Şekil 5-9	12°KMA Püskürtme avansı-1,8 ms püskürtme süresi için performans grafiği	51
Şekil 5-10	12° Püskürtme avansı-1,8 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği	51
Şekil 5-11	16°KMA Püskürtme avansı-1,2 ms püskürtme süresi için performans grafiği	52
Şekil 5-12	16°KMA Püskürtme avansı-1,2 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği .	53
Şekil 5-13	16°KMA Püskürtme avansı-1,4 ms püskürtme süresi için performans grafiği	54
Şekil 5-14	16°KMA Püskürtme avansı-1,4 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği ..	54
Şekil 5-15	16°KMA Püskürtme avansı-1,6 ms püskürtme süresi için performans grafiği	55
Şekil 5-16	16°KMA Püskürtme avansı-1,6 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği .	55
Şekil 5-17	16°KMA Püskürtme avansı-1,8 ms püskürtme süresi için performans grafiği	56
Şekil 5-18	16° KMA Püskürtme avansı-1,8 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği	56
Şekil 5-19	20°KMA Püskürtme avansı-1,2 ms püskürtme süresi için performans grafiği	57
Şekil 5-20	20° KMA Püskürtme avansı-1,2 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği	57
Şekil 5-21	20°KMA Püskürtme avansı-1,4 ms püskürtme süresi için performans grafiği	58
Şekil 5-22	20°KMA Püskürtme avansı-1,4 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği .	58
Şekil 5-23	20° KMA Püskürtme avansı-1,6 ms püskürtme süresi için performans grafiği	59
Şekil 5-24	20° KMA Püskürtme avansı-1,6 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği	59

Şekil 5-25	20° KMA Püskürtme avansı-1,8 ms püskürtme süresi için performans grafiği	60
Şekil 5-26	20° KMA Püskürtme avansı-1,8 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği	60
Şekil 5-27	24° KMA Püskürtme avansı-1,2 ms püskürtme süresi için performans grafiği	61
Şekil 5-28	24° KMA Püskürtme avansı-1,2 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği	61
Şekil 5-29	24°KMA Püskürtme avansı-1,4 ms püskürtme süresi için performans grafiği	62
Şekil 5-30	24° KMA Püskürtme avansı-1,4 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği	62
Şekil 5-31	24°KMA Püskürtme avansı-1,6 ms püskürtme süresi için performans grafiği	63
Şekil 5-32	24°KMA Püskürtme avansı-1,6 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği	63
Şekil 5-33	24°KMA Püskürtme avansı-1,8 ms püskürtme süresi için performans grafiği	64
Şekil 5-34	24°KMA Püskürtme avansı-1,8 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği	64
Şekil 5-35	1300 devir 12°KMA püskürtme avansına göre püskürtme süresi silindir içi basınç karşılaştırması	65
Şekil 5-36	1300 devir 12°KMA püskürtme avansına göre püskürtme süresi karşılaştırması	66
Şekil 5-37	1700 devir 16° KMA püskürtme avansına göre püskürtme süresi silindir içi basınç karşılaştırması	67
Şekil 5-38	1700 devir 16°KMA püskürtme avansına göre püskürtme süresi karşılaştırması	68
Şekil 5-39	1700 devir 20°KMA püskürtme avansına göre püskürtme süresi silindir içi basınç karşılaştırması	69
Şekil 5-40	1700 devir 20°KMA püskürtme avansına göre püskürtme süresi karşılaştırması	70
Şekil 5-41	2300 devir 24°KMA püskürtme avansına göre püskürtme süresi silindir içi basınç karşılaştırması	71
Şekil 5-42	2300 devir 24°KMA püskürtme avansına göre püskürtme süresi karşılaştırması	72
Şekil 5-43	Sabit 1500 devir 1,2ms püskürtme süresi için püskürtme avansına bağlı performans ve emisyon karakteristiği	73
Şekil 5-44	Sabit 1500 devir 1,4ms püskürtme süresi için püskürtme avansına bağlı performans ve emisyon karakteristiği	74
Şekil 5-45	Sabit 1500 devir 1,6ms püskürtme süresi için püskürtme avansına bağlı performans ve emisyon karakteristiği	75
Şekil 5-46	Sabit 1500 devir 1,8ms püskürtme süresi için püskürtme avansına bağlı performans ve emisyon karakteristiği	76
Şekil 6-1	20° KMA Avans için Mekanik- Elektronik performans karşılaştırması	77
Şekil 6-2	Mekanik-Elektronik kontrollü motor yüzde değişim güç karşılaştırması	78
Şekil 6-3	Mekanik-Elektronik kontrollü motor yüzde değişim tork karşılaştırması	79
Şekil 6-4	Mekanik-Elektronik kontrollü motor yüzde değişim özgül yakıt tüketimi karşılaştırması	80
Şekil 6-5	20° KMA Avans için Mekanik- Elektronik emisyon karşılaştırması	81

**ELEKTRONİK YAKIT SİSTEMİ UYARLANMIŞ BİR DİZEL MOTORUNDA
PERFORMANS AÇISINDAN PÜSKÜRTME KARAKTERİSTİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Erdal TUNÇER

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tarkan SANDALCI

Geçen yüzyıl boyunca dizel motorlar mekanik prensipler ile kontrol edilen makinelerdi. Ancak transistörün keşfi, birçoğunun bir arada kullanılması ve fiyatlarının ucuzlaması ile üretilen programlanabilir kontrolörleri takiben elektronik kontrollü dizel motorlar otomotiv endüstrisinde oldukça önemli bir hale geldi. Günümüz dizel motorları mekanik yerine elektronik kontrol içeren karmaşık makinelerdir. Son yıllardaki gelişmeler çevresel etkilere duyarlı, havayı daha az kirleten ve daha az yakıt sarf eden dizel motorlara olanak tanımıştır.

Diğer taraftan, sıkı emisyon yönetmeliği motor üreticilerini yüksek teknolojiye common-rail yakıt sistemleri üretmeye zorlamıştır. Bu yüzden, tek silindiri, doğal emişli, 4 stoklu ve mekanik yakıt sistemli motor tarafımızdan common-rail yakıt sistemine çevrilmiştir. Deneysel çalışmalar mekanik ve elektronik yakıt sistemi üzerinde yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

İlk olarak mevcut mekanik kontrollü motorun performans verileri alınmış ve referans olarak bu veriler kullanılmıştır. Daha sonra common-rail sistemdeki pompa ve enjektör değerleri değiştirilerek; yanma basıncı, motor gücü, tork, yakıt tüketimi ve emisyon değerleri belirlenmiş ve yakıt püskürtme miktarı değiştirilerek bu deneyler tekrarlanmıştır. Son olarak yapılan deneyler sonucunda; maksimum güç, maksimum tork ve kabul edilebilir emisyon seviyeleri için ideal püskürtme değerleri bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Dizel Motor, Elektronik Kontrol, Common-rail, püskürtme avansı, performans, emisyon



**INJECTION CHARACTERISTIC OF A MECHANICAL FUEL SYSTEM EQUIPED
DIESEL ENGINE WHICH CONVERTED TO COMMON RAIL FUEL SYSTEM**

Erdal TUNÇER

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Associate Prof. Dr. Tarkan SANDALCI

For the most part of the last century, diesel engines have been controlled completely on mechanical fuel systems. However, following the electronic revolution after the invention of transistors and their use in constructing programmable controllers, electronically controlled diesel engines have become highly crucial in automotive industry. Today's diesel engines do not use mechanical controllers and are electronically controlled complex machines. The progress in the last few decades have open a gateway to modern diesel engines which are more fuel-efficient, pollute air less and can adopt easily to dynamic environments.

On the other hand, stringent emission regulation forces engine manufacturers to produce diesel engines which have high-tech common rail fuel system. For this reason, first of all a single cylinder, naturally aspirated, 4 stroke, mechanical fuel system equipped compression ignition engine, which is designed and manufactured by ourselves, is converted into common rail fuel system. Then, experimental studies are done and mechanical fuel system and common rail fuel system equipped results of the CI engine are compared with each other.

First of all performance data of engine which has mechanical pump and injector systems is obtained and this data is used as reference data. Then, by changing injector and fuel pump with the common rail fuel system, the injection advance and injection duration values are experimentally investigated. Thanks to self-developed ECU, diesel

fuel system can be easily controlled. At the end of the study, brake power, brake torque, brake specific fuel consumption and regulated emission values were experimentally investigated and the ideal injection advance and injection duration is determined.

Keywords: Diesel Engine, Electronic Control, Common rail, Injection timing, Performance, Emission



GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde fosil kaynakların giderek tükenmesi, buna bağlı olarak fiyatlarının artması ve artan çevre kirliliğinin giderek insan yaşamı üzerine olumsuz etkilerinin ortaya çıkmasıyla tüketiciler ve yasa koyucular için fosil kaynak kullanarak çalışan makinaların güç ve kabiliyetlerinden çok yakıt tüketimleri ve emisyon salınımları ön planda olmaya başlamıştır. Artık otomotiv motoru üreticileri performans artırımının haricinde özellikle düşük yakıt tüketimi ve düşük emisyon salınımı konularında birbirleriyle yarışmakta olduğunu ve bu konuda öne geçen firmanın rakiplerinin bir adım önüne geçtiğini görmekteyiz. Emisyon salınımının ve düşük yakıt tüketiminin bu denli önemli olması araştırmacıları bu konu üzerine çalışmaya yöneltmiştir.

Aşağıda bazı araştırmacıların dizel motorlar üstünde yaptıkları çalışmalar mevcuttur. Burada genel olarak araştırmacılar püskürtme avansları ve püskürtme basınçlarını değiştirerek deneyler yapmışlar ve yaklaşık olarak aynı sonuçlara ulaşmışlardır.

Haifeng ve diğerlerinin yaptığı çalışmada; yakıt püskürtme zamanını üst ölü noktadan 70° önceden başlayarak ÜÖN dan 5° krank açısı sonraya kadar değiştirerek geniş bir aralıkta deneyler yapmışlardır. Yaptıkları deneyde is oluşumunun püskürtmenin 35° Krank açısından 55° krank açısına kadar olan bölümünde arttığını ve yakıt spreyinin yanma odası dışına, pistonun üstüne ve kafa contasına geldiğini gözlemlemişlerdir. İ

oluşumun 55° ve 70° krank açısında azaldığını gözlemişlerdir. Fakat bu aralıkta yanma verimi çok kötüleşmekte olduğunu söylemektedirler.[1]

Junheng ve diğerlerinin 6 silindirli turbo şarjlı ve intercoolerlı bir DMCC(Dizel Metanol) motorunda yaptığı çalışmada; artan püskürtme zamanı ile birlikte NOx emisyonlarının azaldığı isin ise arttığını tespit etmişlerdir.[2]

İsmet Çelikten yaptığı çalışmada; 100 bardan 250 bara kadar püskürtme basınçlarının değişiminin motor performansı ve emisyonları üzerine etkisini incelemiştir. Maksimum performansın 150 barda ortaya çıktığını ve yüksek basınçların O₂, SO₂ ve CO₂ bakımından, düşük basınçların ise NOx emisyonları bakımından iyi olduğunu tespit etmiştir.[3]

Hwang ve diğerleri tek silindirli dizel ve bio-dizel kullanarak common-rail motorda yaptıkları çalışmada; püskürtme zamanını ve basıncını değiştirerek bunların yanma ve emisyonlar üzerine etkilerini araştırmışlardır. Basınç artışı is emisyonlarını azaltırken silindir içi basınç ve NOx emisyonlarının arttığı tespit edilmiştir. Düşük yükte basınç artışı özgül yakıt tüketimini arttırırken tam yükte basınç artışından ziyade püskürtme zamanının artmasının tüketimi arttırdığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca düşük püskürtme avanslarının is oluşumunu azalttığını tespit etmişlerdir.[4]

Zhang ve diğerlerinin elektronik kontrollü common-rail çift yakıtlı(dizel/doğal gaz) sabit devirli motor üstünde yaptıkları çalışmada; püskürtme zamanının ve püskürtme basıncının artması, yanma basıncını, ısı transferini ve yanma gürültüsünü arttırmaktadır. Püskürtme zamanının ve püskürtme basıncının artması CO emisyonlarını iyileştirmiş fakat NOx emisyonlarının kabul edilemeyecek değerlerde yüksek çıkmasına sebep olmuştur.[5]

Raeie ve diğerleri direk püskürtmeli bir dizel motor üzerinde yaptıkları çalışmada; püskürtme basıncı artımı ile birlikte silindir içi basınçların ve NOx emisyonlarının arttığını, erken püskürtme zamanlamasında is oluşumun azaldığını NOx emisyonlarının arttığını belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada üst ölü noktadan önce ve sonra püskürtme yaparak durumları incelemişler ve silindir içi basıncın ÜÖN dan önce yapılan püskürtmelerde daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. ÜÖN dan önce yapılan

püskürtmelerde NO_x değerleri yüksek iş değerlerinin ise düşük olduğunu belirtmişlerdir.[6]

Wamankar ve diğerleri tek silindirlik direk püskürtmeli hava soğutmalı, 23° püskürtme avansına sahip bir dizel motor üstünde yaptıkları çalışmada, üön' dan önce 24.5° ve üön önce 26° olmak üzere iki erken püskürtme, üön den önce 21,5° ve üön den önce 20° olmak üzere iki geç püskürtme denemişlerdir. Motorun ilk haline göre; 26° püskürtmede termal verim %6,4 kadar artmış yakıt tüketimi %11,9 kadar düşmüştür. 26° püskürtmede NO_x emisyonları %23 kadar artmış, is ise %13.5 kadar azalmıştır.[7]

Agarwal ve diğerleri tek silindirli bir motor üstünde püskürtme basıncını ve püskürtme zamanlamasını değiştirerek yaptıkları çalışmada; Püskürtme basıncını arttırmanın ve erken püskürtme zamanlarının NO_x emisyonlarını arttırdığını CO₂ VE HC emisyonlarını düşürdüğünü söylemektedirler. İşin ise artan yük ile arttığını fakat püskürtme basıncının artmasıyla bir miktar azaldığını belirtmişlerdir.[8]

Sharma ve diğerlerinin 4 stroklu hava soğutmalı, üön'dan önce 23° püskürtmeli dizel motorda özel yakıtla yaptıkları çalışmada; üön den önce 20, 21.5, 24.5 ve 26 derece püskürtmeyi test etmişler ve en iyi emisyon ve performans değerini üön'dan önce 24.5° püskürtmede elde ettiklerini gözlemlemişlerdir. 24.5° püskürtmede özgül yakıt tüketimin %7,1 düştüğünü gözlemlemişleridir. Ayrıca bu püskürtme değerinde CO değeri %14.2, HC değeri %13.26 ve partikül emisyonunu ise %9.3 düştüğünü belirtmişlerdir.[9]

Li ve diğerleri püskürtme zamanlaması üzerine yaptıkları çalışmada üst ölü noktadan önce 23°den üst ölü noktadan sonra 8°ye kadar püskürtme avanslarını denemişlerdir. Erken püskürtme avanslarında silindir içi basıncın ve NO_x emisyonlarının yüksek olduğunu, HC emisyonunun düşük olduğunu tespit etmişlerdir.[10]

1.2 Tezin Amacı

Erin Motor A.Ş tarafından tamamen yerli olarak tasarlanmış ve Yıldız Teknik Üniversitesi iş birliği ile 00203.STZ.2007-2 ve 00612.STZ.2010-1 numaralı San-Tez projeleri kapsamında desteklenerek geliştirme çalışmaları yapılmış, tek silindirli, doğal emişli, dört stroklu ve 1.16L sıkıştırma ateşlemeli motor seri üretim aşamasına gelmiş

bulunmaktadır. Motor ömür testleri 6000 saati aşkın süredir, tamamen insan müdahalesiz olarak yapılmış ve halen devam etmektedir. Başta, motorun tasarımcısı Mustafa Eser olmakla birlikte, Erin Motor A.Ş. kurucularının vizyonu; ülkemizin ihtiyaç duyduğu ve yüksek ithalat adetlerine ulaşan 4 silindirli endüstriyel tip dizel motorlar üretmek ve ülkemizin cari açığını kapatmaya katkıda bulunurken dışa bağımlılığı azaltmaktır. Bu vizyon ile 4 silindirli motorun ve ülkemizin ihtiyaç duyduğu diğer motorların tasarımları son hızla devam ederken, Ar-Ge faaliyetleri bu tasarımların oluşumuna ve şekillenmesine katkı sağlamaktadır. Bilindiği gibi artık üretilen motorlardan; yüksek performansın yanında, çevreye en az zararı verecek ve kıt kaynakları en az kullanacak şekilde, en uygun maliyetlerle tasarlanmış olanları hedefine ulaşmakta ve kullanım alanı bulmaktadır. Günümüz şartlarında bu hususun sağlanması özellikle mekanik yakıt sistemli motorlarda mümkün olamamaktadır. Dolayısı ile tasarımı devam eden 4 silindirli motorun elektronik kontrollü olması kaçınılmazdır. Bu tezin amacı da elektronik kontrollü motor çalışmalarına bir başlangıç yaparak daha sonradan yapılacak bu yönlü çalışmalara ışık tutmaktır.

Tez kapsamında boyutsal ve püskürtme debisi bakımından mekanik enjektöre en yakın olacak şekilde bir selenoid enjektör seçilmiş ve motor tasarımı üzerinde gerekli değişiklikler ve ilaveler yapılarak selenoid enjektör motora montaj edilebilecek hale getirilmiştir. Enjektör ve yakıt pompasını sürmek için; elektronik sürücü ünitesiyle birlikte motorla uyumlu bir şekilde çalışabilecek common-rail sistem tasarlanmıştır. Yakıt püskürtme süresi, püskürtme avansı ve pompa basınç kontrollerini sağlayabilmek için tez danışmanı Doç. Dr. Tarkan Sandalcı tarafından tasarlanmış olan elektronik kontrol sistemi motora uyarlanmış ve kendisinin desteği ile uygun çalışma şartlarına getirilmiştir. Testlerde amaç mevcut durumun analizini yaparak uygun püskürtme süresi ve avansının belirlenmesidir. Bundan dolayı mekanik motorun testleri referans olarak kabul edilmiş ve en başta yapılmıştır. Karşılaştırma sonucu uygun püskürtme ve avans miktarları belirlenmiştir. Tezin sonunda mekanik kontrolden elektronik kontrole geçişin ne gibi aşamalardan geçtiği ve uygulanabilirliği belirlenerek, elektronik kontrole geçişin motor karakteristiklerini ne şekilde etkilediği net olarak ortaya konulmaya çalışılmıştır.

1.3 Hipotez

Elektronik kontrol ile birlikte motor performanslarının artması, egzoz emisyonlarının ve yakıt tüketiminin düşmesi beklenmektedir.



DİZEL MOTORLAR

2.1 Dizel Motorun Kısa Tanımı

İçten yanmalı bir motor tipi olan dizel, silindir içine alınan atmosferik havanın yakıtın tutuşma sıcaklığının üstünde bir değere kadar sıkıştırılması ve yakıtın bu sıcak hava üstüne püskürtülmesi ile yanması prensibine dayanır. Bu çalışma prensibinden dolayı dizel motorlar literatürde sıkıştırma ateşlemeli motor (CI) olarak anılmaktadır. 1892 yılında Alman mühendis Rudolf Diesel tarafından icat edilmiş ve patenti alınmıştır.

Dizel çevrimi kısaca aşağıdaki gibi tarif edilebilir;

Emme stroku

Pistonun alt ölü noktaya(A.Ö.N) doğru hareketi, silindir içinde atmosfer basıncı altında bir basınç oluşturarak açık olan emme supaplarından temiz hava girişini sağlar.

Sıkıştırma stroku

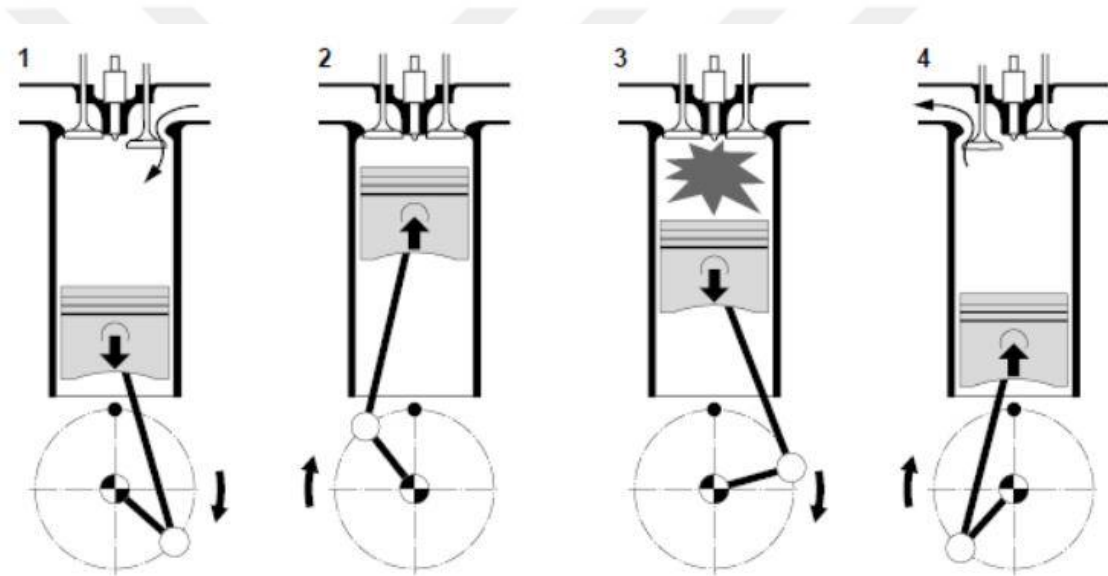
Emme supabı kapandıktan sonra pistonun üst ölü noktaya(Ü.Ö.N) hareketi ile silindir içindeki havanın basıncı dolayısıyla sıcaklığı artmaya başlar ve bu artış yakıtın tutuşmasına kadar devam eder.

Genişleme stroku

Yakıtın tutuşmasıyla başlayan yanma tepkimesi pistonu A.Ö.N ya doğru iterek iş yapar. Yanma tepkimesi daha sonra değinilecek olan püskürtme avansı, püskürtme miktarı, püskürtme şekli, yanma odası geometrisi ve benzeri birçok farklı etmene bağlı olan karmaşık bir prosestir.

Egzoz stroku

Yanma tepkimesi sonucu ortaya çıkan artık gazlar pistonun Ü.Ö.N ya hareketi ile birlikte açılan egzoz supabından silindir dışına doğru atılır. Bir sonraki çevrim için silindir içi hazırlığı yapılmış olmaktadır. Şekil 2-1 de dizel motor çevrimi görülmektedir.

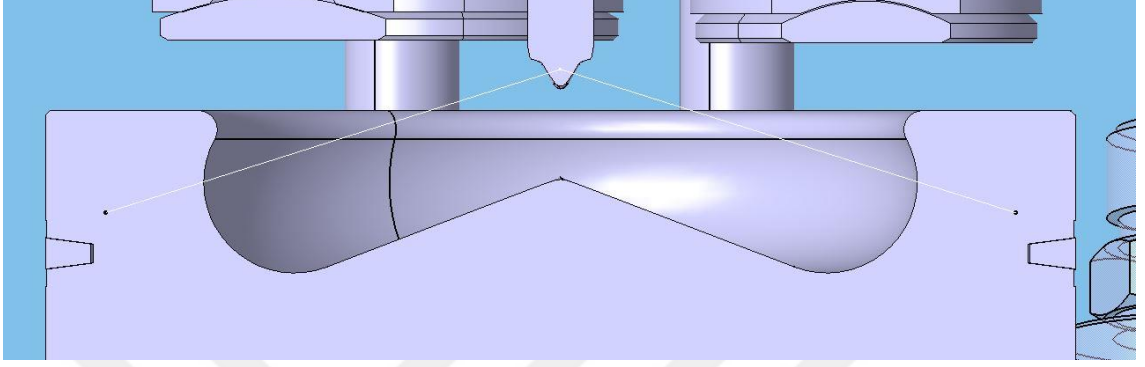


Şekil 2-1 Dizel motor çevrimi(Bosch yayınları, 1999.)

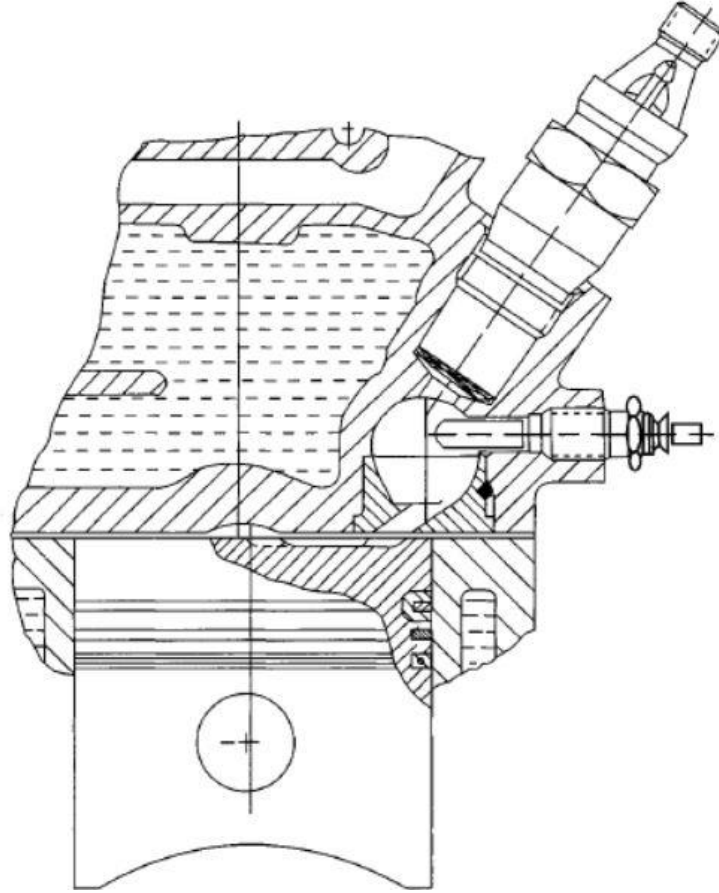
2.2 Dizel Motorlarda Yanma

İçten yanmalı motorlarda iş, silindir içinde yakıtın hava ile oksidasyonu sonucu oluşan sıcaklık ve buna bağlı basınç artışını mekanik enerjiye çevirme prensibine dayanır. Dolayısı ile bir motorda işi belirleyen en önemli parametre yanma olayıdır. Direk püskürtmeli dizel motorlarda yanma, sıkıştırma stroku sonuna doğru, pistonun üst ölü noktaya belirli miktarda yaklaştığı anda ana yanma odasına yakıtın yüksek basınç altında püskürtülmesi ile başlamaktadır. Eski tip ön yanma odalı motorlarda ise bu

püskürtme, ana yanma odası yerine ön püskürtme odasına yapılması ile başlamaktadır [11], [12]. Şekil 2-2 de direk püskürtmeli olan deney motorunun püskürtme anındaki, piston konumu görülmektedir. Enjektörün püskürtme açısına bağlı olarak püskürtme başlangıcındaki durum, beyaz renkli çizgi ile gösterilmiştir. Şekil 2-3 te Ricardo Comet e ait ön yanma odasının kesiti gösterilmiştir.

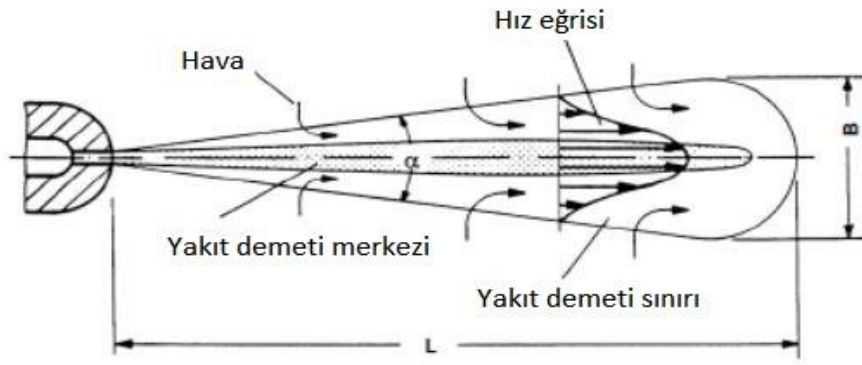


Şekil 2-2 Test Motorunun Yanma Odası



Şekil 2-3 Ricardo Comet Ön Yanma Odası(Diesel Engine Reference Book, 1999)

Yanma olayı 2-4 ms gibi çok kısa sürelerde gerçekleşmektedir, buda yanıcı ve yakıcıların karışması için oldukça az zaman olduğu anlamına gelmektedir. Dizel motorlarda yakıtın hava ile karışımı yanma olayı ile eş zamanlı meydana geldiği için daha zorlayıcı bir durum oluşturmaktadır. Yakıtın tutuşması için ilk olarak buharlaşması ve hava ile karışması gerekmektedir. Yanma hızı bu iki etkene bağlı olarak değişmektedir, yakıt hava karışımının geç oluşması ve benzinli motorlara göre uzun süren yanma olayı, dizel motorların daha düşük devir sayılarında çalışmalarına sebep olmaktadır [11], [12], [13], [14]. Şekil 2-4 te bir yakıt demeti kesiti gösterilmiştir.



Şekil 2-4 Yakıt demeti

Dizel motorlarda yanma 4 kısımda incelenebilir bunlar; tutuşma gecikmesi, kontrolsüz yanma, kontrollü yanma ve art yanmadır.

2.2.1 Tutuşma gecikmesi

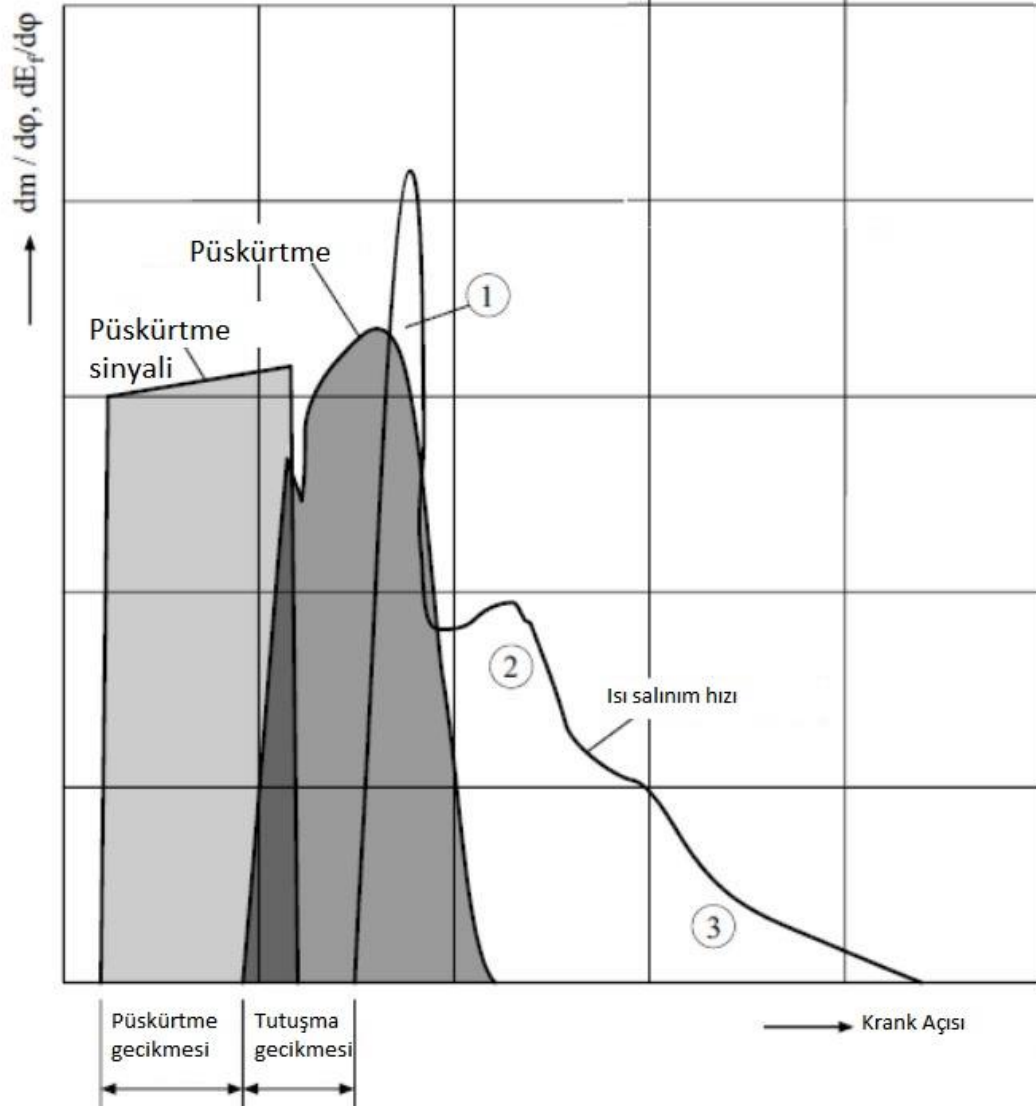
Dizel motorlarda daha öncede belirtildiği gibi yanma sıcaklığı üstünde bir ortama püskürtülen yakıt ısınır ve kendi kendine tutuşmaya başlar, yakıtın püskürtülmesi ve yanmanın başlangıcına kadar geçen süreye tutuşma gecikmesi denmektedir. Şekil 2-5 te tutuşma gecikmesi görülmektedir. Yakıt püskürtüldükten sonra ısınmaya başlar ve ısınmasıyla birlikte buharlaşır, bu işlemin süresinin kısaltılması için yakıt damlalarının çaplarının küçülmesi gerekmektedir. Damlacık çapları küçüldükçe yüzey alanı artacağı için ısınma ve buharlaşma süresi kısılır. Yakıtın çaplarını küçültmenin yöntemi püskürtme basıncının arttırılmasıdır. Yüksek basınç küçük kesitten(enjektör nozulu) büyük kesite(yanma odası) çıkan yakıtın daha iyi yayılımını sağlamaktadır. Bu basıncın

arttırılması için common-rail gibi çeşitli sistemler yapılmış ve halen motor üreticileri bu basıncın arttırılması üzerine çalışmalar yapmaktadırlar. Yakıt püskürtme sistemlerine daha sonra detaylı olarak değinilecektir.

Tutuşma gecikmesine etki eden faktörler,

- Sıkıştırma oranı; sıkıştırma oranı arttıkça tutuşma gecikme süresi kısalır.
- Yanma odası sıcaklığı; sıcaklık arttıkça tutuşma gecikme süresi kısalır.
- Motor devir sayısı; motor devir sayısı arttığı zaman hava hareketlerinin artması sonucu hava yakıt karışımı daha kolay gerçekleşir ve tutuşma gecikme süresi kısalır.
- Motor yükünün etkisi; motor yükünün artması cidar sıcaklıklarında artışa sebep olacağı için taze dolgunun ısınmasına sebep olur ve tutuşma gecikme süresi kısalır.
- Yakıtın etkisi; yakıtın tutuşma karakteristiği tutuşma gecikmesini etkiler. Yakıtın setan sayısının artması tutuşmayı kolaylaştırıcı etki yapar ve tutuşma gecikme süresi kısalır. Klasik dizel yakıtın setan sayısı 45 civarı iken günümüzde kullanılan Euro dizelin setan sayısı 51'dir.
- Püskürtme avansının etkisi; püskürtme avansı arttıkça, silindirin içindeki basınç ve sıcaklık düşeceğinden tutuşma gecikme süresi uzamaktadır.
- Püskürtme basıncı etkisi; Basınç arttıkça, yakıt damlacıklarının çapları küçülür ve yüzey alanı artar dolayısı ile yakıt daha kolay tutuşur ve tutuşma gecikme süresi kısalır.
- Art gazların etkisi; önceki çevrimden kalan egzoz gazlarının artması, içeriye girecek olan taze havayı azaltacağı için tutuşma gecikme süresi uzayacaktır.
- Soğutma etkileri; Motor boyutları arttıkça birim hacim başına olan soğutma miktarı azalacağından cidar sıcaklıkları artacak ve dolayısı ile tutuşma gecikme süresi azalacaktır. Yine aynı sebepten soğutma miktarı arttıkça yakıtın ısınma süresi gecikeceğinden tutuşma gecikme süresini arttıracaktır.

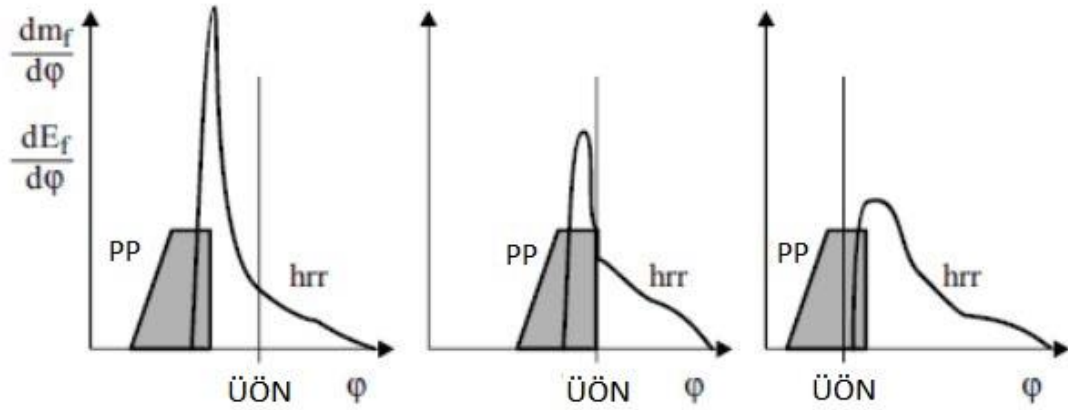
- Taze hava miktarı etkisi; yanmaya katılan havanın oksijen miktarı tutuşma gecikme süresini etkiler, Hava fazlalık katsayısı artıkça tutuşma gecikme süresi azalır. Yüksek rakımlara çıkıldıkça içeri alınan havanın oksijen konsantrasyonu düşeceğinden tutuşma gecikme süresi uzar [11], [12], [13],[14].



Şekil 2-5 Yanma Evreleri (Internal combustion handbook basics, 2004)

2.2.2 Kontrolsüz Yanma

Yakıt damlacıkları yanma odasına büyük hızlarda girer, yanma odasına ilk giren damlacıklar, tutuşma gecikmesi süresince hava ile iyi karışım oluşturup yanmaya başlarlar, bu bölümde yanma odasına giren yakıtın büyük miktarının yanması silindir içi basınç ve sıcaklıkların ani olarak yükselmesine sebep olmaktadır. Bu bölümde yanma buji ateşlemeli motorlarınkine benzemektedir. Kontrolsüz yanma yakıtın tutuşmaya başlamasından basıncın maksimum değere ulaşmasına kadar geçen süre olarak tarif edilebilir. Şekil 2-5 te 1 numaralı kısımdır. Bu kısımdaki yanmanın karakteristiği motorun sert veya yumuşak çalışmasına sebep olmaktadır. Tutuşma gecikmesinin uzaması daha fazla yakıtın yanma odasında yanmadan bulunmasına neden olur ve bunun sonucunda da kontrolsüz yanma evresinde ki ani basınç artışlarının miktarını arttırır. Bunun sonucunda oluşan mekanik kuvvetler artmakta ve motor elemanları üstünde fazladan zorlayıcı kuvvetler oluşturmaktadır. Şekil 2-6 da görüldüğü gibi püskürtme prosesinin (PP) üst ölü noktaya göre konumu, yanma basıncını ve sıcaklık dağılımlarını etkilemektedir [15].



Şekil 2-6 Sert ve yumuşak çalışma için püskürtme eğrileri (Internal combustion handbook basics, 2004)

2.2.3 Kontrollü Yanma

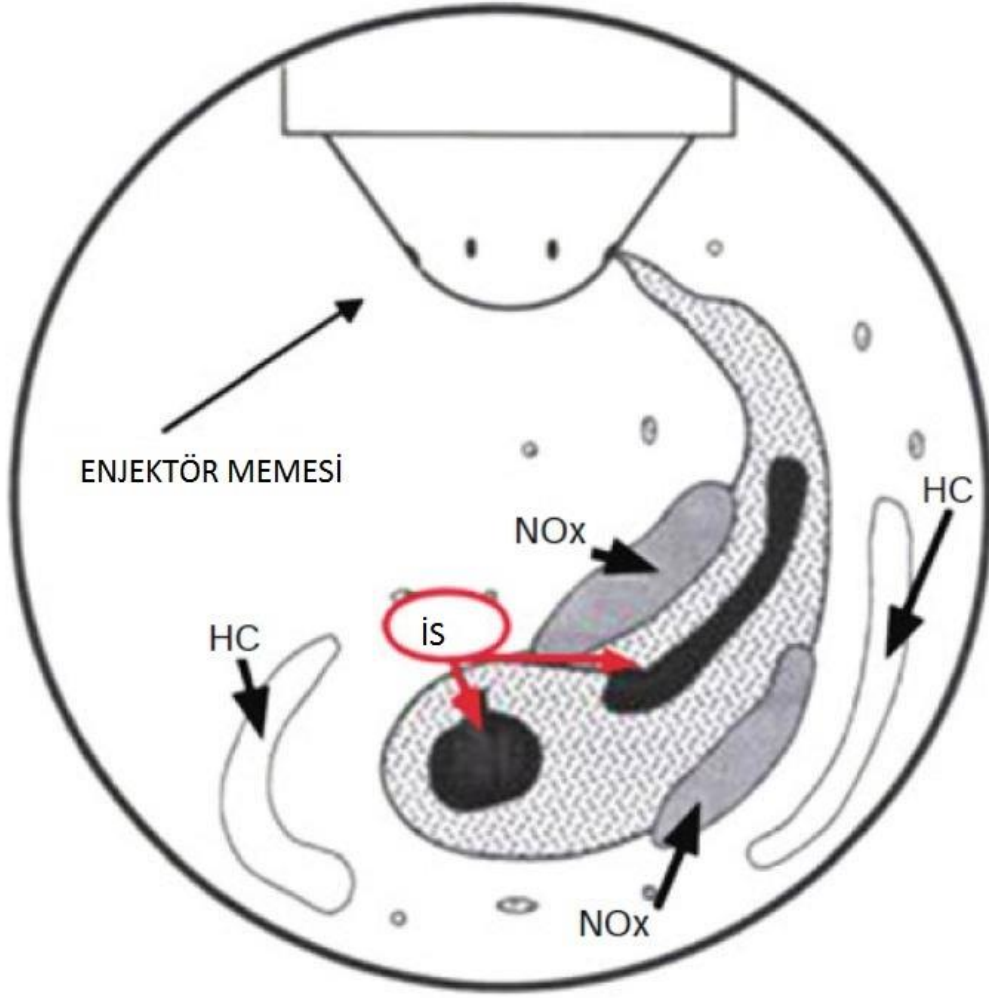
Silindir içi basınç ve sıcaklıklar yüksektir, dolayısıyla bu evrede püskürtülen yakıt çok düşük tutuşma gecikmesiyle yeterli oksijenle buluştuğunda alev alır, bu nedenle basınç artışı içeriye püskürtülen yakıtla kontrol edilebilir. Pistonun ÜÖN ya hareketinin devam etmesi nedeniyle yanma odası sıcaklığı maksimum değerlere ulaşır. Şekil 2-5 te 2 numara ile gösterilen kısımdır.[15]

2.2.4 Art Yanma

Her ne kadar yakıt püskürtme işlemi noktalanmış olsa dahi, silindir içinde bulunan yanmamış veya kısmi yanmış partiküller bu evrede yanmaya, genişleme süresi boyunca devam eder. Şekil 2-5 te 3 numara ile gösterilen kısımdır.[15]

2.3 Egzoz Emisyon Oluşumları

Yanma olayı kimyasal bir süreçtir ve kimyasal tepkimeler sonucu meydana gelmektedir. Bu süreç sonunda oluşan ürünler egzoz emisyonlarının kaynağını oluşturmaktadır. Şekil 2-7 de enjektör memesinden çıkan yakıt demetinin emisyonları oluşturmaya elverişli kısımları hangi emisyonları oluşturduklarıyla birlikte görülmekte.



Şekil 2-7 Emisyon oluşumu(Handbook Diesel Engine,2010.)

2.3.1 Karbon monoksit (CO) oluşumu

CO, son ürünü CO₂ olan hidrokarbon oksidasyonu içinde ara kademedir.

CO bileşiğinin oksijenle buluşması sonucu CO₂ oluşur. Yakıtın yanma hızı yanma odasındaki oksijen konsantrasyonuna, silindir içi sıcaklığına ve reaksiyonların oluşması için geçen süreye bağlıdır.

CO emisyonu oluşumunda en önemli etken karışımın yakıt/hava oranıdır. Zengin karışımlarda oksijenin yeterli düzeyde olmayışı eksik yanmaya neden olmaktadır ve yakıt/hava karışımının artması CO konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır.

Fakir karışımlarda CO konsantrasyonu düşük olduğundan dolayı, yakıt/hava oranı ile sadece az miktarda değişmektedir.

Dizel motorlarında yanma fakir karışım ile olduğu için; CO emisyonları benzin motorlarındakinden çok daha düşüktür. Bununla birlikte dizel motorlarında karışımın yanma anında oluşması(homojen olmama), silindir içi sıcaklıkların bazı bölgelerde yanmayı CO₂ formunda tamamlayamayacak kadar düşük oluşu CO oluşumuna neden olur [12] [16].

2.3.2 Karbondioksit (CO₂) Oluşumu

Yakın zamana kadar kirletici olarak kabul edilmeyen CO₂, sera gazı etkisinin temel kaynağı olduğu anlaşılmaması CO₂ de kirletici sınıfına alınmasına sebep oldu. Yakıtın tam yanması sonucunda ortaya CO₂ ve H₂O çıkmaktadır. Buradan CO₂ miktarını düşürmenin tek yolunun; yakıt tüketimini düşürmek olduğu sonucunu çıkmaktadır [12] [16].

2.3.3 Hidrokarbon (HC) Oluşumu;

Çok geniş bir çeşitlilik yelpazesine sahip olan hidrokarbonlar, insan sağlığı üzerinde çok farklı derecede problemlere yol açmaktadır. Bazı hidrokarbonlar mukozada tahrişe yol açarken bazı hidrokarbonların kanserojen olduğu bilinmektedir.

Dizel motorlarda hidrokarbon oluşumunun temel nedeni; yanma odasına püskürtülen yakıt demetinde bulunan ve tutuşamayacak kadar zengin veya fakir karışımlardır. Fakir karışım bölgelerinde oksidasyon tamamlanamayarak egzozdan CO, aldehitler ve HC gibi kısmi oksitlenmiş bileşikler atılır. Hava ile yeterli miktarda buluşamayan aşırı zengin karışımlı kısımların iki sebebi vardır. Bunlar; enjektör memesindeki ki ölü hacimler ve yanma odasına fazla yakıt sokulmasıdır. Ayrıca yakıt demetinin silindir çeperine çarpıp sönmesi ve soğuk havalarda beyaz duman ile kendini gösteren ateşleme kusurları da dizel motorlarda HC oluşumuna neden olur. [12] [16].

2.3.4 Azot Oksitlerin (NO_x) Oluşumu

Benzinli motorlarda yakıt hava ile karıştırılarak yanma odasına alınırken, dizel motorlarda sıkıştırılan havanın üstüne yakıtın püskürtülmesi ile karışım oluşturulur. Bu çalışma prensibi yakıtın dağılımı hiçbir zaman homojen olmamaktadır. Bu sebepten ötürü yanma sonunda sıcaklıklar ve art gaz konsantrasyonu da homojen olmamaktadır.

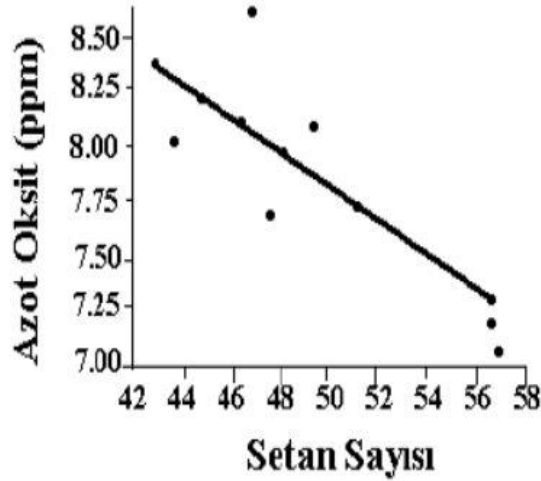
Yanma kısmında değinildiği gibi kontrolsüz yanma safhasında sıcaklıkların çok fazla miktarda artması NO_x oluşumunun temel nedenlerinden biridir. Genişleme stroku süresince hava veya daha soğuk yanmış gazlarla karşılaşan yanmış gazlar NO oluşma reaksiyonunu durudur ve NO formu korunur. Bu aşamadan sonra NO geri parçalanarak N₂ ve O₂ olarak egzozdan salınır. Püskürtme avansı küçüldüğünde tutuşma gecikmesi uzar ve bundan dolayı NO oluşumu da geç başlar. Maksimum sıcaklıkların düşmesi sebebiyle NO konsantrasyonu da düşecektir. Bu olay dizel motorlarda NO konsantrasyonu da ki azalma, benzinli motorlara kıyasla daha hızlı olacaktır.

Dizel motorlarda püskürtülen yakıtın artması NO emisyonuna da doğru orantılı olarak arttırıcı etki yapacaktır. Aynı şekilde yüksek yüklerde, basınç ve sıcaklıkları arttırıcı etkileri nedeniyle NO emisyonlarını arttırıcı etki yapar[12] [16] [17].

2.3.4.1 Azot Oksitlerin (NOx) Kontrol Yöntemleri

- Yakıtın Kalitesi

Dizel yakıtın kolay tutuşma karakterini setan sayısı belirlemektedir. Yüksek setan sayısı, tutuşma gecikme süresini azaltmakta ve yanma odasında biriken yakıtın ani yanmasını, dolayısıyla ani basınç ve sıcaklık artışını engellemektedir. Şekil 2-8 de Setan sayısının NOx oluşumuna etkisi gösterilmiştir. Tutuşma gecikmesinin azalmasıyla birlikte yakıt daha erken tutuşacak, sıkıştırma devam ettiği içinde NOx oluşumu artacaktır. Bunun engelleyebilmek için; yanma başlamadan daha az miktarda yakıt püskürtülmelidir. Böylece maksimum yanma sıcaklığının düşmesi beklenir.



Şekil 2-8 Setan sayısı etkisi

- Yakıt Püskürtme Sistemi

Daha sonra detaylı olarak incelenecek olan yakıt püskürtme sistemi, hava ve yakıtın karışmasına direk etkir. Bunun sonucu; alevin oluşması, alevin yayılması, yakıtın pülverizasyonu ve dağılımı etkilenir.

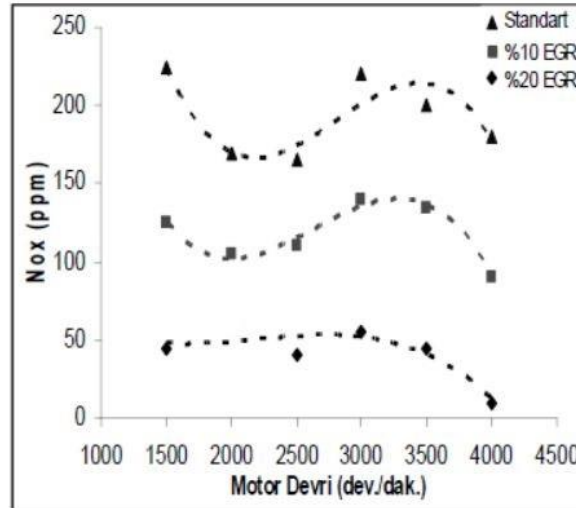
Enjektör delik çaplarının küçültülmesi tutuşma gecikmesi süresinde yanma odasına sokulan yakıtın azaltılmasını sağlayacağı için NOx emisyonlarını azaltacaktır. Diğer taraftan, yakıt miktarı azalacağı için ve hava ile yakıt daha iyi karışacağı için birim yakıt başına düşen hava miktarı artacaktır. Bundan dolayı alev daha geniş bir bölgeye yayılır

ve NOx emisyonları artar. Bu artma ve azalma NOx emisyonlarında bir değişim görölmemesine sebep olur. Yapılan alışmalar göstermiştir ki; iki kademeli püskürtme partiköl madde(PM) emisyonlarında önemli artışa sebep olmadan NOx emisyonlarını düşürmektedir.

- Egzoz Gazı Re-sirkölasyonu(EGR) Sistemi

NOx miktarı sıcaklıkla direk olarak alakalıdır. Yanma odasında art gazların kalması, oluşacak maksimum yanma sıcaklıkları ve dolayısı ile NOx miktarı azalacaktır. Direk püskürtmeli dizel motorlarda EGR sistemi yakıt sarfiyatını kötüleştirmeden NOx emisyonlarında azalma sağlamaktadır.

Yanmaya katılan oksijenin fazlalığı NOx miktarını arttır, EGR sistemi yanmaya katılan oksijeni azaltarak yerine CO2 ve H2O geçirdiğinden dolayı alev sıcaklığında azalma meydana gelir ve NOx emisyonu azalır. EGR oranının arttırılması NOx emisyonlarını azaltmaktadır. şekil 2-9da EGR artışına bağlı NOx emisyonlarının azaldığı görölmemektedir.

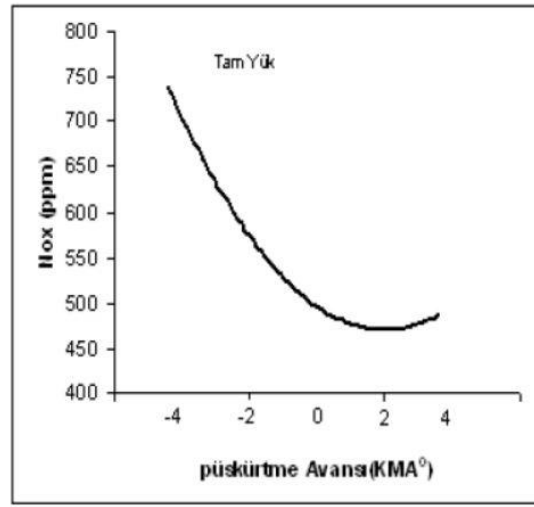


şekil 2-9 EGR miktarı etkisi

- Püskürtme avansı ve püskürtme basıncının etkisi

Diğer etkenleri sabit kabul ederek, püskürtme avansı artırıldığında tutuşma gecikmesi artacağı için; yanma odasına daha fazla yakıt püskürtülecek ve bu yakıtın yanmasıyla silindir içi basınç ve sıcaklıklar ani olarak yükselecektir buda NOx emisyonlarında artışa sebep olur. Şekil 2-10'da püskürtme avansına bağlı olarak NOx emisyonlarının değişimi görülmektedir.

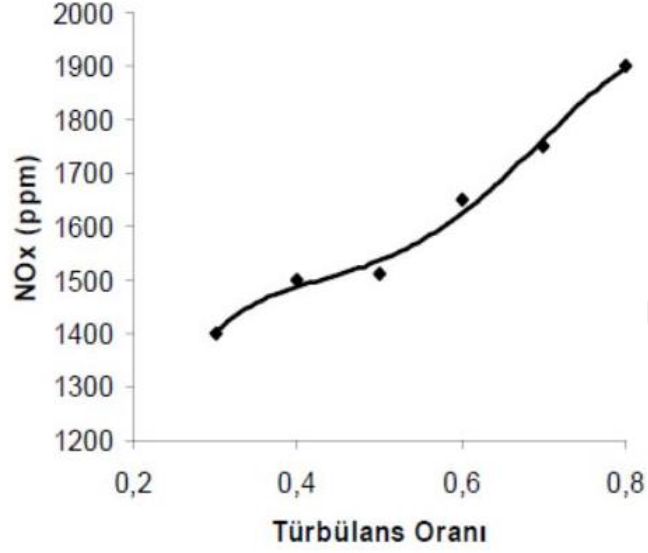
Püskürtme basıncının artırılması yakıtın tanecik boyutunu düşürür ve yakıt hava ile daha rahat karışır bunun sonucu tutuşma gecikmesi kısılır ve NOx miktarı azalır.



Şekil 2-10 Püskürtme avansı etkisi

- Türbülansın etkisi

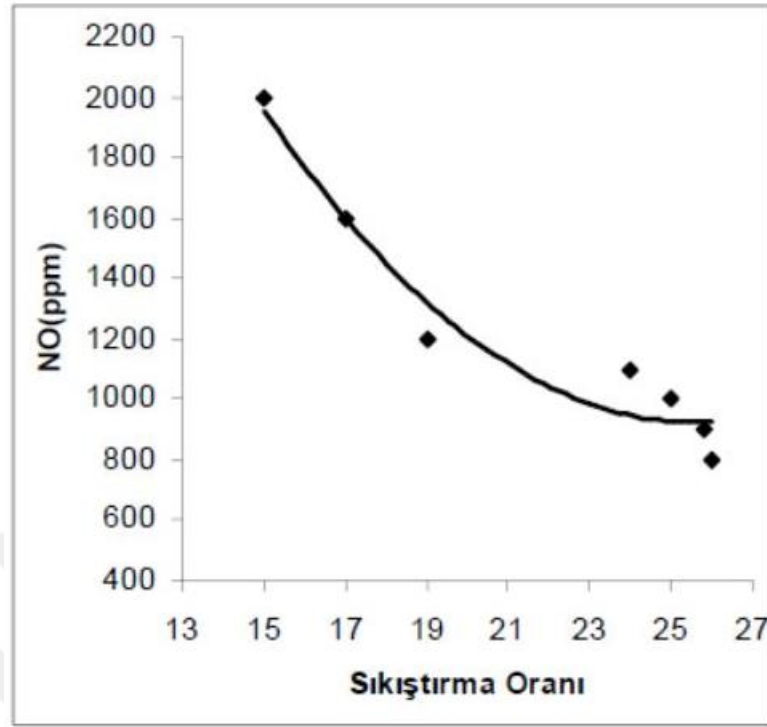
Yanma odasında türbülansın azalması hava yakıt karışımı miktarını azaltarak NOx emisyonlarını azaltıcı yönde etki yapar. Şekil2-11 de Türbülans etkisi görülmektedir.



Şekil 2-11 Türbülans etkisi

- Sıkıştırma oranı etkisi

Direk püskürtmeli dizel motorlarda NOx oluşumlarını en çok etkileyen faktörlerden biridir. Diğer etkenlerin sabit kaldığı varsayımı ile sıkıştırma oranının artması tutuşma gecikmesini kısıltacağı için NOx emisyonlarında azaltıcı etki yapacaktır. Şekil 2-12 de sıkıştırma oranına bağlı olarak NOx emisyonu değişimi gösterilmiştir. [12] [16] [17].



Şekil 2-12 Sıkıştırma oranı etkisi

2.3.5 İs Oluşumu

Yanma sırasında bir takım organik parçacıkların yanmayarak birbirlerine tutunması ile oluşmakta olduğu varsayılmaktadır. İs parçacıklarının içeri motor yük koşullarına ve egzoz sıcaklıklarına göre değişmektedir. Oluşan parçacıkların egzoz sisteminde ilerlemeleri sırasında parçacık çaplarında büyüme meydana gelmektedir. İs parçacıklarının oluşumu yakıtın tipine, C-H oranına ve karbon atomu sayısına bağlıdır. Dizel motorlarda is oluşumu heterojen karışımın fazlalığı yüzünden benzinli motorlara göre fazla olmaktadır. Karbon tanecikleri yanma için yeterli zaman bulamamakta ve egzozdan parçacık olarak atılmaktadır. Motorun yük durumu hava fazlalık katsayısını değiştirdiği için is bunun fonksiyonu olarak değişir. Motorun is oluşumunun sınırı motor gücünü belirlemektedir. Motor devri düştükçe içeri daha fazla yakıt gönderilip motor devri arttırılmaya çalışılacaktır fakat içeriye yakılabileceğinden fazla yakıt girdiğinde(yakıt/hava oranının artması) parçacık oluşumu artacak ve egzoz koyu renkli is gözlemlenecektir. İs motorun ömrünü azaltıcı etki yapmaktadır [12] [16].

DİZEL YAKIT PÜSKÜRTME SİSTEMLERİ

Dizel motor çalışma ilkelerine göre sıkıştırılan ve sıcaklığı artan hava üstüne yakıtın en uygun zamanda püskürtülmesi gerektiği bilinmektedir. Bunu sağlayabilmek için yakıt püskürtme sistemleri geliştirilmiş ve halen geliştirilmektedir. Dizel yakıt sistemlerinin en önemli elemanı pompa ve enjektörlerdir, bunların haricinde yakıt deposu, yakıt pompası, filtre, basınçlı yakıt boruları sistemin diğer elemanlarıdır. Günümüzde yüksek basınçlar elde etmek amacıyla geliştirilmiş common-rail sistemleri de kullanılmaktadır. Bu sistemlerde iki önemli eleman daha mevcuttur bunlar; rail ve elektronik kontrol ünitesidir(EKÜ).

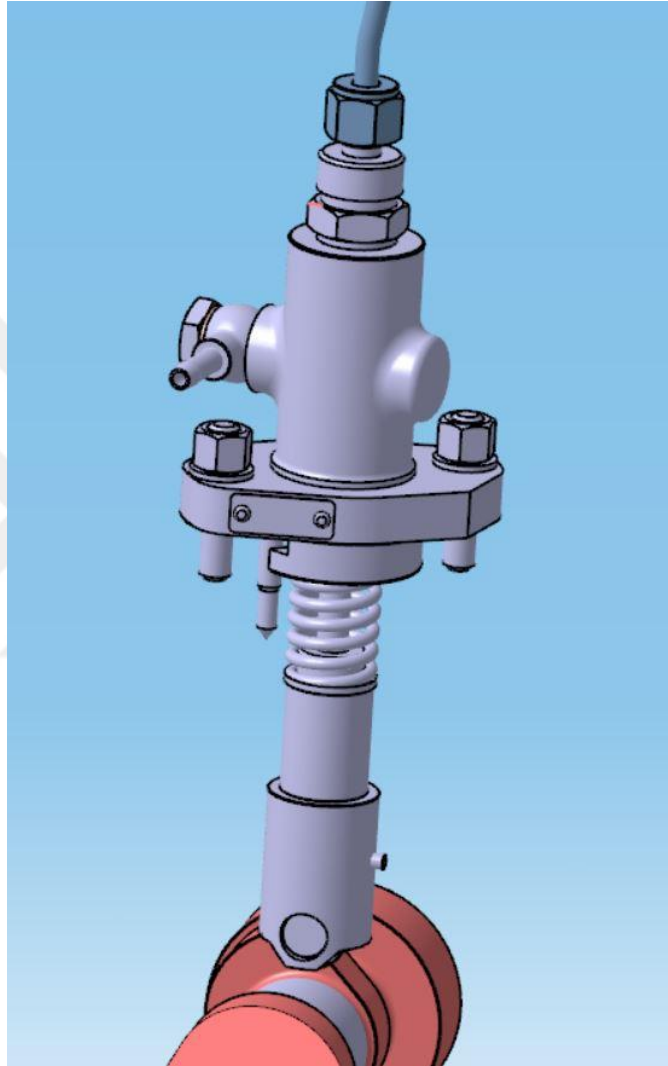
Yakıt püskürtme sistemlerinden beklenen iyi pülverizasyon, basınç, miktar ölçme ve kontrol görevleri pompa ve enjektörler ortaklaşa gerçekleştirirler.[18]

3.1 Yakıt Pompaları

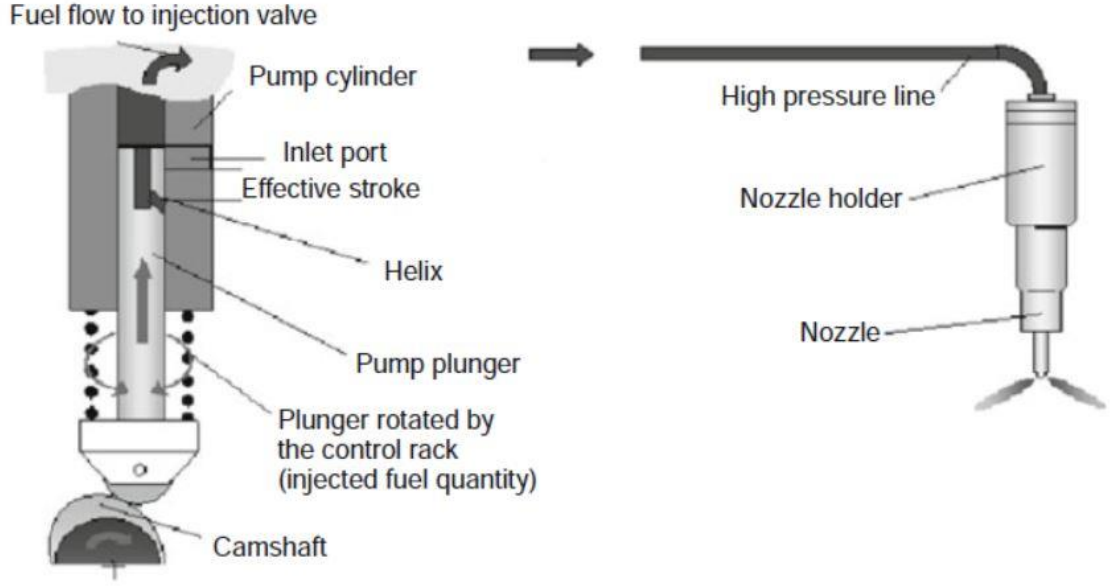
Pompanın başlıca görevleri şunlardır; yakıtı bir basınç altında ateşleme sırasına göre enjektörlere yollamak ve sevk edilen yakıt miktarını belirlemek. Bütün silindirler için tek pompa kullanılabildiği gibi her silindir için ayrı bir pompa kullanılıp tasarım bu şekilde de yapılabilir. Yakıt pompalarında harici olarak yağlama yapılmamaktadır. Dizel yakıtın yağlama özelliği kullanılır.

3.1.1 İne line tipi pompalar

Test motorunda da kullanılan yakıt pompası inline olarak bilinen üzerinde kam mili bulunmayan pompalardır. Harici olarak kam mili üstüne yerleştirilen bir profilden tahrik alarak yakıt basma işlemini gerçekleştirir. Şekil 3-1 de test motorunda kullanılan pompanın katı modeli görölmektedir.

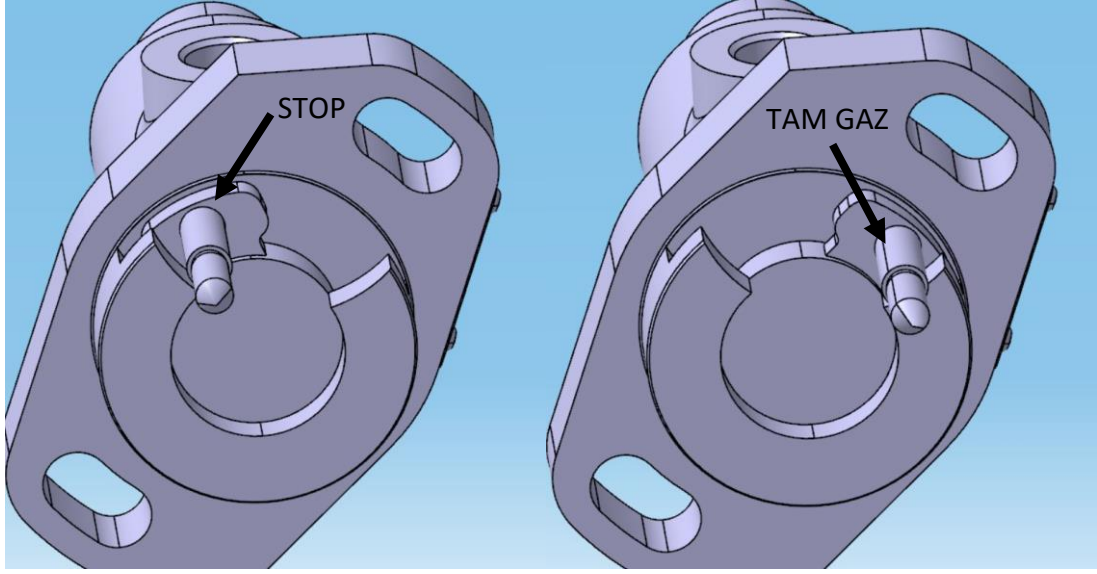


Şekil 3-1 Test Motoru Pompası



Şekil 3-2 İline pompa çalışma ilkesi(Handbook of Diesel Engines, 2010)

Şekil 3-2 de inline bir pompanın çalışma şekli gösterilmiştir. İn-line pompalar basma yönünde tahrik alarak bir pistonun hareketi ile yakıtı basmaktadırlar. İlk durumda yakıt giriş kısmından hazneye dolmaktadır, kam profili pistonu harekete zorladığında giriş ağzı kapanmakta ve yakıt yüksek bir basınç ile dağıtım valfinden enjektöre yollanmaktadır. Burada faydalı strok giriş ağzının kapanmasından sonra devam eden ve yakıtın miktarını belirleyen stroktur. Test motorunda kullanılan tek pistonlu inline pompalar pompa kumanda manivelası (rack) yardımı ile kontrol edilirler. Bu manivela yakıt sarmalının konumunu değiştirerek enjektöre gönderilen yakıt miktarını ayarlar. Bu tip pompalar çok silindirli motorlarda her silindirde bir adet olarak kullanılırlar. Şekil 3-3' te test motoru pompası kumanda manivelasının stop ve tam gaz halleri görülmektedir. Şekil 3-4 te motorda kullanılan yakıt pompasının motora bağlantı şekli görülmektedir.[12]



Şekil 3-3 Test motoru pompasının stop ve tam gaz halleri

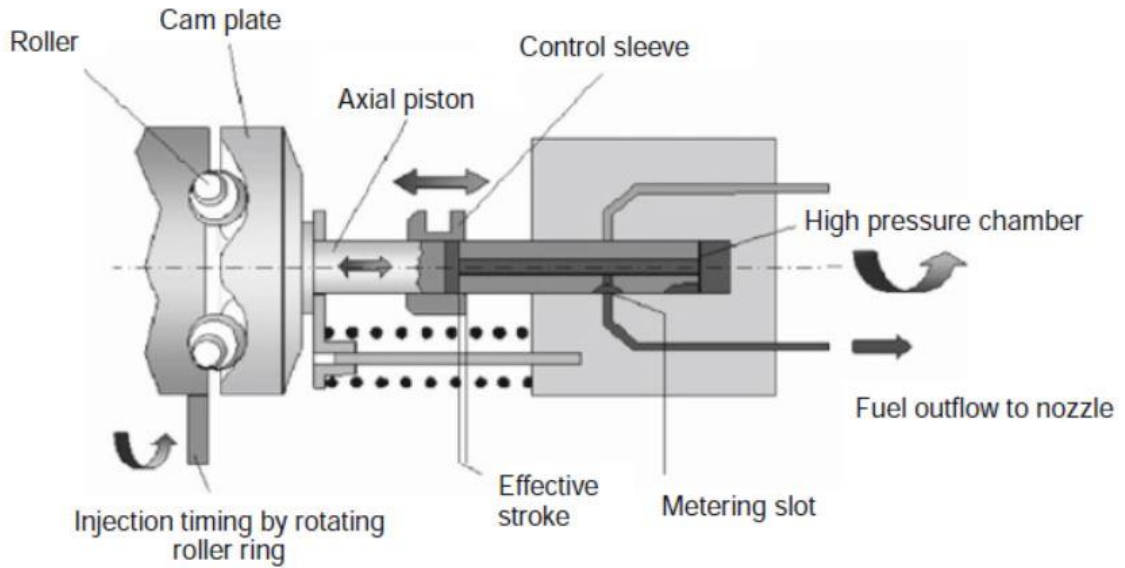


Şekil 3-4 Test motoru pompasının bağlantı şekli

Motorun devir kontrolü bu manivela sayesinde gerçekleşmektedir. Manivela regülasyon diye tabir edilen kontrol kumanda sistemi sayesinde istenilen pozisyonda tutulmaktadır. [12] ve [18].

3.1.2 Eksenel Dağıtıcı Pompalar

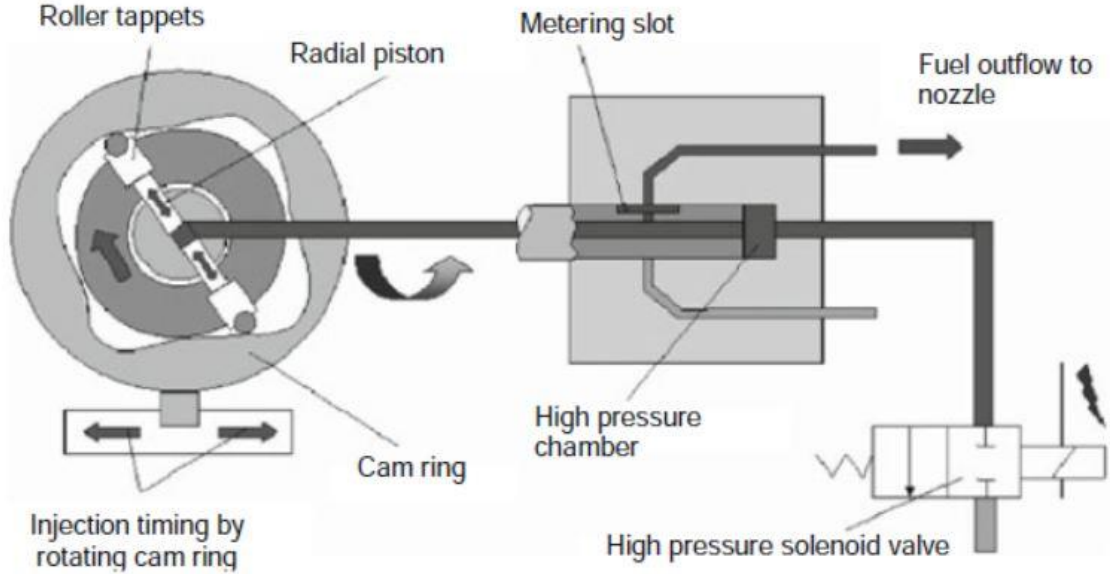
Şekil 3-5 te eksenel dağıtıcı tip pompanın çalışma ilkesi görülmektedir. Tüm silindirlerin beslenmesi tek pompa ile yapılır. Kam plakası motorun kam mili tarafından tahrik alır. Silindir miktarına göre pompa tasarımı gereklidir. Kam plakasının dönüşünü eksenel harekete döndürerek, piston ile basınç oluşumu sağlar. [12] ve [18].



Şekil 3-5 Eksenel dağıtıcı tip pompa çalışma ilkesi (Handbook of Diesel Engines, 2010)

3.1.3 Radyal Dağıtıcı Pompalar

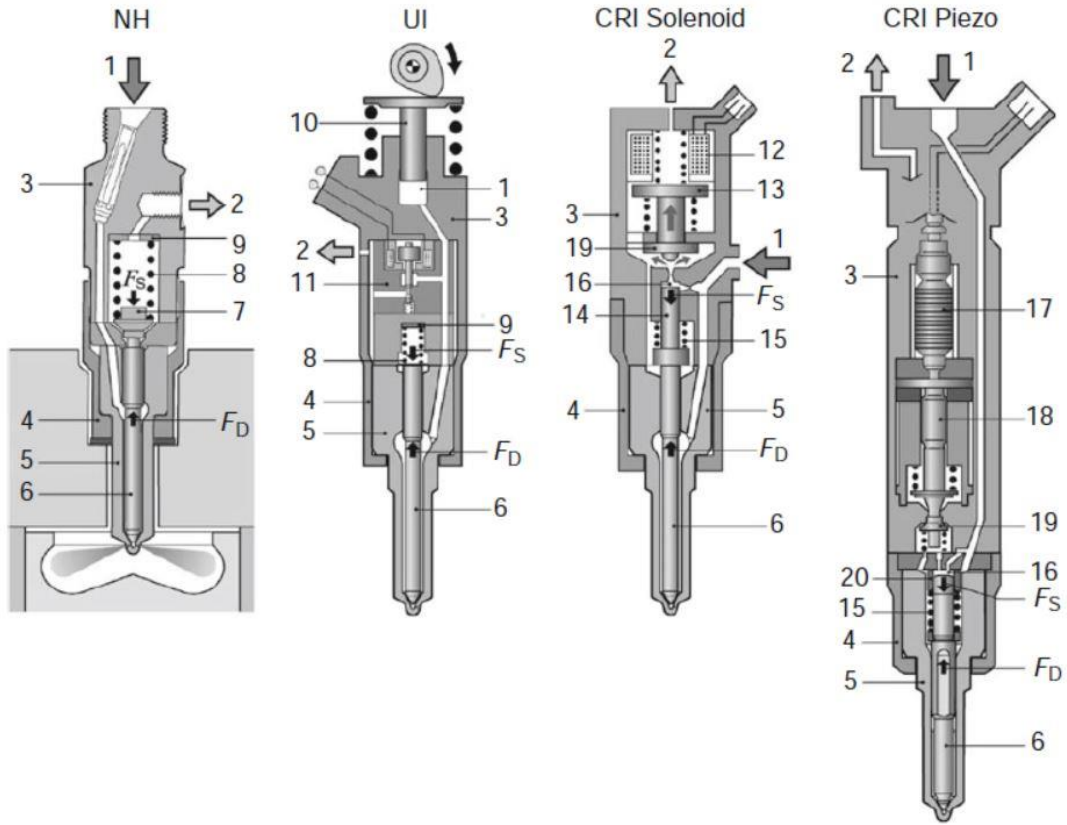
Dönen piston sayesinde çok yüksek basınçların elde edilebildiği bir pompa şeklidir. Basınç oluşumu sürekli. Selenoid valf motora gönderilen yakıtın miktarını kontrol eder. Valf kapalı iken yüksek basınç oluşumu gerçekleşir. Selenoid valf sayesinde hassas olarak kontrol edilebilen pompalardır. [12] ve [18].



Şekil 3-6 Radyal dağıtıcı pompa çalışma ilkesi(Handbook of Diesel Engines, 2010)

3.2 Enjektörler

Silindir içine yakıtın püskürtülmesini sağlayan meme ve meme tutucusundan oluşan elemanlardır. Yakıt zerreciği boyutlarının küçüldükçe yanmanın iyileştiği bilinmektedir. Basıncın artması ile zerrecik boyutu küçülürken yakıtın silindir içinde ulaşabileceği mesafede artacaktır. Püskürtme kontrol sistemlerine göre enjektörler sınıflandırılmaktadır. Şekil 3-7’de enjektör çeşitleri görülmektedir.



Şekil 3-7 Enjektör çeşitleri(Handbook of Diesel Engines, 2010)

3.2.1 Mekanik Enjektörler

Yakıt püskürtme kontrolünün mekanik yay veya bir kam profili tarafından kontrol altında tutulduğu enjektörlerdir. Şekil 3-7’de ilk iki enjektör bu sınıfa girmektedir. Pompadan basınçlı yakıt 1 numara ile gösterilen ağza gelir kanaldan geçerek F_D kuvvetini oluşturup 8 numaralı yayın kuvvetini yenerek supap iğnesini kaldırarak yakıtın püskürtülmesini sağlar. Şekil 3-8’de test motorunda kullanılan Bosch marka mekanik enjektör görülmektedir.[12] ve [18].



Şekil 3-8 Test motoru mekanik enjektörü Bosch

3.2.2 Selenoid ve Piezo Enjektörler

Şekil 3-7’ de son iki enjektör sırası ile selenoid ve piezo kontrollü enjektörlerdir. Selenoid enjektörlerde yakıt püskürtme kontrolü 12 numara ile gösterilen selenoid yardımı ile yapılır. EKÜ tarafından zamanı geldiğinde selenoid elektrikle manyetik özellik kazanır ve enjektör iğnesini çekerek yakıtın püskürtülmesini sağlar. Şekil 3-9’da testlerde kullanılan Bosch marka selenoid enjektör görülmektedir.

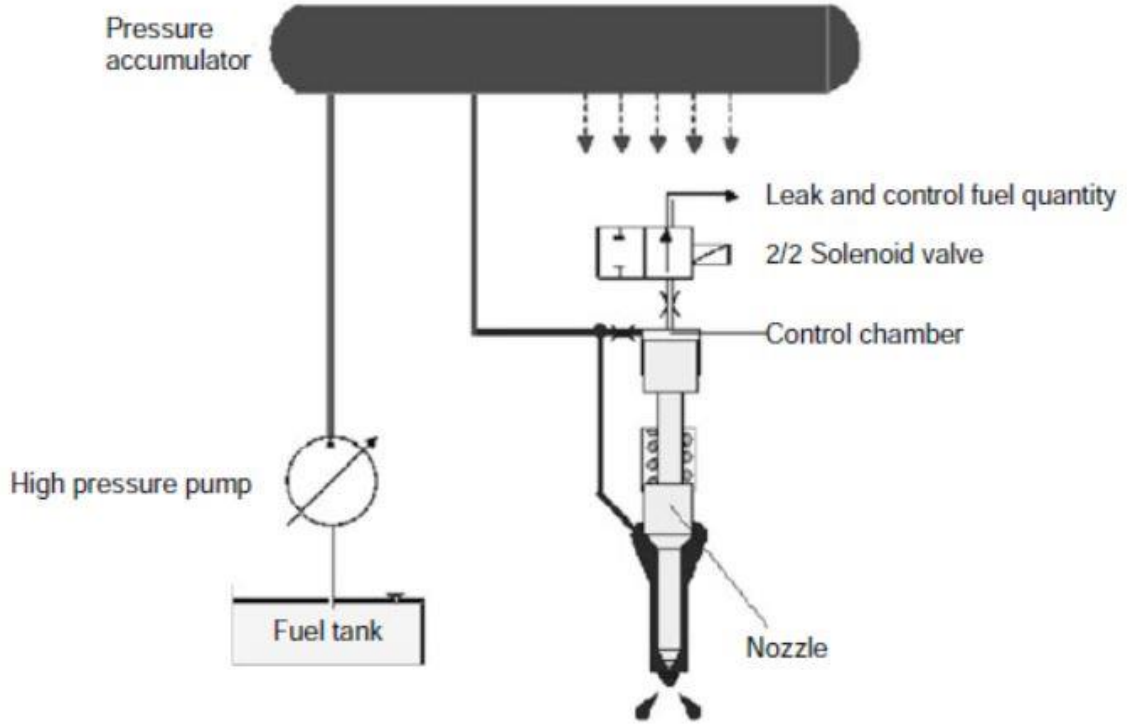
Piezo enjektörler çok hassas ve tepki süreleri selenoid enjektörlere göre daha hızlı olduğundan yüksek teknolojili, özellikle yanmanın çeşitli püskürtme şekilleri ile kontrol altında tutulması istenilen motorlarda kullanılmaktadır. Gerek teknolojisi gerekse üretim maliyetlerinin yüksek olması enjektör fiyatlarının yüksek olması nedeniyle ancak yüksek fiyatlı motorlarda kullanım alanı bulmaktadır. [12] ve [18].



Şekil 3-9 Test motoru selenoid enjektörü Bosch

3.3 Common-Rail

Yakıtın 2500-3000 barlara kadar püskürtülebildiği yüksek basınçlı direk püskürtme sistemidir. Mevcut geleneksel sistemlere göre emisyon, yakıt tüketimi ve performans olarak çok daha üstün olduğu tespit edilmiştir. Sistem çalışması basitçe şekil 3-10’da gösterilmiştir. Yüksek basınçlı pompa sürekli olarak yakıt borusunu(rail) besler, yakıt borusu üzerinde bulunan yakıt ayar regülatörü basıncın istenilen seviyede sabit kalmasını sağlar, rail sabit olan bu yüksek basıncı enjektör girişlerine kadar yollar ve sabit tutar, enjektörler püskürtme sırasına göre açıldığında yakıt sabit basınçlı ve istenilen kadar yüksek basınçlı olarak yanma odasına püskürtülebilir.



Şekil 3-10 Common-rail enjeksiyon sistemi çalışma ilkesi(Handbook of Diesel Engines, 2010)

TEST DÜZENEĞİNİN TANITIMI

4.1 Test Motorunun Tanıtımı

Test motoru Erin Motor A.Ş. tarafından tasarlanmış, 00203.STZ.2007-2 ve 00612.STZ.2010-1 numaralı San-Tez projeleri kapsamında desteklenerek prototip üretimi gerçekleştirilmiş olan tek silindirli doğal emişli direk püskürtmeli bir dizel motordur. Aşağıda motora ait teknik özellikler belirtilmiştir.

Strok Sayısı	4
Silindir Sayısı	1
Silindir Hacmi	1,16L
Piston Çapı/Strok	ø108mm/127mm
Supap Sayısı	4
Sıkıştırma oranı	14,6:1
Maksimum güç	18@2400 d/d
Maksimum tork	80@1800 d/d
Özgül Yakıt Tüketimi	255 g/kWh
Soğutma	Su soğutmalı
Rölanti Devri	600 d/d
Hava emişi	Doğal
Kuru ağırlığı	169 kg



Şekil 4-1 Deney Motoru

4.2 Emisyon Ölçüm Cihazları

Emisyon ölçümünde; CO, THC ve NO_x ölçümü için AVL DiCom 4000 emisyon ölçer, is ölçümleri için ise AVL 415S is ölçer kullanılmıştır. Şekil 4-2de emisyon cihazları görülmektedir.



Şekil 4-2 Emisyon cihazları

Şekil 4-3 ve şekil 4-4' te emisyon cihazlarının ölçüm özellikleri görülmektedir.

AVL DiGas 4000/AVL DiCom 4000	Measurement Range	Resolution
CO:	0 ... 10 % Vol.	0.01 % Vol.
CO ₂ :	0 ... 20 % Vol.	0.1 % Vol.
HC:	0 ... 20 000 ppm Vol.	1 ppm
NO _x :	0 ... 5 000 ppm Vol.	1 ppm
O ₂ :	0 ... 25 % Vol.	0.01 % Vol.
λ-calculation:	0 ... 9.999	0.001
λ-sensor voltage:	0 ... 5.0 V	0.04 V
Engine Speed:	250 ... 9 990 rpm	10 rpm
Oil Temperature:	0 ... 150 °C	1 °C
Ignition Angle TDC Sensor:	- 60 ... 100 °c.a.	0.1 °c.a.
Ignition Angle Stroboscope:	0 ... 60 °c.a.	0.1 °c.a.
Dwell Angle:	0 ... 100 %	1.0 %

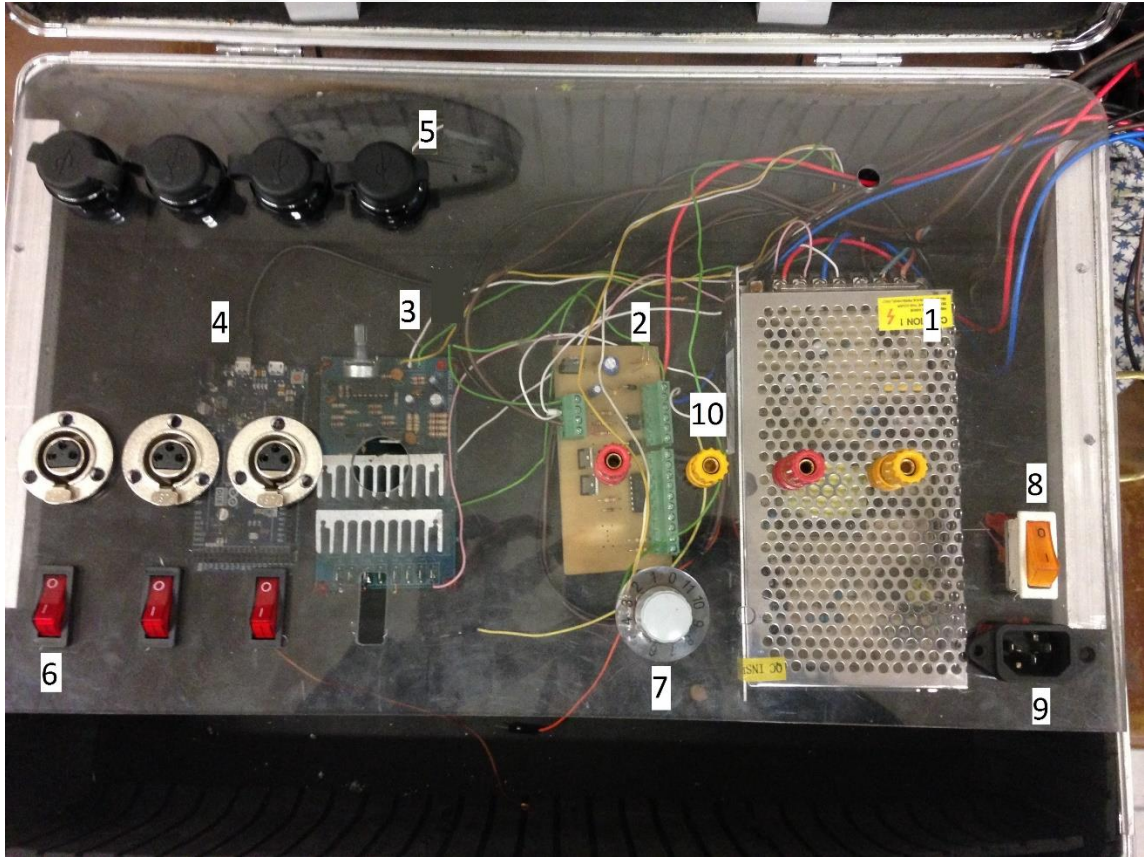
Şekil 4-3 AVL DiCom 4000 ölçüm özellikleri

Measurement principle:	Measurement of filter paper blackening
Measured value output:	FSN (filter smoke number) or mg/m ³ (soot concentration)
Measurement range:	0 to 10 FSN
Detection limit:	0.002 FSN or ~ 0.02 mg/m ³
Resolution:	0.001 FSN or 0.01 mg/m ³
Exhaust pressure ranges:	(-300*) -100 to 400 mbars (-500*) -200 to 750 mbars with the special sampling option 0 to 3000 mbars with the high-pressure option (*) with activated altitude simulation
Maximum exhaust temperature:	600 °C with standard 340 mm sample probe (800 °C with 780 mm long sample probe)
Interfaces:	2 serial RS232 interfaces with AK protocol Digital via Instrument Controller 4210 1 Ethernet interface with InPort option installed with AK protocol
Power supply:	100 – 115 VAC or 230 VAC, 50/60 Hz
Power consumption:	700 VA
Compressed air (for compressed air option):	~150l/min during purge
Compressed air quality required:	Grades 1.1.1 to 1.4.1 according to ISO 8573.1:2001(E) Recommended connection pressure on the AVL Smoke Meter: 5 to 8 bars at the measurement device input
Weight:	<40 kg
Dimensions (w x h x d):	560 x 620 x 300 mm
Sample flow:	~ 10 l/min
Ambient conditions:	5 to 55 °C / max.95 RH; without condensation Sea level -500 to + 5000 m
Repeatability:	Standard deviation 1 s = ± (0.005 FSN + 3 % of the measured value @ 10sec intake time)

Şekil 4-4 AVL 415S ölçüm özellikleri

4.3 Motor Kontrol Ünitesi

Tez danışmanım Doç. Dr Tarkan Sandalcı tarafından geliştirilmiştir. Şekil 4.2 de kontrol ünitesinin genel görünümü mevcuttur. Güç kaynağı sistemin enerjisini karşılamaktadır(1). Sürücü kart sistemin haberleşme görevini yerine getirmektedir, tüm kartların ve enjektörün birbiriyle olan etkileşimi bu kart sayesinde yapılmaktadır(2). Sinyal genişlik modülasyon(PWM) kartı pompa selenoidinin sürücüsüdür(3). Pompanın basıncı potansiyometre ile ayarlanmaktadır(7). Arduino sistemin işlemcisidir(4). Bilgisayar ile iletişimi sağlayan USB çıkışları(5). Enjektör ve pompanın açılıp kapanmasını sağlayan düğmeler(6). Acil stop ise acil bir durumda motorun durdurulmasını sağlayan düğmedir (8). Sistemin elektrik girişi(9). Enkoder, pompa sinyali ve enjektör sinyalinin osiloskop çıkış soketleri (10). Bilgisayar yardımı ile Arduinoya püskürtme avansı(°KMA) ve püskürtme süresi(ms) girilir. Enkoder Z sinyalinden sonra 360 derece sinyali göndermeye devam eder, ayarlanan avansa geldiğinde Arduino tetikleme sinyali gönderir ve selenoid enjektör 12V DC ile tetiklenir.



Şekil 4-5 Elektronik Kontrol Ünitesi

4.4 Dinamometre

Motorun test edildiği dinamometre Eddy-Current tipi olup API-COM firmasının FR-50 modelidir. Şekil 4-6 da dinamometre kontrol ünitesi görülmektedir.



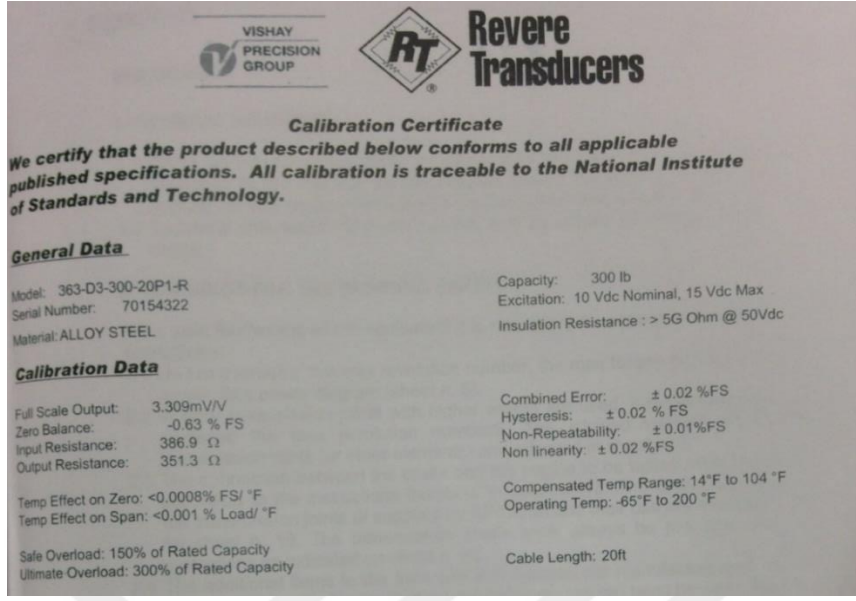
Şekil 4-6 Dinamometre kontrol ünitesi

Şekil 4-7' de testler esnasında dinamometre kontrol ünitesinin ekran fotoğrafı görülmektedir.



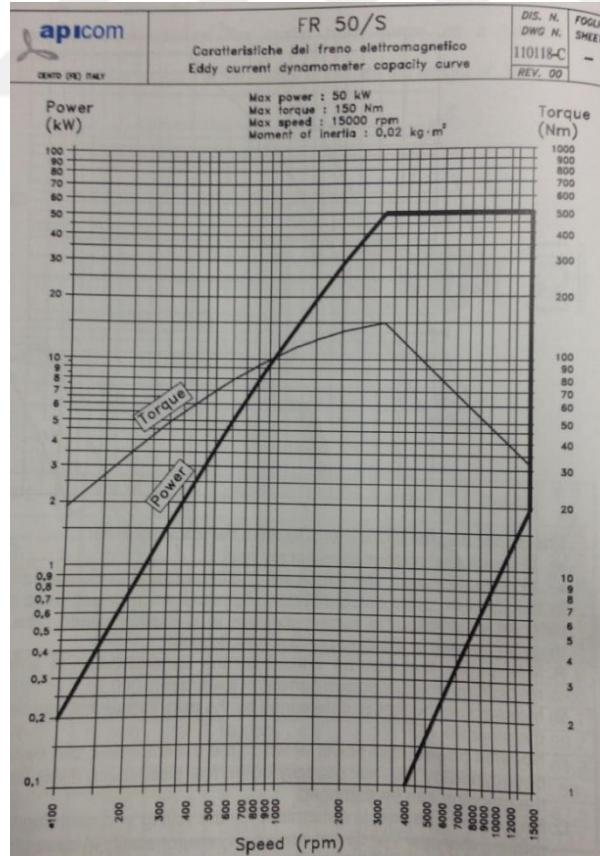
Şekil 4-7 Testler esnasında kontrol ünitesinden görünüm

Şekil 4-8' de dinamometre yük hücresinin(Load-Cell) teknik özellikleri görülmektedir.



Şekil 4-8 Yük hücresinin teknik özellikleri

Şekil 4-9' da dinamometrenin yükleme karakteristiği görülmektedir.



Şekil 4-9 Dinamometrenin yükleme karakteristiği

4.5 Basınç Ölçüm Ekipmanları

Basınç ölçümü için Kistler 6052C basınç sensörü kullanılmıştır. Şekil 4-10' da basınç sensörünün teknik özellikleri görülmektedir. Üst ölü nokta ve KMA ölçüp basıncın olduğu doğru noktanın tespiti için Omron marka enkoder kullanılmıştır.

Type 6052C...		
Measuring range	bar	0 ... 250
Calibrated partial ranges	bar	0 ... 50, 0 ... 100, 0 ... 150, 0 ... 250
Overload	bar	300
Sensitivity	pC/bar	≈-20
Natural frequency (measuring element)	kHz	≈160
Linearity, all ranges (at 23 °C)	%/FSO	≤±0,3
Acceleration sensitivity		
axial	bar/g	<0,0002
radial	bar/g	<0,0005
Operating temperature range	°C	-20 ... 350
Temperature min./max.		-50 ... 400
Sensitivity change		
200 °C ±50 °C	%	≤±0,5
23 ... 350 °C	%	≤±2
Thermal shock error		
(at 1500 1/min, p _{mi} = 9 bar)		
Δp (short time drift)	bar	≤±0,5
Δp _{mi}	%	≤±2
Δp _{max}	%	≤±1,0
Insulation resistance at 23 °C	Ω	≥10 ¹³
Shock resistance	g	2 000
Tightening torque	N·m	1,5
Capacitance, without cable	pF	5
Weight with cable	gram	30
Connector, ceramic insulator	—	M4 x0,35

Şekil 4-10 Basınç sensörü ve teknik özellikleri

Basınçların kayıtları ve enkoder verilerinin kayıtları için LeCroy marka osiloskop kullanılmıştır. Şekil 4-11'de osiloskopun teknik özellikleri görülmektedir.



Bandwidth	500 MHz
Rise Time	800 ps
Input Channels	4
Display	10.4" Color Touch Screen
Sample Rate	2 GS/s max (interleaved mode)
	1 GS/s (all channels)
	50 GS/s (RIS mode)
Standard Record Length	500 kpts/Ch (interleaved mode)
	250 kpts/Ch (all channels)
Max. Record Length	2 Mpts/Ch (interleaved mode)
	1 Mpts/Ch (all channels)
Standard Capture Time	up to 250 μ s at full sample rate
Max Capture Time	up to 1 ms at full sample rate
Vertical Resolution	8 bits
Vertical Sensitivity	1 mV/div - 10 V/div (1 MegaOhm); 1 mV/div - 2 V/div (50 ohm)
BW Limit	20 MHz, 200 MHz
Probing System	BNC or ProBus®
Probes	One PP007 per channel (Standard)
Time Base Range	1 ns/div - 1000 s/div
Time Base Accuracy	10 ppm

Şekil 4-11 Kullanılan Osiloskopun teknik özellikleri

Basınç sensörünün verilerini osiloskopun kaydedeceği türe çevirebilmek için Kisteler marka şarj amplifikatörü kullanılmıştır. Şekil 4-12’ de şarj amplifikatörünün özellikleri görülmektedir.



Change Input

Connector Type	BNC neg. or TRIAX neg.	
Measuring range FS	pC	$\pm 2 \dots 2\,200\,000$
Measuring error		
Ranges FS <10 pC	%	< ± 2
Ranges FS <100 pC	%	< $\pm 0,6$
Ranges FS ≥ 100 pC	%	< $\pm 0,3$
Drift, measuring mode DC (Long)		
at 25 °C, max. relative Humidity RH of 60 % (non-condensing)	pC/s	< $\pm 0,03$
at 50 °C, max. relative Humidity RH of 50 % (non-condensing)	pC/s	< $\pm 0,3$
Max. common mode voltage between input and output ground	V	< ± 25
Overload	%FS	$\approx \pm 110$

Şekil 4-12 Charge amplifier teknik özellikleri

4.6 Test Odası

Testler Yıldız Teknik Üniversitesi içten yanmalı motorlar laboratuvarında yapılmıştır. Şekil 4-13 te test düzeneğinin laboratuvardaki yeri görülmektedir.



Şekil 4-13 Yıldız Teknik Üniversitesi Motorlar Laboratuvarı

4.7 Yakıt ölçümü

Yakıt ölçümlerinde Biotech marka VZS-005-Alu minyatür dişli debimetre kullanılmıştır. Şekil 4-13te de kullanılan debimetrenin teknik özellikleri görülmektedir.

VZS-005-ALU

Oil flowmeter

PNP-3600 Pulses/Litre

Art.-No.: 97478458

Oval gear Flow meter VZS-005-ALU

Suitable for liquids	Water, Fuel, Diesel, Oil	
Flow range min. / max. LPM	0,005 LPM	1,5 LPM
Pressure min. / max.	-0,8 bar	30 bar
Operating temperature min./ max.	-20 °C	100 °C
Material / Rotor / O-Ring	Aluminium eloxated / PPS / FKM	
Process connector	2 x G 1 / 8" female thred BSP	
Electrical connection	3.-pin. connector, IP 65 (included)	
Signal / Output square-wave	PNP (pull up R= 1k6 integrated)	

Şekil 4-14 Yakıt ölçüm debimetresi

4.8 Elektronik Kontrollü Motora Geçerken Yapılan İşlemler

İlk olarak basınç sensörünün katı modeli yapılmıştır. Katı modelleme ve tasarım işlemleri için CATİA V5 R19 programı kullanılmıştır. Motor kafasında basınç sensörünün konumlanabileceği en uygun yer belirlenmiştir. Sensörün konumlanacağı yer su kanalı içinden geçtiği için bu kısma özel basınç sensör gömleği yapılmıştır. Şekil 4-15' te basınç sensörü turkuaz renkli, basınç sensör gömleği yeşil renkli ve silindir kafası da kırmızı renkli olarak gösterilmiştir. Basınç sensörünün takılıp sökülebilmesi için özel olarak anahtar tasarlanmış ve üretilmiştir. Şekil 4-15 te özel anahtar görülmektedir.



Şekil 4-15 Basınç sensörünün kafa konumu ve özel anahtarı

Common-rail sistemi için selenoid pompa(Denso) da dahil tüm ekipmanların 3d modelleri tasarlanmış ve common-rail test cihazı tamamlanmıştır. Şekil 4-16' da common-rail sistemi görülmektedir.

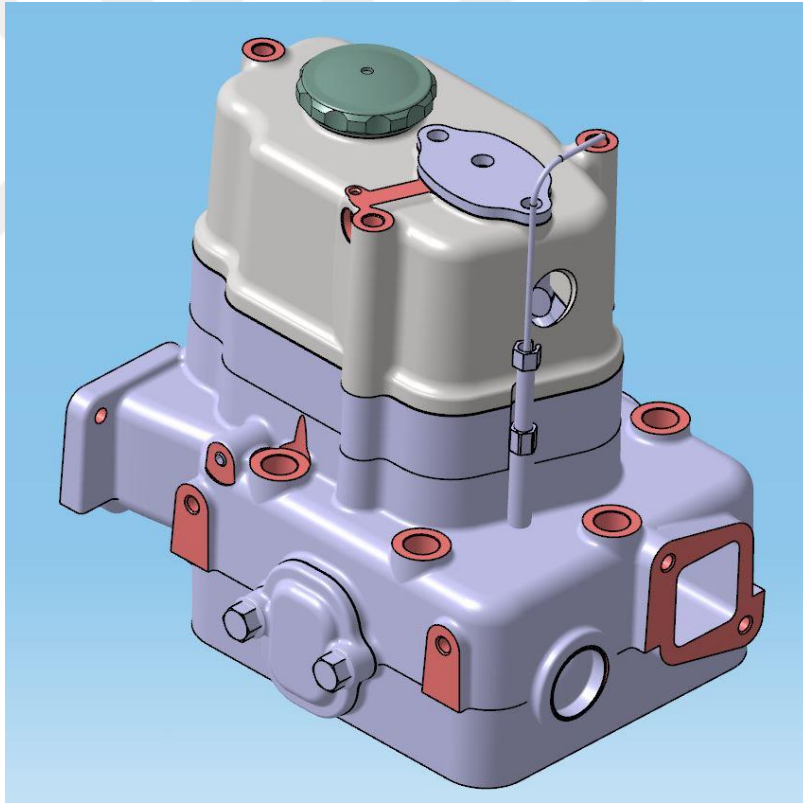


Şekil 4-16 Common-rail sistemi

Selenoid pompa tahriki olarak elektrik motoru kullanılmıştır. Motor KMA'nın ve üst ölü noktanın osiloskop' a aktarabilmek için enkoder motora direk bağlanmıştır. Enkoderin Z kanalı üst ölü noktayı gösterecek şekilde motor kafası sökölerek komparatör yardımıyla şekildeki gibi üst ölü nokta ayarlanmıştır. Şekil 4-17'de üst ölü nokta belirleme işlemi görölmektedir. Emisyon ölçümleri için; egzoz manifolduna gerekli işlemler uygulanmış ve cihazlar bağlanmıştır. Mekanik enjektörün delik sayısı(6), püskürtme açısı(145°) ve verebileceği akış oranına en yakın olacak şekilde enjektör seçimi yapılmıştır(Bosch). Enjektörün katı modeli yapılarak motora uygulanması için gerekli işlemler yapılmıştır. Bunlar; kafada enjektör yuvası genişletilmiştir, özel enjektör tutucusu yapılmıştır, külbitör yüksekliği yeni enjektöre uygun olmadığı için yükseltme aparatı yapılmıştır, külbitör kapağında yakıt girişi ve kablo çıkışları için gerekli tadilatlar yapılmıştır. Şekil 4-18' de elektronik sisteme geçişte motor kafasında yapılan işlemlerin 3 boyutlu modeli görölmektedir.



Şekil 4-17 Üst ölü nokta belirlenmesi



Şekil 4-18 Selenoid enjektör için kafada yapılan değişiklikler

BÖLÜM 5

TESTLER

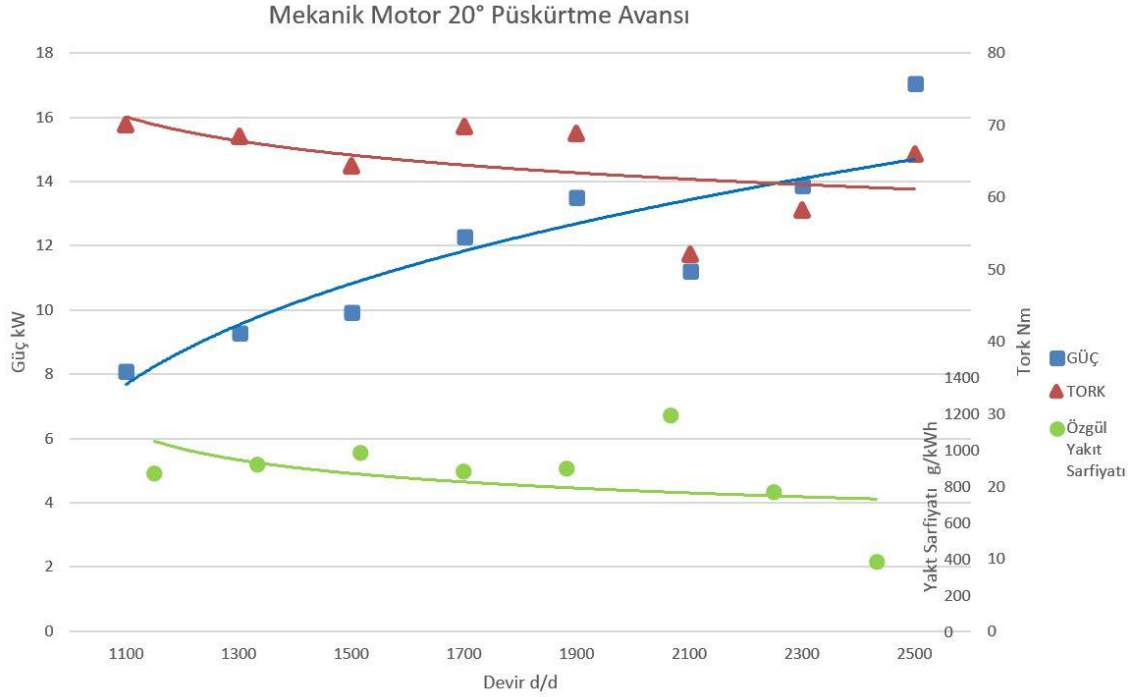
Tüm testler tam yük konumunda yapılmıştır. Testlerde kullanılan dizel yakıt EN 590 standardını karşılamaktadır. Motor her çevrim için kararlı hale gelene kadar çalıştırılmış ve daha sonra sonuçlar kayıt edilmeye başlanmıştır.

Motor çevrimleri belirlenirken; motorun püskürtme avansını da içine alacak şekilde 20° KMA' nın 4° üstü ve 8 ° altı kapsama girecek şekilde testler yapılmıştır. Motorun tek silindirlisinin ve 4 silindirlisinin Erin Motor A.Ş. tarafından jeneratör motoru olarak kullanılması düşünüldüğü için 1500 d/d sabit hız testleri yoğunlaştırılarak yapılmıştır.

5.1 Mekanik Motor Testleri

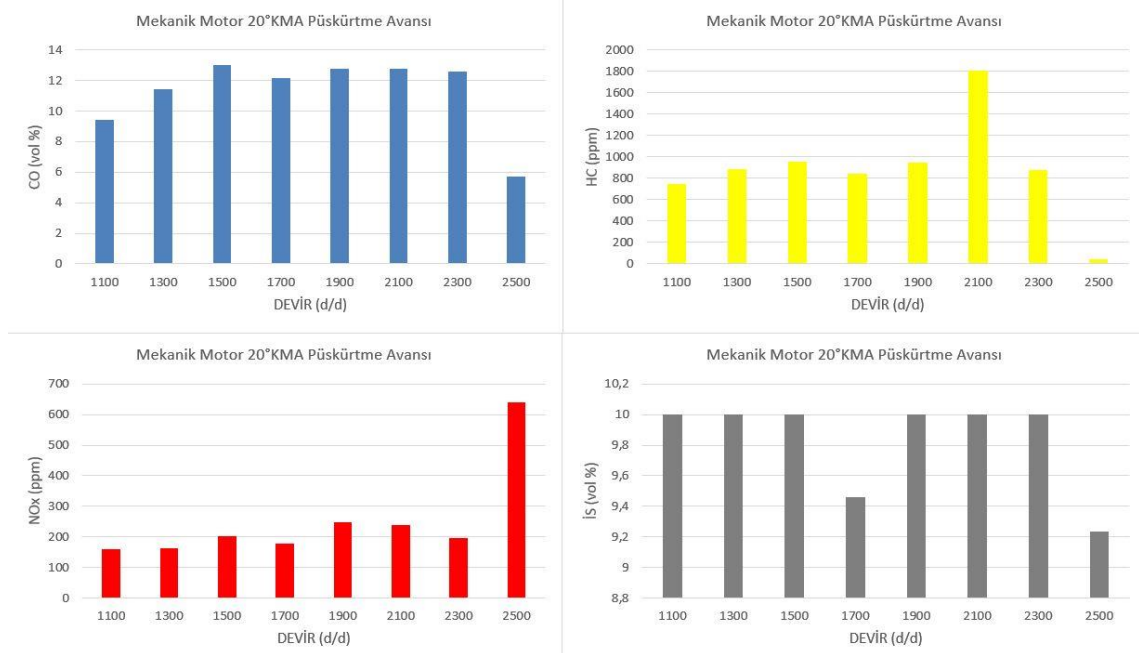
Mekanik motor testleri; motorun ilk halinde kullanılan mekanik in-line pompa ve mekanik enjektör çiftinin kullanılması gerçekleştirilmiştir. Mekanik motor 20° püskürtme avansına sahiptir.

Mekanik regülatörün gaz kolu tam gaz konumuna alınmış ve dinamometrenin sabit hız seçeneği kullanılarak her devir için tam yük konumunda testler gerçekleştirilmiştir. Mekanik motor testleri 1100 d/d dan başlayarak 2500 d/d ya kadar 200 devir artımla yapılmıştır. Bulunan değerler noktalar ile işaretlenmiş grafik çizgileri ise bu noktaların ortalamasını alacak şekilde çizdirilmiştir. Şekil 5-1 de mekanik motorun performans grafiği görülmektedir. Motorun maksimum gücü 2500 devirde 17,06 kW, maksimum torku 1700 devirde 69,9Nm olarak ölçülmüştür.



Şekil 5-1 Mekanik motor performans grafiği

Şekil 5-2’de mekanik motorun emisyon grafiği görülmektedir. Mekanik motorda devir arttıkça NOx miktarının arttığı, CO ve HC miktarının ise azaldığı tespit edilmiştir. Is miktarı önemli ölçüde fazladır.



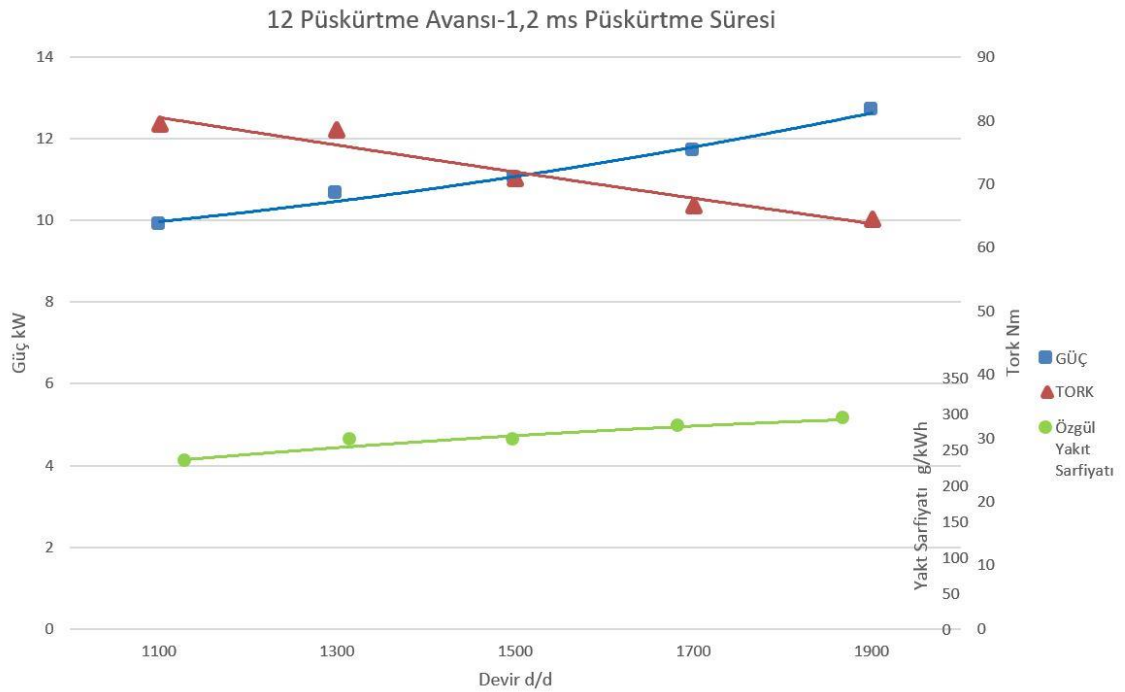
Şekil 5-2 Mekanik motor emisyon grafiği

5.2 Elektronik Motor Testleri

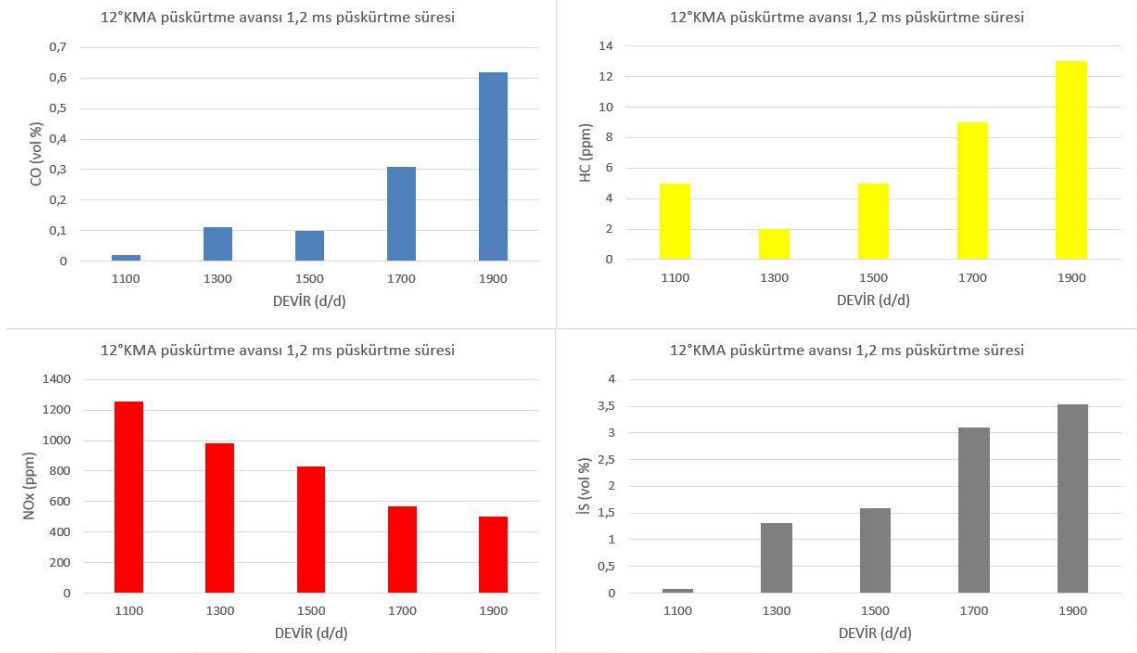
Elektronik motor testleri dinamometrenin sabit hız seçeneği kullanılarak yapılmıştır. Testler 1100 d/d dan başlayarak 2700 d/d ya kadar 200 devir artımla yapılmıştır. Bulunan değerler noktalar ile işaretlenmiş grafik çizgileri ise bu noktaların ortalamasını alacak şekilde çizdirilmiştir. Her püskürtme avansı için ortak olarak tüm püskürtmelerde çıkılabilen en yüksek devir sabit olarak alınarak püskürtme miktarına göre karşılaştırma yapılmıştır. Sabit 1500 devir testlerinde ise püskürtme miktarları da sabit tutulup avansın etkileri karşılaştırılmıştır. Motor için uygun olmayan avanslar ve püskürtme miktarları incelemenin dışında bırakılmıştır.

5.2.1 Püskürtme Avansı 12° KMA

Püskürtme avansı 12° KMA, 1.2 ms püskürtme süresinde maksimum güç 1900 devirde 12.9 kW, maksimum tork ise 1100 devirde 83 Nm olarak ölçülmüştür. Motorun 1900 devir üstünde kararsız olarak çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu avans ve püskürtme süresi için devrin artması ile birlikte CO, HC ve is emisyonlarının arttığı NOx emisyonunun ise azaldığı tespit edilmiştir.

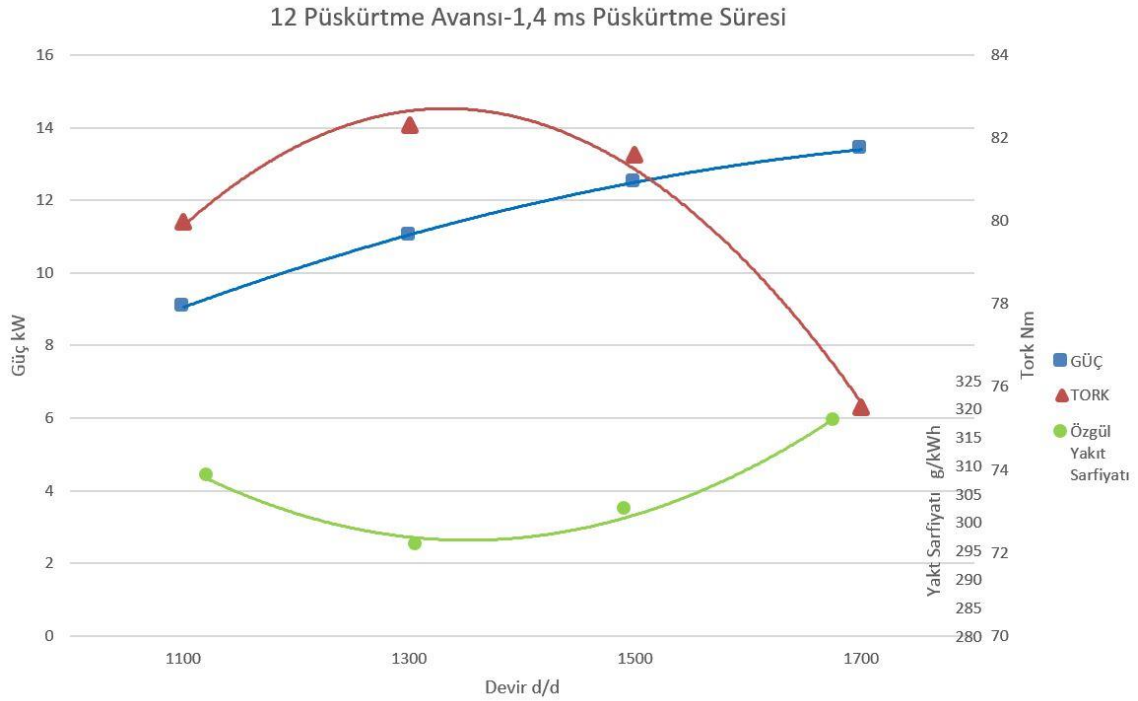


Şekil 5-3 12° KMA Püskürtme avansı-1,2 ms püskürtme süresi için performans grafiği

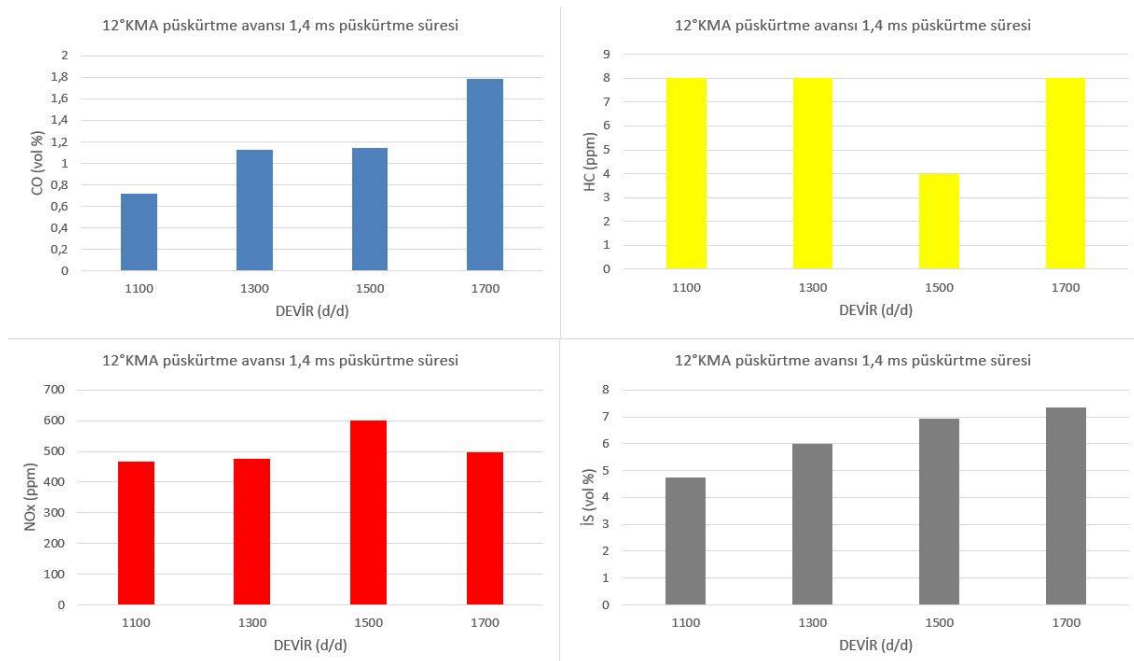


Şekil 5-4 12°KMA Püskürtme avansı-1,2 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği

Püskürtme avansı 12° KMA, 1.4 ms püskürtme süresinde maksimum güç 1700 devirde 13,5 kW, maksimum tork ise 1300 devirde 82 Nm olarak ölçülmüştür. Motorun 1700 devir üstünde kararsız olarak çalıştığı gözlemlenmiştir.

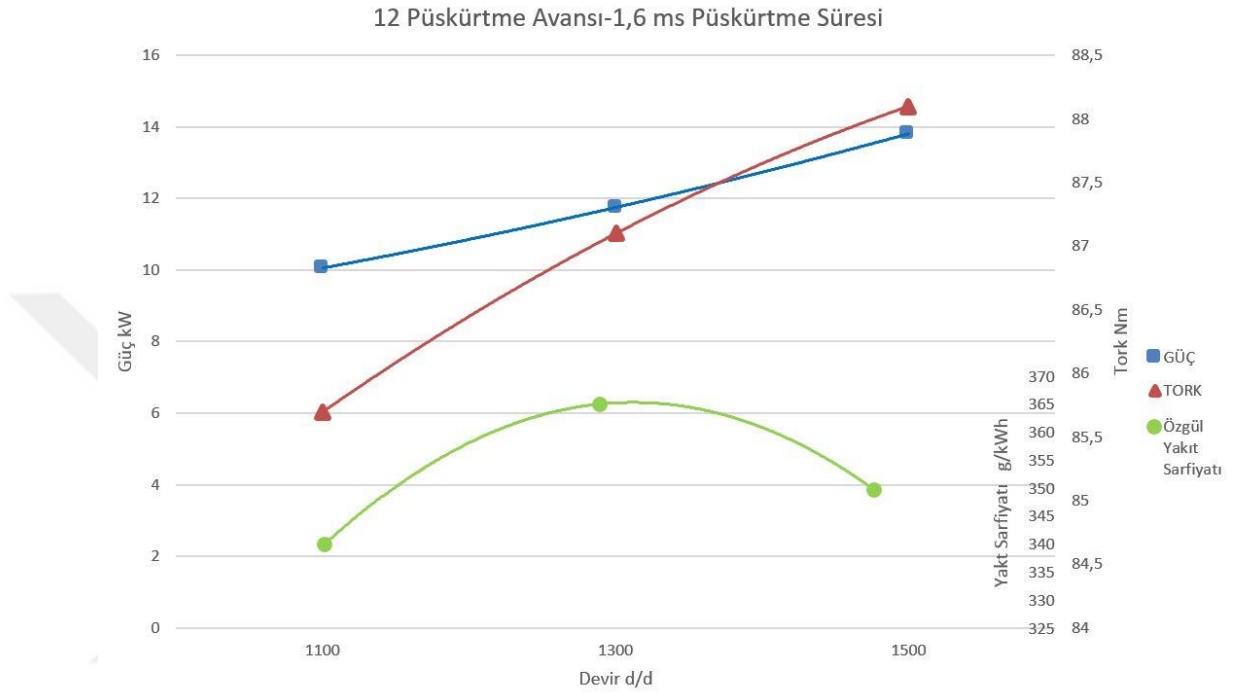


Şekil 5-5 12°KMA Püskürtme avansı-1,4 ms püskürtme süresi için performans grafiği

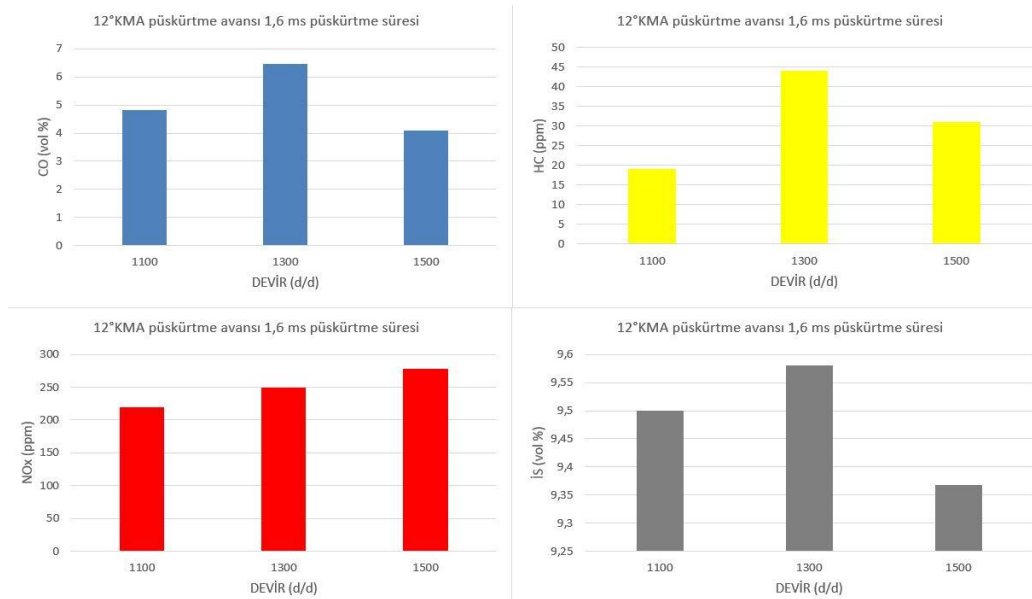


Şekil 5-6 12° KMA Püskürtme avansı-1,4 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği

Püskürtme avansı 12° KMA, 1.6 ms püskürtme süresinde maksimum güç 1500 devirde 13,8 kW, maksimum tork ise yine 1500 devirde 88,1 Nm olarak ölçülmüştür. Motorun 1500 devir üstünde kararsız olarak çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu avans ve püskürtme süresinin genel olarak motor için uygun olmayan bir çalışma noktası olduğu görülmektedir.

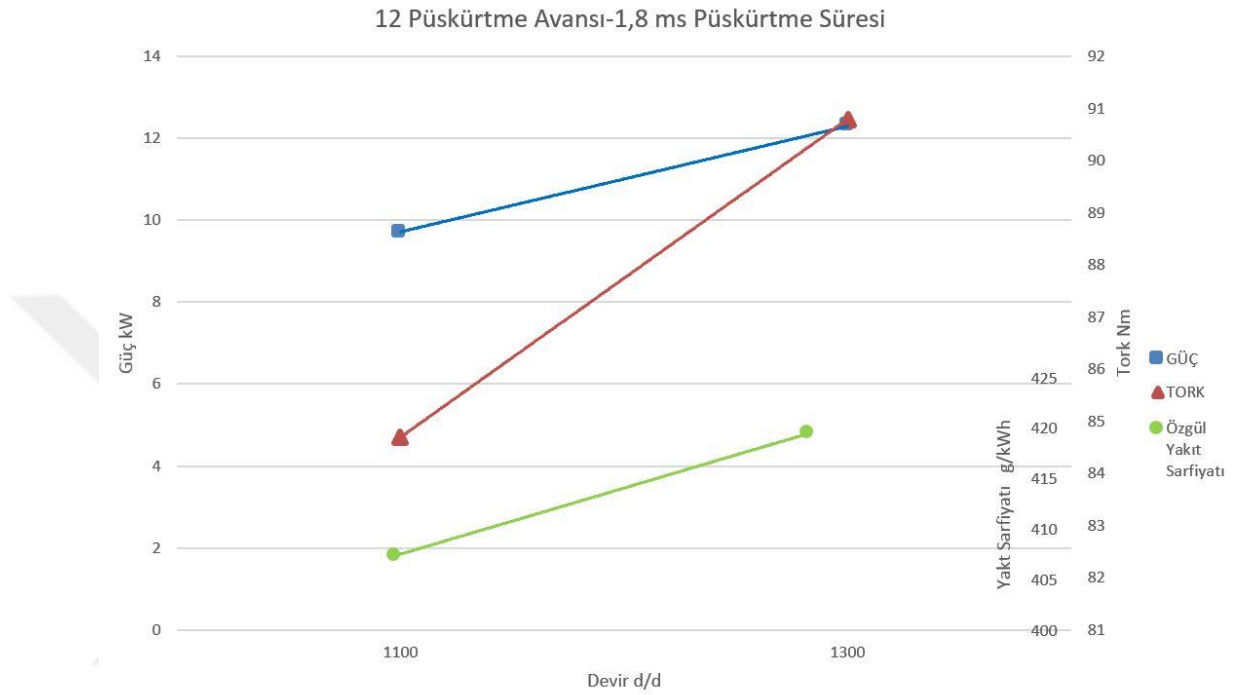


Şekil 5-7 12 °KMA Püskürtme avansı-1,6 ms püskürtme süresi için performans grafiği

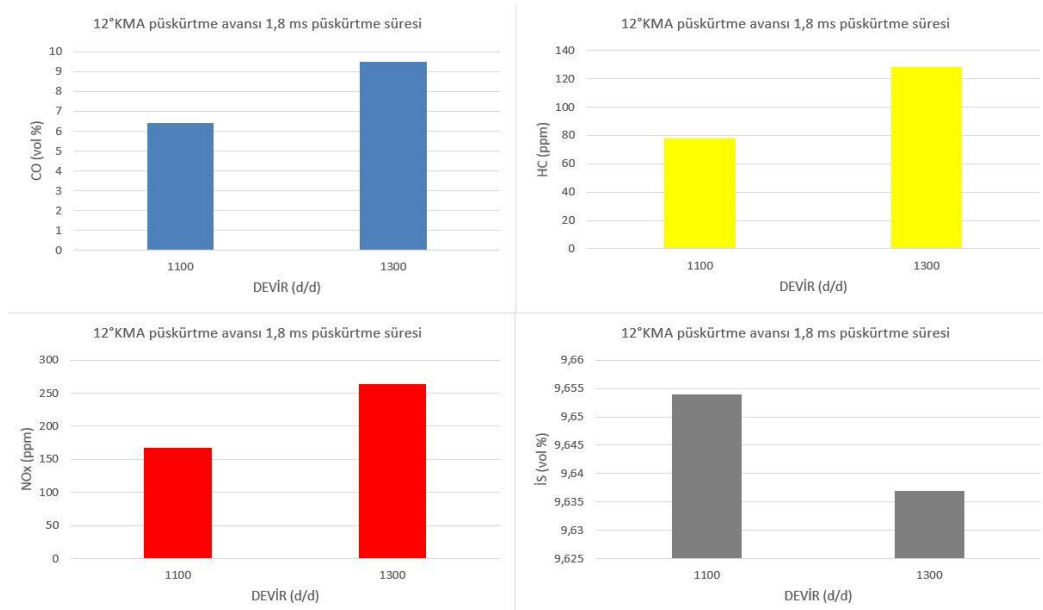


Şekil 5-8 12°KMA Püskürtme avansı-1,6 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği

Püskürtme avansı 12° KMA, 1,8 ms püskürtme süresinde maksimum güç 1300 devirde 12,3 kW, maksimum tork ise yine 1300 devirde 90,5 Nm olarak ölçülmüştür. Motorun 1300 devir üstünde kararsız olarak çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu avans ve püskürtme süresinin genel olarak motor için uygun olmayan bir çalışma noktası olduğu görülmektedir.



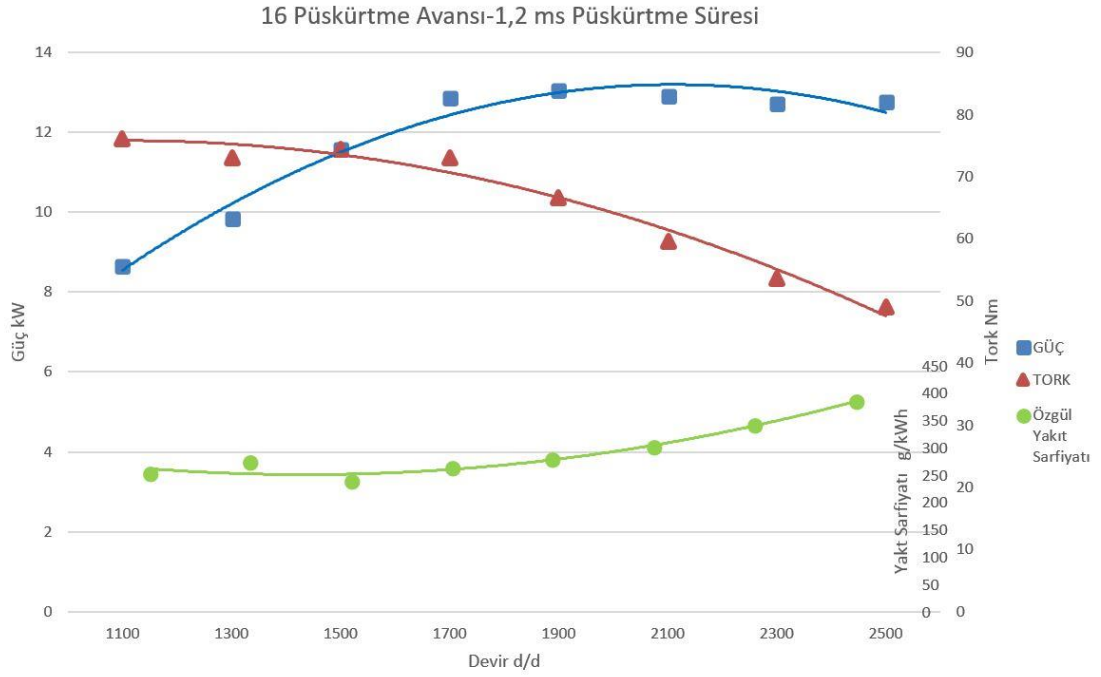
Şekil 5-9 12°KMA Püskürtme avansı-1,8 ms püskürtme süresi için performans grafiği



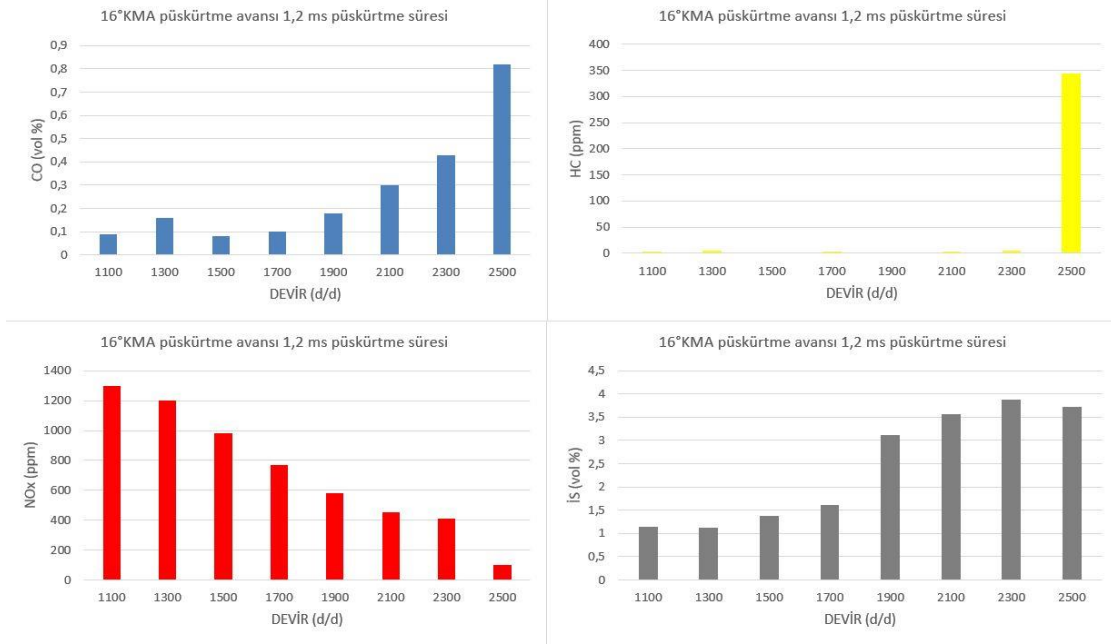
Şekil 5-10 12° Püskürtme avansı-1,8 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği

5.2.2 Püskürtme Avansı 16° KMA

Püskürtme avansı 16° KMA, 1.2 ms püskürtme süresinde maksimum güç 1900 devirde 13 kW, maksimum tork ise 1100 devirde 75 Nm olarak ölçülmüştür. Motorun 2500 devir üstünde kararsız olarak çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu avans ve püskürtme süresi için devrin artması ile birlikte CO, HC ve is emisyonlarının arttığı NOx emisyonunun ise azaldığı tespit edilmiştir.

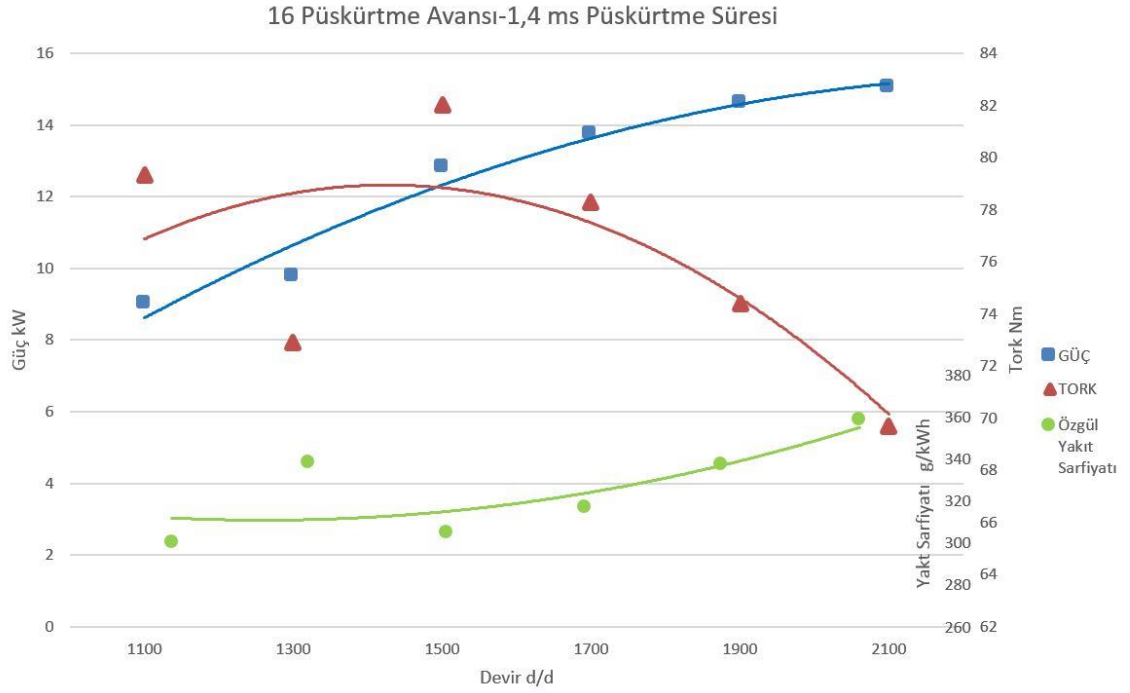


Şekil 5-11 16°KMA Püskürtme avansı-1,2 ms püskürtme süresi için performans grafiği

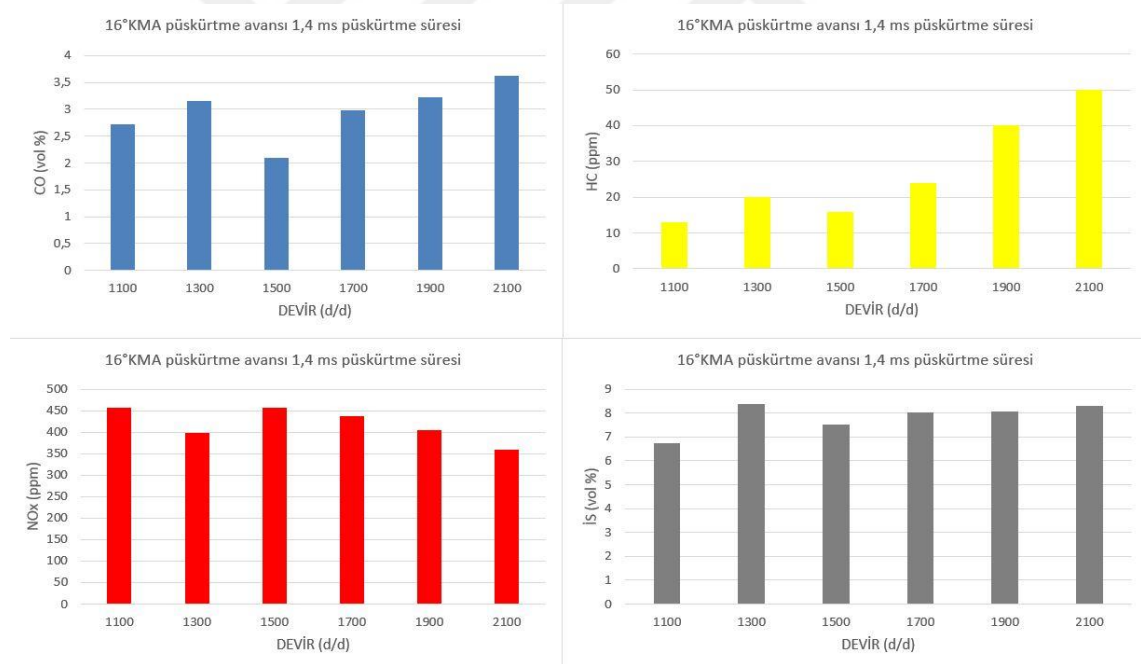


Şekil 5-12 16°KMA Püskürtme avansı-1,2 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği

Püskürtme avansı 16° KMA, 1,4 ms püskürtme süresinde maksimum güç 2100 devirde 15 kW, maksimum tork ise 1500 devirde 82 Nm olarak ölçülmüştür. Motorun 2500 devir üstünde kararsız olarak çalıştığı gözlemlenmiştir. Emisyonların tüm devirlerde birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir.

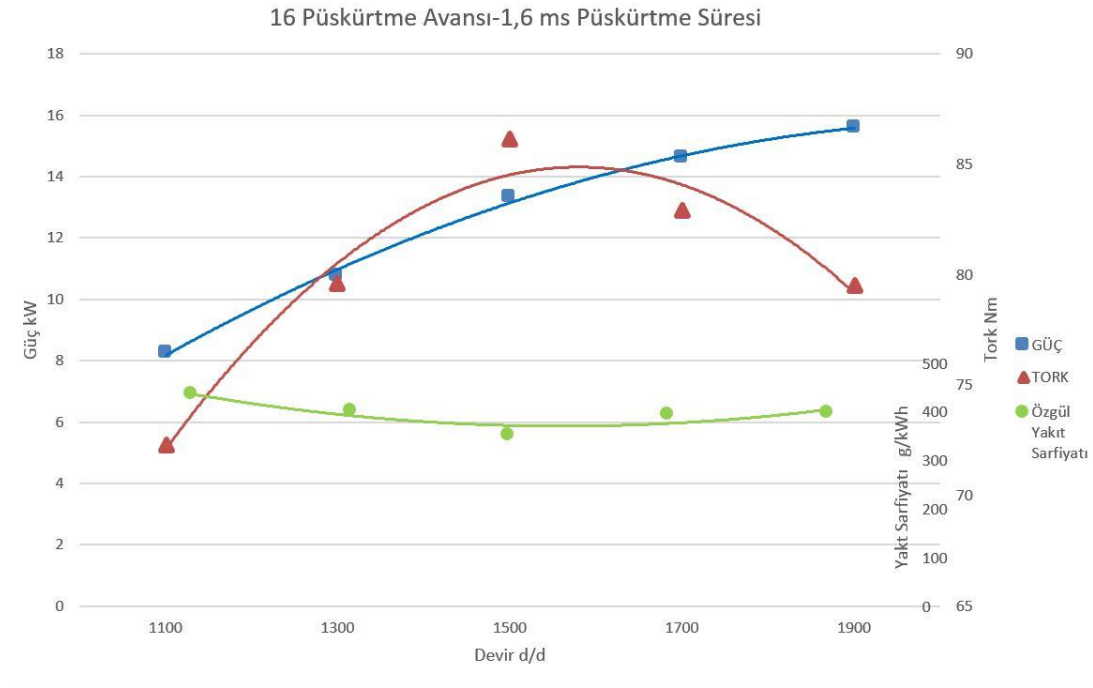


Şekil 5-13 16°KMA Püskürtme avansı-1,4 ms püskürtme süresi için performans grafiği

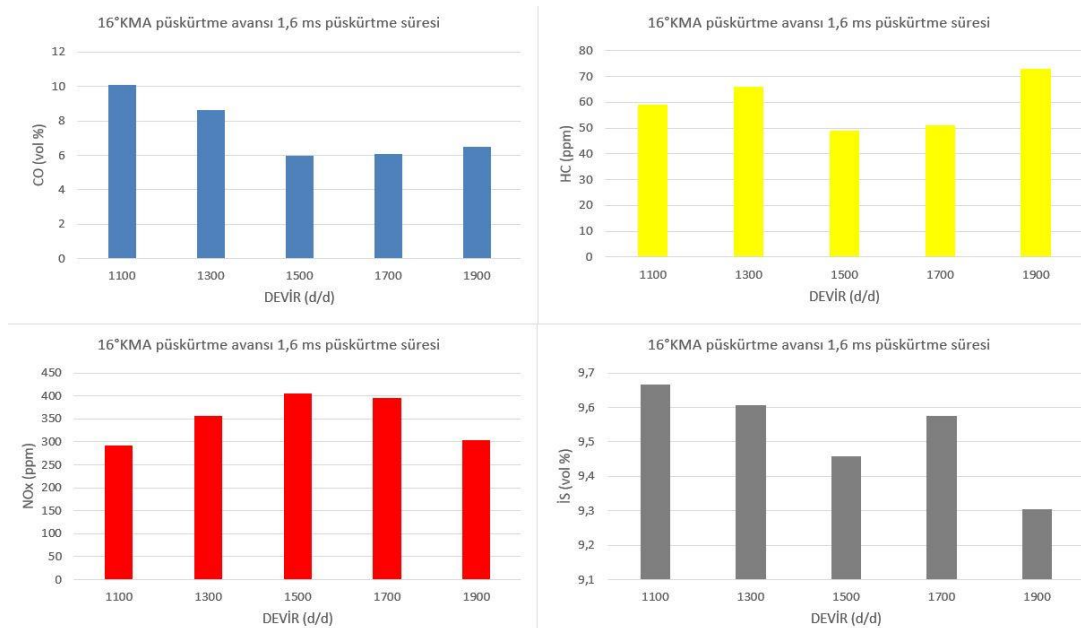


Şekil 5-14 16°KMA Püskürtme avansı-1,4 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği

Püskürtme avansı 16° KMA, 1.6 ms püskürtme süresinde maksimum güç 1900 devirde 15,8 kW, maksimum tork ise 1500 devirde 86 Nm olarak ölçülmüştür. Motorun 1900 devir üstünde kararsız olarak çalıştığı gözlemlenmiştir. Emisyonların tüm devirlerde birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir.

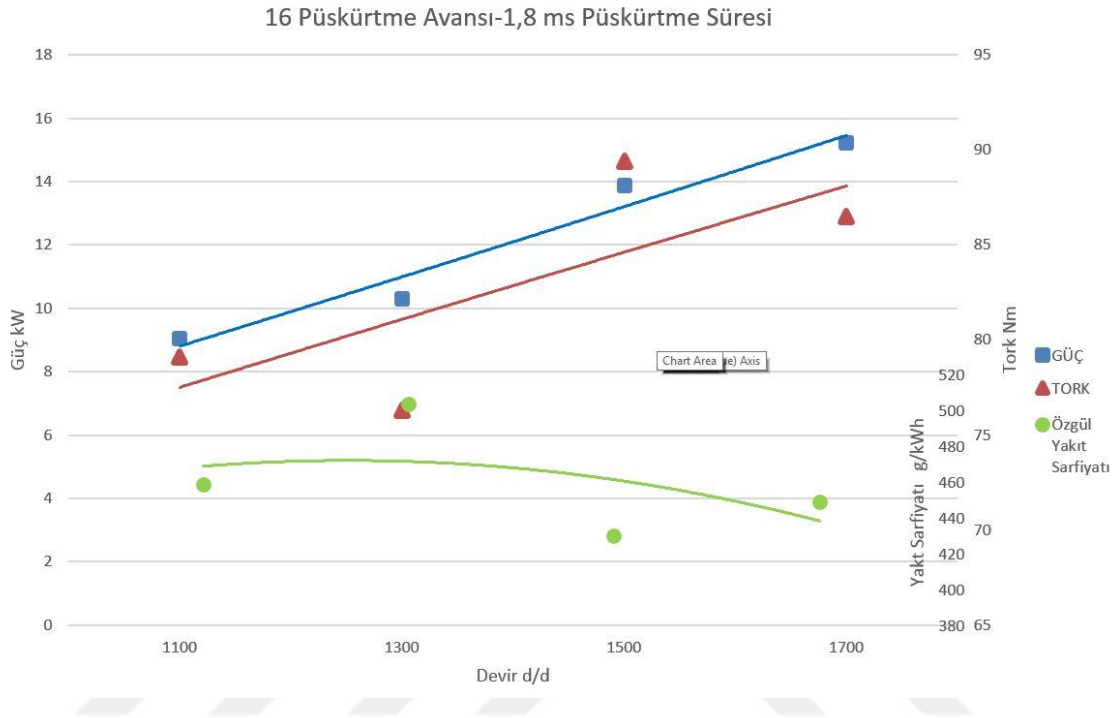


Şekil 5-15 16°KMA Püskürtme avansı-1,6 ms püskürtme süresi için performans grafiği

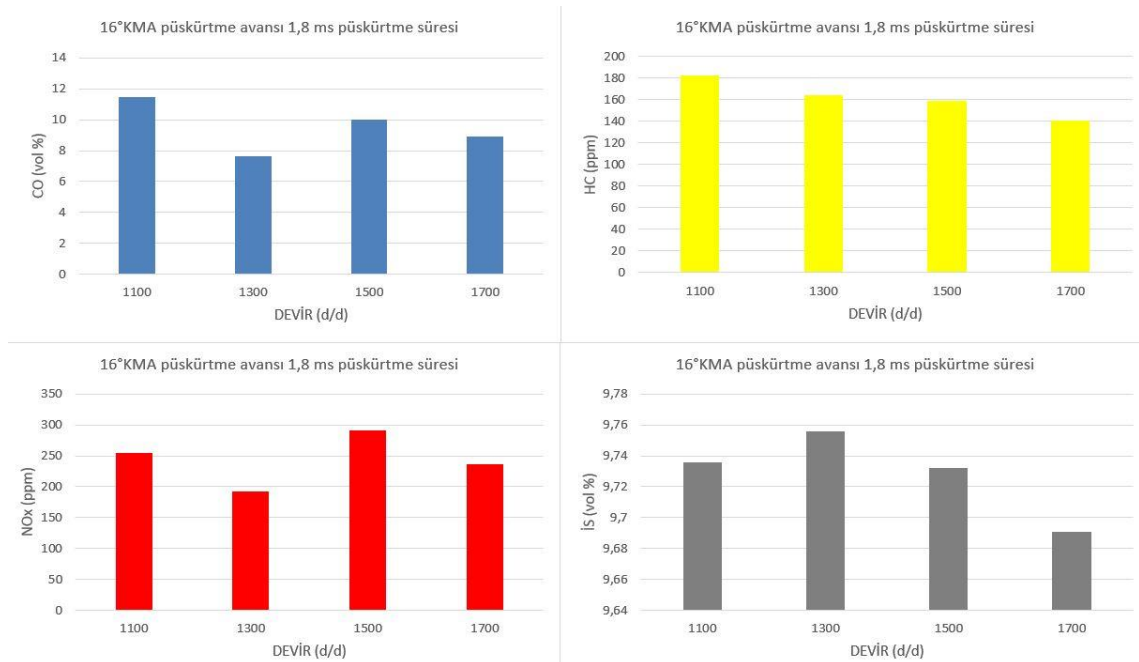


Şekil 5-16 16°KMA Püskürtme avansı-1,6 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği

Püskürtme avansı 16° KMA, 1,8 ms püskürtme süresinde maksimum güç 1700 devirde 15,2 kW, maksimum tork ise 1500 devirde 87 Nm olarak ölçülmüştür. Motorun 1700 devir üstünde kararsız olarak çalıştığı gözlemlenmiştir. Emisyonların tüm devirlerde birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir.



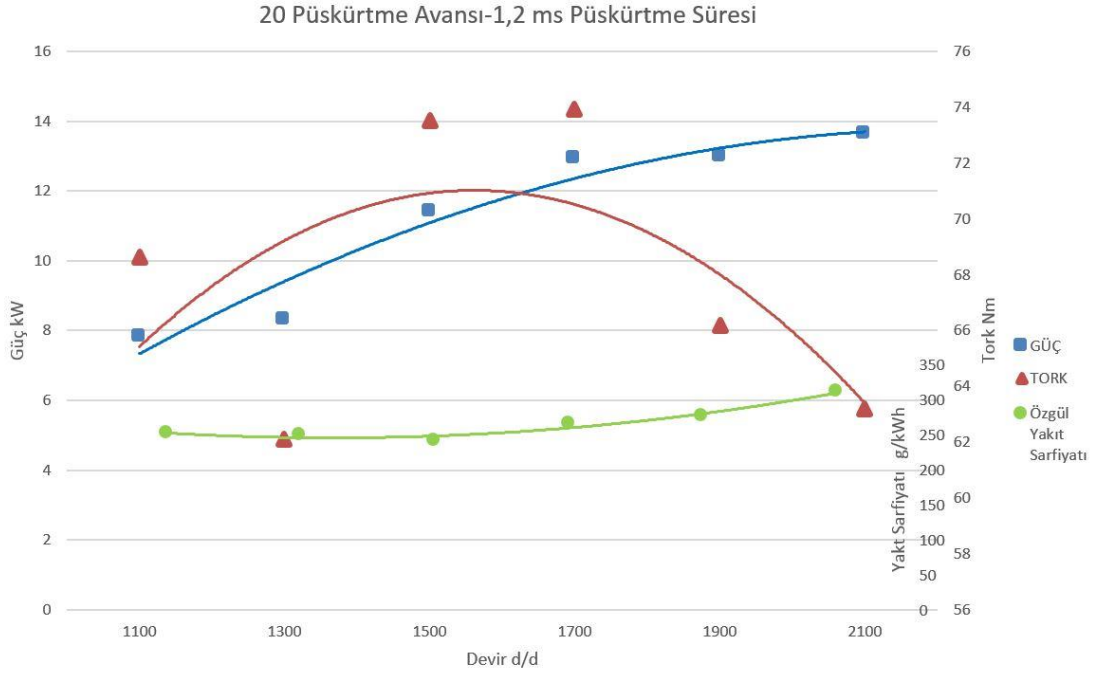
Şekil 5-17 16°KMA Püskürtme avansı-1,8 ms püskürtme süresi için performans grafiği



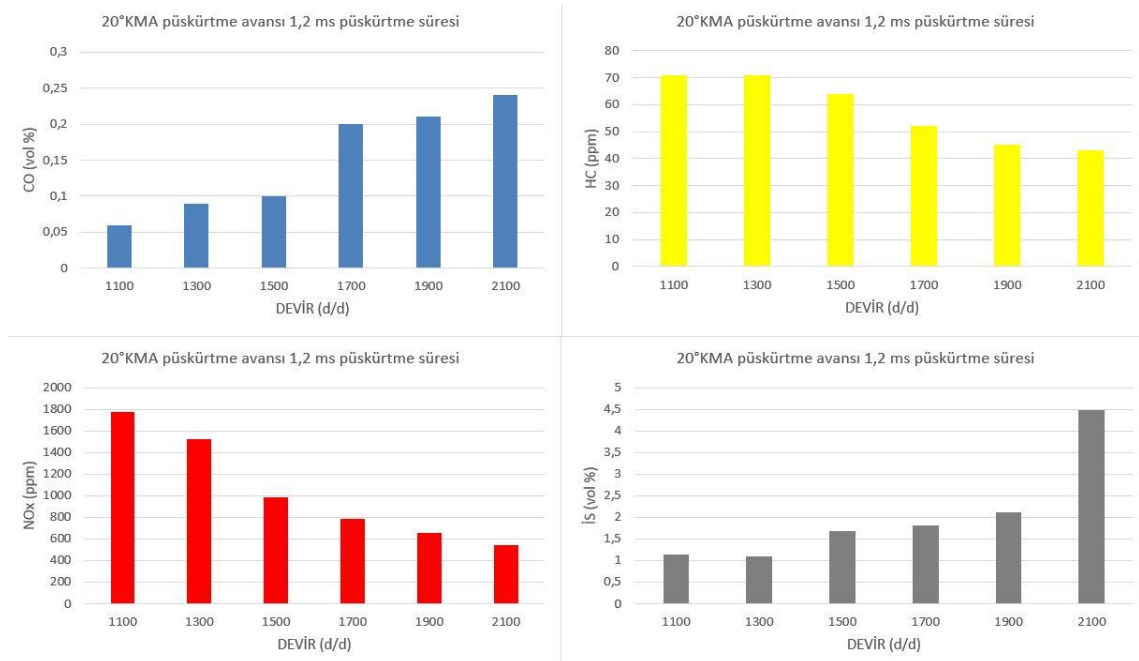
Şekil 5-18 16° KMA Püskürtme avansı-1,8 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği

5.2.3 Püskürtme Avansı 20° KMA

Püskürtme avansı 20° KMA, 1.2 ms püskürtme süresinde maksimum güç 2100 devirde 13,8 kW, maksimum tork ise 1700 devirde 74,3 Nm olarak ölçülmüştür. Motorun 2100 devir üstünde kararsız olarak çalıştığı gözlemlenmiştir. Devir arttıkça CO ve is emisyonlarının arttığı, NOx ve HC emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir.

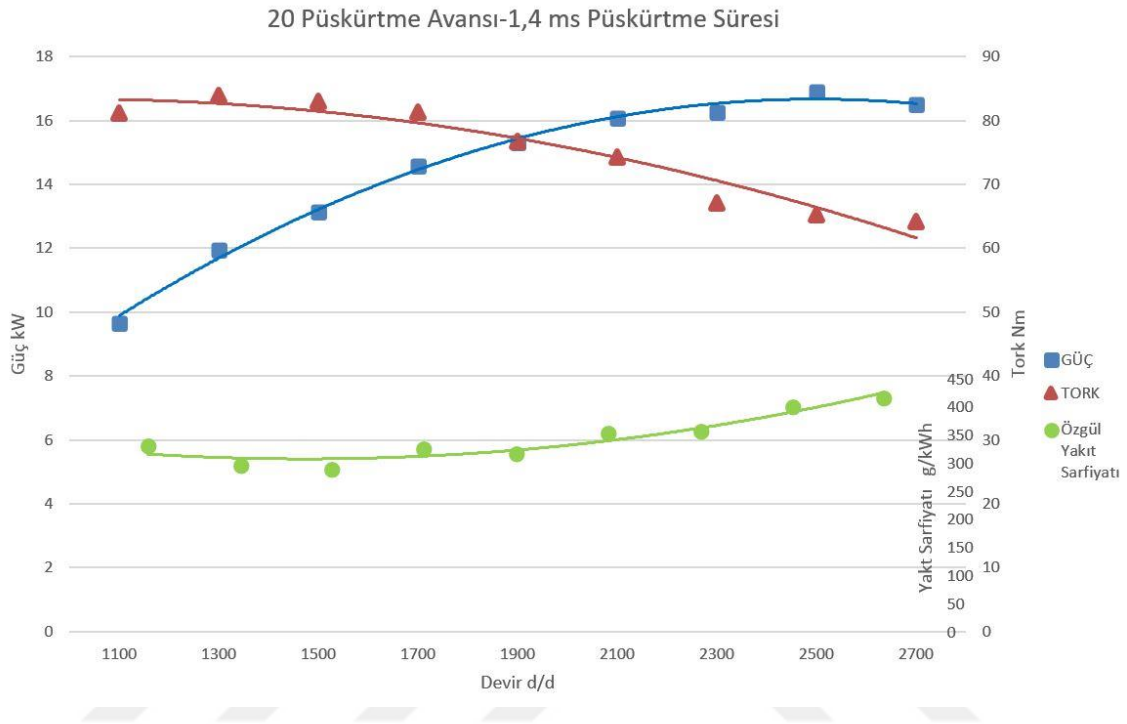


Şekil 5-19 20°KMA Püskürtme avansı-1,2 ms püskürtme süresi için performans grafiği

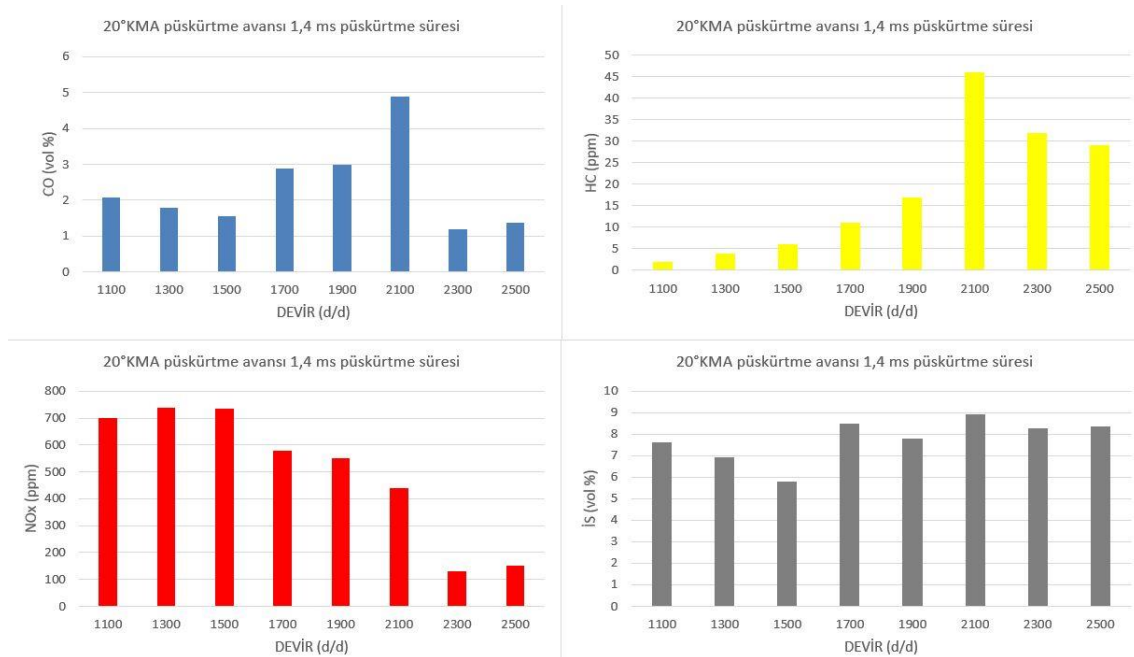


Şekil 5-20 20° KMA Püskürtme avansı-1,2 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği

Püskürtme avansı 20° KMA, 1.4 ms püskürtme süresinde maksimum güç 2500 devirde 17,1 kW, maksimum tork ise 1700 devirde 83 Nm olarak ölçülmüştür. CO, HC ve is emisyonlarının 2100 devirde maksimum olduğu ve NOx emisyonunun devir arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir.

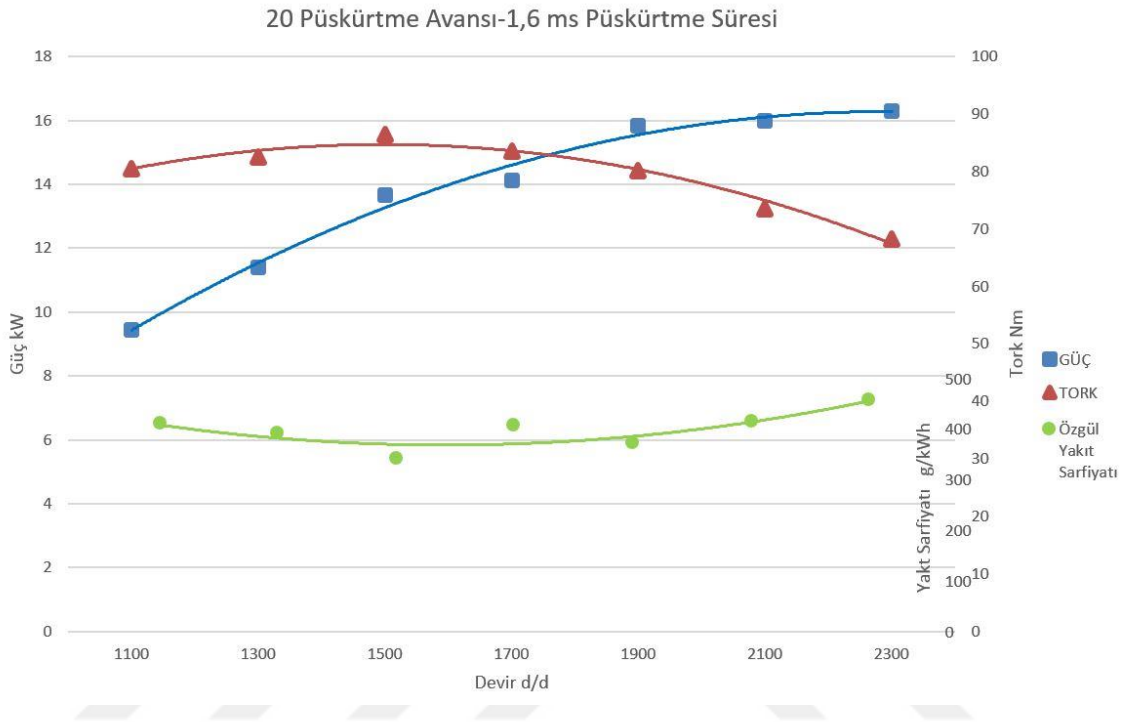


Şekil 5-21 20°KMA Püskürtme avansı-1,4 ms püskürtme süresi için performans grafiği

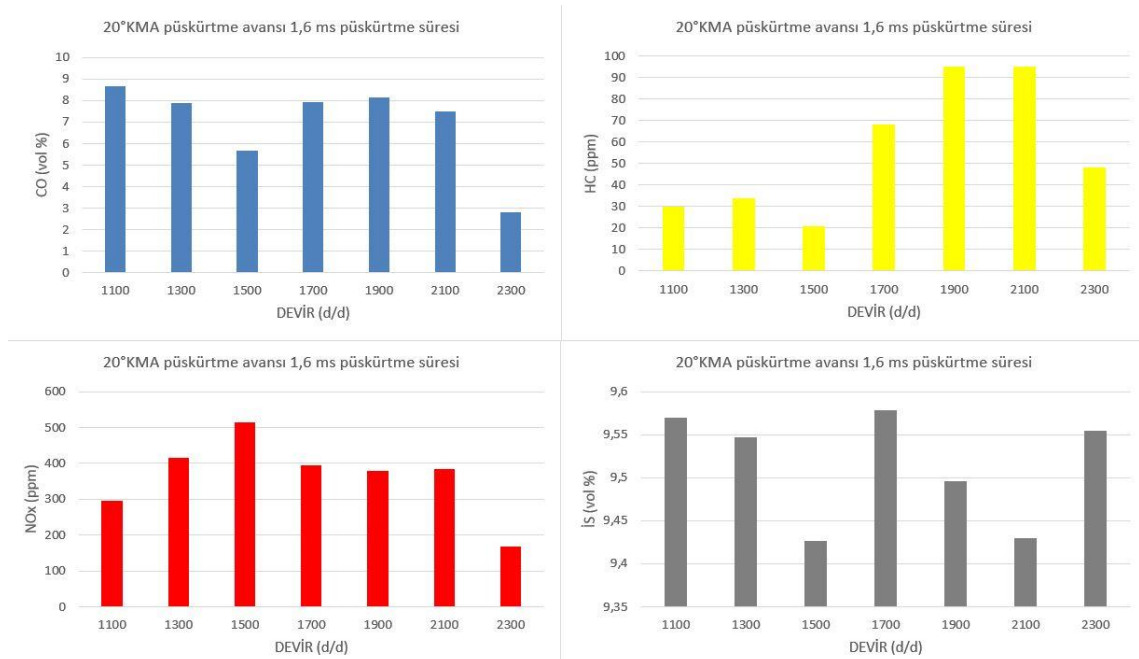


Şekil 5-22 20°KMA Püskürtme avansı-1,4 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği

Püskürtme avansı 20° KMA, 1.6 ms püskürtme süresinde maksimum güç 2300 devirde 16,3 kW, maksimum tork ise 1500 devirde 87 Nm olarak ölçülmüştür. 1500 devirde; CO, HC ve is emisyonlarının minimum olduğu, NOx emisyonunun ise maksimum olduğu tespit edilmiştir.

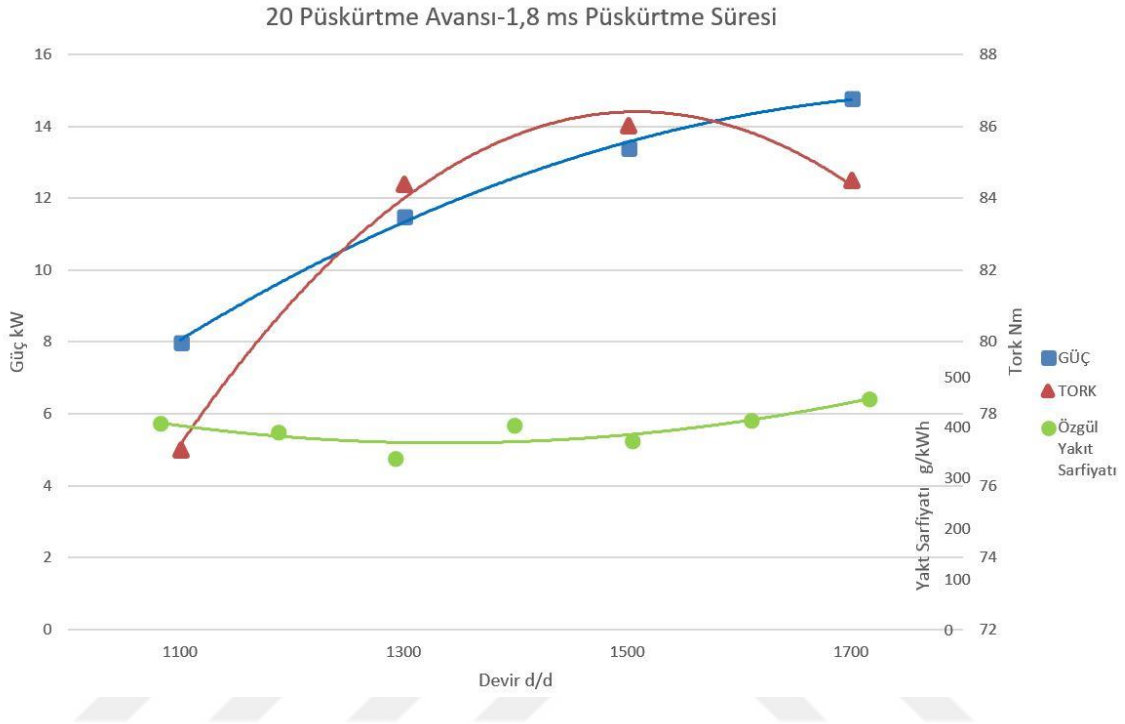


Şekil 5-23 20° KMA Püskürtme avansı-1,6 ms püskürtme süresi için performans grafiği

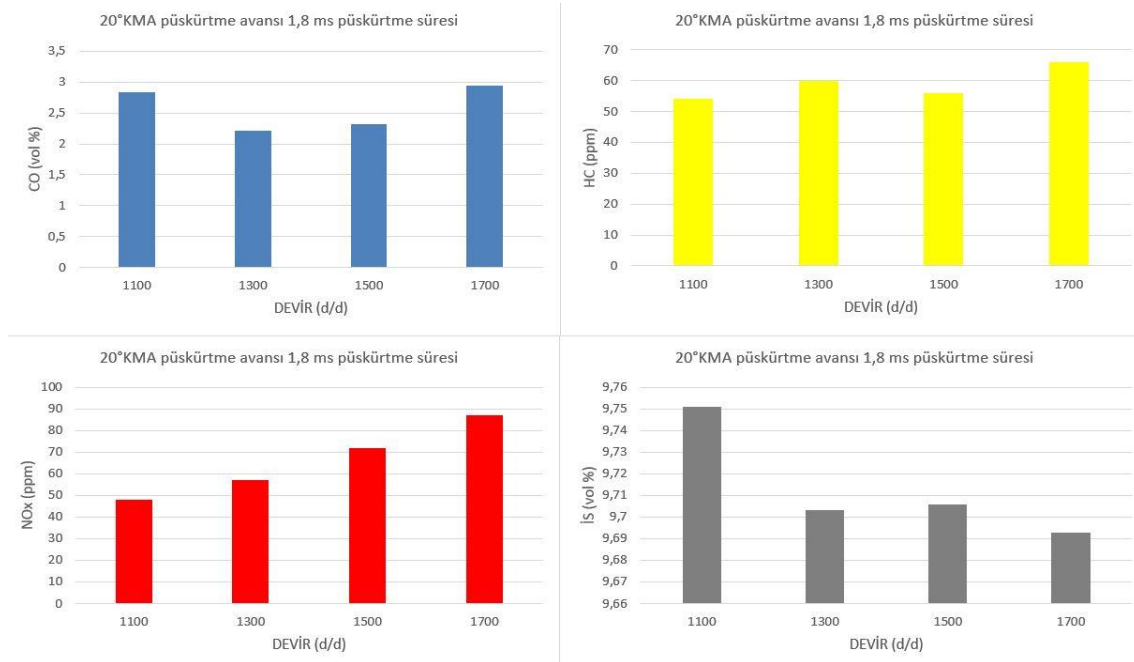


Şekil 5-24 20° KMA Püskürtme avansı-1,6 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği

Püskürtme avansı 20° KMA, 1.6 ms püskürtme süresinde maksimum güç 2300 devirde 16,3 kW, maksimum tork ise 1500 devirde 87 Nm olarak ölçülmüştür. 1500 devirde; CO, HC ve is emisyonlarının minimum olduğu, NOx emisyonunun ise maksimum olduğu tespit edilmiştir.



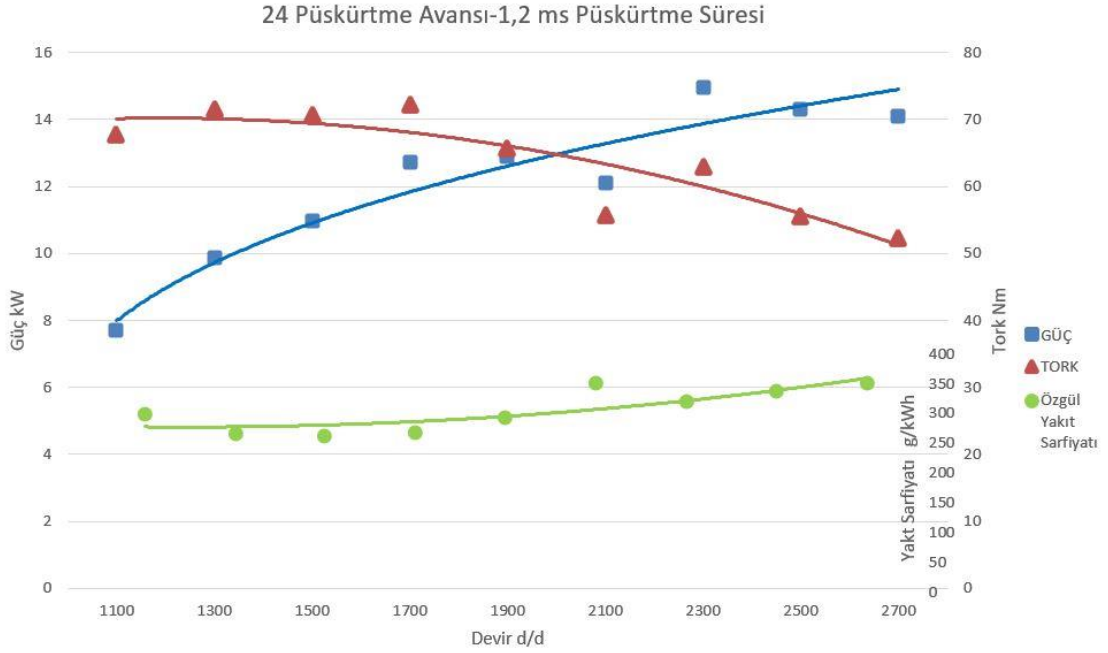
Şekil 5-25 20° KMA Püskürtme avansı-1,8 ms püskürtme süresi için performans grafiği



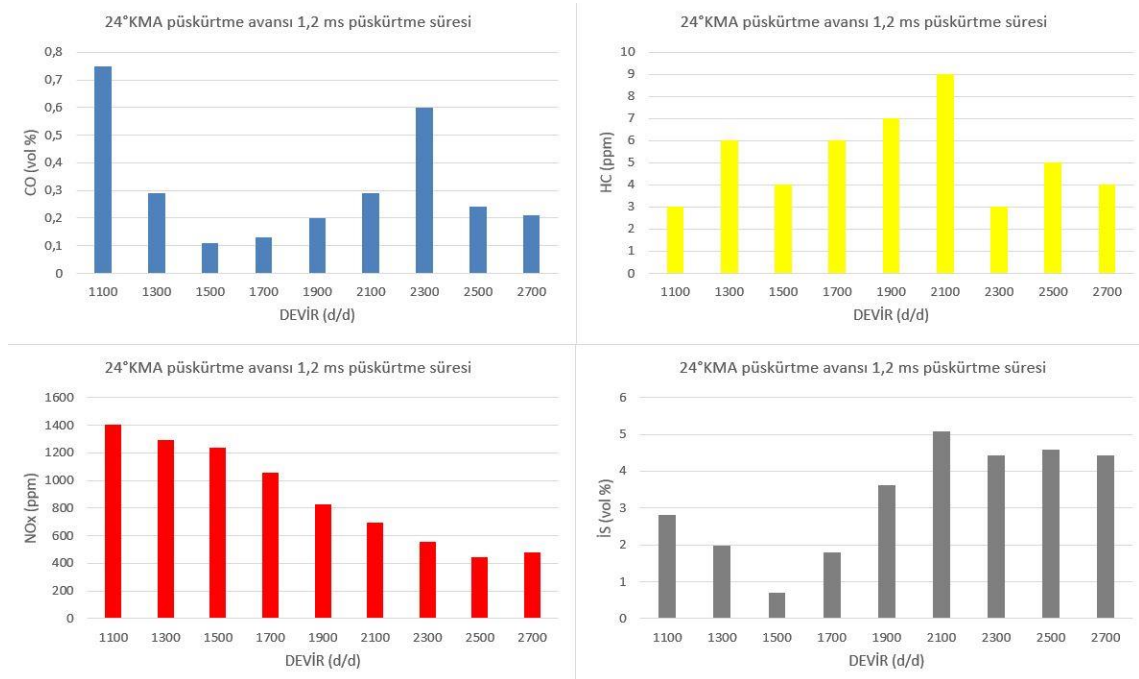
Şekil 5-26 20° KMA Püskürtme avansı-1,8 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği

5.2.4 Püskürtme Avansı 24° KMA

Püskürtme avansı 24° KMA, 1.2 ms püskürtme süresinde maksimum güç 2300 devirde 15,1 kW, maksimum tork ise 1700 devirde 73 Nm olarak ölçülmüştür. NOx emisyonunun devirle birlikte giderek azaldığı, CO, HC ve is emisyonlarının 1500 devire kadar azaldığı sonra 2100 devire doğru tekrar arttığı gözlemlenmiştir.

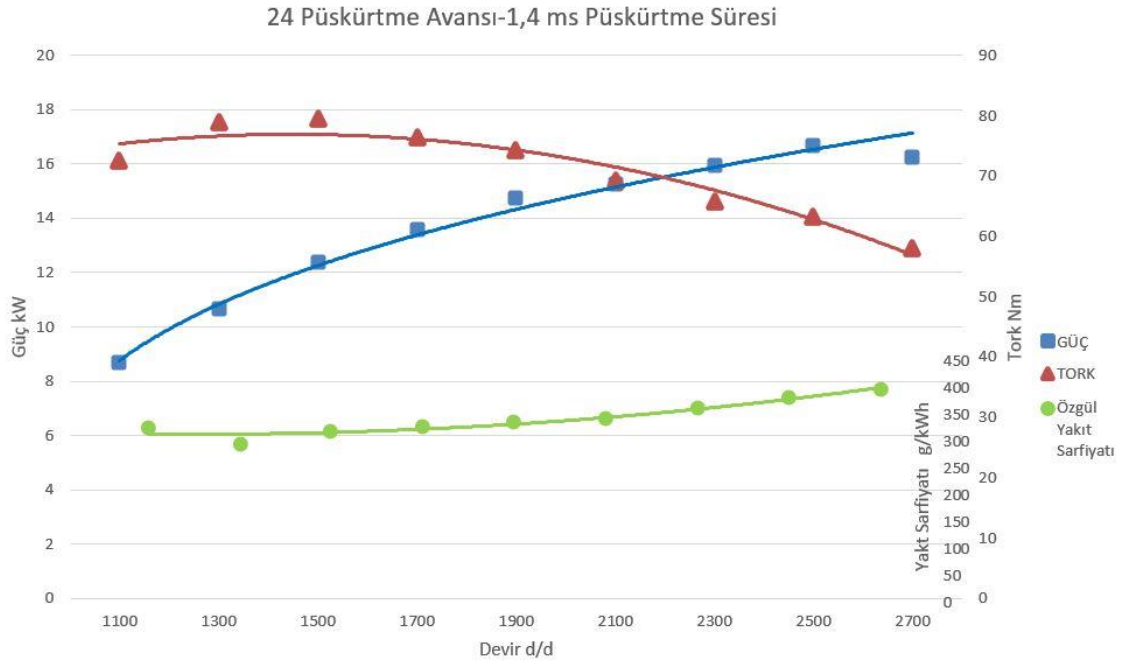


Şekil 5-27 24° KMA Püskürtme avansı-1,2 ms püskürtme süresi için performans grafiği

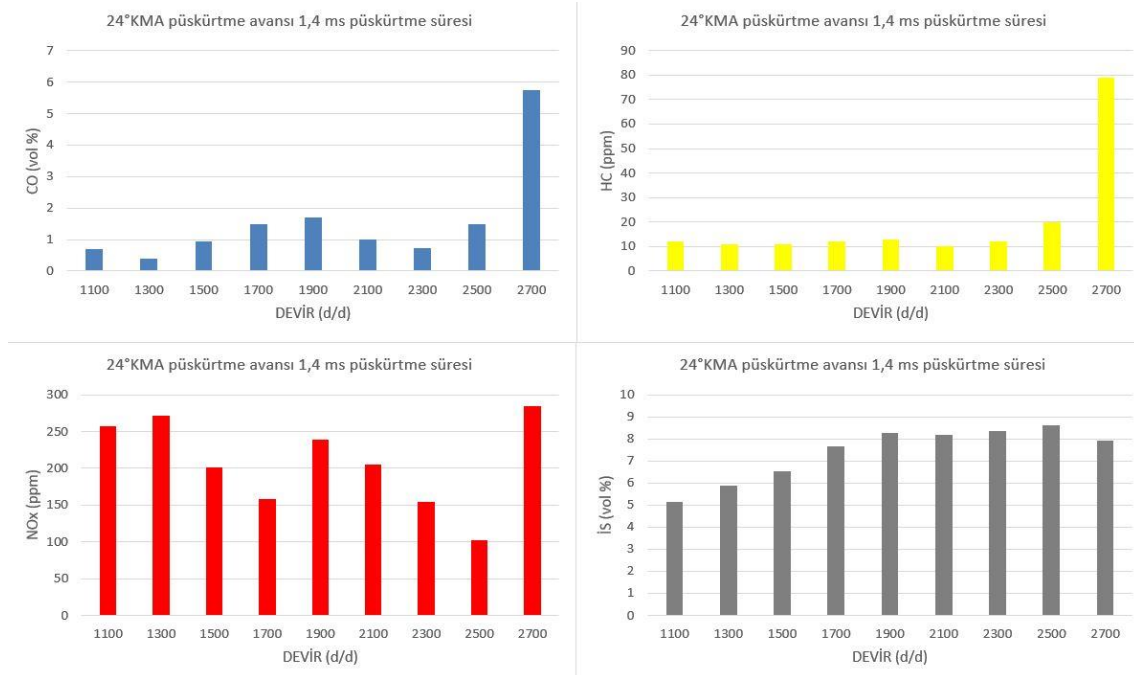


Şekil 5-28 24° KMA Püskürtme avansı-1,2 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği

Püskürtme avansı 24° KMA, 1.4 ms püskürtme süresinde maksimum güç 2500 devirde 16,6 kW, maksimum tork ise 1500 devirde 77 Nm olarak ölçülmüştür. Bu çalışma şartlarında emisyon değerlerinin diğer testlere oranla daha düşük seviyelerde olduğu görülmüştür.

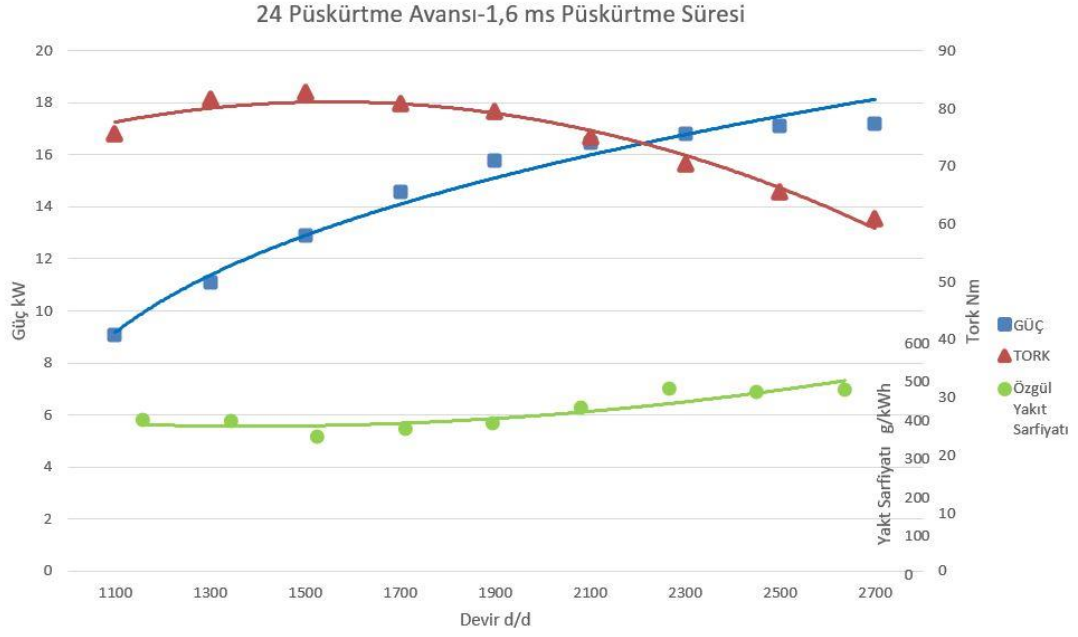


Şekil 5-29 24°KMA Püskürtme avansı-1,4 ms püskürtme süresi için performans grafiği

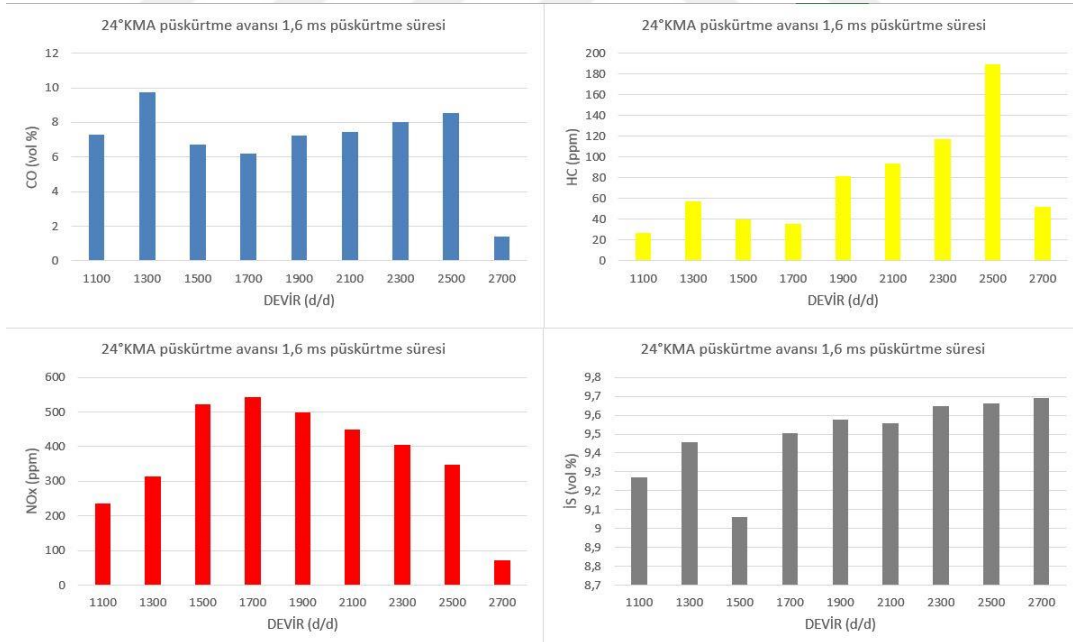


Şekil 5-30 24° KMA Püskürtme avansı-1,4 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği

Püskürtme avansı 24° KMA, 1.6 ms püskürtme süresinde maksimum güç 2700 devirde 17.3 kW, maksimum tork ise 1500 devirde 83 Nm olarak ölçülmüştür.



Şekil 5-31 24°KMA Püskürtme avansı-1,6 ms püskürtme süresi için performans grafiği

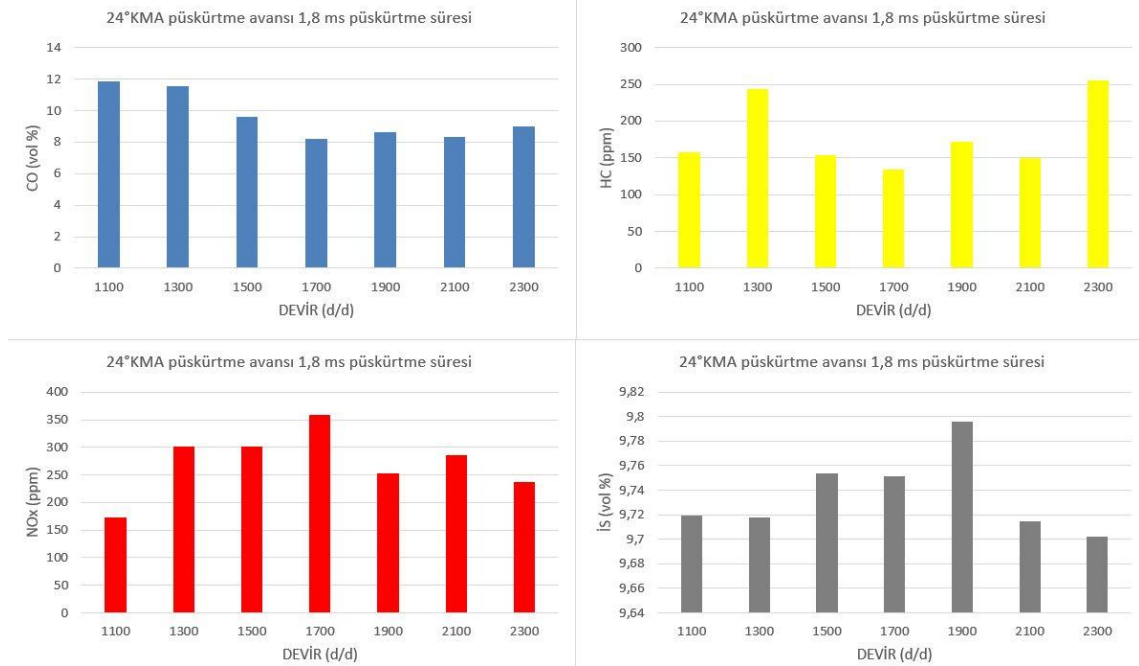


Şekil 5-32 24°KMA Püskürtme avansı-1,6 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği

Püskürtme avansı 24° KMA, 1.8 ms püskürtme süresinde maksimum güç 2100 devirde 17,3 kW, maksimum tork ise 1500 devirde 83 Nm olarak ölçülmüştür.



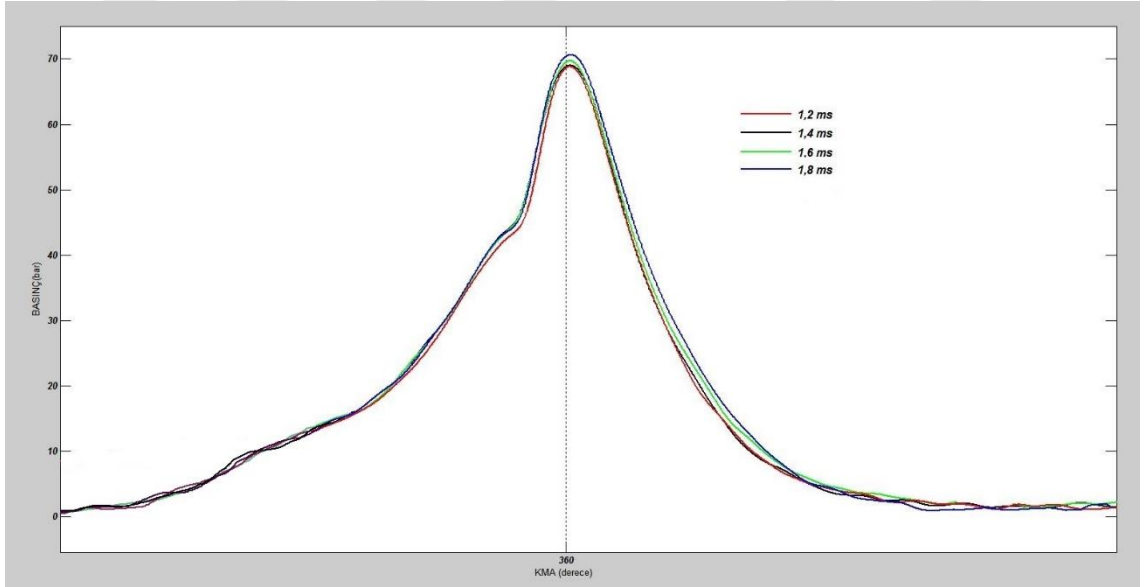
Şekil 5-33 24°KMA Püskürtme avansı-1,8 ms püskürtme süresi için performans grafiği



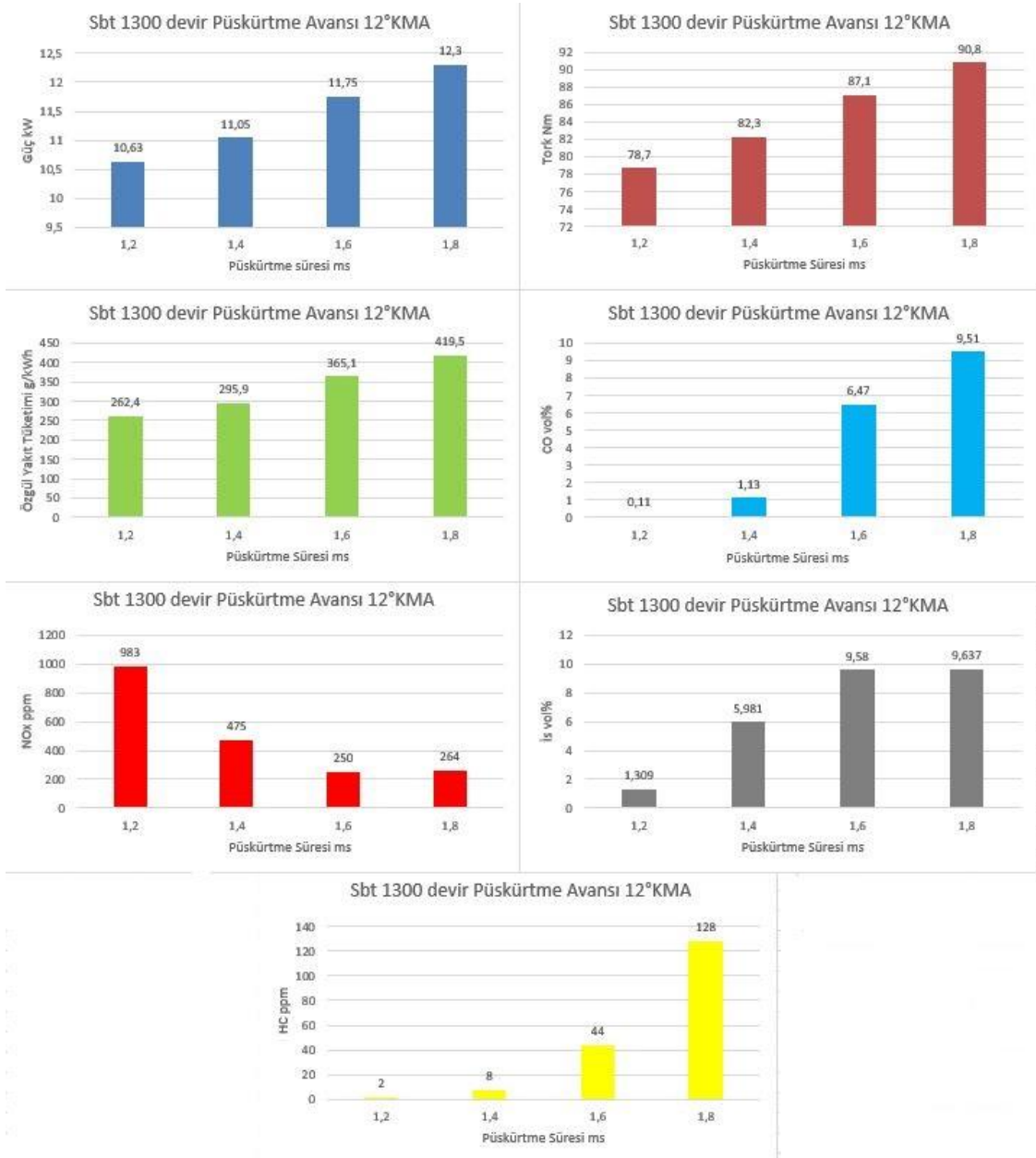
Şekil 5-34 24°KMA Püskürtme avansı-1,8 ms püskürtme süresi için emisyon grafiği

5.2.5 Ortak Olarak Çıkılabilen En Yüksek Devre Göre Püskürtme Süresi Karşılaştırması

Ortak olarak tüm püskürtme avanslarında çıkılabilen en yüksek devre göre, püskürtme süresi karşılaştırılması yapılmıştır. 12° KMA için 1.8 ms püskürtme süresinde çıkılabilen en yüksek devir 1300 d/d olarak tespit edilmiştir. Bundan daha yüksek devirlerde motorun düzgün çalışma şartlarından çıktığı, aşırı vuruntulu çalışma eğilimi gösterdiği ve devir sabitlenmesi olmadığı gözlemlenmiştir. 12° KMA açısı için güç, tork ve özgül yakıt tüketiminin püskürtme süresiyle birlikte arttığı tespit edilmiştir. Püskürtülen yakıtın miktarı püskürtme süresiyle doğru orantılı olduğu için; süre arttıkça silindir içine püskürtülen yakıtta artmaktadır. CO, HC ve is miktarları yakıt miktarı ile birlikte artarken, NOx miktarının düştüğü ölçülmüştür. Burada emisyon açısından bakıldığında; 12° KMA için 1,4ms püskürtmeden fazla süre püskürtmenin yapılmaması gerektiği açık olarak görülmektedir. Silindir içi basınçlara baktığımızda; maksimum yanma basınçlarının 70 bar civarı olduğu ve ÜÖN' dan sonra 5 derecede pik yaptığı tespit edilmiştir. Püskürtme süresi arttıkça maksimum yanma basıncının da arttığı gözlemlenmiştir.

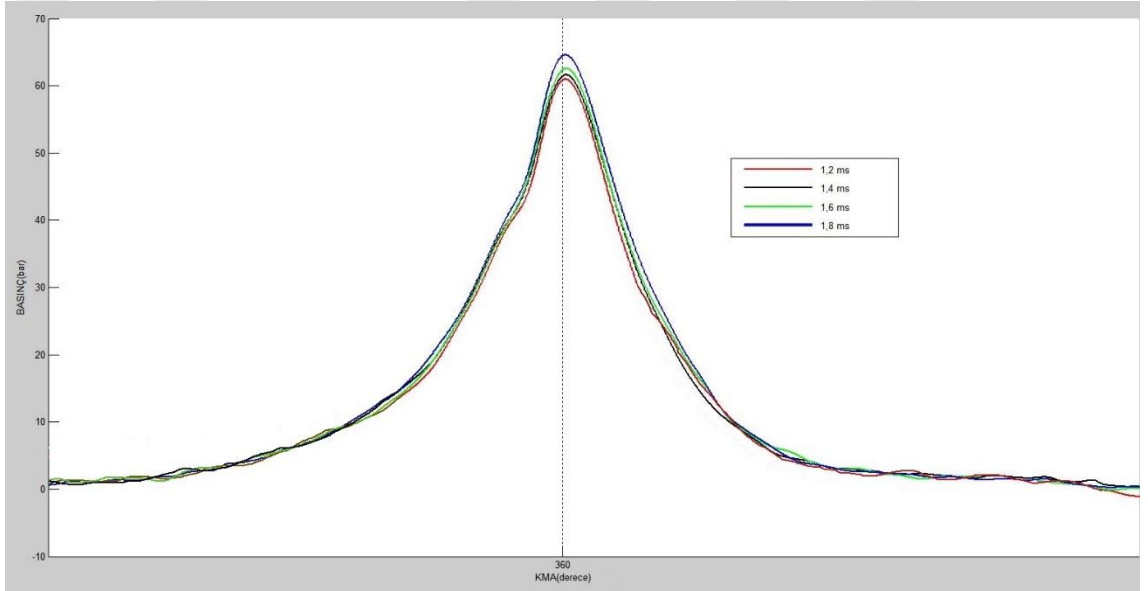


Şekil 5-35 1300 devir 12°KMA püskürtme avansına göre püskürtme süresi silindir içi basınç karşılaştırması

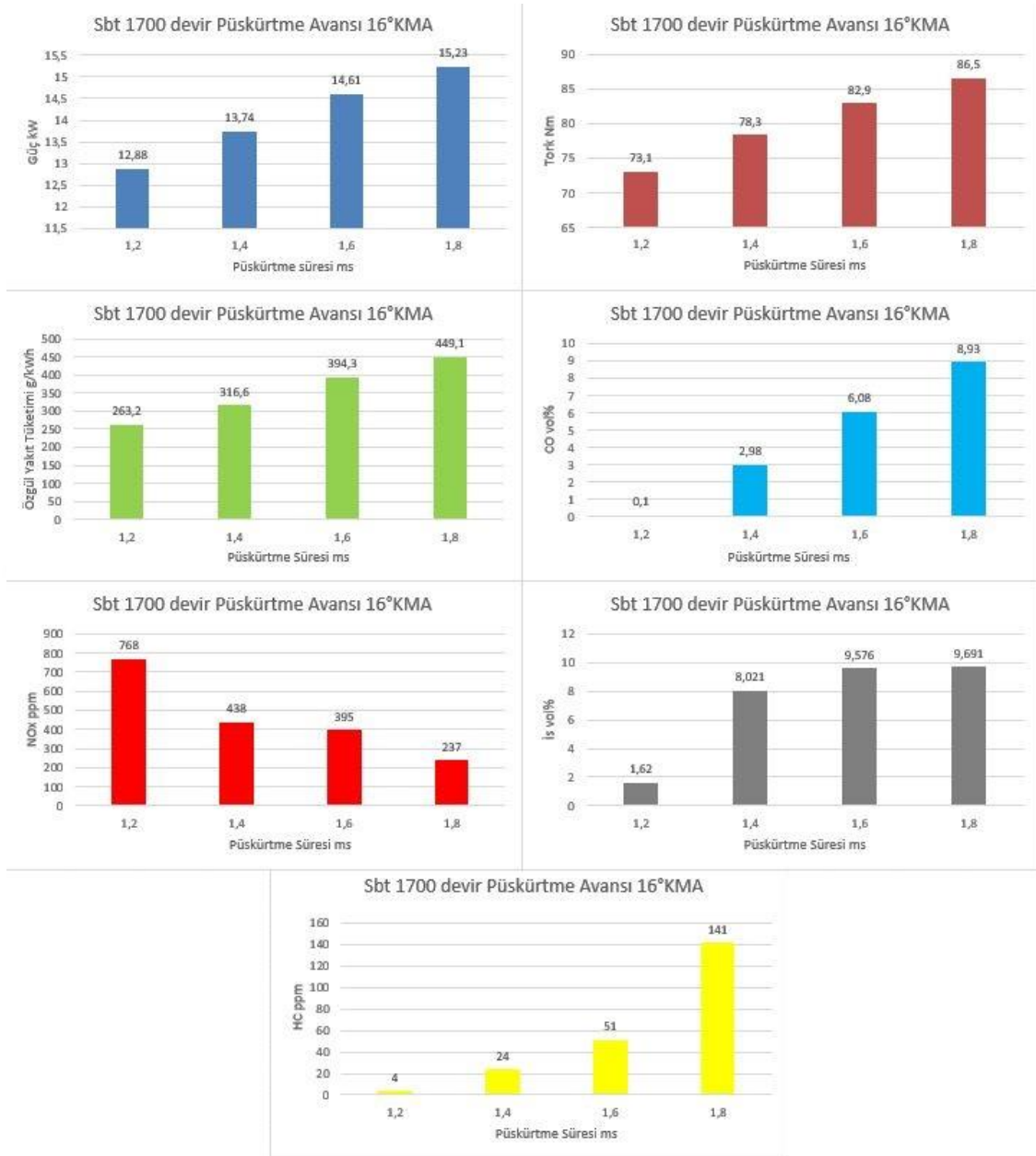


Şekil 5-36 1300 devir 12°KMA püskürtme avansına göre püskürtme süresi karşılaştırması

16° KMA avans için 1700 d/d ortak olarak maksimum çalışma devridir. 16° KMA açısı için güç, tork ve özgül yakıt tüketiminin püskürtme süresiyle birlikte arttığı tespit edilmiştir. CO, HC ve is miktarları yakıt miktarı ile birlikte artarken, NOx miktarının düştüğü ölçülmüştür. Burada emisyon değerleri açısından bakıldığında; 16° KMA için 1,4ms püskürtmeden fazla süre püskürtmenin yapılmaması gerektiği açık olarak görülmektedir. Silindir içi basınçlara baktığımızda; maksimum yanma basınçlarının 60-65 bar civarı olduğu ve ÜÖN' dan sonra 4 derecede pik yaptığı tespit edilmiştir. Püskürtme süresi arttıkça maksimum yanma basıncının da arttığı gözlemlenmiştir. 1,8 ms püskürtmede 1,2 ms püskürtmeye oranla yaklaşık 5 barlık bir artış kaydedilmiştir.

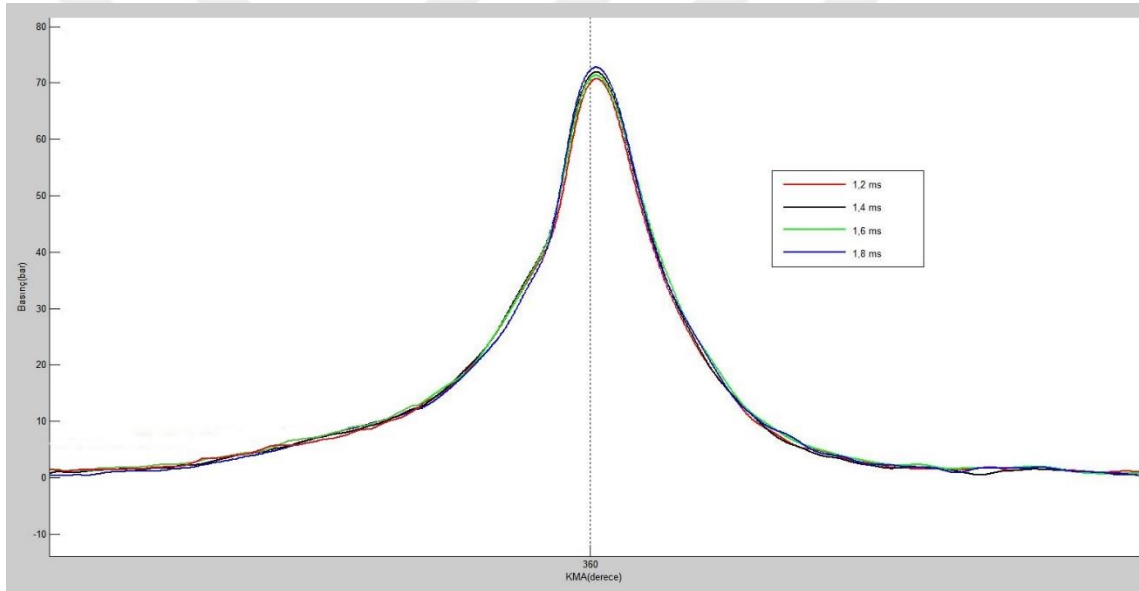


Şekil 5-37 1700 devir 16° KMA püskürtme avansına göre püskürtme süresi silindir içi basınç karşılaştırması

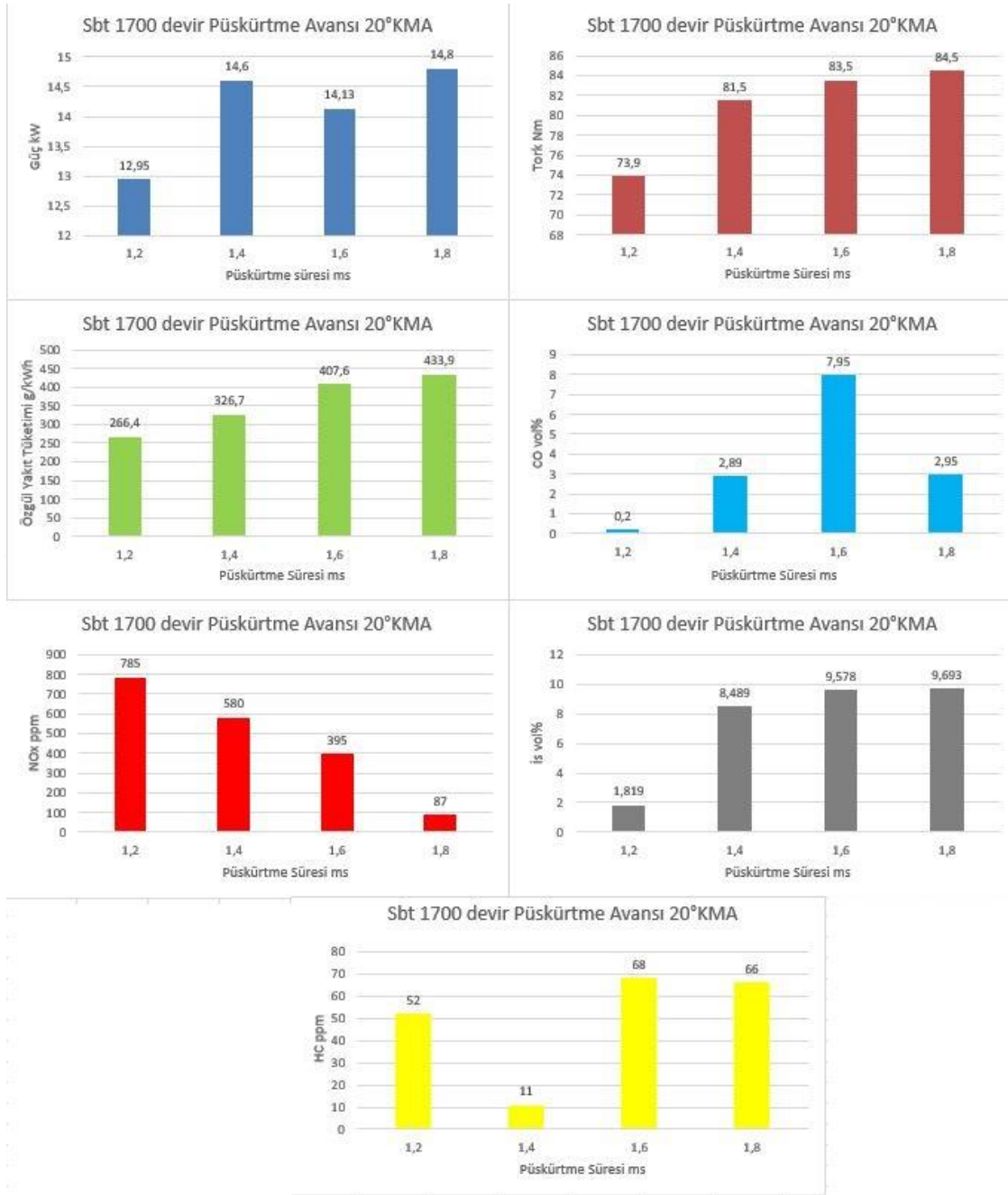


Şekil 5-38 1700 devir 16°KMA püskürtme avansına göre püskürtme süresi karşılaştırması

20° KMA avans için 1700 d/d ortak olarak maksimum çalışma devridir. 20° KMA açısı için güç, tork ve özgül yakıt tüketiminin püskürtme süresiyle birlikte arttığı tespit edilmiştir. CO, HC ve is miktarları yakıt miktarı ile birlikte artarken, NOx miktarının düştüğü ölçülmüştür. Burada emisyon değerleri açısından bakıldığında; 20° KMA için 1,4ms püskürtmeden fazla süre püskürtmenin yapılmaması gerektiği açık olarak görülmektedir. Silindir içi basınçlara baktığımızda; maksimum yanma basınçlarının 70-74 bar civarı olduğu ve ÜÖN' dan sonra 3 derecede pik yaptığı tespit edilmiştir. Püskürtme süresi arttıkça maksimum yanma basıncının da arttığı gözlemlenmesine rağmen 1,4 ms püskürtmede basıncın 1,6'ya göre 1,5 bar daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Güç grafiğine bakıldığında da bu farkın 0,5 kW' lık bir değişime sebep olduğu ölçülmüştür.

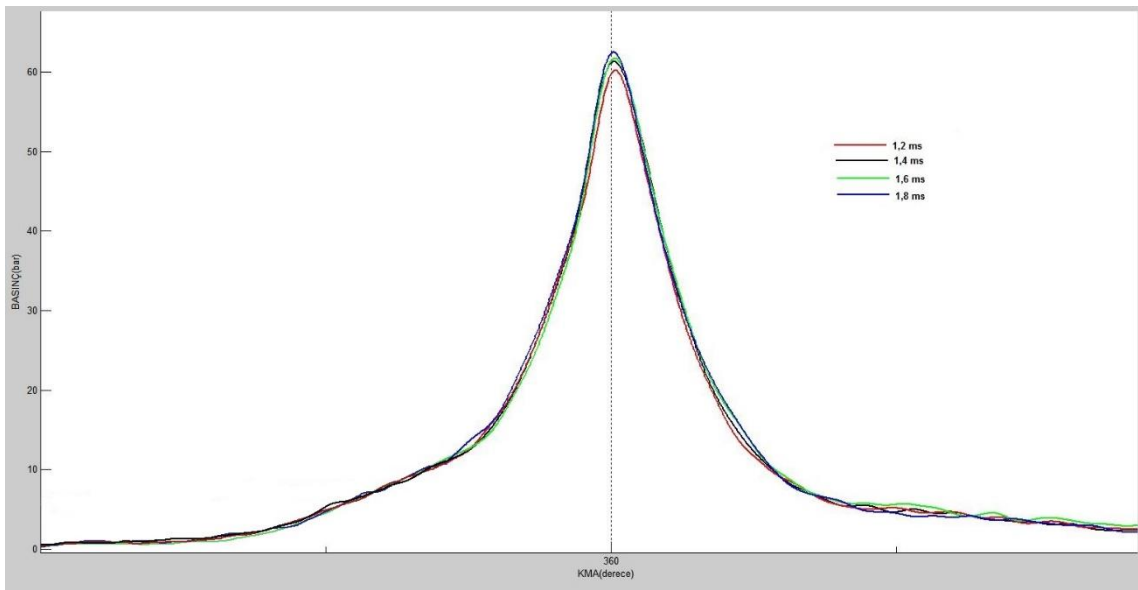


Şekil 5-39 1700 devir 20°KMA püskürtme avansına göre püskürtme süresi silindir içi basınç karşılaştırması



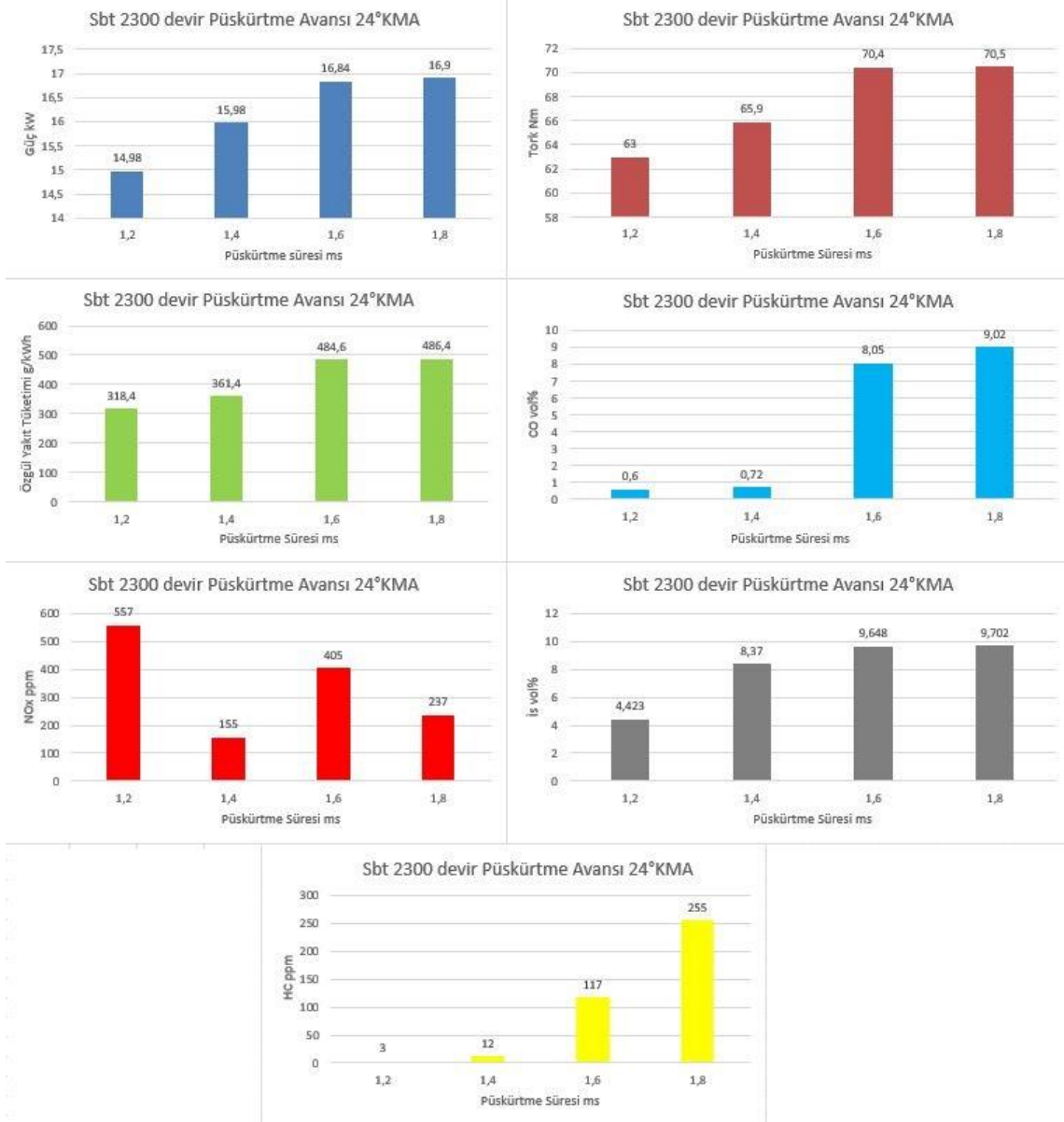
Şekil 5-40 1700 devir 20°KMA püskürtme avansına göre püskürtme süresi karşılaştırması

24° KMA avans için 1700 d/d ortak olarak maksimum çalışma devridir. 24° KMA açısı için güç, tork ve özgül yakıt tüketiminin püskürtme süresiyle birlikte arttığı tespit edilmiştir. CO, HC ve is miktarları yakıt miktarı ile birlikte artarken, NOx miktarının düştüğü ölçülmüştür. Burada emisyon değerleri açısından bakıldığında; 24° KMA için 1,4ms püskürtmeden fazla süre püskürtmenin yapılmaması gerektiği açık olarak görülmektedir. Silindir içi basınçlara baktığımızda; maksimum yanma basınçlarının 59-63 bar civarı olduğu ve ÜÖN' dan sonra 2 derecede pik yaptığı tespit edilmiştir. Püskürtme süresi arttıkça maksimum yanma basıncının da arttığı gözlemlenmiştir. 1,8 ms püskürtmede 1,2 ms püskürtmeye oranla yaklaşık 4 barlık bir artış kaydedilmiştir.



Şekil 5-41 2300 devir 24°KMA püskürtme avansına göre püskürtme süresi silindir içi basınç karşılaştırması

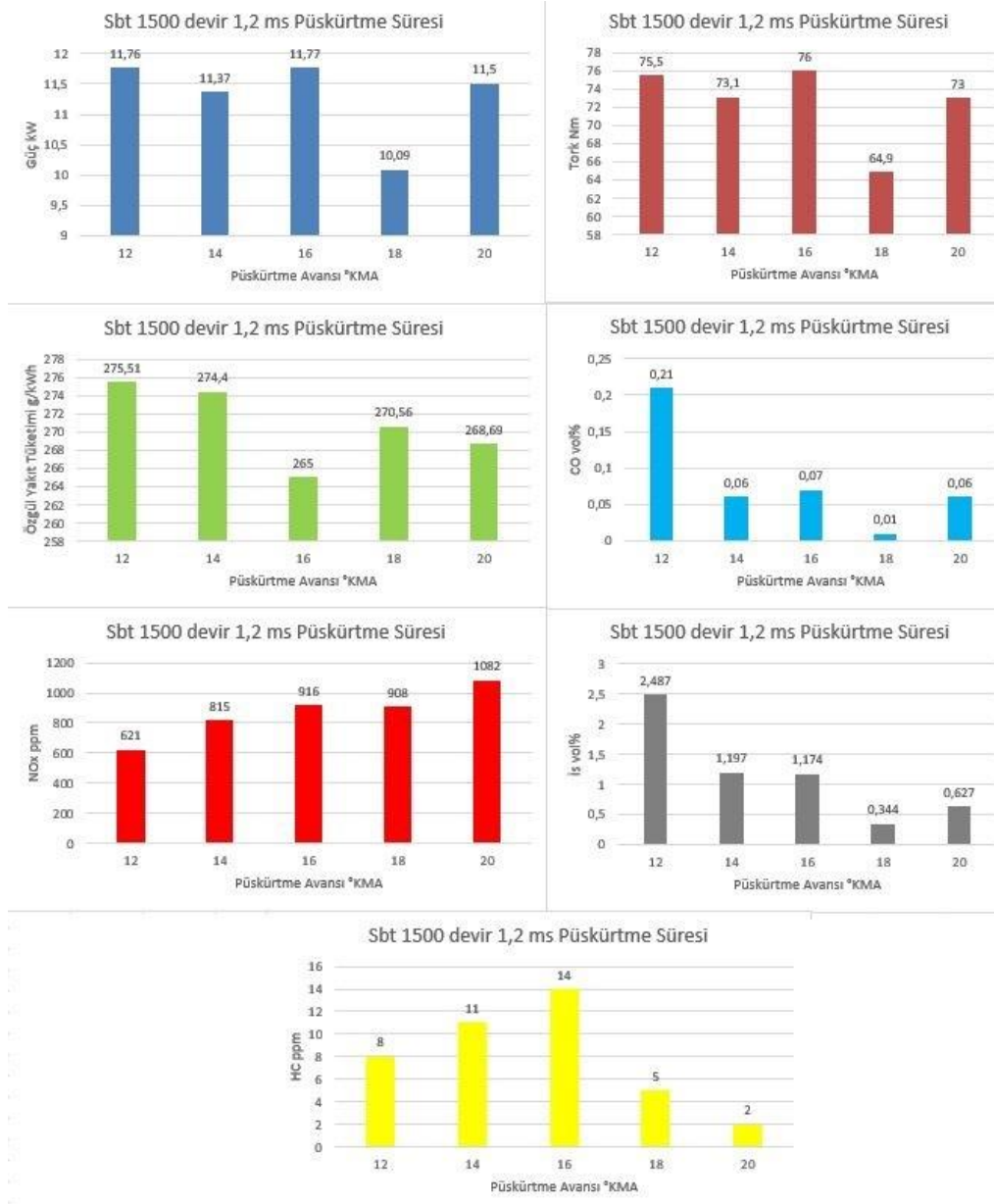
Tüm basınç grafikleri incelendiğinde test motorunda püskürtme avansındaki 4 derecelik bir değişimin, silindir içi basınç pik noktasını 1 derece etkilediği tespit edilmiştir.



Şekil 5-42 2300 devir 24°KMA püskürtme avansına göre püskürtme süresi karşılaştırması

5.2.6 Sabit 1500 Devir, 1.2ms Püskürtme Süresi

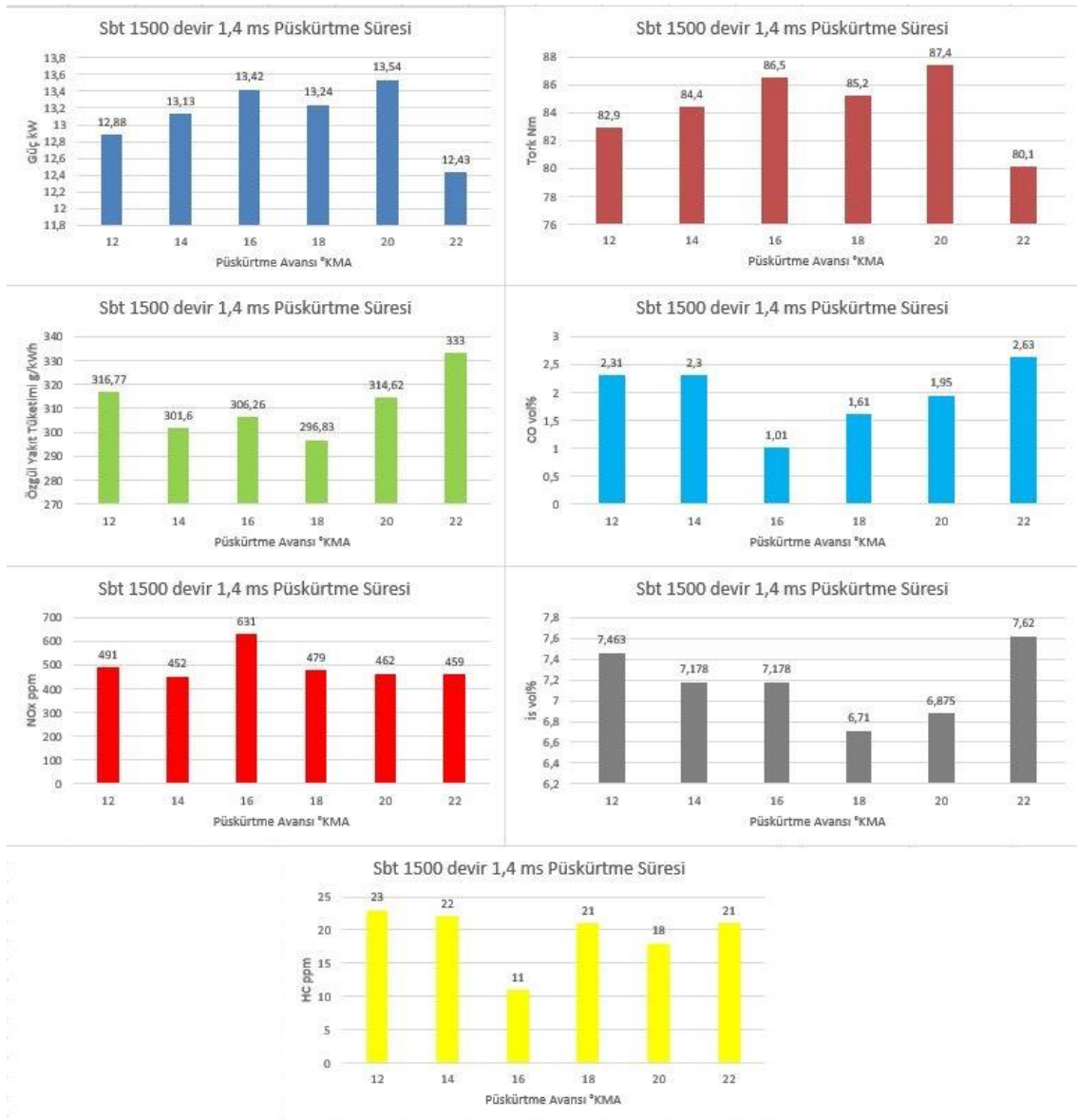
Sabit 1500 devirde 1.2ms püskürtme süresi test sonuçlarına göre; en yüksek güç ve tork, en düşük özgül yakıt tüketim miktarı 16° KMA da gerçekleşmiştir. CO miktarı yaklaşık olarak sabit kalmakla birlikte 12 KMA’ da dramatik olarak yüksektir. NOx miktarının püskürtme avansı arttıkça arttığı açıkça görülmektedir. İş miktarı ise püskürtme avansının azaltılmasıyla artış göstermektedir. Sabit 1500 devirde 1.2ms püskürtme süresi test sonuçlarına göre test motoru için en uygun avansın 16°KMA olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5-43 Sabit 1500 devir 1,2ms püskürtme süresi için püskürtme avansına bağlı performans ve emisyon karakteristiği

5.2.7 Sabit 1500 Devir, 1.4 ms Püskürtme Süresi

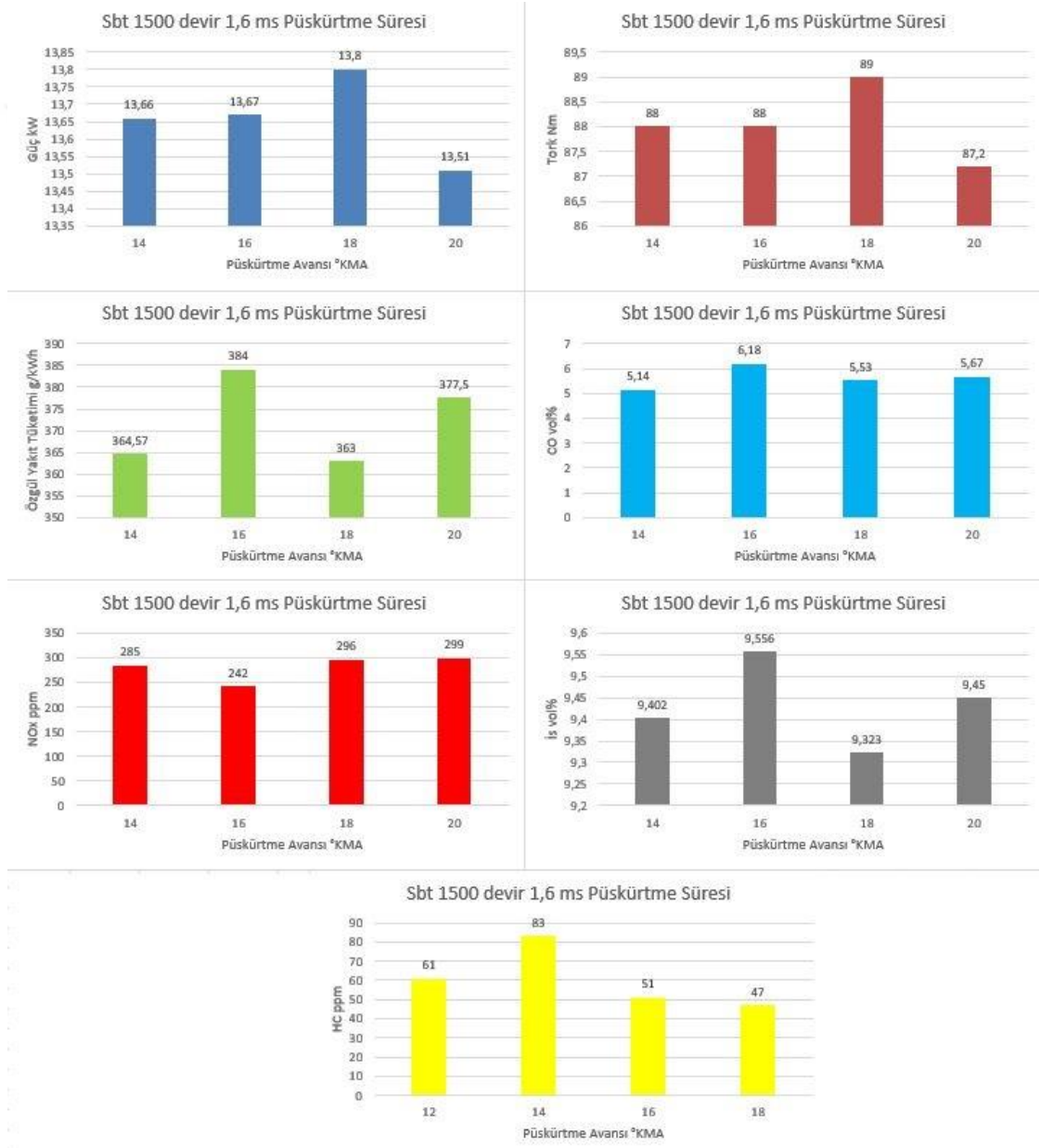
Sabit 1500 devir, 1.4ms püskürtme süresi test sonuçlarına göre; en yüksek güç ve tork 20°KMA da görülürken, en düşük özgül yakıt tüketimi 18°KMA da elde edilmektedir. CO miktarının avans arttıkça ve azaldıkça arttığı 16° KMA da en aza indiği görülmüştür. NOx miktarı genel olarak yakın seyretmesine rağmen 16° KMA oksijenin yeterli miktarda oluşu silindir içi sıcaklıklarını ve NOx oluşumunu arttırdığı kabul edilebilir. Bu avansta CO miktarının düşük olması bu savı desteklemektedir. İS miktarı her avansta yüksek olmakla birlikte 18° KMA da diğerlerine nazaran daha düşüktür. Bu püskürtme miktarı için 18-20° arasında bir değer seçilmesi uygun olacaktır.



Şekil 5-44 Sabit 1500 devir 1,4ms püskürtme süresi için püskürtme avansına bağlı performans ve emisyon karakteristiği

5.2.8 Sabit 1500 Devir, 1.6ms Püskürtme Süresi

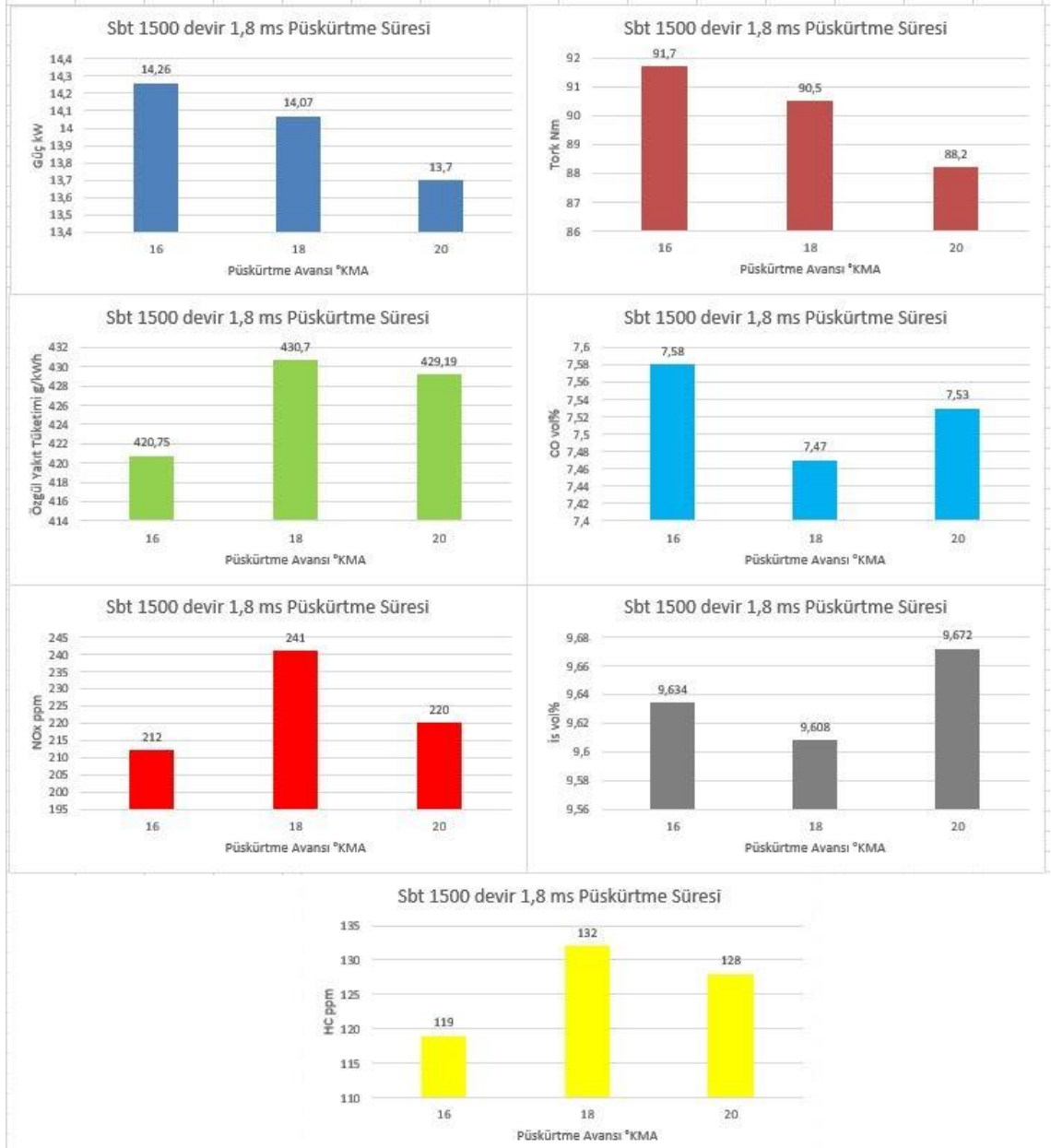
Sabit 1500 devir, 1.6ms püskürtme süresi test sonuçlarına göre; en yüksek güç ve tork, en düşük özgül yakıt tüketim miktarı 18° KMA da elde edilmiştir. CO oluşumunun yüksek ve NOx emisyonlarının görece düşük olması bu yakıt miktarı için oksijenin yeterli olmadığı varsayımını güçlendirmektedir. İS miktarı her avans için kabul edilebilir sınırın oldukça üzerindedir. Bu püskürtme miktarı için 18° KMA seçilmesi uygun olacaktır. 22° KMA bu püskürtme miktarı için motor çalışma şeklini bozduğu için değerlendirmeye sokulmamıştır.



Şekil 5-45 Sabit 1500 devir 1,6ms püskürtme süresi için püskürtme avansına bağlı performans ve emisyon karakteristiği

5.2.9 Sabit 1500 Devir, 1.8ms Püskürtme Süresi

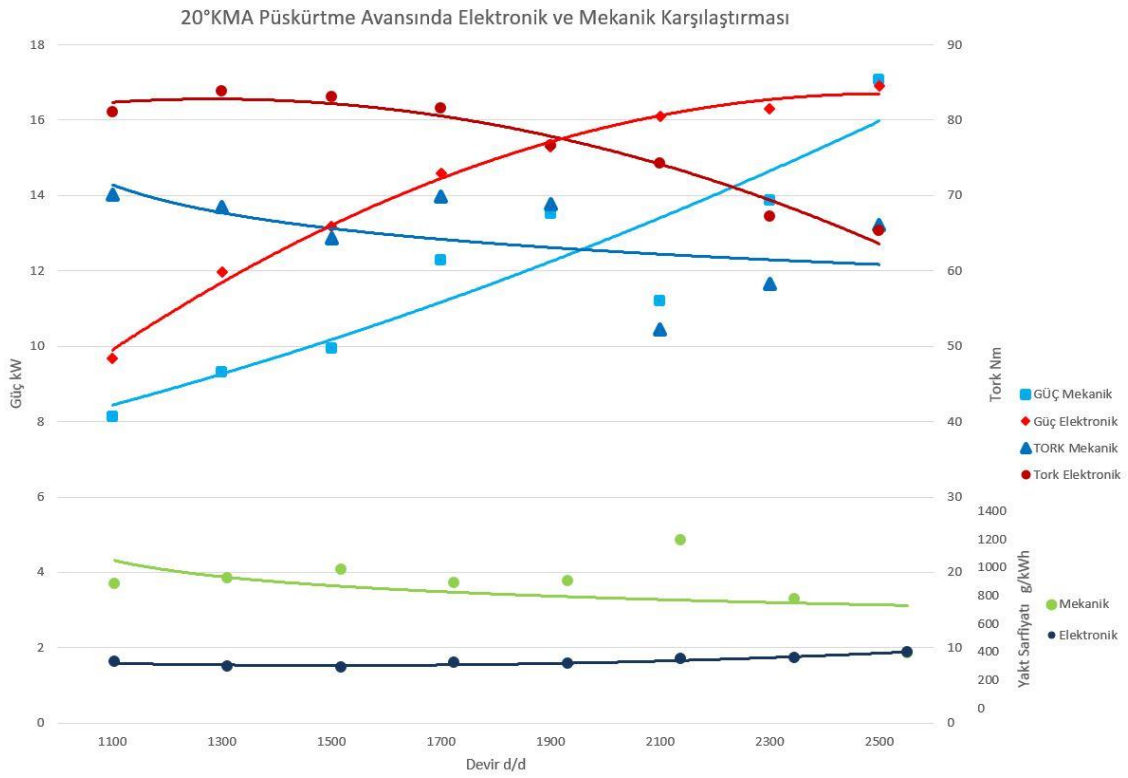
Sabit 1500 devir, 1.6ms püskürtme süresi test sonuçlarına göre; avansın artması gücü ve torku önemli miktarda düşürmekte özgül yakıt sarfiyatını ise arttırmaktadır. Yine 1.6ms püskürtmede olduğu gibi yakıtın oksijenle yeteri miktarda buluşmadığı savunulabilir. İş miktarı yine kabul edilebilir seviyenin oldukça üzerindedir.



Şekil 5-46 Sabit 1500 devir 1,8ms püskürtme süresi için püskürtme avansına bağlı performans ve emisyon karakteristiği

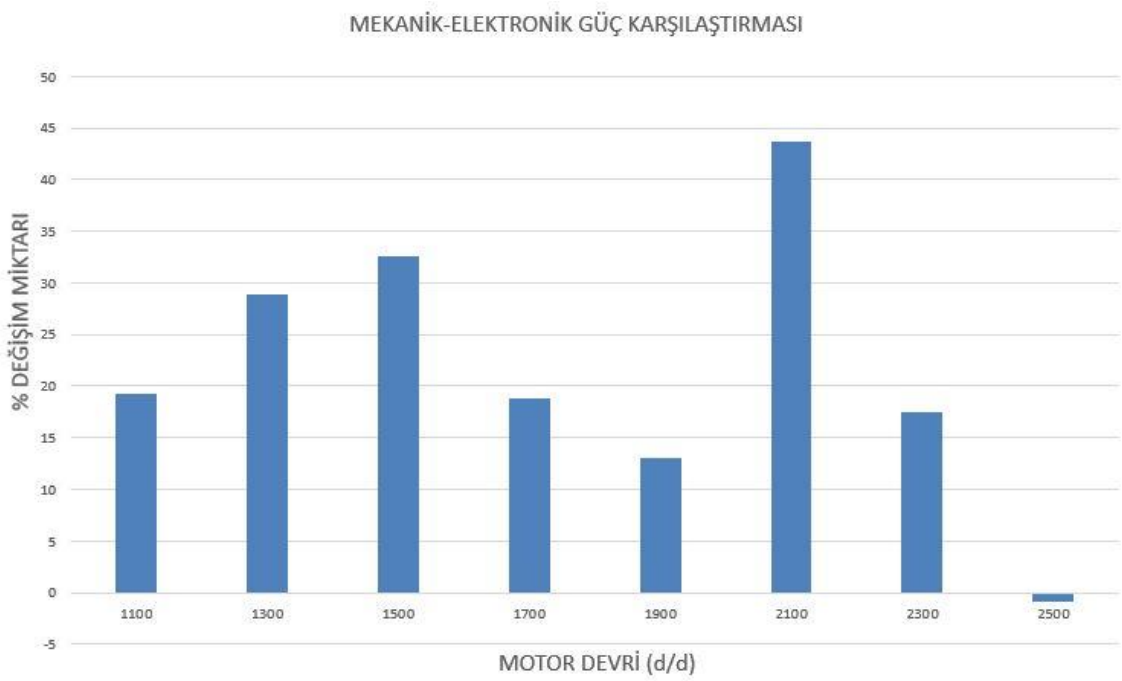
KARŞILAŞTIRMA VE SONUÇ

6.1 Karşılaştırma



Şekil 6-1 20° KMA Avans için Mekanik- Elektronik performans karşılaştırması

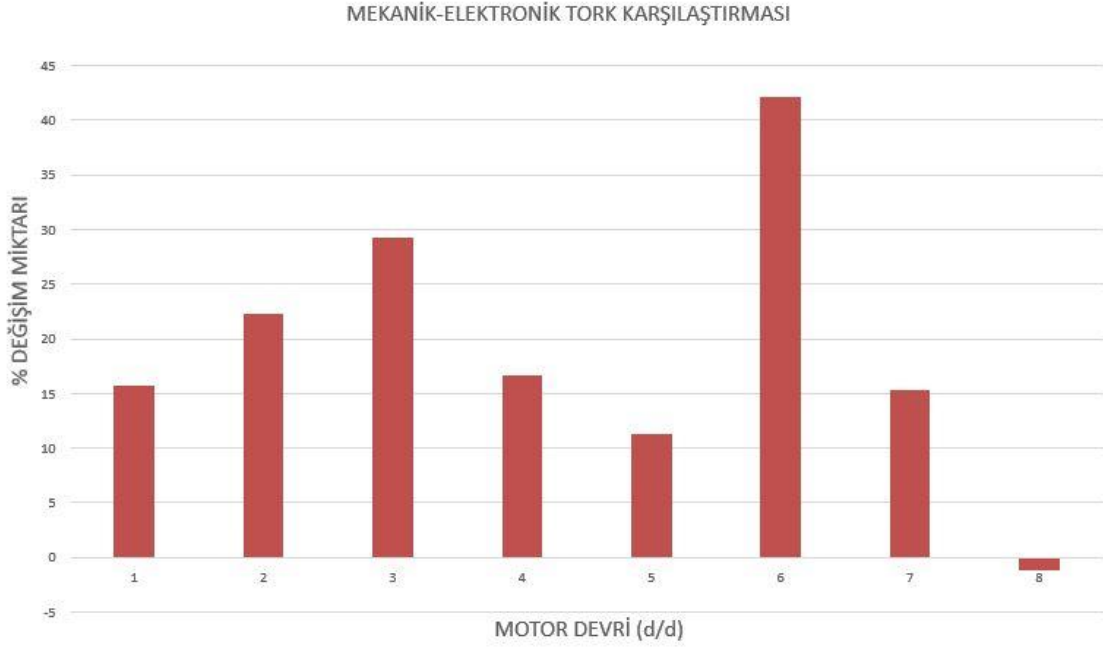
6.1.1 Güç



Şekil 6-2 Mekanik-Elektronik kontrollü motor yüzde değişim güç karşılaştırması

Şekil 6-1 ve şekil 6-2 de görüldüğü gibi elektronik kontrole geçildiğinde güç miktarı(kW) devirle değişken olmakla birlikte, 1100 devirden 2300 devire kadar % 13 ile % 43.6 aralığında değişken olarak arttığı sadece 2500 devirde %1 azaldığı tespit edilmiştir. Jeneratör uygulaması düşünüldüğünde 1500 devirde güçte %32.6'lık bir artış ölçülmüştür.

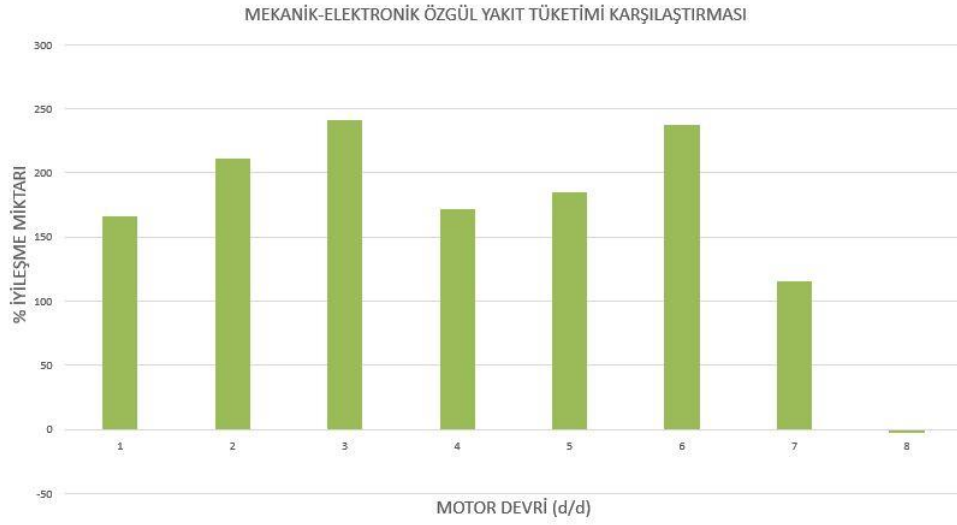
6.1.2 Tork



Şekil 6-3 Mekanik-Elektronik kontrollü motor yüzde değişim tork karşılaştırması

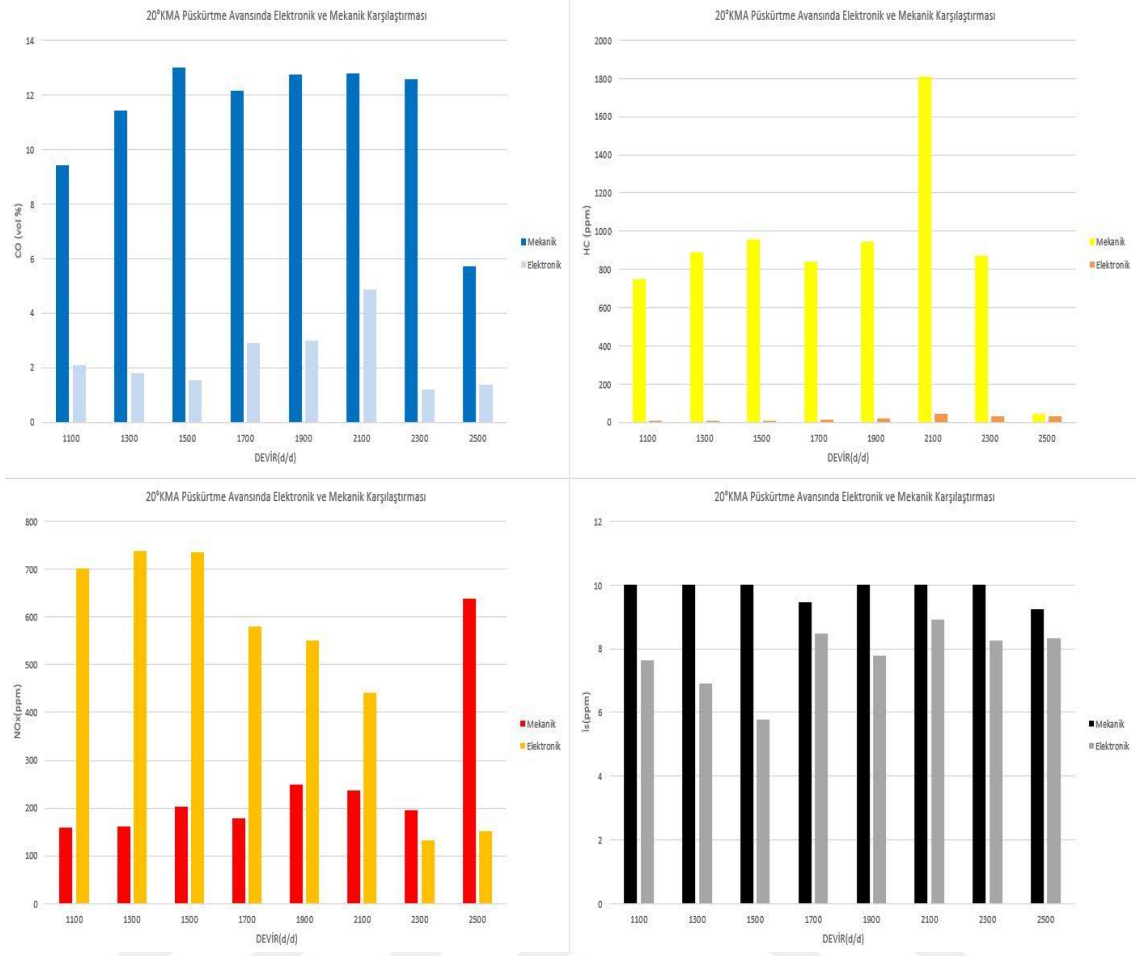
Şekil 6-1 ve şekil 6-3 de görüldüğü gibi elektronik kontrole geçildiğinde tork miktarı(Nm) devirle değişken olmakla birlikte, 1100 devirden 2300 devire kadar % 11.3 ile % 42.1 aralığında değişken olarak arttığı sadece 2500 devirde %1.2 azaldığı tespit edilmiştir.

6.1.3 Özgöl Yakıt Tüketimi



Şekil 6-4 Mekanik-Elektronik kontrollü motor yüzde değişim özgöl yakıt tüketimi karşılaştırması

Şekil 6-1 ve şekil 6-4 de görüldüğü gibi elektronik kontrole geçildiğinde özgöl yakıt tüketim miktarı(g/kWh) devirle değişken olmakla birlikte 1100 devirden 2300 devire kadar % 115.3 ile % 240 aralığında değişken olarak azaldığı sadece 2500 devirde %2.7 arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 6-5 20° KMA Avans için Mekanik- Elektronik emisyon karşılaştırması

6.1.4 CO Emisyonu

Şekil 6-5 te görüldüğü gibi koyu mavi renk mekanik değeri, açık mavi renk ise elektronikte ölçülen değeri göstermektedir. Elektronik kontrole geçildiğinde CO emisyonlarının ortalama 5 kat azaldığı tespit edilmiştir. Her değer için elektronik sistemin CO emisyonlarının daha düşük olduğu görülmektedir.

6.1.5 HC Emisyonu

Şekil 6-5 te görüldüğü gibi sarı renk mekanik değeri, turuncu renk ise elektronikte ölçülen değeri göstermektedir. Elektronik kontrole geçildiğinde HC emisyonlarının ortalama 48 kat azaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuca bakarak elektronik sisteme geçildiğinde basıncın artışı ve uygun yakıt miktarı ile birlikte yakıt demetindeki aşırı zengin ve aşırı fakir karışım bölgelerinin ciddi oranda azaldığı söylenebilir.

6.1.6 NOx Emisyonları

Şekil 6-5 te görüldüğü gibi kırmızı renk mekanik değeri, koyu sarı renk ise elektronikte ölçülen değeri göstermektedir. Elektronik kontrole geçildiğinde yanmanın iyileşmesiyle birlikte silindir içi basınçların arttığı ve dolayısıyla NOx emisyonlarının ortalama 2 kat arttığı tespit edilmiştir.

6.1.7 İs Emisyonu

Şekil 6-5 te görüldüğü gibi siyah renk mekanik değeri, gri renk ise elektronikte ölçülen değeri göstermektedir. Emisyon ölçüm cihazının ölçebildiği maksimum değerin 10 olduğu bilindiği için düşüş miktarı olarak karşılaştırma yapmak yanlış olacaktır. Elektronik kontrollü sistem için her devirde is oranlarının mekanik sistemden az olduğu görülmektedir.

6.2 Sonuç

Yapılan çalışmalar ve testler sonucunda, tek silindirli, 4 stroklu, doğal emişli ve mekanik yakıt sistemine sahip bir dizel motorun gerekli tasarımsal değişiklikleri uygulayarak, elektronik kontrollü yakıt sistemine kolaylıkla dönüştürülebileceği görülmüş ve çok silindirli motorların elektronik olarak tasarlanabilmesi için nasıl yöntem uygulanacağı fikri oluşmuştur. Püskürtme avansının ve püskürtme miktarının değiştirilmesi ile yapılan testler, elektronik kontrole geçildiğinde; motor performansında (motor gücü, motor torku, özgül yakıt tüketimi), HC, NOx, CO ve is emisyonların da önemli miktarlarda iyileştirme sağlanacağını göstermiştir. Daha sonra yapılacak çalışmalarda; uygun püskürtme avansı(20°KMA), uygun püskürtme süresi(1.4ms) etrafında testleri sıklaştırarak ve püskürtme fazlandırma (ön püskürtme, ana püskürtme, art püskürtme) çalışmaları yaparak, değerlerde daha da iyileşme sağlanabileceği ön görülmüştür. Yapılacak olan disiplinler arası iş birlikleri ile elektronik kontrol ünitesinin tamamen yerli olarak tasarlanması ve üretilmesinin mümkün olduğu ve böylelikle ülkemizin bu konudaki dışa bağımlılığının azaltılabileceği, ayrıca yapılacak yerli tasarım motorlarda bu sistemin etkili bir şekilde çalışabileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

-
- [1] Liu H, Ma S, Zhang Z, Zheng Z ve Yao M. Study of the control strategies on soot reduction under early-injection conditions on a diesel engine, Elsevier Fuel 139 (2015) 472–481.
 - [2] Liu J, Yao A ve Yao C. Effects of injection timing on performance and emissions of a HD diesel engine with DMCC, Elsevier Fuel 134 (2014) 107-113.
 - [3] Çelikten İ. An experimental investigation of the effect of the injection pressure on engine performance and exhaust emission in indirect injection diesel engines, Pergamon Applied Thermal Engineering 23 (2003) 2051–2060.
 - [4] Hwang J, Qi D, Jung Y ve Bae C. Effect of injection parameters on the combustion and emission characteristics in a common-rail direct injection diesel engine fueled with waste cooking oil biodiesel, Elsevier Renewable Energy 63 (2014) 9-17.
 - [5] Zhang Q, Li N ve Li M. Combustion and emission characteristics of an electronically controlled common-rail dual-fuel engine, Elsevier Journal of the Energy Institute xxx (2015) 1-16.
 - [6] Raeie N, Emami S ve Sadaghiyani OK. Effects of injection timing, before and after top dead center on the propulsion and power in a diesel engine , Propulsion and Power Research 2014;3(2):59-67
 - [7] Wamankar A K, Murugan S. Effect of injection timing on a DI diesel engine fuelled with a synthetic fuel blend, Elsevier Journal of the Energy Institute 88 (2015) 406-413
 - [8] Agarwal AK, Srivastava DK, Dhar A, Maurya RK, Shukla PC ve Singh AP. Effect of fuel injection timing and pressure on combustion, emissions and performance characteristics of a single cylinder diesel engine, Elsevier Fuel 111 (2013) 374-383
 - [9] Sharma A, Mirigan S. Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fuelled with non-petroleum fuel A study on the role of fuel injection timing, Elsevier Journal of the Energy Institute 88 (2015) 364-375.

- [10] Li X, Xu Z, Guan C ve Huang Z. Effect of injection timing on particle size distribution from a diesel engine, Elsevier Fuel 134 (2014) 189-195.
- [11] Basshuysen R.V., Schäfer F., (2004). Internal Combustion Engine Handbook Basics, Components, Systems and Perspectives, First Edition, SAE International, Warrendale, Pa.
- [12] Mollenhauer K., Tschoeke H., (2010). Handbook of Diesel Engines, First Edition, Springer, Berlin.
- [13] Challen B., Baranescu R., (1999). Diesel Engine Reference Book, Second Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- [14] Pischinger S., (2006). Internal Combustion Engines Volume 2, Second Edition, Lecture Notes, Aachen.
- [15] Merker G. P., Schwarz C., Stiesch G ve Otto F., (2006). Simulating Combustion, Springer, Wiesbaden.
- [16] Heywood J. B., (1988). Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, Cambridge.
- [17] İlkılıç, C., Behçet, R., Aydın, S. ve Aydın, H. (2009). "Dizel Motorlarında Azot Oksitlerin Oluşumu Ve Kontrol Yöntemleri" 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük.
- [18] Tschoeke H., (1999). Diesel distributor fuel-injection pumps, 4th Edition, Robert Bosch GmbH, Stuttgart
- [19] Bensinger W.D., (1974). Motor Konstrüksiyonu (Gaz Kumanda Elemanları), İlk baskı, Güven Kitabevi, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Erdal TUNÇER
Doğum Tarihi ve Yeri : 1984 İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : erdaltuncer07@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Zonguldak Karaelmas	2007
Lise	Fen	Büyükkçekmece Y.D.A Lise	2002

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012-devam	ERİN MOTOR A.Ş.	Motor tasarım ve Ar-Ge Uzmanı
2009-2012	ŞÜRTAŞ A.Ş.	Teknik Tasarım Mühendisi
2009	TASOT Makine LTD.	Ar-Ge Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Erdal Tunçer, Tarkan Sandalcı, Yasin Karagöz, Ahmet Selim Dalkılıç, EXPERIMENTALLY DETERMINATION OF INJECTION CHARACTERISTIC OF A MECHANICAL FUEL SYSTEM EQUIPPED DIESEL ENGINE CONVERTED TO COMMON RAIL FUEL SYSTEM. ICES(INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY SYSTEMS) 2015 Proceedings book,23-25 December, İstanbul p.966-971

