

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

**DIESEL ENJEKTÖR MEMESİNİN SICAKLIK  
DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

**GÖKHUN AKPINAR**

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

**DANIŞMAN  
DOÇ. DR. ALP TEKİN ERGENÇ**

**İSTANBUL, 2015**

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

**DIESEL ENJEKTÖR MEMESİNİN SICAKLIK**  
**DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

Gökhun AKPINAR tarafından hazırlanan tez çalışması 02/07/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Adnan PARLAK  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Yrd. Doç. Dr. Akın KUTLAR  
İstanbul Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Bu alışma, TÜBİTAK Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı kapsamında Bosch San. ve Tic. A.ř. ile Yıldız Teknik niversitesi işbirliğinde 3130419 numaralı proje ile desteklenmiştir.

## ÖNSÖZ

---

Bu çalışma, Bosch San. ve Tic. A.Ş. Diesel Sistemler Ar-Ge departmanında TEYDEB projesi kapsamında yürütülmüş olup, Yıldız Teknik Üniversitesi otomotiv laboratuvarında gerçekleştirilen motor testlerinin, danışmanlarımız ile birlikte değerlendirilmesiyle oluşturulmuştur. Çalışma, TÜBİTAK tarafından 20 ay boyunca desteklenmiş ve başarılı olarak sonuçlandırılmıştır.

Bosch Türkiye’de geliştirilmekte ve üretilmekte olan diesel enjektör memesinin yanma odası içerisinde kalan kubbe kısmının, motor çalışma koşullarında maruz kaldığı sıcaklıklar araştırılmış ve bu sıcaklıklar altında meme gövde malzemesinin sertlik davranışı incelenmiştir. Bu inceleme, meme malzemesinin doğru seçilmesi için gerekli koşulların ne olması gerektiği ile alakalı bilgi seviyesini yükseltmiş ve motor çalışma koşullarının enjektör memesine etkilerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır.

Bu çalışmada, Bosch Ar-Ge bünyesinde 6 mühendislik elemanı ile beraber Yıldız Teknik Üniversitesi’nde çalışmalarını yürütmekte olan 2 danışman görev almıştır. Projenin başlatılmasında önemli rol oynayan Bosch Ar-Ge Kısım Müdürü Emre Terzi’ye, proje yürütücülüğü görevini devralan Ersoy Bey’e, başlangıç aşamasında ve daha sonrasında teknik desteklerini esirgemeyen Zeynep Alakoç, Sertaç Eyüboğlu ve diğer Bosch Ar-Ge çalışanlarına, 20 ay boyunca motor test düzeneğinin kurulması, bakımı, onarımı, testlerin gerçekleştirilmesi ve yorumlanması konusunda çok büyük destek veren Doç. Dr. Alp Tekin Ergenç ve Yrd. Doç. Dr. Orkun Özener’e, bu proje imkanını bana sağlayan Bosch Ar-Ge merkezi yöneticisi Adil Okumuşoğlu’na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz, 2015

Gökhun AKPINAR

## İÇİNDEKİLER

---

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	vii
KISALTMA LİSTESİ .....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT .....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1    Literatür Özeti.....	1
1.1.1    CRI Sistem Özellikleri.....	1
1.1.2    Emisyon Normları.....	3
1.1.3    Diesel Enjektör Tipleri .....	5
1.1.4    Enjektör Meme Tipleri .....	12
1.1.5    Enjektör Meme Malzemeleri .....	14
1.2    Tezin Amacı .....	15
1.3    Hipotez .....	15
BÖLÜM 2	
FIRIN TESTLERİ .....	17
2.1    Fırın Test Senaryoları .....	17
2.2    Meme Sertlik Sonuçları.....	21

## BÖLÜM 3

MOTOR TEST DÜZENİĞİNİN KURULMASI .....	24
3.1 Test Düzenğinde Kullanılan Ekipmanlar.....	24
3.2 Test Enjektör Bilgisi .....	27
3.3 Kurulum Aşamasında Yaşanan Teknik Sıkıntılar .....	28

## BÖLÜM 4

MOTOR TESTLERİ .....	32
4.1 Test Çevriminin Belirlenmesi .....	32
4.2 Thermo-sensör Verilerinin Analizi .....	37
4.2.1 A Test Çevrimi Sıcaklık Verileri.....	37
4.2.2 B Test Çevrimi Sıcaklık Verileri.....	41
4.2.3 C Test Çevrimi Sıcaklık Verileri.....	44
4.3 Sertlik Ölçüm Verilerinin Analizi .....	50
4.3.1 A Test Çevrimi Sertlik Ölçüm Verileri.....	50
4.3.2 B Test Çevrimi Sertlik Ölçüm Verileri.....	51
4.3.3 C Test Çevrimi Sertlik Ölçüm Verileri.....	51
4.4 Silindirler Arası Sıcaklık Farkları ve Sıcaklığı Etkileyen Parametreler.....	53

## BÖLÜM 5

SONUÇLAR.....	59
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	63

## SİMGE LİSTESİ

---

Eu	Euro Emisyon Normu
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
H <sub>2</sub> O	Su
O <sub>2</sub>	Oksijen
N <sub>2</sub>	Azot
CO	Karbonmonoksit
NO <sub>x</sub>	Azot oksitler
PM	Partikül madde
HC	Hidrokarbon
HRc	Rockwell Sertliği
HV	Vickers Sertliği
Cr	Krom
Ni	Nikel
Mo	Molibden
V	Vanadyum
h	saat
sec	saniye
dk	dakika
°C	Celcius
rpm	revolution per minute
t	zaman

## KISALTMA LİSTESİ

---

Ar-Ge	Araştırma Geliştirme
A.Ş.	Anonim Şirketi
CRI	Common Rail Injection
CV	Commercial Vehicle
EDC	Electronic Diesel Control
ECU	Electronic Control Unit
HI	High Idle
HDI	High Pressure Direct Injection
HP	Horse Power (beygir gücü)
LI	Low Idle
MP	Max Power
PC	Passenger Car
RS	Rated Speed
TG	Tam Gaz
w	with (ile)
w/o	without (hariç)

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 1	CRI Sistem Şematik Resmi ..... 2
Şekil 1. 2	Diesel Emisyon Sınırlamaları ..... 4
Şekil 1. 3	Emisyonların Tarihsel Gelişimi ..... 4
Şekil 1. 4	Emisyonların Tarihsel Gelişimi-2 ..... 5
Şekil 1. 5	Solenoid Enjektör ..... 6
Şekil 1. 6	Solenoid Valfli Enjektör Çalışma Prensibi ..... 7
Şekil 1. 7	Bir Püskürtme Sırasında Solenoid Valf Tetiklemesi ..... 8
Şekil 1. 8	Bosch Solenoid Valfli Enjektör Jenerasyonları ..... 8
Şekil 1. 9	Piezo Enjektör ..... 9
Şekil 1. 10	Piezo Enjektör Hidrolik Denge ..... 10
Şekil 1. 11	Piezo Enjektör Servo Valf Çalışma Prensibi..... 10
Şekil 1. 12	Piezo Enjektör Tetiklenmesi ..... 11
Şekil 1. 13	Piezo Enjektör Jenerasyonları ..... 11
Şekil 1. 14	Motorda Meme Pozisyonu ..... 12
Şekil 1. 15	Temel Meme Ölçüleri..... 13
Şekil 1. 16	Meme Tipleri ..... 13
Şekil 1. 17	Meme Delik Geometrisi ..... 14
Şekil 2. 1	Statik Test Sıcaklık Zaman Grafiği ..... 18
Şekil 2. 2	Test Grupları..... 19
Şekil 2. 3	Grup 1 Test Sıcaklık Zaman Grafiği ..... 19
Şekil 2. 4	Grup 2 Test Sıcaklık Zaman Grafiği ..... 20
Şekil 2. 5	Statik Test Sertlik Değişimi ..... 21
Şekil 2. 6	Grup 1 Test Sertlik Değişimi ..... 22
Şekil 2. 7	Grup 2 Test Sertlik Değişimi ..... 22
Şekil 2. 8	Grup 1-2 Test Karşılaştırması ..... 23
Şekil 3. 1	PSA DV6 1.6HDI Diesel Motor ..... 24
Şekil 3. 2	Bosch EDC16C34 ECU..... 25
Şekil 3. 3	120kW Hidrokinetik Dinamometre ..... 25
Şekil 3. 4	Bosch KTS550 ESITronic Diyagnoz Cihazı ..... 26
Şekil 3. 5	Bosch KTS550 ESITronic PC Çıktısı..... 26
Şekil 3. 6	National Instruments 9213 Sıcaklık Modülü ..... 26
Şekil 3. 7	NI Signal Express Yazılımı ..... 27
Şekil 3. 8	Bosch CRI2.1 Termo-Enjektör ..... 28
Şekil 3. 9	Güç Tork Grafiği ..... 28

Şekil 3. 10	Hava Soğutucu Sistem.....	29
Şekil 3. 11	Soğutucu Pervane .....	29
Şekil 3. 12	İyileştirilmiş Güç Tork Grafiği .....	30
Şekil 3. 13	Motor Test Düzeneği.....	30
Şekil 3. 14	Stabilite Testi Sıcaklık Verisi .....	31
Şekil 4. 1	Test Çevrim Profilleri.....	36
Şekil 4. 2	A1 Test Termosensör Verisi .....	37
Şekil 4. 3	A2 Test Termosensör Verisi .....	38
Şekil 4. 4	A3 Test Termosensör Verisi .....	38
Şekil 4. 5	A4 Test Termosensör Verisi .....	39
Şekil 4. 6	A5 Test Termosensör Verisi .....	39
Şekil 4. 7	A6 Test Termosensör Verisi .....	40
Şekil 4. 8	A Test Grubu Maksimum Sıcaklık Karşılaştırması .....	40
Şekil 4. 9	B1 Test Termosensör Verisi .....	41
Şekil 4. 10	B2 Test Termosensör Verisi .....	41
Şekil 4. 11	B3 Test Termosensör Verisi .....	42
Şekil 4. 12	B4 Test Termosensör Verisi .....	42
Şekil 4. 13	B5 Test Termosensör Verisi .....	43
Şekil 4. 14	B6 Test Termosensör Verisi .....	43
Şekil 4. 15	B Test Grubu Maksimum Sıcaklık Karşılaştırması .....	44
Şekil 4. 16	C1 Test Termosensör Verisi .....	45
Şekil 4. 17	C2 Test Termosensör Verisi .....	45
Şekil 4. 18	C3 Test Termosensör Verisi .....	46
Şekil 4. 19	C4 Test Termosensör Verisi .....	46
Şekil 4. 20	C5 Test Termosensör Verisi .....	47
Şekil 4. 21	C6 Test Termosensör Verisi .....	47
Şekil 4. 22	C Test Grubu Maksimum Sıcaklık Karşılaştırması .....	48
Şekil 4. 23	A-B-C Test Grupları Maksimum Sıcaklık Karşılaştırması .....	48
Şekil 4. 24	Maksimum ve Ortalama Sıcaklık Karşılaştırması .....	49
Şekil 4. 25	Rölanti Şartında Oluşan Sıcaklık.....	49
Şekil 4. 26	A Test Grubu Sertlik Ölçüm Verisi .....	50
Şekil 4. 27	B Test Grubu Sertlik Ölçüm Verisi .....	51
Şekil 4. 28	C Test Grubu Sertlik Ölçüm Verisi .....	52
Şekil 4. 29	2 Saatlik Test Grubu Sertlik Düşüş Oranı .....	52
Şekil 4. 30	Karşılaştırmalı Sertlik Düşüş Oranları.....	53
Şekil 4. 31	Mevcut Test Sistemi.....	53
Şekil 4. 32	Maksimum Güç Şartında Hava Sıcaklığının Etkisi .....	54
Şekil 4. 33	Maksimum Tork Şartında Hava Sıcaklığının Etkisi.....	55
Şekil 4. 34	Rölanti Şartında Hava Sıcaklığının Etkisi .....	55
Şekil 4. 35	Maksimum Güç Şartında Silindirler Arası Sıcaklık Farkı .....	56
Şekil 4. 36	Tam Gaz Yüksüz Şartında Silindirler Arası Sıcaklık Farkı .....	57
Şekil 4. 37	Tüm Şartlarda Silindirler Arası Sıcaklık Farkı .....	57
Şekil 4. 38	Maksimum Güç Şartında Soğutma Suyu Sıcaklığının Etkisi .....	58

## ÇİZELGE LİSTESİ

---

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Statik Test İşlem Adımları.....	18
Çizelge 2. 2 Grup 1 İşlem Adımları.....	19
Çizelge 2. 3 Grup 2 İşlem Adımları.....	20
Çizelge 2. 4 Grup 2 Test Detayı.....	20
Çizelge 4. 1 A Test Çevrim Grubu .....	34
Çizelge 4. 2 B Test Çevrim Grubu .....	35
Çizelge 4. 3 C Test Çevrim Grubu .....	35
Çizelge 4. 4 Test Şartları .....	36

---

## DIESEL ENJEKTÖR MEMESİNİN SICAKLIK DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Gökhun AKPINAR

Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ

Ortak hat diesel yakıt püskürtme sistemi (CRI), modern diesel araçlarda kullanılan temel yakıt enjeksiyon sistemine verilen addır. Bu sistemler, tankta bulunan yakıtı, yüksek basınçlı pompa vasıtasıyla ortak hatta aktarmakta, 2000-2500 bar değerlere kadar basınçlandırılan yakıt, ortak hattan enjektörlere oradan da motor yanma odasına püskürtülmektedir. CRI sisteminden beklenen, doğru zamanda, doğru miktarda ve doğru basınçtaki yakıtı yanma odasına püskürtmesidir. Günümüzde yakıt tüketimi ve zorlaşan emisyon değerleri göz önüne alındığında, motorun (dolayısıyla aracın) performans ve emisyon değerlerini tutturmasında en önemli pay enjeksiyon sisteminindir. Enjeksiyon sistemindeyse enjektör memesi bahsi geçen performans ve emisyon değerlerinin tutturulmasında büyük pay sahibidir.

Diesel enjektörlerde püskürtmeyi gerçekleştiren eleman, enjektörün yanma odasında kalan meme kısmıdır. Enjektör memesi motor içerisindeki her bir yanma odasında yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Bu nedenle memenin bulunduğu dinamik ortam koşulları, hem memenin tasarımında hem de meme malzeme seçiminde büyük rol oynamaktadır. Memenin çalışacağı motor koşulları değerlendirilerek meme malzemesinin seçimi, malzeme üzerine yapılacak ısı işlem veya kaplama işlemlerine karar verilmektedir. Enjektörlerde yer alan memelerin imal edileceği malzemenin seçimi, memenin motor içerisinde maruz kaldığı sıcaklıklara bakılarak gerçekleştirilmektedir. Müşteriden gelen bilgiler başta öngörü olarak değerlendirilerek meme tasarımları yapılmakta, meme malzemesinin uygunluğu ise enjektör prototiplerinin müşteri tarafında saha testlerine tabi tutulması ile görülebilmektedir.

Müşteri istekleri doğrultusunda geliştirilen memeler saha testleri için müşteriye gönderilmekte ve memenin maruz kaldığı sıcaklıklar ile meme malzemesinde meydana gelen sertlik düşüşleri incelenerek malzeme seçimi doğrulanmaktadır.

Dinamik koşullarda malzeme karakteristiği, sıcaklık ve sertlik düşüşü arasındaki ilişki tam olarak hesaplanması, bu parametrelerin birbirleri üzerine etkisinin net olarak bilinmesi gerekmektedir. Son yıllarda yeni nesil enjektörlerin çalıştığı motor koşulları sürekli olarak ağırlaşmakta (Eu5, Eu6...) ve meme malzemesinin maruz kaldığı sıcaklıklar değişmektedir. Bu durum malzemenin sertliği üzerine etkisi olan parametreleri daha iyi tanıma ve etki derecelerini tanımlama gereksinimi doğurmaktadır.

Bu çalışmada, motorda yüksek sıcaklıklara yol açabilecek farklı test çevrimleri denenerek, meme malzemesinin sertliğinde meydana gelen düşüşler incelenmiştir. Farklı test çevrimleri ve süreleriyle motor testlerine tabi tutulan memelerde yapılan araştırmalar neticesinde, en ağır koşulların ne olduğu tanımlanmış, çalışma sırasında sertlik üzerine etkisi olan motor parametrelerine yoğunlaşmıştır. Doğru malzeme seçimi için optimum koşulların ne olduğunun daha iyi anlaşılmasıyla beraber güvenilir tasarımlar yapılması sağlanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** diesel motor, ortak hat, diesel enjektör, yakıt püskürtme, meme malzemesi, emisyon, sıcaklık, sertlik

**INVESTIGATION OF DIESEL INJECTOR NOZZLE TIP TEMPERATURE**

Gökhun AKPINAR

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Asoc. Prof. Alp Tekin ERGENÇ

Common Rail Diesel Injection (CRI) is the name of the fuel injection system which is used in modern diesel engines. This system transfers diesel fuel from fuel tank to common rail and provides the required fuel with the increased injection pressure like 2000-2500bar into combustion chamber. The main target of this system is to inject diesel fuel with the correct quantity, injection pressure and timing. In view of today, fuel consumption needs and emission regulations show that injection system has the most important role in engine. And the most critical part of diesel injector is nozzle body which is faced with very high temperatures during combustion.

Injected fuel comes from the spray holes on injector nozzle body which is located in combustion chamber. Injector nozzle body is exposed to very high temperatures in each cylinder of the engine. So dynamic engine conditions affect the nozzle body design and material selection. With the assessment of engine working conditions, nozzle body material is selected, required heat treatment process and coating type/process are defined for this specific engine application. Maximum temperature is the most important input for the definition of these design details. Nozzle is pre-designed based on the given informations about customer engine application and sent to customer for engine/vehicle test. According to the temperature values and hardness decrease of the tested nozzle, it is confirmed or re-designed for final release.

Under dynamic engine conditions, material characteristic, correlation between temperature and hardness decrease must be correctly formulated, the effects of these

parameters must be totally understood. In the last years, emission regulations (Euro 5, Euro 6...) are getting harder and the temperatures which affect the material hardness are changing day by day. So having more knowledge or understanding about the critical parameters and effects of them is necessary.

In this study, different engine test cycles which can cause very high temperatures in combustion chamber were performed and nozzle body hardness decreases were investigated. According to the investigation of the nozzles which were tested with different test cycles and durations, the definition of the most critical engine condition was aimed. The main focus was to understand the effects of the engine parameters on hardness decrease. The optimum condition was defined for the right material selection and reliable nozzle designs.

**Keywords:** diesel engine, common rail, diesel injector, fuel injection, nozzle material, emission, temperature, hardness

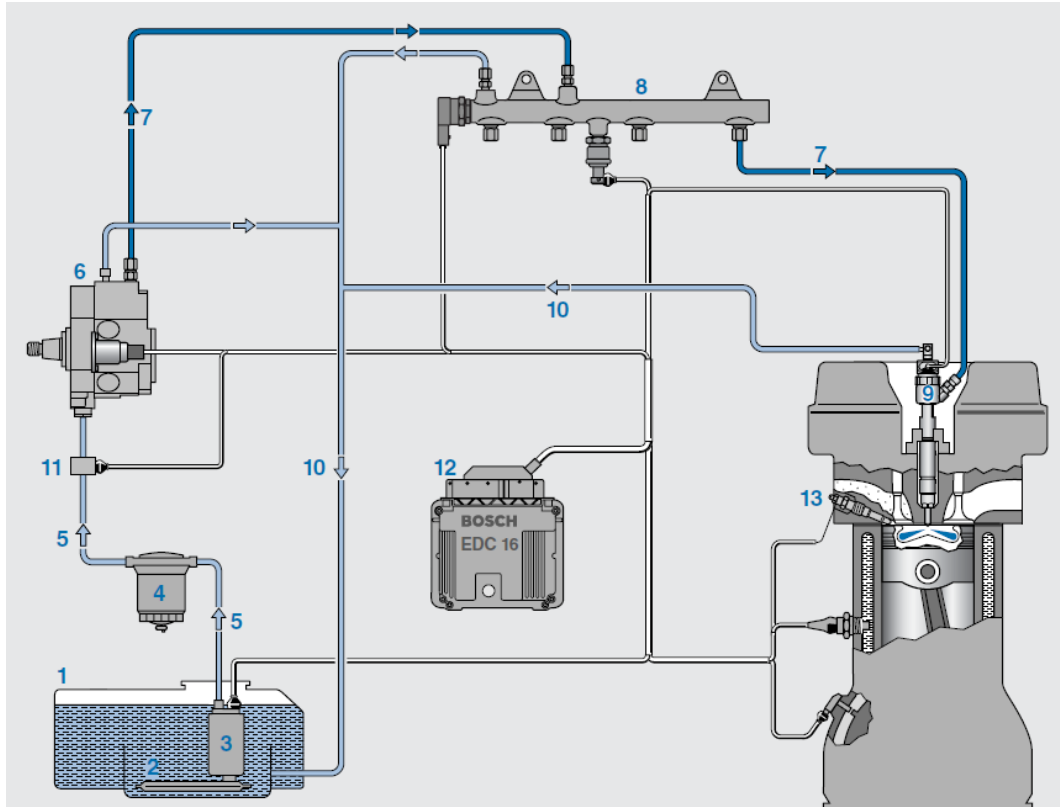
#### 1.1 Literatür Özeti

##### 1.1.1 CRI Sistem Özellikleri

Ortak hat diesel yakıt püskürtme sistemi (CRI) günümüzde diesel motor uygulamaları için en gelişmiş olan yakıt püskürtme sistemidir. Ortak hat diesel yakıt püskürtme sisteminin ana avantajı, elektronik kontrol sisteminden (EDC) alınan sinyallere bağlı olarak farklı püskürtme basınç ve zamanlamalarına ulaşma kabiliyetidir. Ortak hat, yüksek basınç yakıt pompası ile enjektörler arasında dağıtıcı görev almakta ve sistem 2500 bar'a kadar püskürtme basınçlarına ulaşabilmektedir. Bu sistem yüksek püskürtme basıncı sağlamasının yanında, her bir motor çevriminde çoklu püskürtme olanağı da sunmakta bir çevrimde 7-8 'e kadar püskürtme yapılabilmektedir. CRI sistemi düşük yakıt tüketimi ve daha az partikel emisyonuna olanak sağlamakta, ayrıca daha temiz daha güçlü bir diesel sistemiyle gürültüsüz ve titreşimsiz kullanım şartı oluşturmaktadır. Günümüzde, CRI sistemi çoğunlukla direkt püskürtmeli diesel motorlarda kullanılmaktadır [1].

CRI sistemi, temel olarak düşük basınçlı yakıt sistem elemanları, yüksek basınç pompası, yakıt hattı, enjektörler, yüksek basınçlı sistem boruları gibi elemanlar içermektedir. Ayrıca elektronik kontrol sistemi (EDC), sensörler, elektronik kontrol ünitesi (ECU) ve aktüatörlerden oluşmaktadır. Diesel yakıt enjektörleri sistemin anahtar elemanı olup, püskürtme başlangıç ve sonlandırma işlemlerini gerçekleştiren solenoid valf veya piezo elektrik parçaları içermektedir[1].

CRI sistemi adını, sahip olduğu yakıt dağıtıcısından "ortak hat" almakta, bu elemanı basınç rezervuarı olarak kullanarak tek bir pompa ile çoklu enjektör dağılımı yapabilmektedir. Ortak hatta yakıt daimi olarak yüksek basınçta tutulabilmektedir. Bu sistem elektronik kontrol ünitesinden alınan sinyallerle sistem basıncından, motor hızından ve yükünden bağımsız olarak kontrol edilebilmektedir. Aşağıda Şekil 1. 1'de sistem şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1. 1 CRI Sistem Şematik Resmi [2]

Yukarıdaki şematik resimde sistemin temel elemanları temsili olarak gösterilmekle beraber ana sistem elemanlarını içermektedir. Ancak yakıt tankı, yakıt filtresi, yakıt pompası, ortak hat, enjektör ve ECU gibi ana elemanlar görülmektedir. Klasik yakıt püskürtme sistemleri ile CRI sistemi arasındaki temel fark, yakıtı basınçlandırma süreci ile yakıt püskürtme sürecinin birbirinden ayrılmasıdır. Bu durum sistemdeki basınç kayıplarının önüne geçmekle beraber, yanma prosesinin kontrolünde özgürlük kazandırmaktadır. Ayrıca, çoklu püskürtme ve öncü püskürtme olanaklarının sağlanmasıyla beraber egzoz gaz emisyonlarında azalma imkanı sunmaktadır. Çoklu püskürtme püskürtmeyi tetikleyen valfin hızlı bir şekilde açma/kapama yapabilmesi ile

sağlanırken, püskürtmenin sonlandırılması için meme ve iğne kapanma süreci hidrolik olarak desteklenmektedir.

CRI sisteminin başlıca avantajlarını özetlemek gerekirse;

- Püskürtme ve basınçlandırma işlemlerinin birbirinden ayrı olması nedeniyle istenilen zamanda, istenilen süreyle, istenilen basınçta püskürtme kabiliyeti sunmaktadır.
- Püskürtme basıncının motor hızından ve püskürtme miktarından bağımsız olması sağlanarak istenilen basıncın diğer sistem parametrelerinden etkilenmesi engellenmektedir. Düşük hızlarda bile yüksek püskürtme basıncı sağlayarak CRI sistemi ile yüksek torklara ulaşabilmektedir.
- Değişken püskürtme zamanlamasının solenoid valf ile veya piezo elektrik eleman ile hassas kontrolü sağlanmakta ve emisyon sınırları korunmaktadır.
- Motor çevrimi boyunca çoklu püskürtmenin yapılabilmesi emisyon standartlarını karşılama olanağı sağlamaktadır.
- Ortak hatta basınç değişimi sağlayarak değişken püskürtme basınçları uygulanabilmektedir [1].

### **1.1.2 Emisyon Normları**

Otomotiv sanayi, fosil yakıt kullanımını azaltacak farklı teknolojiler üzerinde çalışmalarını sürdürürken bir yandan da akaryakıtların zararlı etkilerini azaltma yollarını aramaktadır. Başta Avrupa Birliği, ABD ve Japonya olmak üzere ülkeler önlem almaya başlamakta ve emisyon sınırları sertleştirilmek zorunda kalmaktadır. Bu kısıtlamalar çerçevesinde otomotiv firmalarından, motor üreticilerinden ve yakıt aksamını üreten yan sanayilerden otomotiv kaynaklı atık gazların çevresel etkilerini azaltmaya yönelik çözümler beklenmesinin yanında uyulması gereken seviyeler (Euro 5, Euro 6 vb.) belirtilerek zorunluluk haline getirilmektedir [3].

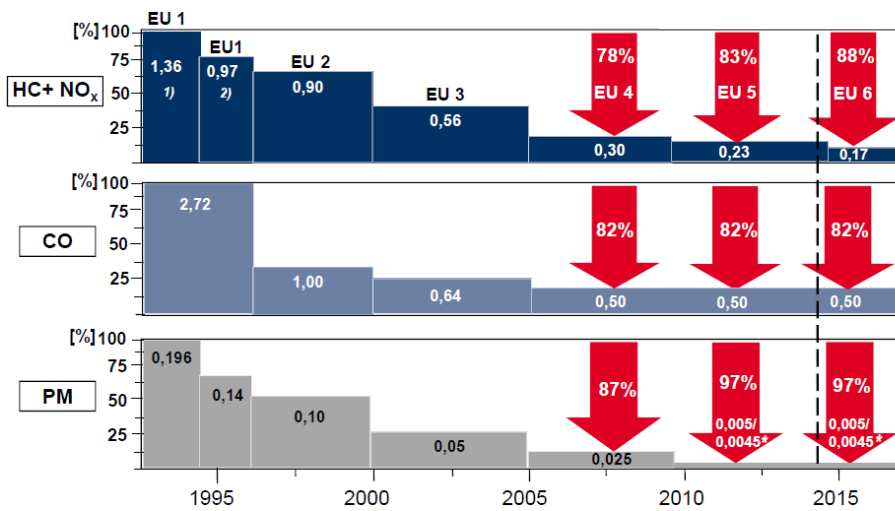
Diesel emisyonlar, insanlar ve doğa için zehirli ve zarar verici etkileri olan kirleticileri içerir. Bu zehirli kirleticiler genellikle ideal olmayan yanma süreciyle farklı miktarlarda ortaya çıkarlar. Hidrokarbon bileşikli yakıtların yanmasında ideal olarak CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>,

ve N<sub>2</sub> çıktıları beklenirken tam yanmama, yüksek basınç ve sıcaklıktaki karışım tepkimeleri, motor yağı ve katkı maddeleri karışması ve hidrokarbon bileşeni olmayan diesel yakıtların yanması biçimindeki gerçek yanma süresinde atık gaz olarak kirleticiler ortaya çıkar. Aşağıda Şekil 1. 2'de binek araçlar için Avrupa Birliği tarafından belirlenen farklı emisyon normlarında egzoz gaz emisyonlarının miktarları belirtilmektedir [3].

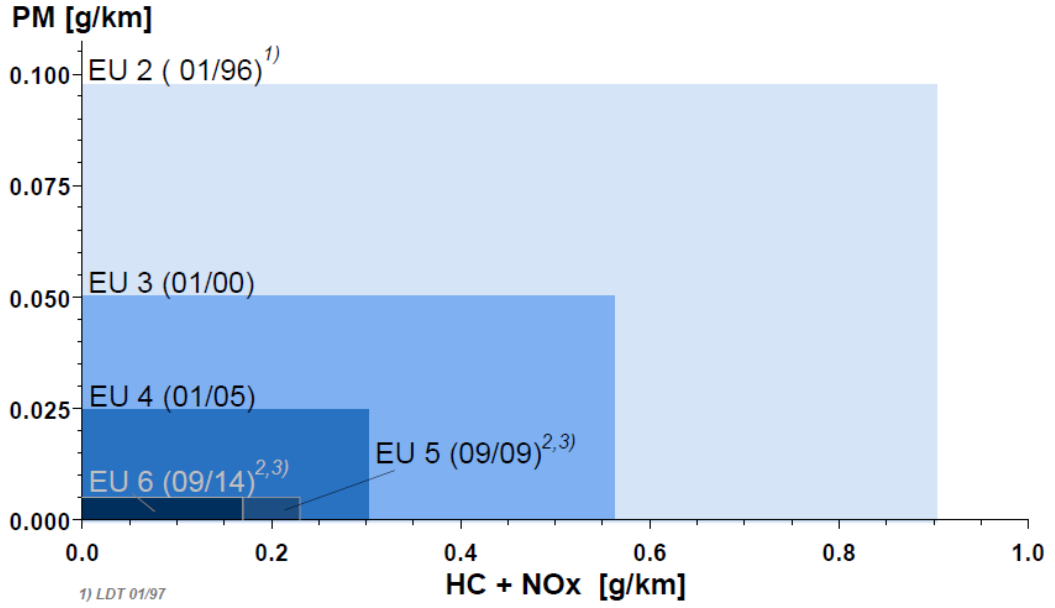
Norm	Tarih	CO	HC	HC+NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM	PN
		g/km					
Sıkıştırma Ateşlemeli (Diesel)							
Euro 1 †	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	0.14 (0.18)	-
Euro 2, IDI	1996.01	1.0	-	0.7	-	0.08	-
Euro 2, DI	1996.01 <sup>a</sup>	1.0	-	0.9	-	0.10	-
Euro 3	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05	-
Euro 4	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025	-
Euro 5a	2009.09 <sup>b</sup>	0.50	-	0.23	0.18	0.005 <sup>f</sup>	-
Euro 5b	2011.09 <sup>c</sup>	0.50	-	0.23	0.18	0.005 <sup>f</sup>	6.0×10 <sup>11</sup>
Euro 6	2014.09	0.50	-	0.17	0.08	0.005 <sup>f</sup>	6.0×10 <sup>11</sup>

Şekil 1. 2 Diesel Emisyon Sınırlamaları [4]

Motorda yüksek püskürtme basınçları ile iyileşen yanma sürecinden sonra oluşan yüksek sıcaklıkların etkisiyle NO<sub>x</sub> emisyonları artmakta buna karşın emisyon sınırları düşmektedir. Egzoz gaz emisyonları arasında karşıt çalışan bir mekanizma olup, hepsini aynı anda düşürme imkanı bulunmamakla beraber optimum motor yanma koşulları ile egzoz gaz sisteminde yapılan değişiklikler emisyon şartlarını sağlamada önemli rol oynamaktadır. Sınırlandırmaların binek araçlardaki ve hafif ticari sınıfı araçlardaki tarihsel gelişimi aşağıda Şekil 1. 3 ve Şekil 1. 4'te gösterilmiştir.



Şekil 1. 3 Emisyonların Tarihsel Gelişimi [5]



Şekil 1. 4 Emisyonların Tarihsel Gelişimi-2 [5]

Günümüzde, ülkemizde Euro 4 ve 5 normuna sahip motorlar çoğunlukla kullanılmakla beraber, Avrupa'da Euro 6 emisyon normuna uygun araçlar bulunabilmektedir. Euro 6 emisyon şartının HC, NO<sub>x</sub> ve PM (partikel) emisyon şartlarına getirdiği ağır kurallar Şekil 1. 4'te görülmektedir. Ağırlaşan bu koşullara uyum sağlayabilmek için yakıt püskürtme sistemlerinde günden güne farklı teknolojiler kullanma, daha yüksek basınç mertebelerine erişme, püskürtme karakterini daha iyi kontrol edebilme ve yanmayı optimum kılma ihtiyacı doğmaktadır. Motor üreticilerinin ve otomotiv ana sanayinin geliştirdiği sistemlere ek olarak yakıt püskürtme sistemlerinde de gelişimin hız kaybetmeden devam etmesi gerekmektedir.

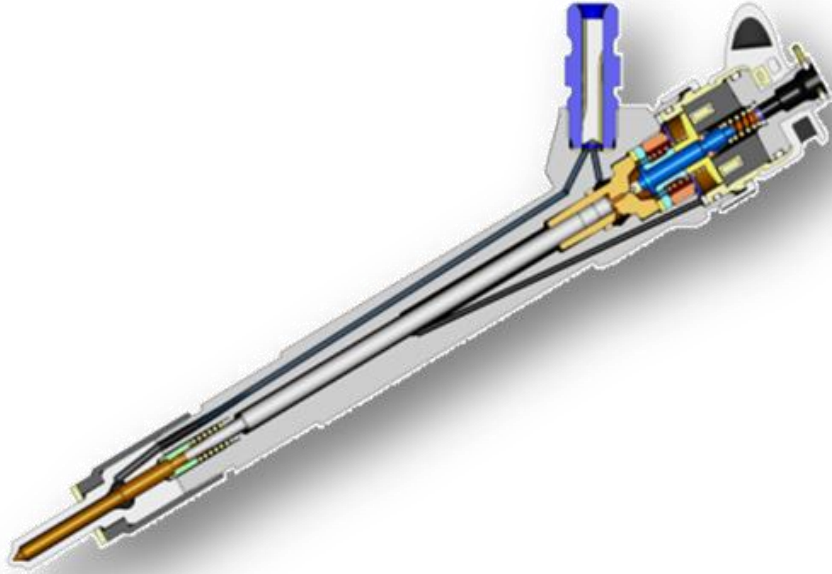
Emisyon kontrol teknolojileri içerisinde etkili emisyon düşüşleri motorda en iyi yanmayı sağlayacak hava-yakıt karışımıyla mümkün olabilmektedir. Bu, silindir içerisine giren havanın hareketi ve yakıtın püskürtme geometrisi yani atomizasyonu ile sağlanmaktadır. Emisyonların azaltılmasında NO<sub>x</sub> ve PM 'in eş zamanlı olarak düşürülmesi yönünde çabalar yoğunlaşmaktadır. Bu amaçla, silindir içine alınan havanın soğutulması (turboşarj), yanma odasının tasarımı, enjektör konumu, sıkıştırma oranları, filtre kullanımı, yakıt kalitesinin iyileştirilmesi gibi yöntemler mevcuttur [3].

### 1.1.3 Diesel Enjektör Tipleri

CRI sisteminde, enjektörler kısa yüksek basınç borularıyla ortak hatta bağlı halde konumlanırlar. Enjektör yanma odasından bakır bir kılıf kullanılarak ayrılır. Enjektör meme tasarımına bağlı olarak, CRI enjektörler direkt püskürtmeli motorlara dik veya eğimli olarak monte edilirler. Elektrik kontrollü olarak, istenilen püskürtme miktarları püskürtme süresi ile oynanarak motor hızından bağımsız olarak üretilebilmektedir. Püskürtme zamanı elektronik kontrol sistemi (EDC) ile aç/zaman ayarı yapılarak kontrol edilmektedir. Bu durum, sensörlerin krank-biyel mekanizmasının konumlarını belirlemesiyle sağlanmaktadır. Çoklu ve az miktarda püskürtme ile beraber, optimum hava yakıt karışımı elde edilerek egzoz gaz emisyonlarında azalma görülmekte ve diesel araçlarda gürültü problemi çözülebilmektedir [2].

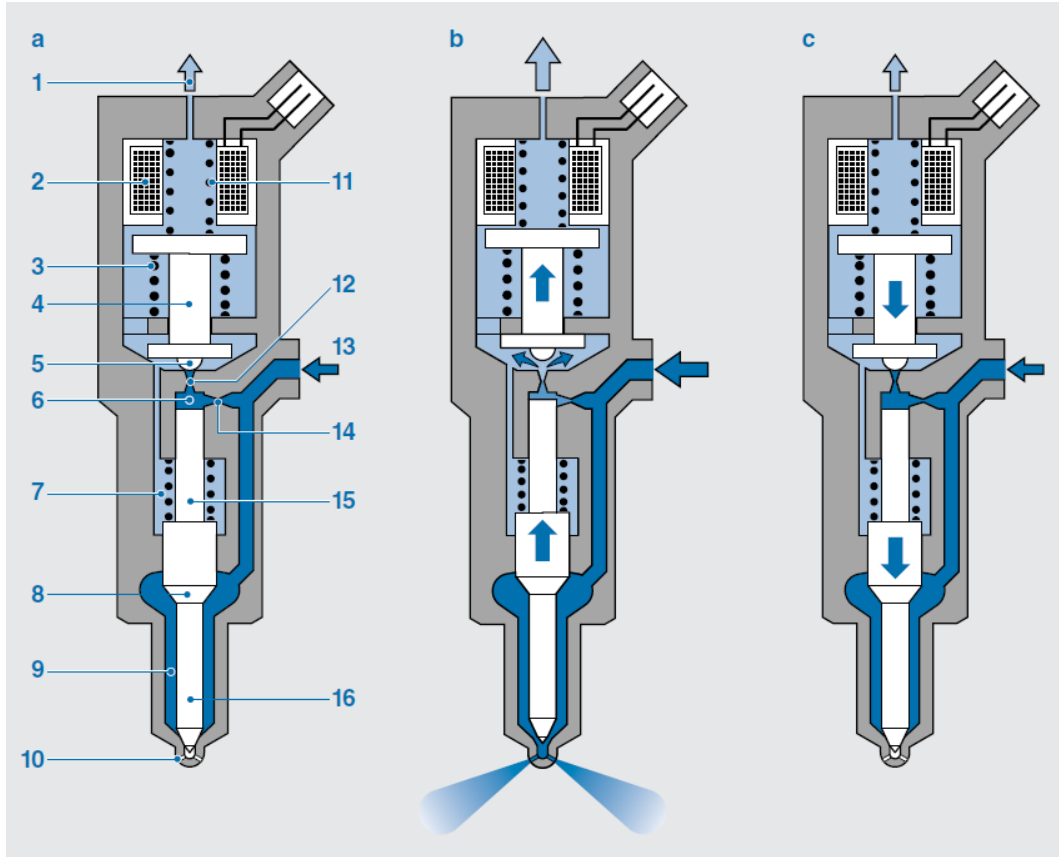
Temel olarak 2 farklı kontrol sistemine sahip olan enjektörler solenoid valfli ve piezo elektrik element kontrollü olarak adlandırılmaktadır.

Solenoid valfli enjektörler, temel olarak enjektör memesi, hidrolik servo sistem ve solenoid valf kısmından oluşmaktadır. Şekil 1. 5'te solenoid valfli enjektör örneği gösterilmiştir.



Şekil 1. 5 Solenoid Enjektör [6]

Solenoid valfli enjektörün başlıca dört çalışma evresi bulunmaktadır. Bunlar enjektör kapalı konumu, enjektör açılma (püskürtme başlangıcı) evresi, enjektör açık konumu, enjektör kapanma (püskürtme sonu) evreleridir. Enjektörün fonksiyonel olarak şematik resmi aşağıda Şekil 1. 6'da gösterilmektedir.

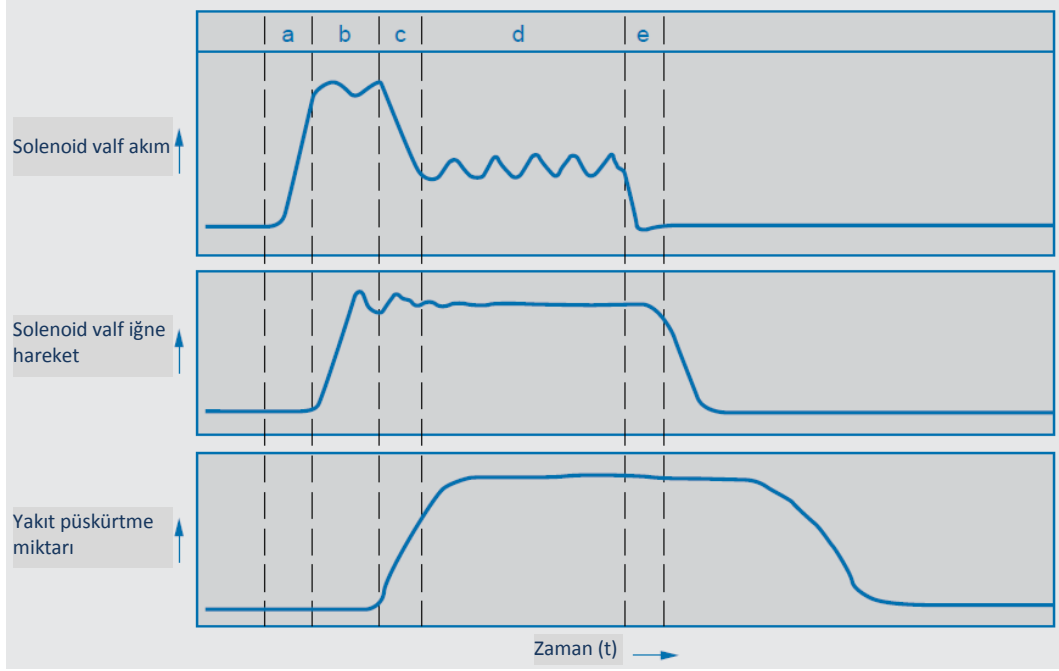


Şekil 1. 6 Solenoid Valfli Enjektör Çalışma Prensibi [2]

Yukarıdaki şematik resimde, "a" durumu enjektör kapalı konum, "b" durumu enjektör açılma, "c" konumu ise enjektör kapanma evrelerini temsil etmektedir. Solenoid valfle manyetik kuvvetlerden yararlanılarak, iğne arkasındaki basıncın düşürülmesi sağlanmakta ve enjektör memesindeki deliklerden püskürtme gerçekleştirilmektedir. Solenoid valfin tetiklenme süresi, iğne arkasındaki basıncın düşük kalma zamanını değiştirdiğinden iğnenin açık kalma süresi ile ilişkilidir. Bu ilişki memede gerçekleştirilen püskürtme miktarını etkilemektedir.

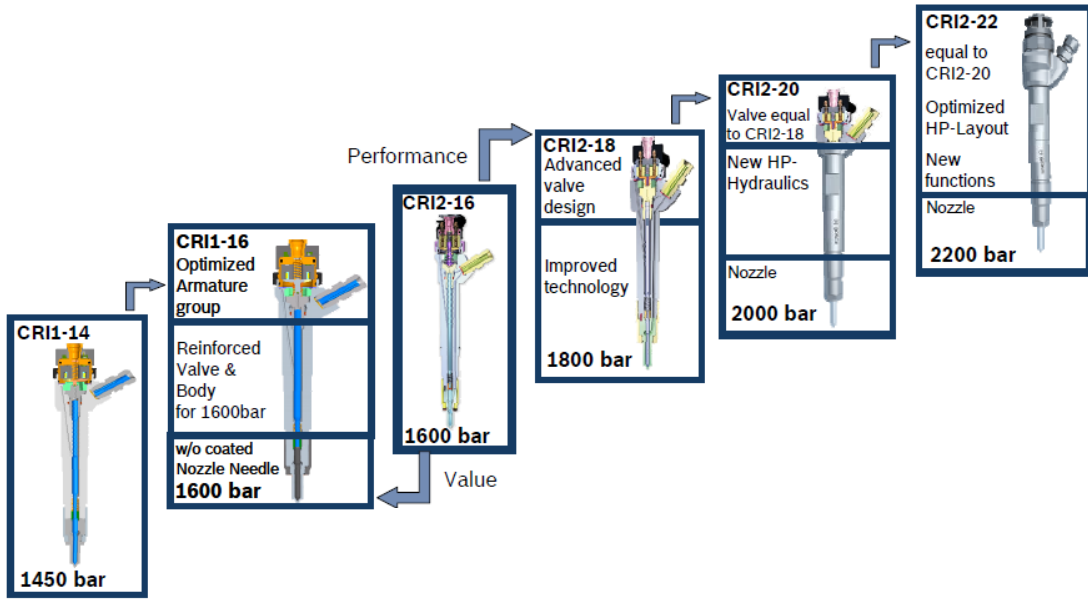
Aşağıdaki Şekil 1. 7'de enjektör solenoid valfin tetiklenme süresiyle, iğnenin açılmasıyla ve püskürtme miktarındaki değişimle ilgili grafikler gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi, solenoid valfin tetiklenmesi sonrası iğne arkasında basıncı sabitleyen küçük bilye yukarıya doğru hareket eder ve basınç düşüşü başlar. Basınç düşüşünün

başlamasıyla beraber iğnenin yukarı hareketi sağlanır ve meme deliklerinden yüksek basınçlı yakıtın püskürtülmesi gerçekleşir.



Şekil 1. 7 Bir Püskürtme Sırasında Solenoid Valf Tetiklemesi [2]

Bosch 'un solenoid valfli enjektör geliştirmede binek araçlardaki tarihsel değişimi Şekil 1. 8'de gösterilmekle beraber 1800 barlık ve 2000 barlık sistemler günümüzde yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler CRI1 ve CRI2 olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 1. 8 Bosch Solenoid Valfli Enjektör Jenerasyonları [7]

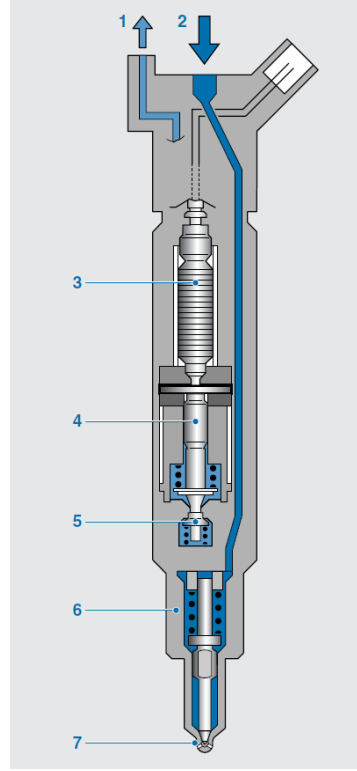
Piezo elektrik aktüatörle tetiklenen piezo enjektörler, solenoid valfli enjektörlere göre iğneyi daha hızlı açıp kapama kabiliyetine sahiptirler. Bu özellik ile, bir diesel çevriminde daha fazla püskürtme sayısına ulaşabilmektedirler. Ancak piezo elektrik elementin enjektör maliyetini arttırması sebebiyle sadece yüksek sınıf araçlarda tercih edilmektedirler. Piezo enjektörler temel olarak aktör modül, hidrolik dönüştürücü, kontrol ve servo valf ile meme modülünden oluşmaktadır. Aşağıda Şekil 1. 9’da piezo enjektör resmi gösterilmektedir.



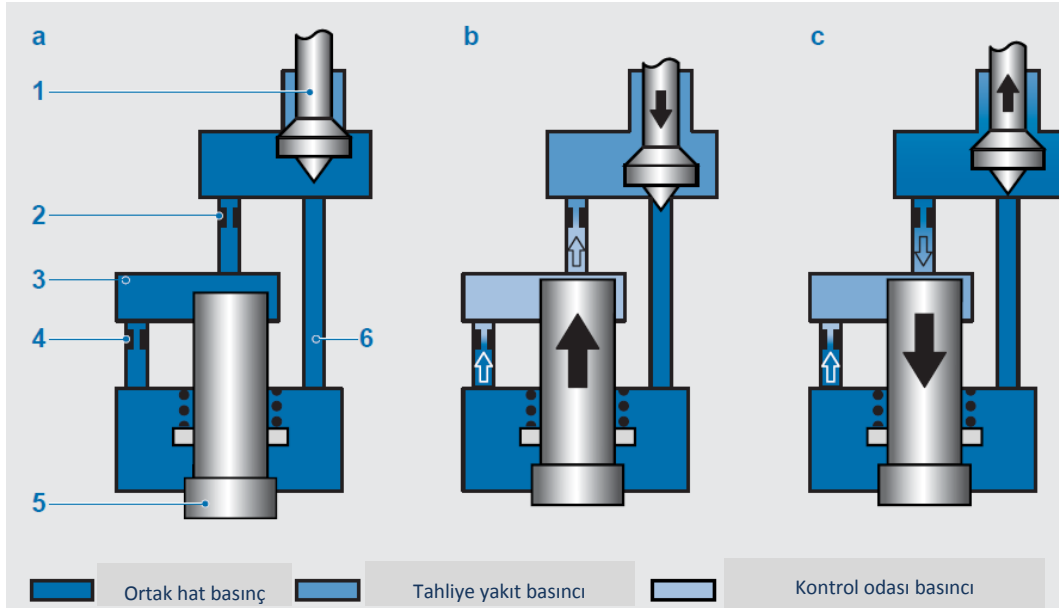
Şekil 1. 9 Piezo Enjektör [6]

Piezo enjektörde, iğne arkasındaki basıncın değişimi solenoid valfte olduğu gibi hidrolik denge ile sağlanmakta ancak hidrolik boşaltma işlemi enjektör içinde bulunan piezo elektrik elementin tetiklenme sırasındaki boy değişiminden faydalanarak gerçekleştirilmektedir. Bu elementin kalıcı deformasyona uğramaması enjektörün ömrü boyunca aynı yer değiştirmeyi sağlamasına olanak sunmaktadır. Ayrıca tepki süresinin kısa olması hızlı açılıp kapanma işlemi getirmektedir. Aşağıda piezo enjektör içindeki hidrolik denge şematik olarak Şekil 1. 10’da gösterilmiştir.

Piezo elektrik elementin, servo valf vasıtasıyla meme iğnesinde açılma ve kapanmayı nasıl sağladığı, meme iğnesi üzerindeki hidrolik dengenin piezo tetiklenmesiyle beraber ne şekilde değiştiği aşağıda Şekil 1. 10’da detaylı olarak gösterilmektedir. “a” konumu başlangıç pozisyonu, “b” konumu iğnenin açılma durumu, “c” konumu ise iğnenin kapanma konumunu simgelemektedir.



Şekil 1. 10 Piezo Enjektör Hidrolik Denge

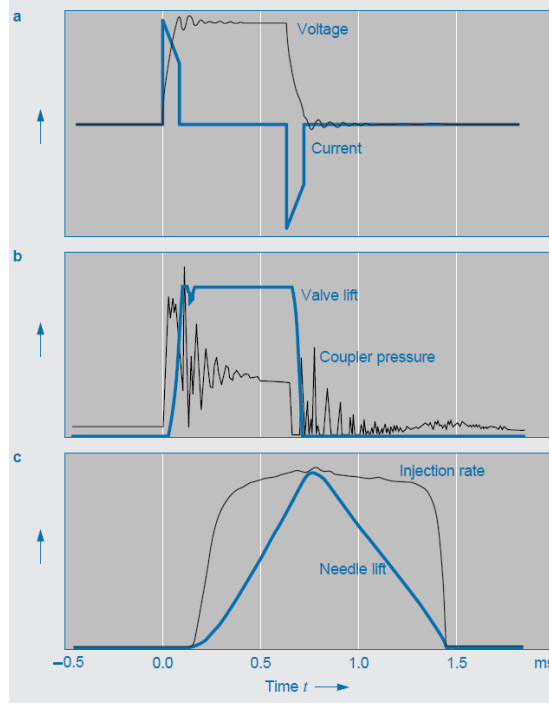


Şekil 1. 11 Piezo Enjektör Servo Valf Çalışma Prensibi

Piezo enjektörlerde solenoid enjektörlerden farklı olarak meme modülü kullanılmaktadır. Meme modülü ile P-meme arasındaki farklar bir sonraki kısımda detaylı olarak anlatılacaktır. Piezo enjektörlerin başlıca yararları, çoklu püskürtmede daha yüksek sayılara ulaşabilme, daha düşük ön püskürtme yapabilme, solenoid valfli

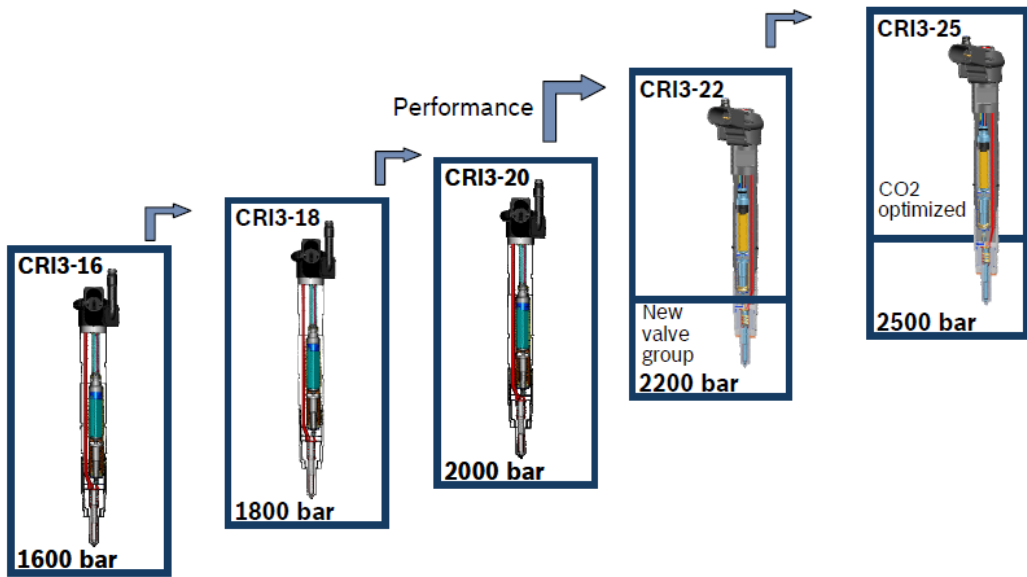
enjektörlere göre daha kompakt yapıda ve daha hafif olma, düşük emisyon ve yüksek motor performansı sağlamasıdır.

Piezo tetiklenmesi ile iğnedeki hareket ve püskürtme miktarları arasındaki ilişki aşağıda Şekil 1. 12’de gösterilmiştir.



Şekil 1. 12 Piezo Enjektör Tetiklenmesi

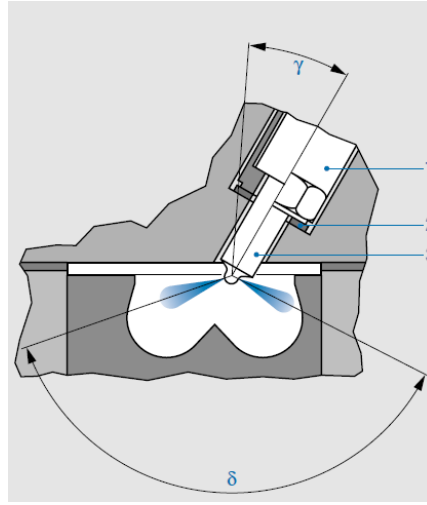
Piezo enjektörler 2500 bar basınç seviyesine kadar geliştirilmiş olup, tarihsel gelişimi Şekil 1. 13’te gösterilmektedir.



Şekil 1. 13 Piezo Enjektör Jenerasyonları [7]

#### 1.1.4 Diesel Enjektör Meme Tipleri

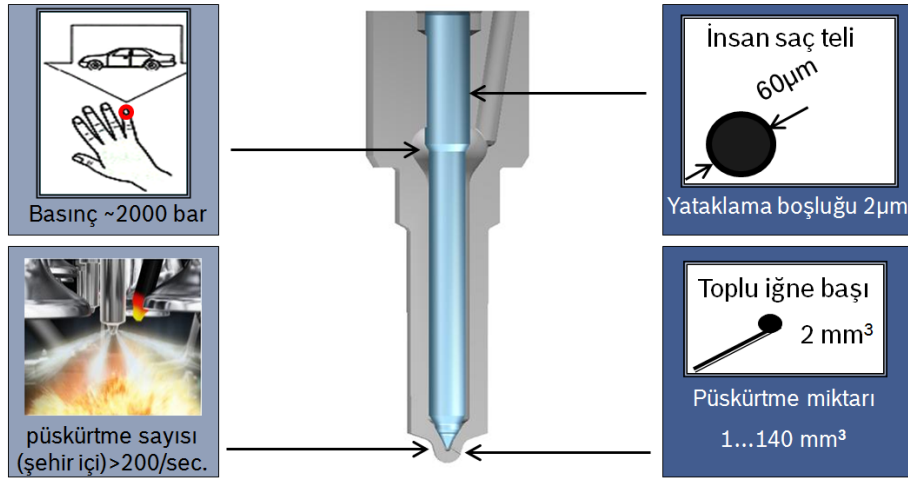
Günümüzde CRI enjektörlerde kullanılan iki farklı meme mevcuttur. P-meme ve meme modülü olarak adlandırılan bu memeler farklı enjeksiyon sistemlerinde hidrolik ve dayanım gerekliliklerine göre tercih edilmekte ve tasarımı her bir motor uygulamasına özel olarak yapılmaktadır. Meme veya enjektör motor tasarımına uygun olacak şekilde monte edilmekte ve temel olarak enjektör gövdesi, sızdırmazlık pulu, meme kısmından oluşmaktadır. Motordaki durum aşağıda Şekil 1. 14'te gösterilmiştir [2].



Şekil 1. 14 Motorunda Meme Pozisyonu [2]

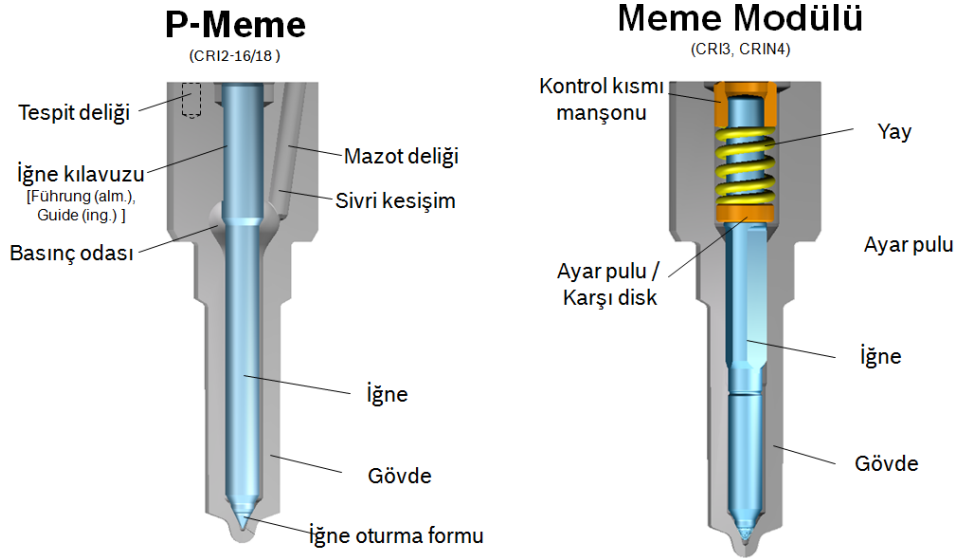
Yukarıda gösterilen tasarımda, "1" bağlama somunu, "2" sızdırmazlık pulu, "3" meme gövdesi olarak adlandırılmaktadır. Memenin motora göre bağlama açısı ve sprejlerin açıları da şekil üzerinde görülmektedir. Memelerin temel görevi, enjektör tetiklemesi sonrası değişen hidrolik dengenin etkisiyle, gövdede bulunan delikler aracılığıyla gerekli yakıt püskürtme işlemini gerçekleştirme ve yanmanın başlamasını sağlamaktır. Ayrıca enjektörün yanma odasına açık tek elemanı olduğundan motordaki yanma sırasında oluşan sıcaklıklara karşı dayanım göstermesi gerekmektedir. Meme geometrisindeki temel tanımlamalar Şekil 1. 15'te gösterildiği gibidir.

Diğer yandan günümüz modern enjektörlerde yaygın olarak kullanılan P-meme ile meme modülü arasındaki temel tasarım farkları Şekil 1. 16'da gösterilmektedir. P-meme gövde ve iğne olmak üzere iki elemandan oluşurken, meme modülü iğne ve gövdeye ilave olarak yay ve 2 adet yataklama elemanını içermektedir.



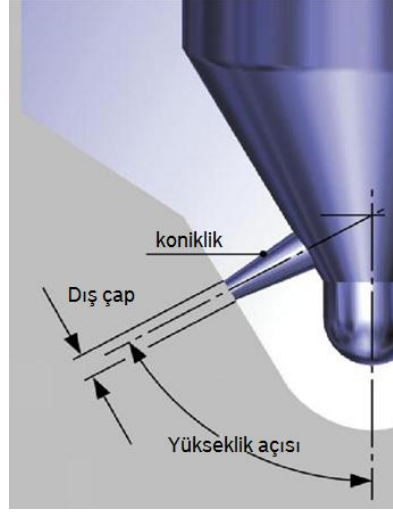
Şekil 1. 15 Temel Meme Ölçüleri [8]

Memedeki temel ölçüler mikrometre mertebesinde kontrol edilen oldukça hassas ölçüler olmakla beraber, özel imalat teknikleri kullanılarak üretilmektedir. Bu ölçülerdeki çok ufak değişimler bile motor performansını, emisyon değerlerini veya dayanımını etkilemektedir.



Şekil 1. 16 Meme Tipleri [8]

Her iki meme tipinde de fonksiyon ve dayanım açısından hassas olan bölge kubbe kısmı olup, delikler farklı geometrik parametrelerle ve hidrolik olarak kontrol edilmektedir. Meme delikleri istenilen motor performansını sağlayacak şekilde tasarlanmakta, delik çapı, delik konikliği, açıları ve hidrolik debisi her motor için özel olarak üretilmektedir. Aşağıda delik geometrisi Şekil 1. 17’de gösterilmiştir.



Şekil 1. 17 Meme Delik Geometrisi

P-meme veya meme modülü motorda yanma sonrasında çok yüksek sıcaklıklara maruz kaldığından, malzeme dayanım sınırları önemli rol oynamakta ve her motora uygun olan doğru malzeme seçimini yapma zorunluluğu bulunmaktadır. Kullanılan malzemelerin detayları bir sonraki kısımda anlatılmaktadır.

#### 1.1.5 Diesel Enjektör Meme Malzemeleri

Diesel enjektör memelerinde kullanılan iki farklı malzeme mevcuttur. Bu malzemelerden birisi 18CrNi8 adıyla bilinen ve sementasyon çelikleri ailesine ait olan bir çeliktir.

Bu çelik, yüzeyden sert ve aşınmaya dayanıklı, çekirdekte ise daha yumuşak ve tok özelliklerin istendiği, değişken ve darbeli zorlanmalara dayanıklı parçaların üretiminde kullanılan düşük karbonlu, alaşımlı veya alaşımsız çeliklerdendir. Sementasyon çeliği de denilen bu çelik ailesindeki çeliklerin yüzeylerine karbon emdirilebilir, daha sonra su verilebilir ve bu yolla yüzeylerinde 59-67 HRC dolaylarında sertlik elde edilebilir. Sementasyon işlemi, yüzey sertliği aşınma dayanımı, sürekli dayanımı iyileştirici özelliğe sahip olmakla birlikte parça çekirdek bölge dayanımı ve sünekliği de iyileştirir. Bundan dolayı büyük yüklerin taşınması, ve darbe tarzındaki yüklerin karşılanmasını sağlayan yapıya sahiptir. Bu özellik, enjektör iğnesinin yüksek hızlarda ve darbeli olarak çalıştığı durumlar için aranan bir özelliktir. Her ne kadar darbeli yüklerle karşı aranan bir özelliği olsa da, 18CrNi8 malzeme yüksek sıcaklıklarda sürekli ya da periyodik ve/veya anlık sıcaklık yüklemelerine karşı narin bir yapıya sahiptir. Özellikle uzun süre maruz kalınan

ve temperleme sıcaklığının üzerindeki yüksek sıcaklıklar ile, kısa sürelerde ancak sayıca fazla olarak temperleme sıcaklığının üzerine çıkılması da malzeme iç yapısında değişikliklere sebep olmakla beraber sertlik ve dayanım düşüşünü beraberinde getirmektedir. Bu durum göz önüne alındığında, anlık ve/veya sürekli olarak motordan gelen yüklerin 18CrNi8 malzemenin temperleme sıcaklığının üzerine çıktığı özel durumlarda, ısı tokluğu, stabilitesi ve dayanımı daha yüksek olan X40 malzemesine geçiş yapılmaktadır [6], [8].

X40, sıcak iş takım çeliği ailesine mensup bir malzemedir. Genel olarak yüksek sıcaklıklarda sertliğini, ısı iletkenliğini, tokluğunu ve aşınma direncini kaybetmeyen, su ile soğutulabilen ve nitrasyon yapılabilen, tane sınırlarında karbür çökeltisi olmayan ince taneli mikro yapıya sahip, düşük fosfor ve kükürt alaşımı içeren sıcak iş takım çeliğidir. Genel olarak yüksek ısı yorulma direnci ve mukavemetine, ayrıca yüksek tokluk ve sünekliğe sahip olması sebebiyle yüksek dayanım gerektiren metal enjeksiyon ve sıcak dövme kalıpları ile çeşitli sıcak metal işleme takımlarında kullanılır.

Her iki malzemenin ortak özelliği, ısı işlem altında ciddi yüzey sertliklerine ulaşmalarına rağmen malzeme çekirdeğinin süneklik ve tokluk değerlerini kaybetmemesidir. Bu şekilde, meme üzerine çok küçük bir kontak alanı üzerinden ve darbeli olarak etkiyen iğne kapanma kuvvetini, kırılma göstermeden karşılayabilmekte ve sönümleyebilmektedir. Bu da meme ömrünün artmasında ciddi bir pozitif etki sağlamaktadır [6], [8].

## **1.2 Tezin Amacı**

CRI sisteminin diesel motor dünyasındaki önemi ve sistemin motorla birebir kontak halinde olan parçasının enjektör olduğu önceki kısımlarda detaylı olarak anlatılmıştır. Bu şartlar altında enjektör memesinin motorda maruz kaldığı sıcaklıklar ve meme malzemesinin bu sıcaklıklar karşısındaki davranışını daha iyi anlamak, yeni tasarımlarda doğru kararlar alınmasını ve olası saha hatalarını engellemeyi sağlayacaktır.

Motor üreticisine test için gönderilen memelerin çalıştırıldığı test çevrimiyle alakalı bilgi aktarımı sağlansa bile, motorda sıcaklığı etkileyen diğer parametrelerin bilgisi motor üreticisinden tam olarak edinilememekte ve bu durum görülen sıcaklıkların kök

sebebini bulmada zorluk oluşturmaktadır. Malzemenin sertliğini etkileyen sıcaklık değerine ne şekilde maruz kaldığı sertlik davranışını etkilemekte ve maksimum deformasyonu sağlayacak senaryo bulunmaya çalışılmaktadır. Malzemenin sınır koşullarındaki sertlik durumu belirlenerek malzeme seçimi güvenilir hale gelmektedir.

Bu tez kapsamında, meme malzemesinde sertlik düşüşüne neden olacak sıcaklıkların fırın testleri ile simule edilmesi, motorda farklı test çevrimleri kullanarak fırın testlerinin doğrulanması amaçlanmaktadır. Bu sayede hem statik şartlarda hem de dinamik şartlarda meme malzemesi daha iyi tanınacak ve doğru seçim için hangi yüklemelerin yapılması gerektiği öğrenilecektir. Ayrıca, motorda meme kubbesinde sıcaklıkları yükselten bazı motor çalışma parametreleri üzerinde durularak, birbirleriyle olan etkileşimleri incelenecektir. Bu bilgi sayesinde müşterilerde yapılan testlerde karşılaşılan olası sıcaklık yükselmelerinin sebebini bulmak için hangi parametrelerin sorgulanması gerektiği öğrenilecektir.

Tez kapsamında yapılacak olan motor testleri, Bosch Bursa Ar-Ge departmanı olarak motor üreticisinden bağımsız yapılan testler olup araştırma amaçlı gerçekleştirilecektir.

Gerçekleştirilen sanayi-üniversite işbirliği ile bilgi paylaşımı sağlanacak ve akademik olarak alınan danışmanlık desteğiyle projenin yol haritası doğru bir şekilde çizilmeye çalışılacaktır.

### **1.3 Hipotez**

Günümüzde değişen motor işletim şartları ile beraber, enjektör memelerinin yanma odasında maruz kaldığı sıcaklıklar değişmiş, meme malzeme seçiminin önemi artmıştır. Malzeme dayanım sınırlarının değişen koşullara göre yeniden incelenmesi gerektirmiştir. Malzeme üzerine etkisi olan parametrelerin detaylı olarak araştırılması sistemin gerekliliklerini daha iyi anlamayı sağlayacak ve tasarım güvenilirliğini arttırmıştır. Yapılan tez çalışması, akademik düzeyde ve sanayide, günümüz ve geleceğimiz motor uygulamaları ile enjektör memesi ilişkisine ışık tutmuştur.

## BÖLÜM 2

---

### FIRIN TESTLERİ

Enjektör meme malzemesine karar verilirken öncelikle motorda silindir içinde maruz kalacağı sıcaklık bilgisi alınmaktadır. Bu sıcaklık bilgisine göre meme malzemesine karar verilmekte ve motorda hasara maruz kalmaması sağlanmaktadır. Meme malzemesinin sıcaklık karşısında ne tür bir davranış gösterdiğini anlayabilmek için Bosch Ar-Ge laboratuvarında bulunan fırında farklı test denemeleri yapılmıştır. Bu bölümde, fırın testlerinde izlenen yollar ile test sonrası meme sertlik sonuçları detaylı olarak anlatılacaktır.

#### 2.1 Fırın Test Senaryoları

Fırında gerçekleştirilecek testler için farklı senaryolar hazırlayarak meme malzemesi açısından hangi parametrenin daha kritik olduğu anlaşılmaya çalışılmıştır. Maksimum sıcaklık, zaman ve frekans üzerinde durulması düşünülen üç parametredir.

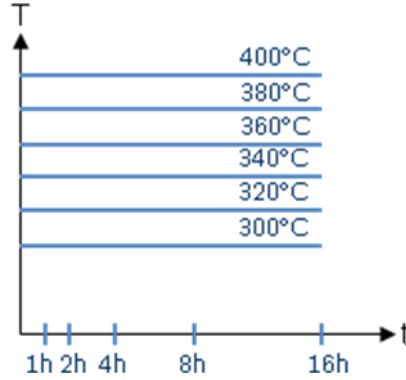
Bosch Ar-Ge laboratuvarında bulunan fırında, seri üretimden alınan memeler kullanılarak, farklı sıcaklıklarda sertlik düşüşleri, sabit sıcaklık altında farklı sürelerde meme malzemesinin davranışı ve sabit sıcaklıklarda farklı frekansla zorlanan memelerin sıcaklık davranışlarına bakılmıştır.

İlk olarak sabit sıcaklık altında farklı test süreleri ile araştırmalar başlatılmıştır. Fırın içi test sıcaklıkları 300°C – 320°C – 340°C – 360°C – 380°C – 400°C olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklıklar altında memeler fırın içinde 1h – 2h – 4h – 8h – 16h süreyle bekletilmiştir. Aşağıda Çizelge 2. 1 'de işlem adımları gösterilmektedir.

Çizelge 2. 1 Statik Test İşlem adımları [8]

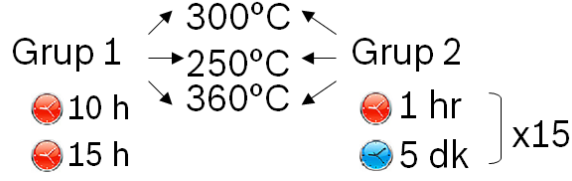
İşlem Adımları
1 Yağlı olarak bulunan 25 adet parça yıkanacaktır.
2 Parçalar 1'den-25'e kadar numaralandırılacaktır.
3 Diğer 25'lik setlerde parça numarası bir önceki sette kalan numaradan itibaren devam edecektir. Örnek 2.set: 26-27....50
4 Sabah saat 08:00 de fırın sıcaklığı 300°C'ye ayarlanacaktır.
5 Diğer 25'lik setlerde sıcaklık sırasıyla 320 - 340 - 360 -380 - 400°C'ye ayarlanacaktır.
6 20 adet parça, her sepette 5 adet meme olacak şekilde yerleştirilecektir.
7 Sıcaklık 300°C'de sabit olduktan sonra ( 09:00), 4 sepet ( 20 adet parça) fırına konulacaktır.
8 300°C'de 1 saat geçtikten sonra (10:00), 1 sepet fırın içinden alınıp, dışarıda soğumaya bırakılacaktır.
9 300°C'de 2 saat geçtikten sonra ( 11:00), 1 sepet fırın içinden alınıp, dışarıda soğumaya bırakılacaktır.
10 300°C'de 4 saat geçtikten sonra ( 13:00), 1 sepet fırın içinden alınıp, dışarıda soğumaya bırakılacaktır.
11 300°C'de 8 saat geçtikten sonra ( 17:00), 1 sepet fırın içinden alınıp, dışarıda soğumaya bırakılacaktır.
12 Fırna daha önce girmeyen 5 adet parça, 1 tane sepete dizilerek fırına konulacaktır. (17:00)
13 Parçalar fırında 16 saat kaldıktan sonra ertesi gün saat 09:00 da fırından çıkarılarak soğumaya bırakılacaktır.

Bu test planında memenin maruz kalacağı sıcaklık-zaman grafiği şematik olarak aşağıda Şekil 2. 1 'de gösterilmiştir. Bu test ile hem maksimum sıcaklığın malzeme sertliği üzerine etkisi incelenecek hem de farklı sürelerde fırın içinde tutularak zaman etkisi izlenecektir.



Şekil 2. 1 Statik Test Sıcaklık-Zaman Grafiği

Bu test tamamlandıktan sonra seçilen üç farklı sıcaklık değerinde fırın içinde memeler statik ve dinamik olarak ısıya maruz bırakılarak, daimi sıcaklık ve değişken sıcaklık arasındaki farklar anlaşılmaya çalışılacaktır. Bu amaç kapsamında yapılacak testler iki gruba ayrılmış, statik ve dinamik olarak adlandırılmıştır. Aşağıda Şekil 2. 2'de gösterilmektedir.



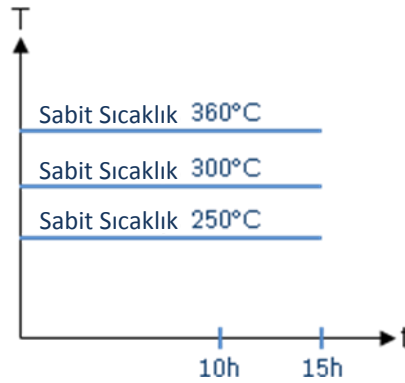
Şekil 2. 2 Test Grupları

Grup 1 için uygulanacak işlem adımları aşağıdaki Çizelge 2. 2’de gösterilmiştir. Grup 1 testindeki memeler, 250-300-360°C ‘deki fırın sıcaklıklarında 10 saat ve 15 saat durgun halde bekletilecek daha sonra sertlik ölçümleri yapılmıştır.

Çizelge 2. 2 Grup 1 İşlem Adımları [8]

Grup 1 İşlem Adımları	
Test süresi= 10h	
1	Fırın 250°C ‘ye ayarlanacak
2	5 adet 226-230 no.lu parçalar fırına koyulacak.
3	10 saat fırında kaldıktan sonra parçalar fırından çıkarılacaktır. (Başlama - Bitiş saati: 07:30-17:30)
Test süresi= 15h	
1	Fırın 250°C ‘ye ayarlanacak
2	5 adet 241-245 no.lu parçalar fırına koyulacak.
3	15 saat fırında kaldıktan sonra parçalar fırından çıkarılacaktır. (Başlama - Bitiş saati: 17:00-08:00)

Grup 1 testinde memelerin maruz kaldığı sıcaklık zaman grafiği şematik olarak Şekil 2. 3’te gösterilmektedir.

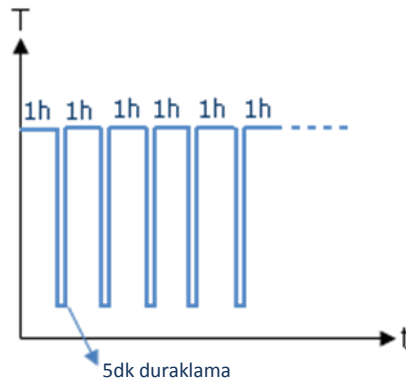


Şekil 2. 3 Grup 1 Test Sıcaklık-Zaman Grafiği

Grup 2 için uygulanacak işlem adımları aşağıdaki Çizelge 2. 3’de gösterilmiştir. Grup 2 testindeki memeler, 250-300-360°C ‘deki fırın sıcaklıklarında 10 saat ve 15 saat süresince her saat başı 5 dk fırın dışına alınarak test edilmiştir. Her saat başında fırın içinden 5 meme sertlik ölçümü için çıkarılmıştır. Frekansı yüksek olan sıcaklık değişimlerinde meme malzemesinin davranışını görmek açısından planlanan bu testte memelerin maruz kaldığı sıcaklık-zaman grafiği aşağıda Şekil 2. 4’te gösterilmiştir.

Çizelge 2. 3 Grup 2 İşlem Adımları

<b>Grup 2 İşlem Adımları</b>
<b>Test Süresi= (1h ısıtma+5dk soğutma)x15</b>
1 Fırın sıcaklığı 250 °C'ye ayarlanacaktır
2 1'den 75'e kadar numaralandırılmış, 75 adet parça sepetlere dizilerek fırına koyulacaktır. (Başlama saati: 07:30)
3 75 adet parça fırında 1 saat bekleyecektir. (07:30-08:30)
4 1. saatin sonunda tüm parçalar fırından çıkarılarak 5 dk dışarıda soğumaya bırakılacaktır. Bekleme esnasında 1-5 numaralı parçalar sepetten alınarak kenara ayrılacaktır. (08:30-08:35)
5 5dk sonunda 70 adet parça tekrar fırına koyulacaktır. (08:35)
6 70 adet parça fırında 1 saat bekleyecektir. (08:35-09:35)
7 1 saatin sonunda 70 adet parça fırından çıkarılarak tekrar 5dk soğumaya bırakılacaktır. Bu esnada 6-10 numaralı parçalar kenara ayrılacaktır. (09:35-09:40)
8 Kalan 65 adet parça tekrar fırında 1 saat bekleyecektir.



Şekil 2. 4 Grup 2 Test Sıcaklık-Zaman Grafiği

Grup 2 testinde kullanılan memelerin test detayı Çizelge 2. 4'te planlandığı gibidir.

Çizelge 2. 4 Grup 2 Test Detayı

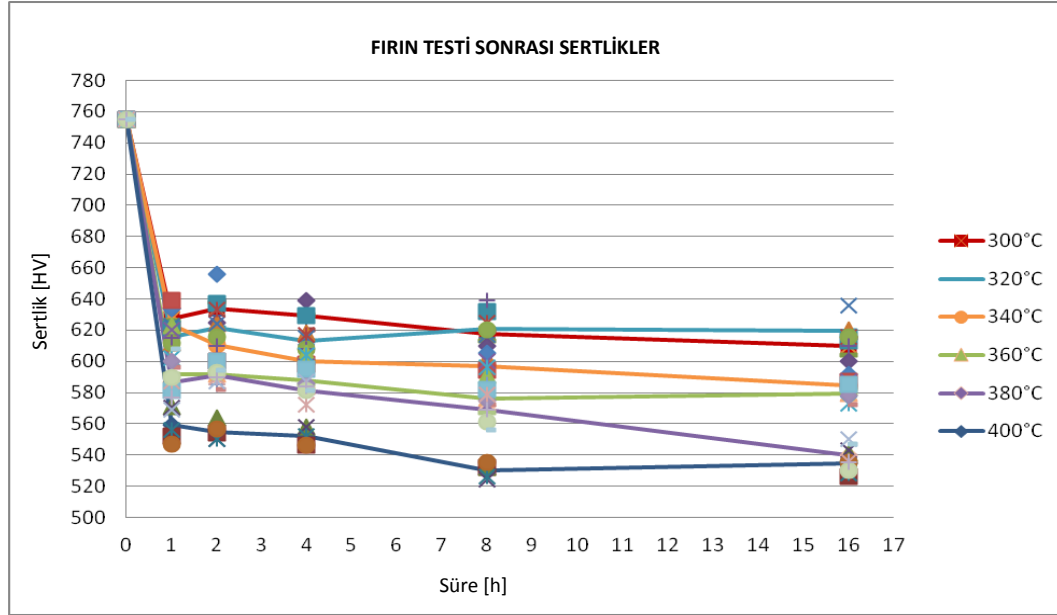
Parça	Fırında kalma süreleri	5dk bekleme
75 adet	07:30-08:30	08:30-08:35
70 adet	08:35-09:35	09:35-09:40
65 adet	09:40-10:40	10:40-10:45
60 adet	10:45-11:45	11:45-11:50
55 adet	11:50-12:50	12:50-12:55
50 adet	12:55-13:55	13:55-14:00
45 adet	14:00-15:00	15:00-15:05
40 adet	15:05-16:05	16:05-16:10
35 adet	16:10-17:10	17:10-17:15
30 adet	17:15-18:15	18:15-18:20
25adet	18:20-19:20	19:20-19:25
20 adet	19:25-20:25	20:25-20:30
15 adet	20:30-21:30	21:30-21:35
10 adet	21:35-22:35	22:35-22:40
5 adet	22:40-23:40	

Planlanan fırın test senaryoları gerçekleştirildikten sonra elde edilen sertlik verilerinin analizi bir sonraki kısımda detaylı olarak anlatılacaktır.

## 2.2 Meme Sertlik Sonuçları

Üç farklı fırın testi planlamasına ilişkin elde edilen verilere göre meme malzemesinin sertlik davranışı incelenmiştir.

Sabit sıcaklıklarda farklı sürelerde gerçekleştirilen statik test sonuçları aşağıda Şekil 2. 5 'te gösterilmiştir. Bu testte farklı sıcaklıklarda 1-2-4-8-16 saat sürelerle fırın içinde ısıtılmış olan memelerin sertliklerine bakılmaktadır [9].

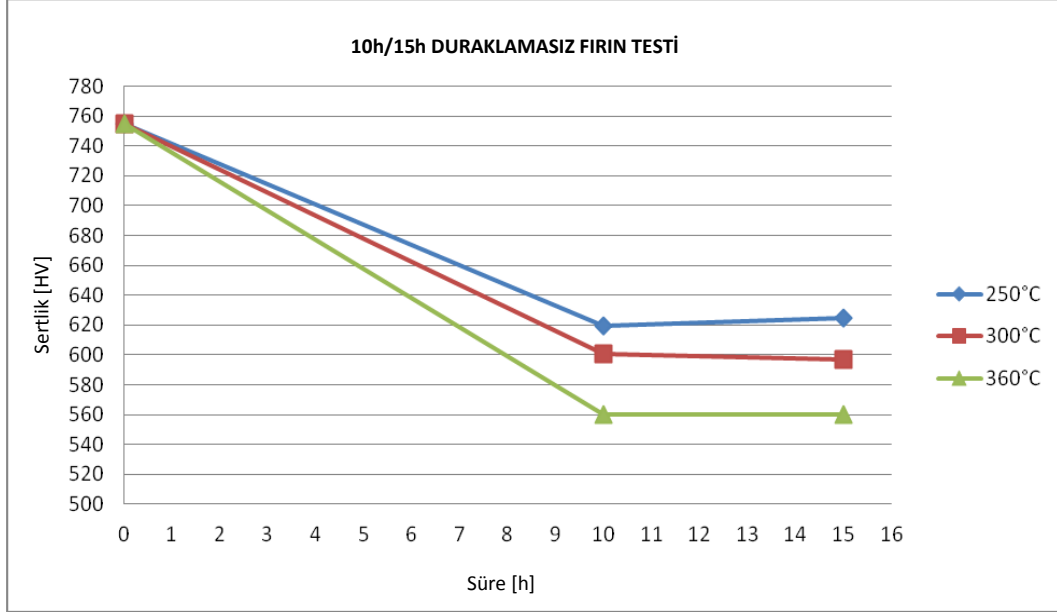


Şekil 2. 5 Statik Test Sertlik Değişimi [9]

Grafikten anlaşılacağı gibi meme malzemesi maksimum sıcaklığa maruz kaldığı ilk 1 saatte en yüksek sertlik düşüşünü yaşamakta ve test süresi uzadıkça düşüş küçük oranlarla devam etmektedir.

Maksimum sıcaklığın frekansının sertlik düşüşüne etkisinin ne olacağını incelemek için tasarlanan grup 1 ve grup 2 testleri için elde edilen sonuçlar aşağıda gösterildiği gibidir.

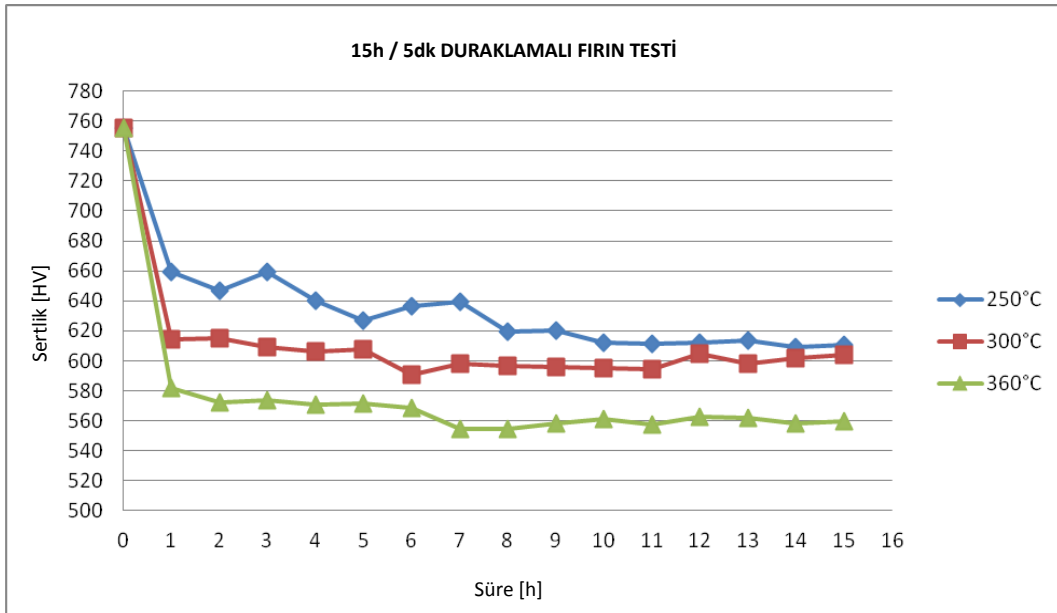
Grup 1 testi, statik test şartının tekrarı niteliğinde olup 250-300-360°C gibi üç farklı fırın sıcaklığında 10 saat ve 15 saat sürelerle tamamlanmıştır. Test sonrası sertlik ölçümü yapılan memelerin sertlik düşüşleri Şekil 2. 6 'da gösterilmiştir.



Şekil 2. 6 Grup 1 Test Sertlik Değişimi [9]

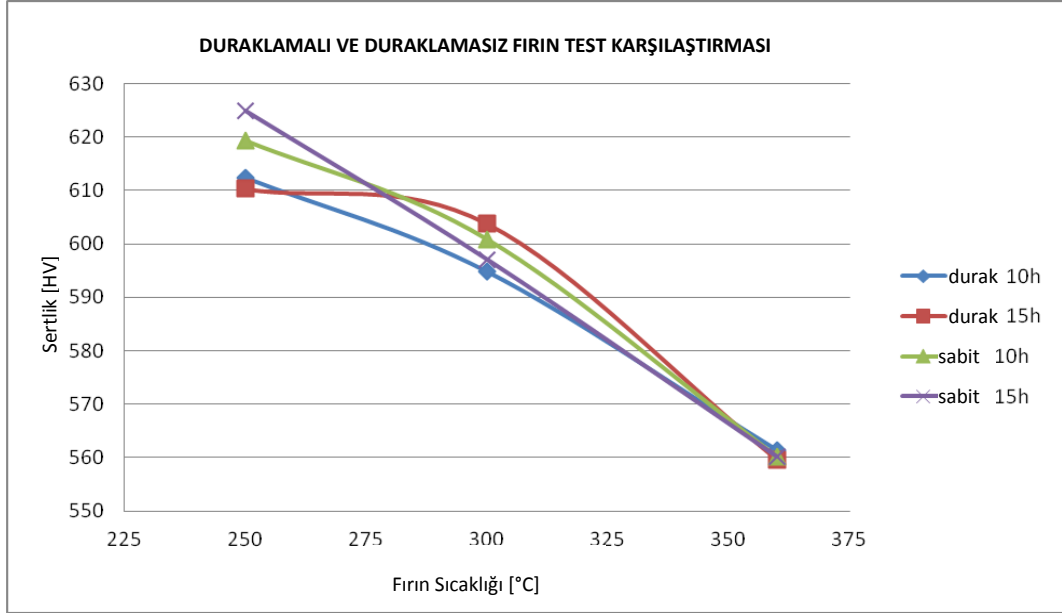
Grup 1 test sonuçlarına bakıldığında 10 saat sonuçları ile 15 saat sonuçları arasında çok fark olmadığı, 10 saatten sonra sertlik düşüşünün yavaşladığı ve dikkate alınmayacak kadar küçük oranda olduğu düşünülmektedir.

Grup 2 testleri, dinamik koşulları simule etmek adına 250-300-360°C fırın sıcaklıklarında 15 saat süresince her saat başında 5 dk 'lık soğutma etkisi yaratacak şekilde tamamlanmıştır. Test sonucunda elde edilen sertlik değerleri aşağıda Şekil 2. 7'de gösterilmektedir.



Şekil 2. 7 Grup 2 Test Sertlik Değişimi [9]

Frekansın etkisini inceleyebilmek için, Grup 1 ve Grup 2 test sonuçlarının 10. ve 15. Saatlerde karşılaştırması yapılmış, aşağıdaki Şekil 2. 8'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 8 Grup 1-2 Test Karşılaştırması [8]

250°C fırın sıcaklığında, sıcaklık değişim frekansı yüksek olan Grup 2 test grubunda, Grup 1 'e göre daha düşük sertlikler görülürken, 300°C 'de aynı durum gözlenmemiş, 360°C 'de ise frekandan bağımsız olarak sertlik düşüşleri eşitlenmiştir. Tüm test gruplarının sertlik davranışlarına bakıldığında, meme malzemesinin sertlik düşüşünü etkileyen parametrelerden sıcaklık, zaman ve frekansın içinde en baskın karakterin maksimum sıcaklık olduğu, memenin bu sıcaklığa belli bir süre maruz kaldıktan sonra malzeme sertliğinin maksimum düşüşü yaşadığı anlaşılmıştır.

Tüm fırın testlerinde sıcaklık ana girdi olup, memenin motorda yaşadığı diğer tüm çevresel faktörler göz ardı edilmiştir. Fırın testleri malzeme karakterini göstermede büyük pay sahibi olsa da, motorda aynı davranışın sergilenip sergilenmeyeceği bilinmemektedir. Bu nedenle fırın testleri için planlanmış senaryoların motor şartlarında tekrarlanması, testlerin güvenilirliği açısından doğru olacaktır.

Fırın test sonuçlarından elde edilen veriler motor testi planlamalarında girdi oluşturacak ve gerekli test çevrimleri bu bilgiler ışığında tasarlanacaktır. Bir sonraki bölümde motor testleri için yapılan hazırlıklar ve testler sonrası elde edilen sonuçlar detaylı olarak anlatılmaktadır.

### MOTOR TEST DÜZENEGİNİN KURULMASI

Dinamik motor koşulları altında oluşan sıcaklıkları tespit etmek ve enjektör memesinin malzeme davranışını inceleyebilmek adına, Yıldız Teknik Üniversitesi Otomotiv Laboratuvarında diesel motor test düzeneği kurulmuştur. Testler için gerekli ekipmanlar üniversite tarafından karşılanmış olup, testlerde kullanılacak enjektör ve termo-enjektör ve yakıt ihtiyacı Bosch San. ve Tic. A.Ş. tarafından sağlanmıştır.

#### 3.1 Test Düzeneginde Kullanılan Ekipmanlar

Testlerde kullanılmak üzere üniversitede bulunan diesel motorlar arasından PSA grubu motorlarından DV6 jenerasyonu 1.6 HDI 75 HP Diesel motor tercih edilmiştir. Bu motorun tercih edilme sebebi üzerindeki enjeksiyon sisteminin Bosch ürünlerinden oluşması ve herhangi bir değişiklik gerektirmemesidir.



Şekil 3. 1 PSA DV6 1.6HDI Diesel Motor

Motor üzerinde bulunan enjeksiyon sisteminin elektronik kontrol ünitesi Bosch EDC16C34 versiyonu bir ECU olup, Peugeot ve Citroen araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3. 2 Bosch EDC16C34 ECU

Motor test düzeneğinde yükleme/frenleme yapabilmek için kullanılmakta olan dinamometre, 120 kW 'a kadar frenleme yapabilen ve su ile tahrik edilen hidrokinetik bir dinamometredir. Motor devri ve yükü bu dinamometre ile manuel olarak kontrol edilmekte ve istenilen test çevrim şartları sağlanmaktadır.



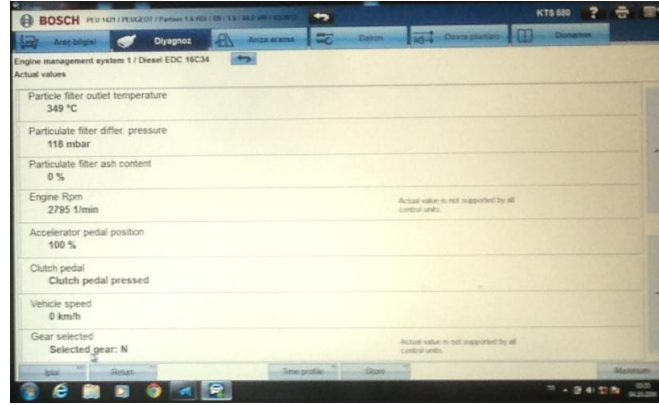
Şekil 3. 3 120kW Hidrokinetik Dinamometre

Testler sırasında ECU üzerinden gelen verileri okuyabilmek, yeni enjektörleri ECU'ya tanıtabilmek ve motor hata kodlarını görebilmek için Bosch KTS550 ESI[tronic] diyagnoz cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ECU üzerinden çok fazla verinin görselleştirilmesini sağlamakla beraber, aynı anda 8 farklı parametreyi anlık olarak izleme olanağı sunmaktadır. Bu nedenle, enjektör memesi kubbe sıcaklığını en çok etkileyeceği düşünülen 8 parametre belirlenerek tüm testlerde takibi bu cihaz ile sağlanmıştır.



Şekil 3. 4 Bosch KTS550 ESI[tronic] Diyagnoz Cihazı

Bosch KTS550 diyagnoz cihazının bilgisayar bağlantısı sağlandıktan sonra, kendi arayüzünde okunan değerler aşağıda Şekil 3. 5 'de gösterilmektedir. Minimum çözünürlük 0,1 mV olup, %1 hassasiyetle veri toplanabilmektedir.



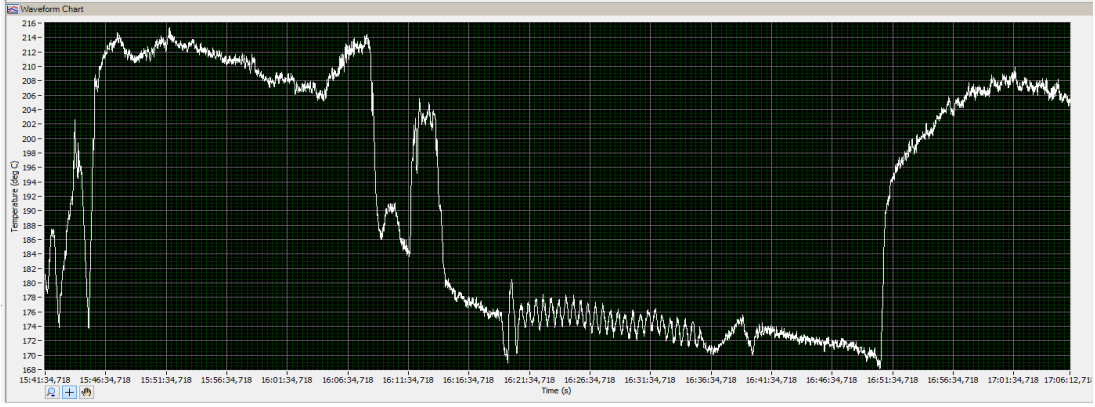
Şekil 3. 5 Bosch KTS550 ESI[tronic] PC Çıktısı

Testler sırasında dört silindirden birine takılacak olan termo-enjektörden gelen sıcaklık verilerini okuyabilmek için National Instruments 9213 model 16 kanallı sıcaklık modülü kullanılmıştır. Bu sıcaklık modülü,  $\pm 78$  mV ve 24 bit ile  $0,02^{\circ}\text{C}$  ölçüm hassasiyetinde sıcaklık verisi toplayabilmektedir. Yüksek çözünürlük modunda 55 ms, yüksek hız modunda ise 740  $\mu\text{s}$  dönüştürme süresi vardır.



Şekil 3. 6 National Instruments 9213 Sıcaklık Modülü

Termo-enjektörden gelen sıcaklık verileri ile ortam sıcaklığını takip etmek amacıyla serbest halde bırakılmış olan sensör verileri, NI Signal Express yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamında 1 Hertz frekansla kayıt altına alınmıştır. Kullanılan yazılımın görsel çıktısı Şekil 3. 7’de gösterilmektedir.

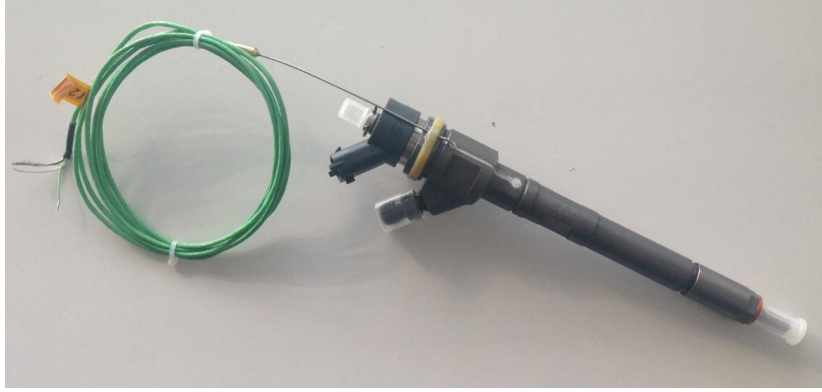


Şekil 3. 7 NI Signal Express Yazılımı

### 3.2 Test Enjektör Bilgisi

Testler sırasında, test düzeneğine entegrasyonu sağlanan PSA DV6 motorunun orjinal enjektör sistemi olan Bosch CRI2.1 (0 445 110 239) enjektörleri kullanılmış, sıcaklık verilerini okuyabilmek adına aynı enjektör tipi için Bosch San. ve Tic. A.Ş. tarafından özel olarak tasarlanıp üretilmiş olan termo-sensör monte edilmiş enjektörler kullanılmıştır. Bosch CRI2.1 enjektör jenerasyonu, solenoid valf ile çalışan ve 1600bar basınç seviyelerine kadar yakıtı püskürtme kabiliyetine sahip olan teknolojiyi içermektedir. Bu enjektör tipinde, PSA DV6 motor aplikasyonuna özel olarak tasarlanmış P-meme olarak adlandırılan meme tipi ile standart meme gövde malzemesi olan 18CrNi8 malzemesi kullanılmıştır. Bu malzemenin sıcaklık sınırı Bosch tarafından 300°C olarak belirlenmiştir [9].

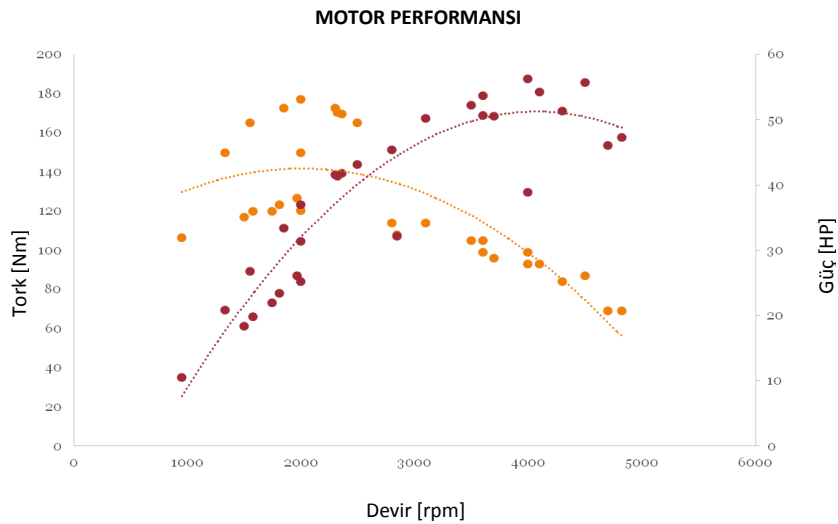
Tüm testler boyunca dört silindirden bir tanesine monte edilecek olan termo-enjektör, Bosch Ar-Ge tarafından Almanya fabrikasında üretilmiş olup, seri üretimden alınan aynı tip enjektöre K-tipi termo element monte edilerek hazırlanmıştır. Memesinin kubbe kısmına yerleştirilen termo element sayesinde motor içerisinde meme kubbesinin maruz kaldığı sıcaklıklar anlık olarak takip edilebilmektedir. Termo elemente ulaşan kabloların enjektör içerisinde geçtiği kanallar Bosch Türkiye Ar-Ge merkezinde tasarlanmıştır.



Şekil 3. 8 Bosch CRI2.1 Thermo-Enjektör

### 3.3 Kurulum Aşamasında Yaşanan Sıkıntılar

Test düzeneği kurulumu sonrasında motorun maksimum güç ve maksimum tork noktalarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu noktalar belirlenirken okunan değerler bize güç-tork grafiğini vermekte ve motor performans haritası oluşturulmaktadır. Maksimum güç noktasının belirlenmesi esnasında motor gerekli torku sağlayamamış ve istenilen güce ulaşamamıştır. Motorun kendi kendini sınırlandırmasının kök nedenleri araştırılmış ve birkaç açık nokta tespit edilmiştir. Emme hava sıcaklığının normalde olması gerektiğinden daha yüksek değerlerde olması ( $\sim 100^{\circ}\text{C}$ ), motor üzerinde bulunan hız sensörünün sinyal alamaması nedeniyle vites konumunu yanlış algılaması ve yakıt sıcaklığının normalin üzerinde olması ( $\sim 100^{\circ}\text{C}$ ) bu duruma sebebiyet vermektedir [8].



Şekil 3. 9 Güç-Tork Grafiği

Yukarıda Şekil 3. 9 'da gösterildiği gibi maksimum güç şartında 75 HP sağlaması gereken motor bahsedilen problemlerden dolayı maksimum 51 HP güç vermektedir. Turbo-

şarjdan çıkan hava soğutucudan (intercooler) geçtikten sonra 100°C 'ye ulaşarak silindir içine alınmakta ve volumetrik verimi düşürmektedir. Bu nedenle soğutucu (intercooler) su ile sürekli olarak soğutulmuş ve sıcaklık normal seviyeye (40-50°C) düşürülmüştür. Soğutucu üzerinde su devir daimini sağlayan sistem aşağıda Şekil 3. 10 'da görülmektedir [8].



Şekil 3. 10 Hava Soğutucu Sistem

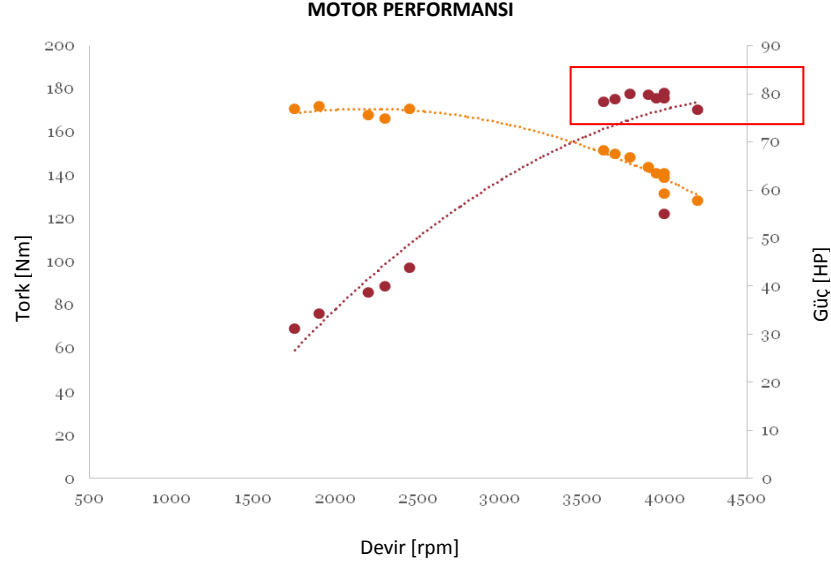
Motor üzerinde bulunan hız sensörünün vites konumunu ECU'ya yanlış olarak aktarmaması için hız sensörü 200V'luk bir elektrik motoruyla döndürülerek sinyal manipulasyonu sağlanmıştır. ECU üzerinden vitesin yüksek hızlarda 4. ve 5. Vites konumuna çıktığı gözlenmiş ve sorun çözülmüştür.

Yakıt sıcaklığının yükselmesini engellemek için yakıt kanallarının test düzeneğindeki konumu değiştirilmiş ve hava akışının artırılması sağlanmıştır. Hem yakıt kanallarındaki ısı transferini arttırmak hem de motoru soğutmak için test düzeneği dışına yerleştirilmiş olan elektrik tahrikli pervane kullanılmıştır.



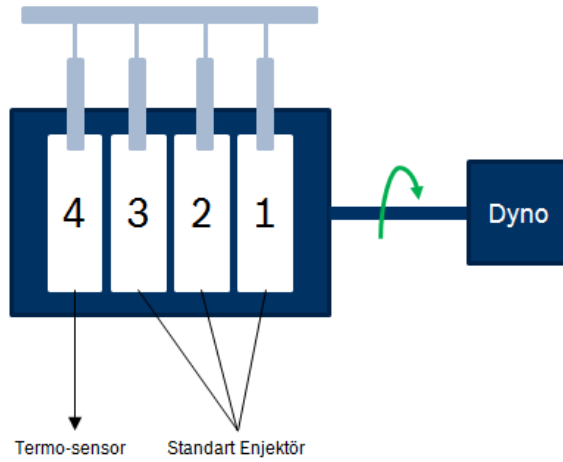
Şekil 3. 11 Soğutucu Pervane

Tüm yapılan iyileştirmeler sonucunda maksimum güce ulaşılmış ve motor aşırı yüklenme (overload~80 HP) halinde çalışabilecek seviyeye getirilmiştir. Aşağıda Şekil 3. 12 'de gösterildiği gibi güç-tork grafiği elde edilmiştir [8].



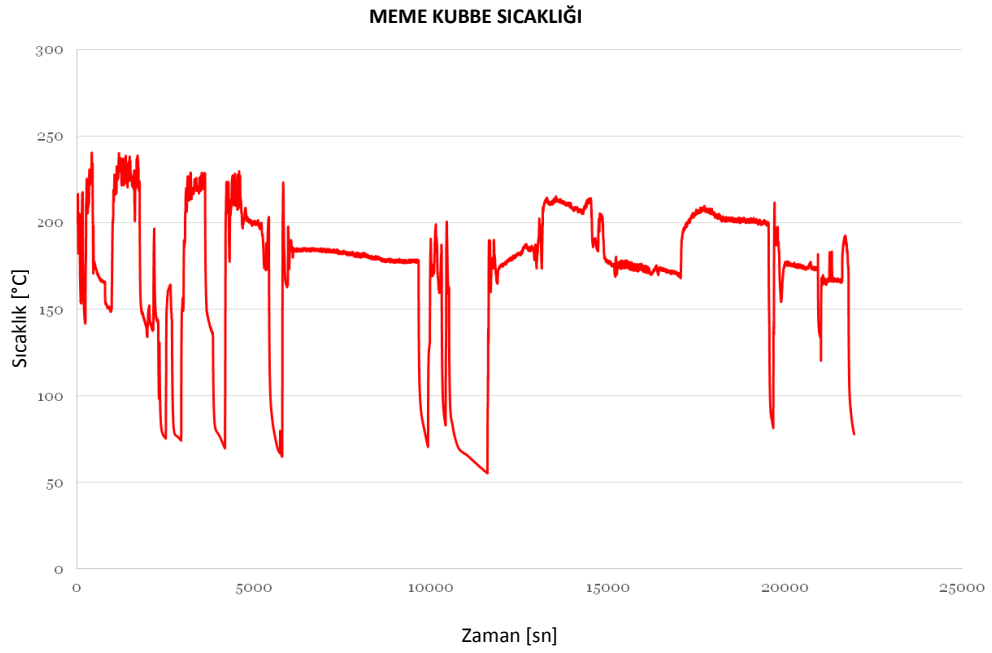
Şekil 3. 12 İyileştirilmiş Güç-Tork Grafiği

Test düzeneği üzerindeki mekanik bakım onarım işlemleri tamamlandıktan sonra motor üzerindeki enjektörler çıkarılmış ve ilk üç silindire yeni enjektörler, 4. Silindire ise termo-enjektör takılarak stabilite testi yapılmıştır. Test düzeneğinin en son şartlar altındaki şematik resmi Şekil 3. 13 'de gösterilmektedir. Termo-enjektörün 4. Silindire takılma sebebi bu silindirin hava emme kanalına en uzak silindir olması ve en yüksek sıcaklığın bu silindirde beklenmesidir. Silindirler arasındaki sıcaklık farkı bir sonraki bölümde deneysel sonuçlar ile anlatılacaktır.



Şekil 3. 13 Motor Test Düzeneği

Test düzeneğinde gerçekleştirilen stabilite testi sırasında motorun tüm çalışma koşullarında sorunsuz olarak testi tamamlayabildiği görülmüştür. Stabilite testi süresince okunan sıcaklık verileri aşağıda Şekil 3. 14 'te gösterilmektedir. Stabilite testinde belirli bir test çevrimi uygulanmamakla beraber değişken olarak motor yük ve devri incelenmiştir.



Şekil 3. 14 Stabilite Testi Sıcaklık Verisi [8]

### MOTOR TESTLERİ

Motor test düzeneğinin kurulumu tamamlandıktan sonra, meme malzemesinin motorda maruz kaldığı sıcaklıkları görebileceğimiz farklı test çevrimlerinin tasarlanması ve gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Proje süresince, test çevrimi tasarımında izlenen yollar, farklı test çevrimleriyle gerçekleştirilmiş motor test sonuçları ve test edilmiş memeler üzerinden alınan sertlik değerlerinin analizi bu bölümde detaylı olarak anlatılacaktır.

#### 4.1 Test Çevriminin Belirlenmesi

Motor testlerinde uygulanacak test çevrimlerinin doğru belirlenmesi, meme malzemesi üzerine etkisi olan parametreleri daha iyi tanıma imkanı sunacak, hangi parametrenin daha baskın bir etki oluşturduğunu gösterecektir. Enjektör meme malzemesinde sertlik düşüşüne yol açan ve birbirleriyle etkileşimi daha detaylı incelenmek istenen üç parametre;

- Maksimum sıcaklık
- Zaman
- Frekans

Literatürde yapılan incelemelerde, Salles ve arkadaşları [10] tarafından yapılmış olan ve enjektör kubbesi sıcaklıklarının ölçüldüğü çalışmada en yüksek kubbe sıcaklığının motorun 100% yükte, maksimum güç devrinde çalıştığı işletme şartlarına yakın bölgelerde  $\sim 350^{\circ}\text{C}$  civarında olduğu gözlemlenmiştir. Aynı çalışmada deney motorunda egzoz hattı kapatılarak yapılan ve egzoz freninin simüle edildiği durumlarda

ise enjektör sıcaklıklarının 400-450°C 'ler civarında olduğu gözlemlenmiştir. Königsson [11] ve arkadaşları tarafından diesel motorunda enjektör kubbe sıcaklığı üzerine yapılan çalışmalarda hava fazlalık katsayısının 1 değerine doğru yaklaştığı zengin çalışma şartlarında (max. güç şartı) en yüksek değerine ulaştığı görülmüştür. Her iki çalışmada da görüldüğü üzere motorun maksimum güç şartında çevrim başına giren yakıt miktarının artması ile birlikte sisteme sokulan enerji miktarı artmaktadır, ancak motorun maksimum güç devrinde motor devrinin artması ile birlikte ısı transferi için gerekli zamanında azalması ile birlikte enjektör meme sıcaklığı diğer çalışma şartlarına göre yüksek kalmaktadır. Literatürde yapılan incelemelerde özel olarak meme sıcaklığının araç kullanım şartlarına karşılık gelen motor işletme şartlarında değişimini inceleyen bir deneysel tasarıma rastlanamamış olmakla birlikte, ilgili ürünün davranışını bir aracın tüm ömrü boyunca kullanımını simüle etmeye çalışan dayanım testleri çalışmaları mevcuttur. Morton [12], Schwarz [13] ve arkadaşları tarafından yapılmış olan motor dayanım testlerinde özel olarak NATO tarafından geliştirilmiş olan AEP-5 dayanım standardı testi uygulanmıştır. AEP-5 [14] standardı ilk defa 1980 yılında yayımlanmış olan, askeri amaçlı olarak kullanılacak motorlar için geliştirilmiş olan bir standarttır. Standart, birçok farklı kısımdan oluşan testler listesini ve bu testlerin işletme şartlarını içermektedir. Schwarz tarafından yayımlanmış olan SAE yayınında Detroit Diesel Corp.a ait bir diesel motorunun AEP-5 standardına göre yapılmış olan testlerinde aynı zamanda yakıt enjeksiyon sistemi ve enjektör memesinin dayanımı da incelenmiştir. İlgili standart, test çevriminin gerçekleştirdiği ağır termal şartlar ve toplam test süresi uzunluğu 400 saat olması nedeni ile enjektör dizaynı ve tasarımı konusunda dayanıklılık testleri açısından endüstri tarafından tercih edilmiştir. Standartta 2 adet 10 saatlik çevrimin ardından motor 8 saat durdurulur. 10 adet çevrim tamamlandığında 100. Saatte performans değerleri yeniden ölçülür ve yağ numuneleri alınır. Bu 10 adet 10 saatlik çevrim toplam 4 kez tekrarlanarak süre 400 saate tamamlanmaktadır. İlgili test çevriminin yaklaşık 60-70%'lik kısmının tam yükte çalışma şartları oluşturduğu diğer kısımlarının ise rölanti, tam gaz yüksüz ve ara yük ve devirlerden oluştuğu görülmüştür. Bartoli [15] ve arkadaşları tarafından yayımlanmış olan Cummins tarafından geliştirilmiş olan 1000 saatlik dayanım testinin 60% kısmının maksimum güçte, 15% 'lik kısmının maksimum torkta, 25% 'lik kısmının ise rölanti ve

tam gaz yüksüz koşullarından oluşmaktadır. Küsters [16] ve Franke [17] tarafından yayımlanmış olan çalışmalarda motor üzerindeki ürünün cinsine ve simüle edilmek istenen şarta göre farklı dayanım testlerinin tasarlanması gerektiği belirtilmiş ve genel anlamda dayanım test süreçlerini amaç bazında 200-1000 saat arasında değerlendirmişler ve bu testler boyunca test düzeneği üzerinde tekrarlanacak olan farklı test çevrimleri belirtmişlerdir. 10 dakikasını tam yükte, 5 dakika rölantide toplam 15 dakikalık sürecin 800 kere ardı ardına tekrarlandığı Sıcak/Soğuk testleri bu testlerden birisi olarak örnek verilebilir.

Deney tasarımları yapılırken, taşıt motorunun çalışma şartları ve enjektör meme kubbesinde malzeme sertliğinin değişimine etki edecek olan yüksek sıcaklık vb. termal şartlar göz önüne alınmalıdır.

Gerçekleştirilen literatür araştırmaları değerlendirildiğinde, maksimum sertlik düşüşünün görülebilmesi için gereken test çevrimlerindeki çalışma şartlarının büyük bir kısmının maksimum güç şartı olması gerektiği, normal aracın yol şartlarının simüle edilebilmesi açısından test çevriminin aynı zamanda rölanti, tam gaz yüksüz vb. diğer ara işletme şartlarını da içermesi gerektiği görülmüştür.

Bu bilgilerin ışığında oluşturulmuş olan test çevrimleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4. 1 A Test Çevrim Grubu [8]

Test Grubu	Test Çevrim No	İşletme Şartı	Süre (saat)	Toplam Çevrim Süresi (saat)	Tekrar	Toplam Test Süresi (saat)
A	1	Rölanti	½	2	1	2
		Maks.Güç	1			
		TG*Yüksüz	½			
	2	Rölanti	½	2	3	6
		Maks.Güç	1			
		TG*Yüksüz	½			
	3	Rölanti	½	2	5	10
		Maks.Güç	1			
		TG*Yüksüz	½			
	4	Rölanti	½	2	7	14
		Maks.Güç	1			
		TG*Yüksüz	½			
	5	Rölanti	½	2	9	18
		Maks.Güç	1			
		TG*Yüksüz	½			
	6	Rölanti	½	2	11	22
		Maks.Güç	1			
		TG*Yüksüz	½			
Toplam Test Saati						72
*TG: Tam Gaz						

Çizelge 4. 2 B Test Çevrim Grubu [8]

Test Grubu	Test Çevrim No	İşletme Şartı	Süre (saat)	Toplam Çevrim Süresi (saat)	Tekrar	Toplam Test Süresi (saat)
B	1	Maks.Güç	2	2	1	2
	2	Maks.Güç	2	2	3	6
	3	Maks.Güç	2	2	5	10
	4	Maks.Güç	2	2	7	14
	5	Maks.Güç	2	2	9	18
	6	Maks.Güç	2	2	11	22
Toplam Test Saati						72

Çizelge 4. 3 C Test Çevrim Grubu [8]

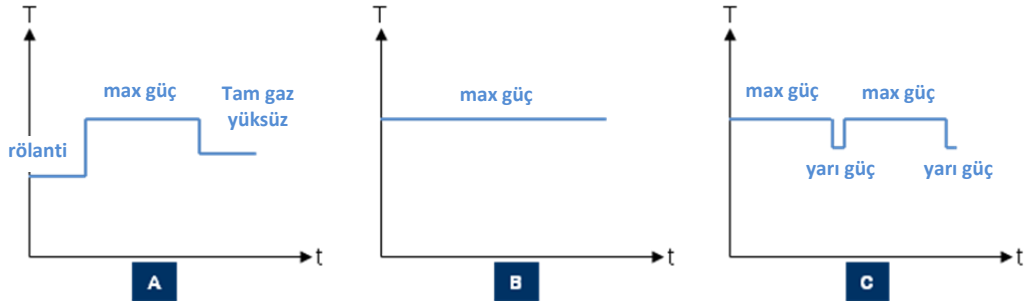
Test Grubu	Test Çevrim No	İşletme Şartı	Süre	Toplam Çevrim Süresi (saat)	Tekrar	Toplam Test Süresi (saat)
C	1	Maks.Güç	55 dk	2	1	2
		½ rated speed	5 dk			
		Maks.Güç	55 dk			
		½ rated speed	5 dk			
	2	Maks.Güç	55 dk	2	3	6
		½ rated speed	5 dk			
		Maks.Güç	55 dk			
		½ rated speed	5 dk			
	3	Maks.Güç	55 dk	2	5	10
		½ rated speed	5 dk			
		Maks.Güç	55 dk			
		½ rated speed	5 dk			
	4	Maks.Güç	55 dk	2	7	14
		½ rated speed	5 dk			
		Maks.Güç	55 dk			
		½ rated speed	5 dk			
	5	Maks.Güç	55 dk	2	9	18
		½ rated speed	5 dk			
		Maks.Güç	55 dk			
		½ rated speed	5 dk			
	6	Maks.Güç	55 dk	2	11	22
		½ rated speed	5 dk			
		Maks.Güç	55 dk			
		½ rated speed	5 dk			
Toplam Test Saati						72

Motor test düzeneğinin tasarlanan test çevrimlerinde çalıştırılacağı şartlar belirlenmiş ve tüm testlerde aynı şartlar sağlanmıştır. Belirlenen devir, yük, moment ve güç noktalarında yapılan testlerde, bir silindirden termosensör verileri alınmış, diğer üç silindirde ise malzeme sertlik düşüşleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4. 4 Test Şartları

PSA 1.6HDI DV6 75HP	Rpm	Yük [N]	Tork [Nm]	Güç [HP]
Rölanti	800	-	-	-
Tam gaz / yüksüz	5100	-	-	-
Max Güç	3800	490	137	74
Yarı Güç Şartı	1900	580	162	44

Belirlenen 3 farklı test çevrimi A-B-C olarak gruplandırılmış ve 2-6-10-14-18-22h süreler ile gerçekleştirilmiştir. Test çevrimlerinin temel profilleri (sıcaklık-zaman grafiği) aşağıda Şekil 4. 1’de gösterildiği gibidir [8].



Toplamda planlanmış olan 18 test, Yıldız Teknik Üniversitesi motor laboratuvarında yapılmış olup, 5 adet test istenilen süreleri tamamlayamadığı için tekrarlanmıştır. Motor test düzeneği kurulumu sonrası yapılan stabilite testi haricinde toplamda 23 motor testi gerçekleştirilmiştir.

Testler sırasında 72 enjektör kullanılmış olup, tamamı sertlik ölçümüne tabi tutulmuştur. Termo-enjektörün takılı bulunduğu silindir hiçbir testte değiştirilmemiştir. Bu durum termosensörün okuduğu değerlerin silindirler arasında farklılık göstermemesi için düşünülmüştür.

Motor test laboratuvarındaki ortam sıcaklığı, motor sıcaklığı, soğutma suyu sıcaklığı, silindir içine alınan havanın sıcaklığı sabit tutulmaya çalışılarak, çevresel faktörlerin etkisi azaltılmak istenmiştir. İlk 10 testte kullanılan hava soğutma (intercooler) sisteminin farklı olması, silindir içine alınan havanın sıcaklığını etkilemiş olup, silindir içi maksimum sıcaklıklarda farklılığa yol açmıştır.

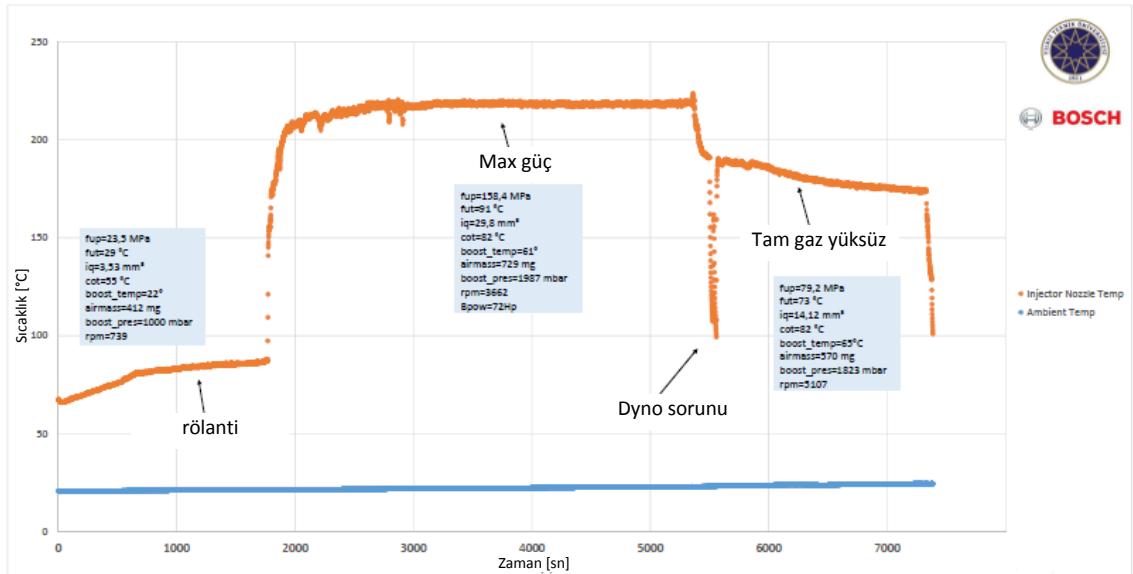
## 4.2 Thermo-sensör Verilerinin Analizi

Bu bölümde, gerçekleştirilen motor testlerinde elde edilen meme kubbe sıcaklıkları incelenerek, farklı test çevrimlerinin motor içinde oluşturdukları maksimum sıcaklıklar karşılaştırılmıştır.

### 4.2.1 A Test Çevrimi Sıcaklık Verileri

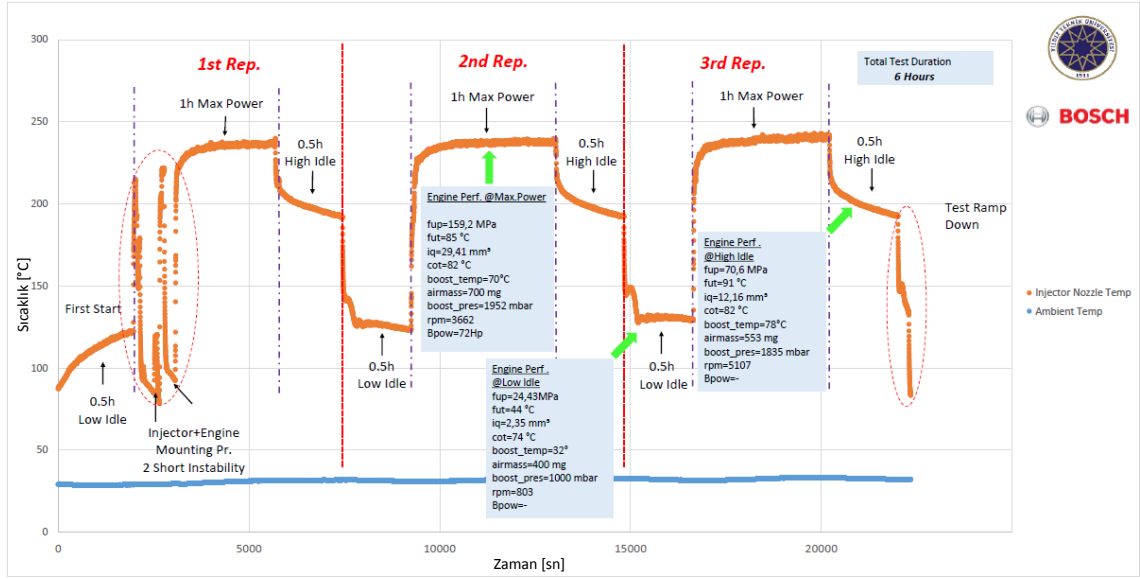
A grubu testleri rölanti, maksimum güç ve tam gaz/yüksüz motor çalışma şartlarını içermektedir. Değişken motor şartları, enjektör memesinde değişken sıcaklıklar oluşturacak ve periyodik sıcaklık değişiminin meme malzemesi üzerine etkisi gözlemlenecektir [8].

A1 testi 2 saat süresince koşturulmuş, test süresince görülen maksimum sıcaklık 224 °C ve ortalama sıcaklık 173 °C 'dir. Test süresince elde edilen meme kubbe sıcaklık değişimi Şekil 4. 2 'de gösterilmektedir.



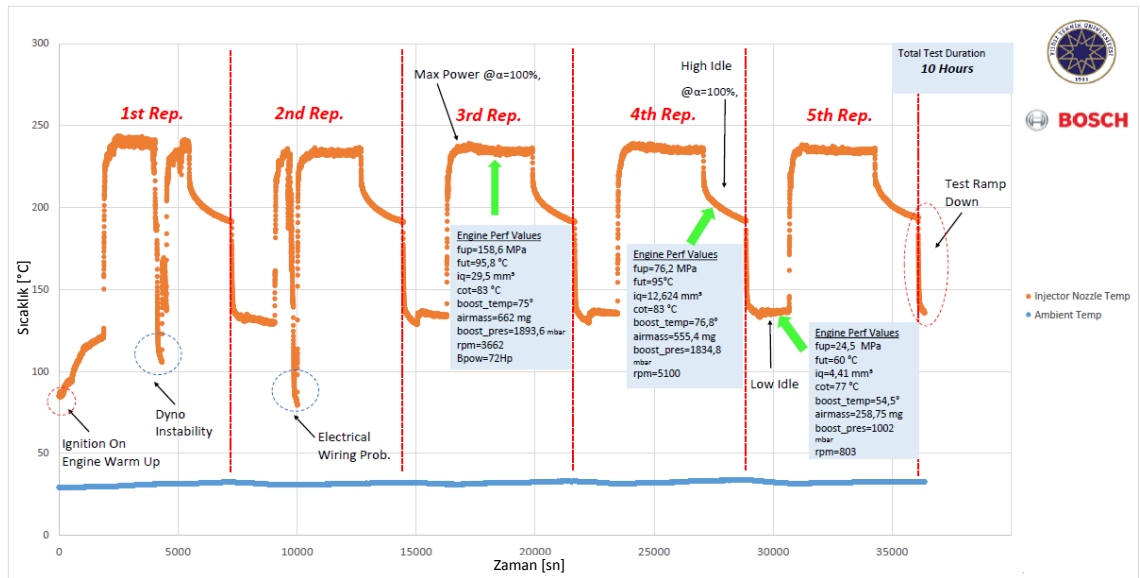
Şekil 4. 2 A1 Test Termosensör Verisi

A2 testi 6 saat sürmüş, görülen maksimum sıcaklık 243 °C ve ortalama sıcaklık 192 °C 'dir. A2 testinin raporu aşağıda Şekil 4. 3'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 3 A2 Test Termosensör Verisi

A3 testi sırasında görülen maksimum sıcaklık 245 °C ve ortalama sıcaklık 196 °C 'dir. Aşağıda, Şekil 4. 4'te grafik görülmektedir.

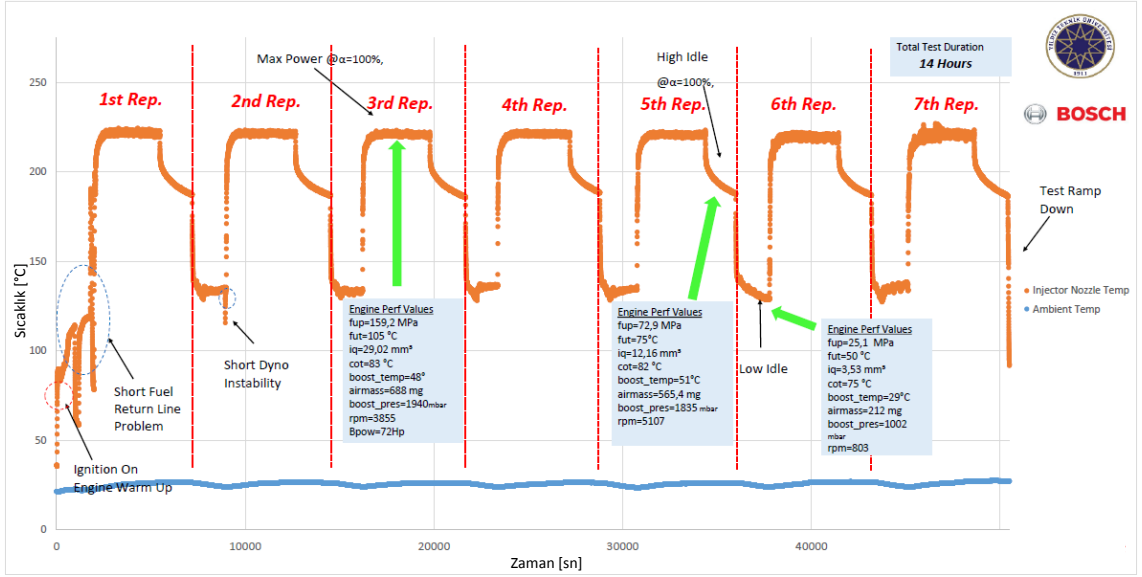


Şekil 4. 4 A3 Test Termosensör Verisi

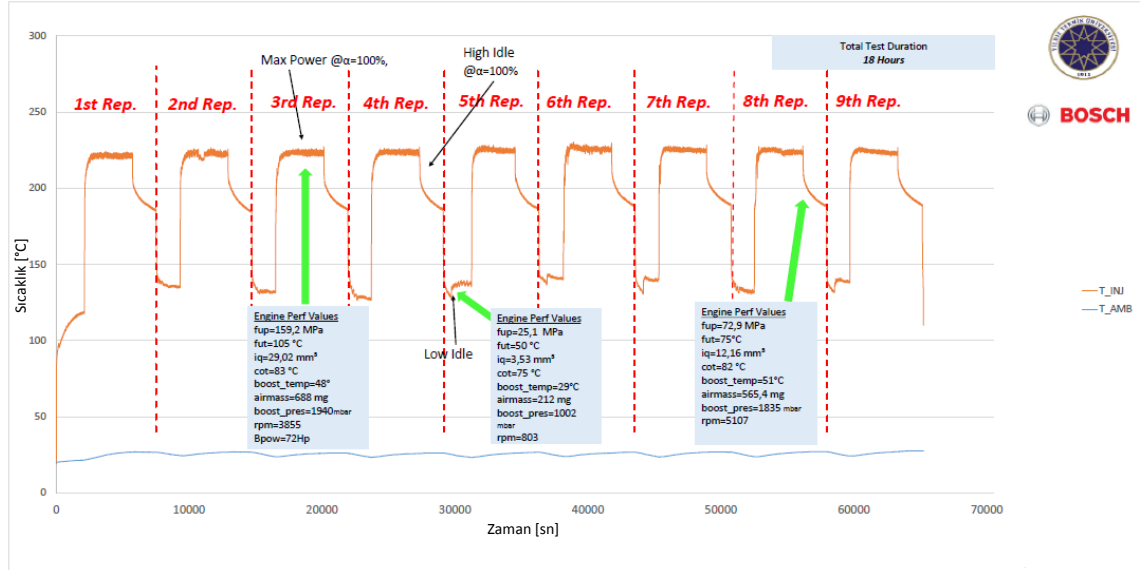
Testler sırasında sıcaklık verilerinde görülen anlık düşüşler ve dalgalanmalar, motor test koşullarının anlık olarak bozulmasından kaynaklı olup toplam süre içerisinde meme sertlik durumunu etkileyecek değişimler olmadığı gözlemlenmiştir.

Tüm testler sonrasında termo-enjektör haricindeki diğer enjektörler Bosch Bursa fabrikasına gönderilip memelerine sertlik ölçümü yapılmıştır. Sıcaklık sertlik ilişkisi bir sonraki bölümde detaylı olarak incelenecektir.

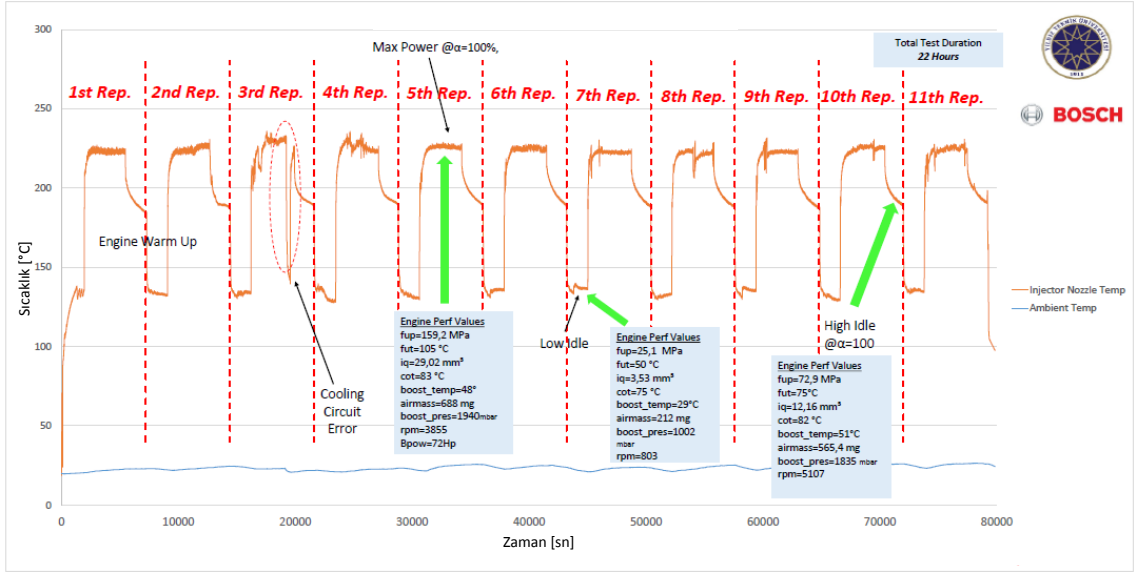
A4 testi sırasında görülen maksimum sıcaklık 227 °C ve ortalama sıcaklık 190 °C 'dir. Aşağıda, Şekil 4. 5'te grafik görülmektedir.



A5 testi sırasında görülen maksimum sıcaklık 230 °C ve ortalama sıcaklık 192 °C 'dir. Aşağıda, Şekil 4. 6'da grafik görülmektedir.

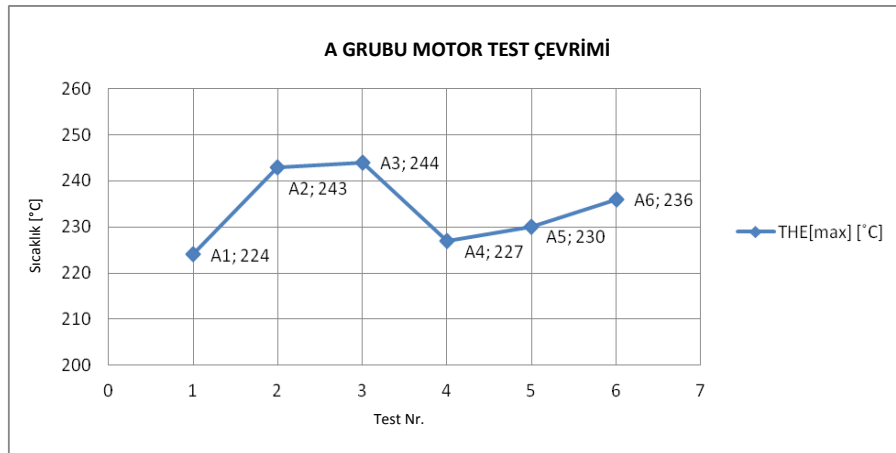


A6 testi sırasında görülen maksimum sıcaklık 236 °C ve ortalama sıcaklık 185 °C 'dir. Aşağıda, Şekil 4. 7'de grafik görülmektedir.



Şekil 4. 7 A6 Test Termosensör Verisi

A testlerinde elde edilen her bir sıcaklık-zaman grafiği yukarıda gösterilmiştir. A grubu test çevriminin farklı test sürelerinde gerçekleştirilmiş 6 farklı test sonucundan elde edilen maksimum sıcaklıkların karşılaştırması Şekil 4. 8’de verilmiştir.



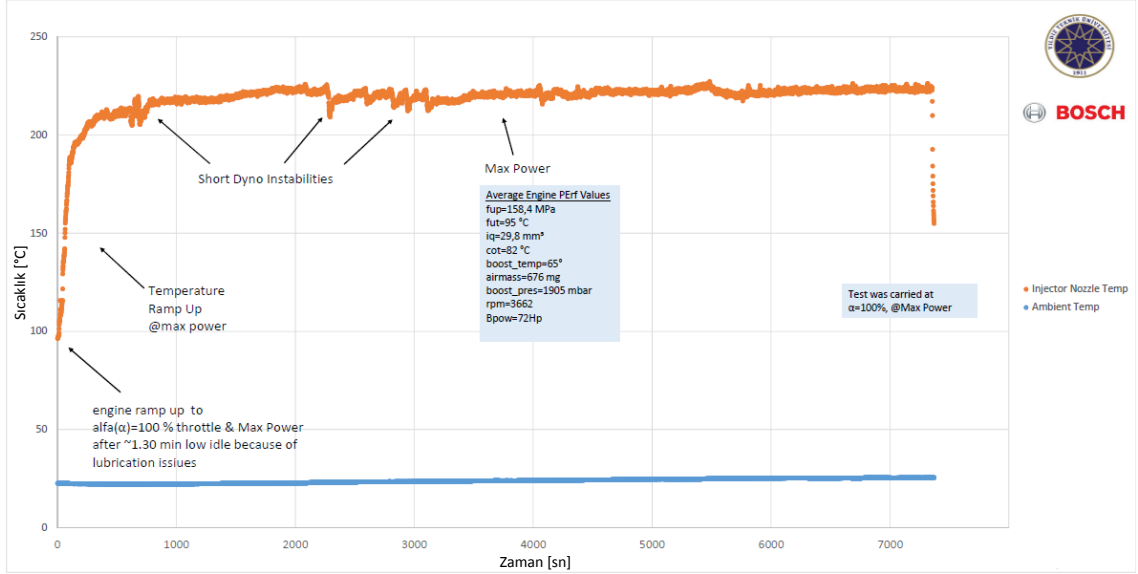
Şekil 4. 8 A Test Grubu Maksimum Sıcaklık Karşılaştırması

A testleri boyunca elde edilen maksimum sıcaklıklar değerleri arasındaki farklar, değişik test sürelerinin yanında farklı motor işletme koşullarından kaynaklanmaktadır. Bu koşullardan en büyük etki silindir içine alınan havanın sıcaklığı olup, bu test grubunda 20°C ‘ye kadar çıkan farklılıklar gözlenmiştir. Dolgu hava sıcaklığının etkisi kısım 4.4 ‘te detaylı olarak incelenmiştir.

#### 4.2.2 B Test Çevrimi Sıcaklık Verileri

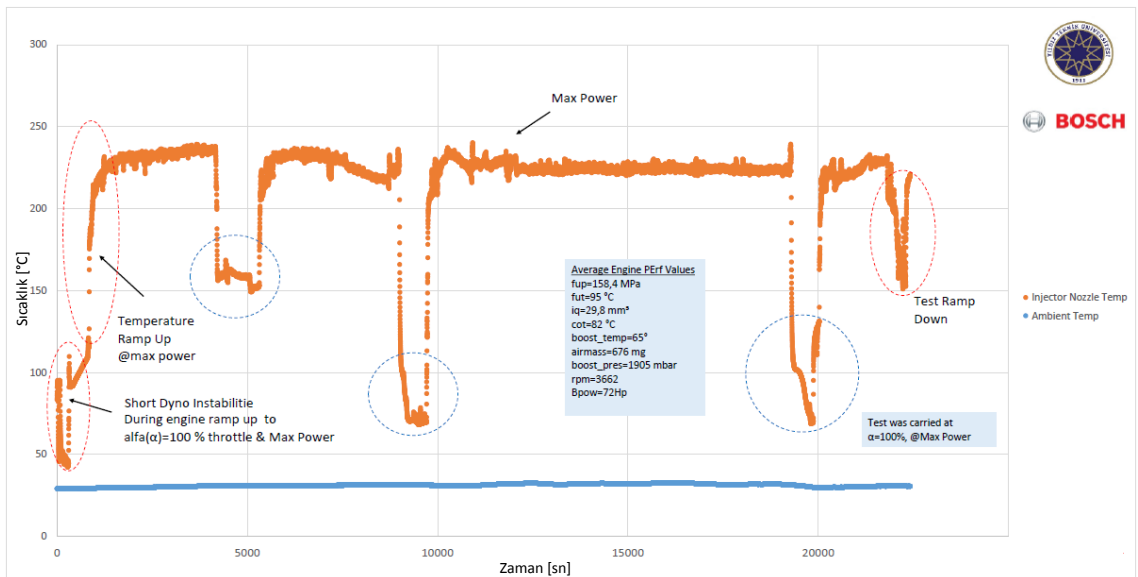
B grubu testleri daimi olarak maksimum güç motor çalışma şartını içermektedir. Bu şartın hem motoru hem de enjektör memesini sınır koşullara kadar zorlayacağı düşünülmüştür [8].

B1 testi sırasında görülen maksimum sıcaklık 227 °C ve ortalama sıcaklık 218 °C 'dir. Aşağıda, Şekil 4. 9'da grafik görülmektedir.



Şekil 4. 9 B1 Test Termosensör Verisi

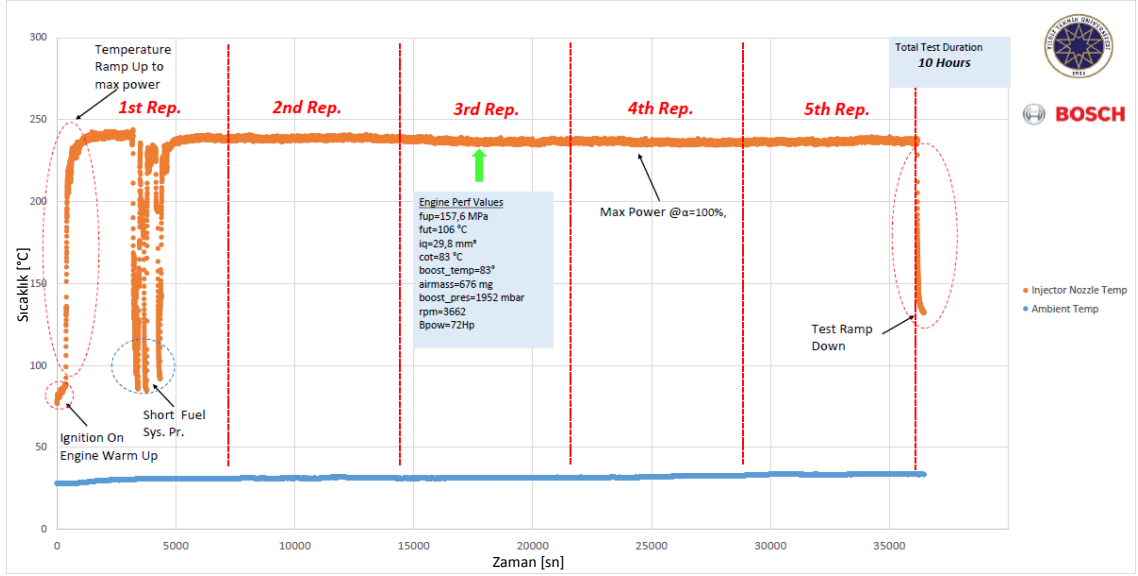
B2 testi sırasında görülen maksimum sıcaklık 240 °C ve ortalama sıcaklık 207 °C 'dir. Aşağıda, Şekil 4. 10'da grafik görülmektedir.



Şekil 4. 10 B2 Test Termosensör Verisi

B3 testi sırasında görülen maksimum sıcaklık 244 °C ve ortalama sıcaklık 236 °C 'dir. Test verisi aşağıdaki Şekil 4. 11'de gösterilmektedir.

B test grubunun daimi olarak tam güçte çalışmasından kaynaklı, maksimum sıcaklıklar ile ortalama sıcaklıklar birbirine çok yakın okunmaktadır.



Şekil 4. 11 B3 Test Termosensör Verisi

B4 testi sırasında görülen maksimum sıcaklık 248 °C ve ortalama sıcaklık 231 °C 'dir. Test verisi aşağıdaki Şekil 4. 12'de gösterilmektedir.

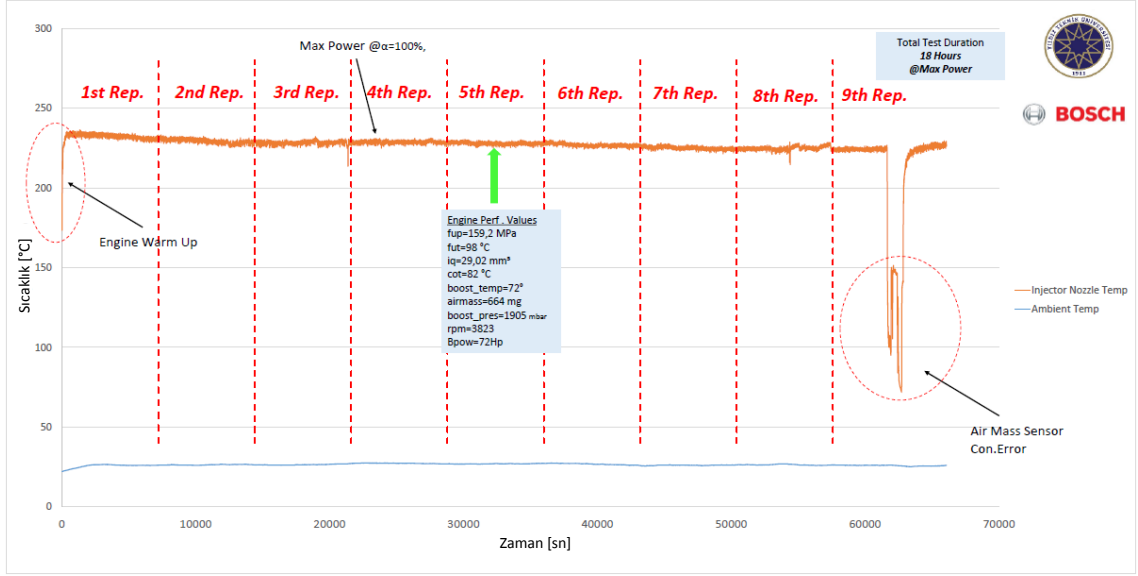


Şekil 4. 12 B4 Test Termosensör Verisi

B4 testinin son 3 saatinde motor test düzeneği kaynaklı duruşlar yaşanmış, bu da sıcaklıklarda yüksek düşürlere yol açmıştır. Bu durum, test düzeneğinde

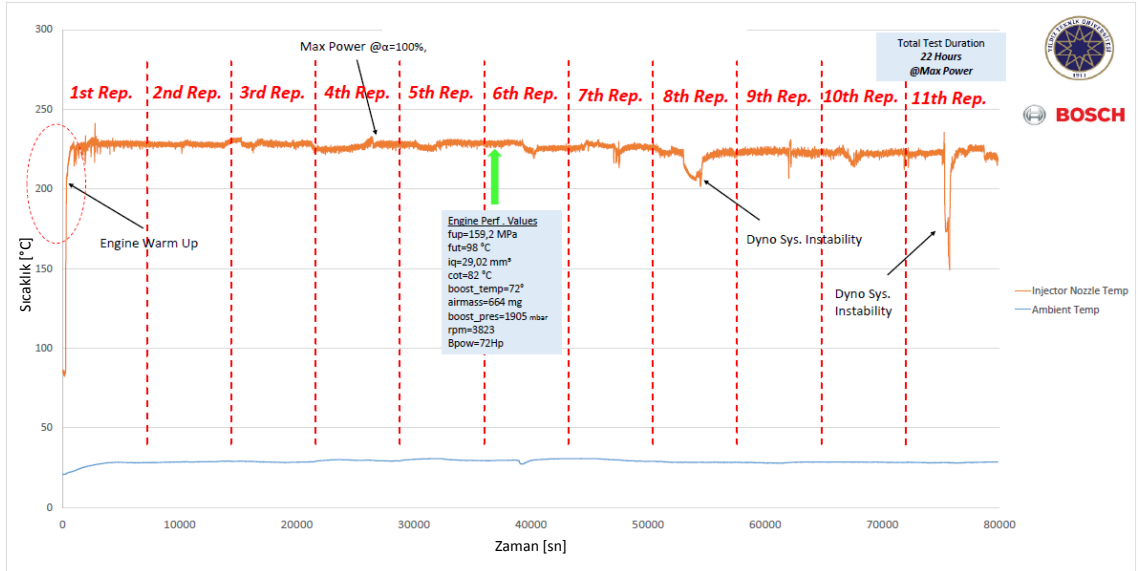
dinamometreyi tahrik eden su havuzundan yeterli miktarda su basılamamasından oluşmuş olup, pompaya yapılan bakım sonrasında sorun giderilmiştir.

B5 testi sırasında görülen maksimum sıcaklık 236 °C ve ortalama sıcaklık 225 °C 'dir. Test sıcaklık verisi aşağıda Şekil 4. 13'de gösterilmiştir.



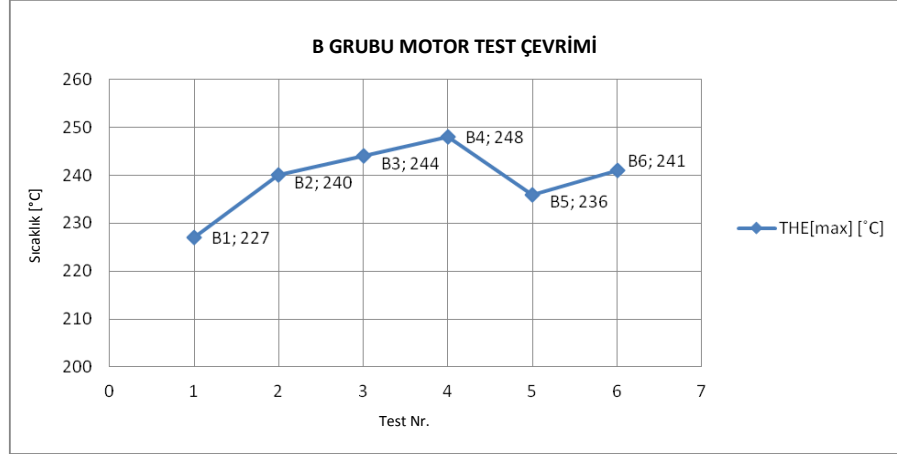
Şekil 4. 13 B5 Test Termosensör Verisi

B6 testi sırasında görülen maksimum sıcaklık 241 °C ve ortalama sıcaklık 224 °C 'dir. Test sıcaklık verisi aşağıda Şekil 4. 14'te gösterilmiştir.



Şekil 4. 14 B6 Test Termosensör Verisi

B testlerinde elde edilen her bir sıcaklık-zaman grafiği yukarıda gösterilmiştir. B grubu test çevriminin farklı test sürelerinde gerçekleştirilmiş 6 farklı test sonucundan elde edilen maksimum sıcaklıkların karşılaştırması Şekil 4. 15'te verilmiştir.



Şekil 4. 15 B Test Grubu Maksimum Sıcaklık Karşılaştırması

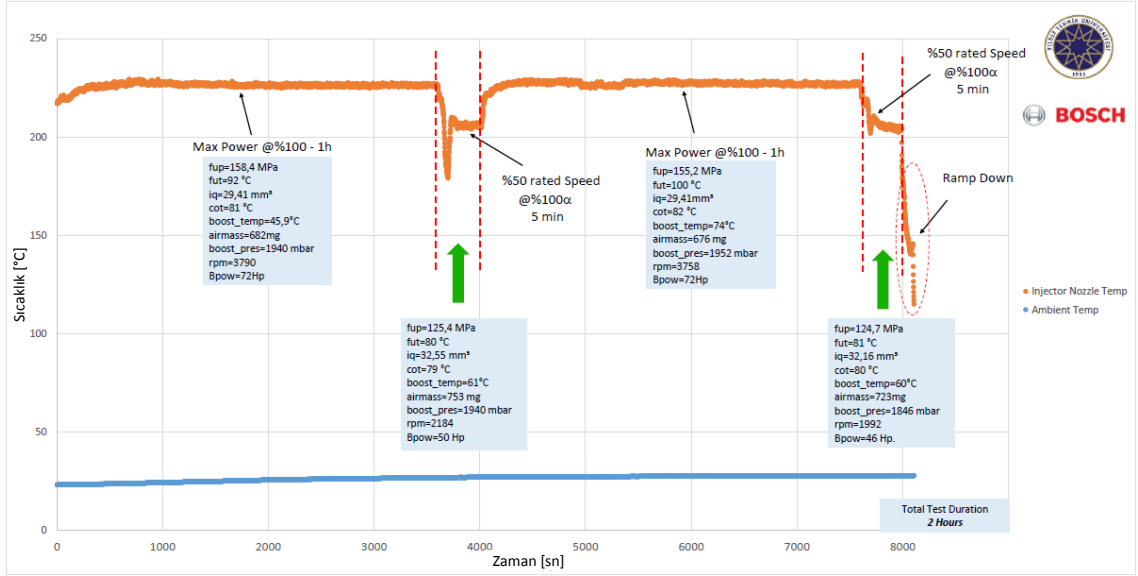
B1 testinin diğer testlerde elde edilen maksimum sıcaklık değerinden daha düşük görülmesi diğer testlere göre silindir içine alınan hava sıcaklığının ortalama 20°C düşük olmasıdır. Bununla beraber B1 testinin yapıldığı ortam sıcaklığı 24°C iken diğer testler ortalama 30°C 'lik bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Dolgu hava sıcaklığının etkisi kısım 4.4 'te detaylı olarak incelenmiştir.

#### 4.2.3 C Test Çevrimi Sıcaklık Verileri

C grubu testleri daimi olarak maksimum güç motor çalışma şartının yanında 5'er dakikalık yarı güç şartını içermektedir. B grubu testlerinden farklı olarak eklenen bu 5'er dakikalık sıcaklık ve güç düşüşleri motorun test sırasında zarar görmesini engelleyecek ve de malzeme sıcaklık sınırlarında büyük farklılıklar oluşturmayacaktır [8].

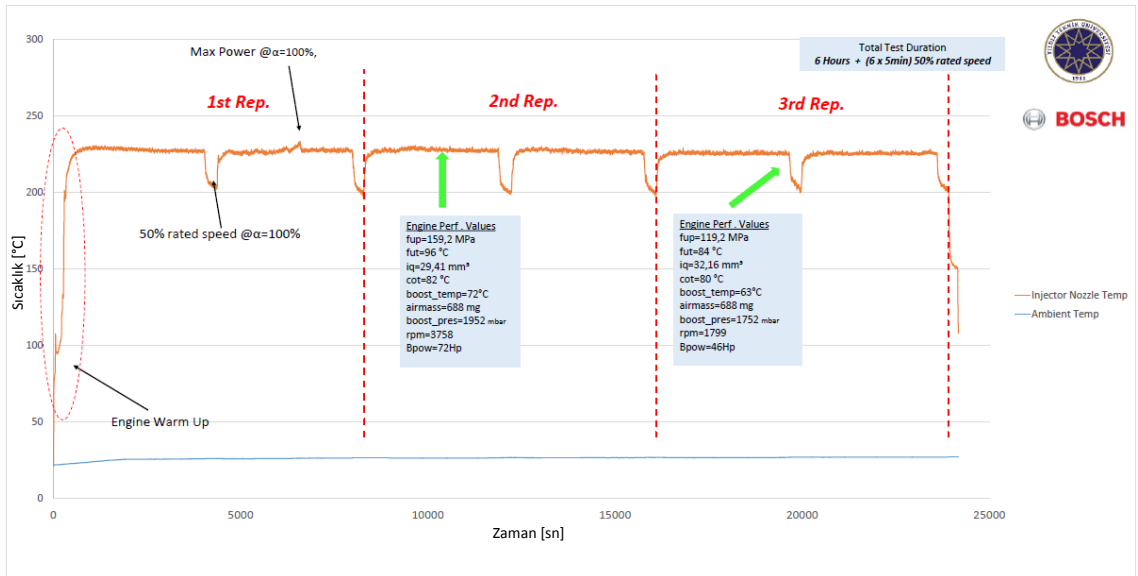
Toplam sürelerinin tüm test gruplarında benzerlik göstermesi adına C test çevrimi de 55 dk 'lık maksimum güç şartından sonra 5 dk 'lık yarı güç şartı ile devam edilmiştir. Toplam çevrim süresi yeniden 2 saat olmuştur.

C1 testi sırasında görülen maksimum sıcaklık 229 °C ve ortalama sıcaklık 224 °C 'dir. Test sıcaklık verisi aşağıda Şekil 4. 16'da gösterilmiştir.



Şekil 4. 16 C1 Test Termosensör Verisi

C2 testi sırasında görülen maksimum sıcaklık 233 °C ve ortalama sıcaklık 222 °C 'dir. Test sıcaklık verisi aşağıda Şekil 4. 17'de gösterilmiştir.



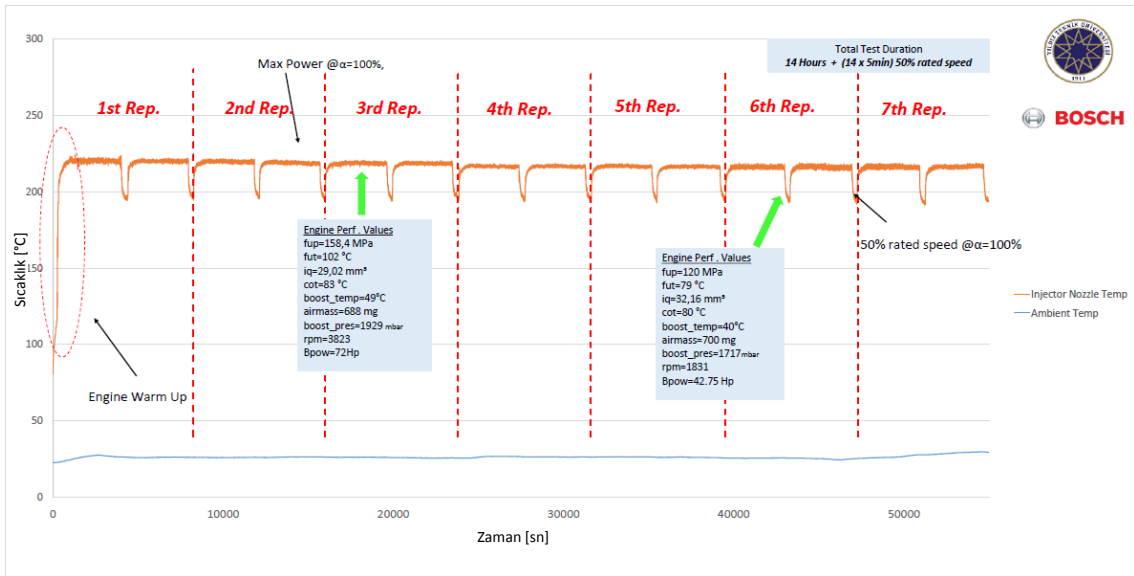
Şekil 4. 17 C2 Test Termosensör Verisi

C3 testi sırasında görülen maksimum sıcaklık 231 °C ve ortalama sıcaklık 222 °C 'dir. Test süresince elde edilen sıcaklık dağılımı aşağıdaki Şekil 4. 18'de gösterilmiştir.



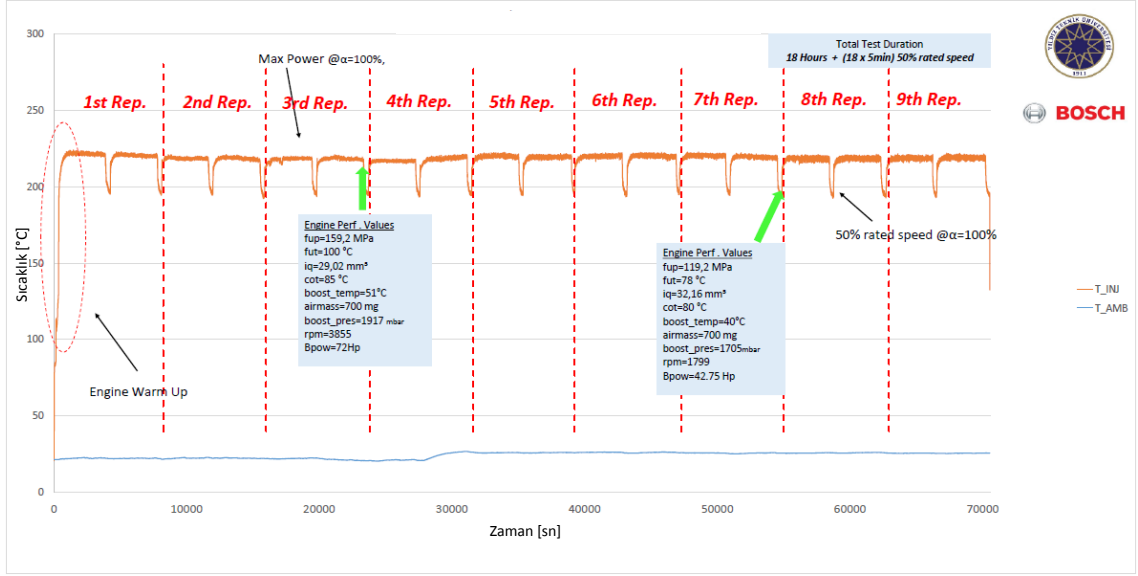
Şekil 4. 18 C3 Test Termosensör Verisi

C4 testi sırasında görülen maksimum sıcaklık 224 °C ve ortalama sıcaklık 215 °C 'dir. Test süresince elde edilen sıcaklık dağılımı aşağıdaki Şekil 4. 19'da gösterilmiştir.



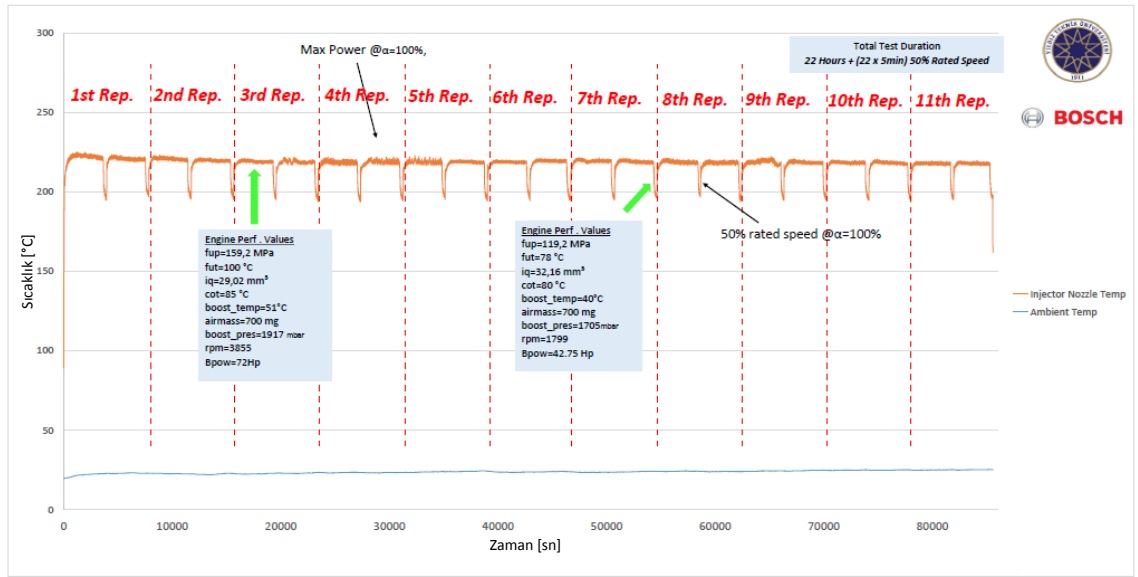
Şekil 4. 19 C4 Test Termosensör Verisi

C5 testi sırasında görülen maksimum sıcaklık 224 °C ve ortalama sıcaklık 216 °C 'dir. Test süresince elde edilen sıcaklık dağılımı aşağıdaki Şekil 4. 20'de gösterilmiştir.



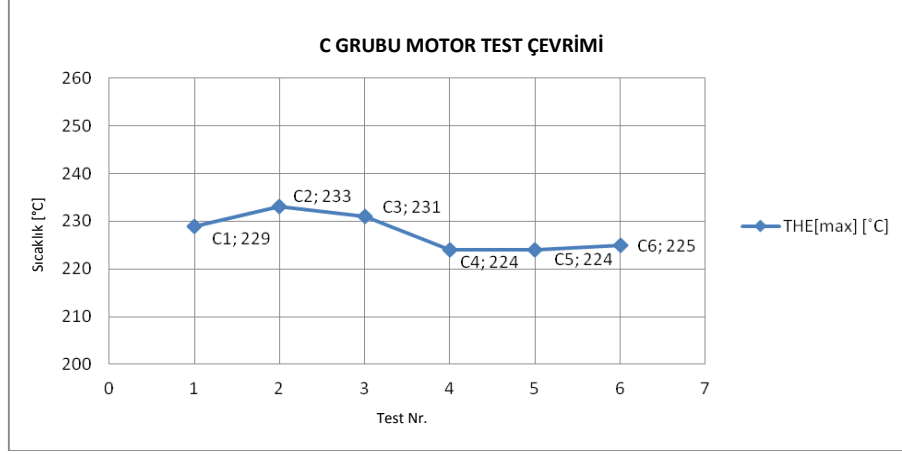
Şekil 4. 20 C5 Test Termosensör Verisi

C6 testi sırasında görülen maksimum sıcaklık 225 °C ve ortalama sıcaklık 217 °C 'dir. Test süresince elde edilen sıcaklık dağılımı aşağıdaki Şekil 4. 21'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 21 C6 Test Termosensör Verisi

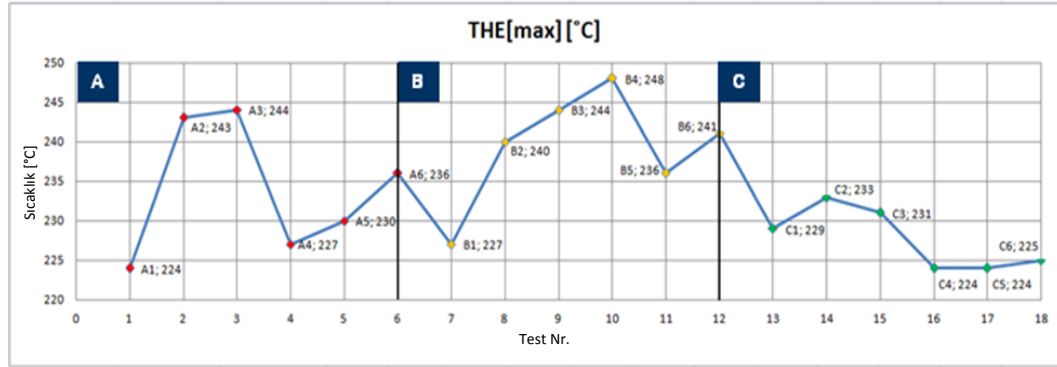
C testlerinde elde edilen her bir sıcaklık-zaman grafiği yukarıda gösterilmiştir. C grubu test çevriminin farklı test sürelerinde gerçekleştirilmiş 6 farklı test sonucundan elde edilen maksimum sıcaklıkların karşılaştırması Şekil 4. 22'de verilmiştir.



Şekil 4. 22 C Test Grubu Maksimum Sıcaklık Karşılaştırması

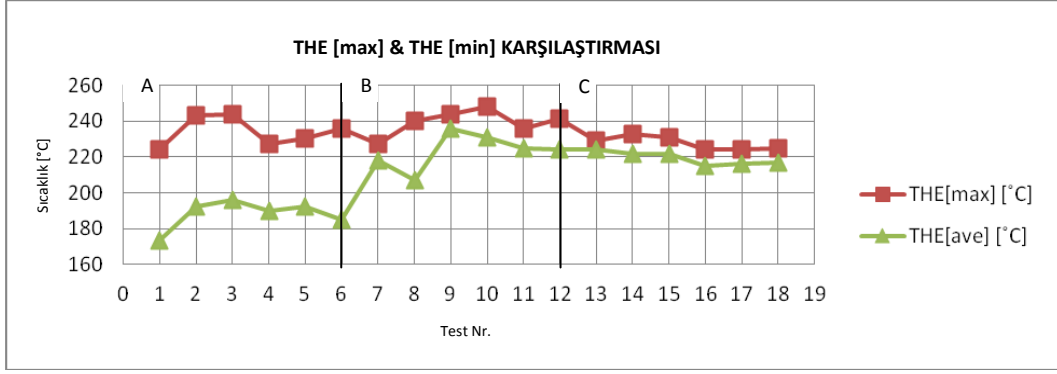
C grubu testleri diğer 2 test grubuna göre daha optimum koşullarda gerçekleştirilmiş olup, silindir içine alınan hava sıcaklığı, soğutma suyu sıcaklığı ve ortam sıcaklığı stabil olacak şekilde test verileri toplanmıştır. B grubu testlerine göre ortalamada 10°C düşük sıcaklık gözlenen C grubu testlerinin farkı, silindir içine alınan hava sıcaklığının 40°C 'ye sabitlenmiş, soğutma suyu sıcaklığının ise ortalama 80-85°C 'de kalmasının sağlanmasıdır.

Tamamlanan A, B ve C test gruplarında görülen maksimum sıcaklıkların karşılaştırması aşağıda Şekil 4. 23'te gösterilmektedir.



Şekil 4. 23 A-B-C Test Grupları Maksimum Sıcaklık Karşılaştırması

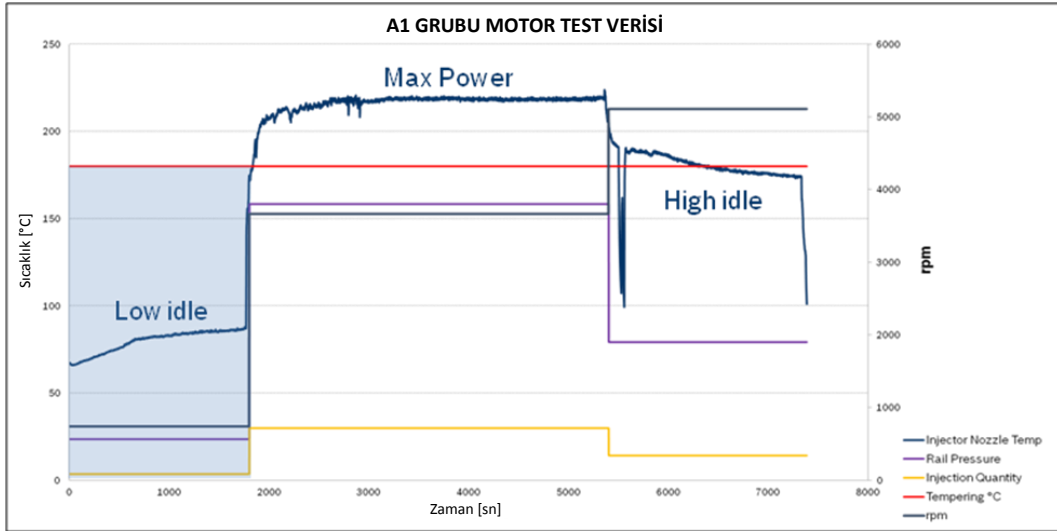
C grubu testlerindeki sıcaklık, her ne kadar diğer gruplara göre çok düşük görülsede diğer işletme faktörleri eşitlendiğinde 10-15°C 'lik bir yükselişin elde edilebileceği düşünülmektedir. İşletme faktörlerinin etkileri kısım 4.4'te incelenmiştir.



Şekil 4. 24 Maksimum ve Ortalama Sıcaklık Karşılaştırması

Yukarıda Şekil 4. 24 'te görüldüğü tüm testlerde, maksimum sıcaklık ile ortalama sıcaklıklar arasındaki fark,  $A > B > C$  olarak değişmekte bu durum A grubunda değişken motor koşullarının test edilmiş olmasından kaynaklanmaktadır.

A test çevrimin içermiş olduğu rölanti şartında, meme kubbe sıcaklıklarının çok düşük gözlenmesi ve memenin temperleme sıcaklığının altında değerler olması nedeniyle, rölanti şartının malzeme sertliği üzerine etkisi olmadığı anlaşılmıştır. Aşağıda Şekil 4. 25'te A1 testinin sonucu örnek olarak gösterilmektedir.



Şekil 4. 25 Rölanti Şartında Oluşan Sıcaklık

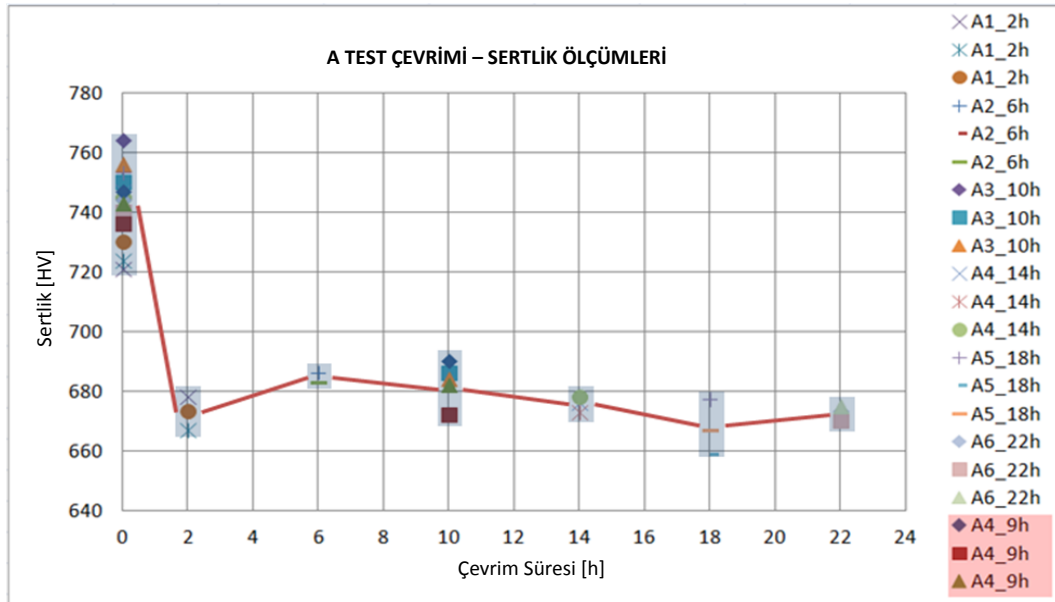
Tüm test gruplarında kullanılan memelerin maruz kaldığı sertlik düşüşleri bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak incelenmektedir.

### 4.3 Sertlik Ölçüm Verilerinin Analizi

Testlerde kullanılan enjektörlerin motor demontajı sağlandıktan sonra Bosch Bursa bünyesinde memeler enjektörlerden ayrılıp sertlik ölçümü işlemine tabi tutulmaktadır. Aynı test grubunun farklı test sürelerinde koşturulmuş olan memelerin sertlik ölçüm sonuçları kümülatif olarak değerlendirmeye alınmış, 22 saat süreyle aynı test şartlarına maruz kalan bir memenin malzeme sertliğinde ne gibi değişiklikler meydana geldiği incelenmiştir. Ölçülen meme sertlik değerleri memenin kubbe kısmından alınan değerler olmakla beraber sadece bu testlerde kullanılan enjektörlere aittir [8].

#### 4.3.1 A Test Çevrimi Sertlik Ölçüm Verileri

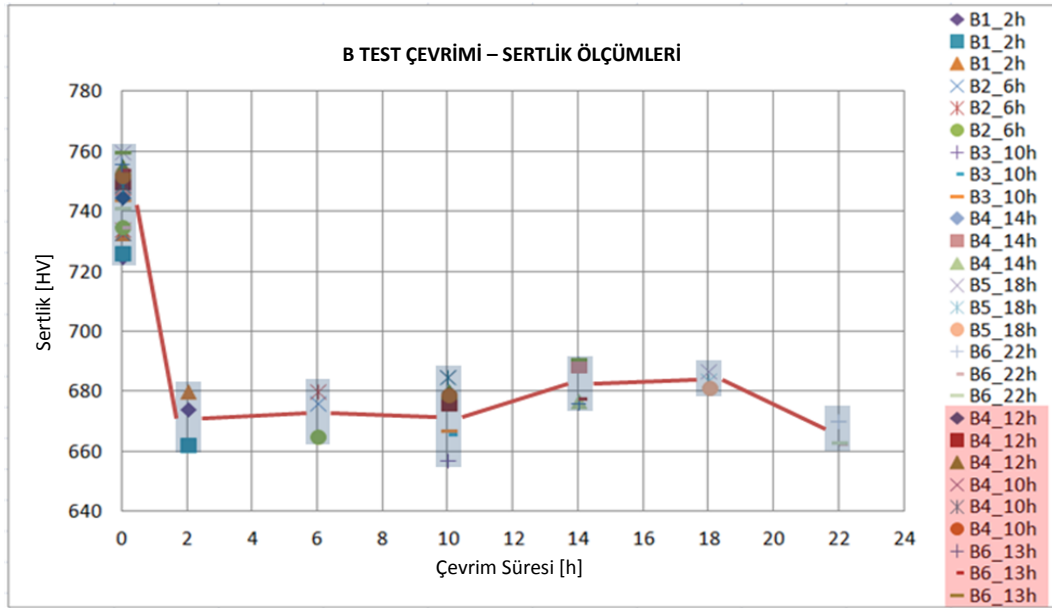
A test çevriminde kullanılan enjektörlerin memelerine yapılan sertlik ölçümlerine göre zamana bağlı olarak sertlik durumunun nasıl değiştiği incelenmiştir. Aşağıda Şekil 4. 26'da görüldüğü gibi ilk 2 saatte memelerin en yüksek sertlik düşüşünü yaşadığı, 10. saate kadar sertlik düşüşünün devam ettiği ancak 10. saatten sonra dikkate alınmayacak kadar küçük düşüşlerin yaşandığı gözlemlenmiştir. İlk 2 saatteki yüksek sertlik düşüşünün sebebi memenin ömrü boyunca ilk defa maruz kaldığı maksimum sıcaklıktan kaynaklanmaktadır [8].



Şekil 4. 26 A Test Grubu Sertlik Ölçüm Verisi

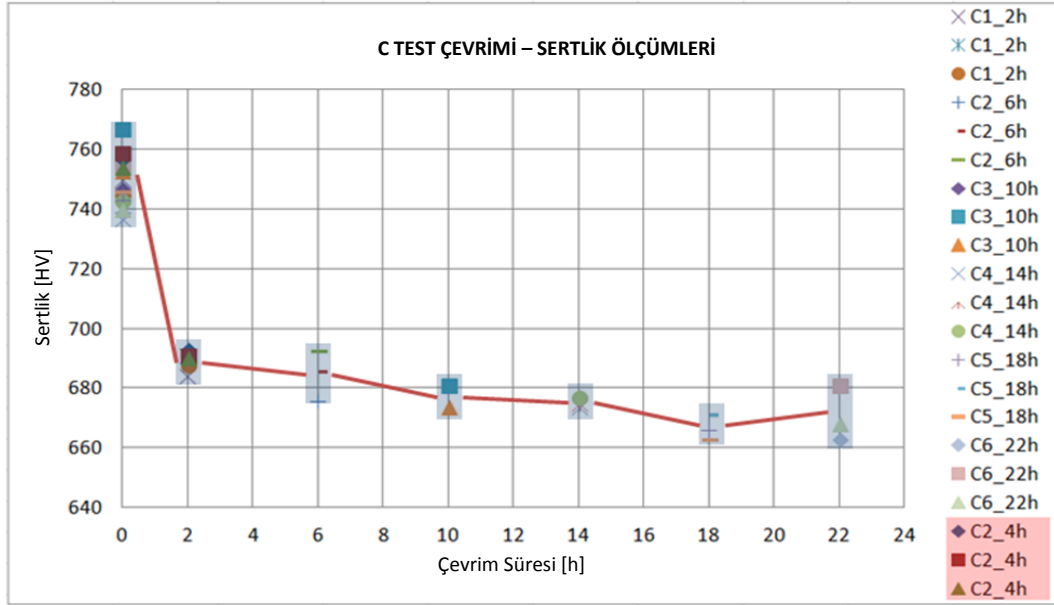
#### 4.3.2 B Test Çevrimi Sertlik Ölçüm Verileri

B test çevrimiyle koşturulmuş olan enjektörlerin memelerine yapılan sertlik ölçümü sonrasında memelerin test süresince sertlik değişim grafiği aşağıda Şekil 4. 27'de oluşturulmuştur. A grubu testlerinde olduğu gibi 10. saat itibarıyla sertlik düşüşü yavaşlamakta ve çok değişmemektedir. İstenilen süreleri tamamlayamayan B4 ve B6 testlerinin süreleri, standart sürelerle en yakın olan gruplara eklenerek veri sayısı artırılmıştır [8].



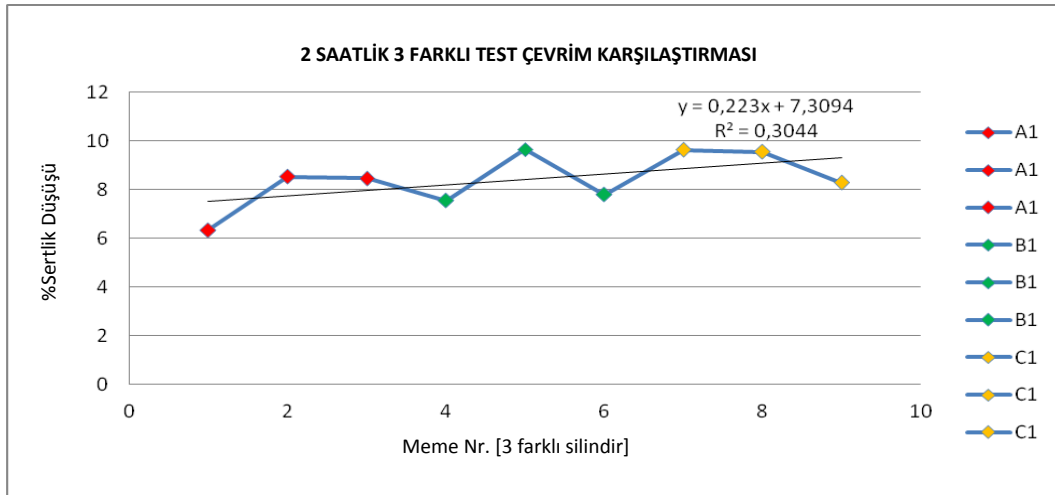
#### 4.3.3 C Test Çevrimi Sertlik Ölçüm Verileri

C test çevrimiyle koşturulmuş olan enjektörlerin memelerine yapılan sertlik ölçümü sonrasında memelerin test süresince sertlik değişim grafiği aşağıda Şekil 4. 28'de oluşturulmuştur. Üç farklı test grubunda kullanılan memelerin sertlik değişimleri incelendiğinde, test çevriminden bağımsız olarak malzeme sertlik sıcaklık ilişkisinin benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Görülen maksimum sıcaklıkla beraber malzemenin sertliğinin düştüğü, süreden ve frekansından bağımsız olarak benzer sertlik davranışı sergilediği ortaya koyulmuştur [8].



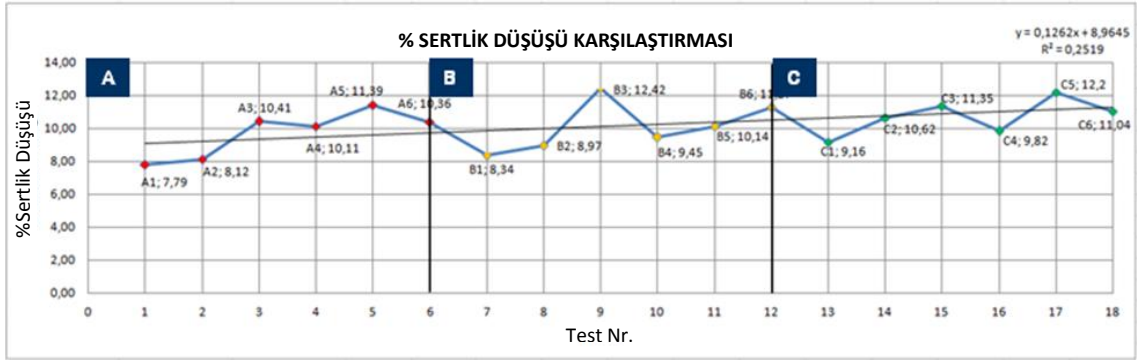
Şekil 4. 28 C Test Grubu Sertlik Ölçüm Verisi

İlk 2 saatlik sürede, meme malzeme sertliğinin maksimum düşüşü (~8%) yaşadığı tüm silindirlerde gözlemlenmiş, 2 saatlik A1-B1-C1 testlerinde kullanılan memelerde yaşanan oransal sertlik düşüşleri ile desteklenmiştir. Aşağıda Şekil 4. 29'da memelerin yaşadığı maksimum sertlik düşüşü görülmektedir.



Şekil 4. 29 2 Saatlik Test Grubu Sertlik Düşüş Oranı

Tüm test gruplarında, 3 farklı silindirdeki memelerin ortalama sertlik düşüş oranları karşılaştırıldığında, C grubundaki memelerin en yüksek sertlik düşüşünü yaşadığı, bu düşüşün ortalama %11-12 civarında olduğu, B grubu ile C grubu arasında oransal olarak çok yüksek farklılık görülmediği (~1-2%) tespit edilmiştir. Aşağıda Şekil 4. 30 'da tüm testlerde yaşanan düşüşlerin karşılaştırması gösterilmektedir.

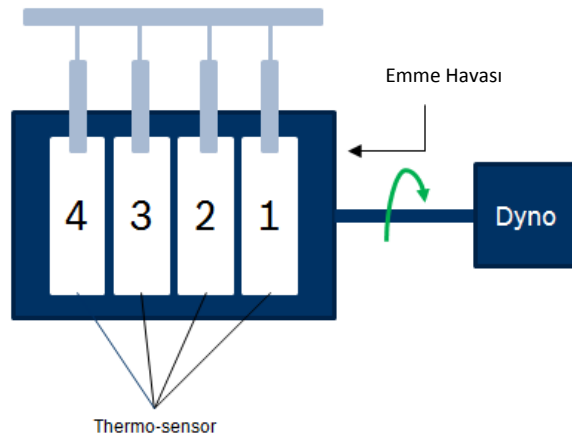


Şekil 4. 30 Karşılaştırmalı Sertlik Düşüş Oranları

Yukarıdaki grafiklerden de anlaşılacağı gibi, memenin motorda maruz kaldığı maksimum sıcaklığı görebilmek ve meme malzemesinin yaşayacağı maksimum sertlik düşüşünü tespit edebilmek adına gerçekleştirilmesi en uygun test çevrimi C test çevrimidir. Sınır koşulları ölçebilmek için gerekli test süresi 10 saat olmakla beraber daha uzun testlerde dikkate alınmayacak değişiklikler gözlenecektir.

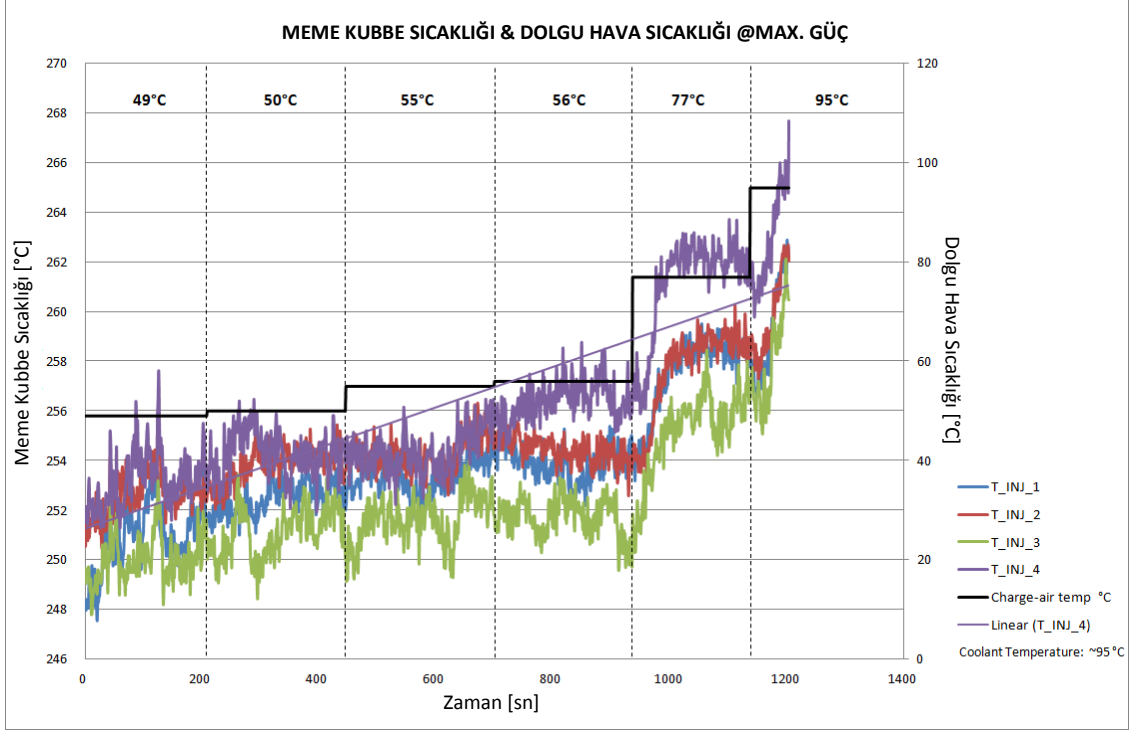
#### 4.4 Silindirler Arası Sıcaklık Farkları ve Sıcaklığı Etkileyen Parametreler

Motor testleri sırasında, motor parametrelerindeki farklılıkların meme kubbe sıcaklığı üzerine etkisini incelemek adına 4 silindire 4 farklı termo-enjektör takılarak kısa süreli testler gerçekleştirilmiştir. Bu testlerde amaç, silindirler arasındaki sıcaklık farkını, silindir içine alınan hava sıcaklık farkının ve soğutma suyu sıcaklık farkının etkisini, farklı motor devirlerinde oluşan sıcaklık değişimlerini görmektir. Bu testlerde kullanılan mevcut sistemin şematik hali aşağıda Şekil 4. 31 'de gösterilmektedir [8].



Şekil 4. 31 Mevcut Test Sistemi

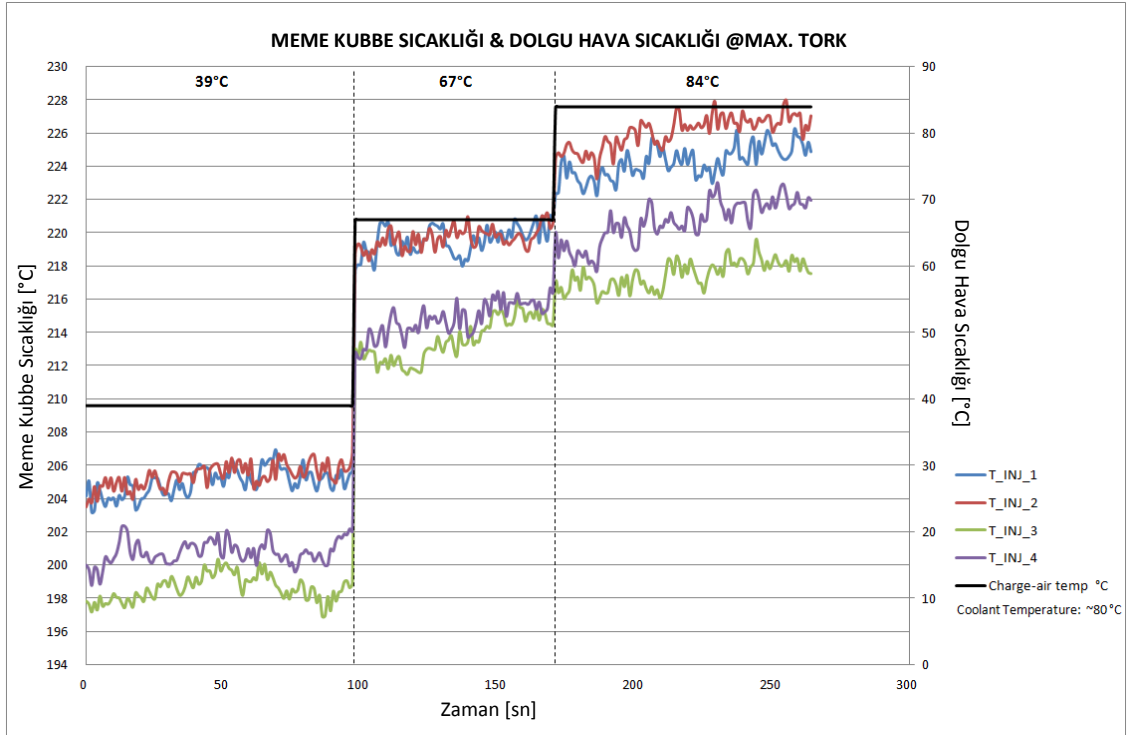
Maksimum güç koşulunun meme malzemesi üzerine yüksek oranda etkisi olduğunu önceki bölümlerde incelemiştik. Bu nedenle maksimum güç şartında, silindir içine alınan hava sıcaklığındaki değişimin farklı silindirlerde meme kubbe sıcaklıklarında ne tür değişiklikler yarattığına bakılmıştır. Aşağıda Şekil 4. 32 'de sıcaklık değişimleri görülmektedir.



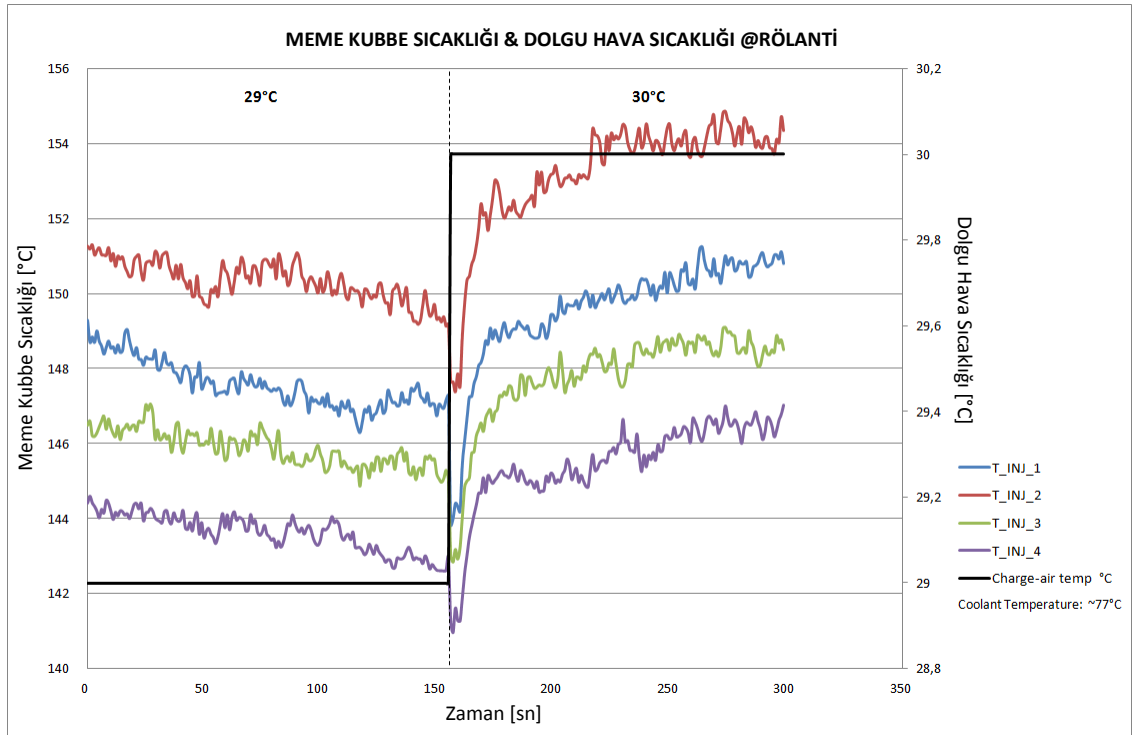
Şekil 4. 32 Maksimum Güç Şartında Hava Sıcaklığının Etkisi

Silindir içerisine alınan havanın sıcaklığının, meme kubbesinde okunan sıcaklık üzerine etkisi çok yüksek olarak görülmektedir. Maksimum güç şartında hava sıcaklığı 50 °C 'de yapılan testlerle, ~80°C 'de yapılan testler arasında ~10°C fark oluşturmaktadır.

Silindir içine alınan hava sıcaklığının sadece maksimum güç noktasında değil diğer motor çalışma şartlarındaki etkisi de incelenmek istenmiş, maksimum tork şartında ve rölanti şartında aynı ölçümler tekrarlanmıştır. Yapılan ölçümler sonrasında her bir silindirdeki termo-enjektörlerden alınan sıcaklık verileri aşağıda Şekil 4. 33 'te ve Şekil 4. 34 'te gösterilmektedir.



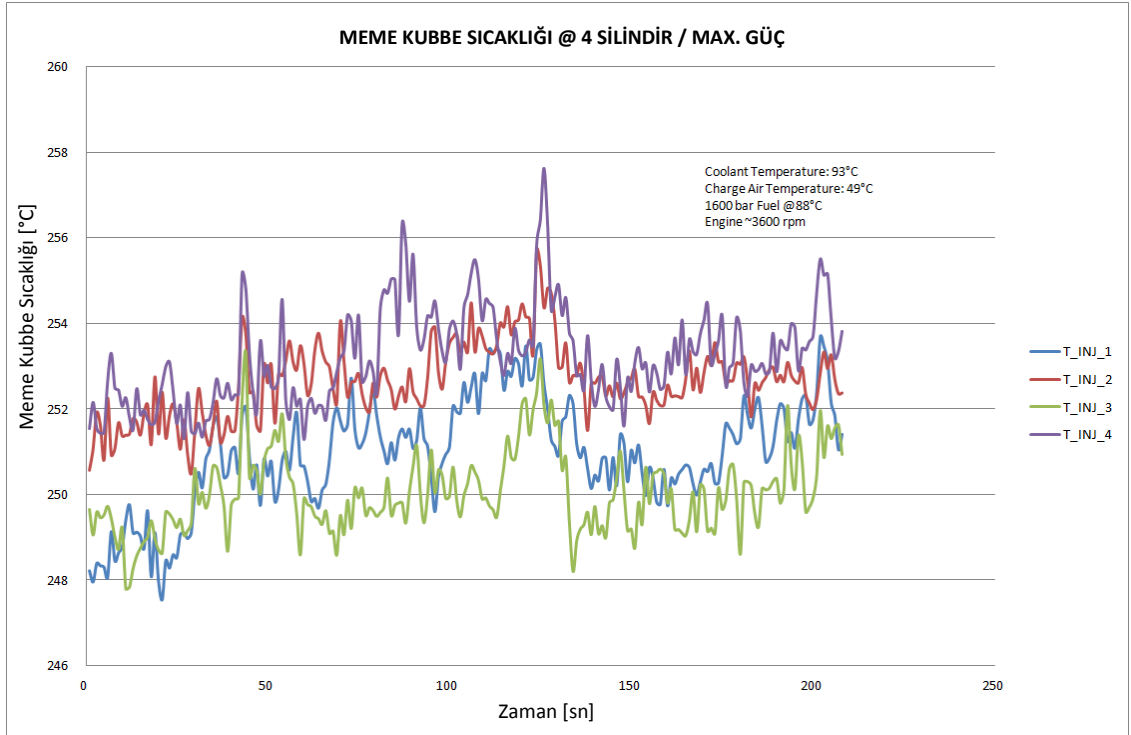
Şekil 4. 33 Maksimum Tork Şartında Hava Sıcaklığının Etkisi



Şekil 4. 34 Rölanti Şartında Hava Sıcaklığının Etkisi

Yukarıda grafiklerde de görüldüğü gibi, silindir içine alınan hava sıcaklığı tüm motor çalışma şartlarında meme kubbe sıcaklığını etkileyen parametrelerin başında gelmektedir.

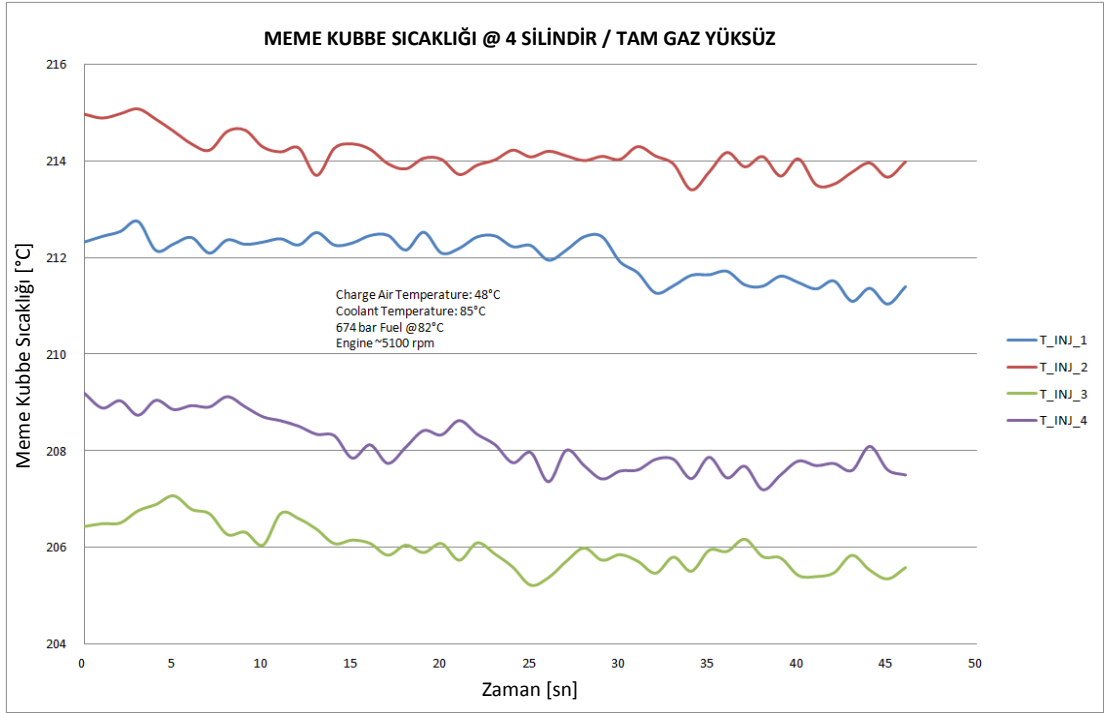
Tüm testlerde termo-enjektörün 4. silindirde bulunma sebebi, hava girişine en uzak silindirde motor silindir içi sıcaklıkların diğerlerine göre daha yüksek olması beklenmesiydi. Farklı motor şartlarında silindirler arası sıcaklık farklarını görebilmek ve 4. silindire takılan termo-enjektörün doğruluğunu anlayabilmek için kısa süreli testler yapılmış ve sıcaklık verileri toplanmıştır. Maksimum güç noktasında 4 farklı silindirden elde edilen sıcaklık verileri aşağıda Şekil 4. 35 'te gösterilmiştir. Bu test süresince, soğutma suyu sıcaklığı 93°C, silindir içine alınan hava sıcaklığı (Tboost) 49°C olup optimum çalışma şartlarını sağlamaktadır.



Şekil 4. 35 Maksimum Güç Şartında Silindirler Arası Sıcaklık Farkları

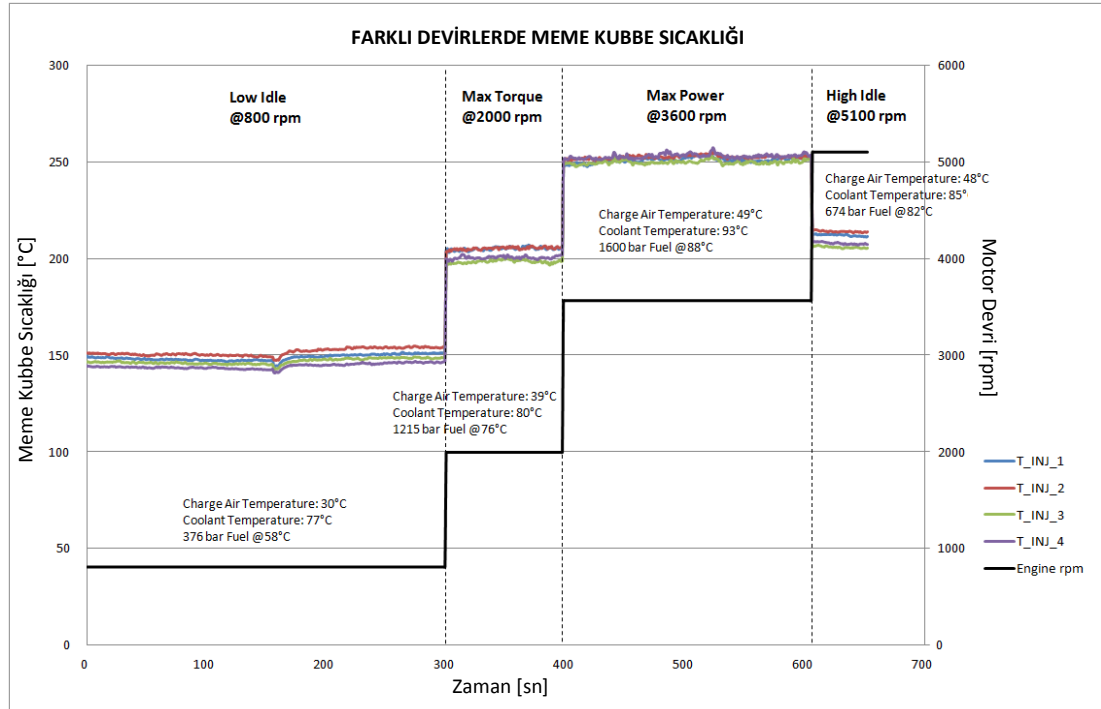
Aynı test sadece tam gaz/yüksüz (high idle) şartı için de tekrarlanmış olup, sıcaklık farkları aşağıda Şekil 4. 36 'da gösterilmiştir.

Silindirler arası sıcaklık farklarına bakıldığında, motorun tüm çalışma şartlarında ortalama olarak  $\pm 4^{\circ}\text{C}$  sıcaklık farkı gözlenmiş, rölanti şartında en düşük sıcaklığın gözlemlendiği 4. silindirde maksimum güç şartında en yüksek sıcaklığın oluştuğu görülmüştür. Maksimum güç şartı haricinde test edilmiş olan rölanti, tam gaz/yüksüz ve maksimum tork şartlarında en yüksek sıcaklık 2. silindirde tespit edilmiştir.



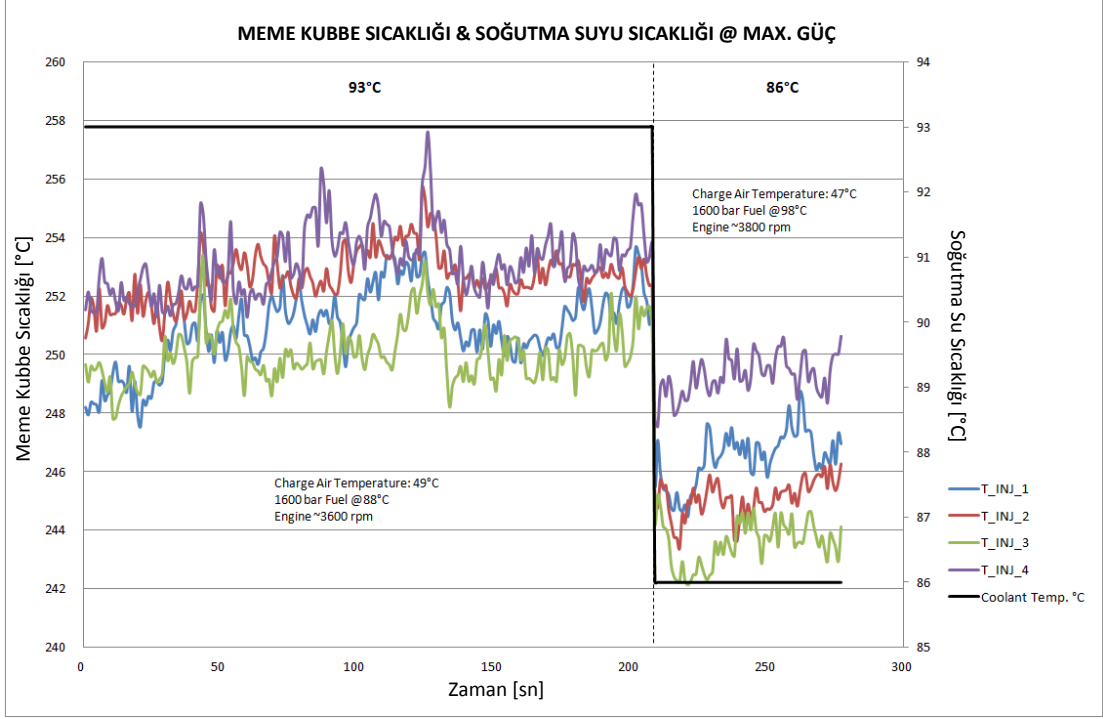
Şekil 4. 36 Tam Gaz/Yüksüz Şartında Silindirler Arası Sıcaklık Farkları

Test çevrimlerinde kullanılan dört farklı motor çalışma koşulunda, dört silindirde oluşan meme kubbe sıcaklıkları karşılaştırmalı olarak aşağıda Şekil 4. 37 'de gösterilmiştir. Tam gaz/yüksüz konumda devir maksimum güce göre daha yüksek olmasına karşın, herhangi bir güç ve tork çıkışı olmadığından sıcaklıklar daha düşük gözlenmiştir.



Şekil 4. 37 Tüm Şartlarda Silindirler Arası Sıcaklık Farkları

Testler sırasında kullanılan soğutma suyu sıcaklıklarında farklılık yaşanması sebebiyle, testler ölçülen meme kubbe sıcaklıklarında oluşturduğu etkiyi görmek adına maksimum güç şartında soğutma suyu sıcaklığı değiştirilerek silindirlerdeki sıcaklıklar yeniden incelenmiştir. Farklı soğutma suyu sıcaklıklarında meme kubbesinde ölçülen sıcaklık değerleri aşağıda Şekil 4. 38 'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 38 Maksimum Güç Şartında Soğutma Suyu Sıcaklığının Etkisi

Yukarıdaki grafikteki değerler incelendiğinde, 7 °C 'lik soğutma suyu sıcaklık değişimi, silindir ortalamasında 6°C kubbe sıcaklığını değiştirmektedir. Bu da iki parametre arasında 1:1 oranda ilişki olduğunu göstermektedir [8].

### SONUÇLAR

Bu çalışmada, CRI sistemiyle alakalı güncel literatür araştırması yapılmış, diesel enjektör tipleri ile enjektör meme tipleri hakkında bilgi verilmiş olup, meme malzemesinin sıcaklık davranışı üzerine yoğunlaşmıştır. Diesel enjektör memesinin sıcaklık davranışı, Bosch Ar-Ge laboratuvarında fırın testleri ile statik olarak incelenmiştir. Statik şartları dinamik şartlarla doğrulayabilmek adına Yıldız Teknik Üniversitesi otomotiv laboratuvarın CRI2.1 enjeksiyon sistemine sahip olan bir test düzeneği kurularak 3 farklı test çevrimi ile motor testleri gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen tüm testlerden elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

- Meme malzemesinin sıcaklık davranışı ve sertlik düşüşü fırın testleri ile motor testlerinde benzerlik göstermektedir.
- Enjektör memesi kubbe sıcaklığı silindirler arasında değişkenlik göstermekle beraber, tüm motor çalışma şartlarında (maksimum güç, rölanti, tam gaz/yüksüz, maksimum tork) sıcaklık farkı  $\pm 4^{\circ}\text{C}$  olarak ölçülmüştür.
- Maksimum güç şartının meme malzemesinin dayanımı açısından önemli rol oynadığı anlaşılmış, bu şartta en yüksek kubbe sıcaklığı motor hava giriş bölgesine en uzakta konumlanan 4. silindirde görülmüştür.
- Maksimum güç şartı harici diğer koşullarda en yüksek kubbe sıcaklığı 2. silindirde ölçülmüştür.
- Motor testleri sırasında en yüksek sıcaklık B test çevriminde yaşanmış olup, kök sebebinin diğer testlere göre silindir içine alınan hava sıcaklığının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

- Meme malzemesinde maksimum sertlik düşüşünün maksimum sıcaklıkla karşılaştığı ilk 2 saatte yaşandığı, 10. saate kadar düşüşün yavaşladığı ve 10 saatten sonra dikkate alınmayacak değişiklikler olduğu anlaşılmıştır.
- Motor testlerinde görülen en yüksek malzeme sertlik düşüşü C test çevriminde tespit edilmiş, memelerde ortalama olarak ~11-12% civarında sertlik düşüşü yaşanmıştır. Memenin ömrü boyunca önemli olan sıcaklık dayanımı açısından sertlik düşüşüne göre C testinin uygulanması doğrudur.
- Rölanti şartında motorda meme malzemesinin temperleme sıcaklığından daha düşük sıcaklıklar gözlenmesi sebebiyle malzeme sertlik değişimi beklenmemektedir.
- Enjektör memesi kubbe sıcaklığı, silindir içine alınan havanın sıcaklığıyla yakın etkileşim içinde olup, yükselen hava sıcaklığı ile kubbede okunan sıcaklık artmaktadır.
- Motorda kullanılan soğutma suyu sıcaklığının meme kubbe sıcaklığına olan etkisi araştırılmış, yaklaşık olarak 1:1 etkileşim içinde oldukları tespit edilmiştir. Diğer motor çalışma parametreleri manuel olarak ayarlandığından soğutma suyunun tekil etkisi yaklaşık olarak belirtilmektedir.

Mevcut yaklaşımlar, binek araçlarda kullanılan diesel enjektörlerde yaşanan sıcaklıklar için geçerli olup, mevcut test düzeneğinde kullanılan PSA DV6 75HP motor aplikasyonu için doğrulanmıştır [8].

## KAYNAKLAR

---

- [1] Altun E., (2014). Dynamical Modelling and Analysis of Common Rail Fuel Injection System, Master Thesis, İTÜ, İstanbul.
- [2] Bosch, (2005). Diesel Fuel Injection System Common Rail, Diesel Engine Management, The Bosch Yellow Jackets Edition.
- [3] Bey E. (2007), "Diesel Sistemlerde Emisyon ve Enjektör Memesi Örneği", Mühendis ve Makina, 48(568).
- [4] Common Rail Injection System, [www.diesel.net](http://www.diesel.net), 15 Mayıs 2015.
- [5] Bosch Diesel Systems, [www.inside.bosch.com](http://www.inside.bosch.com) sunumları, 15 Mayıs 2015.
- [6] Bayram Ç., Köse H., (2014). Diesel Enjektör Memesi Mekanik Dayanımının Sayısal ve Deneysel Yöntemlerle Geliştirilmesi, Nr.3130157 Tübitak Proje Raporu, Bosch San. ve Tic. A.Ş.
- [7] International Vienna Symposium, (2011). "Consistent Further Development of the High Pressure Diesel Fuel Injection Systems for Passenger Cars" Page 568.
- [8] Bey E., Terzi E., Akpınar G., Alakoç Z., Ergenç A., Özener O., (2014). Düşük Maliyetli Meme Malzemesinin Yeni Nesil Diesel Motor Enjektörlerinde Yüksek Sıcaklık Şartlarındaki Kullanım Alanının Arttırılması, Nr.3130419 Tübitak Proje Raporu, Bosch San. ve Tic. A.Ş.
- [9] Bosch Diesel Systems, Bursa R&D Department Presentations.
- [10] E. Salles, A. Galdino, (2012). "Effects of Engine Brake Systes and Comparison between Europe and South America Applications", SAE International, 2012-36-0146.
- [11] F. Königsson, P. Stalhammar, H.-E. Angstrom, (2012). "Controlling the Injector Tip Temperature in a Diesel Dual Fuel Engine", SAE International Technical Paper 2012-01-0826.
- [12] K. Alark, R. Morton, R. Carter, (2009). "Study of Diesel Engine Performance Using High Sulphur Fuel", SAE International Technical Paper 2009-01-1098.
- [13] E. Schwarz, E. Danielson, W. Bryzik, (2000). "NATO Qualification Test of Detroit Diesel 8V71-TA Engine at 530 BHP with Advanced Ceramic Components", SAE International Technical Paper 2000-01-0524.

- [14] R. C. Laboratory, Military Adaptation of Commercial Items Laboratory, Evaluation of the Code 4-430 Engine, Technical Report, US Army Tank-Automotive Command Research and Development Center .
- [15] Y. Bartoli, E. J. Lyford-Pike, J.E. Luke, (2009). "1000hour Durability Evaluation of a Prototype Diesel Engine with After treatment Using B20 Biodiesel Fuel", SAE International Fuel Lubrication 2(2):290-304.
- [16] A. Küsters, F. J. Maassen, (2010). "Specific Durability Testing with FEV Master Program", SAE International Technical Paper 2010-01-0922.
- [17] M. Franke, A. Küsters, T. Rinkens, F. Maasen, (2007). "Mechanical Testing", SAE International Technical Paper 2007-01-1768.

## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Gökhan AKPINAR  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 23/12/1988 Mersin  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : gokhunakpinar@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lise	Matematik/Fen	İçel Anadolu Lisesi	2007

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012-...	Bosch San. ve Tic. A.Ş.	Ürün Geliştirme Müh.
2011-12	Bosch San. ve Tic. A.Ş.	Yarı Zamanlı Öğrenci
2011	Bosch San. ve Tic. A.Ş.	Üretim Stajyeri
2011	Şişecam A.Ş.	Bakım/Onarım Stajyeri

2010 Vibracoustic Hamburg Mühendislik Stajyeri

2009 Celkonsan Makine Üretim Stajyeri

**Proje**

1. Bey E., Terzi E., Akpınar G., Alakoç Z., Ergenç A., Özener O., (2014). Diesel Enjektör Memesinin Sıcaklık Değişiminin İncelenmesi
2. Bayram Ç., Köse H., G. Akpınar (2014). Diesel Enjektör Memesinin Mekanik Dayanımının Deneysel Olarak İncelenmesi
3. Akpınar G., Zenginer S.(2012). Otto Motor Test Düzeneği Kurulumu ve Vites Kutusu Entegrasyonu
4. Akpınar G. (2011). Emisyon Azaltma Yöntemleri
5. Akpınar G. (2011). Enjektör Meme Deliğinin Delinmesi Prosesindeki Sarf Malzeme Maliyetlerinin Azaltılması