

**MEME OTURMA BÖLGESİ AŞINMASI VE  
DEFORMASYONUNUN DİZEL ENJEKTÖR  
FONKSİYONU ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN  
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Önder DAL**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEME OTURMA BÖLGESİ AŞINMASI VE DEFORMASYONUNUN DİZEL  
ENJEKTÖR FONKSİYONU ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL  
OLARAK İNCELENMESİ**

**Önder DAL**  
0000-0003-2023-4579

Prof. Dr. M. İhsan KARAMANGİL  
(Danışman)  
0000-0001-5965-0313

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

## TEZ ONAYI

Önder DAL tarafından hazırlanan “MEME OTURMA BÖLGESİ AŞINMASI VE DEFORMASYONUNUN DİZEL ENJEKTÖR FONKSİYONU ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. M. İhsan KARAMANGİL

**Başkan** : Prof. Dr. M. İhsan KARAMANGİL  
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı  
0000-0001-5965-0313

İmza



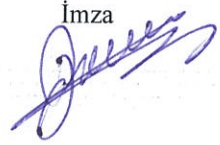
**Üye** : Prof. Dr. Ali Sürmen  
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı  
0000-0002-1045-6779

İmza



**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Erdem Uzunsoy  
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa  
Bilimleri Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
0000-0002-6449-552X

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN  
Enstitü Müdürü

..!..!...



**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

.../.../.....

**Önder DAL**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### MEME OTURMA BÖLGESİ AŞINMASI VE DEFORMASYONUNUN DİZEL ENJEKTÖR FONKSİYONU ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

**Önder DAL**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. M. İhsan KARAMANGİL

Common rail piezo enjektörler günümüzün dizel motor uygulamalarında kullanılan ileri teknoloji bir yakıt püskürtme sistemidir ve her geçen gün azalan emisyon regülasyonlarını yakalamak için sürekli geliştirilmektedir. Özellikle püskürtme basıncı, yakıtın yanma odasına doğru zamanda, doğru kalitede ve doğru pozisyonda getirilmesi gibi bazı parametreler gittikçe önem kazanmaktadır.

Bu noktada yeni motorlarda kullanılmak üzere Bosch içerisinde yeni bir enjektör tasarımı ortaya çıkmaktadır. Yeni tasarımın en kritik noktalarından birisi ise motorun çalışması ile beraber meme oturma yüzeyi bölgesinde hem iğnede hem de gövdede meydana gelen değişimlerdir. Püskürtülen yakıt miktarlarının dolayısıyla yayılan emisyonların motorun ömrü boyunca tutarlı olmasını sağlamak için oturma yüzeyinde oluşan bu değişimleri olabildiğince azaltmak gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında yanmalı motor testleri ile beraber meme oturma bölgesinde meydana gelen değişimlerin zamanla ilerlemesi ve çözüm olarak geliştirilen şartlandırma işlemi deneysel olarak incelenmektedir. Deney çalışması toplam 2 adet 400 saatlik yanmalı motor testinden oluşmaktadır. 0, 20, 200 ve 400 saatte iğne ve gövde oturma bölgesi yüzey profilleri alınarak meme analizleri ve enjektör fonksiyon ölçümleri yapılmıştır. Test sonuçları değerlendirildiğinde şartlandırmasız memelerde gövde oturma yüzeyi değişimi nedeni ile püskürtme miktarı 20 saatten itibaren artmaktayken, şartlandırılmalı memelerde gövde oturma yüzeyinde bir değişim olamamasına rağmen iğnedeki aşınma nedeni ile püskürtme miktarı 20 saatten itibaren azalmaktadır.

Püskürtme miktarının artması ile beraber birbirine yakın iki püskürtme birleşebilmekte ve bu püskürtme düzeni için risk oluşturmaktadır. Bu nedenle şartlandırma işleminin daha avantajlı olduğu görülmüştür ve şartlandırma işlemine sahip alternatif ile devam edilmesine karar verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Isı motoru, motor parçası, triboloji, enjektör, meme oturma bölgesi, aşınma, plastik deformasyon

**2019, ix + 85 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

### EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF EFFECTS OF NOZZLE SEAT WEAR AND DEFORMATION ON DIESEL INJECTOR FUNCTION

**Önder DAL**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Automotive Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. M. İhsan KARAMANGİL

Common rail piezo injectors are an advanced fuel injection system used in today's diesel engine applications and are constantly being developed to meet decreasing emission regulations. Particularly, some parameters such as injection pressure, bringing the fuel into the combustion chamber at the right time, in the right quality and in the right position are becoming increasingly important.

At this point, a new injector design emerges in Bosch for use in new engines. One of the most critical points of the new design is the changes that occur in both nozzle needle and body seat area with the operation of the engine. In order to ensure that the amounts of fuel injected and thus the emissions emitted are consistent throughout the life of the engine, it is necessary to reduce these changes as much as possible.

In this thesis, the progression of the changes that occur in nozzle seat area and the optimized process developed as a solution are investigated experimentally using the engine tests with combustion. The experiment consists of two engine tests with 400 hours duration. At 0, 20, 200 and 400 hours, the nozzle analyzes by taking the surface profiles of the needle and body seat area and injector function measurements were performed.

According to the test results, the injection quantity of un- optimized nozzles increases starting from 20 hours due to the change of nozzle body seat surface, while the injection quantity of optimized nozzles decreases starting from 20 hours due to wear on the needle although there is no change in the nozzle body seat surface.

With the increase in the injection quantity, two injections close to each other can be combined and this creates a risk for the injection pattern. Therefore, it has been found that optimization is more advantageous and it was decided to continue with the alternative having optimized process.

**Key words:** Heat engine, engine component, tribology, injector, nozzle seat, wear, plastic deformation

**2019, ix + 85 pages.**

## TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesi ve tezin oluşması aŐamasında değerli bilgi ve zamanını benimle paylaşan saygıdeğer hocam ve danıŐmanım Prof. Dr. M. İhsan Karamangil'e, kısıtlı zamanlarımı ayırarak tezin oluŐmasında yardımcı olan BOSCH AR-GE bölümünden değerli müdürlerim Suat Ayyıldız'a ve Ahmet Bingöl'e, yüksek lisans eğitimim süresince desteklerini esirgemeyen kıymetli aileme teşekkürlerimi sunarım.

Önder DAL  
.../.../.....

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Dizel yakıt püskürtme sisteminin evrimi .....	3
2.2. Common rail sistemi .....	5
2.3. Common rail piezo enjektör.....	7
2.4. Common rail piezo enjektör meme modülü.....	12
2.5. Market gereksinimleri .....	14
2.6. Market gereksinimlerinin meme üzerindeki etkisi ve risk noktaları.....	21
2.7. Meme oturma yüzeyinde gerçekleşen aşınma ve deformasyon.....	24
2.8. Şartlandırma işlemi .....	33
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	355
3.1. Deney tasarımı .....	355
3.2. Deneysel çalışmada kullanılan yakıt.....	366
3.3. Yanmalı motor testleri.....	400
3.3.1. Motor özellikleri.....	400
3.3.2. Test çevrimi .....	422
3.4. Meme analizleri.....	466
3.4.1. Dijital mikroskop fotoğrafları .....	466
3.4.2. İğne ve gövde oturma bölgesi yüzey profili ölçümleri.....	477
3.5. Enjektör fonksiyon ölçümleri.....	500
3.5.1. Ölçüm tezgahı.....	500
3.5.2. Püskürtme karakteristiği ve püskürtme miktarı değişimi eğrisi.....	533
3.5.3. Püskürtme gecikmesi eğrisi.....	555
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	577
4.1. İğne oturma yüzeyi fotoğrafları .....	577
4.2. İğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri.....	59
4.3. Püskürtme miktarı değişimi eğrisi .....	688
4.4. Püskürtme gecikmesi eğrisi.....	733
5. SONUÇ.....	788
KAYNAKLAR .....	822
ÖZGEÇMİŞ .....	855



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
G3 [ $\mu\text{m}$ ]	Kör delik başlangıcında iğne ile gövde arasındaki mesafe
n [ $\text{dak}^{-1}$ ]	Motor devri
P [bar]	Kondiyonlama sürecinde uygulanan basınç
p <sub>mi</sub> [bar]	Ortalama indike basınç
T [bar]	Kondiyonlama sürecinde uygulanan sıcaklık

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
CO	Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
CoC	Uygunluk belgesi
CRS	Common rail sistemi
DLC	Elmas benzeri karbon
DRS	Digital rate shaping
ECU	Elektronik kontrol ünitesi
EGR	Egzoz gazı resirkülasyonu
HDA	Hidrolik basınç arttırıcı
ICE	İçten yanmalı motor
NEDC	Yeni Avrupa sürüş döngüsü
NO <sub>x</sub>	Azot oksit
RDE	Gerçek sürüş emisyonu
TDI	Turboşarjlı doğrudan püskürtme
UHC	Yanmamış hidrokarbon
WLTP	Hafif taşıt test prosedürü
WSD	Düzeltilmiş aşınma izi çapı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Mercedes-Benz 260D motoru .....	3
Şekil 2.2. Common rail sisteminin şematik gösterimi .....	6
Şekil 2.3. Piezo enjektörü parçalarının isimleriyle birlikte kesit resmi .....	8
Şekil 2.4. Piezo enjektörü içerisindeki hidrolik denge.....	9
Şekil 2.5. Piezo enjektörü içerisindeki valfin çalışma prensibi .....	10
Şekil 2.6. Piezo enjektörü içerisindeki valfin çalışma prensibi, kesit resmi .....	11
Şekil 2.7. Meme modülü ile P-meme arasındaki ana tasarım farkları .....	13
Şekil 2.8. Meme modülünün fonksiyonunu belirleyen ana geometriler .....	14
Şekil 2.9. Kısmi yük altında çalışan bir motorda basıncın gürültü ve kurum-NOx oluşumuna etkisi .....	18
Şekil 2.10. Konvansiyonel ve DRS2 püskürtme düzenlerinin silindir basıncına ve ısı oluşumuna etkisi .....	19
Şekil 2.11. Konvansiyonel, DRS ve DRS2 püskürtme düzenlerinin yanma gürültüsüne ve kurum-NOx oluşumuna etkilerinin karşılaştırılması.....	20
Şekil 2.12. Yeni tasarımın temelini oluşturan eski jenerasyonun 3 boyutlu modeli.....	22
Şekil 2.13. Enjektör özelliklerindeki değişim ve meme üzerinde yarattığı kritik etkiler	23
Şekil 2.14. Meme üzerinde oluşan kritik noktalar için çalışılan olası tasarım çözümleri .....	24
Şekil 2.15. Yeni jenerasyonda kullanılan oturma yüzeyi tasarımı.....	25
Şekil 2.16. Meme oturma yüzeyi profillerinin taranma oryantasyonu ve sonucunda oluşan görüntü .....	26
Şekil 2.17. Deformasyonun yüzey profili üzerindeki görüntüsü .....	27
Şekil 2.18. İki farklı parçanın ilk durumda (0 saat) ve 20 saat çalıştıktan sonraki gerçek yüzey profilleri .....	28
Şekil 2.19. Deformasyon ve aşınmanın neden olduğu iğne ve gövde arasındaki boşluk değişimleri.....	29
Şekil 2.20. Sistem basıncının artması ile oluşan meme gövdesinde elastik deformasyon etkisi .....	30
Şekil 2.21. Yüksek basınçlarda meme gövdesinde oluşan elastik deformasyonun iğne aşınmasına etkisi .....	30
Şekil 2.22. Deformasyonun şartlandırma işlemi ile değişimi .....	34
Şekil 3.1. G3 genişliği.....	355
Şekil 3.2. Motor testinde kullanılan varyasyonlar .....	366
Şekil 3.3. Farklı sıcaklık ve basınçlarda test yağı yoğunluk/viskozite değişimi.....	400
Şekil 3.4. Audi W36 3.0L TDI Euro 6 motor görseli .....	411
Şekil 3.5. Test sırasında ölçülen tork/güç-devir sayısı eğrisi.....	422
Şekil 3.6. Test sırasında ölçülen devir sayısı-zaman eğrisi.....	433
Şekil 3.7. Test sırasında ölçülen güç-zaman eğrisi .....	433
Şekil 3.8. Test sırasında ölçülen tork-zaman eğrisi.....	444
Şekil 3.9. Test sırasında ölçülen sistem basıncı-zaman eğrisi .....	444
Şekil 3.10. Test sırasında ölçülen yanma odası basıncı-zaman eğrisi.....	455
Şekil 3.11. Test sırasında ölçülen silindir sıcaklığı-zaman eğrisi .....	455
Şekil 3.12. İncelemeler sırasında iğne ucundan alınan örnek bir görüntü .....	466
Şekil 3.13. Profil kesitinden yüzey parametresinin değerlendirilmesi.....	477
Şekil 3.14. Parça yüzeyine temas eden ölçüm iğnesi görseli.....	488

Şekil 3.15. Teknik resimlerde belirtilen ideal yüzey.....	488
Şekil 3.16. Ölçüm yapılan yüzeyin gerçek hali.....	49
Şekil 3.17. Ölçüm yapılan yüzeyin ölçülmüş hali.....	49
Şekil 3.18. Meme gövdesinden alınan örnek bir yüzey profili .....	49
Şekil 3.19. Piezo enjektör fonksiyonu ölçüm tezgahı .....	511
Şekil 3.20. HDA ve elemanları .....	521
Şekil 3.21. Ses hızının hesaplanması .....	532
Şekil 3.22. Püskürtme karakteristiği eğrisi örneği .....	543
Şekil 3.23. Püskürtme miktarı değişimi eğrisi örneği .....	554
Şekil 3.24. Elektriksel tetikleme ve püskürtme başlangıcı arasındaki zaman farkı .....	565
Şekil 3.25. Püskürtme gecikmesi eğrisi örneği .....	566
Şekil 4.1. İğne oturma yüzeyinde oluşan aşınma çizgisi .....	577
Şekil 4.2. 1. test 400 saat sonucunda iğne oturma yüzeyi fotoğrafı.....	587
Şekil 4.3. 2. test 400 saat sonucunda iğne oturma yüzeyi fotoğrafı.....	588
Şekil 4.4. 1. testte kullanılan şartlandırmasız G3min varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri .....	621
Şekil 4.5. 1. testte kullanılan şartlandırmasız G3nom varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri .....	622
Şekil 4.6. 1. testte kullanılan şartlandırmasız G3max varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri .....	632
Şekil 4.7. 1. testte kullanılan şartlandırılmalı G3min varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri.....	633
Şekil 4.8. 1. testte kullanılan şartlandırılmalı G3nom varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri .....	643
Şekil 4.9. 1. testte kullanılan şartlandırılmalı G3max varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri .....	644
Şekil 4.10. 2. testte kullanılan şartlandırmasız G3min varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri .....	654
Şekil 4.11. 2. testte kullanılan şartlandırmasız G3nom varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri .....	655
Şekil 4.12. 2. testte kullanılan şartlandırmasız G3max varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri .....	665
Şekil 4.13. 2. testte kullanılan şartlandırılmalı G3min varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri .....	666
Şekil 4.14. 2. testte kullanılan şartlandırılmalı G3nom varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri .....	676
Şekil 4.15. 2. testte kullanılan şartlandırılmalı G3max varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri .....	677
Şekil 4.16. 1. test 20 saat sonucunda 2200 bar'da tetikleme zamanı ile beraber püskürtme miktarlarının değişimi .....	69
Şekil 4.17. 1. test 200 saat sonucunda 2200 bar'da tetikleme zamanı ile beraber püskürtme miktarlarının değişimi .....	700
Şekil 4.18. 1. test 400 saat sonucunda 2200 bar'da tetikleme zamanı ile beraber püskürtme miktarlarının değişimi .....	710
Şekil 4.19. 2. test 20 saat sonucunda 2200 bar'da tetikleme zamanı ile beraber püskürtme miktarlarının değişimi .....	711
Şekil 4.20. 2. test 200 saat sonucunda 2200 bar'da tetikleme zamanı ile beraber püskürtme miktarlarının değişimi .....	721

Şekil 4.21. 2. test 400 saat sonucunda 2200 bar’da tetikleme zamanı ile beraber püskürtme miktarlarının değişimi .....	722
Şekil 4.22. 1. test 20 saat sonucunda püskürtme gecikmesi eğrisi.....	754
Şekil 4.23. 1. test 200 saat sonucunda püskürtme gecikmesi eğrisi.....	755
Şekil 4.24. 1. test 400 saat sonucunda püskürtme gecikmesi eğrisi.....	765
Şekil 4.25. 2. test 20 saat sonucunda püskürtme gecikmesi eğrisi.....	766
Şekil 4.26. 2. test 200 saat sonucunda püskürtme gecikmesi eğrisi.....	776
Şekil 4.27. 2. test 400 saat sonucunda püskürtme gecikmesi eğrisi.....	777

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 5.1. Deney sonuçlarının özeti.....	80

## 1. GİRİŞ

İnsan nüfusu arttıkça, enerji tüketimi dünya için çok önemli bir konu haline gelmektedir. Nüfusun artmasına ek olarak teknolojinin durmaksızın gelişmesi, teknolojinin dünya genelinde giderek daha yaygınlaşmasına ve daha fazla enerji talebine yol açmaktadır. Yenilenebilir enerji gibi alternatiflerin ortaya çıkmasına ve bu alternatiflerin geleceğin başlıca enerji kaynakları olacağı öngörülmesine rağmen, günümüzde dünyadaki ana enerji kaynağı fosil yakıtlardır.

Fosil yakıtların tüketimi ve bu tüketime artan bir taleple birlikte, düzensiz tüketimin çevre üzerindeki etkilerinin görülmeye başlanması tüm dünyada çevresel kaygılar doğurmaktadır. Özellikle fosil yakıtların yanması sonucunda ortaya çıkan doğal ürünlerden biri olan karbondioksit ( $CO_2$ ) küresel ısınmanın olağan şüphelisi olarak görülmektedir.  $CO_2$ 'nin yanı sıra, ideal olmayan bir yanma sonucunda oluşan yanmamış hidrokarbonlar (UHC), karbon monoksit (CO), kurum ve azot oksitler ( $NO_x$ ) gibi başka kirleticiler de vardır.

Enerji açısından bakıldığında, ulaşım sektörü fosil yakıtların kullanıldığı ana sektörlerden biridir. Yüzyıldan fazla bir süredir, içten yanmalı motorlar (ICE) kara, hava ve deniz taşıtlarının ana güç kaynağıdır ve gelecek yıllarda da olacağı tahmin edilmektedir. İnsanların ICE'yi araçlarda ana güç kaynağı olarak kullanmasına neden olan şey, çevre açısından en çevreci kaynak olması değil, yüksek enerji depolama kapasitesi ve fosil yakıtların taşınmasının kolaylığı olmuştur.

1876'da Otto tarafından icat edilmelerinden bu yana ICE verimlilik, performans ve emisyonlar açısından sürekli olarak gelişmektedir. Küresel politika, ekonomi ve çevresel kaygılar ICE'nin gelişmesinin itici faktörleri olmuştur. Özellikle çevresel kaygılar daha yüksek sesle konuşulmaya başladığından beri hükümetler emisyonları sınırlamaya başlamıştır. Yönetmelikler her yıl sürekli olarak gelişip zorlaşmaktadır ve buna bağlı olarak araç üreticileri zararlı emisyonları azaltmak adına motorlarını geliştirmektedir.

Her geçen gün geliŐen motor teknolojilerinden ana beklenti daha dŐuk emisyon değerleri ve daha az yakıt tknetimi ile beraber daha yüksek verimlilik ve performansta motorlar geliştirilmesi yönündedir. Bu kapsamda önümüzdeki senelerde yürürlüğe girecek yeni yönetmeliklere uyum çerçevesinde yeni yakıt pŐkrtme sistemleri geliştirilmektedir. Özellikle pŐkrtme basıncı, yakıtın yanma odasına doğru zamanda, doğru kalitede ve doğru pozisyonda getirilmesi gibi bazı parametreler gelecekteki hedeflerin tutturulabilmesi için gerekli olduğundan dolayı gittikçe önem kazanmaktadır. Bu parametreler yakıt-hava karışımı hazırlığı ve pŐkrtme performansı için belirleyici etkendir.

Piezoseramik kristaline sahip ve 3. jenerasyon olarak adlandırılan common rail piezo enjektör konsepti geliŐtirildięi günden bugüne kadar beklentileri, oluŐturulan yeni aplikasyonlar ile karŐılamıŐ olsa da son yıllarda giderek artan regülasyon limitleri ve müşteri/pazar beklentileri doğrultusunda mevcut tasarım sınırlarına ulaşmıştır. Enjektör dünyasında özellikle basıncı değerlerinin artması üzerine oluşan yönelim beraberinde daha yüksek performanslı ve daha atik çalışan enjektörlere doğru kaymaktadır.

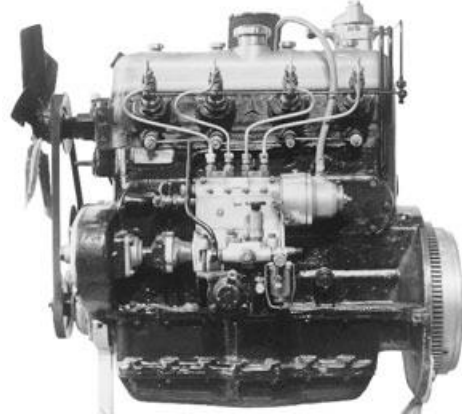
Bu noktada yeni motorlarda kullanılmak üzere Bosch içerisinde yeni bir enjektör tasarımı ortaya çıkmaktadır. Yeni tasarımın en kritik noktalarından birisi ise motorun çalışması ile beraber meme oturma yüzeyi bölgesinde hem iğnede hem de gövdede meydana gelen değişimlerdir. PŐkrtlen yakıt miktarlarının dolayısıyla yayılan emisyonların motorun ömrü boyunca tutarlı olmasını sağlamak için oturma yüzeyinde oluşan bu değişimleri olabildiğince azaltmak gerekmektedir.

Bu çalışmada yanmalı motor testleri ile beraber meme oturma bölgesinde meydana gelen değişimlerin zamanla ilerlemesi ve üzüm olarak geliştirilen Şartlandırma işlemi deneysel olarak incelenmektedir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Dizel yakıt püskürtme sisteminin evrimi

Sanayileşme döneminin başlarında, dizel motorlar daha büyük ve daha az verimli buhar motorlarının yerine ve gemiler, denizaltılar, jeneratörler, lokomotifler, kamyonlar gibi büyük motorları barındırabilen platformlarda kullanılıyordu. Bir otomobilde dizel motorların kullanılması, 1936'da Şekil 2.1'deki Mercedes-Benz 260D'nin ilk çıkışına kadar görülmedi. Bu yeni uygulama 100 kilometrede 10-11 litre yakıt tüketimine sahipti ve o dönemlerde dizel yakıt fiyatı kabaca benzin yakıtının yarısı kadar olduğundan dolayı avantajlıydı (Wintrich ve ark. 2017).



**Şekil 2.1.** Mercedes-Benz 260D motoru (BOSCH Diesel Motor Management 2002)

Dizel püskürtme parçalarının üretime başlanması 1923'te ilk dizel pompa numuneleri ile hız kazandı. Ardından ilk numunelerin orijinal parça üreticileri tarafından test edilip onaylanması ile seri üretime geçilmesine başlanmıştır (Wintrich ve ark. 2017).

Sonraki gelişmeler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 1986'da, dizel motorlar elektronik devreler tarafından yönetilmeye başlandı ve bu da yakıt ölçümünün kesinliğini önemli ölçüde artırdı (Tschöke ve ark. 2018).



- 1989'da, Audi 100TDI'da elektronik olarak yönetilen yüksek basınç pompası, 950 bar püskürtme basıncı, birden çok püskürtme deliği bulunan meme, turboşarj ve ön püskürtme kabiliyetine sahip dizel püskürtme sistemi kullanıldı. Bu sistem otomobillerde geniş bir yelpazede dizel motorların kullanılmasını sağlamıştır (Tschöke ve ark. 2018).
- 1992'de, Euro 1 emisyon standardı yürürlüğe girmiştir (Reif 2014).
- 1996'da, Opel Vectra'da direkt püskürtmeli ve silindir başına dört supap bulunan ilk dizel motor kullanıldı (Zhao 2009).
- 1997'de, Fiat 1.9 JTD'da 1350 bar püskürtme basıncına sahip ilk common rail sistemi (CRS) piyasaya sürüldü, böylece püskürtme zamanlaması ve basıncının motor yükü ve hızından bağımsız olarak kontrol edilebilmesi sağlandı (Merker ve ark. 2014).
- 1998'de, Volkswagen EA188'de kullanılan 2050 bar püskürtme basıncına sahip ünite enjektör sistemi tanıtıldı (Merker ve ark. 2014).
- 2002'de, Siemens tarafından piezo elektrik malzeme kullanan enjektör teknolojisi tanıtıldı (Egger ve ark. 2002).
- 2003'de, Bosch (Speck 2005) ve Delphi (Anonim 2003) tarafından piezo elektrik malzeme kullanan enjektör teknolojisi tanıtıldı.
- 2015'te, 2500 bar basınçla çalışan common rail sistemleri piyasaya sunuldu (Tschöke ve ark. 2018).
- 2015'te, ABD EPA, Volkswagen'in turboşarjlı direkt püskürtmeli (TDI) dizel motorları sadece laboratuvar emisyon testlerinde belirli emisyon kontrollerini etkinleştirmek üzere kasıtlı olarak programladığı tespit edildikten sonra

Volkswagen Grubuna Temiz Hava Yasası ihlal edildiğine dair bir bildiri yayınladı (Jordans 2015) (Valentine 2015).

Common rail piezo enjektörlerin piyasaya sürülmesinden sonra püskürtme basıncı sürekli olarak iyileştirildi (Wintrich ve ark. 2017).

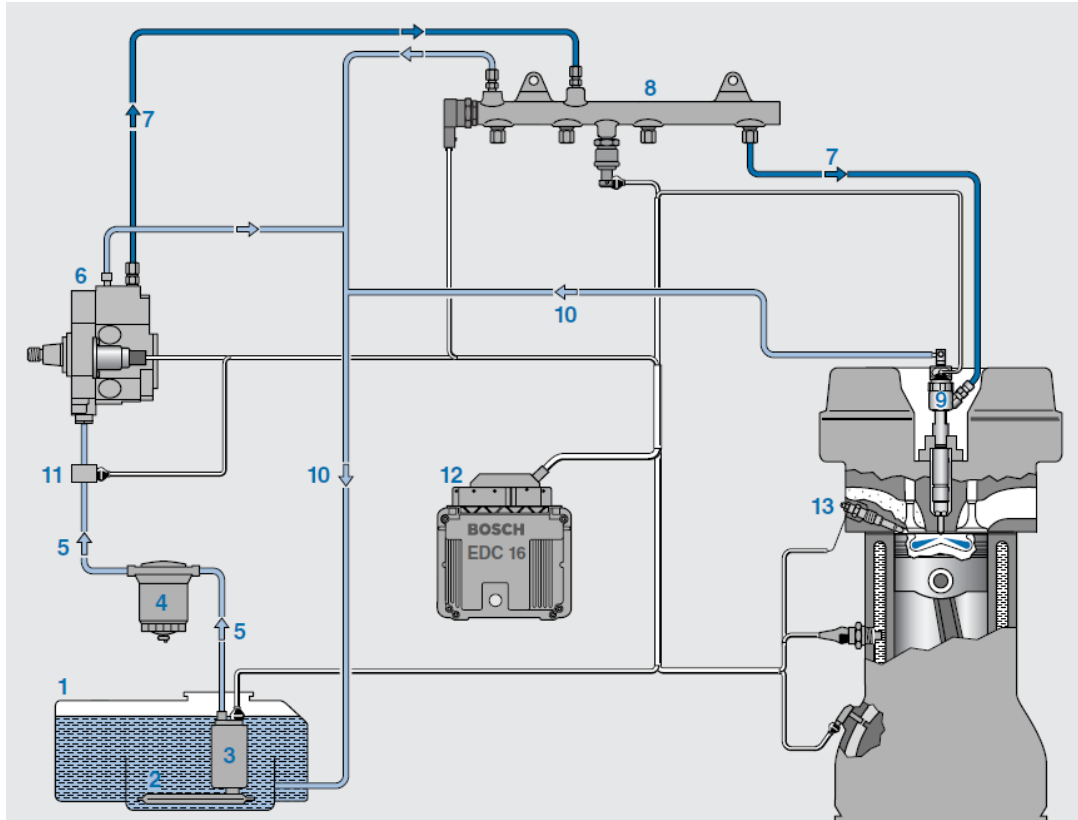
## **2.2. Common rail sistemi**

Dizel motor uygulamaları için günümüzde en gelişmiş yakıt püskürtme sistemi common rail sistemidir. CRS'nin temel özelliği, püskürtme basıncının motor devrinden ve püskürtülen yakıt miktarından bağımsız olmasıdır. Basınç üretme ve püskürtme fonksiyonları bir ortak hat hacmi ile ayrılır. Sistem 2700 bar seviyesinde basınçlara kadar ulaşabilmekte ve enjektörler ile bu yüksek basıncı sağlayan yakıt pompası arasındaki ortak hat dağıtıcı olarak görev almaktadır (Tschöke ve ark. 2018). Bu yüksek püskürtme basıncı avantajının yanında, bu sistem çoklu püskürtme olanağı sağlamakta ve bir motor çevriminde 10'a kadar püskürtme yapabilmektedir (Anonim 2019b). CRS daha güçlü bir dizel sistemi, daha az titreşimli ve daha az gürültülü bir kullanım sunmasının yanı sıra daha düşük yakıt tüketimini mümkün kılmaktadır.

CRS'nin ana elemanları enjektörler, yüksek basınca sahip ortak hat, yüksek basınç pompası, düşük basınca sahip yakıt sistemi, elektronik kontrol ünitesi (ECU), sensörler ve EDC gibi parçalardır. CRS'nin adı sahip olduğu ortak hat olarak tanıtılabileceğimiz yakıt dağıtıcısından gelmektedir. Tek bir pompa ile pek çok enjektöre aynı basınç seviyesini bu ortak hattı basınç deposu amacıyla kullanarak sağlayabilmektedir. Yakıt ortak hatta sürekli olarak yüksek basınç durumunda tutulabilmektedir. Enjektörler ise dizel yakıt sisteminin temel parçası olup, püskürtmenin başlamasını ve sonlandırılmasını gerçekleştiren piezo elektrik veya solenoid valf elemanlarını içerisinde barındırır (BOSCH Diesel Motor Management 2002). Bu sistemin başlıca sistem parçaları Şekil 2.2'de temsili olarak gösterilmektedir.

CRS ile diğer yakıt püskürtme sistemleri arasındaki ana fark, yakıt püskürtme ve basınçlandırma süreçlerinin birbirinden ayrılmasıdır. Bu uygulama yanma sürecinin

düzenlenmesine özgürlük kazandırmakla beraber sistemdeki basınç kayıplarını engellemektedir. Bunun yanında CRS'de meme iğnesinin hareketi ve dolayısıyla püskürtme modeli, tanımlanmış bir aralıkta hassasça kontrol edilebilir. Sistem çoklu püskürtme için arka arkaya son derece hızlı bir şekilde birkaç kez tetiklenebilir. Bu karakteristik enjektörün hızlıca açılmasını/kapanmasını sağlayan valf ve meme iğnesi yapısıyla beraber sağlanmaktadır. Meme iğnesini kapatarak püskürtme işleminin hızlı bir şekilde sonlandırılmasını sağlamak için hidrolik basınç kullanılır.



- |                                  |                                |
|----------------------------------|--------------------------------|
| 1. Yakıt deposu                  | 8. Ortak hat                   |
| 2. Ön filtre                     | 9. Enjektör                    |
| 3. Ön besleme pompası            | 10. Geri tahliye hattı         |
| 4. Yakıt filtresi                | 11. Yakıt sıcaklık sensörü     |
| 5. Düşük basınçlı yakıt hatları  | 12. Elektronik kontrol ünitesi |
| 6. Yüksek basınç pompası         | 13. Kızdırma bujisi            |
| 7. Yüksek basınçlı yakıt hatları |                                |

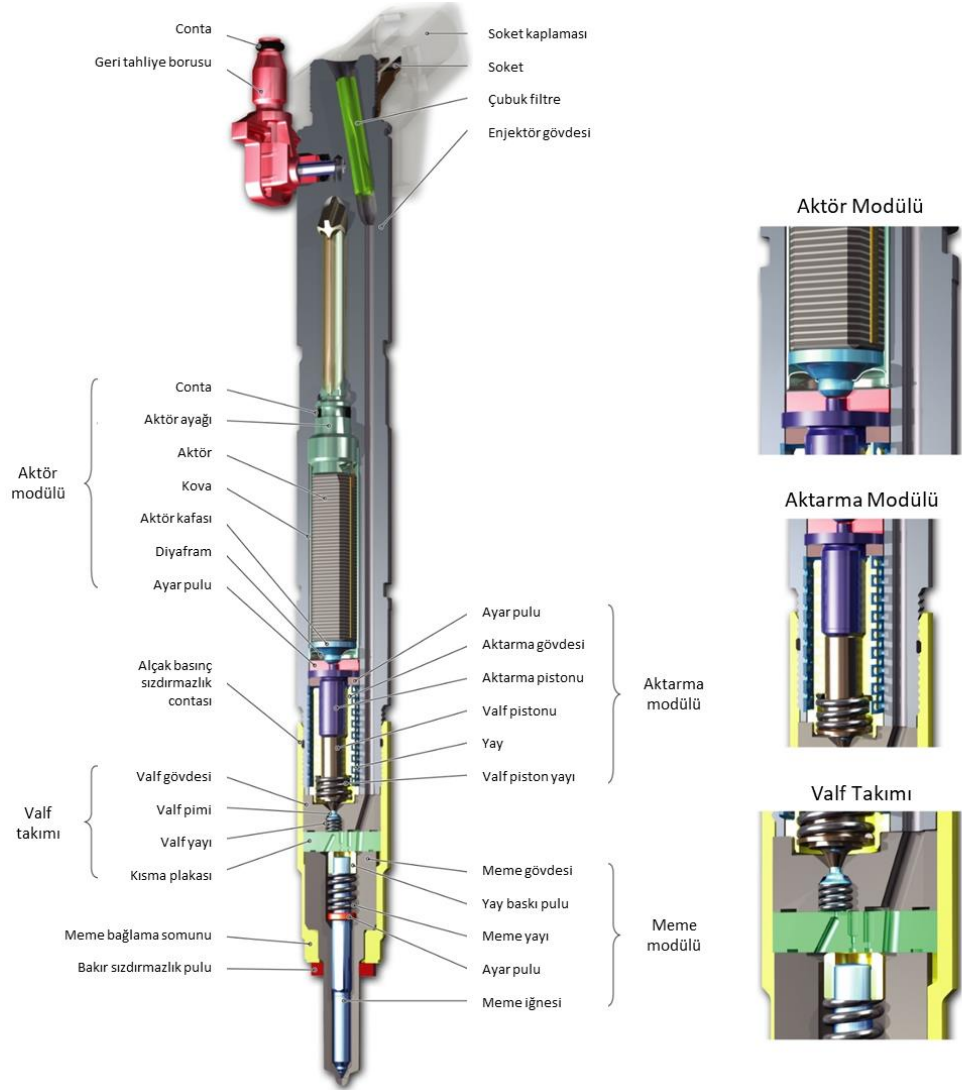
**Şekil 2.2.** Common rail sisteminin şematik gösterimi (BOSCH Diesel Motor Management 2002)

CRS'nin ana avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- İstenilen basınçta, sürede ve zamanda püskürtme kabiliyetini basınçlandırma ve püskürtme süreçlerini birbirinden ayırarak sağlamaktadır.
- Sistem içerisindeki basıncın diğer sistem özelliklerinden etkilenmemesini basıncın püskürtme miktarından ve motor devrinden bağımsız olması sayesinde sağlamaktadır. Yüksek püskürtme basınçlarını düşük hızlarda bile mümkün kılarak yüksek torklara ulaşabilmektedir.
- Değişen püskürtme zamanlamalarını piezo elektrik parçası veya solenoid valf ile hassas bir şekilde kontrol etmektedir.
- Motor çevrimleri boyunca çoklu püskürtmelere olanak sağlayarak günümüzün araçlarından beklentileri karşılamaktadır.
- Farklı seviyelerdeki püskürtme basınçlarını ortak hattaki basıncı ayarlayarak uygulayabilmektedir.

### **2.3. Common rail piezo enjektör**

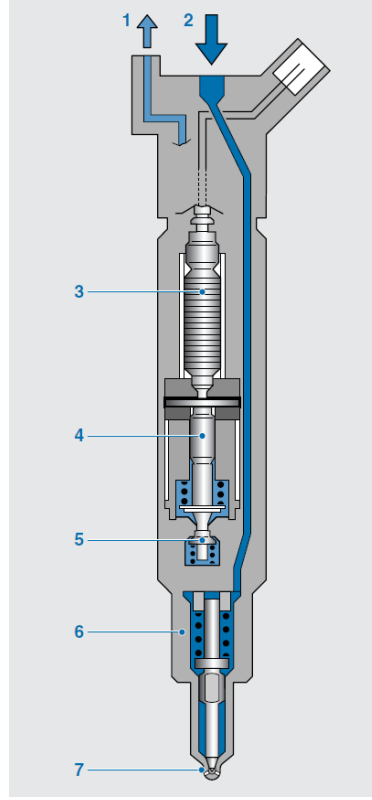
Eski nesil CRS enjektörleri meme iğnesini kaldırmak için solenoid valfli tetikleme düzeneğine sahiptir, oysa yeni nesil CRS enjektörleri daha az hareketli kütleyle sahip olan ve bu nedenle çok kısa sürede daha fazla püskürtmeye izin veren piezo kontrollü tetikleme düzeneğini kullanır (Reif 2014). Piezo ile tetiklenen enjektörler solenoid enjektörlere göre beş kat daha hızlı bir şekilde tepki verebilmektedir. Bu yapısı sayesinde bir motor çevriminde daha fazla püskürtmeyi mümkün kılmaktadır. Piezo enjektörlerin sadece üst sınıf araçlarda tercih edilmesinin nedeni ise piezo elektrik parçasının üretim maliyetlerini arttırmasıdır. Bu düzeneğe sahip enjektörler ana olarak meme, valf, aktarma ve aktör modüllerinden oluşmaktadır. Şekil 2.3'de common rail piezo enjektörlerin parçaları gösterilmektedir.



**Şekil 2.3.** Piezo enjektörü parçalarının isimleriyle birlikte kesit resmi (Bosch)

Piezo elektrik aktör, bir elektrik yükü uygulandığında mekanik deformasyona uğrayan akıllı bir malzemedir. Piezo elektrik seramiği piezo kristallerden oluşmaktadır. Bu kristaller prensipte ters piezo elektrik etki mantığı ile çalışmaktadır ve elektrik akımı uygulanmasıyla beraber elektrik alanına maruz kalınca genişlemektedir. Piezo elementin plastik deformasyona uğramaması enjektörün çalışma ömrü boyunca aynı fonksiyonu korumasına olanak tanımaktadır. Bu boy değişimi ile tetiklenen aktarma modülü bir hidrolik yükseltici düzeneği ile valf modülünü kontrol etmektedir. Tetiklenmesi sağlanan valf modülünün hareketi meme iğnesine etki eden hidrolik dengenin değişmesini

mümkün kılmakta ve mekanik olmayan bir yol ile iğnenin meme gövdesinden ayrılmasını sağlamaktadır. Ayrılan iğne yakıtın yanma odasına püskürtülmesi için gerekli olan yolu açmaktadır. Piezo enjektör içerisindeki hidrolik denge Şekil 2.4’de yer almaktadır.

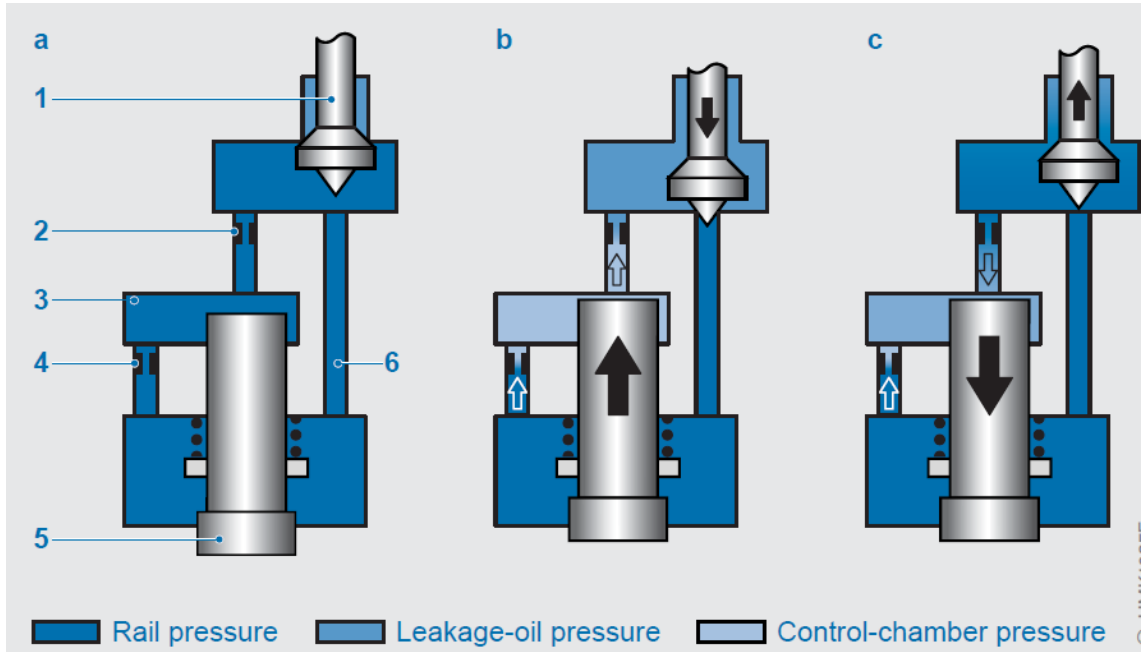


- |                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| 1. Geri tahliye             | 5. Valf takımı      |
| 2. Yüksek basınç bağlantısı | 6. Meme modülü      |
| 3. Piezo aktör modülü       | 7. Püskürtme deliği |
| 4. Aktarma modülü           |                     |

**Şekil 2.4.** Piezo enjektörü içerisindeki hidrolik denge (BOSCH Diesel Motor Management 2002)

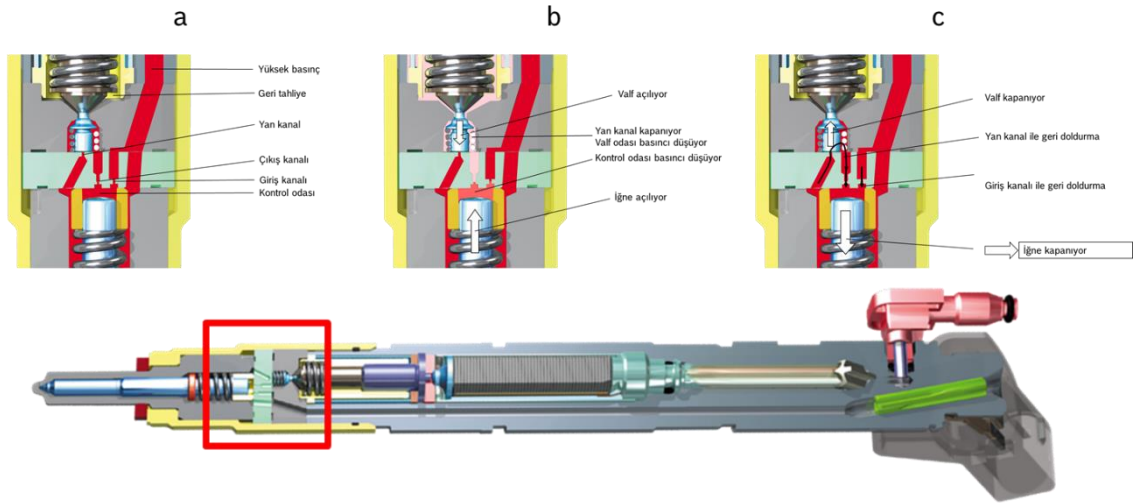
İstenen püskürtme miktarları aktöre enerji verilen süre ile düzenlenir. Valf modülünün meme iğnesine yakın tasarlanmasından dolayı, aktöre elektrik verilmesi ile iğnenin hızlı bir şekilde harekete geçmesi sağlanır. Elektrik verilmesi ve meme iğnesinin hidrolik tepkisi arasındaki gecikme süresi yaklaşık 150  $\mu$ s’dir (BOSCH Diesel Motor Management 2002).

Piezo elementi içerisinde barındıran aktör modülünün valf vasıtasıyla meme içerisindeki iğnenin açılmasını/kapanmasını nasıl tetiklediği ve iğnenin üzerindeki hidrolik dengenin nasıl değiştiği Şekil 2.5'te detaylı bir şekilde bulunmaktadır. "a" konumu ilk durumu, "b" konumu meme iğnesinin açılma pozisyonunu, "c" konumu ise meme iğnesinin kapanma pozisyonunu göstermektedir. Şekil 2.6'da ise kesit resmi ile bu süreç anlatılmıştır.



- |                  |                 |
|------------------|-----------------|
| 1. Valf          | 4. Giriş kanalı |
| 2. Çıkış kanalı  | 5. Meme iğnesi  |
| 3. Kontrol odası | 6. Yan kanal    |

**Şekil 2.5.** Piezo enjektörü içerisindeki valfin çalışma prensibi (BOSCH Diesel Motor Management 2002)



**Şekil 2.6.** Piezo enjektörü içerisindeki valfin çalışma prensibi, kesit resmi (Bosch)

Renner ve arkadaşları 1998’de, 4 valfli Daimler-Benz motoru ile hem solenoid hem de piezo enjektörlerin emisyon oranlarını incelenmişlerdir. Piezo enjektörleri daha yüksek basınca ulaşması ile solenoid enjektörlere göre is emisyonlarını 70% azaltmaktadırlar (Renner ve ark. 1998).

Suh ve arkadaşları 2007’da, solenoid ve piezo enjektörlerin atomizasyon özelliklerini karşılaştırmışlardır. Piezo enjektörlerin solenoid enjektörlere göre en yüksek püskürtme miktarlarına çok daha hızlı bir şekilde ulaştığını ve atomizasyon özelliklerinin daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir (Suh ve ark. 2007).

Oki ve arkadaşları 2006’da, DENSO üretimi piezo enjektörleri test ederek elektrik verilmesi ve hidrolik püskürtme başlangıcı arasında geçen süreyi 100  $\mu$ s’ye kadar azaltmayı başarmışlardır (Oki ve ark. 2006).

Common rail piezo enjektörlerinin ana avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Her bir püskürtme arasında daha fazla esneklik ve daha az zaman aralığı
- Tek bir motor çevriminde daha fazla püskürtme yapabilme



- Düşük ön püskürtme miktarlarını mümkün kılması
- Daha küçük enjektör boyutu
- Düşük gürültü ve daha iyi yakıt ekonomisi

#### **2.4. Common rail piezo enjektör meme modülü**

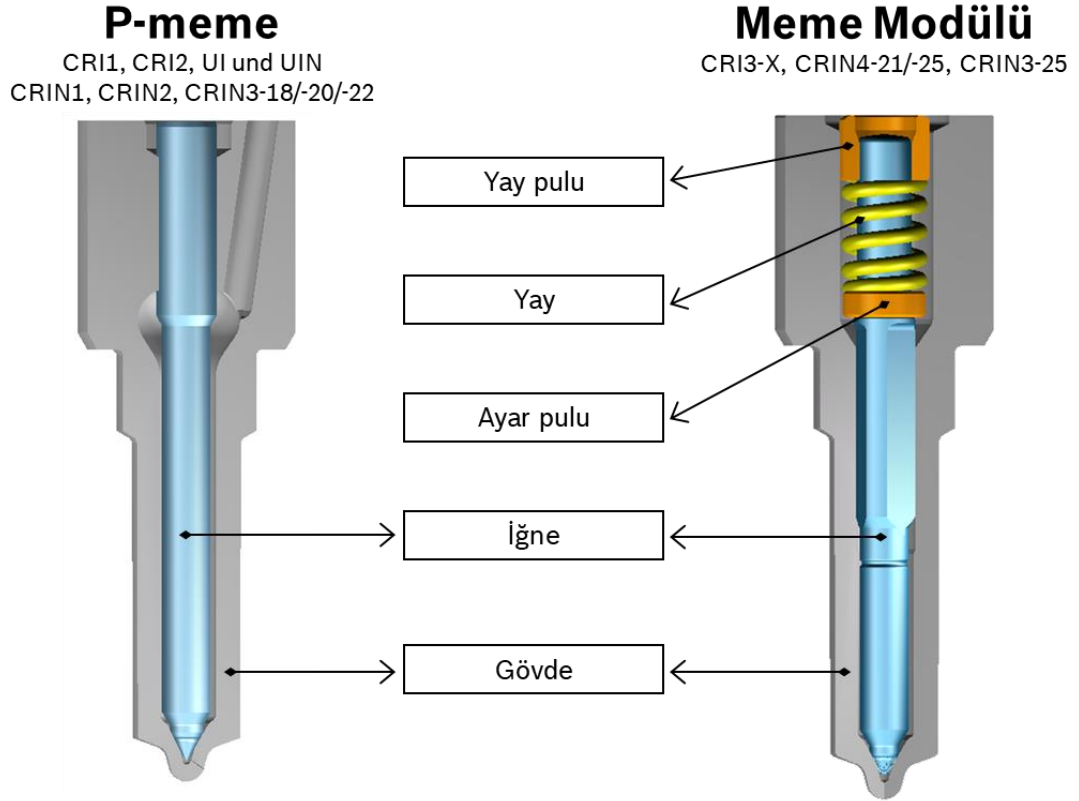
Enjektörler motor gücünü, egzoz emisyonlarını ve motorun yanma gürültüsünü önemli ölçüde etkiler. Bunların yanında püskürtme sistemi ile yanma odası arasında sızdırmazlık sağlar. CRS enjektörlerinde meme modülleri, enjektörlerin yanma odasına ara yüzünü temsil ettiği için tüm püskürtme sisteminin en kritik kısmıdır. Meme modülünün önemli alanlarının ölçüleri ve özel üretim teknikleri ile imal edilen bu ölçülerin üretim hassasiyetleri yakıt-hava karışımı hazırlığı üzerinde oldukça etkilidir. Dolayısıyla yanma verimi ve kalitesi için doğrudan belirleyicidir. Bazı uygulamalarda common rail enjektörleri için meme açma basıncındaki toleranslar %1 kadar dar olabilir (Farth ve ark. 2005).

Memenin ana görevleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Krank mili açısına göre püskürtme basıncını ve miktarını oluşturur.
- Yakıtın atomizasyonunu ve pozisyonunu optimize etmektedir.
- Tüm püskürtme sisteminin yanma koşullarına karşı sızdırmazlığını sağlar (Reif 2012).

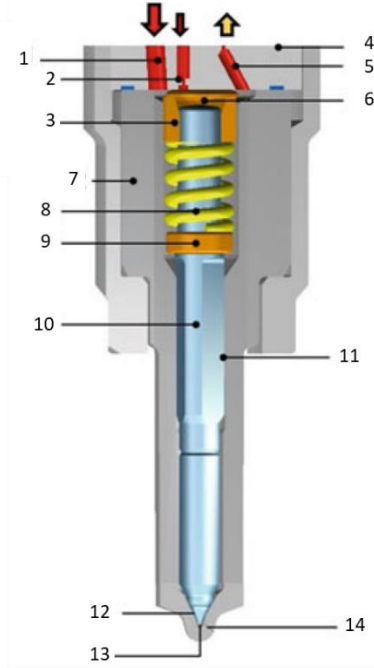
Günümüzde CRS enjektörlerinde kullanılan iki farklı meme tipi mevcuttur. Meme modülü ve P-meme olarak isimlendirilen bu tipler farklı püskürtme sistemlerinde dayanım/hidrolik gereksinimlere göre tercih edilmektedir. Meme püskürtme delikleri ise her motor uygulamasına göre özel olarak optimize edilerek tasarlanmaktadır. Meme

modülü ile P-meme arasındaki ana tasarım farkları Şekil 2.7’de gösterilmektedir. P-meme solenoid valfli enjektörlerde kullanılırken, meme modülü piezo enjektör nesillerinde kullanılmaktadır. Meme modülü gövde ve iğneye ek olarak yay, yay pulu ve ayar pulu içermektedir.



**Şekil 2.7.** Meme modülü ile P-meme arasındaki ana tasarım farkları (Bosch)

Meme modülünün fonksiyonunu belirleyen ana geometriler Şekil 2.8’de yer almaktadır. Bu geometriler sadece motorun yanma özelliklerini etkilemekle kalmaz, aynı zamanda motorun kullanım ömrü boyunca emisyonların tutarlılığını ve enjektörün mekanik dayanıklılığını da etkiler.



- |                                |                        |
|--------------------------------|------------------------|
| 1. Yüksek basınç girişi        | 8. Meme yayı           |
| 2. Giriş kanalı                | 9. Ayar pulu           |
| 3. Yay pulu                    | 10. Meme iğnesi        |
| 4. Kısma plakası (valf takımı) | 11. İğne yataklaması   |
| 5. Kontrollü çıkış kanalı      | 12. Meme oturma yüzeyi |
| 6. Kontrol hacmi               | 13. Kör delik          |
| 7. Meme gövdesi                | 14. Püskürtme deliği   |

**Şekil 2.8.** Meme modülünün fonksiyonunu belirleyen ana geometriler (Zeh ve ark. 2018)

## 2.5. Market gereksinimleri

Avrupa Birliği içerisinde başlıca sera gazlarından biri olan CO<sub>2</sub> emisyonunun 1/5'ini karayolları oluşturmaktadır (Anonim 2019c). Bu nedenle otomotiv sektörü 1990'larda Kyoto Protokolü'nü imzalamıştır ve o günden bu yana CO<sub>2</sub> salınımını azaltmak için çalışmaktadır. Avrupa içerisinde, binek araçlarda CO<sub>2</sub> salınımı limiti olarak 2015'e kadar 130 g/km belirlenmiştir. Belirlenen tarihten önce bu limitler içerisine girilmiştir. Bu başarının ardından sonraki limit 2021'e kadar 95 g/km olarak belirlenmiştir.

Her yeni aracın emisyon düzeyi, piyasaya sürülmeden önce uygunluk belgesinde (Certificate of Conformity - CoC) belirtilmektedir. Bu belgedeki kirletici emisyon, CO<sub>2</sub>, elektrikli çalışma aralığı ve yakıt/elektrik tüketimi gibi bilgiler 09.2017'ye kadar 1980'lerde yürürlüğe girmiş olan Yeni Avrupa Sürüş Döngüsü (New European Driving Cycle - NEDC) isimli bir laboratuvar testi ile belirleniyordu. Ancak NEDC şartları artık güncel araç teknolojilerini veya sürüş koşullarını temsil etmemektedir.

NEDC sonucunda çıkan emisyon düzeyleri önemli ölçüde yanlış yorumlanabilmektedir ve gerçek sürüş esnasında ortaya çıkandan daha düşük ortalama düzeyler gösterilebilmektedir. Bu durum otomotiv sektörüne duyulan güveni ve sektörün itibarını zedelemektedir. Bu sonucunda yeni ve daha gerçekçi bir test prosedürü olan Hafif Taşıt Test Prosedürü (Worldwide Harmonized Light-vehicles Test Procedure - WLTP) ortaya çıkmıştır.

Laboratuvar testlerinin yanında Avrupa Birliği, araçların gerçek yol koşullarında saldıgı kirleticilerin takibi için Gerçek Sürüş Emisyonu (RDE) testi getirmiştir (Anonim 2019d). Bu test şu anda kullanılan test prosedürlerini genişleterek tüm gerçek sürüş koşullarında emisyon çıkışının sınırlı kaldığından emin olmak için hayata geçirilecektir. RDE, laboratuvar test sonuçlarını onaylayarak araçların hem gerçek koşullarda hem de laboratuvarında düşük emisyon değerlerine sahip olmasını sağlayacaktır.

RDE uygulanma zaman planı aşağıdaki gibi özetlenebilir (Anonim 2019d):

- RDE adım 1 (NO<sub>x</sub> uygunluk faktörü 2.1 olan) yeni otomobil modelleri için 1 Eylül 2017'den beri geçerlidir. Eylül 2019'dan itibaren tüm modeller için geçerli olacaktır.
- RDE adım 2 (NO<sub>x</sub> uygunluk faktörü 1.0 ve 0.5 hata payı olan) Ocak 2020'de yeni modeller için ve daha sonra tüm modeller için Ocak 2021'den itibaren uygulanacaktır.

Bu emisyon hedeflerini tutturabilmek için uygulanan başlıca dizel yakıt sistemi özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Güçlü ara soğutucuya sahip hava yolu (Kahrstedt ve ark. 2011)
- Yüksek verimli düşük ve yüksek basınçlı EGR yolu (Kahrstedt ve ark. 2011)
- Gelişmiş turbo hava şarjı (Kahrstedt ve ark. 2011)
- Sınıfının en iyisi yakıt püskürtme ekipmanları (Hammer 2013) (Maier ve ark. 2012)
- Yakıt ve havanın karışım sürecini optimize hale getiren yanma odası

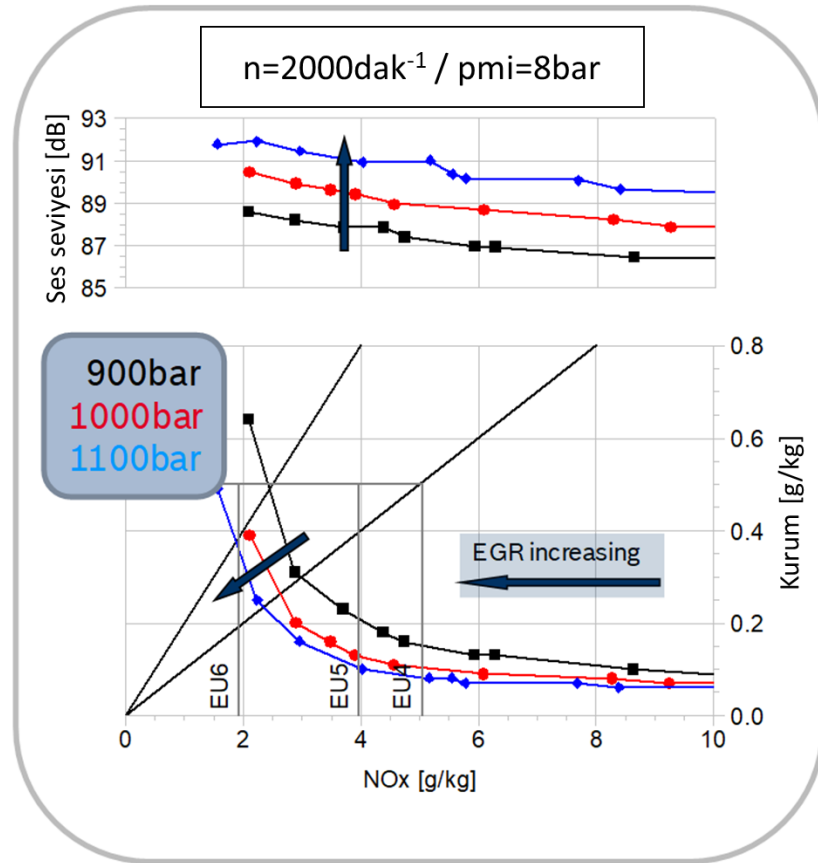
Püskürtme teknolojisi tarafına odaklanıldığında ise ana gereksinimler aşağıdaki gibi özetlenebilir (Hammer 2013):

- Tam esnek püskürtme basıncı
- Yanma, hava ve egzoz gazı resirkülasyonuna (Exhaust gas recirculation – EGR) bağlı olarak maksimum basınç
- Sistem ve güç hedefi
- Tam esnek çoklu püskürtme özelliği
- Uygulamaya özel püskürtme sayısı
- Minimum püskürtme miktarı ve toleransları
- Püskürtme deliği teknolojisi

- Optimize edilmiş kör delik hacmi

Bu püskürtme sistemi gereksinimleri her uygulama için özel olarak belirlenmekte ve pazar ihtiyacına göre geliştirilmektedir. Özellikle bazı parametreler gelecekteki hedeflerin tutturulabilmesi için gerekli olduğundan dolayı gittikçe önem kazanmaktadır.

Bunlardan ilki **püskürtme basıncıdır**. Dizel motorlar için yakıt ölçme ekipmanları ortaya çıkmaya başladığından beri püskürtme basıncı, yakıt-hava karışımı hazırlığı ve püskürtme performansı için belirleyici etkidir. Sistem basıncından gelen enerji yakıtın yanma odasında daha fazla ilerlemesini sağlayan püskürtme momentumunu oluşturur. Püskürtme momentumu, yanma odasında bulunan tüm oksijen moleküllerini yakalayan bir karıştırıcı olarak işlev görür. Sistemin sağlaması gereken maksimum püskürtme basıncı, kurum-NO<sub>x</sub> oluşumu azaltmak için giderek artmakta ve birinci sınıf motorlar için 2700 bar seviyesine gelmektedir. Ancak basınç artışı beraberinde ikinci önemli etken olan yanma gürültüsünü de getirmektedir. Kısmi yük altında çalışan bir motorda basıncın gürültü ve kurum-NO<sub>x</sub> oluşumuna etkisi Şekil 2.9'da yer almaktadır.

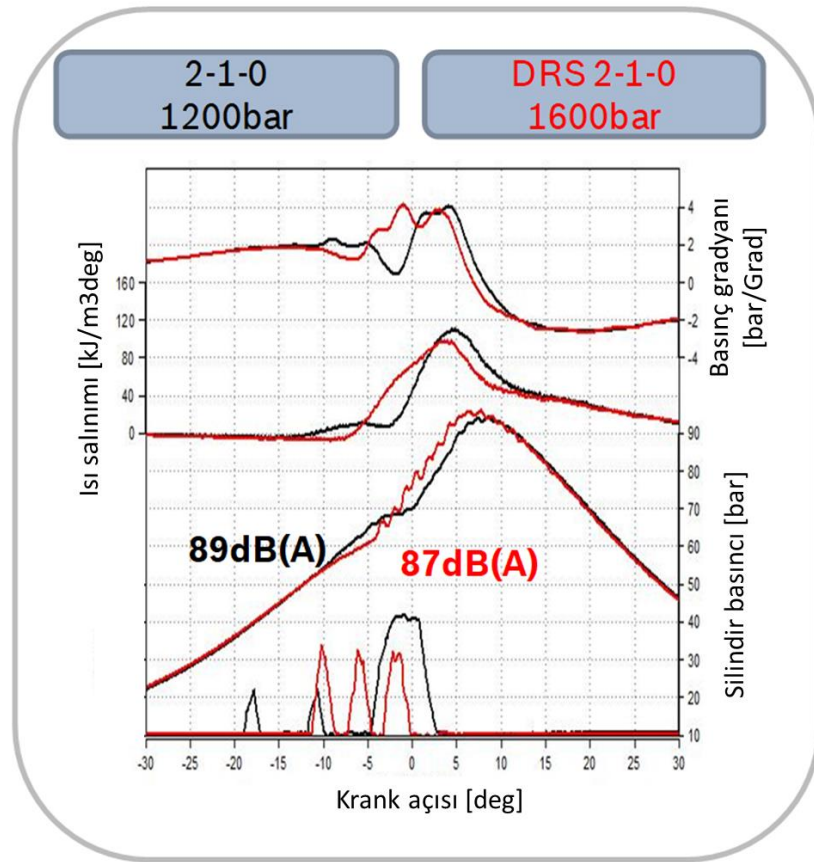


**Şekil 2.9.** Kısmi yük altında çalışan bir motorda basıncın gürültü ve kurum-NO<sub>x</sub> oluşumuna etkisi (Hammer ve ark. 2014)

İkinci önemli etken, eski ama oldukça iyi bilinen bir gereksinim olan **yanma gürültüsünün azaltılmasıdır**. Diğer gürültü kaynaklarının ayrı olarak ele alınması gerekmektedir. Yanma gürültüsü tek başına yakıtın yanma odasına doğru zamanda, doğru güçte ve doğru pozisyonda getirilmesi görevini yerine getiren püskürtme düzenini işaret etmektedir. Küçük ön püskürtme miktarları, düşük püskürtme miktarı ve zamanlama toleransları hala önemli faktörlerdir. Ancak, silindir içerisindeki basınç artışını kontrol etmek için çoklu püskürtme oluşturma yeteneği yeni kilit özellik haline gelmektedir (Hammer ve ark. 2014).

Daha az yanma gürültüsü ile beraber sistem basıncını arttırmanın ve kurum-NO<sub>x</sub> oluşumu azaltmanın farklı bir yolu olan DRS2 püskürtme düzeninin ve konvansiyonel düzenin silindir basıncına ve ısı oluşumuna etkisi Şekil 2.10'da gösterilmektedir. Silindir

basıncının daha yüksek olduğu kırmızı grafik krank açısının bir fonksiyonu olarak çok yumuşak ve düşük değişim dereceli bir davranış gösterir. Bu, ana enjeksiyonun 3 ayrı bölüme bölünmesiyle gerçekleştirilebilir (Digital Rate Shaping - DRS). Farklı çalışma şartlarında DRS püskürtme düzeni farklılık gösterebilmektedir. Diğer bir deyişle, yalnızca tutuşma gecikmesi için bir kontrol parametresi olarak ön püskürtme kullanılmaz, ayrıca ana püskürtmenin 2 veya 3 bölüme bölünmesiyle ısı oluşumu kontrolü mümkün kılınmaktadır. Bu, gürültüde 2 dB'lik bir azalma ve 1200 bar basınç yerine 1600 bar kullanımına olanak sağlar (Hammer ve ark. 2014).

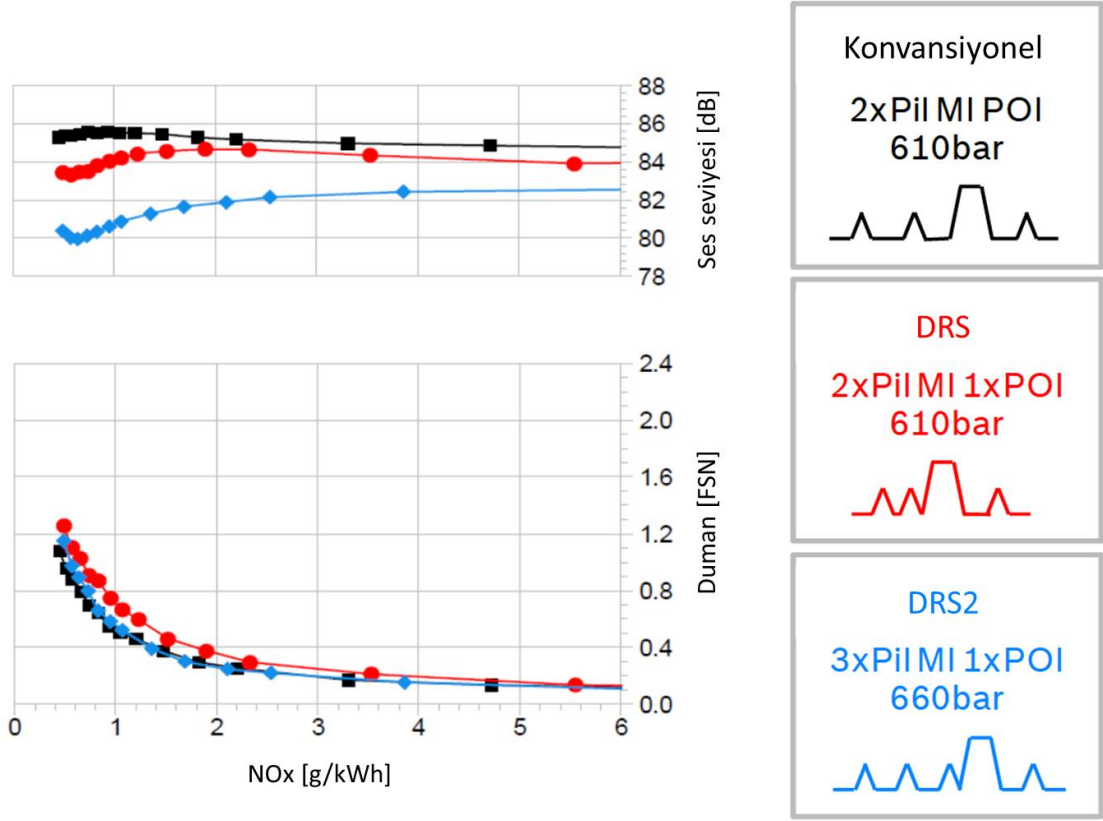


**Şekil 2.10.** Konvansiyonel ve DRS2 püskürtme düzenlerinin silindir basıncına ve ısı oluşumuna etkisi (Hammer ve ark. 2014)

Konvansiyonel, DRS ve DRS2 püskürtme düzenlerinin yanma gürültüsüne ve kurum-NOx oluşumuna etkilerinin karşılaştırılması Şekil 2.11'de bulunabilir. Mavi çizilen eğri



DRS2'i gösterir. Örneğin; NO<sub>x</sub> 1 g/kWh seviyesinde iken, yanma gürültüsünün 86 dB'den 81 dB'e indiği görülebilir.



**Şekil 2.11.** Konvansiyonel, DRS ve DRS2 püskürtme düzenlerinin yanma gürültüsüne ve kurum-NO<sub>x</sub> oluşumuna etkilerinin karşılaştırılması (Hammer ve ark. 2014)

Özet olarak püskürtme basıncını arttırmanın hem getirileri hem de götürüleri vardır. Bunlar emisyonlar, güç çıkışı ve yanma gürültüsüdür ve dikkatli bir şekilde optimize edilmelidir. Ana püskürtmenin DRS2 kullanılarak küçük parçalara bölünmesi daha denetimli bir ısı oluşumu sunması nedeniyle basınç artışı kaynaklı yanma gürültüsü artışını azaltarak optimum bir pozisyonu mümkün kılar.

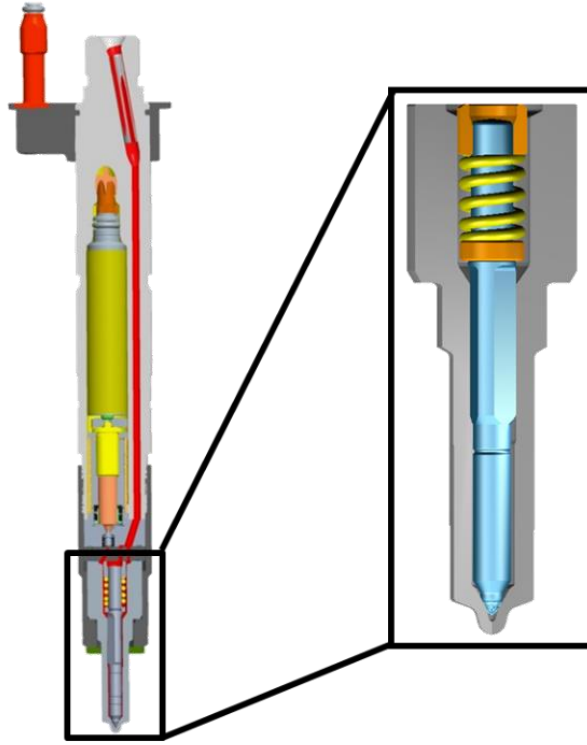
## 2.6. Market gereksinimlerinin meme üzerindeki etkisi ve risk noktaları

Önümüzdeki senelerde yürürlüğe girecek RDE standardına uyum çerçevesinde yeni püskürtme düzenleri ve takiben yeni motorlar geliştirilmektedir. Bu motorlarda kullanılmak üzere Bosch içerisinde yeni bir enjektör jenerasyonu ortaya çıkmaktadır.

Dizel enjektörlerde kullanılan memeler, enjektör ve motor performansı üzerinde ciddi etki sahibidirler. Örneklenmesi gerekirse, püskürtülen jetin yanma odası içindeki dağılımı ve momentumu, motorun tork, beygir gücü değerlerini değiştirmektedir. Başka bir örnek ise, iğnenin açılıp kapanma hızı püskürtme düzelerine direkt etki ederken, püskürtme düzeleri de emisyon değerlerini net bir şekilde belirlemektedir. Bu nedenle yeni jenerasyon kapsamında belirlenen enjektör özellikleri ve limit koşullar çerçevesinde yeni bir meme tasarımı yapılması gerekmektedir.

Yeni enjektör tasarımının temelini oluşturan, 2000 bar sistem basıncı ve konvansiyonel püskürtme düzenine sahip eski jenerasyonun 3 boyutlu modeli Şekil 2.12’de görülebilir. Yeni jenerasyonun hali hazırda seri üretimde bulunan bu enjektörden memeyi etkileyen 2 önemli farkı bulunmaktadır:

- Sistem basıncı 2000 bar seviyelerinden 2200 bar seviyesine çıkmaktadır.
- Konvansiyonel püskürtme düzeni yerine DRS2 düzeni kullanılarak her çevrimde yapılacak püskürtme sayısı artmaktadır.



**Şekil 2.12.** Yeni tasarımın temelini oluşturan eski jenerasyonun 3 boyutlu modeli (Bosch)


Bu farkların meme üzerinde yarattığı kritik etkiler aşağıdaki gibi özetlenebilir ve Şekil 2.13'de bulunabilir.

Basınç değişimi ile beraber ele alınması gereken kritik noktalar:

- Sonsuz ömürlü meme tasarımı tehlikeye giriyor.
- Memenin kontrol alan pulu üst yüzeyinden daha fazla sızdırması bekleniyor.
- Kısa süreli kullanımdan sonra meme oturma yüzeyinde oluşabilecek aşınma ve deformasyon nedeniyle püskürtme miktarında değişim bekleniyor.
- Meme içerisinde basınç dalgalanması nedeniyle püskürtme miktarında dalgalanma bekleniyor.

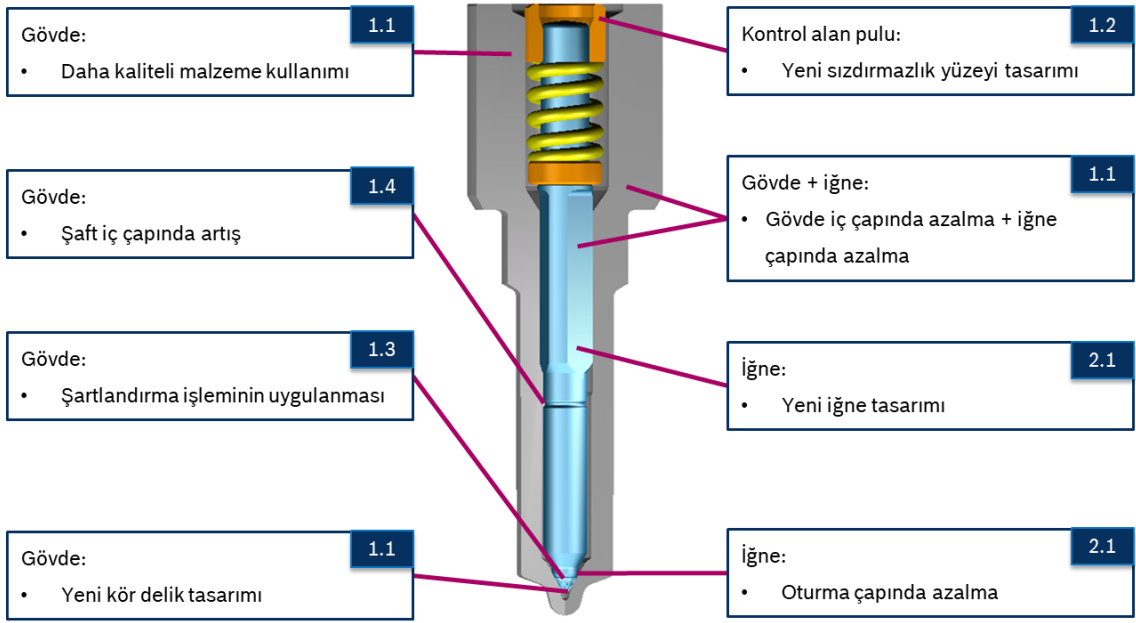
Püskürtme düzenindeki değişim ile beraber ele alınması gereken kritik noktalar:

- Aynı sürede daha fazla püskürtme yapabilmek için enjektörün açılma ve kapanma davranışının geliştirilmesi gerekiyor.

Özellik	Eski jenerasyon	Yeni jenerasyon	Kritik Nokta
1 Basınç	2000bar	2200bar	1.1. Sonsuz ömürlü meme tasarımı tehlikeye giriyor.
			1.2. Memenin kontrol alan pulu üst yüzeyinden daha fazla sızdırması bekleniyor.
			1.3. Kısa süreli kullanımdan sonra oturma yüzeyinde oluşabilecek aşınma ve deformasyon nedeniyle enjeksiyon miktarında değişim bekleniyor.
			1.4. Meme içerisinde basınç dalgalanması nedeniyle enjeksiyon miktarında dalgalanma bekleniyor.
2 Püskürtme Profili	Konvansiyonel 	DRSII 	2.1. Aynı sürede daha fazla püskürtme yapabilmek için enjektörün açılma ve kapanma davranışının geliştirilmesi gerekiyor.

**Şekil 2.13.** Enjektör özelliklerindeki değişim ve meme üzerinde yarattığı kritik etkiler

Meme üzerinde oluşan kritik noktalar için çalışılan olası tasarım çözümleri Şekil 2.14’te yer almaktadır. Bu çalışma kapsamında kısa süreli kullanımdan sonra oluşan meme oturma bölgesindeki aşınma ve deformasyonun dizel enjektör fonksiyonu üzerindeki etkileri ve çözüm olarak sunulan şartlandırma işleminin uygulanması deneysel yöntemler ile incelenmektedir.



**Şekil 2.14.** Meme üzerinde oluşan kritik noktalar için çalışılan olası tasarım çözümleri

## 2.7. Meme oturma yüzeyinde gerçekleşen aşınma ve deformasyon

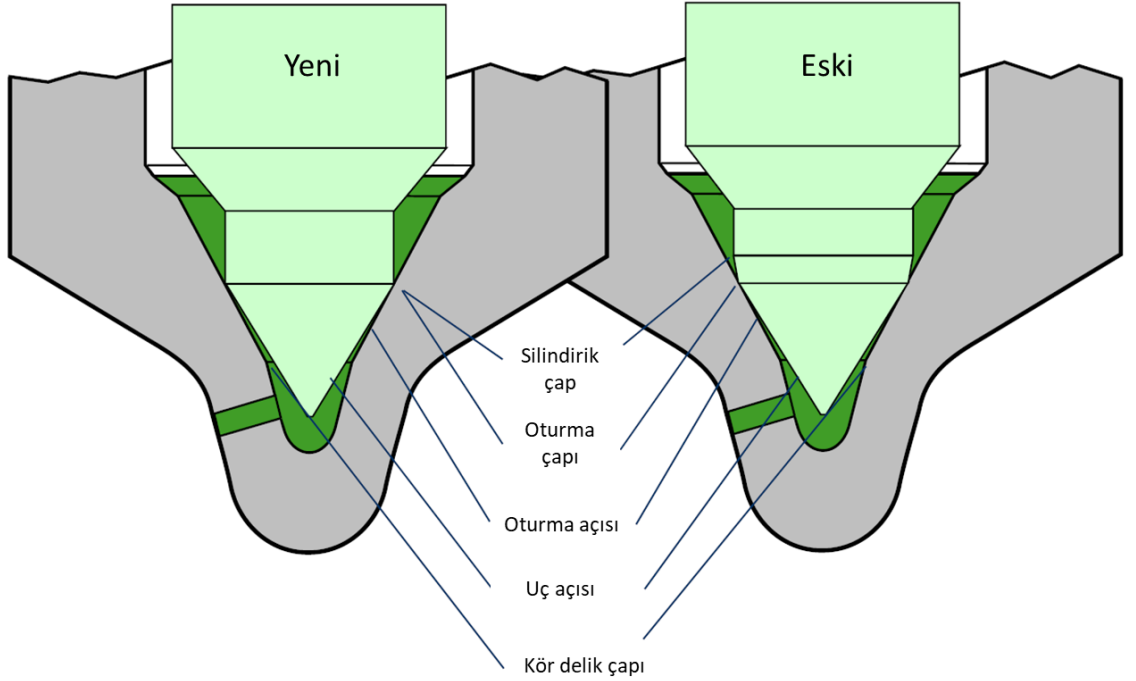
Meme oturma yüzeyi meme modülünün en önemli elemanlarından biridir. Oturma yüzeyi tasarımından beklenen 2 önemli gereksinim aşağıdaki gibi anlatılabilir:

1. Meme gövdesi ve iğnesi arasında sızdırmazlık oluşturması
2. Tutarlı ve öngörülebilir bir oturma çizgisi sağlayarak motorun çalışma ömrü boyunca doğru miktarda yakıt püskürtmesine olanak vermesi

İğnenin az kalktığı durumlarda oturma yüzeyinde meme gövdesi ve iğne arasında kalan boşluk püskürtme deliğinden daha küçüktür. Bu nedenle akışı sınırlayıcı bir etken olarak yer alarak delikteki akış kaynaklı basınç alanlarını ve iğnenin üzerine binen kuvvetleri etkiler. Her sistemde iğnenin uç geometrisi ve gövdeye göre oryantasyonu farklı olarak tasarlanır. Bazı tasarımlar iğne dinamiklerini iyileştirip püskürtme miktarını olabildiğince yükseğe çekmeye çalışırken, bazıları gövde ve iğne oturma yüzeylerinde oluşan deformasyonları azaltarak uzun vadede püskürtme miktarındaki değişimi azaltmaya

çalışır. Aynı zamanda enjektörün diğer alt parçalarında oluşan aşınmanın püskürtme miktarındaki etkilerini telafi etmek için farklı meme oturma yüzeyi tasarımları da kullanılabilir (Lambert ve ark. 2009).

Bosch içerisinde çalışılan/yeni jenerasyonda kullanılan oturma yüzeyi tasarımı ve yeni jenerasyona temel oluşturan eski oturma yüzeyi tasarımı Şekil 2.15'te bulunabilir. Eski jenerasyonda iğnenin oturma bölgesinde oturma açısı ve uç açısı aynı bölgede gösterilmiştir, ancak oturma çapının üstünde ekstra bir açı daha mevcuttur. Yeni jenerasyonda daha keskin olan tek bir açı yer almaktadır. Bu sayede oturma çapının üzerindeki tortu birikimi azaltılmaktadır. Bu tasarım farkının aşınma ve deformasyona bir etkisi bulunmamaktadır.

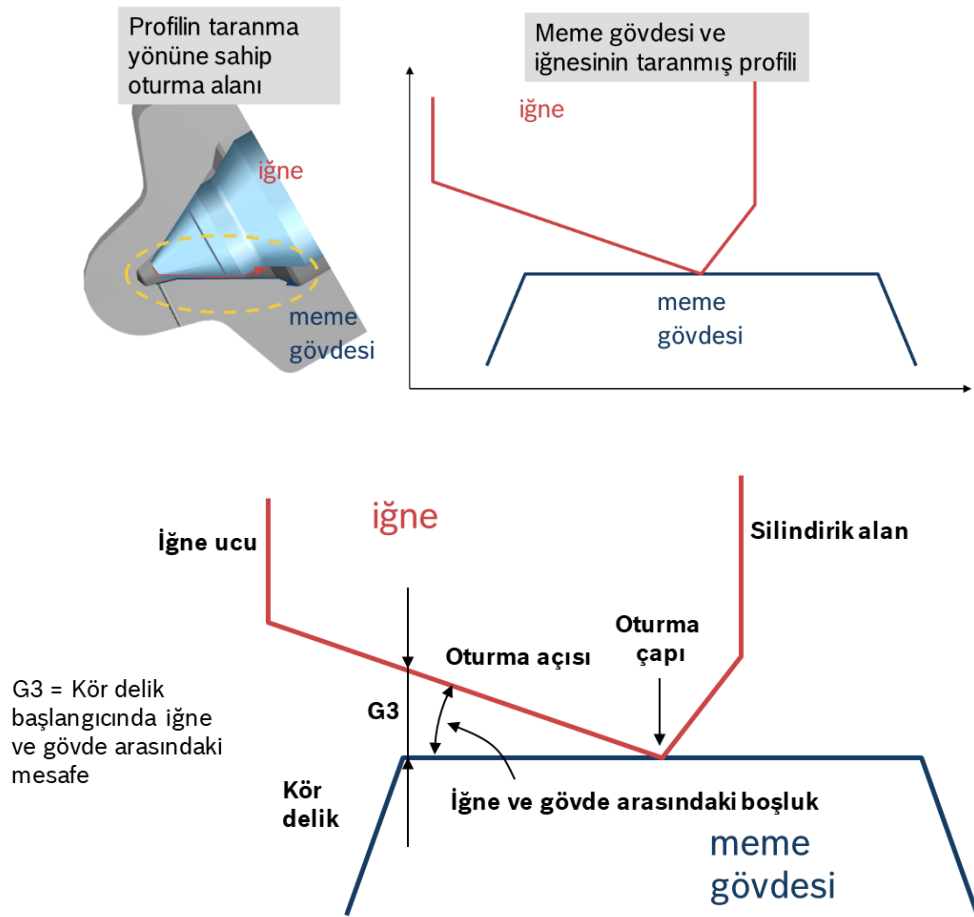


**Şekil 2.15.** Yeni ve eski jenerasyonda kullanılan oturma yüzeyi tasarımı

Motorun çalışması ile beraber oturma yüzeyi bölgesinde hem iğnede hem de gövdede değişimler meydana gelmektedir. Püskürtülen yakıt miktarlarının dolayısıyla yayılan emisyonların motorun ömrü boyunca tutarlı olmasını sağlamak için oturma yüzeyinde

oluşan bu değişimleri olabildiğince azaltmak gerekmektedir. Meme oturma hattının memenin ucuna doğru veya tam tersi yönde hareketine bağlı olarak iğnenin açılması için gereken basınç artabilir veya azalabilir. Bu basınç değişimi ise püskürtme süresi ve püskürtme miktarında istenmeyen değişiklikler meydana getirebilir.

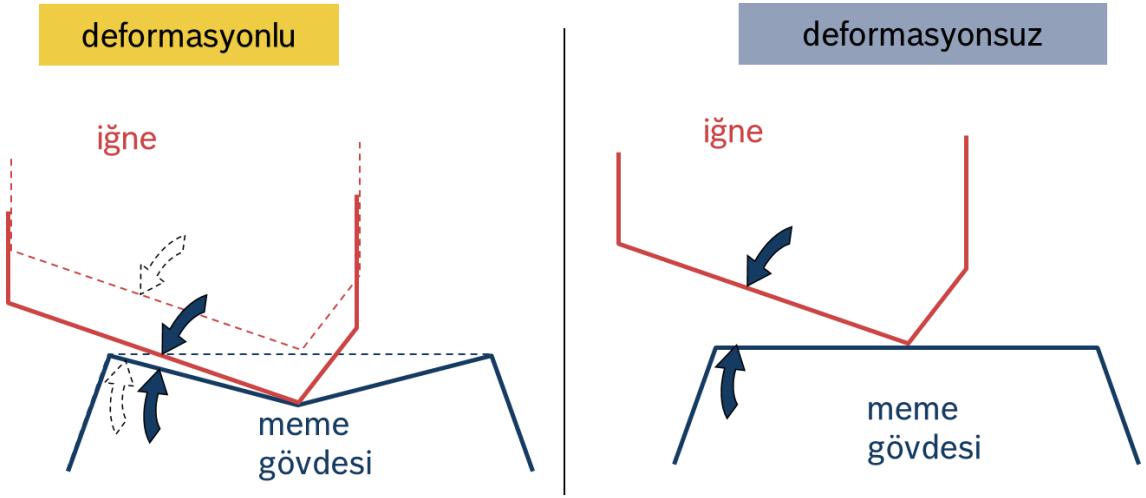
Meme üzerinde oluşan değişimleri gözlemleyebilmek için yüzey profilleri taranmaktadır. Bu profillerin taranma oryantasyonu ve sonucunda oluşan görüntü Şekil 2.16'da bulunabilir.



**Şekil 2.16.** Meme oturma yüzeyi profillerinin taranma oryantasyonu ve sonucunda oluşan görüntü (Bosch)

Oturma yüzeyinde meydana gelen değişimler 2 mekanizma ile gerçekleşebilir:

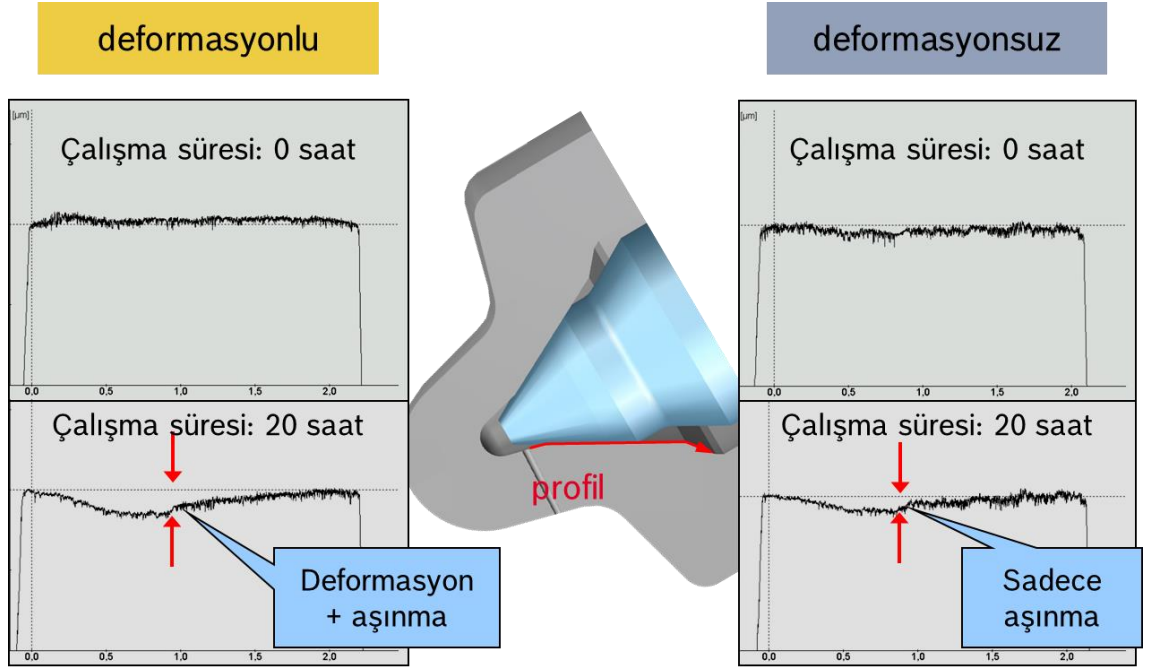
1. Meme gövdesinde yanma sonucunda çıkan ısı kaynaklı termal etkiler nedeniyle plastik deformasyon oluşmaktadır. Deformasyonun yüzey profili üzerindeki görüntüsü Şekil 2.17’de yer almaktadır. Deformasyon oluşmadığında iğne ve gövde arasındaki boşlukta neredeyse hiçbir değişim olmazken, deformasyon olduğunda boşluk (G3 değeri) azalmaktadır. Bu deformasyon enjektörün kısa süreli kullanımından sonra görülebilir ve yüksek basınçlarda püskürtme miktarında artışa yol açar.



Şekil 2.17. Deformasyonun yüzey profili üzerindeki görüntüsü (Bosch)

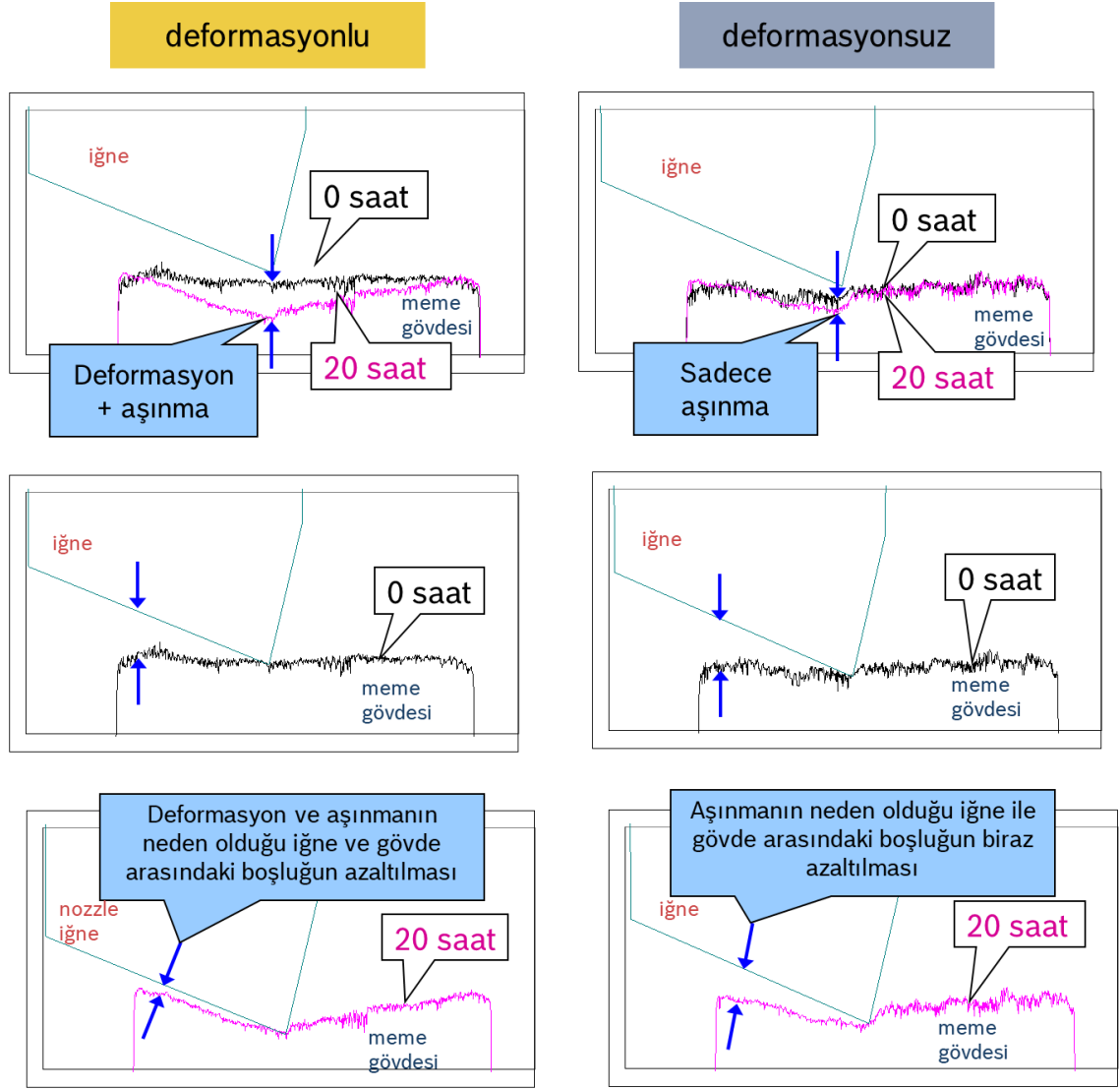
2. Meme gövdesinde ve az miktarda iğnede aşınma oluşmaktadır. Bu aşınma enjektörün kısa/uzun süreli kullanımından sonra görülebilir ve yüksek basınçlarda püskürtme miktarında azalışa yol açar. Aşınmalar iğnenin kapanma esnasında gövdeye uyguladığı yük ve sürtünme kaynaklı meydana gelmektedir. Şekil 2.18’de iki farklı parçanın ilk durumda (0 saat) ve 20 saat çalıştıktan sonraki gerçek gövde yüzey profilleri bulunmaktadır. İlk parçada aşınma deformasyon ile birlikte yer alırken, ikinci parçada sadece aşınma görülebilmektedir. Parçanın üretim esnasında maruz kaldığı ısı işlem sürecinde değişiklikler yapılarak deformasyon önlenemekte ve sadece aşınma oluşabilmektedir.





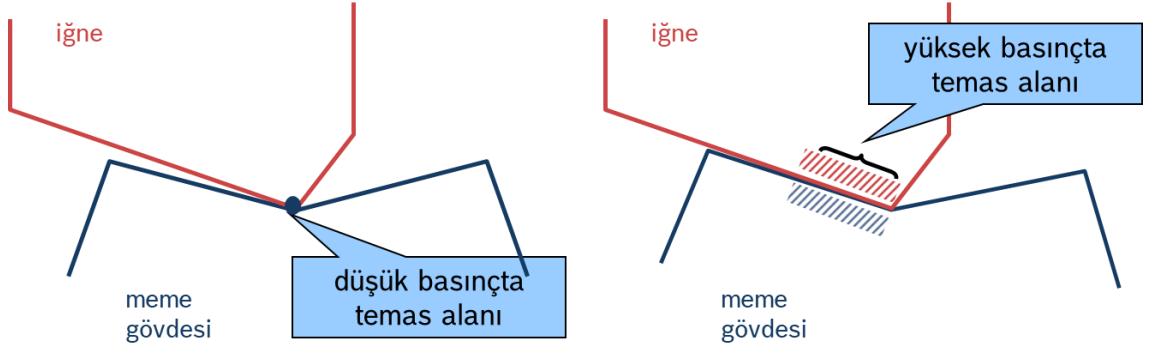
**Şekil 2.18.** İki farklı parçanın ilk durumda (0 saat) ve 20 saat çalıştıktan sonraki gerçek gövde yüzey profilleri (Bosch)

Deformasyon ve aşınmanın neden olduğu iğne ve gövde arasındaki boşluk değişimleri ise Şekil 2.19'da yer almaktadır.



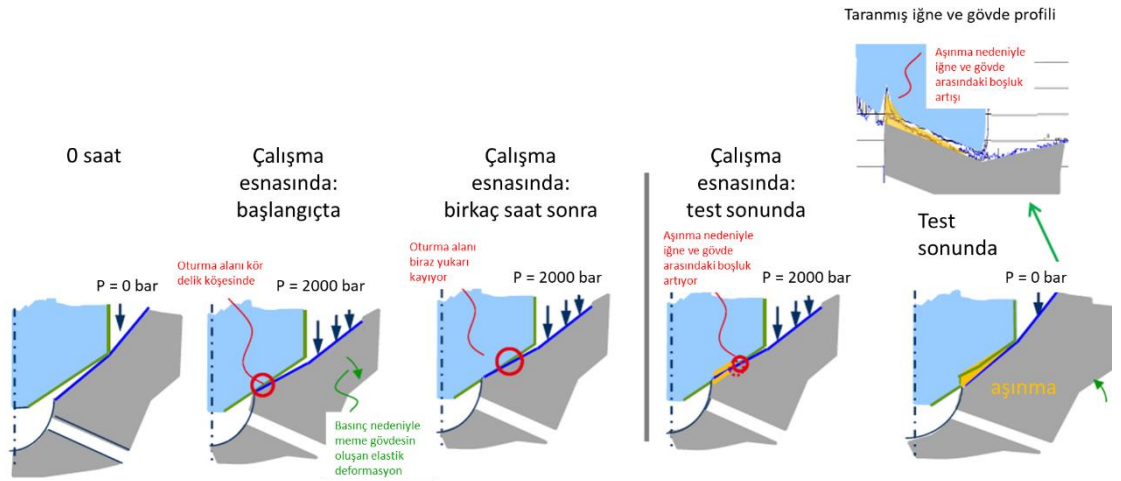
**Şekil 2.19.** Deformasyon ve aşınmanın neden olduğu iğne ve gövde arasındaki boşluk değişimleri (Bosch)

Sistem basıncının artması bu plastik deformasyon/aşınmaya ek olarak meme gövdesinde elastik deformasyona ve dolayısıyla iğne ile gövde arasındaki boşluğun azalmasına neden olmaktadır. Küçük bir boşluk yüksek basınçlarda daha geniş bir temas alanına yol açar, bu da hidrolik etkiliyle beraber oturmanın ilk gerçekleştiği çapın azalmasına ve dolayısıyla püskürtme miktarının artmasına neden olur. Bu etki Şekil 2.20’de görülebilmektedir.



**Şekil 2.20.** Sistem basıncının artması ile oluşan meme gövdesinde elastik deformasyon etkisi (Bosch)

Sistem basıncının artması ile beraber oluşan bu elastik deformasyon, çalışma esnasında oturma alanını kör delik köşesine kaydırmaktadır. İğne yüzeyinin uzun saatler boyunca kör delik köşesi gibi sivri bir yüzeye oturması da iğnenin oturduğu alandan aşınmasına yol açar. İgnede oluşan bu aşınma ise meme gövdesindeki aşınmanın aksine oturma çapının yukarı kaymasına ve dolayısıyla püskürtme miktarının azalmasına neden olur. Bu etki şartlandırılmalı veya şartlandırılmısz tüm iğne-gövde kombinasyonlarında görülmektedir ve Şekil 2.21’de yer almaktadır.



**Şekil 2.21.** Yüksek basınçlarda meme gövdesinde oluşan elastik deformasyonun iğne aşınmasına etkisi (Bosch)

Cernej 1984’de, oturma yüzeyi aşınmasının metalurji, ısıl işlem, yüzey kalitesi ve iki parça arasındaki boşluğa karşı oldukça hassas olduğunu belirtmiştir. Metalurji veya işlenin ısıl işlemindeki herhangi bir kusurun, bu bölgedeki aşırı aşınma nedeniyle meme ömrünü önemli ölçüde azalttığı bildirmiştir (Cernej 1984).

Gondal ve Nautiyal 1991’de, oturma yüzeyindeki aşınmanın metanol kullanıldığında dizele göre %30-40 kadar daha yüksek olduğunu söylemiştir. Metanol ile artan aşınma esas olarak yakıtın çok düşük viskozitesine bağlıdır. Daha yüksek kükürt içeriğinin ve viskozitenin aşınmayı azalttığını göstermiştir. Yüksek kükürtlü yakıt ile yıpranmanın azalması, kükürt bileşiklerinin aşırı basınçta yağlama etkisinden kaynaklanmaktadır. Kükürt yakıttaki yağlayıcı bileşenleri tutma özelliğine sahiptir (Gondal ve ark. 1991).

Liu ve arkadaşları 1996’da, elmas benzeri karbon (diamond-like carbon - DLC) filmlerinin tribolojik mekanizması incelendi. Deneyleri DLC filmlerinin mükemmel aşınma direncine sahip olduğunu ve düşük sürtünme katsayısı değerleri sergilediğini göstermiştir (Liu ve ark. 1996).

Çimenoglu 1997’de, sfero metallerin genellikle aşınmış yüzeyde ve yakınında plastik deformasyon sergilediğini belirtmiştir, aşınma testlerine tabi tutulan ferritik-peaditic bir çeliğin (% 0.2 C, % 1.2 Mn) yüzeye yakın bölgesinin özelliklerini incelemiştir (Çimenoglu 1997).

Pradeep ve arkadaşları 2009’da, aşınan yüzeyindeki gerilme derecesinin kuru koşullar altında, yağlanmış koşullar altındakine kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlendi. Bunun yanında, plastik gerilme büyüklüğünün hem kuru hem de yağlanmış koşullar altında daha sert olan karşı yüzeyin yüzey dokusuna bağlı olan sürtünme katsayısı ile ilişkili olduğunu göstermiştir (Pradeep ve ark. 2009).

Lambert ve Stevens 2009’da, CRS sistemlerinde çoklu püskürtme düzeni kullanıldığında ön püskürtme gibi tekil püskürtmelerin yakıtın çok küçük miktarlarda püskürtülmesi gerektiğini belirtmiştir. Bu küçük miktarlardaki herhangi bir değişiklik, motor emisyonlarını ve performansını ciddi şekilde etkileyebilir. Püskürtme miktarının oldukça

küçük olduğu durumlarda, meme oturma yüzeyindeki değişimler püskürtme olayının tamamen kaybolmasına neden olabilir (Lambert ve ark. 2009)

Khanafi-Benghalema ve arkadaşları 2010'da, sıcaklığın, kuvvetin, çeliğin yapısal durumunun ve kayma hızının, sürtünme katsayısının ve aşınma oranının gelişimi üzerindeki etkisini incelemiştir. Düşük test sıcaklıklarında ana aşınma mekanizması mikroskopik ölçekte gözlemlenmekteyken, sıcaklık arttığında çeliğin sünekliği arttırmasından dolayı yorulma aşınması düşme eğilimindedir. Buna paralel olarak, çelik sertliğinin azalması plastik deformasyon mekanizmasının büyümesine neden olmaktadır (Khanafi-Benghalema ve ark. 2010). Sıcaklık arttıkça meme gövdesi yumuşamaktadır ve bu deformasyona imkan vermektedir.

Miyoshi ve arkadaşları 2010'de, meme oturma yüzeyindeki aşınmanın dizel enjektörün yakıt püskürtme davranışını etkilediğini belirtmiştir. Ticari olarak kullanılan bir common-rail püskürtme sistemine dayanarak geliştirilen bir aşınma test cihazı ile yakıt püskürtme koşullarının ve yakıt özelliklerinin aşınma üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Meme oturma yüzeyi bölgesindeki sıcaklık ve yakıt yağlama derecesi parametre olarak değiştirilmiştir ve sonucunda daha yüksek sıcaklığın daha yüksek aşınmaya neden olduğu gösterilmiştir (Miyoshi ve ark. 2010).

Horiko ve arkadaşları 2012'de, meme gövdesinin oturma yüzeyinde meydana gelen aşınma ve deformasyon mekanizmalarını, ticari olarak kullanılan bir püskürtme sistemine dayalı olarak geliştirilen aşınma test cihazı ile incelemiştir. Bu bölgede meydana gelen yıpranmanın muhtemel nedeninin oksit skalası oluşması ve dökülmesi olduğunu belirtmiştir. Ayrıca yağlayıcı katkı maddeler, bu oksit skalasının ortadan kaldırılmasında etkilidir (Horiko ve ark. 2012).

Satake ve arkadaşları 2015'de, son yıllarda aşınmaya karşı olarak önlem olarak kullanılan DLC kaplamalı meme ile aşınma testleri gerçekleştirmiştir. Korozyon aşınmasının DLC kaplama olmayan memenin oturma yüzeyindeki değişimin ana nedeni, plastik deformasyonun ise DLC kaplamalı memenin ana nedeni olduğunu belirtmiştir. Aynı zamanda aşınan yüzeyin altındaki sertliğin arttığını göstermiştir (Satake ve ark. 2015).

İğne yüzeyine uygulanan kaplama sürtünme katsayısını azaltmaktadır ve dolayısıyla meme gövdesinde oluşan aşınmaları önlemektedir. Ancak deformasyona bir etkisi bulunmamaktadır.

Hosaka 2015’de, meme gövdesinin oturma yüzeyinde meydana gelen aşınma ve deformasyon mekanizmalarını, ticari olarak kullanılan bir common rail püskürtme sistemine dayalı olarak geliştirilen aşınma test cihazı ile incelemiştir. Aynı Satake ve arkadaşları gibi korozyon aşınmasının DLC kaplama olmayan memenin oturma yüzeyindeki değişimin ana nedeni, plastik deformasyonun ise DLC kaplamalı memenin ana nedeni olduğunu belirtmiştir (Hosaka 2015).

Hofmann ve arkadaşları 2016’da, memenin oturma yüzeyindeki aşınma etkilerini sağlam bir şekilde ele alabilen bir püskürtme davranışı tahmincisi sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, farklı aşınma katsayısı çeşitleri için püskürtme davranışının iyi tahmin edildiğini göstermektedir (Hofmann ve ark. 2016).

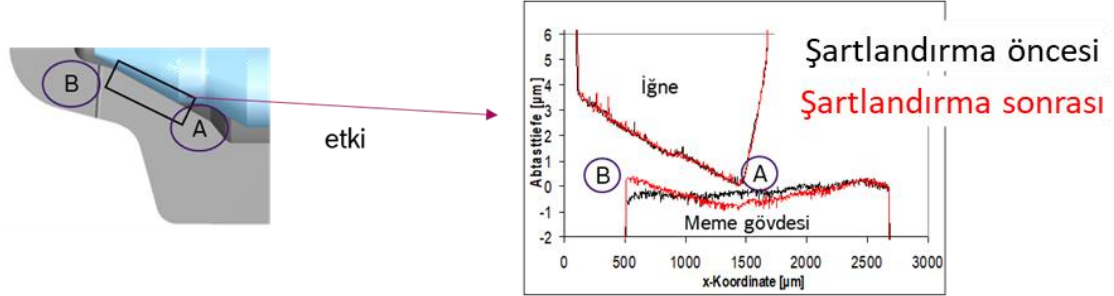
Hofmann ve arkadaşları 2017’de, memenin oturma yüzeyindeki aşınma ve yaşlanma etkileri nedeniyle değişen püskürtme davranışını tahmin eden model tabanlı bir püskürtme davranışı tahmincisi sunmaktadır. Solenoid common rail dizel enjektörler için doğru ve aslına uygun bir model sunmuşlardır (Hofmann ve ark. 2017).

Hofmann ve arkadaşları 2019’da, memenin oturma yüzeyindeki aşınma ve yaşlanma etkileri nedeniyle değişen püskürtme davranışını tahmin eden bir yapay zeka sinir ağları gözlemcisi sunmaktadır. Gözlemci tasarımı, gözlemcinin özelliklerinin hızlı ve esnek bir şekilde benimsenmesi için üç katmanlı ileri besleme ağı içermektedir (Hofmann ve ark. 2019).

## **2.8. Şartlandırma işlemi**

Şartlandırma işlemi, motorun kısa süreli çalışması esnasında oluşan meme oturma yüzeyindeki deformasyonu önlemeye yönelik bir çözümdür. Hedef enjektörün çalışması sırasında meydana gelebilecek deformasyonu araç sahaya çıkmadan oluşturup, çalışma

süresince oluşabilecek deformasyonu en aza indirmektedir. Deformasyonun şartlandırma işlemi ile değişimi Şekil 2.22’de yer almaktadır.



**Şekil 2.22.** Deformasyonun şartlandırma işlemi ile değişimi (Bosch)

Hedef kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir:

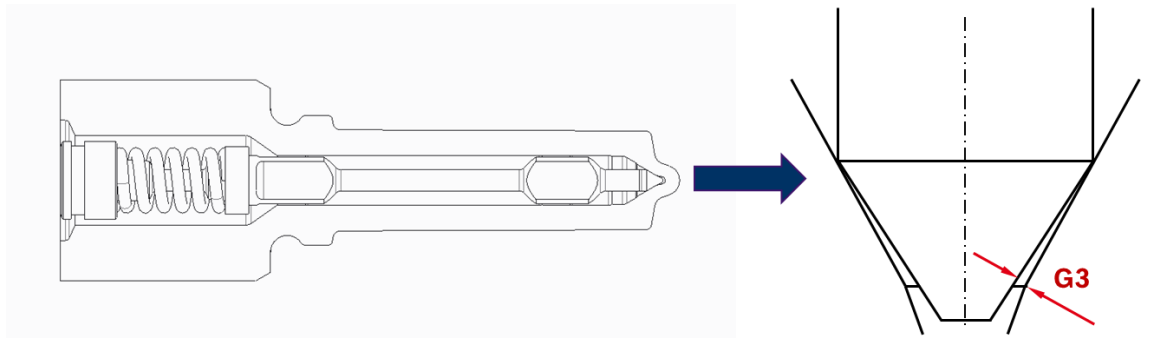
1. Kısa sürede oluşan püskürtme miktarındaki değişimi elimine etmek
2. Kalibrasyon için harcanan çabaları azaltmak
3. Püskürtme miktarının tutarlı olmasını sağlamak
4. Düşük kalibrasyon payları ile motor potansiyelinin tam kullanımı

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Deney tasarımı

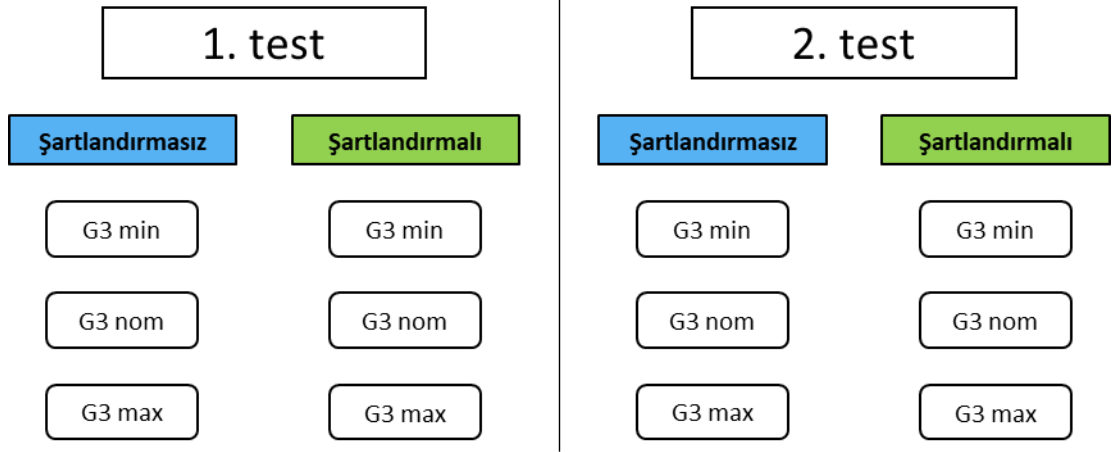
Bu çalışmada motorun çalışması esnasında meme oturma bölgesinde meydana gelen değişimler ve çözüm olarak geliştirilen şartlandırma işlemi deneysel olarak incelenmiştir. Deformasyon sıcaklığa bağlı olarak geliştiğinden meme oturma yüzeyinde oluşan aşınma ve deformasyonu incelemek amacıyla yanmalı motor testleri yapılmıştır. Deney çalışması toplam 2 adet 400 saatlik yanmalı motor testinden oluşmaktadır. Her bir motor testinde 6 adet enjektör kullanılmıştır.

İğne kapalı durumdayken iğne ve gövde arasında kalan mesafeye G3 ismi verilmektedir. Bu açıklık geometrik toleranslar içerisinde değişebilmektedir. Farklı G3 değerlerinde farklı aşınma ve deformasyonlar görülebilmektedir. Bu nedenle motor testi sırasında şartlandırmasız ve şartlandırılmış varyasyonların yanı sıra G3 açıklığı varyasyonları da değerlendirilmiştir. G3 genişliği Şekil 3.1’de, kullanılan varyasyonlar ise Şekil 3.2’de yer almaktadır.



Şekil 3.1. G3 genişliği





**Şekil 3.2.** Motor testinde kullanılan varyasyonlar

Aşınma/deformasyonun çalışma süresince ilerlemesini gözlemlemek için ara incelemeler 0, 20, 200 ve 400 saatte yapılmıştır. Bu incelemeler kapsamında yapılan çalışmalar aşağıdaki gibidir:

- Meme analizleri
  - Dijital mikroskop fotoğrafları
  - İğne ve gövde oturma bölgesi yüzey profili ölçümleri
- Enjektör fonksiyon ölçümleri
  - Püskürtme karakteristiği ve püskürtme miktarı değişimi eğrisi
  - Püskürtme gecikmesi eğrisi

### 3.2. Deneysel çalışmada kullanılan yakıt

Bu bölümde standart dizel yakıt, motor testinde kullanılan yakıt ve enjektörün fonksiyon ölçümlerinde kullanılan test yağının özellikleri incelenmiştir.

Dizel dünyasında kullanılan yakıtların motorun ömrü, fonksiyonu, gücü, emisyonu, yakıt tüketimi, gürültüsü ve soğukta çalışabilirliği üzerinde önemli etkileri vardır. Bu etkiler yakıtın aşağıdaki özellikleri tarafından belirlenir.

- Viskozite değeri yükseldikçe yakıtın atomizasyonu kötüleştiğinden dolayı yanma sonucunda çıkan kirleticiler yükselir. Viskozite değeri düştükçe yüksek sıcaklıklarda motorda performans düşüşleri gözlemlenir ve sızdırma sorunları oluşur.
- Yoğunluk değeri yükseldikçe motor gücü, is emisyonları ve yakıtın enerji içeriği artar.
- Setan sayısı yükseldikçe yakıt daha erken tutuşur, böylece yanma süreci iyileşir ve NOx haricindeki kirleticiler azalır. Erken gerçekleşen tutuşma yanma odası sıcaklığını yükseltir ve NOx emisyonunda artışa neden olur.
- Alt kaynama sınırı düştükçe yakıt daha düşük sıcaklık değerlerinde parafinleşir. Böylece soğuk çalışma koşullarında motorun performansı iyileşir.
- Poliaromatik bileşenler (naftalin gibi) yakıtın yağlama özelliğini iyileştirir ve aromatik bileşenler (anilin ve fenol gibi) yakıtın setan sayısını artırır.

Diğer önemli özellikler saflık, akıcılık ve kendiliğinden tutuşma sıcaklığıdır. Bu özelliklerin uygun performans için optimize edildiği ve dizel dünyasında standart olarak kullanılan yakıt DIN EN 590 normunda belirlenmiştir. Otomobil sektörü bu normda belirtilen yakıtların kullanılmasını tavsiye etmektedir. DIN EN 590'ın özellikleri aşağıdaki gibidir (Bosch):

- 15 °C'de yoğunluğu: 820 to 845 kg/m<sup>3</sup>
- 40 °C'de viskozitesi: 2 to 4,5 mm<sup>2</sup>/s

- Su içeriği: max. 0,02%
- Oksidasyon direnci: max. 25 g/m<sup>3</sup>, min. 20 h
- 60 °C’de yağlaması, düzeltilmiş "aşınma izi çapı" (WSD): 460 µm
- Parlama sıcaklığı: min. 55 °C

Yakıt püskürtme sistemi bileşenlerinin sağlamlılığını ve dayanıklılığını sınır koşullarda değerlendirmek için iyi tanımlanmış özelliklere sahip test yakıtları standart dizel yerine kullanılmaktadır. Tüm hasar mekanizmalarına tek bir yakıtla erişilemediğinden, test yakıt portföyü farklı görevler için birden fazla özel yakıt içermektedir. Bu yakıtlar sahadaki kalite verileri ve deneyimler ile beraber tanımlanmaktadır.

Yanmalı motor testlerinde memenin oturma yüzeyinde aşınmayı değerlendirebilmek için EN 590 normu kapsamında olmayan GDK 650 (Grenz Diesel Kraftstoffe) isimli bir yakıt kullanılmıştır. Bu yakıt aşınma açısından kritik olan düşük yakıt kalitesine sahip pazarlarda enjektörün çalışmasını simüle etmek için kullanılan düşük viskoziteli ve düşük yağlamalı bir yakıttır. Yakıtın düşük viskoziteli olması yüzey üzerinde daha ince bir film tabakası oluşturması nedeniyle aşınmayı arttırmaktadır. Ayrıca biyodizel içermez. Kimyasal yapısı aktif bileşenler içeren parafinik, sikloparafinik, aromatik ve olefinik hidrokarbonların kompleks hidrokarbon karışımıdır. GDK 650’nin özellikleri aşağıdaki gibidir (Bosch):

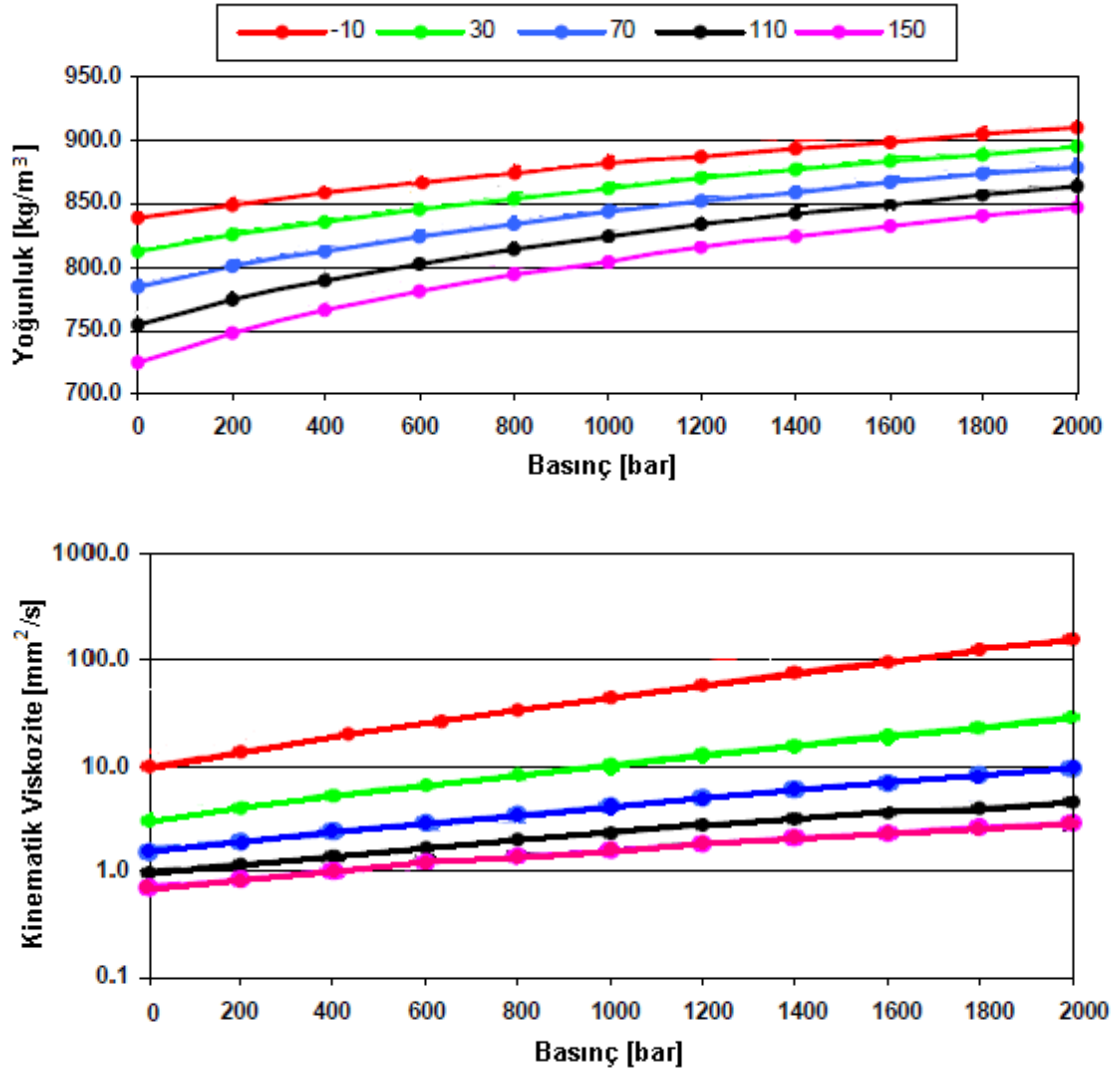
- 15 °C’de yoğunluğu: 805 to 820 kg/m<sup>3</sup>
- 40 °C’de viskozitesi: 1,5 to 2,5 mm<sup>2</sup>/s
- Su içeriği: max. 0,0001%
- Oksidasyon direnci: max. 5 g/m<sup>3</sup>, min. 48 h

- 60 °C’de yağlaması, düzeltilmiş "aşınma izi çapı" (WSD):  $650 \pm 30 \mu\text{m}$
- Parlama sıcaklığı: min. 65 °C

Enjektör testlerinde ise kullanılan test yakıtının standart dizele olabildiğince yakın olması istenmektedir. Bu nedenle DIN EN 590’a en yakın özelliklere sahip olan ISO 4113 (Shell V1404) yağı kullanılmaktadır. Bu yağın özellikleri aşağıdaki gibidir (Bosch):

- 15 °C’de yoğunluğu: 820 to 830 kg/m<sup>3</sup>
- 40 °C’de viskozitesi: 2,45 to 2,75 mm<sup>2</sup>/s
- Su içeriği: çözünmemiş su içermez
- Oksidasyon direnci: max. 0,7 mgKOH/g, min. 48 h
- Parlama sıcaklığı: min. 75 °C

Enjektör fonksiyon testlerini gerçek çalışma koşullarına en yakın durumda yapabilmek için pompa giriş sıcaklığı 30 °C belirlenir. Böylece enjektör giriş sıcaklığı yaklaşık 70 °C olarak ayarlanır. Sabit sıcaklık altında artan basınçla beraber yakıtın viskozite ve yoğunluğu da artar. Farklı sıcaklıklarda viskozitenin 20 °C’de ve yoğunluğun 40 °C’de 0 - 2000 bar arasındaki basınçla beraber değişimleri Şekil 3.3’de yer almaktadır.



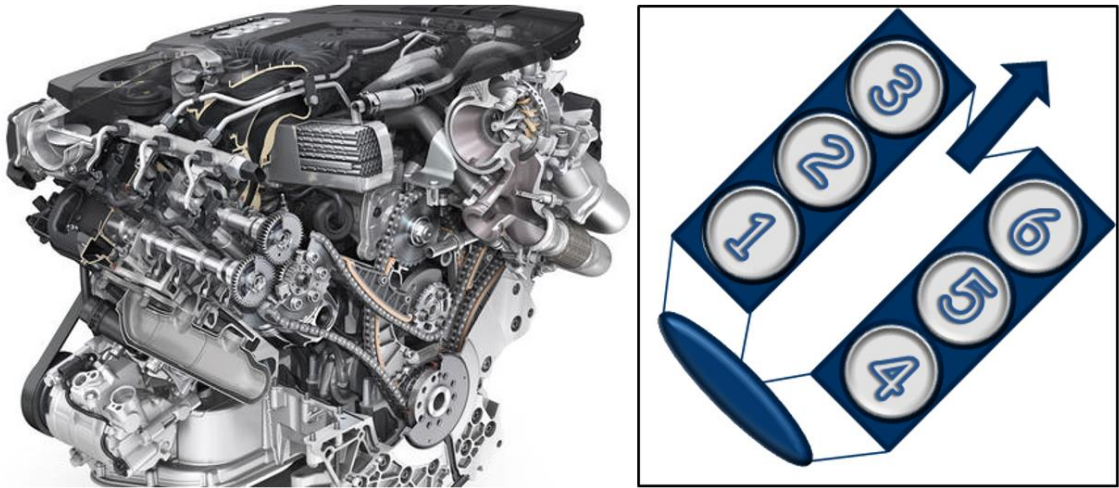
Şekil 3.3. Farklı sıcaklık ve basınçlarda test yağı yoğunluk/viskozite değişimi (Siebke 2009)

### 3.3. Yanmalı motor testleri

#### 3.3.1. Motor özellikleri

Motor testlerinde Audi W36 3.0L TDI Euro 6 dizel motoru ve bir önceki bölümde bahsedilen aşınmayı arttırıcı etkisi bulunan GDK 650 yakıtı kullanılmıştır. Motor görseli Şekil 3.4'de bulunabilir. Motor ana özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Common rail püskürtme sistemi
- 2967 cc
- 6 silindir
- Silindir başına 4 valf
- Dört zamanlı, turboşarjlı
- Sıkıştırma oranı: 17:1
- Güç: 204-245 HP (150-180 kW) / 3500-4500
- Tork: 450-550 Nm / 1500-2000
- Kullanım alanı: Audi B7 A4, Audi B8 A4, Audi Q7, Audi C6 A6, Audi D3 A8, Volkswagen Phaeton, Volkswagen Touareg, Porsche Cayenne

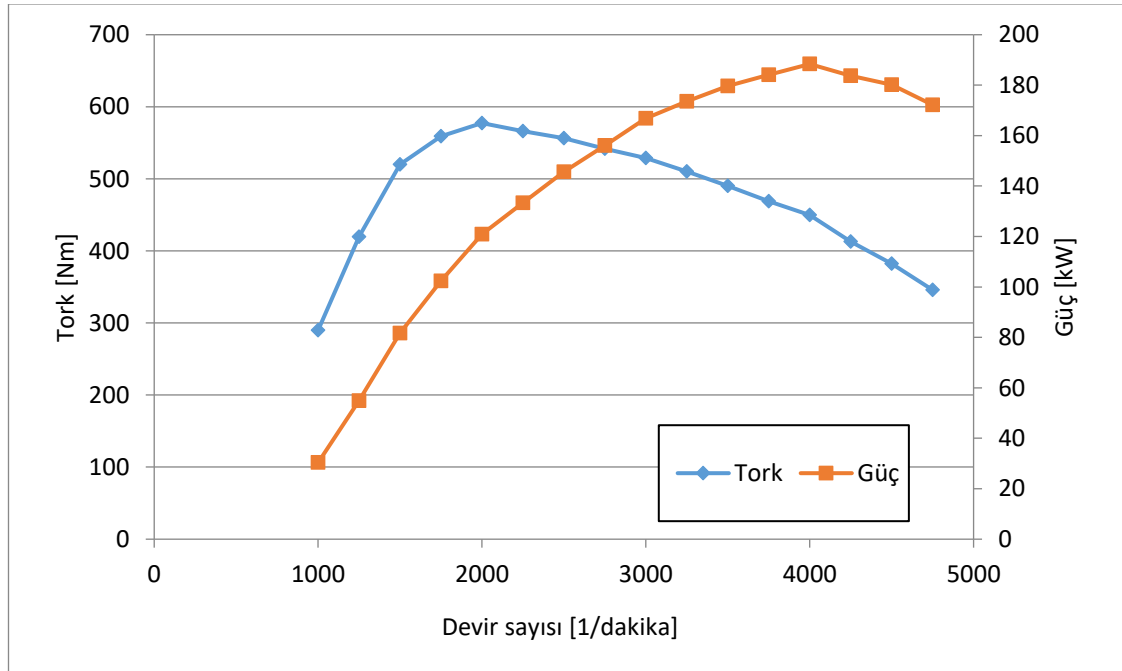


Şekil 3.4. Audi W36 3.0L TDI Euro 6 motor görseli (Hiltscher 2019)

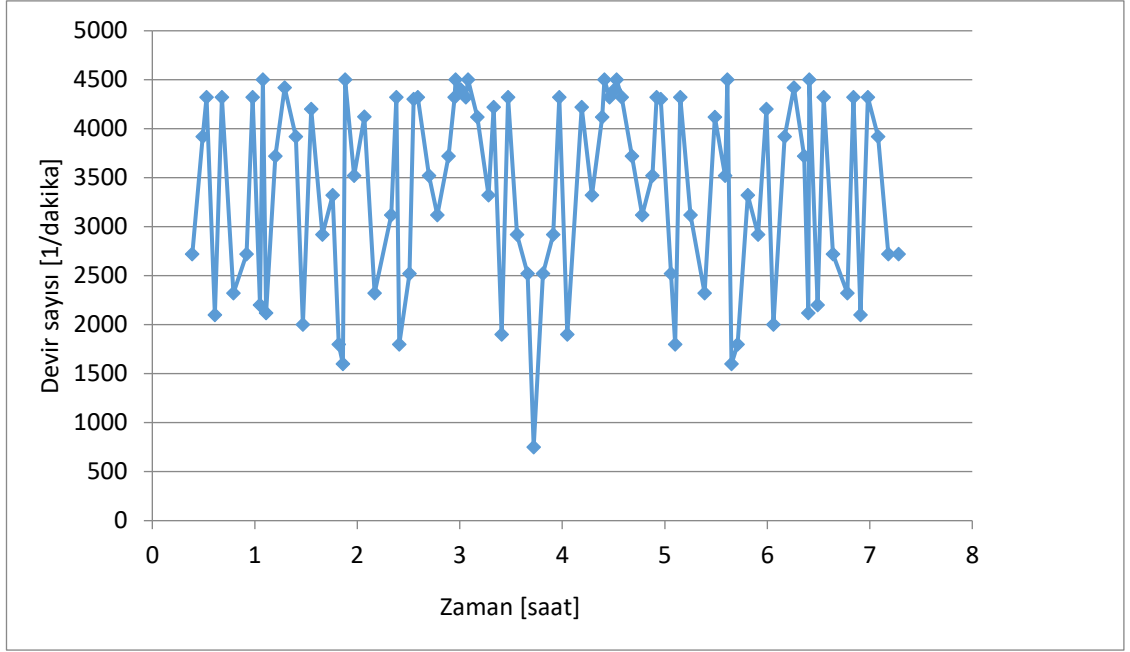
### 3.3.2. Test çevrimi

Test çevrimi olarak Bosch'un aşınma/deformasyonu analiz etmek için önerdiği, çoğunlukla yüksek basınçta tam yük uygulanan ve motoru Almanya otobanında gidecek şekilde simüle eden bir döngü kullanılmıştır. Bu döngü motora yerleştirilen sensörler yardımıyla test sırasında ölçülen değerler ile aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Maksimum güç 4000 devirde 182 kW, maksimum tork 2000 devirde 560 Nm ve maksimum devir 4500 1/dakika olarak ölçülmüştür.

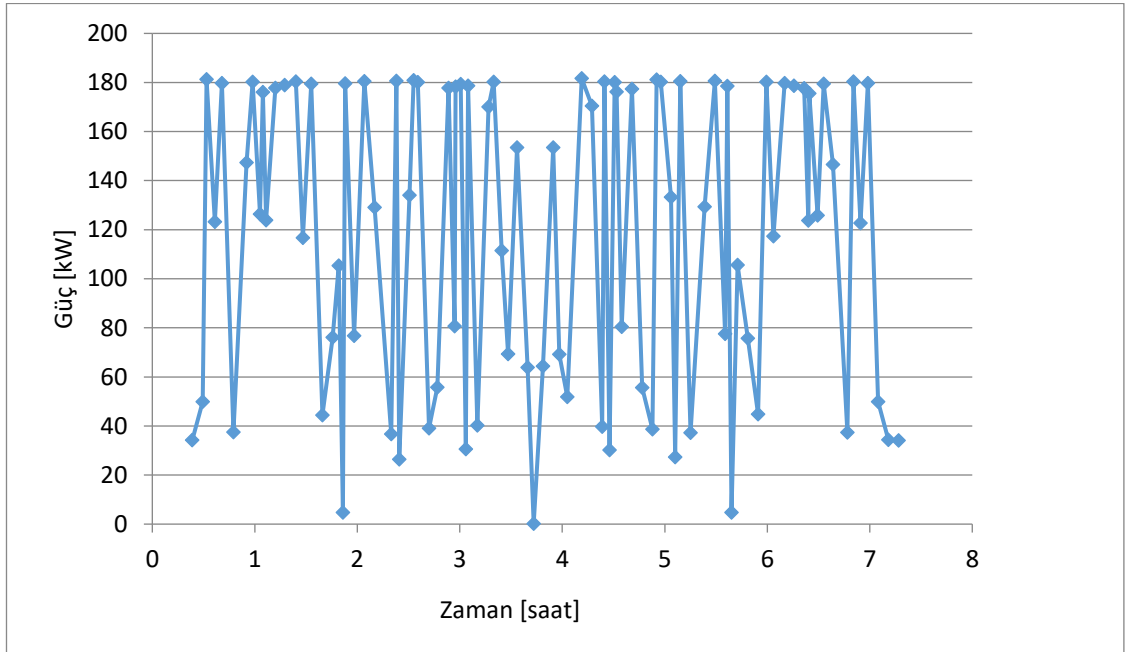
Tork/güç-devir sayısı eğrisi, Şekil 3.5'te, devir sayısı-zaman eğrisi, Şekil 3.6'da, güç-zaman eğrisi, Şekil 3.7'de, tork-zaman eğrisi, Şekil 3.8'te, sistem basıncı-zaman eğrisi, Şekil 3.9'da, yanma odası basıncı-zaman eğrisi, Şekil 3.10'da ve silindir sıcaklığı-zaman eğrisi, Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Test sırasında ölçülen tork/güç-devir sayısı eğrisi

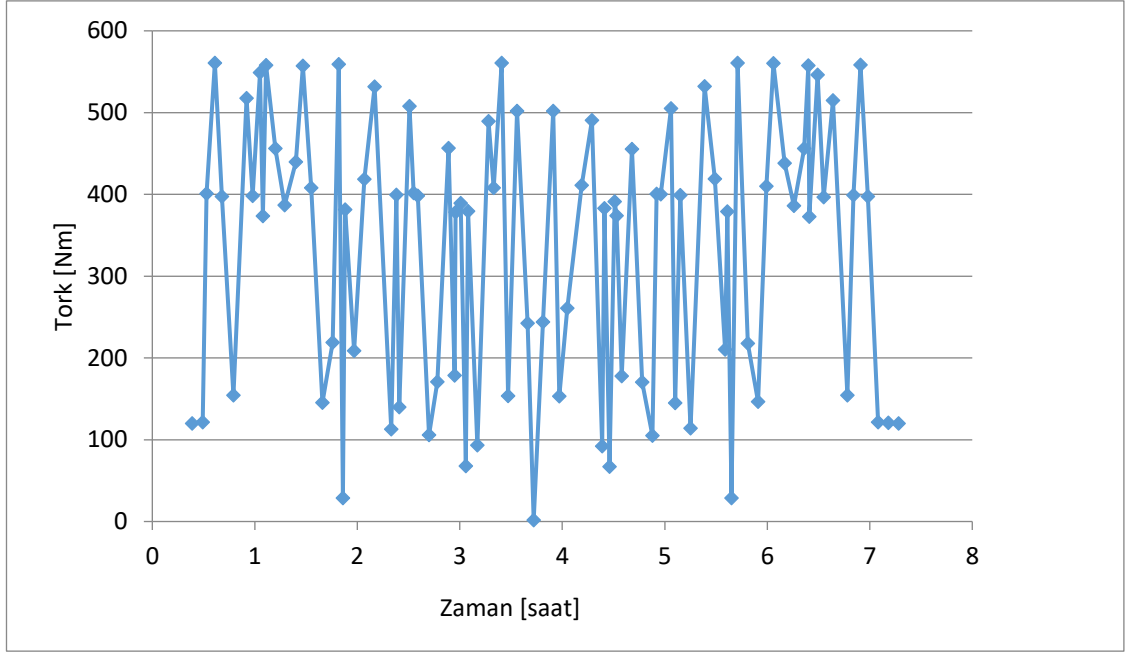


Şekil 3.6. Test sırasında ölçülen devir sayısı-zaman eğrisi

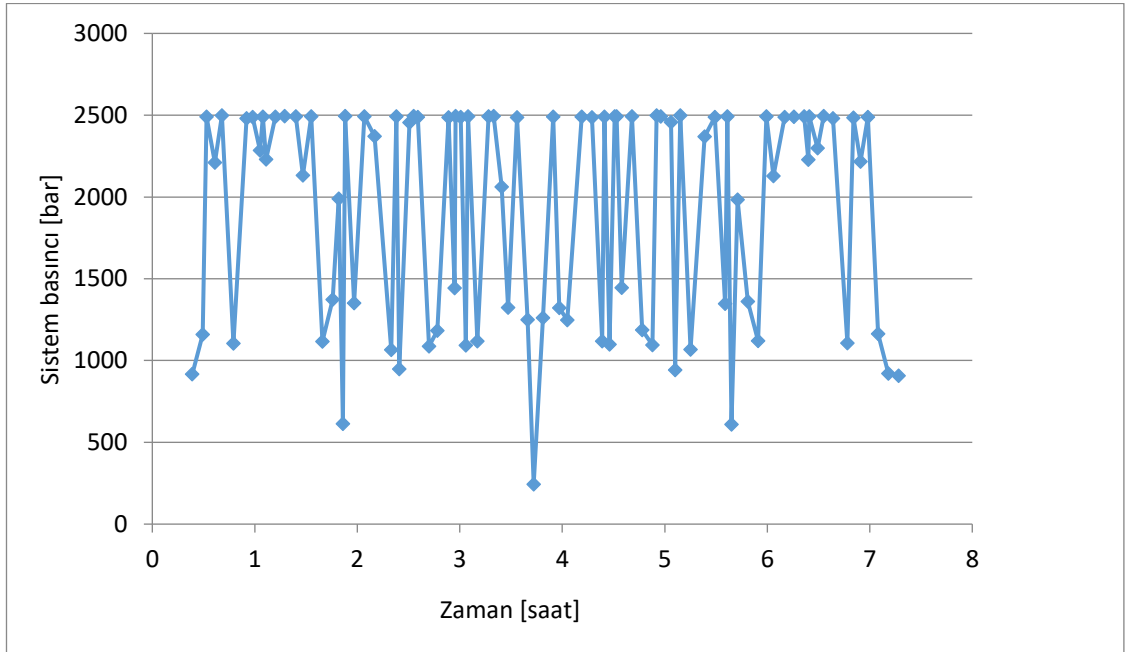


Şekil 3.7. Test sırasında ölçülen güç-zaman eğrisi

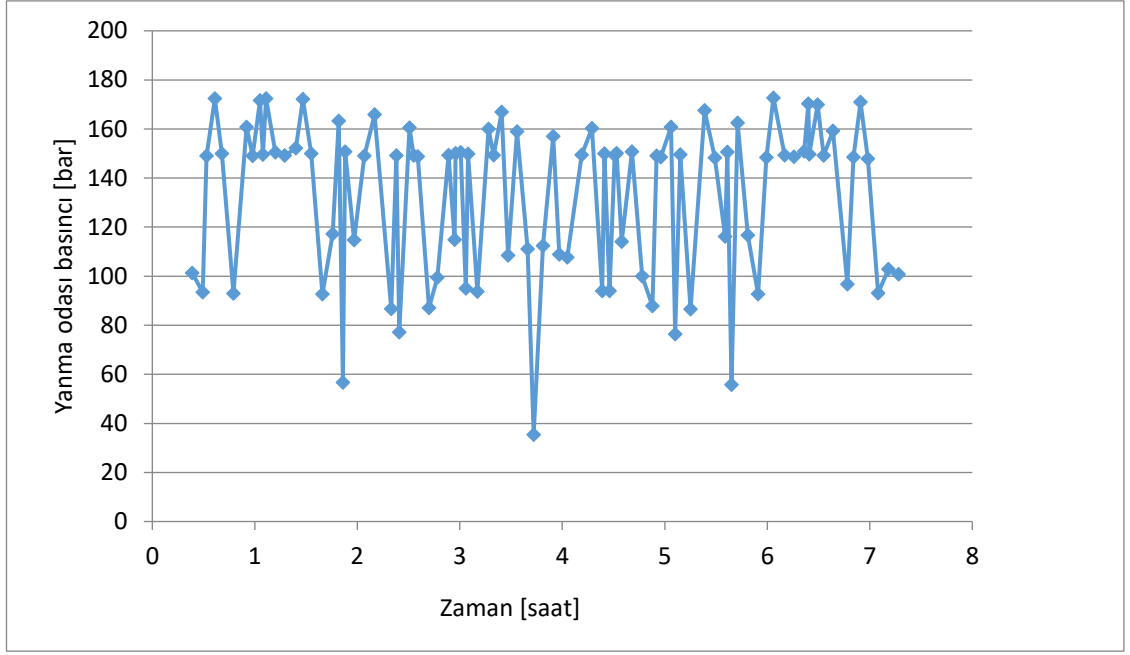




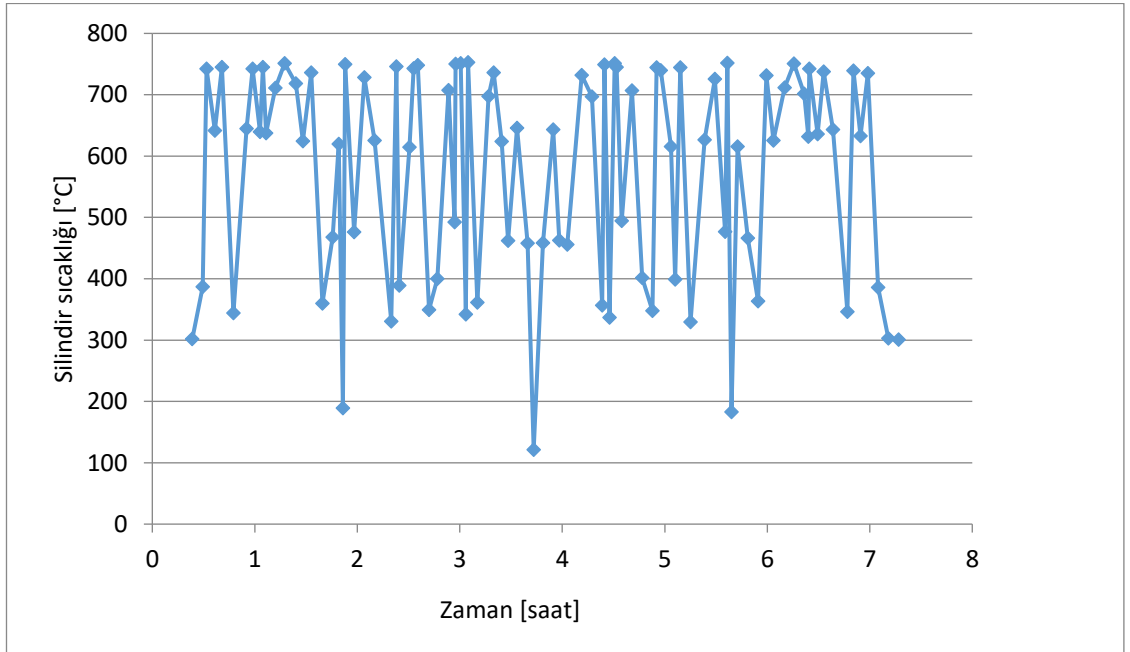
Şekil 3.8. Test sırasında ölçülen tork-zaman eğrisi



Şekil 3.9. Test sırasında ölçülen sistem basıncı-zaman eğrisi



**Şekil 3.10.** Test sırasında ölçülen yanma odası basıncı-zaman eğrisi



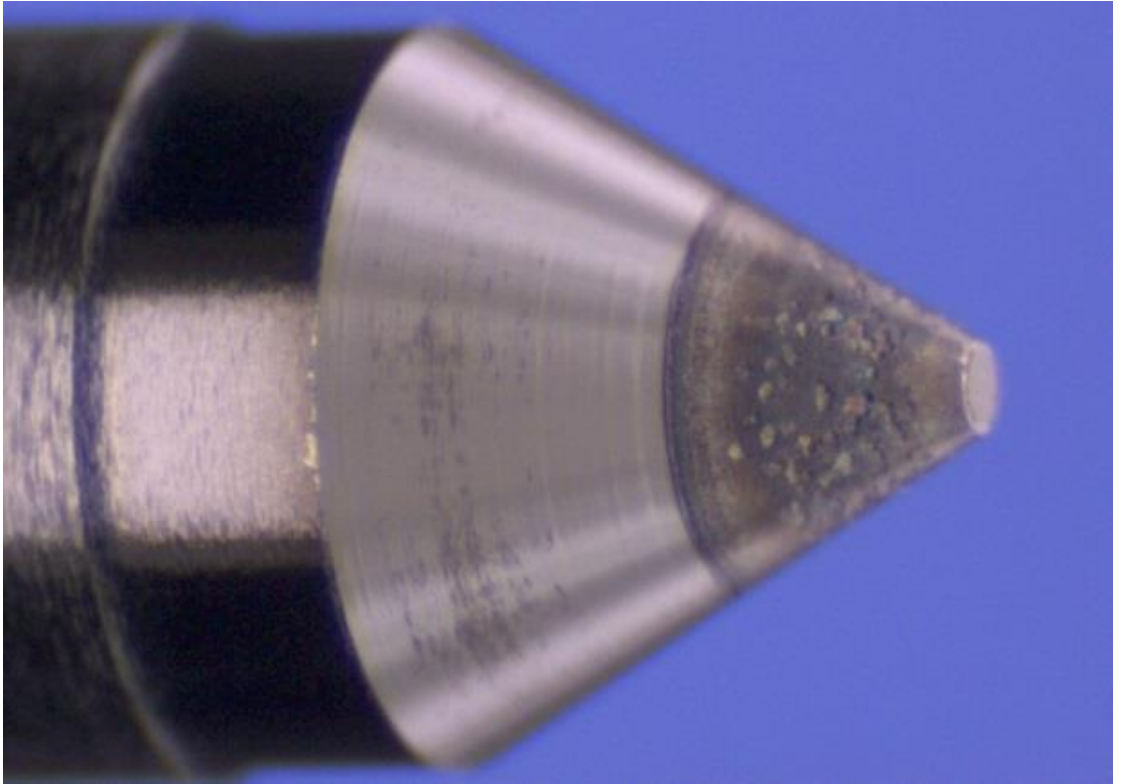
**Şekil 3.11.** Test sırasında ölçülen silindir sıcaklığı-zaman eğrisi

### 3.4. Meme analizleri

#### 3.4.1. Dijital mikroskop fotoğrafları

Dijital mikroskop, bilgisayarda çalışan bir yazılım aracılığıyla monitöre görüntü vermek için optik ve dijital kamera kullanan geleneksel optik mikroskopun bir çeşididir. Dijital bir mikroskop sıklıkla kendi dahili LED ışık kaynağına sahiptir ve numuneyi doğrudan bir mercekten gözlemlemek için hiçbir imkanın bulunmadığı bir optik mikroskoptan farklıdır. Görüntü dijital devreye odaklandığından, tüm sistem monitör görüntüsü için tasarlanır. İnsan gözünün optiği ihmal edilir (Anonim 2019a).

Alınan görüntüler iğnelerin yüzey profillerini incelememizi ve oluşan aşınmanın durumu hakkında fikir elde etmemize olanak vermektedir. İğnede aşınmaya maruz kalmış alanlar başarılı bir şekilde tespit edilebilmiştir. İncelemeler sırasında iğne ucundan alınan örnek bir görüntü Şekil 3.12’de bulunabilir.



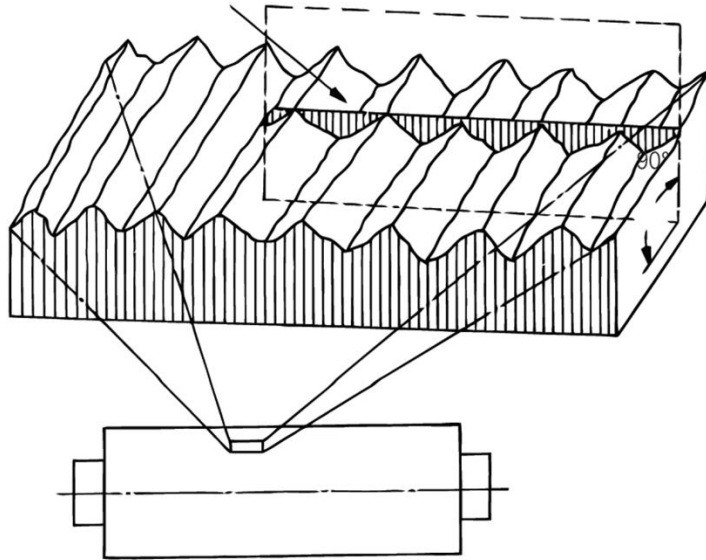
**Şekil 3.12.** İncelemeler sırasında iğne ucundan alınan örnek bir görüntü

### 3.4.2. İğne ve gövde oturma bölgesi yüzey profili ölçümleri

Geometrik olarak ideal bir yüzeyden herhangi bir sapmanın parçanın işlevsel davranışını etkilediği kanıtlanmıştır. Bu nedenle, yalnızca boyut toleranslarına uymak değil, aynı zamanda yüzey özelliklerini de dikkate almak önemlidir. Tanımlanan nominal değerlerden sapmaların yanı sıra, aşağıdaki yüzey düzensizlikleri de değerlendirilmelidir.

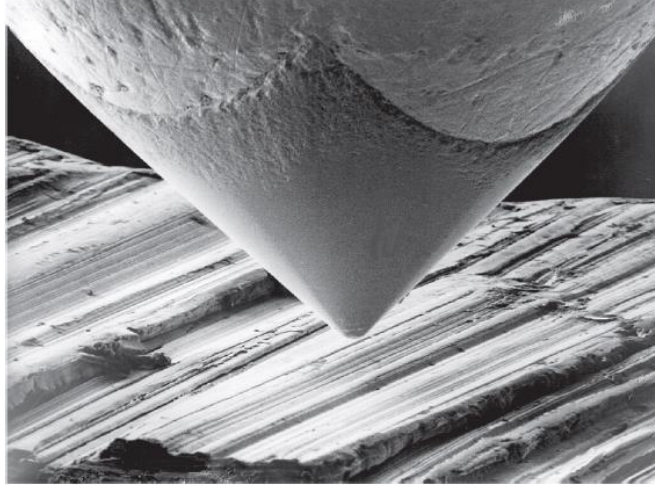
- Form ve pozisyon sapmaları
- Dalgalı görünüm
- Pürüzlülük

Form ve pozisyon sapmaları büyük ölçekli düzensizlikler, dalgalı görünüm ve pürüzlülük ise küçük ölçekli düzensizlikler olarak adlandırılır. Yüzeyde oluşan bu düzensizlikleri ölçmek için ölçüm cihazı olarak profilometre kullanılır. Çoğu yüzey özelliklerinin tanımları Şekil 3.13'te yer aldığı gibi iki boyutlu profile dayanmaktadır. Bu profil kesiti en büyük profil hatasını beklenen yöne doğru yüzeye dikey olarak alınır.



Şekil 3.13. Profil kesitinden yüzey parametresinin değerlendirilmesi

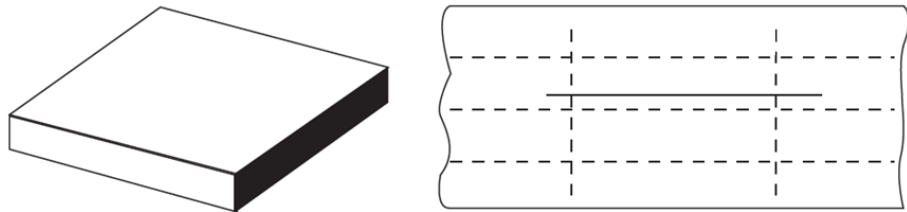
Profilometre yüzeyi Şekil 3.14’te görseli yer alan ölçüm iğnesi yardımıyla yüzeye temas ederek taramaktadır ve sonrasında çeşitli filtreler kullanılarak farklı yüzey özellikleri çıkarılmaktadır.



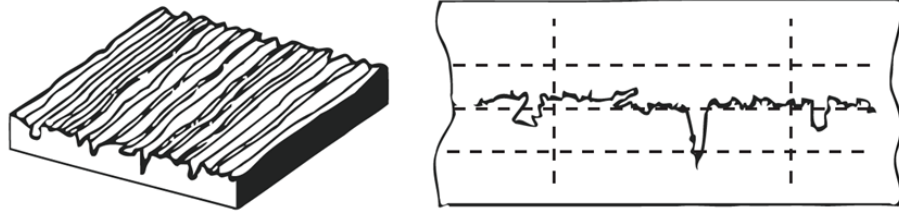
**Şekil 3.14.** Parça yüzeyine temas eden ölçüm iğnesi görseli

Yüzeylerin mühendislik değerlendirmelerinde üç çeşidi bulunmaktadır:

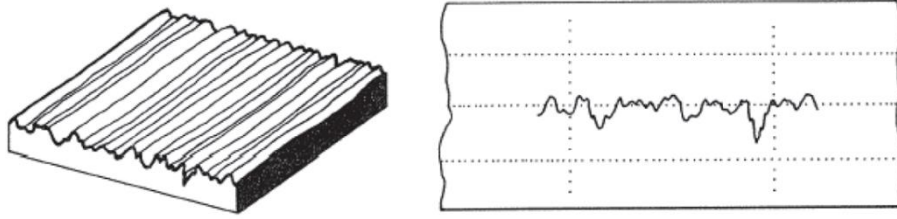
- Pratikte üretilmeyen ancak teknik resimlerde belirtilen ideal yüzey: Şekil 3.15
- Ölçüm yapılan yüzeyin gerçek hali: Şekil 3.16
- Ölçüm yapılan yüzeyin ölçülmüş hali: Şekil 3.17



**Şekil 3.15.** Teknik resimlerde belirtilen ideal yüzey

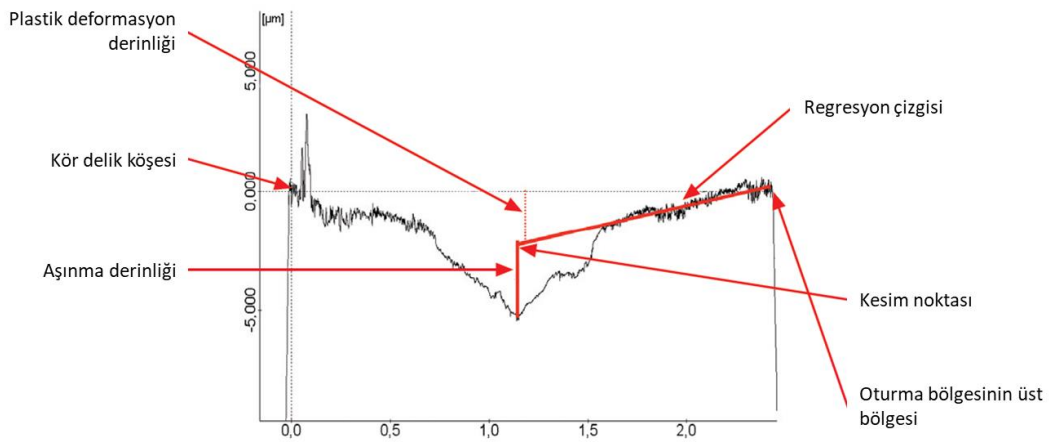


**Şekil 3.16.** Ölçüm yapılan yüzeyin gerçek hali



**Şekil 3.17.** Ölçüm yapılan yüzeyin ölçülmüş hali

Bu ölçüm iğne ve gövde oturma bölgesi yüzey profillerini mikrometre boyutunda incelememizi ve oluşan yüzey düzensizliklerinin durumu hakkında detaylı fikir elde etmemize olanak vermektedir. Yüzey düzensizlikleri oldukça başarılı bir şekilde tespit edilebilmiştir. Meme gövdesinden alınan örnek bir yüzey profili Şekil 3.18’de bulunabilir. Deformasyonun üstüne aşınma oluştuğundan dolayı aşınma derinliği deformasyon derinliğinin altında kalmaktadır.



**Şekil 3.18.** Meme gövdesinden alınan örnek bir yüzey profili

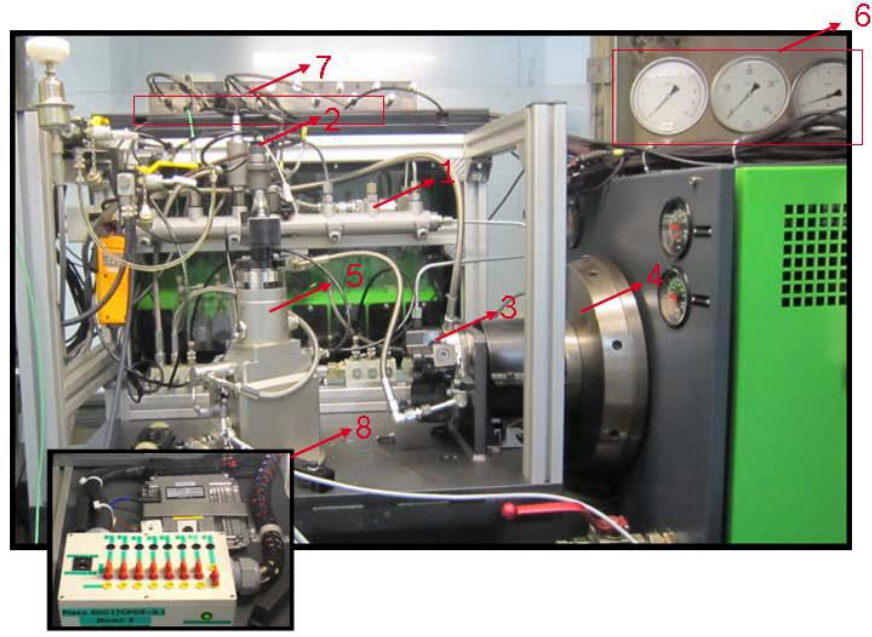
### **3.5. Enjektör fonksiyon ölçümleri**

Aşınma/deformasyonun çalışma süresince değişiminin piezo enjektörün fonksiyonu üzerindeki etkilerini gözlemlemek için ara incelemeler sırasında enjektör fonksiyon ölçümleri yapılmıştır.

#### **3.5.1. Ölçüm tezgahı**

Common rail püskürtme sistemi yüksek ve düşük basınç döngüsü olmak üzere 2 gruptan oluşmaktadır. Yüksek basınç döngüsü içerisinde ortak hat, enjektör ve yüksek basınç pompası bulunmaktadır. Düşük basınç döngüsü içerisinde ise enjektör geri tahliye bağlantıları, elektronik yakıt pompası ve yakıt tankı yer almaktadır. Yapılan ölçümlerde bu sistem özellikleri ve motor şartları simule edilmiştir.

Ölçümler sırasında kullanılan piezo enjektör fonksiyonu ölçüm tezgahı Şekil 3.19'de gösterilmektedir.

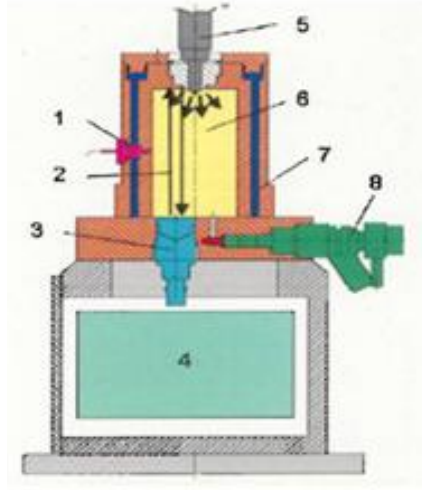


1. Ortak hat
2. Enjektör
3. Yüksek basınç pompası
4. Elektrik motoru
5. Hidrolik basınç arttırıcı (HDA)
6. Manometre (elektronik yakıt pompası basıncı, geri tahliye basıncı)
7. Enjektör geri tahliye bağlantıları
8. ECU

**Şekil 3.19.** Piezo enjektör fonksiyonu ölçüm tezgahı

Hidrolik basınç arttırıcı (HDA) enjektörlerin püskürtme karakteristiklerinin ölçüldüğü cihazdır. HDA silindir biçimindedir. İçerisinde ses hızı sensörü, ses hızı ölçüm alanı, basınç sensörleri, elektronik değerlendirme ünitesi, soğutma kanalı ve tahliye valfleri bulundurur. Test yağı enjektörden HDA içerisine püskürtülür ve her püskürtme sonrası tanka geri gönderilir. Enjektör girişinde test yağı sıcaklığı seviyesi sürekli olarak 40 °C olarak sabit tutulur. Enjektör çalıştıkça test yağı ısınır. Bunu önlemek ve sistemi aşırı ısınmadan korumak amacıyla silindir çevresinde bulunan soğutma kanalı bulunur. HDA ve elemanları Şekil 3.20’de yer almaktadır.





- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| 1. Basınç sensörü 0-100 bar         | 5. Enjektör                             |
| 2. Ses hızı ölçüm alanı             | 6. Yüksek sıcaklığa dayanıklı çelik oda |
| 3. Ses hızı sensörü                 | 7. Soğutma kanalı                       |
| 4. Elektronik değerlendirme ünitesi | 8. Egzoz valfi                          |

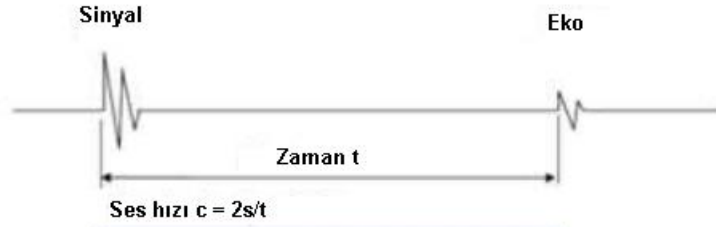
**Şekil 3.20.** HDA ve elemanları (Yalnızcan 2012)

HDA ile ölçüm özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Maksimum püskürtme sayısı: 10
- 2 püskürtme arasındaki minimum zaman farkı: 20  $\mu$ s
- Bir çevrimdeki püskürtülen toplam miktar: 0,1 – 500 mg
- Ölçüm çözünürlüğü: 0,01mg
- Karşı basınç 5 – 95 bar

HDA ile ölçümler püskürtülen test yağının ses hızının hesaplanmasıyla yapılır. HDA ölçüm silindirisinin en altında bir piezo seramik sensör yer almaktadır. Bu piezo seramiğin tetiklenmesi ile ilk elektriksel sinyal oluşur. Ses dalgası yol aldıktan sonra geriye

yankılanır ve eko sinyali oluşturur. Sensör yardımıyla bu sinyaller elektriksel gerilime çevrilir ve aralarındaki süre ile ses hızı Şekil 3.21'deki gibi hesaplanır.



**Şekil 3.21.** Ses hızının hesaplanması (Yalnızcan 2012)

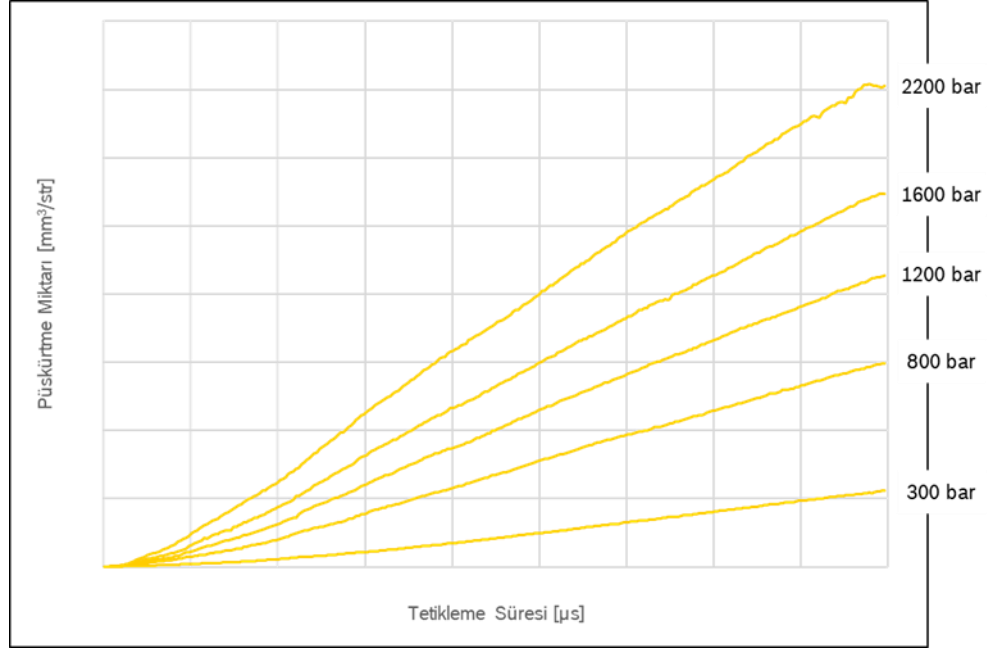
HDA ile gerçekleştirilebilen başlıca ölçümler:

- Püskürtme karakteristiği ve püskürtme miktarı değişimi eğrisi
- Püskürtme gecikmesi eğrisi

### 3.5.2. Püskürtme karakteristiği ve püskürtme miktarı değişimi eğrisi

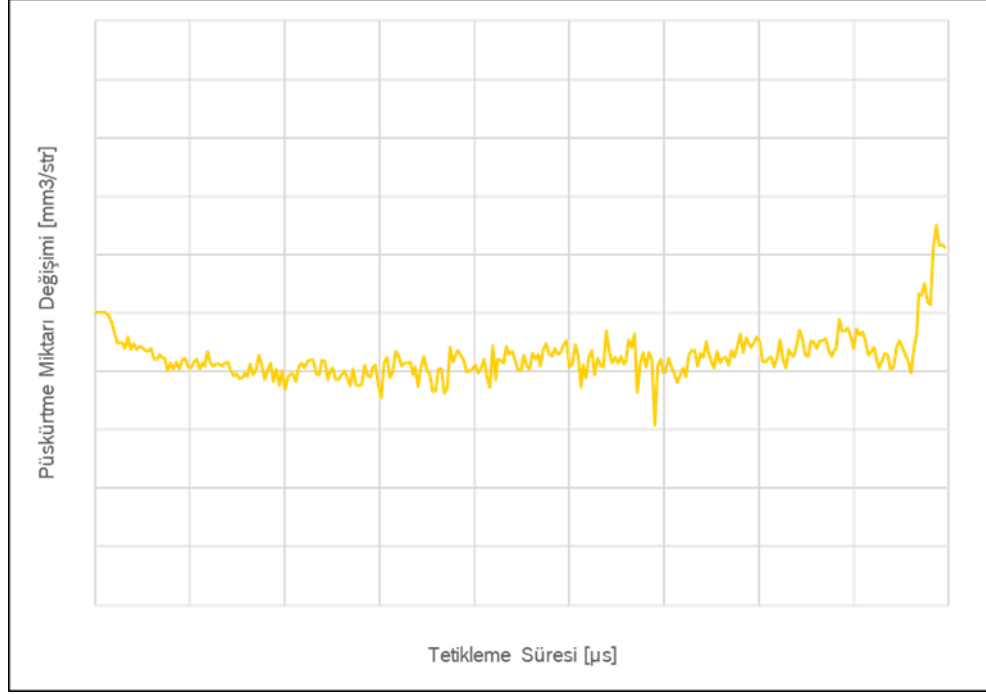
Püskürtme karakteristiği eğrisi farklı tetikleme süreleri ve basınçlarda püskürtme miktarının belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu eğri tüm çalışma bölgelerinde enjektör davranışının detaylı olarak incelenmesinde kullanılır. Eğrinin eğimi ve egrideki dalgalanmalar enjektör alt parçalarının karakteristik özelliklerini gösterir.

Basıncı sabit tutarak tetikleme süresinin belli aralıklar ile değiştirilmesi yöntemi ile ölçüm yapılır. Her aralıkta püskürtme miktarı ölçümü 50 kere yapılır ve en sonunda 50 adet ölçümün ortalaması alınarak grafik oluşturulur. Örnek olarak 2200 bar'da 100  $\mu$ s'de 50 adet ölçüm yapılır ve 50 adet ölçümün ortalaması nokta olarak grafiğe eklenir. Sonrasında 100  $\mu$ s olan tetikleme süresi 10'ar  $\mu$ s aralıklar ile arttırılarak ölçümler tekrar alınır ve noktalar grafiğe eklenir. Bu süreç belirlenen maximum tetikleme süresine kadar devam eder. Sonucunda noktalar birleştirilerek grafik ortaya çıkar. İncelemeler sırasında alınan örnek bir püskürtme karakteristiği eğrisi Şekil 3.22'de bulunabilir.



**Şekil 3.22.** Püskürtme karakteristiği eğrisi örneği

Kısa süreli çalışma süresi boyunca meme oturma yüzeyinde oluşan değişimlerin ve farklı varyasyonların püskürtme miktarına olan etkisini incelemek için bu grafiğin bir türevi kullanılmıştır. Örnek olarak aynı enjektörün 0. ve 20. saatte püskürtme karakteristiği eğrileri ölçülmüştür. 20. saatte meydana gelen etkiyi incelemek için 20. saatteki eğri 0. saattekinden çıkarılmıştır. Bu sayede püskürtme miktarındaki değişim net bir şekilde görülebilmektedir. İncelemeler sırasında alınan örnek bir püskürtme miktarı değişimi eğrisi Şekil 3.23’de bulunabilir.

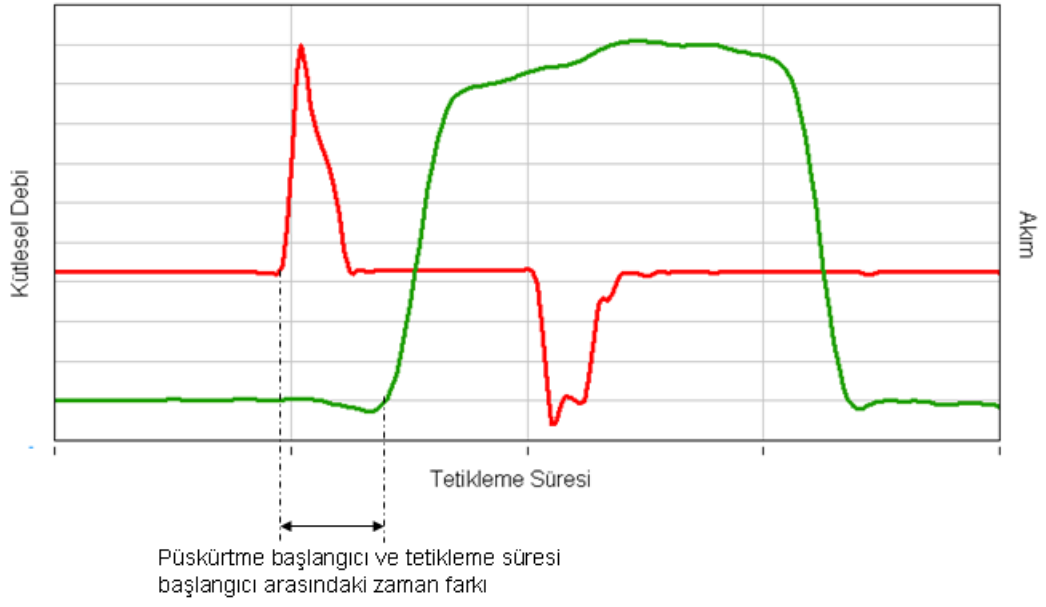


**Şekil 3.23.** Püskürtme miktarı değişimi eğrisi örneği

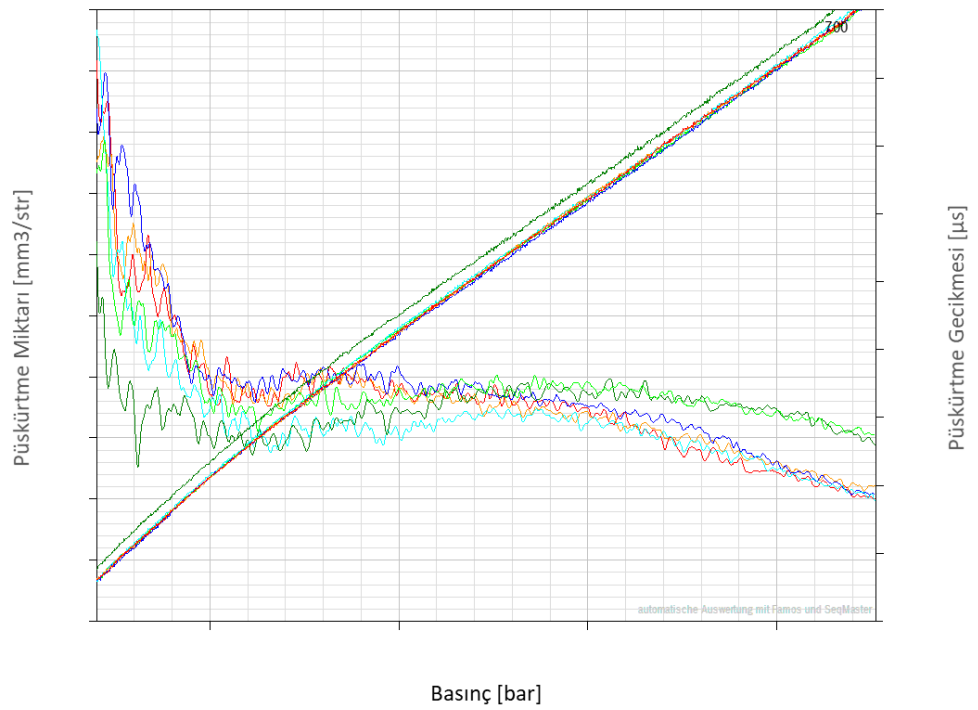
### 3.5.3. Püskürtme gecikmesi eğrisi

Piezo enjektörlerin hidrolik reaksiyonlardan kaynaklı elektriksel olarak tetiklenmeleri ile püskürtme başlangıçları arasında Şekil 3.24'deki gibi bir zaman farkı meydana gelir. Bu fark püskürtme gecikmesi ölçümü ile ölçülür ve enjektörün hidrolik tepki süreleri gözlemlenir. Hidrolik tepkinin hızlı veya yavaş olması krank mili açısının üst ölü noktaya ne kadar yaklaşacağı ve dolayısıyla motor performansı üzerinde etkilidir. Sıkıştırma oranlarında farklılık meydana getirerek yanma performansını değiştirecektir. İncelemeler sırasında alınan örnek bir püskürtme gecikmesi eğrisi Şekil 3.25'de bulunabilir.

Püskürtme gecikmesi düşük püskürtme basınçlarında 230 mikro saniyeye kadar çıkabilirken, yüksek püskürtme basınçlarında bu değer düşmektedir. Bunun nedeni hem yakıt basıncının artması hem de iğnenin gövde üzerinde oturduğu bölgenin aşağı doğru kaymasıdır ve arkasında yatan fiziksel etki Şekil 2.21'de anlatılmıştır.



**Şekil 3.24.** Elektriksel tetikleme ve püskürtme başlangıcı arasındaki zaman farkı (Yalnızcan 2012)



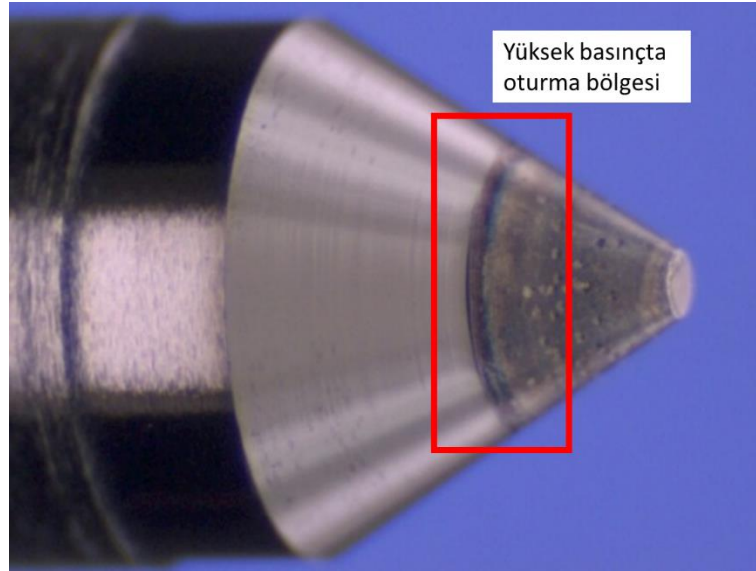
**Şekil 3.25.** Püskürtme gecikmesi eğrisi örneği

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde memenin oturma yüzeyinde oluşan aşınma/deformasyonun 400 saat çalışma süresince ilerlemesini ve bu ilerlemenin enjektör fonksiyonuna olan etkilerini gözlemlemek için yapılan ara incelemeler ele alınmaktadır.

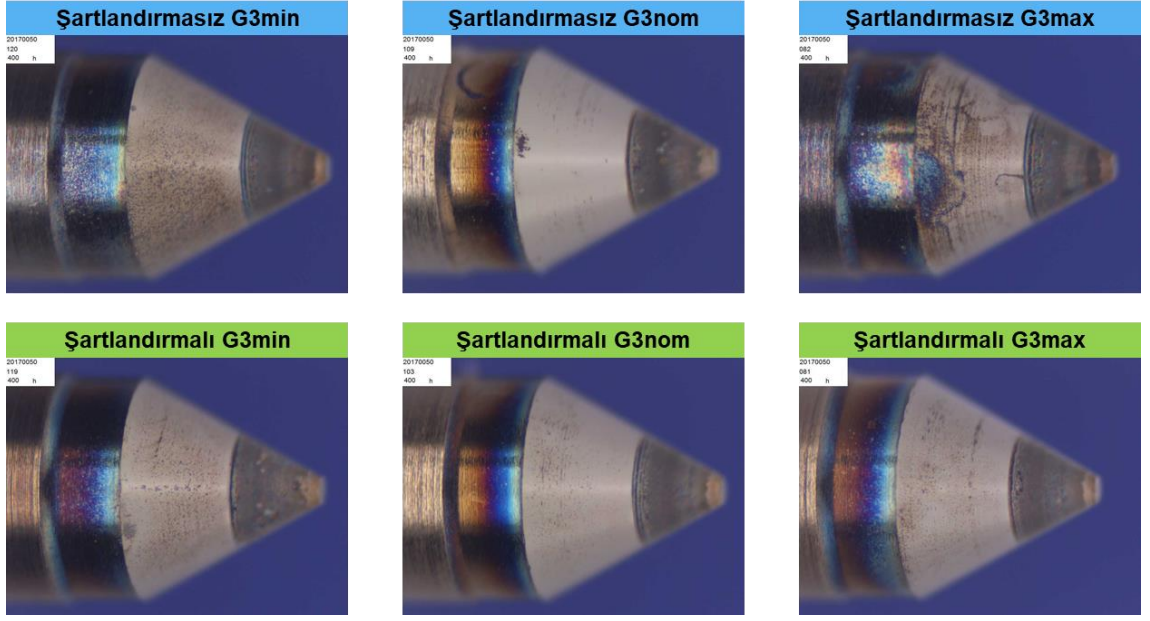
##### 4.1. İğne oturma yüzeyi fotoğrafları

Yüksek basınçta oturma bölgesi iğne ucuna kaymakta ve iğnede aşınma meydana getirmektedir. Oluşan bu aşınma ise iğne yüzeyinde Şekil 4.1'deki gibi çizgi halinde görülebilmektedir.

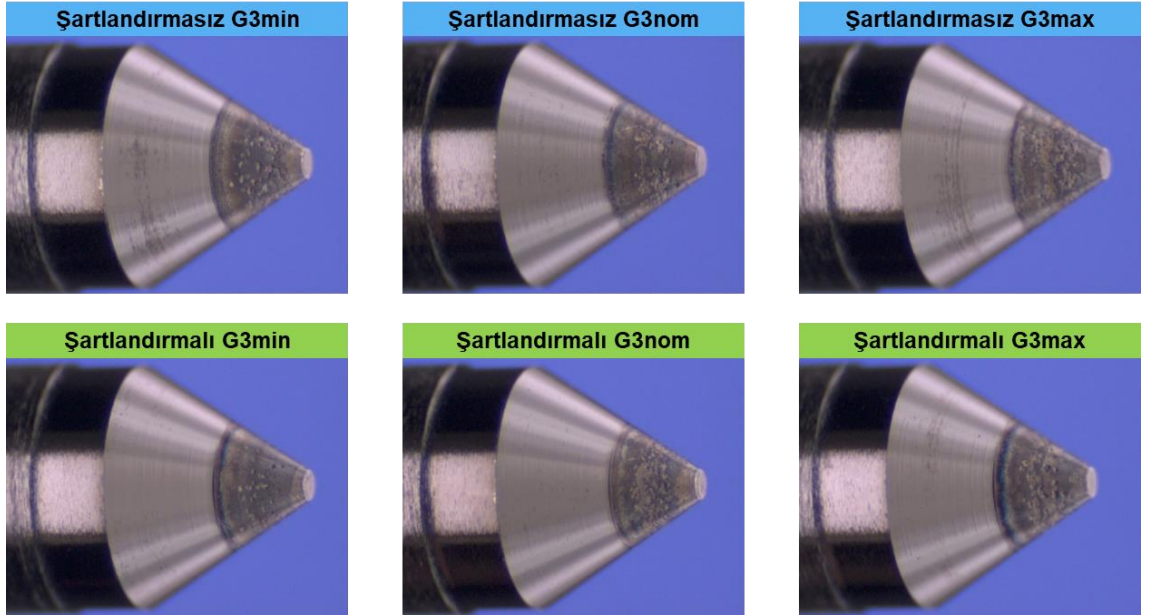


**Şekil 4.1.** İğne oturma yüzeyinde oluşan aşınma çizgisi

İğne oturma yüzeyi fotoğrafları test bittikten sonra, 400. saatte alınmıştır. İlk teste ait fotoğraflar Şekil 4.2'de, ikinci teste ait fotoğraflar ise Şekil 4.3'de yer almaktadır. Oturma bölgesindeki değişimler mikrometre boyutunda olduğundan dolayı varyasyonlar arasında iğne oturma bölgelerinin durumu açısından fotoğraflardan görülebilen herhangi bir fark gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.2. 1. test 400 saat sonucunda iğne oturma yüzeyi fotoğrafı



Şekil 4.3. 2. test 400 saat sonucunda iğne oturma yüzeyi fotoğrafı

## 4.2. İğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri

İğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri oluşan deformasyon ve aşınmaları mikrometre boyutunda incelememize olanak vermektedir. Profiller test başlamadan, ara ölçümlerde ve test bittikten sonra alınmıştır. Bütün profiller üst üste yerleştirilerek meydana gelen değişimler rahatlıkla gözlenebilmektedir.

1. testte kullanılan memelerin yüzey profilleri aşağıdaki şekillerde bulunabilir.

- Şekil 4.4: Şartlandırmasız G3min numunede iğne üzerinde 20 saatte aşınma gözlemlenmemektedir ancak diğer ara ölçümlerde maksimum aşınma miktarları 200 saatte 1,6  $\mu\text{m}$  ve 400 saatte 1,9  $\mu\text{m}$ 'dir. Gövde yüzeyinde ufak bir miktar aşınma meydana gelmiştir.
- Şekil 4.5: Şartlandırmasız G3nom numunede iğne üzerinde 20 saatte aşınma gözlemlenmemektedir ancak diğer ara ölçümlerde maksimum aşınma miktarları 200 saatte 1,2  $\mu\text{m}$  ve 400 saatte 1,5  $\mu\text{m}$ 'dir. Gövde yüzeyinde ciddi bir değişim meydana gelmiştir.
- Şekil 4.6: Şartlandırmasız G3max numunede iğne üzerinde 20 saatte aşınma gözlemlenmemektedir ancak diğer ara ölçümlerde maksimum aşınma miktarları 200 saatte 1,0  $\mu\text{m}$  ve 400 saatte 1,3  $\mu\text{m}$ 'dir. Gövde yüzeyinde ciddi bir değişim meydana gelmiştir.
- Şekil 4.7: Şartlandırılmalı G3min numunede iğne üzerinde maksimum aşınma miktarları 20 saatte 0  $\mu\text{m}$ , 200 saatte 1,5  $\mu\text{m}$  ve 400 saatte 1,8  $\mu\text{m}$ 'dir. Gövde yüzeyinde bir değişim meydana gelmemiştir.
- Şekil 4.8: Şartlandırılmalı G3nom numunede iğne üzerinde maksimum aşınma miktarları 20 saatte 0  $\mu\text{m}$ , 200 saatte 0,9  $\mu\text{m}$  ve 400 saatte 1,2  $\mu\text{m}$ 'dir. Gövde yüzeyinde bir değişim meydana gelmemiştir.



- Şekil 4.9: Şartlandırılmalı G3max numunede iğne üzerinde maksimum aşınma miktarları 20 saatte 0 µm, 200 saatte 1,2 µm ve 400 saatte 1,5 µm'dir. Gövde yüzeyinde bir değişim meydana gelmemiştir.

2. testte kullanılan memelerin yüzey profilleri aşağıdaki şekillerde bulunabilir.

- Şekil 4.10: Şartlandırılmısz G3min numunede iğne üzerinde maksimum aşınma miktarları 20 saatte 0,3 µm, 200 saatte 1,0 µm ve 400 saatte 1,3 µm'dir. Gövde yüzeyinde ufak bir değişim meydana gelmiştir.
- Şekil 4.11: Şartlandırılmısz G3nom numunede iğne üzerinde maksimum aşınma miktarları 20 saatte 0,2 µm, 200 saatte 0,7 µm ve 400 saatte 1,0 µm'dir. Gövde yüzeyinde ciddi bir değişim meydana gelmiştir.
- Şekil 4.12: Şartlandırılmısz G3max numunede iğne üzerinde maksimum aşınma miktarları 20 saatte 0,3 µm, 200 saatte 1,0 µm ve 400 saatte 1,3 µm'dir. Gövde yüzeyinde ciddi bir değişim meydana gelmiştir.
- Şekil 4.13: Şartlandırılmalı G3min numunede iğne üzerinde maksimum aşınma miktarları 20 saatte 0,4 µm, 200 saatte 1,2 µm ve 400 saatte 1,6 µm'dir. Gövde yüzeyinde bir değişim meydana gelmemiştir.
- Şekil 4.14: Şartlandırılmalı G3nom numunede iğne üzerinde maksimum aşınma miktarları 20 saatte 0,3 µm, 200 saatte 1,3 µm ve 400 saatte 1,5 µm'dir. Gövde yüzeyinde bir değişim meydana gelmemiştir.
- Şekil 4.15: Şartlandırılmalı G3max numunede iğne üzerinde maksimum aşınma miktarları 20 saatte 0,3 µm, 200 saatte 1,2 µm ve 400 saatte 1,6 µm'dir. Gövde yüzeyinde bir değişim meydana gelmemiştir.

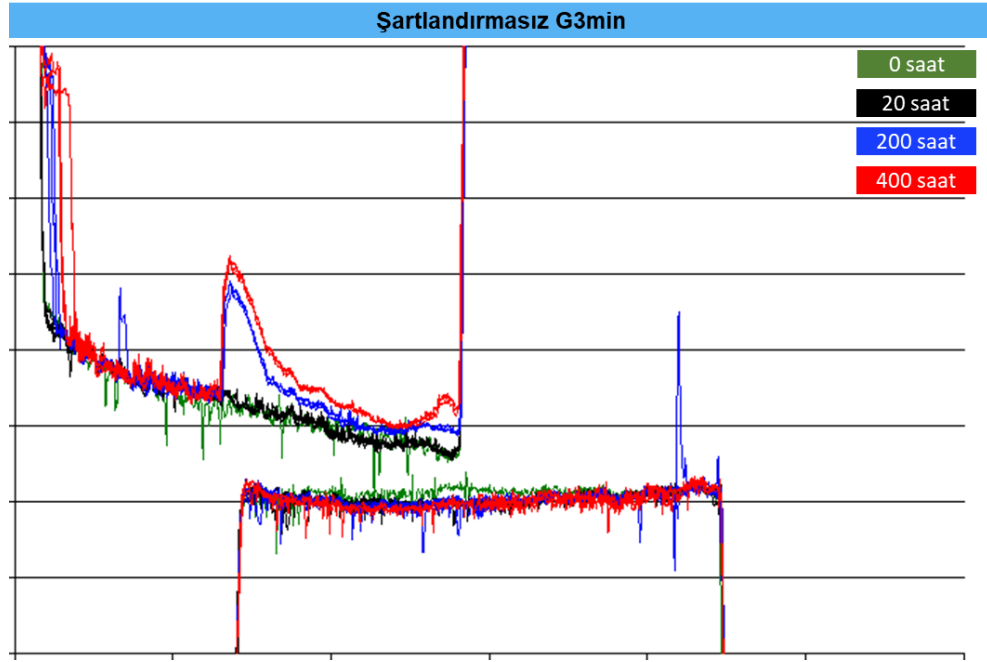
Şartlandırılmısz memelerde gövde oturma yüzeyinde 20 saat sonucunda aşınma ve deformasyon meydana gelmektedir ve genellikle 20 saatten sonra sabit kalmaktadır.

Şartlandırılmalı memelerde ise hiçbir zaman gövde oturma yüzeyinde bir değişim gözlenmemektedir ve oturma yüzeyi aynı kalmaktadır.

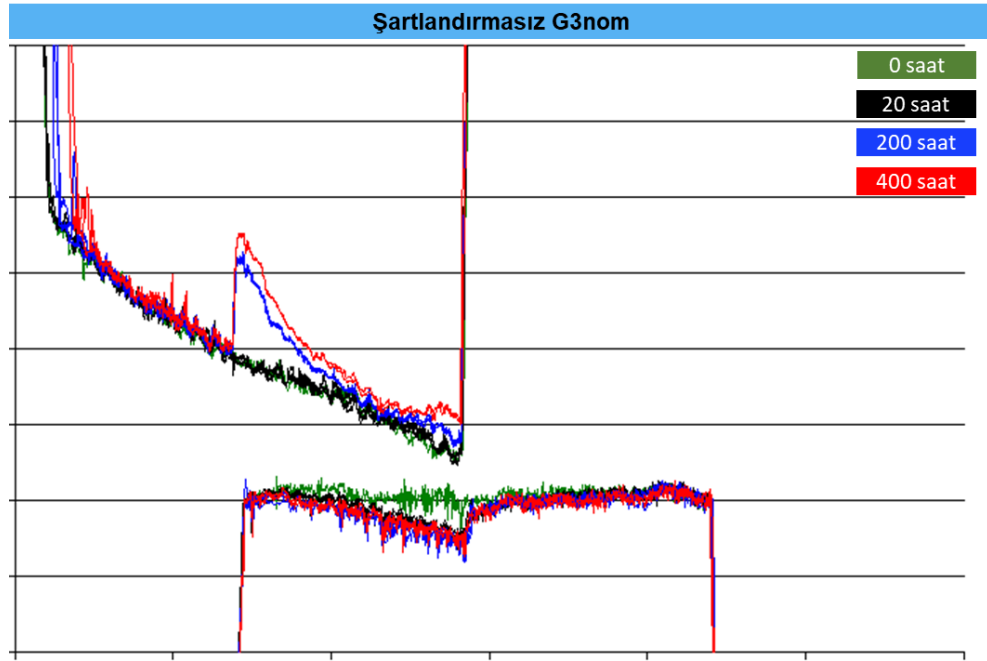
Her iki varyasyonda da iğne oturma yüzeyinde zamanla ilerleyen bir aşınma meydana gelmektedir. Bu aşınmanın şartlandırılmalı memelerde şartlandırılmamış memelere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Aşınma G3 açıklığından çok etkilenmemekle beraber, G3 arttıkça azalmaktadır. Oluşan aşınma oturma çizginin yukarı kaymasına ve iğnenin geç açılmasına neden olmaktadır.

Yüksek basınç altında gövdede elastik deformasyon oluşmasıyla birlikte kör deliğin keskin olan başlangıç noktası iğnenin orta bölgesine temas etmektedir. Bu nedenle şekillerden görülebildiği gibi iğnenin orta bölgesinde maksimum aşınma meydana gelmektedir. İğnedeki aşınma büyüdükçe oturma bölgesi yukarı doğru kaymaktadır ve dolayısıyla aşınma da bu davranışı takip etmektedir. Düşük basınçlarda ise iğne, profillerdeki en sağ noktasından oturmakta ve bu nedenle iğnenin o bölümünde de ufak miktarlarda aşınmalar meydana gelmektedir.

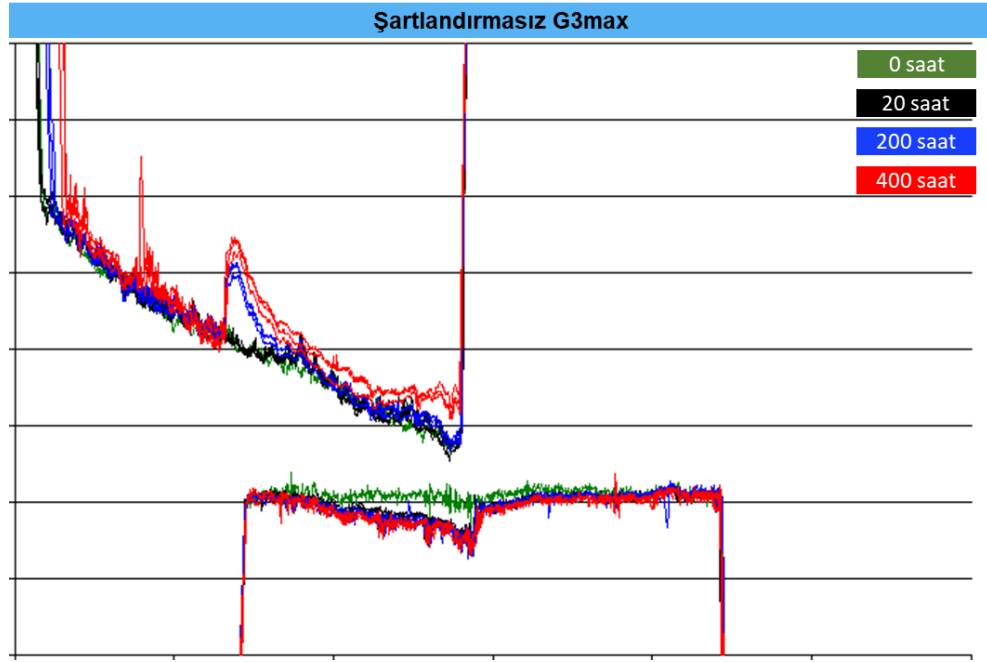
Gövde ise iğnenin keskin kenarının gövdenin orta bölümlerine denk gelmesi nedeniyle orta noktadan deforme olmaya/aşınmaya başlamaktadır. Aynı zamanda şekillerde gövdede derin fakat ince oluşumlar bulunmaktadır. Bu oluşumların nedeni korozyondur ve bu tez kapsamında ele alınan konuyla ilgili değildir.



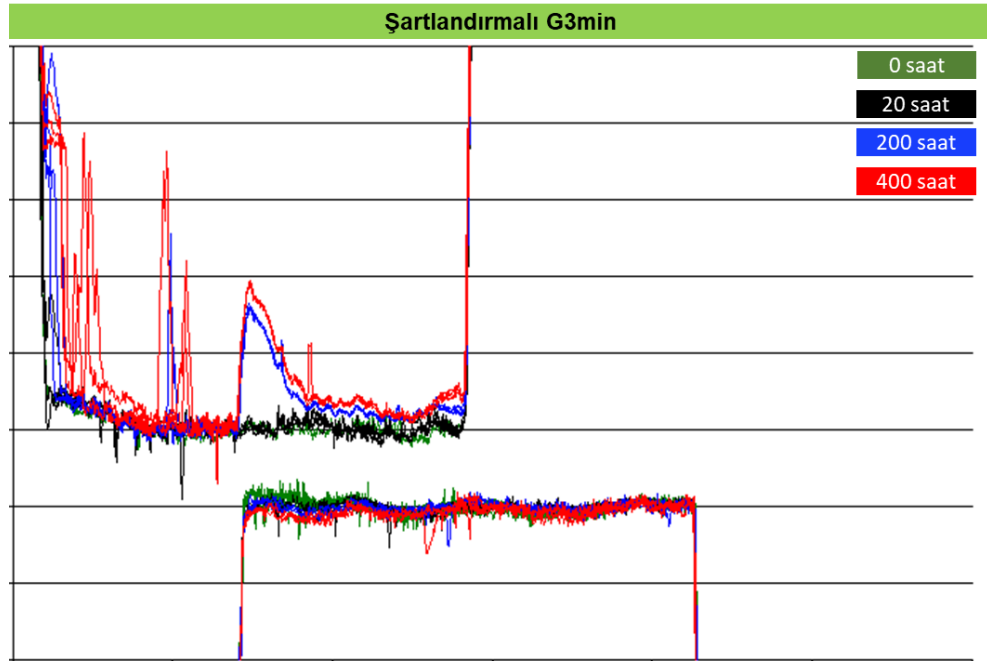
Şekil 4.4. 1. testte kullanılan şartlandırmasız G3min varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri



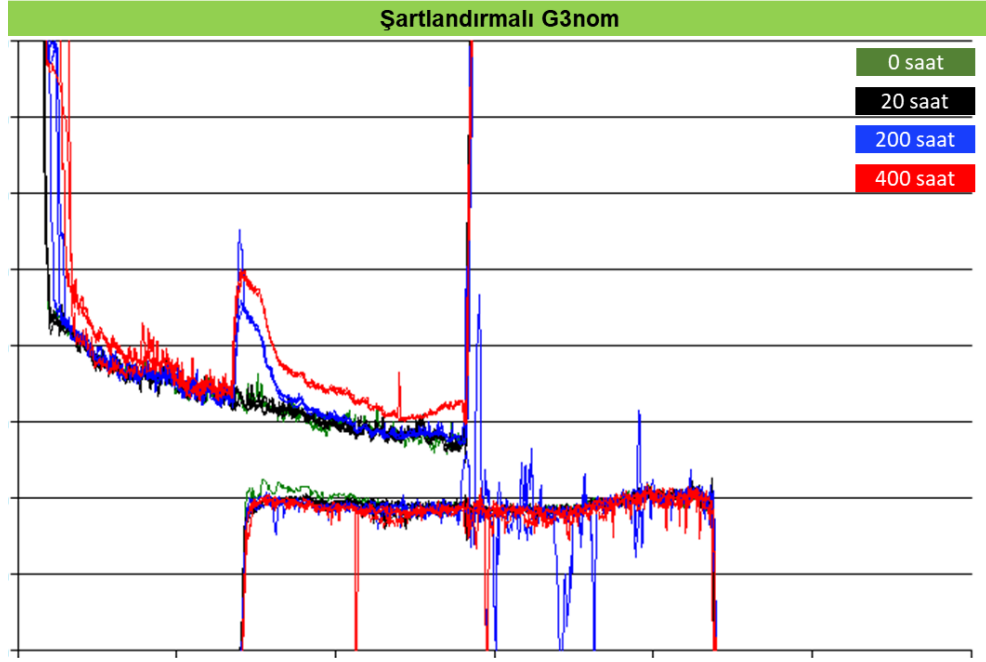
Şekil 4.5. 1. testte kullanılan şartlandırmasız G3nom varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri



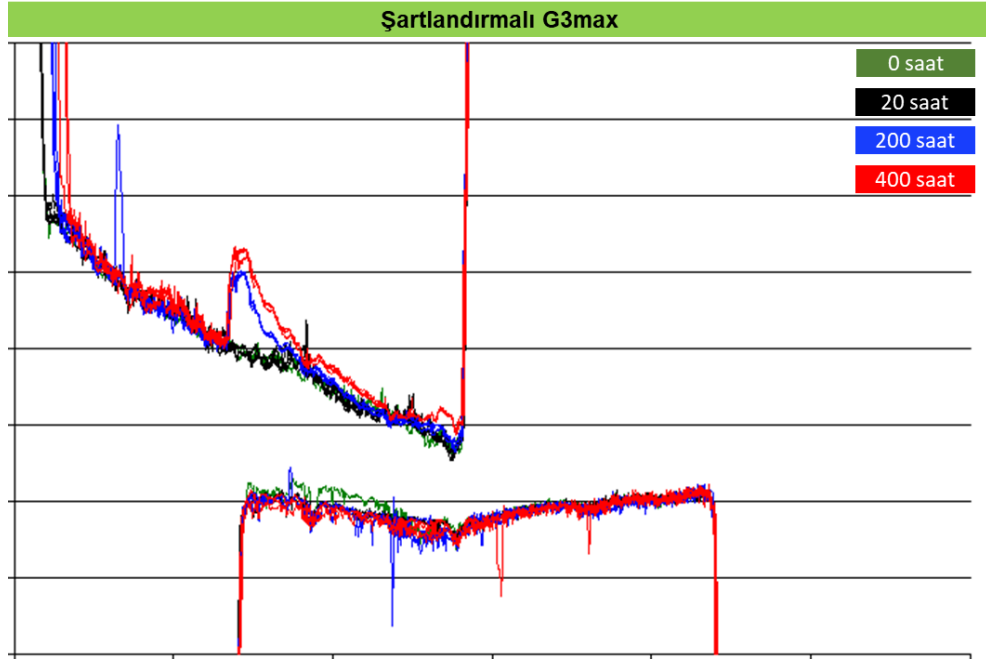
**Şekil 4.6.** 1. testte kullanılan şartlandırmasız G3max varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri



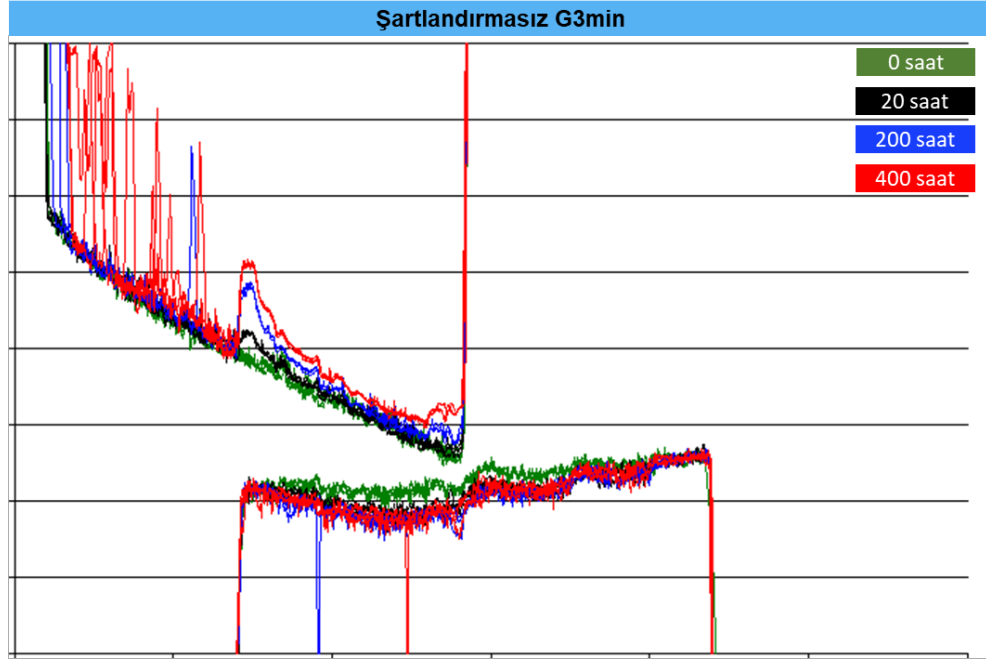
**Şekil 4.7.** 1. testte kullanılan şartlandırmalı G3min varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri



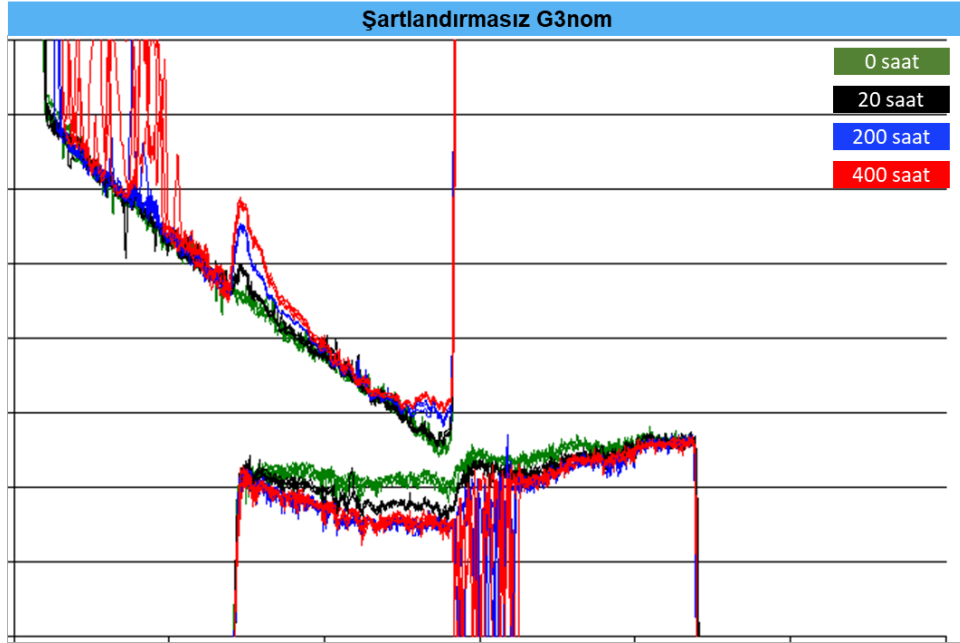
**Şekil 4.8.** 1. testte kullanılan şartlandırılmı G3nom varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri



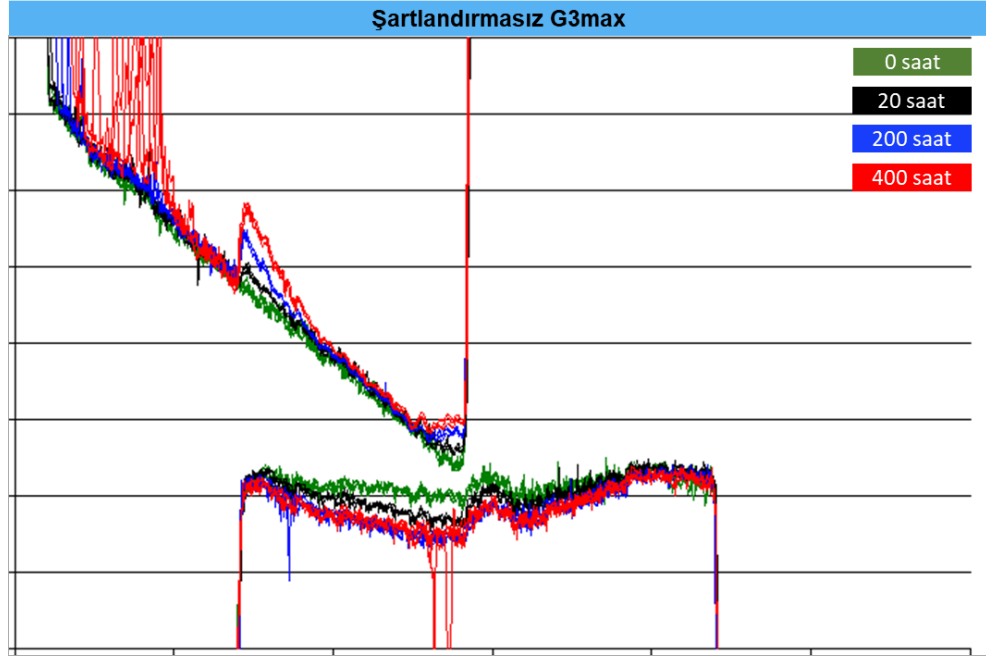
**Şekil 4.9.** 1. testte kullanılan şartlandırılmı G3max varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri



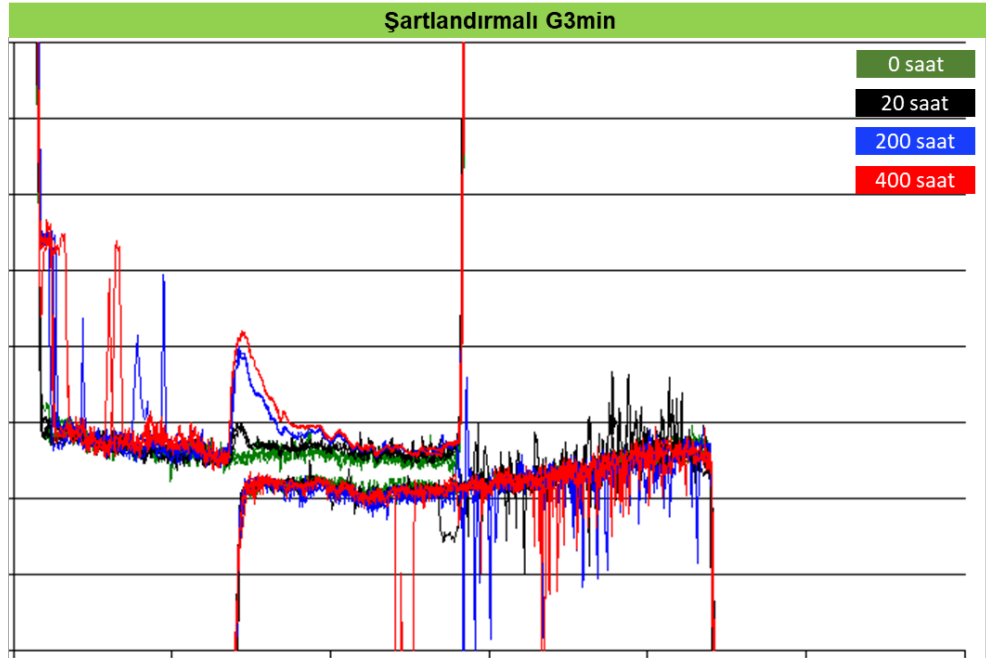
**Şekil 4.10.** 2. testte kullanılan şartlandırmasız G3min varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri



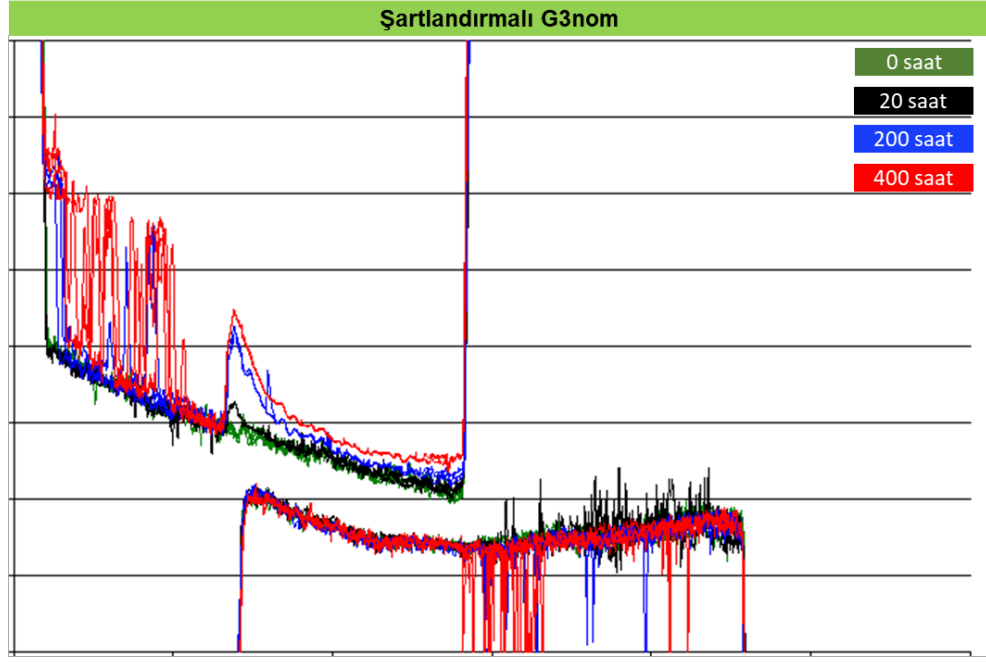
**Şekil 4.11.** 2. testte kullanılan şartlandırmasız G3nom varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri



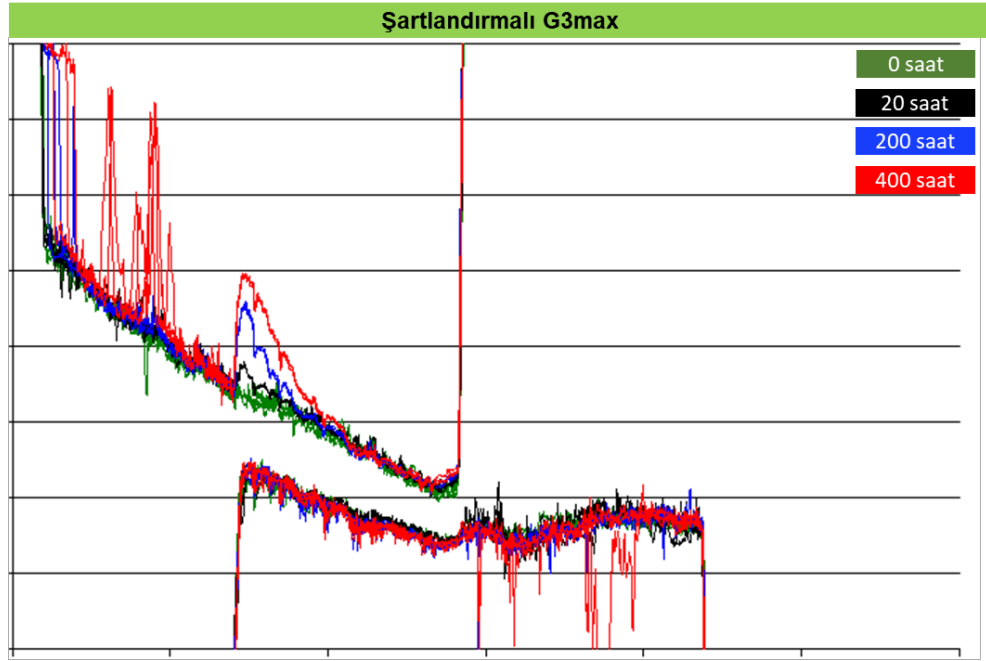
**Şekil 4.12.** 2. testte kullanılan şartlandırmasız G3max varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri



**Şekil 4.13.** 2. testte kullanılan şartlandırılmalı G3min varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri



Şekil 4.14. 2. teste kullanılan şartlandırılmı G3nom varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri



Şekil 4.15. 2. teste kullanılan şartlandırılmı G3max varyantın iğne ve gövde oturma yüzeyi profilleri



### 4.3. Püskürtme miktarı değişimi eğrisi

Kısa süreli çalışma süresi boyunca meme oturma yüzeyinde oluşan değişimlerin ve farklı varyasyonların püskürtme miktarına olan etkisi grafiksel olarak incelenmiştir. Oturma yüzeyi özellikle yüksek basınçlarda etkili olduğundan dolayı 2200 bar'daki değişimler ele alınmıştır. 300  $\mu$ s'den daha yüksek tetikleme sürelerinde oturma yüzeyi haricindeki etkiler de görüldüğünden oturma yüzeyi değerlendirmesi için kullanılmamaktadır. Bu etkilerden bazıları aşağıdaki gibidir:

- Gövde püskürtme deliği girişinde meydana gelen kavitasyon
- Gövde püskürtme deliğinde oluşan korozyon
- Gövde püskürtme deliğinde oluşan kurum

Tetikleme süresi artmasıyla beraber meme içerisindeki en küçük alan oturma yüzeyinden püskürtme deliklerine kaymaktadır. Püskürtme deliklerinde meydana gelebilen bu etkiler ise enjektörün debisini etkilemekte ve dolayısıyla püskürtme miktarlarını değiştirmektedir. Oturma yüzeyindeki etkileri doğru değerlendirebilmek için sonuçları yanlış yönlendirebilecek püskürtme deliğindeki etkilerden arındırılmış alanı incelemek gerekmektedir.

2200bar'da püskürtme miktarının olması gereken değeri yaklaşık 100 mm<sup>3</sup>/str'tür.

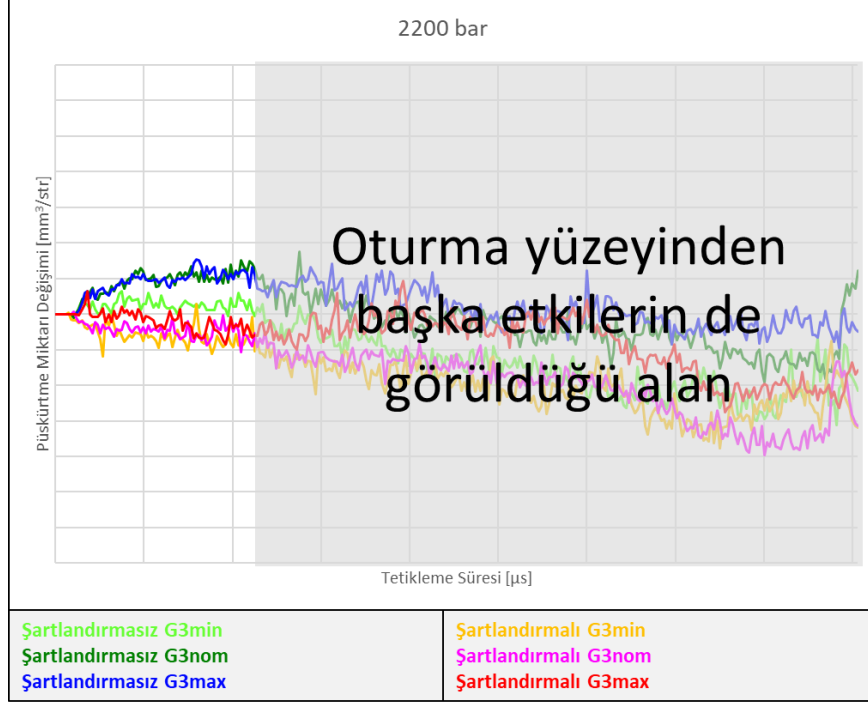
1. testin ara ölçümlerinde elde edilen püskürtme miktarı değişimi eğrileri aşağıdaki şekillerde bulunabilir.

- Şekil 4.16: 20 saatin sonunda şartlandırmasız G3nom ve G3max numunelerde püskürtme miktarında 1,2 mm<sup>3</sup>/str'a kadar, G3min numunesinde 0,2 mm<sup>3</sup>/str'a kadar artış görülmektedir. Şartlandırılmalı memelerin davranışları aynı olup 0,9 mm<sup>3</sup>/str'a kadar azalış gözlemlenmektedir. 1,2 mm<sup>3</sup>/str yaklaşık %1.2'lik bir sapmaya tekabül etmektedir.

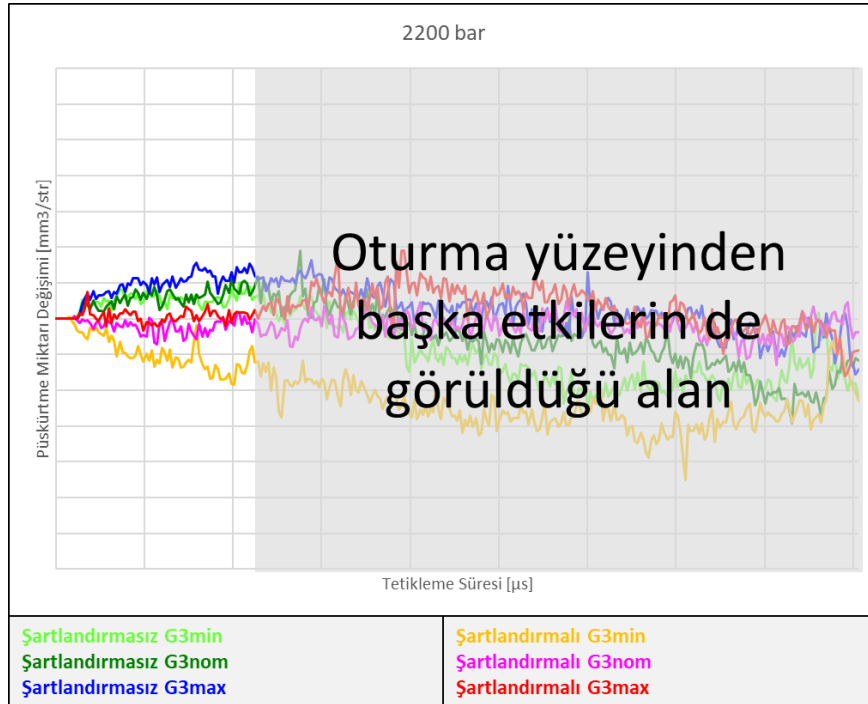
- Şekil 4.17: 200 saatin sonunda şartlandırmasız G3min ve G3nom numunelerde püskürtme miktarında 0,8 mm<sup>3</sup>/str'a kadar, G3max numunesinde 1,0 mm<sup>3</sup>/str'a kadar artış görülmektedir. Şartlandırılmalı G3nom ve G3max memelerin davranışlarında değişim olmamıştır. Şartlandırılmalı G3min numunede 1,2 mm<sup>3</sup>/str'a kadar azalış gözlemlenmektedir.
- Şekil 4.18: 400 saatin sonunda şartlandırmasız G3min ve G3nom numunelerde püskürtme miktarında 0,8 mm<sup>3</sup>/str'a kadar, G3max numunesinde 1,0 mm<sup>3</sup>/str'a kadar artış görülmektedir. Şartlandırılmalı G3nom ve G3max numunelerde 0,7 mm<sup>3</sup>/str'a kadar, G3min numunede 1,2 mm<sup>3</sup>/str'a kadar azalış gözlemlenmektedir.

2. testin ara ölçümlerinde elde edilen püskürtme miktarı değişimi eğrileri aşağıdaki şekillerde bulunabilir.

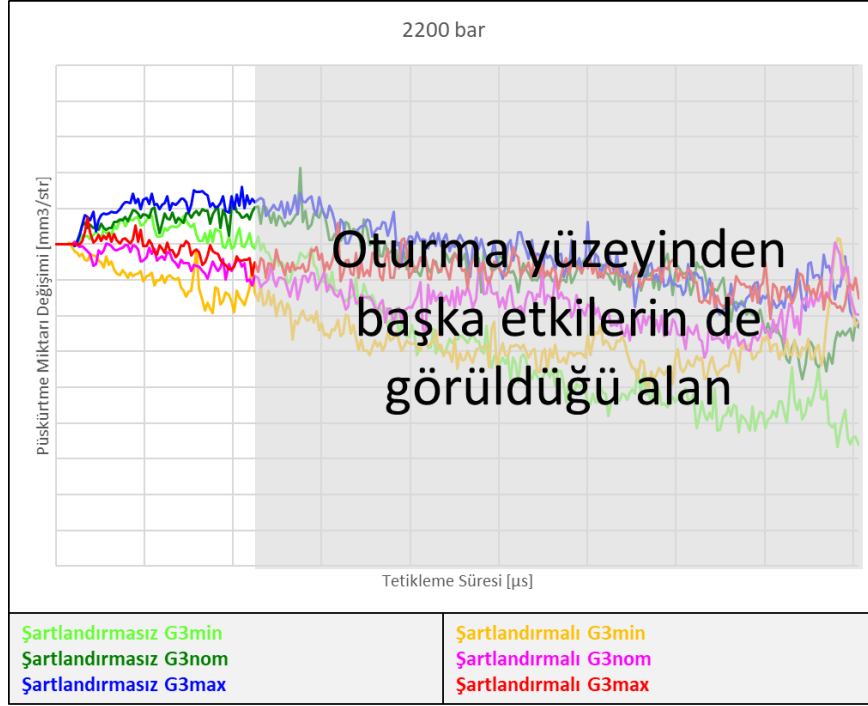
- Şekil 4.19: 20 saatin sonunda şartlandırmasız G3nom ve G3max numunelerde püskürtme miktarında 0,8 mm<sup>3</sup>/str'a kadar, G3min numunesinde 1,2 mm<sup>3</sup>/str'a kadar artış görülmektedir. Şartlandırılmalı memelerin davranışlarında değişim olmamıştır.
- Şekil 4.20: 200 saatin sonunda şartlandırmasız numunelerde püskürtme miktarında 1,4 mm<sup>3</sup>/str'a kadar artış görülmektedir. Şartlandırılmalı G3min ve G3max numunelerde 0,9 mm<sup>3</sup>/str'a kadar, G3nom numunede 0,4 mm<sup>3</sup>/str'a kadar azalış gözlemlenmektedir.
- Şekil 4.21: 400 saatin sonunda şartlandırmasız G3min ve G3max numunelerde püskürtme miktarında 1,8 mm<sup>3</sup>/str'a kadar, G3nom numunesinde 2,0 mm<sup>3</sup>/str'a kadar artış görülmektedir. Şartlandırılmalı G3min ve G3max numunelerde 0,8 mm<sup>3</sup>/str'a kadar azalış, G3nom numunede 0,5 mm<sup>3</sup>/str'a kadar artış gözlemlenmektedir.



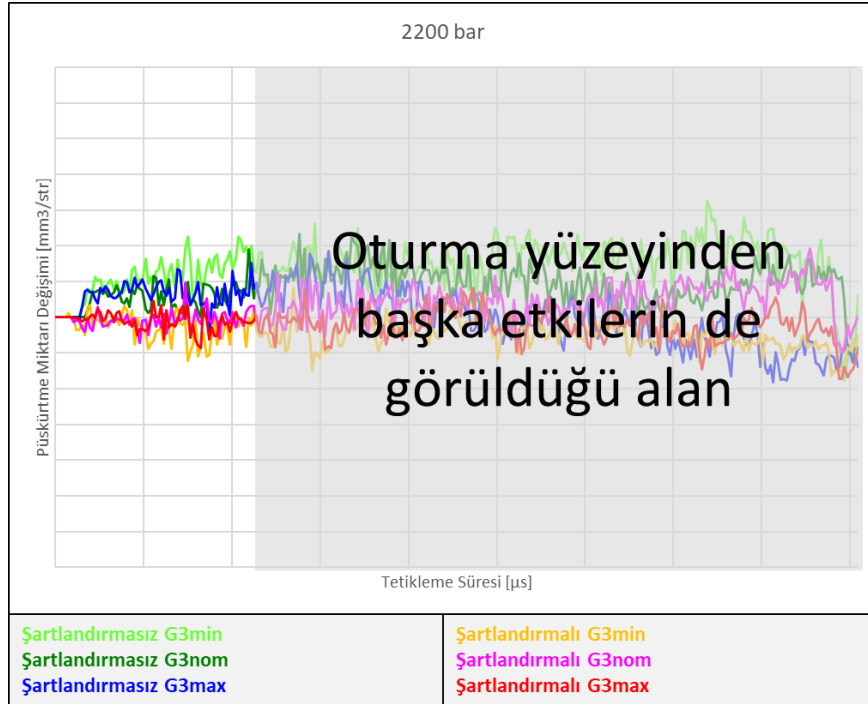
**Şekil 4.16.** 1. test 20 saat sonucunda 2200 bar’da tetikleme zamanı ile beraber püskürtme miktarlarının değişimi



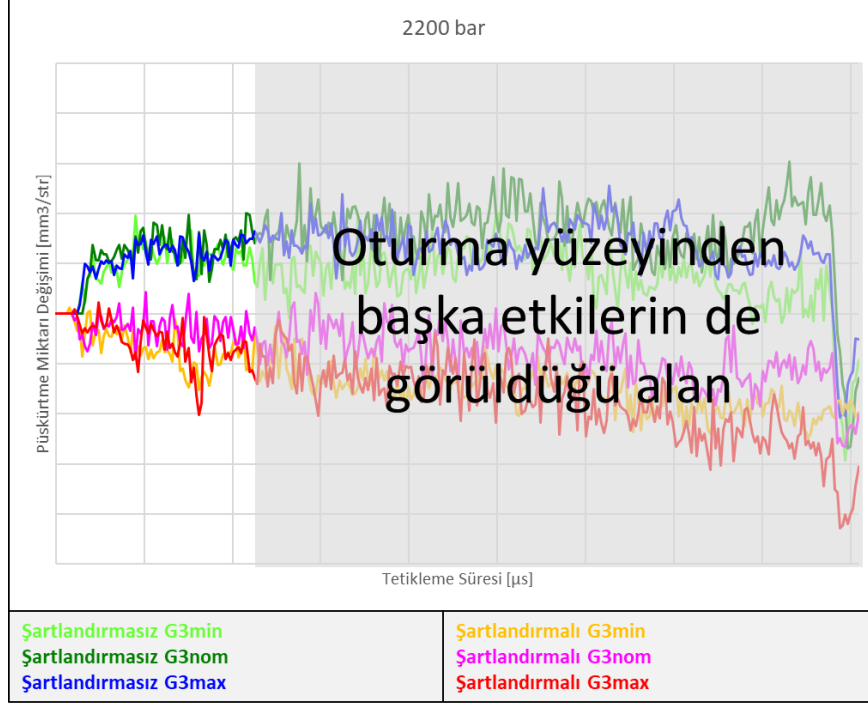
**Şekil 4.17.** 1. test 200 saat sonucunda 2200 bar’da tetikleme zamanı ile beraber püskürtme miktarlarının değişimi



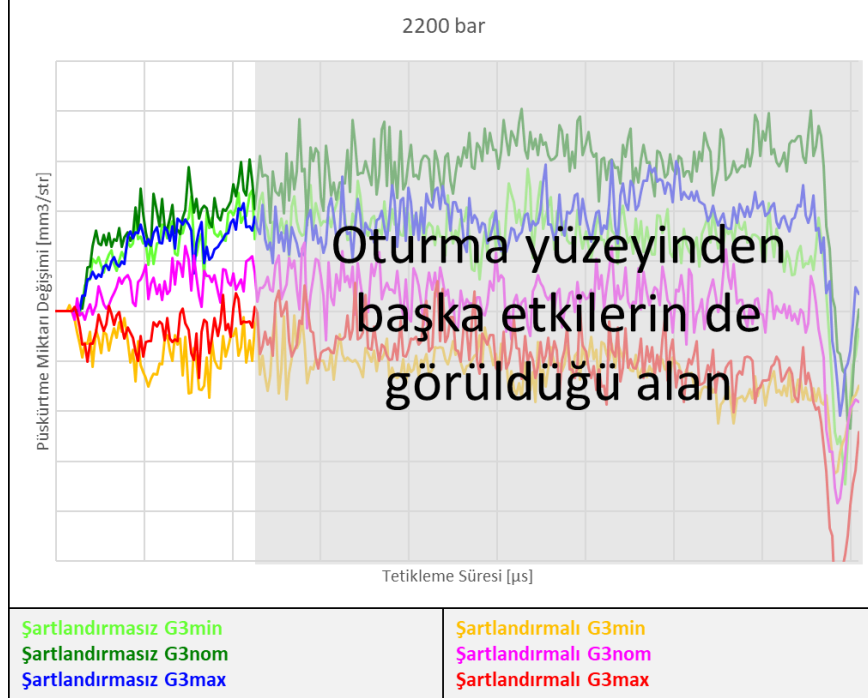
**Şekil 4.18.** 1. test 400 saat sonucunda 2200 bar’da tetikleme zamanı ile beraber püskürtme miktarlarının değişimi



**Şekil 4.19.** 2. test 20 saat sonucunda 2200 bar’da tetikleme zamanı ile beraber püskürtme miktarlarının değişimi



**Şekil 4.20.** 2. test 200 saat sonucunda 2200 bar’da tetikleme zamanı ile beraber püskürtme miktarlarının değişimi



**Şekil 4.21.** 2. test 400 saat sonucunda 2200 bar’da tetikleme zamanı ile beraber püskürtme miktarlarının değişimi

#### 4.4. Püskürtme gecikmesi eğrisi

Oturma yüzeyinde oluşan aşınma ve deformasyonlar enjektörün hidrolik tepki süresini değiştirdiği için püskürtme miktarlarını etkilemektedir. Bu bölümde hidrolik tepki süreleri püskürtme gecikmesi eğrileri ile ele alınmıştır. Şekillerdeki grafiklerin x eksenini basınç, birinci y eksenini püskürtme miktarı, ikinci y eksenini ise püskürtme gecikmesidir.

Enjektörde püskürtme gecikmesini etkileyebilecek pek çok parametre bulunmaktadır. Bunlardan meme içerisinde yer alan ve önemli olanları aşağıdaki gibidir:

- Oturma yüzeyindeki değişimler
- Kör delik hacminin değişimi
- Kontrol odasındaki değişimler
- Kontrol alan pulunun kısma plakasına temas eden yüzeyindeki değişimler

Bu tez kapsamında oturma yüzeyindeki değişimler ele alınmaktadır. Literatürde benzer bir değerlendirme yapan bir çalışma bulunmamaktadır.

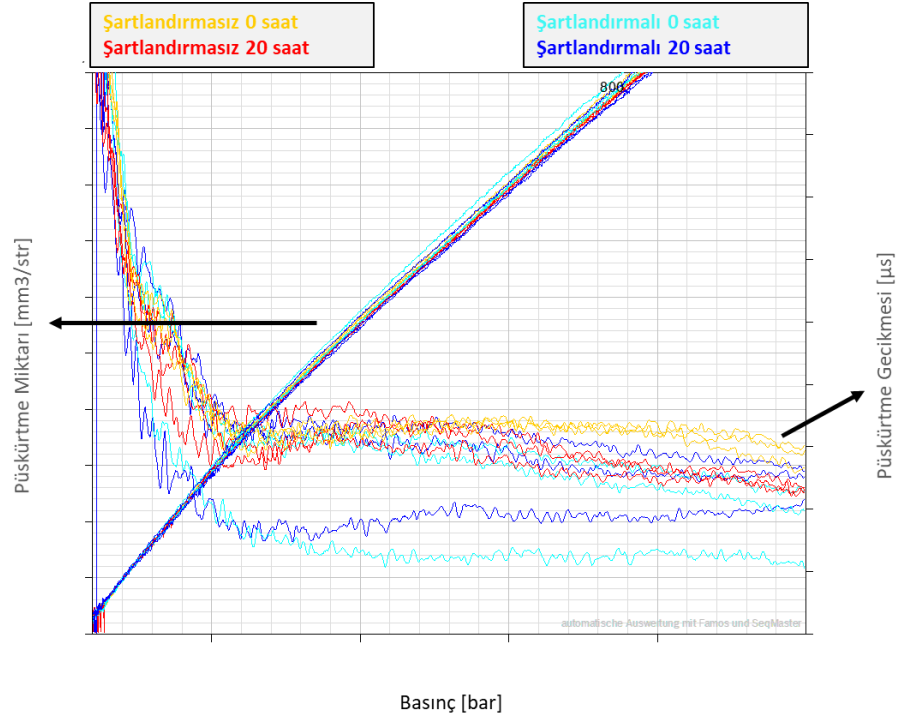
1. testin ara ölçümlerinde elde edilen püskürtme gecikmesi eğrileri aşağıdaki şekillerde bulunabilir. Grafiklerde G3 varyasyonları aynı renkte gösterilmiştir ve 3 şartlandırmasız 3 şartlandırılmalı olmak üzere 6 enjektör yer almaktadır.

- Şekil 4.22: 20 saatin sonunda püskürtme zamanı gecikmesi özellikle 2000 bar'dan daha yüksek basınçlarda şartlandırmasız numunelerde azalmaktadır. Şartlandırılmalı numunelerde ise bir miktar artış meydana gelmektedir.
- Şekil 4.23: 200 saatin sonunda püskürtme zamanı gecikmesi özellikle 2000 bar'dan daha yüksek basınçlarda bütün numunelerde 20 saatteki sonuçlara göre artmaktadır ve aynı seviyeye gelmektedir.

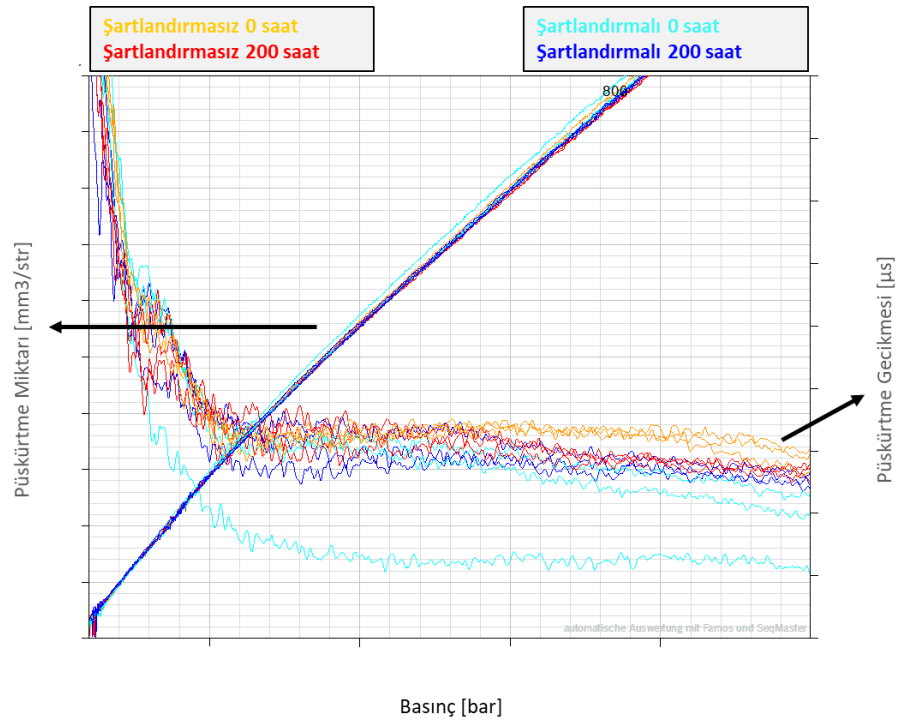
- Şekil 4.24: 400 saatin sonunda püskürtme zamanı gecikmesi özellikle 2000 bar'dan daha yüksek basınçlarda bütün numunelerde 200 saatteki sonuçlara göre artmaktadır ve aynı seviye durumunu korumaktadır.

2. testin ara ölçümlerinde elde edilen püskürtme gecikmesi eğrileri aşağıdaki şekillerde bulunabilir. Grafiklerde G3 varyasyonları farklı renkte gösterilmiştir.

- Şekil 4.25: 20 saatin sonunda püskürtme zamanı gecikmesi özellikle 2000 bar'dan daha yüksek basınçlarda şartlandırmasız numunelerde azalmaktadır. Şartlandırılmalı numunelerde ise aynı 1. testte olduğu gibi bir miktar artış meydana gelmektedir.
- Şekil 4.26: 200 saatin sonunda püskürtme zamanı gecikmesi özellikle 2000 bar'dan daha yüksek basınçlarda şartlandırmasız G3nom ve G3max numunelerde 20 saatteki sonuçlara göre azalmaktadır. Bu durum 1. testte görülmemiştir. Şartlandırmasız G3min ve şartlandırılmalı numunelerde ise aynı 1. testte olduğu gibi bir miktar artış meydana gelmektedir.
- Şekil 4.27: 400 saatin sonunda püskürtme zamanı gecikmesi özellikle 2000 bar'dan daha yüksek basınçlarda şartlandırmasız G3nom ve G3max numunelerde 200 saatteki sonuçlara göre azalmaktadır. Bu durum 1. testte görülmemiştir. Diğer numunelerde göz ardı edilebilecek değişiklikler olmuş ve bütün numuneler neredeyse aynı seviyeye gelmiştir.

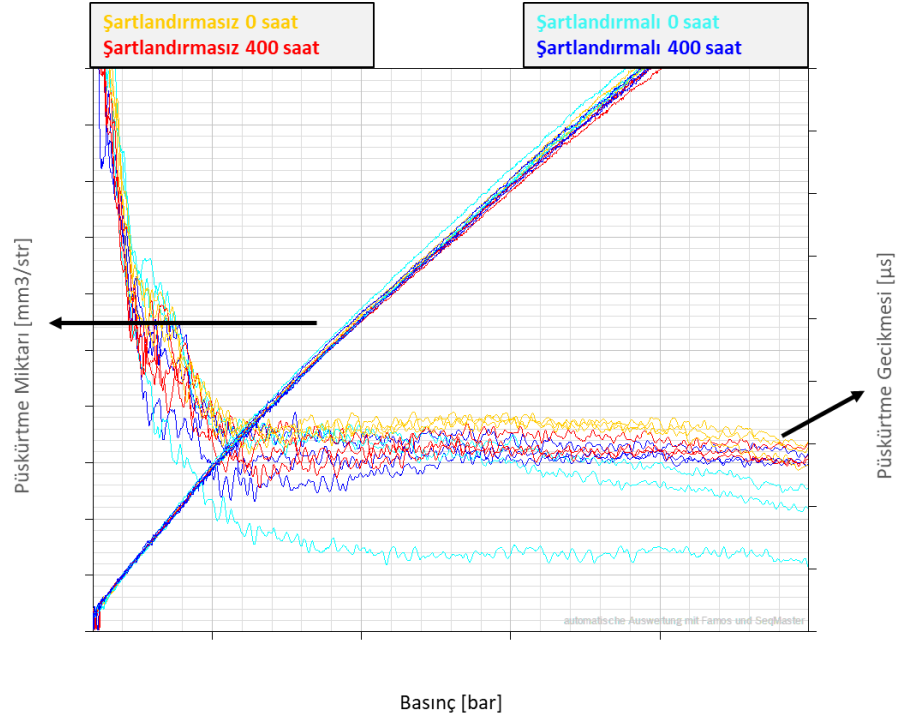


Şekil 4.22. 1. test 20 saat sonucunda püskürtme gecikmesi eğrisi

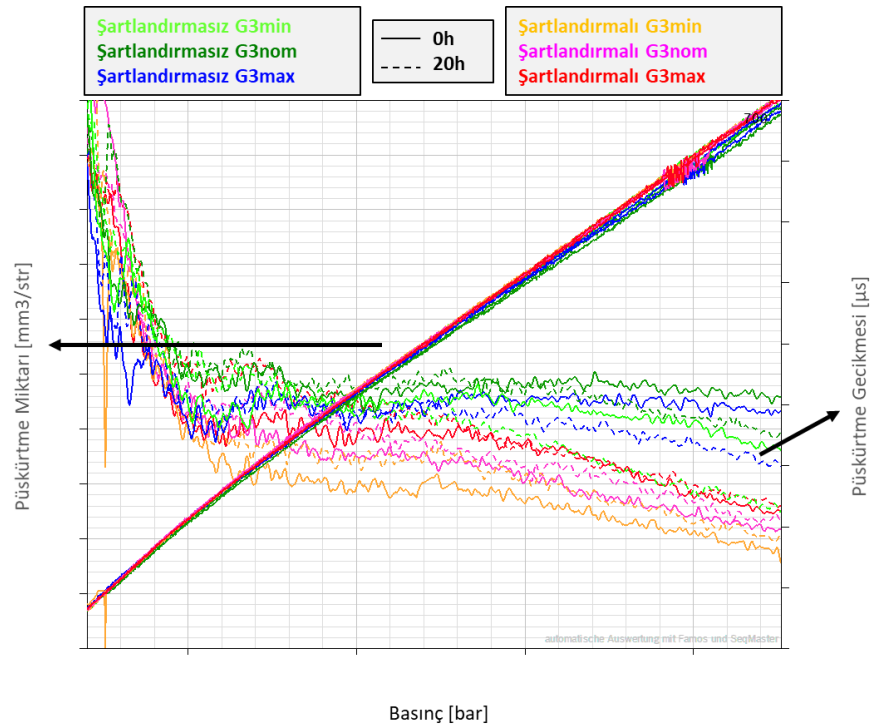


Şekil 4.23. 1. test 200 saat sonucunda püskürtme gecikmesi eğrisi

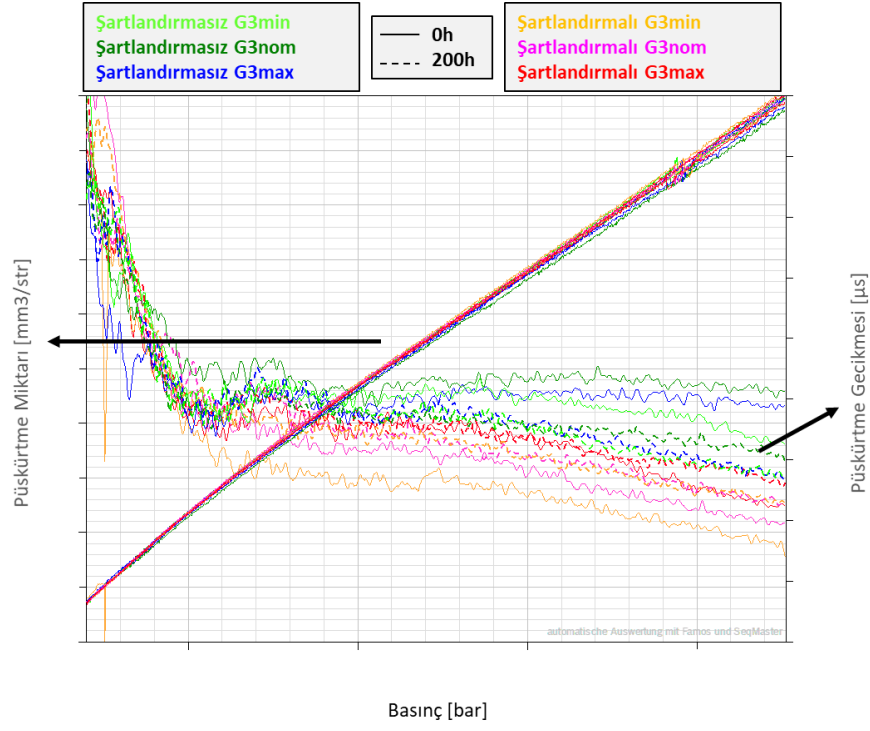




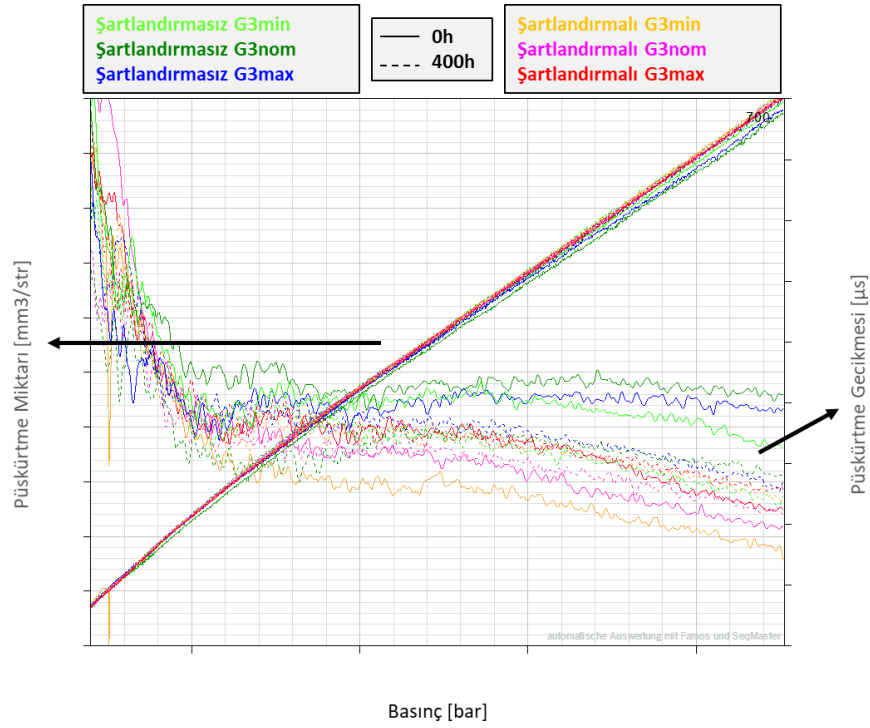
Şekil 4.24. 1. test 400 saat sonucunda püskürtme gecikmesi eğrisi



Şekil 4.25. 2. test 20 saat sonucunda püskürtme gecikmesi eğrisi



Şekil 4.26. 2. test 200 saat sonucunda püskürtme gecikmesi eğrisi



Şekil 4.27. 2. test 400 saat sonucunda püskürtme gecikmesi eğrisi

## 5. SONUÇ

Bu bölümde motorun kısa süreli çalışması esnasında oluşan meme oturma yüzeyindeki değişimleri önlemeye yönelik bir çözüm olan şartlandırma işleminin etkinliği konusunda yorum getirilmiştir. Çekilen mikroskop resimleri, yapılan yüzey ve enjektör fonksiyon ölçümleri ile şartlandırma işlemi uygulanmamış numuneler ile bunlara alternatif olabilecek şartlandırma işlemi uygulanmış numuneler incelenmiştir.

Khanafi-Benghalema ve arkadaşlarının 2010'da bahsettiği gibi sıcaklık artışı plastik deformasyon mekanizmasının büyümesine neden olmaktadır (Khanafi-Benghalema ve ark. 2010) Bu nedenle testler yanmalı motor testi ile beraber sıcaklığın oluştuğu koşullarında gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen incelemeleri üç başlık altında değerlendirmek mümkündür:

- Meme gövdesi oturma yüzeyinde meydana gelen değişimler
- Meme iğnesi oturma yüzeyinde meydana gelen değişimler
- Meydana gelen yüzey değişimlerinin enjektör fonksiyonunu nasıl etkilediği

Bu üç başlık açısından değerlendirildiğinde şartlandırmasız ve şartlandırılmalı numunelerin kıyaslamaları aşağıdaki gibidir.

Şartlandırmasız memelerde;

- Gövde oturma yüzeyinde 20 saat sonucunda aşınma ve deformasyon meydana gelmektedir ve genellikle 20 saatten sonra sabit kalmaktadır. Bu aşınma ve deformasyon miktarı 400 saat sonucunda 0.2 - 0.8  $\mu\text{m}$  mertebelerinde olmaktadır. Bu aşınma ve deformasyon oturma çizgisinin aşağı kaymasına ve iğnenin erken açılmasına neden olur. G3 açıklığının artması ile birlikte meydana gelen değişim 0.2  $\mu\text{m}$ 'den 0.8  $\mu\text{m}$ 'ye kadar artmaktadır.

- İğne oturma yüzeyinde zamanla ilerleyen bir aşınma meydana gelmektedir ve aşınma G3 açıklığından etkilenmemektedir. Bu aşınma miktarı 400 saat sonucunda 1.0 - 1.9  $\mu\text{m}$  mertebelerinde olmaktadır. Bu aşınma oturma çizginin yukarı kaymasına ve iğnenin geç açılmasına neden olur, dolayısıyla püskürtme gecikmesini arttırmaktadır. Başlangıçta püskürtme gecikmesi 180  $\mu\text{s}$  iken 20 saat sonunda 173  $\mu\text{s}$ 'ye 400 saat sonunda ise 178  $\mu\text{s}$ 'ye ulaşmıştır.
- Püskürtme gecikmesi gövdede meydana gelen aşınma ve deformasyon nedeni ile 20 saat sonrasında azalır iken, 200 ve 400 saat sonrasında iğnede meydana gelen aşınma nedeni ile 20 saate göre artmaktadır.
- Püskürtme miktarı pozitif yönde bir değişim göstermekte ve 20 saatten itibaren 0 saate göre daha fazla olmaktadır.

#### Şartlandırılmalı memelerde;

- Gövde oturma yüzeyinde bir değişim gözlenmemektedir ve oturma yüzeyi aynı kalmaktadır.
- İğne oturma yüzeyinde zamanla ilerleyen bir aşınma meydana gelmektedir. Bu aşınma miktarı 400 saat sonucunda 1.2 - 1.8  $\mu\text{m}$  mertebelerinde olmaktadır. Bu aşınma şartlandırma işleminin uygulanmadığı memelere göre bir miktar daha fazladır, ancak G3 açıklığından etkilenmemektedir. Bu aşınma oturma çizginin yukarı kaymasına ve iğnenin geç açılmasına neden olur, dolayısıyla püskürtme gecikmesini arttırmaktadır. Başlangıçta püskürtme gecikmesi 170  $\mu\text{s}$  iken 20 saat sonunda 171  $\mu\text{s}$ 'ye 400 saat sonunda ise 175  $\mu\text{s}$ 'ye ulaşmıştır.
- Püskürtme gecikmesi iğnede meydana gelen aşınma nedeni ile zamanla artmakta ve gövdede bir değişim meydana gelmemesi nedeni ile hiç azalmamaktadır.

- Püskürtme miktarı negatif yönde bir değişim göstermekte ve gövde oturma yüzeyinde bir değişim olamamasına rağmen iğnedeki aşınma nedeni ile 20 saatten itibaren 0 saate göre daha az olmaktadır.

Bunlara ek olarak püskürtme miktarındaki değişimin G3 varyasyonlarından ciddi anlamda etkilenmediği gözlemlenmiştir. Deney sonuçlarının özeti aşağıdaki Tablo 1’de görülebilmektedir.

**Çizelge 5.1.** Deney sonuçlarının özeti

	Şartlandırmasız			Şartlandırılmalı		
	20 saat	200 saat	400 saat	20 saat	200 saat	400 saat
En büyük gövde aşınma ve deformasyon miktarı [ $\mu\text{m}$ ]	0,8	0,8	0,8	0	0	0
En büyük iğne aşınma miktarı [ $\mu\text{m}$ ]	0,3	1,6	1,9	0,4	1,5	1,8
Ortalama püskürtme gecikmesi [ $\mu\text{s}$ ]	180	173	178	170	171	175
En büyük püskürtme miktarı değişimi [ $\text{mm}^3/\text{str}$ ]	1,2	1,5	2	-0,9	-1,2	-1,2

Yüksek tetikleme sürelerinde şartlandırılmalı memelerin püskürtme miktarlarının daha az olması fonksiyon açısından kritik değildir ve müşteri tarafından kabul edilmektedir. Ancak püskürtme miktarının artması DRS2 püskürtme düzeni için risk oluşturmaktadır. Bu risk birbirine yakın iki püskürtmenin birleşmesidir. Böyle bir birleşme olduğunda enjektör kesikli püskürtme yapamamakta ve yanma odasına tek bir püskürtmedeki gibi yakıt göndermektedir. Bu şekilde gönderilen yakıt tutuşma gecikmesi süresini arttırmakta ve dizel vuruntusuna neden olmaktadır. Yani enjektörün kesikli püskürtme avantajı kullanılamamaktadır. Bu neden ile şartlandırma işlemine sahip alternatif ile devam edilmesine karar verilmiştir.

Lambert ve Stevens'in 2009'da bahsettiği gibi püskürtme miktarının oldukça küçük olduğu durumlarda, meme oturma yüzeyindeki değişimler püskürtme olayının tamamen kaybolmasına neden olabilmektedir (Lambert ve ark. 2009). Şartlandırılmı numelerde 400 saat sonucunda püskürtmenin kaybolmadığı gözlemlenmemesine rağmen püskürtme miktarında azalma bu açıdan kritiktir ve kontrol altında tutulması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- Anonim. 2003.** Perfect piezo. <https://www.theengineer.co.uk/perfect-piezo/> (Erişim tarihi: 28.11.2019).
- Anonim. 2019a.** Digital microscope. [https://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_microscope](https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_microscope) (Erişim tarihi: 28.11.2019).
- Anonim. 2019b** Piezo injector for common-rail systems. <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-systems/common-rail-system-piezo/piezo-injector-cri3/> (Erişim tarihi: 28.11.2019).
- Anonim. 2019c.** Road transport: Reducing CO2 emissions from vehicles. [https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles_en) (Erişim tarihi: 28.11.2019).
- Anonim. 2019d.** What is the real drive emissions (RDE) test? <https://caremissionstestingfacts.eu/rde-real-driving-emissions-test/> (Erişim tarihi: 28.11.2019).
- Cernej A. 1984.** UNDP Technical Report on Fuel Introduction in Internal Combustion Engine, Indian Institute of Petroleum, Dehradun.
- Çimenoğlu H. 1997.** Subsurface characteristics of an abraded low carbon steel. *Wear* 210, pp 204-210.
- Egger K., Warga J., Klügl W. 2002.** Neues Common-Rail-Einspritzsystem mit Piezo-Aktorik für Pkw-Dieselmotoren. *MTZ – Motortechnische Zeitschrift*, 63(9): 696–704.
- Farth, A., Voigt A., Spickenreuther M. 2005.** Method for setting the nozzle opening pressure for an injection nozzle and arrangement for carrying out the method. US Patent 6 976 389 B2 (Siemens).
- Gondal A. K., Nautiyal P. C. 1991.** Wear investigations of injector nozzle using radionuclide technique. *Wear*. 147. 375-384.
- Hammer J. 2013.** Advanced BOSCH fuel injection equipment – technology serving future diesel powertrains, International Symposium Automotive and Engine Technology, Stuttgart.
- Hammer J., Raff M., Naber D. 2014.** Advanced diesel fuel injection equipment – A never ending BOSCH story. In: Bargende M., Reuss HC., Wiedemann J. (eds) 14. Internationales Stuttgarter Symposium. Proceedings. Springer Vieweg, Wiesbaden
- Hiltscher B. 2019.** Audi 3.0 TDI 2014 V6-Diesel-Motor Euro-6 clean 218 272 PS Sauberes Kraftpaket. <https://www.autozeitung.de/audi-3-0-tdi-2014-v6-diesel-motor-euro-6-clean-218-272-ps-77585.html> (Erişim tarihi: 28.11.2019).
- Hofmann O., Han S., Rixen D. 2017.** Common Rail Diesel Injectors with Nozzle Wear: Modeling and State Estimation. WCX™ 17: SAE World Congress Experience.
- Hofmann O., Huber B., Rixen D. 2016.** Robust Injection Rate Estimation in Common Rail Diesel Injectors with Nozzle Wear. FISITA 2016 World Automotive Congress, Busan, Korea.
- Hofmann O., Kiener M., Rixen D. 2019.** A Neural Network Observer for Injection Rate Estimation in Common Rail Injectors with Nozzle Wear. In: Fleury A., Rade D., Kurka P. (eds) *Proceedings of DINAME 2017*. DINAME 2017. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham.
- Horiko Y., Miyoshi T., Yamashita T., Kosaka H., Masuko M. 2012.** A Study on Mechanism of Wear of Nozzle Body Seat of Diesel Fuel Injector. *Transactions of Society of Automotive Engineers of Japan*, Volume 43, Issue 4, Pages 881-886

**Jordans, F. 2015.** EPA: Volkswagen Thwarted Pollution Regulations for 7 Year. Associated Press. <https://detroit.cbslocal.com/2015/09/21/epa-volkswagon-thwarted-pollution-regulations-for-7-years/> (Erişim tarihi: 28.11.2019).

**Kahrstedt J., Dorenkamp R., Kuiken S., Düsterdiek T., Kühne I., Greiner M. 2011.** Der neue 2,0l TDI Motor zur Erfüllung der strengsten BIN5/ULEV Emissionsgrenzen in Volkswagens New Midsize Sedan, Wien.

**Khanafi-Benghalema N., Felderb E., Loucifa K., Montmitonnet P. 2010.** Plastic deformation of 25CrMo4 steel during wear: Effect of the temperature, the normal force, the sliding velocity and the structural state. *Wear*. 268. 23-40.

**Kosaka H. 2015.** Wear and Deformation of Nozzle Seat of Diesel Fuel Injector. *Transactions of Society of Automotive Engineers of Japan*, Volume 69, Issue 10, Pages 40-45

**Lambert, M., Stevens, J. 2009.** Injection nozzle. European Patent, EP 1 967 730 B1 (Delphi).

**Liu Y., Erdemir A., Meletis E. I. 1996.** A study of the wear mechanism of diamond-like carbon films. *Surface & Coatings Technology - SURF COAT TECH.* 82. 48-56.

**Maier R., Warga J., Pauer T., Gerhardt J., Krüger M. 2012.** The next generation BOSCH common rail injectors with Digital Rate Shaping. A key factor for meeting future requirements; Die naechste Generation von BOSCH Common Rail Injektoren mit Digital Rate Shaping. Der Schluessel zur Erfuellung zukuenftiger Anforderungen, 33rd International Vienna Motor Symposium, Volume 1, Issue 749, Pages 234-247

**Merker G. P., Teichmann R. 2014.** Grundlagen Verbrennungsmotoren-Funktionsweise · Simulation · Messtechnik. 7, 179 pp.

**Miyoshi T., Kurosaki Y., Kosaka H., Masuko M., Tanaka A., Kato M. 2010.** A Study on Wear of Needle Valve Seat of Diesel Fuel Injector. *Transactions of Society of Automotive Engineers of Japan*, Volume 41, Issue 3, Pages 655-660.

**Oki M., Matsumoto S., Toyoshima Y., Ishisaka K., Tsuzuki N. 2006.** 180MPa Piezo Common Rail System. SAE 2006 World Congress & Exhibition.

**Pradeep L. M., Kishorea, Satish V. K. 2009.** Role of surface texture of harder surface on subsurface deformation. *Wear*. 266. 103-109.

**Reif K. 2014.** Dieselmotor-Management im Überblick: einschließlich Abgastechnik. . 2: 70-182.

**Reif, K. 2012.** Klassische Diesel-Einspritzsysteme: Reiheneinspritzpumpen, Verteilereinspritzpumpen, Düsen, mechanische und elektronische Regler. 222 pp.

**Renner G., Koyanagi K., Maly R. 1998.** Effect of common rail injector design in the emission characteristics of passenger car DI engines. The 4 th International Symposium COMODIA 98, pp. 477-482.

**Robert Bosch GmbH. 2002.** Dieselmotor-Management. 5; 19-88.

**Satake K., Jeongee S., Kobayashi E., Masuko M., Sato S., Kosaka H. 2015.** A Study on Effects of Wear and Deformation of Nozzle Seat of Diesel Fuel Injector. *Transactions of Society of Automotive Engineers of Japan*, Volume 46, Issue 2, Pages 331-336

**Siebke A. 2009.** Intern Presentation. High pressure hydraulics of common rail systems.

**Speck P. 2005.** Employability – Herausforderungen für die strategische Personalentwicklung: Konzepte für eine flexible, innovationsorientierte Arbeitswelt von Morgen. 2, 21 pp.

**Suh H., Park S., Lee C. 2007.** Effects of piezo-driven injection system on the macroscopic and microscopic automatization characteristics of diesel fuel system. *Fuel*, 86: 2833-2845.



- Tschöke H., Mollenhauer K., Maier R. 2018.** Handbuch Dieselmotoren. 4:10-410.
- Valentine J. P. 2015.** EPA, California Notify Volkswagen of Clean Air Act Violations / Carmaker allegedly used software that circumvents emissions testing for certain air pollutants. [https://19january2017snapshot.epa.gov/newsreleases/epa-california-notify-volkswagen-clean-air-act-violations-carmaker-allegedly-used\\_.html](https://19january2017snapshot.epa.gov/newsreleases/epa-california-notify-volkswagen-clean-air-act-violations-carmaker-allegedly-used_.html) (Erişim tarihi: 28.11.2019).
- Wintrich, T., Krüger M., Naber D., Zeh D., Hinrichsen C., Uhr C., Köhler D., Rapp H. 2017.** Bosch common rail for passenger car/light duty–The first 20 years. Internationales Stuttgarter Symposium, 17: 177-191.
- Yalnızcan Y. 2012.** Dizel piezo enjektörlerinin operasyon iyileştirmesine yönelik valf civatası geometrisi tasarımı. *Yüksek Lisans Tezi*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye.
- Zeh D., Okumuşoğlu A. 2018.** Einspritzdüsen und Düsenhalter für Diesel-Einspritzsysteme. In: Tschöke H., Mollenhauer K., Maier R. (eds) *Handbuch Dieselmotoren*. Springer Reference Technik. Springer Vieweg, Wiesbaden
- Zhao H. 2009.** Advanced Direct Injection Combustion Engine Technologies and Development: *Diesel Engines*. 8 pp.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Önder DAL  
Doğum Yeri ve Tarihi : İzmir / 23.08.1991  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : İzmir Atakent Anadolu Lisesi, 2009  
Lisans : Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi  
Makine Mühendisliği  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi Otomotiv  
Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Robert Bosch GmbH – 01.07.2015 tarihinden itibaren.

İletişim (e-posta) : [onder.dal@tr.bosch.com](mailto:onder.dal@tr.bosch.com)