T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KURUMLAŞMAYA DİRENÇLİ YENİ NESİL DİZEL ENJEKTÖR MEME DELİK GEOMETRİSİ GELİŞTİRİLMESİ

Veyzat GAZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Enerji Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Orkun ÖZENER

Nisan, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KURUMLAŞMAYA DİRENÇLİ YENİ NESİL DİZEL ENJEKTÖR MEME DELİK GEOMETRİSİ GELİŞTİRİLMESİ

Veyzat Gazi tarafından hazırlanan tez çalışması 16.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Enerji Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Orkun ÖZENER

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Orkun ÖZENER, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Muammer ÖZKAN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Osman Akın KUTLAR, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Orkun ÖZENER sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Kurumlaşmaya Karşı Dirençli Yeni Nesil Dizel Enjektör Meme Delik Geometrisi Geliştirilmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Veyzat GAZİ

İmza

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü' nün 1245A numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Aileme

ve

biricik eşime

TEŞEKKÜR

Lisans, yüksek lisans ve tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Orkun Özener'e ve Doç. Dr. Alptekin Ergenç'e, sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca yardımını hiç esirgemeyen değerli arkadaşım Alper Kaya'ya ve yaptığım teknik incelemelerde sunduğu olanaklar için Bosch San. ve Tic. A.Ş.'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Gösterdiği özveri, maddi manevi destekleriyle ve tüm katkılarıyla beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eşim Meryem Gazi'ye ve aileme de sonsuz teşekkürler ederim.

Veyzat GAZİ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii
KISALTMA LİSTESİ ix
ŞEKİL LİSTESİ x
TABLO LİSTESİ xiii
ÖZET xiv
ABSTRACT xvi
1 Giriş 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 3
1.3 Hipotez 4
2 Dizel Selenoid Enjektörler 5
2.1 Dizel Selenoid Enjektörlerin Yapısı ve Çalışması 5
2.2 Enjeksiyon Memesi 8
3 Kurumlaşma 14
3.1 Kurumlaşma Mekanizması 14
3.2 Enjeksiyon Memesinde Depozitin Etkileri 17
3.3 Püskürtme Delik İçi Kurum Oluşumuna Karşı Önlemler 17
4 Deneysel Çalışmalar 21
4.1 Deneysel Çalışmada Kullanılcak Enjeksiyon Meme Tipleri 21
4.2 Enjeksiyon Memesi Üretim Süreci 26
4.3 Üretilen Parçların Ölçümleri 26
4.4 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi (CFD) 32
4.5 Deneysel Çalışmada Kullanılan Yakıt 47

4.6 Test Motoru 48
4.7 Test Çevirimi 49
4.8 Deney Tasarımı ve Modüller 50
4.9 Motor Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi 53
4.10 Tork Değerlendirmesi 74
5 Sonuç ve Öneriler 76
Kaynakça 79
ÖZGEÇMİŞ 81

SİMGE LİSTESİ

DSPout	Püskürtme deliği dış çapı
DSPinlet	Püskürtme deliği iç çapı
HE%	Püskürtme deliği giriş yuvarlaklığı derecesi
k-faktör	Püskürtme deliğinin koniklik değeri
ppm	1 milyondaki parça adedi
Qgerçek	Memenin gerçekteki akış miktarı
Qhyd	Püskürtme debisi
Qteorik	Memenin teorikteki akış miktarı
rpm	Dakikadaki dönme sayısı
μ	Akış değeri
τ	Kayma gerilimi

KISALTMA LİSTESİ

ALD	Atomic Layer Deposition
CFD	Computational Fluid Dynamics
CRDI	Common Rail Diesel Injector
DLLA	Deliklerin kördelik kısmında olduğu tip
DSLA	Deliklerin oturtma yüzeyinde olduğu tip
ECU	Electronic Control Unit
EDM	Electrical Discharge Machining
EDX	Energy Dispersive X-Ray Analysis
EN590	Dizel Yakıt Normu
FTIR	Fouirer Transform Infrared Spektrofotometre
HE	Hydro Erosive Rounding
SEM	Scanning Electron Microscope
TKE	Turbulent Kinetic Energy
TUBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Dizel Motoru 2
Şekil 1.2 Dizel Motoru Çalışma Prensibi 3
Şekil 2.1 Dizel Enjektörler 6
Şekil 2.2 Dizel Enjektör Kapalı Konum Şematik Posteri 7
Şekil 2.3 Dizel Enjektör Açık Konum Şematik Posteri 8
Şekil 2.4 Motor İçersindeki Memenin Konumu 9
Şekil 2.5 Meme Geometrisi 9
Şekil 2.6 Meme Tipleri DSLA ve DLLA 10
Şekil 2.7 Meme Püskürtme Delik Geometrisi 11
Şekil 2.8 Meme Delik Delme Yöntemleri 12
Şekil 2.9 Elektro Erozyonun Şematik Gösterimi 13
Şekil 2.10 Hidroabrasif Yuvarlatma Öncesi ve Sonrası Yüzey Görüntüsü 13
Şekil 3.1 Depozit Oluşum Yöntemi 15
Şekil 3.2 Depozit Kaldırma Yöntemi 16
Şekil 3.3 Enjeksiyon Memesinde Oluşan Kurumlar 17
Şekil 3.4 Püskürtme Deliği İçinde Kavitasyon Gösterimi 18
Şekil 3.5 ALD Kaplama Örneği 19
Şekil 3.6 7 Saat Sonrası Ölçüm Yapılmış Bir Deneyden Alınan Sonuç Gösterimi 20
Şekil 4.1 Enjeksiyon Memesi Tip1 22
Şekil 4.2 Farklı k-faktörlere Sahip Püskürtme Delik İçi Akış Hızları 23
Şekil 4.3 Farklı k-faktörlere Sahip Püskürtme Deliklerinin Görsel Olarak Karşılıştırılmaları 24
Şekil 4.4 Enjeksiyon Memesi Tip3 25
Şekil 4.5 Enjeksiyon Memesi Tip4 26
Şekil 4.6 Mycrona Altera Ölçüm Aleti 27
Şekil 4.7 Enjeksiyon Memesinin Ölçüm Aleti İçersindeki Konumu 27
Şekil 4.8 Ölçüm Aleti Probu 28
Şekil 4.9 EDM Süreci Sonrası Püskürtme Deliği Profilleri 29
Şekil 4.10 HE Süreci Sonrası Püskürtme Deliği Profilleri 29

Şekil 4.11 Elam Görüntüsü Örneği 30
Şekil 4.12 Yüksek Hızlı Kamera Entegreli Hidrolik Tezgâhlar 30
Şekil 4.13 Enstantane Açısı ile Pozlandırma Süresi Arasındaki İlişki 31
Şekil 4.14 Püskürtme Demeti Görseli 31
Şekil 4.15 Yüksek Basınçlı Hidrolik Tezgâh 32
Şekil 4.16 Termoelement Entegreli Enjeksiyon Memesi Görseli 32
Şekil 4.17 Püskürtme Deliği Simülasyon Parametreleri 34
Şekil 4.18 Simulasyon Sınır Koşulları Senaryo 1 35
Şekil 4.19 Delik İçi Basınç Karşılaştırması 35
Şekil 4.20 Delik İçi Akış Hızı Karşılaştırması 36
Şekil 4.21 Delik İçi Akış Çizgileri Karşılaştırması 36
Şekil 4.22 Delik İçi Buhar Oranı Karşılaştırması 36
Şekil 4.23 Delik İçi Basınç Karşılaştırması 38
Şekil 4.24 Delik İçi Akış Hızı Karşılaştırması 38
Şekil 4.25 Akış Çizgileri Karşılaştırması 39
Şekil 4.26 Buhar Oranı Karşılaştırması 39
Şekil 4.27 Simulasyon Sınır Koşulları Senaryo 2 41
Şekil 4.28 Delik İçi Basınç Karşılaştırması 41
Şekil 4.29 Delik İçi Akış Hız Karşılaştırması 42
Şekil 4.30 Delik İçi Akış Çizgileri Karşılaştırması 42
Şekil 4.31 Delik İçi Buhar Oranı Karşılaştırması 42
Şekil 4.32 Delik İçi Basınç Karşılaştırması 44
Şekil 4.33 Delik İçi Akış Hız Karşılaştırması 44
Şekil 4.34 Delik İçi Akış Çizgileri Karşılaştırması 45
Şekil 4.35 Delik İçi Buhar Oranı Karşılaştırması 45
Şekil 4.36 Delik İçi TKE & Hız Vektörü Görselleri 47
Şekil 4.37 Yakıt İçeriği Tablosu 48
Şekil 4.38 Test Motoru Görseli 49
Şekil 4.39 1 saatlik Test Çevirimi 49
Şekil 4.40 Tip1 Meme Ucu Yıkama Öncesi ve Sonrası Resimler 54
Şekil 4.41 Tip1 Meme Gövdesi Yıkama Öncesi ve Sonrası Resimler 54

Şekil 4.42 Tip1 Meme Gövdesi Yatakalma ve İğnenin Yataklama Bölgesi Yıkama Sonrası Resimler 54
Şekil 4.43 Tip1 İğne Ucu Yıkama Öncesi ve Sonrası Resimler 55
Şekil 4.44 Tip1 İğne Oturma Bölgesi Yıkama Öncesi ve Sonrası Resimler 55
Şekil 4.45 Tip1 Meme Gövdesi Delik Girişleri Yıkama Sonrası Resimler 55
Şekil 4.46 Tip1 Meme Gövdesi EDX Analizi 55
Şekil 4.47 Tip1 İğne EDX Analizi 56
Şekil 4.48 Tipler Bazında Kurumlaşma Değerleri 61
Şekil 4.49 FTIR ve EDX Alınan Bölgelerin Gösterimi 62
Şekil 4.50 1. Silindirde Yer Alan Tip2 62
Şekil 4.51 2. Silindirde Yer Alan Tip3 63
Şekil 4.52 3. Silindirde Yer Alan Tip4 64
Şekil 4.53 4. Silindirde Yer Alan Tip1 65
Şekil 4.54 Yüksek Hızlı Kamera Resimleri, Sırasıyla Tip1, Tip2, Tip3, Tip4 66
Şekil 4.55 Yüksek Hızlı Kamera Resimlerinin Ölçeklendirme Değerlendirmesi . 67
Şekil 4.56 Püskürtme Demeti Uzunluk Farkının Tiplere Göre Değişimi 68
Şekil 4.57 Sıcaklık ve Kurumlaşma Miktarı Arasındaki İlişki 69
Şekil 4.58 Tip1'e Ait Püskürtme Haritası, Püskürtme Eğrisi, Püskürtme Miktarlarında Sapma Grafikleri 70
Şekil 4.59 Tip2'ye Ait Püskürtme Haritası, Püskürtme Eğrisi, Püskürtme Miktarlarında Sapma Grafikleri 71
Şekil 4.60 Tip3'e Ait Püskürtme Haritası, Püskürtme Eğrisi, Püskürtme Miktarlarında Sapma Grafikleri 72
Şekil 4.61 Tip4'e Ait Püskürtme Haritası, Püskürtme Eğrisi, Püskürtme Miktarlarında Sapma Grafikleri 73
Şekil 4.62 Modül1 Tork Düşüşü Değerleri 74
Şekil 4.63 Modül2 Tork Düşüşü Değerleri 75
Şekil 4.64 Modül5 Tork Düşüşü Değerleri 75
Şekil 5.1 Hipotez1 Ait Delik İçi Akış Gösterimi 76
Şekil 5.2 Hipotez2 Ait Delik İçi Mikro Türbülans Gösterimi 77
Şekil 5.3 Hipotez2 Ait Delik İçi Kayma Gerilimleri Gösterimi 77

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 Enjeksiyon Meme Tipleri ve Parametreleri 21
Tablo 4.2 Enjeksiyon Meme Tip 1 Parametreleri 22
Tablo 4.3 Enjeksiyon Memesi Tip2 Parametreleri 23
Tablo 4.4 Enjeksiyon Memesi Tip3 Parametreleri 24
Tablo 4.5 Enjeksiyon Memesi Tip 4 Parametreleri 25
Tablo 4.6 Simulasyonda kullanılacak değerler 33
Tablo 4.7 Modül1 Test Düzeneği 50
Tablo 4.8 Modül2 Test Düzeneği 51
Tablo 4.9 Modül3 Test Düzeneği 51
Tablo 4.10 Modül4 Test Düzeneği 52
Tablo 4.11 Modül5 Test Düzeneği 52
Tablo 4.12 Tip1 Enjeksiyon Memesi Araştırma Sonuçları 56
Tablo 4.13 Tip2 Enjeksiyon Memesi Araştırma Sonuçları 57
Tablo 4.14 Tip3 Enjeksiyon Memesi Araştırma Sonuçları 57
Tablo 4.15 Tip4 Enjeksiyon Memesi Araştırma Sonuçları 58
Tablo 4.16 Tip1 Enjeksiyon Memesi Araştırma Sonuçları 58
Tablo 4.17 Tip2 Enjeksiyon Memesi Araştırma Sonuçları 59
Tablo 4.18 Tip3 Enjeksiyon Memesi Araştırma Sonuçları 59
Tablo 4.19 Tip4 Enjeksiyon Memesi Araştırma Sonuçları 60
Tablo 4.20 Silindir Bazında Kurumlaşma Sonuçları 61
Tablo 4.21 Tiplerin Farklı Silindirlerdeki Sıcaklık Değerleri 68

ÖZET

Kurumlaşmaya Dirençli Yeni Nesil Dizel Enjektör Meme Delik Geometrisi Geliştirilmesi

Veyzat Gazi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Orkun Özener

Dizel motorlarda kullanılan ortak hatlı yüksek basınçlı püskürtme sistem enjektör memelerinin delik yapısı içerisinde oluşan ve kurum olarak adlandırılmakta olan depozitler memenin hidrolik karakteristiklerine ve yanma odası içerisindeki püskürtme demeti davranışlarına parçanın çalışma ömrü boyunca önemli bir biçimde etki etmektedir. Bu nedenle enjektör memesinde oluşan kurum oluşumu ve meme delik geometrisinin ilişkisinin içten yanmalı motor performans parametreleri açısından incelenmesi önem arz etmektedir. Bu doğrultuda meme delik geometrisinin etkisini inceleyebilmek için 4 farklı tip meme delik geometrisine sahip enjektör memesi üretilmiş ve aynı test koşullarında hızlandırılmış şartlarda test edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda artan kurumlaşmanın beklenildiği gibi enjektör püskürtme miktarında bir azalmaya neden olduğu görülmüştür. Meme delik girişlerinde yuvarlatmanın artmasının kurumlaşma miktarını arttırdığı ve püskürtme miktarını düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu doğrultuda yapılan çalışma

neticesinde elde edilen sonuçlar kurumlaşmaya karşı dirençli meme geometri olgusunun daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Dizel, Enjeksiyon Memesi, Kurumlaşma

ABSTRACT

Development of Coking Resistant New Generation Diesel Injector Nozzle Spray Hole Geometry

Veyzat GAZİ

Department of Mechanical Engineering

MSc Thesis

Advisor: Asst. Prof. Dr. Orkun Özener

Deposits formed in the nozzle spray hole of the common rail high pressure injection system injector nozzles used in diesel engines have a significant effect on the hydraulic characteristics of the nozzle injection parameters and the spray beam characteristics within the combustion chamber throughout the working life of the part. For this reason, it is important to examine the relationship between the formation of deposits and nozzle spray hole geometry in terms of internal combustion engine performance. In order to examine the effect of nozzle spray hole geometry on the coking, injector nozzles with 4 different nozzle hole geometry have been produced and tested under accelerated conditions at the same test conditions. In consequence of the study, it was understood that coking formation caused a decrease in the injection quantity as expected. It has been detected that the increase of rounding at the nozzle hole entry increases coking degree and reduces injection quantity. The results of this study helped to understand better to the phenomenon of coking-resistant nozzle spray hole geometry.

Keywords: Diesel, Injector Nozzle, Coking

1
Giriş

1.1 Literatür Özeti

Dizel motorlar, benzinli motorlardan üstünlüklerine rağmen birçok ülkenin terk etmeyi planladığı bir motor türüdür.

Dizel motor, yüksek verim ve güç gerektiren araçlarda yaygın olarak kullanılan motordur. Dizel yakıtların benzinli yakıtlara göre daha ucuz olması sebebiyle tercih edilmesinin yanında ağır vasıtalarında, yük araçlarında dizel motorlar kullanılır. Yüksek oranda emisyon yayması sebebiyle birçok ülkenin terk etmeyi planladığı dizel motorların çevreye verdiği zararların minimuma indirilmesi için birçok sistem deneniyor. Ancak yakın gelecekte bazı ülkelerin dizel motorları yasaklayacağı gerçeği de otomotiv firmalarını düşündürüyor.

Gelişen teknoloji ile birlikte dizel motorlarda ki gelişim 1990 lı yıllarda tekrar atılım yaparak günümüzdeki yeni nesil motorların ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Malzeme bilimindeki ve malzemenin işlenebilme kalitesindeki artış doğru orantılı olarak her alanda olduğu gibi dizel motor teknolojisine de kuşak atlatmıştır. Dizel motorun çalışma prensibine bakıldığında yakıt direkt olarak içinde sıkıştırılmış hava bulunan pistona püskürtülmekte ateşleme sırası pompadan ayarlanmaktadır. Ancak yeni nesil CRDI (Common-Rail Diesel Injection) dizel motorlar da ise ateşleme zamanı pompadan değil enjektörlerde ki manyetik subapların açılıp kapanmasıyla sağlanmaktadır. Sistemde hali hazırda yüksek basınçta sürekli bir yakıt bulundurulmaktadır. Ve bu yakıtın bulunduğu bölüme ortak yol denilmektedir. Common-Rail ifadesi bu anlama gelmektedir.

Günümüzde tasarruflu araçların kullanılma oranında ciddi bir artış olmuştur. Hibrit arabaların maliyetinin ve benzinli araçlardaki yakıt tüketiminin yüksek oluşu hala daha dizel araçları tercih edilebilmesi nedeni olarak gösterilebilir.

Dizel motor enjektörleri incelendiğinde yakıtın geçtiği deliklerin çok küçük olduğunu görmekteyiz. Püskürtmenin kalitesi ve miktarı piston içinde oluşan yanmanın formunu ve elde edilen enerjinin verimini doğrudan etkilemektedir. Yüksek basınç enjektörleri olarak da adlandırdığımız bu enjektörler zamanla hasara uğramakta ve enjektör meme ucundaki deliklerde kullanım koşullarına bağlı olarak ve yakıtın kötü oluşundan kaynaklı kurum oluşmasından dolayı geometrik değişiklikler meydana gelmektedir.

1.1.1 Tarihçesi ve Çalışma Prensibi

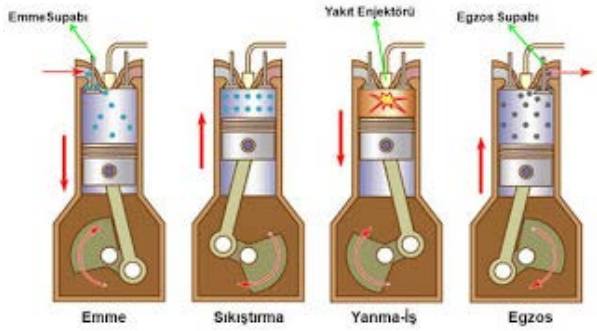
Dizel motor, 1876 yılında Nikolaus Otto'nun benzinli motorun icadından 16 yıl sonra, Alman mühendis Rudolf Diesel tarafından 1892 yılında icat edildi. "Dizel çevrimi" olarak 23 Şubat 1893 tarihinde patenti alınan dizel motor, Rudolf Diesel'in petrole bağımlılığı azaltmak için kömürle çalışan motor icat etme çalışmalarını geliştirmesi sonucu ortaya çıktı. Kömürün yanması ile ortaya çıkan duman çevrede büyük sorunlar doğurdu. Bu sebeple Diesel, tasarladığı motorda değişiklikler yaparak farklı yakıtlar denedi. Geliştirdiği motorda ilk olarak biodizel (yer fıstığı yağı) yakıt kullanan Diesel, motorun tanıtımını 1900 yılında düzenlenen uluslararası bir fuarda yaptı [1].



Şekil 1.1 Dizel Motoru

Dizel motorlar, içten yanmalı motor grubunda yer alır. Dizel motorların çalışma prensibi; motor içindeki silindirde pistonun basıncı ile sıkıştırılan havanın (veya oksijen içeren bir gazın) basınçla yüksek sıcaklığa ulaştığı anda üzerine yakıt püskürtülmesi sonucu havanın alev alarak patlaması ve açığa çıkan enerji ve basıncın pistonu itmesi şeklinde gerçekleşir. Yanma odasına ne kadar çok hava alınabilirse motor performansı o kadar artar. İyi atomize olmuş yakıtın yüksek oranda havaya karışması sonucu meydana gelen yanma işlemi dizel motorun maksimum tork (çekiş kuvveti) üretmesini sağlar.

Piston, silindirde en üst noktaya geldiği anda hava en yüksek basınca ulaşır. Sıkıştırılan havaya enjektör memesinden dizel yakıt püskürtülür. Yanma odasında sıkışan havanın üzerine püskürtülen yakıt, sıcak basınçlı havayla birleştiği anda yanma ve patlama olayı gerçekleşir. Patlama sırasında yanan hava genleşir ve büyük bir basınç açığa çıkar. Bu basınç silindirin en üst noktasındaki pistonu aşağı doğru hızla iter. Pistonun bağlı olduğu piston kolu, itme hareketini motorun altında bulunan krank miline iletir. İtme hareketi krank milinde dönme momentine dönüşür. Bu hareket saniyede onlarca kez tekrarlanır. Her defasında bir silindire çekilen hava yandıktan sonra egzoz kanalları aracılığı ile dışarı atılırken, diğer silindirlerde de yanma ve egzoz işlemi devam eder. Motorda üretilen dönme hareketi debriyaj, şanzıman ve akslar aracılığı ile tekerlere kadar iletilir. Böylece aracın hareket etmesi sağlanır [2].



Şekil 1.2 Dizel Motoru Çalışma Prensibi

1.2 Tezin Amacı

Dizel motorlarda kullanılan ortak hatlı yüksek basınçlı püskürtme sistem enjektör memelerinin delik yapısı içerisinde oluşan kurumlaşma, memenin hidrolik

karakteristiklerine ve yanma odası içerisindeki püskürtme demeti karakteristiklerine parçanın çalışma ömrü boyunca önemli bir biçimde etki etmektedir. Çalışmadaki amaç; farklı tasarlanmış enjeksiyon memelerinin püskürtme miktarlarına dolayısıyla kurumlaşma direncine olan etkisini incelemektir.

1.3 Hipotez

Alessandro Montanaro ve Luigi Alloca'nın hızlandırılmış kurumlaşma deneyinde farklı özelliklere sahip memeler kullanılmış [3] ve neticesinde kurumlaşmanın püskürtme miktarlarında azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda Bruno Argueyrolles'in önderlik ettiği çalışmada, öncelikle CFD hidrolik simülasyon çalışması yapılarak farklı HE% parametresine sahip enjeksiyon memelerin akış karakteristiği incelenmiştir. Sonrasında yapılan deneysel çalışmada meme delik girişlerindeki yuvarlatmanın artmasının kurumlaşma miktarını artırdığı ve püskürtme miktarlarını düşürüdüğü tespit edilmiştir. Buna karşın, bir diğer tasarım parametresi olan koniklik değerinin azaltımın da kurumlaşma miktarını azaltabileceği öngörülmüştür [4]. Bu çalışmada 4 farklı meme tasarımı kullanılarak ilgili meme tasarım parameterlerinin birbirine göre karşılaştırılmaları yapılarak püskürtme miktarlarına olan etkilerinin benzer olması beklenmektedir.

2
Dizel Selenoid Enjektörler

2.1 Dizel Selenoid Enjektörlerin Yapısı ve Çalışması

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, dizel motorlarda da bilgisayar sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Motorda elektronik kontrol ünitesinin kullanılmaya başlanması ve eskiden hidromekanik olarak çalışan dizel enjektörün elektronik olarak kumanda edilmesiyle, dizel motor performansı oldukça artmıştır. Enjektöre bir elektrovalf (selenoid) eklenmesiyle, enjektör anlık olarak kumanda edilebilmekte, çok hızlı açılıp kapanabilmekte, kademeli püskürtme yapılabilmekte ve yakıt çok daha yüksek basınçla püskürtülebilmektedir. Böylece dizel araçlar daha az gürültülü, daha verimli, daha az yakan, daha az zararlı egzoz emisyonu salan araçlar haline gelmiştir.

Basınçlı yakıtın enjektörün içinde hazır halde bulunması ve sinyal gönderildiği an püskürtülmesi, tek yüksek basınç çıkışı bulunan yakıt pompası ve enjektörlere borularla bağlı bir common rail hattı (rail borusu, yakıt rampası) parçalarının beraber çalışmasıyla sağlanmıştır. Tüm sistem motor kontrol ünitesi tarafından kumanda edilir ve sensörlerden gelen sinyallerle yakıt sisteminde düzenlemeler yapılır.



Şekil 2.1 Dizel Enjektörler

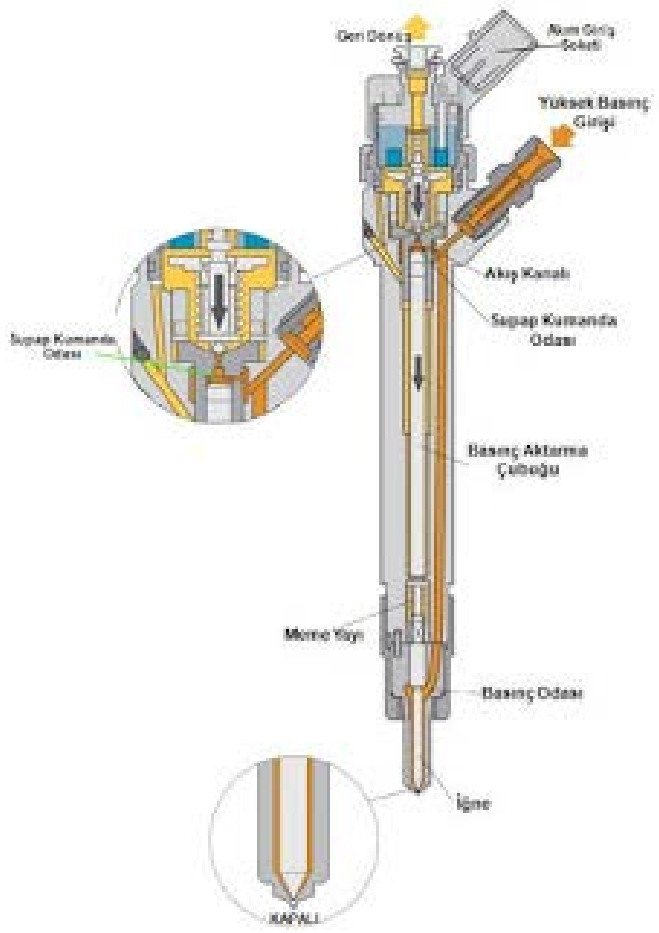
Püskürtmeyi, enjektörler üzerinde bulunan ve elektronik kontrollü manyetik subaplar sağlamaktadır. Bu da yine püskürtme olayının şekillendirilmesi, püskürtme miktarının ölçülmesi ve yakıt püskürtmesi bakımından yeni imkânlar sağlamaktadır. Ayrıca yine bu imkânlar sayesinde yeni sistemin mükemmel bir avantajı olan pilot püskürtme ortaya çıkmaktadır.

Pilot püskürtme, ana püskürtmeden önce oluşarak yakıtın yanmasına ilişkin çıkış oranlarını yüksek derecede iyileştirmektedir. Ön veya çoklu püskürtme, süratli manyetik subaplarına hızlı kontrol edilmesi ile oluşturulur. Böylece hem zararlı madde ve gürültü emisyonu hem de dizel motorlarının yakıt ekonomisi iyileşmektedir. Common-Rail sistemi, motorda önemli değişiklikler yapılmadan, kullanılan püskürtme sisteminin yerini alabilmektedir [5].

2.1.1 Enjektörün Kapalı Konumu

Yakıt pompasının bastığı yüksek basınçlı yakıt, basınç odasını ve valf kumanda bölmesini doldurmaktadır. Basınç odası ile valf kumanda bölmesi arasında bir denge basıncı söz konusudur. Basınç odası ve subap kumanda odasında yaklaşık 1600 barlık basınç bulunur.

İğnenin hem üst kısmında, hem alt kısmında eşit miktarda basınç var, bu durumda iğne hareket etmez. Sonuç olarak iğne, meme deliğine bastırılmıştır ve delik kapalıdır [6].

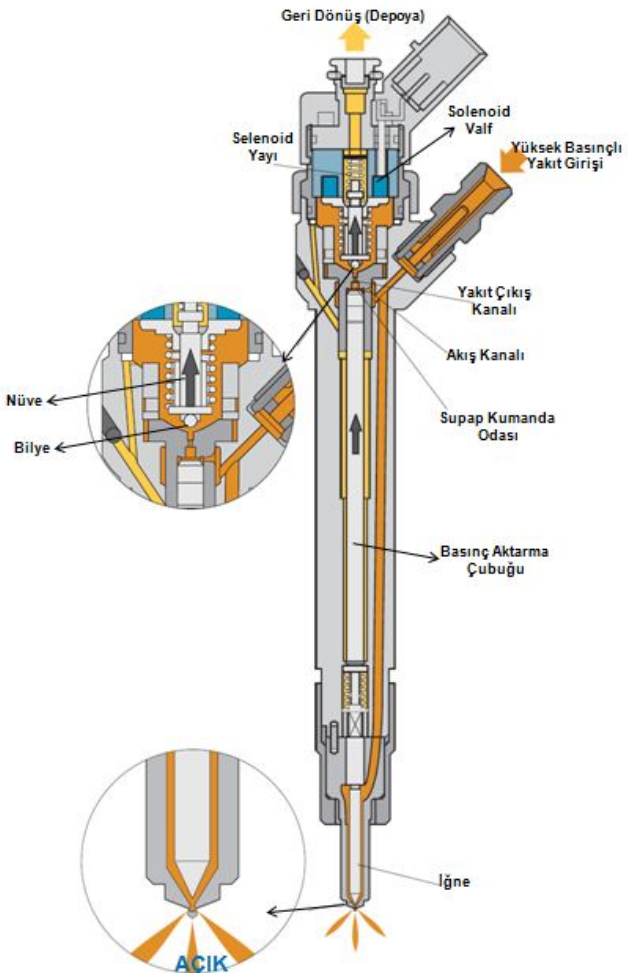


Şekil 2.2 Dizel Enjektör Kapalı Konum Şematik Posteri

2.1.2 Enjektörün Açık Konumu

ECU (Elektronik kontrol ünitesi) sinyal gönderir, solenoid valf mıknatıslanır ve solenoid yayı etkisiyle deliği kapatan bilyeye basan parçayı yukarı çeker, yakıt çıkış kanalındaki bilye basınç etkisiyle yukarı doğru hareket eder, yakıt çıkış kanalı açılır.

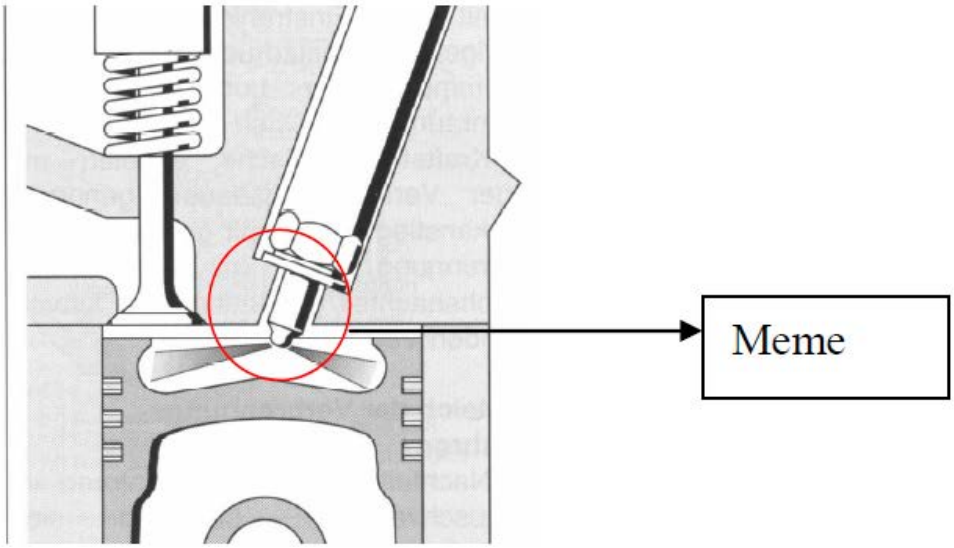
Yakıt çıkış kanalının açılmasıyla, yakıt geri dönüş hattına gider ve subap kumanda odasında basınç azalır. Meme tarafında daha fazla basınç oluşur, valf kumanda pistonu yukarı doğru hareket eder, meme açılır ve yakıt püskürtülür [7].



Şekil 2.3 Dizel Enjektör Açık Konum Şematik Posteri

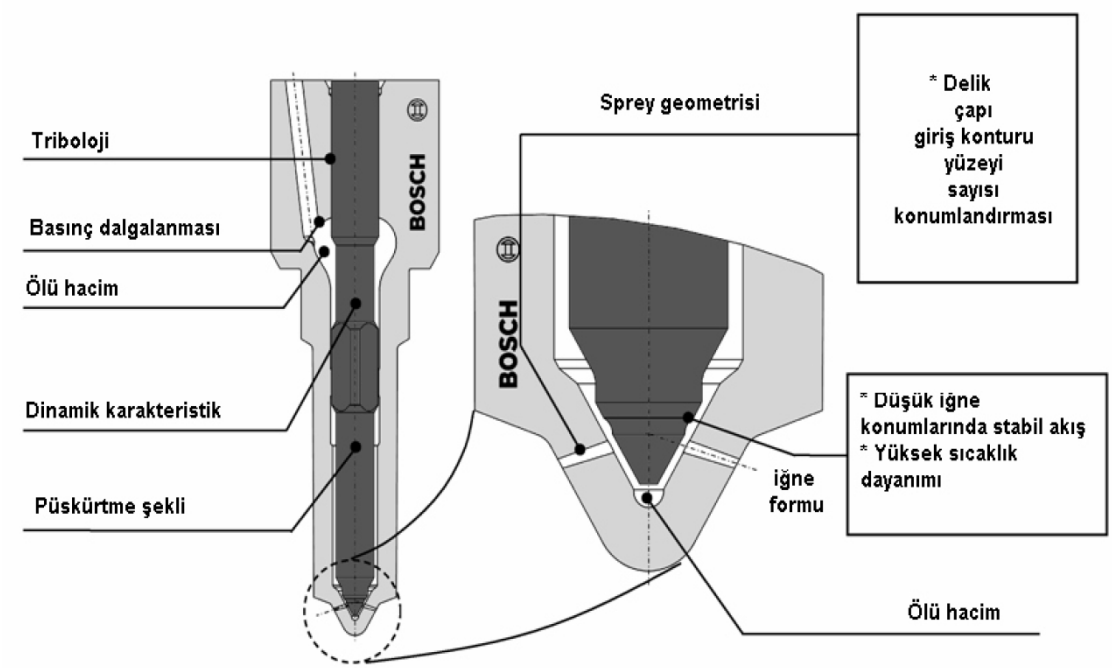
2.2 Enjeksiyon Memesi

Enjeksiyon sisteminin en önemli parçası memedir. Meme yakıtı yanma odasına püskürten eleman olup, meme üzerindeki deliklerin sayısı ve konumları, püskürtülmek istenen yakıt miktarına bağlıdır. Enjeksiyon memesi yakıtı dizel motorun yakıt odasına enjekte eder. Dolayısıyla enjeksiyon memesi yakıt karışımının verimliliğinin ve yanma sürecinde önemli bir belirleyici faktördür. Bundan dolayı motor performansında, egzoz-gaz davranışında temel bir etkiye sahiptir.



Şekil 2.4 Motor İçersindeki Memenin Konumu

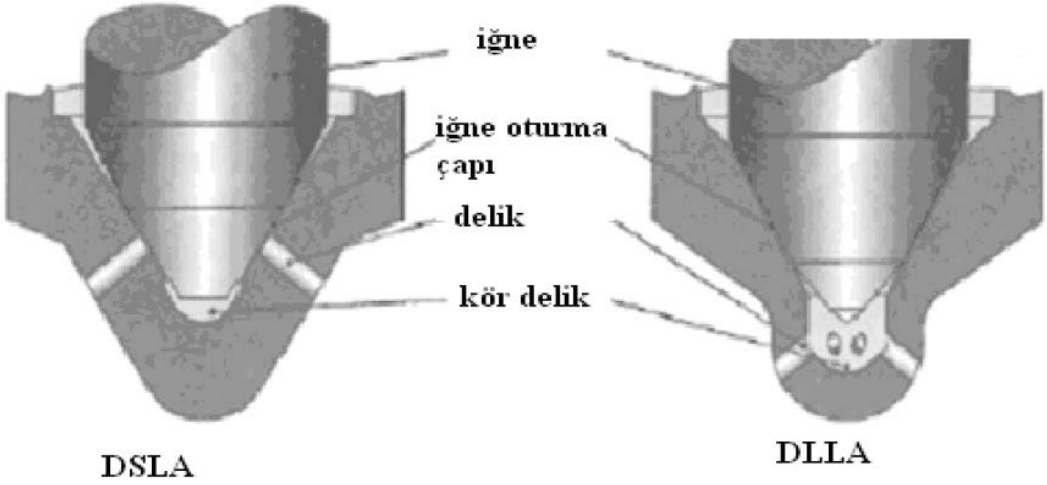
Enjeksiyon memesi yakıt enjeksiyon sisteminin karakteristik bir parçasıdır çünkü yakıtın yanma odasına girmeden önceki son durağıdır. Yakıt memenin püskürtme deliklerinden yay kuvvetini yenerek aniden yükselen iğne etkisiyle püskürür [6].



Şekil 2.5 Meme Geometrisi [8]

Direkt enjeksiyonlu dizel motorlarla kullanılan Şekil 2.6'da görüldüğü üzere 2 tip meme vardır. Bunlar DSLA ve DLLA'dır [8]. DSLA tipi deliklerin oturma yüzeyinde olduğu tip olup, DLLA tipinde ise delikler kör delik kısmındadır. DLLA memelerde, DSLA memelerden farklı olarak iğnenin altında ekstra bir hacim vardır. İğnenin

oturma çapı ve delikler arasındaki mesafe uzun olduğu için, iğnenin radyal yöndeki hareketinin, farklı deliklerden püskürtülen yakıt miktarlarına etki olmadığından dolayı, simetrik bir püskürtme şekli sağlanır [8].



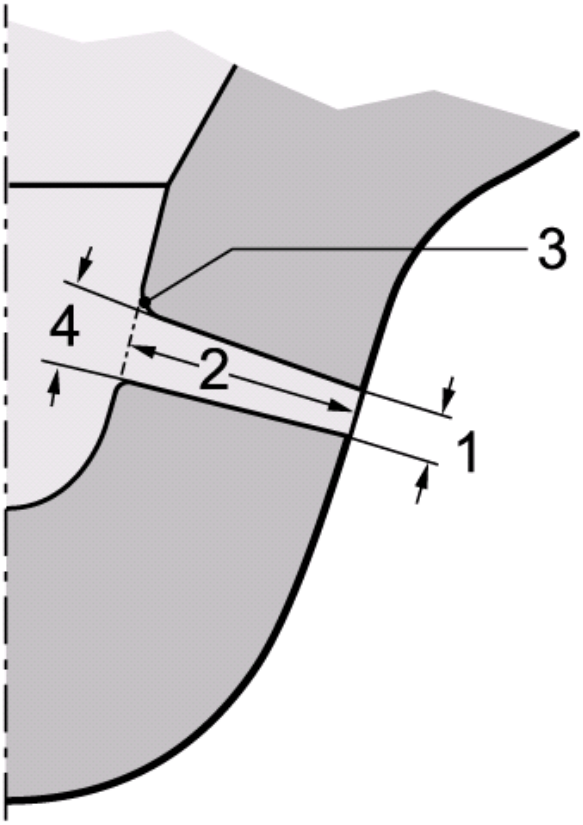
Şekil 2.6 Meme Tipleri DSLA ve DLLA [8]

Meme, enjeksiyon sistemlerinin en önemli ve etkin elemanı olması sebebiyle, meme geometrisi (delik çapı, delik sayısı, deliklerin konumlandırılması, iğne oturma çapı, kör delik hacmi vb.), elde edilecek olan püskürtme geometrisi ve bunun sonucunda motor performansı ve emisyonları doğrudan etkiler. Memenin enjeksiyon sistemindeki büyük öneminde dolayı, meme üzerindeki püskürtme deliklerininin geometrik tasarımı büyük önem kazanmaktadır.

2.2.1 Meme Püskürtme Delik Geometrisi

Meme püskürtme geometrisinin tanımlanmasında kullanılan önemli geometrik ölçülere bakıldığı zaman bunların çok küçük nicelikler olduğu anlaşılabilir. Örneğin delik boyu 1mm mertebelerinde iken delik çapı yaklaşık 100 μm düzeylerindedir.

Geometrik parametrelerde yapılan küçük değişiklikler dahi memenin kurumlaşmaya karşı olan direncini etkileyecektir.



Şekil 2.7 Meme Püskürtme Delik Geometrisi

Aşağıda Şekil 2.7'de gösterilen resimdeki bölgelerin teknik terim karşılığı bulunmaktadır.

- Püskürtme deliği dış çapı (DSPout)
- Püskürtme deliği boyu
- Püskürtme deliği giriş yuvarlatması
- Püskürtme deliği iç çapı (DSPinlet)

Püskürtme deliği konikliği aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$k - faktör = \frac{DSPinlet - DSPout}{10} \tag{2.1}$$

Püskürtme deliği yuvarlaklık ise aşağıdaki formül ile hesaplanır.

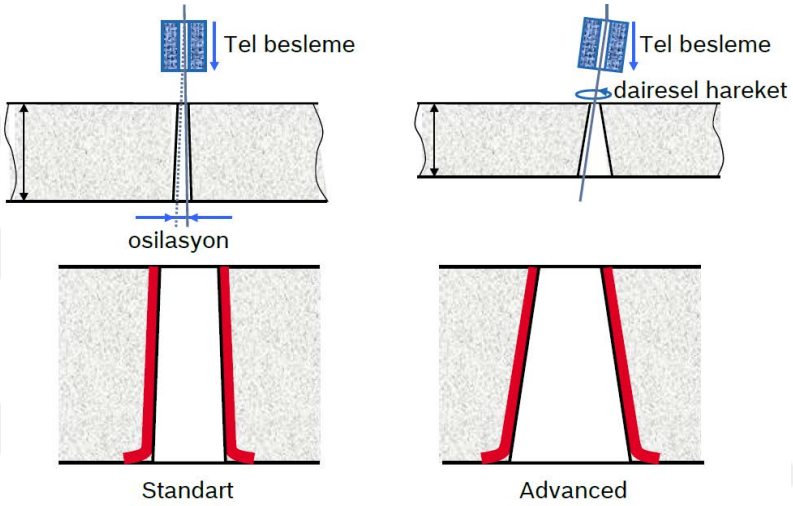
$$HE\% \ = \frac{Proses\ sonrası\ debi - Proses\ öncesi\ debi}{Proses\ öncesi\ debi} \tag{2.2}$$

Akış değeri (μ); memenin gerçekteki akışı ile teorik olması beklenen akışın oranlanması ile elde edilir ve akıştaki kayıplar hakkında fikir vermektedir. Aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\mu = \frac{Qgerçek}{Qteorik} \tag{2.3}$$

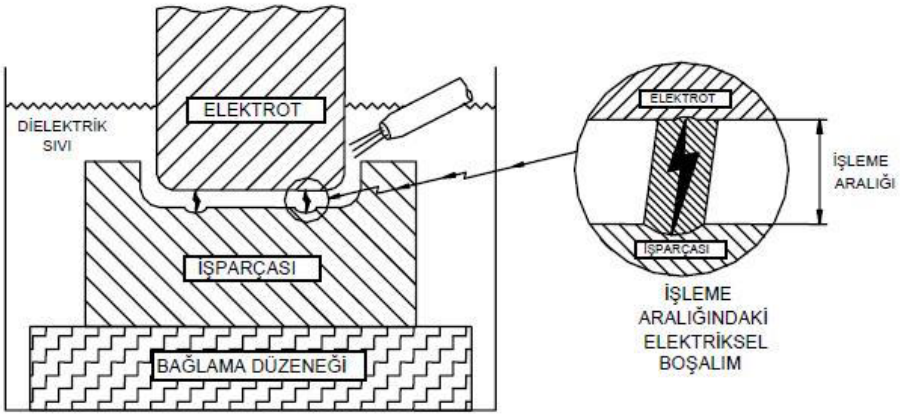
2.2.1.1 Elektro Erozyon Yöntemi (EDM)

Deliğin özel teller kullanılırak istenilen koniklik oranına göre osilasyon ya da dairesel hareketler ile delinmesidir.



Şekil 2.8 Meme Delik Delme Yöntemleri [9]

Electrical Discharge Machining (EDM), dielektrik sıvı ortamda bulunan elektriksel iletkenliğe sahip tel elektrot ve iş parçası arasında meydana gelen ardışık elektriksel boşalımlar (kıvılcımlar) sayesinde malzemeden talaş kaldırılan elektro-termal bir yöntemdir [9].



Şekil 2.9 Elektro Erozyonun Şematik Gösterimi

2.2.1.2 Hidroabrasif Yuvarlama Yöntemi

Uygun yoğunlukta aşındırma medyumu kullanılarak, belli basınç, zaman ve debilerde delik girişlerinin yuvarlatmak suretiyle aşındırılmasıdır [10].



Şekil 2.10 Hidroabrasif Yuvarlatma Öncesi ve Sonrası Yüzey Görüntüsü

3
Kurumlaşma

3.1 Kurumlaşma Mekanizması

Lepperhoff ve Houben temel yöntemler vasıtasıyla içten yanmalı motorlarda depozitlerin oluşum ve kaldırımlasını açıklamışlardır. Bu yöntemler yanma sürecinden (örneğin; gazolin ya da benzin) dolayı oluşan depozitlerin meydana geldiği yerden (örneğin; enjeksiyon memesi, eşanjör) bağımsızdır [11].

Şekil 3.1'de açıklanan model, bir duvarın kapalı akış rejimi ile etkileşimini göstermektedir. Duvardaki parçacıkların taşınımı termoforez işlemine dayanmaktadır. Termoforez, sıcaklık gradyanı varlığında akışkan akışı içindeki küçük parçacıkların hareketidir. Sıcak duvarlar bu parçacıkları iterken, soğuk duvarlar küçük parçacıkları çeker. Bu, soğuk duvarlar ve sıcak akışkan arasındaki artan sıcaklık farkı ile güçlenir. Süreç sonucunda duvar yanında parçacıkların (depozit) birikmesinin yoğunluğunda artış meydana gelir [11], [12].

3.1.1 Depozit Oluşumu

Depozitler birbirine bağlı parçacıklardan (katı ve sıvı) ve gazdan oluşur. Yoğuşma ve soğuk duvardaki gaz halindeki bileşiklerin adsorpsiyonu oluşum sürecine katkıda bulunur. Bu noktada, depozit büyümesi ağırlıklı olarak parçacıkların birleşmesi, yapışması ve sıkıştırıp birbirine kaynatması şeklinde olur. Gaz bileşenlerin emilimi ve kimyasal reaksiyonlar (ısı etkisiyle erime, dehidrasyon, polimerizasyon, vb.) depozitlerin sıkışmasına neden olur [12]. (Şekil 3.1)



Şekil 3.1 Depozit Oluşum Yöntemi [12]

3.1.2 Depozit Kaldırılması

Depozit kaldırılmasının benzer fiziksel yöntemleri bulunmaktadır. Kimyasal yöntem, kaplamadaki organik bileşikleri yok eden oksidasyondur. Buharlaşma ve çekip çıkarma depozitlerde çözünmüş gaz oranını azaltır. Duvardaki depozit tabakasının homojen olmayan şekilde uzamasına neden olan aşınma, yüksek sıcaklık değişikliklerinden dolayı güçkü aerodinamik kuvvetler ve kopmalardan kaynaklanır. Buna karşılık gelen kayma gerilmeleri kırılma işlemini başlatır. Depozitlerin çözünebilir oranı solventler (örneğin, tuzlu bileşikler için solvent olarak su) ile yıkanır [12] (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Depozit Kaldırma Yöntemi [9]

3.1.3 Depozit Oluşumuna ve Kaldırılmasına Etki Eden Faktörler

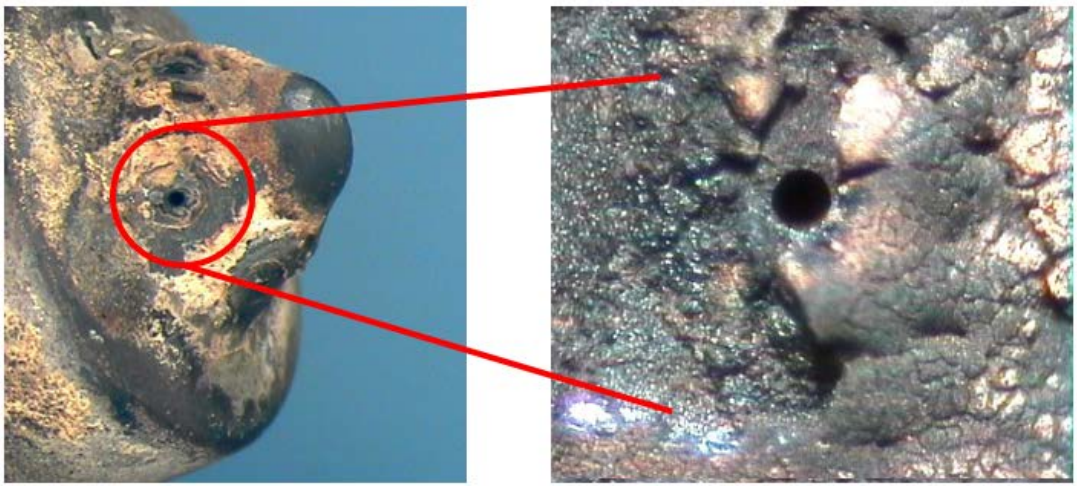
Aşağıda bahsedilen etmenler deposit oluşumuna ve kaldırılmasına etki ettiği düşünülmüştür. Bunlar, Masato Ikemoto ve Kazuhiro Omae liderliğinde yürütülen ortak hatlı dizel motor enjektöründe kurumlaşma mekanizması çalışmasındaki meme deliklerinde bulunan depozitlerin analiz sonuçları temel alınarak yürütülmüştür [13].

- Çinko en temel depozit elementi tespit ediğildiğinden dolayı, yakıtta bulunan çinko oranının depozit miktarına önemli ölçüde etkisi bulunmaktadır. Yapılan çalışmaya [13], göre yüksek çinko içeriğinin depozit oluşumunu hızlandırdığı görülmektedir.
- Depozitler; formik asit veya asetik asit gibi yanma gazının çinko ve düşük karboksilik asit bileşenlerinin bileşikleri olduğu için, yanma gazı depozit oluşumunda etkilidir [13].
- Çalışmda [13] yürütülen laboratuar deneylerinin sonuçları depozitlerin oluştuğu sıcaklık aralıklarının depozit bileşenlerine bağlı olarak farklılık olduğunu gösterdiği için, püskürtme deliğinin sıcaklığını depozit oluşumunda etkisi bulunmaktadır.

Püskürtme deliği içerisindeki akışın depozit kaldırılmasında etkisi bulunmaktadır. Bruno Argueyrolles ve ekibinin yaptığı çalışmada [4] birbirinden farklı 8 meme konfigürasyonu kullanılarak, tasarım parametrelerinin kavitasyonla ilişkisi incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarından elde edilen verilere göre, püskürtme deliğinde meydana gelen kavitasyon depozitlerin kaldırılmasında önemli bir etkisi bulunduğu görülmüştür.

3.2 Enjeksiyon Memesinde Depozitin Etkileri

Yakıt enjeksiyon memesindeki iç ve dış depozitler, farklı karışım oluşumları ve yanmada meydana gelen değişiklikler ile motor performansını etkiler. Bu olay dizel motorlarda artan akustik ve kirletici emisyonlar üretebilir. Istituto Motori CNR ve General Motors Powertrain tarafından desteklenen [14] Euro5 motoru ve Bosch marka ikinci nesil dizel enjektör ile yapılan deneysel çalışmada yanma ve karışımın bozulmasından kaynaklı güç çıkışında azalan bir eğim olduğu gözlenmiştir. Özellikle tam yüklerdeki kurumlaşma etkisinin kısmi yüklere kıyasla yanmamış gazlara etkisinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu uygulamarda depozit oluşumu engellenemediğinden dolayı, meme tasarımlarının depozit oluşumuna olan etkisi göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 3.3 Enjeksiyon Memesinde Oluşan Kurumlar

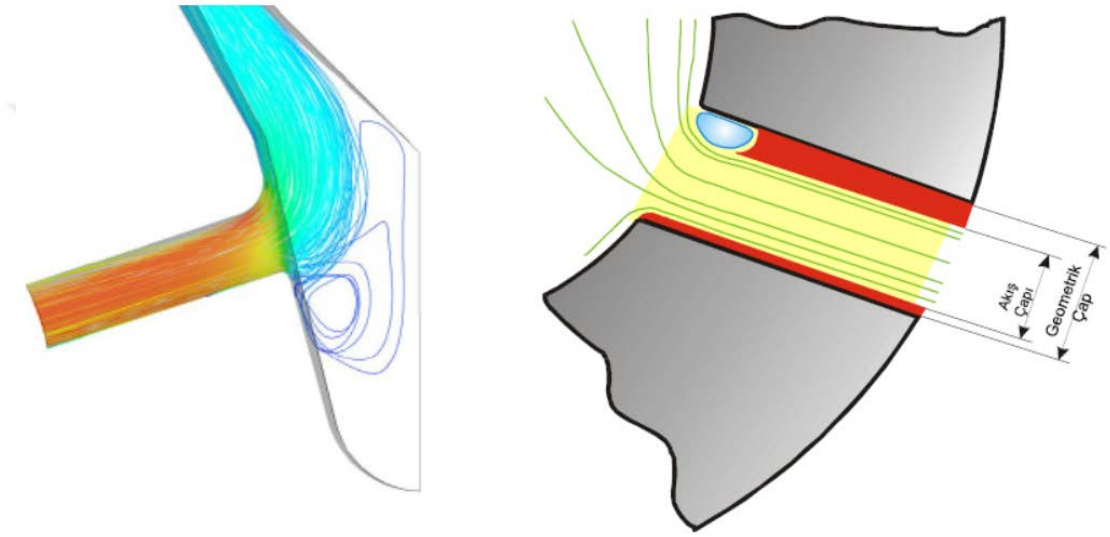
3.3 Püskürtme Delik İçi Kurum Oluşumuna Karşı Önlemler

Şuana kadar etkinliği bilinen, kullanılan ve teknolojik olarak geliştirme açık birçok yöntem, delik içi kurum oluşumunu engellemeyi ve kurum kaynaklı problemleri ortadan kaldırmayı hedeflemektedir.

3.3.1 Kavitasyonlu Akış

Delik içerisindeki şiddetli kavitasyon, kurumların yüzeyden sıyrılmasını sağlayarak kurumlaşma problemini engellemektedir. Ancak kavitasyondan dolayı akış kayıpları çok fazladır ve metal üzerinde erozyon tehlikesi vardır.

Kavitasyonlu akış elde edebilmek için delik girişi yuvarlatmanın azaltılması kavitasyon oluşumunu hızlandırır ve kavitasyon baloncuklarının patlamasıyla oluşan enerjinin depozitleri kaldırmada etkili olduğu Renault Güç Aktarım Sistemleri Bölümü tarafından yapılan deneysel çalışmada gözlemlenmiştir [4].



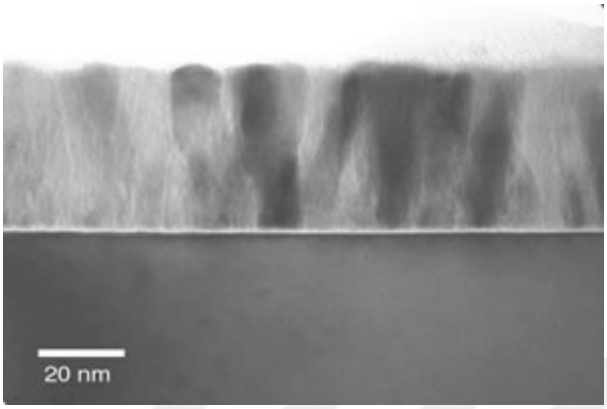
Şekil 3.4 Püskürtme Deliği İçinde Kavitasyon Gösterimi

Aynı zamanda koniklik arttığında μ (akış değeri) daha iyi hale geldiği ve kavitasyonlu akışın azaldığı biliniyor. Buna bağlı olarak depozit oluşumunun bu durumlarda arttığı öngörülmektedir.

3.3.2 Delik İçi Kaplama (Atomik Katman Kaplama)

Atomik Katman Kaplama (ALD) tekniği, bir çeşit kimyasal buhar biriktirme yöntemidir, reaksiyon tek bir atomik katmanın oluşmasından sonra doyuma ulaşıp durmaktadır. Bu sayede kaplanan kalınlık kontrolü, homojen bir kaplamanın gerçekleştirilmesi ve en zor geometrik şekilli yüzeylerin dahi konformal olarak kaplanması mümkün hale gelmektedir.

ALD sürecinde asla gaz fazında gerçekleşen reaksiyon olmaz. Bütün reaksiyonların yüzeyde gerçekleşmesini sağlamak için sıralı süreç uygulanır. Bütün yüzeyler bir atomik katman kaplandıktan sonra reaksiyonlar durur.



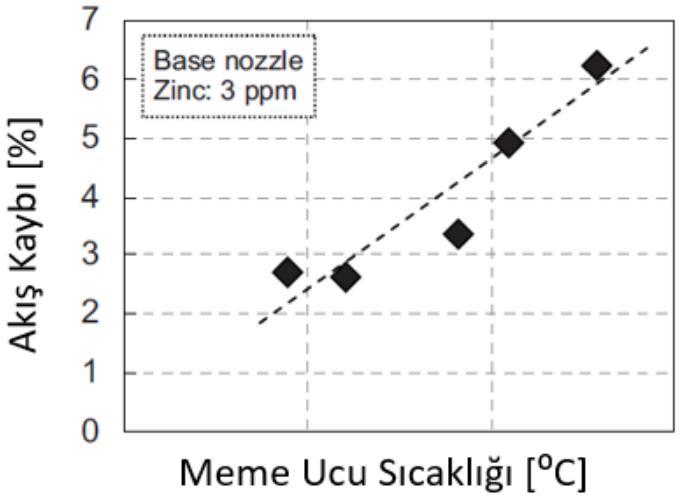
Şekil 3.5 ALD Kaplama Örneği

Yöntemin amacı püskürtme deliği yüzeyinin pürüzlülüğünü düşürerek daha düzgün yüzeyler elde etmek ve buna bağlı olarak muhtemel oluşabilcek kurumun tutunması engelleyerek depozit oluşumunun önlenmesini sağlamaktır. Ancak süreç zamanı oldukça uzun olduğu için yöntem pahalıdır ve ilaveten teknik zorluklar içermektedir. Bu yüzden endüstri kullanımları için henüz uygun değildir.

3.3.3 Motor Yanma Odası Sıcaklık Kontrolü

FEV GmbH ve Aachen Üniversitesinin yürütmüş olduğu çalışmada [12] kullanılan termoelement entegreli enjektörden alınan veriler gösteriyor ki, enjeksiyon memesi uç kısmı (memenin yanma odasında bulunan kısmı) sıcaklıklarında meydana gelen artış, diğer bir ifadeyle yüksek güç çıkışları daha fazla kurumlaşma oluşumu eğilimi göstermiştir.

Aşağıdaki gösterilen grafikte sıcaklık ve akış değeri arasındaki ilişki gösterilmiştir. Depozit oluşumdan kaynaklı akış değerinin azaldığı kabul edilirse, sıcaklığın artmasıyla beraber akış değerinde azalma, bir diğer ifadeyle akışta meydana gelen kayıplarda artış söz konusudur.



Şekil 3.6 7 Saat Sonrası Ölçüm Yapılmış Bir Deneyden Alınan Sonuç Gösterimi [13]

4
Deneysel Çalışmalar

4.1 Deneysel Çalışmada Kullanılcak Enjeksiyon Meme Tipleri

Daha önceki yapılan çalışmalar [4], [13] gösteriyor ki düşük yuvarlatma ve/ya da konik değerinin azaltılması, akış karakteristiklerini değiştirerek kurumlaşmaya karşı olan direnci artırmaktatır. Akışın içersindeki kavistasyon miktarının artmasının depozit oluşumuna karşı direnci artıran ana mekanizma olduğu tespit edilmiştir.

Yapılacak deneysel çalışmada, delik girişi yuvarlatma sürecinden sonraki püskürtme debileri aynı, püskürtme delik giriş yuvarlaklığı ve konikliği bir birinden farklı 4 tip meme kullanılmıştır.

Referans olarak Tip2 memesi seçilmiştir. Tip2 memesi, kurumlaşma direnci iyi varsayılan memedir. Tip2 memesi aynı zamanda deneylerde kullanılan motora ait enjektörün de memesidir.

Tablo 4.1 Enjeksiyon Meme Tipleri ve Parametreleri

Delik tipi	k-faktör	Yuvarlatma%	Delik çıkış çapı (mm)	Yuvarlama sonrası Qhyd (cm3/30sn)	μ
Tip1	1,5	22%	0,1079	295	0,86
Tip2	3,5	15%	0,1067	295	0,888
Tip3	0,5	31%	0,1088	295	0,84
Tip4	0,5	43%	0,1088	295	0,84

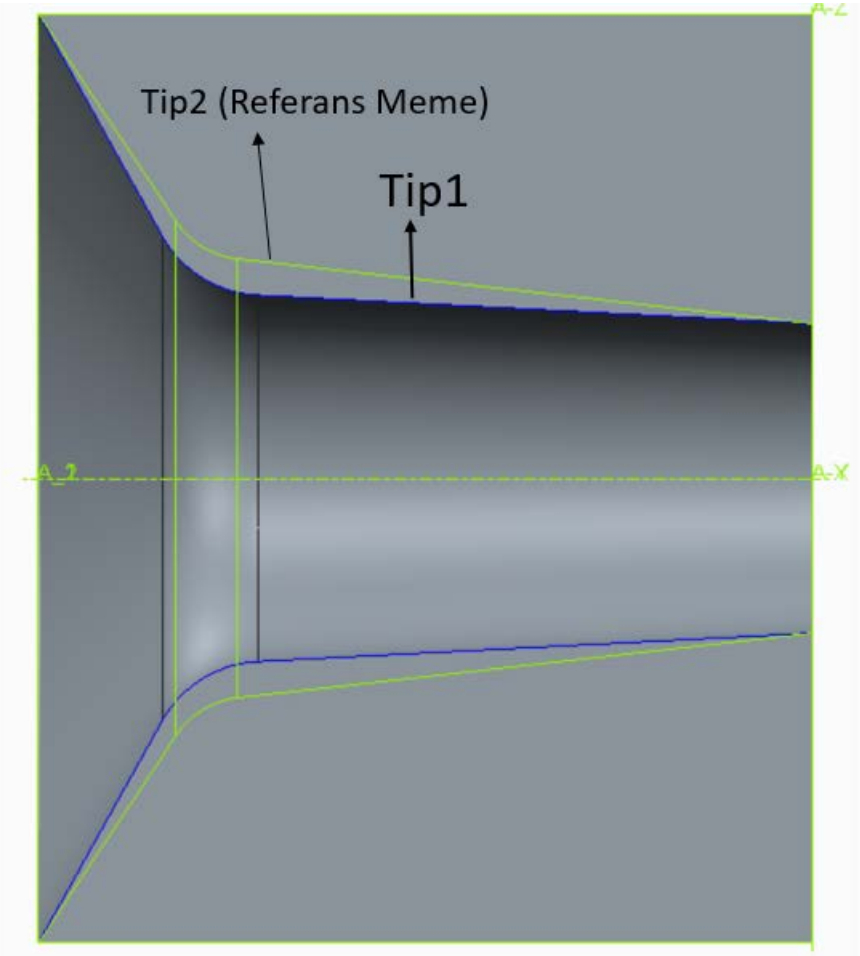
Sonraki kısımlarda gösterilecek olan görsellerde enjeksiyon meme tipleri arasındaki geometrik farkı gösterebilmek için ilgili tip ve referans Tip2 karşılaştırılmalı olarak görselleştirilmiştir.

4.1.1 Enejksiyon Meme Tip1

Referans enjeksiyon meme tipine göre (Tip2) koniklik değeri daha düşüktür. Meme giriş yuvarlatması daha yüksektir.

Tablo 4.2 Enjeksiyon Meme Tip 1 Parametreleri

Parametreler	K-Faktör	HE%	Kurumlaşma	Kavitasyon
Tip1	1.5	22%	☹	☺



Şekil 4.1 Enjeksiyon Memesi Tip1

4.1.2 Enjeksiyon Meme Tip2 (Referans Meme)

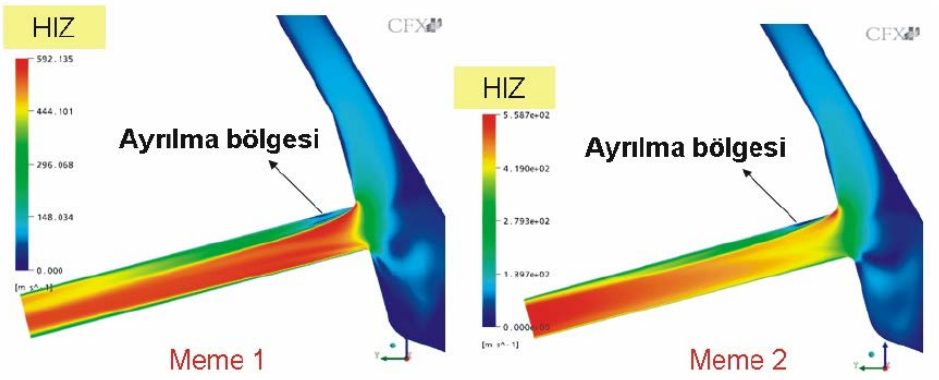
Deneysel çalışmalarda referans meme olarak seçilen tiptir. Yüksek koniklik değerine rağmen püskürtme deliği giriş yuvarlatması düşük olduğu için

kavitasyonlu akış oluşması ve buna bağlı olarak da kurumulaşma direnci artması beklenmektedir.

Tablo 4.3 Enjeksiyon Memesi Tip2 Parametreleri

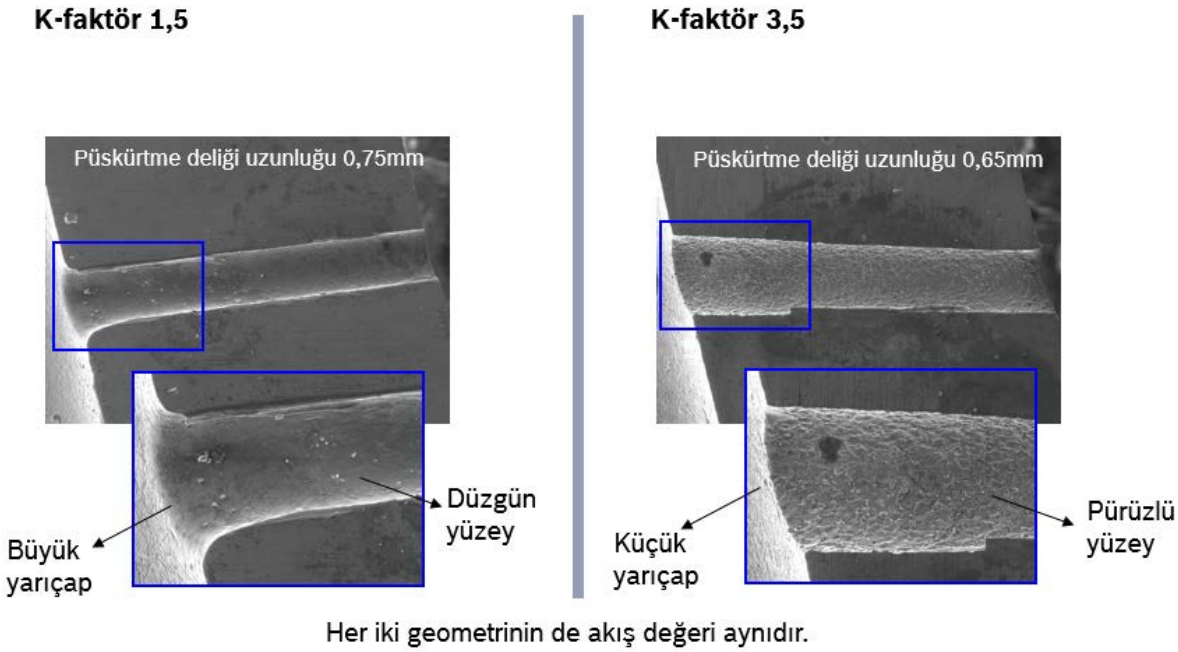
Parametreler	K-Faktör	HE%	Kurumlaşma	Kavitasyon
Tip2	3.5	15%	☺	☺

Şekil 4.2'deki delik orta kesiti boyunca gösterilmiş hız konturlarında giriş bölgesinin üst kısmındaki düşük hız ya da ayrılma bölgesi gözlemlenebilir. (Meme 2'nin konikliği Meme 1'den büyüktür.) Bu bölgelerde, akış dönme çapını takip edemeyerek duvardan ayrılmaktadır. Bunun sonucu olarak kesit alanı daralmakta ve memeden geçirilebilecek debi miktarında kısılma meydana gelmektedir. Bu düşük hız bölgesinin büyüklüğü k faktörün büyümesi ile küçülmektedir. Yani koniklik arttıkça, daha düzgün bir hız dağılımı oluşacaktır. Genel kabul gören hipotez, delik girişlerinde oluşan vorteksler basınç düşümüne neden olarak kavitasyon oluşturmakta ve kurumlaşma direncini artırabileceği yönündedir.



Şekil 4.2 Farklı k-faktörlere Sahip Püskürtme Delik İçi Akış Hızları [8]

Şekil 4.3'te gösterilen görsellerin karşılaştırılmasından; düşük püskürtme deliği giriş yuvarlatmasına sahip delik yüzeyinin daha az hidroabrasif sürecine maruz kaldığından dolayı daha pürüzlü bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak daha önce oluşturulmuş hipotezlerden bir diğeri de yüzey pürüzlülüğünün mikro kavitasyonlar oluşturabileceği, bunun sonucunda da depozitlerin oluşumuna karşı etkili olabileceğidir.



Şekil 4.3 Farklı k-faktörlere Sahip Püskürtme Deliklerinin Görsel Olarak Karşılıştırılmaları

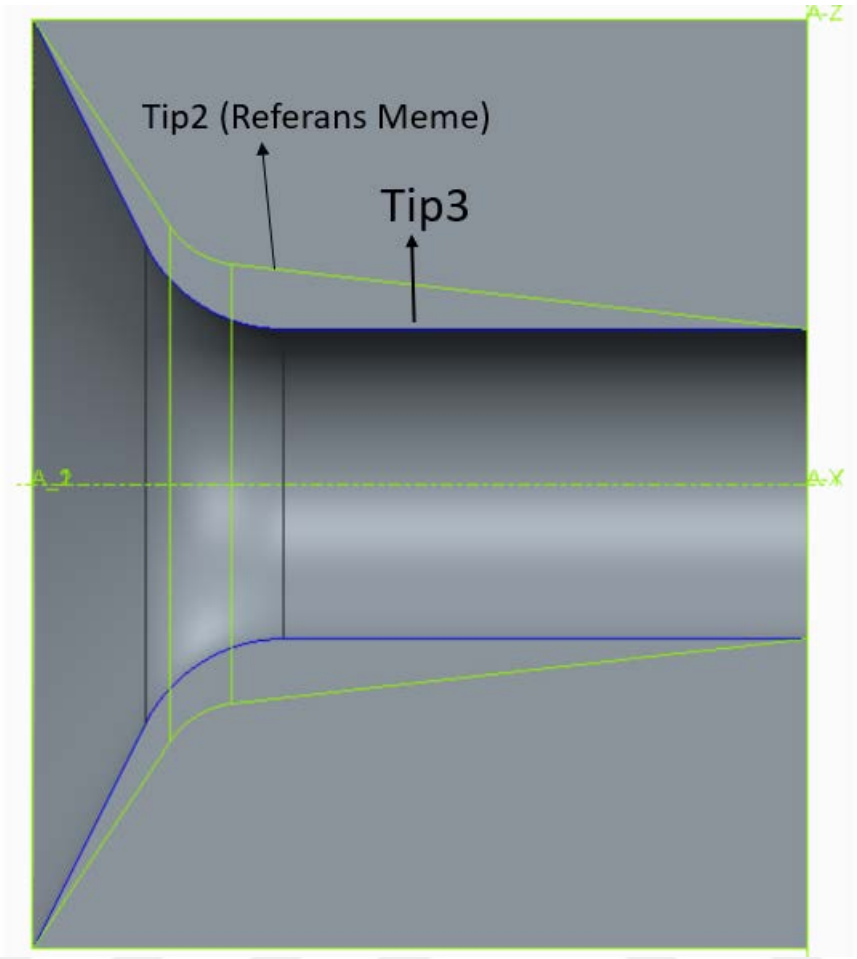
4.1.3 Enejeksiyon Meme Tip3

Referans enjeksiyon meme tipine (Tip2) ve Tip1 tasarımına göre koniklik değeri daha düşüktür. Meme giriş yuvarlatması değeri ise daha yüksektir.

Tablo 4.4 Enjeksiyon Memesi Tip3 Parametreleri

Parametreler	K-Faktör	HE%	Kurumlaşma	Kavitasyon
Tip3	0.5	31%	☺	☺

Püskürtme deliği giriş yuvarlatması ve koniklik değerlerinin kurumlaşma üzerindeki etkisini karşılaştırabilmek için Tip3'e ihtiyaç duyulmuştur.



Şekil 4.4 Enjeksiyon Memesi Tip3

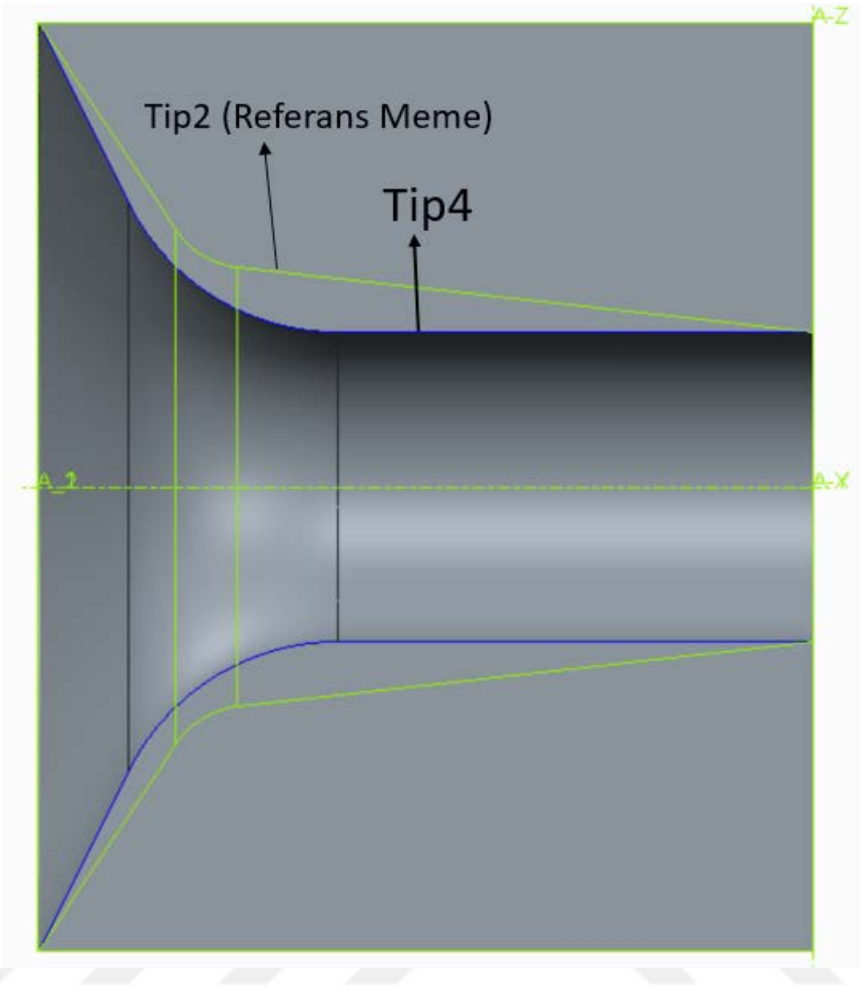
4.1.4 Enejeksiyon Meme Tip4

Koniklik değeri Tip3 ile aynıdır. En yüksek meme giriş yuvarlatması değerine sahiptir.

Tablo 4.5 Enjeksiyon Memesi Tip4 Parametreleri

Parametreler	K-Faktör	HE%	Kurumlaşma	Kavitasyon
Tip4	0.5	43%	☺	☹

Özelikle Tip3 ile karşılaştırıldığında püskürtme deliği giriş yuvarlatmasının kurumlaşma üzerindeki etkisini karşılaştırabilmek için tasarlanmıştır.



Şekil 4.5 Enjeksiyon Memesi Tip4

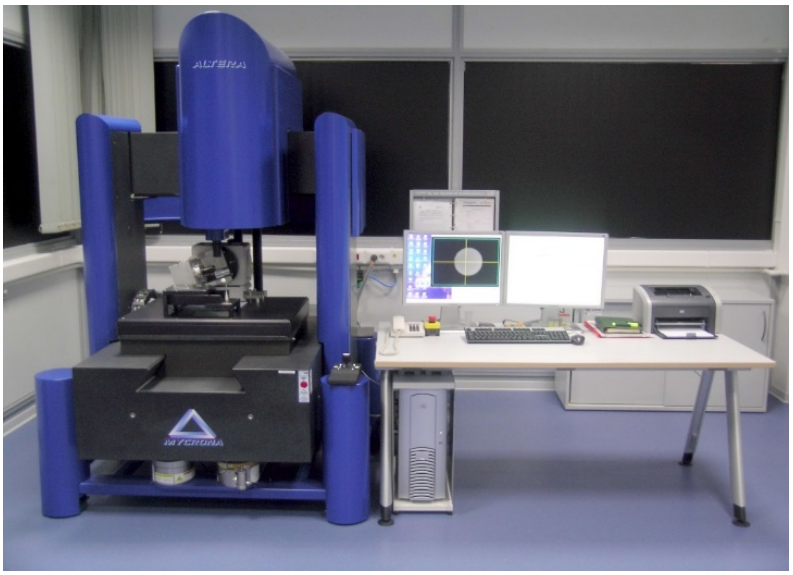
4.2 Enjeksiyon Memesi Üretim Süreci

Önceki bölümde bahsedilen enjeksiyon memelerin ve selenoid enjektörlerin üretimi BOSCH bünyesinde gerçekleştirmiştir. Tablo 4.1'deki parametreleri; Qhyd, k-faktör, HE% ve DSPout tutturmak için üretimde daraltılmış toleranslar kullanılmıştır ve orta değerler elde edilmiştir.

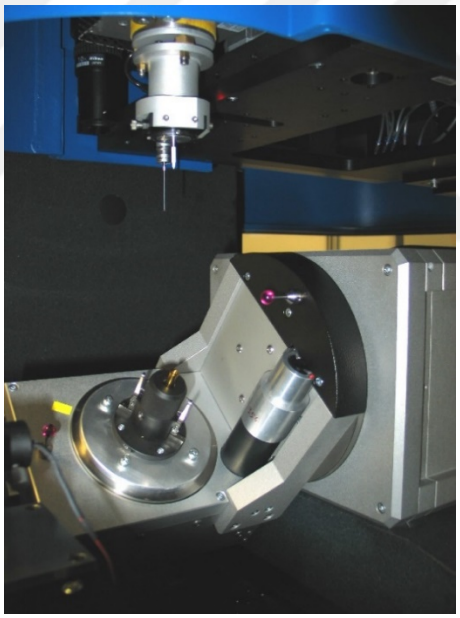
4.3 Üretilen Parçların Ölçümleri

4.3.1 Püskürtme Deliği Geometrisi Ölçüm Aleti

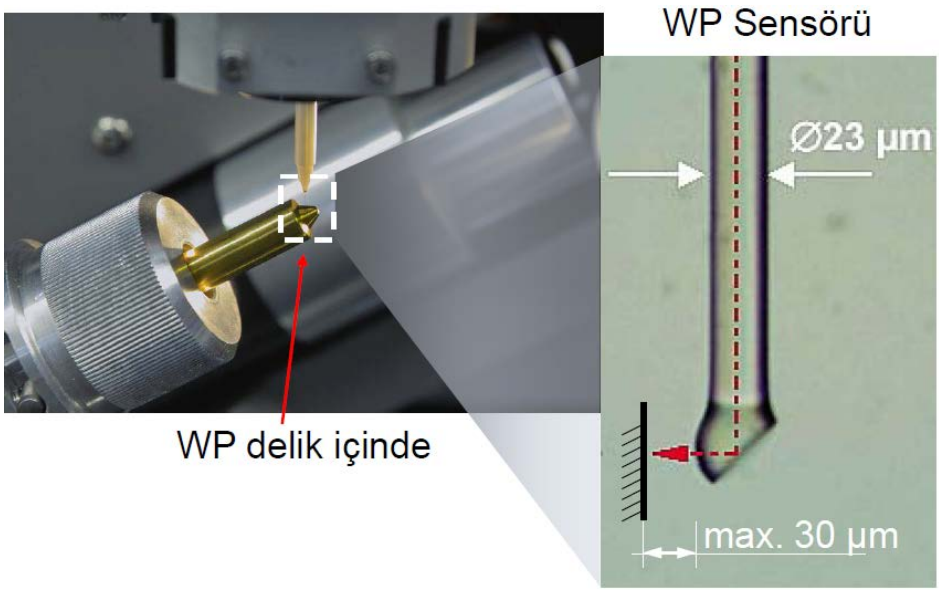
Enjeksiyon memesi püskürtme deliği geometrisi ölçümlerinde Mycrona Altera kullanılmıştır. Genel olarak kamera ve aydınlatma prensibine göredir ve oldukça hassass tolerans değerlerinde çalışmaktadır.



Şekil 4.6 Mycrona Altera Ölçüm Aleti



Şekil 4.7 Enjeksiyon Memesinin Ölçüm Aleti İçersindeki Konumu

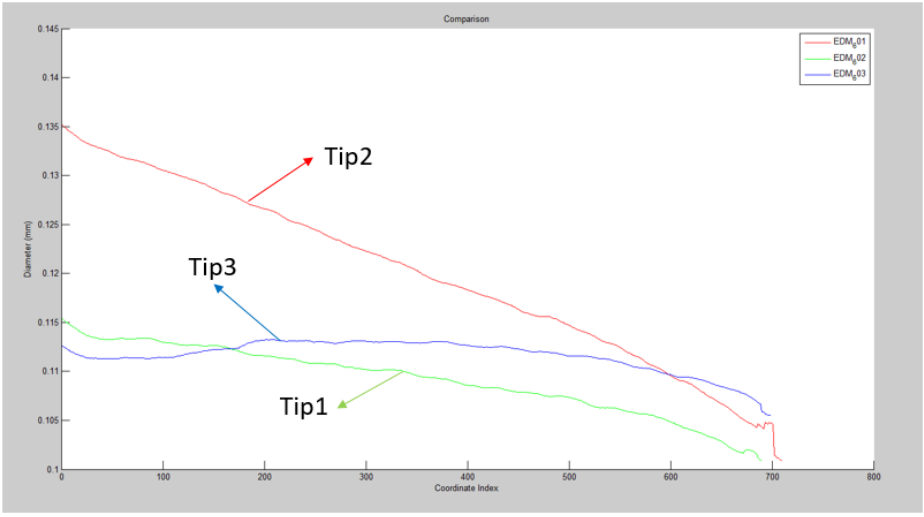


Şekil 4.8 Ölçüm Aleti Probu

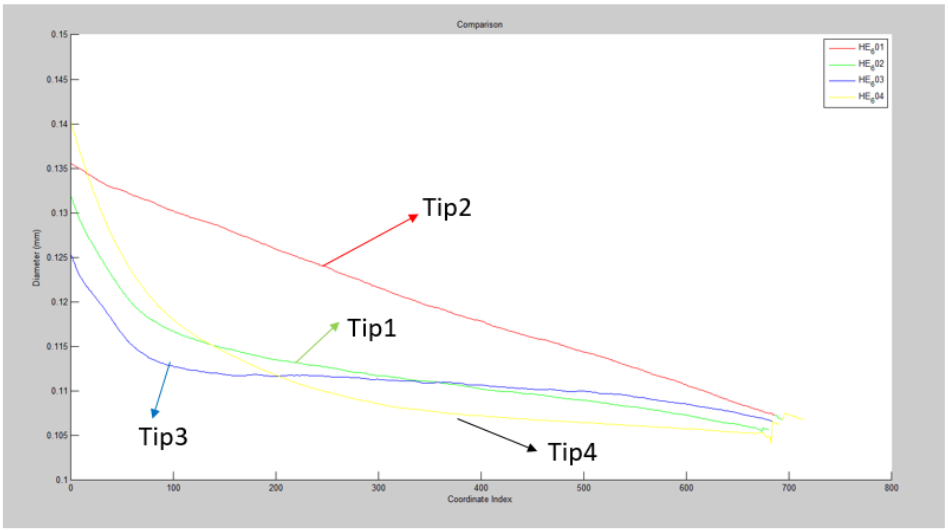
Sensör, püskürtme deliği boyunca delik duvarlarına sinyal göndererek, aldığı sinyalleri değerlendirip, delikle ilgili geometrik ölçümleri ve deliğin 3D profilini vermektedir.

4.3.1.1 Püskürtme Delik İçi Profilleri

HE ve EDM süreci sonrası delik profilleri ve karşılaştırılması Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da görülmektedir. Tip4'e ait EDM sonrası ölçüm sonuçları sağlıklı ölçüm alınamadığından dolayı elde edilememiştir. Ölçüm sonuçlarından da anlaşılacağı üzere HE prosesi sonrası yüzey profili daha düzgün bir hal almaktadır.



Şekil 4.9 EDM Süreci Sonrası Püskürtme Deliği Profilleri

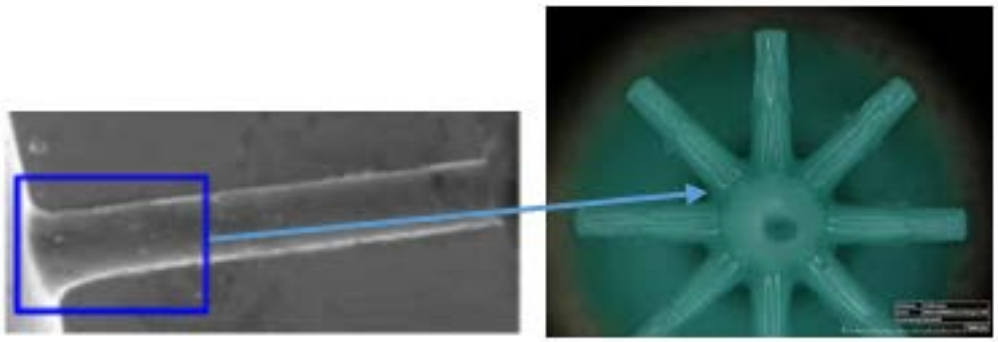


Şekil 4.10 HE Süreci Sonrası Püskürtme Deliği Profilleri

4.3.1.2 Püskürtme Deliği Giriş Yuvarlatması Ölçümü

Püskürtme deliği giriş yuvarlatması değerini ölçmek için ELAM yöntemi kullanılmıştır. Proseste kullanılan silikon bazlı akışkan, püskürtme deliklerinden geçirilerek katılaştırılır. Katılaşan malzeme esnektir ve kolayca deliklerden çıkartılabilir. Ardından görseller üzerinden yarıçap hesaplaması yapılmıştır.

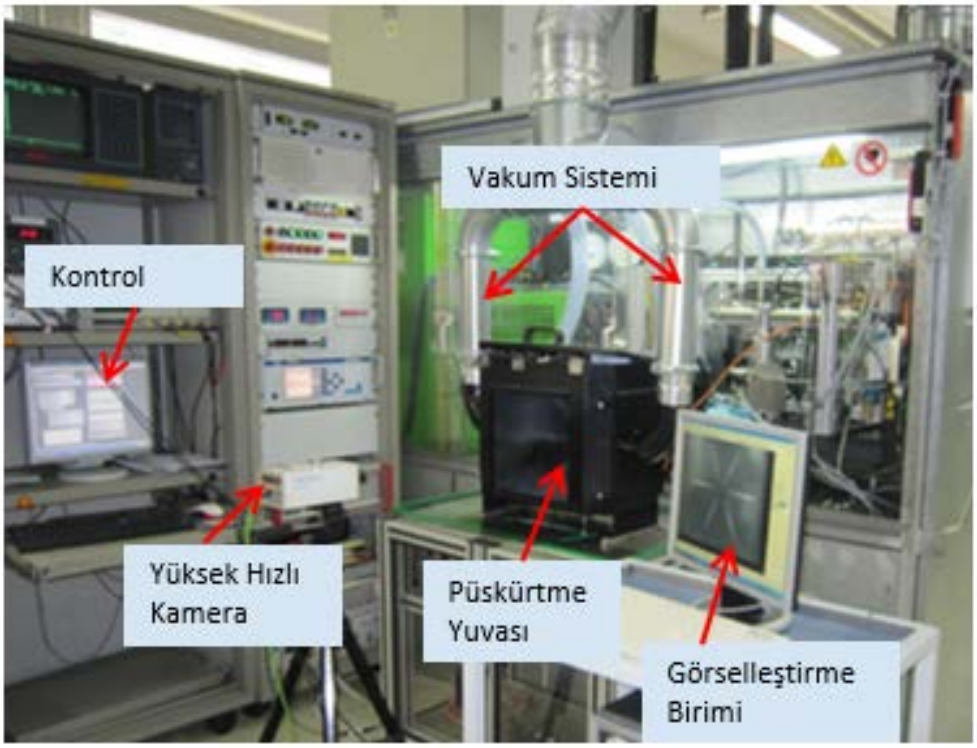
Yuvarlatma prosesi sonrası delik giriş radyuslarının tespiti, bu radyusların CFD analizinde bilgi girişi olarak kullanılması için gereklidir.



Şekil 4.11 Elam Görüntüsü Örneği

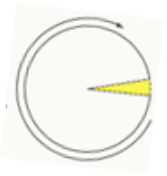
4.3.2 Püskürtme Demeti Ölçümü

Test öncesi püskürtme demeti davranışının gözlemlenebilmesi için yüksek hızlı kamera entegreli hidrolik tezgahlarda her bir enjeksiyon memesi tipinin fotoğraflaması yapılmıştır.



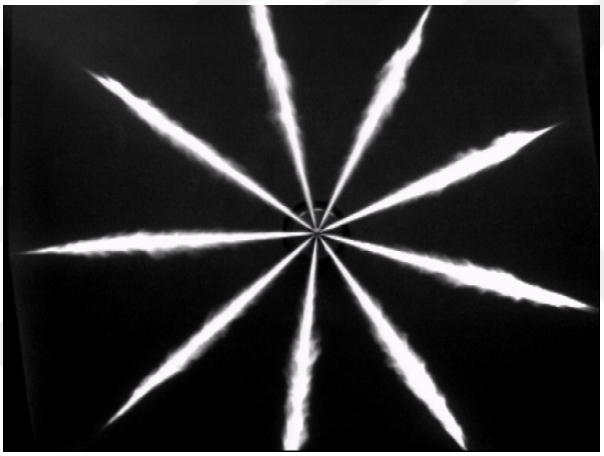
Şekil 4.12 Yüksek Hızlı Kamera Entegreli Hidrolik Tezgâhlar

Enstantane hızı, deklanşör açıkken kameranın pozlandırma süresi uzunluğuyla ile tanımlanabilir. Düzgün bir fotoğraflamının yapılabilmesi için uygun kamera enstantane açılarının seçilmesi gerekiyor.

Enstantane Açısı (°)	15	45	90	180
Kameranın Enstantane Açısı				
Pozlandırma Süresi				

Şekil 4.13 Enstantane Açısı ile Pozlandırma Süresi Arasındaki İlişki

Test öncesi ve sonrası fotoğrafların karşılaştırılması yapılarak kurumlaşmanın püskürtme demeti üzerine etkisi görülmek istenmektedir.



Şekil 4.14 Püskürtme Demeti Görseli [14]

4.3.3 Püskürtme Hidrolik Davranışlarının İncelenmesi

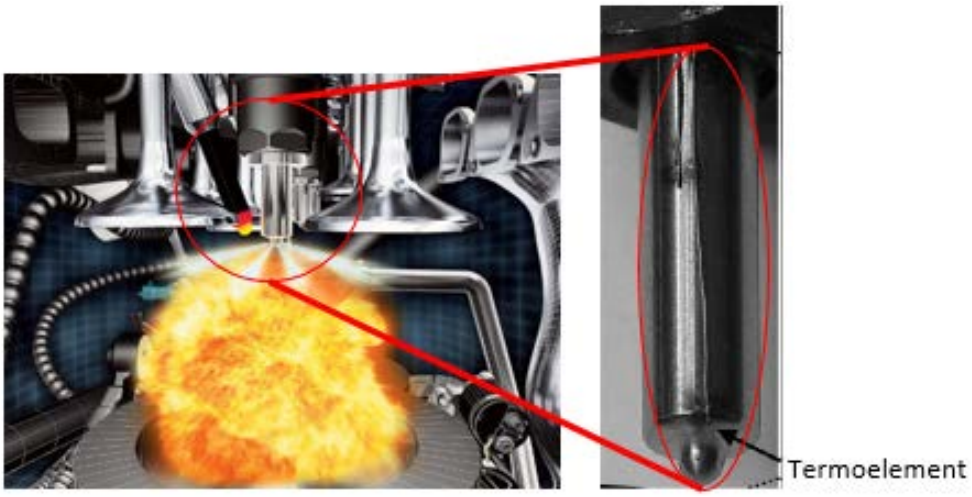
Enjekterün enjeksiyon memeleri ile montajı tamamlandıktan sonra test öncesi ve sonrası püskürtme debilerinin incelenmesi için hidrolik tezgahlar kullanılmıştır. Farklı basınç noktalarında ve belirlenmiş sürelerde püskürtme miktarları ölçülmüştür.



Şekil 4.15 Yüksek Basınçlı Hidrolik Tezgâh

4.3.4 Termoelement Entegreli Enjeksiyon Memesi

Termoelement entegreli enjeksiyon memeleri ile kullanılacak motordaki silindir sıcaklıklarının tespiti ve sıcaklık farklarının kurumlaşmaya etkisinin araştırılması hedeflenmiştir.



Şekil 4.16 Termoelement Entegreli Enjeksiyon Memesi Görseli

4.4 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi (CFD)

Deneysel çalışmadan önce farklı püskürtme deliği tasarımlarının delik içi akışa nasıl etki ettiğini görebilmek için simülasyon çalışması yapılmıştır.

ANSYS-CFX programı kullanılarak elde edilecek CFD verileri ile yakıt akış profili, hızı, türbülansı üzerinde delik geometrisi değişiminin ve bunun kurumlaşma davranışı üzerinde olası etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir.

4.4.1 Simulasyonda Kullanılacak Enjeksiyon Memesi Tasarım Girdileri

Orta değerlerde üretimiş enjeksiyon memelerinin ELAM vasıtasıyla püskürtme deliği giriş yuvarlatma değerleri ölçülmüştür. (Tablo4.6)

Tablo 4.6 Simulasyonda kullanılacak değerler

Tip	**k-faktör**	**Püskürtme Deliği Giriş Yuvarlaklığı (mm)**	**DSP out**
Tip1	1.5	0.0382	0.1079
Tip2	3.5	0.021	0.1067
Tip3	0.5	0.044	0.1088
Tip4	0.5	0.05	0.1088

Tip 1

DSP=0.1079mm

K-factor=1.5

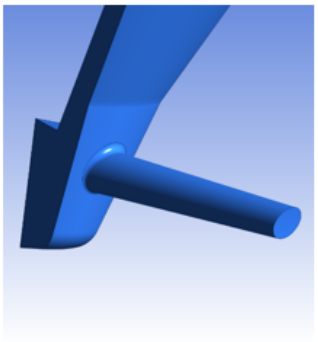
Radius= 0.0382mm

Tip 2

DSP=0.1067mm

K-factor=3.5

Radius= 0.021mm



Tip 3

DSP=0.1088mm

K-factor=0.5

Radius= 0.044mm

Tip 4

DSP=0.1088mm

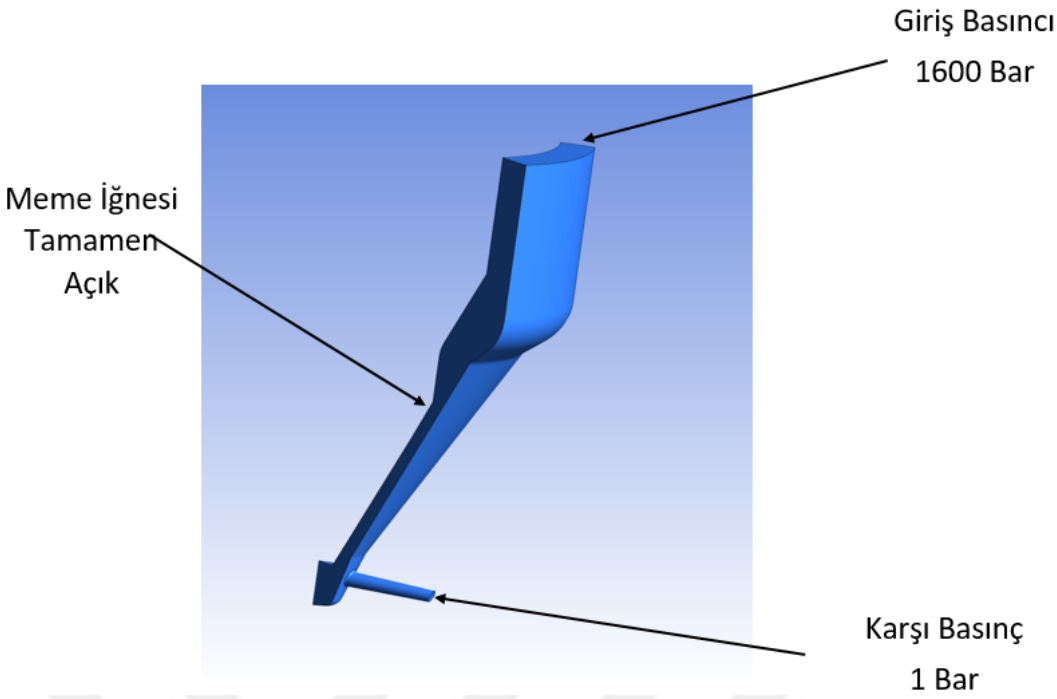
K-factor=0.5

Radius= 0.05mm

Şekil 4.17 Püskürtme Deliği Simülasyon Parametreleri

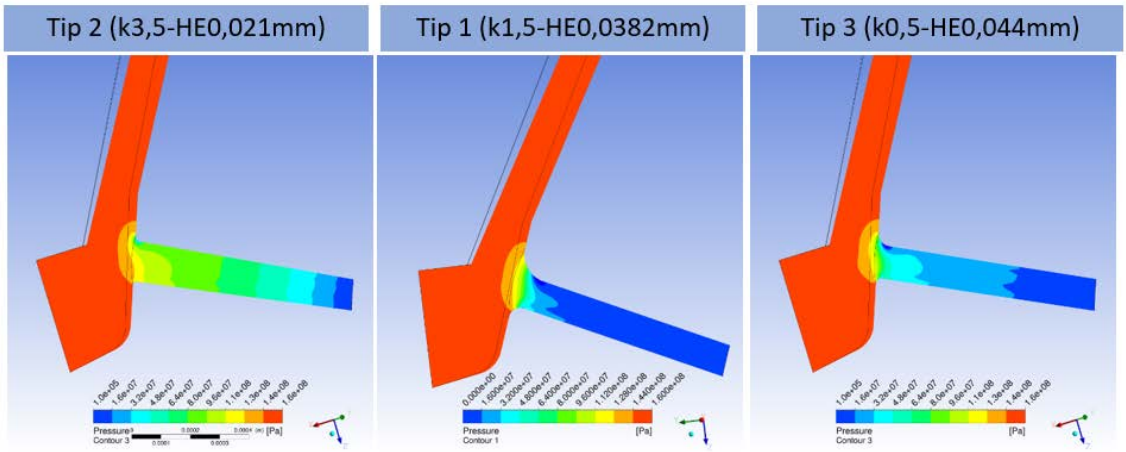
4.4.2 Simülasyon Sınır Koşulu Senaryo 1

Kurumlaşma etkilerinin en fazla gözlemlendiği noktalar tam yük zamanlarında olduğundan, maksimum yük ve tam iğne kalkma boyu verileri kullanılarak simülasyon koşturulmuştur. Karşı basınç 1 bar olarak seçilmiştir. Kavitasyon ve kayma gerilimleri kurum sökücü etken mekanizma olarak incelenmiştir.

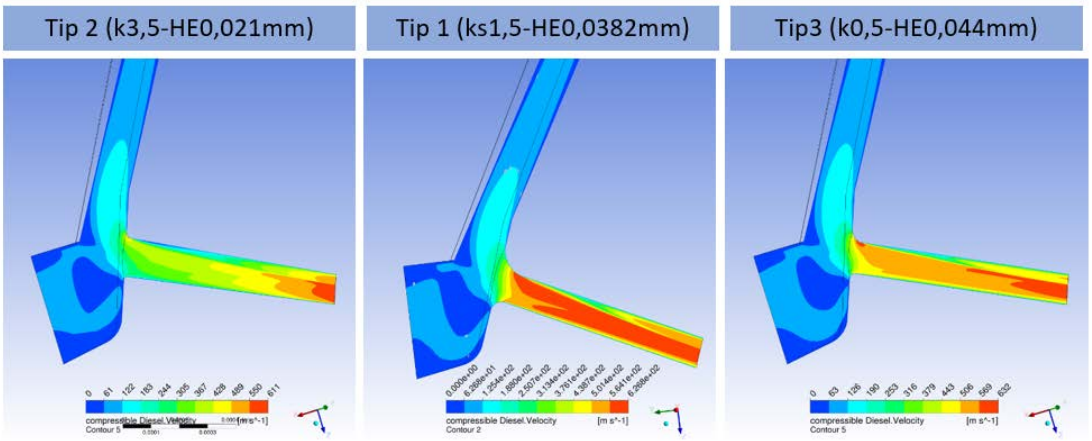


Şekil 4.18 Simulasyon Sınır Koşulları Senaryo 1

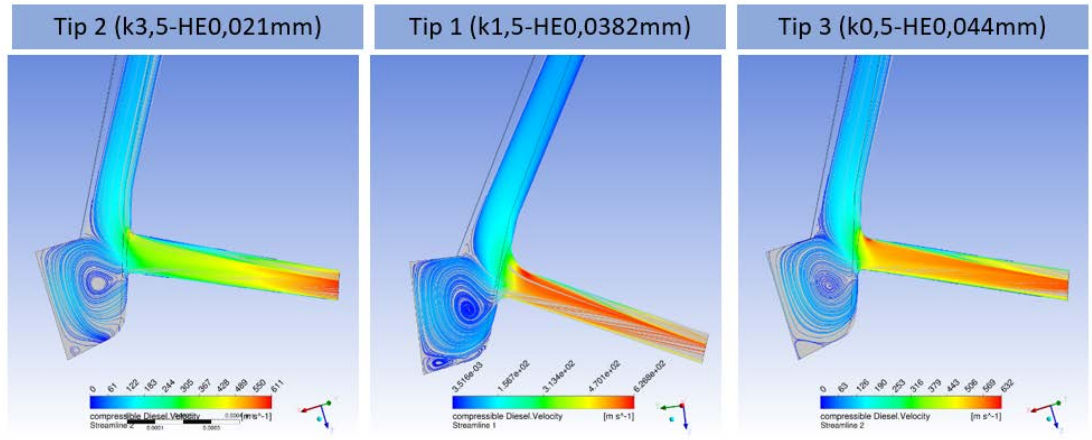
4.4.2.1 Senaryo 1 Sonuç Karşılaştırılmaları



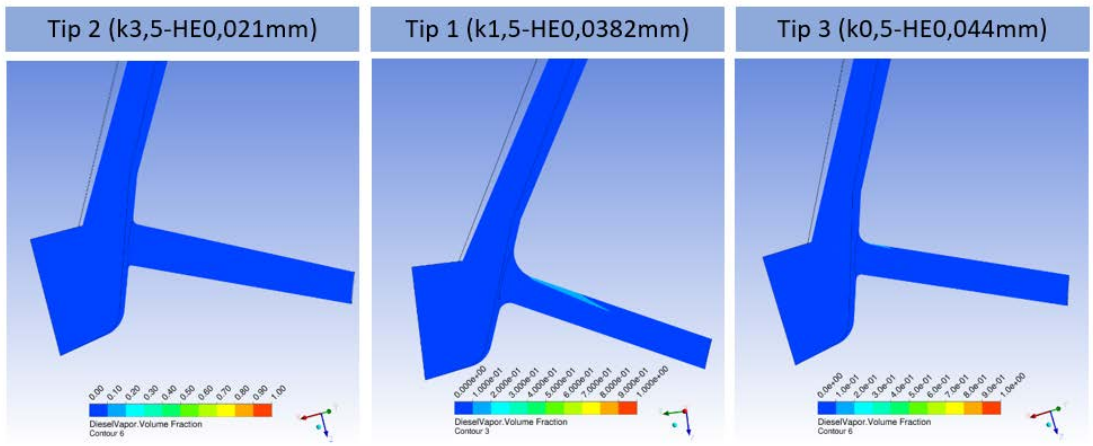
Şekil 4.19 Delik İçi Basınç Karşılaştırması



Şekil 4.20 Delik İçi Akış Hızı Karşılaştırması



Şekil 4.21 Delik İçi Akış Çizgileri Karşılaştırması



Şekil 4.22 Delik İçi Buhar Oranı Karşılaştırması

3 modeldeki basınç dağılımları bazı farklılıklara sahiptir. Püskürtme deliği boyunca en büyük basınç düşüşü Tip1'dedir.

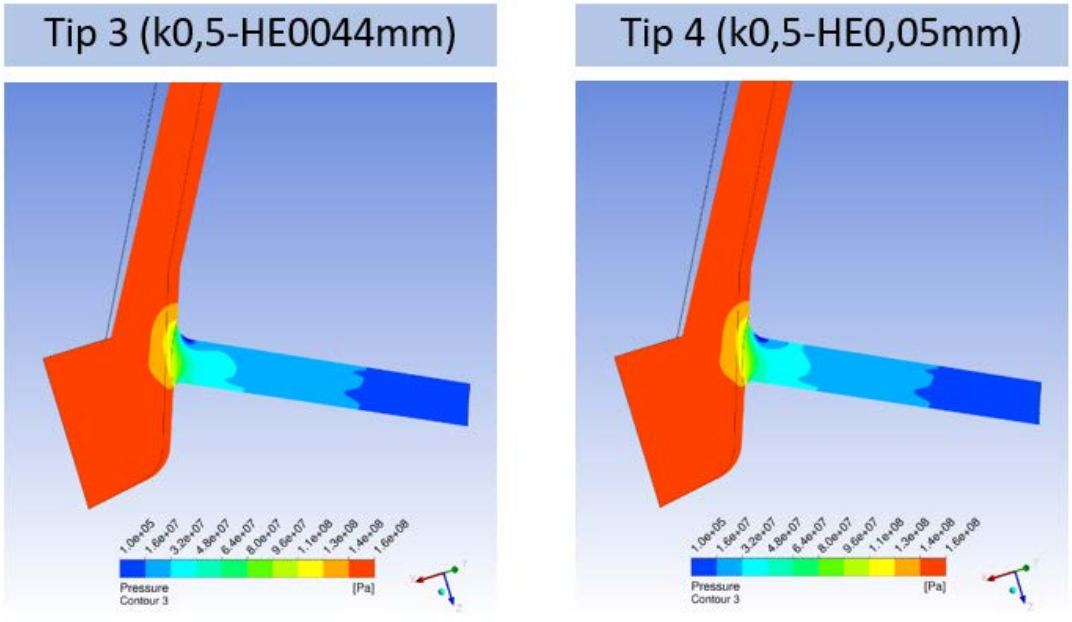
Basınç düşüşüne bağlı olarak beklenildiği gibi diğer modellere göre delik içi akışın Tip1' de daha hızlı olduğu gözlemlenmiştir.

Tip1'de diğer tiplere nazaran daha fazla kavitasyon gözlemlenmiştir. Ancak oluşan kavitasyonun yoğunluğu bakımından kurum sökücü bir etkisi yoktur.

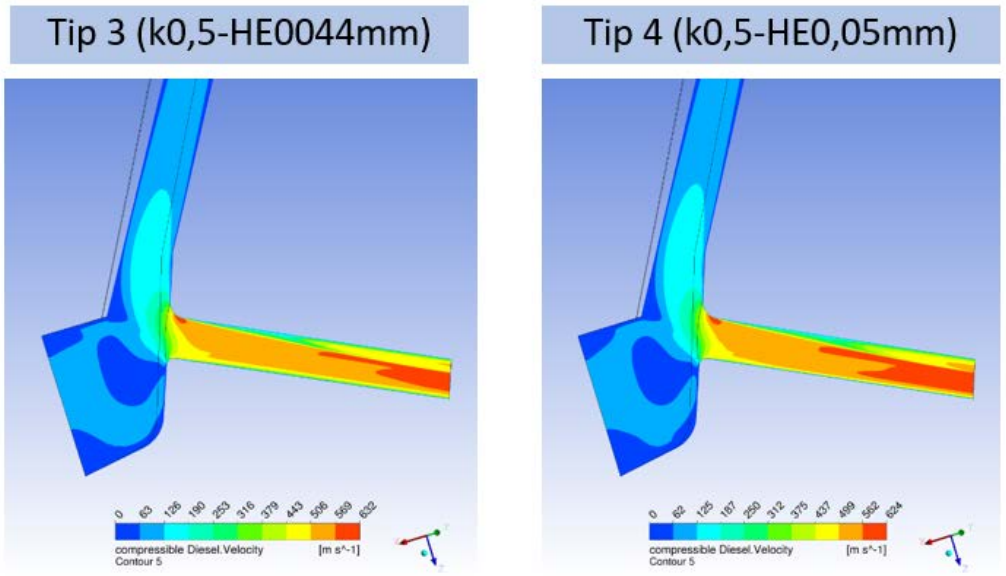
μ değerleri aşağıdaki gibidir;

- Tip1= 8,64E-01
- Tip2= 8,69E-01
- Tip3= 8,55E-01

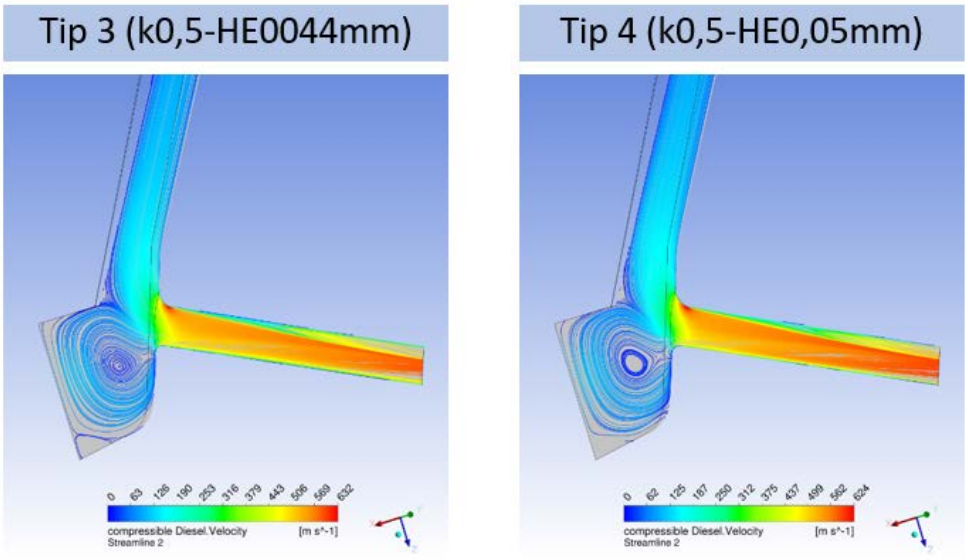
4.4.2.2 Senaryo 1 Tip3 ve Tip 4 Sonuç Karşılaştırılmaları



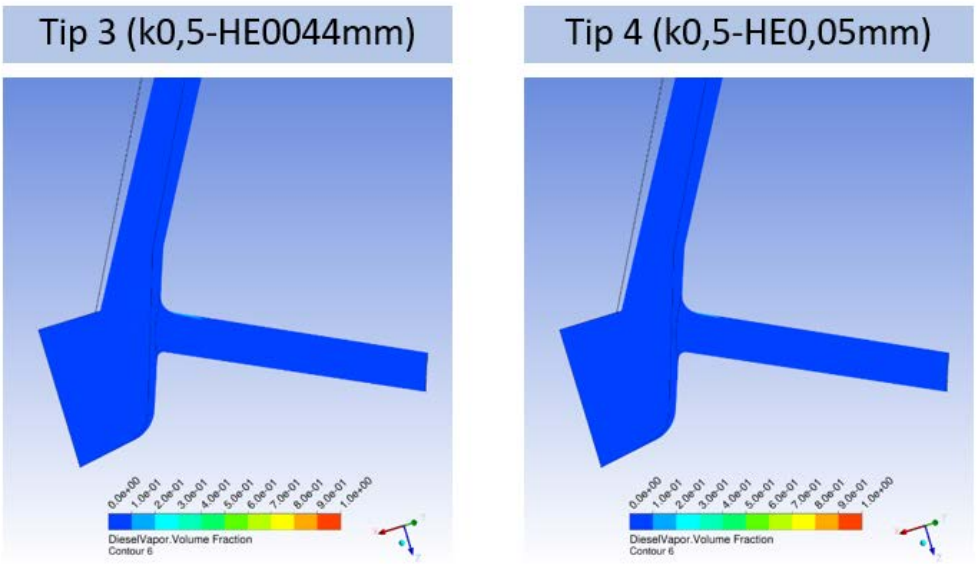
Şekil 4.23 Delik İçi Basınç Karşılaştırması



Şekil 4.24 Delik İçi Akış Hızı Karşılaştırması



Şekil 4.25 Akış Çizgileri Karşılaştırması



Şekil 4.26 Buhar Oranı Karşılaştırması

2 modelde de basınç dağılımları nerdeyse aynıdır ve püskürtme deliği girişinde basınç düşmektedir.

Hız konturu her iki modelde de çok benzerdir ancak maksimum değerleri farklıdır. Tip4'ün akış hızı Tip3'ten daha yüksektir.

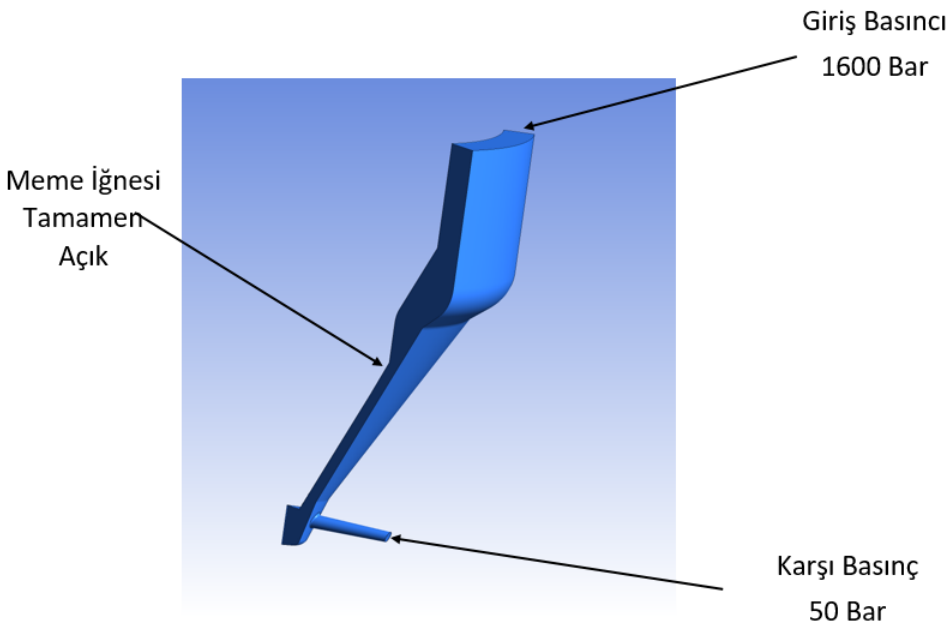
Nerdeyse hiçbir modelde kavitasyon yoktur.

μ değerleri aşağıdaki gibidir;

- Tip3= 8,55E-01
- Tip4= 8,57E-01

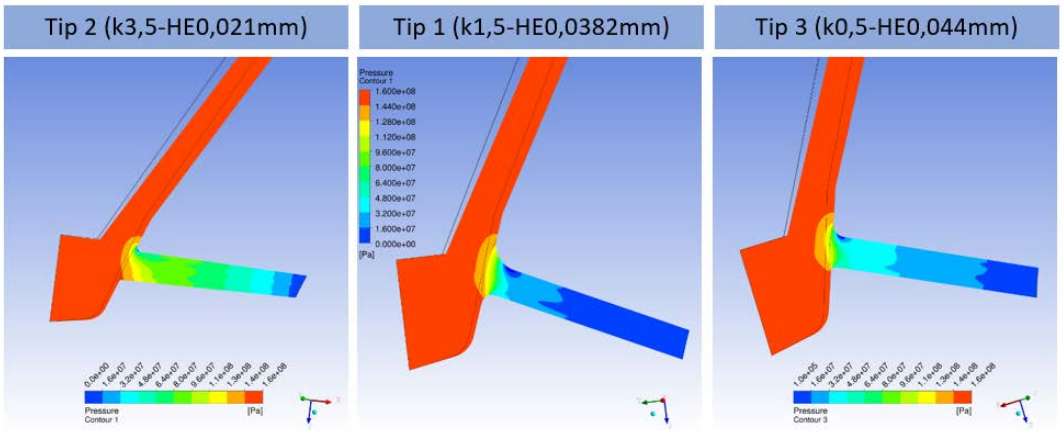
4.4.3 Simülasyon Sınır Koşulu 2

Sistem basıncının en yüksek olduğu durumda, enjektörün açık olduğu ve karşı basıncın 50 bar olduğu durum simüle edilmiştir.

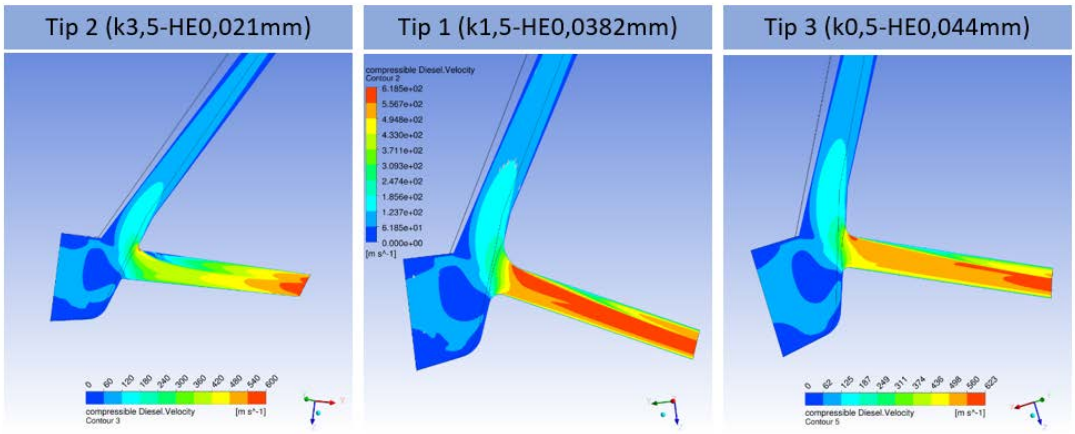


Şekil 4.27 Simulasyon Sınır Koşulları Senaryo 2

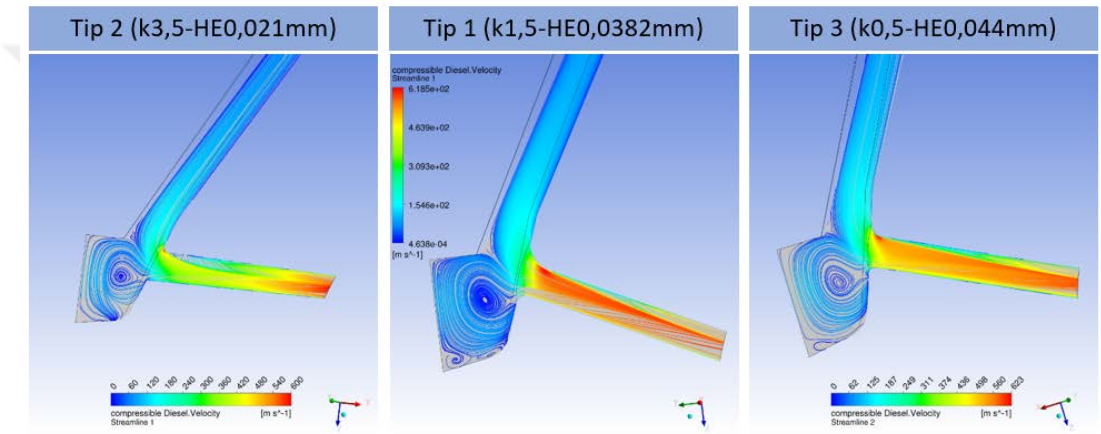
4.4.3.1 Senaryo 2 Sonuç Karşılaştırmaları



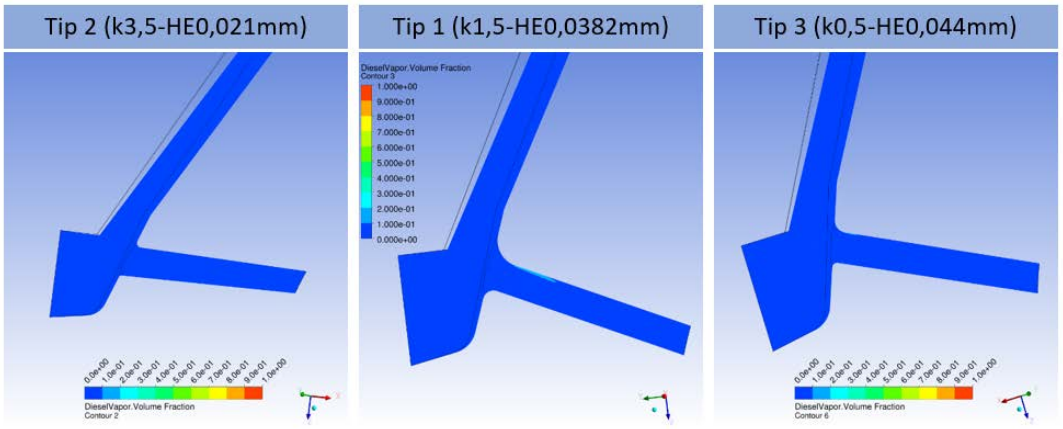
Şekil 4.28 Delik İçi Basınç Karşılaştırması



Şekil 4.29 Delik İçi Akış Hız Karşılaştırması



Şekil 4.30 Delik İçi Akış Çizgileri Karşılaştırması



Şekil 4.31 Delik İçi Buhar Oranı Karşılaştırması

Üç modeldeki basınç dağılımları bazı farklılıklara sahiptir. Püskürtme deliği boyunca en büyük basınç düşüşü Tip1'dedir.

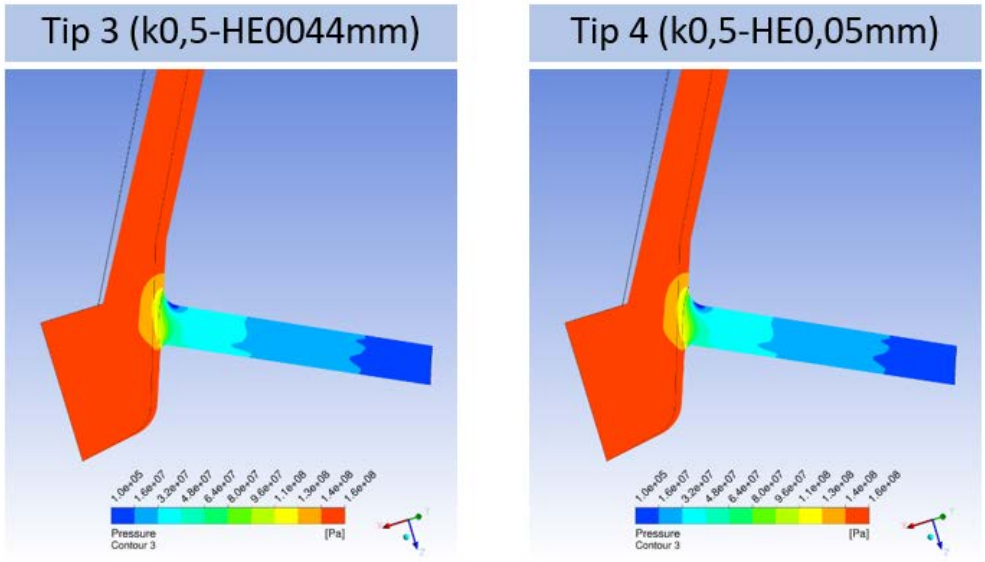
Basınç düşüşüne bağlı olarak beklenildiği gibi diğer modellere göre delik içi akışın Tip1' de daha hızlı olduğu gözlemlenmiştir.

Nerdeyse hiçbir modelde kavitasyon yoktur. Karşı basıncın 50 bar'a artırılmasıyla beraber Tip1'deki kavitasyon oranı karşı basıncın 1 Bar'da olduğu duruma göre azalmıştır.

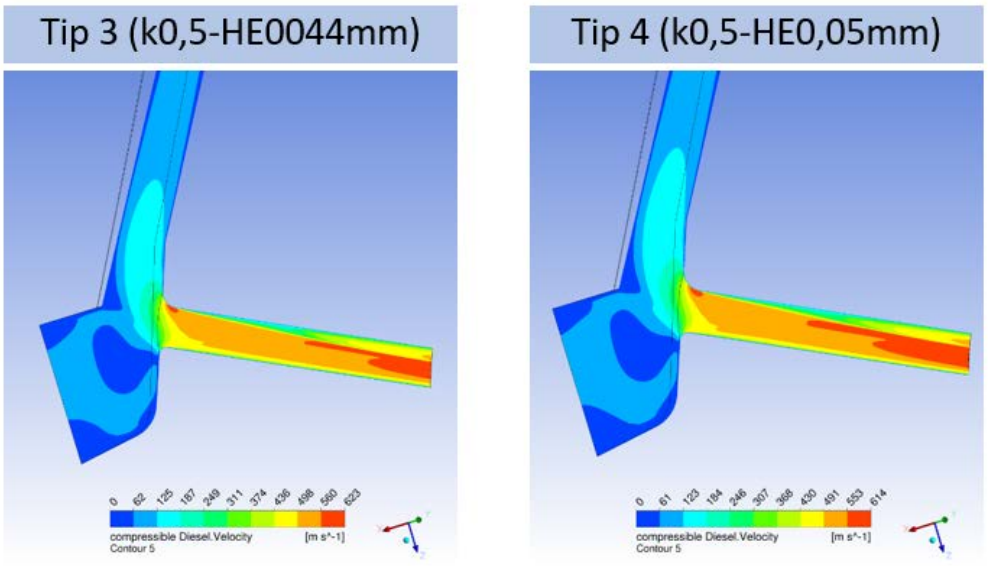
μ değerleri aşağıdaki gibidir;

- Tip1= 8,67E-01
- Tip2= 8,70E-01
- Tip3= 8,56E-01

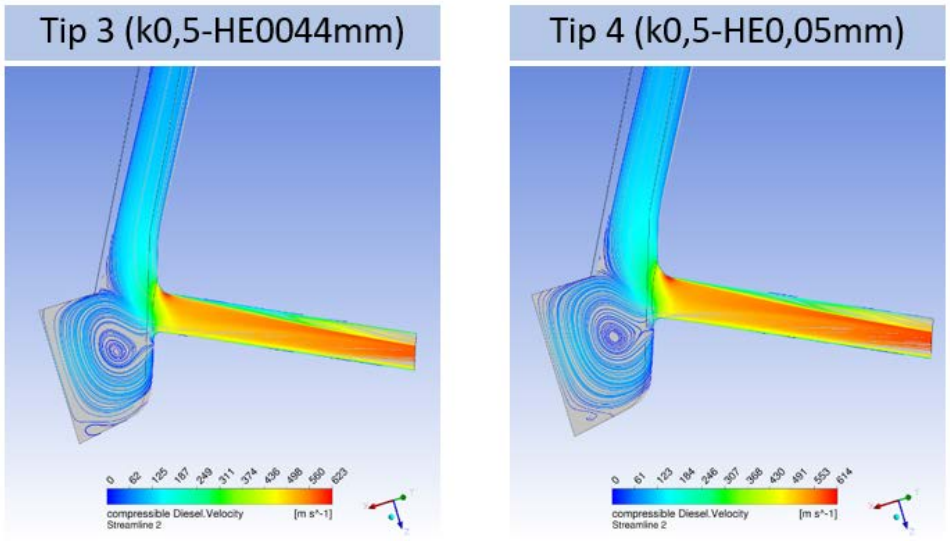
4.4.3.2 Senaryo 2 Tip 3 ve Tip 4 Karşılaştırılması



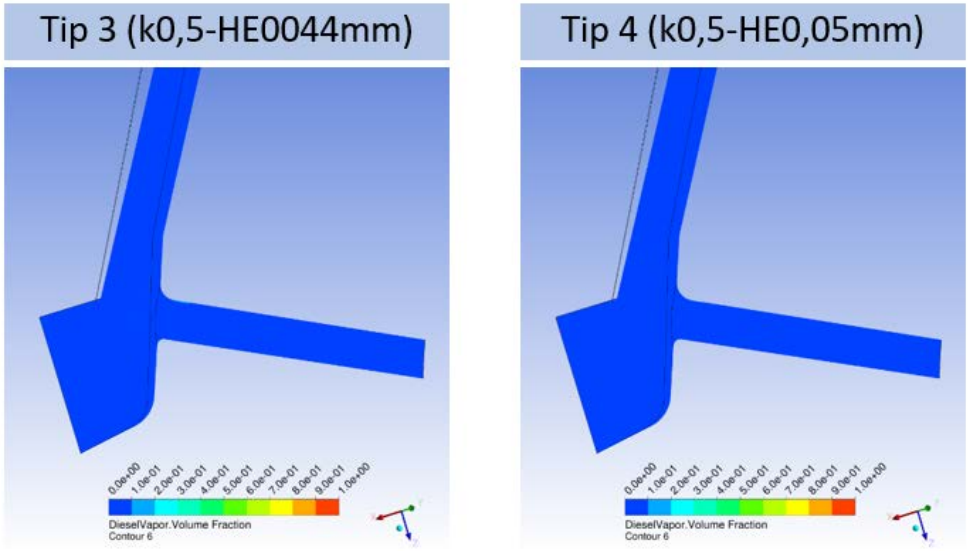
Şekil 4.32 Delik İçi Basınç Karşılaştırması



Şekil 4.33 Delik İçi Akış Hız Karşılaştırması



Şekil 4.34 Delik İçi Akış Çizgileri Karşılaştırması



Şekil 4.35 Delik İçi Buhar Oranı Karşılaştırması

İki modelde de basınç dağılımları nerdeyse aynıdır ve püskürtme deliği girişinde basınç düşmektedir.

Hız konturu her iki modelde de çok benzerdir ancak maksimum değerleri farklıdır. Tip4'ün akış hızı Tip3'ten daha yüksektir.

Nerdeyse hiçbir modelde kavitasyon yoktur.

μ değerleri aşağıdaki gibidir;

- Tip3= 8,55E-01
- Tip4= 8,57E-01

4.4.4 Simulasyon Genel Sonuçların Değerlendirilmesi

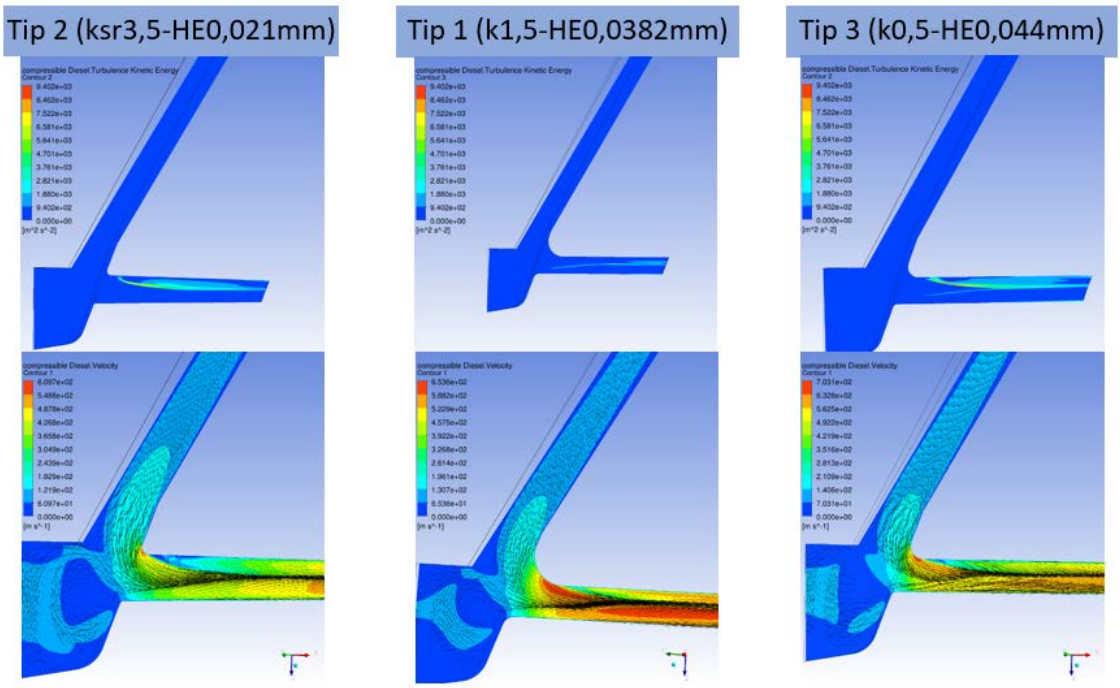
Püskürtme deliği içersindeki yakıt akışı depozit kaldırılmasını etkilemektedir. Bunun ana sebebi kavitasyondur. Kavitasyon püskürtme deliği duvarı boyunca gerçekleştiği sürece erozyon mekanizması duvardan depozitlerin kaldırılması için çalışır.

Kavitasyon yoğunluğu bakımından tüm modellerde etkin bir oluşum gözlemlenmediğinden kavitasyon sıralaması yapılmamıştır. Dolayısıyla kavitasyon bu modellerde kurum sökücü etken bir mekanizma olarak değerlendirilmemiştir.

Bir diğer parametre kayma gerilimidir. Duvardaki kayma gerilimi aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \tag{4.1}$$

Kayma gerilimi delik duvarında bir eksen boyunca meydana gelen hız düşüşüdür. Kavitasyon gibi kayma gerilimleri de delik duvarında kurumların sökülmesinde önemli bir rol oynamaktadır [9], [15]. Kayma gerilimlerin daha net anlaşılması için TKE (Turbulent Kinetic Energy) & hız vektörü gösterimleri kullanılabilir. Kayma gerilimleri Şekil 4.36'da gösterilmiştir.



Şekil 4.36 Delik İçi TKE & Hız Vektörü Görselleri

Tip3 TKE modeli Tip2 modelinden biraz daha fazladır. En az TKE Tip1'dedir. TKE modeline göre Tip3 tasarımına ait duvardaki kayma gerilmeleri diğerlerine nazaran daha fazladır. Modeller; Tip3, Tip2, Tip1 şeklinde sıralanabilir.

Analiz sonuçları yapılacak olan deneysel çalışma ile desteklenmesi gerekmektedir.

4.5 Deneysel Çalışmada Kullanılan Yakıt

Yakıtta çinko içeriğinin fazla olmasının depozit oluşumuna katkıda bulunduğu önceki yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir [12]. Püskürtme deliklerinde depozit oluşumunu hızlandırmak için deneysel çalışmada kullanılacak olan yakıta (EN590) 1ppm olacak şekilde çinko ilave edilmiştir. Yakıtın içeriği TUBİTAK tarafından tescil edilmiştir.

ANALİZ	BİRİM	TS EN 590 EN AZ	TS EN 590 EN ÇOK	ANALİZ SONUCU	ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ	ANALİZ METODU
*Yoğunluk 15°C	kg/m^3	820	845	835,0	0,1	TS EN ISO 12185
*Kinematik Viskozite 40°C	mm^2/s	2,00	4,50	2,935	0,013	TS 1451 EN ISO 3104
*Toplam Kirlilik	mg/kg	-	24	<12	-	TS EN 12662
*Oksidasyon Kararlılığı	g/m^3	-	25	2	1	TS EN ISO 12205
*Parlama Noktası	°C	>55	-	59,5	1,7	TS EN ISO 2719
*Soğuk Filtre Tıkanma Noktası	°C	-	+5(Yaz) -15(Kış)	-26	4	TS EN 116
*Destilasyon 250°C elde edilen	%(v/v)	-	<65	32,0	1,0	TS EN ISO 3405
350°C elde edilen	%(v/v)	85	-	94,6	0,9	
%95'in elde edildiği sıcaklık	°C	-	360	351,3	4,2	
*Karbon Kalıntısı	%(m/m)	-	0,30	<0,1	-	TS EN ISO 10370
*Su	mg/kg	-	200	30	2	TS 6147 EN ISO 12937
*Kül Tayini	%(m/m)	-	0,01	0,002	0,0002	TS EN ISO 6245
*Kükürt	mg/kg	-	10	8,7	0,6	TS EN ISO 20846
*Mangan Tayini	Mg/L	-	2,0	<0,5	-	EN 16576
*Yağ Asidi Metil Esteri (YAME)	%(v/v)	-	7	<0,05	-	TS EN 14078
*Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar	%(m/m)	-	8	1,9	0,1	TS EN 12916
*Setan Sayısı	-	51	-	53,7	0,6	TS 10317 EN ISO 5165
*Setan İndisi	-	46	-	54,2	0,4	TS EN ISO 4264
*Yağlama Özelliği						

Şekil 4.37 Yakıt İçeriği Tablosu

4.6 Test Motoru

Deneysel çalışmada Ford DV6 1.6 LT dört silindirli dizel motoru kullanılmıştır. Motor temel özellikleri aşağıdaki gibidir:

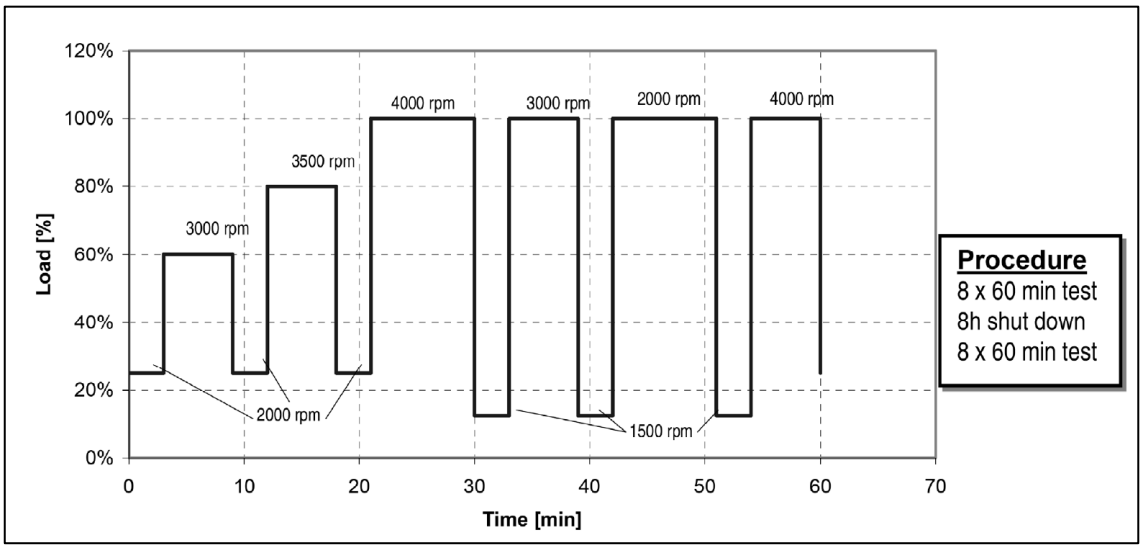
- 1560cc
- Silindir
- Common Rail (Ortak hatlı)
- Silindir başına 2 valfli
- Turbo Intercooler
- 68kW @ 4000 rpm
- 230 Nm @ 1750 rpm



Şekil 4.38 Test Motoru Görseli

4.7 Test Çevirimi

Koşturulacak testler için Bosch'un kurumlaşmayı analiz etmek için önerdiği test döngüsü kullanılmıştır. Genel olarak önce Şekil 4.39'da gösterilen parametrelerde olduğu gibi 60 dakikalık test çevirimi 8 kez tekrarlanmıştır. 8 saatlik aranın ardından aynı çevrim 8 saat daha koşturulmuştur. Toplam test 24 saatte tamamlanmıştır.



Şekil 4.39 1 saatlik Test Çevirimi

4.8 Deney Tasarımı ve Modüller

Deney çalışması toplam 5 adet motor testi modülünden oluşmaktadır. Herbir modülün amacı farklı parametrelerin etkisini incelemektir.

4.8.1 Modül1

Toplam 4 testten oluşmaktadır. Her bir testteki 4 silindirde de aynı tip enjeksiyon memesi kullanılmıştır. Aşağıdaki Tablo 4.7'de silindir ve karşılık gelen enjeksiyon memesi tipi gösterilmiştir.

Tablo 4.7 Modül1 Test Düzeneği

KARŞILAŞTIRMA	Silindir 1	Silindir 2	Silindir 3	Silindir 4
test1	tip1	tip1	tip1	tip1
test2	tip2	tip2	tip2	tip2
test3	tip3	tip3	tip3	tip3
test4	tip4	tip4	tip4	tip4

Test bitiminde enjeksiyon memeleri sökülecek, sonrasında görsel muayene ve meme hidrolik ölçümleri alınacaktır. Ayrıca motor testinden elde edilen verilen kayıt altına alınacaktır.

4.8.2 Modül2

Bu modüldeki amaç örnekleme sayısını artırmaktır. Modül1'de olduğu gibi 4 testten oluşmaktadır ve her bir testteki 4 silindirde de aynı tip enjeksiyon memesi kullanılmıştır. Aşağıdaki Tablo 4.8'de silindir ve karşılık gelen enjeksiyon memesi tipi gösterilmiştir.

Tablo 4.8 Modül2 Test Düzeneği

KARŞILAŞTIRMA	Silindir 1	Silindir 2	Silindir 3	Silindir 4
test1	tip1	tip1	tip1	tip1
test2	tip2	tip2	tip2	tip2
test3	tip3	tip3	tip3	tip3
test4	tip4	tip4	tip4	tip4

Test bitiminde enjeksiyon memeleri sökülecek, sonrasında görsel muayene ve meme hidrolik ölçümleri alınacaktır. Modül1'de olduğu gibi motor testinden elde edilen verilen kayıt altına alınacaktır.

4.8.3 Modül3

Toplam 2 testten oluşmaktadır. Her bir testteki enjeksiyon memesi tipi ve silindir numarası eşleştirilmesi aynıdır. Aşağıdaki Tablo 4.9'da silindir ve karşılık gelen enjeksiyon memesi tipi gösterilmiştir.

Tablo 4.9 Modül3 Test Düzeneği

KARŞILAŞTIRMA	Silindir 1	Silindir 2	Silindir 3	Silindir 4
test1	tip2	tip3	tip4	tip1
test2	tip2	tip3	tip4	tip1

Test bitiminde birinci testteki enjeksiyon memeleri sökülerek delik içinde ve kör delikte oluşan kurumların detaylı analizi ve incelemesi yapılmıştır. 2. testteki enjektörler püskürtme demeti fotoğraflaması için kullanılmıştır.

4.8.4 Modül4

Toplam 4 testten oluşmaktadır. Her tipe ait ikişer adet termoelement entegreli enjektör kullanılmıştır. Diğer bir ifadeyle her tipten bir enjektör iki testte

kullanılmıştır. Aşağıdaki Tablo 4.10'da silindir ve karşılık gelen enjeksiyon memesi tipi gösterilmiştir.

Tablo 4.10 Modül4 Test Düzeneği

KARŞILAŞTIRMA	Silindir 1	Silindir 2	Silindir 3	Silindir 4
test1	Tip1.1	Tip2.1	Tip3.1	Tip4.1
test2	Tip4.2	Tip1.2	Tip2.2	Tip3.2
test3	Tip3.1	Tip4.1	Tip1.1	Tip2.1
test4	Tip2.2	Tip3.2	Tip4.2	Tip1.2

Test bitiminde, termoelement entegreli enjektörler tip bazında silindir sıcaklıklarını tespit etmek için kullanılmıştır.

4.8.5 Modül5

Toplam 4 testten oluşmaktadır. Her bir testteki 4 silindirde de aynı tip enjeksiyon memesi kullanılmıştır. Aşağıdaki Tablo 4.11'de silindir ve karşılık gelen enjeksiyon memesi tipi gösterilmiştir.

Tablo 4.11 Modül5 Test Düzeneği

KARŞILAŞTIRMA	Silindir 1	Silindir 2	Silindir 3	Silindir 4
test1	tip1	tip1	tip1	tip1
test2	tip2	tip2	tip2	tip2
test3	tip3	tip3	tip3	tip3
test4	tip4	tip4	tip4	tip4

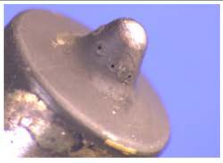
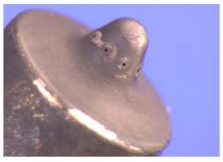
Test bitiminde bütün enjektörler enjeksiyon memeleri sökülmeden hidrolik ölçümler için kullanılmıştır.

4.9 Motor Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.9.1 Modül1 Test Sonuçları

4.9.1.1 Görsel Analiz Değerlendirmesi

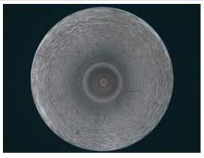
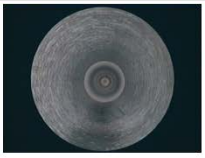
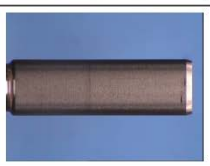
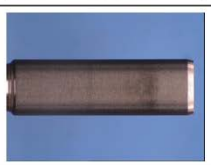
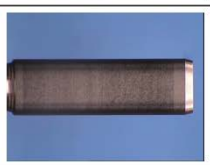
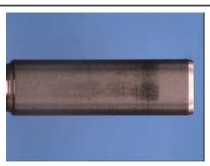
Enjektörden sökülen memelerin yıkama öncesi ve sonrası fotoğraflaması yapılmıştır. Yapılan görsel analize göre tipler arasında belirgin bir farka rastlanmamıştır. Bundan dolayı sadece Tip1 görselleri kullanılmıştır.

	Silindir 1	Silindir 2	Silindir 3	Silindir 4
Yıkama Öncesi				
Yıkama Sonrası				

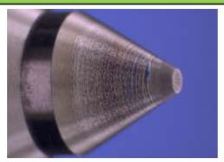
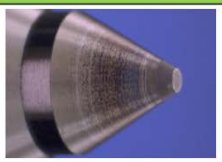
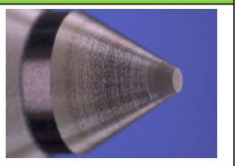
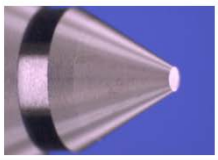
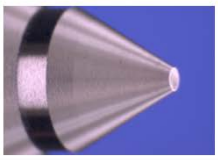
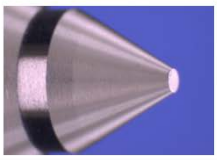
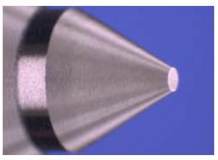
Şekil 4.40 Tip1 Meme Ucu Yıkama Öncesi ve Sonrası Resimler

	Silindir 1	Silindir 2	Silindir 3	Silindir 4
Yıkama Öncesi				
Yıkama Sonrası				

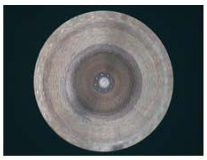
Şekil 4.41 Tip1 Meme Gövdesi Yıkama Öncesi ve Sonrası Resimler

	Silindir 1	Silindir 2	Silindir 3	Silindir 4
Gövde Yataklama				
İğne Yataklama				

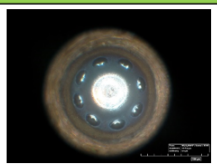
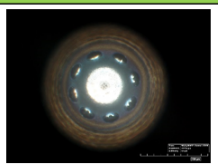
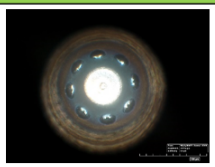
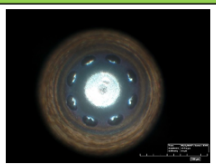
Şekil 4.42 Tip1 Meme Gövdesi Yatakalma ve İğnenin Yataklama Bölgesi Yıkama Sonrası Resimler

	Silindir 1	Silindir 2	Silindir 3	Silindir 4
Yıkama Öncesi				
Yıkama Sonrası				

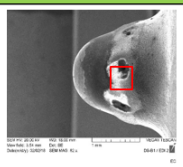
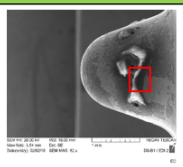
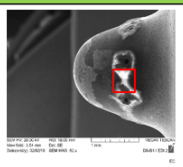
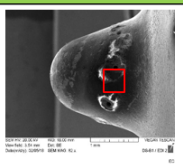
Şekil 4.43 Tip1 İğne Ucu Yıkama Öncesi ve Sonrası Resimler

	Silindir 1	Silindir 2	Silindir 3	Silindir 4
Oturma Bölgesi-1				
Oturm Bölgesi-2				

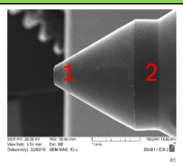
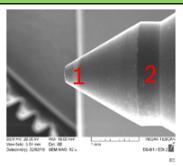
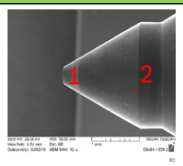
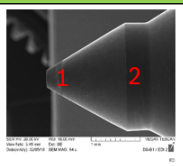
Şekil 4.44 Tip1 İğne Oturma Bölgesi Yıkama Öncesi ve Sonrası Resimler

	Silindir 1	Silindir 2	Silindir 3	Silindir 4
Delik Girişleri				

Şekil 4.45 Tip1 Meme Gövdesi Delik Girişleri Yıkama Sonrası Resimler

	Silindir 1	Silindir 2	Silindir 3	Silindir 4
Meme Ucu				
Delik Etrafı	O, Ca, C, P, Zn, S, Fe, Mg	C, O, Ca, Zn, P, S, Fe	C, O, Ca, Zn, S, P	C, O, Ca, Zn, P, Fe, S

Şekil 4.46 Tip1 Meme Gövdesi EDX Analizi

	Silindir 1	Silindir 2	Silindir 3	Silindir 4
				
1. Bölge	C, O, P, S, Ca, Cr, Fe, Zn	C, O, P, S, Ca, Cr, Fe, Zn	C, O, P, S, Ca, Cr, Fe, Zn	C, O, P, S, Ca, Cr, Fe, Zn
2. Bölge	C, Cr, Fe	C, Cr, Fe	C, Cr, Fe	C, Cr, Fe

Şekil 4.47 Tip1 İğne EDX Analizi

4.9.1.2 Kurumlaşma ve Sıcaklık Ölçümleri

Tüm enjeksiyon memelerinin test sonrası ve yıkama sonrası hidrolik değerleri ölçülmüştür. Buna bağlı olarak kurumlaşma oranı hesaplanmıştır.

Tablo 4.12 Tip1 Enjeksiyon Memesi Araştırma Sonuçları

Silindir No	**Tip No**	**Test sonrası hidrolik değeri (cm3/30sn) (292-298)**	**Yıkama sonrası hidrolik değeri (cm3/30sn) (292-298)**	**Kurumlaşma Oranı (%)**
1	Tip1	271,8	294,9	7,83
2	Tip1	280,2	297,6	5,85
3	Tip1	275,9	295,7	6,7
4	Tip1	276,9	294,8	6,07
Ortalama	-	276,20	295,8	6,6

Tablo 4.13 Tip2 Enjeksiyon Memesi Araştırma Sonuçları

Silindir No	Tip No	Test sonrası hidrolik değeri (cm3/30sn) (292-298)	Yıkama sonrası hidrolik değeri (cm3/30sn) (292-298)	Kurumlaşma Oranı (%)
1	Tip2	274,8	292,5	6,05
2	Tip2	278,9	292,9	4,78
3	Tip2	274,9	293,6	6,37
4	Tip2	277,6	294,5	5,74
Ortalama	-	276,6	293,4	5,7

Tablo 4.14 Tip3 Enjeksiyon Memesi Araştırma Sonuçları

Silindir No	Tip No	Test sonrası hidrolik değeri (cm3/30sn) (292-298)	Yıkama sonrası hidrolik değeri (cm3/30sn) (292-298)	Kurumlaşma Oranı (%)
1	Tip3	275,3	294,8	6,61
2	Tİp3	273,9	292,7	6,42
3	Tip3	274,0	292,3	6,26
4	Tip3	274,7	292,6	6,12
Ortalama	-	274,5	292,2	6,35

Tablo 4.15 Tip4 Enjeksiyon Memesi Araştırma Sonuçları

Silindir No	Tip No	Test sonrası hidrolik değeri (cm3/30sn) (292-298)	Yıkama sonrası hidrolik değeri (cm3/30sn) (292-298)	Kurumlaşma Oranı (%)
1	Tip4	266,9	294,2	9,29
2	Tip4	268,9	293,4	8,34
3	Tip4	263,8	293,6	10,16
4	Tip4	271,3	295,5	8,19
Ortalama	-	267,7	294,2	8,9

Meme gövdesi sertlik değerleri ölçülmüştür. Modül4'ten okunan sıcaklık değerleri ve Modül1'den ölçülen kurumlaşma oranları ile birlikte incelenmiştir.

Tablo 4.16 Tip1 Enjeksiyon Memesi Araştırma Sonuçları

Silindir No	Tip No	Oturma bölgesi sertliği (HV)	Gövde sertliği (HV)	Silindir sıcaklıkları (TºC) THE injector	Kurumlaşma Oranı (%)
1	Tip1	645	737	207	7,83
2	Tip1	646	748	226	5,85
3	Tip1	651	733	284	6,7
4	Tip1	654	741	288	6,07
Ortalama	-	649	740	251	6,6

Tablo 4.17 Tip2 Enjeksiyon Memesi Araştırma Sonuçları

Silindir No	Tip No	Oturma bölgesi sertliği (HV)	Gövde sertliği (HV)	Silindir sıcaklıkları (TºC)	Kurumlaşma Oranı (%)
1	Tip2	649	751	294	6,05
2	Tip2	654	752	233	4,78
3	Tip2	657	746	226	6,37
4	Tip2	667	754	289	5,74
Ortalama	-	657	751	261	5,7

Tablo 4.18 Tip3 Enjeksiyon Memesi Araştırma Sonuçları

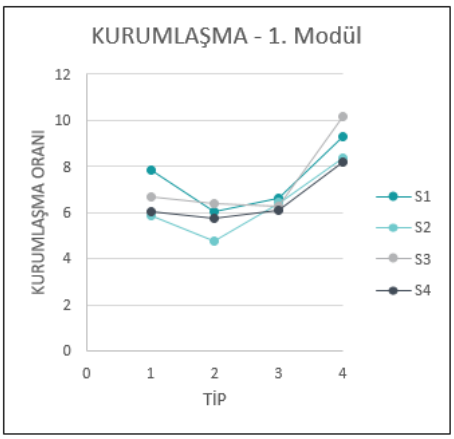
Silindir No	Tip No	Oturma bölgesi sertliği (HV)	Gövde sertliği (HV)	Silindir sıcaklıkları (TºC) THE injector	Kurumlaşma Oranı (%)
1	Tip3	659	736	332	6,61
2	Tip3	659	749	291	6,42
3	Tip3	659	744	216	6,26
4	Tip3	657	748	223	6,12
Ortalama	-	658	744	265	6,35

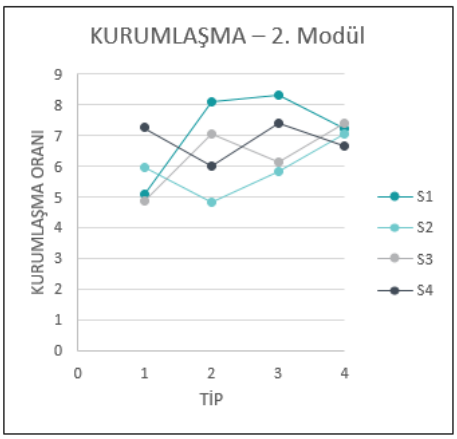
Tablo 4.19 Tip4 Enjeksiyon Memesi Araştırma Sonuçları

Silindir No	Tip No	Oturma bölgesi sertliği (HV)	Gövde sertliği (HV)	Silindir sıcaklıkları (TºC) THE injector	Kurumlaşma Oranı (%)
1	Tip4	646	726	232	9,29
2	Tip4	646	742	300	8,34
3	Tip4	647	739	358	10,16
4	Tip4	654	750	230	8,19
Ortalama	-	648	739	280	8,9

4.9.2 Modül1 veModül2 Kurumlaşma Değerlendirmesi

Modül2'de turbo arızası olduğundan ve parça değişimi gerektiğinden sıcaklıklar ve dolayısıyla kurumlaşma verileri etkilenmiş olabilir. Bu nedenle Modül2 hiçbir değerlendirmede kullanılmamıştır. Şekil 4.48'de Modül1 ve Modül2 kurumlaşma oranları arasındaki fark açık bir şekilde fark görülmektedir.





M1	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4
SİL1	7.83	6.05	6.61	9.29
SİL2	5.85	4.78	6.42	8.34
SİL3	6.7	6.37	6.26	10.16
SİL4	6.07	5.74	6.12	8.19

M2	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4
SİL1	5.11	8.09	8.31	7.24
SİL2	5.95	4.83	5.84	7.05
SİL3	4.86	7.06	6.13	7.4
SİL4	7.25	6.02	7.41	6.67

Şekil 4.48 Tipler Bazında Kurumlaşma Değerleri

Tablo 4.20'de Şekil 4.48'de gösterilen grafiklerin karşılaştırılması yapılmıştır.

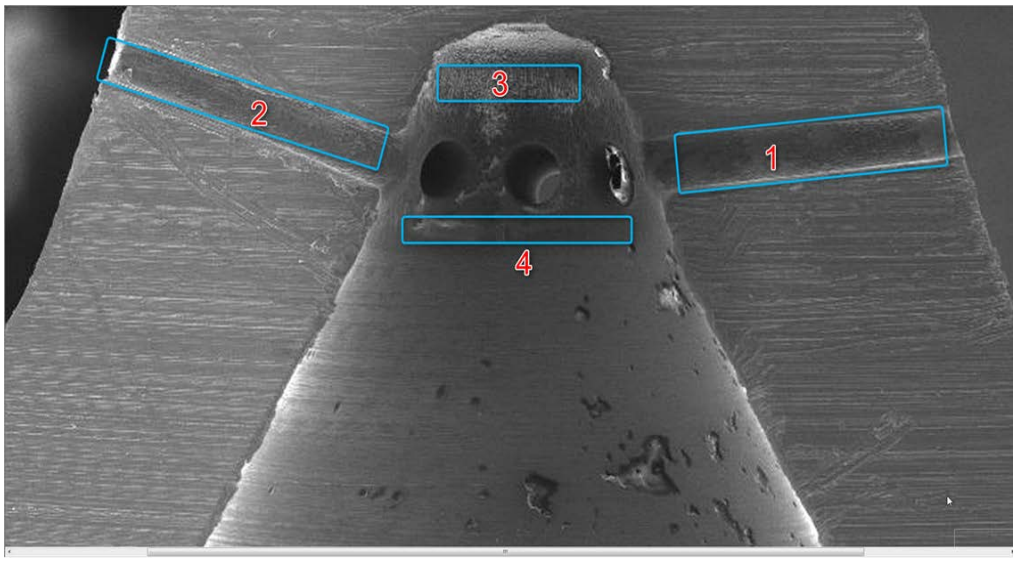
Tablo 4.20 Silindir Bazında Kurumlaşma Sonuçları

Silindir bazında tiplere göre kurumlaşma sıralaması		
	Modül 1	Modül 2
Tip1	S1>S3>S4>S1	S4>S2>S1>S3
Tip2	S3>S1>S4>S2	S1>S3>S4>S2
Tip3	S1>S2>S3>S4	S1>S4>S3>S2
Tip4	S3>S1>S2>S4	S3>S1>S2>S4

4.9.3 Modul3

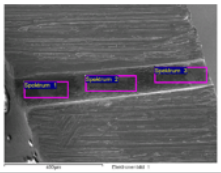
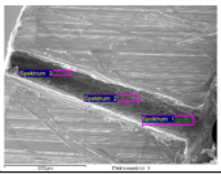
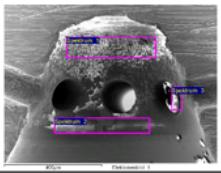
4.9.3.1 1. Test Değerlendirmesi

FTIR ve EDX analizleri şekil 4.49'da belirtilen bölgelerde alınmıştır.



Şekil 4.49 FTIR ve EDX Alınan Bölgelerin Gösterimi

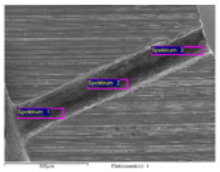
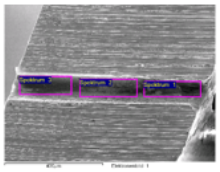
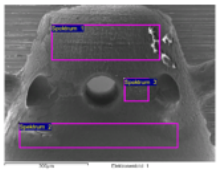
1. Silindirde yer alan Tip2 parçasının 1-2-3 ve 4 nolu bölgelerinde bulunan kalıntılar FTIR spektrofotometre ile incelenmiştir. FTIR spektrofotometre ile analizi yapılan kalıntılar malzeme kütüphaneleri ile karşılaştırılmış olup, kalıntı malzemesinin sülfat tipi bileşikler ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Sülfat tipi bileşikler kurumlaşmaya neden olmuş olabilir.

Bölge	Bölge Resmi	EDX Spektrumu	Elementler
1.Bölge		1	C, Fe, O, Zn, Ca, Mo, Cr, Ni, P
		2	C, O, Fe, Zn, Ca, Cr, S, Ni
		3	Fe, C, O, Zn, Ca, Cr, Ni, P, S
2.Bölge		1	C, O, Fe, Zn, Ca, P, S, Cr, W
		2	C, O, Fe, Zn, Ca, P, Cr, S, Ni
		3	C, O, Fe, Zn, Ca, Cr, P, Ni, S, Mn
3.Bölge		1	Fe, C, O, Cr, Ca, Zn
		2	O, Zn, Fe, C, Ca, P, S, Cr, Ni
		3	C, O, Fe, Zn, Ca, P, Cr, Ni, S

Şekil 4.50 1. Silindirde Yer Alan Tip2

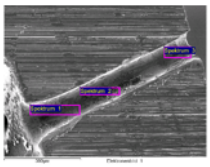
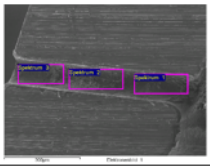
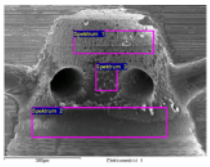
2. silindirde yer alan Tip3 parçasının 1 nolu bölgesinde bulunan kalıntılar FTIR spektrofotometre ile incelenmiştir. FTIR spektrofotometre ile analizi yapılan

kalıntılar malzeme kütüphaneleri ile karşılaştırılmış olup, kalıntı malzemesinin sülfat tipi bileşikler ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Sülfat tipi bileşikler kurumlaşmayı neden olmuş olabilir.

Bölge	Bölge Resmi	EDX Spektrumu	Elementler
1.Bölge		1	Fe, C, O, Zn, Ca, Cr, Ni ,P, S, Mn
		2	C, Fe, O, Zn, Ca, Cr, P, Ni, S, Mn
		3	C, Fe, O, Zn, Ca, Cr, Ni, S, P
2.Bölge		1	Fe, C, O, Cr, Zn, Ni, Ca
		2	Fe, C, O, Cr, Zn, Ni, Ca, Mn, P
		3	Fe, C, O, Zn, Cr, Ca, Ni, P, S
3.Bölge		1	Fe, C, O, Zn, Cr, Ca
		2	Fe, C, O, Zn, P, Ca, Cr, S, Ni
		3	O, C, Fe, Zn, Ca, S, P, Cr

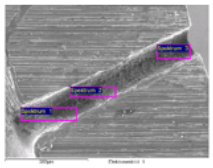
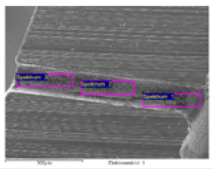
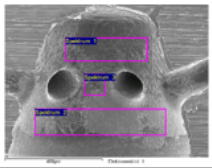
Şekil 4.51 2. Silindirde Yer Alan Tip3

3. silindirde yer alan tip4 parçasının 1 ve 4 nolu bölgelerde bulunan kalıntılar FTIR spektrofotometre ile incelenmiştir. FTIR spektrofotometre ile analizi yapılan kalıntılar yukarıda belirtilen malzeme kütüphaneleri ile karşılaştırılmış olup, kalıntı malzemesinin sülfat tipi bileşikler ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Sülfat tipi bileşikler kurumlaşmayı neden olmuş olabilir.

Bölge	Bölge Resmi	EDX Spektrumu	Elementler
1.Bölge		1	Fe, C, O, Cr, Zn, Ni ,Ca
		2	Fe, O, C, Zn, Cr, Ca, Ni, P, S
		3	Fe, C, O, Cr
2.Bölge		1	Fe, C, O, Zn, Cr, Ca, Ni, P, Mn
		2	Fe, C, O, Zn, Ca, Cr, Ni ,P, S
		3	Fe, C, O, Zn, Ca, Cr, Ni, P
3.Bölge		1	Fe, C, O, Ca, Cr, Zn, Ni, P
		2	Fe, C, O, Zn, P, Cr, Ni, Ca, Mn
		3	Fe, C, O, Zn, Na, Cr, Ca

Şekil 5.52 3. Silindirde Yer Alan Tip4

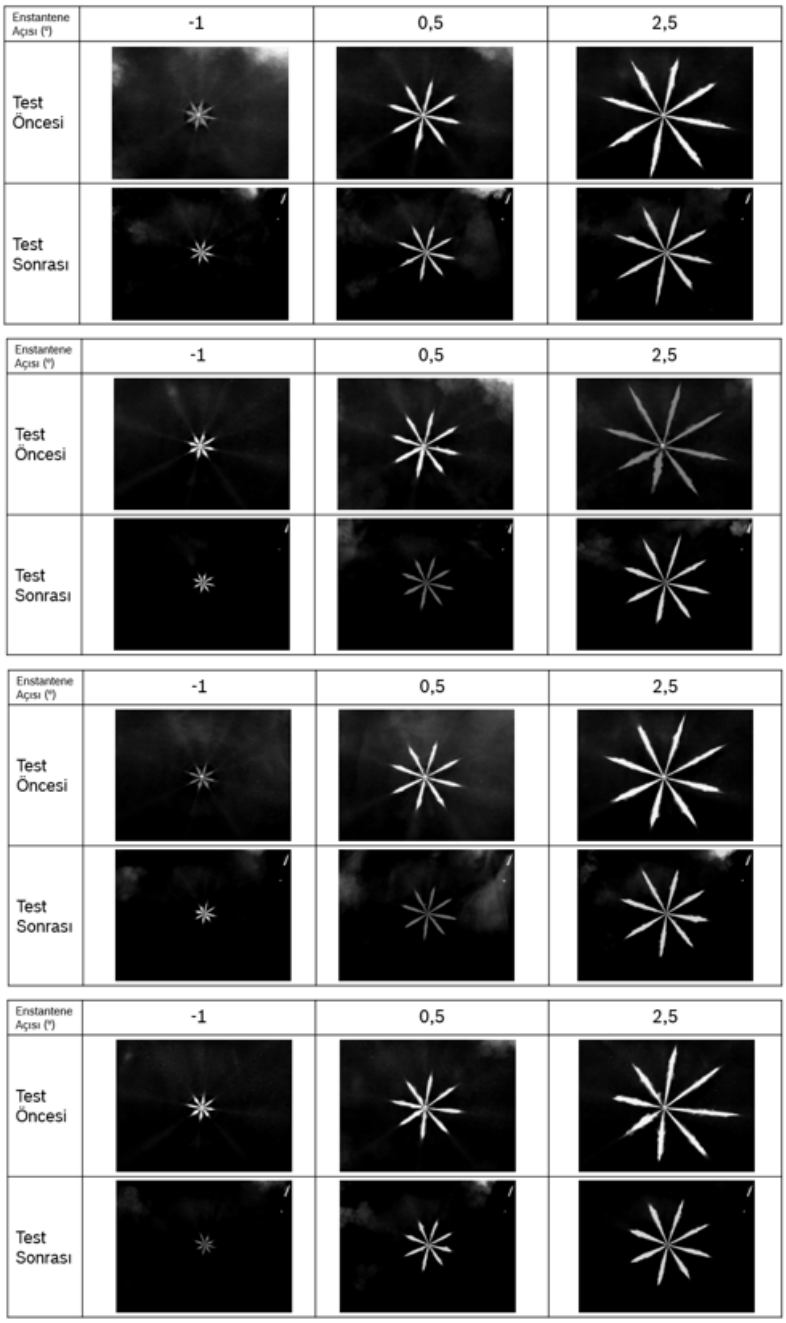
4. silindirde yer alan tip1 parçasının 1 ve 3 nolu bölgelerde bulunan kalıntılar FTIR spektrofotometre ile incelenmiştir. FTIR spektrofotometre ile analizi yapılan kalıntılar yukarıda belirtilen malzeme kütüphaneleri ile karşılaştırılmış olup, kalıntı malzemesinin sülfat tipi bileşikler ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Sülfat tipi bileşikler kurumlaşmayı neden olmuş olabilir. 4 nolu bölgeden sağlıklı spectrum alınamadığından inceleme yapılamamıştır.

Bölge	Bölge Resmi	EDX Spektrumu	Elementler
1.Bölge		1	Fe, C, O, Zn, Cr, Ca, Ni, P, Mn
		2	Fe, C, O, Zn, Cr, Ca, Ni, P
		3	C, O, Fe, Zn, Ca, P, Cr, S
2.Bölge		1	Fe, C, O, Zn, Ca, Cr, Ni, P, S
		2	Fe, C, O, Zn, Cr, Ca, Ni, P, Mn, S
		3	Fe, C, O, Zn, Ca, Cr, Ni, P, S
3.Bölge		1	Fe, C, O, Zn, Ca, Cr
		2	Fe, C, O, Zn, Cr, Ni, P, Mn, S
		3	Fe, C, O, Zn, Cr, Ni, Ca, P

Şekil 4.53 4. Silindirde Yer Alan Tip1

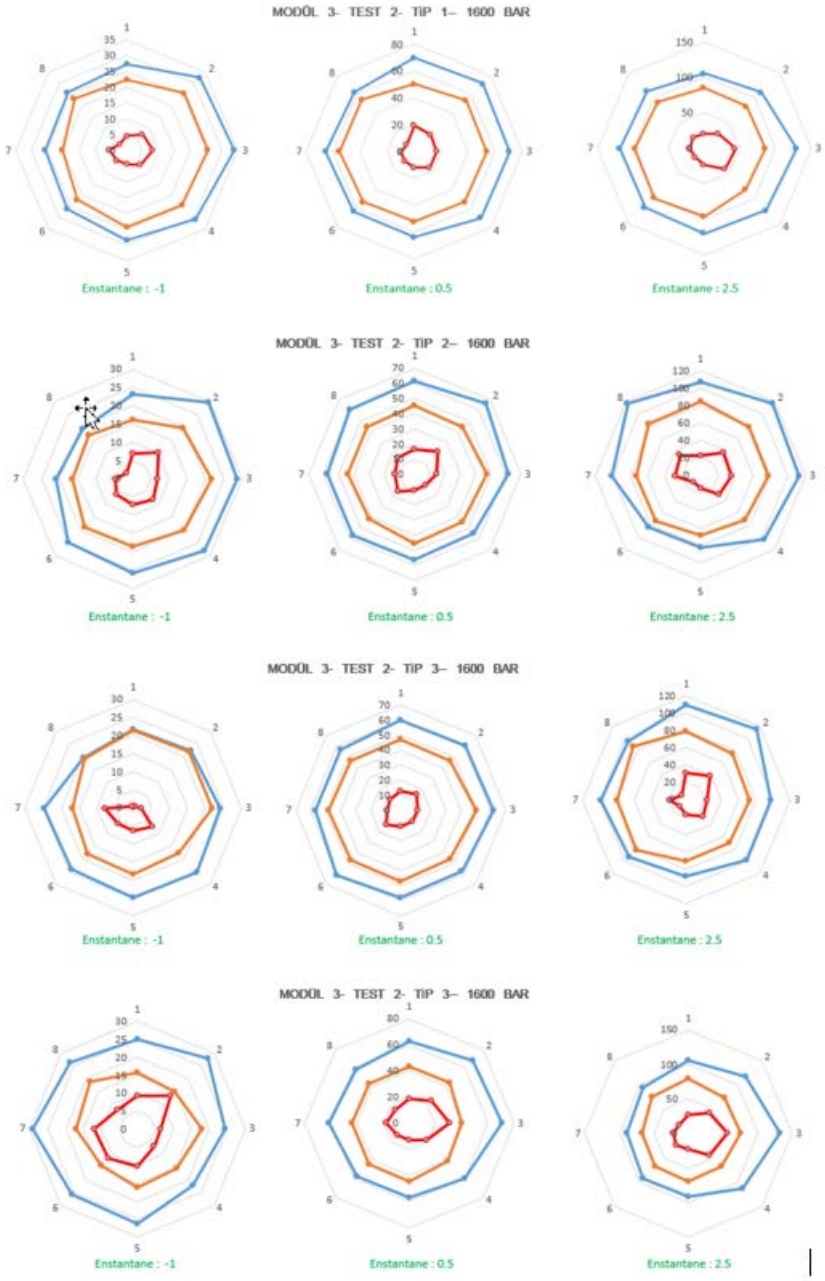
4.9.3.2 2. Test Değerlendirmesi

Bu çalışmanın amacı yüksek hızlı kamera vasıtasıyla, farklı enstantane açıları kullanarak kurumlaşmanın püskürtme demeti üzerine olan etkisini incelemektir. Kurumlaşmanın en fazla etkin olduğu nokta yüksek basınç olduğu için 1600 Bar'da fotoğraflamalar yapılmıştır.



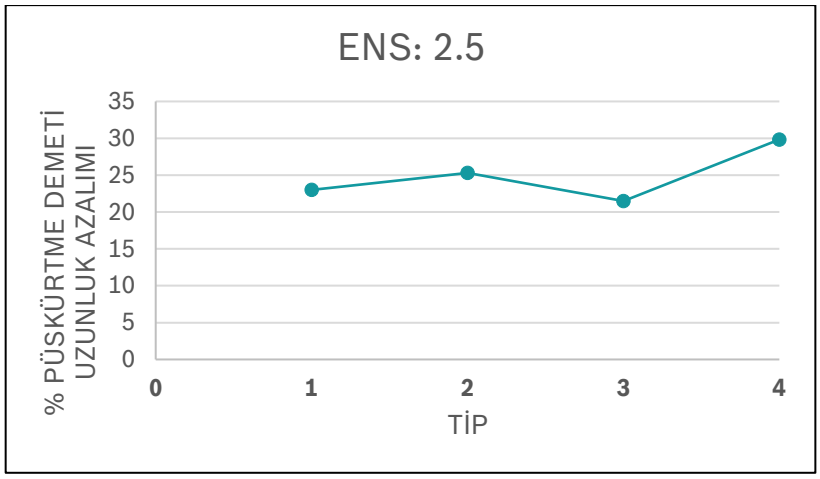
Şekil 4.54 Yüksek Hızlı Kamera Resimleri, Sırasıyla Tip1, Tip2, Tip3, Tip4

Püskürtme demeti görsellerini incelendiğinde tipler arasındaki fark belirgin değildir. Farkı daha iyi anlamak için ölçeklendirme metodu kullanılmıştır. Şekil 4.55'teki görselde kullanılan ölçeklendirmedeki renkler; mavi renk test öncesi, turuncu renk test sonrası, kırmızı renk test öncesi ve sonrası farkı temsil etmektedir.



Şekil 4.55 Yüksek Hızlı Kamera Resimlerinin Ölçeklendirme Değerlendirmesi

Ölçeklendirme neticesinde en az püskürtme demeti uzunluk azalması Tip3'te gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak kurumlaşmadan en az etkilenen Tip3 olduğu gözüküyor. Ancak diğer tiplerin de hemen hemen benzer değerlerde olduğu söylenebilir.



Şekil 4.56 Püskürtme Demeti Uzunluk Farkının Tiplere Göre Değişimi

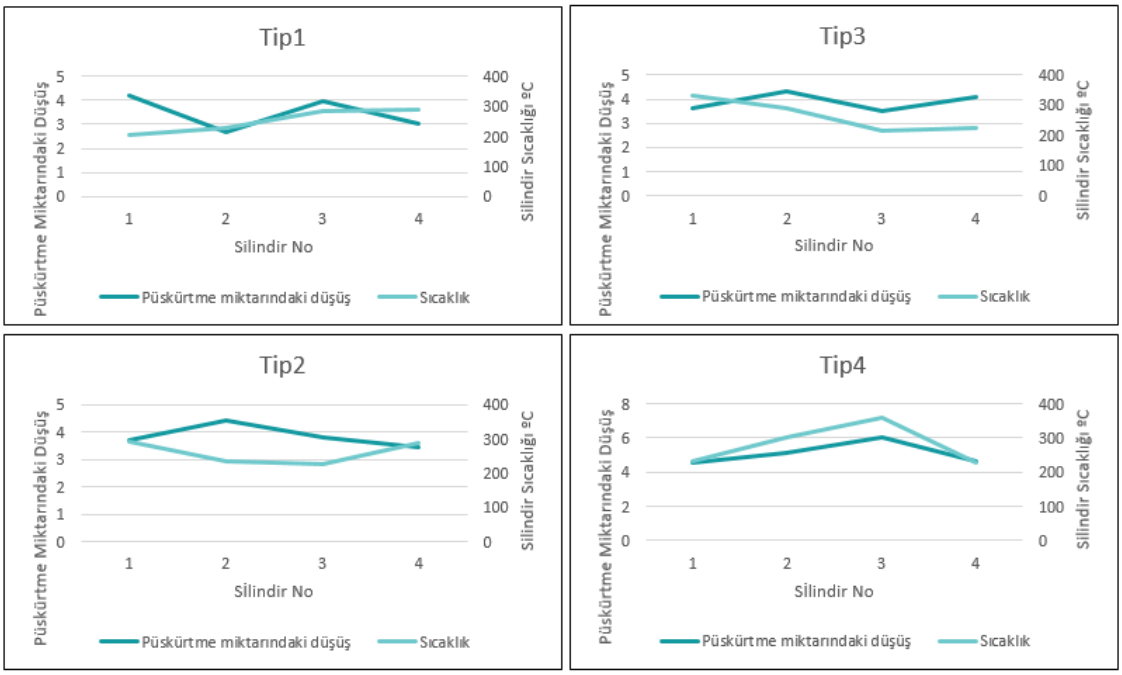
4.9.4 Modül4

Her tipin hangi silindirde kaç derece sıcaklık oluşturduğunu bulmak ve bu sıcaklık verileri ile kurumlaşma miktarları arasında ilişki kurabilmek için yapılmıştır. Tablo 4.21'de gösterilen sıcaklık değerleri test boyunca görülen en yüksek sıcaklık değerleridir.

Tablo 4.21 Tiplerin Farklı Silindirlerdeki Sıcaklık Değerleri

4. Modül Silindir Sıcaklıkları (ºC) Termoelement				
TEST	**SİLİNDİR 1**	**SİLİNDİR 2**	**SİLİNDİR 3**	**SİLİNDİR 4**
1	Tip1: 207	Tip2: 233	Tip3: 216	Tip4: 230
2	Tip4: 232	Tip1: 226	Tip2: 226	Tip3: 223
3	Tip3: 332	Tip4: 300	Tip1: 284	Tip2: 289
4	Tip2: 294	Tip3: 291	Tip4: 358	Tip1: 288

Modül4'ten elde edilen sıcaklık değerleri ile Modül1'den elde edilen kurumlaşma oranları karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.57 Sıcaklık ve Kurumlaşma Miktarı Arasındaki İlişki

Şekil 4.57'den anlaşılacağı üzere sıcaklık ve kurumlaşma arasında bir ilişki kurulamamıştır.

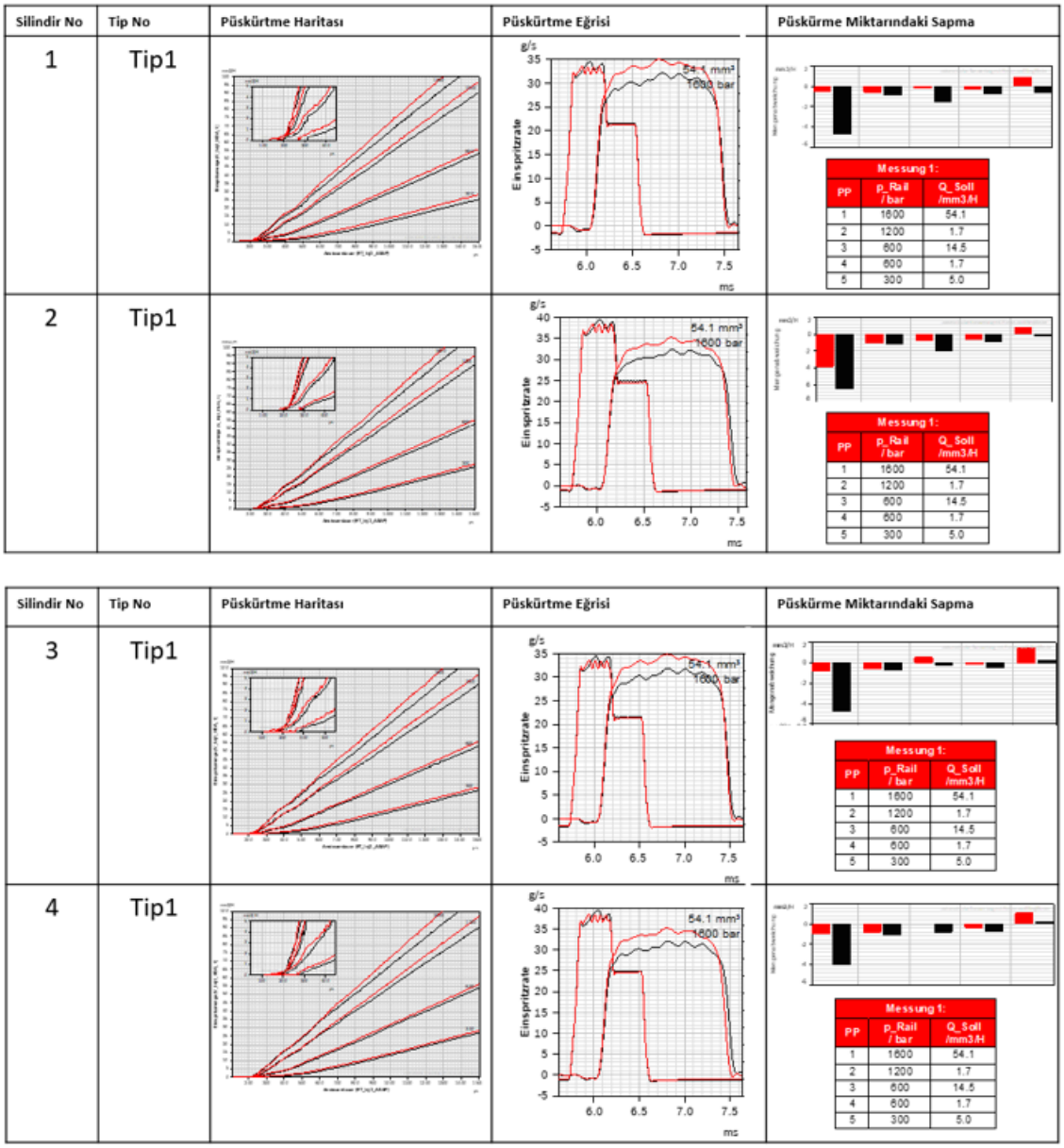
4.9.5 Modül5

Enjeksiyon memesindeki kurumlaşmanın tüm enjektör hidrolik değerlerine etkisini görmek için yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda aşağıdaki veriler incelenmiştir.

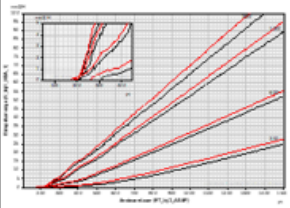
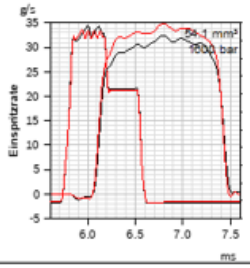
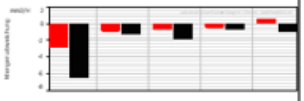
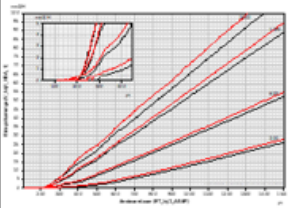
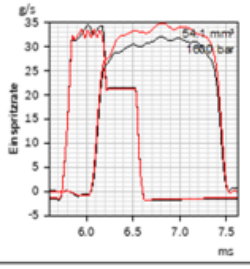
Püskürtme Hartiası: Farklı basınç noktalarında ve tetikleme sürelerinde püskürtme miktarını gösterir.

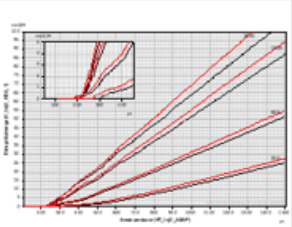
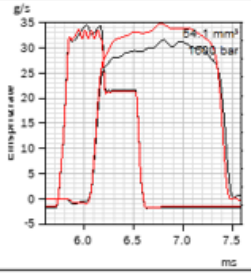
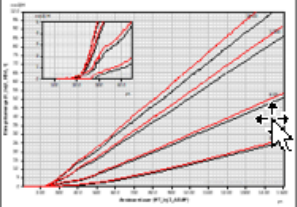
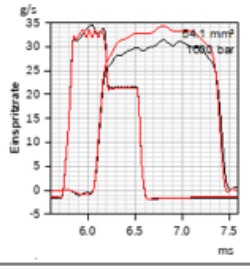
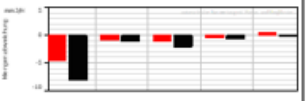
Püskürtme Eğrisi: Belirli basınç ve tetikleme sürelerinde püskürtme davranışındaki değişimi gösterir.

Püskürtme Miktarındaki Sapma: Farklı basınç ve tetikleme sürelerinde sabitlenen püskürtme miktarlarından sapmayı gösterir.

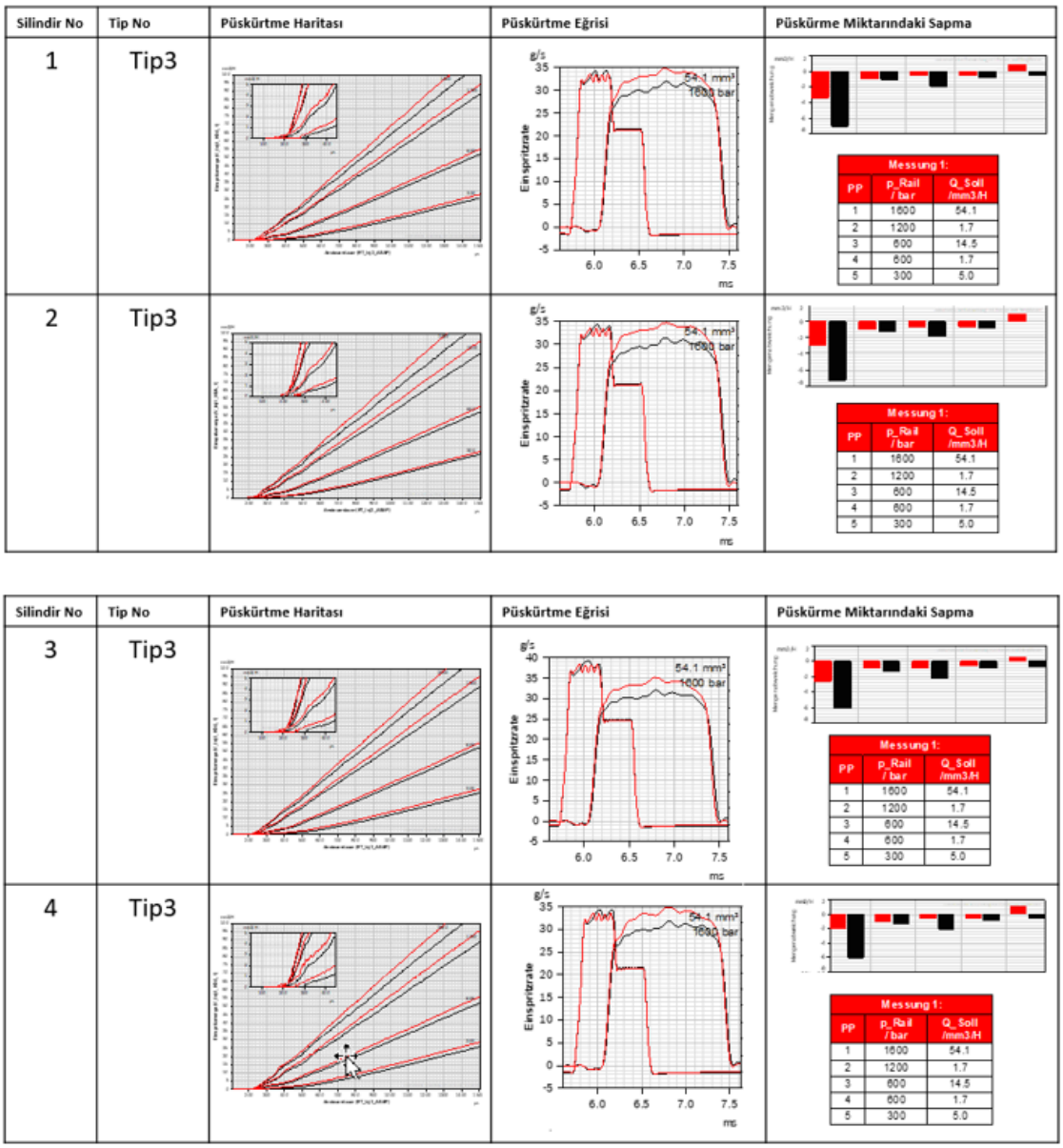


Şekil 4.58 Tip1'e Ait Püskürtme Haritası, Püskürtme Eğrisi, Püskürtme Miktarlarında Sapma Grafikleri

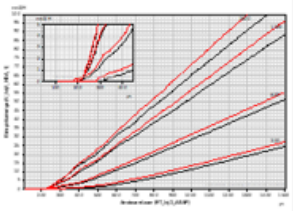
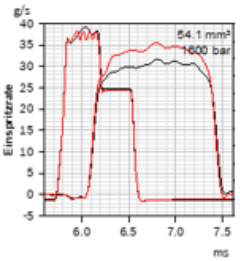
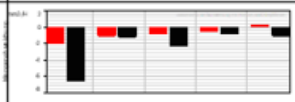
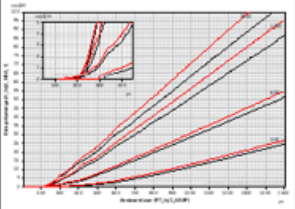
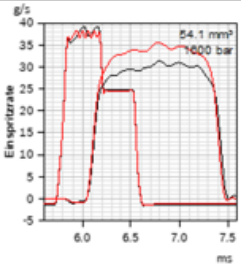
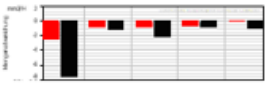
Silindir No	Tip No	Püskürtme Haritası	Püskürtme Eğrisi	Püskürme Miktarındaki Sapma
1	Tip2			 Messung 1: PP / p_Rail / bar / Q_Soll /mm3/H: 1: 1600 / 54.1; 2: 1200 / 1.7; 3: 600 / 14.5; 4: 600 / 1.7; 5: 300 / 5.0
2	Tip2			 Messung 1: PP / p_Rail / bar / Q_Soll /mm3/H: 1: 1600 / 54.1; 2: 1200 / 1.7; 3: 600 / 14.5; 4: 600 / 1.7; 5: 300 / 5.0

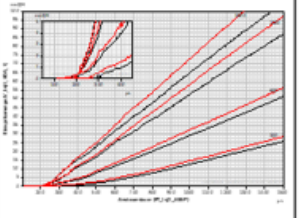
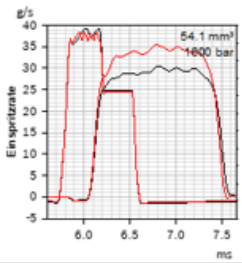
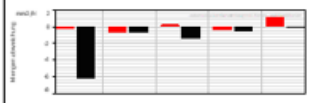
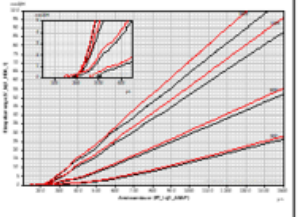
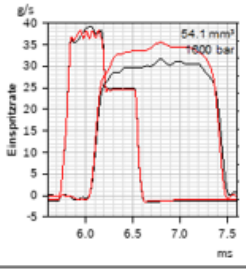
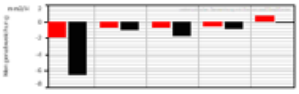
Silindir No	Tip No	Püskürtme Haritası	Püskürtme Eğrisi	Püskürme Miktarındaki Sapma
3	Tip2			 Messung 1: PP / p_Rail / bar / Q_Soll /mm3/H: 1: 1600 / 54.1; 2: 1200 / 1.7; 3: 600 / 14.5; 4: 600 / 1.7; 5: 300 / 5.0
4	Tip2			 Messung 1: PP / p_Rail / bar / Q_Soll /mm3/H: 1: 1600 / 54.1; 2: 1200 / 1.7; 3: 600 / 14.5; 4: 600 / 1.7; 5: 300 / 5.0

Şekil 4.59 Tip2'ye Ait Püskürtme Haritası, Püskürtme Eğrisi, Püskürtme Miktarlarında Sapma Grafikleri



Şekil 4.60 Tip3'e Ait Püskürtme Haritası, Püskürtme Eğrisi, Püskürtme Miktarlarında Sapma Grafikleri

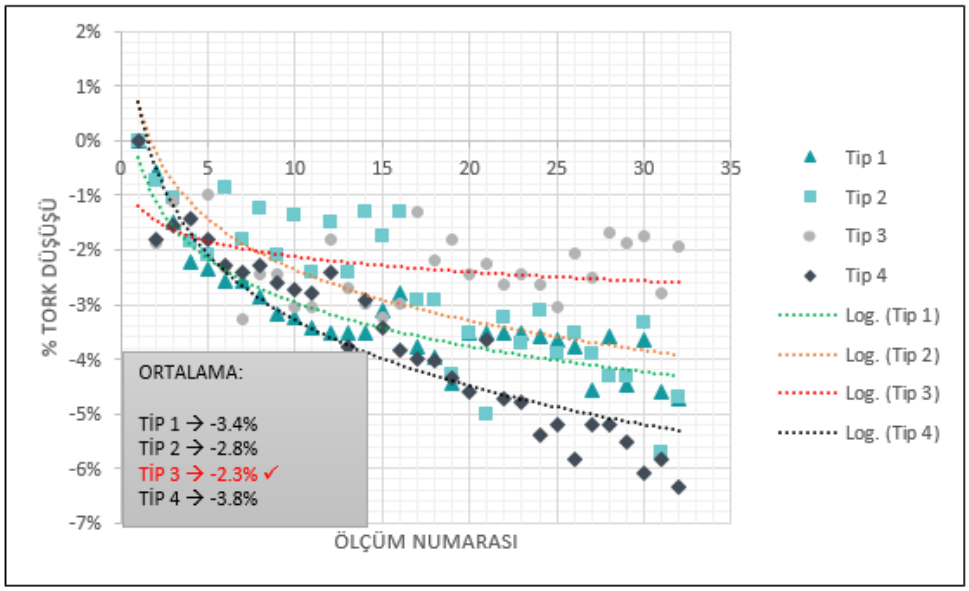
Silindir No	Tip No	Püskürtme Haritası	Püskürtme Eğrisi	Püskürme Miktarındaki Sapma
1	Tip4			 Messung 1: PP | p_Rail / bar | Q_Soll /mm3/H 1 | 1600 | 54.1 2 | 1200 | 1.7 3 | 600 | 14.5 4 | 600 | 1.7 5 | 300 | 5.0
2	Tip4			 Messung 1: PP | p_Rail / bar | Q_Soll /mm3/H 1 | 1600 | 54.1 2 | 1200 | 1.7 3 | 600 | 14.5 4 | 600 | 1.7 5 | 300 | 5.0

Silindir No	Tip No	Püskürtme Haritası	Püskürtme Eğrisi	Püskürme Miktarındaki Sapma
3	Tip4			 Messung 1: PP | p_Rail / bar | Q_Soll /mm3/H 1 | 1600 | 54.1 2 | 1200 | 1.7 3 | 600 | 14.5 4 | 600 | 1.7 5 | 300 | 5.0
4	Tip4			 Messung 1: PP | p_Rail / bar | Q_Soll /mm3/H 1 | 1600 | 54.1 2 | 1200 | 1.7 3 | 600 | 14.5 4 | 600 | 1.7 5 | 300 | 5.0

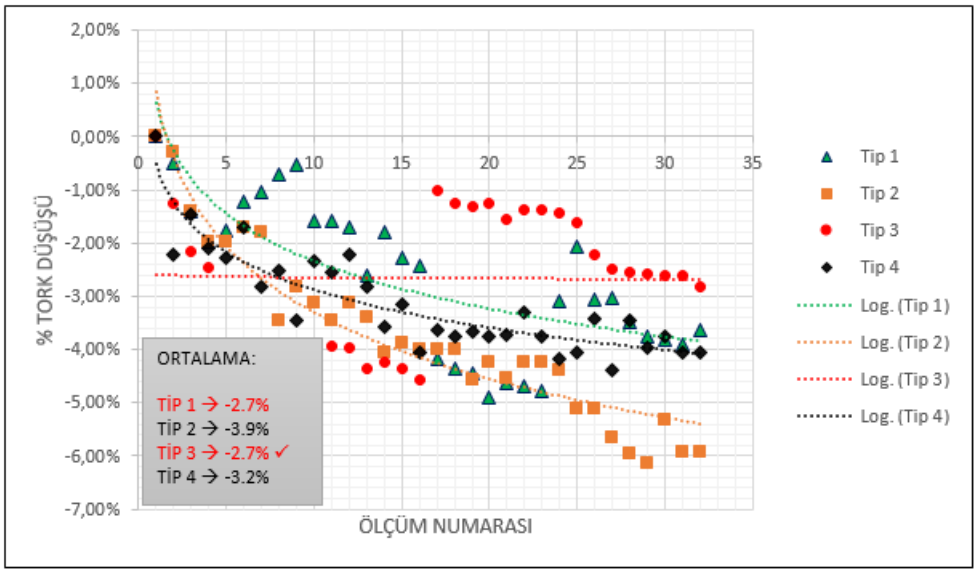
Şekil 4.61 Tip4'e Ait Püskürtme Haritası, Püskürtme Eğrisi, Püskürtme Miktarlarında Sapma Grafikleri

4.10 Tork Değerlendirmesi

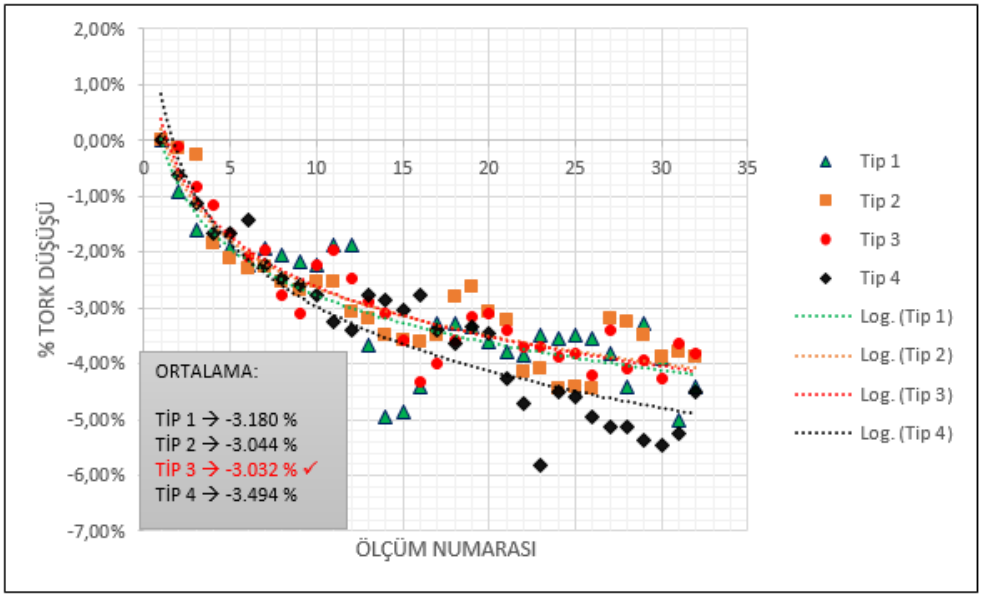
Püskürtme miktarının motor performansına etkisini incelemek için zaman içersinde değişen motor tork değerleri incelenmiştir. Tork düşüşü değerleri Modül1, Modül2 ve Modül5'te planlanan testlerden elde edilmiştir.



Şekil 4.62 Modül1 Tork Düşüşü Değerleri



Şekil 4.63 Modül2 Tork Düşüşü Değerleri



Şekil 4.64 Modül5 Tork Düşüşü Değerleri

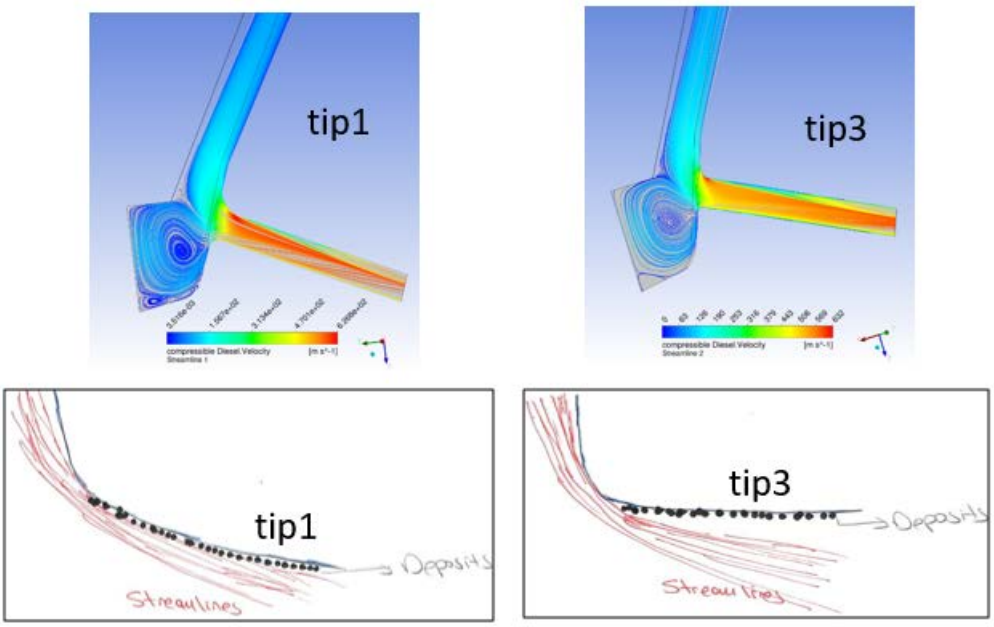
Motor ölçüm sonuçlarına göre en az tork düşüşü Tip3'te gözlemlenmiştir.

5
Sonuç ve Öneriler

Simulasyon ve deneysel çalışmanın ardından bazı hipotezler geliştirilmiştir.

Hipotez1:

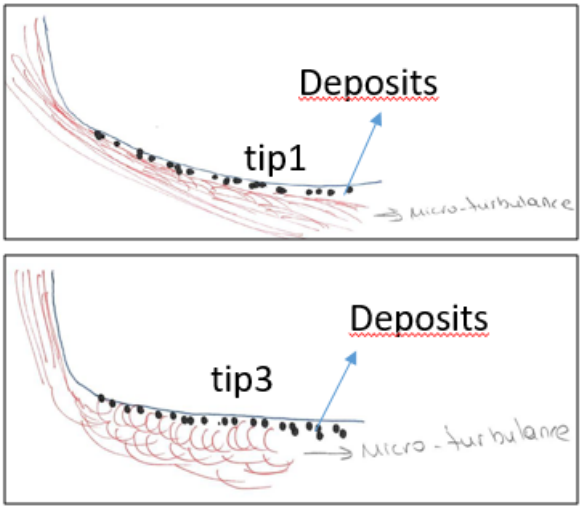
Etkin ve hızlı akış, Tip3 geometrisinde delik çeperlerine fazla temas etmeden ilerlediği için, bu bölgede oluşan kurum etkin akışı etkilemeyecektir. Ancak Tip1'de bu etkin akış tüm delik boyunca etkin olduğundan dolayı kurum, püskürtme miktarlarını düşürebilir.



Şekil 5.1 Hipotez1 Ait Delik İçi Akış Gösterimi

Hipotez2:

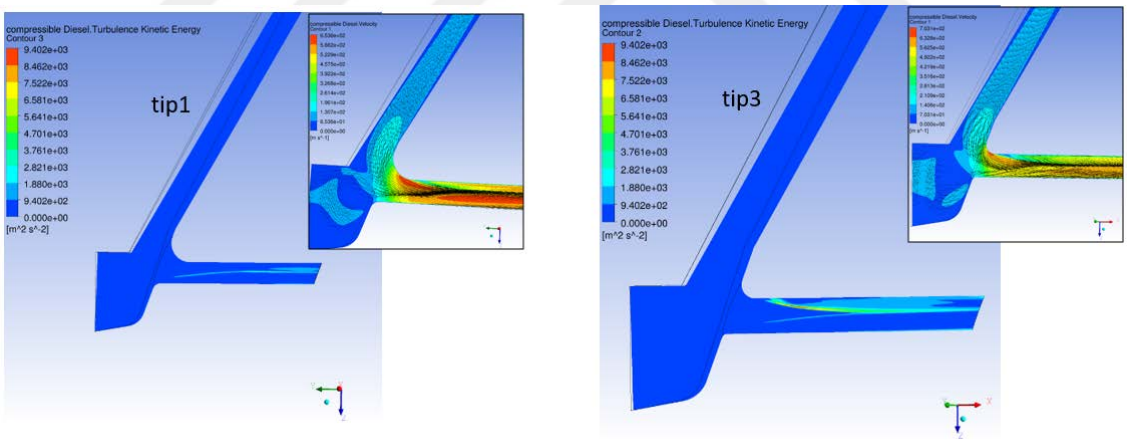
Silindirik forma yakın k-faktör 0,5 oranında konikliğe sahip Tip3 geometrisinde, düşük koniklikten dolayı mikro-türbülans ihtimali fazla olacaktır. Bu etki yüzeyden kurumları sökücü bir etki olarak kendini gösterebilir.



Şekil 5.2 Hipotez2 Ait Delik İçi Mikro Türbülans Gösterimi

Hipotez3:

TKE modeline göre Tip3 tasarımına ait duvardaki kayma gerilimleri diğerlerine nazaran daha fazladır. Tip3 geometrisinde oluşan yoğun kayma gerilimleri kurumların oluşumunu engelleyebilir.



Şekil 5.3 Hipotez2 Ait Delik İçi Kayma Gerilimleri Gösterimi

Modül1 ve Modül2 testleri, memelerdeki kurumlaşma oranını tip bazında saptamak için gerçekleştirilmiştir.

- Modül1'in kurumlaşma sonuçlarına göre Tip3, Tip1 ve Tip2 arasında bir davranış göstermektedir. Bazı noktalarda Tip3'ün kurumlaşma oranı referans

enjeksiyon memesine (Tip2) yakın değerler göstermiştir. En çok kurumlaşma Tip4'te meydana gelmiştir. (TİP4 > TİP1> TİP3> TİP2)

- Kurumlaşma oranları ve püskürtme miktarı düşüşleri ile silindir sıcaklıkları kıyaslandığında belirgin bir korelasyon yakalanmamıştır. Silindirler arası sıcaklık farklılıklarının kurumlaşma davranışını ciddi ölçüde etkilemediği gözlemlenmiştir.
- Püskürtme geometrileri incelendiğinde, Tip3 tipinde, püskürtme demeti uzunluklarında daha az kısalma olduğu ölçülmüştür. Kurumlaşma Tip3 tipinin püskürtme formunu daha az etkilemiş olabilir.
- Artan kurumlaşma beklenildiği gibi enjektör püskürtme miktarlarında bir azalmaya neden olmaktadır.
- Tip3 tüm modüllerde en az tork düşüşünü gösteren delik geometrisidir.
- Tip4'te görüldüğü üzere, delik girişlerinde yuvarlatmanın artması kurumlaşma miktarlarını arttırmakta, püskürtme miktarlarını düşürmekte, püskürtme demeti uzunluklarını belirgin miktarlarda kısaltmakta ve motorun torkunu olarak azaltmaktadır.

Kaynakça

[1] Cakir, E. (2007) "Dizel motorunun gerçek çevrimi ve piston-biyel mekanizmasının kinematik, dinamik ve mukavemet hesaplarının matematik modellenmesi" Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[2] Car Engineer, http://www.car-engineer.com/engine-strokes-definition, 14 Ocak 2013.

[3] Montanaro, A. ve Allocca, L. "Impact of the Nozzle Coking on Spray Formation for Diesel Injectors, Technical Report" 2013-01-2546, SAE, 2013.

[4] Bruno, A., Stephan, D., Grosjean, P. G. L., Levy F., Alexandre, M. and Passerel, D. "Influence of injector nozzle design and cavitation on coking phenomenon, Technical Report" 2007-01-1896, SAE, 2007.

[5] Robert BOSCH Group GmbH, "Automotive Handbook", 6th Edition, 2010.

[6] Diesel Net, https://www.dieselnet.com/tech/diesel_fi_common-rail.php, Mayıs 2015.

[7] Tschöke, H. (1999) "The Fuel Injection System", Soceity of Automotive Engineers International Textbook Co., Scranton, Pennsylvania, 3rd Edition.

[8] Bey, E. ve Böge, A. C. " Dizel Sistemlerde Emisyon, Enjektör Memesi Örneği", Mühendis ve Makine Cilt 48 Sayı 568.

[9] Temizkan, Ö. (2012) "Dizel Enjektörlerde EDM Yöntemi İle Farklı Koşullarda Delinen Püskürtme Deliklerinin Yüzey Özellikleri ve İç Yapılarının İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[10] N. N. "Bosch Dieselmotor-Management, 4. Auflage", ISBN 3-528-23873-9, Vieweg, 2004.

[11] Lepperhoff, G., Houben, M. "Mechanisms of deposit formation in internal combustion engines and heat exchangers, Technical Report" 931032, SAE, 1993.

[12] Tang, J., Pischinger, S., Lamping, M., Körfer, T., Tatur, M. ve Tomazic, D. "Coking Phenomena in Nozzle Orifices of DI-Diesel Engines, Technical Report", 2009-01-0837 SAE 2009, pp259-272.

[13] Ikemoto, M., Omae, K., Nakai, K., Ueda, R., Kakehashi, N. and Sunami, K. "Injection Nozzle Coking Mechanism in Common Rail Diesel Engine, Technical Report", 2011-01-1818, SAE 2011, pp78-87.

[14] Napolitano, P., Guido, C., Beatrice, C. ve Ciaravino, C. "Analysis of Nozzle Coking Impact on Emissons and Performance of a Euro5 Automotive Diesel Engine, Technical Report" 2013-24-0127, SAE, 2013.

[15] Winterbone, D. E., Clough, E., Rao, K. K. “Effect of DI-nozzle fouling on fuel spray characteristics, Technical Report” 922232, SAE, 1992.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Veyzat GAZİ

Doğum Tarihi ve Yeri :13.02.1988, Borino

Yabancı Dili :İngilizce

E-posta :veyzatgazi@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Y. Lisans	Makine Müh.	Yıldız Teknik Üni.	2019
Lisans	Makine Müh.	Yıldız Teknik Üni.	2010
Lise	Fen Bilimleri	Bursa Anadolu Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2011	Bosch Sanayi ve Ticaret A.S.	Geliştirme Mühendisi