



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİZEL MOTORLARDA MEME GEOMETRİSİNİN ENJEKTÖR PÜSKÜRTME
KARAKTERİSTİĞİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Osman ÖZTÜRK

Prof. Dr. A. Alper ÖZALP
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2015

TEZ ONAYI

Osman Öztürk tarafından hazırlanan “Dizel Motorlarda Meme Geometrisinin Enjektör Püskürtme Karakteristiğine Etkilerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. A. Alper ÖZALP

Başkan :	Prof. Dr. İhsan KARAMANGİL U.Ü. Müh. Fakültesi, Otomotiv Müh. Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Prof. Dr. A. Alper ÖZALP U.Ü. Müh. Fakültesi, Mak. Müh. Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Yrd. Doç. Dr. M. Özgün KORUKÇU U.Ü. Müh. Fakültesi, Mak. Müh. Anabilim Dalı	İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR
Enstitü Müdürü
.././....(Tarih)

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

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

beyan ederim.

.././.....

İmza

Osman ÖZTÜRK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİZEL MOTORLARDA MEME GEOMETRİSİNİN ENJEKTÖR PÜSKÜRTME KARAKTERİSTİĞİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Osman ÖZTÜRK

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. A. Alper ÖZALP

Otomotiv endüstrisinde gün geçtikçe emisyon değerlerine getirilen sınırlamalar önemli derecede artmaktadır. Bundan dolayı emisyon değerlerini düşürmek için, içten yanmalı motor üreticileri daha iyi bir yakıt karışımı oluşturma ve yanma proseslerini iyileştirebilmek için sürekli çalışmalar yapmaktadır. Dizel sistemlerde emisyon değerleri direk olarak yakıt enjeksiyon sistemleri ile ilgilidir. Yakıt enjeksiyon sistemlerinin en önemli parçalarından biri enjektör memeleridir. Enjektör memeleri; püskürtme karakteristikleri, atomizasyon ve emisyon üzerindeki etkilerinden dolayı dizel sistemlerin en önemli parçasıdır. Enjektör memelerinin tasarımının ve püskürtme karakteristiklerinin daha iyi anlaşılabilmesi için meme iç akışının çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada enjektör memesinin iç akışını CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) programı yardımıyla analiz edilmiştir. Ayrıca meme geometrisinin enjektör püskürtme karakteristiklerine etkisi test cihazlarında analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dizel enjektör memesi, meme iç akışı, hesaplamalı akışkanlar dinamiği

2015, x + 58 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

EFFECTS OF NOZZLE GEOMETRY TO THE INJECTOR SPRAY CHARACTERISTIC IN DIESEL ENGINE

Osman ÖZTÜRK

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. A. Alper ÖZALP

Restrictions imposed on the automotive industry emissions significantly increasing day by day . Therefore to reduce emissions of internal combustion engine manufacturers to create a better fuel mixture and combustion is working constantly to improve the processes . Diesel fuel injection systems directly related to emissions systems. One of the most important parts of fuel injection systems injector nozzles. Nozzles are the most important part of the diesel systems due to the effects on spray characteristics, atomization and emissions. For better understanding of the design of injector nozzles and spray nozzle internal flow characteristics must be known very well. In this study, internal flow of the injector nozzle is analyzed by using the CFD (Computational Fluid Dynamics) program . Also the effect of injector nozzle geometry to spray characteristic were analyzed by test devices.

Keywords: Diesel injector nozzle, nozzle internal flow, Computational Fluid Dynamics

2015, x + 58 pages.

TEŞEKKÜR

Tezimin bu aşamaya ulaşmasını sağlayan ve tezimin her aşamasında desteğini ve görüşlerini benden esirgemeyen saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. A. Alper **ÖZALP**'e, projenin teknik verilerinin elde edilmesine yardımcı olan **Bosch Sanayi ve Ticaret A.Ş**'ye ve tez süresi boyunca bana gösterdikleri sabır ve destek için aileme çok teşekkür ederim.

Osman Öztürk

09/03/2015

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Kuramsal Temeller.....	6
2.1.1. Bir boyutlu meme modeli (kavitasyonlu).....	6
2.2. Enjektör.....	10
2.2.1. Dizel motorlarının tarihi.....	10
2.2.2. Enjektörün yapısı.....	11
2.2.3. Enjektörün çalışması.....	12
2.2.4. Enjektör meme geometrisi.....	13
2.2.4.1. Enjektör meme tipleri.....	14
2.2.4.2. Enjektör memesi püskürtme deliğinin konikliği.....	15
2.2.5. Hidrolik debiyi etkileyen faktörler.....	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Materyal.....	19
3.2. Yöntem.....	19
3.2.1. Hidrolik debi ölçüm cihazı.....	19
3.2.2. Açma basıncı ölçüm cihazı.....	22
3.2.3. Hesaplamalı akışkanlar mekaniği.....	25
3.2.4. Akış simülasyonu.....	26
3.2.4.1. Matematiksel model.....	26
3.2.4.2. Geometri ve mesh hazırlama.....	28
3.2.4.3. Sınır şartlar.....	33
3.2.4.4. Test yağı (ISO 4113).....	34

4. BULGULAR.....	36
4.1. CFD Modelin Analizi.....	36
4.2. Model ile Test Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	38
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	47
6. KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	58

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
A	Meme püskürtme deliği kesit alanı (m ²)
A _c	Kısılma bölgesi alanı (m ²)
C _c	Kısılma katsayısı
C _d	Boşaltım katsayısı
D _{çıkış}	Meme püskürtme deliği çıkış çapı (μm)
D _{giriş}	Meme püskürtme deliği giriş çapı (μm)
K	Kavitasyon katsayısı
k	Birim kütledeki türbülans kinetik enerjisi (m ² /s ²)
m	Kütleli debi (kg/s)
P	Basınç (Pa)
P _k	Türbülans kayma gerilmesi (Pa)
P ₁	Yukarı akım akışın basıncı (Pa)
P ₂	Aşağı akım basıncı (Pa)
P _v	Sıvının buhar basıncı (Pa)
r _α	Hacimsel faz sabiti
Š _α	Faz transferi kütleli debisi (kg/s)
t	Zaman (s)
V _c	Kısılma bölgesindeki akış hızı (m/s)
μ	Dinamik viskozite (kg/(s m))
μ _t	Türbülans viskozitesi (kg/(s m))
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
ρ _α	Faz yoğunluğu (kg/m ³)
τ _{ij}	Gerilim tensör bileşeni (Pa)
σ	Yüzey gerilim katsayısı (m ³ /s ²)
σ _k	K denklemi için türbülans model sabiti
σ _ω	k – ω türbülans model sabiti
ω	Türbülans frekansı (1/s)

Kısaltmalar	Açıklama
CAD	Computer Aided Design
CFD	Computational Fluid Dynamics
DLLA	Sacklochdüse(alm.) : Deliklerin kör delik kısmında olduğu tip
DSLÄ	Sitzlochdüse (alm.) : Deliklerin oturma yüzeyinde olduğu tip

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Bir boyutlu meme modeli gösterimi.....	6
Şekil 2.2. Boşaltım katsayısının kavitasyon katsayısına bağlı grafiği. (Deneysel veriler) Schmidt(1997).....	9
Şekil 2.3. Tek silindirli sabit dizel motoru, 1906 yapımı.....	10
Şekil 2.4. Enjektörün Bölümleri.....	11
Şekil 2.5. Enjektörün Çalışması.....	13
Şekil 2.6. Enjektör Meme Geometrisi.....	14
Şekil 2.7. Seat Hole Nozzle.....	15
Şekil 2.8. Sac Hole Nozzle.....	15
Şekil 2.9. Koniklik açısı parametreleri.....	16
Şekil 2.10. HE işlemi öncesi ve sonrası.....	16
Şekil 2.11. Enjektör memesinde kavitasyon kaynaklı tahribat.....	17
Şekil 2.12. Enjektör memesinde oluşan korozyon kaynaklı bozulmalar.....	17
Şekil 2.13. Enjektör püskürtme deliğindeki partikül izleri.....	18
Şekil 3.1. Q-Hidrolik test cihazı.....	20
Şekil 3.2. Yüksek basınç pompası.....	21
Şekil 3.3. Basınç düzenleyicisi.....	21
Şekil 3.4. Isı pompası.....	22
Şekil 3.5. Açma basıncı ölçümü.....	23
Şekil 3.6. Fonksiyon test cihazı.....	24
Şekil 3.7. Açma basıncı ölçüm sonucu.....	24
Şekil 3.8. Püskürtme deliği 0,25mm olan akış modeli.....	28
Şekil 3.9. ICEM CFD14.0 programında Model yüzeyleri.....	29
Şekil 3.10. ICEM CFD14.0 programında FLUID Model yapısı.....	30
Şekil 3.11. ICEM CFD14.0 programında Modelin blok yapısı.....	30
Şekil 3.12. ICEM CFD14.0 programında Modelin blok yapısı.....	31
Şekil 3.13. ICEM CFD14.0 programında Modelin blok yapısı.....	31
Şekil 3.14. ICEM CFD14.0 programında Mesh atılması.....	32
Şekil 3.15. ICEM CFD14.0 programında Mesh Modeli.....	32

Şekil 3.16. ICEM CFD14.0 programında Mesh Modeli.....	33
Şekil 3.17. CFX14.0 programında Model Analizi.....	33
Şekil 3.18. CFX-Pre 14.0 programında Model Analizi.....	34
Şekil 4.1. CFX-Solver Manager 14.0 programında model analizi.....	36
Şekil 4.2. CFX-Post 14.0 programında hız analizi.....	37
Şekil 4.3. CFX-Post 14.0 programında basınç analizi.....	38
Şekil 4.4. Zeiss O-Inspect 3D Koordinat ölçüm cihazı.....	42
Şekil 4.5. Uç kısmı taşlanmış meme resmi.....	43
Şekil 4.6. Meme püskürtme deliği giriş radius değerinin ölçümü.....	43
Şekil 4.7. Tip Numarası 2302 olan birinci memenin radius ölçümü.....	44
Şekil 4.8. Tip Numarası 2302 olan ikinci memenin radius ölçümü.....	45
Şekil 4.9. Tip Numarası 2160 olan üçüncü memenin radius ölçümü.....	45
Şekil 4.10. Tip Numarası 2160 olan dördüncü memenin radius ölçümü.....	46
Şekil 5.1. Koniklik değerine göre açma basıncı değişimi.....	47
Şekil 5.2. Koniklik değerine göre açma basıncı değişimi.....	48
Şekil 5.3. Koniklik değerine göre Q-Hidrolik değişimi.....	49
Şekil 5.4. Koniklik değerine göre Q-Hidrolik değişimi.....	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Test yağına ait fiziksel ve kimyasal özellikler.....	35
Çizelge 4.1. Meme konikliğine bağlı açma basıncı değerleri.....	39
Çizelge 4.2. Meme konikliğine bağlı açma basıncı değerleri.....	39
Çizelge 4.3. Meme konikliğine bağlı açma basıncı değerleri.....	39
Çizelge 4.4. Meme konikliğine bağlı açma basıncı değerleri.....	40
Çizelge 4.5. Meme konikliğine bağlı debi değerleri.....	40
Çizelge 4.6. Meme konikliğine bağlı debi değerleri.....	40
Çizelge 4.7. Meme konikliğine bağlı debi değerleri.....	41
Çizelge 4.8. Meme konikliğine bağlı debi değerleri.....	41

1. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisinde, gün geçtikçe emisyon değerlerine getirilen sınırlamalar önemli derecede artmaktadır. Bundan dolayı emisyon değerlerini düşürmek için, içten yanmalı motor üreticileri daha iyi bir karışım oluşturma ve yanma proseslerini iyileştirebilmek için sürekli çalışmalar yapmaktadır.

Çevre kirliliğine yönelik kaygıların başladığı 1960'lı yıllara ve öncesine göre araç emisyonları ciddi iyileşme göstermesine rağmen denge kirlenme yönünde hızla bozulmaya, hatta yavaşlatabilmenin ötesinde artan ivmeyle devam etmektedir. Emisyon seviyelerinde beklentiler hava kalitesinin düşmesini önlemek ve daha az kirletmek yönünde ilerlemektedir.

Dizel emisyonlar insanlar ve doğa için zehirli ve zarar verici etkileri olan kirleticileri içerir. Bu zehirli kirleticiler genellikle ideal olmayan yanma süreciyle farklı miktarlarda ortaya çıkarlar. Hidrokarbon bileşikli yakıtların yanmasında ideal olarak CO_2 , H_2O , O_2 ve N_2 çıktıkları beklenirken tam yanmama, yüksek basınç ve sıcaklıktaki karışım tepkimeleri, motor yağı ve katkı maddeleri karışması ve hidrokarbon bileşeni olmayan dizel yakıtların yanması biçimindeki gerçek yanma sürecinde atık gaz olarak kirleticiler ortaya çıkar.

Başlangıçta motor üreticileri emisyon sınırlamalarının yakalanmasında maliyet açısından da çok zorlanmıyorlar ve şikayetçi olmuyorlardı. Ancak 1990'lı yılların ortalarından itibaren emisyon seviyeleri üretim, malzeme ve yakıt teknolojilerinin sınırlarını zorlayacak şekilde düşürüldü. Motor üreticileri HC emisyonlarını düşürmede oldukça başarılı olurken NO_x ve partikül madde (PM) emisyonlarının zıt yönlü davranışı dolayısıyla çalışmalarını NO_x ve PM üzerine yoğunlaştırarak, daha duyarlı motor tasarımları ve yakıt teknolojilerine yöneldiler. İlk elde yanma odası tasarımı, yakıt ve katkı maddeleri teknolojisinin geliştirilmesi, atık gazın yeniden kullanımı çalışmalarının yoğunlaştığı noktalar olarak belirlendi.

Dizel sistemlerde emisyon değerleri direk olarak yakıt enjeksiyon sistemleriyle ilgilidir. Yakıt enjeksiyon sistemlerinin en önemli parçalarından biri enjektör memesidir.

Enjektör memeleri, püskürtme karakteristikleri, atomizasyon ve emisyon üzerindeki etkilerinden dolayı dizel sistemlerinin en önemli parçasıdır.

Meme geometrisinin püskürtme karakteristiklerine olan etkilerini daha iyi anlaşılabilmesi için bu yüksek lisans çalışmasında, farklı püskürtme delik çaplarında, farklı delik konikliklerinde akışın incelenmesi deneysel ve CFD programı yardımıyla yapılmıştır. CFD programı yardımıyla akış modeli oluşturulmuş ve analizleri yapılmıştır. Enjektör çalışma şartları, yakıtın giriş ve çıkış basınçları gerçek değerler kullanılarak akış simülasyonu yapılmıştır. Akışkan yapı özellikleri, türbülans ve kavitasyon model parametreleri simülasyon programında belirlenmiştir.

Tez çalışması, kaynak araştırması ile başlayarak daha önceki araştırmacıların çalışmaları incelenmiş; daha sonra yapılan CFD ve deneysel çalışmalar ile sonlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Enjektör memelerinin tasarımının ve püskürtme karakteristiklerinin daha iyi anlaşılabilmesi için meme iç akışının çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu yüzden meme geometrisinin etkilerini ortaya çıkarabilmek için birçok çalışma yapılmıştır. Akışın incelenbilmesinde CFD (Computational Fluid Dynamics) programı çok önemlidir. Bir çok farklı parametrenin araştırılmasında bu program kullanılmıştır ve çalışmalar devam etmektedir. Okada ve ark. (2007) tarafından gerçekleştirilen araştırmada CFD programıyla yüksek basınç ve sıcaklık altında meme püskürtme deliğinin yuvarlatılmasının, enjektör püskürtme karakteristiklerine ve iç akışa etkileri CFD programı ile incelenmiştir. Sonuç olarak; aynı şartlarda giriş deliği yuvarlatılmış memeden yuvarlatma yapılmamışa göre yanma odasına püskürtme miktarının %10 daha fazla olduğu tespit edilmiş. Ayrıca hesaplanan sonuçlara göre kavitasyon, giriş deliği civarında oluşmakta ve giriş deliğine yuvarlatma işlemi yapılarak aşınma miktarının azaltılabileceği yorumu yapılmıştır.

Sibendu ve ark. (2010) dizel motor şartlarında meme delik geometrisinin enjeksiyon, yanma ve emisyon karakteristikleri üzerinde etkilerini CFD programıyla incelemiştir. Yapılan çalışmalarda püskürtme deliğinin konik olmasının ve girişinin yuvarlatılmış olmasının delik içinde kavitasyon ve türbülans oluşumunu azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca konik ve girişi yuvarlatılmış püskürtme deliklerinden buhar oluşum miktarları, yakıt hava karışım miktarlarında azalma olduğu ve daha fazla püskürtme uzunluğu olduğu gözlemlenmiştir.

Fayri (2004) dizel enjektör memelerinin püskürtme deliklerinde oluşan kavitasyonun iç akışa ve püskürtme karakteristiklerine olan etkilerini CFD programıyla incelemiştir. Dorri ve ark. (2009) dizel enjektörlerde delik geometrisinin kavitasyon oluşumuna etkilerini silindirik ve silindirik olmayan 3 farklı delik geometrisini CFD yardımıyla modelleyerek incelemiştir. Karholm (2008) dizel püskürtme, türbülans ve yanma oluşumunu CFD programı yardımıyla incelemiştir. Yanma gecikme süresi, alev oluşum uzunluğu CFD programı yardımıyla gerçeğe yakın simüle edilmiştir ayrıca ortam sıcaklığı ve oksijen konsantrasyonunun yanma üzerine etkisi incelenmiştir. Kumar ve ark. (2011) dizel motorlarda, çeşitli enjeksiyon açılarının püskürtme oluşumuna etkilerini CFD programı yardımıyla incelemiştir ve 100⁰ açıda optimum olduğunu tespit

etmişlerdir. Margot ve ark. (2010) CFD programı yardımıyla kavitasyonlu akışı iğne sabit ve hareketli olması durumlarında analiz etmişlerdir. Shuai ve ark. (2009) enjeksiyon zamanın, şeklinin ve miktarının düşük sıcaklıkta yanmalara etkilerini ileri CFD modelini oluşturarak incelemiştir. Bergwerk (1995) dizel meme püskürtme deliklerinde akış modellerini CFD yardımıyla oluşturmuş ve incelemiştir. Baumgarten ve ark. (2002) Kavitasyonlu meme akışının püskürtme ayrımlarına etkilerini CFD programı yardımıyla yeni bir model hazırlayarak incelemiştir. Montorsi ve ark. (2008) çok püskürtmeli yakıt enjeksiyon sistemlerinde kavitasyon ve akış karışımını CFD programında üç boyutlu modelini oluşturarak incelemiştir.

CFD programının yanı sıra meme geometrisinin enjektör püskürtme karakteristiklerine olan etkileri elektronik ölçüm aletleriyle araştırılabilmektedir. Kong ve Bae (2009) Meme püskürtme deliğinin konik olmasının püskürtme karakteristiklerine olan etkilerini optik deney sistemi kurarak incelemiştir. Ayrıca Kong ve Bae (2003) Common-Rail enjeksiyon sistemlerinde püskürtme gelişimini direkt fotoğraflayarak ve gölgelendirme yöntemlerini kullanarak analiz etmiştir. Püskürtme hacmi ve çıkış uzunluğunun püskürtülen yakıt miktarıyla orantılı olduğunu tespit etmiştir. Kastengren ve ark. (2008) Xray ışınlarıyla motor şartlarına benzer ortamlarda püskürtme yapısını incelemiştir. Sonuç olarak ortam yoğunluğunun artmasıyla püskürtme genişliğinin arttığı fakat hız profiline hızlı bir şekilde bozulduğu tespit edilmiştir. Bjarke (2007) 2 zamanlı dizel motorda püskürtme oluşumunu hem CFD hemde deneysel yöntemlerle incelemiştir. Yanma odasının ve delik tipinin hem püskürtülen yakıt miktarında hemde püskürtme açısına etkili olduğunu gözlemlemiştir.

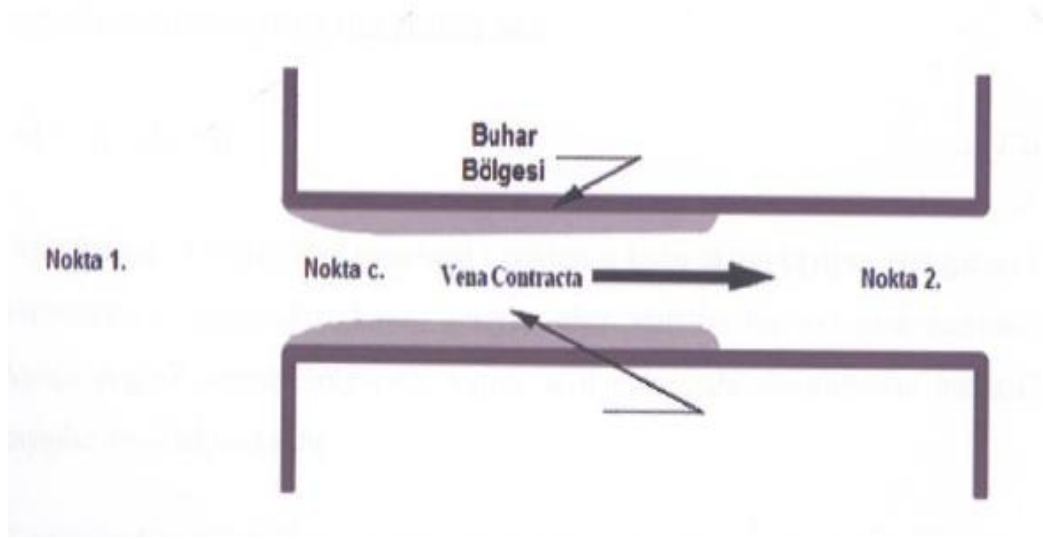
Lee ve ark. (2007) biodizel ve dizel yakıtlarda, kavitasyonlu akışların yakıt atomizasyon ve akışı üzerine etkilerini deneysel görüntüleme ve ölçme sistemiyle incelemiştir. Hiroyasu ve ark. (1992) etkilerini ışın kesiştirme yöntemi yardımıyla deneysel görüntüleme ve ölçme sistemi kurarak püskürtme ayrımını incelemiştir. Sonuç olarak püskürtme ayrımının püskürtülen akış miktarından, meme delik geometrisinden ve ortam gaz yoğunluğundan önemli derecede etkilendiği tespit edilmiştir. Payri ve ark. (2010) enjektör teknolojilerinin enjeksiyon ve yanma oluşumuna etkilerini incelemiştir ve piezo enjektörler için daha hava yakıt karışımı ve yanma karakteristikler elde edilmiştir. Taşkiran (2010) yüksek hızlı fotoğraf çekebilen kamera yardımıyla

püskürtme karakteristikleri ve yanma prosesini deneysel olarak incelemiştir. Lindstörn (2009) enjektör meme delik parametrelerinin dizel performansına etkilerini incelemiştir. Lee ve ark. (2007) püskürtme karakteristiklerini resim işleme sistemini kullanarak araştırmışlardır. Macek ve ark. (2005) Euler çok boyutlu modelini kullanarak yakıt enjeksiyon prosesinin hesaplamalarını incelemiştir. Martynov ve ark. (2005) kavitasyonlu akışların sayısal simülasyonlarını hidrolik benzerliklerini temel alarak incelemiştir. Morgan ve ark. (2001) meme geometrisinin, enjeksiyon basıncının ve yanma odası şartlarının püskürtme gelişimine etkilerini fotoğraflama metodu kullanarak incelemiştir ve sonuç olarak mini kör delikli memelerin daha yüksek püskürtme ayrımı gözlemlenmiştir. Novella ve ark. (2010) akış rejiminin (laminer, geçiş, türbülanslı) püskürtme davranışlarına etkilerini incelemiştir. Payri ve ark. (2005) meme kör delik geometrisinin enjeksiyon miktarları ve püskürtme karakteristiklerine etkilerini mikro kör delikli memeler için incelemiştir. Schmidt (1997) dizel enjektörlerde iç akışı ve kavitasyon oluşumunu incelemiştir. Wang ve ark. (2010) yüksek hızlı kamera yardımıyla çok yüksek enjeksiyon basıncının ve mikro delik yapısının alev yapısına ve is oluşumuna etkilerini incelemiştir. Kong ve ark. (1999) püskürtme karakteristiklerinin yanma verimine ve egzoz gazlarının salınımına etkilerini hem dizel motorlar hem de benzinli motorlar için incelemiştir.

2.1. Kuramsal Temeller

2.1.1. Bir Boyutlu Meme Modeli (Kavitasyonlu)

Nurick (1976) ölçeklenmiş transparan meme ile ölçümler yaptığı ve boşaltım katsayısı için bir model geliştirdiği Schmidt (1997) tarafından bildirilmiştir. Nurick kavitasyonlu akışı meme deliği geometrisi boyunca değişik L/D oranlarında aşağı akım ve yukarı akım basınçlarında gözlemlemiştir. Geliştirdiği model toplanan datalarla geliştirilmiş bir modeldir.



Şekil 2.1. Bir boyutlu meme modeli gösterimi

Keskin köşeli meme deliği girişindeki akış yönünün ani değişiminden dolayı meme deliği girişinde hızlı bir basınç düşümü gerçekleşir. Eğer meme deliği girişi yeterince keskinse akış ayrılması yaşanır ve akışın kesitinde daralma (Vena Contracta) gözlenir. Girişteki daralma akan sıvı miktarını azaltır. Kütle korunumu gereği alandaki daralma hızdaki artışa neden olur. Momentumun korunum yasasına göre akış girişindeki ivmelenmeye bağlı olarak statik basınç düşümü gözlenir. Daralan kesitteki basınç sıvının buharlaşma basıncının altına düştüğünde kavitasyon gerçekleşir. Şekil 2.1’de bir boyutlu meme modeli gösterilmiştir.

Akışkan 1 noktasından c noktasına, c noktasından da 2 noktasına hareket etmektedir.

Sıvı akışkanın geçtiği alana A_c denilebilir. C_c Schmidt (1997) tarafından bildirildiğine göre Von Mises (1917)’tarafından keskin köşeler için 0.61 bulunmuştur. C noktasındaki nominal akış alanı A_c ;

$$A_c = C_c \cdot A \quad (2.1)$$

Akışın duvar tarafından kayma gerilmesine tabi tutulmadığı göz önüne alınır, c noktasında V_c 'nin radyal yönde değişmediğini kabul edebiliriz. Bu kabulle bağlı olarak meme boyunca olan kütleli debi:

$$\dot{m} = \rho \cdot A_c \cdot V_c \quad (2.2)$$

Diğer kabulde 1 noktasından memedeki c noktasına kadar akışın kayıpsız olduğudur. 1 noktasından c noktasındaki basınç gradyanı akışı stabilize bir etki göstermektedir. Ayrıca akışkan kısılma bölgesinde kayma gerilmesine tabi olmadığından buradaki kayıplar ihmal edilmektedir.

C noktasındaki kesitte buhar ve sıvı fazları bir arada bulunmaktadır. Buna göre c noktasındaki basınç, buhar basıncına eşit alınabilir. Yukarıdaki kabullere dayanarak delik içindeki 1 noktasından c noktasına olan momentum korunumunu Bernoulli denklemini kullanarak yazabiliriz.

$$P_1 = P_v + \frac{1}{2} \rho V_c^2 \quad (2.3)$$

Bu durumda meme deliği boyunca akış bulunabilir. Meme deliği boyunca kütleli debi (2.2) ve (2.3) numaralı denklemleri de kullanarak aşağıdaki şekilde yazabiliriz.

$$\dot{m} = A C_c \sqrt{2 \rho (P_1 - P_v)} \quad (2.4)$$

(2.4) numaralı denklemin en önemli yönü meme içi kütleli debinin aşağı akım basıncından bağımsız olduğunu göstermesidir. Bu duruma limit akış denir. Limit akışında aşağı akım basıncının azaltılması kütle debisinin değişimine neden olmaz. (Yukarı akım basıncı sabit tutulduğunda) Kütleli debinin değişmeme nedeni hızın limit akışındaki aşağı akım basınç değerlerinden etkilenmiyor oluşudur. Bu durum

memelerde deneysel olarak gözlemlenmiştir. Schmidt (1997) tarafından bildirildiğine göre Randall (1952) limit akışı kavitasyona uğrayan difüzörlerde tespit etmiştir. Bu sonuçlar kavitasyona uğrayan memede boşaltım katsayısını bulmak için kullanıldığında boşaltım katsayısı C_d , ortalama hız, 1 ve 2 noktasındaki basınca göre:

$$C_d = \sqrt{\frac{\frac{1}{2}\rho\bar{V}^2}{P_1 - P_2}} \quad (2.5)$$

V ortalama akış hızı:

$$\bar{V} = \frac{\dot{m}}{\rho A} \quad (2.6)$$

(2.4), (2.5) ve (2.6) numaralı denklemleri kullanarak boşaltım katsayısı aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$C_d = C_c \sqrt{\frac{P_1 - P_v}{P_1 - P_2}} \quad (2.7)$$

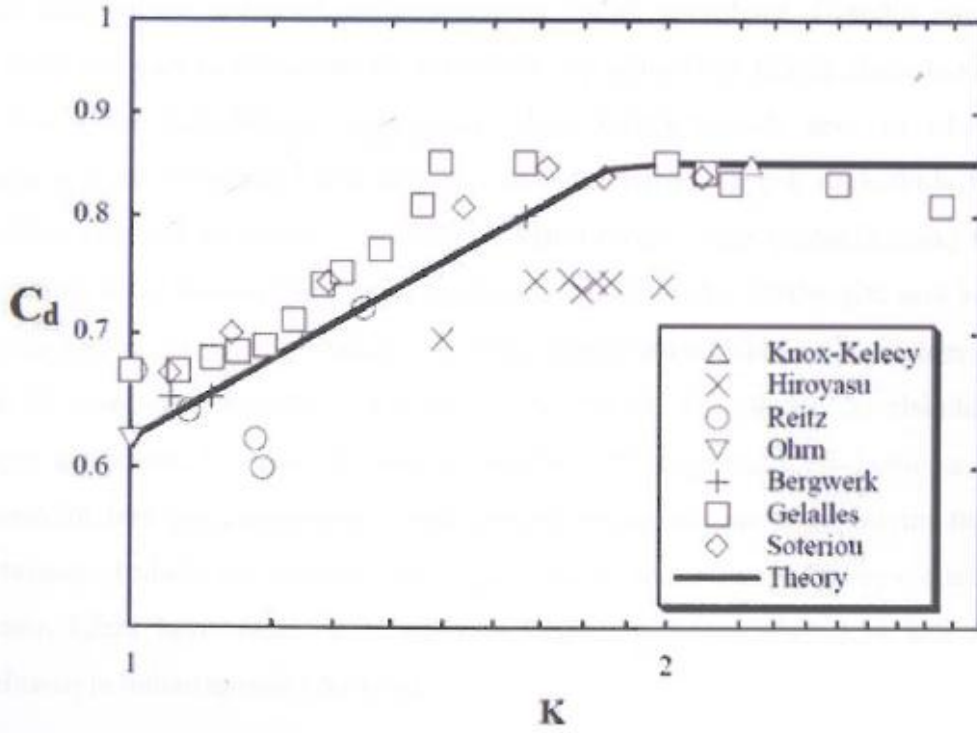
Kök içindeki ifade çok kullanışlı bir boyutsuz katsayı olan kavitasyon katsayısını (K) bize verir. Bu durumda boşaltım katsayısı;

$$C_d = C_c \sqrt{K} \quad (2.8)$$

şeklinde yazılabilir.

Akış trendi bu bağıntı ile daha kolay anlaşılabilir. Basıncın artışı yada karşı basıncın azalması K'nın artışına neden olacaktır. K katsayısındaki artış basınç ile karşı basıncın birbirlerine yaklaşmasıyla artar. (2.8) numaralı denklem bize yüksek basınçlarında ve buna bağlı düşük karşı basınçlarda boşaltım katsayısının düşük olacağını söyler.

Kavitasyon katsayısı arttıkça C_d artar ta ki memede kavitasyon olayı oluşmayana kadar bu durum gözlenir. Kavitasyon görülmediği durumda bu bağıntı geçersizdir ve C_d , kavitasyon katsayısının bir fonksiyonu değildir. Bu durumda C_d belli bir noktaya kadar artarken, belli bir noktadan sonra sabit kalmaktadır. Şekil 2.2'deki grafikte görüldüğü gibi boşaltım katsayısı belli bir noktaya kadar artmakta, belli bir noktadan sonra (daha fazla kavitasyonun gerçekleşmediği nokta) eğri düzleşmektedir. Bu zamana kadar yapılmış bazı deneysel verilerin grafik üzerinde teorik yaklaşım ile karşılaştırılması Şekil 2.2'de görülebilir. Grafikten görülebileceği gibi veriler bir boyutlu teoriyi destekler niteliktedir.



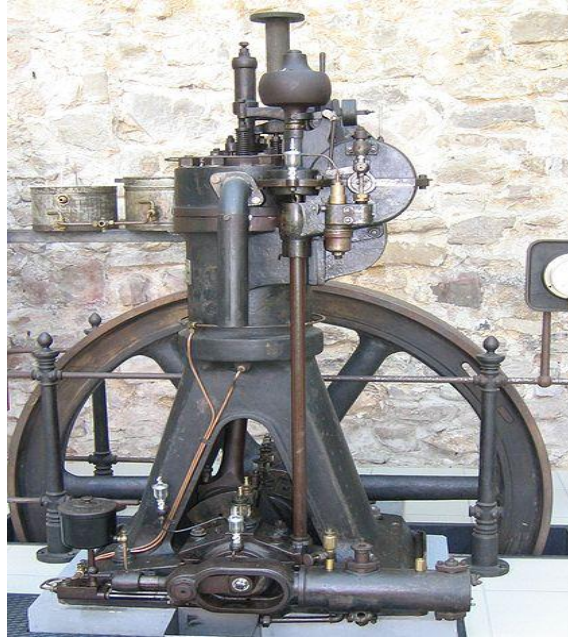
Şekil 2.2. Boşaltım katsayısının kavitasyon katsayısına bağlı grafiği. (Deneysel veriler) Schmidt(1997)

2.2 Enjektör

2.2.1 Dizel Motorlarının Tarihi

Dizel Motoru, içten yanmalı bir motor tipidir. Daha özel bir tanımla, dizel motor oksijen içeren bir gazın (genellikle bu atmosferik havadır) sıkıştırılarak yüksek basınç ve sıcaklığa ulaşması ve silindir içine püskürtülen yakıtın bu sayede alev alması ve patlaması prensibi ile çalışan bir motordur. Bu yüzden benzinli motorlardan farklı olarak ateşleme için bujiye ve yakıt oksijen karışımını oluşturmak için karbüratöre ihtiyaç yoktur.

1892'de Alman Mühendis Rudolf Diesel tarafından bulunmuş ve daha sonra 23 Şubat 1893'te patenti alınmış bu süreç dizel çevrimi olarak bilinir. Motorun mucidi, geniş kömür yataklarına sahip olan Almanya'nın petrole bağımlılığını azaltmak için kömürle çalışan bir motor yapmayı hedeflemiştir. Ancak kömür tozunun yanmasından dolayı ortaya çıkan kül büyük sorunlar doğurmuş, daha sonraları ise motorda farklı yakıtların kullanılması tasarlanmıştır. Nitekim Rudolf Diesel, motorun sunumunu 1900'deki Dünya Fuarı'nda, yakıt olarak yer fıstığı yağı (Biodizel) kullanarak yapmıştır.



Şekil 2.3. Tek silindirli sabit dizel motoru, 1906 yapımı

2.2.2 Enjektörün Yapısı

Common-Rail müşterek rail sistemi için üretilen elektromanyetik kumandalı özel enjektörler, yüksek bir hassasiyete ve çok dar tolerans limitlerine sahiptir. Bilinen dizel püskürtme tertibatlarında olduğu gibi burada da enjektörler silindir başlıklarına sıkıştırma plakaları ile tespit edilir. Böylece mevcut dizel motorlarına monte edilebilirler. Silindir başlığında yer aldığından dolayı enjektörler çok küçük çapta, 17 mm çapında üretilirler.

Enjektörleri işlev bakımından dört bölüme ayırabiliriz. Her bir elemanın nereye ait olduğu Şekil 2.4 'de görülebilir. İşlev bölümleri; yakıt kanal bağlantıları, hidrolik kontrol sistemi, iğneli altı tane delikli enjektör memesi ve manyetik supabıdır.

Bağlantılar ve yakıt kanalları

- 1-Yakıt deposuna yakıt geri dönüşü
- 2-Elektrikli bağlantı manyetik valfi
- 3-Yakıt beslemesi-yay yüksek basınç
- 4-Enjektöre giriş kanalı

Çok delikli (6) iğneli enjektör

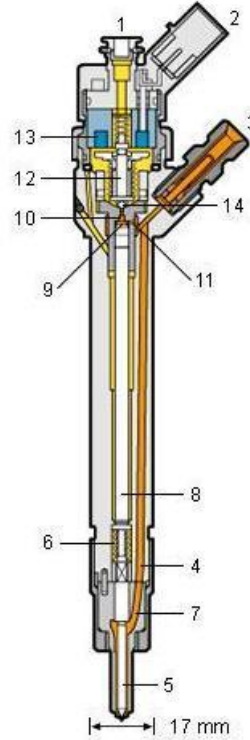
- 5-Enjektör iğnesi

Hidrolik kontrol sistemi

- 6-Enjektör yayı
- 7-Odacık hacmi
- 8-Valf kontrol pistonu
- 9-Valf kontrol bölmesi
- 10-Akma regülatörü
- 11-Besleme

Manyetik valf

- 12-Geri ayar yayı ile armatür
- 13-Elektromıknatis
- 14-Valf bilyesi



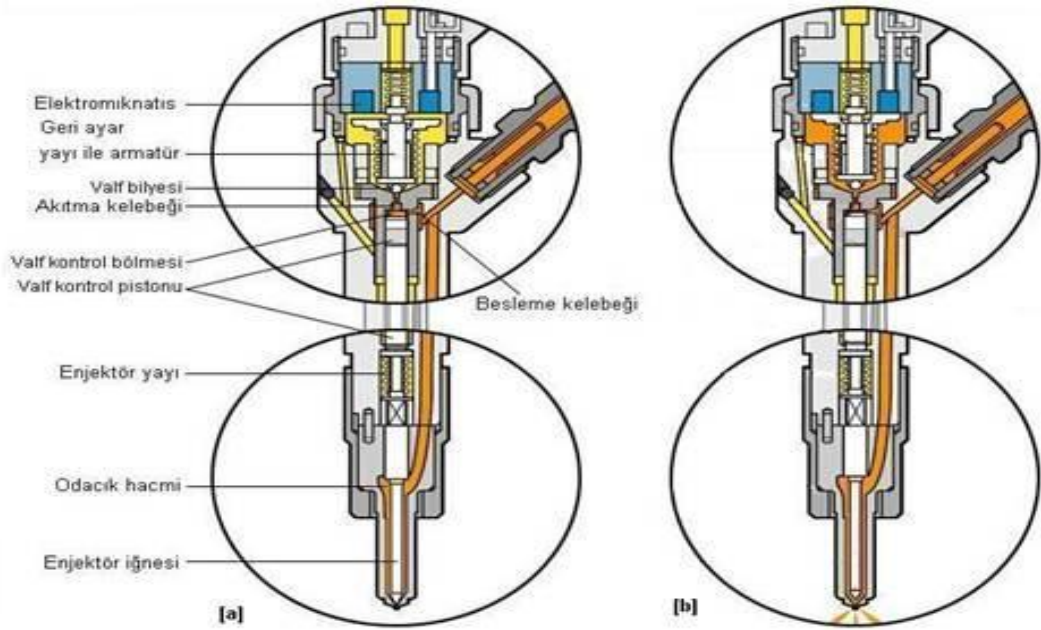
Şekil 2.4. Enjektörün Bölümleri

2.2.3 Enjektörün çalışması

Enjektörün çalışması çok karmaşık bir süreci kapsar. Enjektör serbest konumda, elektromıknatıs elektriksel olarak beslenmez ve kılavuz iğne kapalı konumdadır. Giriş deliği üzerinden beslenen kumanda odasındaki basınç, hattaki basınca eşittir. Dolayısı ile basınç çubuğu-pim grubuna kapanma yönünde etki eden kuvvetler, açılma kuvvetini yener. Püskürtme sürecinin önemli parçalarından bir tanesi, enjektör memesi iğnesidir. Enjektör memesi iğnesi, enjektör memesi yayı ile yuvasına bastırılır. Sürekli olarak yakıtla dolu olan enjektör kapalı durur. Enjektör memesi iğnesi üst tarafındaki odacıkta rail basıncı altında olan yakıt bulunur. Rail basıncının enjektör başlığı yayını kaldırıp sürekli bir püskürtme olmaması için kontrol pistonu tarafından aksi yönde bir basınç oluşturulur. Manyetik supap devre dışıdır armatürün supap bilyası, bastırma yayı tarafından çıkış tıkaçındaki yerine bastırılır. Supap kontrol bölmesine yakıt akar ve railin yüksek basıncı oluşur. Supap kontrol pistonundaki rail basıncı ve enjektör memesi yayının gücü, enjektör iğnesini, basınç basamağını etkileyen açma gücüne karşı kapalı tutarlar. Enjeksiyon başlangıcında elektromıknatıs elektriksel olarak beslendiğinde, kılavuz iğne yukarı hareket eder ve kesit alanı giriş deliğinden daha büyük olan çıkış deliği açılır. Sonuç olarak, giriş deliği üzerinden yeterli miktarda akış olmadığından dolayı, kumanda odasında mevcut olan dizel yakıtı boşaltılır ve basınç düşer. Basınç çubuğunun üst kısmına etki eden kuvvet azalır ve açma kuvveti değerinin üzerine çıktığında, püskürtücü açılmaya başlar. Sürekli olarak basınç borusu tarafından doldurulan besleme odasından gelen dizel yakıtı püskürtücü üzerinden akmaya başlar ve yakıt silindirlere gönderilir. Yani manyetik supap devreye alındığında veya elektromıknatısın gücü, bastırma yayı ve armatürün toplam gücünün üstüne çıktığında, çıkış tıkaçı açılır.

Çıkış tıkaçı açıldığında yakıt, supap kontrol bölümünden üstteki boşluk vasıtası ile yakıt geri iletme elemanı üzerinden depoya gider. Supap kontrol bölmesindeki basınç düşer ve kontrol pistonu yukarı doğru hareket eder. Supap kontrol bölmesinin basıncı, odacık basıncından az olduğu için supap kontrol pistonu yukarı doğru itilir ve enjektör yayı bastırılır. Kontrol pistonu üst konumda olduğunda enjektör iğnesi tamamen açıktır. İğnenin açılması ile püskürtme süreci başlar.

Enjeksiyon sonunda elektromıknatısın elektriksel beslenmesinin kesilmesi, çıkış deliğinin kapanmasına sebep olur, bu da daha sonra kumanda odasındaki basıncın hızla artarak orjinal değerine ulaşmasını sağlar. Sonuç olarak, basınç çubuğu pimine etki eden kuvvetler tekrar dengelenirler. Kuvvetlerin dengelenmesi sonucunda, basınç çubuğu ve pimi tekrar aşağı doğru hareket eder. Püskürtücüye yakıt akışı durdurulur ve enjeksiyon sona erdirilir. Yani manyetik supap devre dışı kaldığında armatür, bastırma yayının gücü ile aşağı doğru itilir. Akıtma tıkacının kapanması ile supap kontrol bölümünde yine rail'de olduğu gibi bir basınç oluşur. Supap kontrol bölümü ile enjektör yayının gücü, yine odacık gücünün üstüne çıktığından enjektör iğnesi kapanarak püskürtme sona erer.



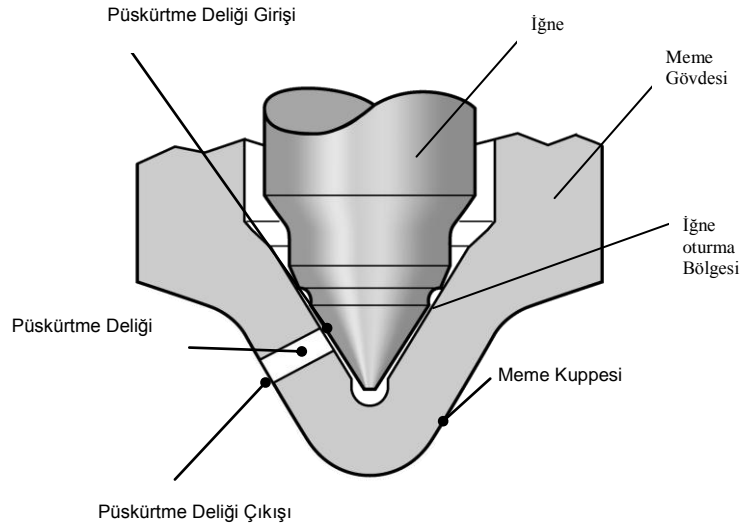
Şekil 2.5. Enjektörün Çalışması

2.2.4 Enjektör meme geometrisi

Meme geometrisi, yakıtın son toplandığı ve püskürtüldüğü yer olduğu için çok önemlidir. Meme üzerindeki deliklerin yeri ve sayısı motor silindire gönderilecek yakıt miktarını etkilemektedir. Ayrıca püskürtme delik geometrisi direkt olarak partikül

ve NO_x emisyonunu etkiler. Şekil 2.6'da gösterilen iğne oturma geometrisi yanma esnasındaki ses düzeyini ve pilot enjeksiyon miktarlarını belirler. İğne geometrileri motor karakteristiklerine, iğne ve meme gövde malzemesi seçimine göre tasarlanabilir. İğne ve memenin ömürleri boyunca motora ve motor bloğuna zarar vermeden, hiçbir sızdırma ve güç kaybı olmadan çalışması beklenmektedir.

Meme geometrisinin tanımlanmasında kullanılan önemli geometrik ölçülere bakıldığı zaman bunların gerçekten de küçük nicelikler olduğu anlaşılabilir. Örneğin delik boyu 1mm civarındayken delik çapı 150-200 µm düzeyindedir. Dolayısıyla bu geometrik ölçülerin meme performansına etkileri genellikle Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) programıyla analiz edilmektedir.



Şekil 2.6. Enjektör meme geometrisi

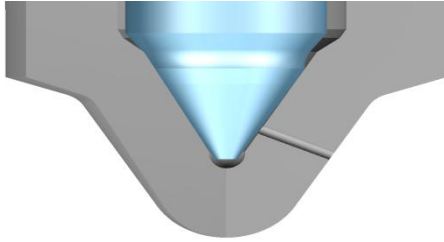
2.2.4.1. Enjektör meme tipleri

- İki çeşit enjektör meme tipi bulunmaktadır

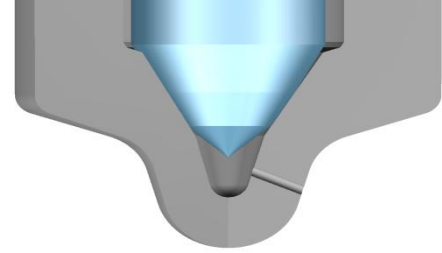
DSL A (Seat hole Nozzle)

DLL A (Sac hole Nozzle)

DLLA Memelerde DSLA göre farkı memenin alt kısmında kör delik bulunur. Bu delik sayesinde yakıtın burada birikmesi sağlanır ve püskürtme esnasında iğnenin oturma yüzeyi ile püskürtme delikleri arasındaki mesafe uzun olduğu için simetrik akış sağlanır ve iğnenin radial hareketinin akışa etkileri azaltılır.



Şekil 2.7 Seat Hole Nozzle



Şekil 2.8 Sac Hole Nozzle

Enjektör delikleri mekanik olarak ya da elektro-erozyon ile açılmaktadır. Konik geometriye sahip kör delik tiplerinde de meme delikleri elektro-erozyon yöntemiyle açılmaktadır. DLLA memelerdeki kör delik tipi silindirik ya da koniktir. Şekil 2.8’de konik geometriye sahip kör delik tipi görülmektedir. Konik kör delik tipli memelerde ölü hacim silindirik geometriye sahip kör delik tipli memelerden az, DSLA tipi memelerden daha fazladır. Bir diğer DLLA meme tipi de mikro kör delik tipli memelerdir. Bu tiplerde kör delik konvansiyonel tiplerden yüzde otuz daha küçüktür. Bu tipler minimum ölü hacmi sağlarken yanma odasına homojen püskürtme sağlayan optimum çözümdür.

2.2.4.2. Enjektör memesi püskürtme deliğinin konikliği

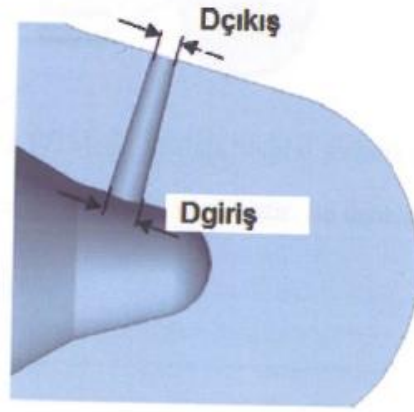
Meme deliği için koniklik, meme giriş çapına ve meme çıkış çapına göre hesaplanan bir değerdir. K-faktörü memeler için meme deliğinin konikliğini belirtir.

$$Koniklik = (D_{giriş} - D_{çıkış})/10 \quad (2.9)$$

Denklem 2.9’da;

$D_{giriş}$: Meme giriş çapı [μm] (Şekil 2.9)

$D_{çıkış}$: Meme çıkış çapı [μm] (Şekil 2.9)

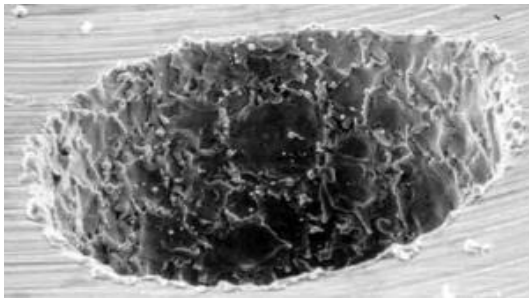


Şekil 2.9. Koniklik açısı parametreleri

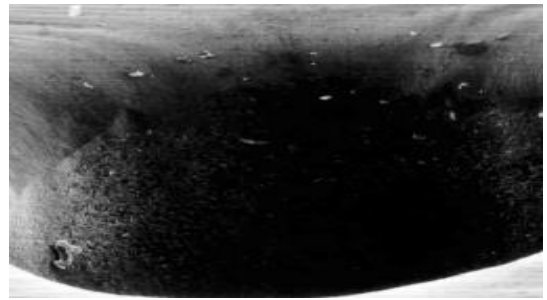
Şekil 2.9’da püskürtme deliğinin giriş ve çıkış çapları gösterilmiştir.

2.2.5. Hidrolik debiyi etkileyen faktörler

Hidrolik debi miktarını etkileyen faktörler; Meme delik sayısı, Meme deliğinin çapı, Meme deliği K faktörü (Koniklik derecesi), HE (Hidrolik Erozyon prosesi) değerleridir. Bu parametreler değiştirilerek istenen hidrolik debi miktarı arttırılabilir. HE miktarı değiştirilerek istenen akış miktarı elde edilir. Şekil 2.10’da hidrolik erozyon işlemi öncesi ve sonrasında meme deliğinin görüntüsü verilmiştir. HE miktarı değiştirilerek meme iç akış özellikleri değiştirilebilir.



HE işleminden önce

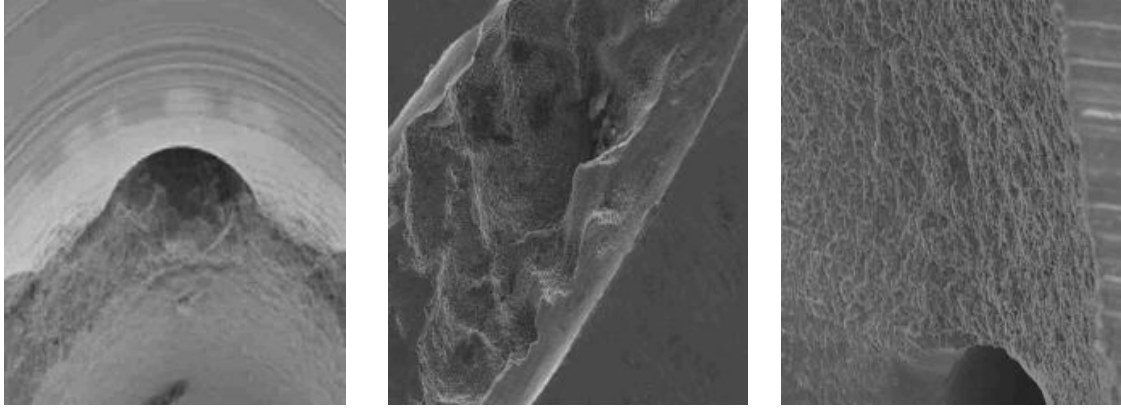


HE işleminden sonra

Şekil 2.10. HE işlemi öncesi ve sonrası

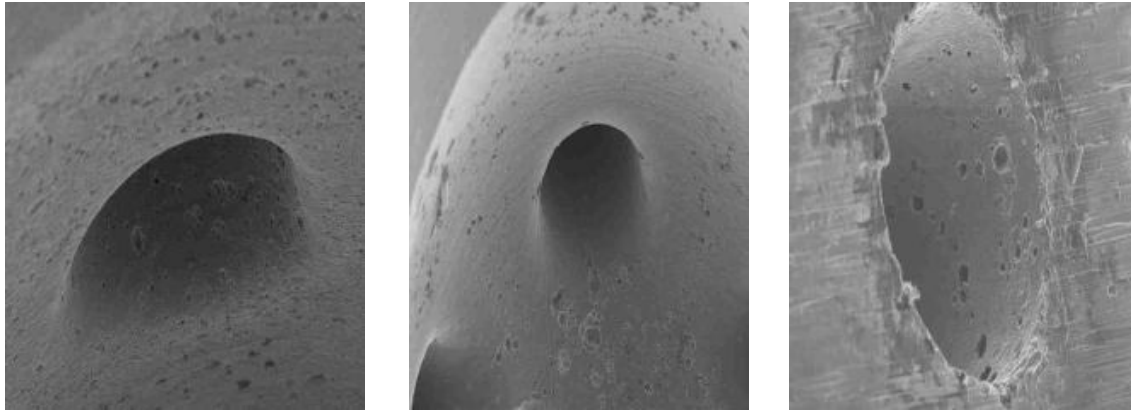
Enjektördeki korozyonun varlığı, kavitasyon erozyonu ve partiküllerin neden olduğu izler hidrolik debinin azalmasına neden olur. Ayrıca meme ucunda oluşan kurumlanma hidrolik debinin azalmasına neden olur.

Kavitasyon Erozyonu: Yakıt, meme deliklerindeki kısılma bölgesinden geçerken hızı artar bu durum yerel basınç kayıplarına neden olur. Basınç yakıtın buharlaşma basıncının altına düştüğünde yüksek enerjili buhar kabarcıkları oluşur. Buhar kabarcıkları tekrar basıncın yükseldikleri bölgelere geldiklerinde jet etkisi yaratıp meme deliği duvarlarına yüksek bir kuvvetle çarpar. Bu durumda kavitasyon kaynaklı tahribatlara neden olur. Şekil 2.11’de kavitasyon kaynaklı tahribat örnekleri gösterilmiştir.



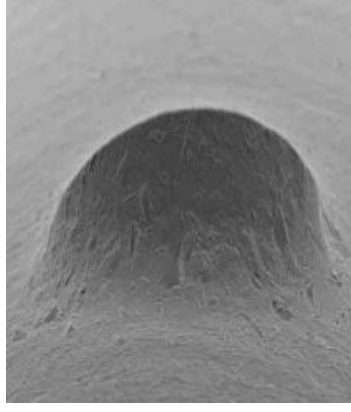
Şekil 2.11. Enjektör memesinde kavitasyon kaynaklı tahribat

Korozyon Erozyonu: Korozyon, materyallerin çevresi ile kimyasal ilişkiye girerek bozulmasıdır. Yakıt içindeki su varlığı ile demir ve oksijen atomları kimyasal reaksiyona girerek oksidasyona; bu durum da parçalardaki korozyona neden olur. Şekil 2.12’de memede korozyona bağlı oluşan erozyon fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 2.12. Enjektör memesinde oluşan korozyon kaynaklı bozulmalar

Partikül İzleri: Yakıt içerisindeki partiküller meme deliği duvarlarına çarparak meme yapısına zarar verirler. Bu durumda hidrolik debide sapmalara neden olur. Partikül izine ait bir fotoğraf Şekil 2.13'te verilmiştir.



Şekil 2.13. Enjektör püskürtme deliğindeki partikül izleri

Kurumlanma: Kurumlanma karbon kalıntılarının yanma sırasında meme üzerine yapışması olayıdır. Kurumlanma daha çok meme deliği içinde ve memenin yanma odası tarafında kalan yüzey üzerinde görülür. Şekil 2.14'te kurumlanma örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Enjektör memesinde kurumlanma

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Yapılan bu çalışmada, enjektörün püskürtme deliği iç akışının analizi yapılmıştır. Analiz için hem deneysel hem de CFD programıyla analiz yapılmıştır.

Deneysel çalışmada püskürtme deliği iç akışının analizi için aşağıda özellikleri verilen memeler kullanılmıştır.

- Debi Miktarları (HE işlemi sonrası, iğnesiz durum için): 390-810 cm³/dk
- Açma basınç değerleri: 189-197 Bar
- Püskürtme deliği koniklik değerleri K1,5 ve K3,5

Model analizi için püskürtme delik çapı 0,25mm olan meme geometrisinin CFD analizi yapılmıştır ve deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

3.2. Yöntem

Bu çalışmada amaç meme püskürtme deliğinin iç akışının incelenmesidir. CFD analizi için kullanılan yazılımlar mesh oluşumu için ICEM CFD; sınır şartları, çözüm ve sonuçların irdelenmesi için ANSYS CFX'tir. Deneysel çalışma için Q-Hidrolik test cihazında debi ve fonksiyon test cihazında açma basıncı ölçümü gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Hidrolik debi ölçüm cihazı

Belirli basınç altında belirli bir süre aralığında püskürtülen yakıt miktarına hidrolik debi denir. Test cihazlarında 100 bar'da 30 saniyelik toplam debi ölçümü ve 100 bar'da 60 saniyelik toplam debi ölçümü yapılabilmektedir. Q-Hidrolik debi miktarları enjektör memesinin püskürtme delik sayısı ve çapları artırılarak artmaktadır. Ayrıca püskürtme deliklerinin girişindeki yuvarlatma miktarı ve koniklik değeri değiştirilerek istenilen akış yapıları sağlanabilmektedir.

Test ölçüm cihazının arkasında 150 lt'lik yakıt tankı bulunmaktadır. Yüksek basınç pompası yakıt tankından yakıtı alarak basıncını 200 bar'a çıkartır. Basınçlı yakıt basınç düzenleyicisine gönderilir. Bu cihaz basıncı 100 bar olarak sabitler. Ayrıca ısı pompası yakıt sıcaklığını istenilen dereceye getirir. Daha sonra yüksek basınçlı (100 bar) ve ısıtılmış yakıt ölçüm kafasına gönderilir. Meme ölçüm kafasında konumlandırılır. Hidrolik debi ölçümü ultrasonik yıkama öncesi ve sonrası yapılarak kurumlanma derecesi elde edilebilir. Ayrıca debi ölçüm cihazında karşı basınç uygulanarak da ölçümler yapılabilmektedir. Böylece daha gerçekçi test koşulları yaratılmış olunur. Kütleli debi ve yoğunluk direkt olarak ölçülür. Hacimsel debi kütleli debinin yoğunluğa bölümü ile bulunur. Cihazın hassasiyeti $\pm 0,1$ 'dir. Bosch ATMO firması tarafından üretilen Q-Hidrolik test cihazının fotoğrafı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Yüksek basınç pompası yakıt basıncını 200 bar'a kadar çıkartır. Pompa yakıtı depodan çekerek sisteme aktarır. Şekil 3.2'de yüksek basınç pompasının fotoğrafı gösterilmiştir.

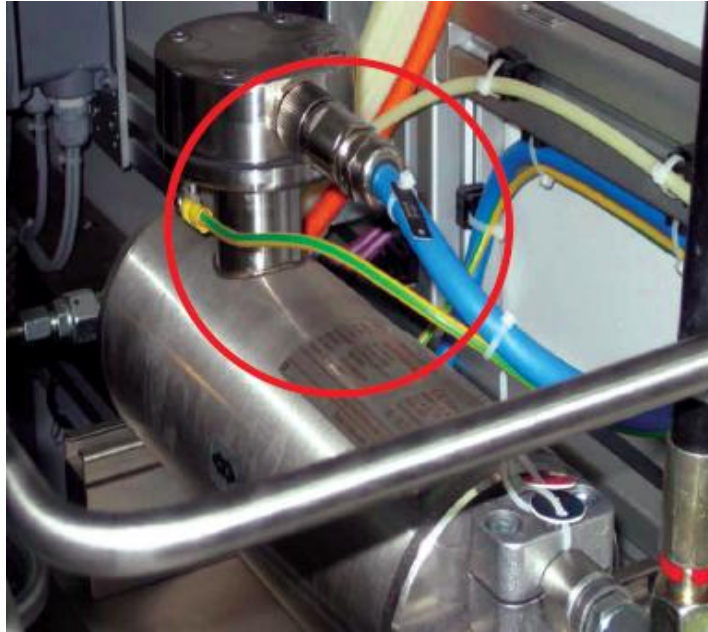


Şekil 3.1. Q-Hidrolik test cihazı



Şekil 3.2. Yüksek basınç pompası

Basınç düzenleyicisi basıncı 100 bar'da sabitler. Basınç düzenleyicisi kullanılarak yakıttaki basınç dalgalanmaları minimize edilir. Şekil 3.3'te basınç düzenleyicisi gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Basınç düzenleyicisi

Yakıtın viskozitesi sıcaklığa bağılı olduğundan, sıcaklık test boyunca sabit tutulmalıdır. Doğru sonuçlar almak için ısı pompası kullanılarak yakıt sıcaklığı belirlenen dereceye çıkarılır. Şekil 3.4'te ısı pompasına ait fotoğraf verilmiştir.

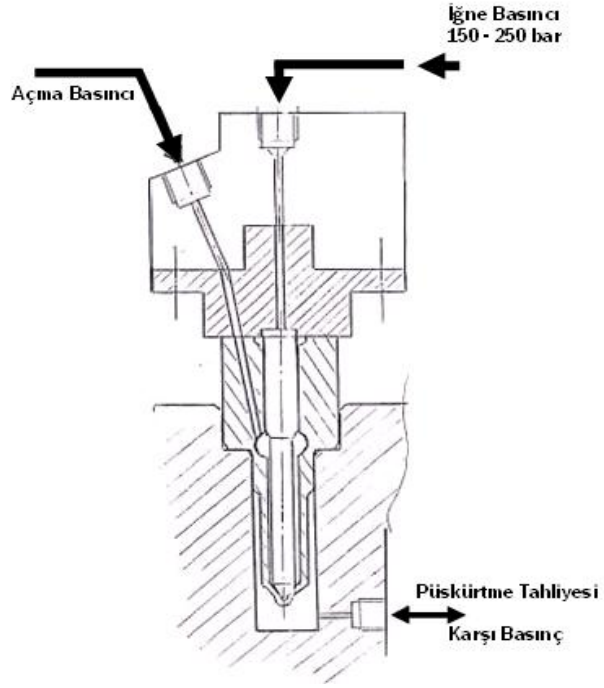


Şekil 3.4. Isı pompası

3.2.2. Açma basıncı ölçüm cihazı

Açma basıncı ölçümünde iğne ve memenin birlikte çalışması esnasında iğnenin yukarı yönlü hareketinin başladığı basınç değeri tespit edilmektedir. Yakıt kanalından gönderilen yakıt basıncının, iğnenin meme oturma yüzeyinde yaptığı baskı kuvvetini yenerek püskürtme deliğine yakıt geçişi sağlanmakta ve iğnenin aşağı yönlü kapanma hareketiyle püskürtme tamamlanmaktadır.

Bosch ATMO firması tarafından üretilen Fonksiyon test cihazında 400 bar'a kadar Enjektör memesinin açma basıncı, sızdırmazlık kontrolü ve efektif iğne oturma çapının ölçümleri yapılabilmektedir. Test cihazında Açma basıncı ölçümünün kesit görüntüsü Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



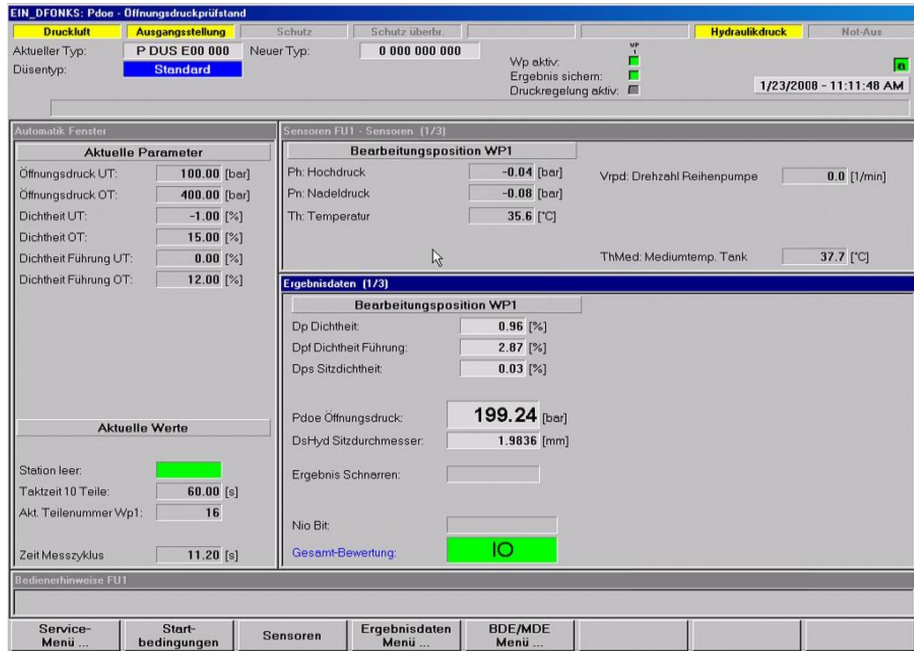
Şekil 3.5. Açma basıncı ölçümü

Açma basıncı düşük olan enjektör memelerinde iğne erken açılır ve erken püskürtme gerçekleşir bundan dolayı yakıt sarfiyatı artmaktadır. Yüksek açma basıncına sahip enjektör memelerinde geç püskürtme meydana gelmekte ve bundan dolayı güç kaybı oluşmaktadır. Açma basıncı ölçümlerin yapıldığı fonksiyon test cihazı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Fonksiyon Test Cihazı

Fonksiyon test cihazında açma basıncı ölçüm sonucunun ekran görüntüsü Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Açma basıncı ölçüm sonucu

3.2.3. Hesaplamalı akışkanlar mekaniği

Son yıllarda bilgisayar teknolojisinin hızlı artışı simülasyon programlarını daha yaygın hale getirmiştir. Hesaplama kapasitesindeki büyük artış kompleks denklemlerin çözülebilmeye yeteneğini arttırmıştır. Ayrıca model hazırlama yeteneklerinin de artması karışık geometrilerin kolayca hazırlanabilmesi anlamına gelmiştir. Günümüzde mekanik, elektrik veya termal problemleri çözebilen birçok yazılıma ulaşmak mümkün hale gelmiştir.

Bu programların büyük çoğunluğu çözümlemede sonlu elemanlar yöntemi veya sonlu hacimler yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntemlerin aslı Eudox (408 – 355 İÖ) ve Archimedes'e (287 – 212 İÖ) kadar gitmektedir. Nolte (2005) Karmaşık geometrili problemlerin çözümü için daha basit geometrilerle çözüm yapılmıştır ve bu çözümü komple sisteme uyarlayarak sonlu eleman yönteminin temelini şekillendirmişlerdir. 20. yüzyılın ikinci yarısı bu yöntemler için asıl büyük kırılma noktası olmuştur.

Günümüzde modern bilgisayar sistemleri simülasyon programları birkaç milyon elementli problemleri çok az sürede çözebilir hale gelmiştir. Modelin hazırlanması, o geometrinin hesaplanabilir modele dönüştürülmesi dakikalar içine sığabilmektedir.

Her üç tip ısı transferi mekanizması (iletim, taşınım, ışıınım) ve akışkan hareketlerini barındıran akış ve sıcaklık problemleri CFD (hesaplamalı akışkanlar mekaniği) simülasyon programlarıyla çözülebilmektedir. Otomotiv sektöründe CFD yazılımı birçok farklı uygulamada kullanılmaktadır.

- Motorlu sıcaklık ve akış analizi
- Enjeksiyon sistemleri
- Elektronik parçalardaki sıcaklık oluşumu
- Kabin içi havalandırma sistemi
- Motor soğutma
- Deniz araç sistemlerinin incelenmesi
- Yapı klima şartlarının analizi

Yukarıdaki örnekler bu programların kullanıldığı alanlardan sadece bir kısmıdır. Bu çalışmada enjektör meme ürünü için yapılmış bir CFD çalışmasıdır. Meme iç akışa ait özellikler (hız, akış çizgileri, basınç vb.) incelenmiştir.

3.2.4. Akış simülasyonu

Bu çalışmada daimi akış analizi yapılmıştır. Akış denge durumuna ulaştıktan sonraki durumun incelenmesi yapılmıştır. Ayrıca CFD analizi yapılan deneysel çalışma ile de değerlendirilmiştir. CFD çalışmasında çözüm için kullanılan yakınsama kriteri sonlu kareler yöntemi kullanılarak 10^{-4} 'tir.

3.2.4.1 Matematiksel Model

Bu çalışmada iki fazlı kaviteasyon modeli kullanılmıştır. Ansys CFX'de kaviteasyon modeli Rayleigh-Plesset denklemine göre çözdürülmektedir.

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial(r_a \rho_a)}{\partial t} + \frac{\partial(r_a \rho_a u_i)}{\partial x_i} = \dot{S}_a \quad (3.1)$$

Momentum korunum denklemi

$$\frac{\partial(\rho_m u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_m u_i u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial P}{\partial x_i} + \rho_m r_a g_i + \frac{\partial(\tau_{ij})}{\partial x_j} \quad (3.2)$$

Sırasıyla r_a , u_i , ρ_a , \dot{S}_a , τ_{ij} ve P hacimsel faz katsayısı, faz hız bileşeni, faz yoğunluğu, faz kütle transferi, kayma gerilmesi tensörü ve basınçtır. M alt indisi karışım özelliklerini vermek için kullanılmıştır. Yukarıdaki denklem için gerek şart aşağıdaki gibidir.

$$\sum_{a=1}^N r_a = 1 \quad (3.3)$$

Bu çalışmada iki fazlı çalışıldığı için $N=2$ 'dir. Kütle korunumuna göre;

$$\sum_{a=1}^N \dot{S}_a = 0 \quad (3.4)$$

olmalıdır.

Çalışmamızda sıvı ve buhar fazı olduğu için aşağıdaki kütleli debi eşitliği yazılabilir.

$$\dot{S}_v = -\dot{S}_l = \dot{S}_{lv} \quad (3.5)$$

Türbülans modeli

Türbülans modeli olarak k-w türbülans modeli kullanılmıştır. Püskürtme deliği boyunca $y^+ < 2$ 'dir. Mesh noktalarından hesaplama yapılarak sınır tabakasındaki değerler bulunmuştur. Bu modele ait denklemler aşağıdaki gibidir:

k-denklemi:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \beta^t \rho k \omega + P_{kb}$$

w-denklemi:

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j \omega) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + \alpha \frac{\omega}{k} P_k - \beta \rho \omega^2 + P_{\omega b} \quad (3.6)$$

Bu modelde

$\beta^t = 9$, $\alpha = 5/9$, $\beta = 0,075$, $\sigma_k = 2$, $\sigma_\omega = 2$ 'dir.

Kavitasyon modeli

Bu çalışmada kavitasyonlu çift fazlı akış simülasyonu yapılmıştır. Kavitasyonlu modelin seçilmesinin nedeni kavitasyon katsayısının bu çalışma için 2 değerinden küçük olmasıdır. Bu çalışma için kavitasyon katsayısı:

$$K = \frac{P_1 - P_v}{P_1 - P_2} = \frac{10 - 0,03}{10 - 1} = 1,1077$$

Bu denklemden:

P_1 (Giriş basıncı) : 10 bar

P_v (Buharlaştırma basıncı): 0,03 bar

P_2 (Çıkış basıncı) : 1 bar

Ansys CFX programının kullandığı kavitasyon için matematiksel model aşağıda görülebilir.

$$R_B \frac{d^2 R_B}{dt^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR_B}{dt} \right)^2 + \frac{2\sigma}{\rho_l R_B} = \frac{P_v - P}{\rho_l} \quad (3.7)$$

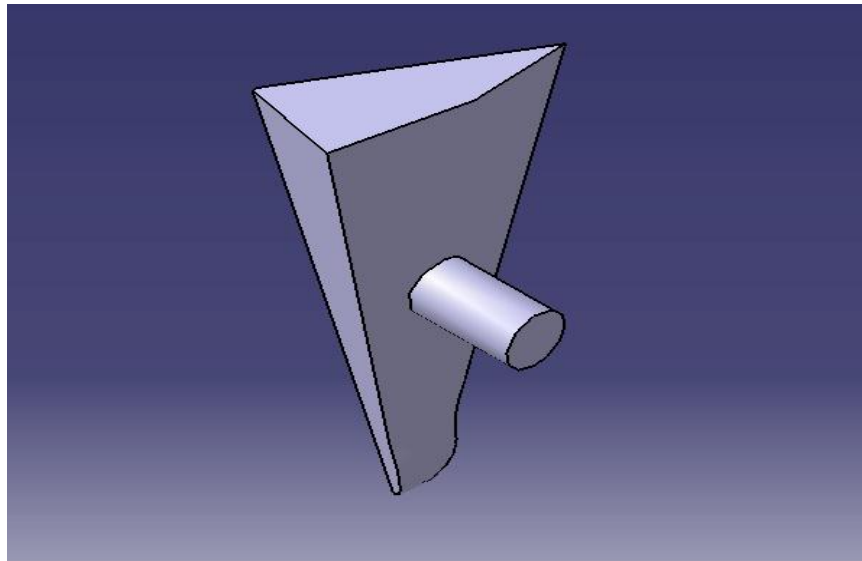
3.2.4.2 Geometri ve mesh hazırlama

CFD günümüzde çok fazla uygulamaları olan nümerik modelleme tekniğidir. Hepsindeki temel yaklaşım, öncelikle üzerinde analiz yapılacak bir geometri oluşturulması, bu akış hacminin ufak hacimlere bölünerek ağ yapısı yaratılması ve sınır çalışma koşulları belirlenerek akışkana ait özelliklerin tanımlanması, sayısal çözümleme ve sonuçların yorumlanmasıdır.

Meme iç akışını incelemek için öncelikle üzerinde çözüm yapılabilecek bir geometriye yada diğer bir deyişle akış hacmine ihtiyaç vardır. Bu akış hacmi, iğne ve gövde arasında kalan hacim olarak tanımlanabilir. Püskürtme delikleri simetrik olduğunda bu hacmin sadece bir delikli modeli de hesaplamalarda kullanılabilir böylece çözüm süresi kısaltılabilir.

Bu çalışmada da ilk olarak Catia programında Meme ve iğne arasında oluşan akışın 60°'lik geometrisi oluşturuldu.

Püskürtme deliği çapı 0,25mm olan üç boyutlu Akış modelinin resmi Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



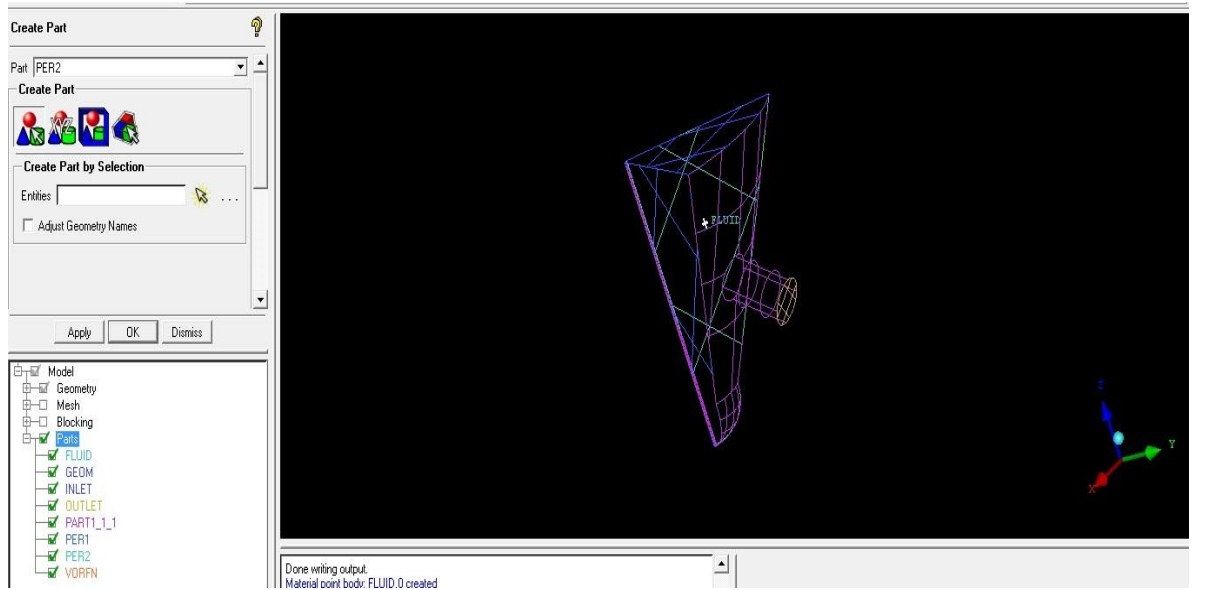
Şekil 3.8 Püskürtme deliği 0,25mm olan akış modeli

Catia programında oluşturulan 3D modelin analizinin yapılabilmesi için **Ansys Icem CFD 14.0** programında Mesh atılmıştır.

Yaratılan ağ yapısı uygulamalara göre farklılık göstermesine rağmen temelde katı yüzeylere yakın bölgelerde sınır tabaka etkilerini modelleyebilmek için daha fazla eleman kullanılması gerekmektedir.

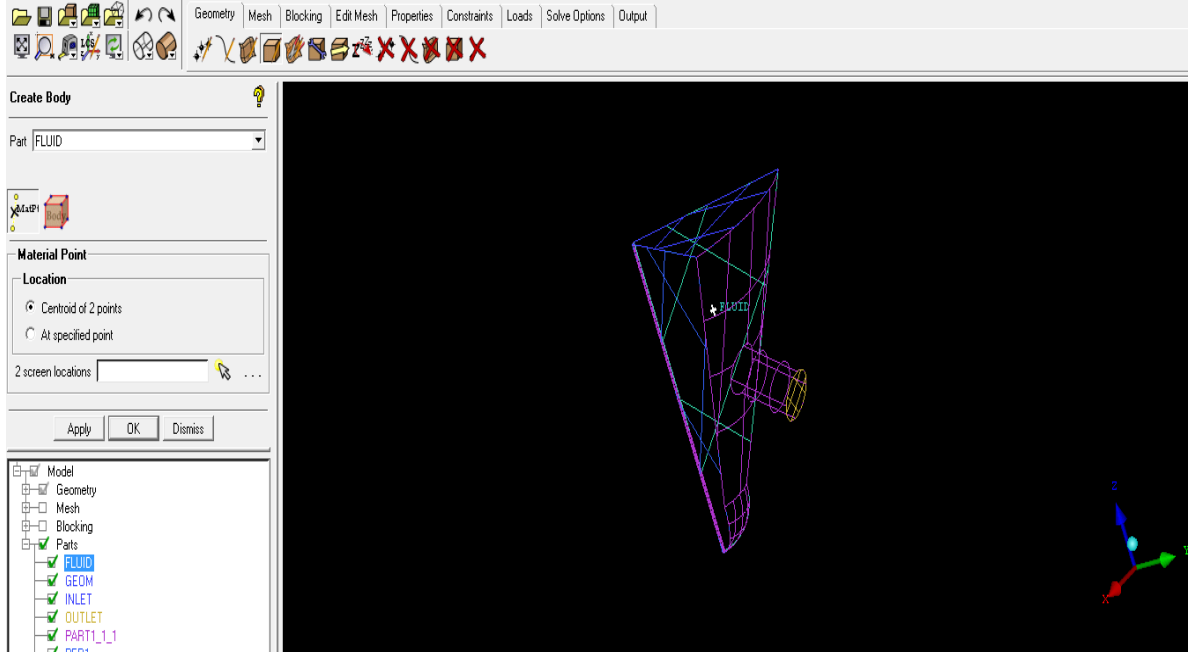
Aşağıda modele Mesh atılması için yapılan çalışmalar gösterilmiştir.

- İlk olarak CFD programında **Create Part** komutuyla modelin yüzeyleri oluşturulur.
- Inlet (Akışın giriş yüzeyi), Outlet (Akışın çıkış yüzeyi), Vorfn, Per1-Per2 (Yan yüzeyler), Part1 (Ön yüzey) olarak farklı renklerde yüzeyler oluşturulur. Şekil 3.9'da model yüzeyleri gösterilmiştir.



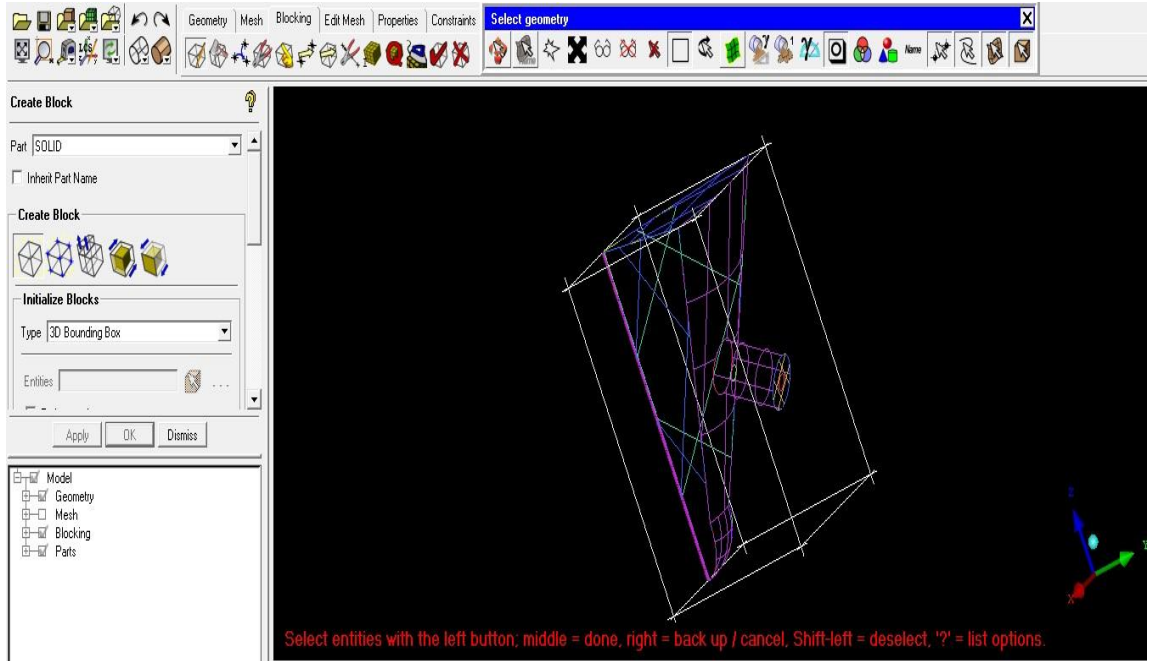
Şekil 3.9 Icem CFD14.0 programında Model yüzeyleri

- Fluid Model yapısı **Create Body** komutuyla oluşturulur. Şekil 3.10'da akış yapısının oluşturulması gösterilmiştir.



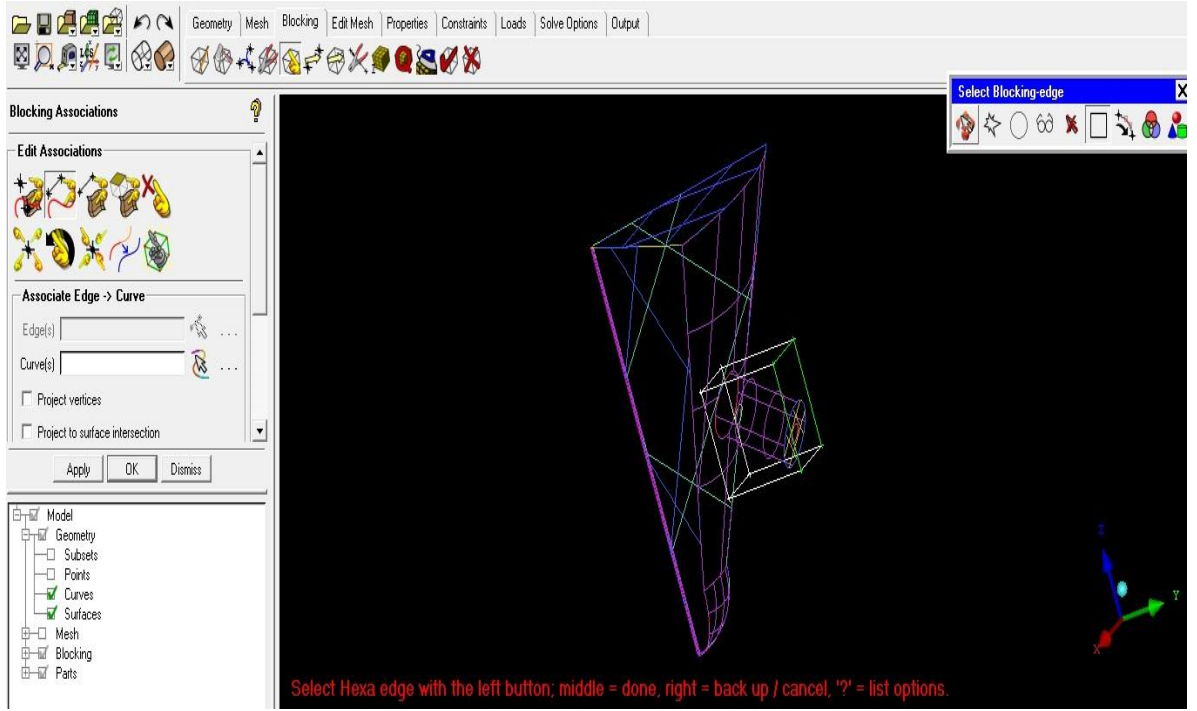
Şekil 3.10 ICEM CFD14.0 programında FLUID Model yapısı

- **Create Block** komutuyla Modelin tamamı seçilerek blok oluşturulur. Şekil 3.11’de modelin blok yapısı gösterilmiştir. Daha sonra blok kenarları **Edit Associations Edge => Curve** Inlet, Part1, Per1, Per2, Vorfn yüzeylerinin eğrilerine atanır.

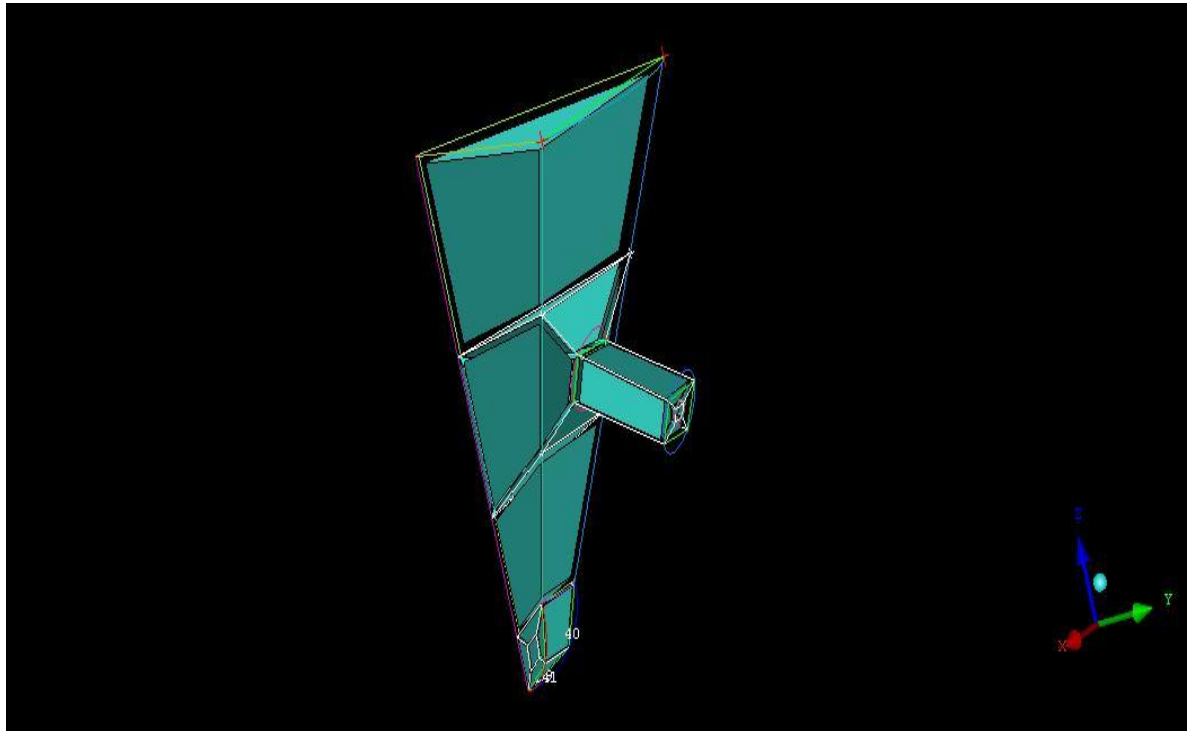


Şekil 3.11 ICEM CFD14.0 programında Modelin blok yapısı

- Modelin 0,25mm çaplı kısmına ikinci blok atılarak, ilk blokla birleştirilir. Daha sonra blok kenarları **Edit Associations Edge => Curve** komutuyla yüzey eğrilerine atanır. Şekil 3.12’de akış modelinin blok yapısı gösterilmiştir.

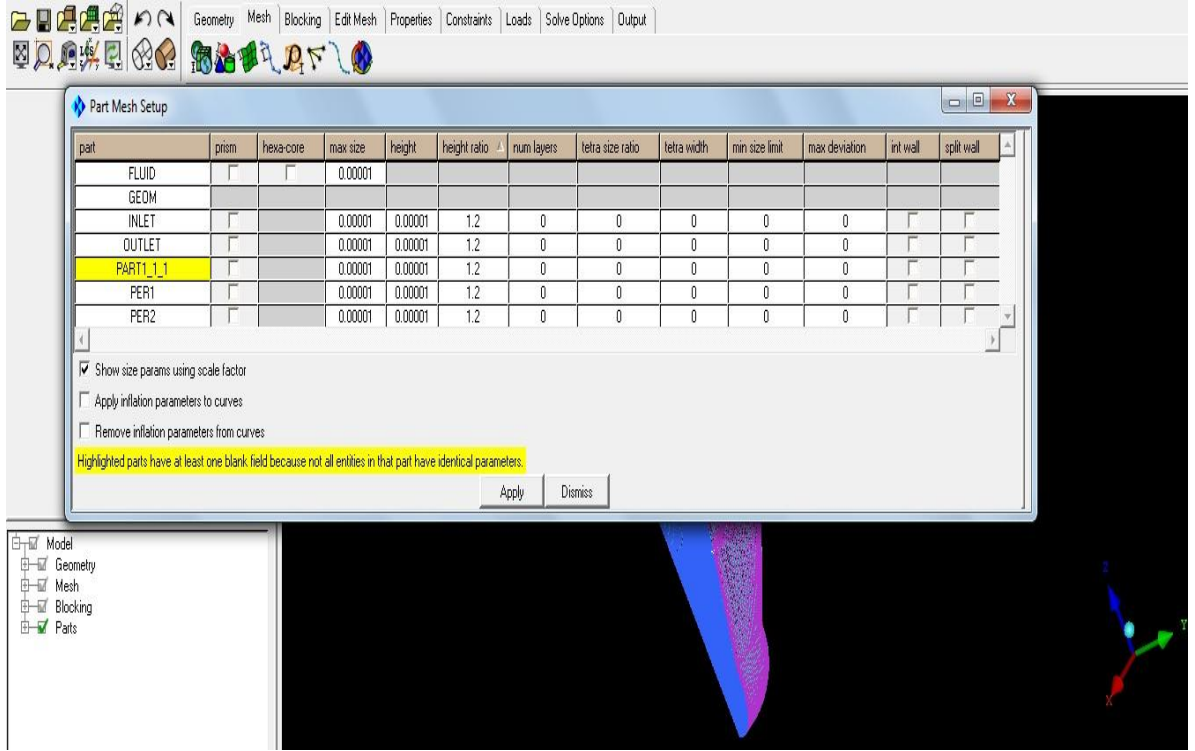


Şekil 3.12 ICEM CFD14.0 programında Modelin blok yapısı

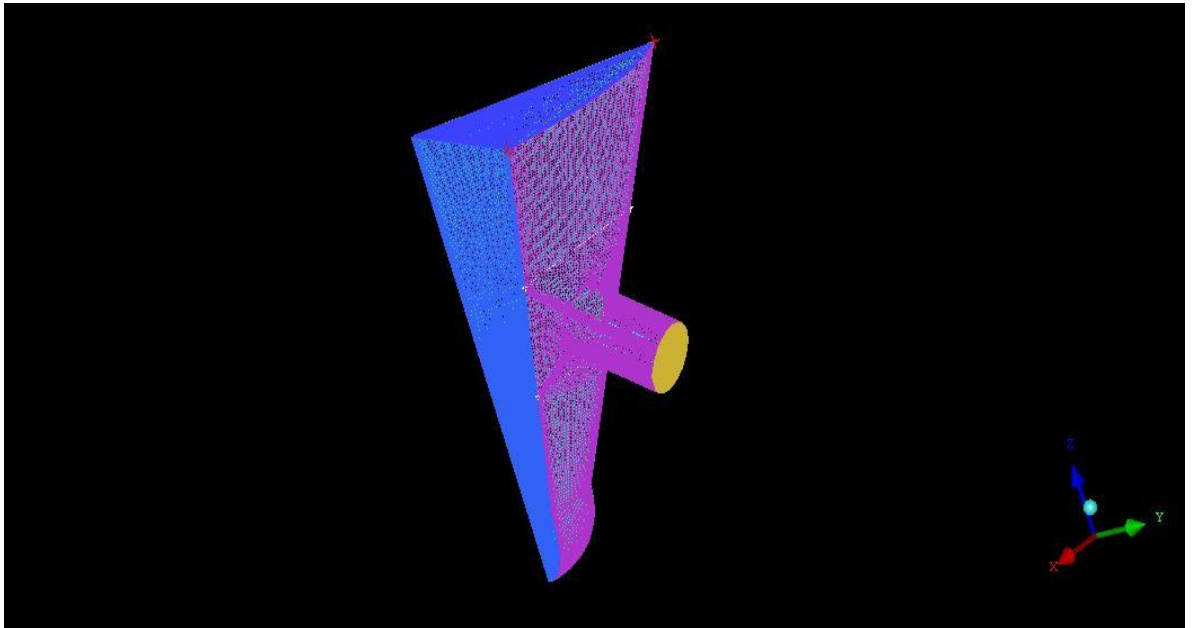


Şekil 3.13 ICEM CFD14.0 programında Modelin blok yapısı

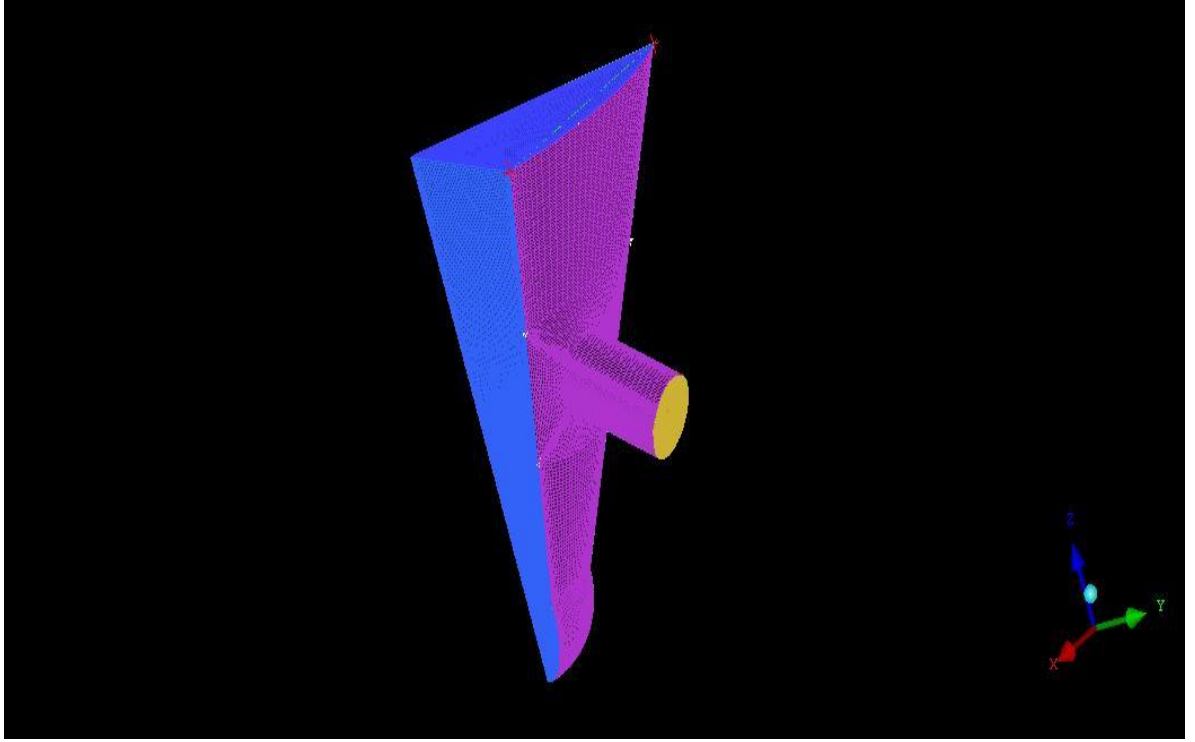
- Şekil 3.13’de gösterilen modelin blok yapısı hazırlandıktan sonra **Part Mesh Setup** komutuyla açılan pencereye, Mesh için uygun maksimum genişlik, yükseklik ve yükseklik oran değerleri girilir. Şekil 3.14’de Mesh yapısı için belirlenen boyutlar gösterilmiştir.



Şekil 3.14 ICEM CFD14.0 programında Mesh atılması



Şekil 3.15 ICEM CFD14.0 programında Mesh Modeli

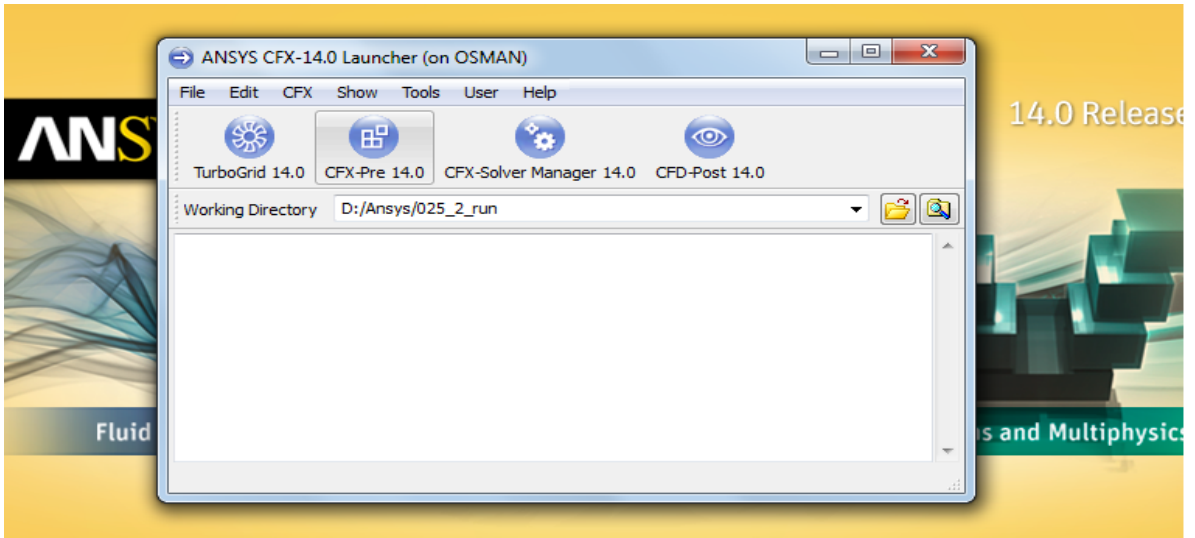


Şekil 3.16 ICEM CFD14.0 programında Mesh Modeli

- Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da akışın mesh modeli gösterilmiştir. Bu çalışmada kullanılan toplam mesh eleman sayısı 844610 adettir.
- Ansys CFX 14.0 programında modelin analiz edilmesi için yapılan çalışmalar aşağıda anlatılmıştır.

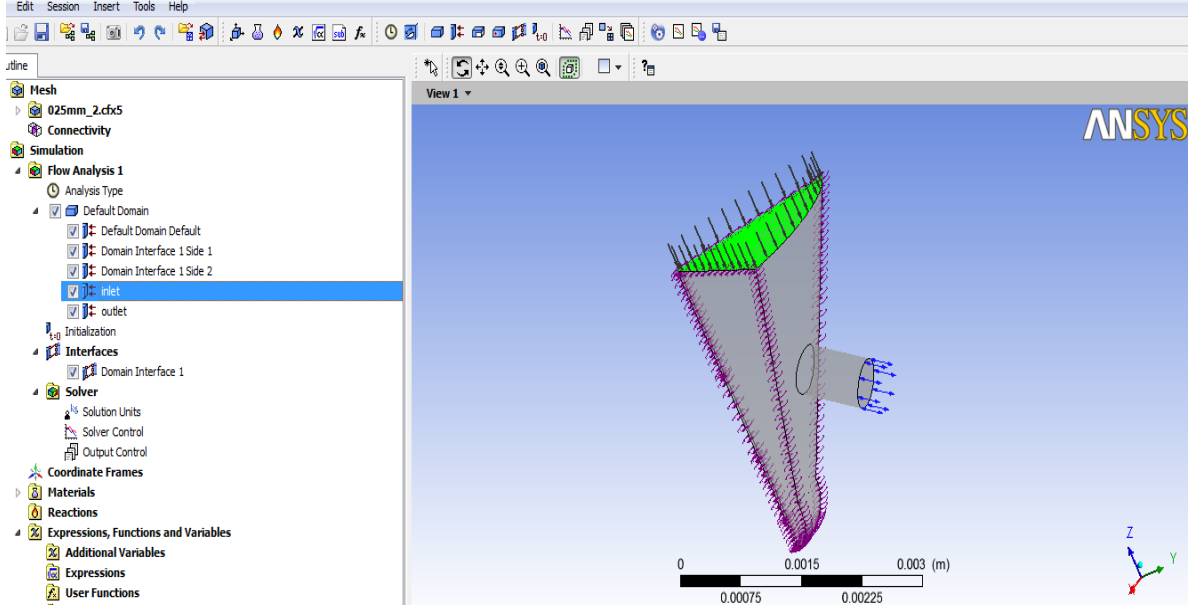
3.2.4.3. Sınır Şartlar

Analiz için sistemin sınır şartları Ansys CFX-Pre modülünde verilmiştir. Mesh atılmış modelin Ansys CFX-Pre 14.0 Programında açılması Şekil3.17'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17 CFX14.0 programında Model Analizi

- CFX-Pre programında modelin **Inlet** akışın giriş yüzeyi, **Outlet** akışın çıkış yüzeyi ve **Side1** ve **Side2** yan yüzeylerinin tanımlanması Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Inlet ve outlet yüzeylerindeki basınç değerleri sırasıyla 10 bar ve 1 bar olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.18 CFX-Pre 14.0 programında Model Analizi

3.2.4.4. Test yağı (ISO 4113)

Dizel yakıtı birçok farklı tipte üretilmektedir. Yazın ve kışın kullanılmak üzere farklı katkı malzemeleriyle uygun sıcaklıklarda maksimum verimle çalışmak üzere üretilir.

Enjektör testlerinde DIN EN 590'a, yani standart dizel yakıtına en yakın özelliklere sahip yağ ISO 4113 kullanılmaktadır. Test yağı özelliklerine Çizelge 3.1'de yer verilmiştir.

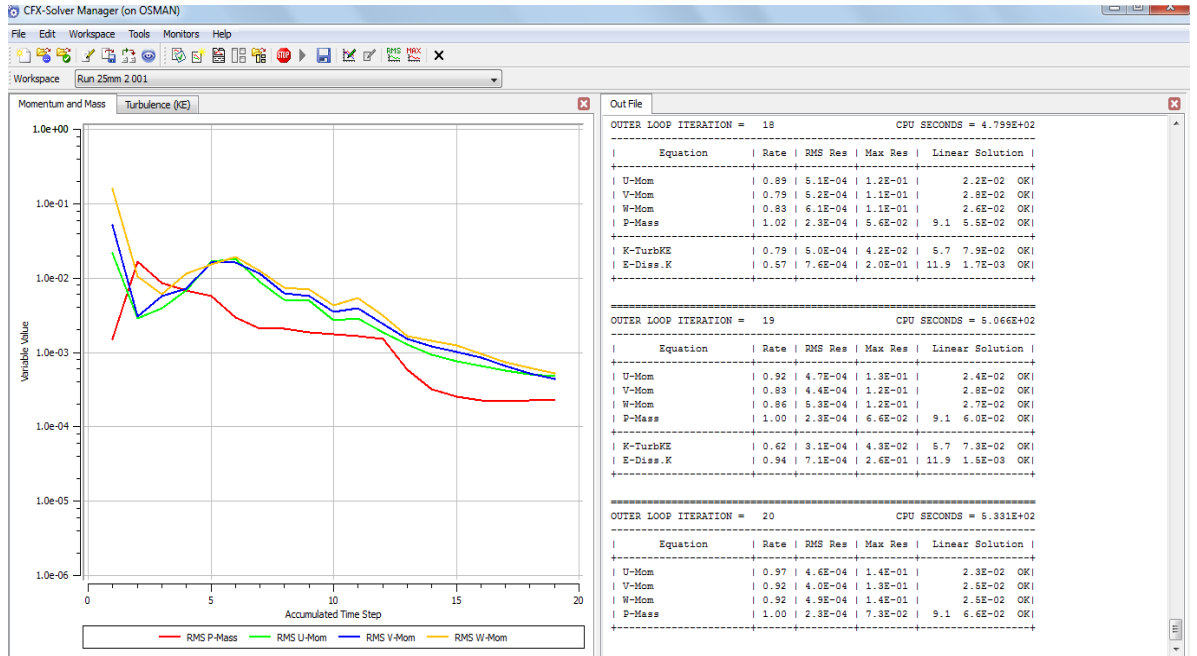
Çizelge 3.1. Test yağına ait fiziksel ve kimyasal özellikler

Test yağı fiziksel ve kimyasal özellikler		
	Birim	
Görünüm		berrak
Yoğunluk @ 15 °C	g/ml	0.83
Kinematik viskozite @ 40°C cSt	mm ² /s	2.55
Yanma noktası (ASTM D56)	°C	85
Sülfür	% kütle	0.1
Renk (ISO 2049)		1
Korozyon:		
ASTM D 130 Bakır	3 saat @ 100°C	iyi
ASTM D665A Çelik	24 saat. Pas yok	iyi
FSTM 5322.1 Galvanik	10 gün. Pas yok	iyi

4. BULGULAR

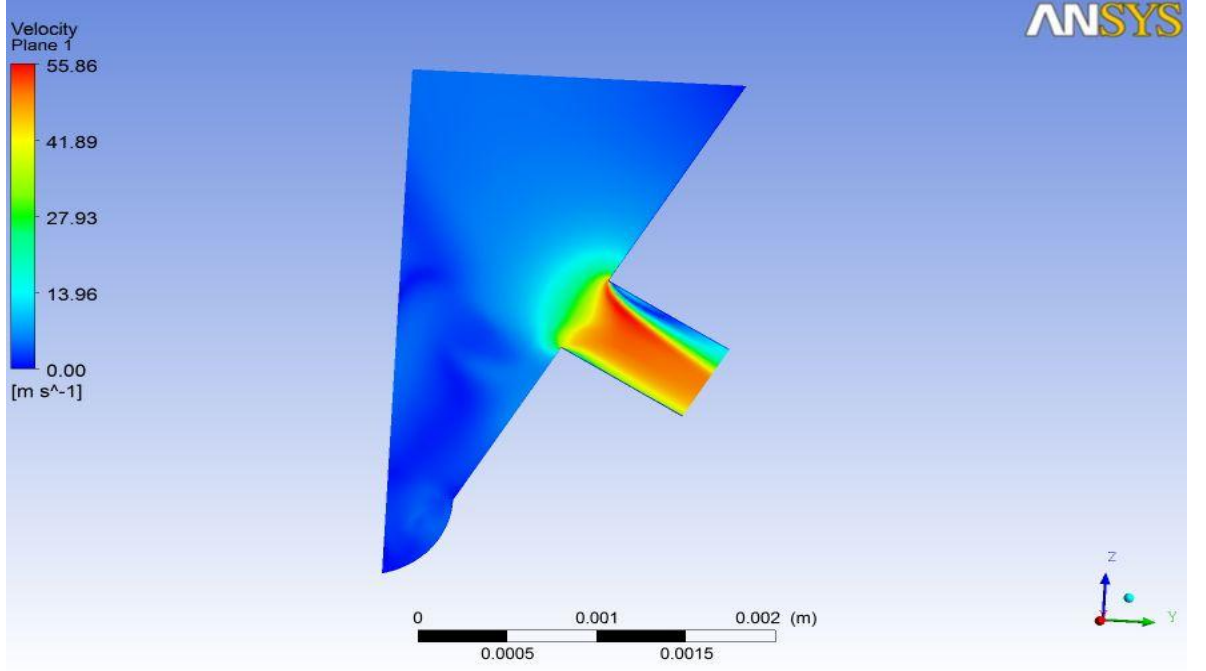
4.1. CFD Modelin Analizi

- CFX Pre programında **Solver kontrol** komutu tıklanarak minimum iterasyon değeri 1, maksimum iterasyon değeri 100 ve Residual target kısmına $1 \cdot 10^{-4}$ girilir.
- CFX-Solver Manager 14.0 programında modelin çözümlenmesi Şekil 3.19'da gösterilmiştir.



Şekil 4.1. CFX-Solver Manager 14.0 programında model analizi

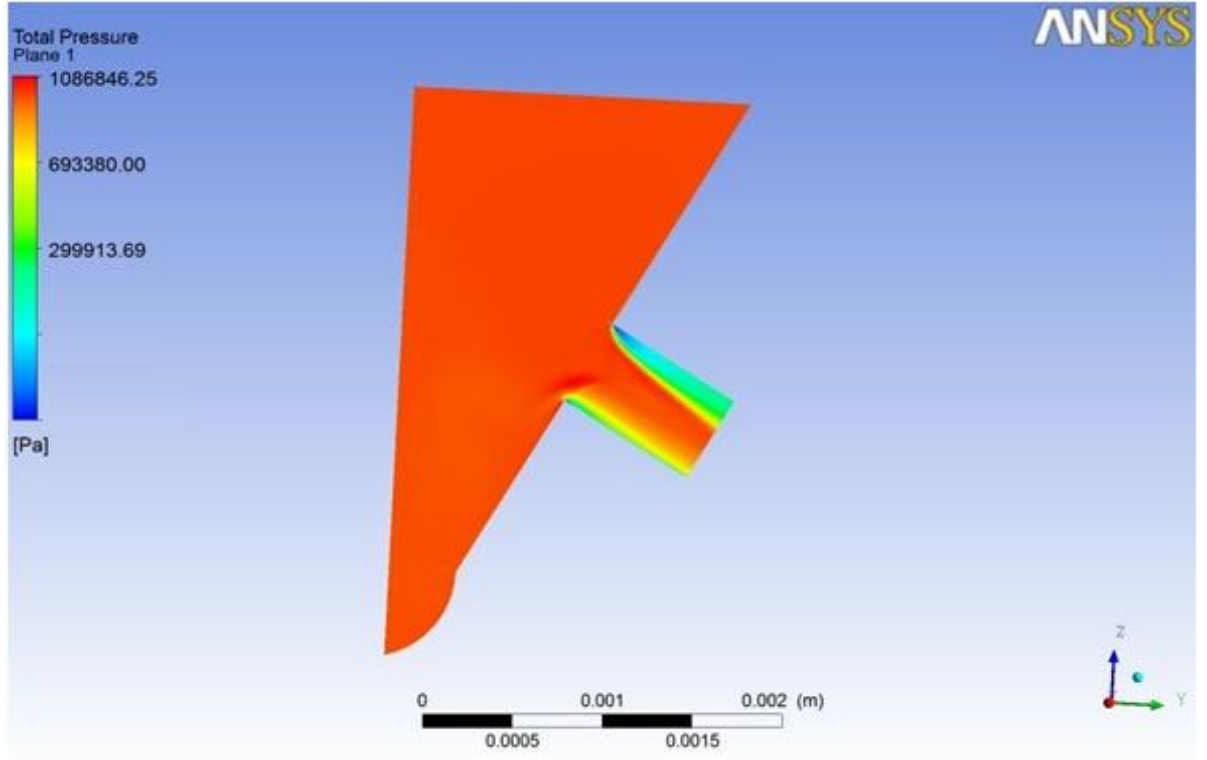
- CFX-Post 14.0 programında hız ve basınç analizleri yapılmıştır. Şekil 2.13'te hız konturları gösterilmiştir.



Şekil 4.2. CFX-Post 14.0 programında hız analizi

Delik orta kesiti boyunca gösterilmiş hız konturları incelendiğinde giriş bölgesinin üst kısmında düşük hız bölgesi yada ayrılma bölgesi gözlemlenebilir. Bu bölgelerde, akış dönme çapını takip edemeyerek duvardan ayrılmaktadır. Bunun sonucunda akışın kullandığı kesit alan daralmakta ve memeden geçirilebilecek debi miktarında kısımla meydana gelmektedir. Bu düşük hız bölgesinin büyüklüğü püskürtme deliğinin koniklik değeri artırılarak küçültülebilir.

Enjektör memesinin püskürtme deliğine geçiş bölgesinde en düşük basınç bölgesinin oluştuğu görülmektedir. Püskürtme esnasında akışta oluşan düşük basınç bölgesinde kavitasyon oluşacaktır. Şekil 2.14'te püskürtme esnasında akışta oluşan basınç değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.3. CFX-Post 14.0 programında basınç analizi

4.2. Model ile Test sonuçlarının karşılaştırılması

CFD programı yardımıyla yapılan çalışmaların dışında, enjektör meme geometrisinin analizinde laboratuvar ortamında test cihazları ile çalışmalarda yapılmıştır. Açma basıncı ölçümleri Fonksiyon test cihazında ve debi ölçümleri Q-hidrolik test cihazında gerçekleştirilmiştir.

Laboratuvar ortamında debi ölçümleri (Hidrolik ölçümleri) belirlenen zaman aralığının da (30 saniye veya 1 dakika) belirlenen basınçta (genellikle 100bar) enjektör memesinden püskürtülen yakıt miktarıdır.

Değişik püskürtme delik çapları ve koniklik değerlerinde enjektör memelerindeki açma basıncı ve debi değişimleri aşağıda gösterilmiştir.

Aşağıdaki Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de püskürtme deliği dış çapı 0,104mm (Koniklik değeri 1,5 için D iç çap:0,119mm ve Koniklik değeri 3,5 için D iç çap: 0,139mm) olan

enjektör memesinin koniklik değerinin artışıyla açma basıncının değerlerindeki değişim görülmektedir.

Çizelge 4.1. Meme konikliğine bağlı açma basıncı değerleri

Tip No	Koniklik	Dış Çap (mm)	İç Çap (mm)	Açma Basıncı (Bar)
2302	1,5	0,104	0,119	193,24
2302	1,5	0,104	0,119	194,71
2302	1,5	0,104	0,119	193,67
2302	1,5	0,104	0,119	194,02
2302	1,5	0,104	0,119	193,2

Çizelge 4.2. Meme konikliğine bağlı açma basıncı değerleri

Tip No	Koniklik	Dış Çap (mm)	İç Çap (mm)	Açma Basıncı (Bar)
2291	3,5	0,104	0,139	196,31
2291	3,5	0,104	0,139	196,72
2291	3,5	0,104	0,139	195,51
2291	3,5	0,104	0,139	195,58
2291	3,5	0,104	0,139	196

Koniklik değerinin 1,5'ten 3,5'a yükselmesi ile açma basınç değerinin de yükseldiği gözlemlenmiştir.

Aşağıdaki Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'de püskürtme deliği dış çapı 0,121mm (Koniklik değeri 1,5 için D iç çap:0,136mm ve Koniklik değeri 3,5 için D iç çap: 0,156 mm) olan enjektör memesinin koniklik değerinin artışıyla açma basıncının değişim değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.3. Meme konikliğine bağlı açma basıncı değerleri

Tip No	Koniklik	Dış Çap (mm)	İç Çap (mm)	Açma Basıncı (Bar)
2216	1,5	0,121	0,136	189,95
2216	1,5	0,121	0,136	190,91
2216	1,5	0,121	0,136	191,61
2216	1,5	0,121	0,136	191,87
2216	1,5	0,121	0,136	192,06

Çizelge 4.4. Meme konikliğine bağlı açma basıncı değerleri

Tip No	Koniklik	Dış Çap (mm)	İç Çap (mm)	Açma Basıncı (Bar)
2160	3,5	0,121	0,156	195,17
2160	3,5	0,121	0,156	195,12
2160	3,5	0,121	0,156	196,83
2160	3,5	0,121	0,156	194,95
2160	3,5	0,121	0,156	192,36

Koniklik değerinin 1,5'ten 3,5'a yükselmesi ile açma basınç değerinin farklı çaplarda da yükseldiği gözlemlenmiştir.

Aşağıdaki Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da püskürtme deliği dış çapı 0,104mm (Koniklik değeri 1,5 için D iç çap:0,119mm ve Koniklik değeri 3,5 için D iç çap: 0,139mm) olan enjektör memesinin koniklik değerinin artışıyla püskürtme deliğinden geçen akış (debi) miktarının değişim değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.5. Meme konikliğine bağlı debi değerleri

Tip No	Koniklik	Dış Çap (mm)	İç Çap (mm)	Q hyd Ölçümleri (cm ³ /dk)
2302	1,5	0,104	0,119	497,07
2302	1,5	0,104	0,119	498,01
2302	1,5	0,104	0,119	497,32
2302	1,5	0,104	0,119	497,09
2302	1,5	0,104	0,119	497,36

Çizelge 4.6. Meme konikliğine bağlı debi değerleri

Tip No	Koniklik	Dış Çap (mm)	İç Çap (mm)	Q hyd Ölçümleri (cm ³ /dk)
2291	3,5	0,104	0,139	540,87
2291	3,5	0,104	0,139	544,47
2291	3,5	0,104	0,139	542,34
2291	3,5	0,104	0,139	541,87
2291	3,5	0,104	0,139	543,24

Koniklik değerinin 1,5'ten 3,5'a yükselmesi ile püskürtme deliğinden geçen debi değerinde yükseldiği gözlemlenmiştir. ANSYS programında yapılan hız konturları incelendiğinde görülen ayrılma bölgesinin büyüklüğünün koniklik değerinin artmasıyla azalarak püskürtme deliğinden geçen debi miktarının arttığı bu ölçümlerde gözlemlenmiştir.

Aşağıdaki Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8’de püskürtme deliği dış çapı 0,121mm (Koniklik değeri 1,5 için D iç çap:0,136mm ve Koniklik değeri 3,5 için D iç çap: 0,156 mm) olan enjektör memesinin koniklik değerinin artışıyla püskürtme deliğinden geçen akış (debi) miktarının değişim değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.7. Meme konikliğine bağlı debi değerleri

Tip No	Koniklik	Dış Çap (mm)	İç Çap (mm)	Q hyd Ölçümleri (cm ³ /dk)
2216	1,5	0,121	0,136	787,02
2216	1,5	0,121	0,136	786,86
2216	1,5	0,121	0,136	787,5
2216	1,5	0,121	0,136	786,8
2216	1,5	0,121	0,136	786,44

Çizelge 4.8. Meme konikliğine bağlı debi değerleri

Tip No	Koniklik	Dış Çap (mm)	İç Çap (mm)	Q hyd Ölçümleri (cm ³ /dk)
2160	3,5	0,121	0,156	796
2160	3,5	0,121	0,156	801,29
2160	3,5	0,121	0,156	793,69
2160	3,5	0,121	0,156	797,47
2160	3,5	0,121	0,156	804,03

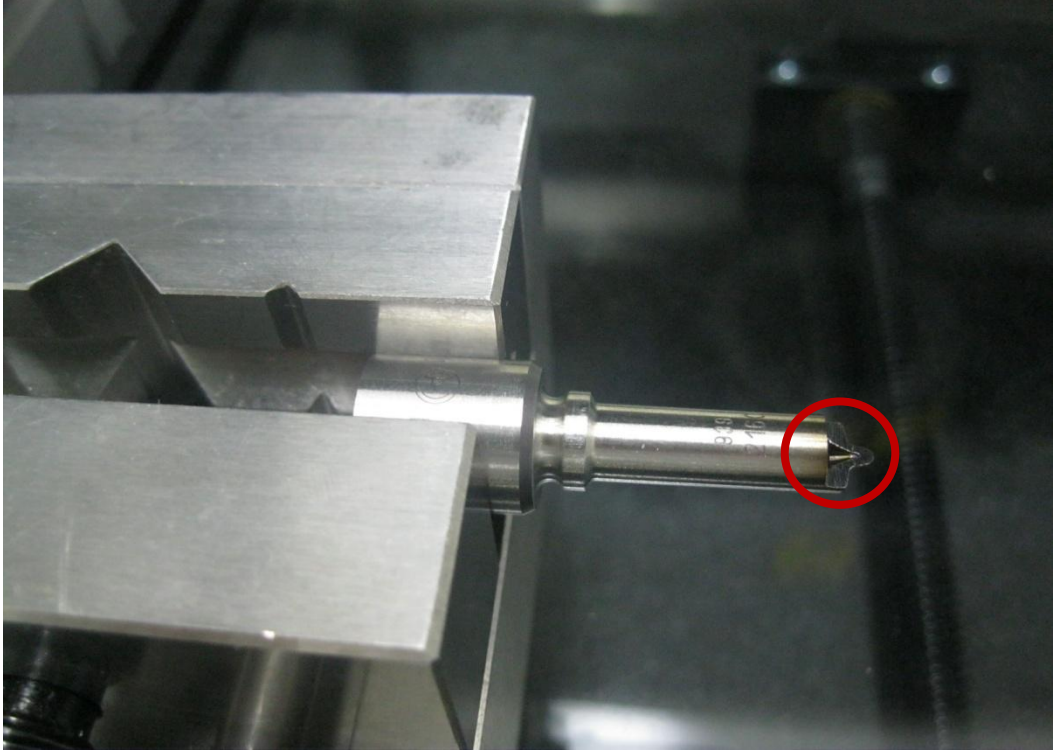
Koniklik değerinin 1,5’ten 3,5’a yükselmesi ile püskürtme deliğinden geçen debi değerinin de yükseldiği gözlemlenmiştir. Püskürtme deliğinden geçen debi miktarının arttığı daha büyük çaplı püskürtme deliğinde belirtilen ölçümlerde de gözlemlenmiştir.

Deneysel çalışmalarda, püskürtme deliği iç akışının analizi için Hidrolik Debi Ölçümleri ve Açma Basıncı Ölçümleri tamamlandıktan sonra Zeiss O-Inspect üç boyutlu optik ve taktil ölçüm yapabilen koordinat ölçüm cihazında Püskürtme deliği radius ölçümleri yapılmıştır. Şekil 4.4’de Zeiss O-Inspect cihazının gösterilmiştir. Zeiss cihazının ölçüm yapabildiği alanı X-ekseninde 400mm, Y-ekseninde 400mm ve Z-ekseninde 200mm’dir. Ölçüm yapılabilen karakteristikler aç, radius, boyut toleransları, form ve konum toleranslarıdır.



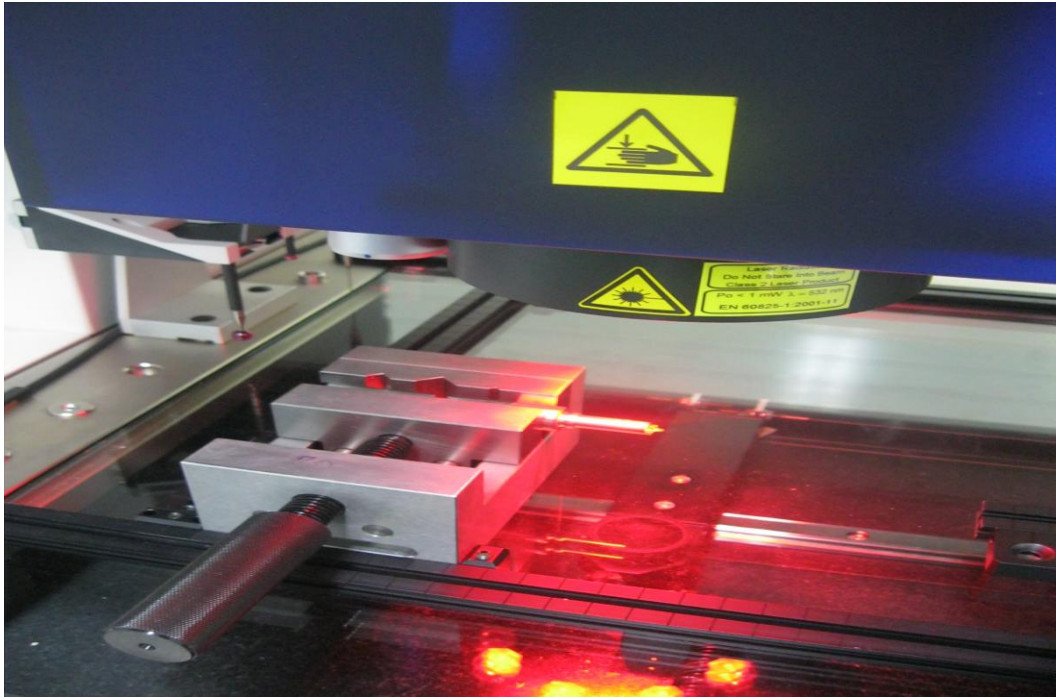
Şekil 4.4. Zeiss O-Inspect üç boyutlu koordinat ölçüm cihazı

Meme Püskürtme deliğinin Zeiss cihazında ölçülebilmesi için meme uç kısmı hassas olarak en az bir deliğinin görülebileceği şekilde taşlanmıştır. Taşlanmış meme resmi Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Uç kısmının taşlanan bölgesi kırmızı daire içerisine alınmıştır.



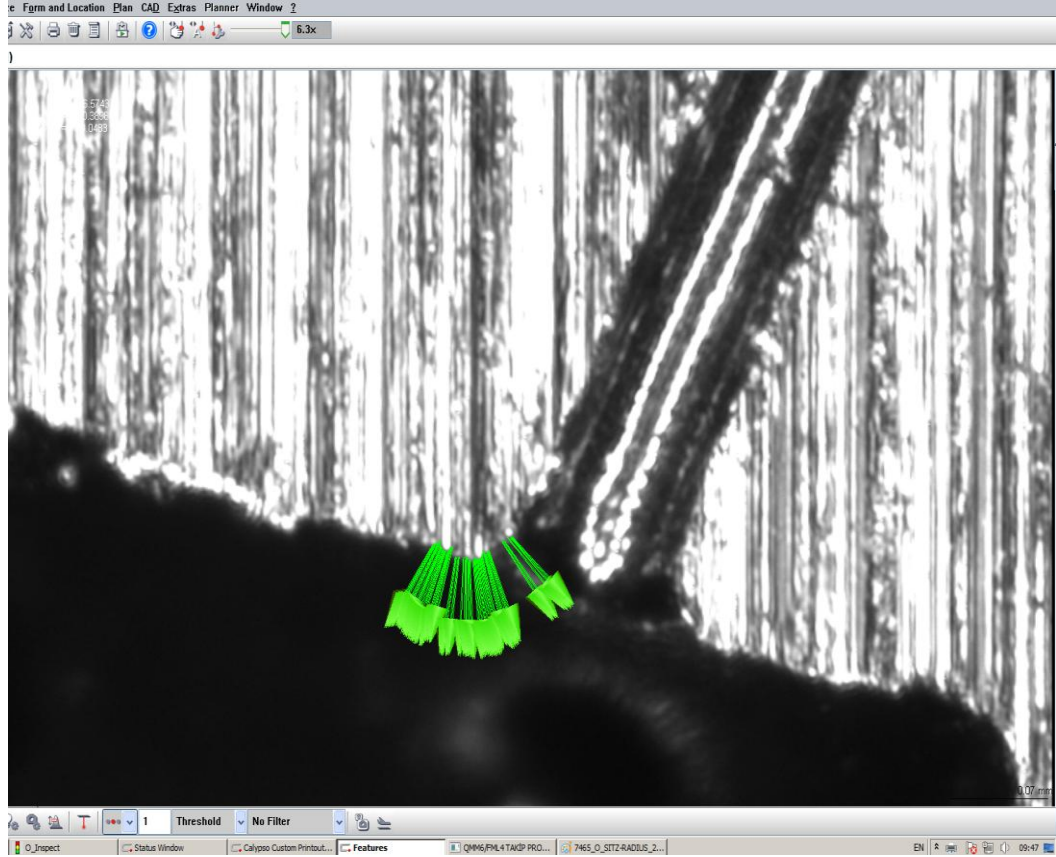
Şekil 4.5. Uç kısmı taşlanmış Meme resmi

Zeiss cihazında meme püskürtme deliği radius değerlerinin optik olarak Lazer ışınları yardımıyla ölçülmesi Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Bu cihazda kullanılan lazer sınıfı 2’dir. Cihazın çözünürlüğü, ölçüm yapabildiği en küçük değer 0,1 nanometre’dir.



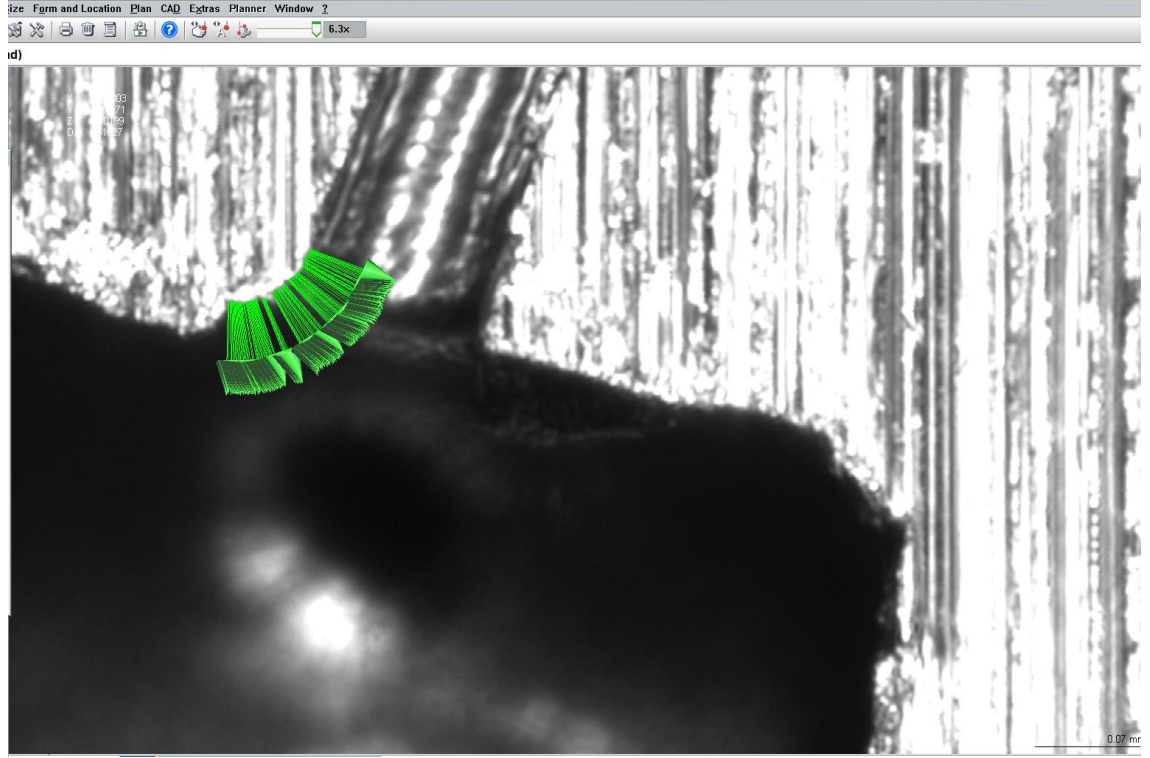
Şekil 4.6. Meme püskürtme deliği giriş radius değerinin ölçümü

Zeiss cihazında yapılan püskürtme deliği radius ölçümleri aşağıda gösterilmiştir. Q-hidrolik değeri 497,07 cm³/dk olan 2302 tip numaralı test memelerinden 1 numaralı parçanın radius ölçüm değeri 0,0381 mm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.7’de cihazdan alınan ölçüm resmi gösterilmiştir.

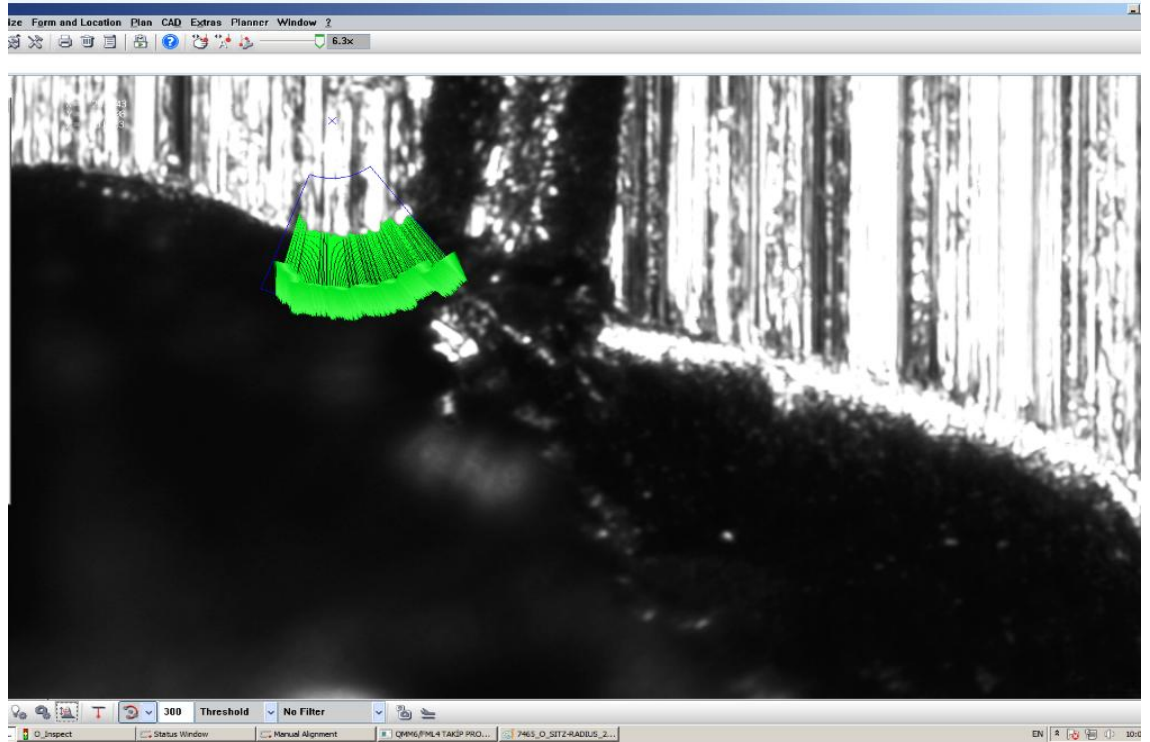


Şekil 4.7. Tip Numarası 2302 olan birinci memenin radius ölçümü

Q-hidrolik değeri 498,01 cm³/dk olan 2302 tip numaralı test memelerinden 2 numaralı parçanın radius ölçüm değeri 0,0537 mm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.8’de Zeiss cihazından alınan, ikinci parçanın ölçüm resmi gösterilmiştir. Radius değerinin 15,6 µm artmasıyla Q-hidrolik debi değerinin bu tip meme için 0,94 cm³/dk arttığı yapılan testlerde gözlemlenmiştir.

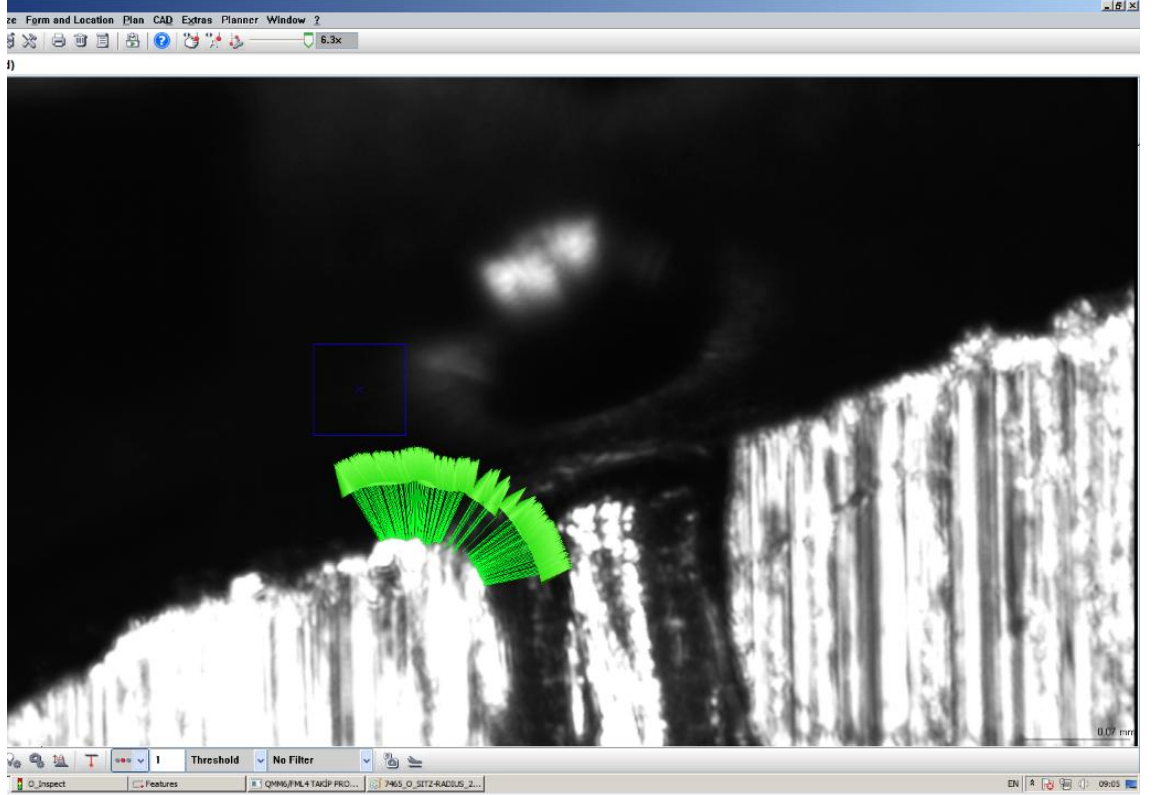


Şekil 4.8. Tip Numarası 2302 olan ikinci memenin radius ölçümü
Q-hidrolik değeri 793,69 cm³/dk olan 2160 tip numaralı test memelerinden 3 numaralı parçanın radius ölçüm değeri 0,0573 mm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.9’da cihazdan alınan ölçüm resmi gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Tip Numarası 2160 olan üçüncü memenin radius ölçümü

Q-hidrolik değeri $797,47 \text{ cm}^3/\text{dk}$ olan 2160 tip numaralı test memelerinden 4 numaralı parçanın radius ölçüm değeri $0,0627 \text{ mm}$ olarak ölçülmüştür. Şekil 4.10'da Zeiss cihazından alınan, 4 numaralı parçanın ölçüm resmi gösterilmiştir. Radius değerinin $5,4 \text{ }\mu\text{m}$ artmasıyla Q-hidrolik debi değerinin bu tip meme için $3,78 \text{ cm}^3/\text{dk}$ arttığı yapılan testlerde gözlemlenmiştir.



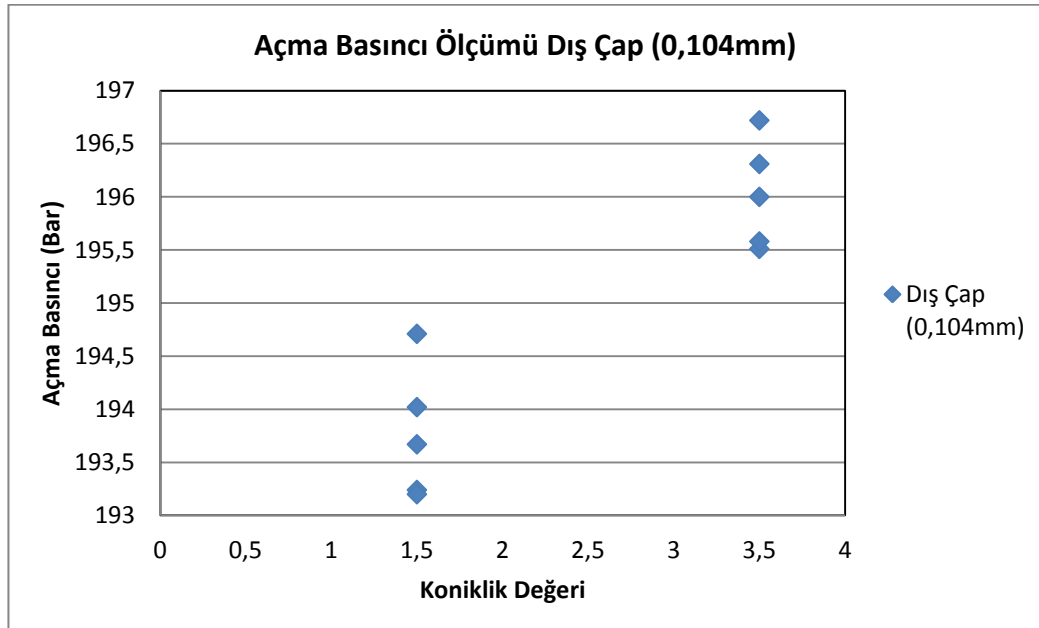
Şekil 4.10. Tip Numarası 2160 olan dördüncü memenin radius ölçümü

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Meme geometrisinin CFD programında yapılan hız ve basınç analizlerinde, enjektör memesinin püskürtme deliğine geçiş bölgesinde en düşük basınç bölgesinin oluştuğu görülmektedir. Püskürtme esnasında akışta oluşan düşük basınç bölgesinde kavitasyon oluşacaktır.

Püskürtme deliği dış çapı 0,104mm (Koniklik değeri 1,5 için D iç çap:0,119mm ve Koniklik değeri 3,5 için D iç çap: 0,139mm) olan enjektör memesinin koniklik değerinin artışıyla açma basıncının değerlerindeki değişim aşağıda görülmektedir.

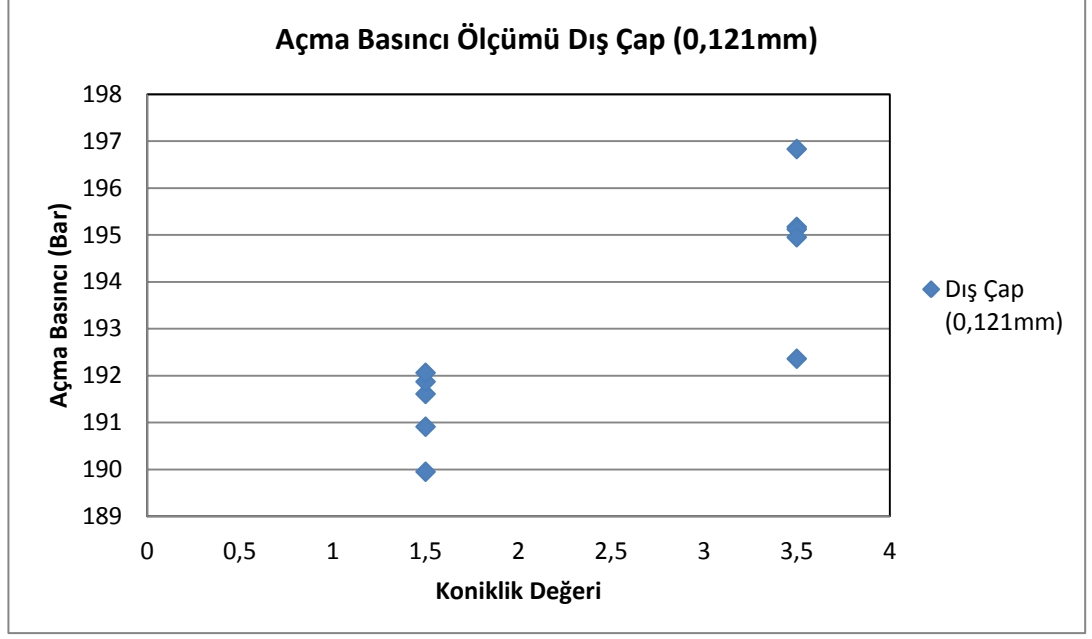
Koniklik değerinin 1,5'ten 3,5'a yükselmesi ile açma basınç değerinin de yükseldiği Şekil 5.1'de gözlemlenmiştir.



Şekil 5.1. Koniklik değerine göre açma basıncı değişimi

Püskürtme deliği dış çapı 0,121mm (Koniklik değeri 1,5 için D iç çap:0,136mm ve Koniklik değeri 3,5 için D iç çap: 0,156 mm) olan enjektör memesinin koniklik değerinin artışıyla açma basıncının değişim değerleri aşağıda görülmektedir.

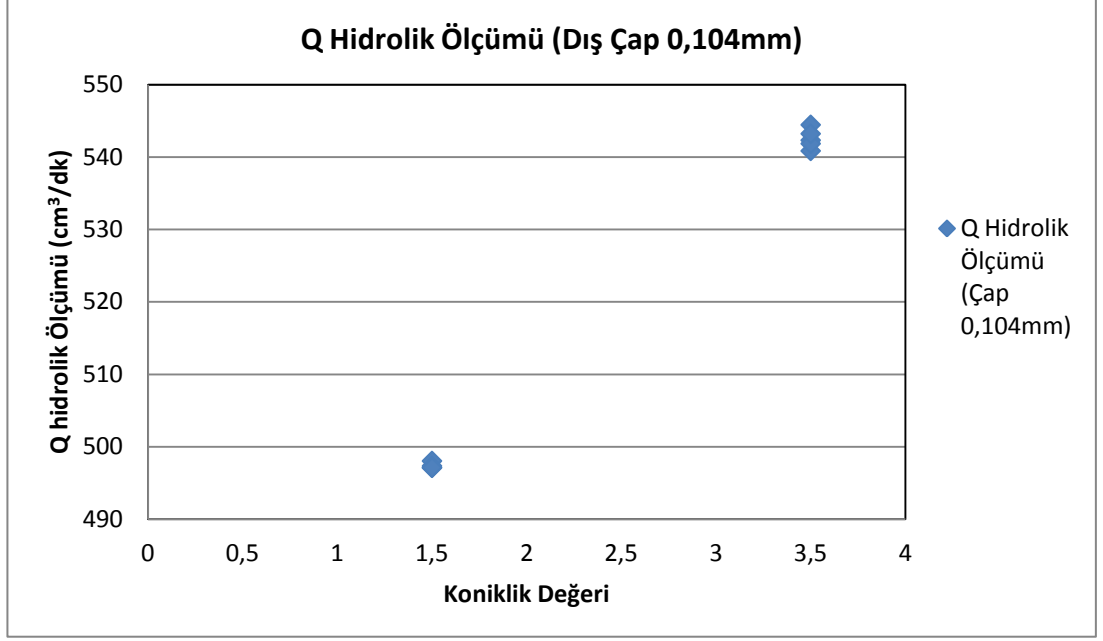
Koniklik değerinin 1,5'ten 3,5'a yükselmesi ile açma basınç değerinin farklı çaplarda da yükseldiği Şekil 5.2'de gözlemlenmiştir.



Şekil 5.2. Koniklik değerine göre açma basıncı değişimi

Püskürtme deliği dış çapı 0,104mm (Koniklik değeri 1,5 için D iç çap:0,119mm ve Koniklik değeri 3,5 için D iç çap: 0,139mm) olan enjektör memesinin koniklik değerinin artışıyla püskürtme deliğinden geçen akış (debi) miktarının değişim değerleri aşağıda görülmektedir.

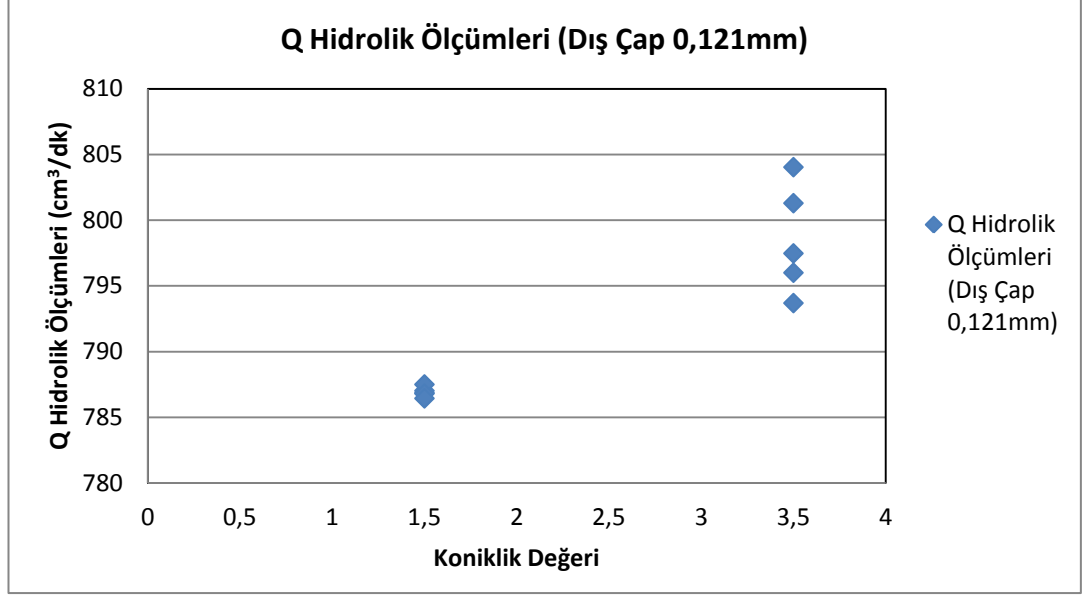
Koniklik değerinin 1,5'ten 3,5'a yükselmesi ile püskürtme deliğinden geçen debi değerinin de yükseldiği Şekil 5.3'te gözlemlenmiştir.



Şekil 5.3. Koniklik değerine göre Q-Hidrolik değişimi

Püskürtme deliği dış çapı 0,121mm (Koniklik değeri 1,5 için D iç çap:0,136mm ve Koniklik değeri 3,5 için D iç çap: 0,156 mm) olan enjektör memesinin koniklik değerinin artışıyla püskürtme deliğinden geçen akış (debi) miktarının değişim değerleri aşağıda görülmektedir.

Koniklik değerinin 1,5'ten 3,5'a yükselmesi ile püskürtme deliğinden geçen debi değerinin de yükseldiği gözlemlenmiştir. Püskürtme deliğinden geçen debi miktarının arttığı daha büyük çaplı püskürtme deliğinde Şekil 5.4'de belirtilen ölçümlerde de gözlemlenmiştir.



Şekil 5.4. Koniklik değerine göre Q-Hidrolik değişimi

Günümüzde emisyon değerlerine getirilen kısıtlamalardan dolayı meme iç akışı çok önemlidir. Püskürtme deliği girişinde kavitasyon sonrası oluşacak aşınmanın, enjektör püskürtme karakteristiklerini etkilemesinin engellenmesi içinde püskürtme deliğinin girişinde gerekli yuvarlatmaların yapılma ihtiyacı ve püskürtme deliği 0,121 mm olan memede 5,6 μm fazla yuvarlatma yapılarak 62,7 μm lik radius yapıldığında 3,78 cm^3/dk debi artışı, ayrıca püskürtme deliği 0,104 mm olan memede radius değerinin 15,6 μm artmasıyla Q-hidrolik debi değerinin bu tip meme için 0,94 cm^3/dk arttığı yapılan test ve çalışmalarda gözlemlenmiştir.

Meme geometrisinin CFD programında yapılan hız ve basınç analizlerinde enjektör memesinin püskürtme deliğine geçiş bölgesinde, yuvarlatma ve koniklik olmadığında yüksek basınçtan dolayı malzemelerde aşınma ve kopmalar oluşacaktır. Bundan dolayı bu enjektörlerin kullanıldığı araçlarda yakıt sarfiyatı artacaktır.

Koniklik değerleri farklı olan enjektör memeleri ile yapılan testlerde, koniklik değerinin 1,5 tan 3,5'e çıkarılması ile dakikada 50 cm^3 debi artışı olduğu yapılan testlerde gözlemlenmiştir. Bu debi artışları dikkate alınarak, müşterilerin talep ettiği püskürtme miktarlarını sağlamak için püskürtme deliği koniklik değerlerinde artış ve meme püskürtme deliği geçiş bölgesinde gerekli yuvarlatmalar yapılarak daha az sayıda

püskürtme deliği ile enjektör memesi üretilebilir. Böylece enjektör memesi üretimi daha hızlı ve daha düşük maliyetli olacaktır. Bunlardan dolayı müşterilerin enjektör püskürtme karakteristiklerindeki taleplerinin sağlanabilmesi için enjektör memesi tasarımında ve hesaplamalarında gerekli önem verilmeli ve iyi analiz edilmelidir.

Enjektör memesi, motorun küçük bir parçası fakat yanmayı etkileyen en önemli parçalarındandır. Gerek emisyon değerlerinin düşürülmesi gerekse otomotiv endüstrisinin kızışan rekabet ortamında yakıt sarfiyatının azaltılması için yakıt enjeksiyon sistemlerine yönelik çalışmaların önemi artmıştır. Meme iç akışı simülasyonlarında gelişen bilgisayar teknolojileri kullanılarak problemlerin çözülmesi ve emisyon değerlerinin düşürülerek otomotiv endüstrisinin çevreye olan etkisinin azaltılması için çalışmalara gereken önem verilmeli ve devam edilmelidir.

6. KAYNAKLAR

- **Basha S., Gopal K. 2008.** In-cylinder fluid flow, turbulence and spray models A review.
- **Baumgarten C., J. Stegemann, P. Merker. 2002.** A new model for cavitation induced primary break up of diesel sprays.
- **Bergwerk, W. 1995.** Flow Pattern in Diesel Nozzle Spray Holes. Proceeding of the Institute of Mechanical Engineers.
- **Bermudez V., Payri R., Salvador V., Plazas A. 2005.** Study of the influence of nozzle seat type on injection rate and spray behaviour.
- **Bertola G. 2003.** Technologies for lowest NOx and particulate emissions in DI-Diesel engine combustion influence of injection parameters, EGR and fuel composition.
- **Bey E., Böge A. 2007.** Dizel sistemlerde emisyon, Enjektör memesi örneği.
- **Binesh, S. Hossainpour. 2008.** Three dimensional modeling of mixture formation and combustion in a direct injection heavy-duty diesel engine
- **Bjarke S. 2007.** Experimental and numerical investigations of sprays in two stroke diesel engine.
- **Cameron S., Gary R., Brian M., Tracie B. 2008.** Investigation of cavitation in large-scale transparent nozzle. University of New South Wales, Australia.

- **Chaves H. 1995.** Experimental Study of Cavitation in the Nozzle Hole of Diesel Injectors Using Transparent Nozzles. SAE paper.
- **Corbinelli G., Befrui B., Reckers W. 2010.** Large Eddy Simulation and Optical Studies of the Primary Break-up of a Thin Planar-Sheet Liquid Jet.
- **Dam B., 2007.** Experimental and numerical investigations of sprays in two stroke diesel engines.
- **Diviš M., Macek J. 2005.** Fuel injection process computations using the eulerian multidimensional model .
- **Dorri, A. Lamani, A. Hoxha. 2009.** Influence of hole geometry in the cavitation phenomena of diesel injectors, a numerical investigation.
- **Fayri V. 2004.** The Influence of Cavitation on the Internal Flow and the Spray Characteristics in Diesel Nozzles.
- **Haeyoung J., Kihyung L., Yuji I. 2007.** Investigation of the spray characteristics for a secondary fuel injection nozzle using a digital image processing method
- **Hiroyasu H., Miao H. 1992.** Measurement and Calculation of Diesel Spray Penetration.
- **Kong J., C. Bae, K. Lee. 2003.** Initial Development of Non-evaporating Diesel Sprays in Common-rail Injection Systems

- **Karrholm F. 2008.** Numerical modeling of diesel spray injection, turbulence interaction and combustion. Department of Applied Mechanics Chalmers University of Technology
- **Kastengren L., F. Powell, Y. Wang, K. Im, J. Wang, 2008.** X-Ray Radiography Measurements of Diesel Spray Structure at Engine-Like Ambient Density
- **Klein-Douwel H., Frijters P., Somers L., de Boer W., Baert G. 2007.** Macroscopic diesel fuel spray shadowgraphy using high speed digital imaging in a high pressure cell.
- **Kong J. ve C. Bae. 2009.** Effect of Tapered Nozzle Hole on Spray Characteristics of High Pressure Diesel Injection. ICLASS, 11th International Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Vail, Colorado USA.
- **Kong S., Senecal P., Reitz D. 1999.** Developments in Spray Modeling in Diesel and Direct-Injection Gasoline Engines.
- **Kumar P., Pandurangadu V., Bharathi V., Deepthi V. 2011.** Analysis of fuel spray with various injection orientations in a diesel engine: Through CFD simulation.
- **Kumar P., Pandurangadu V., Bharathi V., Deepthi V. 2011.** Effect of injector orientation on velocity vector components in a diesel engine: Analysis through CFD simulation.
- **Lee C., Park S., Yoon S. 2007.** Experimental investigation on the fuel properties of biodiesel and its blends at various temperatures
- **Lindstörn M. 2009.** Injector nozzle hole parameters and their influence on real DI diesel performance.

- **Margot X., García A., Fajardo P., Patouna S. 2010.** Analysis of the cavitating flow in real size diesel injectors with fixed and moving needle lift simulations.
- **Margot X., Hoyas S., Fajardo P., Patouna S. 2010.** CFD study of needle motion influence on the spray conditions of single-hole injectors.
- **Martínez S., Fausto A., Sánchez C., Bermúdez V., Avila M. 2010.** Liquid Sprays Characteristics in Diesel Engines.
- **Martynov B., Mason D., Heikal M. 2005.** Numerical simulation of cavitation flows based on their hydrodynamic similarity
- **McKenzie A. 1998.** A Transient Computational Fluid Dynamic Model of a Unit Injector Using Methanol Fuel
- **Montorsi L., Franzoni F., Milani M. 2008.** Cavitation and fluid mixing in a multi-fuel injection system.
- **Morgan R., Wray J. 2001.** The influence of injector parameters on the formation and break-up of a diesel spray.
- **Okada H., Tuan, T.N., Tsukamoto, T., Iwasawa, K. ve O. Kenji. 2007.** Effect of Rounding-off Nozzle Hole Inlet on Fuel Injection and Combustion Characteristics under High-Temperature and High Pressure. Tokyo University of Marine Science and Technology.
- **Park H., Suh H., Lee C. 2007.** Effect of Cavitating Flow on the Flow and Fuel Atomization Characteristics of Biodiesel and Diesel Fuels.
- **Payri R., Salvador F., Gimeno J., Novella R. 2010.** Flow regime effects on non-cavitating injection nozzles over spray behavior

- **Payri R., Salvador F., Gimeno J., De la Morena J. 2010.** Influence of injector technology on injection and combustion development – Part1: Hydraulic characterization
- **Rahman M., Farahani F., Heidrick T., Fleck B. 2010.** Mass flux measurement of two phase dense spray using a coupled impulse probe and PDPA technique
- **Reveille B., Kleemann A., Jay S. 2006.** Towards even cleaner Diesel engines: Contribution of 3D CFD tools
- **Risi A., Donateo T., Laforgia D. 2001.** Theoretical investigation on the influence of physical parameters on soot and NOx engine emissions.
- **Sangiah D., L. Ganippa. 2009.** Application of spray impingement technique for characterization of high pressure sprays from multi-hole diesel nozzles
- **Schmidt D. 1997.** Cavitation in Diesel Fuel Injector Nozzles. PhD thesis, The University of Wisconsin-Madison.
- **Seykens L., Somers M., Baert G. 2004.** Modeling of common rail fuel injection system and influence of fluid properties on injection process.
- **Shuai S., Abani N., Yoshikawa T., Reitz R., Park W. 2009.** Evaluation of the effects of injection timing and rate-shape on diesel low temperature combustion using advanced CFD modeling
- **Sibendu S., Anita R., Douglas L., Suresh A. 2010.** Effect of nozzle orifice geometry on spray, combustion, and emission characteristic under diesel engine conditions.
- **Sibendu S. 2009.** Development and validation of spray models for investigating diesel engine combustion and emissions.

- **Taşkıran Ö., Ergeneman M. 2011.** Experimental Study on Diesel Spray Characteristics and Autoignition Process. Automotive Division, Faculty of Mechanical Engineering, Istanbul Technical University, 34469 Maslak, Istanbul, Turkey
- **Wang X., Huang Z., Zhang W., Kuti O., Nishida K. 2010.** Effects of ultra-high injection pressure and micro-hole nozzle on flame structure and soot formation of impinging diesel spray.
- http://tr.wikipedia.org/wiki/Diesel_Motor. Erişim Tarihi:15.11.2010. Konu: Dizel Motor
- <http://www.isiknowledge.com/>
- <http://kutuphane.uludag.edu.tr/online.html>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Osman Öztürk
Doğum Yeri ve Tarihi : Kırcaali / 1987
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Milli Piyango Anadolu Lisesi
Lisans : Uludağ Üniversitesi / 2009

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Bosch San. ve Tic. A.Ş. / 2010 - Halen
İletişim (e-posta) : Osman_oztrk@hotmail.com