

**KÜÇÜK YÜKSEKLİK AÇILARINDA DİZEL ENJEKTÖR
MEMESİNİN NÜMERİK ANALİZİ**

Tuna AYDIN



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÜÇÜK YÜKSEKLİK AÇILARINDA DİZEL ENJEKTÖR MEMESİNİN
NÜMERİK ANALİZİ**

Tuna AYDIN

Prof. Dr. A.Alper ÖZALP

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2012

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Tuna Aydın tarafından hazırlanan “KÜÇÜK YÜKSEKLİK AÇILARINDA DİZEL ENJEKTÖR MEMESİNİN NÜMERİK ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. A.Alper ÖZALP

Başkan:

İmza

U.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
..... Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye:

İmza

U.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
.....Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye:

İmza

U.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
..... Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Kadri ARSLAN

Enstitü Müdürü

.././....

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

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - başkalarının eserlerinden yararlanması 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.**

01/12/2011

Tuna Aydın

ÖZET

Yüksek Lisans

KÜÇÜK YÜKSEKLİK AÇILARINDA DİZEL ENJEKTÖR MEMESİNİN NÜMERİK ANALİZİ

Tuna AYDIN

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. A.Alper ÖZALP

Dizel motorlar günümüzde yakıt tasarrufu ve düşük emisyon oranları nedeniyle tercih edilmektedir. Ortak ray (Common Rail) sistemi de en yaygın kullanılan dizel enjeksiyon teknolojisidir. Ortak ray enjektörünün yanma odasına püskürtme yapan kısmı enjektör memesidir. Meme gövde ve iğne olmak üzere iki parçadan oluşur. İğnenin yukarı kalkıp inmesiyle püskürtme işlemi başlayıp sonlanır.

Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde kullanılan enjektör memelerindeki yükseklik açısının meme içi akışa olan etkisi incelenmiştir. Bu incelemenin amacı düşük yükseklik açılarında akış negatif kısılma gösterirken belli bir açıdan sonra kısılma etkisi pozitif olmaktadır. Negatif kısılma etkisi iğneli durumda enjektör memesinin daha fazla püskürtmesi anlamına gelmektedir. İğne küçük yükseklik açılarında iğnesiz duruma göre debiyi arttırıcı bir etki göstermektedir. Bu çalışmada amaç negatif kısılma gösteren 35 derecelik yükseklik açısına sahip iğneli (iğne kursu 0,25 mm) ve iğnesiz meme akışı ile pozitif kısılma gösteren 75 derecelik iğneli (iğne kursu 0,25 mm) ve iğnesiz meme akışının incelenmesi ve karşılaştırılmasıdır. Analiz için hem deneysel çalışma hem de CFD analizi yapılmıştır. Deneysel çalışma ile akış modeli doğrulanıp daha sonraki çalışmalar nümerik olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda meme püskürtme deliği girişindeki ayrılma bölgesi uzunluğunun ve genişliğinin düşük yükseklik açılarında iğnesiz durumda daha büyük olduğu ve bunun sonucu olarak girdap odaklı kayıpların arttığı; bu artışın bu bölgedeki basınç kayıplarının artmasına ve püskürtme deliği çıkışı hızının azalmasına neden olduğu bulunmuştur. Bu durum pozitif kısılma etkisi gösteren yükseklik açılarındaki akışta tam tersi bir durum gösterir.

Anahtar Kelimeler: Dizel enjeksiyon, kavitasyon, meme geometrisi, iki fazlı akış, nümerik simülasyon

2012, xi + 67 sayfa.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

NUMERICAL INVESTIGATION OF DIESEL INJECTOR NOZZLE WITH SMALL HEIGHT ANGLES

Tuna AYDIN

Uludag University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. A.Alper OZALP

Diesel engines are preferable nowadays regarding to low emissions and fuel economy. The most wide-usage injection system among diesel systems is common injection system. The nozzle, injecting the fuel to the combustion chamber, is the component of common rail injection system. Nozzle has two main parts: Nozzle needle and nozzle body. The injection is start and stop when the needle move up and down.

In this study, the influence of the height angle, one of the nozzle parameter, to the inside flow of nozzle is examined. The aim of this study is that nozzle flow shows negative throttling with small nozzle height angle and shows positive throttling with higher height angles. Negative throttling means that the injector injects more quantity with needle than the injector without needle. Needle throttling affect injection in the way increasing the quantity. The nozzle flow with height angle thirty five degree (with needle, without needle) and the nozzle with height angle seventy five degree (with needle, without needle) are examined and compared. The study is conducted experimentally and numerically. As a conclusion is that the separation zone's length and height at entrance is bigger for the small height angle with needle case. The losses sourced from vortex centered friction in this region causes the pressure losses and this cause the velocity decreasing at the end of the nozzle. This situation is vice versa for the nozzle that shows positive needle throttling

Keywords: Diesel injection, cavitation, nozzle geometry, two-phase flow, numerical simulation

2012, xi + 67 pages.

TEŞEKKÜR

Tezimin her aşamasında yardımlarını hiçbir zaman esirgememiş olan ve tezimin bu aşmaya gelmesini sağlayan değerli danışmanım Prof.Dr.A.Alper ÖZALP'e, araştırmalarımın her aşamasını takip ederek bana destek olan BOSCH ailesinin değerli üyesi Murat KOCAÇINAR'a ve CFD çalışmalarında yardımlarını hiçbir zaman eksik etmeyen Emrah GÖLBAŞI'na ve tabi ki tüm bu çalışmalarımda tam bir sabır ile hiçbir zaman benden desteğini esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

Tuna Aydın

20/12/2011

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1.GİRİŞ	1
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1.Kuramsal Temeller	6
2.1.1.Bir boyutlu meme modeli (kavitasyonlu)	6
2.1.2.Buhar Basıncı ve Kaviteasyon	9
2.2.Ortak Ray Sistemi	12
2.2.1.Çalışma şekli	16
2.2.1.1.Basınç oluşumu:	16
2.2.1.2.Basınç kontrolü	16
2.2.2.Enjektör memeleri	17
2.2.2.1.DLLA tipi düzeler	21
2.2.2.2.DSLA tipi meme	23
2.2.2.3.Düzelerin emisyon oranlarına etkisi	24
2.2.2.4.Meme geometrik karakteristikleri	24
2.2.2.5.Meme deliklerinin dizilimi	25
2.2.2.6.Meme delik sayısı	26
2.2.2.7.Koniklik	26
2.2.2.8.İğne kısılması	27
2.2.3.Hidrolik debiyi etkileyen faktörler	29
3. MATERYAL VE YÖNTEM	33

3.1. Materyal.....	33
3.2. Yöntem	34
3.2.1. Hidrolik akış ölçümü	34
3.2.1.1. Debi ölçümü cihazı	34
3.2.2. Hesaplamalı akışkanlar mekaniği	38
3.2.3. Akış simülasyonu.....	39
3.2.3.1. Matematiksel model.....	39
3.2.3.2. Geometri ve mesh hazırlama.....	41
3.2.3.4. Sınır şartları.....	43
3.2.3.5. Test yağı (ISO 4113).....	44
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	46
4.1. Modelin Doğrulanması.....	46
4.1.1. Doğrulama için meme geometrisinin modifikasyonu.....	46
4.1.2. Model ile test sonuçlarının karşılaştırılması	49
4.2. İğneli ve İğnesiz durumların karşılaştırılması	51
4.2.1. Debi ve kısılma miktarı	51
4.2.2. Akış ayrılma bölgesi uzunluğu ve genişliği.....	53
4.2.3. Basınç	56
4.2.4. Hız.....	58
5. SONUÇ	62
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	67

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_{ort}	Meme püskürtme deliği ortalama çapı (mm)
$D_{çıkış}$	Meme püskürtme deliği çıkış çapı (μm)
$D_{giriş}$	Meme püskürtme deliği giriş çapı (μm)
DLO	Delik çevresi dairesi çapı (mm)
DSA	Kör delik giriş çapı (mm)
F_D	İğneye etki eden yakıt basıncının kuvveti (N)
F_Y	Yay kuvveti (N)
g_i	Yerçekimi bileşeni (m/s)
K	Kavitasyon katsayısı
k	Birim kütledeki türbülans kinetik enerjisi (m^2/s^2)
L	Meme püskürtme deliği boyu (mm)
LSA	Kör delik uzunluğu (mm)
LSP	Meme deliği uzunluğu (mm)
\dot{m}	Kütleli debi (kg/s)
N	Faz sayısı
P	Basınç (Pa)
P_k	Türbülans kayma gerilmesi (Pa)
P_{doyma}	Doyma basıncı (Pa)
δ	Yükseklik Açısı (derece)

P_1	Yukarı akım akışın basıncı (Pa)
P_2	Aşağı akım basıncı (Pa)
P_V	Sıvının buhar basıncı (Pa)
Q_i	İğneli durumdaki debi miktarı (cm ³)
Q_{iz}	İğnesiz durumdaki debi miktarı (cm ³)
R_B	Buhar kabarcığı yarıçapı (m)
r_a	Hacimsel faz sabiti
\dot{S}_a	Faz transferi kütleli debisi (kg /s)
t	Zaman (s)
T_{doyma}	Doyma sıcaklığı (°C)
\bar{V}	Ortalama Hız (m/s)
V_c	Kısılma bölgesindeki akış hızı (m/s)
v_i	Yerel hız değeri (m/s)
U	Özgül hacim (m ³ /kg)
γ	Eğim açısı (derece)
γ_k	Hız profil sabiti
δ	Konik jet açısı (derece)
μ	Dinamik viskozitesi (kg/(s m))
μ_t	Türbülans viskozitesi (kg/ (s m))
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
ρ_a	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	$k - \omega$ türbülans model sabiti
ω	Türbülans frekansı (1/s)

Kısaltmalar	Açıklama
CAD	Computer Aided Design
CFD	Computational Fluid Dynamics
DLA	Sacklochdüse(alm.) : Deliklerin kör delik kısmında olduğu tip
DSL	Sitzlochdüse(alm.) : Deliklerin oturma yüzeyinde olduğu tip
HE	Hidrolik Erezyon

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Bir boyutlu meme modeli gösterimi	6
Şekil 2.2. Boşaltım katsayısının kaviteasyon katsayısına bağlı grafiği.(Deneysel veriler) Schmidt (1997).....	9
Şekil 2.3. Kaviteasyon kabarcığı çökme mekanizmaları.....	11
Şekil 2.4. Ortak ray sistemine sahip beş silindri içten yanmalı motor sistemi	13
Şekil 2.5. Motor kontrol ve ortak yay sistemi modülleri	14
Şekil 2.6. Ortak ray sisteminde basınç kontrolü	15
Şekil 2.7. Düzenin motor bölgesindeki şematik gösterimi	19
Şekil 2.8. Meme şematik gösterimi.....	20
Şekil 2.9. DLLA tipi meme gösterimi.....	22
Şekil 2.10. DLLA tipi meme şematik gösterim	23
Şekil 2.11. DSLA tipi meme şematik gösterim	23
Şekil 2.12. Düzede emisyonu etkin eden belirleyici bölgeler	24
Şekil 2.13. Meme geometrisi temel boyutlar	25
Şekil 2.14. Meme deliklerinin dizilimi şematik gösterimi.....	26
Şekil 2.0.15. Değişik delik sayılarına sahip memelerin gösterimi.....	26
Şekil 2.16. Koniklik açısı parametreleri.....	27
Şekil 2.17. Meme kısılma bölgesi şematik gösterimi	28
Şekil 2.18. HE işlemi öncesi ve sonrası	29
Şekil 2.19. HE işlemli ve işlemsiz meme CFD analizi hız profili örneği.....	30
Şekil 2.20. Düzede kaviteasyon kaynaklı tahribatı örnekleri	30
Şekil 2.21. Düzede oluşan korozyon kaynaklı bozulmalar	31
Şekil 2.22. Meme deliğindeki partikül izleri.....	31
Şekil 2.23. Düzede kurumlanma	32

Şekil 3.1. Hidrolik debi test ölçüm cihazı.....	35
Şekil 3.2. Yüksek basınç pompası	35
Şekil 3.3. Basınç düzenleyici	36
Şekil 3.4. Isı pompası.....	37
Şekil 3.5. Karşı basınç pompası	37
Şekil 3.6. İğneli ve iğnesiz akış CAD modelleri.....	41
Şekil 3.7. Her üç iğne kursu için akış katı modelleri	43
Şekil 3.8. İğnesiz durum için oluşturulmuş ağ yapısı (Yükseklik açısı: 35 derece)	43
Şekil 3.9. Sınır şartları.....	44
Şekil 4.1. 35 derece yükseklik açılı akış için ağ yapısı.....	46
Şekil 4.2. Meme püskürtme deliği girişi alt ve üst yarıçap bölgeleri.....	47
Şekil 4.3. Farklı yarıçap çiftleriyle oluşturulmuş katı modeller	48
Şekil 4.4. Püskürtme Deliği Giriş Yarıçaplarına Göre Debi Değerleri.....	49
Şekil 4.5. İğne kursuna bağlı debi grafiği	50
Şekil 4.6. İğne kursuna bağlı iğne kısılması değerleri	51
Şekil 4.7. Akış durumlarına göre debi grafiği.....	52
Şekil 4.8. Akış durumlarına göre iğne kısılması grafiği	53
Şekil 4.9. Meme püskürtme deliği ayrılma bölgesi şematik gösterimi.....	54
Şekil 4.10. Farklı yükseklik açısı durumlarında ayrılma bölgesi uzunluğu ve genişliği	55
Şekil 4.11. Farklı yükseklik açısı durumlarında meme içi basınç dağılımının gösterimi	56
Şekil 4.12. Meme püskürtme deliği koordinatlarına göre statik basınç grafiği	57
Şekil 4.13. Farklı yükseklik açısı durumlarında meme içi hız dağılımının gösterimi	58
Şekil 4.14. Meme püskürtme deliği boyunca hız kesitlerinin gösterimi (Yükseklik açısı: 35 derece).....	60
Şekil 4.15. Meme püskürtme deliği boyunca hız kesitlerinin gösterimi (Yükseklik açısı: 75 derece).....	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Mesh ağı nokta sayısı ve minimum element açısı (derece)	42
Çizelge 3.2. Test yağına ait fiziksel ve kimyasal özellikler	45
Çizelge 4.1. Farklı yarıçap çiftleri için hidrolik debi değerleri.....	49
Çizelge 4.2. İğne kursuna bağlı debi değerleri.....	50
Çizelge 4.3. İğne kursuna bağlı kısılma değerleri.....	51
Çizelge 4.4. Debi ve kısılma miktarlarının kıyaslanması	53
Çizelge 4.5. Ayrılma bölgesi uzunluğu ve genişliği	54

1.GİRİŞ

Günümüzde her geçen gün araç sayısı artmakta ve yakıt tüketimi de buna bağı olarak artmaktadır. Aynı zamanda büyük şehirlerde hava kirliliği oranları da hızla artmaktadır. Bu duruma yönelik çözümler teknolojik olsa da sonuçları ekolojik ve sosyolojiktir. Her geçen gün artan motorlu araç talebi ve de temiz çevre koşullarının yaratılması için daha düşük emisyonlu sistemlerin geliştirilmesi kaçınılmazdır.

En önemli ulaşım teknolojilerinden biri dizel motorlardır. Dizel motorlar birçok araçta sağlamış olduğu yakıt ekonomisi ile tercih edilmektedir. Ama dizel teknolojisi hala yanma sonucu yarattığı yanmış gazlar ile çevre kirliliğinin nedenlerinden birisini oluşturur. Günümüzde dizel sistemler teknolojisinde ulaşılacak istenen amaçlardan biri de düşük emisyon oranlarıdır.

Yanma sonucu emisyon oranlarını düşürmenin en etkili yollarından biri enjeksiyon sistemi yanma performansını artırmaktır. Yakıt enjeksiyon sistemindeki modifikasyonlar emisyonları ciddi derecede düşürebilir. Ama günümüzde hala enjektör iç akışı ile sprey karakteristikleri ile ilgili bağlantı tam olarak çözülmemiştir. Meme içi akışın anlaşılması ile meme ve sprey oluşumu arasındaki bağlantı daha da çok aydınlanacaktır. Bu konulardaki araştırmalar, sonuç olarak emisyon değerlerinin düşürülmesinde büyük fayda sağlayacaklardır.

Meme içi akış birçok faktörden etkilenir. Meme delikleri genelde 1 mm uzunluğuna kadar ve çapları 1 mm den daha küçüktür. Meme içi akış çok hızlı olmakla birlikte, akış zamanı birkaç milisaniye civarındadır. Yukarıdaki sebeplerden dolayı meme içi akışı gözlemlemek çok zordur. Buna ek olarak meme içi akış iki fazlıdır ki bu da meme içi akışı daha da karmaşık hale getirir.

Bu çalışmadaki meme içi akış incelenmiştir. Meme içi akışın incelenmesinde yükseklik açısının değişiminin meme içi akışa etkisi literatürde bu konuda çok az araştırma olduğu için ana odak noktası seçilmiştir. Yükseklik açısının dışında değişik meme iğnesi yüksekliklerinde ve de farklı meme deliği yuvarlatma yarıçaplarında akışın incelenmesi yapılmıştır.

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

2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

Meme içi akış konusu hala aydınlatılmayı bekleyen birçok bilinmeyen içerdiği için bu konudaki araştırmalar ve incelemeler devam etmektedir. Zhang (2010) yükseklik açısının meme içi akışına etkisini CFD yöntemi ile incelemiştir. Yuan (2010) dizel enjektörlerde yükseklik açısının kaviteasyonlu akışa etkisini nümerik olarak incelemiştir. Kanairo (1985) farklı yükseklik açılara sahip enjektörler ile gerçekleştirdiği çalışmalar ile yükseklik açısı ile yanma odasına püskürtülen yakıt arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Gavaises (2000) yaptığı çalışmada In-line enjektörlerde yükseklik açısının sprej oluşumuna etkisini hem nümerik hem de deneysel olarak incelemiştir. Schmidt (1997) farklı yükseklik açısının meme içi akışa etkisini nümerik olarak incelemiş, değişiklik yükseklik açılarında boşaltım katsayılarını bulmuştur. Kılıç (2006) yaptığı çalışmada farklı yükseklik açılara sahip enjektörlerdeki kaviteasyon oluşumunu ve miktarı incelenmiş; farklı yükseklik açılarının kaviteasyona etkisini irdelenmiştir. Ganippa (2001) tek delikli büyütülmüş memede farklı yükseklik açıları sonucu oluşan sprej karakteristiklerini deneysel olarak incelemiştir.

Meme deliği parametrelerinin meme içi akışa etkisi konusunda birçok araştırma mevcuttur. Farrar (1992) farklı meme içi kör delik hacmi miktarının meme içi akışa ve sprej oluşumuna etkisini deneysel olarak incelemiştir. Bermúdez (2005) dizel enjektördeki farklı meme tiplerinin (DLLA,DSL A), sprej oluşumuna olan etkilerini kıyaslamıştır. Payri (2004) DSLA tipi memelerde konik ve silindirik meme delik tiplerindeki akışı hem deneysel hem de nümerik olarak karşılaştırmıştır. Xandra (2010) yaptığı CFD çalışmasında meme deliğindeki akışı iğne hareketini hareketli mesh kullanarak CFD analizi yoluyla incelemiş ve farklı iğne hareket miktarlarında elde ettiği meme debi çıkış değerlerini deneysel veriler ile kıyaslamıştır. Wei Ming-ru (2004) yaptığı çalışmada meme deliği girişi yuvarlatmalı ve yuvarlatmasız durumlar için oluşan iki durumu nümerik ve deneysel olarak karşılaştırmıştır. Xandra (2010) değişik meme iğnesi yüksekliklerinde oluşan meme içi akışı CFD yazılımıyla inceleyen bir çalışma yapmıştır. Seykens (2005) Amesim programını kullanarak enjektörün hidrolik modelini oluşturmuş ve farklı iğne yüksekliklerinde ve farklı basınçların akışı incelemiştir, elde ettiği sonuçları deneysel veriler ile karşılaştırmıştır. Salvadora (2010)

meme içi akışı CFD yazılımıyla incelemiş daha sonra deneysel çalışma sonuçları ile kıyaslamıştır.

Birçok çalışmada meme geometrisi ve bunun sprej karakteristiğine olan etkileri incelenmekte ve meme geometrisi ile sprej özellikleri arasında ilişkiler kurulmaya çalışılmaktadır. Bae (2002) farklı geometrilere sahip memeler ile yaptığı deneysel çalışmalarda oluşan sprej karakteristiklerini kıyaslamıştır. Payri (2004) silindirik ve konik meme deliğinin kaviteasyonlu akış oluşumuna etkisi ve kaviteasyonun da sprej karakteristiklerine etkisini deneysel olarak irdelemiştir. Mitroglou (2006) yaptığı çalışmada farklı geometrilere sahip memelerle oluşan sprej geometrilerini hem deneysel hem de CFD alışması ile kıyaslamıştır. Desantes (2010) dizel enjekt r üzerinde yaptığı deneysel çalışmada kaviteasyonlu akışın meme çıkışı yakın b lgesindeki sprej karakteristiğine etkisini incelemiştir. Oda (2010) DSLA tipi memelerde iğne sapmalarından oluşan akışı ve buna bağlı oluşan sprej karakteristiğini hem CFD analizi yaparak hem de deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel alışma ölçek olarak 10 kat b y k meme ile yapılmıştır. Payri (2009) değişik koniklik fakt r ne sahip memeler ile yaptığı çalışmalarda farklı geometriler sonucu oluşan sprej özelliklerini ve yanma odasında oluşan yanmış r nleri karşılaştırmıştır. Bae (2002) optik fotoğraflama tekniklerini kullanarak değişik meme geometrisine sahip farklı koniklik fakt r  ile karakterize edilmiş DSLA ve DLLA tipi memelerle oluşan sprej geometrilerini incelemiştir. Ayrıca ift yataklı ve tek yataklı meme iğnelerinin de sprej karakteristiklerine etkilerini irdelemiştir. Bae (2000) farklı geometrilere sahip DSLA tipi meme deliklerinden çıkan sprejlerin koniklik açısını, sprej yayılım uzunluğunu ve oluşan sprej şeklerini incelemiştir. Schmidt (1996) boşaltma katsayısını tek delikli keskin k şeli girişli; çok delikli, keskin k şeli girişli ve de çok delikli, yuvarlatılmış k şeli girişli olmak üzere  tip meme üzerinde deneysel olarak incelemiş ve çıkan sonuçları bir boyutlu teorik sonuçlar ile karşılaştırmıştır. Sibendu (2011) dizel enjekt rlerde değişik meme deliği koniklik fakt r  ve meme deliği yuvarlatma yarıçapı değerlerinin, oluşan spreje olan etkisini deneysel ve n merik olarak incelemiştir ve iki incelemeden çıkan değerleri karşılaştırmıştır. Badock (1999) y ksek hızlı fotoğraflama tekniğini kullanarak meme içi akışta oluşan kaviteasyonu ve kaviteasyonun oluşan sprej karakteristiğine olan etkisini deneysel olarak incelemiştir.

Bu çalışmada değişik yükseklik açılarında meme içi akış incelenmiştir. İlk önce deneysel çalışma yapılarak nümerik model doğrulanmıştır. Daha sonra değişik yükseklik açısına sahip, meme iğnesi kursu ve meme deliği giriş bölgesinin yuvarlatılma durumuna göre nümerik çalışmalar ICEM CFD ve ANSYS CFX programları kullanılarak yapılmıştır. Böylece meme deliği içi akış ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yükseklik açısının akışa etkisi ayrıntılı bir şekilde irdelenmiştir. Literatürde meme deliği yükseklik açısının meme içi akışa olan etkisini inceleyen çalışma sayısı fazla değildir. Bu yüzden araştırmaya açık bir konudur.

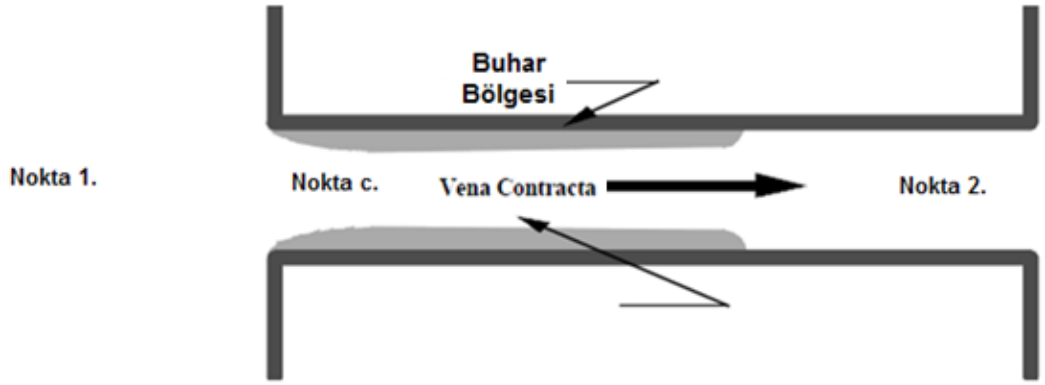
Zhang (2010) yaptığı çalışmada meme iğnesinin en yüksek konumunda meme içi akışı değişik açılarda (65°, 70°, 75°, 80°) incelemiştir. Bu çalışmada farklı meme iğnesi kurslarında (0.20 mm, 0.25 mm, 0.30 mm) akışı incelenmiştir. Zhang (2010) çalışmasında DSLA tipi memeyi incelenmişken bu çalışmada DLLA tipi meme için akış incelenmiştir. Bu değişiklik akış parametrelerine etki edecek önemli bir parametredir. Çünkü DLLA tipi memelerde meme oturma bölgesinin altında oluşan akış kör deliğin mevcut olmasıyla meme içi akışa etkide bulunur. Kanairo (1985) farklı yükseklik açılarında (84°, 78°, 74°) meme içi akışı DSLA tipi memelerde sadece tek bir iğne kursu (0.3 mm) için incelemiştir.

Bu çalışmada otomotiv sektöründe kullanılan enjektör memesi akışı üzerine çalışılmıştır. İğneli ve iğnesiz meme püskürtme deliğinde küçük yükseklik açısında oluşan negatif kısılma etkisinin nedenleri pozitif kısılma etkisine sahip meme ile karşılaştırarak bulunmuştur. Pozitif ve negatif kısılma etkisine sahip meme içi akışlar nümerik olarak analiz edilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir. Analiz sonuçlarıyla gerçek ölçüm sonuçları modelin doğrulanması açısından kıyaslanmıştır.

2.1.Kuramsal Temeller

2.1.1.Bir boyutlu meme modeli (kavitasyonlu)

Schmidt (1997) tarafından bildirildiğine göre Nurick (1976) ölçeklenmiş transparan meme ile ölçümler yapmış ve de boşaltım katsayısı için bir model geliştirmiştir. 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. Konu ile ilgili şematik gösterim Şekil 2.1’de verilmiştir.

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 ;

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

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

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

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.

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

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

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

(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 ve 1 ve 2 noktasındaki basınca göre:

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

V ortalama akış hızı:

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

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

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

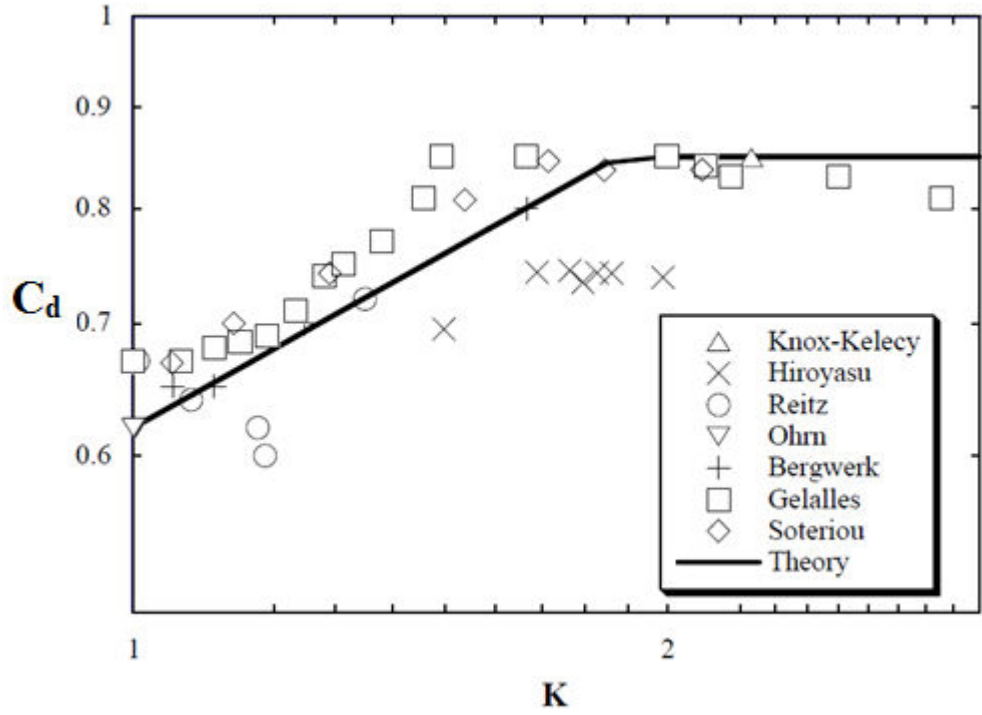
Kök içindeki ifade çok kullanışlı bir boyutsuz katsayı olan kavitasyon katsayısını (K) bize verir. Bu durumda boşaltım katsayısı;

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

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)

2.1.2.Buhar Basıncı ve Kavıtasyon

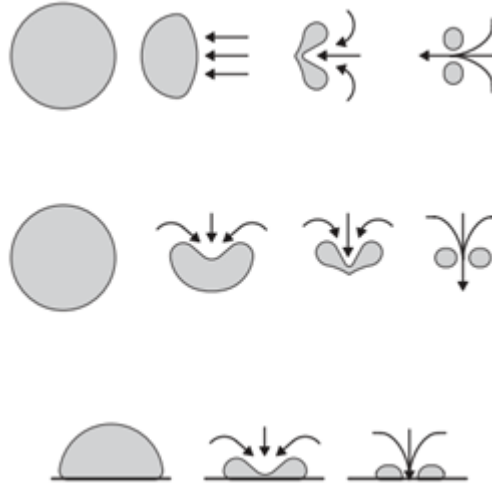
Saf maddeler için faz değişimi esnasında sıcaklık ve basıncın bağımlı özellikler olduğu bilinmektedir ve sıcaklıklar ile basınçlar arasında bire bir eşleme söz konusudur. Verilen bir basınçta bir saf maddenin faz değiştirdiği sıcaklığa doyma sıcaklığı T_{doyma} denir. Benzer şekilde, verilen bir sıcaklıkta bir saf maddenin faz değişimine uğradığı basınca da doyma basıncı P_{doyma} denir. Örneğin 1 standart atmosferlik (1 atm veya 101.325 kPa)

mutlak basınçta suyun doyma sıcaklığı 100°C'dir. Buna karşılık 100°C 'deki doyma basıncı da 1 atm'dir.

Bu bir saf maddenin buhar basıncı P_v , bir saf maddenin verilen bir sıcaklıkta sıvısıyla faz dengesi halinde olan buharının yaptığı basınçtır. Buhar basıncı saf maddenin bir özelliği olup sıvının doyma basınç P_{doyma} ile aynı değeri alır. ($P_v=P_{doyma}$). Buhar basıncı ile kısmi basınç birbirine karıştırılmamalıdır. Kısmi basınç başka gazlarla karışım halinde bulunan bir gaz veya buharın basıncı olarak tanımlanır. Örneğin atmosferik hava, kuru hava ile su buharının bir karışımıdır ve atmosferik basınç, kuru hava ile su buharının kısmi basınçlarının toplamıdır. Hava büyük oranda azot ve oksijenden oluştuğu için su buharının kısmi basıncı, atmosfer basıncına çok az katkıda bulunur (genellikle yüzde 3'ün altında). Bu buharın kısmi basıncı eğer (buharlaşacak) hiç sıvı kalmamışsa, buhar basıncından düşük ya da ona eşit olmalıdır. Göller gibi açık sulardan olan buharlaşma hızını, buhar basıncı ve kısmi basınç arasındaki fark tayin eder. Örnek olarak 20 derecedeki suyun buhar basıncı 2.34 kPa'dır. Bu yüzden içerisinde 1 atm basınçta kuru hava bulunan bir odaya bırakılan 20 derecedeki bir kova su, şu iki durumundan biri gerçekleşinceye kadar buharlaşmaya devam eder: Suyun tamamen buharlaşması (odada faz dengesi kurmaya yetecek kadar su yok) veya odadaki su buharının kısmi basıncının, faz dengesinin sağlandığı nokta olan 2.34 kPa'a kadar yükselmesiyle buharlaşmanın durması.

Bir saf maddenin sıvı ve buhar fazları arasındaki faz değişimi proseslerinde buharın saf olmasından ötürü doyma basıncı ile buhar basıncı aynıdır. Basınç değerinin, ister buhar içerisinde isterse sıvı fazı içerisinde (hidrostatik etkilerden kaçınmak için sıvı buhar ara yüzüne yakın bir konumdan ölçülmek kaydıyla) ölçülsün aynı olacağına dikkat edilmelidir. Buhar basıncı sıcaklıkla artar. Bu yüzden yüksek basınçlardaki maddeler yüksek sıcaklıklarda kaynar. Buhar basıncına olan ilginin nedeni; sıvı-akış sistemlerinde sıvı basıncının bazı yerlerde buhar basıncının altına düşme olasılığının bulunması ve ön görülmeyen bir buharlaşmanın başlamasıdır. Örneğin 10 derecedeki su, basıncı 1.23 kPa'ın altına düştüğü yerlerde (çarkların uç bölgelerinde ve pompaların emme taraflarında olduğu gibi) sıvı buhara dönüşür ve buhar kabarcıkları oluşturur. Buhar kabarcıkları (sıvı içerisinde "boşluklar" oluşturduklarından bunlara kavitasyon kabarcıkları denmektedir), yüksek basınç bölgelerinden göçer ve tekrar sıvı hale geçer .

Kabarcığın çökme mekanizmaları için Şekil 2.3'te incelenebilir. Şekilde görüldüğü gibi ilk durumda kabarcık yüksek basınç bölgesine ulaştıktan sonra çöker. İkinci durumda kabarcık duvar yanında çökmektedir. Üçüncü durumda kabarcık duvara çarparak çökmektedir. Bu çarpma düşük basınçlı bölgede ya da yüksek basınçlı bölgede olabilir. Çark kanatlarının performansının düşmesinin hatta aşınmasının yaygın bir nedeni olan bu olaya kavitasyon denir ve hidrolik pompa ve türbinlerin tasarımında göz önüne alınması gereken önemli bir husustur.



Şekil 2.3. Kavite kabarcığı çökme mekanizmaları

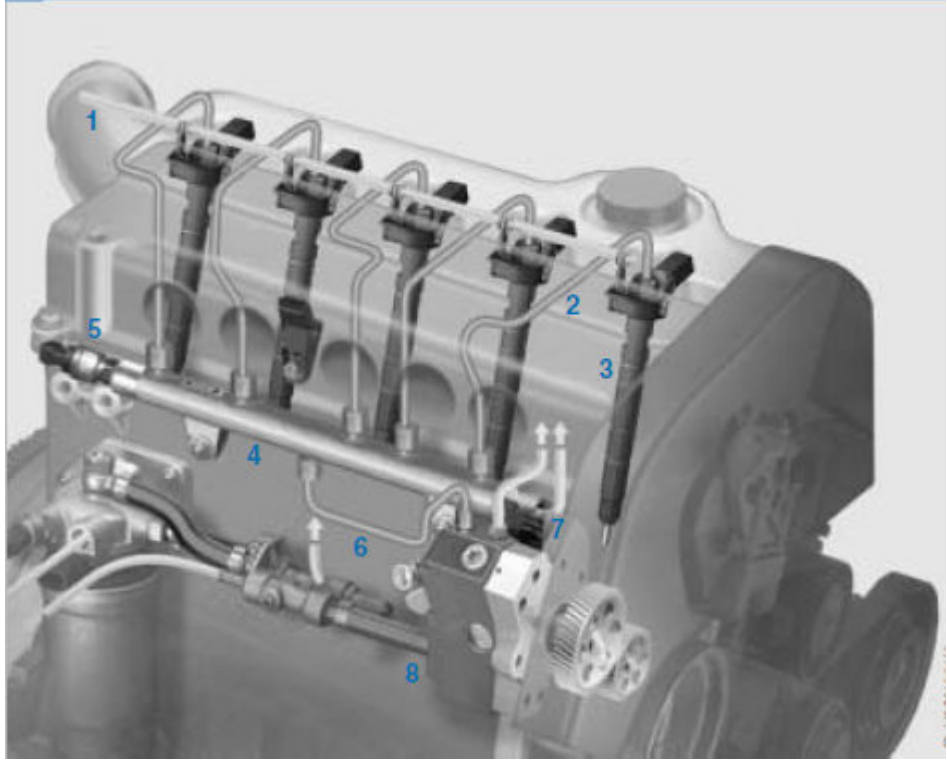
Kavitasyon performansı düşürdüğü, titreşim ve gürültü meydana getirdiği ve ekipmanda hasara yol açtığından dolayı akış sistemlerinde kaçınılması (en azından minimuma indirilmesi) gereken bir problemdir. Bir katı yüzey civarında uzun bir zaman periyodu boyunca göçen çok sayıda kabarcığın neden olduğu basınç darbeleri; aşınmaya, yüzey bozukluklarına, yorulma hasarına ve bunların sonucunda makine parçalarının veya makinenin tümünden elden çıkmasına yol açabilir.

2.2.Ortak Ray Sistemi

Ortak ray (common rail) sistemi en gelişmiş dizel püskürtme teknolojilerinden biridir. Ortak ray sistemlerinin en büyük avantajı enjeksiyon basıncını ve zamanlamasını geniş bir aralıkta değiştirebilmesidir. Bu durum basınç oluşumunu enjektörden ayrı bir birimde gerçekleştirerek (yüksek basınç pompası) sağlanır. Ray burada bir akümülatör gibi davranır. Ortak ray sisteminde ana elemanlar (Şekil 2.4) :

1. Yakıt geri dönüş hattı
2. Yüksek basınçlı yakıt hattı
3. Enjektör
4. Yakıt rayı
5. Ray basınç sensörü
6. Raya giden yüksek basınç hattı
7. Yakıt geri dönüş hattı
8. Yüksek basınç pompası

Sistemin çalışma prensibi temel olarak yakıt deposundan alınan yakıtın yüksek basınç pompası vasıtasıyla belirli basınç değerine çıkarılmasıdır. Daha sonra yakıt ortak raya gönderilir. Ortak raya bağlı enjektörler yüksek basınçlı yakıtı içten yanmalı motorun yanma odasına gönderir. Yakıtın püskürtülmeyen kısmı geri dönüş hattından geri tahliye hattı ile depoya gönderilir.



Şekil 2.4. Ortak ray sistemine sahip beş silindirli içten yanmalı motor sistemi

Dizel enjeksiyon sistemleri aşağıdaki araçlarda kullanılır:

Şahsi araçlar: 3 silindirli 30 kW güçlü, 100 Nm torklu araçlardan 8 silindirli lüks 4 lt silindirli 180 kW gücünde 560 Nm torkluk sedanlara kadar bir aralıkta bulunan araçlardır.

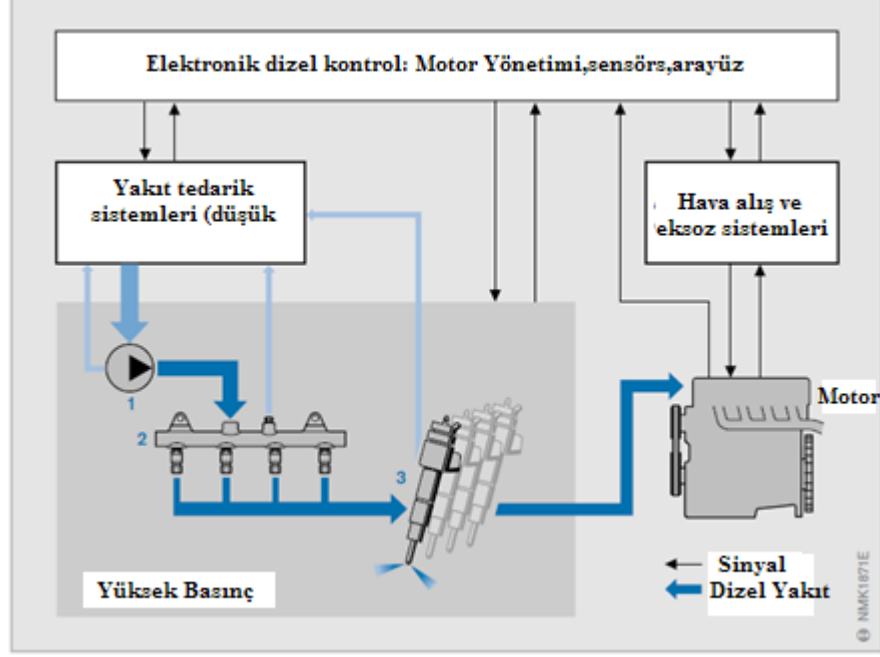
Hafif Ticari araçlar: 30 kW/silindir güç üretebilen araçlardır.

Ağır ticari araçlar : Ağır yük taşıyan kamyonlar, tren lokomotifleri, gemiler. Bunlar yaklaşık silindir başına 200 kW güç üretebilirler.

Ortak ray sistemi yakıt enjeksiyonu bakımından çok esnek bir sistemdir. Bu durum aşağıdaki koşullar sağlanarak başarılı:

- 2500 bar'a kadar olan basınç artışı.
- Kullanım süresi boyunca değişken basınç uygulanabilmesi (200 bar...2500 bar)
- Birçok ön ve ikincil püskürtmenin yapılabilmesi.

Böylece ortak ray sistemi, güç çıktısını istenen düzeye getirmeyi sağlar; yakıt tüketimini düşürür ve yanma sonucu ortaya çıkan gazların emisyon oranlarını azaltır. Günümüzde ortak yay dizel enjeksiyon sistemleri en çok kullanılan direkt enjeksiyon sistemleridir. Ortak yay sistemi Şekil 2.5'teki ana modülleri içermektedir.



Şekil 2.5. Motor kontrol ve ortak yay sistemi modülleri

Şekil 2.5'te:

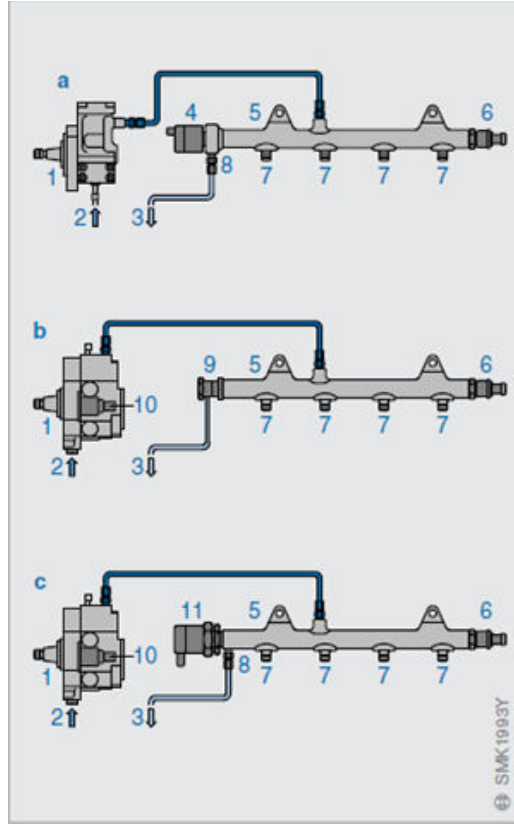
1. Yüksek basınç pompası
2. Yakıt rayı
3. Enjektörler

görülebilir. Ana modüller açıklanacak olursa.

- Düşük basınç kademesi. Yakıt tedariki yapan sistemleri içerir.
- Yüksek basınç sistemleri, yüksek basınç pompası, ray, enjektör ve yüksek basınç hatlarını içerir.
- Elektronik dizel yakıtı püskürtme kontrolü, sensörler, elektronik kontrol üniteleri gibi elektronik sistem modüllerini içerir.

Ortak ray sisteminin anahtar parçası ortak ray enjektörleridir. Bu enjektörler hızlı tetiklenen valftirler. Maynetik ve piezo etkisi ile tetiklenme şeklinde iki tip sistem bulunur. Tetikleme sonucu meme deliklerinden yakıt püskürtülmesi sağlanır. Böylece püskürtme kontrollü bir şekilde yapılmış olunur.

Bütün enjektörler bir raya bağlanır. Bu yüzden bu sistem ortak ray sistemi olarak adlandırılır. Ortak ray sisteminin en önemli özelliği sistem basıncının istenen çalışma koşullarına göre değiştirilebilmesidir. (Şekil 2.6)



Şekil 2.6. Ortak ray sisteminde basınç kontrolü

Şekil 2.6’da görülebileceği gibi basınç, kontrol valfi veya debi ünitesi kullanılarak ayarlanır.Şekil 2.6’da;

1. Yüksek basınç pompası
2. Yakıt girişi
3. Yakıt dönüş hattı
4. Basınç kontrol valfi

5. Yakıt rayı
6. Yakıt basınç sensörü
7. Enjektör bağlantısı
8. Dönüş hattı bağlantısı
9. Basınç emniyet valfi
10. Debi ayar ünitesi
11. Basınç kontrol valfi

görülmektedir. Ortak ray sisteminin modüler tasarımı kolay bir şekilde enjektörün her türlü motora kolayca uyarlanmasını sağlamaktadır.

2.2.1.Çalışma şekli

Ortak ray sisteminde basıncı oluşturan ve basıncı dağıtan sistemler birbirinden bağımsızdır. Oluşturulan enjektör basıncı, motor hızından ve püskürtülen yakıt miktarından bağımsızdır. Elektronik dizel kontrol ünitesi her bir komponenti kontrol eder.

2.2.1.1.Basınç oluşumu:

Basınç oluşturan ünite ve yakıt enjeksiyon üniteleri bir akümülatör vasıtasıyla ayrılmıştır. Yüksek basınçlı akışkan akümülatöre yollanır. Burada yakıt püskürtülmeye hazır bir durumdadır. Sürekli çalışan yüksek basınç pompası istenen basıncı üretir. Yakıt rayı içindeki basınç motorun krank mili hızından ve enjekte edilen yakıt miktarından bağımsızdır.

2.2.1.2.Basınç kontrolü

Basınç kontrolü için çeşitli sistemler vardır. Bu sistemler aşağıda anlatılmıştır.

Yüksek Basınç Tarafında Kontrol: Binek otomobillerde kullanılan basınç kontrol tipidir. (Şekil 2.6'da birinci sistem) Bu tiplerde basınç yüksek basınç tarafında kontrol edilir. Bu yüzden basınç değişimlerine daha hızlı tepki verebilir. (Ani yük değişiminin olduğu zamanlarda)

Yakıt Emiş Tarafında Kontrol: Bu tip kontrol yüksek basınç pompası tarafında yapılır. (şekil 2.6'da ikinci sistem) Debi ayar ünitesi sayesinde pompanın yeterli basıncı oluşturacak debinin ortak raya yollaması sağlanır. Arıza durumunda basınç emniyet valfi aracılığıyla ortak raydaki basınç düşürülür. Emiş tarafındaki kontrol, kontrolü emiş tarafında yapılmasıyla ortak raya gönderilen yüksek basınçlı yakıt miktarını azaltarak pompa gücünden tasarruf sağlar. Yüksek basınç tarafında yapılan kontrole göre bir diğer avantajı düşük basınç tarafında kontrolü yaptığı için geri dönen yakıtın sıcaklığı daha düşüktür.

Kombine Sistemli Kontrol: Yüksek basınç tarafında kontrol ile emiş tarafındaki kontrol sistemlerinin kombine edilmesiyle oluşturulmuştur.(şekil 2.6'da üçüncü sistem) İki sistemin avantajlı yönleri bu sistemde kombine edilmiştir.

2.2.2.Enjektör memeleri

Enjektör memeleri içten yanmalı motorlarda da yanma odasına yakıtı iletirler. Enjektör memesi, oluşan hava yakıt karışımını ve yanma verimliliğini etkileyen belirleyici bir unsurdur. Bu yüzden motor performansına, egzoz gazı çıkış davranışına ve patlama sonucu oluşan sese direkt olarak etkisi vardır. Enjektör memesinin fonksiyonlarını uygun olarak gerçekleştirmesi için motor ve enjeksiyon sistemine göre olabildiğince uygun tasarlanmaları gerekir.

Meme, bir yakıtlı enjeksiyon sistemi için merkezi bir parçadır. Memenin görevleri:

- Çıkış debi değerlerini oluşturur.
- Optimum atomizasyonu ve yakıtın yanma odasına dağılımını sağlar.
- Yanma odası ile enjeksiyon sistemi arasında sızdırmazlık sağlar.

Memeler buldukları konum ve istenilen fonksiyon itibariyle motordan ve enjeksiyon sisteminden gelen sürekli bir mekanik, ısıl strese maruz kalırlar. Memeden geçen yakıtın ayrıca memeyi soğutması gerekir.

Meme iğnesi yakıtın basıncı etkisiyle açılırlar. (Memelerin açılma basıncı 150 ile 350 bar arasında değişir). Memenin açık kaldığı süre enjeksiyon zamanını ve memeden çıkış yapacak debinin miktarını belirler. Ayrıca memenin yanma dışı zaman aralığında

silindir içindeki basınç ile açılmaması gerekir. Memeler kullanılacakları motor özelliklerine göre tasarlanır. Bazı tasarım parametreleri:

- Yanma odasının geometrisi
- Sprey jetinin yönü ve şekli
- Gerekli penetrasyon ve atomisasyon miktarı
- Gerekli enjeksiyon süresi
- Krank milinin açısına göre püskürtülecek yakıt debisi

Bu çalışmada delik tipi memeler konu olarak alındığı için aşağıda delik tipi memeler anlatılacaktır. Direk enjeksiyon prosesi için delik tipi memeler kullanılırlar. Meme konumu motorun tasarımına göre yapılır. Bir memenin değişik bir açıda yerleştirilmesi Şekil 2.7’de görülebilir. Şekil 2.7’de:

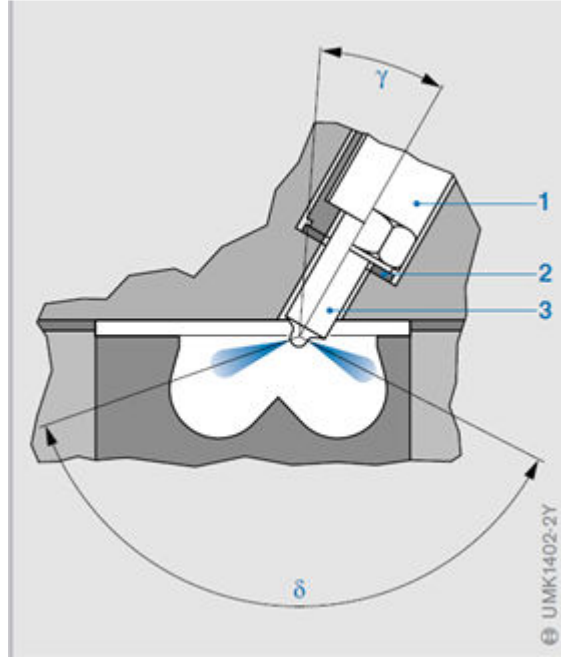
1. Meme Tutucu ya da enjektör
2. Sızdırmazlık pulu
3. Meme

δ : Konik jet açısı (derece)

γ : Eğim açısı (derece)

Delik tipi memeler ikiye ayrılır:

- DLLA tipi memeler
- DSLA tipi memeler



Şekil 2.7. Düzenin motor bölgesindeki şematik gösterimi

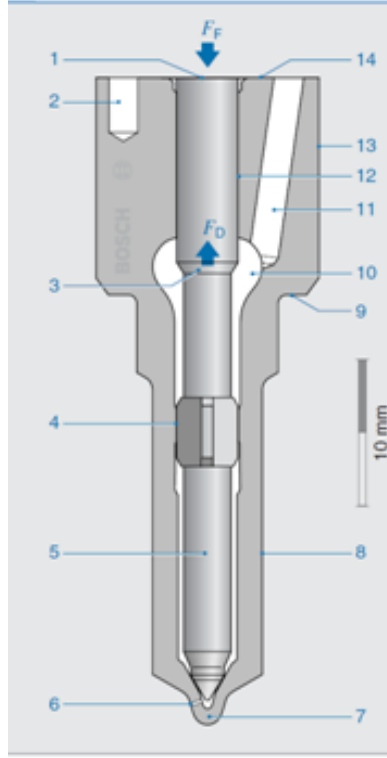
Enjeksiyon delikleri meme konik kısmında yer alır. Delik sayısı ve çapı:

- Gerekli olan enjeksiyon miktarına
- Yanma odasının şekline
- Yanma odasında oluşacak hava vorteksine

göre değişir.

Meme delikleri girişi hidrolik erozyon işlemi ile yuvarlatılır. Bu proseste aşındırıcı parçalar içeren hidrolik sıvı yüksek hızda meme deliğine gönderilerek yuvarlatma işlemi yapılır. Hidrolik erozyon yöntemi hem DLLA tipi hem de DSLA tipi memelerde kullanılır. Giriş deliği yuvarlatmasının amaçları,

- Akış direnç katsayısını optimize etmek
- Akış debisini toleranslar içinde ayarlamaktır



Şekil 2.8. Meme şematik gösterimi

Şekil 2.8’de şematik olarak memenin gösterimi verilmiştir. Buna göre;

1. Kurs limit omuzu
2. Sabitleme pim deliği
3. Basınç omuzu
4. İkincil kılavuzlama
5. İğne mili
6. Meme deliği
7. Meme konik kısmı
8. Meme gövdesi
9. Meme gövdesi omzu
10. Basınç odası
11. Yakıt giriş deliği
12. İğne yataklama
13. Meme gövdesi birincil çap
14. Sızdırmazlık yüzeyi

15. F_Y : Yay kuvveti (N)

16. F_D : İğneye etki eden yakıt basıncının kuvveti (N)

Memeler kullanılacakları motora göre dikkatli bir şekilde dizayn edilirler. Memenin enjektör fonksiyonlar bakımından çok önemli görevleri vardır:

- Püskürtülen yakıtın debisini etkiler
- Sprey şekli yakıtın atomisasyonunu belirler
- Yakıtın yanma odasındaki yayılımını belirler
- Yanma odası ile enjeksiyon sistemi arasında sızdırmazlık görevini sağlar.

Basınç odası (10) Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Basınç odası elektro kimyasal proses ile oluşturulur. Basınç odasını oluşturmak için elektrolit bir çözelti daha önceden oluşturulmuş delikten geçirilmektedir. Böylece pozitif yüklenmiş olan meme gövdesinden parça ayrılır.

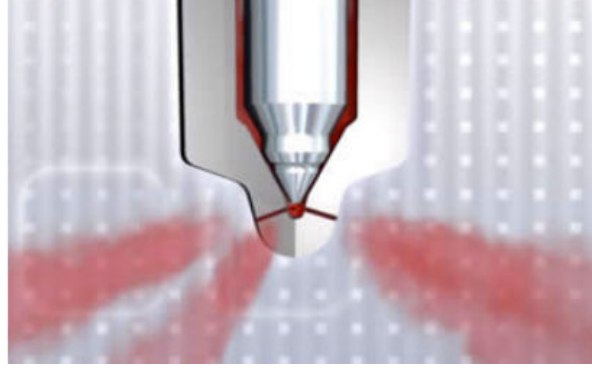
Meme iğnesi oturma bölgesinin altında bulunan yakıt yanma sonrası buharlaşır. Bu durumda çok büyük miktarda hidrokarbon emisyonuna neden olur. Bu yüzden bu bölge olabildiğince küçük hacimli tutulmaya çalışılır. Ayrıca meme koniğinin ve iğne oturma yüzeyinin meme kapanma ve açılma karakteristiklerine büyük etkisi vardır..Bütün bu meme etkilerini göz önüne alarak istenen koşulları sağlayacak meme için çeşitli tasarımlar mevcuttur.

İki temel meme tasarımı bulunmaktadır:

- DLLA tipi memeler
- DSLA tipi memeler

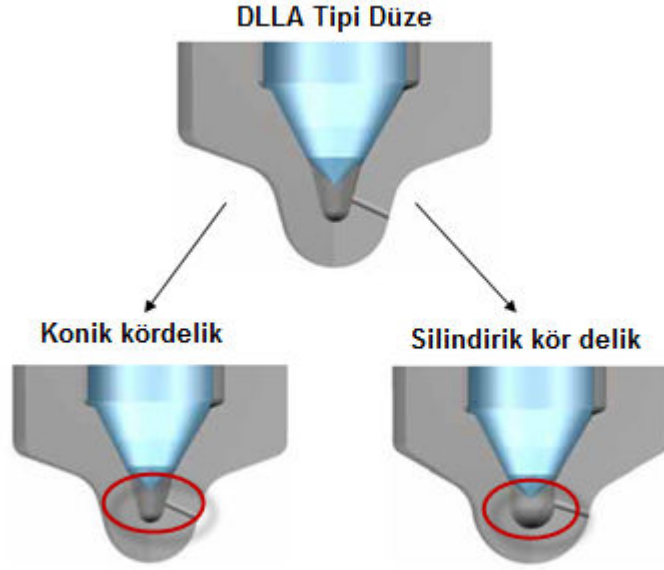
2.2.2.1.DLLA tipi düzeler

Meme delikleri Şekil 2.9’da görüldüğü gibi kör delik etrafına delinmektedir. Şekil 2.9’da DLLA tipi meme gösterilmiştir.



Şekil 2.9. DLLA tipi meme gösterimi

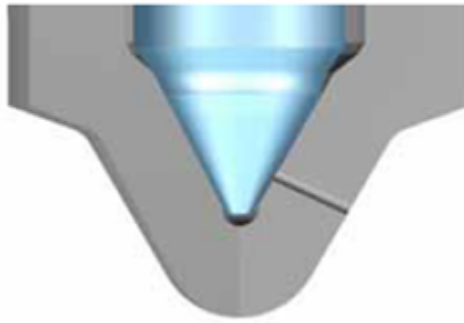
Enjektör delikleri mekanik olarak ya da elektro-erezyon ile açılmaktadır. Konik geometriye sahip kör delik tiplerinde de meme delikleri elektro-erezyon yöntemiyle açılmaktadır. Kör delik tipi memelerdeki kör delik tipi silindirik ya da koniktir. Şekil 2.9'da silindirik geometriye sahip kör delik tipi meme görülmektedir. Şekilde görülebileceği gibi meme silindirik ve yarı küresel kısımlardan oluşmaktadır. Bu geometrik yapı, meme deliklerinin sayısı, deliklerin boyu ve delik koniklik açısı olarak birçok yönden geniş bir yelpazede geometriye etki eder. Yarı küresel silindirik yapı bütün meme deliklerinin aynı boyda olmasını sağlar. Şekil 2.10'da konik geometrik uca ve silindirik tip kör delik geometrisine sahip meme görülmektedir. Konik uçlu ve konik kör delik tipli memelerde ölü hacim daha küçüktür. Bu tiplerdeki ölü hacim silindirik geometriye sahip kör delik tipli memelerden az; DSLA tipi memelerden daha fazladır. Konik uçlu konik geometrili DLLA tipi memelerin avantajı iç ve dış kısım konik olduğu için uç boyunca meme delik duvar kalınlıkları eşitlenir. 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 bir çözümdür.



Şekil 2.10. DLLA tipi meme şematik gösterim

2.2.2.2.DSLA tipi meme

Ölü hacmi minimize etmek böylece hidrokarbon emisyonunu azaltmak için tasarlanmıştır. Meme delikleri oturma yüzeyi tarafında delinir. Meme delikleri iğne tarafından kapatılır. (Şekil 2.11) DLLA tiplerine göre ölü hacim daha azdır. Meme delikleri genelde elektro-erezyon yöntemi ile delinir.

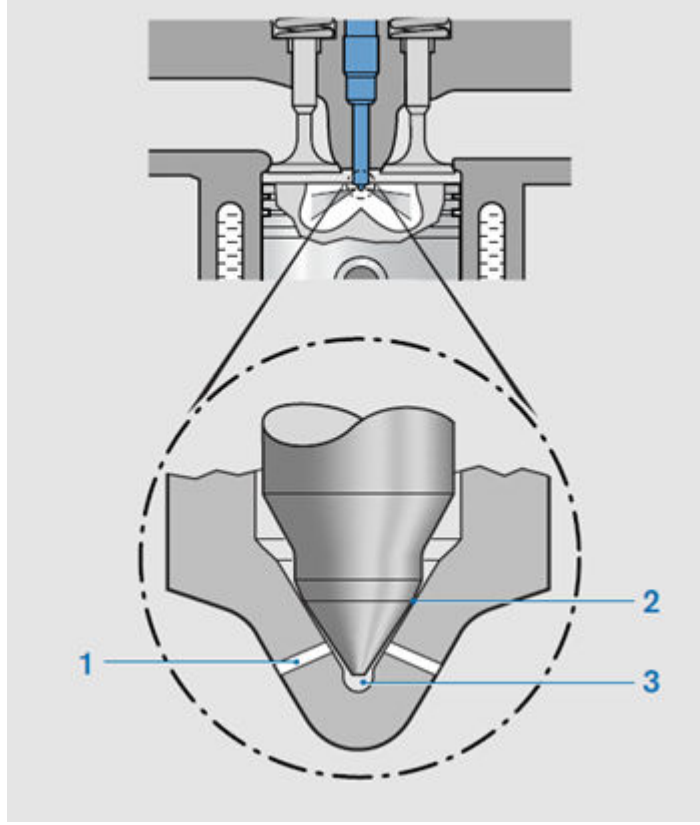


Şekil 2.11. DSLA tipi meme şematik gösterim

Özel meme deliği geometrisi, ikinci iğne yatağı ve kompleks iğne ucu geometrileri sprey yayılımını, karışım yapısını ayarlamak için hem DLLA tipi memelerde hem de DSLA tipli memelerde görülür.

2.2.2.3.Düzelerin emisyon oranlarına etkisi

Meme geometrisinin araç emisyonlarına direkt olarak etkisi vardır. Sprey deliği geometrisi (Şekil 2.12 1 numaralı bölge) direkt olarak partikül ve NO_x emisyonunu etkiler.

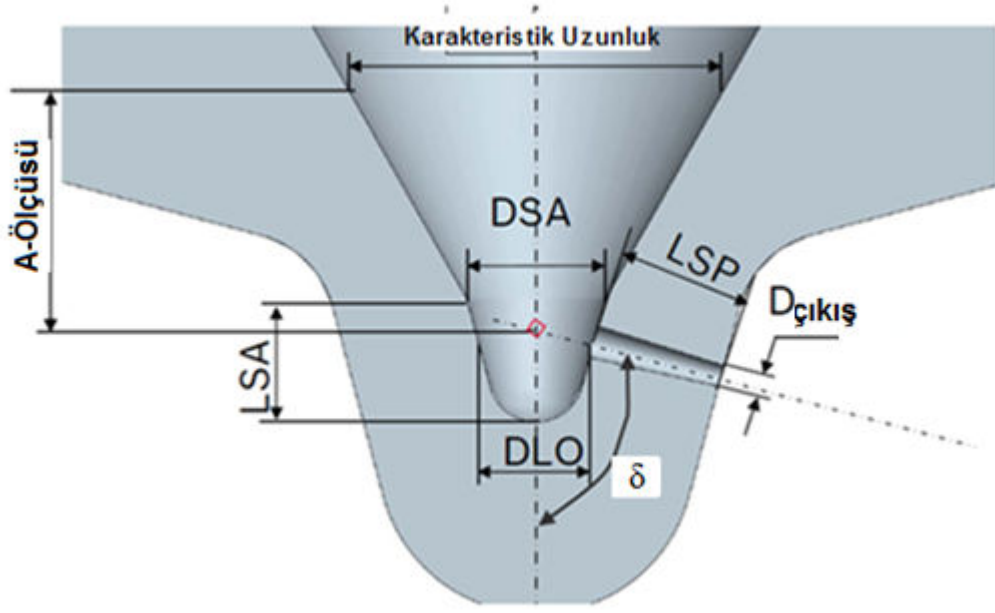


Şekil 2.12. Düzede emisyonu etkileyen belirleyici bölgeler

İğne oturma geometrisi (Şekil 2.12 2 numaralı bölge) yanma esnasındaki ses düzeyini ve pilot enjeksiyon miktarlarını belirler. Kör delik geometrisi (Şekil 2.12 3 numaralı bölge) daha önce söz konusu edildiği gibi emisyon miktarlarını direkt olarak etkiler. Burada önemli olan motora göre optimum meme karakteristiklerinin belirlenmesidir. Yukarıdaki nedenlerden dolayı meme tasarımları söz konusu olan motorlara göre yapılır.

2.2.2.4.Meme geometrik karakteristikleri

Meme geometrisinin sahip olduğu karakteristik geometrik özellikler aşağıda verilmiştir. (Şekil 2.13)

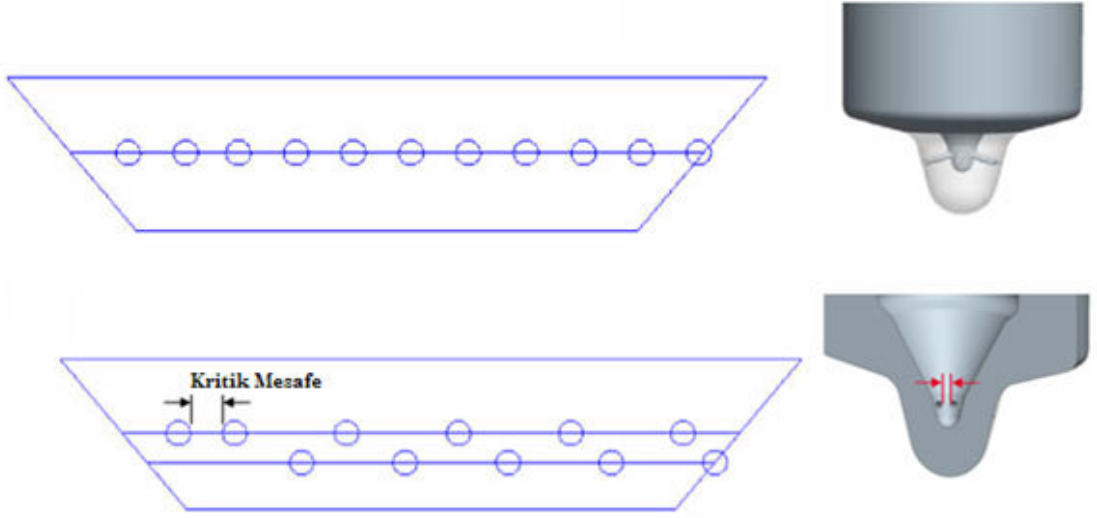


Şekil 2.13. Meme geometrisi temel boyutlar

- A-mass: Karakteristik çaptan meme deliği eksenini ile meme eksenini kesişim noktası arası uzaklık.
- DLO: Delik çevresi dairesi çapı (mm)
- δ : Yükseklik Açısı (derece)
- $D_{\text{çıkış}}$: Meme deliği çıkış çapı (mm)
- DSA: Kör delik giriş çapı (mm)
- LSA: Kör delik uzunluğu (mm)
- LSP: Meme deliği uzunluğu (mm)

2.2.2.5. Meme deliklerinin dizilimi

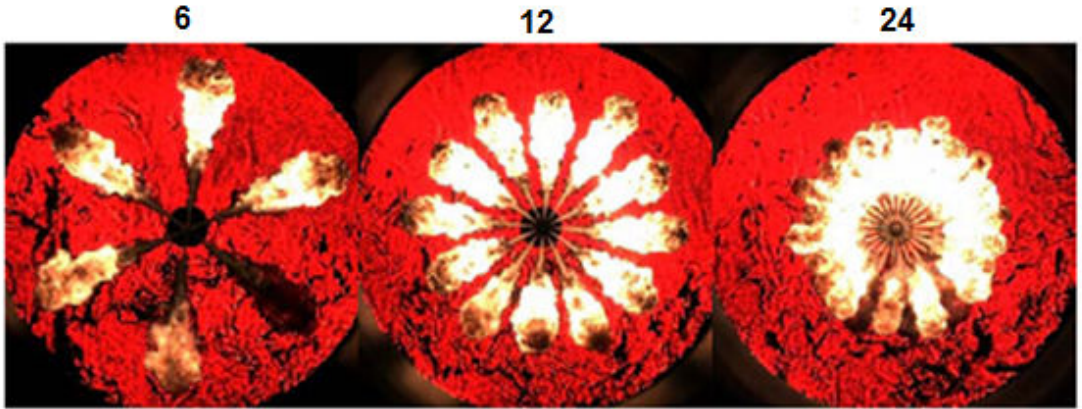
Şekil 2.14'de değişik dizilime sahip meme örnekleri verilmiştir. (Açısal yönde dizilmiş) Kritik mesafe iki meme deliği arası minimum mesafedir.



Şekil 2.14. Meme deliklerinin dizilimi şematik gösterimi

2.2.2.6.Meme delik sayısı

Şekil 2.15’te üç farklı meme delik sayısına (6, 12, 24) sahip memelerin yanma odasında patlama sırasında oluşturduğu görüntü verilmiştir.



Şekil 2.0.15. Değişik delik sayılarına sahip memelerin gösterimi

2.2.2.7.Koniklik

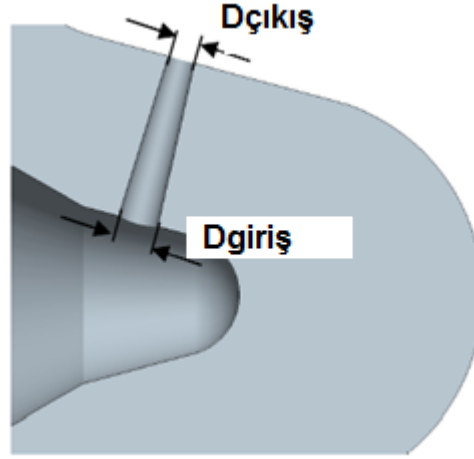
Meme deliği için koniklik, meme giriş çapına ve meme çıkış çapına göre hesaplanan bir değerdir. K-faktörü memeler için meme deliğinin konikliğini belirtir.

$$Koniklik = D_{\text{çıkış}} - D_{\text{giriş}} \quad \dots (2.9)$$

Denklem 2.9'da;

$D_{\text{giriş}}$: Meme giriş çapı [μm] (Şekil 2.16)

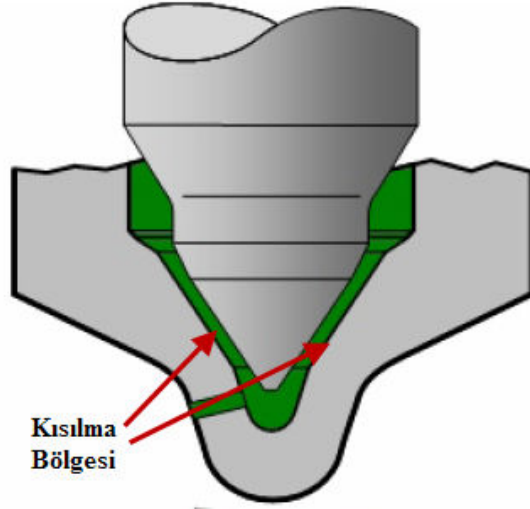
$D_{\text{çıkış}}$: Meme çıkış çapı [μm] (Şekil 2.16)



Şekil 2.16. Koniklik açısı parametreleri

2.2.2.8.İğne kısılması

Düzenin iğneli ve iğnesiz çalıştığı durumlar için çıkış debi miktarları farklıdır. Bu farklılığın nedeni iğne etkisiyle iğne ve meme gövdesi arasında akışın kısılmaya uğramasıdır. Şekil 2.17'de şematik olarak memede iğneden dolayı oluşan kısılma bölgesi gösterilmiştir.



Şekil 2.17. Meme kısılma bölgesi şematik gösterimi

Denklem 2.10'da kısılma için denklem verilmiştir. Bu denklemde;

$$\text{İğneKısılması} = \frac{Q_{iz} - Q_i}{Q_{iz}} \quad \dots(2.10)$$

Bu denklemde;

Q_i : İğneli durumdaki debi miktarı [$\text{cm}^3/30\text{s}$]

Q_{iz} : İğnesiz durumdaki debi miktarı [$\text{cm}^3/30\text{s}$]

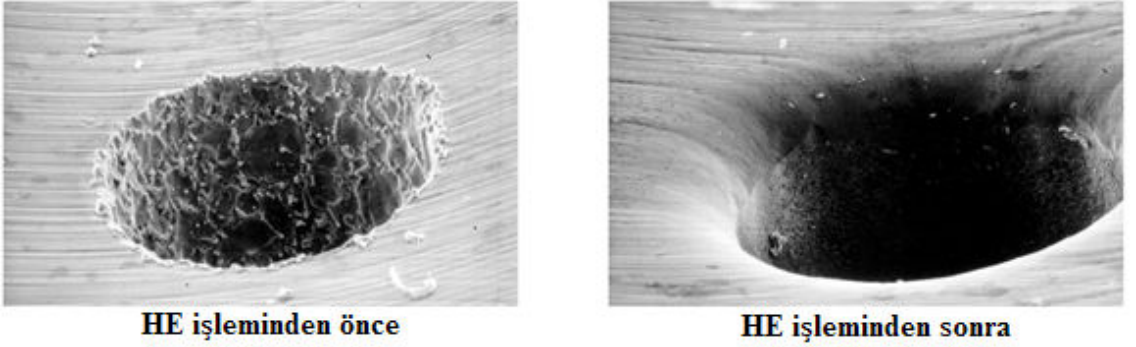
Yükseklik açısındaki artış kısılma etkisinin negatiften pozitifte dönmesine yol açar. Bu çalışmanın amaçlarından bir de bunun nedenlerini bulmaktır.

Hız profili sabiti değeri çok boyutlu etkileri iki boyutlu görmek açısından etkili bir araçtır. Hız profili değerinin artması ile akış kesitinden geçen akış miktarı buna bağlı olarak da debi miktarı artar.

2.2.3.Hidrolik debiyi etkileyen faktörler

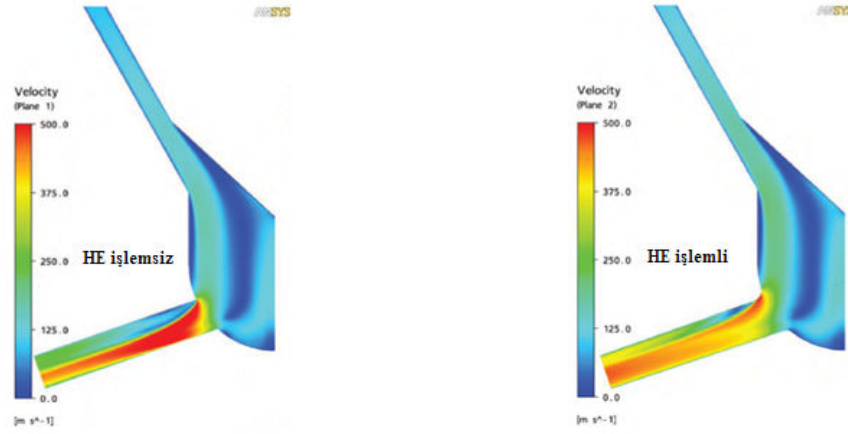
- Meme delik sayısı
- Meme deliği çapı
- Meme deliği K faktörü (Koniklik derecesi)
- HE (Hidrolik Erezyon prosesi) değeri

Hidrolik debi miktarını etkileyen faktörler yukarıda belirtilmiştir. Yukarıdaki parametreler değiştirilerek istenen hidrolik debi miktarı elde edilebilir. Düzedeki delik miktarını ve düz delik çapını artırarak hidrolik debi miktarı artırılabilir. HE miktarı değiştirilerek istenen akış miktarı elde edilir. Şekil 2.18'te hidrolik erezyon işleminin öncesi ve sonrasında meme deliğinin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.18. HE işlemi öncesi ve sonrası

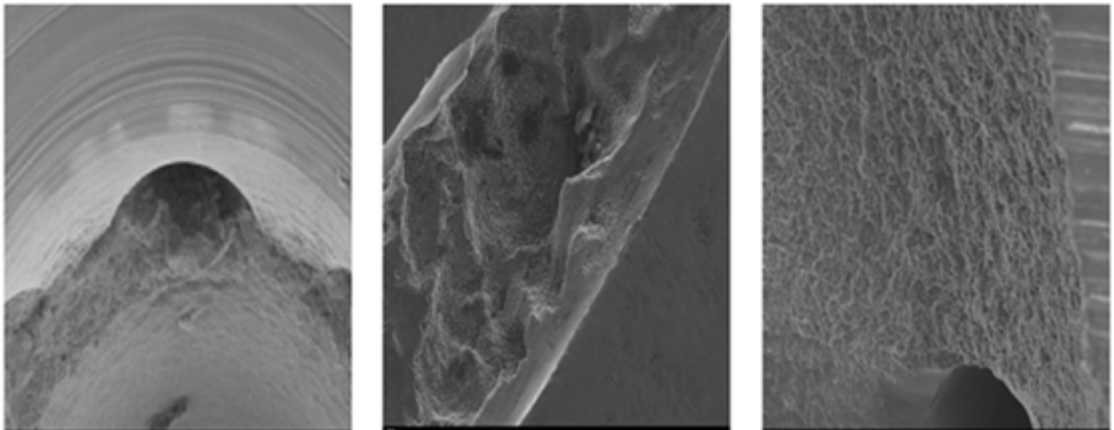
HE miktarı değiştirilerek meme içi akış özellikleri değiştirilebilir. (Şekil 2.19)



Şekil 2.19. HE işlemlı ve işlemsız meme CFD analizi hız profili örneği

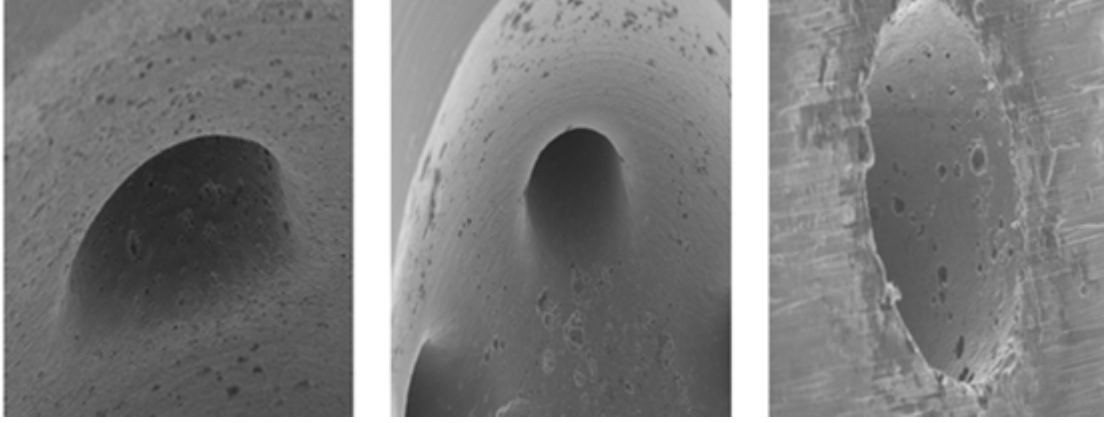
Enjektördeki korozyonun varlığı, kavitasyon erezyonu ve partiküllerin neden olduğu izler hidrolik debinin azalmasına neden olur. Ayrıca meme uğunda oluşan kurumlanma hidrolik debinin azalmasına neden olur.

Kavitasyon Erezyonu: 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 2.20)



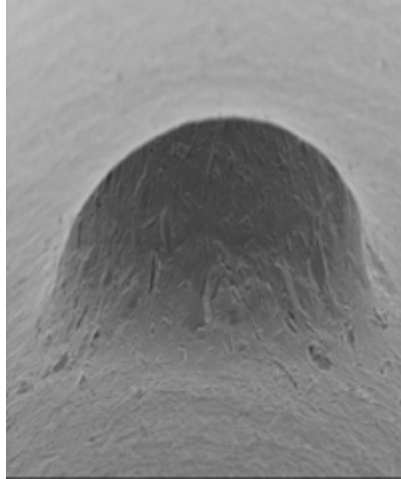
Şekil 2.20. Dügede kavitasyon kaynaklı tahribatı örnekleri

Korozyon Erezyonu: Korozyon, materyallerin çevresi ile kimyasal ilişkiye girerek bozulmalarıdır. Yakıt içindeki su varlığı ile demir ve oksijen atomları kimyasal reaksiyona girerek oksidasyona; bu durum da parçalardaki korozyona neden olur. Şekil 2.21’de memede korozyona bağlı oluşan erezyon fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 2.21. Düzede 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 2.22’de verilmiştir.



Şekil 2.22. Meme 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 2.23)



Şekil 2.23. Düzede kurumlanma

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Yapılan bu çalışmada CRI2-16 enjektörünün meme püskürtme deliği içi akışının negatif ve pozitif kısılma etkisi gösteren yükseklik açılarında incelemesi yapılmıştır. Analiz için hem deneysel hem de CFD analizi yapılmıştır.

Deneysel çalışmada modelin doğrulanması için aşağıda özellikleri verilen meme kullanılmıştır.

- Meme Tipi: DLLA meme
- Yükseklik açısı (derece): 35
- Debi Miktarı (HE işlemi sonrası, iğnesiz durum için): 478,4 cm³ (30s'deki toplam debi miktarı.)

Model doğrulama işlemi için iğne kursunun 0,20, 0,25, 0,30 mm olduğu durumlarda otuz beş derecelik iğneli ve iğnesiz durum için CFD analizi sonuçları ile deneysel çalışma sonuçları karşılaştırılmıştır. CFD çalışmasında kullanılan püskürtme deliği akışına ait yüzey, geometrik ölçüm ile elde edilmiş noktalardan oluşturulmuştur.

3.2.Yöntem

Bu çalışmada amaç negatif kısılma gösteren 35 derecelik yükseklik açısına sahip iğneli (iğne kursu 0,25 mm) ve iğnesiz meme akışı ile pozitif kısılma gösteren 75 derecelik iğneli (iğne kursu 0,25mm) ve iğnesiz meme akışının incelenmesi ve karşılaştırılmasıdır. Analiz için hem deneysel çalışma hem de CFD analizi yapılmıştır. Deneysel çalışma ile akış modeli doğrulanıp daha sonraki çalışmalar nümerik olarak gerçekleştirilmiştir. CFD analizi için kullanılan yazılımlar mesh oluşumu için ICEM CFD; sınır şartları, çözüm ve sonuçların irdelenmesi için ANSYS CFX'tir. Deneysel çalışma için debi ölçümü gerçekleştirilmiştir.

3.2.1.Hidrolik akış ölçümü

Belirli basınç altında belirli bir süre aralığında püskürtülen yakıt miktarına hidrolik debi denir. Manyetik tipli valfler için bu koşullar 100 bar ve 30 saniyelik toplam debi ölçümü iken; piezo enjektörler için 100 bar ve 60 saniyelik toplam debi olarak tanımlanmıştır.

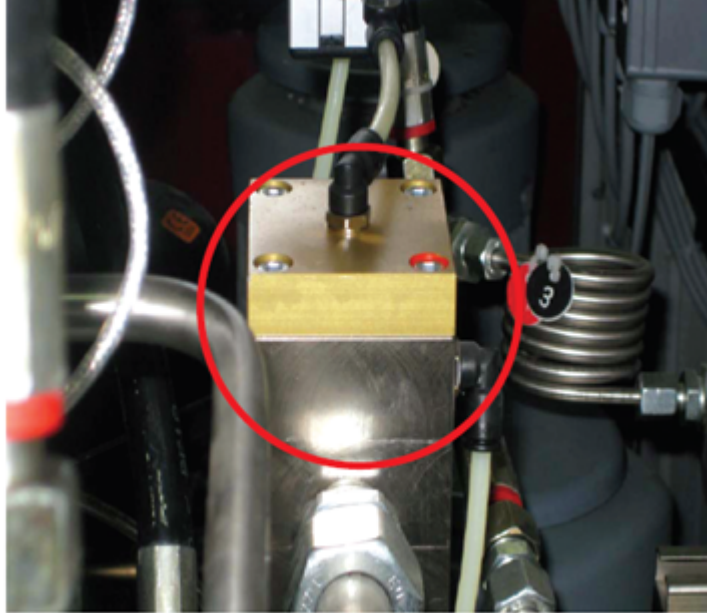
3.2.1.1.Debi ölçümü cihazı

Test ölçüm cihazının arkasında 150 lt'lik yakıt tankı bulunmaktadır. Yüksek basınç pompası yakıt tankından yakıtı alarak yakıtın basıncını 200 bar'a çıkartır. Basınçlı yakıt basınç düzenleyiciye 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. Debi ölçüm cihazının tipi Koriolis tipidir. Kütleli debi ve yoğunluk direkt olarak ölçülür. Hacimsel debi kütleli debinin yoğunluğa bölümü ile bulunur. Cihazın hassasiyeti $\pm 0.1\%$ 'dir. Ölçüm makinasının fotoğrafı Şekil 3.1'de verilmiştir.



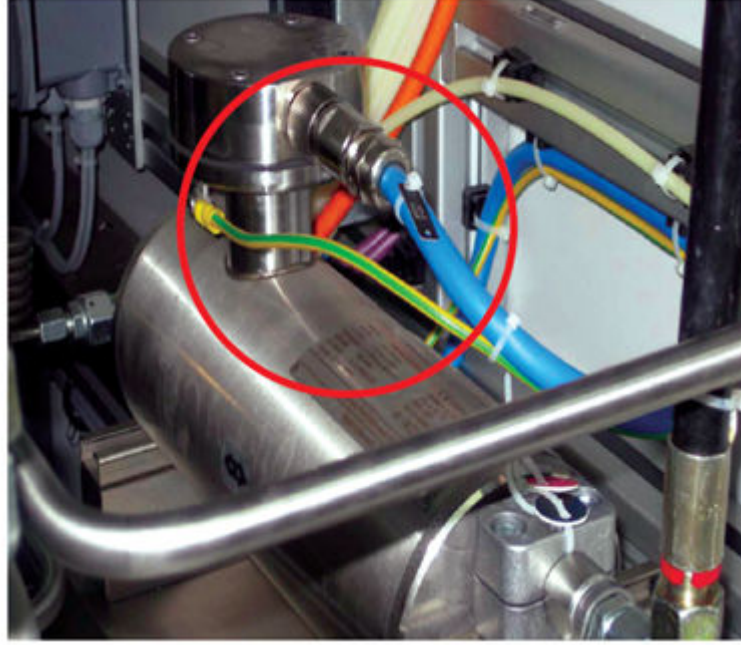
Şekil 3.1. Hidrolik debi test ölçüm cihazı

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



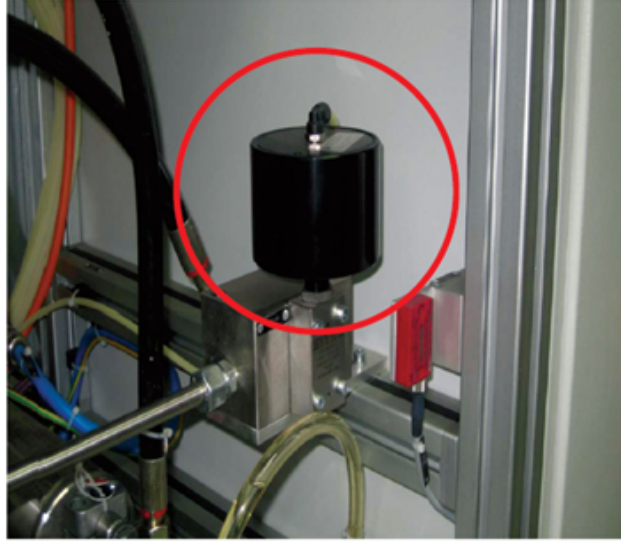
Şekil 3.2. Yüksek basınç pompası

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



Şekil 3.3. Basınç düzenleyici

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



Şekil 3.4. Isı pompası

Karşı basınç pompaları (Şekil 3.5) motor silindiri şartlarını simule ederek karşı basınç oluşturmak için kullanılır. Böylece daha gerçekçi test koşulları yaratılmış olunur.



Şekil 3.5. Karşı basınç pompası

3.2.2.Hesaplamalı akışkanlar mekaniği

Son yıllarda bilgisayar teknolojisinin hızlı artışı simülasyon programlarını daha yaygın hale getirmiştir. Hesaplama kapasitesindeki büyük artış kompleks denklemlerin çözülebilmeye yeteneğini artırmıştır. 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 çözümlenmede sonlu elemanlar yöntemi veya sonlu hacimler yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntemlerin aslı Eudoxos (408 – 355 İÖ) ve Archimedes'e (287 – 212 İÖ) kadar gitmektedir. (Nolte 2005) Karmaşık geometri 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 transfer mekanizması (İletim, 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
- Kabin içi havalandırma sistemi
- Motor soğutma
- Enjeksiyon sistemleri
- Elektronik parçalardaki sıcaklık oluşumu
- 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 içi akışa ait özellikler (hız,akış çizgileri,basınç...) incelenmiştir.

3.2.3.Akış simülasyonu

Bu çalışmada daimi akış analizi yapılmıştır. Akış denge durumuna ulaştıktan sonraki durumun incelenmesi yapılmıştır. Ayrıca CFD analizi yapılan deneysel çalışma ile valide edilmiştir. CFD çalışmasında çözüm için kullanılan yakınsama kriteri sonlu kareler yöntemi ile kullanılarak 10^{-5} 'tir.

3.2.3.1.Matematiksel model

Bu çalışmada iki fazlı kavitasyon modeli kullanılmıştır. ANSYS CFX'de kavitasyon modeli Rayleigh-Plesset denkleminde göre çözdürülmektedir.

Süreklilik Denklemi

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

Momentum korunum denklemi

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

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:

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

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

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

olmalıdır.

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

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

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:

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

... (3.6)

Bu model de

$$\beta^t = 9, \alpha = 5/9, \beta = 0.075, \sigma_k = 2, \sigma_\omega = 2 \text{ dir.}$$

Kavitasyon modeli

Bu çalışmada kavitasyonlu çift fazlı akış simülasyonu yapılmıştır. Kavitasyonlu modelin seçilmesinin nedeni kavitasyon katsayısının bu çalışma için 2 değerinden küçük olmasıdır (Şekil 2.2). Bu çalışma için kavitasyon katsayısı :

$$K = \frac{P_1 - P_v}{P_1 - P_2} = \frac{101 - 0,03}{101 - 1} = 1,0097$$

Bu denklemde:

P_1 (Giriş basıncı): 101 bar

P_v (Buharlaştırma basıncı): 0,03bar

P_2 (Çıkış basıncı) : 1 bar

ANSYS CFX programının kullandığı kavitezyon için matematiksel model aşağıda görülebilir.

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

3.2.3.2.Geometri ve mesh hazırlama

Üç boyutlu katı modellerin hazırlanması Pro Engineer programı ile yapılmıştır. Pro Engineer da hazırlanan model nümerik analiz öncesi ICFM CFD programı kullanılarak sonlu elemanlara bölünmüştür. 35 derecelik yükseklik açısına sahip memeler için hazırlanan akış CAD modelleri (iğneli ve iğnesiz) Şekil 3.6'da görülebilir.

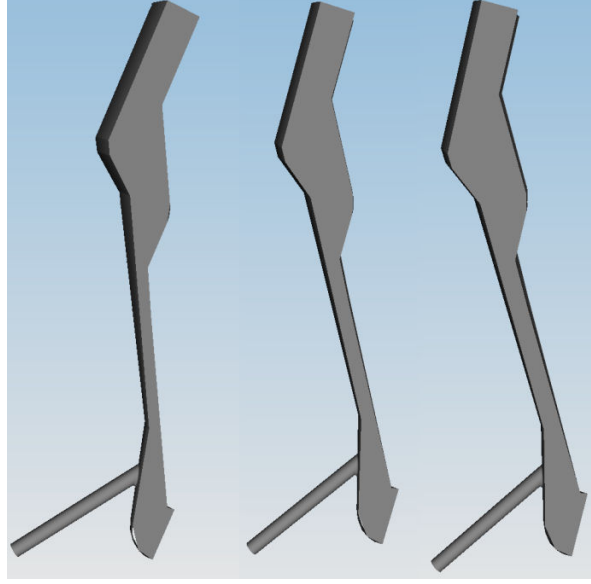


Şekil 3.6. İğneli ve iğnesiz akış CAD modelleri

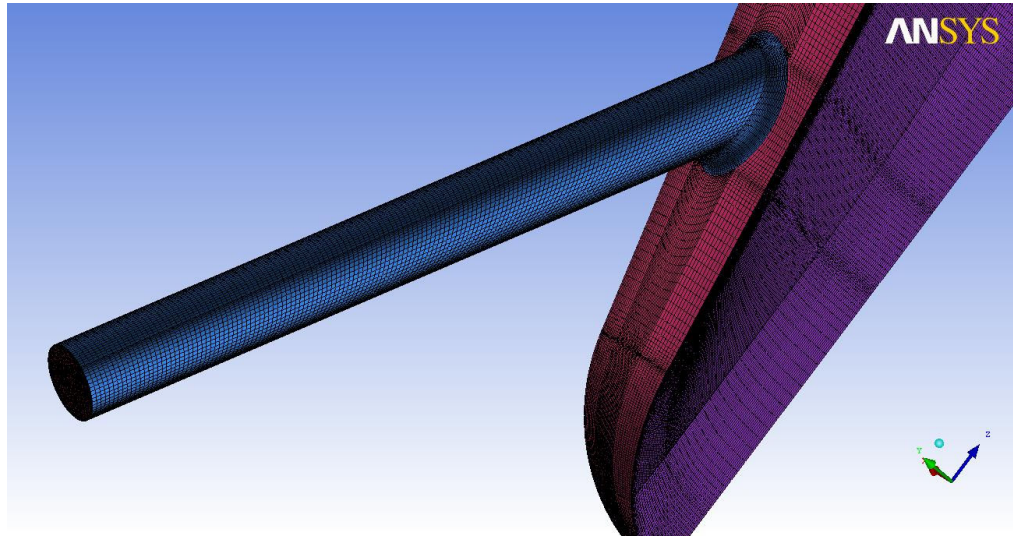
Bu çalışmada iğne hareketi hareketli mesh kullanılarak analiz edilmemiştir. Bunun yerine her bir iğne kalkış durumuna göre CAD model modifiye edilerek her bir model sonlu elemanlara bölünmüştür. Şekil 3.7’de 35 derecelik yükseklik açısına sahip meme içi akış modelinin katı modeli her üç iğne kursuna göre verilmiştir. Şekil 3.8’de 35° lik iğne için oluşturulmuş ağ yapısı görülebilir. Değişimin fazla olduğu; akış özelliklerinin çok çabuk değiştiği bölgelerde daha çok eleman kullanılmıştır. Bu bölgeler püskürtme deliği girişi ve püskürtme deliğidir. Çizelge 3.1’de her bir durum için kullanılan mesh sayısı ve minimum element açısı (Bir ağ elemanın kenarları arasındaki minimum açı) verilmiştir.

Çizelge 3.1. Mesh ağı nokta sayısı ve minimum element açısı (derece)

Durum	Mesh Ağı Noktası Sayısı	Minimum Element Açısı (derece)
İğnesiz-35 derece	1579926	20,34
iğnesiz-75 derece	2597961	27
Kurs 0,20 mm-35 derece	1160244	24,57
Kurs 0,25 mm-35 derece	1118230	23,31
Kurs 0,30 mm-35 derece	1115410	21,06
Kurs 0,20 mm-75 derece	1371830	19,62
Kurs 0,25 mm-75 derece	1411894	19,02
Kurs 0,30 mm-75 derece	1368410	23,31



Şekil 3.7. Her üç iğne kursu için akış katı modelleri

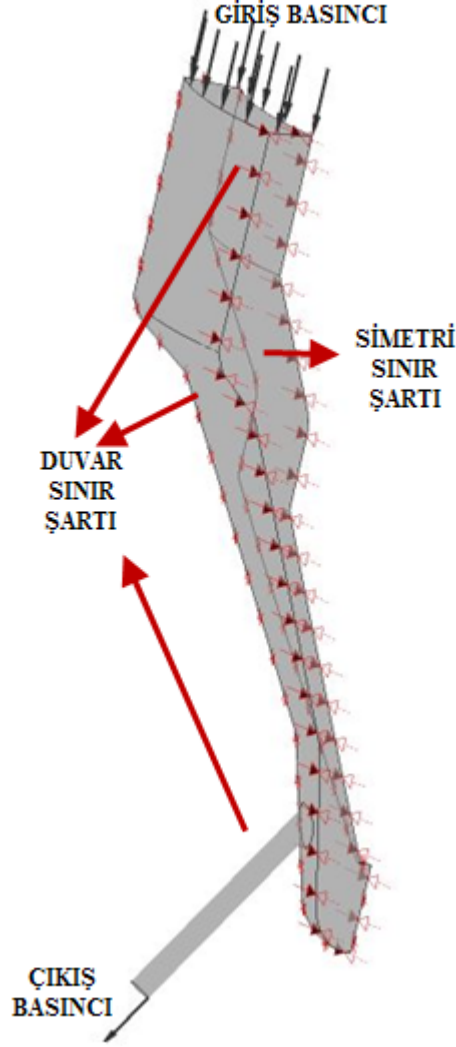


Şekil 3.8. İğnesiz durum için oluşturulmuş ağ yapısı (Yükseklik açısı: 35 derece)

3.2.3.4.Sınır şartları

Analiz için sistemin sınır şartları ANSYS CFX-Pre modülünde verilmiştir. Şekil 3.9’da ANSYS CFX modülü içindeki akışkan modeli görülebilir. Türbülans modelleme için k-w türbülans modellemesi kullanılmıştır. Analiz için meme geometrisinin 36 derecelik kısmı kullanılmıştır. Bunun nedeni incelenen memede 10 adet delik olmasıdır. Şekil 3.9’da görülebileceği gibi iğne tarafı ve enjektör tarafı duvar sınır şartı ile tanımlanmıştır. İki yan alan simetri sınır şartı ile tanımlanmıştır. Giriş basıncı 101 bar,

çıkış basıncı 1 bar olarak verilmiştir. Bu değerler debi ölçüm koşullarının aynısıdır. Ölçüm şartlarındaki basınç farkı da 100 bar'dır.



Şekil 3.9. Sınır şartları

Kavitasyonlu akış durumu için iki fazlı CFD analizi yapılmıştır. Bu iki faz hava ve test yağıdır.

3.2.3.5. 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.

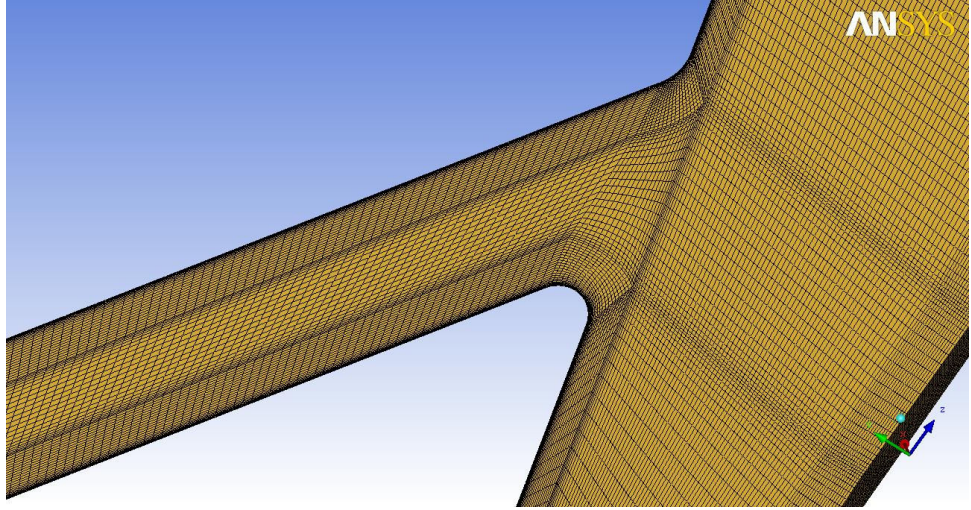
Enjektör testlerinde DIN EN 590'a, yani standart dizel yakıtına en yakın özelliklere sahip yağ ISO 4113 kullanılmaktadır. Test yağı özelliklerine Çizelge 3.2'de yer verilmiştir.

Çizelge 3.2. Test yağına ait fiziksel ve kimyasal özellikler

Kimyasal ve Fiziksel Veriler		
	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 D 665A Çelik	24 saat. Pas yok	iyi
FSTM 5322.1 Galvanik	10 gün. Pas yok	iyi

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırmanın ilk aşamasında modelin doğrulanması yapılmıştır. İkinci aşamada doğrulanan model ile CFD analizleri yapıp sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 4.1’de ilk aşamada debi çıktısını bulmak için analizi yapılan 35 derece yükseklik açılı iğnesiz durum için oluşturulmuş modele ait ağ yapısı görülmektedir.



Şekil 4.1. 35 derece yükseklik açılı akış için ağ yapısı

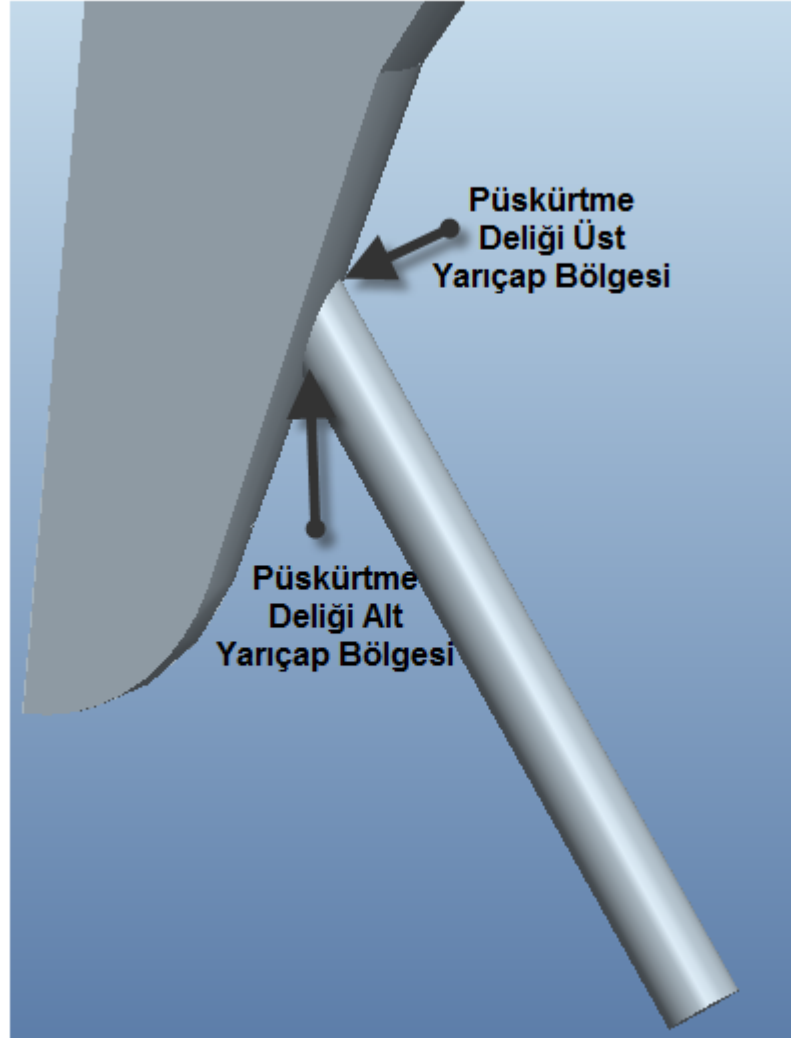
4.1. Modelin Doğrulanması

4.1.1. Doğrulama için meme geometrisinin modifikasyonu

Yapılan çalışmada 35 derecelik yükseklik açısına sahip iğnesiz durumdaki akışkana ait katı modeller oluşturulduktan sonra meme püskürtme deliği giriş yarıçapları değiştirilerek aynı meme tipi için deneysel olarak elde edilmiş debi değerine yakınsanmıştır. Bu yarıçaplar püskürtme deliği alt ve üst yarıçap halinde aşağıda verilmiştir:

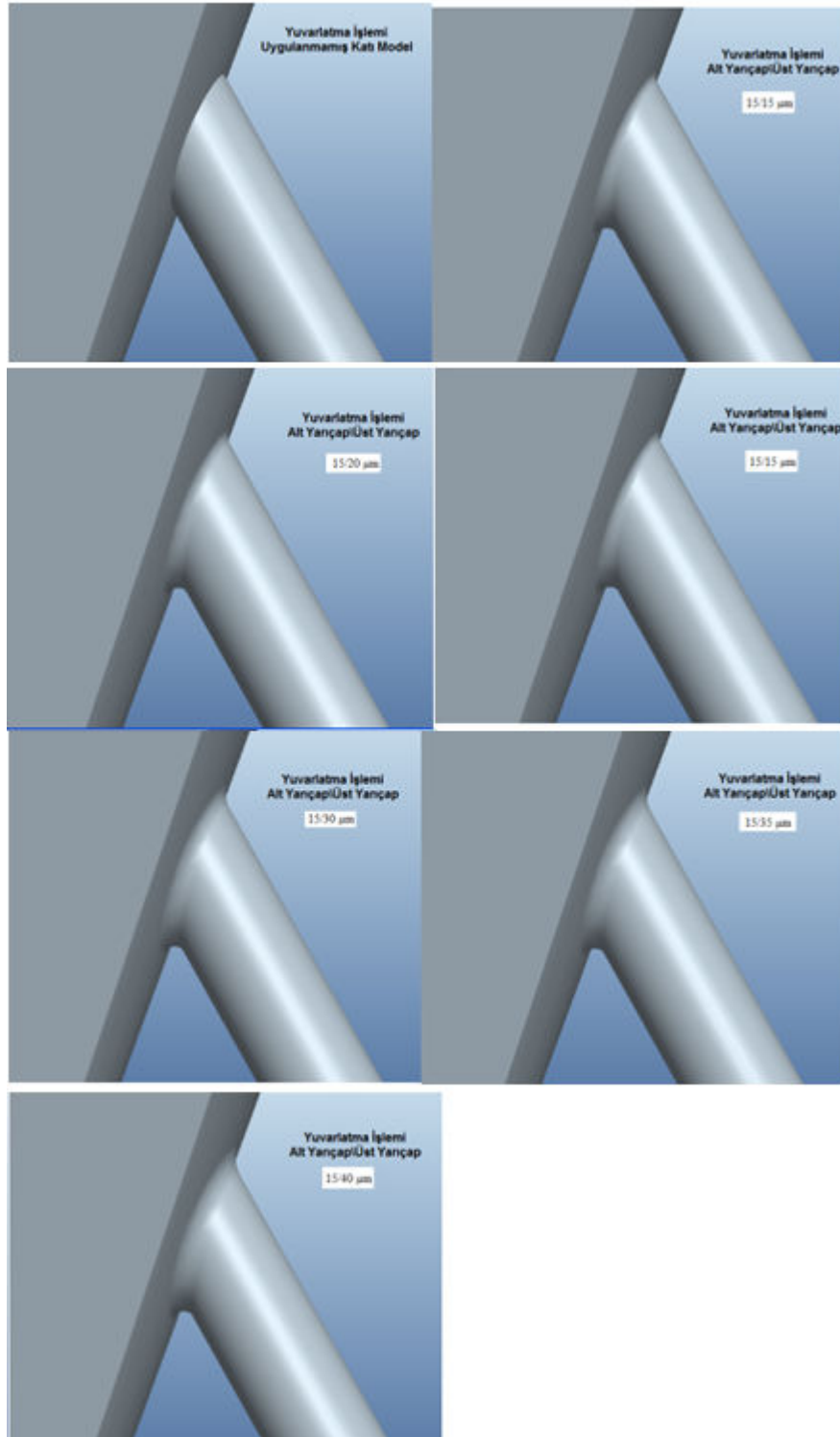
- 15/15 μm
- 15/20 μm
- 15/25 μm
- 15/30 μm
- 15/35 μm
- 15/40 μm

Şekil 4.2’de püskürtme deliği yarıçap değişimi uygulanmamış katı modeli görüntüsü ve üst/alt yarıçap bölgeleri gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Meme püskürtme deliği girişi alt ve üst yarıçap bölgeleri

Şekil 4.3’te her bir yarıçap çiftine göre oluşturulmuş püskürtme deliği girişi katı model görüntüsü verilmiştir.



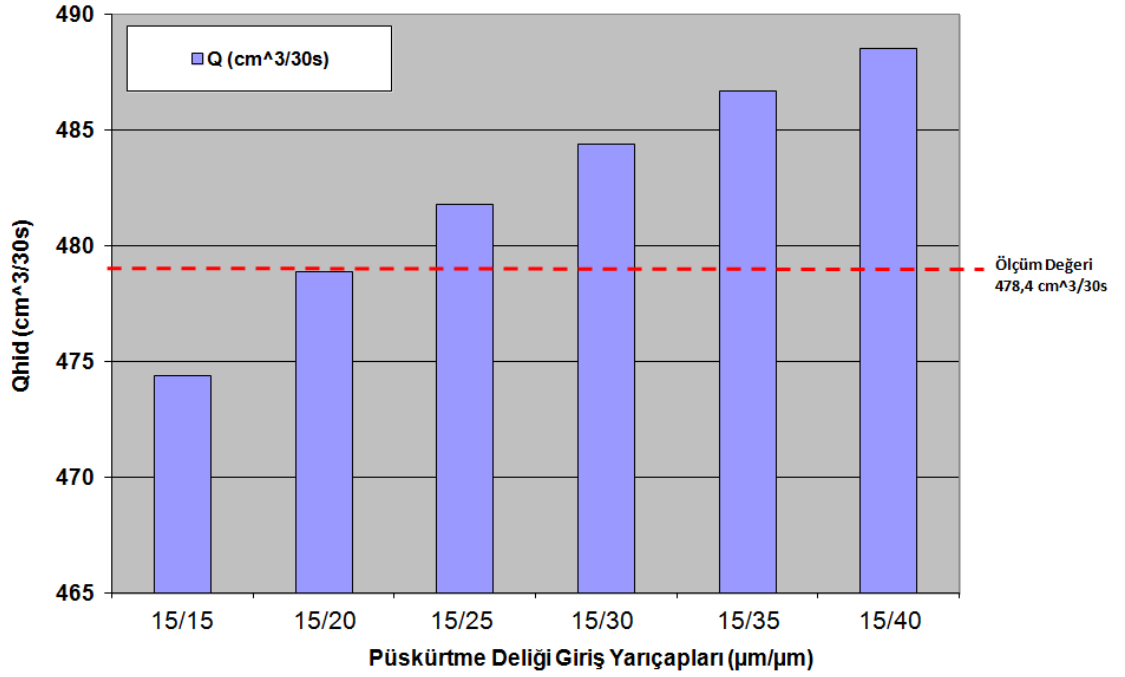
Şekil 4.3. Farklı yarıçap çiftleriyle oluşturulmuş katı modeller

Yapılan yakınsama çalışmasında her bir yarıçap çifti ile oluşturulan geometriler ağ yapılarında elementlere bölünmüş ve CFD analizi yapılarak çıkış debileri belirlenmiştir.

Çizelge 4.1’de ve Şekil 4.4’de çap değişimlerine göre elde edilen debi miktarları görülmektedir.

Çizelge 4.1. Farklı yarıçap çiftleri için hidrolik debi değerleri

	Alt/Üst Yarıçap Çiftleri ($\mu\text{m}/\mu\text{m}$)					
Hidrolik Debi	15/15 μm	15/20 μm	15/25 μm	15/30 μm	15/35 μm	15/40 μm
Q ($\text{cm}^3/30\text{s}$)	474,4	478,9	481,8	484,4	486,7	488,5



Şekil 4.4. Püskürtme Deliği Giriş Yarıçaplarına Göre Debi Değerleri

Şekil 4.4’te görüleceği üzere deneysel ölçüm değerine en yakın yarıçap çifti 15/20 μm olarak bulunmuştur. Daha sonra yapılan analizler bu yarıçap çifti kullanılarak yapılmıştır.

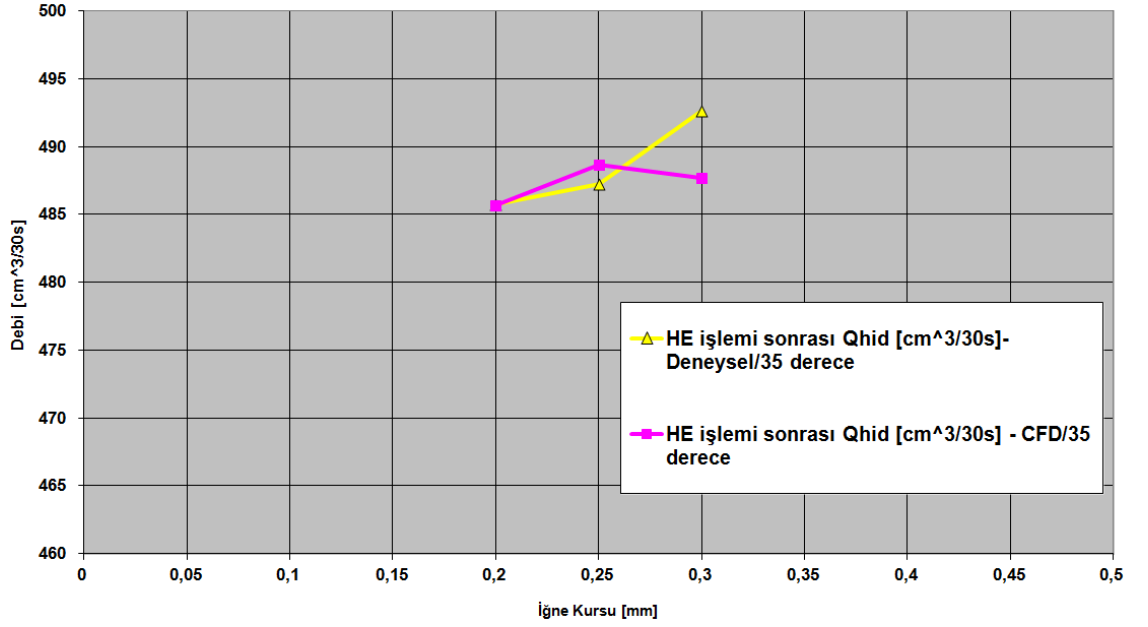
4.1.2. Model ile test sonuçlarının karşılaştırılması

35 derecelik yükseklik açısına sahip meme için deneysel çalışma yapılmıştır. Şekil 4.5’te deneysel veriler ile 35 derecelik yükseklik açısına sahip meme için yapılan CFD analizi ile elde edilen debi değerleri karşılaştırılmıştır. Grafikte görülebileceği gibi sonuçlar birbirine yakın çıkmıştır. Grafikten de görülebileceği gibi sonuçlar iğne kursunun 0,20 ve 0,25 mm olduğu durumlar için deneysel veriler ile örtüşürken 0,3 mm

için bu değer örtüşmemektedir. Aralarında % 1,01'lik fark vardır. Çizelge 4.2'de debi değerleri tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 4.2. İğne kursuna bağlı debi değerleri

Kurs (mm)	HE işlemi sonrası Q_{hid} ($cm^3/30s$)- Deneysel-35 derece	HE işlemi sonrası Q_{hid} ($cm^3/30s$) – CFD-35 derece
0,20	485,7	485,63
0,25	487,2	488,64
0,30	492,6	487,66

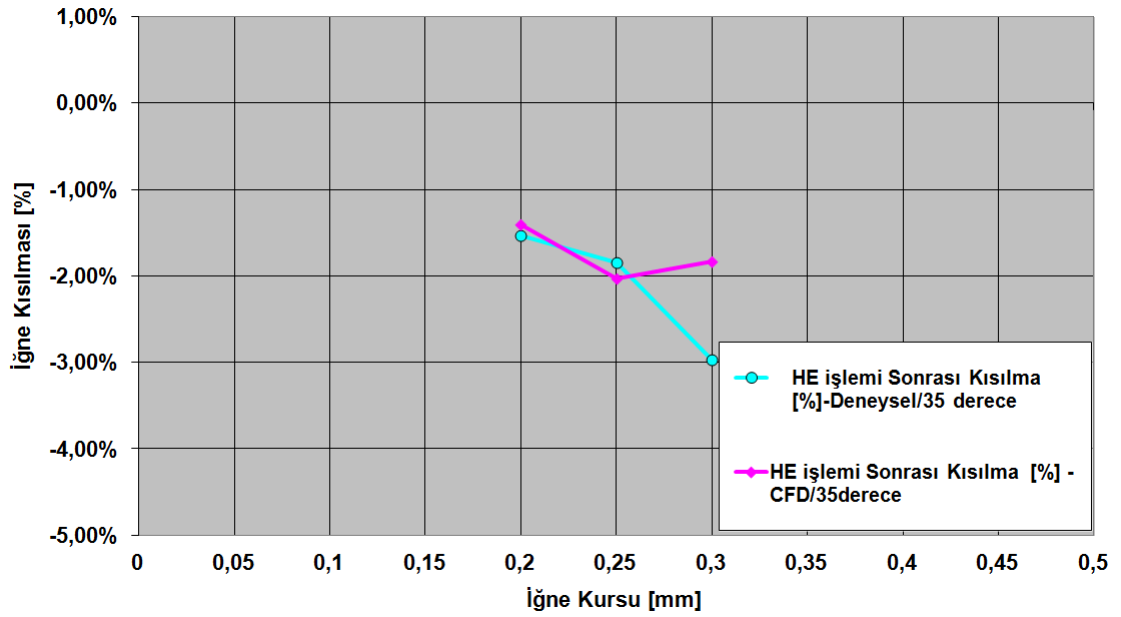


Şekil 4.5. İğne kursuna bağlı debi grafiği

Şekil 4.6'da iğne kısılma değerleri grafik üzerinde karşılaştırılmıştır ve değerler çizelge de verilmiştir. Her üç noktada negatif kısılma etkisi göstermektedir. İğne yüksekliğinin 0,20 mm olduğu kısılma değerleri deneysel veriler sonucu hesaplanmış kısılma değeri ile örtüşürken; 0,30 mm iğne yüksekliğinde %1,11'lik fark oluşmaktadır. Çizelge 4.3'de kısılma değerleri tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 4.3. İğne kursuna bağlı kısılma değerleri

Kurs (mm)	HE işlemi Sonrası Kısılma [%]- Deneysel-35 derece	HE işlemi Sonrası Kısılma [%] – CFD- 35 derece
0,20	-1,53%	-1,41%
0,25	-1,84%	-2,04%
0,30	-2,97%	-1,83%



Şekil 4.6. İğne kursuna bağlı iğne kısılması değerleri

4.2.İğneli ve iğnesiz durumların karşılaştırılması

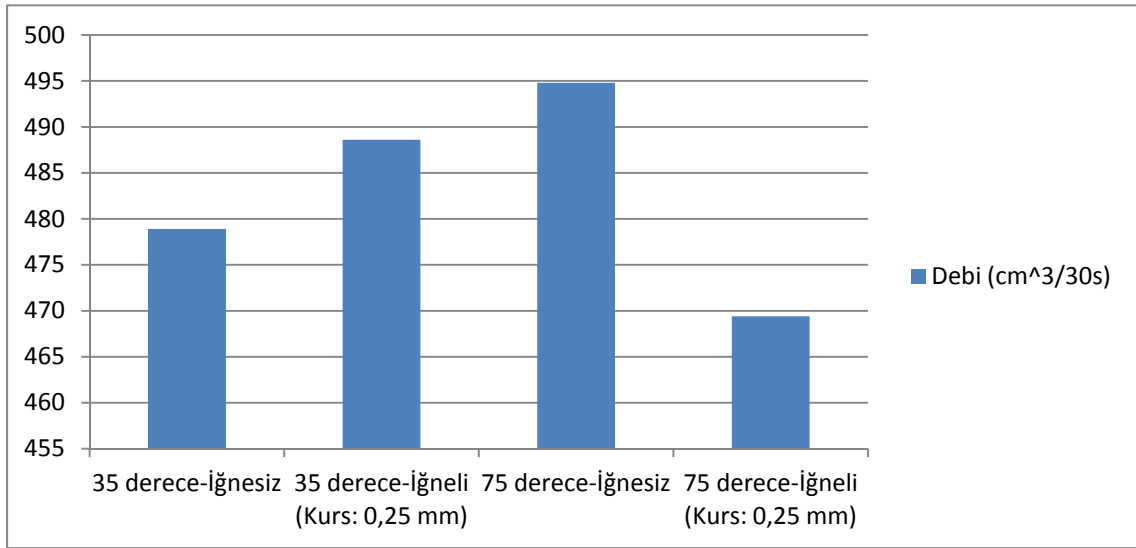
Bu bölümde 35 ve 75 derecelik yükseklik açılarına sahip akış durumları iğneli ve iğnesiz durum için karşılaştırılmıştır. İğneli durum için her bir yükseklik açısında 0,25 mm kurslu meme içi akış alınmıştır.

4.2.1.Debi ve kısılma miktarı

Şekil 4.7’de 35 ve 75 derecelik yükseklik açılarına sahip akışlara ait iğneli ve iğnesiz durumdaki debiler verilmiştir. 35 dereceli yükseklik açısına sahip akışlar karşılaştırılacak olursa, iğneli durumdaki debi miktarı iğnesiz duruma göre %2 daha

fazladır. Bu durum 75 derecelik yükseklik açısına sahip akış için tam tersi bir durum gösterir. 75 derecelik akışta iğnesiz durumdaki akış miktarı iğneli durumdakinden %5,15 daha fazladır. En yüksek debi miktarı (494,8 cm³/30s) 75 derecelik yükseklik açısına sahip iğnesiz durum için bulunmuştur. En düşük debi miktarı (469,4 cm³/30s) 75 derecelik yükseklik açısına sahip iğneli durum için bulunmuştur. 35 ve 75 derecelik yükseklik açılarına sahip akışlar karşılaştırılacak olursak debi değeri 35 derecelik iğneli akış için 75 derecelik iğneli akışa göre %3,99 daha fazladır. İğnesiz akışların karşılaştırılması durumunda 75 derecelik iğnesiz akış debi miktarı 35 derecelik iğnesiz akış debi miktarına göre %3,21 daha fazladır.

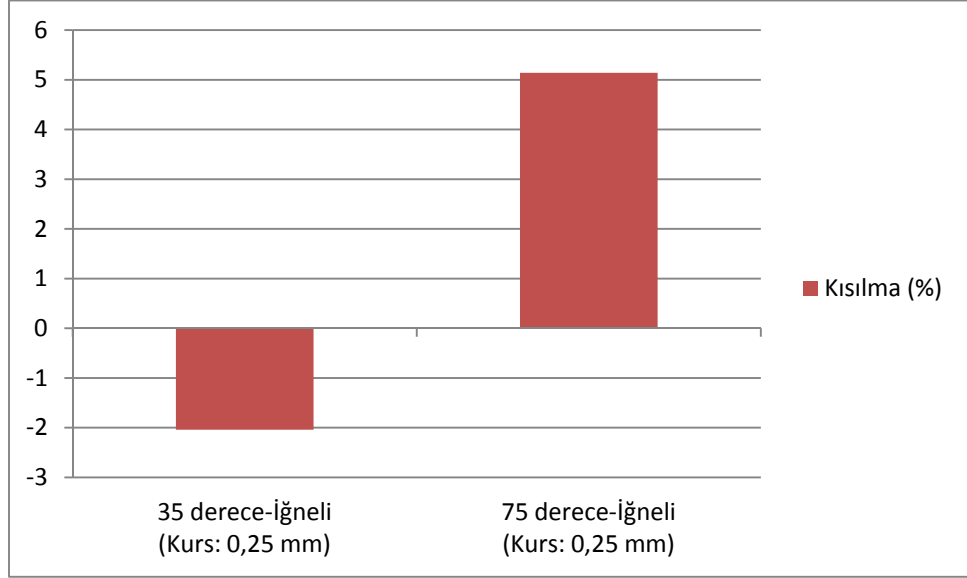
35 derecelik yükseklik açılı akış durumunda iğne olduğunda debi miktarı daha fazla iken; 75 derecelik yükseklik açısına sahip akışta iğnesiz durumda debi miktarı daha fazladır. Bu durumda 35 derecelik yükseklik açısına sahip memede negatif iğne kısılma etkisinin görülmesine; 75 derecelik yükseklik açısına sahip memede de pozitif iğne kısılması etkisinin görülmesine neden olmaktadır.



Şekil 4.7. Akış durumlarına göre debi grafiği

Şekil 4.8’de 35 ve 75 derecelik yükseklik açılarına sahip akışlara ait iğne kısılması miktarları verilmiştir. İğne kısılması 35 derecelik akış için -%2’dir. Kısılmanın negatif olması iğneli durumda iğnesiz durumdakine göre memenin daha fazla püskürtmesi anlamına gelir (Şekil 4.7. %2’lik fark). İğne kısılması 75 derecelik akış için %5,1’dir.

Pozitif kısılma memenin iğneli durumda daha az püskürtmesi anlamına gelir (Şekil 4.7. %5,15'lik fark).



Şekil 4.8. Akış durumlarına göre iğne kısılması grafiği

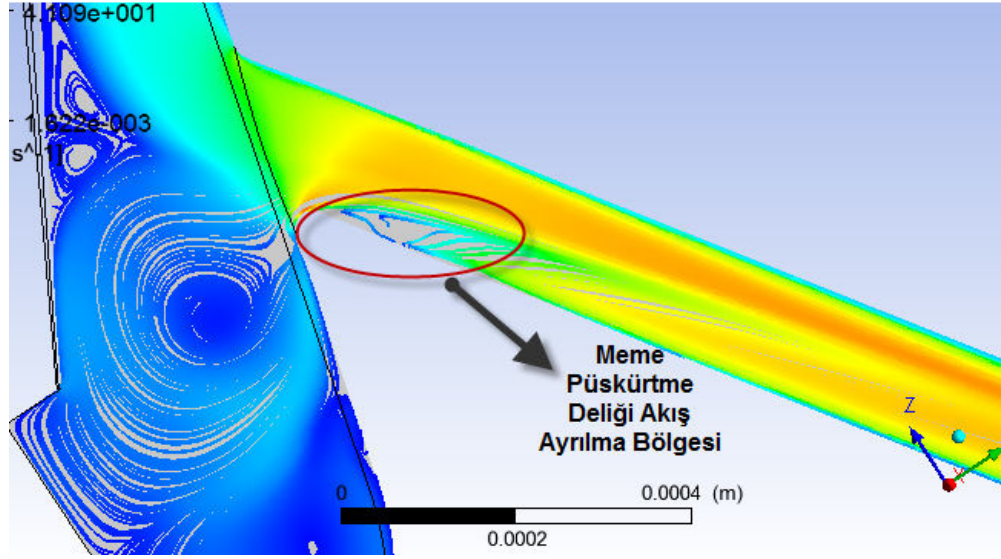
Çizelge 4.4'te iğneli ve iğnesiz durumlara ait debi miktarları ve iğneli durumdaki kısılma yüzdeleri verilmiştir.

Çizelge 4.4. Debi ve kısılma miktarlarının kıyaslanması

Durum	Debi (cm ³ /30s)	Kısılma Miktarı (%)
35 derece-İğnesiz	478,9	Yok
35 derece-İğneli (Kurs: 0,25 mm)	488,6	-2,0
75 derece-İğnesiz	494,8	Yok
75 derece-İğneli (Kurs: 0,25 mm)	469,4	5,1

4.2.2. Akış ayrılma bölgesi uzunluğu ve genişliği

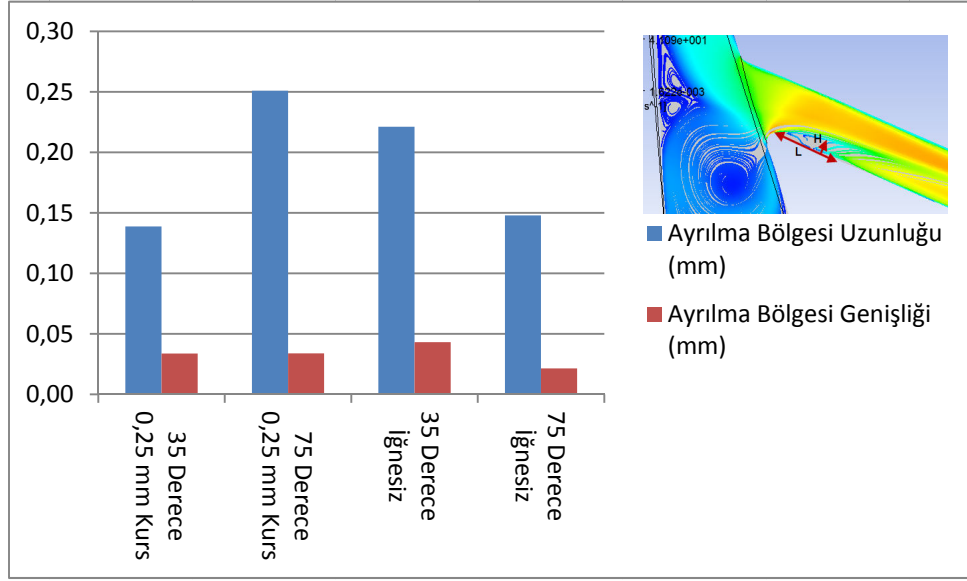
Meme püskürtme deliği girişinde oluşan ayrılma bölgesine (Şekil 4.9) ait karakteristik uzunluk ve genişlik değerleri Şekil 4.10'da verilmiştir. Çizelge 4.5'te de bu grafiğe ait değerler verilmiştir.



Şekil 4.9. Meme püskürtme deliği ayrılma bölgesi şematik gösterimi

Çizelge 4.5. Ayrılma bölgesi uzunluğu ve genişliği

DURUM	Ayrılma Bölgesi Uzunluğu L (mm)	Ayrılma Bölgesi Genişliği H (mm)
35 Derece 0,25 mm Kurs	0,14	0,03
75 Derece 0,25 mm Kurs	0,25	0,03
35 Derece İğnesiz	0,22	0,04
75 Derece İğnesiz	0,15	0,02



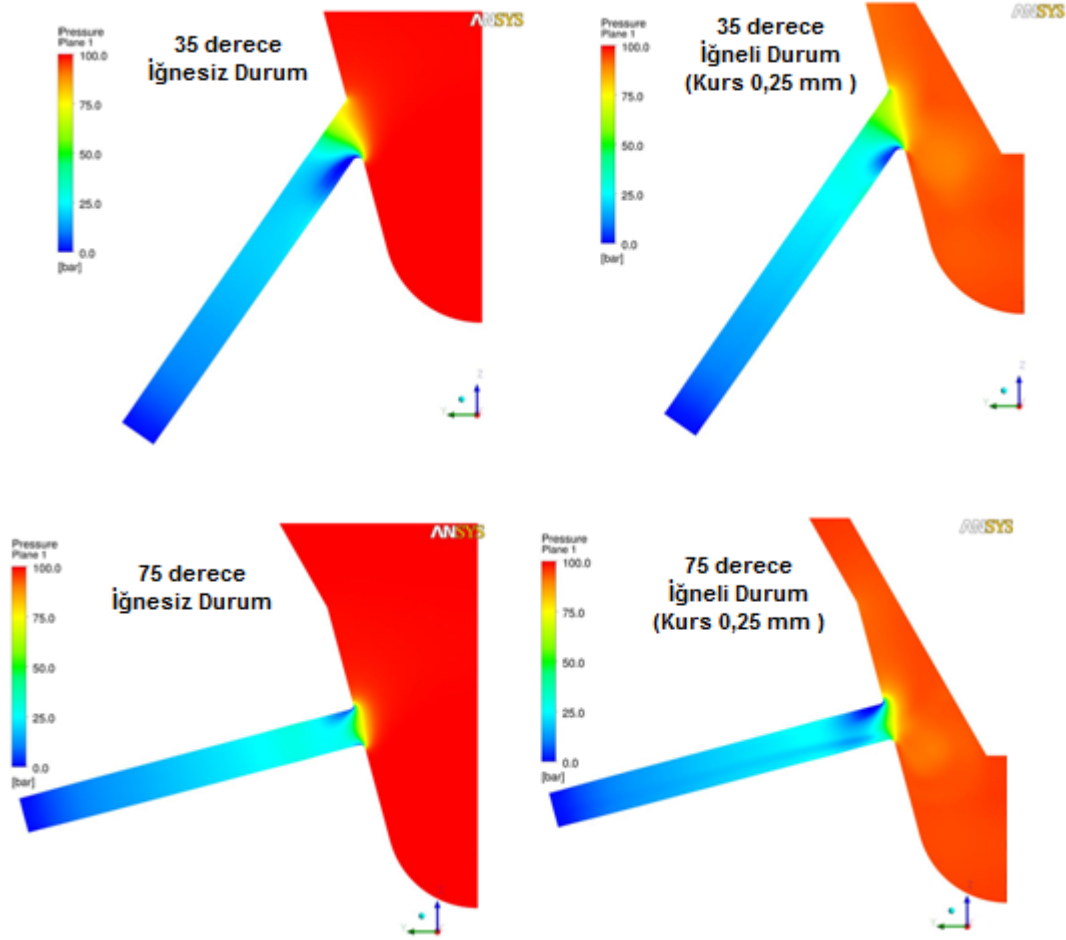
Şekil 4.10. Farklı yükseklik açısı durumlarında ayrılma bölgesi uzunluğu ve genişliği

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi en küçük ayrılma bölgesi boyutlarına sahip durumlar 35 derece yükseklik açılı iğneli akış ile 75 dereceli iğnesiz akıştır. En yüksek ayrılma bölgesi uzunluğu 0,25 mm olarak 75 derecelik yükseklik açısına sahip iğneli durum içindir. 35 derecelik yükseklik açısına sahip akış durumu için iğnesiz akış durumundaki ayrılma bölgesi uzunluğu, iğneli duruma göre %37; ayrılma bölgesi genişliği de %21,7 daha fazladır. Bu durum 75 derecelik yükseklik açısına sahip akış için tam tersi bir durum gösterir: İğneli durumdaki ayrılma bölgesi uzunluğu iğnesiz duruma göre % 41 ; ayrılma bölgesi genişliği de %36,7 daha büyüktür. 35 ve 75 derecelik yükseklik açısına sahip iğneli durum için akışlar karşılaştırılacak olursa ayrılma bölgesi uzunluğu 75 derecelik yükseklik açısına sahip akış için 35 derecelik duruma göre ayrılma bölgesi uzunluğu %44,7 büyük iken; ayrılma bölgesi genişliği ise %0.1 daha büyüktür. 35 ve 75 derecelik yükseklik açısına sahip iğnesiz durum için akışlar karşılaştırılacak olursa ayrılma bölgesi uzunluğu 35 derecelik yükseklik açısına sahip akış için 75 derecelik duruma göre ayrılma bölgesi uzunluğu %49,5 büyük iken; ayrılma bölgesi genişliği ise %50.4 daha büyüktür. Ayrılma bölgesi büyüklüğünün artması, ayrılma bölgesindeki girdap odaklı sürtünmeye bağlı kayıpların artışına neden olmaktadır. Yukarıda anlatılan durumlar için en yüksek girdap odaklı kayıpların 75 derecelik yükseklik açısına sahip iğneli durumda olması beklenirken; en düşük kayıpların 35 derecelik iğneli ve 75 derecelik iğnesiz durumlar için olması beklenir.

4.2.3.Basınç

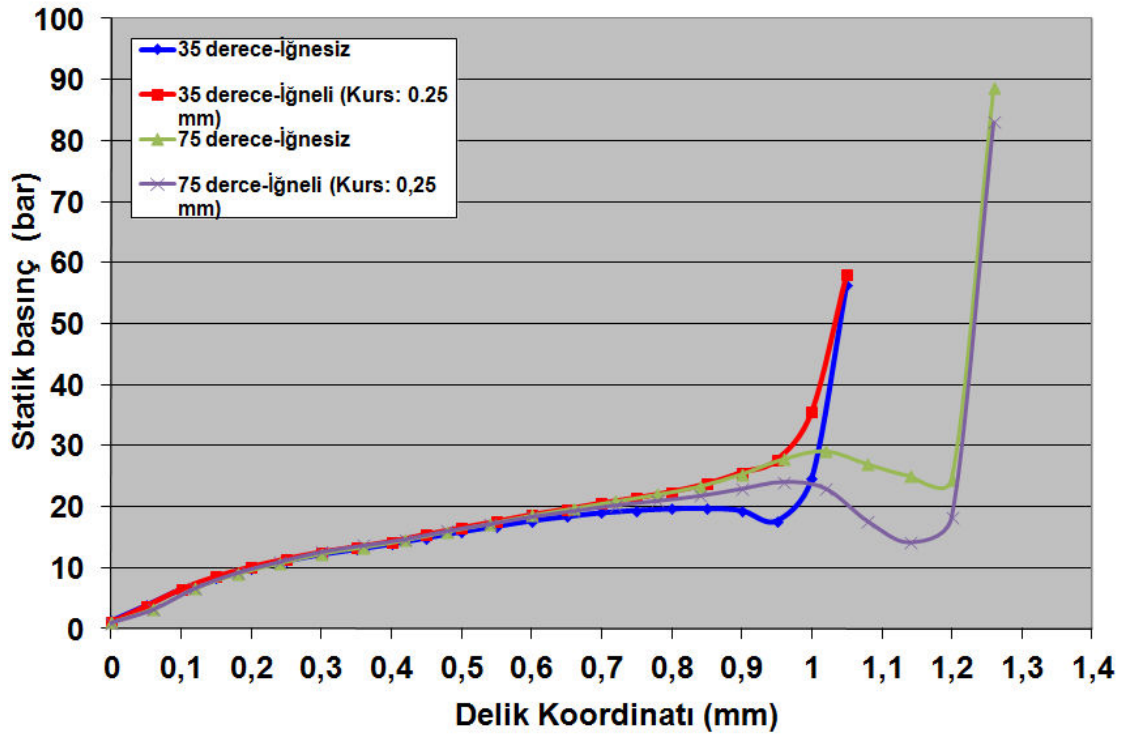
Şekil 4.11 ve 4.12’de 35 ve 75 derecelik yükseklik açısına sahip memelere ait basınç dağılımının gösterimi meme püskürtme deliği boyunca gerçekleşen basınç grafiği verilmiştir. Grafikte (Şekil 4.12) püskürtme deliği çıkışı sıfır ile gösterilmiştir.

35 derecelik iğneli ve iğnesiz durum için meme püskürtme deliği girişi basınç kaybı iğnesiz durumda %56 iken iğneli duruma göre %38’dir. Bunun nedeni bir önceki bölümde ayrıntılı olarak anlatıldığı gibi ayrılma bölgesi uzunluğunun ve genişliğinin daha büyük olmasıdır. Ayrılma bölgesi uzunluğu iğnesiz durumda iğneli duruma göre %37,3; ayrılma bölgesi genişliği de %21,7 daha büyüktür. Bu durum kısılma etkisinin 35 derecelik yükseklik açısına sahip iğnesiz akış durumu için daha baskın olduğunu gösterir. Kısılma etkisinin artışı ile basınç kaybı artmaktadır.



Şekil 4.11. Farklı yükseklik açısı durumlarında meme içi basınç dağılımının gösterimi

75 derecelik iğneli ve iğnesiz durum için meme püskürtme deliği girişi basınç kaybı iğneli durumda %89.2 iken iğnesiz duruma göre %72.4'tür. Bunun nedeni bir önceki bölümde ayrıntılı olarak anlatıldığı gibi ayrılma bölgesi uzunluğunun ve genişliğinin iğneli durum için daha büyük olmasıdır. Ayrılma bölgesi uzunluğu iğneli durumda iğnesiz duruma göre %49,5; ayrılma bölgesi genişliği de %50,4 daha büyüktür. Bu durum kısılma etkisinin 75 derecelik yükseklik açısına sahip iğneli akış durumu için daha baskın olduğunu gösterir.

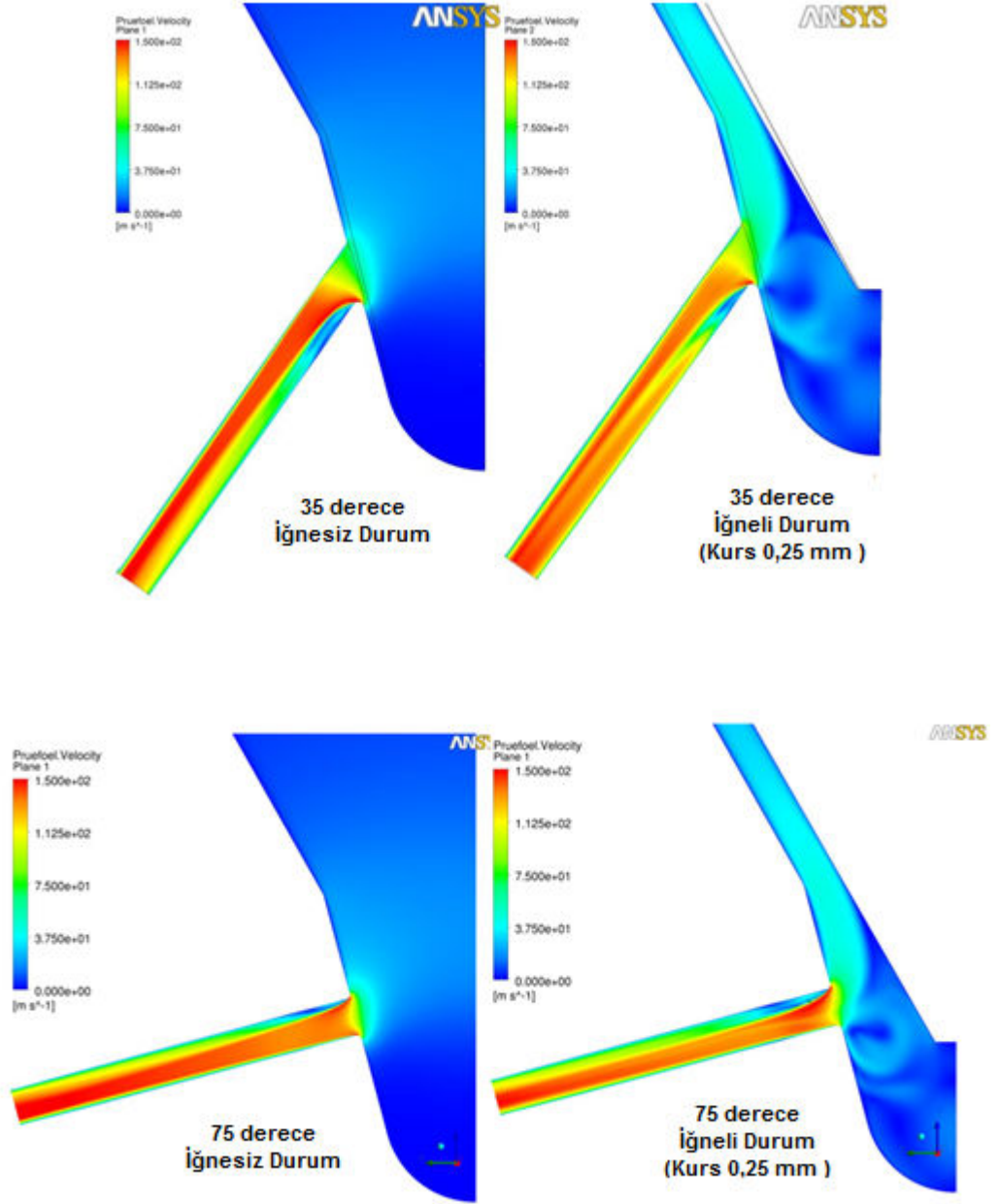


Şekil 4.12. Meme püskürtme deliği koordinatlarına göre statik basınç grafiği

Şekil 4.12'teki grafikte görülebileceği gibi 35 ve 75 derecelik yükseklik açlarına sahip akışlar aynı trendi takip etmektedir. Kısılma bölgesinde ani basınç düşümü gerçekleşikten sonra akışın yeniden birleşmesi ile basınç artışı her bir durum görülmektedir. Akışın kısılma bölgesinden sonraki 0,8 ve 0,9 mm koordinatları arasında kısımda 35 derecelik iğneli ve 75 derecelik iğnesiz durumlardaki basınçlar yaklaşık olarak 25,5 bar'dır. Bu bölgede en düşük basınç (19,5 bar) 35 derecelik yükseklik açısına sahip iğnesiz durumdaki akışta görülür. 75 derecelik yükseklik açısına sahip iğneli durum için bu bölgedeki yaklaşık basınç 22,93 bar'dır.

4.2.4.Hız

Şekil 4.13'te 35 ve 75 derecelik yükseklik açısına sahip memelere ait hız dağılımını verilmiştir.



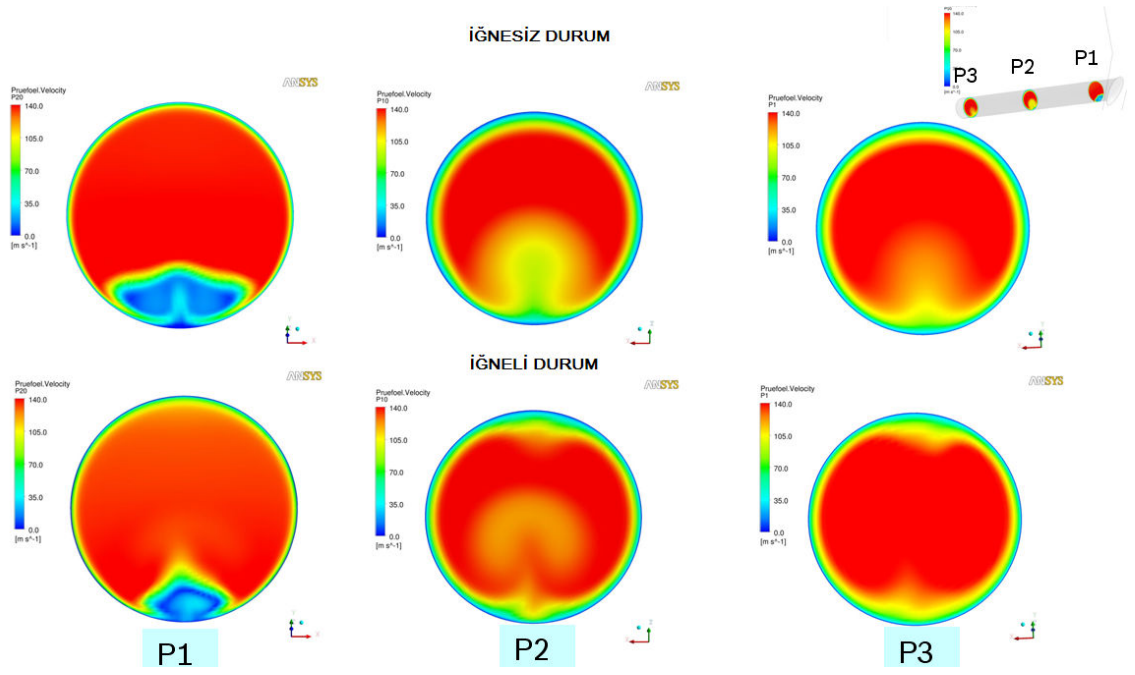
Şekil 4.13. Farklı yükseklik açısı durumlarında meme içi hız dağılımının gösterimi

35 derecelik iğneli ve iğnesiz durum için meme püskürtme deliği hız dağılımı karşılaştırılacak olursak, kısılma bölgesinden sonraki kısımdaki kesit boyunca ki hız

dağılımı iğneli durumda iğnesiz duruma göre daha homojendir. Bunun nedeni olarak daha önceki bölümde ayrıntılı olarak izah edildiği gibi ayrılma bölgesi uzunluğunun iğnesiz durumda iğneli duruma göre daha büyük olması gösterilebilir.

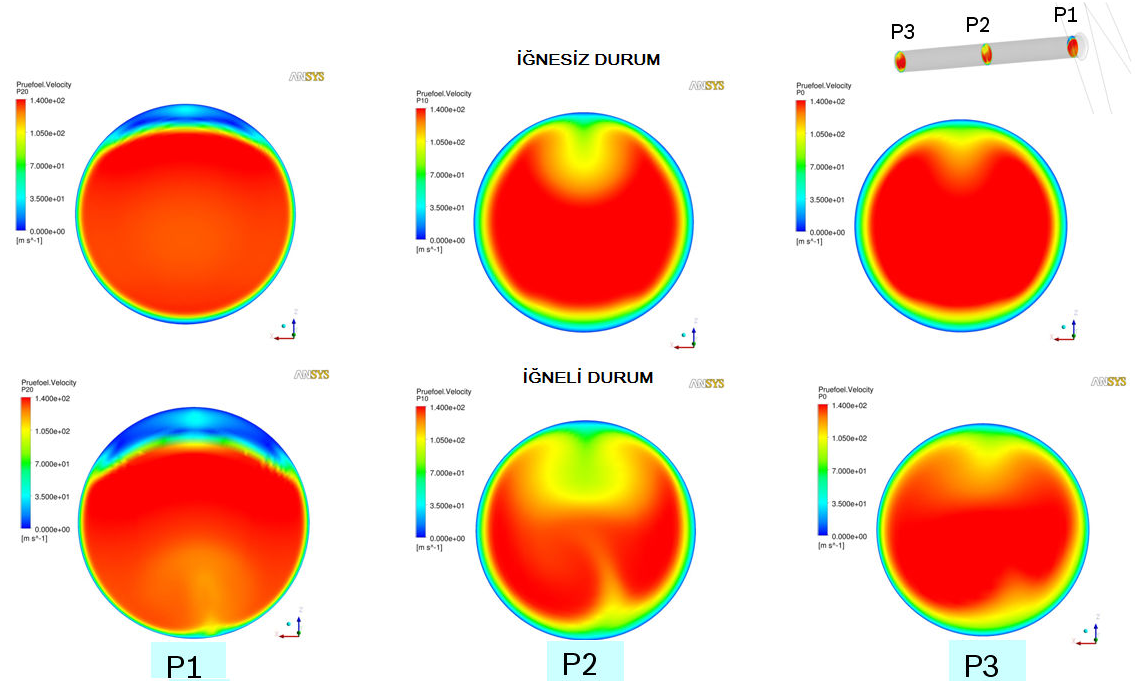
75 derecelik iğneli ve iğnesiz durum için meme püskürtme deliği hız dağılımı karşılaştıracak olursak, kısılma bölgesinden sonraki kısımdaki hız dağılımı iğnesiz durumda iğneli duruma göre daha homojendir. Bu durum 35 derecelik yükseklik açısına sahip akışa göre tersi bir durum arz eder. İğnesiz durumdaki hız değerlerinin daha yüksek olması ayrılma bölgesi uzunluğunun ve genişliğinin iğneli durumda iğnesiz duruma göre daha büyük olması gösterilebilir. Ayrılma bölgesinin büyüklüğü arttıkça bu bölgedeki girdap odaklı sürtünme kayıpları artmaktadır.

35 derecelik yükseklik açısına sahip meme kesitinden geçen akışın meme püskürtme deliği boyunca üç yerden akış kesiti verilmiştir.(Şekil 4.14). Üsteki sıralama iğnesiz durumu gösterirken; alttaki üç şekil iğneli durumu göstermektedir. Her sırada ilk kesit meme deliği girişinden; ikinci kesit meme deliği ortasından ve üçüncü kesit meme deliği sonundan alınmıştır. Meme deliği girişinde iğneli ve iğnesiz durum karşılaştırıldığında iki resimde de akış ayrılması deliğin alt kısmında olmakla beraber düşük hız bölgesi iğnesiz durumda iğneli duruma göre daha baskındır. Delik ortasındaki hız kesitleri karşılaştırıldığında iğneli kesit daha homojen bir hız dağılımı göstermektedir. Bu durum tam gelişmiş hız karakteristiklerinin iğneli durumda delik eksenini boyunca daha erken oluştuğunu gösterir. Meme deliği çıkışı kesiti için her iki durumda delik ortası kesite göre kesit boyunca daha homojen bir hız dağılımı görülür. İğneli durumdaki püskürtme deliği çıkışındaki ortalama hız, iğnesiz durumdaki hıza göre %3,61 daha büyüktür. Bu durumda iğneli durumdaki debi miktarı iğnesiz duruma göre %2 daha fazla olmaktadır.



Şekil 4.14. Meme püskürtme deliği boyunca hız kesitlerinin gösterimi (Yükseklik açısı: 35 derece)

75 derecelik yükseklik açlarına sahip meme kesitinden geçen akışın meme püskürtme deliği boyunca üç yerden akış kesiti verilmiştir. (Şekil 4.15). Üsteki sıralama iğnesiz durumu gösterirken; alttaki üç şekil iğneli durumu göstermektedir. Her sırada ilk kesit meme deliği girişinden; ikinci kesit meme deliği ortasından ve üçüncü kesit meme deliği sonundan alınmıştır. Meme deliği girişinde iğneli ve iğnesiz durum karşılaştırıldığında iki resimde de akış ayrılması deliğin üst kısmında olmakla beraber düşük hız bölgesi iğnesiz durumda yaklaşık olarak %40 daha küçüktür. Delik ortasındaki hız kesitleri karşılaştırıldığında iğnesiz kesit daha uniform bir hız dağılımı göstermektedir. Bu durum tam gelişmiş hız karakteristiklerinin iğnesiz durumda delik eksenı boyunca daha erken oluştuğunu gösterir. Meme püskürtme deliği çıkışı kesiti için her iki durumda delik ortası kesite göre kesit boyunca daha homojen bir hız dağılımı görülür. Çıkıştaki ortalama hız değeri iğnesiz durumda iğneli duruma göre %5,1 daha fazladır. Bu durumda iğnesiz durum için debi miktarı iğneli duruma göre %5,15 daha fazladır.



Şekil 4.15. Meme püskürtme deliği boyunca hız kesitlerinin gösterimi (Yükseklik açısı: 75 derece)

35 derecelik ve 75 derecelik yükseklik açılarına sahip akış hız kesitleri incelendiğinde; negatif kısılma etkisine sahip 35 derecelik akışta akış ayrılması deliğin alt kenarında oluşuyorken bu durum pozitif kısılma gösteren 75 derecelik durum için meme delik girişinin üst kenarıdır. 35 derecelik iğneli akıştaki püskürtmeli deliği çıkışındaki ortalama hız 75 derecelik iğneli akıştaki hız değerine göre %6,9 daha fazladır. Bu durum çıkış debi değerinin 35 derecelik iğneli akış için 75 derecelik iğneli akışa göre %3,99 daha fazla olmasına neden olur. Bu durum iğnesiz akış halinde tersi bir durum gösterir. 75 derecelik iğnesiz akıştaki püskürtmeli deliği çıkışındaki hız 35 derecelik iğneli akıştaki hız değerine göre %2,16 daha fazladır. Bu durum çıkış debi değerinin 75 derecelik iğnesiz akış için 35 derecelik iğnesiz akışa göre %3,21 daha fazla olmasına neden olur.

5.SONUÇ

Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde kullanılan enjektör memelerindeki yükseklik açısının meme içi akışa olan etkisi incelenmiştir. Bu incelemenin amacı negatif kısılma gösteren yükseklik açılarında akış ile pozitif kısılma gösteren yükseklik açılarındaki akışı karşılaştırmaktır. Negatif kısılma etkisi iğneli durumda enjektör memesinin daha fazla püskürtmesi anlamına gelmektedir. İğne küçük yükseklik açılarında iğnesiz duruma göre debiyi arttırıcı bir etki göstermektedir. Bu çalışmada amaç negatif kısılma gösteren 35 derecelik yükseklik açısına sahip iğneli (iğne kursu 0,25 mm) ve iğnesiz meme akışı ile pozitif kısılma gösteren 75 derecelik iğneli (iğne kursu 0,25 mm) ve iğnesiz meme akışının incelenmesi ve karşılaştırılmasıdır. Analiz için hem deneysel çalışma hem de CFD analizi yapılmıştır. Deneysel çalışma ile akış modeli doğrulanıp daha sonraki çalışmalar nümerik olarak gerçekleştirilmiştir.

35 dereceli yükseklik açısına sahip akışta, iğneli durumdaki debi miktarı iğnesiz duruma göre %2 daha fazladır. İğne kısılması 35 derecelik akış için -%2'dir Bu durum 75 derecelik yükseklik açısına sahip akış için tam tersi bir durum gösterir. İğne kısılması 75 derecelik akış için %5,1'dir. 75 derecelik akışta iğnesiz durumdaki akış miktarı iğneli durumdakinden %5,15 daha fazladır. Bu durumun nedeni meme püskürtme deliği çıkış hızları arasındaki farklılıktır. 35 derecelik yükseklik açısına sahip akışta iğneli durumdaki püskürtme deliği çıkışındaki ortalama hız, iğnesiz durumdaki hıza göre %3,61 daha büyüktür. Bu durum 75 derecelik yükseklik açısına sahip iğnesiz akıştaki püskürtme deliği çıkışındaki hız iğnesiz akıştaki hız değerine göre %2,16 daha fazladır.

Meme püskürtme deliği girişindeki ayrılma bölgesinin uzunluğu ve genişliği püskürtme deliği girişi basınç kaybını ve delik çıkış hızını etkileyen en önemli faktördür. 35 derecelik yükseklik açısına sahip akış durumu için iğnesiz akış durumundaki ayrılma bölgesi uzunluğu, iğneli duruma göre %37; ayrılma bölgesi genişliği de %21,7 daha fazladır. Bu bölgenin 35 derecelik yükseklik açısına sahip iğnesiz akış için büyük olması bu bölgedeki girdap odaklı sürtünmeye bağlı kayıpların artmasına neden olur. Bu yüzden 35 derecelik yükseklik açısına sahip akışta iğneli ve iğnesiz durum için meme püskürtme deliği girişi basınç kaybı iğnesiz durumda %56 iken iğneli duruma göre %38'dir. 75 derecelik yükseklik açısına sahip akış için iğneli durumdaki ayrılma

bölgesi uzunluğu iğnesiz duruma göre % 41 ; ayrılma bölgesi genişliği de %36,7 daha büyüktür. Bu durumun sonucu olarak 75 derecelik iğneli ve iğnesiz durum için meme püskürtme deliği girişi basınç kaybı iğneli durumda iğnesiz duruma göre daha fazladır.

KAYNAKLAR

Bae, C., Yu, J., Kang J., Kong J., Cruenca, R. L.2002. The Influence of Injector Parameters on Diesel Spray. *Thiesel 2002 Conference on Thermo- and Fluid-Dynamic Processes in Diesel Engines.*

Bae, C., Kang, J. 2000. Diesel Spray Development of VCO Nozzles for High Pressure Direct-Injection. SAE Technical Paper 2000-01-1254.

Bae, C., Yu, J., Kang, J., Kong, J., Lee K. 2002. Effect of Nozzle Geometry on the Common-Rail Diesel Spray. SAE 2002-01-1625.

Badock C., Wirth R. 1999. Investigation of cavitation in real size diesel injection nozzles. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 20,538-544.

Payri F., Bermudez V., Payri R. 2004. The influence of cavitation on the internal flow and the spray characteristics in diesel injection nozzles. *Fuel*, Volume 83, Issues 4-5, Pages 419-431

Salvadora F. J., Romerob J. V.2010. Validation of a code for modeling cavitation phenomena in Diesel injector nozzles. *Mathematical and Computer Modelling* Volume 52, Issues 7-8, Pages 1123-1132.

Ganippa A., Lionel B., Goran A. 2001. Comparison Of Cavitation Phenomena In Transparent Scaled-Up Single-Hole Diesel Nozzles. In: *CAV 2001: Fourth International Symposium on Cavitation.* California Institute of Technology, Pasadena, CA USA.

Gavaises M.,Yamanishi M.,Yamada S. And Nakahira T. 2000. Modeling the effect of an in-line Pump-Based Fuel Injection System Characteristics for Small Industrial DI Diesel Engines on Spray Development. SAE Technical Paper, 2000-05-0062.

He Z., Liu J.,Wang Q., Yuan J.. 2010.A Numerical Study into the Effect of Cavitation Number on the Flow Characteristics in Diesel Nozzle Holes, Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), Asia-Pacific.

Farrar J. R., Andrews G. E., Williams P. T. 1992. Influence of nozzle sac volume on diesel spray droplet sizes. Sage Publications, 0957-6509.

Desantes J.M., R. Payri, Salvador F. J., Morena D. L. 2010. Influence of cavitation phenomenon on primary break-up and spray behavior at stationary conditions. *Fuel* Volume 89, Issue 10 , Pages 3033-3041.

Kanairo K. 1985. Study of High Speed Diesel Engine Combustion Using High Speed Photography - Attempt to Obtain All Aspects of Combustion and Its Improvement, COMODIA.

Kilic A., Schultze L., Tschoke H. 2006. Influence of Nozzle Parameters on Single Jet Flow Quantities of Multi-Hole Diesel Injection Nozzles. SAE 2006-01-1983.

Mitroglou N, Nouri J. M., Gavaises M., Arcoumanis C. 2006 Spray Characteristics of a Multi-hole Injector for Direct-Injection Gasoline Engines. International Journal of Engine Research, Volume 7, Number 3, 255-270.

Payri R., Salvador F.J., Gimeno J. 2009. Effects of nozzle geometry on direct injection diesel engine combustion process. Applied Thermal Engineering 29 (2009) 2051–2060.

Payri R., Salvador F.J., Gimeno J. 2004. Using spray momentum flux measurements to understand the influence of diesel nozzle geometry on spray characteristics. Fuel, Volume 84, Issue 5, 551-561.

Robert Bosch GmbH. 2005. BOSCH Diesel Fuel Injection System Common-Rail. Germany

Schmidt D. P. 1997. Cavitation in Diesel Fuel Injector Nozzles. PhD thesis, The University of Wisconsin-Madison.

Schmidt D. P., Goney K. H., Farrell P. V. 1996. Detection of Cavitation in Fuel Injector Nozzles. Transport Phenomena in Combustion. Ed. S. H. Chan, Taylor and Francis.

Sibendu S., Anita I. R., Douglas E. L., Suresh K. A. 2011. Effect of nozzle orifice geometry on spray, combustion, and emission characteristics under diesel engine conditions. Fuel Volume 90, Issue 3, Pages 1267-1276.

Oda T., Hiratsuka M., Goda Y., Kanaike S., Ohsawa K. 2010. Experimental and Numerical Investigation about internal Cavitating Flow and Primary Atomization of a Large-Scaled VCO Diesel Injector with Eccentric Needle. 23rd Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Brno, Czech Republic.

Bermudez V., Payri R., Salvador F. J., Plazas A H. 2005. Study of the influence of nozzle seat type on injection rate and spray behaviour. Sage Publications, 0954-4070.

Wei M, Liu Y., Wen H., Zhang Y. 2004. Injector nozzle flow model and its effects on the calculations of high pressure sprays. Wuhan University Journal of Natural Sciences ,Volume 9, Number 4, 483-488.

Seykens X.L.J., Somers L.M.T., Baert R.S.G. 2005. Detailed Modeling of Common Rail Fuel Injection Process. MECCA, 3, 30-39.

Xandra M. , Antonio G., Pablo F., Stavroula P. 2010. Analysis Of The Cavitating Flow In Real Size Diesel Injectors With Fixed And Moving Needle Lift Simulations. V European Conference on Computational Fluid Dynamics.ECCOMAS CFD 2010

Xandra M., Sergio H. , Pablo F., Stavroula P. 2010. A moving mesh generation strategy for solving an injector internal flow problem. *Mathematical and Computer Modelling*. Volume 52, Issues 7-8, 1143-1150.

Zhang J. D., Qing Y. 2010. Influence of diesel nozzle geometry on cavitation using eulerian multi-fluid method. *Transactions of Tianjin University* 16,33-39

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tuna AYDIN
Doğum Yeri ve Tarihi : Almanya / 1983
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Kadir Has Anadolu Lisesi
Lisans :U.Ü. Makine Tekstil/ Makina Müh.
(Çift Ana dal) / 2008

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl : TADEM / 1 yıl, TDM / 1yıl , BOSCH/ 1.5 yıl

İletişim (e-posta) : tunaaydinn@gmail.com