

**PIEZO TEKNOLOJİLİ BENZİN ENJEKTÖRLERİNDE
PÜSKÜRTME KARAKTERİSTİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

GÖKHAN ŞENTÜRK



T. C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PIEZO TEKNOLOJİLİ BENZİN ENJEKTÖRLERİNDE PÜSKÜRTME
KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Gökhan ŞENTÜRK

Prof. Dr. M. İhsan KARAMANGİL
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

BURSA - 2015

TEZ ONAYI

Gökhan ŞENTÜRK tarafından hazırlanan “Piezo Teknolojili Benzin Enjektörlerinde Püskürtme Karakteristiklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. M. İhsan KARAMANGİL,

Başkan : Prof. Dr. Ali SÜRMEŒ, İmza
Bursa Teknik Üniversitesi. Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. M. İhsan KARAMANGİL, İmza
Uludağ Üniversitesi. Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Otomotiv Mühendisliği Bölümü,
Taşıt Tahrik ve Güç Sistemleri Anabilim Dalı

Üye : Yrd. Doç. Dr. Erol SOLMAZ, İmza
Uludağ Üniversitesi. Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Otomotiv Mühendisliği Bölümü,
Taşıt Dinamiği ve Kontrol Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

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

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

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

26/05/2015

Gökhan ŞENTÜRK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PIEZO TEKNOLOJİLİ BENZİN ENJEKTÖRLERİNDE PÜSKÜRTME KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

GÖKHAN ŞENTÜRK

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. M. İhsan KARAMANGİL

Yeni nesil motor tipleri, enjektör teknolojisindeki gelişmeler ve EURO 6 gibi geleceğe dönük emisyon normları yakıt püskürtme hassasiyetinin önemini arttırmıştır. Benzinli araçlarda, motor tipine bağlı olarak, yakıtı direkt silindir içine püskürtme ve yakıt bulutuna yön verme her geçen gün daha da önemli olmaktadır. Bu çalışmanın amacı, yakıtın yanma karakteristiğine ve aracın davranışına doğrudan etki eden yakıt enjektörünün iğne ve gövde parçalarındaki boyutsal değişkenlerin yakıt püskürtme karakteristiğine etkisinin incelenmesidir. Bunun için, üretim tolerans sınırlarında kalmak kaydıyla 25 adet piezo tetiklemeli enjektör üretilmiş ve püskürtme karakteristiğini etkileyen 12 adet ölçü belirlenerek bu ölçülerdeki değişimin pürkürtülen yakıt formu, debi ve püskürtme açısı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışma, ayrıca, enjektör geliştirme çalışmalarına yardımcı olacak niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Direkt püskürtme, Benzin enjektörü, A-Tipi Valf, Enjektör İğnesi, Enjektör gövdesi, Yakıt demeti, Piezo

2015, x + 92 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE SPRAY CHARACTERISTIC OF THE PIEZO GASOLINE INJECTORS

GÖKHAN ŞENTÜRK

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Prof. Dr. M. İhsan KARAMANGİL

Importance of fuel usage sensitivity has been increasing due to new generation engine types, improvements on the injection technology and future based emission rules as EURO 6. In order to reach demanded levels of vehicle performances and fuel consumptions; injected fuel quantity, injection type and burn characteristics are stepped forward. Direct injection and fuel spray directing are within the topics which are developed everyday. The purpose of this study is to investigate the effects of fuel injector needle and body dimensional changes on the spray injection characteristics. In order to do this, 25 pcs. Piezo injector have been produced and 12 different measurement points which have effect on spray characteristics have been defined. Spray fuel profile, flow rate and spray angle have been investigated corresponding the change of measurement points values. Also this thesis can be considered as a qualified source for injector R&D studies.

Keywords: Direct injection, Gasoline injector, A-Type Valve, Injector needle, Injector body, Fuel spray, Piezo

2015, x + 92 pages.

TEŐEKKÖR

Tezimin bu aŐamaya ulaŐmasını sağlayan ve tezimin her aŐamasında desteğini ve gÖrüşlerini benden esirgemeyen saygıdeğer danıŐmanım Prof. Dr. M. İhsan KARAMANGİL'e ve projenin teknik verilerinin elde edilmesine yardımcı olan Bosch Sanayi ve Ticaret A. Ő'ye çok teŐekkÖr ederim.

GÖkhan ŐENTÖRK
26/05/2015

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Kuramsal Tanımlamalar.....	10
2.2. Enjektör Tiplerinin Karşılaştırılması.....	14
2.2.1. Çok delikli solenoid enjektör (HDEV5).....	17
2.2.2. Dışa açılan iğneli piezo enjektör (HDEV4. 1).....	20
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	22
3.1. Piezo Tetiklemeli Yakıt Enjektörlerinin Davranışı.....	23
3.2. Enjektör İğne ve Gövdesinin Karakteristik Özellikleri.....	24
3.2.1. Malzeme özellikleri.....	24
3.2.2. Karakteristiklerin püskürtme açısı üzerine etkilerinin incelenmesi.....	25
3.2.3. A-Valf tipinin tasarım şartları.....	34
4. YAKIT DEMETİ KARAKTERİSTİKLERİN BİRBİRLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİ.....	37
4.1. Oturma Yüzeyi Hattı ve Yarıçapı ile Yakıt demeti Açısı Arasındaki İlişki.....	37
4.2. Sistem Basıncı ve Püskürtme Açıları Arasındaki İlişki.....	38
4.3. Ortam basıncı ve Püskürtme Açıları Arasındaki İlişki.....	41
4.4. Sistem Basınçları, İğne Açılma Mesafesi ve Statik Debi Arasındaki İlişki.....	42
4.5. İğne Açılma Hareketi ve Nüfuz Miktarı Arasındaki İlişki.....	44
5. İĞNE ve GÖVDE ÖLÇÜLERİNİN YAKIT DEMETİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ.....	46
5.1. Girdiler ve Birincil Çıktılar Arasındaki İlişkiler.....	48
5.1.1. Dış arka açı yüzey pürüzlülüğü.....	48
5.1.2. Dış ön açı yüzey pürüzlülüğü.....	50
5.1.3. Oturma yüzeyi alt bölgesi çap ölçüsü.....	52
5.1.4. Dış açı yuvarlaklık.....	54
5.1.5. I' in III'e göre salgısı.....	58
5.1.6. II in IV e göre salgısı.....	61

5.1.7. Dış açı	62
5.1.8. İç açı	64
5.1.9. Dış yarıçap	66
5.1.10. İç yarıçap	68
5.1.11. İğne tam boy	70
5.1.12. Geri tahliye ölçüsü	72
5.2. Birincil Çıktılar ve İkincil Çıktılar Arasındaki İlişkiler	75
5.2.1 Yakıt demeti açısı	75
5.2.2 Statik debi	81
6. TARTIŞMA ve SONUÇ	85
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	92

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2. 1. Yakıt demeti hareketi sonucu oluşan girdap bölgeleri (Dong ve ark. 2013)....	3
Şekil 2. 2. Yakıt demeti taneciklerini görüntüleme düzeneği (Rottenkolber ve ark. 2002)4	
Şekil 2. 3. Değişken ortam basınçlarındaki yakıt demeti hareketi (Rottenkolber ve ark. 2002)	4
Şekil 2. 4. Değişken ortam basınçlarına göre yakıt demeti hareketi (Pielecha 2013).....	5
Şekil 2. 5. Yakıt kaynaklı kalıntıların etkisi (Xu ve ark. 2014).....	7
Şekil 2. 6. Kalıntının yakıt demeti davranışına etkisi (Xu ve ark. 2014).....	8
Şekil 2. 7. Piezo tetiklemeli, dışa açılan iğneli enjektör yakıt demeti görüntüsü (Sol) , ..	8
Şekil 2. 8. Farklı krank açılarında Dizel ve Benzin enjektörü yakıt demeti görüntüsü (a) ve nüfuz miktarı (b) (Kim ve ark. 2013)	9
Şekil 2. 9. Homojen karışımda λ 'nın Güç (P) ve Spesifik yakıt tüketimi (b_e) üzerindeki etkisi (Reif , Gasoline Engine Management 2015)	11
Şekil 2. 10. Homojen karışımda λ nın zararlı emisyonlar üzerindeki etkisi (Reif , Gasoline Engine Management 2015)	12
Şekil 2. 11. Yakıt dolgu tipleri (Reif 2015)	12
Şekil 2. 12. Püskürtmenin yapıldığı grubun (meme grubu) tipine göre karşılaştırma (Bosch açık kaynak dokümanları 2008).....	15
Şekil 2. 13. HDEV5 Enjektörü (sol) ve HDEV4. 1 Enjektörü (sağ) (Heinstein ve ark. 2013)	15
Şekil 2. 14. Silindir içinde homojen dolgu oluşumu sağlayan direkt püskürtme şekli (Reif 2015)	17
Şekil 2. 15. HDEV5 enjektörü (Basshuysen 2013).....	18
Şekil 2. 16. Kademeli dolgu sağlayan direkt püskürtme tipi (Reif 2015).....	19
Şekil 2. 17. Delik tipleri ve yakıt demeti görüntüsü	19
Şekil 2. 18. Yanma odasına, silindir duvarına ve piston yüzeyine temas eden yakıt demeti formu (istenmeyen durum) (http://www.bosch-presse.de , 2015).....	19
Şekil 2. 19. Yanma odasına, silindir duvarına ve piston yüzeyine temas etmeyen yakıt demeti formu (istenen durum) (http://www.bosch-presse.de , 2015).....	20
Şekil 2. 20. HDEV4. 1 Enjektör alt bileşenleri (Basshuysen 2013)	20
Şekil 2. 21. HDEV5 ve HDEV4. 1 enjektörlerinin zamana bağlı püskürtme değerlerinin karşılaştırılması (Heinstein ve ark. 2013)	21
Şekil 3. 1. HDEV4. 1 enjektörü boyutsal özellikleri (Robert Bosch GmbH yayınları 2013)	22
Şekil 3. 2. Enjektörün motor bloğu içinde konumlandırılması ve kademeli dolgu sağlanması (www.fltechnical.net ,2015)	23
Şekil 3. 3. Enjektör içi yakıt yolu (Bosch açık kaynak dokümanları 2008).....	24
Şekil 3. 4. Valf iğnesi ve Valf gövdesi.....	25
Şekil 3. 5. İğne üzerindeki karakteristiklerin gruplandırılması.....	25
Şekil 3. 6. Gövde + iğne üzerindeki karakteristiklerin gruplandırılması	26
Şekil 3. 7. İğne baş bölgesindeki karakteristiklerin incelenmesi	26
Şekil 3. 8. İğnenin tamamındaki karakteristiklerin incelenmesi	26

Şekil 3. 9. Gövde & iğne üzerindeki karakteristiğın incelenmesi.....	28
Şekil 3. 10. Yakıt demeti bulutunun alanlara ayrılması.....	29
Şekil 3. 11. Yakıt demeti açısının tanımlanması	30
Şekil 3. 12. Yakıt demeti açısının tanımlanması	30
Şekil 3. 13. Ölçüsel parametreler	31
Şekil 3. 14. Form parametreleri	31
Şekil 3. 15. Muhtemel yakıt demeti etkilerinin incelenmesi.....	32
Şekil 3. 16. İğne oturma yüzeyi ve gövde oturma yüzeyi arasındaki ilişki	34
Şekil 4. 1. Valf iğnesi oturma yüzeyi hattı değişimi	37
Şekil 4. 2. Oturma yüzeyi yarıçap değişiminin yakıt demeti açısına etkisi	37
Şekil 4. 3. Farklı sistem basınçlarına bağlı olarak yakıt demeti açılarının değişimi ...	38
Şekil 4. 4. Farklı sistem basınçlarında yakıt taneciklerinin izlediği doğrultu	39
Şekil 4. 5. Farklı ortam basınçlarına göre yakıt demeti açısının değişimi (Ghurri ve ark. 2012)	40
Şekil 4. 6. Farklı ortam basınçlarına bağlı olarak yakıt demeti açısının değişimi	41
Şekil 4. 7. Karşı basınca bağlı olarak yakıt demeti açısının görüntüsü.....	42
Şekil 4. 8. Farklı sistem basınçları ve iğne açılma mesafelerine bağlı olarak statik debinin değişimi	44
Şekil 4. 9. Farklı iğne açıklığına ve püskürtme zamanına bağlı nüfuz miktarı.....	45
Şekil 5. 1 İğne keskin köşesinde yakıt taneciklerinin hareketi	48
Şekil 5. 2. Dış arka açı yüzey pürüzlülüğünün yakıt demeti açısına etkisi	49
Şekil 5. 3. Dış arka açı yüzey pürüzlülüğünün debiye etkisi	49
Şekil 5. 4. İğne keski köşesinde yakıt taneciklerinin hareketi	50
Şekil 5. 5. Dış ön açı yüzey pürüzlülüğünün yakıt demeti açısına etkisi.....	51
Şekil 5. 6. Dış ön açı yüzey pürüzlülüğünün debiye etkisi	51
Şekil 5. 7. Oturma yüzeyi alt bölgesi çap ölçüsünün yakıt demeti açısına etkisi	52
Şekil 5. 8. Oturma yüzeyi alt bölgesi çap ölçüsünün yakıt demeti açısına etkisi	53
Şekil 5. 9. Oturma yüzeyi alt bölgesi çap ölçüsünün debiye etkisi.....	54
Şekil 5. 10. İdeal yuvarlaklık	55
Şekil 5. 11. İdeal durumdan sapma	55
Şekil 5. 12. İğne dış açı yuvarlaklık ideal durum & Yakıt demeti tanecik hareketi.....	56
Şekil 5. 13. İğne dış açı yuvarlaklık idealden sapma durumu & Yakıt demeti tanecik hareketi.....	56
Şekil 5. 14. İğne dış açı yuvarlaklık ölçüsünün yakıt demeti açısına etkisi.....	57
Şekil 5. 15. İğne dış açı yuvarlaklık ölçüsünün debiye etkisi	57
Şekil 5. 16. Salgının silindirik parçalar üzerindeki muhtemel etkileri.....	58
Şekil 5. 17. Salgıya bağlı olarak yakıt demeti açısının muhtemel değişimi	59
Şekil 5. 18. İğne üzerindeki I in III ye göre salgısının yakıt demeti açısına etkisi	59
Şekil 5. 19. İğne üzerindeki I in III ye göre salgısının debiye etkisi.....	60
Şekil 5. 20. İğne üzerindeki II in IV e göre salgısının yakıt demeti açısına etkisi.....	61
Şekil 5. 21. İğne üzerindeki II in IV e göre salgısının debiye etkisi	62
Şekil 5. 22. Dış açının yakıt taneciklerinin yönlendirilmesi üzerindeki etkisi.....	63
Şekil 5. 23. Dış açının yakıt demeti açısına etkisi.....	63
Şekil 5. 24. Dış açının debiye etkisi	64
Şekil 5. 25. İç açının yakıt taneciklerinin doğrultusuna etkisi	65

Şekil 5. 26. İç açının yakıt demeti açısına etkisi	65
Şekil 5. 27. İç açının debiye etkisi	66
Şekil 5. 28. Yarıçapın sevk edilen yakıt miktarına etkisi	67
Şekil 5. 29. Dış yarıçapın yakıt demeti açısına etkisi	67
Şekil 5. 30. Dış Yarıçapın debiye etkisi	68
Şekil 5. 31. İç yarıçapın iğne oturma yüzeyine etkisi	69
Şekil 5. 32. İç yarıçapın yakıt demeti açısına etkisi	69
Şekil 5. 33. İç yarıçapın debiye etkisi	70
Şekil 5. 34. Farklı iğne açıklıklarında yakıt taneciklerinin davranışı	71
Şekil 5. 35. İğne tam boyunun yakıt demeti açısına etkisi	71
Şekil 5. 36. İğne tam boyunun debiye etkisi	72
Şekil 5. 37. Geri tahliye ölçüsünün etkileri	73
Şekil 5. 38. Geri tahliye ölçüsünün yakıt demeti açısına etkisi	74
Şekil 5. 39. Geri tahliye ölçüsünün yakıt demeti açısına etkisi	75
Şekil 5. 40. Yakıt demeti açısının nüfuz derinliği etkisi	76
Şekil 5. 41. Yakıt demeti açısının bulut homojenizasyonuna etkisi	79
Şekil 5. 42. Statik debinin nüfuz derinliğine (Nüfuz) etkisi	82
Şekil 5. 43. Statik debinin bulut homojenizasyonuna etkisi	83
Şekil 5. 44. Statik debinin yakıt demeti açısına etkisi	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1. 1. Direkt püskürtmeli benzin enjektörlerinden beklenenler	16
Çizelge 2. 1. HDEV5 ve HDEV4. 1 enjektörlerinin karşılaştırılması	21
Çizelge 3. 1. İğne karakteristiklerin tanımı	27
Çizelge 3. 2. Gövde & iğne karakteristiğinin tanımı	28
Çizelge 3. 3. Çalışma kapsamındaki HDEV4.1 enjektörün teknik özellikleri.....	33
Çizelge 3. 4. A-Tipi Valf Gereksinimleri	35
Çizelge 5. 1. Değerlendirme süreci	46
Çizelge 5. 2. Grafiklerin yorumlanmasında dikkate alınması gereken hususlar.....	47
Çizelge 5. 3. Yakıt demeti bulut nüfuz görüntüsünün değerlendirilmesi	77
Çizelge 5. 4. Yakıt demeti bulut alanının değerlendirilmesi	80
Çizelge 6. 1. Girdiler ve birincil çıktılar arasındaki ilişki.....	85
Çizelge 6. 2. Birincil çıktılar ve ikincil çıktılar arasındaki ilişki	87
Çizelge 6. 3. Birincil çıktıların kendi arasındaki ilişki	87

1. GİRİŞ

Otomotiv teknolojisindeki hızlı ilerlemeler özellikle son 20 yılda motor teknolojileri üzerinde kendisini gösteren yoğun çalışmalar ile momentum kazanmıştır. Motor teknolojilerinden beklentiler başta güç ve tork seviyelerinde artış olarak kendisini göstermekle birlikte emisyon olguları ile enerji verimliliği kavramları da tasarım çalışmalarının önde gelen unsurları arasında kendisine yer bulmuştur. Her ne kadar içten yanmalı bir motoru tanımlayan ana parametreler bu çerçevede kendisini gösterse de, motor bileşenlerini oluşturan unsurların tekil tasarım altyapıları da hedef teknolojik düzey üzerinde belirleyici olmaktadır. Bu sebeple benzinli motorların enjektör tasarımları da ortaya konan performans hedefleri ile örtüşür düzeyde ilerleme kaydetme durumundadır. Emisyon ve verimlilik olgularının genel yaklaşım itibari ile yakıtın yanma karakteristikleri ile doğrudan bağıntılı olması yakıtın enjektöre beslenme ve enjektör çıkışındaki püskürtme oryantasyonuna yönelik tasarım çalışmalarını ön plana çıkarmıştır. Öyle ki, teknolojinin bu gelişen kulvarında yakıtın enjektöre sevk edilme basıncının arttırılması genel bir yaklaşım olarak kendisini göstermektedir. Artan basınç değerleri ise gerek yakıtın enjektör gövdesi içindeki hareketi, gerek enjektör ucundan püskürtme karakteristikleri üzerinde önemli etkiler yapmakta hem de enjektörün montaj yapısı üzerindeki mekanik zorlanmaları arttırmakta ve sızdırma etkilerini yükseltmektedir.

Dizel motorların aksine benzinli motorlar daha düşük basınçlar altında çalışmaktadır. Bu durum benzinin yapısal özelliğinden kaynaklansa da silindir içinde gerekli olan yanmayı sağlayabilecek şekilde yakıt dağılımı da zorunlu kılmaktadır. İyi şekilde yönlendirilmiş, uygun homojenlikte ve yoğunlukta hava/yakıt karışımı gürültüsüz, verimli ve düşük zararlı emisyon değerleriyle çalışırken; aksi durum gürültü kirliliğine, pahalı bir sürüşe ve çevrenin zarar görmesine neden olmaktadır.

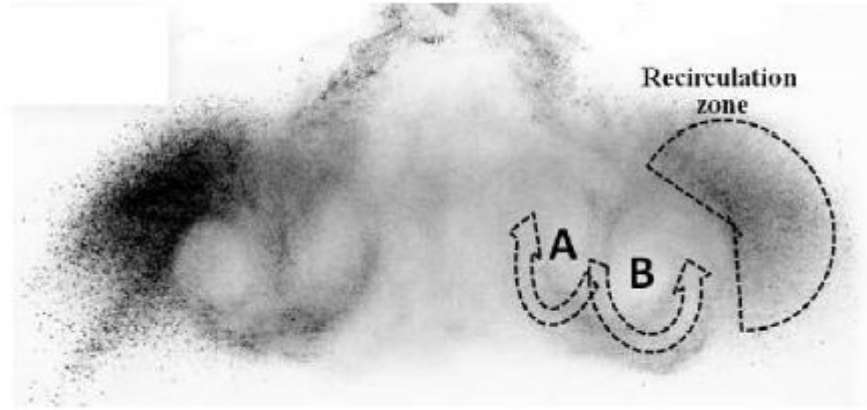
Bilindiği üzere yakıt bulutunun oluşturulması, yönlendirilmesi ve verimli şekilde yakılması; silindir/piston, yakıt enjektörü ve bujinin doğru tasarımlara sahip olması ile, birbirleriyle koordineli çalışma sonucunda meydana gelmektedir.

Tez çalışmasında yukarıda bahsedilen karakteristiklere etki eden en önemli parçalardan olan enjektörün iğne ve gövde parçaları incelenmiş, bu parçaların boyutsal özellikleri ile

seçilen enjektörün yakıt püskürtme karakteristikleri arasında ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Tez çalışması, kaynak araştırması ile başlayarak daha önceki araştırmacıların çalışmaları incelenmiş ve deneme üretimi sonuçlarının yorumlanması ile sonlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yakıt demeti (Sprey) formlarıyla ilgili çalışmalar özellikle emisyon değerleri, yakıt sarfiyatı ve performans gibi tüketiciyi doğrudan ilgilendiren konular ön plana çıktığında artmaya başlamıştır. Dong ve ark. (2013) piezo tetiklemeli ve aynı zamanda direkt püskürtmeli benzin enjektörü ile ilgili yakıt demeti açısı, püskürtme basıncı, ortam basıncı ve iğne kalkma miktarının; yakıt demeti atomizasyonu, tanecik boyutu ve tanecik hızı üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmada 94° ve 98° yakıt demeti açıları dikkate alınmış, püskürtme basıncı 5 MPa, 10 MPa ve 20 MPa olacak şekilde varyasyonlar üretmişlerdir. Şekil 2.1'de iki girdap bölgesinin gösterimi yapılmıştır.



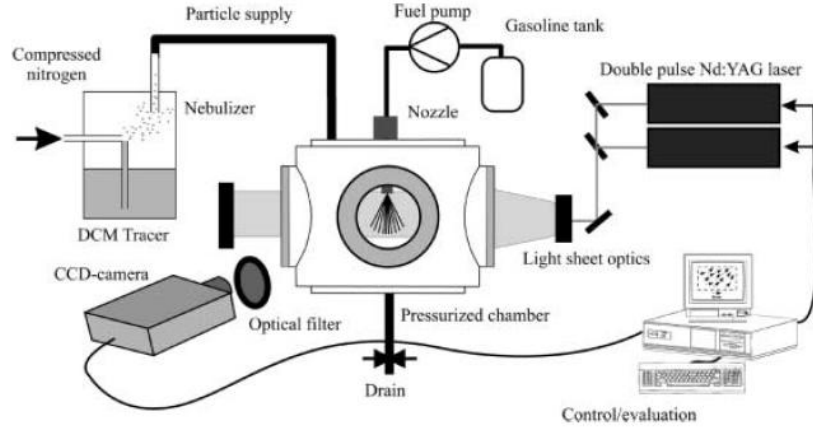
Şekil 2. 1. Yakıt demeti hareketi sonucu oluşan girdap bölgeleri (Dong ve ark. 2013)

Çalışmalar sonucunda 94° yakıt demeti açısında oluşan A girdabındaki yakıt taneciklerinin enjektör memesine doğru olan hızı 98° kindekine göre daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca B girdap bölgesi silindirin cidarına daha yakın noktada oluşmaktadır ve B girdap bölgesindeki yakıt tanecik hızı yakıt demeti hızına göre çok daha düşüktür. Ortam basıncının artırılması yakıt demeti tanecik hızının yavaşlamasına neden olmakla birlikte toplam girdap alanlarında bir değişiklik olmamıştır. Ayrıca yüksek ortam basıncı A girdap bölgesinden enjektör memesine giden yakıt taneciklerini etkilememektedir.

Benzer şekilde ancak yakıt demeti tanecikleri üzerine daha derin bir araştırma ise Rottenkolber ve ark. (2002) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada Swirl tip püskürtme yapan enjektör yakıt demeti taneciklerinin vektörel haritası yüksek hızlı görüntüleme teknolojisi kullanılarak çıkarılmaya çalışılmıştır. Yakıt demeti taneciklerinin hareketinin daha kolay görüntülenebilmesi için düşük enjektör püskürtme basınçları kullanılmıştır.

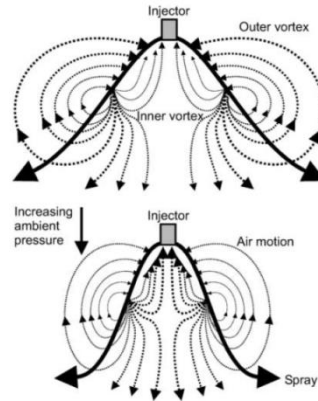
(0,1 MPa – 1, 1 MPa). Aynı zamanda enjektör yakıt demeti açısı 30° ve 90° arasında değiştirilmiştir. Ortam basınçları ise 0 MPa – 1 MPa arasında değiştirilmiştir.

Şekil 2.2’de yakıt demeti taneciklerini görüntülemek üzere kurulan düzenek görülmektedir.



Şekil 2. 2.Yakıt demeti taneciklerini görüntüleme düzeneği (Rottenkolber ve ark. 2002)

Yapılan deneyler sonucu yakıt demetinde oluşan girdaplar ve yakıt demeti hareketi Şekil 2.3’de görülmektedir.

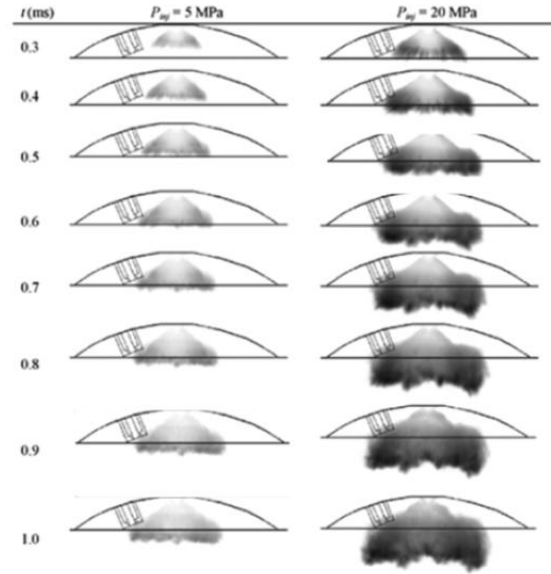


Şekil 2. 3. Değişken ortam basınçlarındaki yakıt demeti hareketi (Rottenkolber ve ark. 2002)

Şekil 2.3’de görüleceği üzere ortam basıncı arttıkça yakıt tanecikleri genişleyememekte ve silindir içi nüfuz (penetrasyon) artmaktadır. Bu durum enjektörün yakıt püskürtme tipine bağlıdır. A-tipi memede ve birden fazla püskürtme deliği bulunan meme tipinde yakıt demeti davranışının farklı olması beklenebilir.

Nouri ve ark. (2001) püskürtme süresine bağlı olarak direkt püskürtmeli benzin enjektöründeki yakıt demeti karakteristiklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada yakıt demeti basıncı sabit tutulmuş (5 MPa) ancak püskürtme süresi 0,2 ms ve 3,2 ms arasında kademeli olarak değiştirilmiştir. Beklenildiği gibi hacimsel püskürtme miktarı, enjeksiyon süresi ile lineer bağlantılı olarak değişmektedir. Yakıt demeti tanecik hızları 0,2 ms, 0,5 ms ve 3,2 ms enjeksiyon sürelerinde benzer trendi göstermişlerdir. Ayrıca yakıt demeti tanecik boyutları püskürtme köşesi civarında maksimuma ulaşmış ve tek düze hale gelebilmek için püskürtme sonuna doğru küçülmüşlerdir. Püskürtme köşesi civarında 40 μm – 50 μm olan Sauter Mean tanecik boyutları püskürtme sonuna doğru 20 μm – 50 μm seviyelerine düşmüştür. Püskürtme süresinin tanecik boyutları üzerinde küçük bir etkisi vardır.

Pielecha (2013) ise yakıt demeti nüfuzuna odaklanmış ve farklı püskürtme basınçları ve farklı ortam sıcaklıkları altında yakıt demeti modellenmesi üzerine çalışmıştır. Şekil 2.4'de farklı basınçlar ve püskürtme süreleri altında yakıt bulutunun davranışı ve bujiye göre nüfuzu görülmektedir.



Şekil 2. 4. Değişken ortam basınçlarına göre yakıt demeti hareketi (Pielecha 2013)

Deneysel sonuçlardan yola çıkarak püskürtme basıncı, ortam basıncı ve sıcaklık ile yakıt atomizasyonu arasındaki ilişkiyi gösteren bir eşitlik elde edilmeye çalışılmıştır.

Yakıt püskürtme basıncının, yakıt atomizasyonunu önemli ölçüde; yakıt nüfuzunu ise kısmen etkilediği görülmüştür. 5 MPa – 20 MPa aralığındaki yakıt basıncındaki 1 MPa artış ise 0 ms, 0,5 ms ve 3 ms zaman aralıklarındaki yakıt nüfuzunda %5 lik artışa neden olmaktadır. Ayrıca ortam basıncındaki (karşı basınç) 0,1 MPa artış, yakıt nüfuzunun %4 seviyelerinde, yakıt bulut alanının ise %7 seviyelerinde azalmasına neden olmaktadır.

Rotondi ve ark. (2005) yakıt demeti davranışını matematiksel olarak modellemişler ve yanma odası ile etkileşimi üzerinde çalışmışlardır. Sonuç olarak matematiksel model ve gerçek değerler ile ilgili bir karşılaştırma yapmışlardır. İki ayrı testin sonucuna göre; nümerik modellerin hem homojen hem de kademeli dolgulu motorlarda kullanılabilmesi görülmüştür. Kademeli dolgulu motor tiplerinde ise deneyde elde edilemeyen ancak nümerik modellemeyle bulunabilen bir değer olan kademeli dolgunun açısının elde edilmesi üzerine çalışılmıştır.

Drautz ve ark. (2014) yakıt demeti davranışının emisyon değerleri ve partikül üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Ateşleme süresinin geciktirilerek ve tüm püskürtmenin 2 seferde yapılması sağlanarak HC emisyonlarında azalma olabileceği görülmüştür.

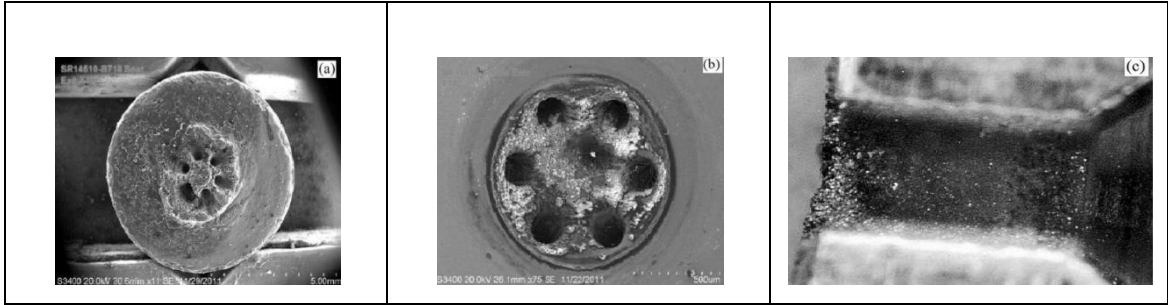
Schmidt ve ark. (2011) düşük püskürtme basınçlarında çalışan (3 MPa) enjektörler ve standart yüksek basınçlar altında çalışan (10 MPa) direkt püskürtmeli benzinli enjektörler ile giriş portuna püskürtme yapan düşük basınçlı yakıt enjektörlerini (PFI) yakıt tasarrufu, emisyon değerleri ve motorun stabil çalışması yönünden karşılaştırmıştır. Direkt püskürtmeli yakıt enjektörlerinde püskürtme basıncı arttıkça daha küçük yakıt tanecikleri olduğundan emisyon değerleri ve yakıt sarfiyatı azalmaktadır. Ancak PFI tip enjektörlerde yakıt basıncını azaltmanın pozitif ve negatif etkileri mevcuttur. Bir yandan motordaki mekanik kayıplar ve sevk edilen yakıt miktarı azalırken; diğer yandan atomizasyon ve emisyon değerleri kötü etkilenmektedir. Bu çıkarımlar enjektör tipine ve yakıt demeti modeli ile yakından ilişkilidir.

Direk püskürtmeli benzinli enjektörlerin partikül emisyonları üzerindeki olumlu etkisi bilinmektedir. Momenimovahed ve ark. (2014) şehir içi ve şehir dışında bu tip enjektörleri kullanan araçlar ile denemeler yapmış; düşük ve yüksek değerlerdeki

farklılıkları incelemişlerdir. 5 farklı araç üzerinde eş zamanlı ölçümler yapmışlar ve çekiş kuvveti ile emisyonlar arasında doğrusal bir orantı bulmuşlardır. Aynı zamanda şehir içi partikül oranları şehir dışına göre daha yüksektir. Deneyde kullanılan tüm araçlar 3 yaşından küçüktür.

Moon ve ark. (2015) ise yüksek hızlı X-Ray kameraları kullanarak içe açılan iğneli direk püskürtme enjektörlerindeki deliklerin uzunlukları ve sayısının yakıt demeti formuna etkisini incelemişlerdir. Valf delik uzunluğu azaldığında eksenel ve radyal akış hızı ile delik içindeki ve çıkışındaki sürtünmelerin arttığı gözlenmiştir. Aksi şekilde; delik sayısı arttığında eksenel ve radyal hızın azaldığı görülmektedir.

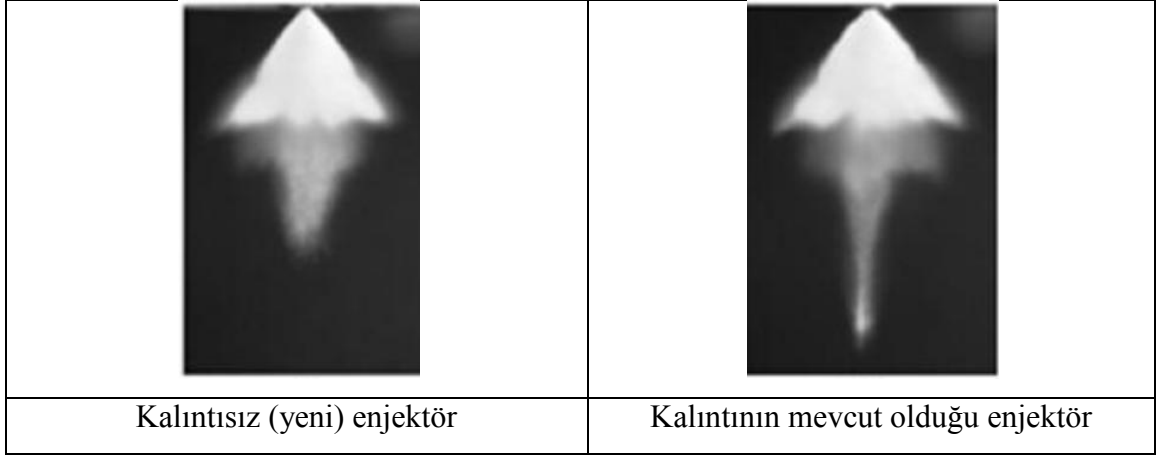
Xu ve ark. (2014) ise yakıt kaynaklı kalıntıların yakıt demeti formu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Özellikle iğnesi içe açılan delikli valflardaki kalıntıların delikleri tıkadığı ve yakıt demeti formunda bozulmalara neden olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 2.5’de yakıt kaynaklı kalıntıların etkisi görülmektedir.



Şekil 2. 5. Yakıt kaynaklı kalıntıların etkisi (Xu ve ark. 2014)

Şekil 2.5’de görüleceği üzere yüksek basınçlı sistemlerde dahi yakıt kalıntıları delikleri hemen hemen tamamen kapatabilmektedir ve delik boyunca düzensiz bir yüzey meydana getirmektedir.

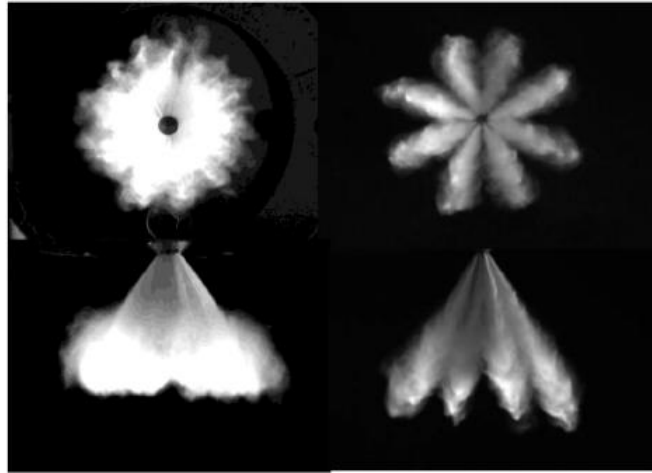
Kalıntısız ve kalıntının mevcut olduğu enjektörlerdeki yakıt demeti davranışı ise Şekil 2.6’da gösterilmektedir.



Şekil 2. 6. Kalıntının yakıt demeti davranışına etkisi (Xu ve ark. 2014)

Şekil 2.6'da görüleceği gibi kalıntı kaynaklı enjektörde kılcal yakıt demeti hareketleri oluşmaktadır. Bu durum ise homojen olmayan yanmaya ve yakıt tüketiminde artışa neden olmaktadır.

Smith ve ark. (2011) dışa açılan iğneli ve Piezo tetiklemeli enjektör ile çok delikli solenoid tetiklemeli benzin enjektörlerini, motor performansı, maksimum yükteki davranışları, ateşleme kararlığı, yakıt sarfiyatı ve zararlı emisyon salınımı yönünden karşılaştırmışlardır. Çalışmada, yeterince ısınmış ve kararlı durumda, tek silindirli motor kullanılmıştır.

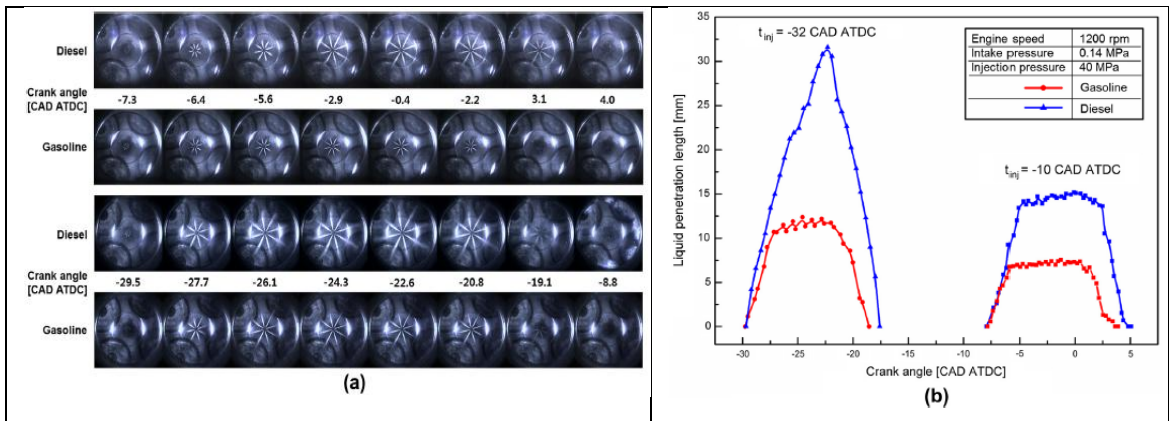


Şekil 2. 7. Piezo tetiklemeli, dışa açılan iğneli enjektör yakıt demeti görüntüsü (Sol) , Solenoid tetiklemeli, çok delikli enjektör görüntüsü (Sağ) (Smith ve ark. 2011)

Bu çalışmada sürpriz şekilde her iki enjektör, yapılan deneme sonuçları birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Ancak yüksek hızlardaki yakıt bulut alanı, zararlı HC emisyon miktarları ve yakıt tüketimi açısından Piezo tetiklemeli enjektörün avantajlı olduğu görülmüştür. Diğer yandan aynı koşullarda CO emisyonu solenoid enjektör için daha iyi sonuç vermiştir.

Park ve ark. (2012) Piezo enjektör kullanarak farklı lambda değerlerindeki motor karakteristiklerini incelemiştir. Denemelerde $\lambda=1$, $\lambda=1,5$, ve $\lambda=2$ değerlerindeki yakıt nüfuzu, motor performansı ve emisyon değerlerindeki değişimi incelemiştir. Çalışmalarda 20 MPa püskürtme basınçlarında, çok fakir karışım şartlarında dahi buji çevresinde yanmaya uygun bir karışım oluştuğu görülmüştür; ancak püskürtme basıncı 10 MPa ve 15 MPa olduğunda lambda değerleri sırasıyla $\lambda=1,5$ ve $\lambda=2$ ile sınırlı kalmıştır. Daha fakir karışımlar atomizasyonun kötü olmasından dolayı mümkün olmamıştır.

Kim ve ark. (2013) ise direkt püskürtme yapılan Common Rail dizel ve Solenoid çok delikli benzinli enjektör motor performanslarını karşılaştırmışlardır. Bariz bir sonuç olarak benzin enjektöründe yakıt demeti nüfuz miktarının tüm krank açılarındaki çok daha düşük olduğu gözlenmiştir.



Şekil 2. 8.Farklı krank açılarındaki Dizel ve Benzin enjektörü yakıt demeti görüntüsü (a) ve nüfuz miktarı (b) (Kim ve ark. 2013)

Denemeler 40 MPa püskürtme basıncında gerçekleştirilmiştir. Bu değer CR dizel enjektör için çok düşük, benzin enjektörü için ise oldukça yüksektir. Buna rağmen benzin enjektöründe nüfuz miktarı dizel enjektörüne göre yarı seviyelerindedir. Diğer

nokta ise benzinli yanmada HC, CO emisyonları daha yüksek çıkmıştır. Buna karşın NOx emisyonları hemen hemen aynı seviyelerde, yanma sonrası kurum miktarı ise dizel yanmaya göre düşük seviyelerde çıkmıştır. NOx emisyonlarını azaltmak için yapılan çalışmada ise yakıt hava karışımının ön ateşleme yapılmasının oldukça etkili olduğu görülmüştür.

Tüm bu çalışmalar göstermiştir ki yakıt demeti karakteristiği ve davranışı; motor performansı, yakıt tasarrufu ve emisyon değerleri üzerinde oldukça önemlidir. Motorların gelişmesinde yakıt enjektörleri, yakıt enjektörlerinde ise yakıt demeti davranışı üzerinde durulması gereken en önemli noktalardan birisidir.

2.1. Kuramsal Tanımlamalar

Benzinli motorlar harici bir ateşleyici gerektiren Otto çevrimini kullanır. Motor silindir içine alınan hava/yakıt karışımını yakarak kimyasal enerjiyi kinetik enerjiye çevirir.

Geleneksel araçlarda kullanılan karbüratör sistemleri uzun yıllar motor yakıt beslemesinin tahtını elinde tutmuştur. Bakım kolaylığı, düşük maliyet ve emisyon değerlerinin çok önemli olmaması nedeniyle 90'lı yıllara kadar araç üreticilerin çoğunluğu bu bileşeni tercih etmiştir. Endüstrinin gelişmesi, makine sanayinin bilgisayarlarla uyumu sonucu çok daha hassas ve hızlı ürünler üretilebilmesi otomotiv sektörünün bu dalına da etkisini göstermiştir. Otomotive ilk uygulaması Bosch tarafından 1935 yılından yapılan ancak pahalı olması, birbiriyle bağlı çalışan bileşenlerin (yakıt pompası, tetikleme modülleri ve püskürtme nozulları) hassasiyetlerinin karşılanamaması ve servis zorluğu nedeniyle gelişimi duraklayan direkt püskürtme yakıt sistemleri, emisyon değerleriyle ilgili birtakım yasal düzenlemelerin de çıkarılmasıyla 90'lı yıllarının ortasında liderliği ele geçirmeye başlamıştır.

Otto motorlarda tork ve güç oluşturmak, düşük miktarda yakıt tüketmek ve çevreye zararlı emisyon değerlerinden kaçınmak için sıkıştırma oranı çok önemlidir.

Sıkıştırmaoranı (ϵ) maksimum piston deplasmanı (V_h) ve Sıkıştırma hacmi (V_c) arasındaki ilişki $\epsilon = (V_h + V_c) / V_c$ olarak verilir. İdeal sıkıştırma oranı tasarım kriterlerine ve yakıt püskürtme sisteminin yapısına göre değişmektedir. Sıkıştırma oranı (ϵ) emme portuna

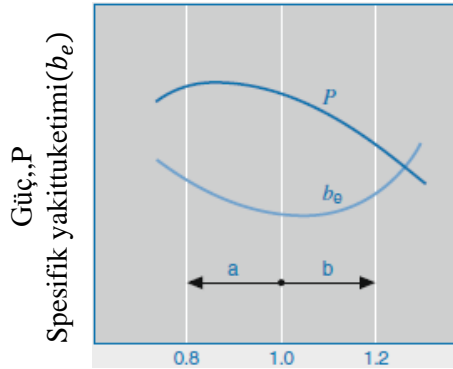
ya da direkt püskürtme sistemlerinde $\epsilon = 13$ 'e kadar çıkabilmektedir. Daha yüksek sıkıştırma oranları ise yakıtın kontrol edilemeden yanmasına ve motorda vuruntuya sebep olmaktadır.

Diğer bir etken ise hava yakıt karışımıdır. Hava yakıtın tam olarak yanabilmesi stokyemetric karışım oranına bağlıdır. Stokyemetric oran 14,7 kg hava için 1 kg yakıt yani 14,7 ye 1 olarak tanımlanmıştır.

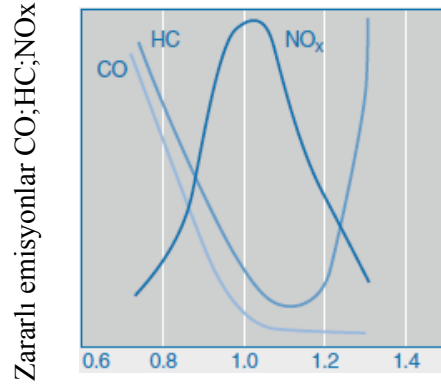
Yakıt/hava oranı λ (lambda) olarak tanımlanır ve silindir içindeki gerçek hava kütesinin ideal ve gereken hava kütesine oranını temsil eder.

$$\lambda = \frac{\text{Silindir icindeki hava kutlesi}}{\text{Gerekn teorik hava kutlesi}} \quad (2.1)$$

Stokyemetric oran için $\lambda = 1$ dir. 1 den daha küçük değerler zengin karışım olarak tanımlanır yani yakıt olması gerekenden fazla hava ise azdır. 1 den daha büyük değerler ise fakir karışım. Karışımın yeterince yakıt olmadığı anlamına gelir. Ayrıca yakıt bulutunun silindir içindeki hareketi, piston tarafından bujiye yönlendirilmesi ya da doğrudan bujiye en yakın noktaya yönlendirilmesi, verimli yanma için temel gereksinimlerdir.



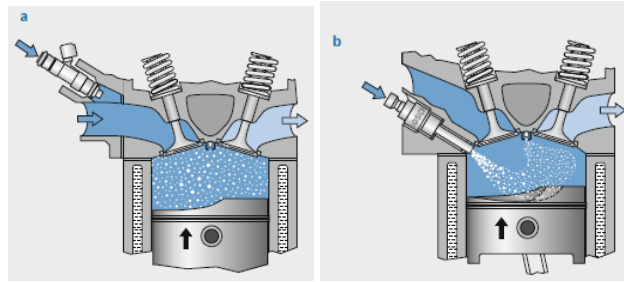
Şekil 2. 9. Homojen karışımında λ 'nın Güç (P) ve Spesifik yakıt tüketimi (b_e) üzerindeki etkisi (Reif , Gasoline EngineManagement 2015)



Şekil 2. 10. Homojen karışımda λ nın zararlı emisyonlar üzerindeki etkisi (Reif , Gasoline Engine Management 2015)

Manifolda püskürtme ile karışım sağlanan sistemlerde tek bir hava dolgu oranı mevcuttur. Karışım yanma odasına homojen olarak dağılır. (Şekil 2.11.a)

Hava emme manifoldundan yanma odasının alınır, sıkıştırma anında bujiye en yakın yere yakıt püskürtülür. Böylece ateşlemenin yapılacağı yerde oldukça zengin bir karışım sağlanmış olur. Yanma odasının geneline bakıldığında ise ortalamada çok fakir bir karışım meydana gelmiştir. ($\lambda=10$ a kadar). Bu durum çok yüksek derecede yakıt tasarrufu sağlar. Bu tip karışımlara kademeli dolgu denir. (Şekil 2.11.b)



a) Homojen dolgu b) Kademeli dolgu

Şekil 2. 11. Yakıt dolgu tipleri (Reif 2015)

Yakıtın yanarak silindir içinde güç üretebilmesi için hava ile tutuşabilirlik şartlarında karışmış olması gerekmektedir. En genel haliyle yakıt yapısal olarak ne kadar ısıl enerjiye sahip olursa olsun her noktasında yanma olmadığında bu enerji ortaya çıkmaz. Bu sebeple yakıtın atomize olması ve hava ile homojen olarak karışması gerekmektedir. Motor tipine bağlı olarak iki tür karışım yapılmaktadır. Bunlar karışımın yanma odası dışında olduğu sistemler ve yanma odası içinde olduğu sistemlerdir.

Emme manifoldunun başlangıcında (karbüratörlü veya tek noktadan püskürtmeli motorlar) veya sonunda (manifolda düşük basınçta çok noktadan püskürtmeli motorlarda) yakıt-hava karışımının dışarıda oluşturulmasının sağladığı avantaj ve dezavantajlar şu şekilde gruplandırılabilir:

i. Avantajlar

- Karışım silindir içindeki gaz hareketlerinden etkilenmez ve tek başına homojen bir yapı oluşturur.
- Yakıt yanma odasına ulaşmadan önce buharlaşır ve atomize olur.
- Emme manifoldundaki basınç dalgalarından faydalanılır.
- Karışımın makul bir hız ve yön temin etmesi için yeterli süre tanınır.

ii. Dezavantajlar

- Manifold içinde, portta ve supap yüzeylerinde basınç dalgalarından ve kısmi püskürtme darbelerinden dolayı farklı yakıt konsantrasyonuna sahip bölgeler oluşur.
- Yakıt, emilme işlemi esnasında yanma odası cidarlarına çarpar. Bu durum, lokal olarak oksijen eksikliğinden, reaksiyon kinetiğinden veya cidarlardaki düşük sıcaklıklardan dolayı eksik yanmayla sonuçlanır.
- Supap bindirmesi esnasındaki dolgu kayıpları, yakıtı da içerir. Bu dezavantaj özellikle 2-zamanlı motorlarda daha da önem kazanır.
- Karışımın homojenliği korunmak kaydıyla tam yükten kısmi yüke geçiş, gaz kelebeği vasıtasıyla karışımı kısmakla sağlanır. Bu durum termik verimi azaltarak daha yüksek özgül yakıt sarfiyatına sebep olur.

Silindir içinde karışım teşkili silindir dışında karışım oluşumunda bahsedilen dezavantajları giderir ve aşağıdaki avantajları sağlar:

- Kısmi yükte karışımı iki farklı bölgeye ayırmak suretiyle havanın gaz kelebeğiyle kısılmasından kaçınılır.
- Daha yüksek sıkıştırma oranlarında çalışılır. Yüke bağlı olarak stokyemetric karışım konsantrasyonu bazı bölgelerde daha fazla, bazı bölgelerde daha az ve daha kısa sürelerde elde edilerek vuruntu sınırında çalışılabilir. Daha yüksek vuruntu sınırı sıkıştırılma oranının arttırılmasına müsaade eder.

- Ateşlemenin başlangıcına kadar karışımın kontrol imkânı vardır. Püskürtme miktarı, püskürtme oranı, püskürtme zamanı ve ateşleme zamanı arasındaki ilişkiler yanmanın ve karışımın tam kontrolüyle sağlanır. Dışarıda karışım teşkilinde, emme supabının kapanmasıyla birlikte karışımın kontrolü biter. Sıkıştırma süresince de karışım karakterini değişen şartlara uygulamak ve düzenlemek mümkün olmaz
- Yanma odası içindeki değişik bölgelerde değişik konsantrasyonlarda karışım oluşumu sağlanarak kirletici emisyon miktarları azaltılır. (Karamangil 2004)

2.2. Enjektör Tiplerinin Karşılaştırılması

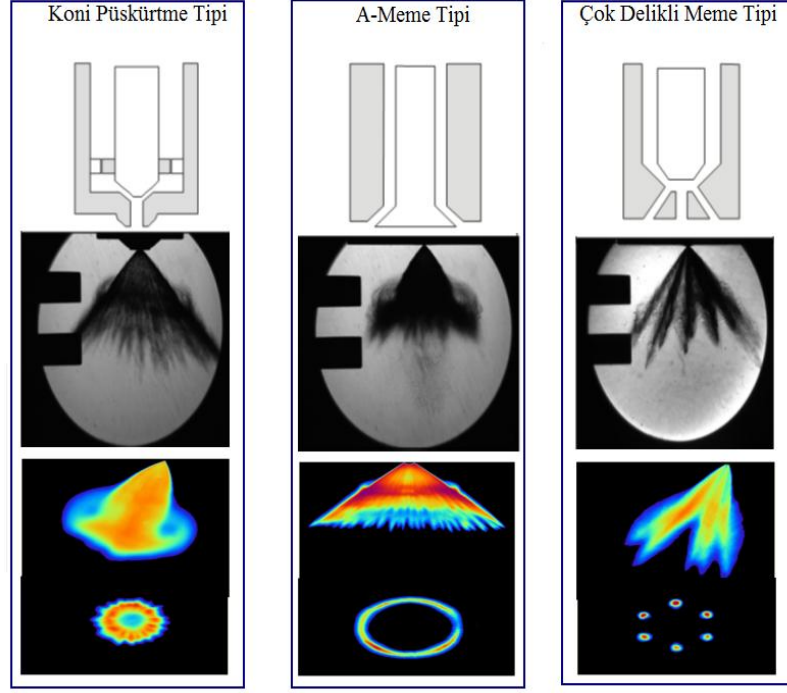
Doğrudan yakıt püskürtme sistemlerinin en önemli elemanlarından olan yakıt püskürtme enjektörleri farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır.

Püskürtmenin yapıldığı grubun (meme grubu) tipine göre (Şekil 2.12) ;

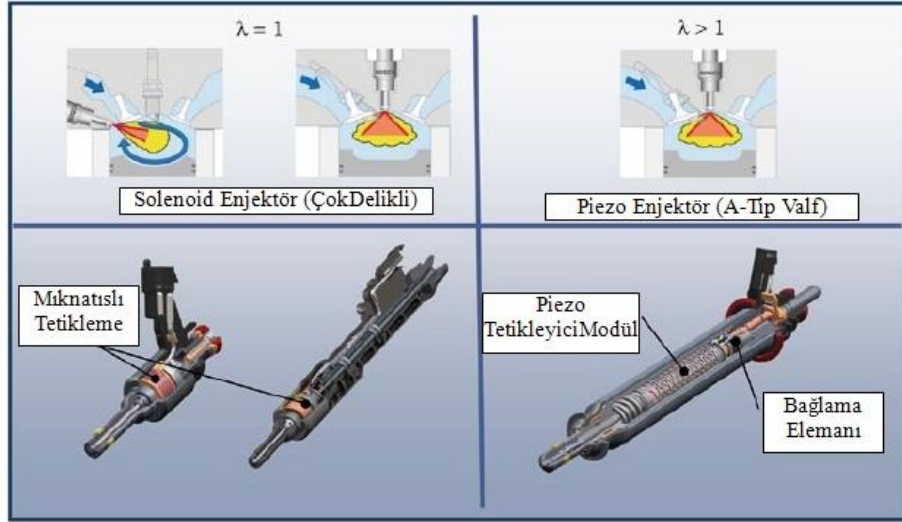
- Koni Püskürtme Tipi
- A-Meme Tipi
- Çok Delikli Meme tipi

Elektriksel tetiklemenin tipine göre (Şekil 2.13);

- Solenoid Tetikleme
- Piezo Tetikleme



Şekil 2. 12. Püskürtmenin yapıldığı grubun (meme grubu) tipine göre karşılaştırma (Bosch açık kaynak dokümanları 2008)



Şekil 2. 13. HDEV5 Enjektörü (sol) ve HDEV4. 1 Enjektörü (sağ) (Heinstein ve ark. 2013)

Enjektör tasarımında öne çıkan ana noktalar; yakıt demetinin hazırlanması, çok küçük miktarlarda püskürtme yapılabilmesi ve yapısal sabitlik olarak öne çıkmaktadır. Bu noktaların tamamı silindir içi hava akışı, yanma odası geometrisi ve ateşleme süreci ile birlikte düşünülmektedir. Kısacası enjektör ve motor silindiri birbirini yakından

etkileyen elemanlardır. Enjektör aşağıda sıralanan görevleri yerine getirir:

- Tam olarak gereken miktarda yakıtı tanımlanan noktaya ve tanımlanan zamana püskürtmek,
- Düşük yükler ve tam yükler arasında çalışmaya çok hızlı tepkiler vermek,
- Damlacık boyutunu, miktarını ve yoğunluğunu göz önüne alarak hassas yakıt demeti formunu oluşturmak,
- Yanma odasında minimum yer kaplayarak silindir hacminin ve motor boyutlarının küçülmesine yardımcı olmak,
- Püskürtme olmadığı zamanlarda kapalı durumdayken sızdırma olmasını engellemek,
- Farklı yakıt miktarlarına ve içeriklerine (alkol ilavesi vb. gibi.) uyum göstermek.

Direkt püskürtmeli benzin motorlarında kullanılan yakıt enjektörlerinden beklenenler Çizelge 1.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. 1. Direkt püskürtmeli benzin enjektörlerinden beklenenler

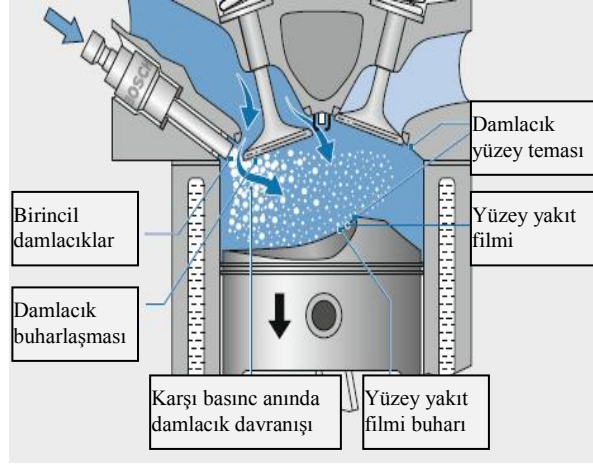
Yanma Prosesi	Homojen Karışım ($\lambda=1$)		Kademeli Dolgu (Fakir Karışım)
	Yanal	Merkezi	Merkezi
Pozisyon			
Dozajlama Hassasiyeti	2 mg/enjeksiyon	2 mg/enjeksiyon	1 mg/enjeksiyon
Çoklu Püskürtme	3x	3x	5x
Yasam Ömrü	Yaklaşık 600 milyon çevrim		
Yakıt demeti Toleransı	6°	6°	5°
Yakıt demeti Tasarımı	Esnek	Simetrik	Simetrik
Yakıt Tipi	Dünya çapında kullanım (E5, E100, M15)		
Oturma Yüzeyi Sızdırma Limiti	2. 5 mm ³ /min (<1 mm ³ /min)		

Yukarıda bahsedilen görevleri yerine getirebilmesi için Bosch iki farklı enjektör tipi geliştirmiştir.

1. Birden fazla püskürme deliği bulunan ve Solenoid tetiklemeli HDEV5 enjektörü
2. Dışa açılan iğnesi ile koni püskürtme yapabilen ve Piezo tetiklemeli HDEV4. 1 enjektörü

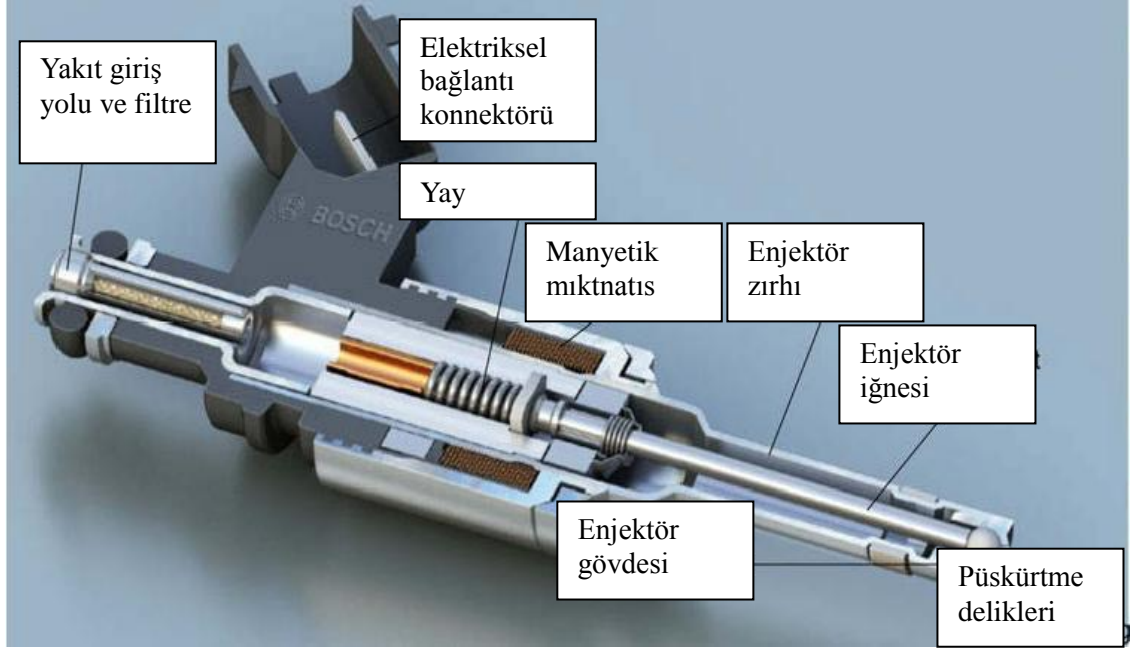
2.2.1. Çok delikli solenoid enjektör (HDEV5)

HDEV5 solenoid enjektör şu anda dünya çapında kullanılan ve direkt püskürtmeli benzinli motorların temel gereksinimlerini karşılayan enjektör tipidir. Püskürtme direkt silindir içine yapılır. Böylece yakıt silindir içine bir noktaya değil homojen olarak dağılacak şekilde girmektedir. (Şekil 2.14)



Şekil 2. 14. Silindir içinde homojen dolgu oluşumu sağlayan direkt püskürtme şekli (Reif 2015)

Üretimine 2005 yılında başlanmıştır ve şu ana kadar toplamda 50 milyondan fazla enjektör dolaşıma çıkmıştır. Tüm dünyadan 30 a yakın müşterisi bulunmaktadır (Fiat Group, VW Group, GM Group, vb.) ve düşük hacimli motorlardan yüksek performans araçlarına kadar kullanılabilir.

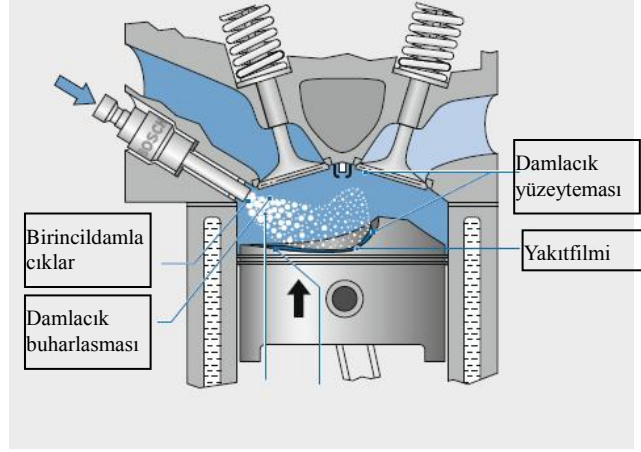


Şekil 2. 15. HDEV5 enjektörü (Basshuysen 2013)

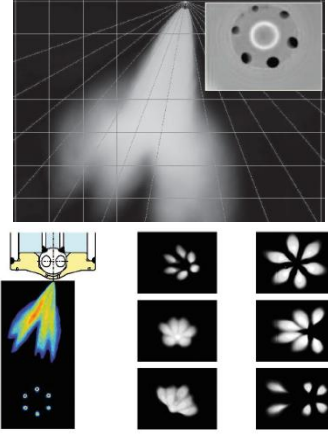
Her bir enjeksiyon da elektrik akımıyla tetiklenen mıknatıslar sayesinde enjektör çalıştırılır. Mekanik bağlantılar ile birlikte 200 bar enjektör içi yakıt basıncında dahi iğne hareket eder ve püskürtme gerçekleştirir. Her uygulamaya adapte olması için çok küçük püskürtme miktarları baz alınmıştır. ($< 5 \text{ mg /püskürtme}$). Ayrıca enjektörün püskürtme zamanlaması, açık kalma süresi gibi önemli değişkenler elektronik kontrol ünitesi tarafından belirlenmektedir.

Enjektör girişinin tasarımı enjektörü bağlı olduğu müşterek haznedeki yakıt basıncı dalgalanmalarından hidrolik olarak koruyarak enjektörün farklı çalışma modlarında stabil bir debi garanti eder. Ayrıca püskürtme zamanlarının elektronik olarak ayarlanması ile yüksek yüklerdeki sesler minimize edilir.

HDEV5 enjektöründe yakıt demeti nüfuziyeti çoklu delikler ile sağlanır. Delikler yüksek enerjili lazer ile açılır. Bu teknolojinin faydası ise istenilen boyutlarda ve birbirinden bağımsız özelliklerde deliklere imkân sağlamasıdır. Püskürtme ağzı ihtiyaca göre $\sim 0,1 \text{ mm}$ çaplarında 5-8 delik barındırabilmektedir. Bu şekilde kademeli dolgu mümkün olmakta ve yakıt demeti açılış piston formuna göre ayarlanabilmektedir. (Şekil 2.16 ve Şekil 2.17)



Şekil 2. 16. Kademeli dolgu sağlayan direkt püskürtme tipi (Reif 2015)



Şekil 2. 17. Delik tipleri ve yakıt demeti görüntüsü (Bosch Engineering GmbH Motorsport 2013)

Enjektör üzerindeki deliklerin konumu ve büyüklüğü yakıt demetinin doğru konumlanması için çok önemlidir.

Şekil 2.18 ve Şekil 2.19’de delik boyutlarının ve konumlarının yakıt demeti üzerindeki etkisi gösterilmektedir.



Şekil 2. 18. Yanma odasına, silindir duvarına ve piston yüzeyine temas eden yakıt demeti formu (istenmeyen durum) (http://www.bosch-presse.de, 2015)



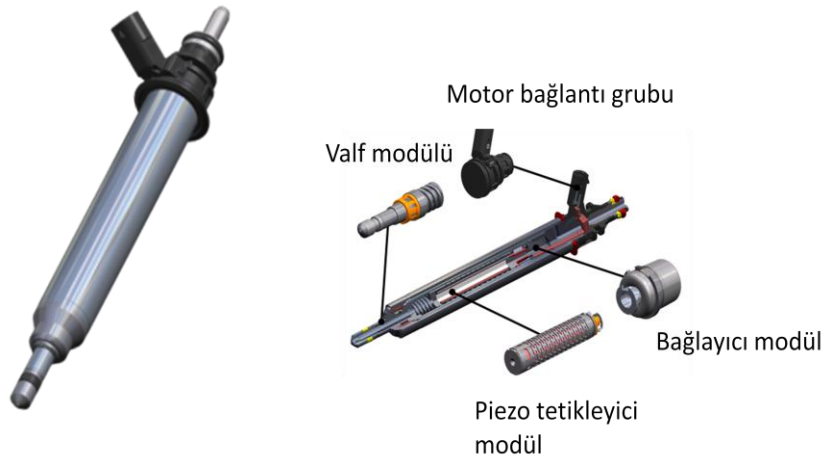
Şekil 2. 19. Yanma odasına, silindir duvarına ve piston yüzeyine temas etmeyen yakıt demeti formu (istenen durum) (<http://www.bosch-presse.de>, 2015)

EURO 6 emisyon normunun yerleşmesiyle birlikte enjektör basınçları 200 bar'ın çok üzerine çıkacaktır.

Mevcut çalışmalar 350 bar ve üzeri için yapılmaktadır. Yakıt tasarrufu sağlayabilmek için çok daha hassas yakıt miktar kontrolü gerekmektedir.

2.2.2. Dışa açılan iğneli piezo enjektör (HDEV4. 1)

HDEV4. 1 enjektörü dünyada yüksek adetlerde üretimi olan ve Piezo tetikleme sistemine sahip tek benzinli enjektördür. Dört temel gruptan oluşur. Valf grubu, Piezo tetikleyici grup, hidrolik kompanzasyon grubu ve motor bağlantı grubu. (Şekil 2.20)



Şekil 2. 20. HDEV4. 1 Enjektör alt bileşenleri (Basshuysen 2013)

Valf modülü yay vasıtasıyla, Piezo tetikleyici gruba bağlıdır. Elektrik akımı ile birlikte tetiklenen Piezo kristaller Valf grubu içindeki iğneyi enjektörü dışına doğru iterek yakıtın silindir içine püskürmesini sağlarlar. Püskürme anında içi boş koni formu meydana gelir ve teorik olarak bu form silindir içi ortam basıncından etkilenmez.

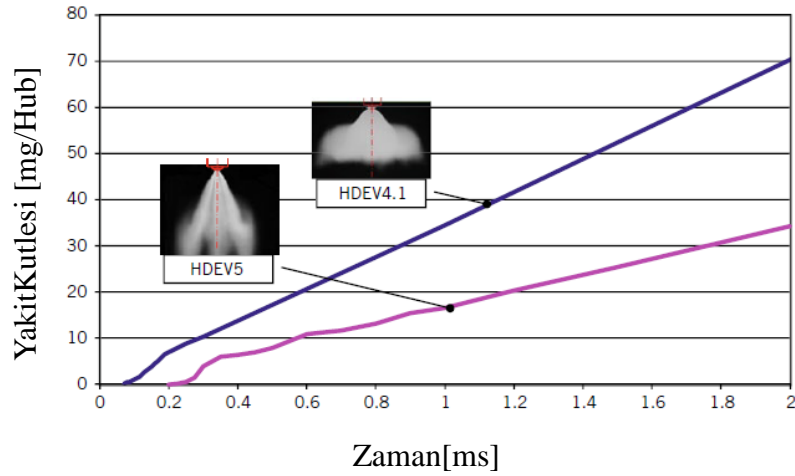
Piezo tetikleyici modül, elektriksel yük karşısında boyut değiştiren kristallerden meydana gelir. Kısmi yüklerde ise tetikleyici grubun içindeki kristaller de kısmi açılarak iğne dışı doğru istenen miktarda açılmasını sağlarlar.

Bağlayıcı modülün görevi ise, farklı yükler, sıcaklıklar ve çalışma zamanlarında iğne hareket mesafesinin istenilen seviyelerde kalmasını sağlamaktır.

Motor bağlantı grubu, hedef motora yönelik bağlantı ve sızdırmazlık elemanlarını içerir. İki tip enjektör karşılaştırılırsa ise; HDEV5 düşük maliyetler ile farklı yanma odalarına adapte edilebilirken; HDEV4. 1 çok daha yüksek hassasiyet ile püskürtmeler yaparak düşük yakıt tüketimi ve daha az zararlı emisyon salınımı sağlamaktadır. Çizelge 2’de genel bir değerlendirme verilmiştir.

Çizelge 2. 1. HDEV5 ve HDEV4. 1 enjektörlerinin karşılaştırılması

	Solenoid HDEV5 (Çok Delikli)	Piezo HDEV4. 1 (A-Tipi Valf)
Yanma prosesine uygulanabilirliği	+ Yanal ve Merkezi	+ Merkezi, Ayrıca Kademeli Dolgu
Dozajlama Alanı	+	++
Çoklu Püskürtme	+	++
Yakıt demeti Esnekliği	++	0
Nüfuz	+	++
Atomizasyon	+	++
Maliyet	++	0



Şekil 2. 21. HDEV5 ve HDEV4. 1 enjektörlerinin zamana bağlı püskürtme değerlerinin karşılaştırılması (Heinstein ve ark. 2013)

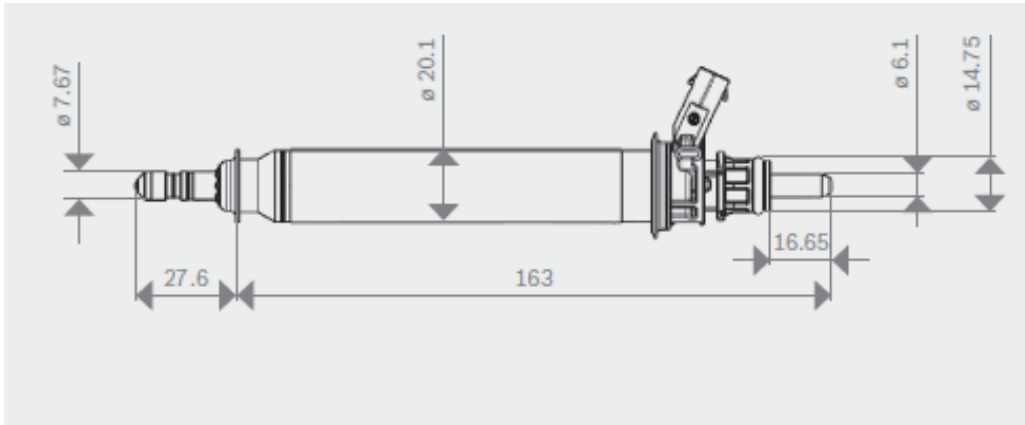
3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde tezde kullanılan enjektörlerin tipi, boyutsal özellikleri ve etkili olduğu noktalar ön plana çıkarılmıştır. Direkt püskürtmeli yakıt enjektörlerinin ortak noktası püskürtme odaklı yanma olarak tanımlanabilir. Bunun sağlanabilmesi için enjektör konumu, bujinin konumu, tetikleme sayısı, tek seferde püskürtülen yakıt miktarı önem kazanmaktadır. Bu tezde Piezo Tetiklemeli, A-Meme Tipi enjektör üzerinde çalışılacaktır.

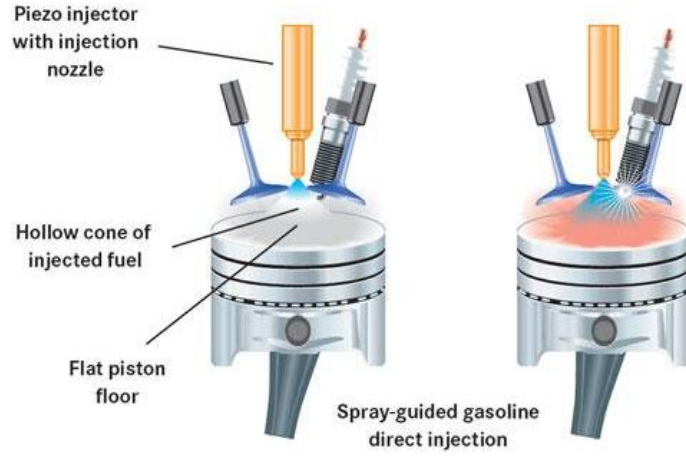
Deneme amaçlı toplamda 25 adet enjektör üretilmiş, bu enjektörde kullanılacak iğne ve gövdelerin boyutsal değerleri kaydedilmiştir ve enjektörün montajı sonrasındaki fonksiyon değerleri ile eşleştirilmiştir.

Çalışmaya konu olan HDEV4. 1 enjektörünün seri üretimine 2010 yılında başlanmıştır. Şu anda tek müşterisi Daimler (Mercedes) dir. Tek tip enjektör farklı çalışma tarzları ile farklı tip motorlarda kullanılmaktadır. Bu çalışma tarzları müşterinin beklentisine göre elektronik kontrol ünitesi tarafından belirlenmektedir.

Enjektörün boyutsal özellikleri Şekil 3.1’de ve motor bloğu içinde konumlandırılması Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3. 1. HDEV4. 1 enjektörü boyutsal özellikleri (Robert Bosch GmbH yayınları 2013)



Şekil 3. 2. Enjektörün motor bloğu içinde konumlandırılması ve kademeli dolgu sağlanması (www. fltechnical. net,2015)

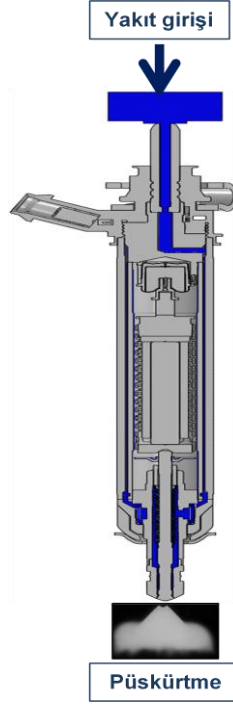
3.1. Piezo Tetiklemeli Yakıt Enjektörlerinin Davranışı

Çalışmada kullanılan enjektörün yüksek basınç altında, 200 bar, çalıştığı ve vida bağlantı yerine sadece lazer kaynak ile birleştirildiği düşünüldüğünde, en önemli konulardan biri sızdırmazlık olmaktadır.

Sızdırma aşağıdaki gibi çeşitlendirilir. ;

- Enjektör içi sızdırma
- Enjektör dışı sızdırma
 - Silindir içi sızdırma
 - Silindir dışı sızdırma

Enjektör içi sızdırma enjektör fonksiyonlarının bozulmasına, kısa devre sonucu tetiklemenin yapılamamasına ya da enjektör ömrünün kışalmasına neden olur. Enjektör dışına sızan yakıt ise eğer silindirin dışına çıkmışsa yangın tehlikesi içerir. Silindirin içinde kalıyorsa; yakıt bulutunun kötüleşmesine, homojen olmayan yanmaya, zararlı emisyonların artmasına neden olur. Enjektör içi yakıt yolu Şekil 3.3’de gösterilmiştir.

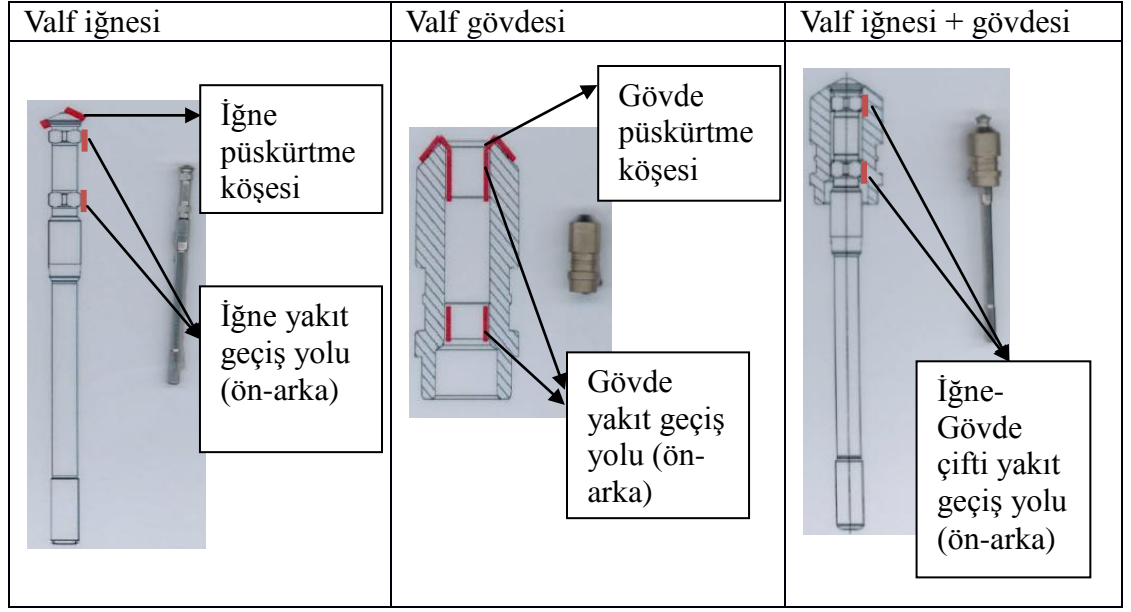


Şekil 3. 3. Enjektör içi yakıt yolu (Bosch açık kaynak dokümanları 2008)

3.2. Enjektör İğne ve Gövdesinin Karakteristik Özellikleri

3.2.1. Malzeme özellikleri

Silindir içinde oluşan yüksek sıcaklıklara (~ 800 °C) dayanabilmesi için iğne ve gövde ısıtıl işlem görmüş çelikten üretilmiştir. Ancak talaşlı imalatta kolay işlem görebilmesi için sünek malzeme yerine tok malzeme kullanılmıştır. Daha yüksek tepki kuvvetlerine maruz kalan dizel enjektörlerin aksine, Karbon kaplama yapılmamıştır. Şekil 3.4'de valf iğnesi ve valf gövdesi gösterilmiştir. İşaretli alanlar yakıt püskürtme karakteristiğine etkisi olan bölgelerdir.

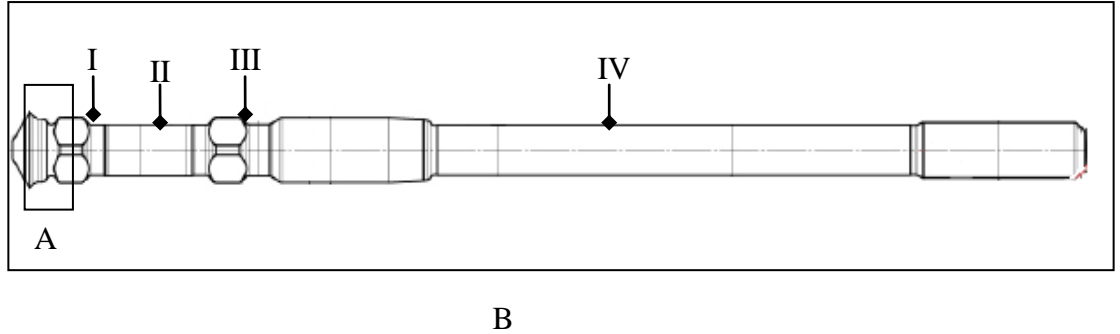


Şekil 3. 4. Valf iğnesi ve Valf gövdesi

Şekil 3.4’de belirtilen iğne ve gövde püskürtme köşeleri yakıtın enjektörle temas ettiği en son noktalar. Yakıt bu bölgeden çıkarak silindirin içine dağılır.

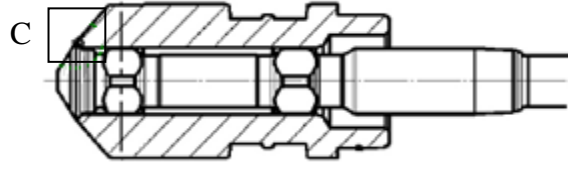
3.2.2. Karakteristiklerin püskürtme açısı üzerine etkilerinin incelenmesi

Bu bölümde iğne ve gövde + iğne çifti karakteristikleri gruplara ayrılmış ve ayrı ayrı incelenmiştir. Belirli tolerans bölgelerindeki karakteristiklerin yakıt demeti açısına etkileri araştırılmıştır. Araştırma esansında diğer karakteristikler sabit tolerans bölgelerinde tutulmuştur. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da iğne ve gövde + iğne çifti üzerindeki bölgeler gösterilmektedir.



Şekil 3. 5. İğne üzerindeki karakteristiklerin gruplandırılması

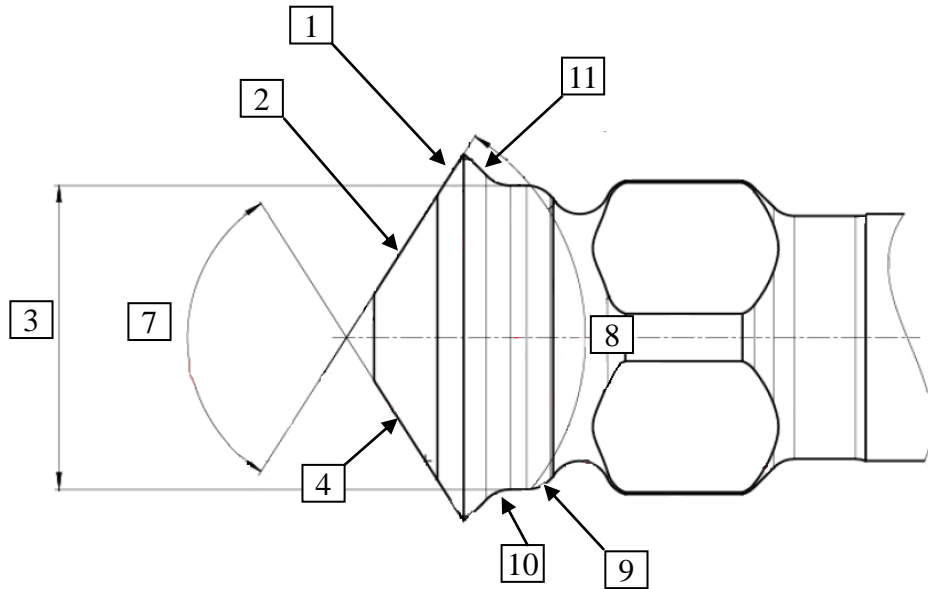
A : İğne baş bölgesi B : İğnenin tamamı



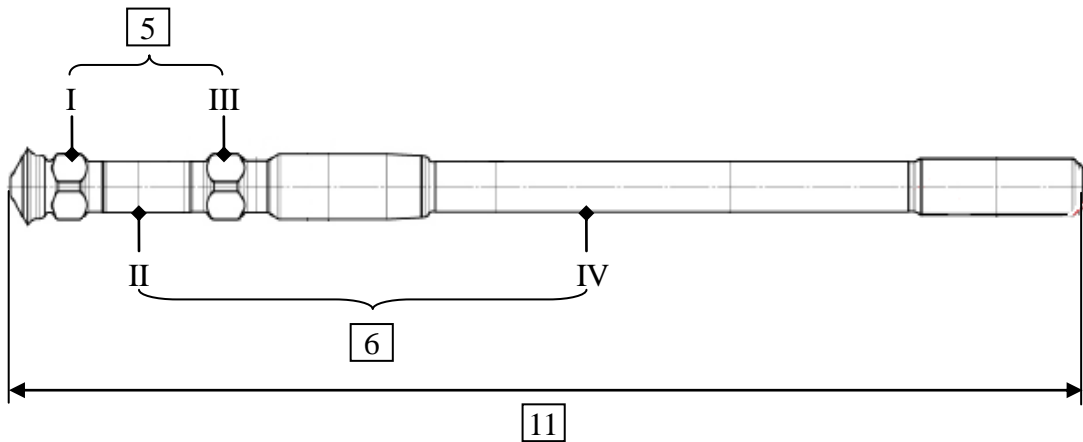
Şekil 3. 6. Gövde + iğne üzerindeki karakteristiklerin gruplandırılması

C : İğne gövde temas bölgesi

Şekil 3.5.a ve Şekil 3.6'da gösterilen bölgelerde yer alan karakteristikler Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de belirtilmiştir.



Şekil 3. 7. İğne baş bölgesindeki karakteristiklerin incelenmesi



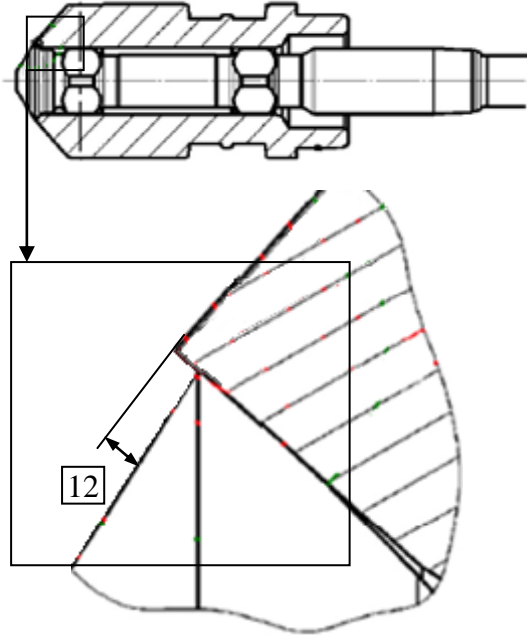
Şekil 3. 8. İğnenin tamamındaki karakteristiklerin incelenmesi

i) Karakteristiklerin tanımı

Etkilerini incelemek amacıyla toplamda 12 adet karakteristik belirlenmiştir. Bu karakteristiklerin ortalama, maksimum ve minimum değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3. 1. İğne karakteristiklerin tanımı

Karakteristik Nr.	Karakteristik tanımı	Ortalama değer	Maksimum değer	Minimum değer
1	Dış arka açılı yüzey pürüzlülüğü	0 µm	4 µm	0 µm
2	Ön açılı yüzey pürüzlülüğü	0 µm	6 µm	0 µm
3	Çap ölçümü	3, 20 mm	3, 21 mm	3, 19 mm
4	Dış açılı yuvarlaklık	0 µm	1, 2 µm	0 µm
5	I in III e göre salgısı	0	2 µm	0 µm
6	II nin IV e göre salgısı	0	1, 4 µm	0 µm
7	Dış açılı	115°	117°	113°
8	İç açılı	115°	116°	114°
9	Dış yarıçap	0, 35 mm	0, 40 mm	0, 30 mm
10	İç yarıçap	0, 35 mm	0, 40 mm	0, 30 mm
11	İğne tam boy	58, 970 mm	58, 985 mm	58, 955 mm



Şekil 3. 9. Gövde & iğne üzerindeki karakteristiğin incelenmesi

Çizelge 3. 2. Gövde & iğne karakteristiğinin tanımı

Karakteristik Nr.	Karakteristik tanımı	Ortalama değer	Maksimum değer	Minimum değer
12	Geri tahliye ölçüsü	5 μm	10 μm	0 μm

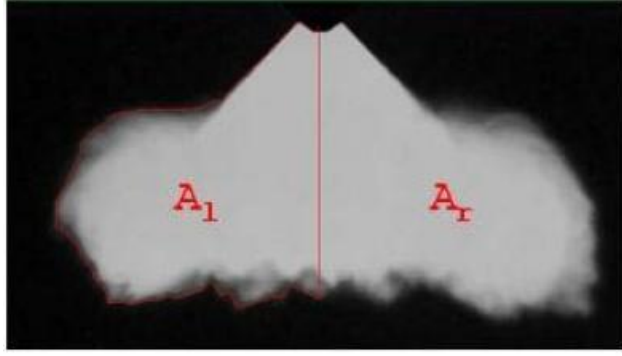
Tanımlanan sayısal değerler bu tip enjektörün kullanıldığı motor tipine uygun olarak belirlenmiştir. Değerlerin tanımlanmasıyla ilgili detaylara bu çalışmada yer verilmemiştir.

ii) Püskürtme açısına etkilerin incelenmesi

1) Yakıt demeti Kriterleri

a) Seçilen enjektöre ait spesifikasyonlar

Yakıt demeti bulutunun alanlara ayrılması (Şekil 3.10)



Şekil 3. 10. Yakıt demeti bulutunun alanlara ayrılması

$A_l = Sol\ sprej\ alanı$, $A_r = Sağ\ sprej\ alanı$

Yakıt demeti alanı (SA)

$$\text{İdeal durum} : SA = 0 \pm 0,3 \quad (3.1)$$

Anlamı : Her iki alanın da birbirine eşit ve simetrik olması

$$\text{Tanımlama} : SA = \frac{A_L - A_R}{A_L + A_R} \quad (3.2)$$

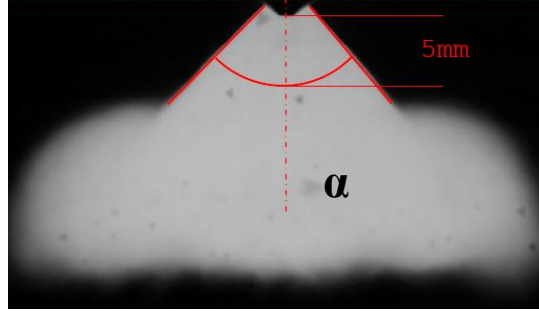
Silindir içine yüksek basınç altında püskürtülen yakıt sıvı halden gaz hale geçer ve atomize olur. Bu duruma yakıt bulutu oluşumu adı verilir. Yakıt bulutu püskürtmenin kalitesini gösteren temel değerlerdendir.

Yakıt bulutunun özellikleri aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

- a) Silindir içine homojen dağılmalıdır.
- b) Silindir tipine ve yönlendirmeye bağlı olarak simetrik olmalıdır.
- c) Kılcal dağılmalar meydana gelmemelidir.
- d) Valf grubu çıkışındaki açı toleranslar içinde ve ortalama değere yakın olmalıdır.

b) Yakıt demeti açısı

$$\text{Yakıt demeti açısı toleransları: } \alpha = 85, 0^\circ \pm 5^\circ \text{ (İdeal durum } = 85, 9^\circ) \quad (3.3)$$



Şekil 3. 11. Yakıt demeti açısının tanımlanması

Sınır şartları:

Yakıt basıncı: 20 MPa

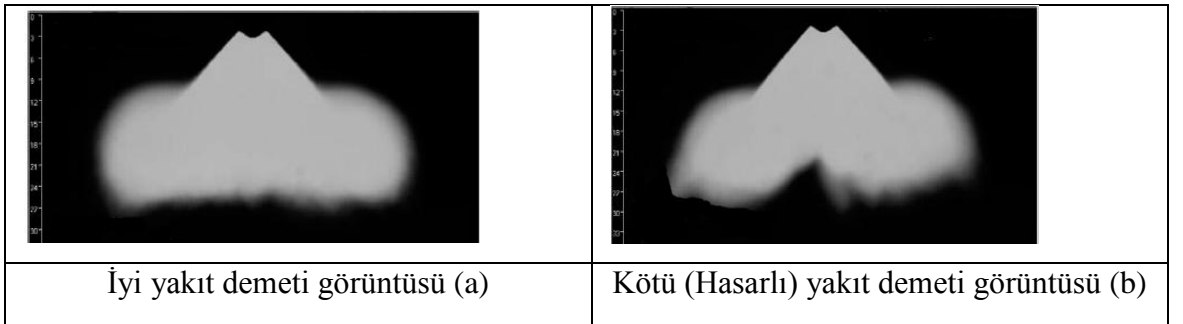
Karşı basınç: 0,6 MPa

Bosch normlarına göre sınır şartlarındaki püskürtme açısı tayini aşağıdaki kriterlere göre yapılır. (Şekil 3.11)

- Püskürtme esnasındaki maksimum iğne açıklığı anında iğne üst yüzeyinin 5mm altından teğet geçecek bir yay çizilir.
- Çizilen yay yakıt bulutunun kenarları ile kesiştirilir
- Yay yarıçapı yakıt demeti açısı olarak kabul edilir.

c) Yakıt demeti görüntüsü ve bulut formu

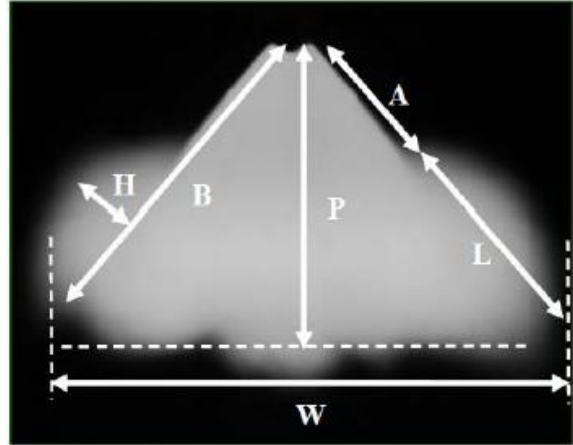
Şekil 3.12.a ve 3.12.b’de yakıt demeti görüntüleri verilmiştir. İdeal durum Şekil 3.12.a’da olduğu gibi yakıt bulutunun simetrik ve homojen olması, yakıt bulutunun alt tarafında çatallaşma olmaması ve yakıt demeti açısının tanımlanan değerde olmasıdır. Şekil 3.12.b’de ise iğne oturma yüzeyindeki vuruş ve çentiğin etkisi görülmektedir.



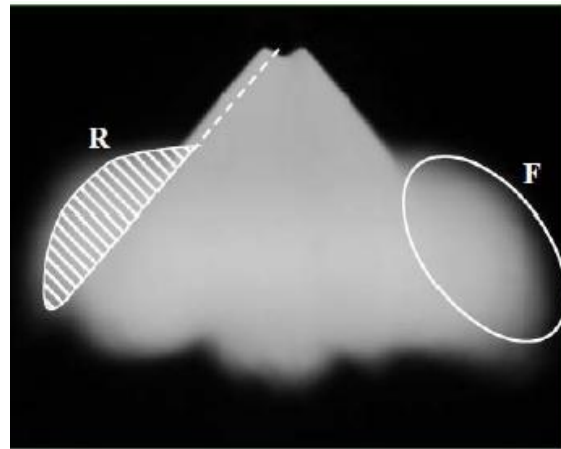
Şekil 3. 12. Yakıt demeti açısının tanımlanması

Şekil 3.13 yakıt demeti bulutunu tanımlamakta kullanılan ölçüsel parametreleri göstermektedir.

Şekil 3.14'de ise görsel olarak yakıt demeti bulutunun kalitesini ölçmekte kullanılan form parametreleri verilmiştir.



Şekil 3. 13. Ölçüsel parametreler



Şekil 3. 14. Form parametreleri

Vorteks

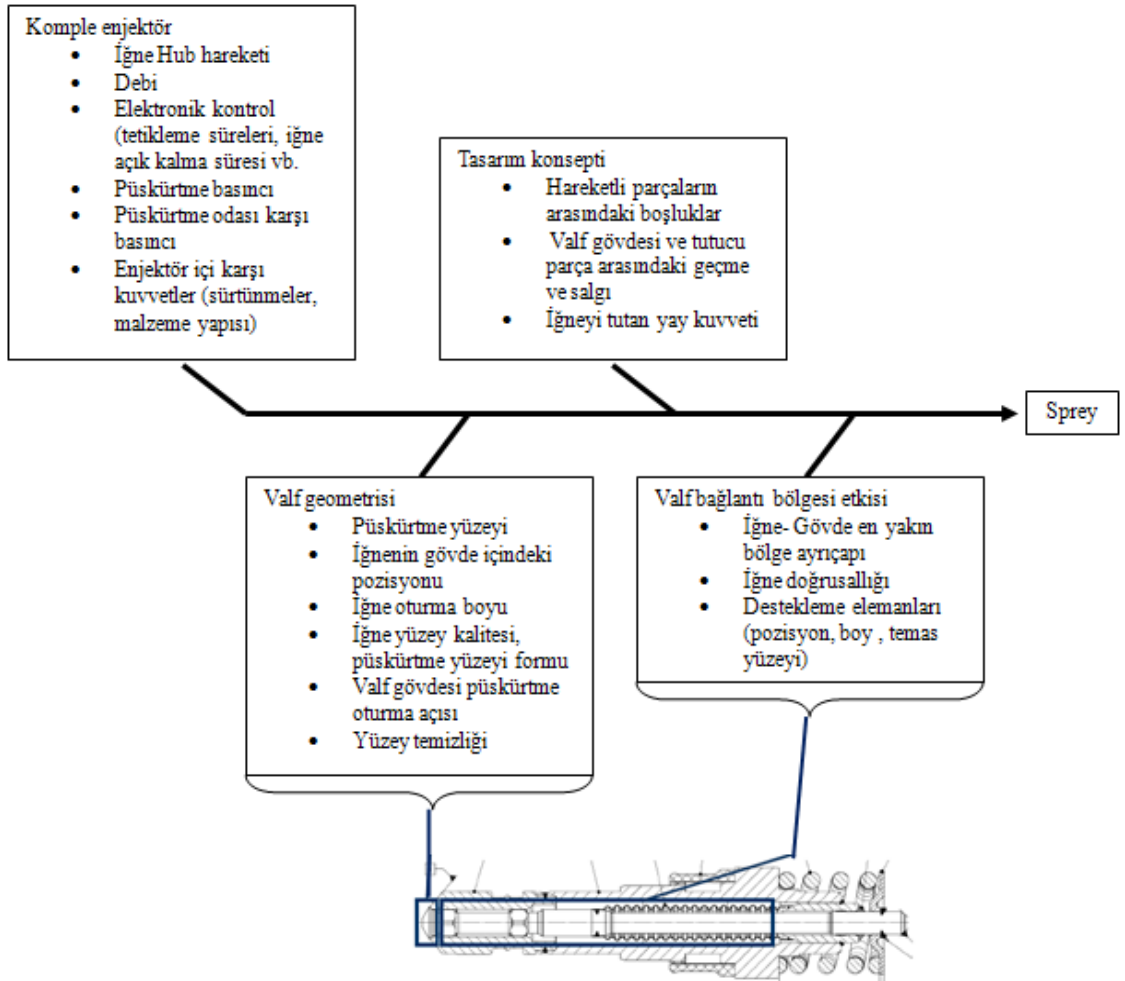
Vorteks yüksekliği	: H
Vorteks kesit alanı	: R
Kesintisiz koni uzunluğu	: A
Vorteks kesit uzunluğu	: L
Form	: F

Yakıt demeti koni genişliği : W
Koni
Koni uzunluğu : B
Nüfuz
Ortalama nüfuz : P

2) Tasarım öğeleri ve değişkenlerin analizi

a) Muhtemel etkilerin belirlenmesi

Bu kısımda yakıt yakıt demetiine etki eden muhtemel parametrelere genel bir yaklaşım yapılmıştır.



Şekil 3. 15. Muhtemel yakıt demeti etkilerinin incelenmesi

b) Enjektör çalışma şartları

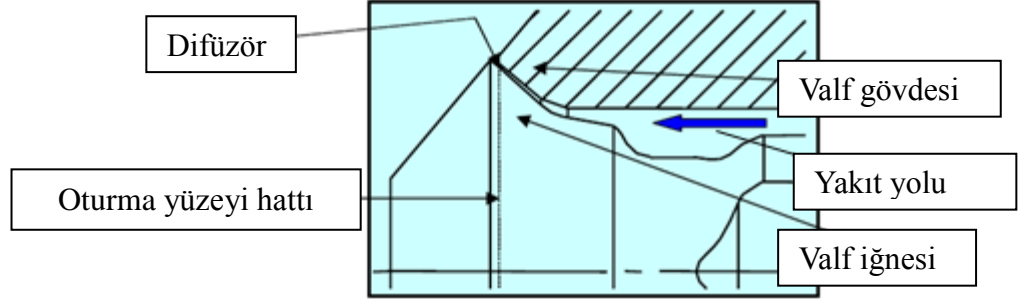
Çalışmada kullanılan enjektörün teknik özellikleri ve operasyon şartları Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. 3. Çalışma kapsamındaki HDEV4.1 enjektörün teknik özellikleri

Tanım	Değer
İğne tetiklemesi	Direkt
Yakıt demeti açısı	$85^{\circ} \pm 5^{\circ}$ (İdeal : $85, 9^{\circ}$)
İki tetikleme arasındaki yakıt demeti açısı farkı	$\pm 1^{\circ}$
Ortam basıncından etkilenme	$< 4\%$
Tanım	Değer
Karbon katmanına karşı açısı değişimi	$< 3^{\circ}$
Damlacık boyutu (Sauter Ortalama Çapı)	10–15 μm
Nüfuz	$< 30 \text{ mm}$
Sistem basıncı	20 MPa
İğne kalkma mesafesi (Hub)	$\leq 35 \mu\text{m}$
Dinamik Debi(qdyn)	34. 5 mg/lift @ $t_i = 1 \text{ ms}$
İğne kısmi kalkma mesafesi (Partial Hub)	$\geq 10\text{--}35 \mu\text{m}$
Enjeksiyon süresi	70–5, 000 μs
Çoklu Püskürtme	≤ 5 enjeksiyon/cevrim
Bekleme Süresi	$\geq 50 \mu\text{s}$
Dozajlama aralığı	0. 5–150 mg/enjeksiyon

3.2.3. A-Valf tipinin tasarım şartları

Bu bölümde tezde kullanılan A. Tipi valf tipinin tasarım şartları tanımlanmıştır. Şekil 3.16'da iğne ve gövde arasındaki oturma yüzeyi gösterilmektedir.



Şekil 3. 16. İğne oturma yüzeyi ve gövde oturma yüzeyi arasındaki ilişki

Difüzör bölgesinin yuvarlatılmış ya da keskin köşe olması yakıt bulutunun yüzey alanının büyüklüğünü tayin etmektedir. Keskin köşeli difüzör bölgesi daha küçük yüzey alanı anlamına gelmektedir. Yuvarlatılmış difüzör bölgesi ise yakıt taneciklerinin iğne ve gövde yüzeylerine yapışmasına ve yakıt bulutunun yüzey alanının genişlemesine neden olmaktadır. İğne oturma yüzeyi ve gövde oturma yüzeyi birbirlerine tam olarak temas etmelidir. Her iki oturma yüzeyinde üretim kaynaklı çizik, vuruş vb. hasar olmamalıdır. Oturma yüzeyi temas alanının etkileri aşağıdaki gibi olmaktadır.

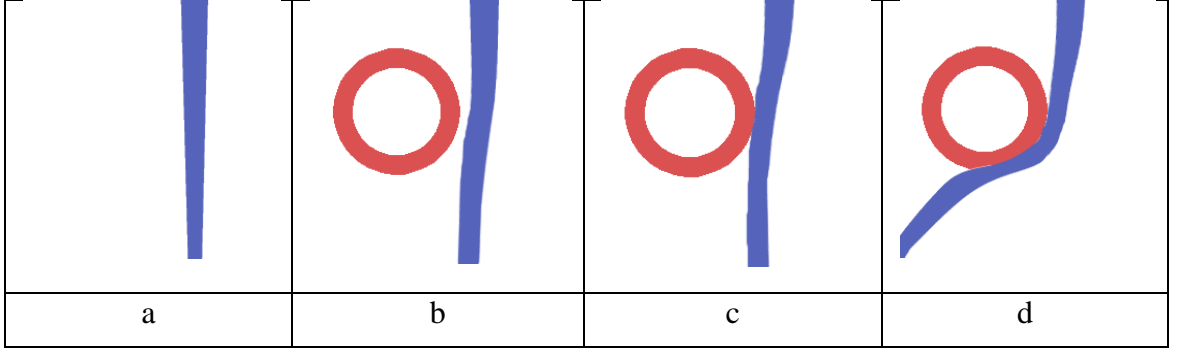
- Oturma yüzey alanı az olur ise enjektör ucundan sızdırma artmaktadır.
- Oturma yüzey alanı çok olur ise yakıt demeti formu bozulmaktadır.

İğne oturma yüzeyinin arka bölümündeki yarıçapları iğne hareketini kolaylaştırmak için farklılaştırılmıştır. Örneğin oturma yüzeyine yakın olan tarafta ince bir yakıt geçiş yolu var iken uzak tarafta yakıtın püskürme öncesi birikeceği küçük bir hazne oluşturulmuştur. Bu hazne sayesinde yakıt difüzörün olduğu bölümden kesintisiz olarak püskürtülmektedir. Difüzör olarak adlandırılan bölge ise yakıt bulutuna son formunu veren birleşim noktasıdır.

Çizelge 3. 4. A-Tipi Valf Gereksinimleri

Nr.	A-Tipi valf in gereksinimleri	Gereççeleri	Aksi durumda etkiler
1	Keskin ve çapaksız püskürtme köşesi.	Püskürtme köşesindeki çapak sprej açısını değiştiriyor. (Asimetriye sebep oluyor.)	Standarttan sapma.
		Püskürtme köşesindeki sıvanma.	Coanda-Efekt meydana geliyor. (Bkz. Şekil 3.16)
2	Oturma yüzeylerinin birbirine sızdırmayacak şekilde temas etmesi ve hareket sonrasında titreşim hareketinin olmaması.	Dayanım ve süreklilik.	Yüksek basınç altında gerilme hareketi oluşuyor ve oturma yüzeylerinin tam temas etmemesi sonucunda sızdırma meydana geliyor. Gövde yüzeyinde hasar oluşuyor.
3	Malzeme yapısının saf olması.	Dayanım , çatlakların önlenmesi.	Sürekli basınç altında kılcal çatlaklar oluşuyor.
4	Minimum difüzör boyu.	Kavitasyondan kaçınma.	Kavitasyon sonucu çatlak.
	Oturma yüzeyi bölgesindeki açı değişiminin minimum olması.	Yakıt kalıntılardan kaçınma.Cevrimden cevrim farklı sprej açılarının oluşmaması.	Yakıt kalıntıları nedeniyle sızdırma.
5	Uygun oturma yüzeyi çapı.	Sprej açısına etkisi.	Hub hareketinin kontrol edilememesi
			Uygun olmayan sprej formu.
6	Yeterli miktarda iğne oturma yüzeyi teması.	Enjektör içi yakıt hareketlerinde dalgalanmalardan kaçınma.	Her tetiklemede debinin farklılık göstermesi.
	Geniş yakıt kanalları.		Sprej formunda uygunsuzluk.
	Hasarlardan korunması için yuvarlatılmış oturma yüzey kenarları.		

Coanda etkisi, hızla ilerleyen hava akımının doğru bir yol izlemek yerine, yakınındaki bir yüzeye yapışarak, yüzeyin eğimlerini izleyerek ilerlemesi olayıdır.

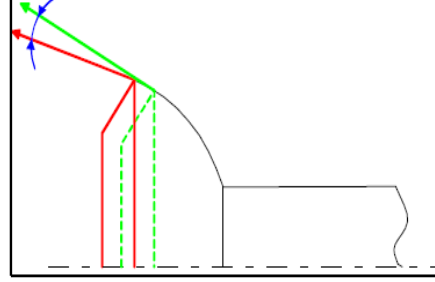


Şekil 3.17. Coanda Etkisi (http://en.wikipedia.org/wiki/Coand%C4%83_effect,2015)

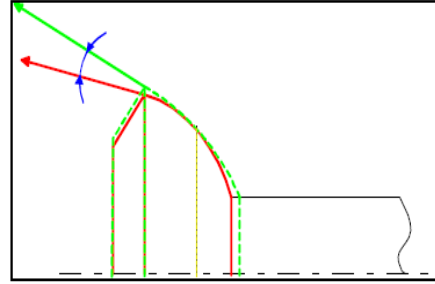
4. YAKIT DEMETİ KARAKTERİSTİKLERİN BİRBİRLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİ

Bu bölümde, enjektör karakteristiklerinin birbirleri arasındaki ve kendi aralarındaki ilişkiler incelenmektedir. Değerler denemeler sonucunda sayısal olarak elde edilmiş ve gerekli olan noktalar grafikler üzerinde incelenmiştir.

4.1. Oturma Yüzeyi Hattı ve Yarıçapı ile Yakıt demeti Açısı Arasındaki İlişki



Şekil 4. 1. Valf iğnesi oturma yüzeyi hattı değişimi



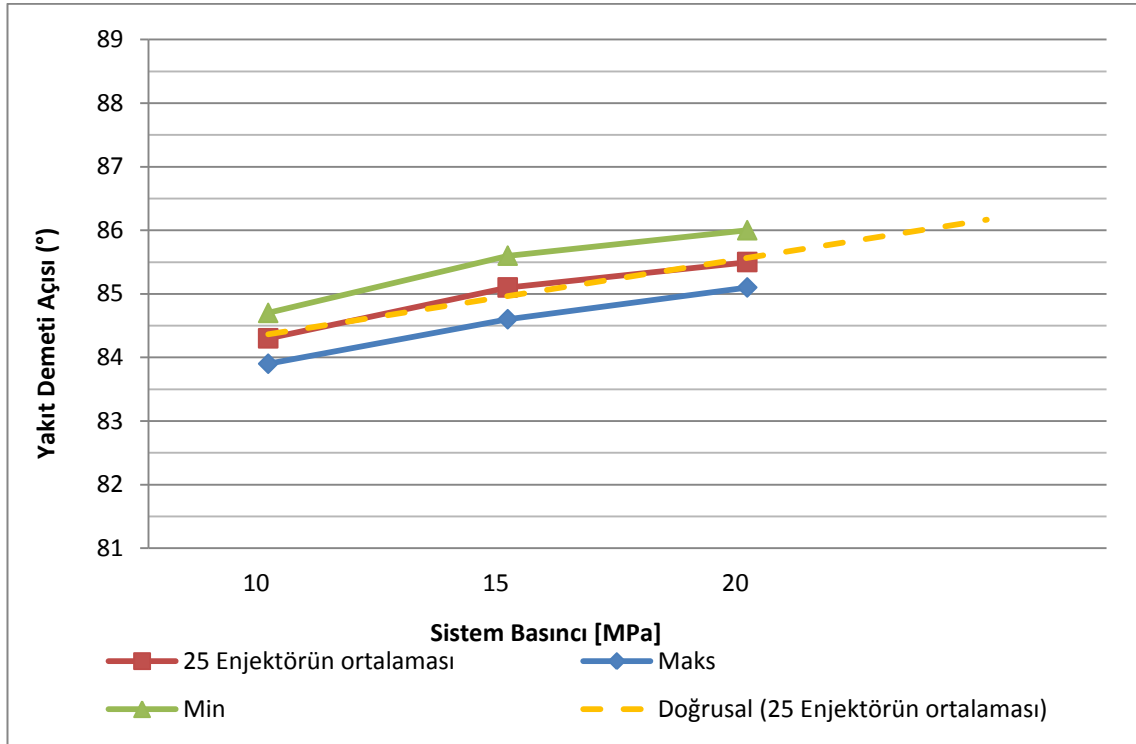
Şekil 4. 2. Oturma yüzeyi yarıçapı değişiminin yakıt demeti açısına etkisi

Şekil 4.1 ve 4.2’de görüldüğü üzere iğne boyu uzadığında ve oturma yüzeyi hattı dışarı doğru uzaklaştığında yakıt demeti açısı küçülmektedir. Oturma yüzeyi yarıçapı büyüdüğünde ise yakıt demeti açısı artmaktadır.

Şekillerde kırmızı ve yeşil ile gösterilen değişimlerin yakıt demeti yönü üzerindeki etkisi tanımlanmıştır. Örneğin Şekil 4.1’de oturma yüzeyi hattı kırmızı ile çizilmiş gibi olduğunda yakıt demeti doğrultusu da kırmızı ok yönünde olmaktadır. Oturma Yüzeyi hattı yeşil ile çizilmiş gibi olduğunda ise yakıt demeti doğrultusu yeşil ok yönünde olmaktadır. Aynı durum oturma yarıçapı değişimi için de geçerlidir.

İğne oturma yüzeyinde bir yarıçap mevcuttur. Bunun sebebi yakıtın oturma yüzeyinden ayrılmadan kontrol altında ve istenilen açı verilerek sevk edilebilir olmasıdır. Yani böylece yüksek basınç altında iğne oturma yüzeyinde mikro yakıt boşlukları oluşmaz ve yakıt kesintisiz olarak difüzörden püskürtülebilir.

4.2. Sistem Basıncı ve Püskürtme Açıları Arasındaki İlişki



Şekil 4. 3. Farklı sistem basınçlarına bağlı olarak yakıt demeti açılarının değişimi

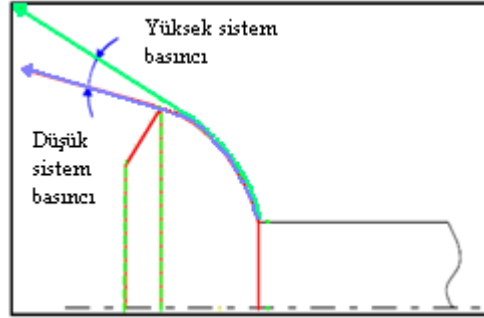
Şekil 4.3’de görüldüğü gibi farklı sistem basınçlarında yakıt demeti açıları da doğrusala yakın biçimde değişmektedir. Deneme için üretilen 25 adet enjektör, diğer tüm koşullar aynı kalacak şekilde sadece farklı sistem basınçlarında çalıştırılmıştır. 10MPa ile yapılan ilk denemede ortalama yakıt demeti açısı 84,4° derece olurken, 25 enjektör içindeki minimum yakıt demeti açısı 83,9° Maksimum yakıt demeti açısı ise 84,7° olmuştur. Ortalama, maksimum ve minimum arasındaki fark enjektörlerin alt parçalarının ve montaj aşamasındaki süreçlerin tolerans kullanım farklılıklarından kaynaklanmaktadır.

Benzer şekilde

- 15 MPa sistem basıncı için yakıt demeti açıları
 - Ortalama değer : 85,1°
 - Maksimum değer : 85,5°
 - Minimum değer : 84,6°
- 20 MPa sistem basıncı için yakıt demeti açıları
 - Ortalama değer : 85,6°
 - Maksimum değer : 86,1°
 - Minimum değer : 85,1°

Sonuçlar incelendiğinde her 5 MPa sistem basınç artışı yakıt demeti açısında yaklaşık olarak 0,5° lik artışa sebep oluyor. Müşteri talebi olan ideal 85,9° yakıt demeti açısına en uygun sistem basıncı ise 20 MPa olarak ortaya çıkmaktadır.

Artan basınca bağlı olarak yakıt demeti açısının artması Şekil 4.4’de gösterilen oturma yüzey yarıçapı ile yakından ilgilidir. Basınç arttıkça yakıt tanecikleri yarıçap son noktasına ulaşmadan iğne yüzeyinden ayrılmaktadır.



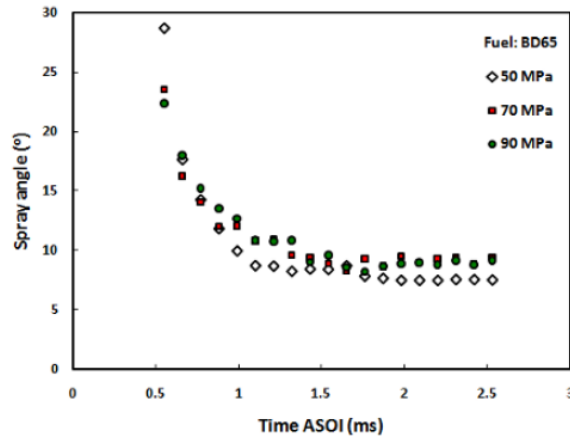
Şekil 4. 4. Farklı sistem basınçlarında yakıt taneciklerinin izlediği doğrultu

İğne püskürtme köşesi formu ile ilişkili olarak yakıt taneciklerinin doğrultusu ile iğne ekseninin doğrultusu birbirlerine paralel oldukça yakıt demeti açısı küçülmektedir. Aksi durumda ise yani yakıt taneciklerinin doğrultusu iğne ekseninin doğrultusundan farklılaştıkça yakıt demeti açısı artmaktadır.

Şekil 4.3 incelendiğinde düşük sistem basınçlarında (10 MPa) yakıt tanecikleri oturma yüzeyi yarıçapının tamamına temas ettikten sonra iğneyi terk etmektedir. Bu nedenle

yakıt taneciklerinin doğrultusu iğne eksenine doğrultusuna daha yakındır. Yakıt taneciklerinin yüksek sistem basınlarında (15 MPa) ise yakıt tanecikleri yarıçapa tamamen temas etmemekte ve daha erken iğneyi terk etmektedirler. Yakıt taneciklerinin doğrultuları ile iğne ekseninin doğrultusu arasındaki fark atmaktadır. Bu nedenle yakıt demeti açısı artmaktadır.

Konuyla ilgili Ghurri ve ark. (2012), püskürtme basıncı ve yakıt vizikositesinin yakıt demeti açısı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada her iki etken ayrı ayrı incelenmiştir. BD65 yakıtı kullanılarak 50 MPa, 70 MPa ve 90 MPa püskürtme basınlarında elde edilen yakıt demeti açıları Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 5. Farklı ortam basınçlarına göre yakıt demeti açısının değişimi (Ghurri ve ark. 2012)

Yukarıdaki grafik sol eksenini yakıt demeti açısını, alt eksen ise püskürtme zamanını göstermektedir. Püskürtme zamanı ilerledikçe yakıt demeti açısı düşse de, aynı şartlarda püskürtme basıncı arttıkça yakıt demeti açısının da arttığı görülmektedir. Buradan yola çıkarak aşağıdaki eşitlik oluşturulmuştur.

$$\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = 0.15\Delta P^{0.017}v^{-0.7} \quad (4.1)$$

θ : Yakıt demeti açısı

ΔP : $P_{in} - P_{am}$

P_{in} : Püskürtme basıncı

P_{am} : Ortam Basıncı

v : Yakıt vizikositesi

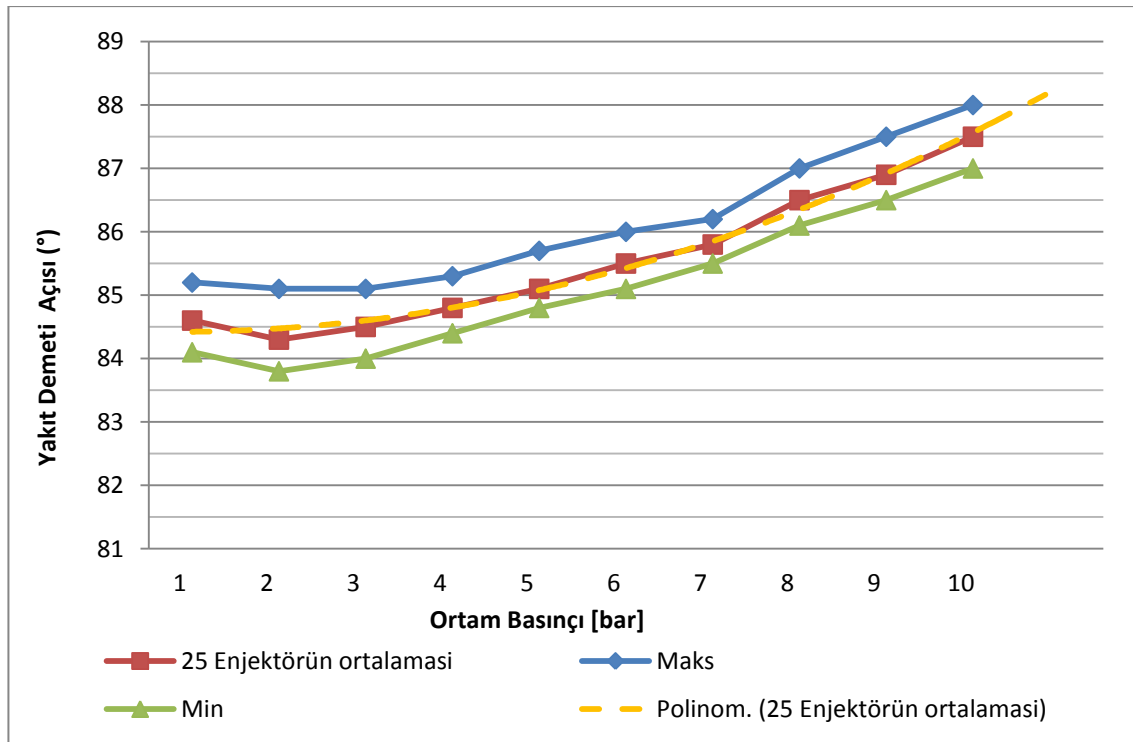
olarak tanımlanmaktadır.

Eşitlikten vizkozitenin etkisinin püskürtme basıncının etkisine oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak bu durum tasarım şartlarına bağlı olarak değişebilmektedir.

Ayrıca yüksek hızdaki hava akımlarında etkili olan Coanda etkisi (hızla ilerleyen hava akımının doğru bir yol izlemek yerine, yakınındaki bir düzeye yapışarak, düzeyin eğimlerini izleyerek ilerlemesi olayı) bu durum için de geçerlidir. Sebebi ise yüksek basınç altında yakıtın homojenize olarak sıvı formundan gaz formuna geçmiş olmasıdır.

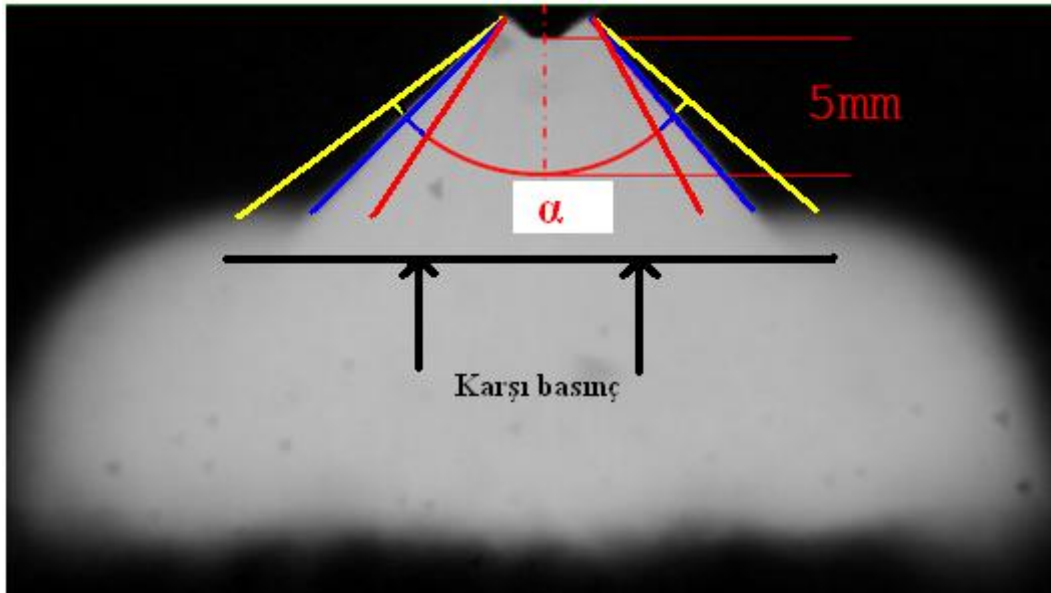
4.3. Ortam basıncı ve Püskürtme Açıları Arasındaki İlişki

Silindir içi basıncın (ortam basıncı) yakıt demeti açıları etkisi oldukça önemlidir. Tasarıma bağlı olarak ortam basıncı arttıkça yakıt demeti açısının artması beklenmektedir. Bu durum, yakıtın silindir içindeki basınçla sistem basıncı arasında sıkışması ve yatay olarak genişlemesi olarak düşünülebilir. Şekil 4.6'da farklı ortam basınçlarının Yakıt demeti açısı üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Denemeler 25 adet enjektörle ve sabit 200 bar sistem basıncında yapılmıştır.



Şekil 4. 6. Farklı ortam basınçlarına bağlı olarak yakıt demeti açısının değişimi

Yukarıdaki grafikten görüleceği üzere ortam basıncı arttıkça yakıt demeti açısı lineere yakın olarak artmaktadır. İdeal olan 6-7 bar arasındaki ortam basıncında ise müşteri talebi olan yakıt demeti açısına ulaşılmaktadır. Büyük hacimli yanma odaları düşük ortam basıncı oluşturur bu nedenle yakıt demeti istenen açıda püskürtülemez ve yanma sonrası güç kaybı yaşanır. Küçük hacimli yanma odalarında ise ortam basıncı çok yüksektir bu nedenle yakıt demeti açısı normalden fazla olacaktır. Bujiden uzaklaşan yakıt tanecikleri ya geç yanacak ya da hiç yanmadan atılacaktır ve yine güç kaybı yaşanacaktır. Ortam basıncı değişimine bağlı olarak yakıt demeti açısının görüntüsü Şekil 4. 7’de verilmiştir.



Şekil 4. 7. Karşı basınca bağlı olarak yakıt demeti açısının görüntüsü

— : Yüksek ortam basıncı , — : İdeal ortam basıncı (6-7 bar)
— : Düşük ortam basıncı , α : Yakıt demeti açısı

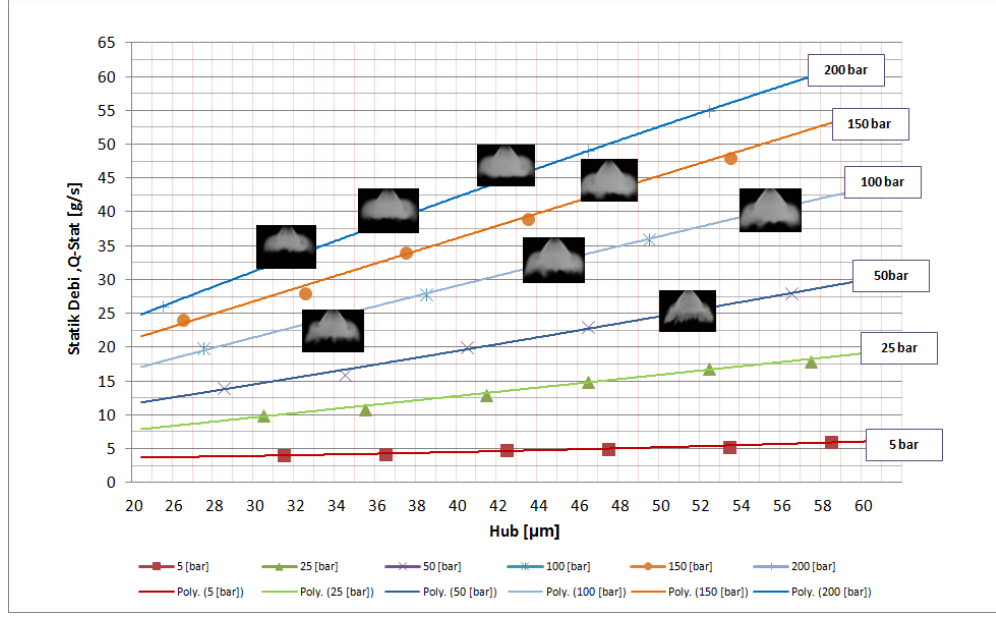
4.4. Sistem Basınçları, İğne Açılma Mesafesi ve Statik Debi Arasındaki İlişki

Önemli karakteristiklerden olan statik debi, sistem basıncına ve iğnenin açılma mesafesine doğrudan bağlıdır. Statik debi, enjektör iğnesinin tanımlanan maksimum açıklık mesafesinde birim zamanda püskürttüğü yakıt miktarı olarak tanımlanır. (gram/saniye). Bu değer tam yükte motordan alınabilecek gücü belirlemede kilit öneme sahiptir. Oturma yüzeyi çap aralığı, ortam basıncı, iğne açıklık mesafesi ve sistem

basıncı kullanılarak teorik hesaplama yapılmaktadır. Daha sonra enjektör test cihazlarında test edilmektedir. Teorik hesaplama sonucundan farklı bir değer ile karşılaşırsa enjektör kesit alınarak incelenmekte ve teorik değer ile gerçek değer arasında neden fark olduğu belirlenmektedir. Kesit alınmasının anlamı, freze de enjektörün ilgili bölgesinin kesilmesi ve hassas ölçüme gönderilmesidir. Böylece farkın sebebinin ölçüsel olup olmadığı ya da vuruttan kaynaklanıp kaynaklanmadığı anlaşılmaktadır.

Çalışmalar çoğunlukla iğnenin ölçüsel sapmaları (salgı, yüzey pürüzlülüğü), oturma yüzeyindeki hasar (vuruk, çizik, ezilme) ya da iğnenin açılması sağlayan elektriksel tetikleme parçasının (Piezomodül) olması gerektiği kadar genişlememesinin aradaki farka neden olduğunu göstermektedir. Diğer sebepler ise daha az rastlanan sistem basıncındaki dalgalanma, ortam basıncı yükselmesi ya da düşmesi olarak belirlenmiştir. Şekil 4.8’de farklı sistem basınçları ve iğne açılma yüksekliğinin statik debi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Daha önce bahsedildiği gibi ideal çalışmada açılma mesafesinin değeri 35µm olan iğne için özel tetikleme parametreleri ile açıklık mesafesi değeri yaklaşık 60 µm seviyelerine çıkarılmış ve özel motor uygulamalarındaki (EVO, performans araçları) etkisi gözlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca sistem basıncı 5 bar – 200 bar aralığında kademeli olarak değiştirilmiştir. Deneme esnasındaki ortam basıncı 4 barda sabit tutulmuştur.



Şekil 4. 8. Farklı sistem basınçları ve iğne açılma mesafelerine bağlı olarak statik debinin değişimi

İğnelerde fiziksel olarak 60 µm açılma mesafesi de mümkündür ancak yanma odasının boyutları buna izin vermediği için seri üretimde bu değerlere çıkılmamaktadır. Ancak Piezo kristalin farklı voltajlarda tetiklenmesiyle deneme amaçlı bu değerlere ulaşılabilmektedir.

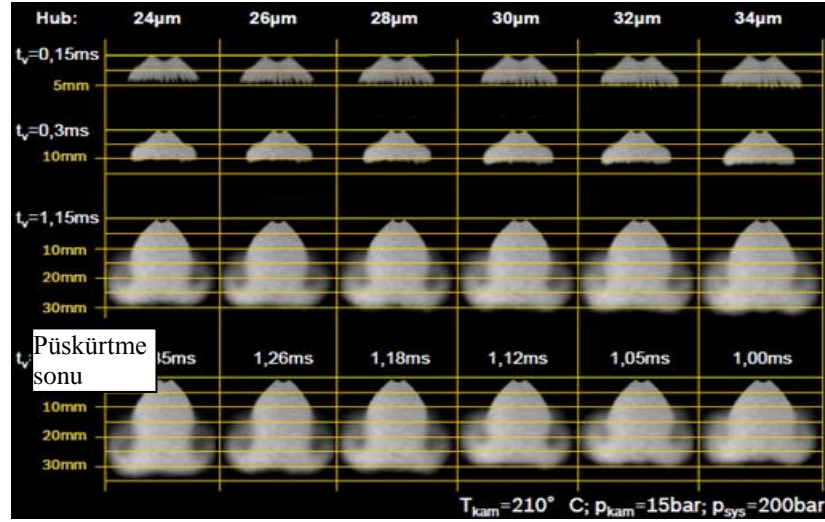
Şekilden görüleceği gibi sistem basıncı ve iğne açılma mesafesi arttıkça statik debi lineer olarak artmaktadır. Ayrıca sistem basıncı arttıkça yakıt demeti formu ideale yaklaşmakta yani yakıt demeti koni kısmında çatallaşmalar azalmaktadır.

Basınç arttıkça debinin artması; ortam basıncı ile aradaki farkın açılmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin sistem basıncının 5 bar karşı basıncın 4 bar olduğu durumda statik debinin iğne açılma mesafesine bağlı artışı çok yavaş olmaktadır. Ancak aynı açılma seviyelerinde yüksek basınçlarda (25-200 bar) statik debi artışı çok hızlı olmaktadır. Bunun anlamı, akış yönüne ters yönde bir kuvvetle karşılaşmayan yakıt taneciklerinin rahatça enjektörden ayrılabilmesidir.

4.5. İğne Açılma Hareketi ve Nüfuz Miktarı Arasındaki İlişki

Yakıt nüfuzu da yanma performansı etkileyen önemli parametrelerden birisidir. Amaç yakıtın silindir içinde tanımlanan noktaya en hızlı şekilde, açılı ve formunda bozulma

olmadan ulaşmasıdır. Şekil 4.9’da enjektör tetiklenmesi sonrasındaki püskürtme anında ve farklı iğne açıklıklarındaki nüfuz değerleri incelenmiştir. Çalışma esnasında zor şartların denenmesi amacıyla yanma odası 210 °C ye çıkarılmış ve ortam basıncı 15 bar da sabitlenmiştir.



Şekil 4. 9. Farklı iğne açıklığına ve püskürtme zamanına bağlı nüfuz miktarı

T_v : Tetikleme sonrası geçen zaman P_{kam} : Yanma odası basıncı

T_{kam} : Yanma odası sıcaklığı P_{sys} : Püskürtme basıncı

Sol taraftaki 3 değer (0,15 ms, 0,3 ms , 1,15 ms) İğne açıldıktan sonraki fotoğraf çekilme süreleri göstermektedir. Örneğin 0,15 ms = İğne açıldıktan 0,15 ms sonraki yakıt demetinin durumunu göstermektedir.

Püskürtme sonu ise iğnenin kapanmaya başladığı durumu göstermektedir. Örneğin iğne 34 µm açıkken 1,00 ms sonraki durum en sağ alt fotoğrafta gösterilmektedir. İğne kapanmaya başladığında süreye bağlı olarak yakıt demeti görüntüleri de değişmektedir. Örneğin 32 µm = 1,05 ms, 30 µm = 1,18 ms vb.

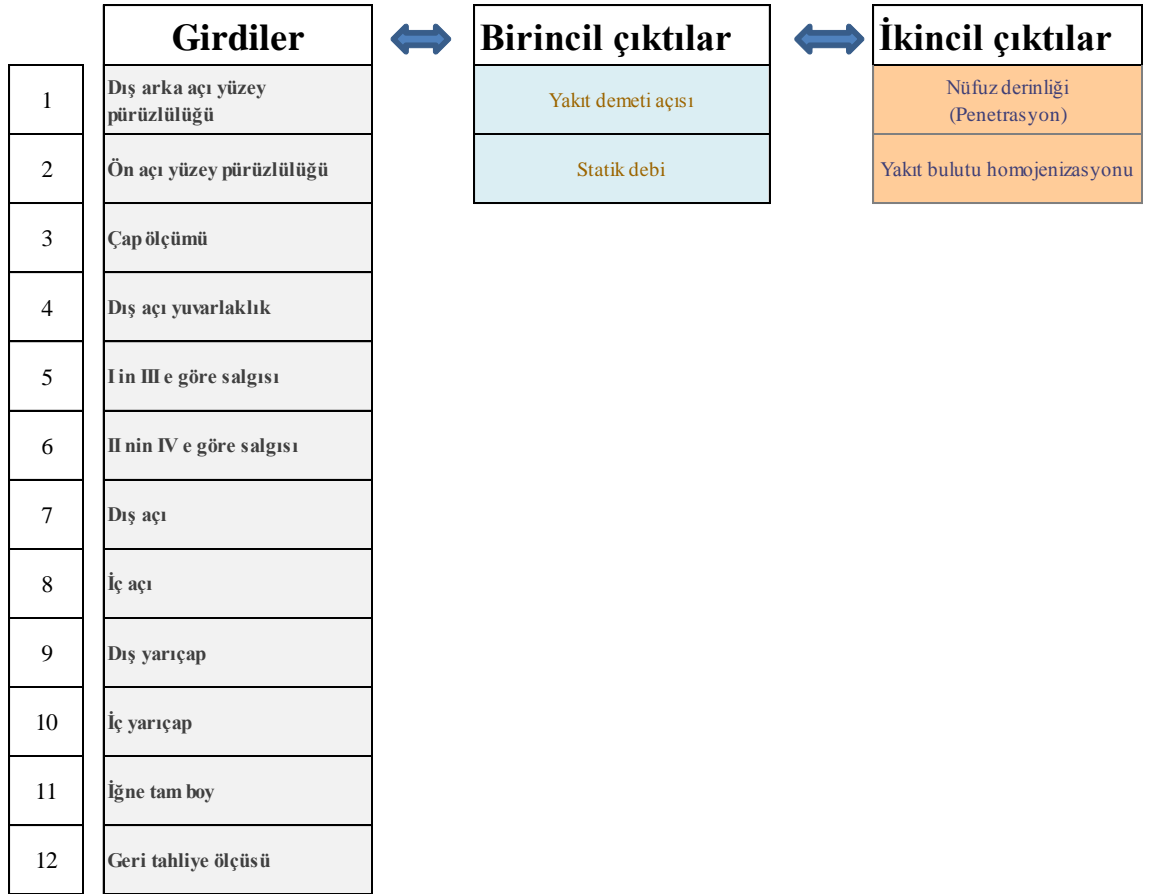
Deneme sonunda iğne kalkma miktarı arttıkça nüfuz miktarının arttığı görülmüştür. Aynı zamanda enjektörün açık kalma süresiyle doğru orantılı olarak nüfuz miktarı da artmaktadır.

5. İĞNE ve GÖVDE ÖLÇÜLERİNİN YAKIT DEMETİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Bu bölümde iğne ve gövdenin sayısal ölçülerindeki değişimin yakıt demeti açısı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bahsedildiği üzere toplam 25 adet deneme enjektörü üretilmiş ve değerler sayısal olarak grafiklerde incelenmiştir. Gerekli durumlarda yakıt demeti görüntülerine de yer verilmiştir.

Değerlendirme sürecinde aşağıdaki metodik yol takip edilmiştir.

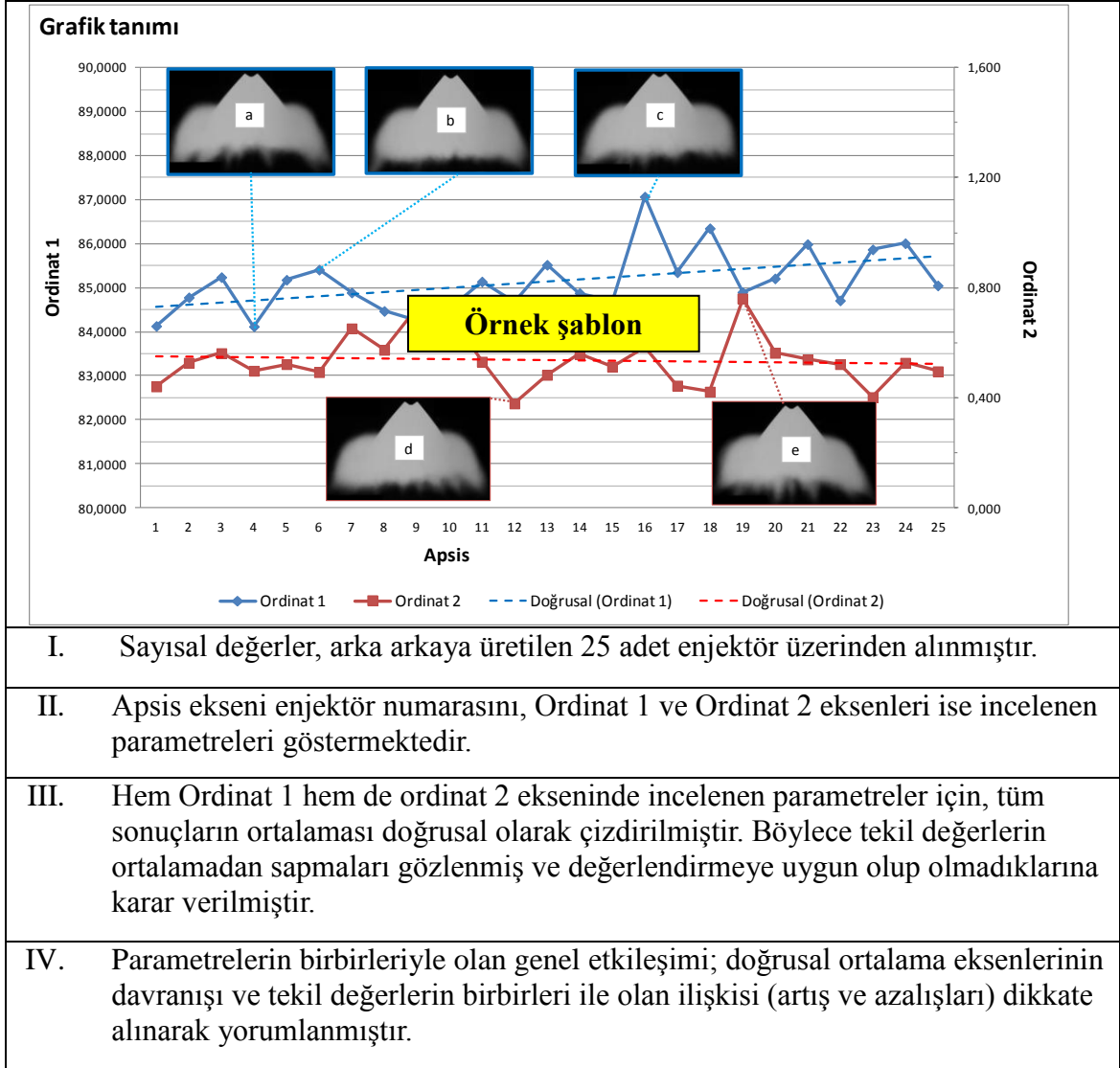
Çizelge 5. 1. Değerlendirme süreci



Öncelikle girdiler ile birincil çıktılarının birbirleriyle olan ilişkisi incelenecektir. Grafikler üzerinden yapılan değerlendirmelerin ardından, birincil çıktılar ile ikincil çıktılarının arasında bağlantı kurulacaktır.

Bu bölümde verilecek grafiklerin yorumlanması Çizelge 5.2'deki hususlar dikkate alınmalıdır.

Çizelge 5. 2 Grafiklerin yorumlanmasında dikkate alınması gereken hususlar



Ayrıca; karakteristiklere bağlı oluşturulan grafiklerde yer alan a, b, c, d, e, f fotoğraflarına ait tanımlamalar aşağıdaki gibidir. Bu tanımlamalar tüm grafiklerde ortaktır.

- a : Minimum yakıt demeti açısındaki bulut görüntüsü
- b : İdeal (ortalama) yakıt demeti açısındaki bulut görüntüsü
- c : Maksimum yakıt demeti açısındaki bulut görüntüsü

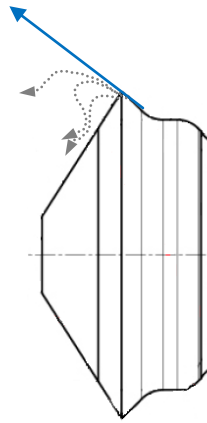
- d : Grafikteki diğer parametrenin minimum değerindeki bulut görüntüsü
e : Grafikteki diğer parametrenin ideal (ortalama) değerindeki bulut görüntüsü
f : Grafikteki diğer parametrenin maksimum değerindeki bulut görüntüsü

Bulut görüntülerine ait fotoğraflar ikincil çıktı olarak değerlendirilmiştir ve girdiler ile doğrudan ilişkileri yoktur. Bu nedenle grafiklerde görüntülere bilgi amaçlı yer verilmiş ancak davranışları hakkında yorum yapılmamıştır. Bulut görüntüleri birincil ve ikincil çıktılar arasındaki ilişkilerin gösterildiği bölümde yorumlanmıştır.

5.1. Girdiler ve Birincil Çıktılar Arasındaki İlişkiler

5.1.1. Dış arka açılı yüzey pürüzlülüğü

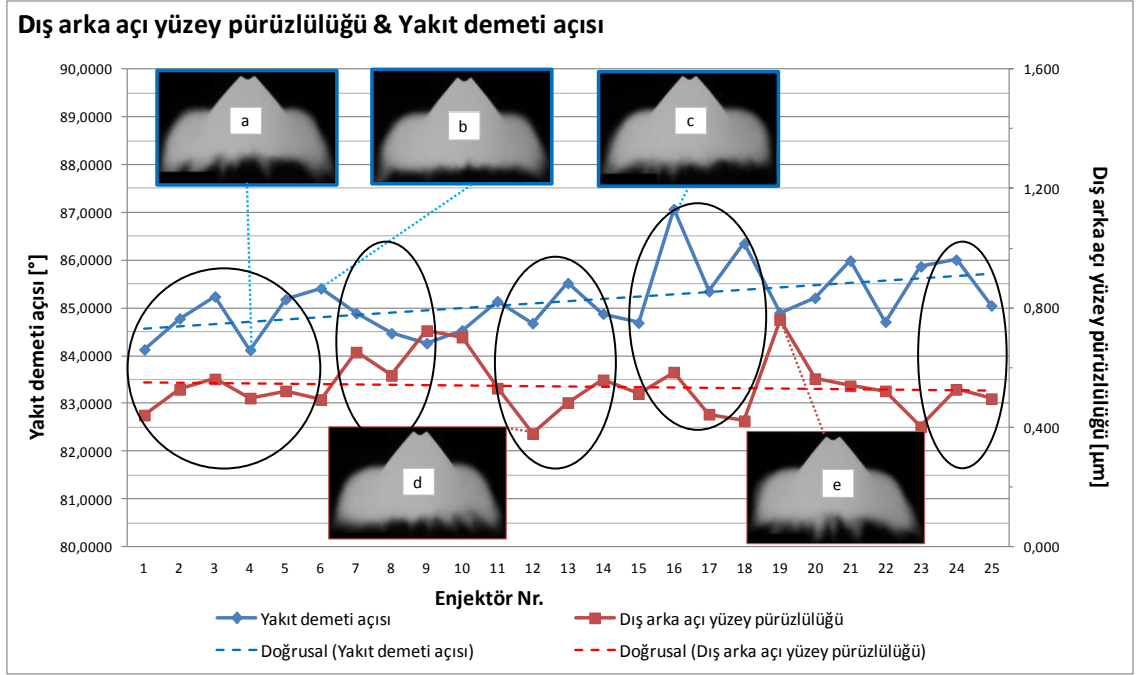
Dış arka açılı yüzey pürüzlülüğü yakıt demeti karakteristiği üzerinde doğrudan değil ancak dolaylı olarak etkilidir. Şekil 5.1’de gösterildiği üzere, dışarı çıkan yakıtın çok küçük bir kısmı iğne duvarına yapışmaktadır. Bunun sebebi ise, tam iğne keskin köşesinde yakıt basıncının düşmesi ve bu nedenle taneciklerin iğne yüzeyine doğru yön değiştirmesidir. Bu parametrenin etkisi diğer parametrelerin etkisi yanında oldukça düşüktür.



Şekil 5. 1 İğne keskin köşesinde yakıt taneciklerinin hareketi

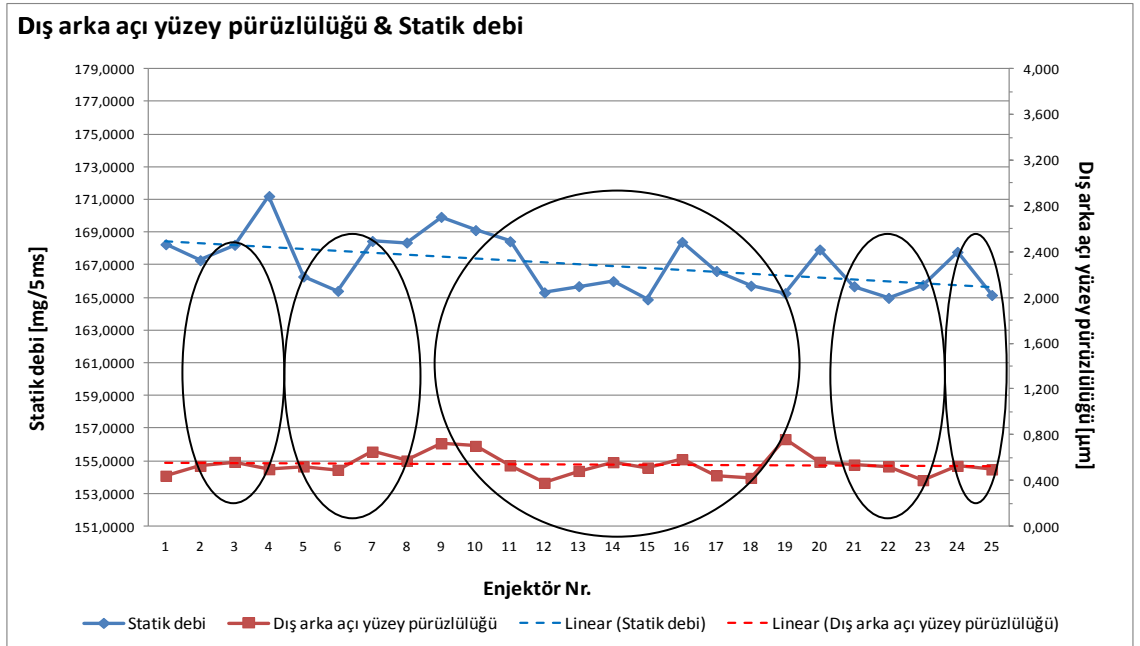
→ Doğrusal tanecik hareketi → Yüzeğe yapışan tanecik hareketi

Dış arka açılı yüzey pürüzlülüğünün yakıt demeti açısına etkisi Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5. 2. Dış arka açılı yüzey pürüzlülüğünün yakıt demeti açısına etkisi

Şekil 5.2’de görüleceği gibi dış arka açılı yüzey pürüzlülüğü ile yakıt demeti açısı arasında kısmi bir ilişki bulunmaktadır. Yüzey pürüzlülüğünün aşağı ve yukarı değişimleri ile yakıt demeti açısında aynı yönde fakat farklı şiddette değişimler olmaktadır.

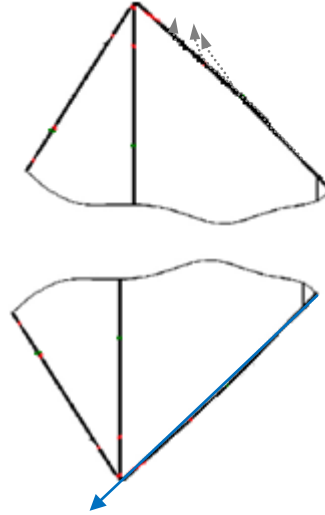


Şekil 5. 3. Dış arka açılı yüzey pürüzlülüğünün debiye etkisi

Şekil 5.3’de dış arka açılı yüzey pürüzlülüğünün debi ile birçok noktada yakından ilişkide olduğu görülmektedir. Bunun başlıca sebebi Şekil 5.1’de bahsedilen yakıt demeti taneciklerin sapması ve yakıt demeti açısının değişmesidir. Yakıt yüksek basınç altında püskürtüldüğü için yakıt demeti açısı arttıkça tanecikler birbirinden bağımsız olarak yanma odasına yönelmekte ve böylece ortam basıncından daha az etkilenmektedirler. Dolayısıyla birim zamanda daha fazla yakıt yanma odasına gönderilmektedir. Noktalar yakından incelendiğinde dış arka yüzey pürüzlülüğündeki değişimin yönü ve şiddeti statik debiyi, yakıt demeti açısına oranla daha fazla etkilemektedir.

5.1.2. Dış ön açılı yüzey pürüzlülüğü

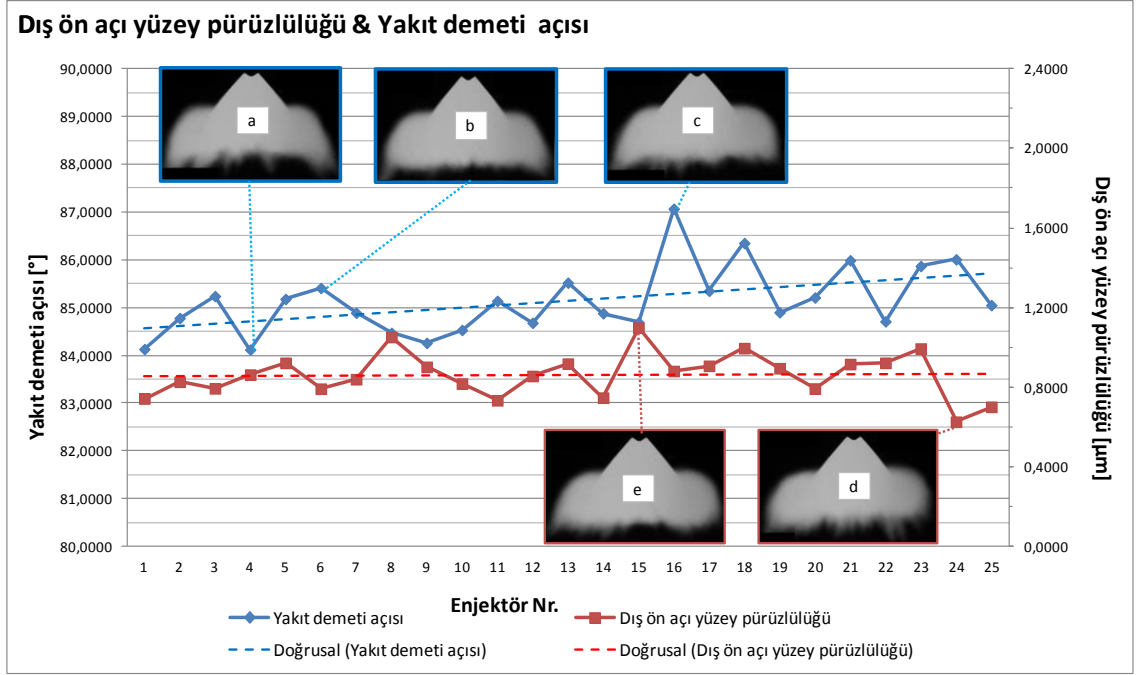
Dış arka açılı yüzey pürüzlülüğünde olduğu gibi dış ön açılı yüzey pürüzlülüğünün de etkisi diğer parametrelere nazaran düşük seviyelerdedir. Yakıt tanecikleri iğne yüzeyine yapışmakta ve hızları düşmektedir. Ancak dış arka yüzey pürüzlülüğündekinin aksine bunun sebebi düşük basınç bölgesi değil, bizzat yüzeyin üzerindeki girinti ve çıkıntılardır. Şekil 5.4’de yüzey üzerindeki girinti ve çıkıntının yakıt demeti taneciklerine etkisi gösterilmektedir.



Şekil 5. 4. İğne keski köşesinde yakıt taneciklerinin hareketi

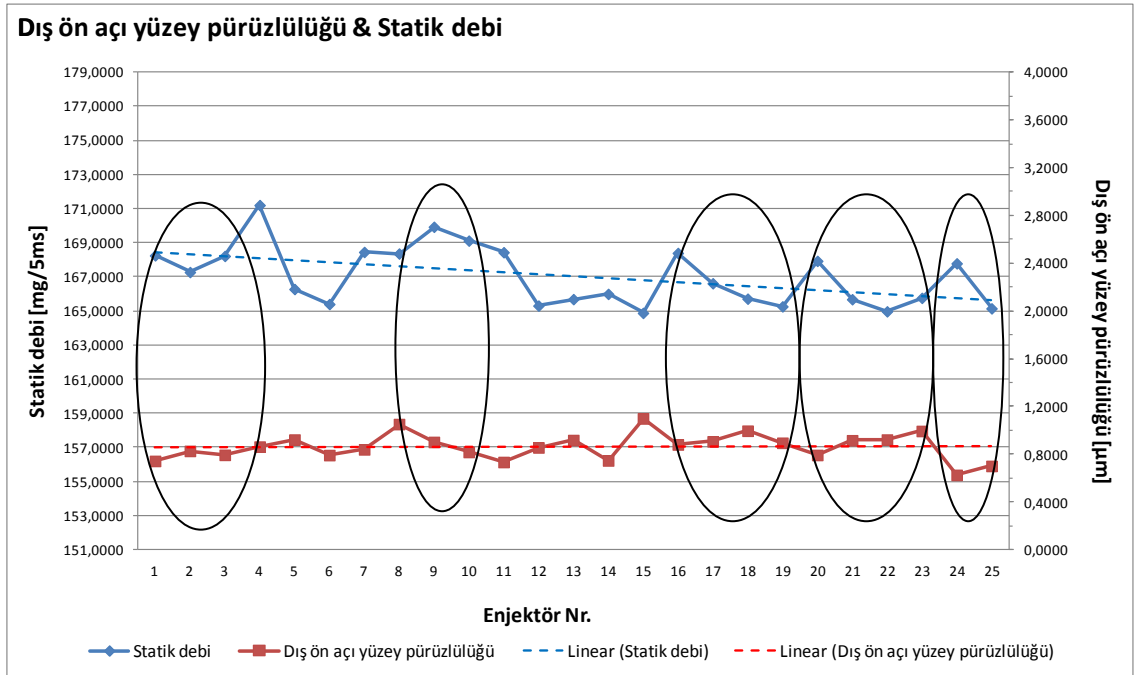
- Doğrusal tanecik hareketi
- Yüzeye yapışan tanecik hareketi

Dış ön aç yüzey pürüzlülüğünün yakıt demeti açısına etkisi Şekil 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5. 5. Dış ön aç yüzey pürüzlülüğünün yakıt demeti açısına etkisi

Şekil 5.5’de görüleceği gibi dış ön aç yüzey pürüzlülüğünde çok küçük değişimler olurken yakıt demeti açısı bağımsız olarak artma ve azalma eğilimindedir. Dış ön aç yüzey pürüzlülüğünün debi üzerindeki etkisi Şekil 5.6’da verilmiştir.

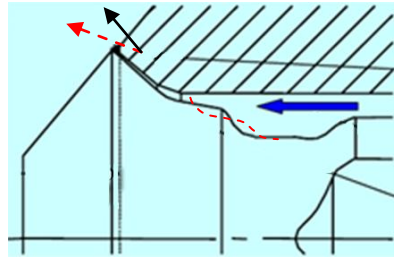


Şekil 5. 6. Dış ön aç yüzey pürüzlülüğünün debiye etkisi

Yakıt demeti açısının aksine dış ön açı yüzey pürüzlülüğünün debi üzerinde etkisi daha fazladır. Bunun sebebi Şekil 5.6’da gösterilen yüzey üzerindeki girinti ve çıkıntıların yakıt taneciklerinin hareketine etki etmesidir. Yani yüzey pürüzlüğü arttığında yakıt tanecikleri kolay hareket edemeyecek dolayısıyla debi azacaktır. Aksi durumda ise debi artacaktır. Şekil 5.6’da bu duruma uyan ve uymayan noktalar mevcuttur. Uymayan noktalardaki temel etki enjektörün diğer baskın parametrelerinden kaynaklanmaktadır.

5.1.3. Oturma yüzeyi alt bölgesi çap ölçüsü

Oturma yüzeyi alt bölgesi çap ölçüsü yakıt demeti açısı üzerinde oldukça etkilidir. Bu etkinin sebebi ise; çapa bağlı olarak birim zamanda silindir içinde gönderilen yakıt miktarının artması ya da azalmasıdır. Şekil 5.7’de görüleceği üzere çap küçüldükçe yakıt miktarı artmakta, çap büyüdükçe yakıt miktarı azalmaktadır. Çap küçüldüğünde yakıt miktarı artacaktır ve yakıt bulutunda kırılmalar azalacaktır. Böylece doğrusal olarak ilerleyen yakıt tanecik sayısı artacak, yakıt tanecikleri daha az kuvvetle karşılaşacağından yakıt demeti açısı artacaktır.



Şekil 5. 7. Oturma yüzeyi alt bölgesi çap ölçüsünün yakıt demeti açısına etkisi

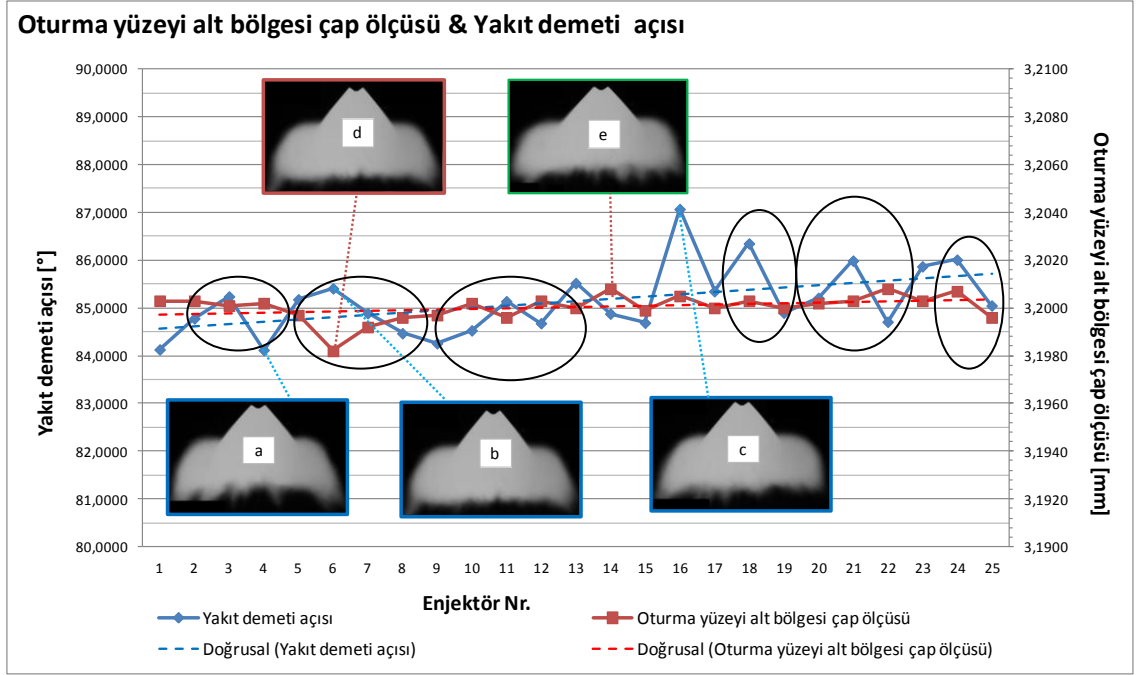
----- Küçük çap

— Büyük çap ← Yakıt Yolu

← Küçük çap sonrası yakıt demeti açısı

← Büyük çap sonrası yakıt demeti açısı

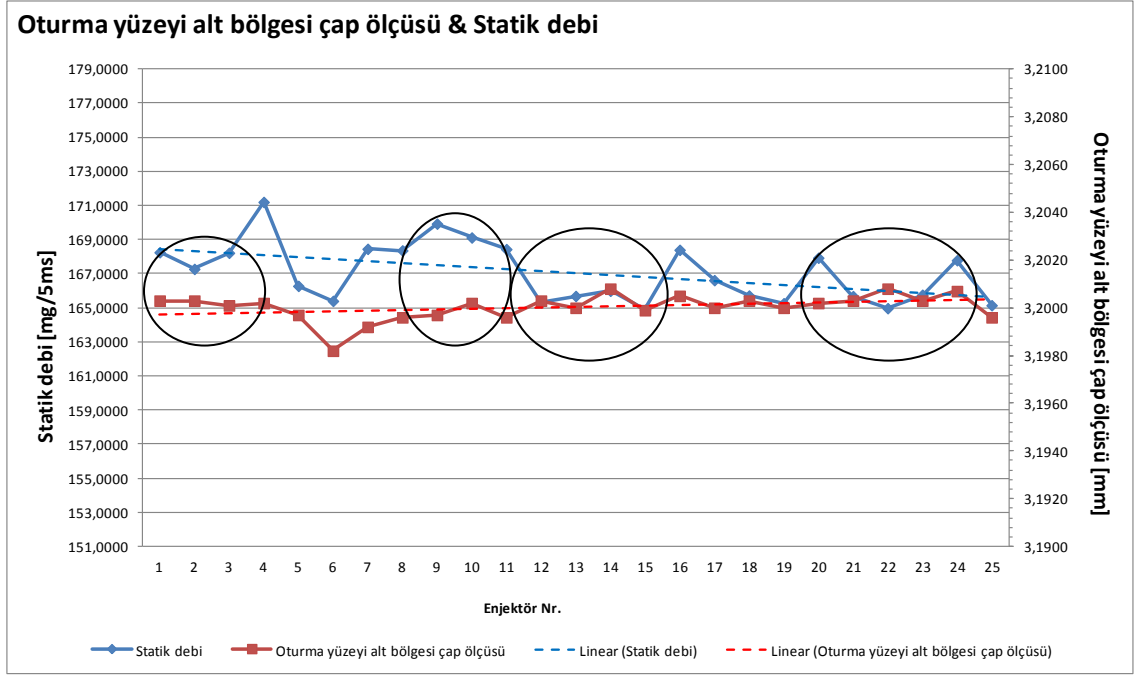
Oturma yüzeyi alt bölgesi çap ölçüsünün yakıt demeti açısına etkisi Şekil 5.8de verilmiştir.



Şekil 5. 8. Oturma yüzeyi alt bölgesi çap ölçüsünün yakıt demeti açısına etkisi

Şekil 5.8’deki grafikte lineer eğriler ve değerler tekil olarak incelendiğinde oturma yüzeyi alt bölgesi çap ölçüsü azaldığında yakıt demeti açısı artmaktadır ve çap ölçüsü arttığında ise yakıt demeti açısı artmaktadır. Az sayıdaki ara değerdeki farklı etkiler diğer baskın parametrelerden kaynaklanmaktadır.

Oturma yüzeyi alt bölgesi çap ölçüsünün Debi üzerindeki etkisi Şekil 5.9’da verilmiştir.

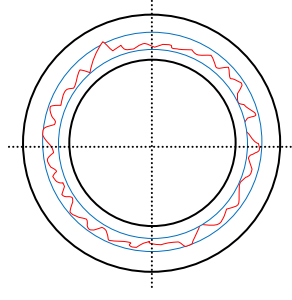


Şekil 5. 9. Oturma yüzeyi alt bölgesi çap ölçüsünün debiye etkisi

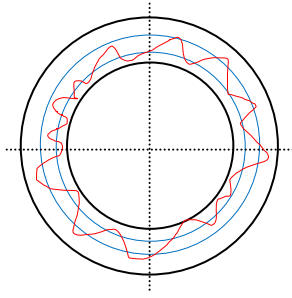
Şekil 5.8’de bahsedildiği üzere oturma yüzeyi alt bölgesi çap ölçüsü azaldığında o bölgeden yakıt miktarı artacaktır. Bu nedenle oturma yüzeyi alt bölgesi çap ölçüsü ile debi arasında ters orantı vardır. Şekil 5.9 incelendiğinde bu ilişki görülebilir. Tekil farklılıklar diğer baskın parametrelerin etkisinden kaynaklanmaktadır.

5.1.4. Dış açı yuvarlaklık

Silindirik yüzeylerdeki yuvarlaklık ölçümü ile yüzeyin ne kadar yuvarlak ya da elipsel olduğu anlaşılır. Yüzeyin elipsselliği arttıkça ölçüm sonucu değeri 0 dan uzaklaşır. Tam yuvarlak yüzeylerde ise değer 0 dır. Silindirik yüzeyin konumuna göre bu değer çok önemli ya da önemsiz olabilmektedir. Sabit bağlantı noktalarında ve harici bir ayar noktasına bağlı parçalar için yuvarlaklık nispeten daha ay önemlidir. Ancak hareketli bağlantı noktalarında ve hava/sıvı akışıyla doğrudan temasta olan parçalar için yuvarlaklık ölçüsü çok önemli olmaktadır. Şekil 5.10’da yuvarlaklığın ideal durumu ve Şekil 5.11’de ideal durumdan sapması gösterilmiştir.



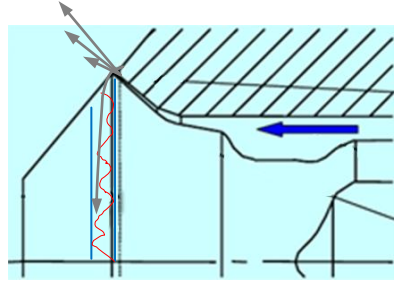
Şekil 5. 10. İdeal yuvarlaklık



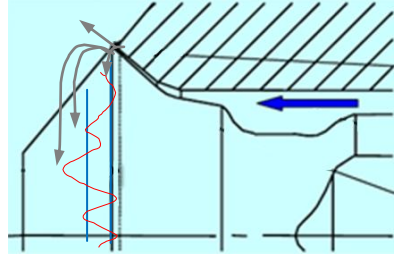
Şekil 5. 11. İdeal durumdan sapma

Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de siyah renkli daireler silindirin iç ve dış yüzeylerini göstermektedir. Kırmızı renkli dağılım ise yüzeyin taranması sonucu elde edilen konturdur.

Bu konturun mavi çizgiler arasında ve simetrik olması ideal durumdur. Kırmızı çizgiler ne kadar düz ise yuvarlaklık o kadar sifıra yakındır. Şekil 5.10 ideal durum gösterilmiştir. Şekil 5.11’de ise sapmanın iki sebebi vardır. Birincisi yüzeydeki elips formudur. İkincisi de kırmızı çizgilerin dağınık olması yani yüzeydeki dalgalanmalardır. İğne dış açısı üzerindeki yuvarlaklık yakıt demeti açısıyla birebir ilgilidir. Bunun sebebi Şekil 5.12 ve Şekil 5.13’de gösterilmiştir. Yüzeydeki dalgalanmalar ve elipsellik arttıkça yakıt demeti taneciklerinin sapması da artmaktadır. Bu nedenle yakıt demeti açısı artmaktadır. Yuvarlaklık azaldıkça ise yakıt demeti açısı iğnenin dış ve iç açısı değerlerine bağlı olmaktadır.



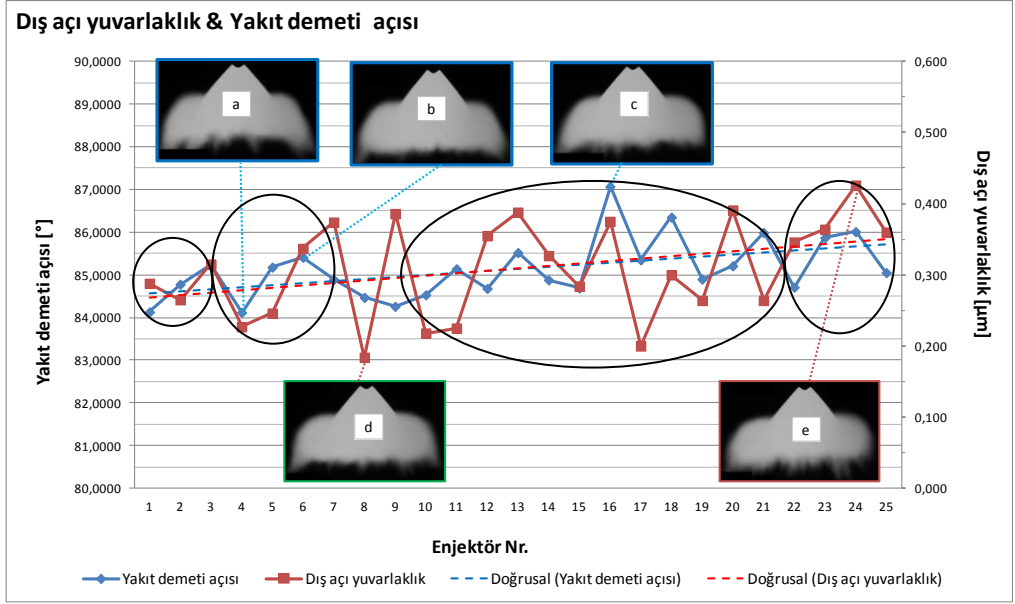
Şekil 5. 12. İğne dış açısı yuvarlaklık ideal durum & Yakıt demeti tanecik hareketi



Şekil 5. 13. İğne dış açısı yuvarlaklık idealden sapma durumu & Yakıt demeti tanecik hareketi

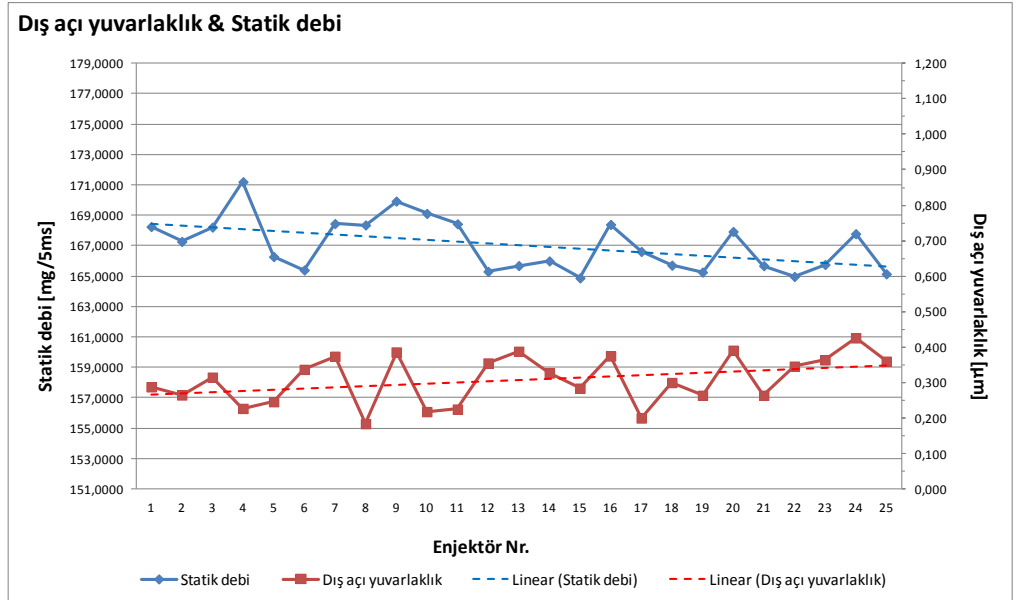
Şekil 5.12 ve Şekil 5.13’de görüldüğü gibi ideal yuvarlaklık durumunda yani elipselliğin ve yüzeydeki dalgalanmaların az olduğu durumda yakıt taneciklerinin sapması da azalmaktadır.

Aksi durumda ise yakıt taneciklerin sapması arttığı için yakıt demeti açısı artmaktadır. İğne dış açısı yuvarlaklık ölçüsünün yakıt demeti açısına etkisi Şekil 5.14’de verilmiştir.



Şekil 5. 14. İğne dış açılı yuvarlaklık ölçüsünün yakıt demeti açısına etkisi

Görüldüğü üzere yuvarlaklık ölçüsü ile yakıt demeti açısı arasında doğrudan bir bağlantı vardır. Hem değerlerin bütününün de hem tekil değerlerde yuvarlaklık arttıkça yakıt demeti açısı artmakta, yuvarlaklık azaldıkça yakıt demeti açısı azalmaktadır. İğne dış açılı yuvarlaklık ölçüsünün debiye etkisi Şekil 5.15’de verilmiştir.

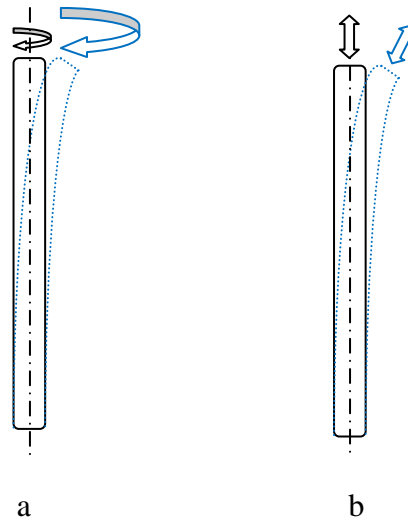


Şekil 5. 15. İğne dış açılı yuvarlaklık ölçüsünün debiye etkisi

İğne dış açılı yuvarlaklık ölçüsünün debi ile doğrudan bir bağlantısı olmasa da yuvarlaklık arttıkça debinin arttığı görülmektedir. Daha kesin bir değerlendirme için diğer baskın parametrelerin etkisi elimine edilmelidir.

5.1.5. I'in III'e göre salgısı

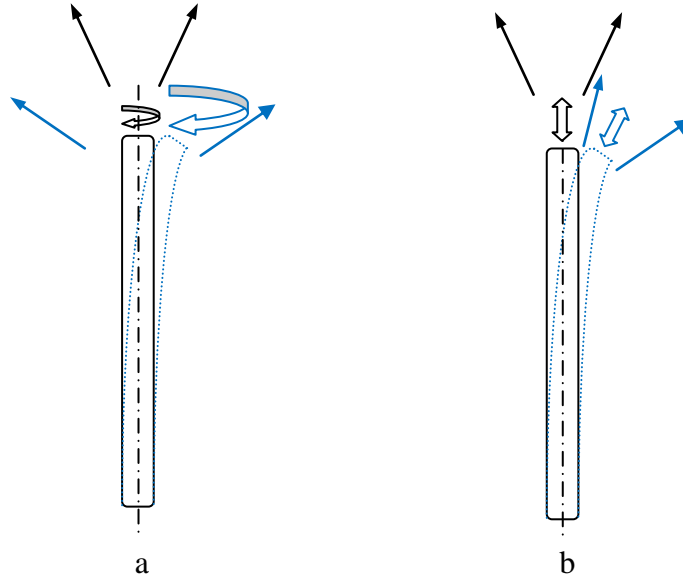
Salgı temel anlamda merkezden kaçıklık anlamına gelmektedir. Silindirik ve dönele parçalarda salgı hareketin yönüne göre etkili olabilmektedir. Şekil 5.16'da salgının silindirik parçalar üzerindeki muhtemel etkileri gösterilmiştir.



Şekil 5. 16. Salgının silindirik parçalar üzerindeki muhtemel etkileri

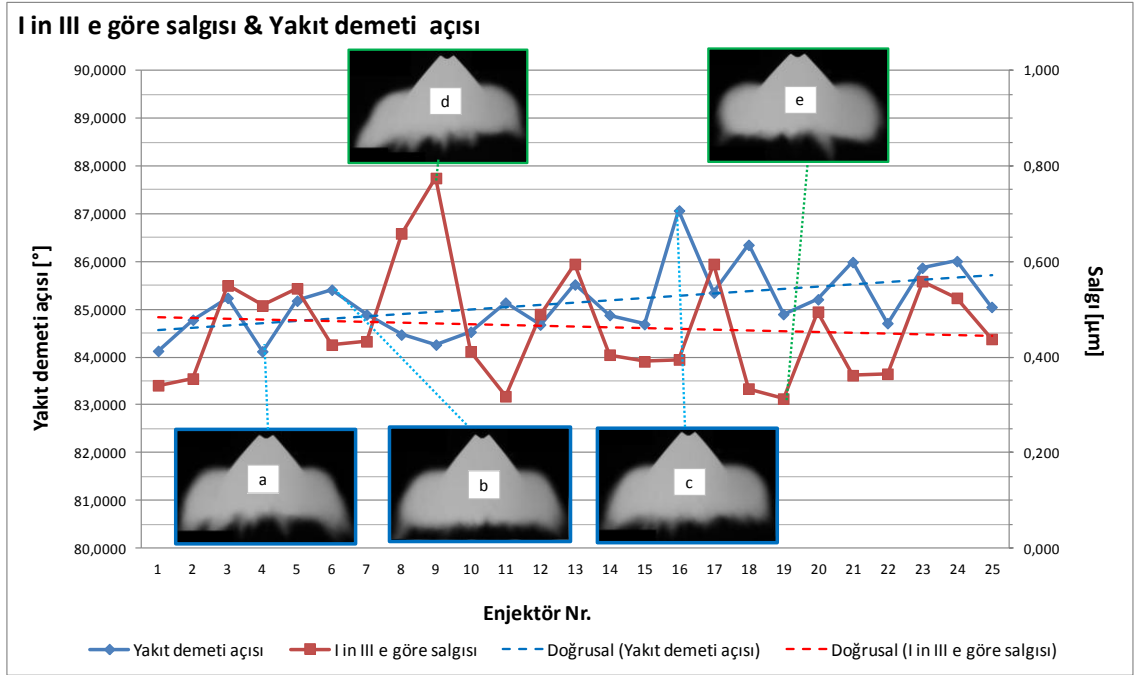
Şekil 5.16a'da silindirik parça dönel hareket yapmaktadır. Salgının büyük olması çevresel hızı ve silindirik parçanın yatakladığı çepere temasını arttıracaktır. Bu durumda yatakta aşınmalar meydana gelecek, uzun vadede çapak oluşacak ve silindirik parça işlemez hale gelecektir. Eğer dönel parçanın üzerinden aynı anda bir sıvı akışı ve püskürtme meydana geliyorsa bu sıvının da püskürtme açısı çevresel hıza bağlı olarak artacaktır.

Şekil 5.16b'de silindirik parça doğrusal hareket yapmaktadır. Salgının büyük olması çevresel hızı arttırmayacak ancak iğnenin doğrultusu değişecektir. Enjektör iğnesi de doğrusal hareket yapmaktadır. Dolayısıyla salgının yakıt demeti açısına doğrudan bir etkisinin olması beklenmemektedir. Ancak yakıt demeti eksen doğrultusu iğne doğrultusuna bağlı olarak değişecektir.



Şekil 5.17. Salgıya bağlı olarak yakıt demeti açısının muhtemel değişimi

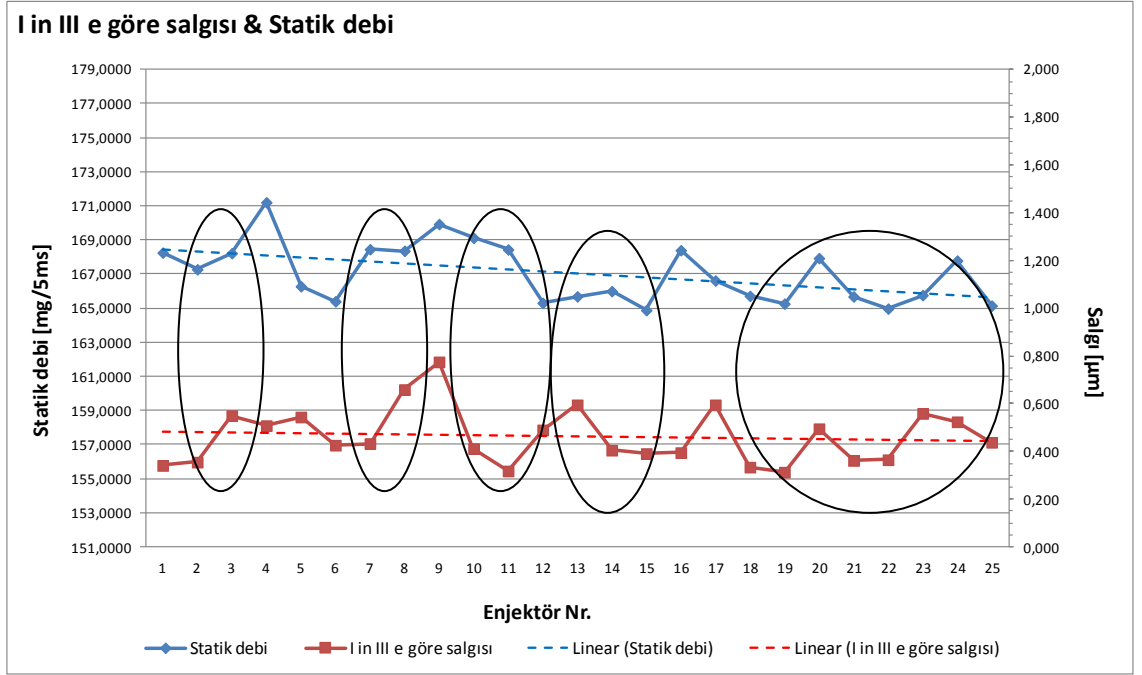
Şekil 5.17a'da dönel silindirik parçalarda salgının artmasıyla yakıt demeti açısının arttığı ancak ekseninin değişmediği görülmektedir. Şekil 5.17b'de aksel silindirik parçalarda ise yakıt demeti açısının hemen hemen aynı kaldığı ekseninin ise iğne eksenine bağlı olarak değiştiği görülmektedir. İğne üzerindeki I in III ye göre salgısının yakıt demeti açısına etkisi Şekil 5.18'de verilmiştir.



Şekil 5.18. İğne üzerindeki I in III ye göre salgısının yakıt demeti açısına etkisi

Şekil 5.18'de görüldüğü üzere yakıt demeti açısı salğıdan bağımsız olarak değişmektedir. Ancak I ve III noktaları iğne ve gövde arasındaki mesafenin en az olduğu noktalardır. Bu nedenle iğne üzerindeki salğı iğnenin gövde çeperine çarpmasına ve aşınmaya sebep olacaktır. Sonuç olarak uzun vadede oluşan çapaklar yakıt ile birlikte atılacak bu esnada yakıt demeti formunda bozulmalara neden olacaktır. buradan hareketle I ve III noktalarındaki salğı yakıt demeti açısı üzerinde etkili olmasa da uzun vadede yakıt demeti formu üzerinde etkili olacaktır.

İğne üzerindeki I in III ye göre salğısının yakıt demeti açısına etkisi Şekil 5.19'da verilmiştir.

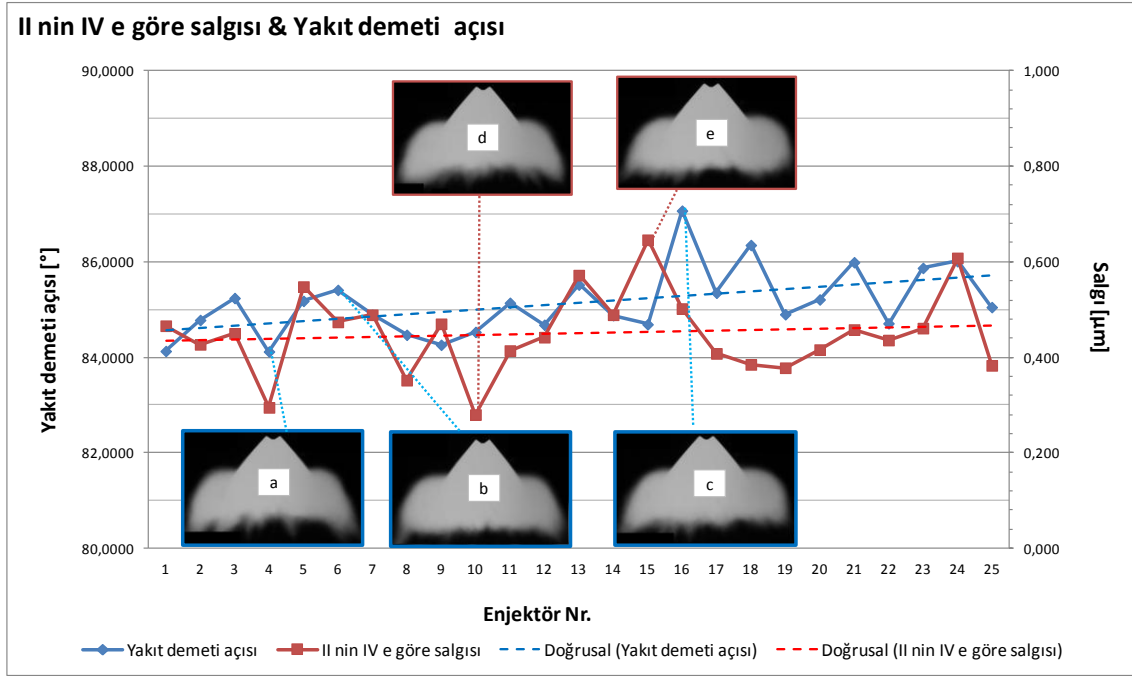


Şekil 5. 19. İğne üzerindeki I in III ye göre salğısının debiye etkisi

Şekil 5.19'daki yakıt demeti açısının aksine üzerindeki I in III ye göre salğısının debi üzerindeki etkisi yüksektir. Bunun sebebi ise salgılı bölgeden geçen yakıt miktarının artmasıdır. Aynı şekilde salğı değeri düştükçe debi de azalacak ve ideal duruma yaklaşacaktır.

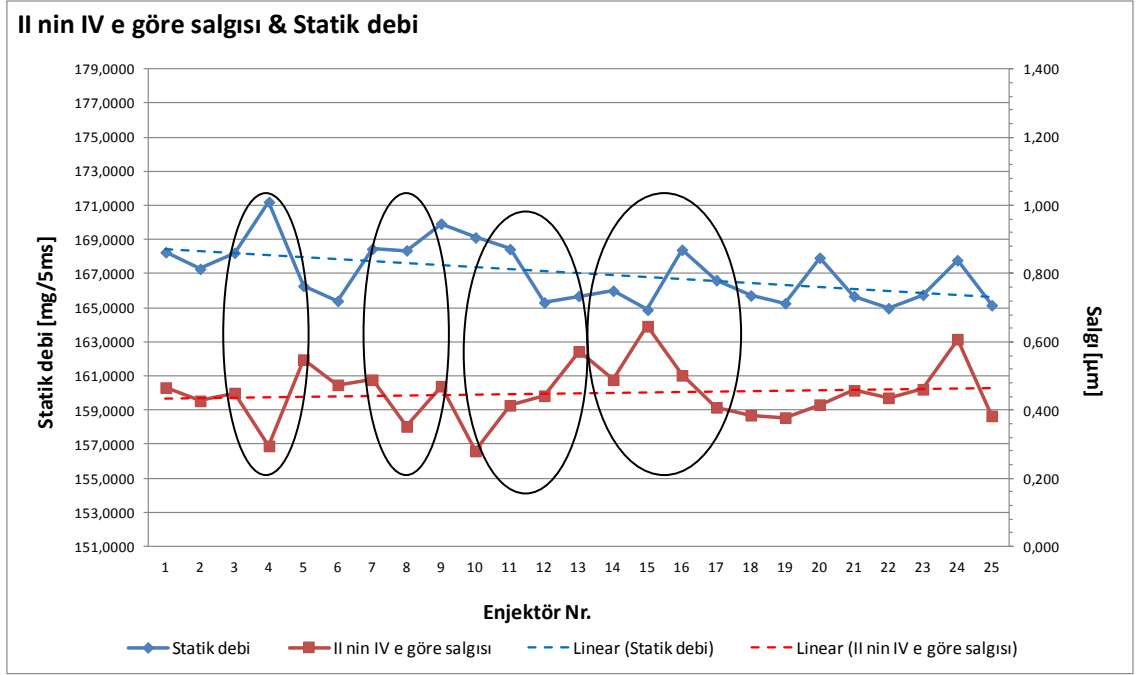
5.1.6. II in IV e göre salgısı

Bir önceki bölümde bahsedilen salgı etki koşulları bu bölüm için de geçerlidir. ancak farklı olarak II ve IV bölgeleri gövde çeperi ile temasta olmadığından buradaki etki I ve III bölgelerine göre daha az olacaktır. Bu bölgelerdeki artan salgı seviyesi doğrudan I ve III bölgelerine etkiyecektir ve bir önceki bölümde bahsedilen aşınmaların artmasına sebep olacaktır. Ayrıca II ve IV bölgeleri iğne boyunu olarak görev yaptığından yüksek salgı miktarı uyun vadede iğnenin ekseninin değişmesine ve iğne ucundan yakıt sızıntısına sebep olacaktır. İğne üzerindeki II nin IV e göre salgısının yakıt demeti açısına etkisi Şekil 5.20’de verilmiştir.



Şekil 5. 20. İğne üzerindeki II in IV e göre salgısının yakıt demeti açısına etkisi

Bir önceki bölümde de açıklandığı gibi II ve IV ncu bölgelerin de yakıt demeti açısı üzerinde doğrudan bir etkisi olmamaktadır. İğne üzerindeki II nin IV e göre salgısının debiye etkisi Şekil 5.21’de verilmiştir.



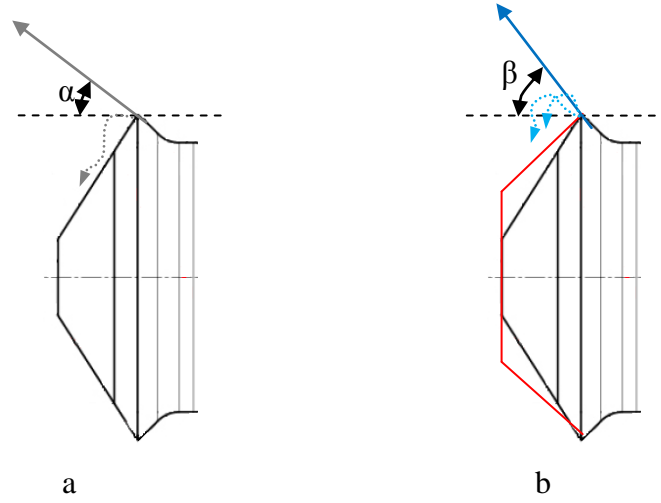
Şekil 5. 21. İğne üzerindeki II in IV e göre salgısının debiye etkisi

Şekil 5.19'dakinin aksine İğne üzerindeki II in IV e göre salgısının debiye etkisi aynı yönlü değil ters yönlü olacaktır. II ve IV noktaları I ve III noktaları için kaldırma etkisi yapmaktadır. Yani II ve IV noktalarının bir yöndeki hareketi 1 ve II noktalarının tam aksi yöne hareket etmesine neden olmaktadır. Bu nedenle bu noktadaki salgı miktarı arttıkça debi miktarı düşmektedir. Tekil farklılıklar ise diğer baskın parametrelerden kaynaklanmaktadır.

5.1.7. Dış açı

İğne baş bölgesindeki iki açıdan biri olan dış açının yakıt tanecikleri ile teması azdır ancak yüzey pürüzlülüğü nedeniyle doğrultusu değişen yakıt taneciklerinin silindir içine yönlendirilmesinde önemli görev yapar. Dış açının yüksek olduğu durumda, pürüzlülük nedeniyle doğrultusu değişen yakıt tanecikleri asıl yakıt demeti bulutuna yönlendirilir bu durumda asıl yakıt demeti bulutunda kırılmalara neden olur. Dış açının düşük olduğu durumda ise pürüzlülük nedeniyle doğrultusu değişen yakıt tanecikleri silindir içine uygun şekilde yönlendirilmez.

Bu yakıt tanecikleri asıl yakıt bulutuyla temas etmez ancak yanmaya da aktif olarak katılamaz. Bu durum Şekil 5.22’de şematize edilmiştir.

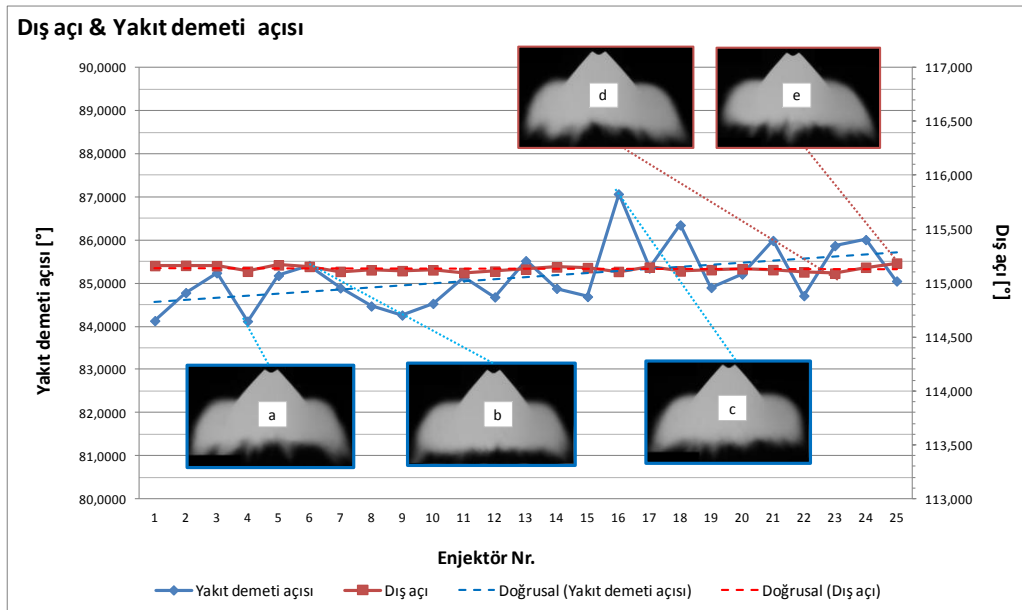


Şekil 5. 22. Dış açının yakıt taneciklerinin yönlendirilmesi üzerindeki etkisi

Yukarıda görüleceği üzere yakıt tanecikleri yakıt demeti açısını etkilemektedir. Dış açı arttıkça yakıt tanecikleri dışa doğru yayılmakta ve yakıt demeti açısı artmaktadır. ($\beta > \alpha$)

Yüzey pürüzlülüğünün az olduğu durumlarda dış açının etkisi de az olmaktadır. Aksi durumda ise dış açı yakıt demeti açısını etkileyebilmektedir.

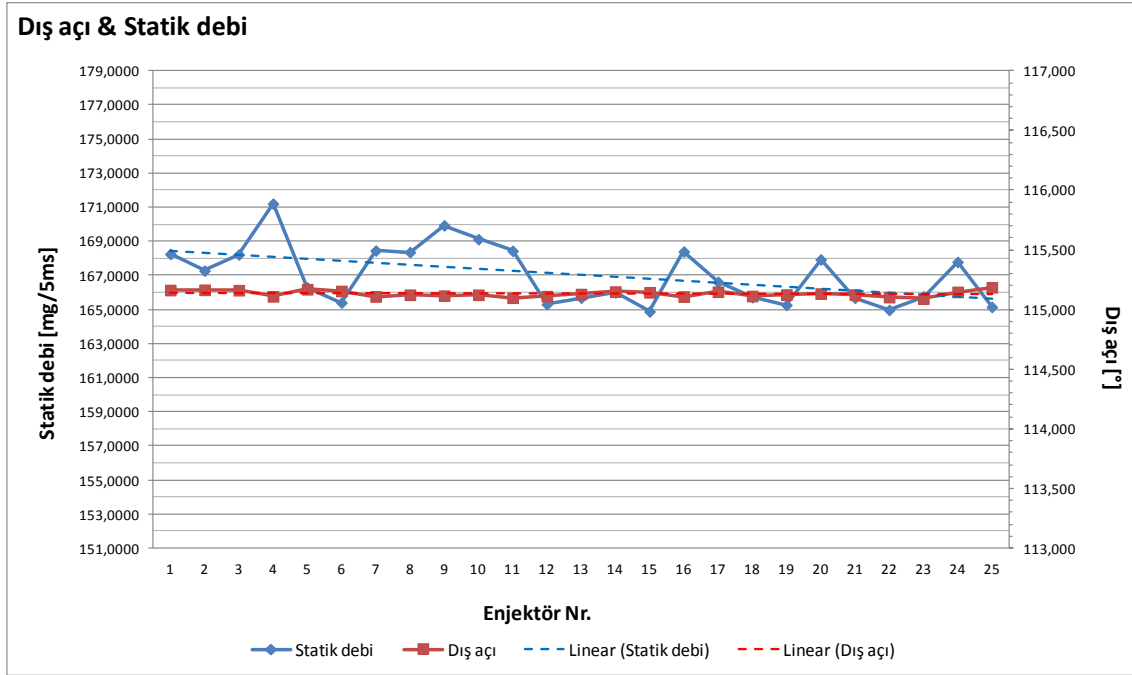
Dış açının yakıt demeti açısına etkisi Şekil 5.23’de verilmiştir.



Şekil 5. 23. Dış açının yakıt demeti açısına etkisi

Beklenildiği üzere dış açı sabit olmasına rağmen yakıt demeti açısı bağımsız olarak değişmektedir. Bu durum dış açı yüzey pürüzlülüğü ile yakından ilgilidir. Önceki bölümlerde bahsedildiği üzere dış açı yüzey pürüzlülüğü düşük seviyelerde olduğundan dış açının yakıt demeti açısına etkisi yoktur.

Dış açının debiye etkisi Şekil 5.24’de verilmiştir.



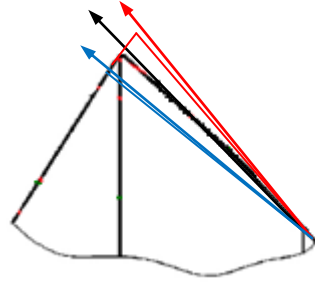
Şekil 5. 24. Dış açının debiye etkisi

Yakıt demeti açısında olduğu gibi dış açının da debi üzerinde etkisi yoktur. Debiyi belirleyen yakıt tanecikleri dış açıyla temas etmeden enjektörden ayrılmaktadır.

5.1.8. İç açı

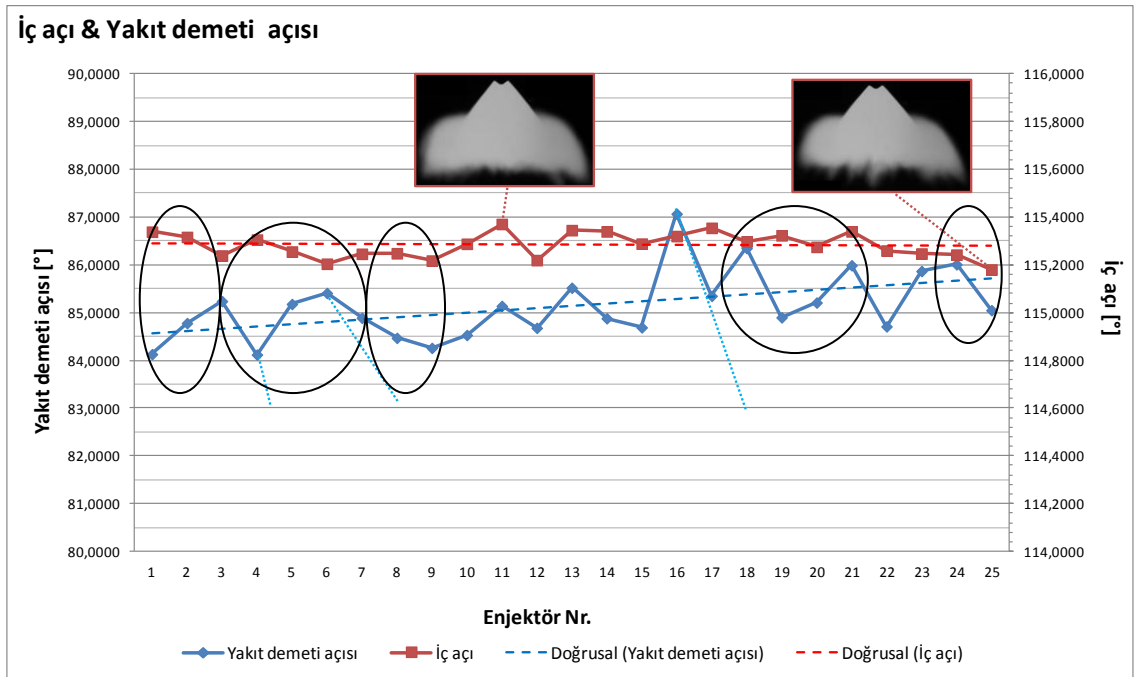
Yakıt demeti açısına etki eden en önemli parametrelerden birisi iç açıdır. Çünkü yakıt enjektörü terketmeden önce son olarak iç açı ile temas eder. İç açı doğrudan yakıt demetie doğrultu verir.

Şekil 5. 25 de iç açının yakıt taneciklerinin doğrultusuna etkisi gözlenmektedir.



Şekil 5. 25. İç açının yakıt taneciklerinin doğrultusuna etkisi

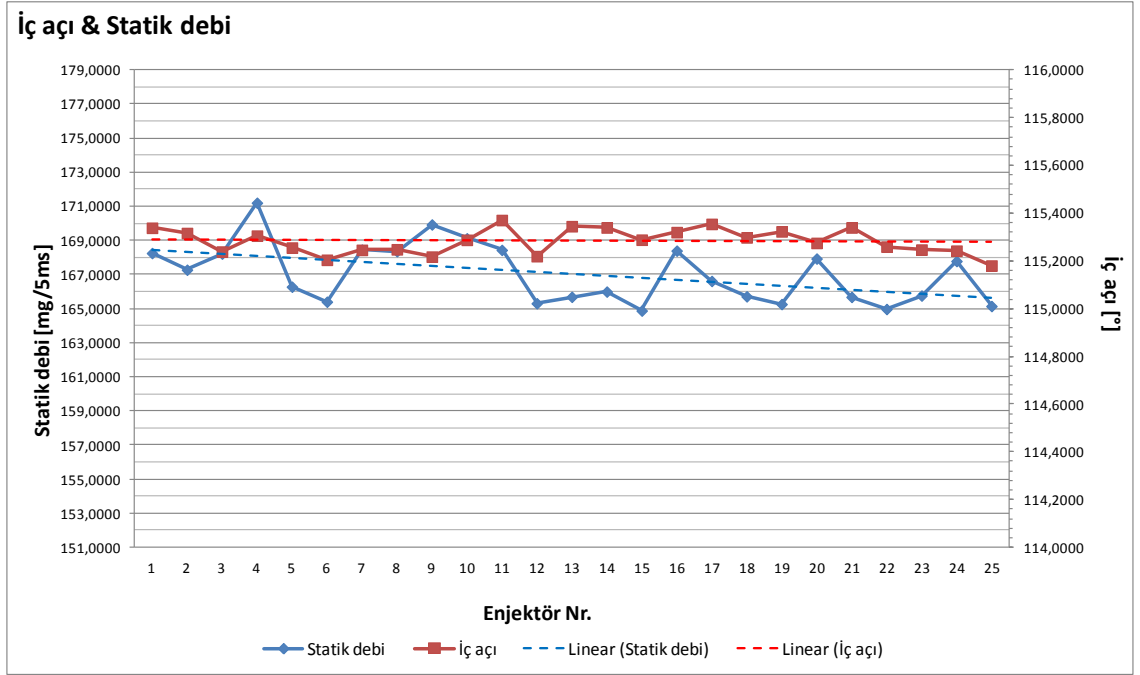
Yukarıdaki şekilde iç açı arttığında yakıt demeti açısının artması iç açı azaldığında ise yakıt demeti açısının azalması görülmektedir. Buna bağlı olarak iç açının yakıt demeti açısına etkisi Şekil 5.26'da verilmektedir.



Şekil 5. 26. İç açının yakıt demeti açısına etkisi

Teknik resim ölçüsünde iç açı 180° ye tamamlanmaktadır. Bu nedenle iç açı azaldığında yakıt demeti açısı artmaktadır. Yukarıda bahsedilen teori ile uyumluluk devam etmektedir. Aradaki sapan değerler ise diğer baskın parametrelerden kaynaklanmaktadır.

İç açının debiye etkisi Şekil 5. 27'de verilmektedir.



Şekil 5. 27. İç açının debiye etkisi

Şekil 5.27’de görüleceği üzere iç açığı ve debi arasındaki ilişki belli belirsiz seviyelerdedir. Debi iç açıdan bağımsız olarak artmakta ve azalmaktadır.

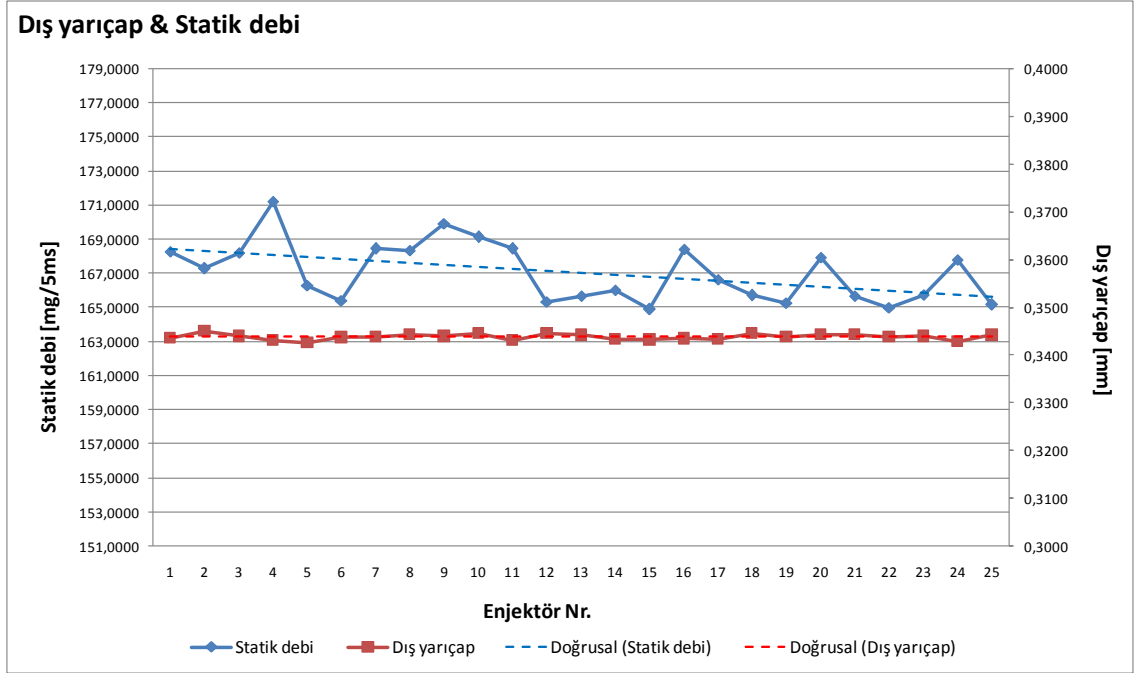
5.1.9. Dış yarıçap

Dış yarıçap İğne oturma yüzeyinin hemen altında yer alan iki tane yarıçaptan birisidir. Yakıt demeti açısına doğrudan etkisi yoktur ancak iğnenin açılması ve kapanması sırasında püskürtülecek yakıtın iğne ucuna sevk edilmesiyle ilgilidir. Dış yarıçapın büyük olması durumunda iğne yüzeyi ve gövde çeperi arasında daha az boşluk kalacağından daha az yakıt sevk edilecek ve dolayısıyla debi düşük olacaktır. Aksi durumda ise debi yükselecektir.

Debi nin düşük olması ayrıca yakıt bulutunun incelmesine ve kırılmalarına sebep olacaktır.

Yarıçapın sevk edilen yakıt miktarına etkisi Şekil 5.28’de gösterilmektedir.

Dış yarıçapın debiye etkisi ise Şekil 5.30' da verilmektedir.



Şekil 5. 30. Dış Yarıçapın debiye etkisi

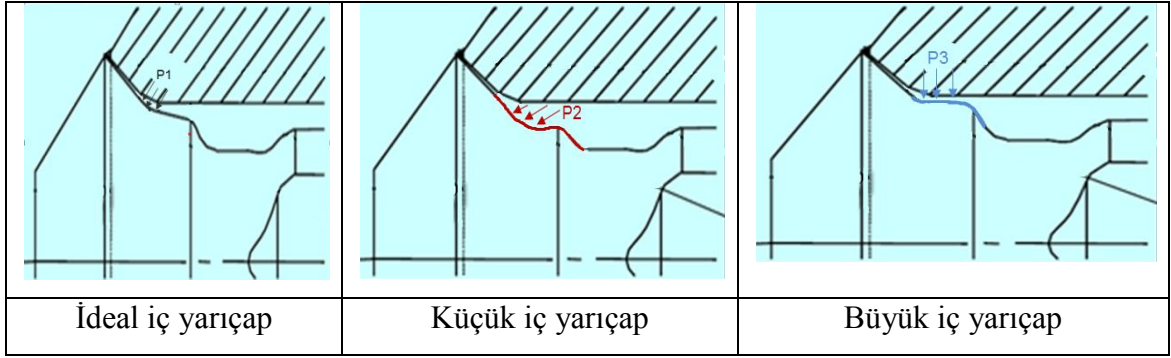
Şekil 5.29'da bahsedilen dış yarıçaptaki değişimin etkisi Şekil 5.30'da görülememektedir. Bunun sebebi ise dış yarıçaptaki değişimin çok küçük seviyelerde hemen hemen sabit kalmasıdır. Diğer baskın parametrelerin etkisiyle statik debi değişmektedir.

5.1.10. İç yarıçap

Bir önceki bölümde bahsedildiği üzere iç yarıçap de dış yarıçap gibi yakıt demeti açısı üzerinde etkili değildir. Ancak dış yarıçapın aksine iç yarıçap iğnenin açılma anında değil kapanma anında ki şiddetine ve hızına etki eder.

Küçük iç yarıçapın olduğu bölgede daha az yakıt birikeceği için kapanma hızlı olacaktır. Aynı şekilde açılma esnasında da açılma daha yavaş olmaktadır. Aksi durumda ise iğne hareketi hızlanmaktadır. İç yarıçap ayrıca iğne oturma yüzeyine etki eden kuvvetin şiddetine de etki etmektedir. Oturma yüzeyine etkileyen yakıt taneciklerin doğrultusu iç yarıçapın büyüklüğü ile ilişkilidir.

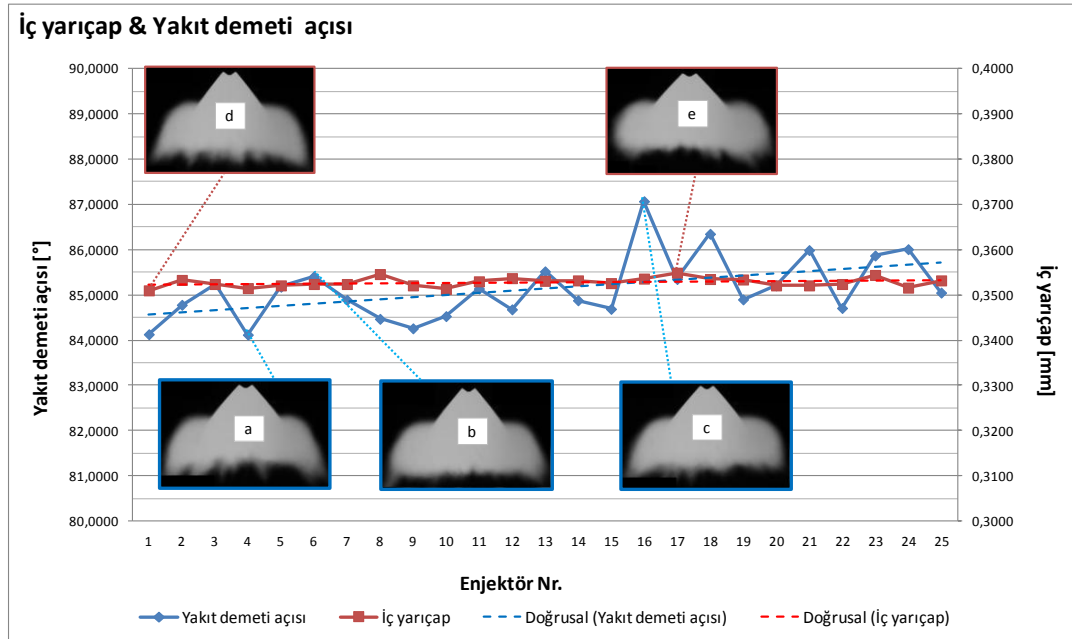
İç yarıçapın iğne oturma yüzeyine etkisi Şekil 5.31'de gösterilmektedir.



Şekil 5.31. İç yarıçapın iğne oturma yüzeyine etkisi

Şekil 5.31’de yakıt taneciklerinin oturma yüzeyi bölgesine etki doğrultuları gösterilmektedir. En büyük kuvvet tanecikler yüzeye dik olarak geldiğinde oluşacaktır. Küçük iç yarıçapta kuvvet doğrultusu yataya yaklaşmaktadır. Büyük yarıçapta ise kuvvet aksenal değil çevresel yönde iğneye etkimektedir.

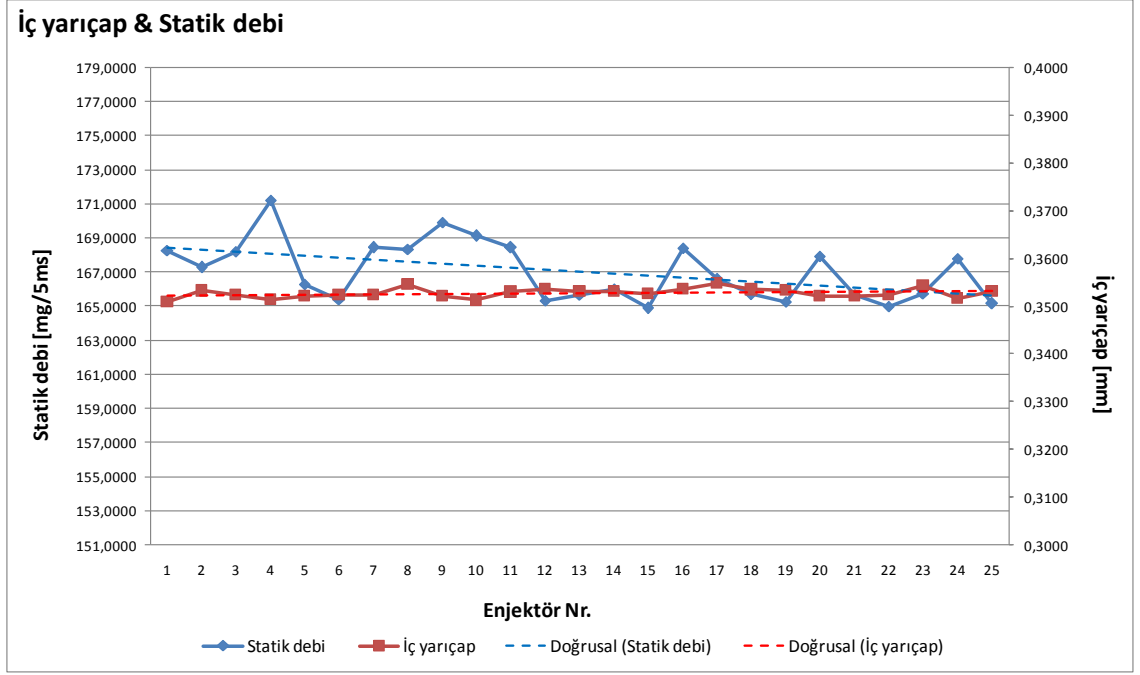
İçe yarıçapın yakıt demeti açısına etkisi ise etkisi Şekil 5.32’de gösterilmektedir.



Şekil 5.32. İç yarıçapın yakıt demeti açısına etkisi

Şekil 5.32’de görüldüğü üzere iç yarıçap hemen hemen sabit kalmasına rağmen yakıt demeti açısı bağımsız olarak değişmektedir. İç ve dış yarıçapın yakıt demeti açısı üzerinde direkt etkisi bulunmamaktadır.

İç yarıçapın debiye etkisi ise Şekil 5.33’de verilmektedir.

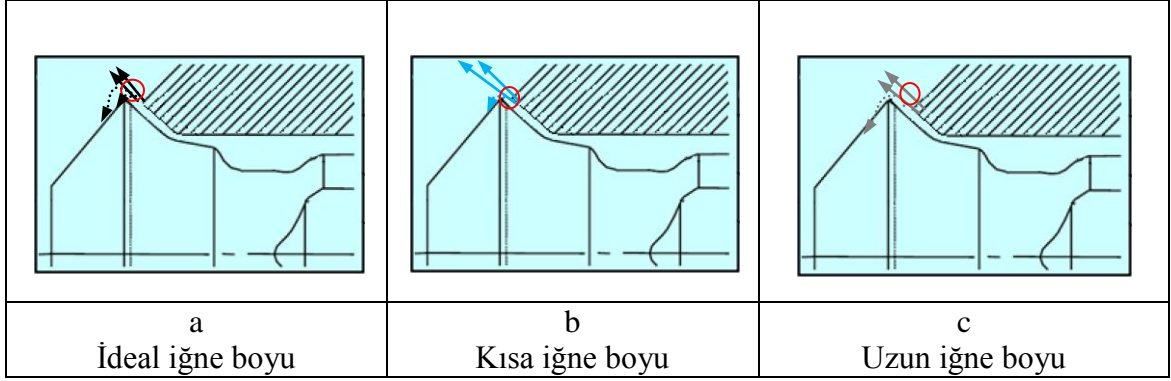


Şekil 5. 33. İç yarıçapın debiye etkisi

Şekil 5.33’de iç yarıçapın değişiminin çok küçük kalması sebebiyle debiye etkisi incelenememektedir. Diğer baskın parametreler statik debinin değişimine neden olmaktadır.

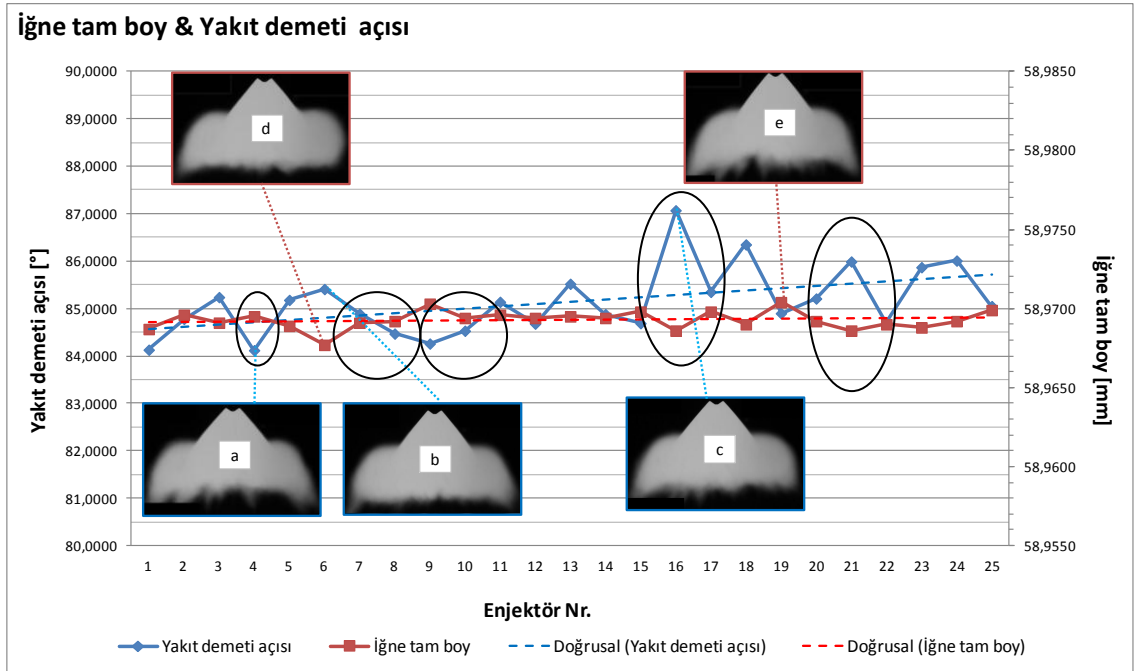
5.1.11. İğne tam boy

İğne tam boyu; püskürtülen yakıt miktarı ve yakıt demeti açısıyla yakından ilgilidir. Diğer tüm parametreler sabit tutulduğunda iğnenin boyu kısaldıkça, iğnenin açılması esnasında, iğne ve gövde arasındaki mesafe azalacaktır bu nedenle püskürtülen yakıt miktarı azalacaktır. Aynı zamanda yakıt bulutunun yoğunluğu azalacak ve önceki bölümlerde bahsedilen yakıt taneciklerinin hareketi yakıt demeti açısını etkileyecektir. Şekil 5.34’de farklı iğne açıklıklarında yakıt taneciklerinin davranışı gösterilmektedir.



Şekil 5. 34. Farklı iğne açıklıklarında yakıt taneciklerinin davranışı

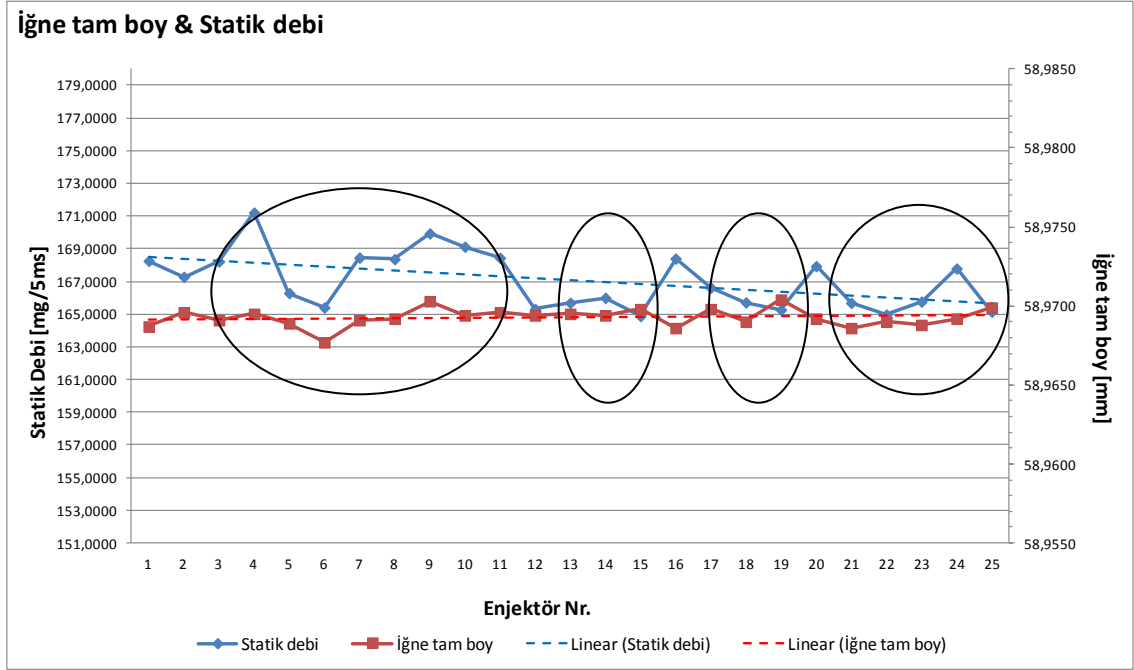
Şekil 5.34a,b ve c de dikkat edilmesi gereken nokta, dış açılı üzerine sapan yakıt taneciklerinin yakıt demeti bulutu ile olan teması ve yakıt demeti bulutunu oluşturan taneciklerin hızıdır. Şekil 5.34b’de küçük iğne boyunda gövde ile iğne arasındaki açıklık az olacağından püskürtülen yakıt miktarı da az olacaktır. Bu nedenle sapan yakıt taneciklerinin yakıt demeti bulutu üzerindeki etkisi de büyük olacaktır. Dolayısıyla yakıt demeti açısı artacaktır. Şekil 5.34c’de ise iğne boyu arttığında püskürtülen yakıt miktarı fazla olacaktır ancak iğne ucu bölgesinde tanecik hızı düşeceğinden yakıt demeti iğne ucuna doğru yönelecektir yani yakıt demeti açısı küçülecektir. İğne tam boyunun yakıt demeti açısına etkisi Şekil 5.35’de gösterilmektedir.



Şekil 5. 35. İğne tam boyunun yakıt demeti açısına etkisi

Grafik incelendiğinde iğne tam boyu ile yakıt demeti açısı arasında yakından ilişki olduğu görülmektedir. Daire içerisine alınmış bölgeler incelendiğinde iğne tam boyu küçüldüğünde yakıt demeti açısı artmaktadır. Aksi durumda ise; yani iğne tam boy arttığında yakıt demeti açısı küçülmektedir.

İğne tam boyunun yakıt demeti açısına etkisi Şekil 5.36’da gösterilmektedir.



Şekil 5. 36. İğne tam boyunun debiye etkisi

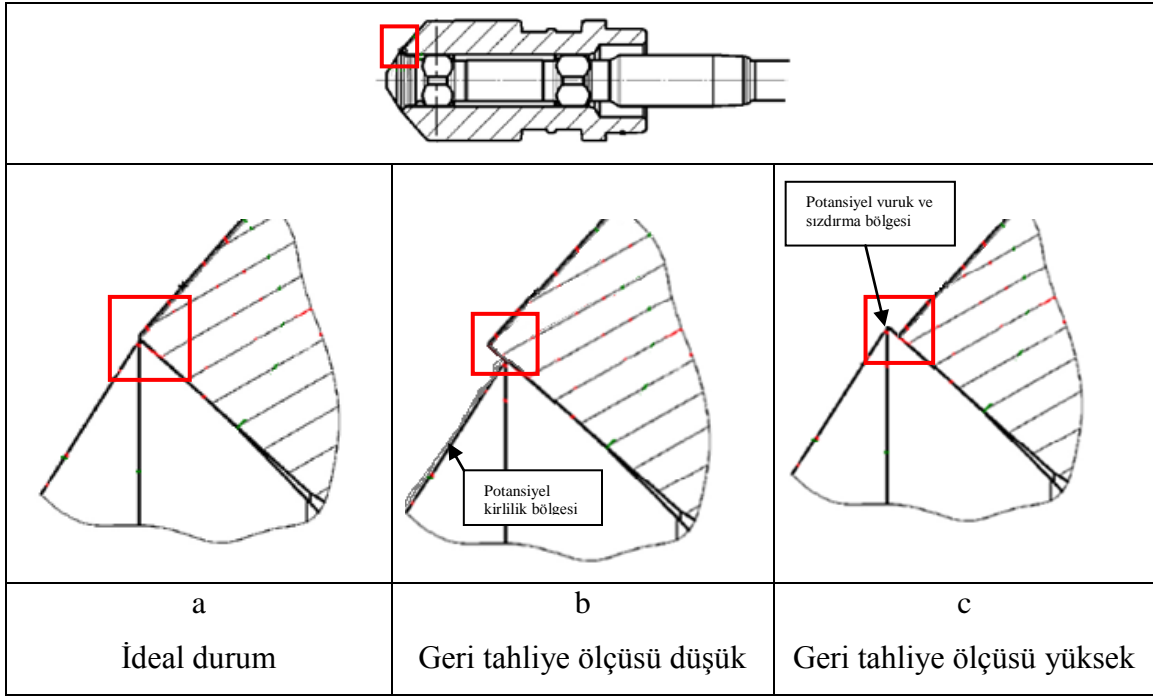
Beklenildiği gibi iğne tam boyu ile debi arasında yakından ilişki mevcuttur. Bunun sebebi Şekil 5.36’da bahsedilen gövde ve iğne arasındaki açıklık miktarıdır. İğne tam boyu azaldıkça yakıt geçişi azalmakta ve debi düşmektedir. Aksi durumda ise debi artmaktadır. Tekil farklılıklar diğer baskın parametrelerden kaynaklanmaktadır.

5.1.12. Geri tahliye ölçüsü

Geri tahliye ölçümü iğne oturma yüzeyi ile gövde oturma yüzeyi merkezi arasındaki mesafeyi göstermektedir. 2 önemli etkisi vardır.

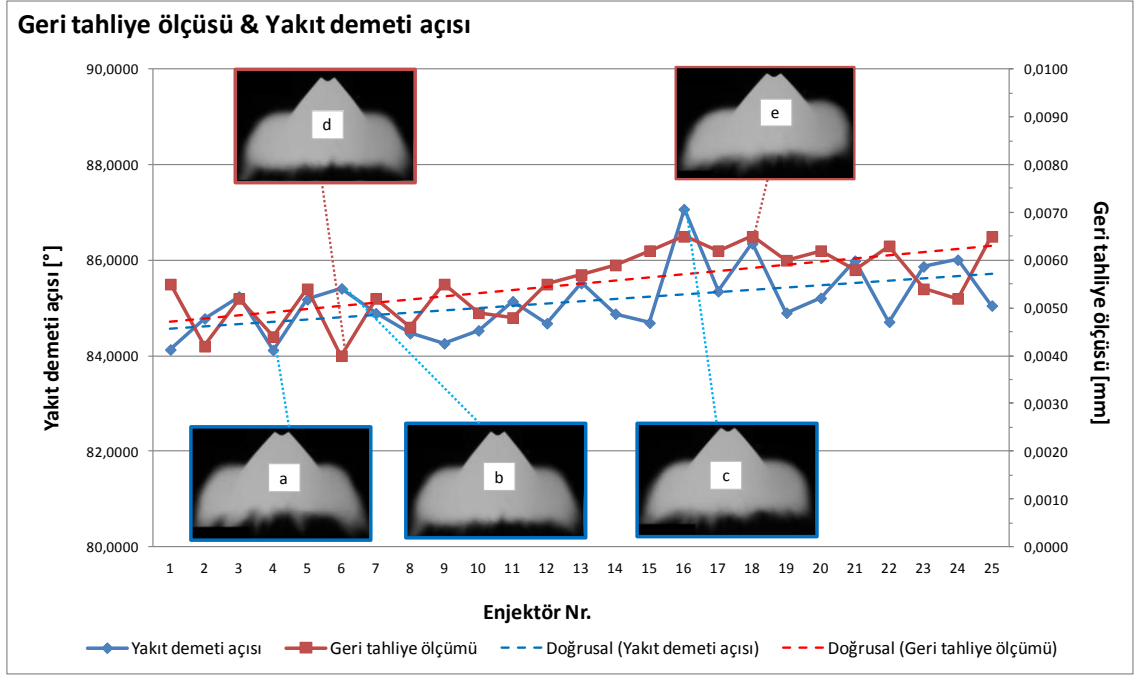
- İğne kapalı olduğunda sızdırma olmamasını garanti altına almak.
- Uzun süreli çalışma sonrasında oluşabilen enjektör ucu partiküllerin miktarını azaltmak.

Yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı iğne ve gövde oturma yüzeyleri merkezleri arasında belli bir mesafe bulunmaktadır. Bu mesafe çok düşük olduğunda (Şekil 5.37b) silindir içi yanmalar sonucu oluşan partiküller iğne ucu ve gövde arasında birikme yapmaktadır. Uzun vadede yakıt demeti formuna, püskürtülen yakıt debisine ve yakıt demeti açısına etki etmektedir. Bu mesafe fazla olduğunda ise (Şekil 5.37c) enjektörün kapalı olduğu durumda yakıt sızdırma ihtimali artmaktadır. Ayrıca çok hassas olan iğne keskin ucu üretim aşamaları ya da taşıma esnasında zarar görebilmektedir.



Şekil 5. 37. Geri tahliye ölçüsünün etkileri

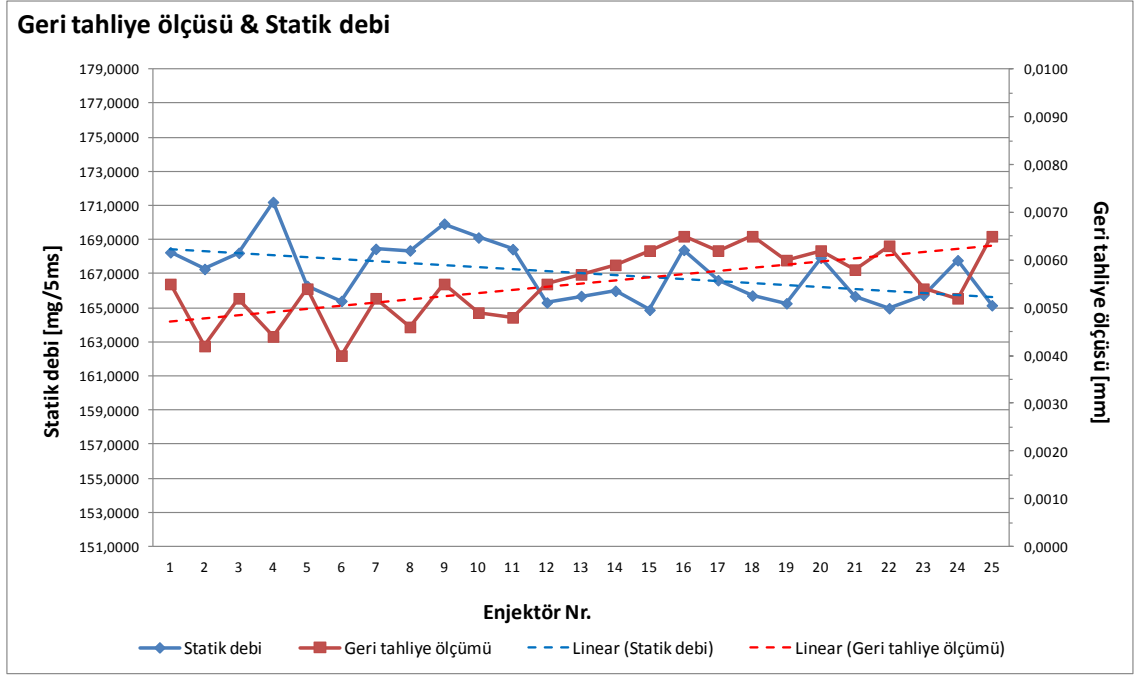
Geri tahliye ölçüsünün yakıt demeti açısına etkisi Şekil 5.38’de gösterilmektedir.



Şekil 5. 38. Geri tahliye ölçüsünün yakıt demeti açısına etkisi

Şekil 5.38’de görüleceği üzere Geri tahliye ölçüsü ile yakıt demeti açısı arasında doğrudan bir bağlantı bulunmamaktadır. Yukarıda açıklanan etkilerin sonuçları uzun vadede kendisini göstermekte dolaylı olarak yakıt demeti açısına etki etmektedir.

Geri tahliye ölçüsünün debiye etkisi Şekil 5.39’da gösterilmektedir.



Şekil 5. 39. Geri tahliye ölçüsünün yakıt demeti açısına etkisi

Şekil 5.39’da görüleceği üzere Geri tahliye ölçüsü ile debi arasında doğrudan bir bağlantı bulunmamaktadır. Debi bağımsız olarak artmakta ve azalmaktadır. Geri tahliye ölçüsünün etkisi uzun vadede yakıt demeti açısı üzerinde olmaktadır.

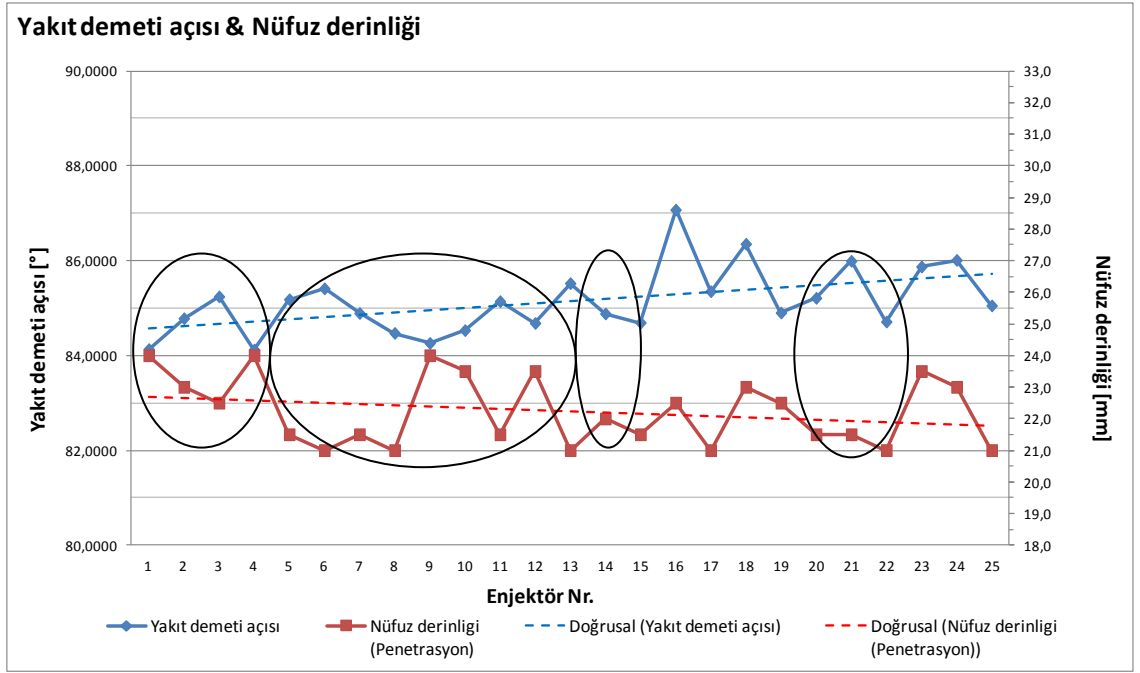
5.2. Birincil Çıktılar ve İkincil Çıktılar Arasındaki İlişkiler

5.2.1 Yakıt demeti açısı

a) Yakıt demeti açısı ile nüfuz derinliği (Penetrasyon) arasındaki ilişki

Yakıt demeti açısının artması ile yakıt tanecikleri iğne eksenine paralel bir yol izlemek yerine açılı olarak yatay hareket ederler. Bu nedenle yakıt bulutu dikey değil yatay olarak genişler. Sonuç olarak nüfuz miktarı azalır. Aksi durumda ise yakıt bulut dikey olarak ilerleyeceğinden nüfuz miktarı artacaktır.



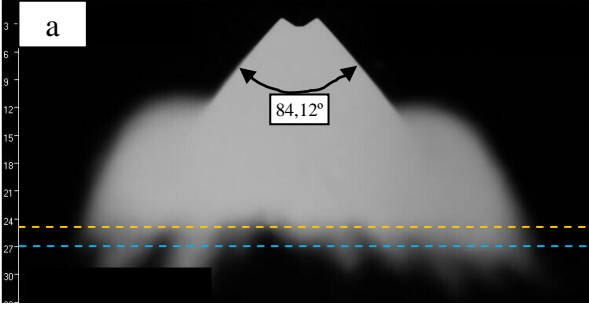
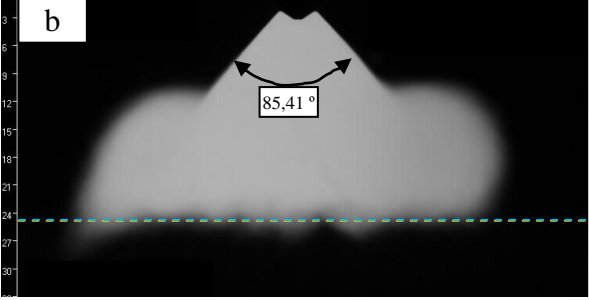
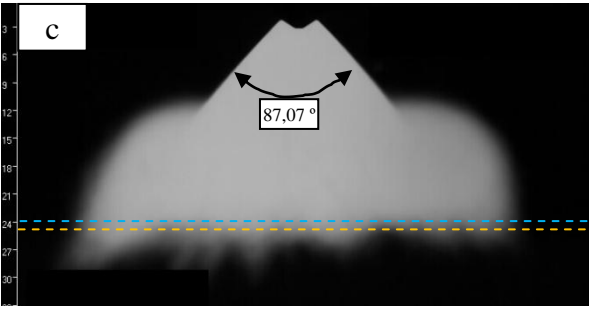
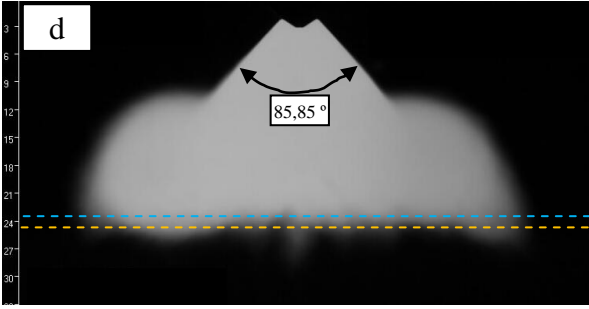
Yakıt demeti açısının nüfuz derinliği (penetrasyon) etkisi Şekil 5.40’da gösterilmektedir.

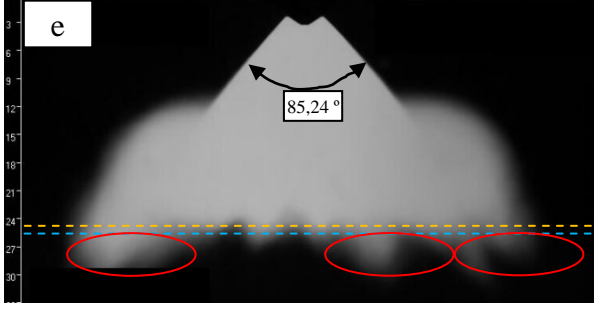
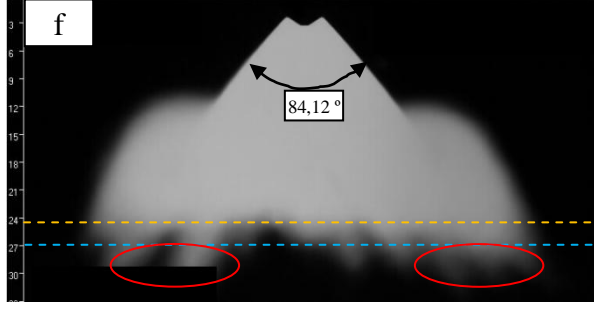


Şekil 5. 40. Yakıt demeti açısının nüfuz derinliği etkisi

Değerler tekil ve bütün olarak incelendiğinde yakıt demeti açısı ile nüfuz derinliği (Nüfuz) arasında ters orantı olduğu görülmektedir. Farklı yakıt demeti nüfuz derinliklerine karşılık gelen bulut görüntülerinin detayları aşağıda gösterilmiştir. İdeal nüfuz sınırı 24, 7 mm ve maksimum değer <30 mm. dir. Bu değerler motor üzerindeki değerler olmayıp test esnasında elde edilen değerlerdir. Karşılaştırma bu değerler üzerinden yapılmaktadır. Kılcal yakıt demeti görüntüsünün birkaç farklı sebebi vardır. İğne ve gövde üzerindeki vuruklar başlıcalarıdır. Bunlar arttıkça iğne kapalı durumdaki sızdırma olasılığı da artar. Diğer sebep kirliliktir. Püskürtme köşesinde biriken partiküller iğnenin tam kapanmamasına sebep olur ve kılcal yakıt demeti görüntüsü meydana gelir. Partiküller yüksek basınç altında çoğu zaman temizlenir ve bir süre sonra yakıt demeti normal hali alır. Eğer partiküller püskürtme köşesinde iz yapmışsa sızdırmaya sebep olur.

Çizelge 5. 3. Yakıt demeti bulut nüfuz görüntüsünün değerlendirilmesi

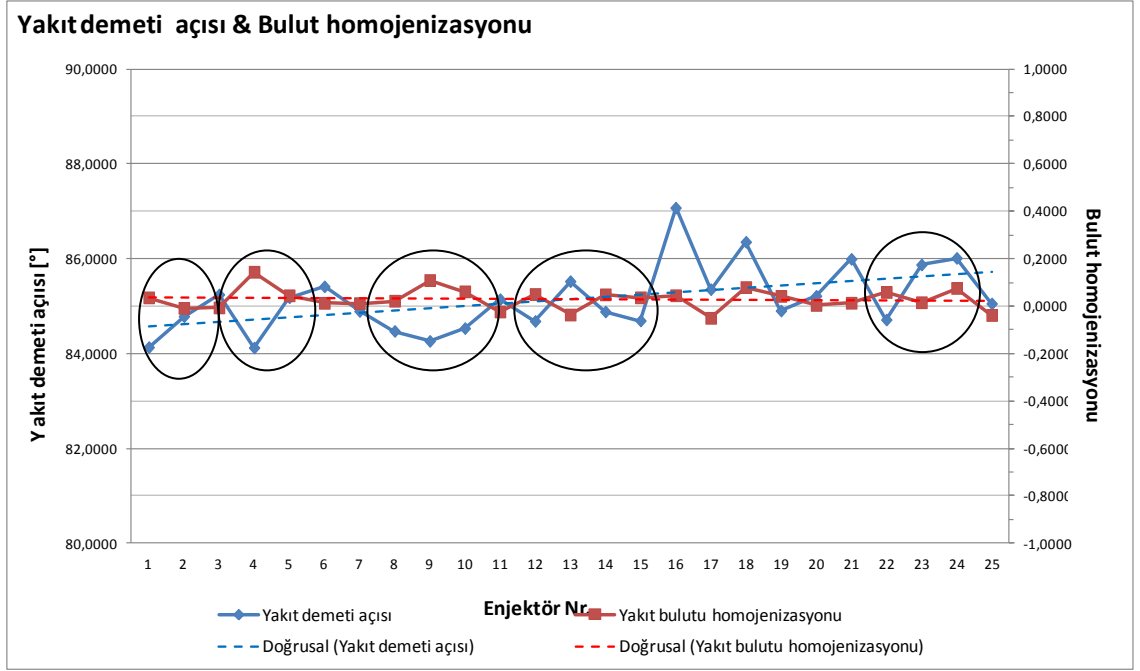
	İdeal nüfuz sınırı
	Gerçek nüfuz miktarı
	<p>a : Minimum yakıt demeti açısındaki bulut görüntüsü</p> <p><i>Minimum yakıt demeti açısında nüfuz miktarı ideal sınırdan aşağıya doğru ilerlemekte yani artmaktadır.</i></p>
	<p>b : Ortalama yakıt demeti açısındaki bulut görüntüsü</p> <p><i>Ortalama yakıt demeti açısında ise nüfuz miktarı ideal sınırdadır.</i></p>
	<p>c : Maksimum yakıt demeti açısındaki bulut görüntüsü</p> <p><i>Yakıt demeti açısı arttıkça nüfuz miktarı azalmaktadır. Maksimum yakıt demeti açısında nüfuz miktarı ideal sınırın üstünde kalmakta yani azalmaktadır.</i></p>
	<p>d : Minimum nüfuz değerindeki bulut görüntüsü</p> <p><i>Nüfuz değeri minimuma gittiğinde yakıt demeti açısı artmaktadır.</i></p>

	<p>e : Ortalama nüfuz değerindeki bulut görüntüsü</p> <p><i>Nüfuz değeri ideal olduğu durumda yakıt demeti açısı da ortalama değere yakındır. Bu resimde nüfuz sayısal değeri ortalama değerde olsa da yakıt demeti kalitesi çok iyi iyi değildir. Çember içine alınan bölgelerde kılcal yakıt demeti püskürmeleri mevcuttur.</i></p>
	<p>f : Maksimum nüfuz değerindeki bulut görüntüsü</p> <p><i>Nüfuz değeri arttıkça yakıt demeti açısının da azaldığı görülmektedir. Bu resimde de kılcal yakıt demeti püskürmeleri nedeniyle yakıt demeti kalitesi çok iyi değildir.</i></p>

b) Yakıt demeti açısı ile bulut homojenizasyonu arasındaki ilişki

Bulut homojenizasyonu, yakıt demeti bulutunun iğne eksenine sağ ve sol alanlara ayrılması sonucu her iki alandaki yakıt tanecik miktarının karşılaştırılmasıyla bulunur. Hesaplama, püskürtme anında yüksek çözünürlüklü kameralar vasıtasıyla yapılır. Şematik gösterim önceki bölümlerdeki (bkz. Şekil 3.10) verilmiştir.

Beklenti yakıt demeti açısı arttıkça homojenizasyonun azalacağı yönündedir. Bunun sebebi ise geniş açıda püskürtülen yakıt taneciklerinin sapmasının fazla olmasıdır. Yakıt demeti açısının bulut homojenizasyonuna etkisi Şekil 5.41’de gösterilmektedir.


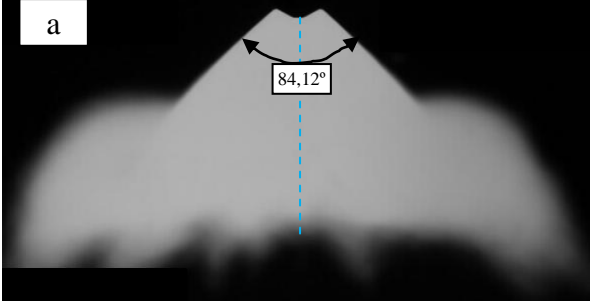
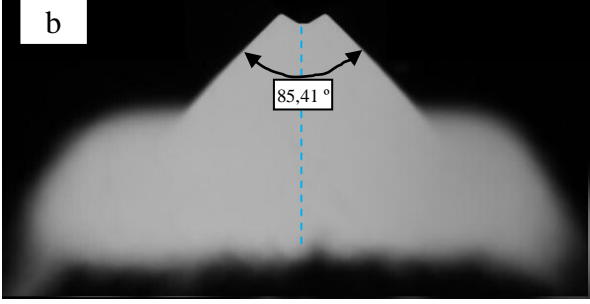
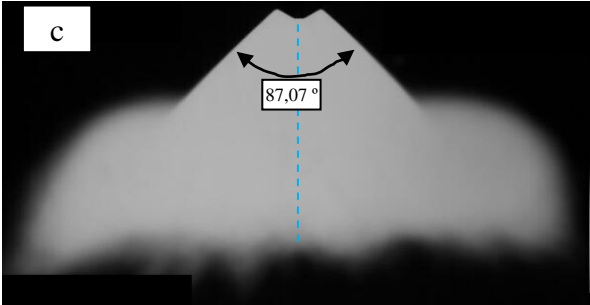
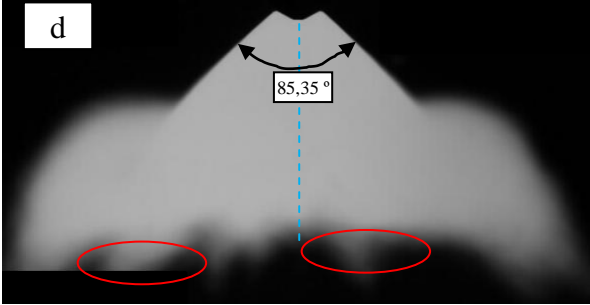


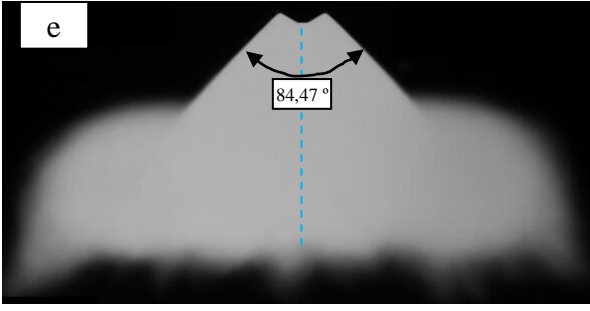
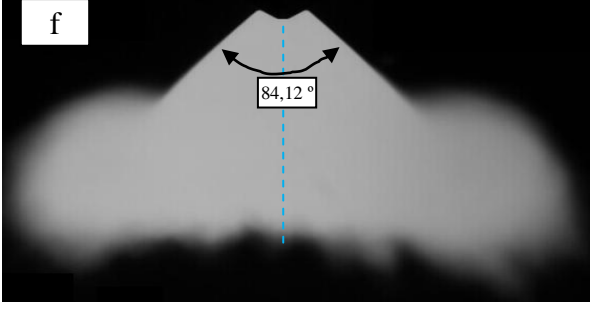
Şekil 5. 41. Yakıt demeti açısının bulut homojenizasyonuna etkisi

Şekil 5.41 de görüleceği gibi yakıt demeti açısıyla ters orantılı olarak bulut homojenizasyonu değişmektedir.

Yakıt demeti yakıt taneciklerinin ayrımı görüş kabiliyetinin çok üzerinde olduğu için yakıt bulutunun kesit alanı görsel olarak yorumlanmıştır. Tanecik miktarının ayrımı görüş yeteneğinin üzerinde olduğu için sayısal olarak belirtilmemiştir.

Çizelge 5. 4. Yakıt demeti bulut alanının değerlendirilmesi

	Bulut alanı eksenini
	<p>a : Minimum yakıt demeti açısındaki bulut görüntüsü</p> <p><i>Minimum yakıt demeti açısında eksenin tek yönünde bir yoğunluk olduğu görülmektedir.</i></p>
	<p>b : Ortalama yakıt demeti açısındaki bulut görüntüsü</p> <p><i>Ortalama yakıt demeti açısında ise homojenizasyon iyileşmektedir. Yakıt bulutu simetrik olmaktadır.</i></p>
	<p>c : Maksimum yakıt demeti açısındaki bulut görüntüsü</p> <p><i>Yakıt demeti açısı maksimuma ulaştığında ise homojenizasyon azalmakta ve bulut yoğunluğu tek yönlü kaymaktadır.</i></p>
	<p>d : Minimum Homojenizasyon değerindeki bulut görüntüsü</p> <p><i>Minimum Homojenizasyonda görüldüğü gibi yakıt demetide kılcal kırılmalar meydana gelmekte ve bulut yoğunluğu her bölgede farklılıklar göstermektedir.</i></p>

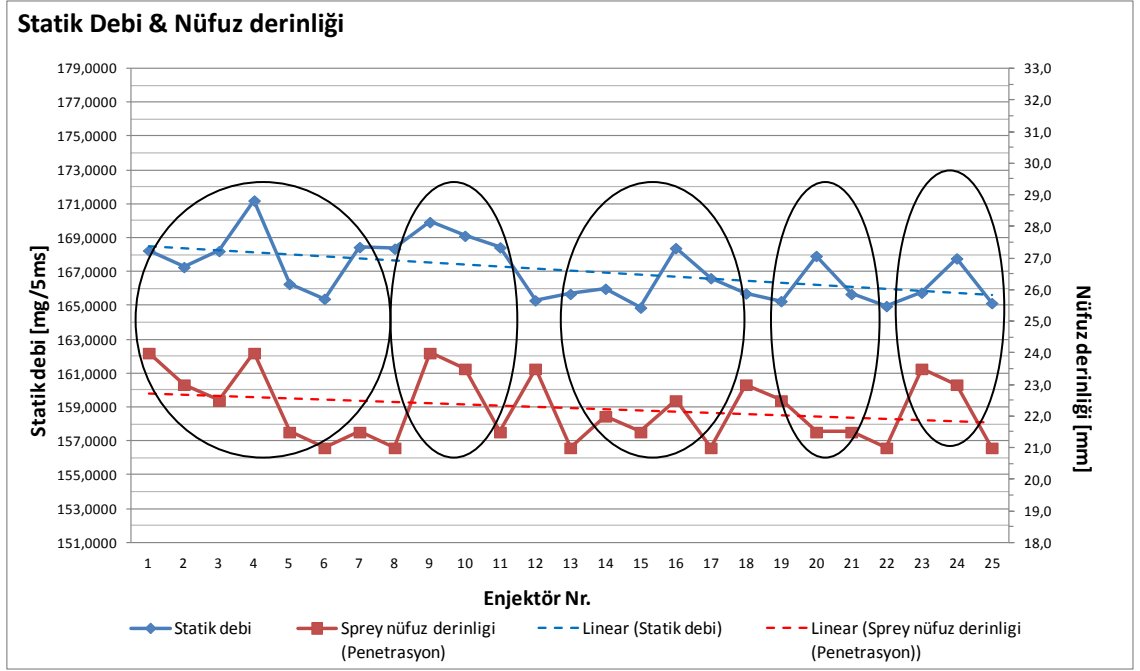
	<p>e : Ortalama Homojenizasyon değerindeki bulut görüntüsü</p> <p><i>Homojenizasyon değeri ideala yaklaştığında (arttığında) bulutun yoğunluğu da her bölgede simetrik olmaktadır.</i></p>
	<p>f : Maksimum Homojenizasyon değerindeki bulut görüntüsü</p> <p><i>Maksimum Homojenizasyon değerinde bulut yoğunluğu eksene göre hemen hemen simetrik olmaktadır. Yakıt taneciklerinin miktarı ise sayısal olarak birbirine çok yakındır.</i></p>

5.2.2 Statik debi

a) Statik debi ile nüfuz derinliği (Nüfuz) arasındaki ilişki

Statik debi ile nüfuz derinliği (Nüfuz) arasında yakından ilişki vardır. Genel kural olarak statik debi arttıkça nüfuz miktarı artmaktadır. Silindir içine püskürtülen yakıt miktarı artacağından yakıt tanecikleri daha ileriye taşınacaktır.

Statik debinin nüfuz derinliğine (Nüfuz) etkisi Şekil 5.42’de gösterilmektedir.



Şekil 5. 42. Statik debinin nüfuz derinliğine (Nüfuz) etkisi

Şekil 5.42’de görüleceği gibi statik debi arttığında nüfuz artmakta, aksi durumda ise nüfuz azalmaktadır. Değerlerin tamamına yakını bu kurala uysa da aradaki tekil sapmalar ise enjektörlerin diğer baskın parametrelerinden kaynaklanmaktadır.

b) Statik debi ile bulut homojenizasyonu arasındaki ilişki

Statik debi ile bulut homojenizasyonu arasında 2 sebepten dolayı ilişki mevcuttur.

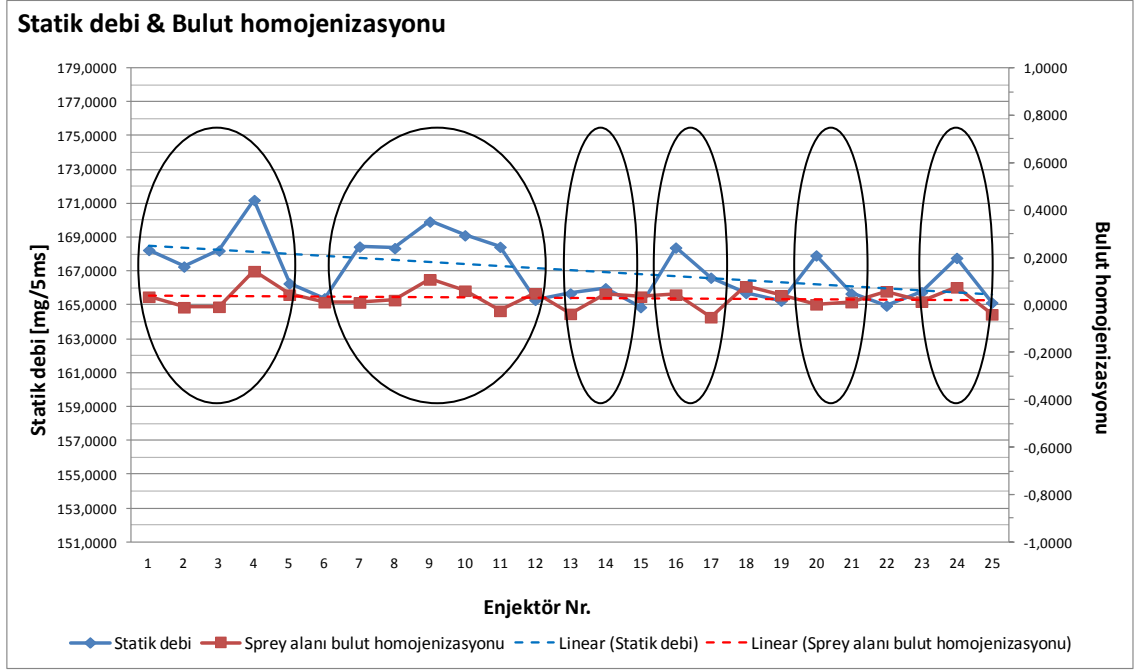
1) Debinin artması birim zamanda püskürtülen yakıt miktarının artması anlamına gelmektedir. Bu nedenle spey bulutu yoğunluğu artacak ve yakıt taneciklerini doğal olarak tüm alana eşit yayılma eğiliminde olacaktır. Aksi durumda ise homojenizasyon azalacaktır.

2) Debinin artması yakıt demeti açısının azalmasına sebep olmaktadır. Diğer parametreler ile birlikte debi ile yakıt demeti açısı arasında ters orantı mevcuttur. Bunun sebebi ise debi arttığında tekil yakıt taneciklerinin basıncı düşecek ve basıncı düşen yakıt taneciklerinin açısı azalacaktır. Bu durum önceki bölümlerde (bkz. Şekil 4.3) gösterilmiştir.

Direkt değil ancak dolaylı olan bu etkiden kaynaklı yakıt demeti bulut homojenizasyonu da artacaktır.

Aksi durumda ise; yani debinin azalması durumunda yakıt demeti açısı artacak ve bulut homojenizasyonu azalacaktır.

Statik debinin bulut homojenizasyonuna etkisi Şekil 5.43’de gösterilmektedir.



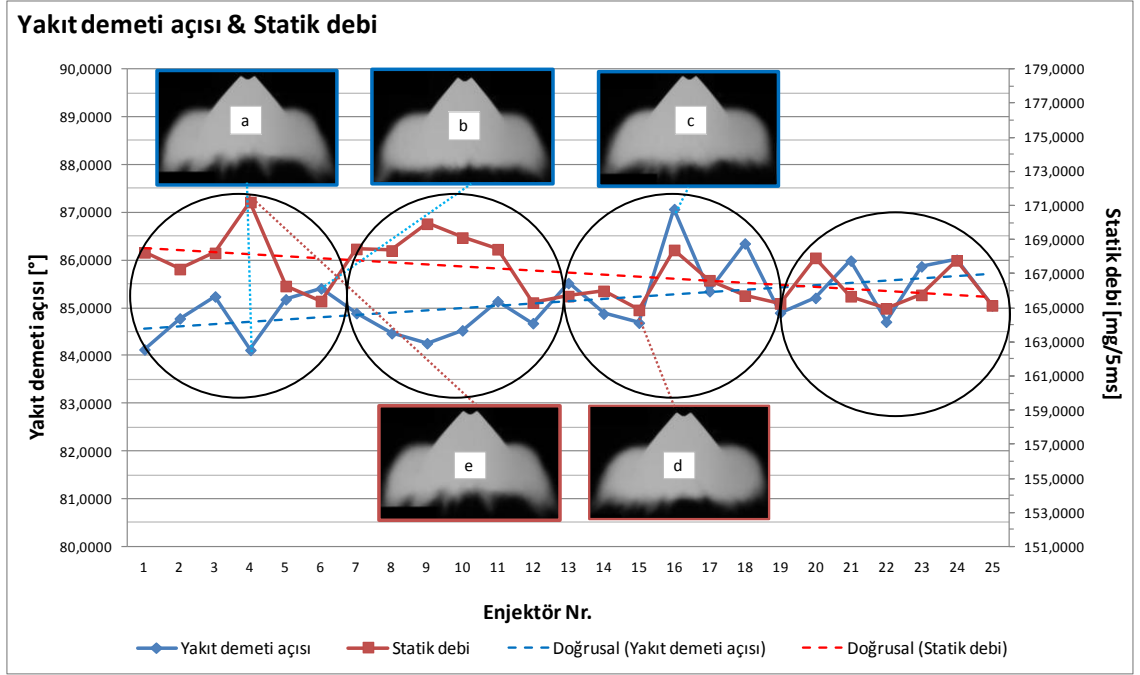
Şekil 5. 43. Statik debinin bulut homojenizasyonuna etkisi

Şekil 5.43’de görüldüğü üzere statik debi arttığında homojenizasyon artmakta aksi durumda ise homojenizasyon azalmaktadır.

c) Statik debi ile yakıt demeti açısı arasındaki ilişki

Bir önceki bölümde bahsedildiği üzere statik debi ile yakıt demeti açısı arasında ters orantı mevcuttur.

Statik debinin yakıt demeti açısına etkisi Şekil 5.44’de gösterilmektedir.



Şekil 5. 44. Statik debinin yakıt demeti açısına etkisi

Şekil 5.44'de görüldüğü üzere statik debi arttıkça yakıt demeti açısı azalmakta ve aksi durumda ise yakıt demeti açısı artmaktadır. Bu durumun sebepleri bir önceki bölümde açıklanmıştır.

Tekil değerlerin tamamına yakını genel yaklaşıma uymaktadır.

6. TARTIŞMA ve SONUÇ

Girdiler ⇔ birincil çıktılar arasındaki ilişki Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 6. 1. Girdiler ve birincil çıktılar arasındaki ilişki

Nr.	Girdi	Etki	Birincil Çıktı	Etki
1	Dış arka açılı yüzey pürüzlülüğü	↑	Yakıt demeti açısı	↗
			Statik debi	↑
2	Ön açılı yüzey pürüzlülüğü	↑	Yakıt demeti açısı	↗
			Statik debi	↑
3	Çap ölçümü	↑	Yakıt demeti açısı	↓
			Statik debi	↓
4	Dış açılı yuvarlaklık	↑	Yakıt demeti açısı	↑
			Statik debi	↗
5	I in III e göre salgısı	↑	Yakıt demeti açısı	→
			Statik debi	↑
6	II nin IV e göre salgısı	↑	Yakıt demeti açısı	→
			Statik debi	↓
7	Dış açılı	↑	Yakıt demeti açısı	→
			Statik debi	→
8	İç açılı	↑	Yakıt demeti açısı	↑
			Statik debi	→
9	Dış yarıçap	↑	Yakıt demeti açısı	→
			Statik debi	↗
10	İç yarıçap	↑	Yakıt demeti açısı	→
			Statik debi	→
11	İğne tam boy	↑	Yakıt demeti açısı	↓
			Statik debi	↑
12	Geri tahliye ölçüsü	↑	Yakıt demeti açısı	→
			Statik debi	→

Çizelge 6.1’de görüldüğü üzere;

Yakıt demeti açısı üzerine doğrudan etkisi olan parametreler ;

- Oturma yüzeyi alt bölgesi çap ölçüsü (Ters yönde)
- Dış açı yuvarlaklık (Aynı yönde)
- İç açısı (Aynı yönde)
- İğne tam boy (Ters yönde)

Yakıt demeti açısı üzerine kısmi etkisi olan parametreler ;

- Dış arka açısı yüzey pürüzlülüğü (Aynı yönde)
- Ön açısı yüzey pürüzlülüğü (Aynı yönde)

Yakıt demeti açısı üzerine etkisi olmayan parametreler ;

- I in III e göre salgısı
- II nin IV e göre salgısı
- Dış açısı
- Dış yarıçap
- İç yarıçap
- Geri tahliye ölçüsü

Statik debi üzerine doğrudan etkisi olan parametreler ;

- Dış arka açısı yüzey pürüzlülüğü (Aynı yönde)
- Ön açısı yüzey pürüzlülüğü (Aynı yönde)
- Oturma yüzeyi alt bölgesi çap ölçüsü (Ters yönde)
- I in III e göre salgısı (Aynı yönde)
- II nin IV e göre salgısı (Ters yönde)
- İğne tam boy (Aynı yönde)

Statik debi üzerine kısmi etkisi olan parametreler ;

- Dış açısı yuvarlaklık (Aynı yönde)
- Dış yarıçap (Aynı yönde)







Statik debi üzerine etkisi olmayan parametreler ;

- Dış açısı
- İç açısı
- İç yarıçap
- Geri tahliye ölçümü

Oturma yüzeyi alt bölgesi çap ölçüsü ve iğne tam boyunun hem yakıt demeti açısı hem de statik debi üzerinde doğrudan etkisinin olduğu görülmektedir. Aksi durumda ise dış açısı ve geri tahliye ölçüsünün her iki çıktı üzerinde etkisi bulunmamaktadır.

Birincil çıktılar ⇔ ikincil çıktılar arasındaki ilişki Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.



Çizelge 6. 2. Birincil çıktılar ve ikincil çıktılar arasındaki ilişki

Nr.	Birincil Çıktı	Etki	İkincil Çıktı	Etki
1	Yakıt demeti açısı		Nüfuz derinliği (Penetrasyon)	
			Yakıt bulutu homojenizasyonu	
2	Statik debi		Nüfuz derinliği (Penetrasyon)	
			Yakıt bulutu homojenizasyonu	

Hem yakıt demeti açısının hem de statik debi ile yakıt demeti nüfuz derinliği (Penetrasyon) ve yakıt demeti alanı bulut homojenizasyonu arasında doğrudan ilişki olduğu görülmektedir.

Birincil çıktılarının kendi arasındaki ilişki Çizelge 6.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 6. 3. Birincil çıktılarının kendi arasındaki ilişki

Nr.	Birincil Çıktı	Etki	Birincil Çıktı	Etki
1	Yakıt demeti açısı		Statik debi	

Yakıt demeti açısının statik debi ile doğrudan ilişki içinde olduğu görülmektedir.

Tüm sonuçlar incelendiğinde enjektörü oluşturan alt parçaların yakıt demeti ve yakıt formu üzerinde etkilerinin önemli boyutlara ulaştığı görülmektedir. Motor üreticileri motor performansında önemli bir yere sahip olan enjektörler için taleplerini günden güne genişletmektedirler. Enjektör üreticileri ise talepleri karşılayabilmek için bir çok parametreyi en uygun şekilde ayarlamaya ve bunu sürdürülebilir şekilde seri üretime geçirmeye çalışmaktadırlar.

Bu çalışma birincil ve ikincil çıktılar üzerinde etkisi olan parametreleri diğerlerinden ayırarak enjektör geliştirme çalışmalarında odak noktasının belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Zaman, işgücü ve maliyetten tasarruf; motorlarda daha yüksek performans, ucuz araç fiyatları ve düşük yakıt tüketimi olarak geri dönecektir.

KAYNAKLAR

A. Momenimovahed, D. Handford, M. D. Checkel, J. S. Olfert. 2015. Particle number emission factors and volatile fraction of particles emitted from on-road gasoline direct injection passenger vehicles. *Atmospheric Environment* 102. 105-111.

Ainul Ghurri1, Jae-Duk Kim, Hyung Gon Kim, Jae-Youn Jung, Kyu-Keun Song. 2012. The effect of injection pressure and fuel viscosity on the spray characteristics of biodiesel blends injected into an atmospheric chamber. *Journal of Mechanical Science and Technology* 26.2941-2947.

Bosch açık kaynak dokümanları. 2008

Bosch Engineering GmbH Motorsport yayınları. 2013. HP Injection Valve HDEV 5.2

C. Habchi, D. Verhoeven, C. Huynh Huu, L. Lambert, J. L. Vanhemelryck and T. Baritaud. 1997. Modeling atomization and break up in high-pressure diesel sprays. *Institut Français du Pétrole, Rueil-Malmaison, France.* 1-16.

Chris Taylor, Gregory Washington. 2003. The application of Piezoceramic actuation to direct fuel injection. 2003 SAE/JSAE Small Engine Technology Conference & Exhibition Madison, 15-18 September. Wisconsin, USA.

Dipl. -Ing. (FH) Horst Bauer (Editor). 2001. Gasoline-engine management basics and components. *The Bosch Yellow Jackets Edition 2001.* 54-64

Dipl. -Ing. Axel Heinstejn, Dr. -Ing. Tilo Landefeld, Dipl. -Ing. Martin Reimer, Dipl. -Ing. Thomas Sebastian. 2013. High pressure direct injection systems for gasoline engines. *MTZ 03/2013. Volume 74.* 28-32.

Dr. techn. Stephan Schmidt, Dipl. -Ing. Alexander Trattner, Univ. -Prof. Dr. techn. Helmut Eichlseder, Ass. Prof. Dr. techn. Roland Kirchberger. 2011. Combustion Processes for a low pressure gasoline direct injection. *Research Gasoline Engines.* 72-79.

Erwin Achleitner, Achim Koch, Jürgen Maier and Alberto Marinai. 2006. Solenoid injectors for gasoline direct injection. *MTZ 05/2006. Volume 67.* 2-5 ; 332-335.

F. Zhao, M. -C. Lai, D. L. Harrington. 1999. Automotive spark-ignited direct-injection gasoline engines. *Progress in Energy and Combustion Science* 25.437-562

Frank Drautz Dipl. -Ing., Kengo Kumano, Kenichi Machida, Henning Sauerland Dr. 2014. Development of fuel Injection control technology in gasoline direct injection engine. *9. Tagung Diesel- und Benzindirekteinspritzung.* 507-536.

G. Rottenkolber, J. Gindele, J. Raposo, K. Dullenkopf, W. Hentschel, S. Wittig, U. Spicher, W. Merzkirch. 2002. Spray analysis of a gasoline direct injector by means of two-phase PIV. *Experiments in Fluids* 32.710–721.

Günter P. Merker, Rüdiger Teichmann. 2014. Grundlagen Verbrennungsmotoren. Einspritzsysteme, Roger Busch, Jürgen Hammer, Ralph-Michael Schmidt, Hartmut Schneider, Peter Eckert und Sebastian Rakowski. Wiesbaden,Germany.331-405.

Günter P. Merker, Rüdiger Teichmann. 2014. Grundlagen Verbrennungsmotoren. Einspritzsysteme, Roger Busch, Jürgen Hammer, Ralph-Michael Schmidt, Hartmut Schneider, Peter Eckert und Sebastian Rakowski. Wiesbaden,Germany.331-405.

Hironitsu Ando, Constantine (Dinos) Arcoumanis. 2008. Flow and combustion in reciprocating engines. *Flow and Combustion in Reciprocating Engines*.154-165.

Hongming Xu , Chongming Wang, Xiao Ma, Asish K. Sarangi, Adam Weall, Jens Krueger-Venus. 2015. Fuel injector deposits in direct-injection spark-ignition engines. *Progress in Energy and Combustion Science* 50. 63-80.

http: //en. wikipedia. org/wiki/Coand%C4%83_effect. 2015. Coanda Effect. (Erişim tarihi :30.03.2015)

http: //www. bosch-presse.de. 2015 (Erişim tarihi : 09.03.2015)

I.Pielecha. 2014. Modelling of gasoline fuel spray penetration in SIDI engines. *International Journal of Automotive Technology, Vol. 15, No. 1, pp.* 47–55.

J. M. Nouri, J. H. Whitelaw. 2001. Spray characteristics of a gasoline direct injector with short durations of injection..*Experiments in Fluids* 31,377-383.

James Smith, Gerald Szekely Jr, Arun Solomon and Scott Parrish. 2011. A comparison of spray-guided stratified-charge combustion performance with outwardly-opening piezo and multi-hole solenoid injectors. *SAE Int. J. Engines / Volume 4 / Issue .1-17.*

Kihyun Kim, Donghoon Kim, Yongjin Jung, Choongsik Bae. 2013. Spray and combustion characteristics of gasoline and diesel in a direct injection compression ignition engine. *Fuel* 109.616–626.

Konrad Reif, Bosch Professional Automotive Information. 2015. Gasoline engine management. Gasoline direct injection: High-pressure injector.120-122

M. İhsan Karamangil. 2004. Direkt püskürtmeli benzin motorları ve Mitsubishi metodu. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 9, Sayı 1.Bursa.*19-29

Quan Dong, Tsuneaki Ishima, Hisanobu Kawashima and Wu-qiang Long. 2013. A study on the spray characteristics of a piezo pintle-type injector for DI gasoline engines. *Journal of Mechanical Science and Technology* 27.1981-1993.

Richard van Basshuysen. 2013. Ottomotor mit Direkteinspritzung. Common-Rail-Hochdruck-Direkteinspritzung. Bad Wimpfen, Deutschland.121-151

Robert Bosch GmbH yayınları. 2013. High-pressure piezo injector HDEV4. www.bosch-motorsport.com (Erişim tarihi : 16.03.2015)

Rossella Rotondi , Gino Bella. 2006. Gasoline direct injection spray simulation *International Journal of Thermal Sciences* 45.168–179.

Seoksu Moon, Keisuke Komada, Kiyotaka Sato, Hideaki Yokohata, Yoshitaka Wada, Nobuhiro Yasuda. 2015. Ultrafast X-ray Study of Multi-hole GDI Injector Sprays: Effects of Nozzle Hole Length and Number on Initial Spray Formation. *Experimental Thermal and Fluid Science.*1-31.

The Bosch Yellow Jackets. 2003. Ignition systems for gasoline engines. *The Bosch Yellow Jackets Edition.* 4-16.

www. f1technical.net. 2015. (Erişim tarihi :13.02.2015)

ÖZGEÇMİŞ

- Adı Soyadı : Gökhan ŞENTÜRK
- Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa/ 1986
- Yabancı Dili : İngilizce
- Eğitim Durumu
- Lise : Milli Piyango Anadolu Lisesi / 2004
- Lisans : Université de Bretagne-Sud Makine Mühendisliği
/ Lorient-Fransa / 2009 (Değişim Programı)
Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği / 2010
- Çalıştığı Kurumlar ve Yıl : Bosch San. ve Tic. A. Ş. - Dizel Geliştirme Dept.
/ Bursa/2008-2009
: Bosch SAS. Chasis Brake Systems-Gelistirme Dept.
/Angers-France/ 2009-2010
: Bosch San. ve Tic. A. Ş. - Benzinli Sistemler – Üretim
Dept. /Bursa/ 2010-2015
: Bosch GmbH. - Benzinli Sistemler – Uluslararası
Koordinasyon. Dept. /Bamberg - Almanya/ 2015- Halen
- İletişim (e-posta) : g.senturk2@gmail. com