



**Faz Doppler Anemometresi, Sprey Momentum Akışı
ve Sprey Görüntüleme Benzin Direkt Enjektörleri
Araştırması**

Program Kodu: 1001

Proje No: 114M422

**Proje Yürütücüsü:
Dr. Alvaro DIEZ**

Bursiyerler:

Yağmur Güleç

Fakhry Abuzahra

EYLÜL 2015
İZMİR



ÖNSÖZ

Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK) bu projeye verdiği destekten dolayı teşekkür ediyorum. Bu proje, 114M422 referans numarasıyla TÜBİTAK araştırma programı 1001 kapsamında desteklendi. Aynı zamanda, Prof. Postrioti ve Perugia Üniversitesindeki ekibine de bizimle laboratuvarlarını ve bilgilerini paylaştıkları için ve öğrencimizi ağırladıkları için çok teşekkür etmek istiyorum.

Son on iki aydır çok sıkı çalışmalarının karşılığı olarak her iki master öğrencim Yağmur Güleç ve Fakhry Abuzahra'ya da teşekkür ediyorum.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
ABSTRACT	vi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	2
3. GEREÇ VE YÖNTEM	6
3.1 Momentum Akısı	6
3.1.1 Deneysel Yöntem	8
3.2 Spray görüntüleme	10
3.3 Faz Doppler Anemometresi	11
3.4 Nümerik Model	12
3.4.1 Ayrık Faz Gösterimi	13
3.4.2 Sonsuz Faz Gösterimi	13
3.4.3 Ayrık Faz Modeli	15
3.4.4 Modelin Kurulumu	20
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	21
4.1 Momentum flux bulgular	21
4.1.1 Global Momentum Akısı	21
4.1.2 Lokal Momentum Akısı	27
4.2 Yüksek Hızda Görüntüleme	28
4.3 Faz Doppler Anemometresi Sonuçları	34
4.4 Nümerik Model Bulgular	39
5. SONUÇ	43
KAYNAKLAR	45



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 Deneş düzeneği.....	8
Şekil 3.2 Momentum akısı deneş düzeneği ve pozisyonlama sistemi.....	9
Şekil 3.3 Lokal momentum akısı ölçümü için konik adaptor	10
Şekil 3.4 PDA ölçüm pozisyonları.....	12
Şekil 3. 5 Kavitasyonlu nozul akışı	17
Şekil 4.1 Tank Basıncının Momentum Akısı üzerindeki etkisi.....	22
Şekil 4.2 Flash Boiling Şartlarında Momentum Akısı	23
Şekil 4.3 Enjeksiyon Basıncının Momentum Akısına etkisi	24
Şekil 4.4 Zamana bağlı global momentum akısı, (a) $T_f, T_n=30^\circ\text{C}$; (b) $T_f, T_n=90^\circ\text{C}$; (c) $T_f, T_n=120^\circ\text{C}$	26
Şekil 4. 5 İntegral alınmış momentum haritaları; Pinj 100 bar, ET= 1.5 ms.	28
Şekil 4. 6 Spray global structure, Pinj 100 bar – Delay 0.45 ms from ET start	29
Şekil 4. 7 Standart sapmayla sprey ucu penetrasyonu Pinj 100 bar, ET = 1.5 ms; (a) $T_f, T_n=30^\circ\text{C}$; (b) $T_f, T_n=90^\circ\text{C}$; (c) $T_f, T_n=120^\circ\text{C}$	31
Şekil 4. 8 Standart sapmayla sprey konik açısı Pinj 100 bar, ET=1.5 ms; (a) $T_f, T_n=30^\circ\text{C}$; (b) $T_f, T_n=90^\circ\text{C}$; (c) $T_f, T_n=120^\circ\text{C}$	32
Şekil 4. 9 LDA ölçümleri - $P_v=40\text{ kPa}$ – $X=0$; $Y=0$; $Z=15\text{ mm}$; (a) $T_f; T_n=20^\circ\text{C}$; (b) $T_f; T_n=90^\circ\text{C}$	36
Şekil 4. 10 $Z=30\text{ mm}$ -0-2ms arasında-Pinj=10 MPA-x eksenine göre Ortalama LDA.....	37
Şekil 4. 11 $Z=30\text{ mm}$ – 0-2 ms arasında x-eksenine göre Ortalama Çap Ölçüleri	38
Şekil 4. 12 Şematik Sınır Koşulları.....	39
Şekil 4. 13 Mesh Boyutundan Bağımsızlık	40
Şekil 4. 14 Zaman adımından bağımsızlık.....	41
Şekil 4. 15 Sayısal ve deneşsel verilerin kıyası $T_f 20^\circ\text{C}$	41
Şekil 4. 16 Sayısal ve deneşsel verilerin kıyası $T_f 90^\circ\text{C}$	42
Şekil 4. 17 Sayısal ve deneşsel verilerin kıyası $T_f 120^\circ\text{C}$	42



TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Yüksek hızda görüntüleme deney planı.....	11
Tablo 3.2 PDA sistem özellikleri	11
Tablo 4.1 Test Plan and AtSPR.....	21
Tablo 4.2 AtSPR ranges for flash-boiling.	21
Tablo 4. 3 Phase Doppler Anemometry test plan	34

Direk enjeksiyon teknolojileri, son yıllarda yakıt tüketimini ve çevre kirliliğine yol açacak maddelerin oluşumunu daha da azaltacak güce sahip olduğunu göstermiştir. Ancak daha gelişmiş bir sprey oluşumuyakıt- hava karışımını ve yanmayı anlamayı gerektirir.

Bu rapor, sabit hacimli yanma odasında flash boiling görülen düşük sıcaklıkta ve yüksek sıcaklıktaki direk benzin enjeksiyonu enjektörleri araştırmasını sunar. Spreyler deneysel olarak momentum akısı, yüksek hızda görüntüleme ve Faz Doppler Anemometresi aracılığı ile araştırılmıştır.

Bu projenin bir parçası olarak, düzenli rejim boyunca ticari bir program kullanılarak nümerik bir model geliştirilmiştir. Bu modelin doğrulanması için de deneysel verilerden faydalanılmıştır.

Bu araştırmada flash boiling şartlarının daha kısa penetrasyonla daha geniş bir sprey oluşturularak sprey biçimi üzerinde büyük bir etkisi olduğu gösterilmiştir. Buna ek olarak bu spreylerin flash boiling olmayan koşullarla kıyaslandığında daha homojen bir yapıda olduğu görülmüştür.

Nümerik model düzenli rejim için geliştirilmiştir. Ancak sayısal modelin motor silindirinindeki koşulları araştırmak ve iyileştirilmesi için geçici rejimde uygulanmadan önce daha fazla geliştirilmesi gerekir.



ABSTRACT

Direct injection technologies have shown the capabilities to further reduce fuel consumption and pollutants formation in recent years. However for further development a full understanding of the spray, fuel and air mixing and combustion are required.

This report presents an investigation of Gasoline Direct Injection (GDI) injectors under low fuel temperature and high fuel temperature where flash boiling effect appears in a constant volume chamber. Sprays are investigated experimentally by means of momentum flux, high speed visualization and Phase Doppler Anemometry.

As part of this project, a numerical model is developed using commercial software during steady state conditions using the experimental data for validation purposes.

This investigation showed that the flash boiling conditions have a major effect on the spray pattern, producing a wider spray with a shorter penetration. In addition these sprays appear to have a more homogeneous pattern than those compared to non flash boiling conditions.

A numerical model was developed for steady conditions, however further development of the numerical model will be required before applying it in under non steady and transient conditions like inside the cylinder in an engine to investigate and optimize.



1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorların araştırılması ve geliştirilmesi son yıllarda yakıt tüketiminin ve çevre kirlenici emisyonların azaltılması gerekliliği ile daha da ivmelenmiştir. Bu, pahalı ve karmaşık yakıt enjeksiyon ekipmanlarına sahip sıkıştırılmalı ateşlemeli motorların ortaya çıkmasına rehberlik etmiştir. Yine benzer şekilde buji ateşlemeli motorların yakıt tüketimini azaltacak en iyi çözümlerden biri olarak direk enjeksiyona uyarlanmıştır. Ancak, direk enjeksiyon, bütün çalışma koşullarında hava-yakıt karışımının kontrolü açısından bir takım zorlukları da beraberinde getirmiştir.

Bu proje, direk benzin enjeksiyon enjektörlerinin sabit hacimli yanma odasında flash boiling koşulları altında sprey momentum akısı, spreyn görüntülenmesi ve Faz Doppler Anemometresi (PDA) aracılığıyla sayısal ve deneysel olarak araştırmasını sunmaktadır. Sprey açısına, penetrasyona, atomizasyona ve hava girişimine ait bilgiler düzenli rejimde elde edilecektir. Buna ek olarak, Fluent programı kullanılarak benzin spreyi için sayısal bir araştırma yürütüldü. Bu model düzenli rejim koşullarında geçici rejimde sınır koşulları olarak ve doğrulanması ve deneysel veriler kullanılarak içten yanmalı motorlar için daha karmaşık üç boyutlu hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) modellerin bir parçası olması amacıyla geliştirildi.

Proje Bölüm 2' deki literatür taraması ile başlar, bunu takip eden Bölüm 3' te uygulanan üç tekniğin ve sabit hacimli yanma odasında deneysel kurulumun nasıl yapıldığı açıklanacak. Bu bölüm sayısal yöntemleri ve uygulanan altmodellerin seçilmesi için kriterleri de içerecek. Bölüm 4' te bu üç tekniğin yani momentum akısı, yüksek hızda görüntüleme ve PDA tekniklerinin flash boiling olan ve flash boiling olmayan koşullardaki sonuçlarının kıyaslanıp farklar vurgulanarak sonuçlar sunulmuştur. Bölüm 4 aynı zamanda sayısal tahminleri ve onların deneysel verilerle kıyasını içerecektir. Rapor Bölüm 5' te gösterilen sonuçlarla sona erer.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

Emisyonla ilgili olan sıkı yasalar ve binek araçlarındaki yakıt tüketimi düşüşü dizel pazarındaki artış anlamına gelmiştir. 2006' da ilk kez Avrupa' daki dizel binek araçların satışı, benzinli araçların satışını geçmiştir. Ama bu eğilim daha sonra sabit kalmıştır. Buji ateşlemeli motorlar boyutlarındaki küçülme gibi bazı teknolojiler sayesinde bir miktar pazar payını geri almıştır. Turbo doldurucularla (turbocharger) donatılmış daha küçük boyuttaki motorları çalıştırmak buji ateşlemeli motorların verimini arttırmış ve böylece yakıt tüketimini de azaltmıştır. Bu teknoloji direkt püskürtme sistemlerinin eklenmesiyle de tamamlanmıştır. Bu teknolojiye Direkt Püskürtmeli Benzin Motoru adı verilmektedir. Bu şartlar altında, yanma verimi için karışım oluşum işleminin kontrol etmek bir gerekliliktir. Dolayısıyla, spreyle ilgili özellikler spray oluşumu, spray-hava etkileşimi, değişik motor şartları altındaki karışımın optimize edilmesi için doğru bir şekilde kontrol edilmeyi gerektirmektedir.

Dizel motorlarda, spreyle uzun yıllardır araştırılmaktadır. Spray penetrasyonu, koniklik açısı ve hava tutunumu momentum akışına bağlı olduğundan momentum akışı ana parametredir Rajaratnam (1974). Zaman fonksiyonu olarak spray momentum akışı ve konumsal momentum akışı bilgisi tüm karışım işlemi en iyileştirmesine önemli bir katkı sağlamaktadır. Sürekli rejimde dizel spreyle için momentum akışı ölçümü oturmuş bir tekniktir Desantes vd.,(2003), Payri vd. (2005), Payri vd. (2007), Desantes vd. (2006), Postrioti vd. (2009), Postrioti and Battistoni (2010), Winter vd. (2010). Bu çalışmaların bazıları dizel spray özellikleri üzerine odaklanmıştır. Meme içindeki kavitasyon önemli derecede akışın tahliye olmasını ve atomizasyonu etkilediğinden Desantes vd. (2003), spray momentum akışı ile enjektörün memesindeki kavitasyon etkisi üzerine çalışmıştır. Payri vd. (2005), meme çıkışındaki kavitasyon olgusu ve geometrinin etkisini görmek için gerçekçi motor şartları altında kütle ve momentum akışı hesaplarını uygulayarak farklı geometrilerdeki kavitasyonu incelediler. Payri vd. (2007), Desantes vd. (2006), Postrioti vd. (2009), Postrioti and Battistoni (2010), Winter vd. (2010), tarafından yürütülen çeşitli çalışmalarda yüksek hızda görüntüleme tekniği kullanıldığında, zaman fonksiyonlu olarak lokal spray momentum akışını analiz ederek spreyle lokal atomizasyon seviyesi ile ilgili ilginç bilgileri ortaya çıkarmanın mümkün olduğu görülmüştür. Spray momentum akışı deneyleri sürekli rejimde altında ve dizel motorlardaki basınçlara yakın basınçlarla sıvı penetrasyonu görmek için yapılmıştır Desantes vd. (2006) ve bunu takip eden Postrioti vd. (2009) çalışmaları simülasyon modeli araçlarını geliştirmek için kullanılmıştır. Böylece spray değişik şartlar altındaki spray momentum ve onun etkileri tahmin edilebilmiştir. Daha yakın zamandaki çalışmalara bakıldığında, karışım işleminin daha iyi anlaşıldığı piston silindir içi gibi düzensiz rejimdeki



sprey momentum akışı deneylerinin uygulandığı görülmektedir Postrioti and Battistoni, (2010).

Uzun yıllardır dizel araştırmalarında optik teknikler kullanılmaktadır. Lazerler gibi yüksek güçlü aydınlatma ile birleştirilmiş yüksek hızda görüntüleme teknikleri kullanılması penetrasyon, konik açısı, karışım oluşu vs. gibi spray özelliklerini incelemekte uygulanmıştır Jakob (2012), Diez vd. (2012), Diez ve Zhao (2010), Dahms vd. (2011), Dahms vd. (2011a), Sick (2013). Daha önce bahsedildiği gibi, direkt püskürtmenin buji ateşlemeli motorlarda kullanılması, yakıt tüketimindeki azalma gibi avantajlar getirmiştir. Ancak bunun yanında, yanma öncesi ve yanma sırasındaki hava-yakıt karışımının en iyileştirilmesinin kontrolünde karmaşıklıklar içermektedir. Bunun sonucu olarak buji ateşlemeli direkt enjeksiyonda yüksek hızda görüntüleme tekniği kullanılarak yeni araştırmalar yapıldığı görülmektedir Dahms vd. (2011, 2011a,). Bazı durumlarda da bu teknik momentum akışı ölçümleriyle birlikte uygulanmıştır Winter vd. (2010).

Sprey özellikleri ile ilgili daha ayrıntılı bilgiye sahip olmak Faz Doppler Anemometresi gibi bölgesel analiz yaklaşımıyla sağlanabilmektedir. Faz Doppler Anemometresi hız ve akış yapısındaki kümelenme dağılımı hakkında sayısal bilgi verebilmektedir. Bu bilgiler yakıt-hava karışımı potansiyelinin belirlenmesinde öncelikli öneme sahiptir (Postrioti vd. 2011). Bu deneysel yaklaşım direkt püskürtmeli benzin enjektörlerinin sprelerinde çok yoğun akış yapıları olmadığı takdirde başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir. Dizel spray analiz geçmişini temel alarak, direkt püskürtmeli benzin enjektör sprelerinde, hem bütünsel yaklaşıma göre bütün momentumun ölçülmesi ile, hem de bölgesel yaklaşıma göre spray yapısındaki momentum akışı dağılımının saptanması ile (sprey eksenine dik bir düzlemlerle) analiz yapılabilmektedir Postrioti vd. (2012).

O'Rourke ve Amsden (1987) ile Reitz ve Diwakar (1987) modelleme üzerine ilk çalışmalardan birini yapmışlardır. O'Rourke ve Amsden (1987) kullanılmak üzere Dukowicz (1980) tarafından önerilmiş spray hesaplamalarında olasılıksal tanecik methodunu kullanarak damlacıkların aerodinamik parçalanmaları hesaplamak amacıyla Taylor Analoji Modeli' ni (TAB) geliştirmiştir. Reitz ve Diwakar (1987) dizel spreler için bir nümerik model geliştirmiştir ve yoğun sprelerden alınan ölçümlerle bu modelin sonuçları iyi sonuçlar vermiştir. Bu model nozul yakınındaki bölge olan çekirdek kısımda iyi sonuçlar vermesine karşın yakıtın buharlaştığı kısımlarda aynı derecede iyi sonuçlar verememiştir. Bundan sonra Reitz (1987), büyük damlalardan küçük damlaların oluşumunun modellenmesine olanak sağlayan ve deneysel sonuçlarla uyum sağlayan WAVE modeli geliştirmiştir.

WAVE ve TAB model nozul içindeki akışkan şartlarını dikkate almadıklarından, Arcoumanis vd. (1997) kavitasyon kaynaklı modeli ve Huh ve Gosman (1991) da türbülans kaynaklı modeli bu açığı kapatmak için geliştirilmiştir. Bianchi ve Pelloni (1999) türbülans kaynaklı modelini damlaların ilk parçalanmasını modellemek için, TAB modeli de ikincil parçalanmasını modellemek için kullanmıştır. Bu çalışmaya ek olarak Bianchi vd. (2001) spreyn parçalanmasında enjeksiyon ilk periyotlarında TAB model kullanarak güncellemiştir.

O'Rourke ve Amsden (1987) tarafından geliştirilmiş modeli Abani vd. (2007) çalışmasında kullanmıştır. Damlacıkların çarpışmaları ve birleşmeleri, boş koni şeklinde bir spreyn olduğundan çarpışma olasılığının az olması sebebiyle ihmal edilmiştir. Bekdemir vd. (2008) Fluent programını kullanarak 1mm örgü modeli boyutu ve $1e^{-6}$ s zaman adımı ile 800 bar basınçla dizel enjeksiyonu WAVE modeli ve dinamik sürünme modeli ile simüle etmiştir. Postrioti vd. (2009) yine 600 ve 1200 bar basınçta ve 50 ve 10 bar basınçlı ortama enjekte edilen dizel için bir sıkıştırılabilir RANS methodu olan k ve yüksek Reynolds türbülans modeli kullanmıştır. Minimum örgü modeli boyutu 0.187 mm ve ilk ve ikincil damlacık parçalanmaları Reitz ve Diwakar (1986)'ın modeline göre simüle edildiği bu çalışmada PISO algoritması ve tamamen örtük sayısal yöntemle integre edilen $2e^{-6}$ s zaman adımı kullanılmıştır. Aynı enjeksiyon basıncı ve yanma odası koşullarında Postrioti ve Battistoni (2010) de yine aynı koşullarda k-epsilon türbülans modeli, SIMPLE algoritması, $5e^{-6}$ s zaman adımı ve minimum örgü modeli boyutu 0.1785 kullanmıştır. Bu çalışmada ikincil damlacık parçalanması için ana katsayıları $c_1=0.61$ ve $c_2=30$ olan WAVE model (Reitz, 1987)), ilk parçalanma içinse blob yöntemi (Liu vd. 1993) uygulanmıştır. Süreksiz rejimde global momentum akısı sonuçlarının iyi sonuç verdiği Postrioti ve Battistoni (2010) nin çalışmasına ek olarak aynı sayısal ayarlarla Postrioti vd. (2011) momentum akısının lokal dağılımını zamana ve yere bağlı olarak karşılaştırmayı amaçlamıştır. Postrioti vd. (2011) damla çarpışması modeli O'Rourke (1981) dikkate almıştır. Kusters ve Karlsson (2011) çalışmasındaki yeni bir spreyn modeli olan VSB2 yukarıda bahsedilmiş çalışmalardaki aynı koşullarda ve yüksek sıcaklıktaki yanma odasına enjekte edilen dizel spreyn uygulanmıştır. En uygun RANS modeli bulmak için sıvı ve buhar penetrasyonu Naber ve Siebers (1996)'in çalışmasında deneysel verilerle karşılaştırılmış olup bazı türbülans katsayıları ayarlanmıştır. Bu çalışmada örgü modeli boyutu ve zaman adımı 0.5 mm ve $1e^{-6}$ dir. Örgü modeline bağımlılığı azaltmak amacıyla spreyn bölgesinde türbülans uzunluk ölçeği en büyük damlacık çapına eşit olan nozul çapına k ve epsilon arasında bir bağıntıyla sabitlenmiştir.



Bu projenin ana amacı, deneysel ve sayısal olarak direkt püskürtmeli benzin motorları enjektörlerini incelemektir. Bu proje deneysel ve sayısal olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır:

Deneysel aşama, sprey momentum akışı, sprey görüntüleme, ani kaynama şartları altındaki sabit hacimli bir yanma odasında sürekli rejimdeki spreylere Faz Doppler Anemometresi gibi tekniklerin yardımıyla yürütülecektir. Bu üç teknik, direkt püskürtmeli buji ateşlemeli motorlardaki kompleks olan yakıt-hava karışımının daha iyi anlaşılması amacıyla uygulanacaktır.

Projenin ikinci kısmı olan sayısal kısmında ise amaç direkt püskürtmeli buji ateşlemeli enjektörler için hesaplamalı akışkanlar dinamiği modeli oluşturmaktır. Hem sürekli rejimdeki spreylere doğrulanması hem de son kontrollerin ve süresiz rejimdeki sınır şartlarının sağlanması amacıyla daha önce bahsedilen bu üç deneysel teknikten faydalanılacaktır.

Bu projenin geniş çaplı amacı, direkt püskürtmeli benzin enjektörlerinin sprey yapısının geliştirilmesi ile ilgili temel, tatmin edici bilgi kazandıracak kapsamlı bir yaklaşım önermektir.



3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bahsedilen testler Perugia Üniversitesi' ndeki SprayLab laboratuvarında momentum test düzeneği ve Faz Doppler Anemometre analizi kullanarak gerçekleştirilmiştir.

Enjeksiyon sistemi: İki aksenel tek delikli delik çapı 0.2 mm olan ve L/D=1 oranla karakterize edilmiş Magneti Marelli IHP-279, ve delik çapı 0.2 mm olan ve L/D=3 oranla karakterize edilmiş Magneti Marelli IHP-293. İkincisi endüstriyel tip enjektörlere geometrik açıdan daha yakın olmakla beraber, ilki daha geniş sprej açısına sebebiyet verebilir. Enjektörler programlanabilir kontrol ünitesi (Loccioni Mobility 006) tarafından yönetilmektedir.

Enjektör tesisatı ve nozul sıcaklığı iki tane elektrikli ısıtıcıyla (toplam 300 W) 130°C' ye kadar ayarlanabilmektedir. Yakıt statik basınç üreticisi (Loccioni Mobility Thor) ile basınçlandırılmakta ve çalışma basınçları 2 MPa ile 100 MPa arasında %0.1 dalgalanmayla değişmektedir. Enjektörden önceki geniş basınçlandırılmış yakıt rezervuarı (290 cc), sıcaklığı 20-120°C aralığında tutacak tamamlayıcı elektrikli ısıtıcıların bulunduğu basınç damperi olarak kullanılmaktadır.

Testler, optik olarak erişilebilir alette ikisinin Faz Doppler Anemometresi için dizayn edildiği üç adet 100 mm çaplı kuvars pencere ile gerçekleştirilmiştir. Test düzeneği oda sıcaklığında ve 30 ve 8500 kPa aralığındaki mutlak basınçlarda çalışacak şekilde tasarlanmıştır.

Enjeksiyon olayı ile hem görüntüleme ve PDA aparatları arasında veri toplama ve senkronizasyonu NI PCIe 6351 DAQ board temelli kendini geliştiren sistem tarafında güvence altındadır.

3.1 Momentum Akısı

Momentum akısı dolaylı yolla yani etki kuvvetinin hesaplanması yoluyla hesaplanır. Jet sabit hacimli yanma odasına ilerler ve sprej eksenine dik düz bir yüzeye çarpar. Etki olayında, hedefteki sprej tarafından açığa çıkmış kuvvet genellikle bir piezoelektrik kuvvet sensörü ile ölçülür. Akışkanın etrafına Sc yüzeyleri ile sınırlandırılmış Vc kontrol hacmi çizildiğinde, sprej-hedef etkileşimi momentum korunumu denklemi olan Denklem 3.1' le açıklanmaktadır.

$$\vec{F} = \frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \rho \vec{v} dV + \iint_S \rho \vec{v} (\vec{v} \cdot \vec{n}) dS \quad (3.1)$$

\vec{v} hız vektörünü ve \vec{F} de kontrol hacminin yüzeylerine etkiyen bileşke kuvveti (normal ve kayma gerilmesi) ve hacimde de akışkan ağırlığını ifade etmektedir.

Düzenli rejimde -konvansiyonel sprey momentum ölçü cihazlarında olduğu gibi- ve ortogonal sapma ile ilgili daha ilerideki varsayımlar ve ihmal edilebilir veya orthogonal hava tutunumu (örn. geçersiz eksenel hız bileşkeleriyle akışın Vc control hacminden ayrılması ve kontrol hacmine girmesi), ölçülen etki kuvvetinin püskürtülmüş olan momentum akışına eşit olduğu aşağıdaki varsayımlarda bulunarak düşünülebilmektedir.

-delikten çıkan sıvı faz v_{eff} üniforma hıza sahiptir.

-sıvı faz sadece kendi delik çıkış alanını kaplar.

-buharın kütle ve momentum akısına katkısı ihmal edilebilir.

-kütle akısı ve momentum akısı ifadeleri şu şekilde basitleştirilebilir.

$$\dot{m} = \rho_l v_{eff} S_{eff} \quad \dot{M} = \rho_l v_{eff}^2 S_{eff} \quad (3.2)$$

Sonuç olarak efektif akış tahliye hızı v_{eff} ve efektif akış alanı S_{eff} şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$v_{eff} = \frac{\dot{M}}{\dot{m}} \quad S_{eff} = \frac{\dot{m}^2}{\rho_l \dot{M}} \quad (3.3)$$

Denklem 2 ve 3'te hız düşümü C_v , akış alanı düşümü C_s katsayıları aşağıdaki denklemlerle hesaplanmaktadır:

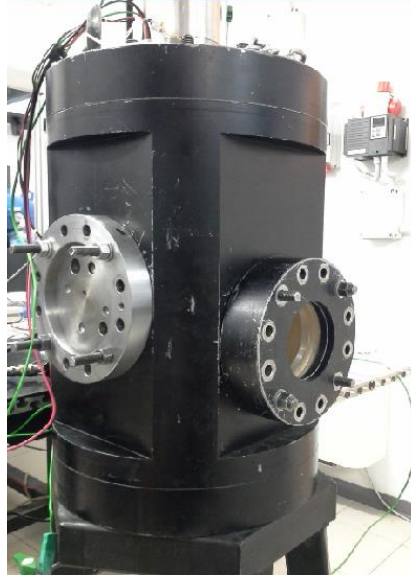
$$C_v = \frac{v_{eff}}{\sqrt{2\Delta P / \rho}} = \frac{v_{eff}}{v_{th}} \quad C_s = \frac{S_{eff}}{S_0} \quad (3.4)$$

Aynı zamanda, nozul tahliye katsayısı $C_d = C_v \cdot C_s$ şeklinde tanımlanmaktadır. Böylece, düzenli rejimde nozulların karakterize edilmesi için hem kütle hem de sprey momentum akısı ölçümleri gerekmektedir.

Ancak, düzenli koşullara genellikle uzun enjeksiyon sürelerinde (güç verme süreleri 3ms'ten 5ms'e kadar olan) ulaşılmaktadır.

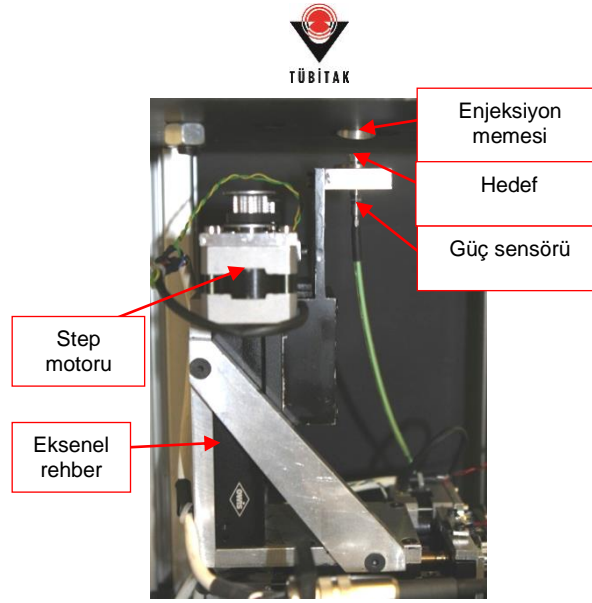
3.1.1 Deneysel Yöntem

Bütün deneyler kalın duvarlı, görmeye ve içindeki montajları yapmaya olanak sağlayacak dört pencereleli sabit hacimli odada uygulanmıştır. Ancak duvarlar ve pencereler istenilen deneysel koşullar olan 0.3 bardan 85 bara kadar dayanacak şekilde kurulmuştur (bknz Şekil 3.1).



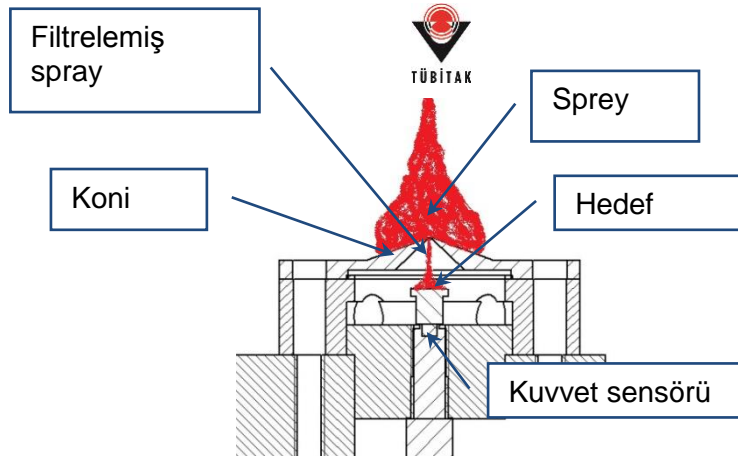
Şekil 3.1 Deney düzeneği

Sprey global momentum akısı ölçümleri, spreyn eksenine dik şekilde yerleştirilmiş olan düz bir yüzeye çarpmasıyla oluşan kuvvetin bulunması temelinde yapılmaktadır. Bu kuvvet piezo elektrik sensörü (Kistler 9215) ile birlikte kuvvet yük yükseltici (Kistler 5011) aracılığıyla ölçülmektedir. 12 mm çaplı bir hedef sensöre vidalanmış olup ve bu alet, kademeli motorla (1/200 mm/step) hareket ettirilen üç OWIS optic rehberle monte edilmiş üç eksen kartezyen koordinat sistemi ile monte edilmiştir. Konumlama sistemi 60 bara kadar olan vessel basınçta işletilmek üzere ve enjektör eksenine ile çakışık, x ve y ekseninde ± 14 mm, z ekseninde ise 65 mm gidecek şekilde tasarlanmıştır. Global momentum akısını ölçmek için en küçük dikey mesafe 5 mm olup, bölgesel momentum testlerinde ise 10 mmdir (Şekil 3.2). Konumlama sistemi, enjektör kontrol ve very toplama görevleri iki kendini geliştiren yazılımla (NI LabVIEW™) kontrol edilen NI DAQ boards (PCI 6221 ve USB6009) tarafından yerine getirilmektedir.



Şekil 3.2 Momentum akısı deney düzeneği ve pozisyonlama sistemi

Bölgesel momentum akısı analizini başarıyla sonuçlandırmak için, etki kuvveti ölçümleri sprey yapısının küçük kısımlarıyla ilişkilendirilmez. Analiz edilmiş spreyin küçük parçası spreyin istenmeyen kısımların mekanik bir filtreye saptırılması dışında global momentum akısı testinde olduğu gibi incelenmektedir. Mekanik filtre, müdahale edilmemiş ve serbest jet momentum akısı ölçümlerine olanak sağlayabilecek şekilde olabildiğince az araya girmelidir. Şekil 3.3' te prensip ve teçhizat görülmektedir Postrioti vd. (2009) Hedefin altında global momentum akısı ölçümlerinde kullanılan aynı piezoelektrik kuvvet sensörü etki kuvvetini algılamaktadır. Ölçümler, spreye dik bir yüzey üzerinde integrali alındığında ideal olarak global momentum akısına eşit olan sanal haritayı içeren bir pozisyonlar örgüsü üzerinde tekrarlanmaktadır. Sprey-mekanik filtre etkileşimi ile olan dağıtıcı olay muhtemelen local momentumun integralinin %8 -%12 uyuşmazlıkla global momentuma ulaşmamasına sebebiyet vermektedir. Hem global hem de bölgesel momentum akısı testleri için hedefin bütün spreyi veya spreyin bir parçasını içine almasının şart olduğunu belirtmek önemlidir. Doğru sprey sapmasından emin olmak için hedef boyutları vuran spreyden geniş olmalı ancak bileşke momentum ölçülen değeri etkileyebilecek gürültüden kaçınılmalıdır (Postrioti ve Battistoni, 2010).



Şekil 3.3 Bölgesel momentum akısı ölçümü için konik adaptör

3.2 Spray görüntüleme

Sprey görüntüleme event-resolved yaklaşımlı ön ışıklandırmalı optik kurulum ile yapılmaktadır. Vision Research Phantom Miro M 310 high speed CMOS kamera darbeli LED ışık kaynağı ve enjeksiyon ile birlikte çalışarak 1 μ s' lik aralıklarla poz yakalamaktadır. Değişik alanların görüntülerini alabilmek için kameranın önüne her görüntülemeye karşılıklı olarak iki lens yerleştirilmektedir. 6.88 px/mm uzamsal çözünürlüklü Nikkor 50mm F/1.8 lens 6.88 px/mm çözünürlüğüyle 100x25 mm'lik bir görüş alanında bütün spreyn nasıl ilerlediğine dair bilgi sahibi olunmasına olanak sağlamaktadır. Geniş görüş alanı, jet yapısı üzerindeki makroskopik flash boiling etkilerini analiz etmek için 20 kfps kare hızı ile kullanılmıştır. Nikkor 200mm F/4 lens meme çevresindeki burgaç oluşumlarını gözlemlemek amacıyla kullanılmıştır. Bu büyüteçte gözlemlenen alan 2.47 px/mm uzamsal çözünürlükle 10x10 mm'e düşürülmüş ve 40 kfps kare hızı kullanılmıştır. Sprey analizi için geçerli bir istatistiksel kaynağa sahip olmak amacıyla her çalışma koşulunda 30 enjeksiyon tekrarı yapılmıştır. Sprey penetrasyonunu ve yayılım açısını hesaplamak için tescilli çekim sonrası işleme yazılımı NI Vision™ tabanında geliştirildi. Elde edilen görüntü için alt sınırların ikili veri haline getirilmesinin ayarlanarak sıvı bölgenin görüntü fonundan ayırt edilmesi mümkündür. Nozuldan spreyn en uç noktasına olan uzunluğunun, bütün spreyn sınırlarının ve konik açısının hesaplanması için ikili veri haline getirilmiş görüntü taranır.

Görüntüleme testleri için üç adet basınçlı tank (40-100-300 kPa, mutlak basınç) kontrol edilir. Tablo 3.1' de gösterildiği gibi yakıt ve enjektör teçhizatı sıcaklıklarının hem optik yakın plan hem de uzak plan konfigürasyonları için 20°C ile 120°C arasında değişmektedir. Bu projede

izah edilen bütün testlerde, enjektör 10 MPa'lık enjeksiyon basıncıyla 1.5 ms güç verme zamanıyla işletilip, deney akışkanı olarak saflık oranı %95' ten yüksek olan n-heptane kullanıldı.

Tablo 3.1 Yüksek hızda görüntüleme deney planı

Yüksek hızda görüntüleme - Test (Pinj=10 MPa)			
Tf ; Tn [°C]	Pv [kPa]		
	40	100	300
20	✓	✓	✓
90	✓	✓	✓
120	✓	✓	✓

3.3 Faz Doppler Anemometresi

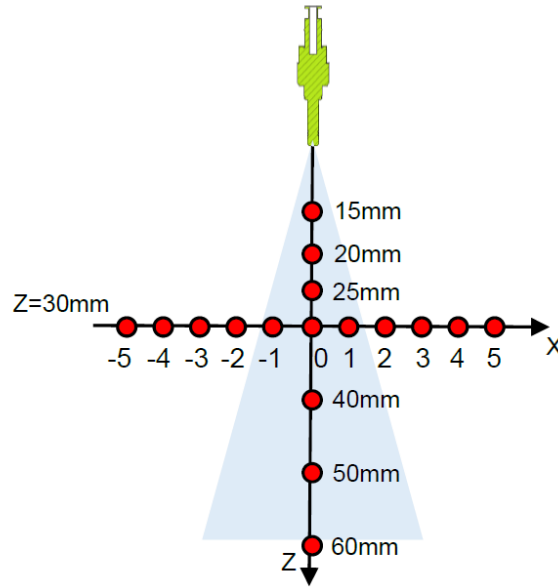
Damlacık hızı ve çap ölçümleri için Dantec-Dynamics Faz Doppler Anemometresi sistemi kullanıldı.

Tablo 3.2 PDA sistem özellikleri

Enjeksiyon Frekansı (Hz)	5
Güç verme süresi (μ s)	1500
Odak uzunluğu (mm)	310 / 310
Işın yayıcı emici oranı	1.95
Apertür Tabakası	B
Konumsal Filtre (mm)	0.2
PDA Veri Alma Penceresi (ms)	20
Partikül Kırıcı İndeksi	1.385
Partiküle özgü kütle çekimi (kg/m ³)	685

PDA sistemi, Dantec FlowLite 1D lazer kaynağına (532nm), 1.95 ışın yayıcı oranı ile 60 mm Fiber PDA vericisine ve 112 mm HiDense alıcıya sahip bir sistem olmakla beraber; onu tamamlayan a BSA P80 sinyal işlemcisi de mevcuttur. Üç eksenli sistem, olduğunu varsayarak enjektör ucu etrafında üç boyutlu pozisyon olarak inceleme yapmayı mümkün kılar. Sinyal gürültü oranını maksimize etmek için 110° arayla bir sonraki saçılma konfigürasyonu gerçekleştirilir. Tablo 3.2'de ana PDA sistem özelliklerini ve enjektör işletme koşullarını görebilirsiniz.

PDA analizi flash boiling geçişlerine odaklanır. Hem 20°C hem de 90°C sıcaklıklar yüksek hızda görüntüleme deney planında (Tablo 3.2) bu sebeple seçildi. PDA ölçü alma pozisyonları jet eksenini boyunca (z eksenini) ve sprey kesiti boyunca radyal olarak belirlenir (Şekil 3. 4).



Şekil 3.4 PDA ölçüm pozisyonları

3.4 Sayısal Model

Bu proje için bir HAD programı olan Fluent seçildi. Hava ile sıvı spreyin olduğu bu çok fazlı akışların hesaplanması Eulerian-Lagrangian yaklaşımı ile hesaplandı. Sprey içinde hava olan bir odaya penetre olduğundan her iki fazın dikkate alınması şarttır. Gaz fazı Eulerian yaklaşımıyla, türbülans model kullanılarak Navier-Stokes denklemleri ile hesaplanır. Ancak ayrık faz için Eulerian yaklaşım uygun olmayıp, Lagrangian yaklaşımı kullanılır.

3.4.1 Ayrık Faz Gösterimi

Sıvı partiküller hareket denklemleri ile ifade edilmekte olup aynı zamanda ısı ve kütle transferleri hesaplanmaktadır.

Akışkan parçacıklarının hareketleri parçacık kuvvet dengesinden hesaplanır.

$$\frac{d\bar{u}_p}{dt} = F_D(u - \bar{u}_p) + \frac{\bar{g}(\rho_p - \rho)}{\rho} + \bar{F} \quad (3.5)$$

Denklem 3.5'te $F_D(u - \bar{u}_p)$ parçacık kütlesi başına sürünme kuvvetini ifade eder.

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho_p d_p^2} \frac{C_D \text{Re}}{24} \quad (3.6)$$

Re göreceli Reynolds sayısı Denklem 3.7'deki gibi tanımlanır.

$$\text{Re} = \frac{\rho d_p (\bar{u}_p - \bar{u})}{\mu} \quad (3.7)$$

İnert ısı dengesi için,

$$m_D C_{pD} \frac{\partial T_D}{\partial t} = h A_D (T_\infty - T_D) \quad (3.8)$$

Buharlaştırma ısı dengesi için,

$$m_D C_{pD} \frac{\partial T_D}{\partial t} = h A_D (T_\infty - T_D) + \frac{dm_D}{dt} h_{fg} \quad (3.9)$$

Kaynama ısı dengesi için,

$$\frac{d(d_D)}{dt} = \frac{4k_\infty}{\rho_D C_{p\infty} d_D} (1 + 0.23\sqrt{\text{Re}_d}) \ln\left(1 + \frac{C_{p\infty}(T_\infty - T_D)}{h_{fg}}\right) \quad (3.10)$$

3.4.2 Sonsuz Faz Gösterimi

n-heptan buharlaşınca buhar n-heptan da sürekli faza geçer. Hava ile ikisi sürekli fazdır. Her ikisi kendi arasında bir türü ifade eder ve kendi aralarında entalpi taşınımı gerçekleşir. Her bir tür için türbülans modelle süreklilik, momentum ve enerji denklemleri çözülür.

Genel bir süreklilik denklemi şu şekilde ifade edilir:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \vec{\nabla}(\rho \vec{v}) = S_m \quad (3.11)$$

S_m ayırık fazın (sıvı n-heptan) buharlaşması sonucu oluşan kütle kaynak terimidir. Aynı zamanda farklı yaklaşımlarla kullanıcının kendi bir kodla müdahale edebilir.

Genel momentum denklemi:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \vec{\nabla}(\rho \vec{v}) = \vec{\nabla} P + \vec{\nabla} \vec{\tau} + \vec{F} \quad (3.12)$$

P statik basınç, $\vec{\tau}$ stress tensörü ve \vec{F} de ayırık fazla sürekli fazın etkileşimi sonucu oluşmuş gövde kuvveti ve/veya yine kullanıcının kodla tanımladığı bir terim olabilir.

Enerji denklemi:

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \vec{\nabla}[\vec{v}(\rho E + P)] = \vec{\nabla}[(k + k_t)\vec{\nabla} T - \sum h_j \vec{J}_j + (\vec{\tau} \vec{v})] + S_e \quad (3.13)$$

Denklem 3.13' te sağ tarafta parantez içindeki terim sırasıyla iletimle, tür difüzyonu ve viskoz yayılımı ile enerji transferini ifade eder. S_e de yine kullanıcının tanımladığı bir terimdir.

$$E = h - \frac{P}{\rho} + \frac{\vec{v} \vec{v}}{2} \quad (3.14)$$

İdeal gazlar için entalpi h , kütle kesirinin her bir türün entalpisi ile çarpımının toplamı olarak yazılır:

$$h = \sum Y_j h_j \quad (3.15)$$

Entalpi özgül ısının referans sıcaklıktan (T_{ref} 298:15K) o anlık sıcaklığa kadar integral alınması ile hesaplanır.

Sprey simulasyonlarında en az iki farklı tür vardır, bunlar odanın içindeki gaz ve enjekte edilmiş yakıttır. Bu ikisinin kütle kesirleri bire eşit olduğundan, N tane tür varsa bunun bir eksiği kadar transport denklemi çözülmelidir.

$$\frac{\partial(\rho Y_i)}{\partial t} = \vec{\nabla}(\rho \vec{v} Y_i) = -\vec{\nabla} \vec{J}_i + S_i \quad (3.16)$$



Si buharlaşma aktive edildiğinde oluşan bir kaynak terimidir. Difüzyon akısı kaynaklı türler arasındaki transport difüzyon akısı \vec{J}_i ile hesaplanır. Türbülans difüzyon akısı için:

$$\vec{J}_i = -(\rho D_{i,m} + \frac{\mu_t}{S_{ct}}) = \vec{\nabla} Y_i \quad (3.17)$$

$D_{i,m}$ karışımdaki i'inci tür için difüzyon katsayısıdır. μ_t ise türbülans dinamik viskozite ve S_{ct} türbülans Schmidt sayısıdır, başlangıç olarak 0.7 olarak ayarlanmıştır.

$$S_{ct} = \frac{\mu_t}{\rho D_t} \quad (3.18)$$

D_t türbülans yayınlığıdır.

k-ε model aksisimetrik jetler için uygun olduğundan ve bir çok uygulamada da iyi sonuçlar alındığından tercih edilmiştir, Fluent 12.0 theory guide, (2009).

3.4.3 Ayrık Faz Modeli

Bu çalışmada, sürekli faz ayrık fazla birlikte. Parçacık hareket denklemleri ile birlikte damlacıkların etrafındaki hava için genel akışkanlar dinamiği denklemleri çözülür.

Bu çalışmada nozulun iç geometrisi bilinmediğinden iğnenin açılıp kapanması sırasında gelişen geçici etkiler dikkate alınmadı.

Fluent sprey oluşumunu simüle etmek için değişik püskürtücü modelleri sunar. Atomizasyon rejimi ilk parçalanmayla ilişkidir. Püskürtücü modeli iç akışa bağlı olarak ilerledikçe parçacık yörüngesini hesaplamakta kullanılacak ilk damla çapı, hızı ve sprey açısı gibi ilk şartları belirler.

Düz Delikli Püskürtücü Modeli

Bu püskürtücü tipinde tek-faz, kavitasyonlu ve flipped akış olmak üzere üç çeşit başlangıç koşulları vardır. Bu modellerde sıvı nozul içinde hızlanır, sıvı şekilde bir jet halini alır ve küçük damlacıklara ayrılır. Nozul içindeki akışın durumu kavitasyon sayısı K' ya bağlıdır, nozulun çıkıştaki radyusuna, çapına ve uzunluğuna bağlıdır. Delik çapı ve uzunluğu deneysel verilerden elde edildi.

$$K = \frac{P_1 - P_{vap}}{P_1 - P_2} \quad (3.19)$$



$$K_{incept} = 1.9\left(1 - \frac{r}{d}\right)^2 - \frac{1000}{Re_h} \quad (3.20)$$

$$K_{crit} = 1 + \frac{1}{\left(1 + \frac{L}{4d}\right)\left(1 + \frac{2000}{Re_h}\right)e^{\frac{70r}{d}}} \quad (3.21)$$

Re_h 'i hesaplamak için:

$$Re_h = \frac{d\rho_l U_{bernoulli}}{\mu} \quad (3.22)$$

Fluent, Nurick (1976) tarafından önerilen daralma katsayısı C_C kullanır.

$$C_C = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{C_{ct}^2} - \frac{11.4r}{d}}} \quad (3.23)$$

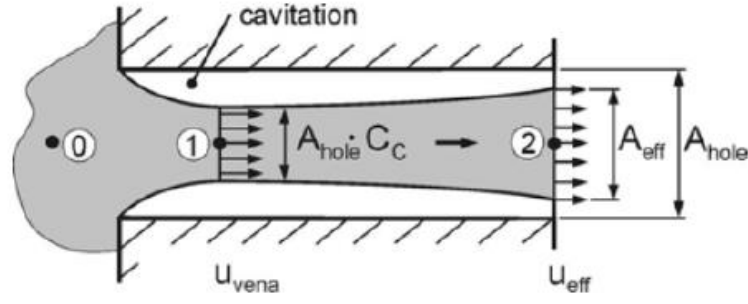
C_{ct} flipped nozullar için potansiyel akış analizinden gelir (Bknz Şekil 3. 5).

Tahliye katsayısı nozulun performansını açıklar. $U_{inj,max}$ Bernoulli denkleminde hesaplanmış en üst limit başlangıç hızıdır.

$$U_{inj} = \frac{\dot{m}_{inj}}{A_{hole}\rho l} \quad (3.24)$$

$$U_{inj,max} = \sqrt{\frac{2\Delta P_{inj}}{\rho l}} \quad (3.25)$$

$$C_D = \frac{\dot{m}_{eff}}{\dot{m}_{bernoulli}} = \frac{\rho l A_{hole} u_{mean}}{\rho l A_{hole} u_{bernoulli}} = \frac{u_{mean}}{\sqrt{2(P_0 - P_2)}\rho l} \quad (3.26)$$



Şekil 3.5 Kavitasyonlu nozul akışı

Kavitasyonlu akış için, Nurick (1976);

$$C_d = C_c \sqrt{K} \quad (3.27)$$

Flipped akış için, Nurick (1976);

$$C_d = C_{ct} = 0.611 \quad (3.28)$$

Çıkış hızı şu şekilde hesaplanır:

Tek fazlı akış için,

$$u = \frac{\dot{m}_{eff}}{\rho A} \quad (3.29)$$

Flipped akış için,

$$u = \frac{\dot{m}_{eff}}{\rho C_{ct} A} \quad (3.30)$$

Schmidt ve Corradini (1997) tarafından önerilen kavitasyonlu akış için:

$$u = \frac{2C_c P_1 - P_2 + (1 - 2C_c) P_v}{C_c \sqrt{2(P_1 - P_v) \rho l}} \quad (3.31)$$

Wave Parçalanma Modeli

Wave model yüksek hızdaki enjeksiyonlar için ($We > 100$) en uygun modeldir (Fluent 12.0 theory guide, 2009). Bu modele göre damlacıkların parçalanması gaz ve sıvı fazın aralarındaki hız farkından kaynaklanmaktadır. Damlalardan damlacıkların oluşması sıvı yüzeyindeki Kelvin–Helmholtz dengesizliklerinin gelişme oranı ile tetiklenir.

$$\frac{\Lambda}{a} = 9.02 \frac{(1 + 0.45Oh^{0.5})(1 + 0.4Ta^{0.4})}{(1 + 0.87We_2^{1.67})^{0.6}} \quad (3.32)$$

$$\Omega \sqrt{\frac{\rho la^3}{\sigma}} = \frac{(0.34 + 0.87We_2^{1.5})}{(1 + Oh)(1 + 0.4Ta^{0.6})} \quad (3.33)$$

Denklem 3.33'teki 1 alt indisi sıvı fazı için, 2 alt indisi de gaz fazı içindir. Reitz ve Bracco (1982)'nin gösterdiği gibi Ω dengesizliğin en yüksek büyüme oranı olup, Λ en yüksek büyüme oranının olduğu dalga boyudur.

$Oh = \sqrt{We_1 / Re_1}$ Ohnesorge sayısı ve $Ta = Oh \sqrt{We_2}$ Taylor sayısıdır.

Modele göre yeni oluşmuş damlacıkların çapları en hızlı gelişen dengesiz yüzey dalgasının dalga boyu ile doğru orantılıdır.

$$r = B_0 \Lambda \quad (3.34)$$

Damlacıkları içeren büyük parseldeki damlacıkların değişim oranı aşağıdaki ifadeyle verilir:

$$\frac{da}{dt} = -\frac{(a-r)}{\tau}, r \leq a \quad (3.35)$$

τ parçalanma zamanını ifade eder.

$$\tau = \frac{3.726B_1 a}{\Lambda \Omega} \quad (3.36)$$

Ω ve Λ Denklem 3.32 ve 3.33 ile hesaplanır. Reitz ve Bracco (1982) $B_0 = 0,61$ olarak önermiştir. Parçalanma zamanı sabiti enjeksiyonun özelliklerine bağlı olarak 1 ile 60 arasında

değişebilen bir sayıdır. Ancak Liu et al. (1993) $B_1= 1.73$ önermiştir. Yeni oluşan kütleler başlangıç kütlelerinin %5'ine ulaştığında, çap ve hız dışındaki özelliklerin aynı olduğu yeni bir parsel yaratılır. Bu yeni parselin çapına daha önceki parsel (anne) yönüne dik bir düzlemde rastgele seçilen bir hız bileşeni verilir ve anne parselin momentum korunumundan ayarlanır. Yeni parselin hızı anne parselle aynıdır.

Çarpışma ve Damlacıkların Birleşme Modeli

Fluent, O'Rourke, (1981)'nin sadece birleşme ve geri tepme sonuçlarının dikkate alındığı modelini kullanır. Her bir sonucun olasılığı çarpışma Weber sayısı ile hesaplanır:

$$We_c = \frac{\rho U_{rel}^2 \bar{D}}{\sigma} \quad (3.37)$$

U_{rel} iki parsel arasındaki göreceli hızdır ve D de iki parselin aritmetik ortalama çapıdır. İki damlacığın çarpışması olasılığı aşağıda 1 numarasıyla ifade edilen daha büyük damlacık (toplayıcı) açısından türetilir. Daha küçük damlacık 2 numarasıyla ifade edilir. Eğer küçük damlacığın merkezi kolektör damlacıkla merkezci olan çemberin alanında $\pi(r_1+r_2)^2$ ve küçük damlacığın yörüngesine dik geçerse çarpışma olur. Disk çarpışma hacminin hesaplanmasında kullanılır (Bknz Resim 4.11). Çarpışma hacmi diskin alanı çarpı disk tarafından kat edilmiş mesafe eşittir ve denklemlerle ifade edilirse $\pi(r_1+r_2)^2 v_{rel} dt$.

Kolektörün küçük damlacıkla çarpışma olasılığı:

$$P_1 = \frac{\pi(r_1 + r_2)^2 v_{rel} \Delta t}{V} \quad (3.38)$$

Yukarıdaki denklemde V hücrenin hacmidir. Bir önceki denklemi içinde n_1 adet kolektör ve n_2 adet küçük damlacık içeren parseller için genellemek gerekirse, kolektör beklenen ortalama bir sayıyla çarpışmaya maruz kalır;

$$\bar{n} = \frac{n_2 \pi(r_1 + r_2)^2 v_{rel} \Delta t}{V} \quad (3.39)$$

O'Rourke (1981), çarpışma sayılarının dağılımı olasılığı Poision dağılımını izlediğini öne sürmüştür.

$$P(n) = e^{-\bar{n}} \frac{\bar{n}^n}{n!} \quad (3.40)$$



Yukarıdaki denklemde n kolektörle diğer damlacıklar arasındaki çarpışma sayısını ifade eder. Her DPM zaman adımı için, beklenen ortalama çarpışma sayısı her bir hücredeki her çift takip edilen parseller için hesaplanır. Bu çiftin çarpışıp çarpışmadığını anlamak için Poisson dağılımından rastgele bir örnek üretilir.

İki parselin çarpıştığı düşünülüyorsa, çarpışma olayının sonucu karar verilir. Eğer damlacıkları kafa kafaya çarpışırsa birleşmeye ve çarpışma düzleminden sapıyorsa sıçramaya meyillidirler. Birleşme olasılığı küçük damlacığın yörüngesi ve kolektörün karşılaşması ile ilgilidir.

3.4.4 Modelin Kurulumu

Model aşağıdaki adımlara ve yukarıda bahsedilen altmodellere göre kurulur:

- Sürekli fazla etkileşimine karar verme
- Takip etme parametreleri ve sürüklenme yasası
- Sayısal parametreler
- Başlangıç koşullarını kurma ve parçacık boyut dağılımını ayarlama
- Sınır koşulları ve malzeme özellikleri

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tablo 4.1'deki her enjeksiyon basıncına ait dokuz çalışma koşulunu kapsayan test planı yerine getirildi. Tablo 4.1'de, her bir operasyon koşulu havanın basıncının doyma basıncına oranı (AtSPR) n-heptane için raporlanmıştır. AtSPR spreyin flash boiling şartlarına eğilimini gösteren verimli bir gösterge olarak düşünülebilir.

Tablo 4.1 Test Plan ve AtSPR

		Enj.Ekip. & Yakıt Sıcaklığı [°C]		
		30	90	120
Yanma Odası Basıncı [kPa]	40	8.47	0.51	0.22
	101	21.38	1.28	0.55
	303	64.16	3.85	1.65

Xu vd. (2013) gösterildiği gibi flash boilinge eğilimi üç AtSPR aralığında açıklamıştır:

Tablo 4.2 Flash Boiling için AtSPR aralığı

AtSPR > 1	Flash boiling yok
0.3 < AtSPR < 1	Geçiş bölgesi
AtSPR < 0.3	Flash boiling var

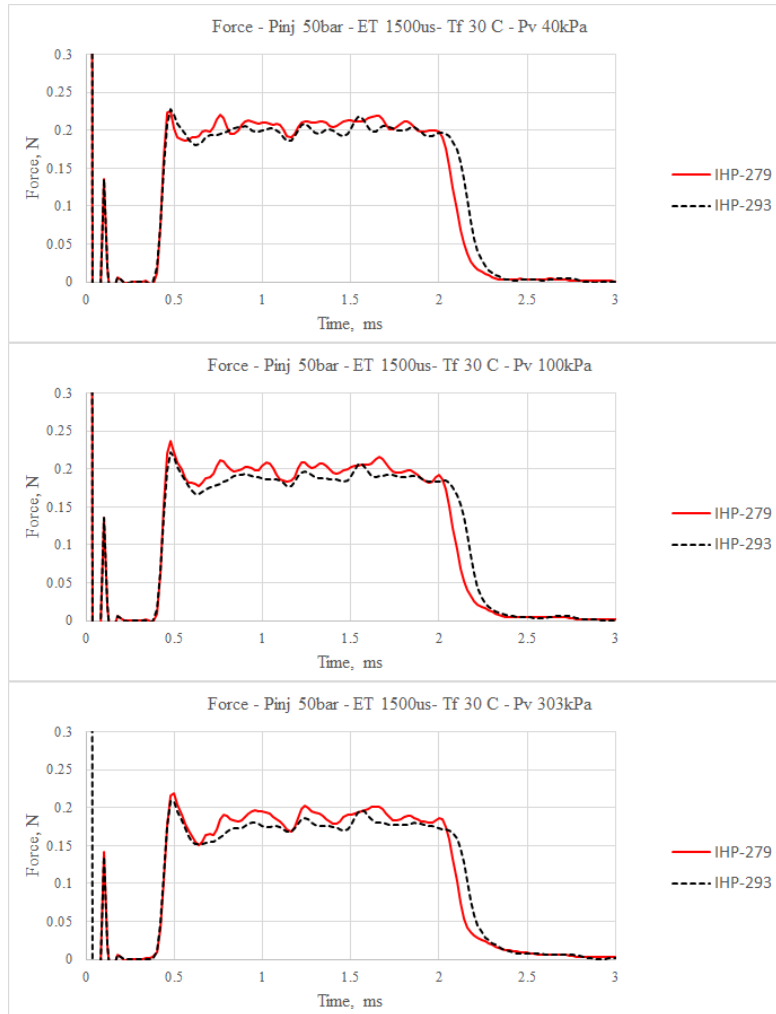
4.1 Momentum akısı bulguları

4.1.1 Global Momentum Akısı

Şekil 4.1 her iki enjektör için 50 bar enjeksiyon basıncında ve 30°C ortam sıcaklığındaki momentum akısını gösterir. Aynı zamanda tank basıncının momentum akısına bir etkisi olduğunu gösterir. Her iki enjektör de benzer eğilimi sunar. Sinyalin başlangıcında bir tepe kuvvet vardır, sprey hedefe çaptığında ve daha sonra enjeksiyon bitene kadar denge kuvvetinde bir azalma olur. Bu düzenli rejime geçiş sprey tarafından akışın saptırılması

süresince bölgesel bir zirve-vadi yapısı olduğunu kanıtlar. Postrioti vd. (2012)'da tartışıldığı gibi bu davranış hedefe ilk çarpma süresince spreyn ucu etrafında geçici halka şekilli burgacın varlığıyla ilgilidir.

Düzenli bölge esnasında, IHP-293(L/D=3) enjektörünün IHP-297(L/D=1) enjektörü ile karşılaştırıldığında daha dengeli bir bölgesi vardır. Bu, daha uzun nozul-tüp'ün her koşulda akışı daha darlaştırıp ve daha çok homojenleştirdiği olgusuna bağlanabilir 0.12 ms'de alınan sinyalin very toplama sisteminde bir hata veya gürültü ile ilişki olduğunu belirtmek yerinde olacaktır. Bu sinyal tüm ölçümlerde görülmüştür. Bu, hata veya gürültü olarak kabul edilmiştir ve ileriki şekillerde bu kısım silinmiştir.

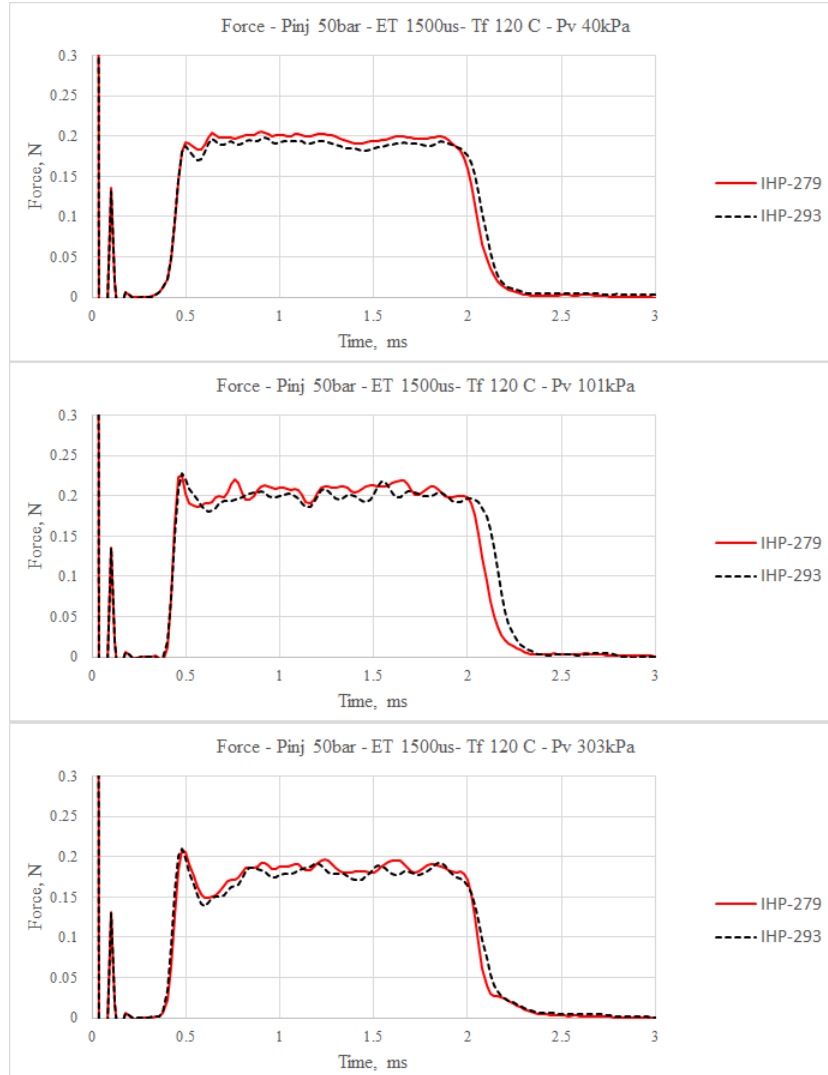


Şekil 4.1 Tank basıncının momentum akışı üzerindeki etkisi.

Şekil 4.1'de basıncın etkisi resimlenmiştir. Tank basıncı arttıkça spray kuvveti de enjeksiyon basıncı ile ortam basıncı arasında basınç farkı olarak azalır.

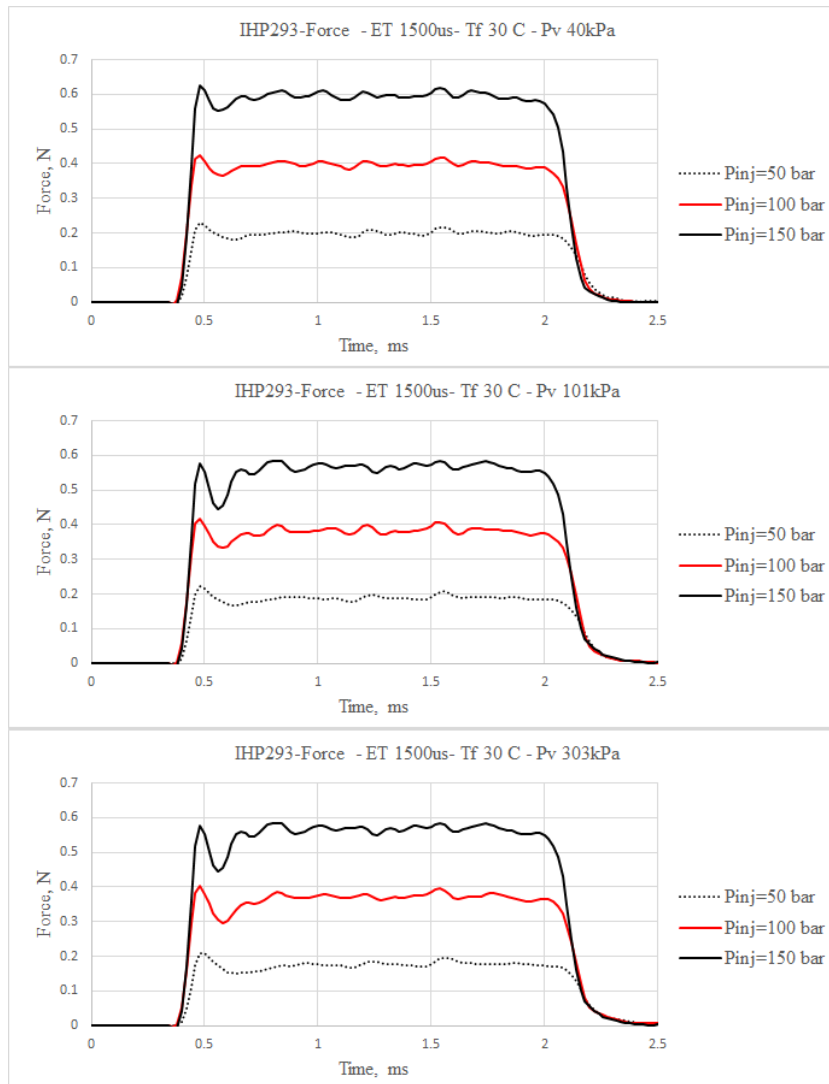
Şekil 4.2'de yakıtın sıcaklığının nasıl etki ettiği görülür. İlk durum için vakum şartlarında enjekte edilirken, geçici bölgenin daha pürüzsüz ve tepe-vadi görüntüsünün görülmediği görülür. Düzenli bölgede daha yumuşak sinyal bulunur. İlk durum flash-boiling şartlarının varlığıyla karakterize edilir. Bu nedenle spreyledeki buhar içeriği, tamamen flash-boiling şartları altındaki durumlar için dengeli bölgenin başındaki tepe bölgenin olmamasının sebebi olabilir. Bu kuvvet dalgalanmaları mühim bir derecede belirgin bir şekilde daha az oldukça, bu daha uniform bir spreyle gelişebileceği fikrini öne sürer.

Tablo 4.1'deki gibi atmosfer basıncı için tank basıncı arttıkça, flash boiling bakımından geçiş bölgesinde olur ve spreyle kuvveti geçiş bölgesi boyunca tepe-vadi davranışını sergilediği ve düzenli bölgede daha pürüzlü olduğu görülür. Tank basıncı arttıkça, spreyle flash boiling dışında olduğundan beklendiği gibi bu etki şiddetlenir. Bu çok daha dalgalanmalı daha dar bir spreyle anlamına gelecektir.



Şekil 4.2 Flash boiling şartlarında momentum akışı

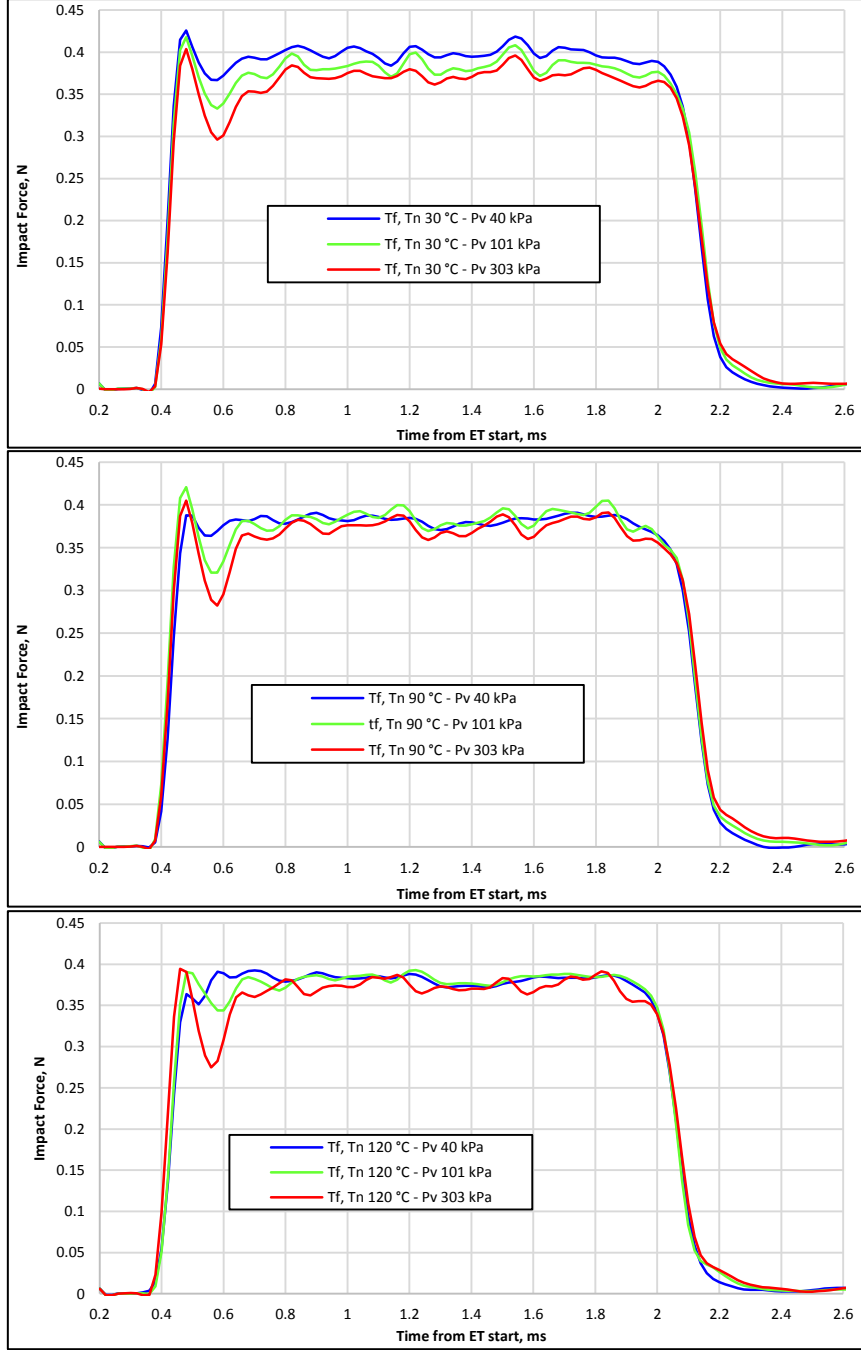
Şekil 4.3' te enjeksiyon basıncındaki etkisi betimlenir. Benzer eğilimler her iki enjektör için de gözlenmiş olduğundan, bir sonraki analiz IHP-293 enjektör içindir. Şekil 14' te ortam tank basıncında ve düşük sıcaklıklarda ve $P_{inj}=50\text{bar}, 100\text{bar}$ ve 150bar 'daki global momentum akısının kıyası mevcuttur. Görüldüğü üzere, sinyalin başlangıç zamanlamasında önemli bir değişiklik olmadığı gözlemlenir. Beklendiği gibi, 0.8 ms'tan 1.8 ms'a kadar olan düzenli akış şartlarında değişik enjeksiyon basınçlarında ortalama etki kuvveti (50 bar, 100 bar and 150 bar için sırasıyla 0.189 N, 0.385 N and 0.582 N) nozulla tank basıncı arasındaki basınç farkıyla ilintilidir. Enjeksiyon basıncının kolaylıkla tahmin edilebilecek etkisi verildiğinden bir sonraki analizde özetlemek adına sadece $P_{inj}=100$ bar ait veri gösterilecektir.



Şekil 4.3 Enjeksiyon basıncının momentum akısına etkisi



Şekil 4.4(a)'da görüldüğü gibi, düşük sıcaklıklarda enjeksiyonun düzenli rejiminde (güç verme süresi referans alınarak 0.8 ms'den 1.8 ms'e kadar olan süreç) ölçülen ortalama momentum akısı tank basınç değerlerinden etkilenir. Daha detaylı olarak, tank basıncının azalırken etki kuvvetindeki göreceli artış ilgili basınç farkından fazladır. Bu flash-boiling olmayan koşullarda ($P_v=40$ kPa, $T_f, T_n=30^\circ\text{C}$) hedefle etkileşime (spreyin kısmi sıçraması) girdikten sonra büyük olasılıkla çok dar olan sprej yapısından kaynaklı sprejde muhtemel dik olmayan bir sapma olduğu fikrine vardırıır. Yakıtın ve nozulun sıcaklığının 90°C ve 120°C 'ye çıkarılarak, değişik basınç değerlerinde alınan ortalama etki kuvveti değerleri birbirine daha benzerdir. Ayrıca, kısmi flash boiling veya tam tam flash-boiling koşullarında ($P_v= 40$ kPa Şekil 15 (b), $P_v= 40$ kPa and 101 kPa Şekil 15(c)), etki kuvveti dalgalanmaları önemli bir seviyede daha az belirgindir. Bu da daha uniform bir sprej oluşumu fikrini verir.

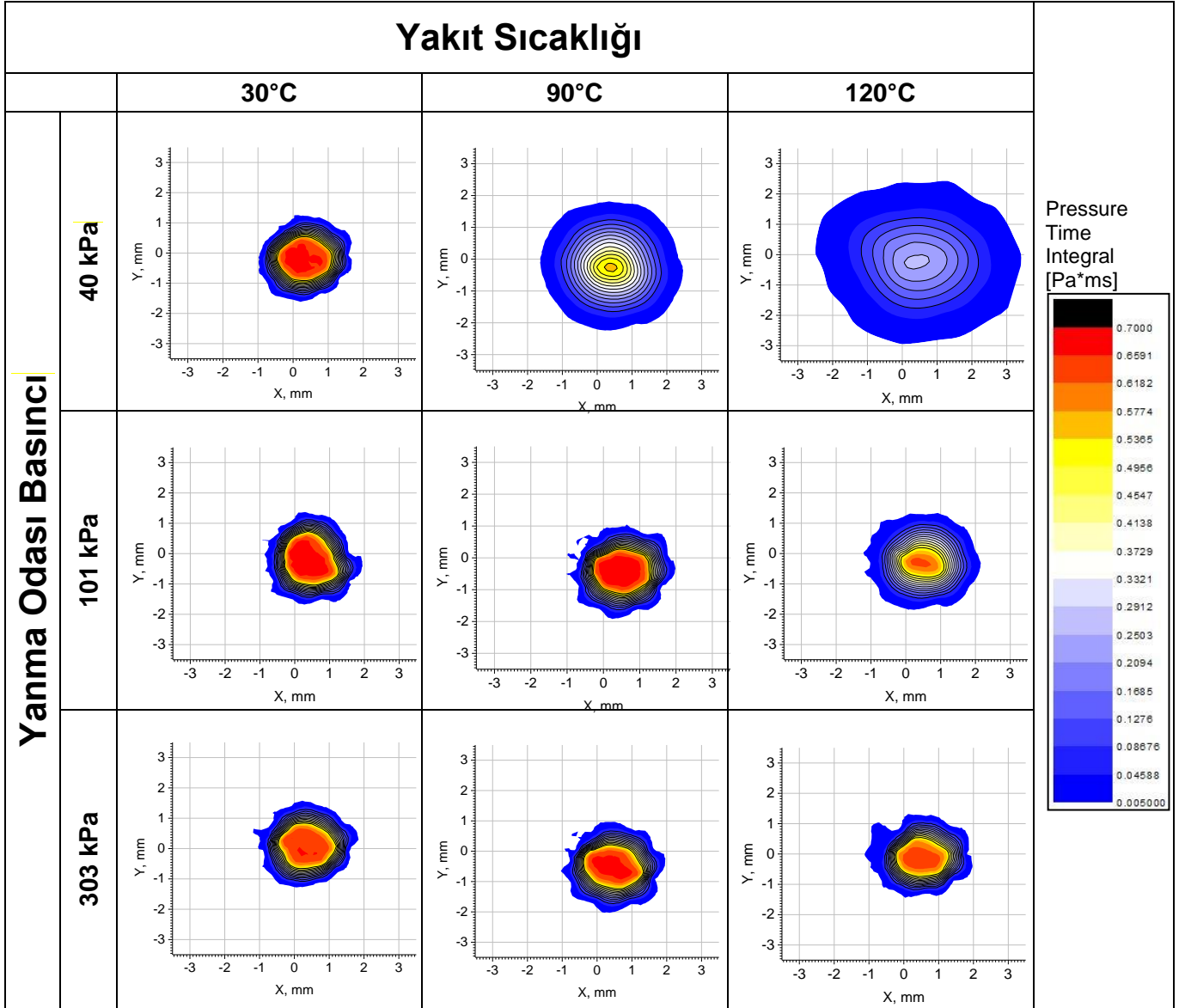


Şekil 4.4 Zamana bağlı global momentum akısı, (a) Tf, Tn=30°C; (b) Tf, Tn=90°C; (c) Tf, Tn=120°C.

Atmosferin altındaki tank basınçlarıyla düşük sıcaklıklarda ölçülen ortalama darbe kuvveti daha önce de belirtildiği gibi daha yüksektir. Aksine, sıcaklık kapanma geçici fazını etkilediği ve görüntülemeyle onaylanmış olan enjeksiyon süresinin kısalmasına sebebiyet verdiği görülür. Yakıtın ve nozulun sıcaklığının 120°C' ye çıkartılarak enjeksiyon kapanma fazındaki momentum akısı eğiminin değişmediği görünür. Buna karşın iğnenin yukarı doğru hareket etmeye başladığı zamanlamanın etkilendiği görünür. Bundan başka düzenli rejimdeki ortalama momentum akısının sıcaklık seviyelerinden etkilenmediği grafiklerden anlaşılır.

4.1.2 Bölgesel Momentum Akısı

Şekil 4.4'te belirtildiği üzere global momentum akısının analiz edildiği daha önce de belirtilen 9 farklı çalışma koşulu bölgesel momentum akısı deneylerinde de gerçekleştirildi. Nozuldan 10 mm mesafeden elde edilen spreyn eksenine dik düzlem üzerinde momentum dağılımı haritaları Şekil 4.5' te görülebilir. Momentum akısı haritalarının oluşturulması için her bir gerekli görülmüş 127 pozisyondan zamana bağlı olarak ölçülen bölgesel etki kuvveti bölgesel basınç değerlerine dönüştürülür ve bütün enjeksiyon işlemi boyunca zamana göre integral alınır. Ortaya çıkan basınç zaman-integral haritalarda resimlendirilir. Bütün enjeksiyon prosesi düşünüldüğünde konumsal momentum akısı dağılımını temsil eder. Görüldüğü gibi incelenen bütün koşullarda spreyn momentum haritaları jetin eksenine etrafında gözle görülür derecede simetriktir. Ancak pozitif x koordinatına doğru hafif bir sapma vardır (yaklaşık olarak 0.5 mm). Flash-boiling olayının görülmediği işletme koşullarında ($P_v = 303$ kPa, $P_v = 101$ kPa – $T = 30$ °C and 90 °C, $P_v = 40$ kPa – $T = 30$ °C) momentum haritaları ana eksen uzunluğu 2 mm ve 3 mm olan elips şeklindeki bir bölge ile sınırlandırılırlar. Bu da çok dar ihmal edilemez momentum akısı ile nitelendirilmiş bir spreyn bölgesinin var olduğu anlamına gelir. Flash-boiling olayı tetiklendiğinde, spreyn momentum haritası tutarlı olarak genişletilir (Şekil 17, $P_v = 40$ kPa- $T = 120$ °C) ve çok düşük momentum akısı bölgesel değerlerden oluşur. Böylece global analizde gözlemlenen değerlerin korunduğu kanıtlanır.




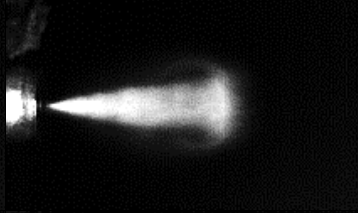

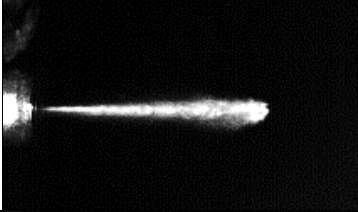


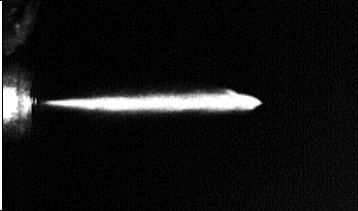


Şekil 4. 5 İntegral alınmış momentum haritaları; Pinj 100 bar, ET= 1.5 ms.

4.2 Yüksek Hızda Görüntüleme

Enjeksiyon basıncı, akışkan ve enjektör sıcaklığı, tank basıncı ile ilgili değişik çalışma koşullarında spray oluşumu hakkında temel bilgiye sahip olmak için, yüksek hızda görüntüleme temelinde bir deneysel teçhizat kuruldu. Yine Tablo 4.1' deki enjeksiyon basıncı başına dokuz çalışma koşulunu içeren test planı yürütüldü. Tablo 4. 1'de her bir işletme koşulu için havanın basıncının n-heptan doyma basıncına oranı (AtSPR) belirtilir. AtSPR sprayin flash-boiling koşullarına eğilimini belirten etkili bir gösterge olarak düşünülebilir.

Değişik AtSPR değerlerinin sprayin gelişimine etkisi Şekil 4.6' daki resimlerden açıkça algılanabilir. Sprayin bütün yapısı Pinj=100 bar için güç verme süresinden 0.45 ms sonra

incelenebilir. Bir sonraki resimlerde Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 sprej ucu penetrasyonu ve global açı eğilimleri (30 enjeksiyonun ortalaması) bütün çalışma koşulları için grafiklendirilmiştir. Ayrıca, bu şekillerde sprej penetrasyonları ve konik açıların standart sapmaları da grafiklendirilmiştir.

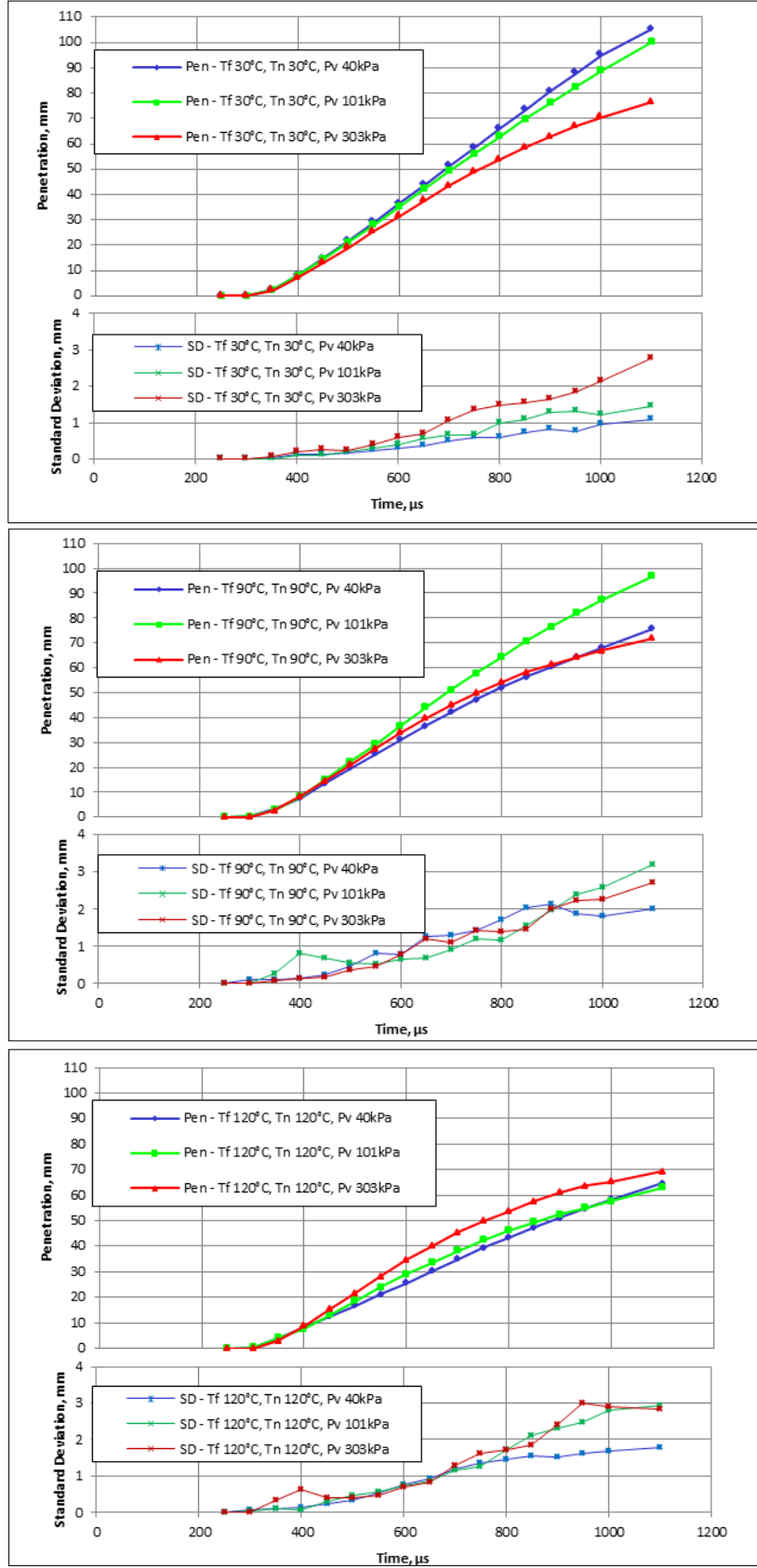
Deney yanma odası basıncı	Enjektör Nozulu & Yakıt Sıcaklığı		
	30 °C	90 °C	120 °C
40 kPa			
101 kPa			
303 kPa			

Şekil 4. 6 Sprejin global yapısı, Pinj 100 bar – gecikme 0.45 ms (enjeksiyon başlangıcından itibaren)

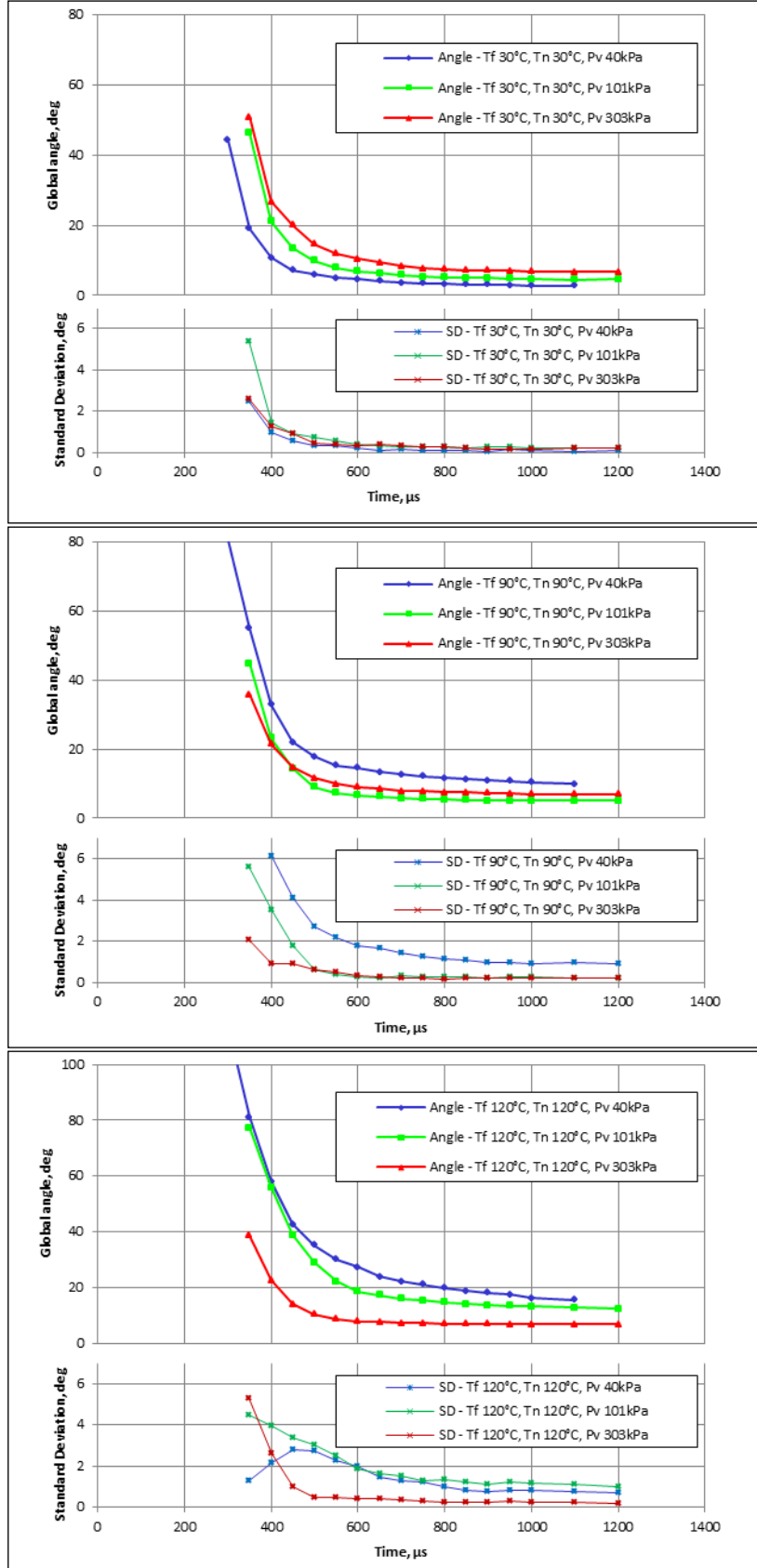
Şekil 4. 6'da incelendiği gibi, sprejin tank basıncına aldırmadan oda sıcaklığındaki ortamda daha dar bir konik açiya sahip olmakla beraber sprej yapısı tamamen AtSPR değerine bağlı olarak değişir. AtSPR değeri 1' in altında olacak şekilde yakıt ve nozulun sıcaklıkları artırıldığında ve tank basıncı atmosfer basıncının altında tutulduğunda (ilk satır Şekil 4. 6), sprej yapısında artan konik açısı ve bunu takip eden daha düşük sprej penetrasyonu gibi önemli değişiklikler olduğu gözlemlenir. Sonunda $T_n=120^{\circ}\text{C}$ ve $P_v=40\text{ kPa}$ 'da tamamen full flash-boiling şartlarına ulaşılır. Bu şartlarda, sprej konik açısı çarpıcı bir şekilde artar, sprej uzunluğu azalır ve sprejin ucunda geniş dolaşım bölgeleri vardır. Ayrıca, sprej incecik bir şekilde atomize olmuş damlalarından oluşur. Flash-boilingten kaynaklı nozuldan çıkarılmaz gelişen bağ parçalanması olayının temel başlangıcını akla getirir. Bunun aksine, atmosfer basınç koşullarında (ikinci satır Şekil 4. 6) yakıtta ve nozuldaki aynı artış tamamen flash-boiling şartlarına ulaşılmasına olanak sağlamaz ve kısmi bir değişiklik elde edilir.



Basınçlandırılmış koşullarda (303 kPa, üçüncü satır Şekil 4. 6) sprey yapısı sadece önemsiz sprey ucu değişimleri ile neredeyse yakıt ve nozul sıcaklıklarından etkilenmediği söylenebilir.



Şekil 4. 7 Standart sapmayla spray ucu penetrasyonu Pinj 100 bar, ET = 1.5 ms; (a) Tf, Tn=30°C; (b) Tf, Tn=90°C; (c) Tf, Tn=120°C



Şekil 4. 8 Standart sapmayla spray konik açısı Pinj 100 bar, ET=1.5 ms; (a) Tf, Tn=30°C; (b) Tf, Tn=90°C; (c) Tf, Tn=120°C.

Tank basıncı ve nozul sıcaklığının sprej yapısına etkisi penetrasyon ve konik açı gibi standart göstergelerle nicelendirilir. Şekil 4.7(a)' da anlaşıldığı gibi düşük sıcaklıklarda tank basıncının artması sprejin damllarına etki eden aerodinamik sürünmenin artması sonucu sprejin ucunun yavaşlamasına sebep olur. T_f ve $T_n=90$ °C (Şekil 4. 7 (b))' deki penetrasyon eğrileri karşılaştırıldığında flash-boiling olayının tetiklenmediği çok açıktır ($P_v=101$ ve 303 kPa), basınç artışı etkisi düşük sıcaklıklarda gözlemlendiği etkiye benzerdir. Aksine tank basıncının 40 kPa'a düşürülmesi bu sıcaklıkta kısmi flash boiling'i kışkırtır ve penetrasyonun artması yerine sprejin ucunda çarpıcı bir şekilde yavaşlamaya neden olur. Yüksek sıcaklıklarda (T_f ve $T_n=120$ °C, Şekil 4. 7(c)) $P_v=101$ kPa'da kısmi flash-boiling oluşur ($AtSPR=0.55$) ve sprej yapısı önemli derecede azalmış penetrasyon uzunluğu ile standart yapısından değişiklik gösterir. Buna düşük sıcaklık evrimi denebilir. Bu sıcaklık koşullarında en yüksek penetrasyon penetrasyonunun kısmi olarak düştüğü yüksek tank basınçlarında elde edilir.

Pinj 100 bar dokuz çalışma koşulu altında ölçülmüş sprej global açı eğilimleri Şekil 4.8' de grafiklendirilmiştir. Düşük sıcaklıklarda düzenli rejimde daha büyük sprej açısına neden olan daha yüksek tank basıncıyla birlikte tank basıncının sprej açısına etkisi beklenildiği gibi göreceli olarak hafiftir (Şekil 4.8 (a)). $P_v=303$ kPa' da güç verme süresinden 1.5 ms sonraki ölçülmüş açısı yaklaşık olarak 7 derece, $P_v =40$ kPa'da ise 3 derecedir. Buna ek olarak, $P_v=40$ kPa' da sprej iç yapısı nozuldaki çıkan nispeten daha geniş bir spreyle çok dar bir sıvı jetinden oluştuğu görülür (Şekil 4. 6). Basınçlandırılmış koşullarda ($P_v=303$ kPa) ile orta seviyede basınçlı ($P_v=101$ kPa) daha yoğun ve birleşik görünüme sahiptir. Nozul ve yakıt sıcaklığı 90 °C' ye çıkartılması (Şekil 4. 8(b)) $P_v=40$ kPa, 101 kPa ve 303 kPa' daki grafiklerin yukarı değerlere çıkmasına neden olur. Penetrasyon analizinde görüldüğü gibi $P_v=40$ kPa' daki işletme koşullarında sprejin yapısını çarpıcı şekilde değiştiren neredeyse tamamen flash-boiling başlangıcı vardır. 90 °C' de yüksek tank basınçlarında incelenen global açı değerleri yine aynı basınçtaki düşük sıcaklıktaki değerleriyle çok benzerdir. 90 °C' de ve $P_v=101$ kPa' daki sprej yapısının 30 °C' de ve $P_v=40$ kPa' dakine benzer olduğunu belirtmek ilginçtir ve dar bir kökten oluşur ve tüy şekline iyice benzerdir. $AtSPR$ değerinin nispeten 0.3 eşiğinden yeterince büyük olduğu koşullarda bile tank basıncı ve nozul sıcaklığının sprej yapısına kombine olmuş etkisi büyük olduğu öne sürülebilir.

Sonunda 120 °C'deki koşullar dikkate alındığında, sprej global açısı fazlasıyla tank basıncından etkilenir. Eğer tam flash-boiling koşullarına tamamen ulaşırsa ($P_v=40$ kPa), güç verme zamanından 1 ms sonra incelenmiş açının 17.5 derece daha düşük sıcaklıklarda ise 2.9 derece olduğu görülür. Kısmi flash-boiling koşullarında da ($P_v=101$ kPa, T_f ve $T_n=120$ °C) 90 °C'de iken 5 derece olan açı 13 dereceye ulaşır. Aksine $AtSPR$ değeri flash-boiling'in

tetiklenmesi için çok uzak olduğu koşullarda ($P_v=303$ kPa) her durumda 7 derece olduğundan yakıt ve nozul sıcaklığından etkilenmemiştir.

4.3 Faz Doppler Anemometresi Sonuçları

PDA analizi flash boilinge geçişine odaklanmıştır. Bu nedenle, yakıt ve nozul için 20 °C and 90 °C sıcaklıklar HSV test planı için (Tablo 4. 3) seçilmiştir. PDA ölçüm pozisyonları jet ana Z eksenini boyunca ve radyal olarak spreyin kesitinde yerleştirilmiştir.

Tablo 4. 3 Faz Doppler Anemometresi test planı

PDA - Test ($P_{inj}=10$ MPa)			
Tf ; Tn [°C]	Pv [kPa]		
	40	100	300
20	✓	✓	✓
90	✓	✓	✓

10 MPa enjeksiyon basıncıyla, üç tank basıncı (40 , 101 and 303 kPa) ve yakıt ve nozul sıcaklıkları için de 20 °C ve 90 °C durumları denendi. Damlacıkların z eksenindeki hızları (LDA) ve boyutlandırma (D_{10} ortalama geometrik çap; D_{32} Sauter Mean çapı) z eksenini boyunca 7 farklı pozisyonda (nozuldaki 15 - 20 - 25 - 30 - 40 - 50 - 60 mm mesafelerde) ölçüldü. Ayrıca, hız ve çap değerleri aynı x eksenini boyunca nozuldaki 30 mm mesafede 13 yerden elde edildi. PDA edinimleri bütün enjeksiyon işlemlerinde güç verme süresinden 20 ms sonra alınacak şekilde senkronize edildi. Düşük sıcaklıkta ve $P_v=40$ kPa'da (Şekil 4. 9(a)) damlacıklar ilk ölçüm pozisyonlarına penetrasyon eğrileriyle uyumlu olarak yaklaşık 0.45 ms sonra ulaştı. Bütün enjeksiyon işlemi güç verme süresinden 2 ms sonrasında kadar sürdü bundan sonra sprey damlacık hızı enjektörün kapanma esnasındaki geçici durumunun sonucu olarak düşmeye başladı. 4 ms sonra enjeksiyon bitti ve sadece neredeyse sıfır hızındaki damlalar ölçüm istasyonundan geçti.

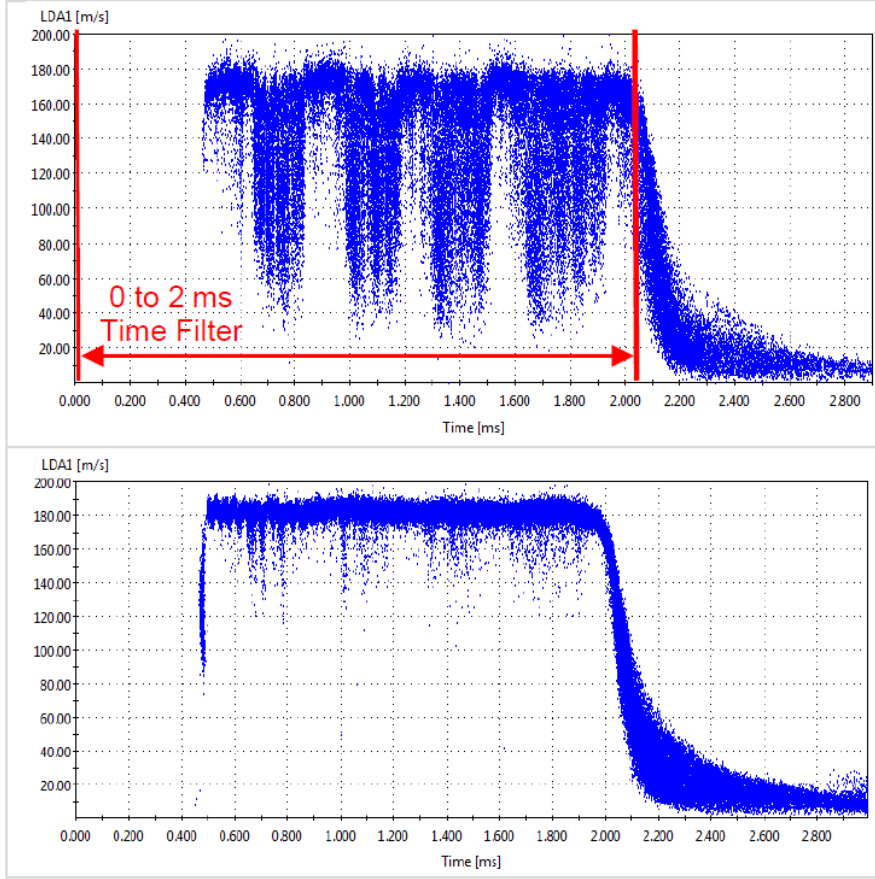
İğnenin tamamen kalkması ile sprey 0.5 ms'den 2 ms'ye kadar düzenli rejimdedir. Aşağıdaki zamana göre çizilmiş grafiklerde 30 ile 180 m/s arasında dalgalanan bir hız olduğu fark edilir (Şekil 4. 9(a)). Spreyin ana ekseninde nozul çıkışına yaklaştıkça incelenen zamana göre

dalgalandıran hız daha da belirginleşir. Aynı şekilde, damla çapının zamana bağlı değerleri daha geniş bir bantta olup daha dalgalı bir görüntü sergiler.

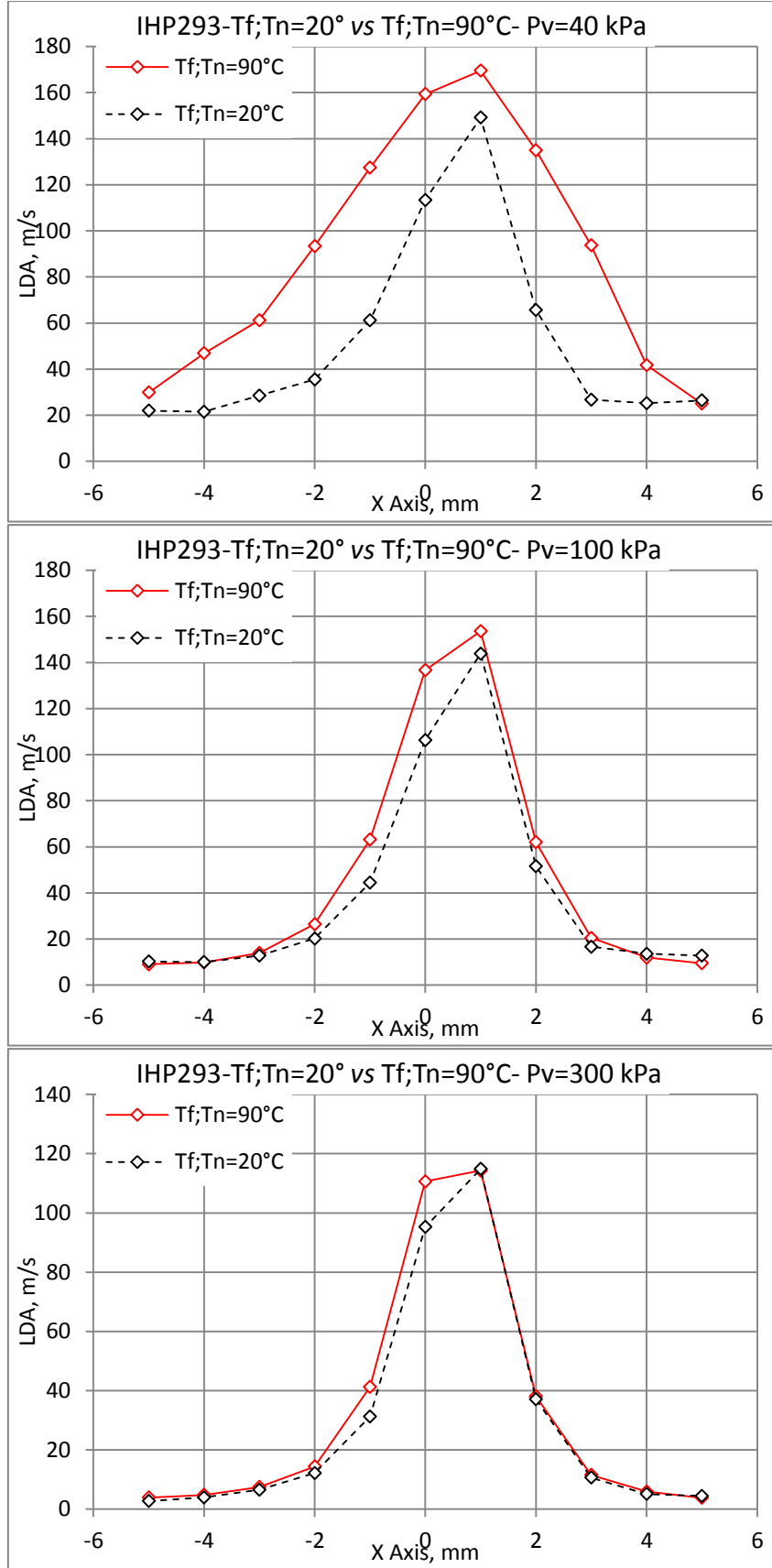
Bu davranış spreynin kendi yörüngesinde dalgalı ilerleyişinden kaynaklanmış gibi görünür. PDA ölçüm yaklaşımı tamamen Euleridir, başka bir deyişle sistem damlaların boyutunu ve hızını verilen x , y , z pozisyonlarında zamana göre algılar. Bu durumda PDA ölçüm hacminden sırasıyla spreynin çekirdek kısmına ait hızlı ve geniş damlacıklar ve spreynin çevresindeki yavaş ve küçük damlacıklar geçer .

$P_{inj}=10$ MPa $P_v=40$ kPa $T_f=T_n=90^\circ\text{C}$ 'ye kurulduğunda, flash boiling tetiklenir ve düzenli rejimde zamana bağlı hız değerleri daha dengeli ve inişli çıkışlı hale gelir (Şekil 4. 9(b)).

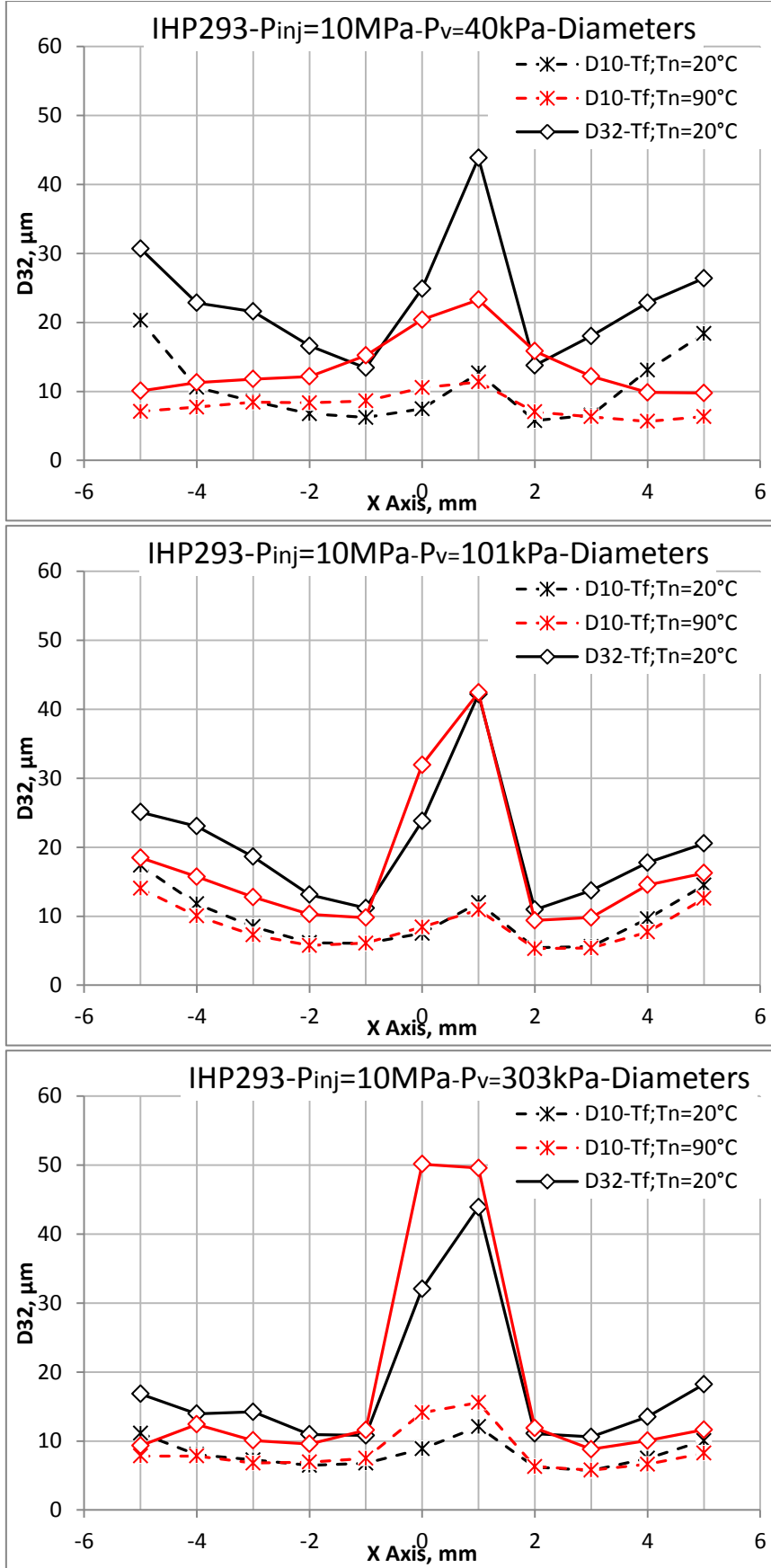
Şekil 4. 12'de zamana göre ortalaması alınmış hem $+x$ hem $-x$ 'de yerlerde analiz edilmiş LDA değerleri grafiklendirilmiştir. LDA ortalama değerleri hesaplamak için analizi düzenli rejimle sınırlandırmak amacıyla sadece 0 ile 2 ms arasındaki veriler seçilir. Hem yüksek hem de düşük sıcaklıkta ve bütün tank basınçlarında ortalama LDA profilleri x ekseninde $x=0$ ' a göre simetriktir (Şekil 4.10). $P_v=40$ kPa'daki düşük ve sıcaklıklardaki durumlar kıyas edildiğinde tamamen değişik ortalama LDA profile ortaya çıkmıştır. Flash-boiling koşullarında ($P_v=40$ kPa, $T_f;T_n=90^\circ\text{C}$), oda koşullarındaki sıcaklıktan $x=0$ ' da 145 m/s ile 160 m/s arasında değişen daha simetrik ortalama LDA profili çıkmıştır (Şekil 4.12). Bu davranışın sebebi daha önce belirtilen zamana göre daha az inişli çıkışlı damlacık hızına sahip daha üniform bir spray yapısıdır (Şekil 4. 11(b)). Ayrıca, incelenen maksimum hız değerleri yüksek sıcaklıklarda biraz daha yüksektir. Parçacık sayma analizi ile spray kesitinde güçlü bir artış görülmüştür ($T_f=T_n=20^\circ\text{C}$ 'de spray sınırları $x=-3$ mm ile $x=+3$ mm iken $T_f=T_n=90^\circ\text{C}$ 'de $x=-5$ mm ile $x=+5$ mm'dir). $T_f=T_n=90^\circ\text{C}$ 'deki flash boiling olayı sadece $P_v=40$ kPa iken tetiklenir. Aksine $P_v=101$ kPa ve 303 kPa'da At_{SPR} değeri flash-boilingi tetikleyecek değerden çok uzaktadır. Böylece deney yapılan $Z=30$ mm'deki düzlemdeki spreynin izi ve LDA ortalama değerleri yakıt ve nozul sıcaklıklarından etkilenmezler (Şekil 4. 12(b)(c)). $P_v=40$ kPa'dan $P_v=303$ kPa'a geçişte çevresindeki hava ile daha yüksek spray momentum değiş tokuşu nedeniyle hız tepe noktasının sert bir düşüş sergilediğini vurgulamak kayda değerdir (146 m/s @ $P_v=40$ kPa; 144 m/s @ $P_v=101$ kPa; 130 m/s @ $P_v=303$ kPa).



Şekil 4. 9 LDA ölçümleri - $P_v=40$ kPa – $X=0$; $Y=0$; $Z =15$ mm; (a) T_f ; $T_n=20^\circ\text{C}$; (b) T_f ; $T_n=90^\circ\text{C}$



Şekil 4. 10 Z=30 mm -0-2ms arasında-Pinj=10 MPA-x eksenine göre Ortalama LDA



Şekil 4. 11 Z =30 mm – 0-2 ms arasında x-eksenine göre Ortalama Çap Ölçüleri

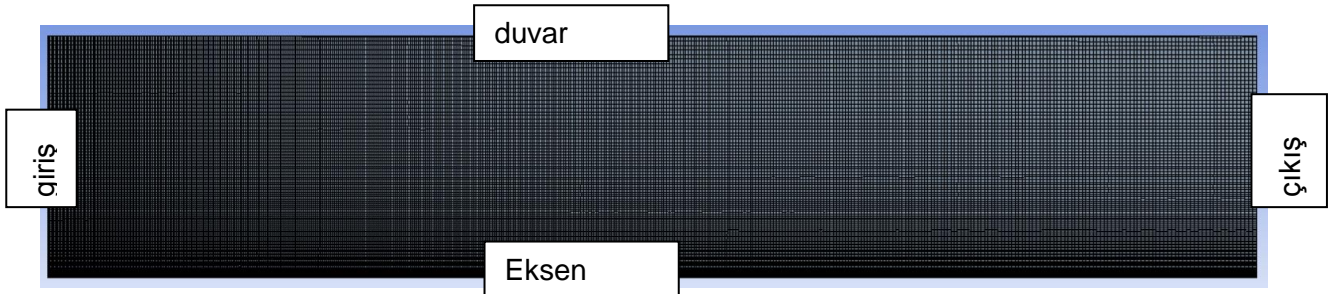
Spreyin atomizasyon süreci flash boilingin başlamasıyla önemli derecede değişir. Her tank basıncı seviyesinde düşük sıcaklıkta $x=0$ ' da maksimum değerine ulaşip tepe yapmış bir D10 görünümü Şekil 4. 13'ten gözlemlenebilir. $P_v=40$ kPa ve 101 kPa'da PDA sistemi tarafından algılanmış yaklaşık $14 \mu\text{m}$ ' lik D10 değeri varken, $P_v=303$ kPa' da bu değer muhtemelen daha damlacıkla hava arasındaki daha düşük hız farkından kaynaklı daha az verimli ikincil parçalanma sonucu $20 \mu\text{m}$ ' e çıkmıştır.

Sadece $P_v=40$ kPa basınçla ve $T_f; T_n=90^\circ\text{C}$ ' de flash boiling tetiklenir ve D10 profili fark edilir şekilde daha pürüzsüz hale gelir(Şekil 4. 13(a)). Bu koşullarda, bütün ölçü alınan yerlerde ortalama çap $8 \mu\text{m}$ ' nin altındadır.

Aksine, flash boiling olmadığından enjektörün çıkışındaki basınç 40 kPa' dan daha yüksek olduğunda yüksek sıcaklıklarda bile x-ekseni boyunca D10 profili düşük sıcaklıklarla karşılaştırıldığında neredeyse etkilenmemiş olarak kalır. Yakıt ve nozul sıcaklığını 20°C ' den 90°C ' ye artması başlangıç aşamasındaki flash boilingin olduğu sadece $P_v=40$ kPa' da D32'deki etkisi önemli ölçüdedir. $P_v=40$ kPa'da ve $T_f; T_n=90^\circ\text{C}$ ' de diğer durumlarda $40 \mu\text{m}$ ' den büyük olmasına karşın x-ekseni boyunca D32 profili son derece düzdür ve $20 \mu\text{m}$ ' den düşüktür. $P_v=100$ kPa ve 300 kPa ve $T_f; T_n=90^\circ\text{C}$ ' deki D32 değerleri daha düşük sıcaklıklardan biraz değişim gösterir. Sadece sprej çevresinde enjektör teçhizatındaki ısıtma D32' de düşüşle sonuçlanır.

4.4 Nümerik Model Bulgular

Yanma odası aşağıdaki şemaya göre modellenmiştir.



Şekil 4. 12 Şematik Sınır Koşulları

Giriş ve çıkış sınır koşulları aşağıdaki gibidir:

Giriş Sınır Koşulları

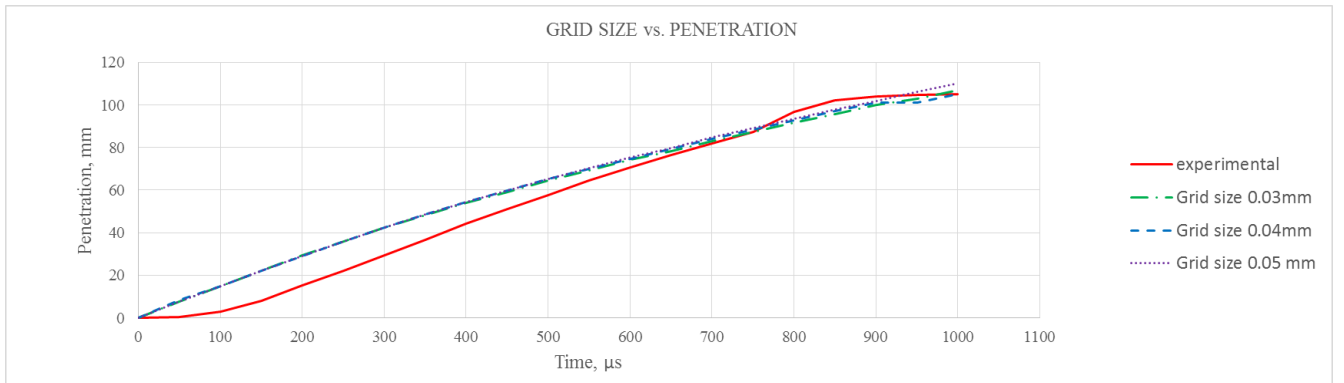
- Giriş Hızı=0.1 m/s

- Uzunluk Ölçeği=0.2 mm
- Türbülans Yoğunluğu=1

Çıkış Sınır Koşulları

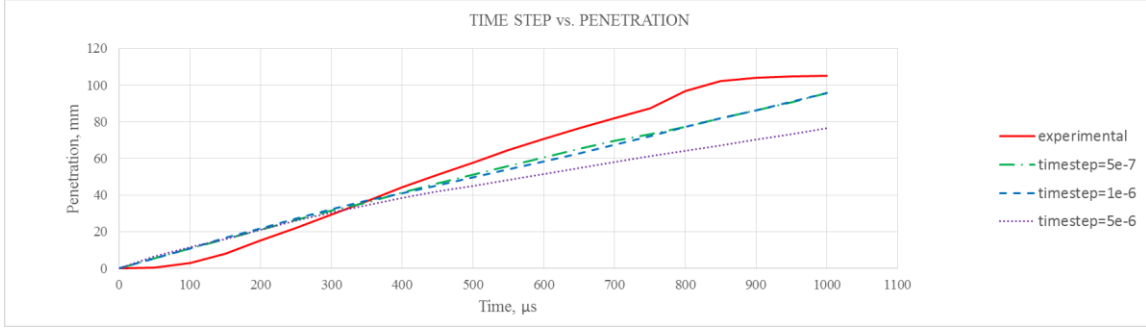
- Çıkış Basıncı=0
- Uzunluk Ölçeği=0.2 mm

En uygun modeli ve koşulları geliştirmek için, bir kaç şart daha az zamanda sonuçları tahmin edebilecek modeli bulmak amacıyla test edildi. Şekil 4.15 düşük sıcaklıktaki bir durum için üç adet değişik örgü ağı konfigürasyonlarıyla elde edilmiş sıvı penetrasyon sonuçlarını gösterir. 0.03 mm ile 0.04 mm' lik konfigürasyonlar arasında önemli derecede sonuçları etkilemediği görülür.



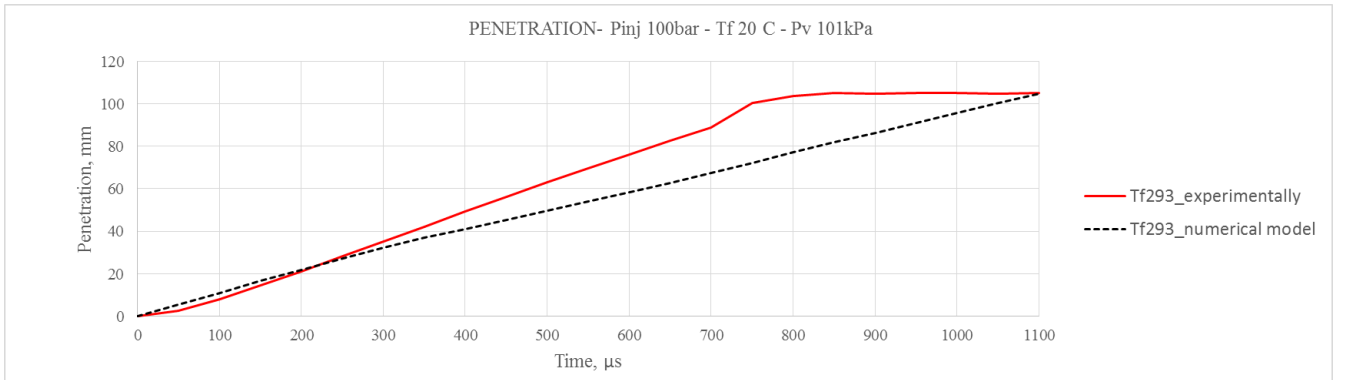
Şekil 4. 13 Mesh boyutundan bağımsızlık

Örgü modeli boyutuna benzer şekilde, sonuçların aynı sıcaklık durumunda zaman adımından bağımsızlığı da incelendi. Şekil 4.16'da 5×10^{-6} zaman adımında penetrasyon değerleri deneysel verilerin önemli ölçüde altında çıktı. 1×10^{-6} ve 5×10^{-7} zaman adımları ile sonuçlara daha çok yaklaşılmakta olup, bu iki zaman adımı arasında çok büyük bir fark olmadı. 5×10^{-7} yerine 1×10^{-6} zaman adımını kullanmak, ciddi manada hesaplama zamanını da düşürdü.

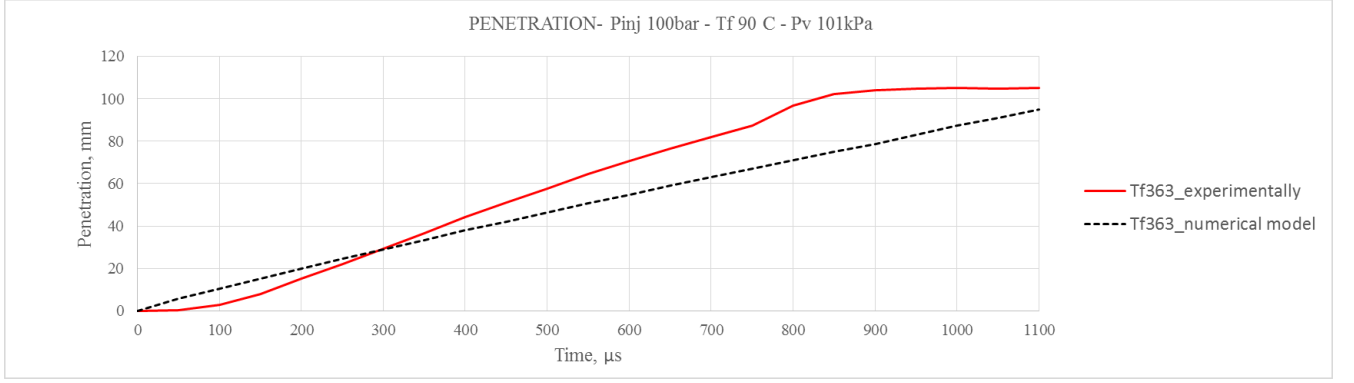


Şekil 4. 14 Zaman adımından bağımsızlık

Sprey penetrasyonu T_f 20°C, 90°C ve 120°C durumları için 100 bar enjeksiyon basıncında ve tank basıncının 101 kPa olduğu şartlarda hesaplandı. Şekil 4. 15 hesaplanan bu üç durumun penetrasyon verilerinin zaman bağlı olarak grafiklerini içerir. Düzenli rejimdeki spray penetrasyonunun tahmin edilmesine rağmen, model tam olarak tahmin edememiştir. Deneysel olarak T_f 20°C için 750 μ s ve T_f 90°C için 800 μ s' de düzenli rejime ulaşılmasına karşın modelde 1100 μ s' de ulaşılmıştır. Sonuç olarak, spray penetrasyonu deneysel verilerin %20' sini temsil eden kısımda maximum fark göstermiştir. Geçici bölgede ilk 150 μ s' den 200 μ s' ye kadar olan zamanda deneysel verinin üstünde tahmin yapmıştır ki bu iğne hareketi hesaba katılmadığı için bu beklenen bir durumdur. Yani enjeksiyonun başlamasından kaynaklanan hidrolik gecikmesi modellenmemiştir. Ancak bu farklar az kabul edilebilir. Spreyin geçici bölgesinin ikinci kısmında penetrasyon oranı deneysel olarak sayısal verilere göre daha yüksektir.



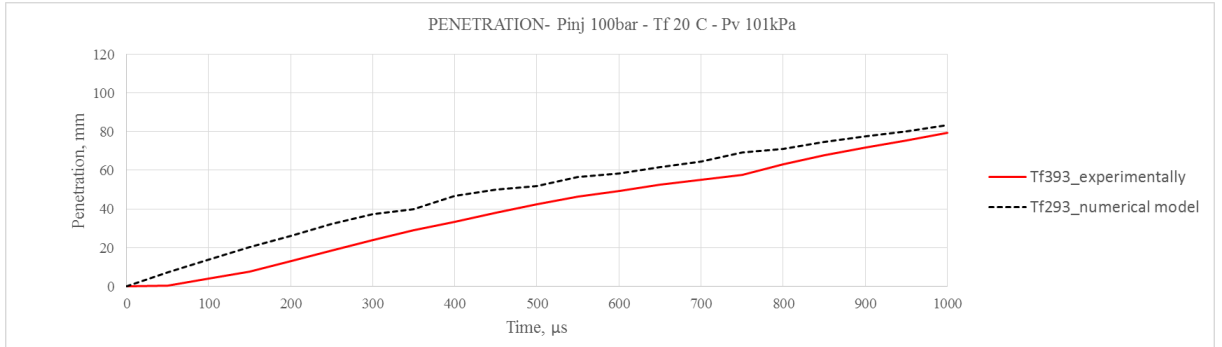
Şekil 4. 15 Sayısal ve deneysel verilerin kıyası T_f 20°C



Şekil 4. 16 Sayısal ve deneysel verilerin kıyası Tf 90°C

Şekil 4.19 flash boiling koşulları altındaki spreye ait sayısal ve deneysel verilerin karşılaştırılmasını gösterir (Tf 120°C). Deneysel olarak görüldüğü üzere flash boiling koşulları altındaki sprej daha düzenli bir rejim göstererek ve sprej açısı daha geniş bunun yanında penetrasyonu daha düşük olmakla birlikte daha homojen yapıdadır.

Sayısal olarak, sprejin ilerlemesindeki flash boiling etkisi başarılı bir şekilde simüle edilmiştir. Penetrasyon oranı maximum değerine ulaşana kadar sabit çıkmıştır. Ancak bu penetrasyon oranı sprejin ilk kısmında kısmen daha alçak değerlere tahmin edilmiştir.



Şekil 4. 17 Sayısal ve deneysel verilerin kıyası Tf 120°C



TÜBİTAK

5. SONUÇ

Araştırmada spreyin ilerlemesindeki flash boiling etkisini jet şekli, momentum akısı aracılığıyla incelemek amacıyla iki tek delikli deney direk benzin enjektörleri kullanıldı. Deney enjektörlerinin başlangıç karakterizasyonu olarak momentum akısı analizinin standart ve flash boiling koşullarında olacak şekilde Prail= 50 bar, 100 bar and 150 bar basınçlarda yapılmasına karar verildi. İlaveten, genel yapısı, uç penetrasyonu ve konik açısı bakımından spreyin nasıl geliştiği yüksek hızda görüntüleme amacıyla incelendi. Momentum akısı genel ve jet eksenine dik bir yüzey üzerindeki momentum dağılımı analiz edilerek bölgesel olarak irdelendi. Hem görüntüleme hem de momentum analizleri enjeksiyon basıncının 50 bar ile 150 bar arasında, tankın mutlak basıncının 40 kPa ile 303 kPa arasında ve enjektör teçhizatının ve yakıt sıcaklığının ise 30°C ile 120°C arasında olduğu koşullarda yapıldı. Temel sonuçlar şu şekilde düzenlenebilir:

- Görüntüleme analizi spreyin yapısının standart (düşük sıcaklıktaki) sprey oluşumuna göre flash boiling koşullarında nasıl değiştiğini kanıtladı. Sprey, jet ucunun etrafındaki dolaşan geniş halka şekilli burgaçla daha az karmaşık görünmektedir.
- Tamamen flash-boiling koşullarında (Havanın basıncının doyma basıncına oranı 0.3' ün altında) sprey penetrasyonu önemli derecede düşer: tank basıncı 40 kPa' da, 120°C yakıt ve nozul sıcaklığında penetrasyonu aynı tank basıncında 30°C yakıt ve nozul sıcaklığında olduğundaki penetrasyona göre %40 daha azdır. Buna bağlı olarak, sprey konik açısı da şiddetle artar.
- Flash-boiling başlangıcının etki methoduyla ölçülen global momentum akısını etkilemediği görüldü.
- Flash-boiling olmayan koşuldaki tamamen flash-boiling olan koşula geçişte (Havanın basıncının doyma basıncına oranı 0.3 ile 1 arasında) sprey yapısı düşük penetrasyonla ve artmış global konik açısı ile farkedilir biçimde değişir.
- Spreyin eksenine dik bir yüzey üzerindeki bölgesel momentum akısı dağılımı analizi, flash boiling koşullarında, jetin bıraktığı izin farkedilir biçimde genişlediğini bölgesel momentum tepe yoğunluğunun kaydadeğer şekilde düşüşü ile kanıtlamıştır.
- Faz Doppler Anemometresi analizinden düşük sıcaklıklarda, düzenli rejim boyunca salınımlı 30-180 m/s arasında değişen zamana bağlı hız profili gözlemlendi. Yakıt ve nozul sıcaklığının 90°C' ye artırılması ile zamana bağlı hız profilinin zamana ve ölçülen yere göre daha dengeli ve uniform olmuştur.

- Tank basıncın 40 kPa ve nozul sıcaklığının 90°C olduğu koşullarda flash boiling tetiklenir. Sonuç olarak ortalama damla hızının x-ekseni boyunca profili daha yüksek değerlere çıkmıştır. Bundan başka, spreyin genişliğinde 6 mm' den 10 mm' ye şiddetli bir şekilde artış gözlemlenmiştir. Aksine, 101 ve 303 kPa tank basınçlarında flash boiling yoktur ve sprey damlacık hızı ve boyutları çok az olarak yakıt ve nozul sıcaklığından etkilenmiştir.
- Yeni başlamış flash boiling x-ekseni boyunca daha düz bir Sauter Ortalama Çap profiline sebebiyet verir. Bu da kesiti boyunca daha uniform sprey yapısı gösterir. Ayrıca D32 pik değerinin oda sıcaklığında elde edilmiş 40 μm 'den 20 μm ' nin altına düştüğü de görülmüştür.
- Standart koşullarda Çap Olasılık Yoğunluğu Fonksiyonu' nunu analiz ettikten sonra, damlaların boyutları 0 ile 70 μm arasında değişmiştir. Aksine tam flash-boiling koşullarında bu aralık 0 ile 35 μm ' e düşmüştür.
- Sayısal model flash boiling olmayan koşullarda sprey açısını ve penetrasyonunu tahmin edebilmiştir. Ancak, spreyin geçici fazı esnasında bu koşullarda deneysel verilerin %80' ine tahmin edilmiştir.
- Flash boiling koşullarında, sprey ne kadar homojen olursa spreyin yayılması sadece penetrasyon oranındaki küçük farklılıklarla isabetli bir şekilde tahmin edilmiştir.

Bu çalışma 12 aylık bir periyot boyunca yapılmıştır. Bu durum için ticari bir HAD programı kullanılmıştır. Enjeksiyon süresince değişik süreçlerin karmaşık doğası gereği bu model, flash boiling koşulları altında sonuçları doğru bir şekilde tahmin edememiştir. Bu Sayısal modelin sonuçlarının iyileştirilmesi, daha ileride, bu projenin temeline dayanan bir başka projede yer alacak olan öğrenciler tarafından daha uygun bir modelin geliştirilmesi ile gerçekleştirilecektir ve ilgili araştırmalar yönlenecektir.

Abani, N., Munnannur, A., and Reitz, R. D. 2008. "Reduction of numerical parameter dependencies in diesel spray models". *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power* (130), 032809

Abani, N., Bakshi, S. and Ravikrishna, R. 2007. "Multi-dimensional modelling of spray, in-cylinder air motion and fuel-air mixing in a direct-injection engine". *Sadhana* 32(October), 597–617.

Abani, N., Kokjohn, S., Park, S. W., Bergin, M., Munnannur, A., Ning, W., Sun, Y. and Reitz, R. D. 2008. "An improved spray model for reducing numerical parameter dependencies in diesel engine CFD simulations". *SAE Technical Paper* 2008-01-0970.

Allocca, L., Montanaro, A., Di Gioia, R. and Bonandrini, G. 2014. "Spray characterization of a single-hole gasoline injector under flash boiling conditions". *SAE Technical Paper* 2014-32-0041.

Arcoumanis, C., Gavaises, M. and French, B. 1997. "Effect of fuel injection processes on the structure of diesel sprays". *SAE Technical Paper* 970799.

Ashgriz, N. 2011. "Handbook of atomization and sprays: theory and applications". Springer Science & Business Media.

Baumgarten, C. 2006. "Mixture formation in internal combustion engines". Springer.

Bekdemir, C., Somers, L. and de Goey, L. 2008. "Numerical modeling of diesel spray formation and combustion". Master thesis, Eindhoven University of Technology, Netherlands.

Bianchi, G. and Pelloni, P. 1999. "Modeling the diesel fuel spray breakup by using a hybrid model". *SAE Technical Paper* 1999-01-0226.

Bianchi, G., Pelloni, P., Corcione, F. E., Allocca, L. and Luppino, F. 2001. "Modeling atomization of high-pressure diesel sprays". *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power* 123(2).

Dahms, R. N., Drake, M. C., Fansler, T. D., Kuo, T. W., Peters, N., 2011 "Understanding ignition processes in spray-guided gasoline engines using high-speed imaging and the



extended spark-ignition model SparkCIMM: Part A: Importance of molecular fuel properties in early flame front propagation”, *Combustion and Flame*, 158 (11), 2229-2244, 2011.

Dahms, R. N., Drake, M. C., Fansler, T. D., Kuo, T. W., Peters, N. 2011. “Understanding ignition processes in spray-guided gasoline engines using high-speed imaging and the extended spark-ignition model SparkCIMM: Part B: Importance of molecular fuel properties in early flame front propagation”, *Combustion and Flame*, 158 (11), 2245-2260.

Desantes, J. M., Payri, R., Salvador, F. J., Gimeno, J. 2003. “Measurements of Spray Momentum for the Study of Cavitation in Diesel Injection Nozzles,” SAE Technical Paper 2003-01-0703.

Desantes, J. M., Payri, R., Salvador, F. J., Gimeno, J. 2006. “Prediction of Spray Penetration by Means of Spray Momentum Flux,” SAE Technical Paper 2006-01-1387.

Diez, A., Zhao, H. 2010. “Investigation of Split Injection in a Single Cylinder Optical Diesel”. Society of Automotive Engineers (SAE Paper 2010-01-0605).

Diez, A., Zhao, H., Carrozzo, T., Catania, A. E., Spessa, E. 2012. “Development of a high-speed twocolour system and its application to in-cylinder diesel combustion temperature and soot measurements with split injections”. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering* 226(5), 684–697.

Dukowicz, J. K. 1980. “A particle-fluid numerical model for liquid sprays”. *Journal of Computational Physics* Vol. 35(2), 229 – 253.

Fluent, A. 2009.12.0 theory guide. Ansys Inc 5.

Han, Z., Parrish, S., Farrell, P. V. and Reitz, R. D. 1997. “Modeling atomization processes of pressure-swirl hollow-cone fuel sprays”. *Atomization and Sprays* 7(6), 663–684.

Huh, K. and Gosman, A. 1991. “A phenomenological model of diesel spray atomization”. In *Proceedings of the international conference on multiphase flows*, Volume 91.

Jakob, M., Hülser, T., Janssen, A., Adomeit, P., Pischinger, S., Grünfeld, G. 2012. “Simultaneous high-speed visualization of soot luminosity and OH* chemiluminescence of alternative-fuel combustion in a HSDI diesel engine under realistic operating conditions”, *Combustion and Flame*, 159 (7), 2516-2529.



Kösters, A. and Karlsson, A. 2011. "A comprehensive numerical study of diesel fuel spray formation with open foam". SAE Technical Paper 2011-01-0842.

Kalghatgi, G., Hildingsson, L. and Johansson, B. 2010. "Low NO_x and low smoke operation of a diesel engine using gasoline like fuels". Journal of Engineering for Gas Turbines and Power-Transactions of the ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power-Transactions of the ASME 132(9), 092803.

Levich, V. G., Technica, S. 1962. "Physicochemical hydrodynamics", Volume 689. Prentice-hall Englewood Cliffs, NJ.

Levy, N., Amara, S. and Champoussin, J.-C. 1998. "Simulation of a diesel jet assumed fully atomized at the nozzle exit". SAE Technical Paper 981067.

Liu, A. B., Mather, D. and Reitz, R. D. 1993. "Modeling the effects of drop drag and breakup on fuel sprays". Technical report, DTIC Document.

Los Alamos National Lab., NM (USA). LA-9069-T

Martinelli, L., Bracco, F. and Reitz, R. 1985. "Comparisons of computed and measured dense spray jets". Technical report, Princeton Univ., NJ (USA); General Motors Technical Center, Warren, MI (USA).

Naber, J. and Siebers, D. L. 1996. "Effects of gas density and vaporization on penetration and dispersion of diesel sprays". SAE technical paper 960034.

Negro, S., Brusiani, F. and Bianchi, G. M. 2011. "A numerical model for flash boiling of gasoline-ethanol blends in fuel injector nozzles". SAE Technical Paper 2011-24-0003.

Nurick, W. 1976. "Orifice cavitation and its effect on spray mixing". Journal of fluids engineering 98 (4), 681–687.

O'Rourke, P. and Amsden, A. 1987. "The tab method for numerical calculation of spray droplet breakup". SAE Technical Paper, 872089.

O'Rourke, P. J. 1981. "Collective drop effects on vaporizing liquid sprays". SAE Technical Paper, 810085,



O'Rourke, P. J. 198). "Statistical properties and numerical implementation of a model for droplet dispersion in a turbulent gas". *Journal of Computational Physics* 83 (2), 345 – 360.

Payri, R., García, J.M., Salvador, F.J., Gimeno, J. 2005. "Using Spray Momentum Flux Measurements to Understand the Influence of Diesel Nozzle Geometry on Spray Characteristics", *Fuel*; vol. 84 (5), pp. 551-561.

Payri, R., Ruiz, S., Salvador, F. J., Gimeno, J. 2007. "On the dependence of spray momentum flux in spray penetration: Momentum flux packets penetration model", *Journal of mechanical science and technology*, vol. 21, no 7, pp. 1100-1111.

Postrioti, L. and Battistoni, M. 2010. "Evaluation of diesel spray momentum flux in transient flow conditions". *SAE Technical Paper* 2010-01-2244.

Postrioti, L., Battistoni, M., Ungaro, C., Mariani, A. 2011. "Analysis of Diesel Spray Momentum Flux Spatial Distribution", *SAE Technical Paper* 2011-01-0682.

Postrioti, L., Bosi, M., Mariani, A., Ungaro, C. 2012. "Momentum Flux Spatial Distribution and PDA Analysis of a GDI Spray". *SAE Technical Paper* 2012-01-0459.

Postrioti, L., Mariani, F., Battistoni, M. and Mariani, A. 2009. "Experimental and numerical evaluation of diesel spray momentum flux". *SAE Technical Paper* 2009-01-2772.

Postrioti, L., Mariani, F., Battistoni, M., Mariani, A. 2009. "Experimental and Numerical Evaluation of Diesel Spray Momentum Flux," *SAE Int. J. Engines* 2 (2): 287-299,.

Rajaratnam, N. 1974 "Turbulent jets", Elsevier Scientific Company,.

Ranz, W. E. 1958. "Some experiments on orifice sprays". *The Canadian Journal of Chemical Engineering* 36(4), 175–181.

Reitz, R. and Bracco, F. 1982. "Mechanism of atomization of a liquid jet". *Physics of Fluids* (1958-1988) 25 (10), 1730–1742.

Reitz, R. D. 1987. "Modeling atomization processes in high-pressure vaporizing sprays". *Atomisation Spray Technology* 3, 309–337.

Reitz, R. D. and Diwakar, R. 1986. "Effect of drop breakup on fuel sprays". *SAE Technical Paper*. 860469



Reitz, R. D. and Diwakar, R. 1987. "Structure of high-pressure fuel sprays". SAE Technical Paper 870598.

Rotondi, R. and Bella, G. 2006. "Gasoline direct injection spray simulation". International Journal of Thermal Sciences 45 (2), 168 – 179.

Schmidt, D. P. and Corradini, M. L. 1997. "Analytical prediction of the exit flow of cavitating orifices". Atomization and Sprays 7 (6).

Senda, J. 2006. "Fuel design approach for low emission spray combustion by use of several mixing fuels". In Conference on: Thermo-and fluid dynamic process in Diesel Engine.

Sick, V. 2003. "High speed imaging in fundamental and applied combustion research", Proceedings of the Combustion Institute, 34 (2), 3509-3530.

Siebers, D. L. 1998. "Liquid-phase fuel penetration in diesel sprays". SAE technical paper 980809.

Taylor, G. 1950. "The instability of liquid surfaces when accelerated in a direction perpendicular to their planes". In Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, Volume 201, pp. 192–196. The Royal Society.

Winter, J., Dittus, B., Kerst, A., Muck, O., Schulz, R., Vogel, A. 2004. "Nozzle Hole Geometry – a Powerful Instrument for Advanced Spray Design" THIESEL International Conference on Thermo-and Fluid Dynamics Processes in Diesel Engines, Valencia, Spain.

Xu, M., Zhang, Y., Zeng, W., Zhang, G. 2013 "Flash Boiling: Easy and Better Way to Generate Ideal Sprays than the High Injection Pressure". SAE Int. J. Fuels Lubr. 6 (1):137-148.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Yrd. Doç. Dr. ALVARO DIEZ
Proje No:	114M422
Proje Başlığı:	Faz Doppler Anemometresi ,Sprey Momentum Akışı Ve Sprey Görüntüleme Benzin Direkt Enjektörleri Araştırması
Proje Türü:	1001 - Araştırma
Proje Süresi:	12
Araştırmacılar:	
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	İZMİR YÜKSEK TEKNOLOJİ ENS. MÜHENDİSLİK F. MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/10/2014 - 01/10/2015
Onaylanan Bütçe:	76200.0
Harcanan Bütçe:	48367.55
Öz:	<p>Direk enjeksiyon teknolojileri, son yıllarda yakıt tüketimini ve çevre kirliliğine yol açacak maddelerin oluşumunu daha da azaltacak güce sahip olduğunu göstermiştir. Ancak daha ileri bir gelişme spreyi, yakıt ve hava karışımını ve yanmayı anlamayı gerektirir.</p> <p>Bu rapor sabit hacimli yanma odasında flash boiling görülen düşük sıcaklıkta ve yüksek sıcaklıktaki direk benzin enjeksiyonu enjektörleri araştırmasını sunar. Spreyler deneysel olarak momentum akışı, yüksek hızda görüntüleme ve Faz Doppler Anemometresi aracılığı ile araştırılmıştır.</p> <p>Bu projenin bir parçası olarak, düzenli rejim boyunca ticari bir program kullanarak nümerik bir model geliştirilmiştir. Bu modelin doğrulanması için de deneysel verilerden faydalanılmıştır.</p> <p>Bu araştırma flash boiling şartlarının daha kısa penetrasyonla daha geniş bir sprej oluşturarak sprej biçimi üzerinde büyük bir etkisi olduğu gösterilmiştir. Buna ek olarak bu sprejler flash boiling olmayan koşullarla kıyaslandığında daha homojen bir yapıda olduğu görülmüştür.</p> <p>Nümerik model düzenli rejim için geliştirilmiştir. Ancak nümerik modelin motor silindirin içindeki koşulları araştırmak ve optimize etmek için geçici rejimde uygulanmadan önce daha fazla geliştirilmesi gerekir.</p>
Anahtar Kelimeler:	Faz Doppler Anemometresi (PDA), Sprey Momentum Akışı, Benzin Direkt Enjektörleri (GDI)
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Evet