İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YANGIN MONİTÖRLERİNDE JET VE SU ŞEMSİYESİ AKIŞININ VOF METODU İLE SAYISAL ÇÖZÜMÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülçin BİR

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Akışkan Programı

HAZİRAN 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YANGIN MONİTÖRLERİNDE JET VE SU ŞEMSİYESİ AKIŞININ VOF METODU İLE SAYISAL ÇÖZÜMÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülçin BİR
(503091142)

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Akışkan Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Levent Ali Kavurmacıoğlu

HAZİRAN 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503091142 numaralı Yüksek Lisans / Doktora Öğrencisi **Gülçin BİR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"YANGIN MONİTÖRLERİNDE JET VE SU ŞEMSİYESİ AKIŞININ VOF METODU İLE SAYISAL ÇÖZÜMÜ"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Yrd. Doç. Dr. Levent Ali KAVURMACIOĞLU** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Zeynep Düriye BİLGE** Yıldız Teknik Üniversitesi	.....
	Yrd. Doç. Dr. Murat ÇAKAN İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2012**
Savunma Tarihi : **5 Haziran 2012**

Babaanneme,

ÖNSÖZ

Sunulan yüksek lisans tez çalışması kapsamında, harici yangın söndürme sistemlerinde kullanılan yangın monitöründeki jet ve su şemsiyesi akışları Ansys Fluent programında VOF metodu kullanılarak incelenmiştir. Jet ve su şemsiyesi akışına etki eden parametreler üzere çalışılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasını yöneten, olumlu eleştiri ve önerileri ile katkıda bulunan, her fırsatta yardımını esirgemeyen değerli hocam Sn.Yrd.Doç.Dr. Levent Ali KAVURMACIOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her attığım adımda bana destek olan sevgili AİLEME şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2012

Gülçin BİR
(Makina Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxi**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 1
1.2 Literatür Araştırması 1
2.İKİ FAZLI AKIŞLARIN SAYISAL ÇÖZÜMÜ **5**
2.1 İki Fazlı Akışlara Genel Bakış 5
2.1.1 İki fazlı akış rejimleri 5
2.1.1.1 Gaz-sıvı ya da sıvı–sıvı akışları 5
2.1.1.2 Gaz-katı akışları 5
2.1.1.3 Sıvı-katı akışları 6
2.1.2 Çok fazlı sistem örnekleri 7
2.2 İki Fazlı Akış Modelinin Seçilmesi 8
2.2.1 İki fazlı akış modelleme yaklaşımları 8
2.2.1.1 Euler-Lagrange yaklaşımı 8
2.2.1.2 Euler-Euler yaklaşımı 9
VOF modeli 9
Karışım modeli 10
Eulerian model 10
2.2.2 Modellerin karşılaştırılması 10
2.2.2.1 Partikül yüklemesinin etkisi 12
2.2.2.2 Stokes sayısının önemi 13
2.2.3 İki fazlı akışlarda zaman şemaları 14
2.3 VOF Model Teorisi 15
2.3.1 VOF modele genel bakış ve VOF modelin sınırları 15
2.3.1.1 Genel bakış 15
2.3.1.2 Limitler 16
2.3.1.3 Zamandan bağımsız ve zamana bağlı vof hesaplamaları 16
2.3.2 Hacimsel oran denklemi 16
2.3.2.1 Kapalı (implicit) şema 17
2.3.2.2 Açık (explicit) şema 18
2.3.2.3 Arayüz yakınında interpolasyon 19
2.3.3 Fiziksel özellikler 19
2.3.4 Momentum denklemi 20
2.3.5 Enerji denklemi 20
3. YANGIN MONİTÖRÜ **23**

3.1 Yangın Monitörünün Tanımı ve Kullanımı 23
3.2 Yangın Monitörlerinde Akış Çeşitleri 25
3.2.1 Jet akışı 25
3.2.2 Su şemsiyesi (fog) akışı 25
3.2.2.1 Kelebek vananın açılı kullanılması ile elde edilen su şemsiyesi akışı 25
3.2.2.2 Çelici kullanılarak elde edilen su şemsiyesi akışı 26
3.2.3 Kısık debili jet akışı 26
4.JET AKIŞI 27
4.1 Nozul Geometrisinin Jet Akışına Etkisi 27
4.1.1 Nozul geometrilerinin belirlenmesi 27
4.1.2 Bir boyutlu tepki kuvveti hesabı 29
4.1.3 Tepki kuvveti ve debi-basınç ilişkisinin Ansys Fluent ile hesabı 29
4.1.4 Nozul geometrisi üzerine optimizasyon çalışmaları 33
4.1.4.1 Pelton nozulu geometrisi üzerine optimizasyon çalışmaları 33
4.1.4.2 Ters pelton nozulu geometrisi üzerine optimizasyon çalışmaları 34
4.1.5 Tepki kuvveti ve debi-basınç ilişkisinin VOF metodu ile çözümü 36
4.1.6 VOF metodu ile nozul profilinin jet hız profili etkisinin hesaplanması 37
4.1.6.1 VOF metodu ile nozul profilinin jet hız profiline etkisinin iki boyutlu çözümü……..……37
4.1.6.2 VOF metodu ile nozul profilinin jet hız profiline etkisinin üç boyutlu çözümü…….…… 39
4.1.6.3 VOF metodu ile nozul profilinin jet hız profiline etkisinin iki boyutlu ve üç boyutlu çözümünün karşılaştırılması……40
4.2 Klapenin Jet Akışına Etkisinin VOF Metodu ile Hesaplanması 41
5. SU ŞEMSİYESİ AKIŞI..... 45
5.1 Kelebek Vana Klapesinin Farklı Açılarda Kullanılmasıyla Su Şemsiyesi Akışı 45
5.2 Çelici Kullanılmasıyla Su Şemsiyesi Akışı..... 49
5.2.1 Çelicinin farklı x (nozul çıkısından olan uzaklık) uzaklıklarında tutulmasıyla elde edilen su şemsiyesi akışı……..…….…….50
5.2.2 Çelicinin x=0 (nozul çıkışından olan uzaklık) değeri için a ve b değerlerinin değişiminin hız profiline etkisi…...……...53
6.KISIK DEBİDE JET AKIŞI 57
6.1 Debi Kısma Mekanizmasında Kullanılan Klape 57
6.2 Kısık Debi Mekanizması Üzerine Optimizasyon Çalışmaları..... 57
7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... 61
KAYNAKLAR..... 63
ÖZGEÇMİŞ..... 65

KISALTMALAR

γ	: malzeme yoğunluk oranı
L / d_d	: partiküller arası boşluk
St	: Stokes sayısı
τ_d	: partikül cevap süresi
t_s	: sistem cevap süresi
L_s	: sistemin karakteristik uzunluğu
V_s	: sistemin karakteristik hızı
$\vec{V}$	: karışım ya da faz hızı
S_ϕ	: kaynak terimi
$\dot{m}_{qp}$	: q fazından p fazına olan kütle transferi
$\dot{m}_{pq}$	: p fazından q fazına olan kütle transferi
V	: hücre hacmi
U_f	: yüzeye doğru olan hacim akısı
k_{eff}	: efektif termal iletkenlik

Yunan Harfleri

α	: faz hacim oranı
ρ	: karışım faz yoğunluğu
$\alpha_{q,f}$	: hacim oranının yüzey değeri
$\bar{\bar{\tau}}$	: difüzyon terimi
β	: partikül yüklemesi
ϕ	: karışım ya da faz değişkeni

Kısaltmalar

VOF	: Volume of Fluid
HRIC	: High Resolution Interface Capturing scheme
CICSAM	: Compressive Interface Capturing Scheme for Arbitrary Meshes

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Pelton nozulunda farklı basınçlarda elde edilen debiler ve oluşan tepki kuvvetleri. 30
Çizelge 4.2 : Ters pelton nozulunda farklı basınçlarda elde edilen debiler ve oluşan tepki kuvvetleri. 31
Çizelge 4.3 : Konik nozulda farklı basınçlarda elde edilen debiler ve oluşan tepki kuvvetleri. 31
Çizelge 4.4 : R radüs değerinin 170 mm alınmasıyla farklı basınç değerleri için elde edilen debi ve kuvvet değerleri. 33
Çizelge 4.5 : R radüs değerinin 270 mm alınmasıyla farklı basınç değerleri için elde edilen debi ve kuvvet değerleri. 34
Çizelge 4.6 : R radüs değerinin 370 mm alınmasıyla farklı basınç değerleri için elde edilen debi ve kuvvet değerleri. 34
Çizelge 4.7 : R radüs değerinin 470 mm alınmasıyla farklı basınç değerleri için elde edilen debi ve kuvvet değerleri. 34
Çizelge 4.8 : R radüs değerinin 100 mm alınmasıyla farklı basınç değerleri için elde edilen debi ve kuvvet değerleri. 35
Çizelge 4.9 : R radüs değerinin 200 mm alınmasıyla farklı basınç değerleri için elde edilen debi ve kuvvet değerleri. 35
Çizelge 4.10 : R radüs değerinin 300 mm alınmasıyla farklı basınç değerleri için elde edilen debi ve kuvvet değerleri. 36
Çizelge 4.11 : Farklı nozul geometrilerinde 9 bar giriş basıncında tek fazlı çözüm ile elde edilen debi ve kuvvet değerleri. 36
Çizelge 4.12 : Farklı nozul geometrilerinde 9 bar giriş basıncında iki fazlı çözüm ile elde edilen debi ve kuvvet değerleri. 36

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Slug akışı (a), kabarcıklı, damlacıklı ya da partikül yüklü akış (b)..... 6
Şekil 2.2 : Katmanlı akış/serbest yüzey akışı (c), pnömatik transport, hidrotransport ya da slurry akışı (d)..... 7
Şekil 2.3 : Sedimentasyon (e), akışkan yatak (f) 7
Şekil 2.4 : Gerçek arayüz şekli (a), geometri yeniden yapılandırma şemasına göre arayüz şekli (b), donor-acceptor şemasına göre arayüz şekli (c) 19
Şekil 3.1 : Harici yangın söndürme sistemlerinde yangın monitörünün kullanımı. .. 23
Şekil 3.2 : Harici yangın söndürme sisteminin çalışması hali. 24
Şekil 3.3 : Jet akışı. 25
Şekil 3.4 : Kelebek vananın açılı tutulmasıyla su şemsiyesi akışı. 25
Şekil 3.5 : Çelici kullanılarak su şemsiyesi akışı 26
Şekil 3.6 : Kısık debili jet akışı. 26
Şekil 4.1 : Pelton nozulunun boyutları. 28
Şekil 4.2 : Ters pelton nozulunun boyutları. 28
Şekil 4.3 : Konik nozulun boyutları. 28
Şekil 4.4 : Tepki kuvveti hesabı için kontrol hacmi. 29
Şekil 4.5 : P=10 bar için pelton nozulundaki statik basınç dağılımı 30
Şekil 4.6 : P=10 bar için ters pelton nozulundaki statik basınç dağılımı. 30
Şekil 4.7 : P=10 bar için konik nozuldaki statik basınç dağılımı 31
Şekil 4.8 : Farklı basınç değerleri için nozul geometrisinin debiyle olan ilişkisi..... 32
Şekil 4.9 : Farklı basınç değerleri için nozul geometrisinin kuvvetle olan ilişkisi.... 32
Şekil 4.10 : Pelton nozulunda R radüsü 33
Şekil 4.11 : Ters pelton nozulunda R radüsü 35
Şekil 4.12 : Pelton nozulu için çözüm alanındaki hız dağılımı (iki boyutlu çözüm). 37
Şekil 4.13 : Ters pelton nozulu için çözüm alanındaki hız dağılımı (iki boyutlu çözüm)..... 38
Şekil 4.14 : Konik nozul için çözüm alanındaki hız dağılımı (iki boyutlu çözüm)... 38
Şekil 4.15 : Farklı nozul geometrileri kullanılarak nozul çıkışından 1m mesafede elde edilen hız profilleri (iki boyutlu çözüm). 39
Şekil 4.16 : Pelton nozulu için çözüm alanındaki hız dağılımı (üç boyutlu çözüm). 39
Şekil 4.17 : Ters pelton nozulu için çözüm alanındaki hız dağılımı (üç boyutlu çözüm)..... 40
Şekil 4.18 : Konik nozul için çözüm alanındaki hız dağılımı (üç boyutlu çözüm). .. 40
Şekil 4.19 : Farklı nozul geometrileri kullanılarak nozul çıkışından 1m mesafede elde edilen hız profilleri (üç boyutlu çözüm)..... 40
Şekil 4.20 : Pelton nozulunun nozul çıkışından 1 m mesafedeki hız profillerinin iki boyutlu ve üç boyutlu çözüm sonuçları 41
Şekil 4.21 : Kelebek vana klapesi kullanılmadığında kontrol hacminde oluşan hız dağılımı. 42
Şekil 4.22 : Kelebek vana klapesi kullanıldığında kontrol hacmindeki hız dağılımı. 42

Şekil 4.23 : Delikli kelebek vana klapesi kullanıldığında kontrol hacmindeki hız dağılımı (gerçek hal). 43
Şekil 4.24 : Klapenin nozul çıkışından 0.1m sonraki hız profillerine etkisi..... 43
Şekil 4.25 : Klapenin nozul çıkışından 1m sonraki hız profillerine etkisi..... 44
Şekil 4.26 : Klapenin nozul çıkışından 4m sonraki hız profillerine etkisi..... 44
Şekil 5.1 : Açılı klape kullanılarak su şemsiyesi akışı..... 45
Şekil 5.2 : Kelebek vana klapesinin yatayla 10 derece açı yapacak şekilde tutulmasıyla elde edilen hız dağılımı 46
Şekil 5.3 : Kelebek vana klapesinin yatayla 40 derece açı yapacak şekilde tutulmasıyla elde edilen hız dağılımı 46
Şekil 5.4 : Kelebek vana klapesinin yatayla 60 derece açı yapacak şekilde tutulmasıyla elde edilen hız dağılımı 47
Şekil 5.5 : Klape kullanılmadığında ve klapenin 10,40 ve 60 derecede tutulmasıyla nozul çıkışından 1m mesafede oluşan hız profilleri..... 47
Şekil 5.6 : Klape kullanılmadığında ve klapenin 10,40 ve 60 derecede tutulmasıyla nozul çıkışından 4m mesafede oluşan hız profilleri..... 48
Şekil 5.7 : Klape kullanılmadığında ve klapenin 0,10,20,30,40 ,50 ve 60 derecede tutulmasıyla nozul çıkışından 1m mesafede oluşan hız profilleri 48
Şekil 5.8 : Klape kullanılmadığında ve klapenin 0,10,20,30,40 ,50 ve 60 derecede tutulmasıyla nozul çıkışından 4m mesafede oluşan hız profilleri 49
Şekil 5.9 : Su şemsiyesi akışının sağlanması için kullanılacak olan çelicinin ölçüleri 50
Şekil 5.10 : Çelicinin nozul çıkışından -30 mm mesafede tutulmasıyla elde edilen hız dağılımı..... 50
Şekil 5.11 : Çelicinin nozul çıkışından 100 mm mesafede tutulmasıyla elde edilen hız dağılımı..... 51
Şekil 5.12 : a=60°, b=90° değerlerinde, çelicinin nozul çıkışından -30mm ve 100mm mesafelerinde tutulması ile nozul çıkışından 1m mesafede elde edilen hız profilleri..... 51
Şekil 5.13 : a=60°, b=90° değerlerinde, çelicinin nozul çıkışından -30mm ve 100mm mesafelerinde tutulması ile nozul çıkışından 4m mesafede elde edilen hız profilleri..... 52
Şekil 5.14 : a=60°, b=90° değerlerinde, çelicinin nozul çıkışından -30mm, -10mm, 0mm, 10mm, 100mm ve 200mm mesafelerinde tutulması ile nozul çıkışından 1m mesafede elde edilen hız profilleri..... 52
Şekil 5.15 : a=60°, b=90° değerlerinde, çelicinin nozul çıkışından -30mm, -10mm, 0mm, 10mm, 100mm ve 200mm mesafelerinde tutulması ile nozul çıkışından 4m mesafede elde edilen hız profilleri..... 53
Şekil 5.16 : a=40°, b=70° değerleri için elde edilen hız dağılımı..... 54
Şekil 5.17 : a=80°, b=110° değerleri için elde edilen hız dağılımı..... 54
Şekil 5.18 : Farklı a ve b açı değerleri için nozul çıkışından 1m mesafede elde edilen hız profilleri..... 55
Şekil 5.19 : Farklı a ve b açı değerleri için nozul çıkışından 4m mesafede elde edilen hız profilleri..... 55
Şekil 5.20 : a= 70°, b=100°; a= 80°, b=110° değerlerinde ve çelici kullanılmadığında nozul çıkışından 4m mesafede elde edilen hız profilleri..... 56
Şekil 6.1 : Klapenin boyutsal ölçüleri..... 57
Şekil 6.2 : Çekvalf kullanılmadığında elde edilen hız dağılımı..... 58
Şekil 6.3 : Çekvalf kullanıldığında elde edilen hız dağılımı..... 59

Şekil 6.4 : Çekvalf kullanımının nozul çıkışından 0.1m mesafedeki hız profillerine etkisi. 59
Şekil 6.5 : Çekvalf kullanımının nozul çıkışından 1m mesafedeki hız profillerine etkisi. 60
Şekil 6.6 : Çekvalf kullanımının nozul çıkışından 4m mesafedeki hız profillerine etkisi. 60

YANGIN MONİTÖRLERİNDE JET VE SU ŞEMSİYESİ AKIŞININ VOF METODU İLE SAYISAL ÇÖZÜMÜ

ÖZET

Harici yangın söndürme sistemleri açık denizde meydana gelen ya da denizden müdahale edilebilecek yangın durumlarında kullanılan bir yangın söndürme sistemidir. Bir çok deniz aracına kurulumu yapılan bu sistem pompalar aracılığı ile suyun ya da köpüğün yangın mahaline ulaştırılmasını sağlar. Bu sistemin en önemli yangın monitörleridir. Yangın monitörleri suyu yangın mahaline iletmenin dışında suyun debisini ve akış çeşidini (jet ya da su şemsiyesi) belirleyen kısımdır.

Bu tezde jet ve su şemsiyesi akışları iki fazlı akış rejimlerinde yaygın olarak kullanılan VOF yöntemi ile analiz edilmiştir. İki fazlı akışlarının sayısal çözümünde kullanılabilecek genel geçer bir çözüm modelinin almaması çözümleri zorlaştırmaktadır. Probleme uygun modelin belirlenebilmesi için literatürde yer alan ve VOF yönteminin kullanıldığı çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmaların ışığında VOF yönteminin kullanımının uygun olduğuna karar verilmiştir.

Çalışmalar ilk olarak jet akışının incelenmesiyle başlamıştır. Aynı basınç değerinde diğer nozul geometrilerine nazaran daha az tepki kuvveti oluşturup daha az tepki kuvveti oluşturan ters pelton geometrisine sahip nozulun kullanılmasına karar verilmiştir. İki boyutlu ve üç boyutlu olarak yapılan analiz sonuçlarına göre nozul geometrisinin çıkış hız profilini etkilemediği görülmüştür. İki boyutlu ve üç boyutlu sonuçlarının birbirini desteklediği görülmüş ve çalışmalara iki boyutlu çözümlerle devam edilmesine karar verilmiştir.

Su şemsiyesi akışında ise iki farklı yöntem denenmiştir. İlk yöntemde kelebek vana klapesinin farklı açılarda tutulmasının çıkış hız değerlerine ve hız profillerine etkisi incelenmiştir. Sonuçlar klapenin yatayla yaptığı açının artmasıyla çıkış hız değerinin azaldığını göstermiştir. Bu beklenen durumun yanında yayılımın en çok 30° ve 40°'de olduğu görülmüştür. Bu yönteme altenatif olarak da nozul çıkışında çelici kullanılmasına karar verilmiştir. İlk olarak tek kademeli çelici kullanılması düşünülmüş fakat aynı yayılımı sağlan tek kademeli ve çift kademeli çeliciden tek kademeli olanın daha düşük hız değeri sağladığı görülmüş ve bu nedenle iki kademeli çelici kullanılarak analizler devam ettirilmiştir. Çelici açısının arttırılmasının yayılımı arttırdığı görülmüş ve konum olarak ise en iyi yayılımın çelicinin nozul çıkışından 100mm uzaklıkta iken sağlandığı görülmüştür.

Kısık debi akışınında istenen debinin sağlanabilmesi için ortası delik klapenin kapalı durumda tutulmasına karar verilmiş ve basınca göre elde edilen debi değerleri hesaplanmıştır.

NUMERICAL CALCULATION OF JET AND FOG FLOW IN FIRE MONITOR

SUMMARY

The external fire fighting system is fully integrated with the vessel. In the external fire fighting system, main engine of the vessel is usually used as power source. In case of fire power is transfered to the pumps by remoted controlled clutch. Fire monitors are the main part of this system. Fire monitors throw jet and fog which is spray pattern. The fire remote control monitors are equipped with non-aspirating type nozzles designed to throw water or foam as per the requirement. Fire monitors are designed for marine and offshore applications and widely used in chemical industrial enterprises, port and dock, large oil storage, large water storage, airport and etc. It operates electrically or hydraulically. It can also be controlled from a safe distance by using a simple operating console. A fire fighter can be stationed in a control cabin that can be located more than two hundred meters away from the monitor. Also to meet the safety standards the monitors have a provision to be manually operated in case of an electric or battery failure. The fire remote control monitors can be erected on a structural platform at a desired height at strategic places where there is a potential hazard of fire.

The water jet is created in the fire monitor by pressing water at optimum speed trough the special desinged monitor nozzle. Capacity of the fire monitors and outlet velocity can be adjusted by using different nozul diameters. Due to the velocity difference between inlet and outlet of the nozzle reaction force occurs. This force should be compensated for station keeping. Reaction force also can cause permanent deformation on the foundation system of the fire monitor .

In this study, numerical calculation of fog and jet flow in a fire monitor was carried out by using VOF model. A large number of flows encountered in nature and technology are a mixture of phases. Physical phases of matter are gas, liquid and solid, but the consept of phase in a multiphase flow system is applied in a broader sense. In multiphase flow, a phase can be defined as an identifiable class of material that has a particular inertial response to and interaction with the flow and the potential field which is immersed. Multiphase flow regimes can be grouped into four categories: gas-liquid or liquid-liquid flows; gas-solid flows; liquid-solid flows; and three-phase flows. In many multiphase applications, the process can vary spatially as well as temporally. In order to accurately model multiphase flow, both higher order spatial and time discretization schemes are necessary. The first step in solving any multiphase problem is to determine which of the regimes provides some broad guidelines for determining appropriate models for each regime. For general, complex multiphase flows that involve multiple flow regimes, the aspect of the flow that is of

most interest and the model that is most appropriate for that aspect of flow are selected.

The VOF model is appropriate for stratified of free-surface flows. The VOF model is a surface-tracking technique is used for numerical calculation of multiphase flow. The tracking of the interface between the phases is accomplished by the solution of a continuity equation for the volume fraction of multi-phase flow. This method is based on the concept of a fractional volume of fluid which is usually incorporated into the flow equations to track free water surface. The VOF model can model two or more immiscible fluids by solving a single set of momentum equations and tracking the volume fraction of each of the fluids throughout the domain. Typical application includes the prediction of jet breakup, the motion of large bubbles in a liquid, the motion of liquid after a dam break, and steady or transient tracking of any liquid-gas interface.

The VOF formulation relies on the fact that two or more fluids (or phase) are not interpenetrating. For each additional phase added to model, a variable is introduced: the volume fraction of the phase in the computational cell. In each control volume, the volume fractions of all phases sum to unity. The fields for all variable and properties are shared by the phases and represent volume-averaged values, as long as the volume fraction of each of the phase is known at each location. Thus the variables and properties in any given cell are either purely representative of one of the phases, or representative of a mixture of the phases, depending upon the volume fraction values. The VOF formulation is avaible with the pressure-based solver. All control volumes must be filled either a single fluid phase or a combination of phases. Only one of the phases can be defined as a compressible ideal gas. The properties appearing in the transport equations are determined by the presence of the component phases in each control volume. A single momentum equation is solved throughout the domain, and the resulting velocity field is shared among the phases. The shared-fields approximation has one limitation, in cases where large velocity differences exist between the phases, the accuracy of the velocities computed near the interface can be adversely affected. The energy equation also shared among the phases.

The VOF formulation is generally used to compute a time-dependent solution but for problems in which you are concerned only with a steady-state solution, it is possible to perform a steady-state calculation. A steady-state VOF calculation is sensible only when the solution is independent of the initial conditions and there are distinct boundaries for the individual phases.

A comprehensive literature research showed that, VOF is the most suitable to model jet and fog flow. Calculation in this thesis were made by using VOF method in both two dimensinal and three dimensional.

In this section , jet flow of the fire monitor was examined. Two parameters which affect the jet flow of fire monitor were considered. They are the nozzle profile and the butterfly valve in open position. The nozzles are used in fire monitor to adjust water outlet velocity to obtain required throw length. At the beginning, reaction force formulation in one dimension was written but this formulation was not suitable to

denote the nozzle profile effect so calculation was proceeded by using computational fluid dynamics methods. Firstly the relation between nozzle profile and the reaction force was defined. Three nozzle profil were used in the calculation. These nozzles are called pelton nozzle, ters pelton nozzle and conic nozzle. Inlet and outlet section of the nozzle were same to make a sensible comparison. The analysis carried out at different presure values. Pressure-reaction force and pressure –mass flowrate graphs were obtained for all nozzle profiles. The calculation results showed that reaction force which is occured in the nozzle was related to nozzle geometry although the inlet and outlet diameters of the nozzles were same. The nozzle profile which was called ters pelton had minimum reaction force and maxium mass flow rate at same pressure. It's understood that, ters pelton was the most effective nozzle profile for such a situation.

Another topic in this section was to determine the effect of nozzle profile on velocity profile. The calculations were carry out in two dimensional and three dimensional. According to two and three dimensional analyses results, jet velocity profiles were independent of the nozzle geometry. Some optimisation studies were done to improve nozzle performance. The inlet and outlet diameters of the nozzles were keep constant again.

In the fire monitor, to obtain jet flow the valve was used in open position. This situation was not arbitrary and had some disturbing effect on jet flow. To measure this effect, three model were runned. Due to the results, when valve was in use (real situation), outlet velocity was decreased. As the outlet velocity was related to throw length of the fire monitor, throw length would decrease in use of valve. This was a disadvantage of using valve in jet flow.

In fire monitors, fog flow is used to extinguish the fire which is spreaded over large areas. In this study two method is studied to obtain fog flow. In the first method, a modified butterfly valve was used to spread the water. The angle between the flap of the valve and horizontal line considered as a parameter. The relation between the angle and outlet velocity at a constant inlet pressure studied. As an alternative to fog flow a kind of deflector used to provide fog pattern. The angle and the diameter of the deflector and the distance between nozzle and the deflector considered as parameters.

At the end, reduced flow in fire monitors were studied. In this flow, valve was kept in closed position. As the valve had a hole in the middle, flow reduced related with this hole diameter.

1. GİRİŞ

Doğada karşımıza çıkan akışların büyük bir kısmını iki fazlı akışlar oluşturur. İki fazlı rejimler gaz-sıvı, sıvı-sıvı, gaz-katı ve sıvı-katı şeklinde olabilir. Fluent gibi hesaplamalı akışkanlar dinamiği programları iki fazlı akış probleminin çözümü için bazı yaklaşımlar sunmaktadır. Bu çalışmada iki fazlı akışların sayısal çözümünde kullanılan VOF metodu bir yangın monitörünün jet ve su şemsiyesi akışını modellemek için kullanılmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Çalışmanın amacı bir yangın monitörünün hem jet hem de su şemsiyesi akışını modelleyerek istenilen akış özelliklerini ve şartlarını sağlayacak çözümü elde etmektir.

1.2 Literatür Araştırması

İki fazlı akışın sayısal çözümünü zor kılan en önemli neden genel geçer bir çözüm modelinin bulunmamasıdır. Kullanılan çözüm modelleri çok farklılık gösterdiği için problemin iyi incelenmesi ve buna göre çözüm modeline karar verilmesi gerekir.Bu çalışmada iki fazlı akış yöntemlerinden VOF yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu yöntemin kullanılmasının nedenleri ilerleyen kısımlarda belirtilecektir. Bu bölümde ise VOF yönteminin kullanıldığı çalışmalar incelenmiştir.

Hirt ve Nichols [1] serbest arayüzlerin izlenmesinde en çok kullanılan yöntem olan VOF metodunu öne sürmüşlerdir. Hirt ve Nichols çalışmalarında o tarihe kadar kullanılan serbest arayüz yaklaşımlarına oranla daha verimli ve kolay uygulanabilir olan VOF metodunu tanımlamışlardır. Bu metodun kullanışlı olmasının nedeni olarak daha az depolanmış veriye ihtiyaç duyması ve üç boyutlu hesaplamalara uygulanabilir olması gösterilmiştir. VOF metodu detaylı olarak tanımlanmış ve sıkıştırılamaz hidrodinamik koddaki serbest yüzeylerin izlenmesinde kullanılmıştır.

Yapılan örnek problem çözümleri bu metodun geniş bir uygulama alanı olduğunu kanıtlamıştır.

Jouette ve diğ. [2] üç boyutlu lineer olmayan dalga probleminin çözümü için bir hesaplamalı kod öne sürmüşlerdir. Akış alanı ve bilinmeyen serbest yüzey konumu Reynolds-ortalamalı Navier-Stokes/Euler denklem sisteminin serbest yüzey izlenmesi için kullanılan VOF metoduyla birlikte çözülmesiyle hesaplanmıştır. Yöntem sonlu-hacim tekniğine dayanmaktadır. Euler veya Navier-Stokes denklemleri bir Euler eğrisel grid üzerindeki zamana bağımlı ve zamandan bağımsız olan akışlar için bir pseudo-sıkıştırılabilirlik yaklaşımı kullanılarak çözülmüştür. Nümerik sonuçlar Euler denklemlerinin çözümünü vermiştir. Örnek olarak bir tanktaki çalkantı hareketi gibi zamana bağımlı kapalı problem ya da sonsuz hacim içindeki asılı hava kanatçığı üzerindeki zamandan bağımsız dalgalar verilebilir. Model viskoz akışlar ve Navier Stokes denklemlerinin viskoz akış uygulamalarında geçerlidir. Sonuç olarak VOF metodunun hem zamandan bağımsız hem de zamana bağımlı problemlerde serbest yüzeyleri izlemek için kullanılabileceği görülmüştür. Tanklardaki çalkantının zamana bağımlı simülasyonunda zamana bağımlı Euler denklemlerinin VOF metoduyla birlikte çözülmüştür. Zamandan bağımsız problemde ise bir uçak kanat profilinin sonsuz derinlikteki bir akış hacmi içinde asılı vaziyetteyken etrafındaki akışın hesaplanması için zamandan bağımsız Euler denklemleri kullanılmıştır.

Shin ve Lee [3] serbest arayüzlü sıkıştırılamaz viskoz akışların simülasyonu için nümerik bir teknik üzerine yapılan bir çalışma sunmuşlardır. Modife edilmiş VOF yöntemini kullanarak baraj taşması problemi çözümlenmiştir. Elde edilen sonuçların varolan datalarda büyük ölçüde örtüştüğü kaydedilmiştir.

Sussman [4] ‘ level set’ ve VOF yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla elde edilen bir metotla su buharı oluşumunun ve çöküşünün hesaplandığı bir çalışma sunmuştur. Sıvının sıkıştırılamaz buharın ise sabit basınçta olduğu kabul edilmiştir. Kütle korunumu için ikinci mertebe algoritmalar kullanılmıştır.

Kleefman ve diğ. [5] baraj taşması ve su girişi problemlerini nümerik olarak incelemiştir. Baz alınan nümerik metot sıkıştırılamaz viskoz akışlar için kullanılmak üzere sadeleştirilmiş Navier-Stokes denklemleridir. Denklemler sonlu hacimler yöntemi kullanılarak sabit kartezyen gridler üzerinde ayrıklaştırılmıştır. Serbest

yüzey izleme metodu olarak VOF modeli kullanılmıştır. Baraj taşması simülasyonu akış içine bir kutu yerleştirilerek yapılmış etki eden kuvvet ve basınç değerleri hesaplanmıştır. Deneysel sonuçlarla karşılaştırma yapıldığında sonuçların birbiriyle örtüştüğü görülmüştür. Simülasyon sonuçları modelin performansı açısından güven verir nitelikte olduğuna karar verilmiştir. Doğrulama için ölçümlerle nümerik sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Mousavi ve diğ. [6] granüler yataktaki kütle ve momentum transferi ile ilgili daha detaylı bilgi edinebilmek için nümerik simülasyonlar yapmıştır. Bu çalışmada granüllü yatağa doğru olan sıvı-gaz akışı ele alınmıştır.VOF metodu konteynırdaki hem hız alanının hem de sıvının hacimsel oran dağılışının hesaplanması için kullanılmıştır.

Vinay ve diğ. [7] iki fazlı akışlarda arayüzlerin izlenmesi için kullanılan sayısal metotları incelemişlerdir. Literatürde öne çıkan arayüz izleme metodları ‘’level-set method’, ’marker particle method’, ‘front tracking method’ ve ‘volume of fluid method’ dır. VOF modelinin diğer arayüz izleme modellerinden üstün olan yönleri bulunmaktadır. VOF metodu kavramsal olarak daha basit olmasının yanı sıra daha doğru sonuçlar vermekte ve yapısı gereği arayüz ayrılma ve birleşmelerini içermekte olduğu belirtilmiştir.

Haroun ve diğ. [8] iki fazlı akışlarda reaktif kütle transferi simülasyonu için bir VOF metodu geliştirmiş ve reaktif laminer sıvı filmine uygulamıştır. Arayüzeydeki kimyasal türlerin temodinamik dengesi Henry kanununa göre ele alınmıştır. Bu metotda reaktif transfer, birincil değişkenler kullanılarak konsantrasyon denkleminin ve sıkıştırılamaz Navier-Stokes denklemleri çözülmüştür. Bu sonuçlar literatürdeki diğer çalışmalarla kıyaslanmış ve mühendislik uygulamalarındaki reaktif kütle transferi çalışmalarında kullanılmasının doğru ve yararlı olacağına karar verilmiştir.

Bir deniz aracı hasar gördüğünde deniz suyu hasarlı bölgelere dolmakta ve deniz aracının hareketini engellemektedir. Ayrıca deniz aracının davranışı da su taşkınının hareketini etkilemektedir. Gao ve diğ. [8] VOF modelini hasar gören bir deniz aracına su taşmasının nümerik simulasyonu için geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu yöntemin sağlaması olarak iki ve üç boyutlu baraj taşması problemleri testedilmiştir. Nümerik sonuçlar hem deneysel sonuçlarla hem de daha önce yapılan nümerik sonuçlarla uyuşmuştur. Ek olarak altı yüzlü tank içindeki doğrusal ve doğrusal

olmayan sıvı çalkantısı problemlerinin çözümü için kullanılmıştır. Nümerik sonuçlar deneysel ve analitik sonuçlarla karşılaştırıldığında sonuçlar tatminedici bulunmuştur. Son olarak da bri Ro-Ro feribotunun zarar görmüş olan bölümlerine su taşması olayı incelenmiş ve deneysel sonuçlarla nümerik çözümün doğrulaması yapılmıştır.

Srinivasan ve diğ. [10] silindirik sıvı jetin durgun gaz içerisindeki hareketi üzerine bir çalışma sunmuştur. Sonlu frekans ve genliğin sinüs eğrisi şeklindeki hız dalgalanmaları sıvı jeti girişine uygulanmıştır ve sonuçta oluşan sıvı jeti yüzey deformasyonları VOF metoduyla elde edilmiştir. Giriş hızı, sıvı jet çapının laminer sıvı jetine etkisi araştırılmıştır.

Ma ve Bothe [11] iki fazlı sıkıştırılamaz akışkanları dinamik olarak deforme olabilen arayüzlerindeki termal marangoni etkilerinin simülasyonu için nümerik bir metot geliştirmiştir. Bu yaklaşım VOF metoduna dayanır. Bu metot üç farklı termokapilari akışına uygulanmıştır. Bunlar : ortam şartlarındaki sıvı içindeki damlacığın lineer sıcaklık gradyeni ile hareketi, arayüz boyunca lineer sıcaklık gradyeni altında sıvı katmanı içinde termokapilari taşınım, Benard-Marangoni kararsızlığına göre Marangoni taşınımı. Nümerik metodun doğrulaması için sıvı içindeki viskoz damlacığın termokapileri hareketinin hesaplanması problemi araştırılmıştır. Sınırları tanımlı olmayan sistemlerdeki termal hareket hızının yanında sınırları tanımlı olan sitemlerdeki başlangıç ivmesi ve hareket hızı teorik sonuçlarla kıyaslanmıştır. Metodun özellikle sınırları tanımlı olan sistemlerdeki termokapileri hareketinin çözümü için güvenilir olduğu görülmüştür. Ayrıca yüksek taşınımsal ısı transferinin olduğu rejimlerde de deneysel datalara çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

2. İKİ FAZLI AKIŞLARIN SAYISAL ÇÖZÜMÜ

2.1 İki Fazlı Akışlara Genel Bakış

Doğada ve teknolojide karşılaştığımız akışların büyük bir kısmı faz karışımlı akışlardır. Maddenin fiziksel halleri gaz, sıvı ve katıdır fakat iki fazlı akış sisteminde faz kavramı daha kapsamlı bir şekilde ele alınır. İki fazlı akışlarda bir faz, içinde bulunduğu akışa ve potansiyel alana belirli bir atalet cevabı ve etkileşimi olan kendi özelliklerini taşıyan bir malzeme sınıfı olarak tanımlanabilir. Örneğin, aynı malzemenin farklı ebatlardaki katı partikülleri farklı fazlar olarak düşünülebilirler çünkü aynı boyuttaki partikül yığınının akış alanına verdiği dinamik cevap benzer olacaktır.

2.1.1 İki fazlı akış rejimleri

İki fazlı akış rejimleri üç kategoride gruplandırılabilir. Bunlar : gaz-sıvı ya da sıvı-sıvı akışlar, gaz-katı akışlar ve sıvı-katı akışlardır.

2.1.1.1 Gaz-sıvı ya da sıvı–sıvı akışları

Aşağıdaki rejimler gaz-sıvı ya da sıvı-sıvı akışları kategorisinde sınıflandırılır.

- Kabarcıklı akış: Ayrık gaz ya da akışkan haldeki kabarcıkların sürekli akışkan içindeki akışı.
- Damlacık akışı: Ayrık akışkan damlacıklarının sürekli gaz içindeki akışı.
- Slug akışı: Büyük kabarcıkların sürekli akışkan içindeki akışı.
- Katmanlı/Serbest yüzey akışı: Açıkça belirtilmiş arayüzlerle ayrılmış birbirine karışmayan akışkanların akışı.

2.1.1.2 Gaz-katı akışları

Aşağıdaki rejimler gaz-katı akışları kategorisinde sınıflandırılır.

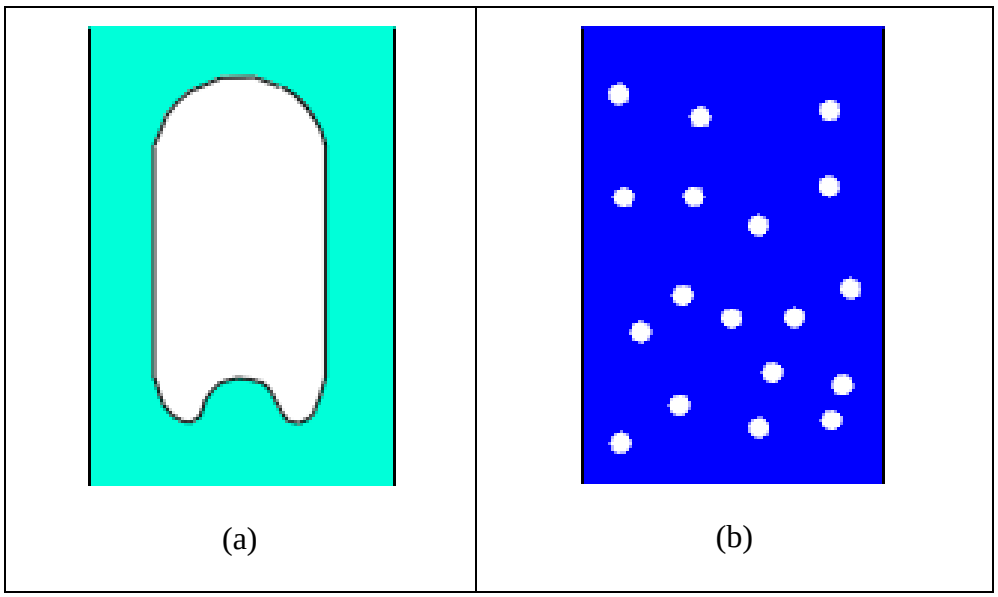
- Partikül yüklü akış: Ayrık partiküllerin sürekli gaz içindeki akışı.

- Pnömatik transport: Katı yükleme, Reynolds sayısı ve partikül şekli gibi faktörlere bağlı olan akış şekli. Örnek olarak dune akışı, slug akışı ve homojen akış verilebilir.
- Akışkan yatak: Bir gaz bir distribütör yardımıyla partikül içeren dikey bir silindirin içene iletilir. Yataklara doğru yükselen gaz, partikülleri askıda tutar. Gaz debisine bağlı olarak, kabarcıklar ortaya çıkar ve yatağa doğru yükselir.

2.1.1.3 Sıvı-katı akışları

Aşağıdaki rejimler sıvı-katı akışları kategorisinde sınıflandırılır.

- Bulamaç akışı (slurry flow): Bu akış partiküllerin sıvı içindeki transferidir. Sıvı-katı akışlarının temel davranışı katı partiküllerin özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterir. Bulamaç akışlarında, Stokes sayısı normalde 1 den küçüktür. Stokes sayısı 1 den büyük olduğunda akışın karakteri sıvı-katı akışkanlaşmasıdır.
- Hidrotransport: Katı partiküllerin yoğun bir şekilde sürekli bir sıvı içinde dağılımını ifade eder.
- Sedimentasyon: Başlangıçta uniform dağılımlı bir partikül karışımını içeren uzun bir kolonu ifade eder. Alt kısımda, partiküller yavaşlar ve tortu tabakası oluşur. Üst yüzeyde belirgin bir arayüz ortaya çıkar, orta kısımda ise sabit bir çöküntü bölgesi oluşur.

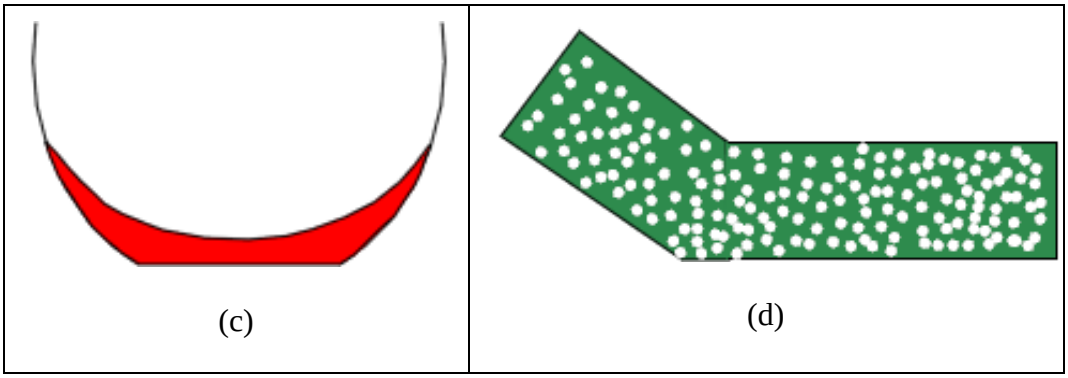


Şekil 2.1: Slug akışı (a), Kabarcıklı, damlacıklı ya da partikül yüklü akış (b) [12].

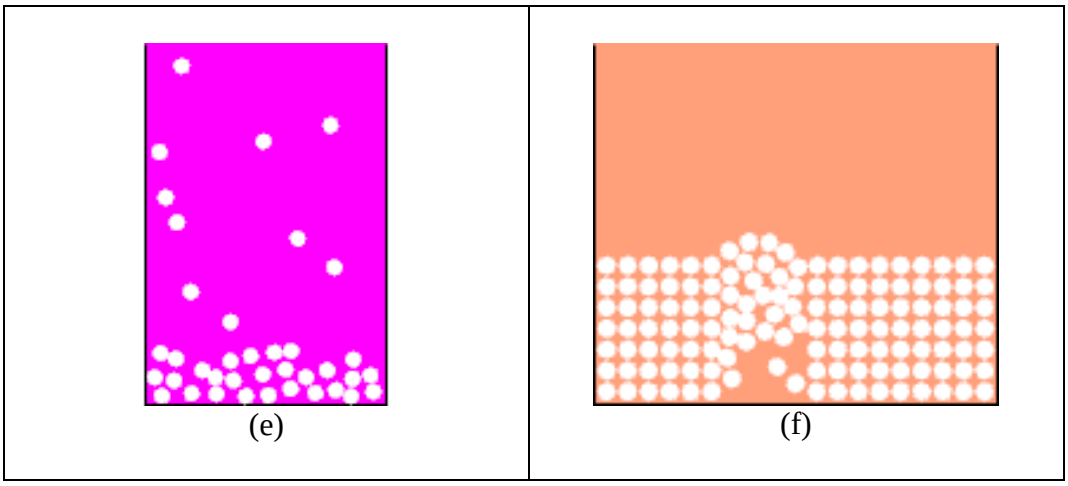
Şekil 2.1'de slug akışı, kabarcıklı, damlacıklı ve partikül yüklü akışlar gösterilmiştir.

Şekil 2.2'de katmanlı akış, serbest yüzey akışı, pnömatik transport, hidrotransport ve slurry akışı gösterilmiştir.

Şekil 2.3'de sedimentasyon ve akışkan yatak gösterilmiştir. Bu akışlar iki fazlı akış kapsamına girmektedir.



Şekil 2.2: Katmanlı akış/serbest yüzey akışı(c), Pnömatik transport, hidrotransport ya da slurry akışı (d) [12].



Şekil 2.3: Sedimentasyon(e), Akışkan yatak (f) [12].

2.1.2 Çok fazlı sistem örnekleri

- **Kabarcıklı akış:** Absorblayıcılar, hava kaldırmalı pompalar, kavitasyon, evaporatörler, flotasyon.
- **Damlacık akışı:** Absorblayıcılar, pülverizatörler, kurutucular, evaporasyon, gaz soğutma.
- **Slug akışı:** Tank ya da borulardaki büyük kabarcıkların hareketi
- **Katmanlı/serbest arayüz akışı:** Nükleer reaktörlerde kaynama ve yoğuşma.

- **Partikül yüklü akış:** Siklon ayırıcılar, hava sınıflandırıcılar, çöp toplayıcılar, çöp yüklü çevresel akışlar.
- **Pnömatik transport:** Çimento, tohum ve metal tozlarının transferi.
- **Akışkan yatak:** Akışkan yatak reaktörleri ve sirkülasyonlu akışkan yataklar.
- **Slurry flow:** Slurry transferi ve mineral işleme.
- **Hidrotransport:** Mineral işleme, biyomedikal ve fizikokimyasal akışkan sistemleri.
- **Sedimentasyon:** Mineral işleme.

2.2 İki Fazlı Akış Modelinin Seçilmesi

İki fazlı bir problemi çözmenin ilk adımı iki fazlı akış rejiminin ve bu akış modeli için uygun iki fazlı akış modelinin seçilmesidir. İki fazlı akışların sayısal çözümü için kullanılabilecek genel geçer bir model yoktur her problem kendi içinde farklılıklar barındırır. Fluent gibi hesaplamalı akışkanlar dinamiği programları iki fazlı akış problemlerinin çözümü için yaklaşımlar sunmaktadır.

2.2.1 İki fazlı akış modelleme yaklaşımları

İki fazlı akışların sayısal analizi hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin araştırma konularından birisidir. İki fazlı akışların sayısal çözümü için iki yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlar Euler-Lagrange yaklaşımı ve Euler-Euler yaklaşımıdır.

2.2.1.1 Euler-Lagrange yaklaşımı

Günümüz bilgisayarlarının gelişerek iki fazlı akışın karmaşık yapısına cevap verecek hale gelmeleriyle bu yaklaşım popüler hale gelmiştir. Bu yaklaşım özellikle partikül yüklü iki fazlı akışların davranışını incelemek için çok yararlı olmuştur. Ansys Fluent'deki Lagrangian ayrık faz modeli Euler-Lagrange yaklaşımını izler.

Bu yaklaşımda sürekli faz içindeki partiküller Lagrangian bir yaklaşımla modellenirken sürekli ya da taşıyıcı faz Eulerian bir yaklaşımla modellenir. Sürekli faz için zaman ortalamalı Navier Stokes denklemleri çözülürken sürekli faz içinde hareket eden partikül veya kabarcıklar hesaplanmış akış alanı içerisinde izlenir. Bu partikül ve kabarcıklar sürekli faz ile momentum, kütle veya enerji transferinde bulunabilir.

Bu modeldeki temel varsayım taşınan ikincil fazın toplam kütlesi taşıyıcı akışkandan fazla olsa bile taşınan fazın hacimsel fraksiyonunun taşıyıcı fazdan düşük olduğudur.

$$\dot{m}_{partikül} \geq \dot{m}_{akışkan} \quad \textbf{(2.1)}$$

Partikül veya damlacık yörüngeleri akış alanına göre teker teker hesaplanır. Bu yaklaşım pnömatik transport, sıvı yakıtlı yanma reaksiyonları, partikül yüklü akışlar ve sprey kurutucular için uygun bir iki fazlı akış modelidir. Ancak ikincil fazın hacimsel fraksiyonunun ihmal edilemeyeceği durumlarda (sıvı-sıvı karışımları, akışkan yataklar) bu metod kullanılamaz.

2.2.1.2 Euler-Euler yaklaşımı

Ansys Fluent yaygın olarak kullanılan üç Euler yaklaşımı sunmaktadır. Bunlar sırasıyla VOF, Mixture ve Eulerian iki fazlı akış modelleridir. Eulerian yaklaşımında fazların matematiksel olarak sürekli etkileşim halinde olduğu değerlendirilir. Fazların hacimsel fraksiyonlarının yer ve zamanın sürekli bir fonksiyonu olduğu ve toplamlarının bire eşit olduğu kabülü yapılır. Yapısal olarak birbirine benzeyen korunum denklemleri her bir faz için ayrı ayrı yazılır.

Ampirik bilgi veya granüllü akışlar için kinetik teori yardımıyla denklemler birbiri ile ilişkilendirilir. Euler yaklaşımının zor olan kısmı fazlar için ayrı ayrı ifade edilen korunum denklemlerinin ilişkilendirilmesi ve denklem sistemi için kapatma ifadesinin yazılabilmesidir. Bu kapama denklemleri amprik bağıntılar veya granüllü akışlar için kinetik teori yardımıyla türetilir.

VOF modeli

Sabit bir çözüm ağına uygulanan VOF modeli birbiri ile karışmayan iki veya daha fazla akışkan arasındaki fazlar arası arayüzey pozisyonu, şekli ve oluşumu incelenmek istendiğinde tercih edilir. VOF modelinin ana prensipleri diğer Eulerian modellerine benzerdir fakat nümerik olarak uygulanışı farklılık gösterir. Bu yaklaşımda tüm akışkanlar için sadece bir momentum denklem seti çözülür. Tüm sayısal çözüm ağı içerisinde fazların hacimsel fraksiyonları ayrı ayrı izlenir. Bir gaz-sıvı ara yüzeyinin zamana bağlı olarak incelenmesini içeren katmanlı akış, serbest yüzey akışları, çalkantı akışı, sıvı içinde büyük kabarcıkların hareketi , baraj taşmasında sıvının hareketi , kapalı bir tankta sıvı hareketi, zamandan bağımlı ve

zamandan bağımsız olrak herhangi bir sıvı-gaz arayüzünün izlenmesi gibi farklı endüstriyel alanlardan problemler VOF modeli ile çözülebilir.

Karışım modeli

Karışım (mixture) modeli enerji, momentum süreklilik ve karışımın ortalama hacimsel fraksiyon denklemlerini ikincil faz için çözer ancak VOF modelinden farklı olarak fazların birbiri içerisinde karışmasına izin verir. Eğer fazların hızları aynı ise karışım(mixture) modeli basitçe homojen akış modeline indirgenir. Partikül yüklü akışlar,kabarcıklı akışlar, sedimentasyon ve siklon akışları bu model ile çözülebilir.

Eulerian model

Eulerian model Ansys Fluent'in içerdiği en kompleks iki fazlı akış modelidir ve iki veya daha fazla birbiri ile karışan akışkan için dizayn edilmiştir. Her bir faz için n adet momentum ve süreklilik denklemini çözer. İncelenen akışkanlar sıvı, katı veya gaz formlarının karışımı şeklinde bulunabilir. Lagrangian yaklaşım ikincil fazın hacimsel fraksiyonu<%10 iken iyi sonuç vermesine karşılık Eulerian modelde bununla ilgili bir sınır yoktur. Her bir akışkan için enerji,momentum denklemleri de ayrı ayrı çözülür. Fazlar arası momentum transferi momentum denklemine eklenen fazlar arası momentum transfer terimleri ile bulunur ve eğer fazlar arasında ısı veya kütle transferi varsa aynı şey enerji ve süreklilik denklemleri için de yapılabilir. Fazların hacimsel fraksiyonu yine diğer modellere benzer şekilde tüm çözüm ağı içerisinde izlenir ve fazların hacimsel fraksiyonlarının toplamının 1'e eşit olduğu kabulü yapılır. Her bir faz için ayrı türbülans denklemi kullanılabilir ancak fazların momentum, enerji ve süreklilik denklemleri bağlamında ilişkilendirilmesi başarıyla yapılabilirken aynı şey türbülans denklemleri için söylenemez. Fazlar arasındaki bu türbülans mekanizmasının açıklanması hala araştırmaya açıktır. Eğer birincil faz sıvı veya ikincil faz katı partiküller içeriyorsa taşıyıcı faz içinde katı partiküllerin davranışını incelemek için kinetik teori kullanılır.

2.2.2 Modellerin karşılaştırılması

İlk olarak iki fazlı sistemi en iyi ifade edebilecek olan akış rejimi belirlenir. Bu seçim sonrasında aşağıdaki bilgiler ışığında uygun model seçimi yapılabilir.

- Fazların karışımının ya da dağınık faz hacim oranının %10'u geçtiği kabarcıklı, damlacık ve partikül yüklü akışlarda karışım modeli ya da Eulerian model kullanılır.
- Slug akışlarında VOF modeli kullanılır.
- Katmanlı /serbest yüzey akışlarında VOF model kullanılır.
- Pnömatik transportta homojen akışlarda karışım modeli kullanılır, tanecikli akışlarda ise Eulerian model kullanılır.
- Akışkan yataklarda, granüler akış için Eulerian model kullanılır.
- Slurry akışlarda ve hidrotransportta karışım modeli veya Eulerian model kullanılır.
- Sedimentasyonda Eulerian model kullanılır.
- Genel olarak, çoklu akış rejimi içeren kompleks iki fazlı akışlarda, akışı en iyi tanımlayabilecek akış çeşidi belirlenir ve buna göre de hangi modelin kullanılacağına karar verilir. Sonuçların doğruluğu ise tek akış rejimi içeren akışlar kadar iyi olamayacaktır çünkü kullanılan model sadece modellenilen kısım için geçerli olacaktır.

Bu bölümde belirtildiği gibi kademeli ve serbest yüzey akışlarında VOF modeli, eğer kabarcıklı, damlacıklı ve partikül yüklü akışlarda hacimsel fraksiyon %10'dan az ise Lagrange ayrık faz modeli, fazla ise karışım modeli veya Eulerian model kullanılmalıdır. Eulerian ve karışım modeli arasında tercih yapılmak gerektiğinde aşağıda belirtilenler dikkate alınmalıdır.

- Eğer dağınık fazların geniş bir dağılımı mevcutsa (partiküller boyut açısından farklılık gösteriyor ve en büyük partiküller birincil akış alanından ayrılmıyor ise) karışım modeli tercih edilebilir. Eğer dağınık fazlar akış hacminin parçalarında konsantre durumda ise Eulerian model kullanılmalıdır.
- Eğer fazlar arası sürükleme kanunları sistemde uygulanabilir ise Eulerian model genellikle karışım modeline oranla daha iyi sonuçlar verir. Eğer fazlar arası sürükleme kanunları bilinmiyor ve sisteme uygulanabilirlikleri hala bir soru işareti ise karışım modeli daha iyi bir seçim olabilir.
- Eğer daha az hesaplama eforunu gerektiren daha basit bir problem çözülmek isteniyorsa karışım modeli daha iyi bir seçim olabilir çünkü karışım modeli Eulerian modele göre daha az sayıda denklem

çözmektedir. Eğer sonuçların doğruluğu hesaplama eforundan daha önemli ise Eulerian model daha iyi bir çözüm olabilir. Unutulmaması gereken şudur ki Eulerian modelin daha kompleks olmasına rağmen karışım modelinden hesaplamalı stabilite açısından daha kötü performans gösterebilir.

2.2.2.1 Partikül yüklemesinin etkisi

Partikül yükleme faz etkileşiminde büyük etkiye sahiptir.Partikül yüklemesi ayrık faz (d) kütle yoğunluğunun taşıyıcı faz (c) kütle yoğunluğuna oranı olarak ifade edilir :

$$\beta = \frac{\sigma_d \rho_d}{\sigma_c \rho_c} \tag{2.2}$$

Malzeme yoğunluk oranı :

$$\gamma = \frac{\rho_d}{\rho_c} \tag{2.3}$$

gaz-katı akışlarında 1000'den büyüktür, sıvı-katı akışlarında yaklaşık 1dir,gaz-sıvı akışlarında ise 0.001'den küçüktür.

Bu parametreler kullanılarak partiküler fazdaki partiküllerin birbirine olan mesafesi elde edilebilir. Bu hesaplama yöntemi Crowe tarafından aşağıdaki gibi belirtilmiştir :

$$\frac{L}{d_d} = \left(\frac{\pi}{6} \frac{1+\kappa}{\kappa} \right)^{1/3} \tag{2.4}$$

$$\kappa = \frac{\beta}{\gamma} \tag{2.5}$$

Ayrık fazın nasıl değerlendirileceğini belirlemek için bu parametre bilgilerine dikkat etmek gerekir. Örneğin, partikül yüklemesi 1, partiküller arası boşluk $\left(L / d_d\right)$ yaklaşık 8 olan bir gaz-partikül akışında partikül izole olarak kabul edilebilir (çok düşük partikül yüklemesi).

Partikül yüklemeye bağlı olarak, fazlar arası etkileşim derecesi aşağıda belirtilen üç kategoride incelenebilir.

- Çok düşük yükleme, fazlar arası bağlantı tek yönlüdür (taşıyıcı akışkan partiküllere sürekleme ya da türbülans ile etki edebilir fakat partiküllerin

taşıyıcı akışkana bir etkisi olmaz). Ayrık faz, karışım ve eulerian modellerinin hepsi bu tip problemlerde rahatlıklıkla kullanılabilir. Eulerian model içlerinde en pahalı olan olduğu için, ayrık faz ve karışım modellerinin kullanılması önerilir.

- Orta yükleme, fazlar arasındaki bağlantı iki yönlüdür(taşıyıcı akışkan partiküllere sürükleme ve türbülansla etki ederken partiküller taşıyıcı akışkana ortalama momentum ve türbülansı azaltarak etki ederler. Ayrık faz, karışım ve Eulerian modellerinin hepsi uygulanabilir fakat Stokes sayısı gibi faktörlerin gözönünde bulundurulması gerekir.
- Yüksek yükleme, fazlar arası bağlantı iki yönlüdür buna ek olarak partikül basıncı ve partiküle bağlı olarak viskoz gerilmeler görülür(dört yönlü bağlantı).Bu tür problemlerde sadece Eulerian model kullanılabilir.

2.2.2.2 Stokes sayısının önemi

Orta derecede partikül yüklü sistemlerde Stokes sayısının belirlenmesi uygun modele karar verilmesinde yardımcı olabilir. Stokes sayısı partikül cevap süresi ile sistem cevap süresi arasındaki ilişki olarak tanımlanabilir.

$$St = \frac{\tau_d}{t_s} \tag{2.6}$$

$$\tau_d = \frac{\rho_d d_d^2}{18\mu_c} \tag{2.7}$$

t_s ise sistemin karakteristik uzunluk (L_s) ve karakteristik hızına (V_s) bağlı olarak hesaplanır. $t_s = \frac{L_s}{V_s}$

$St << 1$ olduğunda, partikül akışı yakından izleyecektir ve bu durumda ayrık faz, karışım ve Eulerian modelleri kullanılabilir.Tercih yapılırken en az pahalı olan karışım modeli seçilebilir ya da farklı faktörler gözönünde bulundurularak uygun model seçilir.

$St > 1$ olduğunda, partiküller akıştan bağımsız olarak hareket eder.Ayrık faz modeli ya da Eulerian model kullanılabilir. $St \approx 1$ olduğunda ise her üç model de kullanılabilir.

2.2.3 İki fazlı akışlarda zaman şemaları

Çoğu iki fazlı akış uygulamasında proses konumsal olarak değişebildiği gibi zamansal olarak da değişebilmektedir. İki fazlı akışların doğru olarak modellenebilmesi için yüksek mertebeli uzamsal ve zamansal ayrıklaştırma şemalarına ihtiyaç vardır. Ansys Fluent'deki birinci mertebe zaman şemasına ek olarak , karışım, eulerian ikifazlı akış modellerinde ve VOF kapalı(implicit) şemada ikinci mertebeden zaman şeması kullanılabilmektedir. İkince mertebe zaman şeması VOF açık(explicit) şemada kullanılamamaktadır.

İkinci mertebe zaman şeması bütün transport denklemlerine (karışım fazlı momentum denklemleri, enerji denklemleri, türbülans modelleri, faz hacim oran denklemleri, basınç düzeltme denklemleri ve granüler akış modelleri) uygulanabilir. İki fazlı akışlarda, genel bir transport denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{\partial(\alpha\rho\phi)}{\partial t} + \nabla.(\alpha\rho\vec{V}\phi) = \nabla.\overline{\overline{\tau}} + S_\phi \qquad \textbf{(2.8)}$$

ϕ karışım (karışım model için) ya da faz değişkenidir, α faz hacim oranıdır, ρ karışım faz yoğunluğudur, $\vec{V}$ karışım ya da faz hızıdır, $\overline{\overline{\tau}}$ difüzyon terimidir, S_ϕ ise kaynak terimidir.

Bu ikinci mertebe zaman doğruluğu şeması , tam kapalı (implicit) şema olarak, doğruluğunu Euler zamanda geri gitme yaklaşımı kullanarak sağlar. Genel transport denklemi yukarıdaki denklemin ayrıklaştırılmasıyla elde edilir.

$$\frac{3(\alpha_p\rho_p\phi_p Vol)^{n+1} - 4(\alpha_p\rho_p\phi_p Vol)^n + (\alpha_p\rho_p\phi_p)^{n-1}}{2\Delta t} = \sum[A_{nb}(\phi_{nb} - \phi_p)]^{n+1} + S_U^{n+1} - S_p^{n+1}\phi_p^{n+1} \qquad \textbf{(2.9)}$$

Yukarıdaki denklem basitleştirilerek aşağıda gösterilen denklem elde edilir. Bu denklem iki fazlı akışlarda zaman şeması olarak kullanılır.

$$A_p\phi_p = \sum A_{nb}\phi_{nb} + S_\phi$$

$$A_p = \sum A_{nb}^{n+1} + S_p^{n+1} + \frac{1.5(\alpha_p \rho_p Vol)^{n+1}}{\Delta t} \quad \textbf{(2.10)}$$

$$S_\phi = S_U^{n+1} + \frac{2(\alpha_p \rho_p \phi_p Vol)^n - 0.5(\alpha_p \rho_p \phi_p Vol)^{n-1}}{\Delta t}$$

2.3 VOF Model Teorisi

2.3.1 VOF modele genel bakış ve VOF modelin sınırları

2.3.1.1 Genel bakış

VOF modeli en eski ve en çok uygulama alanına sahip ara yüzey modelleme metotlarından biridir.Ara yüzey simülasyonunun zor olma nedeni ara yüzey geometrisinin zamana bağlı olarak değişmesidir. Bu değişim geometrisi çözümün bir parçasıdır. Diğer metotlar çözüm yapabilmek için arayüzeyin ilk şekline ihtiyaç duyarken VOF modeli aksine bu arayüzeyi çözmeyi amaçlar. VOF formülasyonu akışkanların birbiri içine karışmadığı akış problemlerinde uygulanabilir. VOF modeli iki ya da daha fazla birbirine karışmayan akışkanı momentum denklemlerini çözerek ve hacim içindeki her bir akışkanın hacimsel oranını izleyerek modeller. VOF modelinde tanımlanan her faz için fazın hacimsel fraksiyonu kontrol hacmi içerisinde bir değişken olarak belirtilir.Her bir kontrol hacmindeki bütün fazların hacimsel oranlarının toplamı 1'dir. Her bir fazın akış alanı içindeki her noktadaki hacimsel oranı bilindikçe tüm akış alanındaki bütün değişkenler ve özellikler fazlar tarafından hacimsel fraksiyona göre paylaşılır ve hacim ortalamalı değerler belirtilir. Böylece verilen her hangibir hücredeki değişkenler ve özellikler hacimsel oran değerlerine bağlı olarak ya fazlardan birinin ya da faz karışımının bütünüyle belirticisidir. Başka bir deyişle, eğer hücre içindeki q^{th} akışkanın hacim oranı α_q ile belirtilirse, aşağıdaki üç durum olağandır.

- $\alpha_q = 0$: Hücre boştur (q^{th} akışkanına göre)
- $\alpha_q = 1$: Hücre doludur (q^{th} akışkanına göre)
- $0 < \alpha_q < 1$: Hücre q^{th} akışkanı ve bir ya da daha fazla akışkan arasında arayüz içerir.

α_q'nın yerel değeri baz alınarak, uygun özellikler ve değişkenler kontrol hacmindeki herbir bölgeye atanır.

En çok kullanıldığı uygulamalar; 'prediction of jet break up', sıvı içindeki baloncukların hareketi, baraj taşması sonucu sıvı hareketi 'dam break' ve zamandan bağımsız ya da zamana bağımlı olarak sıvı-gaz arayüzü hareketidir.

2.3.1.2 Limitler

VOF modelinde aşağıdaki kısıtlamalar uygulanır.

- Basınç Tabanlı (pressure-based) çözücü kullanılmak zorundadır. Yoğunluk tabanlı (density-based) çözücü kullanılamaz.
- Bütün kontrol hacimleri ya tek akışkan fazıyla ya da bir faz kombinasyonuyla doldurulmalıdır. VOF modeli akışkan özellikleri belirtilmeyip bölgelerin boş bırakılmasına izin vermez.
- Yalnızca fazlardan biri sıkıştırılabilir ideal gaz olarak tanımlanabilir. UDF kullanılarak sıkıştırılabilir sıvı kullanılmasının ise limiti yoktur.
- VOF model kullanıldığında 'streamwise periyodic akış ' modellenemez.
- İkinci mertebe kapalı (implicit) zamanda ileri gitme formülasyonu VOF açık(explicit) şema ile birlikte kullanılamaz.

2.3.1.3 Zamandan bağımsız ve zamana bağlı vof hesaplamaları

VOF formülasyonu genellikle zamana bağlı bir çözümün hesaplanması için kullanılır. Eğer problemin sadece zamandan bağımsız çözümüyle ilgileniyorsa zamandan bağımsız şekilde çözüm yapılması da mümkündür. Zamandan bağımsız VOF hesabı sadece çözümün bağlangıç şartlarından bağımsız olduğu ve her bir fazın belirgin giriş akışı sınırları olduğunda mantıklıdır. Örneğin dönen bir kupanın içindeki serbest yüzeyin şekli başlangıçtaki sıvı seviyesine bağlıdır, bu çeşit bir problem zamana bağlı formülasyon kullanılarak çözülmelidir. Öbür tarafta, kanal içinde suyun yukarısındaki hava rejimiyle birlikte akışı zamandan bağımsız formülasyon kullanılarak çözülebilir.

2.3.2 Hacimsel oran denklemi

Fazlar arasındaki arayüzlerin izlenmesi bir ya da daha fazla fazın hacimsel oranının süreklilik denkleminin çözülmesi ile sağlanır. q^{th} fazı için denklem aşağıdaki gibidir:

$$\frac{1}{\rho_q}\left[\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_q\rho_q)+\nabla.(\alpha_q\rho_q\vec{v_q})=S_{\alpha_q}+\sum_{p=1}^{n}(\dot{m}_{pq}-\dot{m}_{qp})\right] \quad \textbf{(2.11)}$$

$\dot{m}_{qp}$ q fazından p fazına , $\dot{m}_{pq}$ ise p fazından q fazına olan kütle transferini belirtir.Denklemin sağ tarafındaki kaynak terimi S_{α_q} ise başlangıçta 0 olarak atanmıştır fakat istenirse her bir faz için sabit ya da kullanıcının tanımladığı bir kütle kaynağı tanımlanır.

Hacim oranı denklemi birincil faz için çözülmeyecektir ; birincil faz hacim oranı aşağıdaki bağıntı baz alınarak çözülür.

$$\sum_{q=1}^{n}\alpha_q=1 \quad \textbf{(2.12)}$$

Hacim oranı denklemi kapalı (implicit) ya da açık (explicit) zaman ayrıklaştırması kullanılarak çözülür.

2.3.2.1 Kapalı (implicit) şema

Zaman ayrıklaştırması için kapalı (implicit) şema, ANSYS FLUENT'in standart sonlu-fark interpolasyon şemaları, QUICK, Second Order Upwind, First Order Upwind ve Modified HRIC şemaları arayüze yakın olanlar dahil olmak üzere bütün hücreler için yüzey akılarının elde edilmesi için kullanılır.

$$\frac{\alpha_q^{n+1}\rho_q^{n+1}-\alpha_q^{n}\rho_q^{n}}{\Delta t}V+\sum_f(\rho_q^{n+1}U_f^{n+1}\alpha_{q,f}^{n+1})=\left[S_{\alpha_q}+\sum_{p=1}^{n}(\dot{m}_{pq}-\dot{m}_{qp})\right]V \quad \textbf{(2.13)}$$

Denklemin şimdiki zaman adımındaki hacim oran değerlerini gerektirmesi nedeniyle her bir zaman adımında her bir ikincil faz hacim oranı için bir standart skaler transport denklemi tekrarlanarak (iteratively) çözülür.

Kapalı (implicit) şema hem zamana bağımlı hem de zamandan bağımsız olan hesaplamalar için kullanılabilir.

2.3.2.2 Açık (explicit) şema

Açık (explicit) yaklaşımda, bir önceki zaman adımında hesaplanmış olan hacim oran değerlerine ANSYS FLUENT'in standart sonlu farklar interpolasyon şeması uygulanır.

$$\frac{\alpha_q^{n+1}\rho_q^{n+1}-\alpha_q^{n}\rho_q^{n}}{\Delta t}V+\sum_f(\rho_q U_f^{n}\alpha_{q,f}^{n})=\left[\sum_{p=1}^{n}(\dot{m}_{pq}-\dot{m}_{qp})+S_{\alpha_q}\right]V \qquad \textbf{(2.14)}$$

$n+1$ = Şu anki(current) zaman adımı indeksi

n = Bir önceki zaman adımı indeksi

$\alpha_{q,f}$ = q^{th} hacim oranının yüzey değeri, first-order upwind, second-order upwind, QUICK, modified HRIC, ya da CICSAM şemaları kullanılarak hesaplanır.

V = Hücre hacmi

U_f = Yüzeye doğru olan hacim akısı, normal hız baz alınarak

Bu formülasyon kapalı (implicit) şemada gerekli olduğu gibi transport denkleminin her bir zaman adımında tekrarlı (iterative) çözümünü gerektirmez.

Açık (explicit) şema kullanıldığında zamana bağlı bir çözüm hesaplanmak zorundadır.

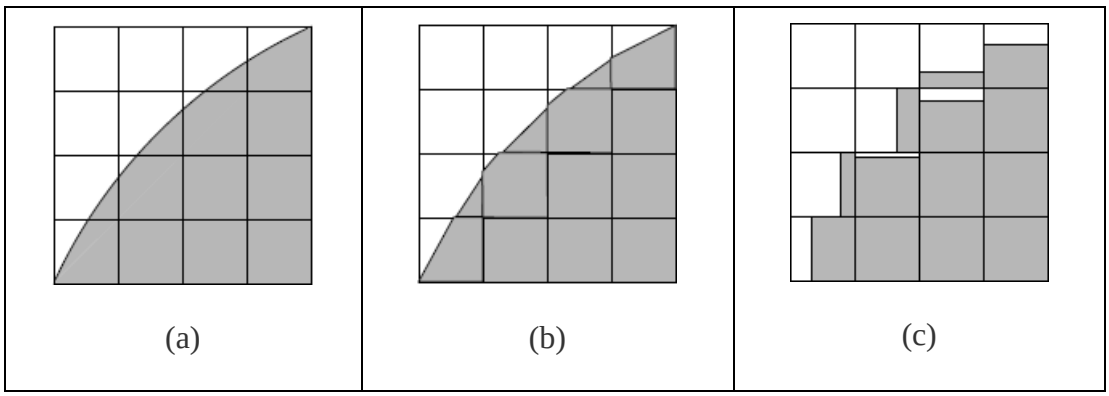
Zaman ayrıklaştırması için açık (explicit) şema kullanıldığında , yüzey akıları arayüz yeniden yapılandırma (reconstruction) ya da sonlu hacim ayrıklaştırma şemaları kullanılarak interpolasyonla elde edilir.

Ansys Fluent'de kullanılabilir olan yeniden yapılandırma tabanlı şemalar Geo-Reconstruct ve Donor-Acceptor'dur. VOF modelde açık (explicit) şemayla kullanılabilen şemalar First Order Upwind, Second Order Upwind, CICSAM, Modified HRIC ve QUICK tir.

2.3.2.3 Arayüz yakınında interpolasyon

ANSYS FLUENT'in kontrol hacmi formülasyonu kontrol hacmi yüzeylerine doğru olan konveksiyon ve diffüzyon akılarının hesaplanmasını ve kontrol hacmi içindeki kaynak terimlerinin dengelenmesini gerektirir.

Geometric reconstruction ve donor-acceptor şemalarında, iki faz arasındaki arayüz yakınındaki hücrelere özel bir interpolasyon iyileştirmesi uygulanır.



Şekil 2.4: Gerçek arayüz şekli (a), Geometri yeniden yapılandırma şemasına göre arayüz şekli(b), Donor-acceptor şemasına göre arayüz şekli(c) [12].

2.3.3 Fiziksel özellikler

Transport denkleminde görülen özellikler her bir kontrol hacmindeki bileşen fazlarının mevcudiyetiyle tanımlanır. İki fazlı bir sistemde,örneğin, fazlar 1 ve 2 alt indisleriyle gösterilirse ve eğer bunlardan ikincisinin hacim oranı izleniyorsa, her bir hücredeki yoğunluk ağaşıdaki denklemle elde edilir

$$\rho = \alpha_2 \rho_2 + (1-\alpha_2)\rho_1 \qquad \textbf{(2.15)}$$

2.15 denklemi şunu ifade eder; bir hücrenin yoğunluğu ya fazlardan birinin ya da diğerinin yoğunluğuna eşittir. Eğer hücre fazlar arası arayüzeyde ise yoğunluk fazların dağılımına göre tespit edilir.

Genel olarak, n fazlı bir sistem için düşündüğümüzde , hacim oranı ortalamalı yoğunluk aşağıdaki formda yazılır.

$$\rho = \sum \alpha_q \rho_q \qquad \textbf{(2.16)}$$

Diğer özellikler de (viskozite vb) bu şekilde hesaplanır.

2.3.4 Momentum denklem

Hesaplama alanı boyunca tek bir momentum denklemi çözülür mütevellit hız alanı ise fazlar arasında paylaşılır. Aşağıda gösterilen momentum denklemi ρ ve μ özellikleri bakımından bütün fazların hacim oranlarına bağlıdır.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\vec{v}) + \nabla.(\rho\vec{v}\vec{v}) = -\nabla p + \nabla.[\mu(\nabla\vec{v} + \nabla\vec{v}^{T})] + \rho\vec{g} + \vec{F} \qquad \textbf{(2.17)}$$

Paylaşılmış alanlar yaklaşımının tek bir limitleyicisi vardır bu da fazlar arasında büyük hız farkları bulunduğu durumlarda arayüz yakınlarında hesaplanan hızın doğruluğunun olumsuz yönde etkilenmesidir.

Eğer viskozite oranı $1x10^{3}$ değerinden büyükse bu durum yakınsama zorluklarına neden olabilir.

2.3.5 Enerji denklemi

Fazlar arasında paylaşılan enerji denklemi aşağıda gösterilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla.(\vec{v}(\rho E + p)) = \nabla.(k_{eff}\nabla T) + S_h \qquad \textbf{(2.18)}$$

VOF modelde enerji E, sıcaklık T olarak gösterilmiştir, kütleye göre ortalaması alınmış değişkenlerdir.

$$E = \frac{\sum_{q=1}^{n}\alpha_q\rho_q E_q}{\sum_{q=1}^{n}\alpha_q\rho_q} \qquad \textbf{(2.19)}$$

Her bir faz için E_q o fazın özgül ısısına ve paylaşılmış sıcaklığına bağlıdır. ρ ve k_{eff} (efektif termal iletkenlik) özellikleri fazlar tarafından paylaşılır. Kaynak terim, S_h diğer hacimsel ısı kaynaklarına ilaveten radyasyon katkısını da içerir.

Hız alanında olduğu gibi, arayüz yakınındaki sıcaklık değerlerinin doğruluğu fazlar arasında büyük sıcaklık değişimleri olması durumunda limitlenmiştir. Bu tip problemler özelliklerin birkaç mertebe değiştiği durumlarda da ortaya çıkar. Örneğin,

bir örnek sıvı metal ve hava kombinasyonu içeriyorsa malzemelerin iletim katsayıları arasında dört mertebe fark vardır. Malzeme özelliklerindeki böyle büyük farklılıklar yakınsamanın limitlenmesine neden olur.

3. YANGIN MONİTÖRÜ

3.1 Yangın Monitörünün Tanımı ve Kullanımı

Yangın monitörü suyun ya da köpüğün, istenilen debi ve akış özelliklerinde yangın mahaline ulaşmasını sağlayan harici yangın söndürme sistemi elemanıdır.

Harici yangın söndürme sistemleri deniz araçlarına tam entegre olarak çalışan bir sistemdir. Güç kaynağı genellikle ana makinadır. Yangın söndürme operasyonları sırasında hem manevra hem de sabit konumda kalmak için gerekli enerji buradan sağlanır. Bazı sistemlerde ise güç kaynağı olarak ana makinadan bağımsız çalışan dizel motorlar kullanılır. Sistemin ana elemanları, yangın monitörü, pompa, kavrama ve dişli kutusudur. Güç pompalara uzaktan kumandalı kavrama sistemi ve gerekli aktarma elemanları ile iletilir. Şekil 3.1'de harici yangın söndürme sisteminin elemanları görülmektedir.



Şekil 3.1: Harici yangın söndürme sistemlerinde yangın monitörün kullanımı [13].

Pompalar normalde en iyi performansın sağlanması için emme hattı dizaynıyla su hattının altında makine dairesi içerisine yerleştirilirler. Pompalar suyu basma hattına iletir, basma hattından sonra su boru sistemiyle geminin en üst kısmında bulunan yangın monitörlerine iletilir.

Özel dizayn edilmiş su topu nozuluyla suyun çıkış hızı optimum değere ayarlanır ve jet akışı elde edilir.

Yangın monitörlerinin genellikle üç akış şeklini sağlanması gerekir:

- Maksimum debide jet akışı
- Maksimum debide su şemsiyesi (fog) akışı
- Kısık debide jet akışı (köpük uygulamalarında kısık debi istenir)

Şekil 3.2'de harici yangın söndürme sisteminin operasyon sırasında çekilmiş bir fotografı görülmektedir. Bu sistemlerde yangın monitörleri dışında deniz araçlarının yangın sırasında korunmasını sağlamak için su sprey sistemi bulunmaktadır. Su sprey sisteminde deniz aracının bütün yüzeylerini koruyacak şekilde nozullar yerleştirilmiştir.



Şekil 3.2: Harici yangın söndürme sisteminin çalışması hali.

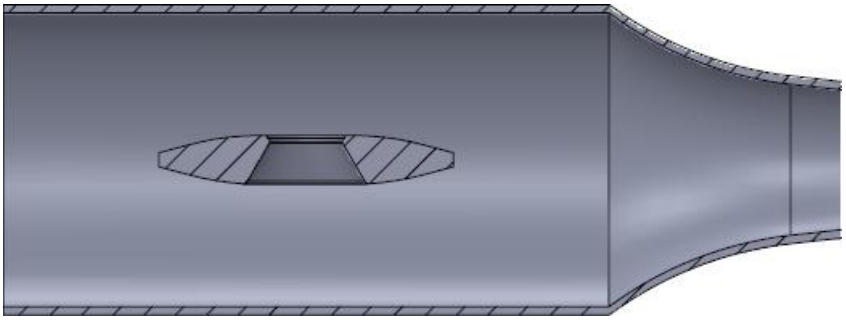
Su topu nozulunda meydana gelen tepki kuvvelerinin geminin konumunu değiştirmemesi için dengelenmesi gerekir. Bu tepki kuvveti deniz aracının stabilitesini bozarken aynı zamanda hem su topunun hem de su topunun sabitleme sisteminin mukavemetini olumsuz yönde etkilemektedir.

3.2 Yangın Monitörlerinde Akış Çeşitleri

Yangın monitöründe kullanılan nozullar ve akış çeşitlerini sağlamak için kullanılan yöntemler farklılık gösterir. Bu çalışmada ele alınan tasarımda üç akış çeşidi üzerine çalışılmıştır. Bunlar : maksimum debide jet akışı, maksimum debide su şemsiyesi (fog) akışı ve kısık debide jet akışıdır.

3.2.1 Jet akışı

Şekil 3.3'te görüldüğü gibi jet akışı, hem fog hem de kısık debi akışını sağlamak için kullanılan modifiye edilmiş bir kelebek vananın tam açık pozisyonda çalıştırılmasıyla elde edilir. Jet akışında istenilen özellikler nozulun oluşturduğu tepki kuvvetinin azaltılması ve istenilen atma mesafesinin sağlanabilmesi için gerekli nozul çıkış hızına ulaşılabilmesidir.

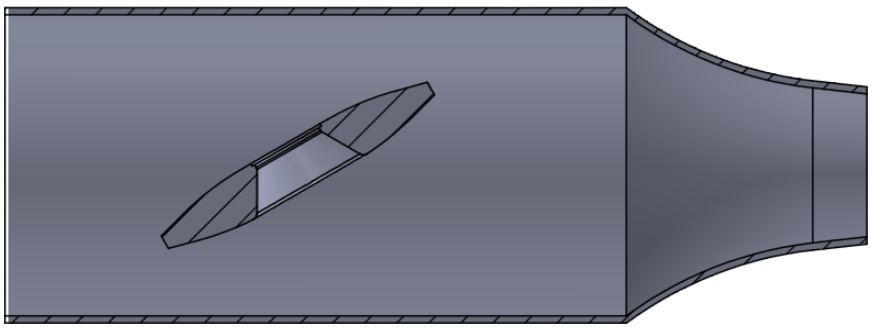


Şekil 3.3: Jet akışı.

3.2.2 Su şemsiyesi (fog) akışı

3.2.2.1 Kelebek vananın açılı kullanılması ile elde edilen su şemsiyesi akışı

Şekil 3.4'te de gösterildiği gibi su şemsiyesi akışı modifiye edilmiş kelebek vana klapesinin farklı açılarda sabitlenerek çalıştırılması ile elde edilir.

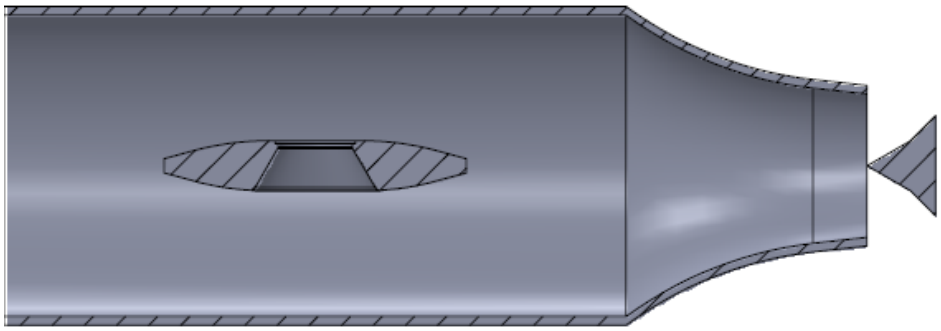


Şekil 3.4: Kelebek vananın açılı tutulmasıyla su şemsiyesi akışı.

Buradaki amaç limitler dahilinde suyun yayılımını sağlamaktır.

3.2.2.2 Çelici kullanılarak elde edilen su şemsiyesi akışı

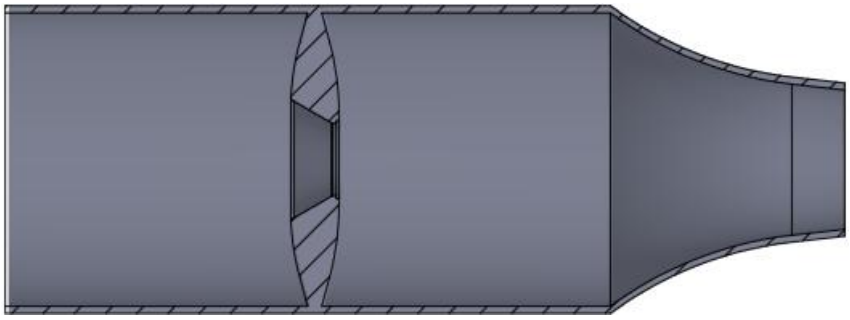
Bölüm 3.2.2.1'e alternatif olarak nozul çıkışına çelici konmasıyla su şemsiyesi akışı elde edilir. Şekil 3.5'te gösterilen sistemin kullanılmasındaki amaç da limitler dahilinde suyun yayılımını sağlamaktır.



Şekil 3.5: Çelici kullanılarak su şemsiyesi akışı.

3.2.3 Kısık debili jet akışı

Kısık debi modifiye edilmiş kelebek vana klapesinin tam kapalı konumda çalıştırılmasıyla elde edilir. Şekil 3.6'da sistemin kısık debide çalışma hali görülmektedir.



Şekil 3.6: Kısık debili akış.

4. JET AKIŞI

Jet akışı 3.2.1'de belirtildiği gibi kelebek vana klapesinin tam açık pozisyonda çalıştırılması ile elde edilir. Jet akışını etkileyen iki parametre bulunmaktadır. Bunlardan ilki nozul geometrisinin jet akışına etkisidir. Bu başlık altında ilk olarak farklı nozul geometrilerindeki debi-basınç, kuvvet-basınç ilişkisi konusu çalışılmıştır. Tek fazlı olarak yapılan hesaplamalar iki fazlı olarak da çözülüp karşılaştırılmıştır. İki fazlı akışta VOF metodu kullanılarak nozul çıkışından belirli bir uzaklıktaki hız profilleri her bir nozul geometrisi için iki boyutlu ve üç boyutlu olarak hesaplanmış ve karşılaştırmaları yapılmıştır.

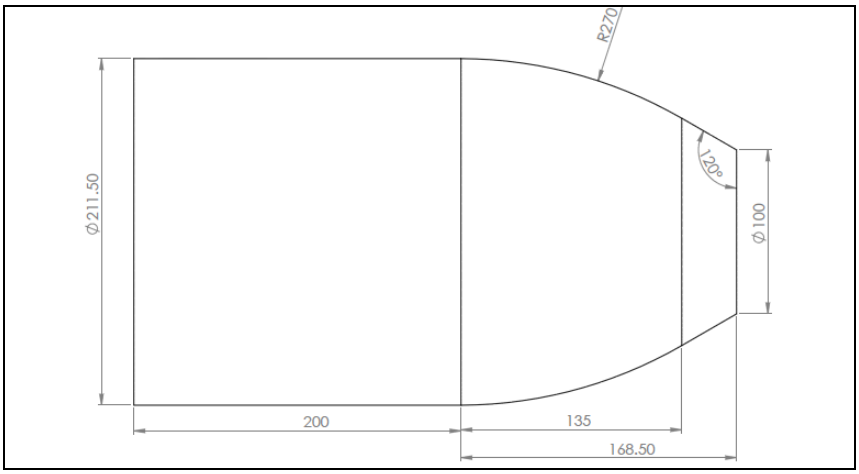
İkinci bölümde yine VOF metodu kullanılarak gerçek sistemde kullanılan kelebek vananın jet akışına etkisi incelenmiştir. VOF metodu 4. bölümde iki fazlı akışlar konusu içerisinde ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

4.1 Nozul Geometrisinin Jet Akışına Etkisi

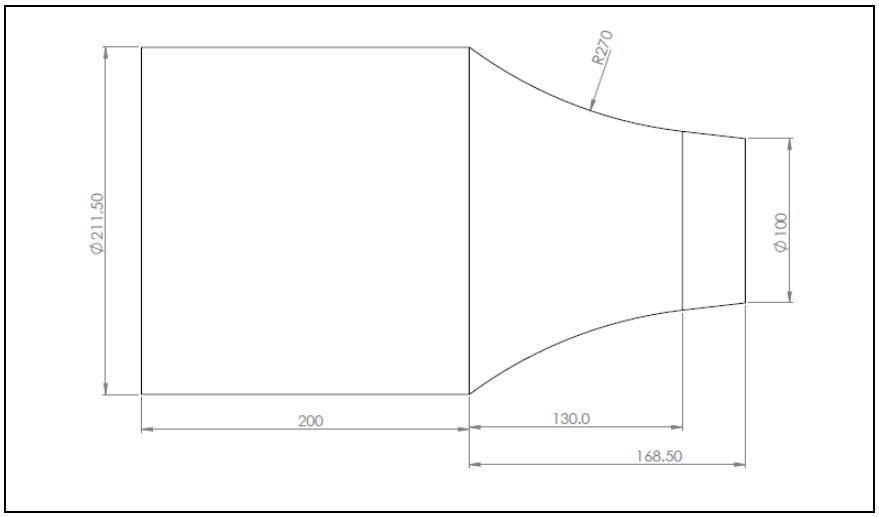
Jet akışında kullanılan nozuldan aynı basınçda daha çok debi geçirip daha az kuvvet oluşturması beklenir. Bu nedenle düşük basınç kaybı oluşturan bir nozul modelinin belirlenmesi gerekir. Aynı zamanda nozul geometrisinin jet çıkış hız profillerine etkisi belirlenmelidir.

4.1.1 Nozul geometrilerinin belirlenmesi

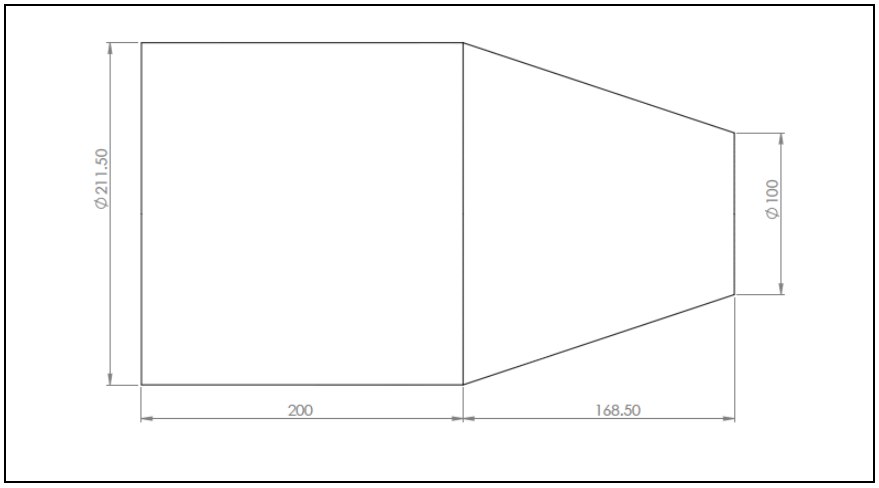
Jet akışı sırasında istenen atış mesafesine ulaşılabilmesi için yangın monitorünün su çıkış kısmında çıkış hızını ayarlamak için nozul kullanılır. Nozul dizaynında dikkat edilmesi gereken husus nozulun oluşturduğu tepki kuvvetlerinin en aza indirilmesidir. Çalışmalar üç nozul geometrisi üzerinde yapılmıştır. Nozul modelleri pelton nozulu, ters pelton nozulu ve konik nozul olarak adlandırılmıştır. Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te incelenen nozulların ölüçülendirilmiş resimleri görülmektedir.



Şekil 4.1: Pelton nozulunun boyutları.



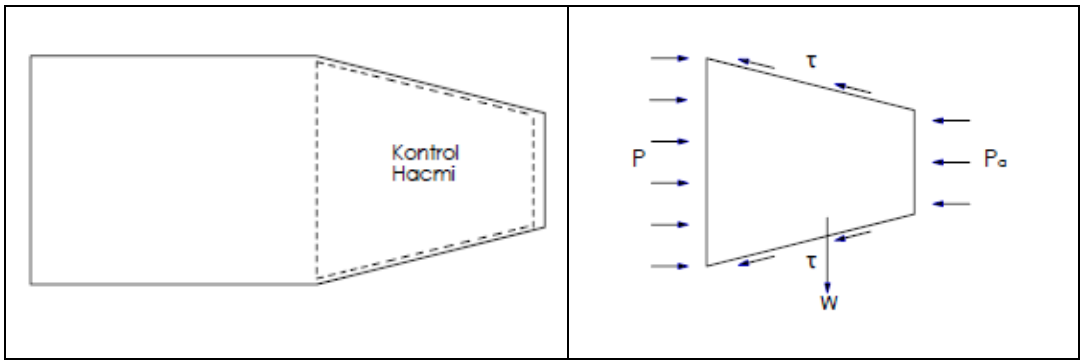
Şekil 4.2: Ters pelton nozulunun boyutları.



Şekil 4.3: Konik nozulun boyutları.

4.1.2 Bir boyutlu tepki kuvveti hesabı

Şekil 4.4'te hesaplamanın yapılacağı kontrol hacmi görülmektedir.



Şekil 4.4: Tepki kuvveti hesabı için kontrol hacmi.

τ yüzey gerilmeleri ihmal edilirse kuvvet denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$-\vec{R}+\vec{P}A_1+\vec{P_a}A_2+\vec{W}=\rho Q(\vec{V_2}-\vec{V_1}) \qquad \textbf{(4.1)}$$

g yerçekimi ihmal edilir ve yerel basınçlar üzerinden işlemler yapıldığı için $\vec{P_a}=0$ alınırsa, x yönünde kuvvet denklemi:

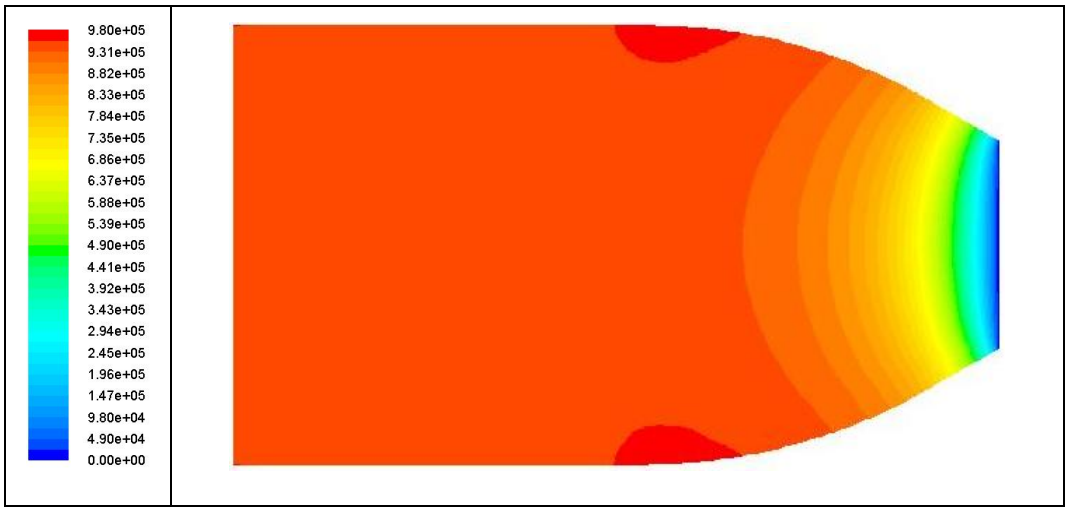
$$-\vec{R_X}+\vec{P}A_1=\rho Q(\vec{V_2}-\vec{V_1})$$
$$\vec{R_X}=\vec{P}A_1-\rho Q(\vec{V_2}-\vec{V_1}) \qquad \textbf{(4.2)}$$

olarak bulunur.

Bir boyutlu tepki kuvveti denklemiyle nozul geometrisinin etkisi hesaplanamayacağı için çözümlerin Ansys Fluent programında üç boyutlu olarak yapılmasına karar verilmiştir.

4.1.3 Tepki kuvveti ve debi-basınç ilişkisinin Ansys Fluent ile hesabı

Bu bölümdeki hesaplamalar tek fazlı olarak zamandan bağımsız olarak yapılmıştır. Kullanılan akışkanın (su) sıkıştırılamaz olduğu kabülü yapılmıştır. Farklı türbülans modelleri denenmiş $k-\omega$ SST modelinin kullanılmasına karar verilmiştir. Yapılan analizler farklı sayıda hacimsel eleman için ayrı ayrı denenmiş ve sonunda grid sayısından bağımsız çözüm elde edilmiştir. Şekil 4.5'te pelton olarak adlandırılmış nozulun 10 bar giriş basıncında nozuldaki statik basınç dağılımı görülmektedir.



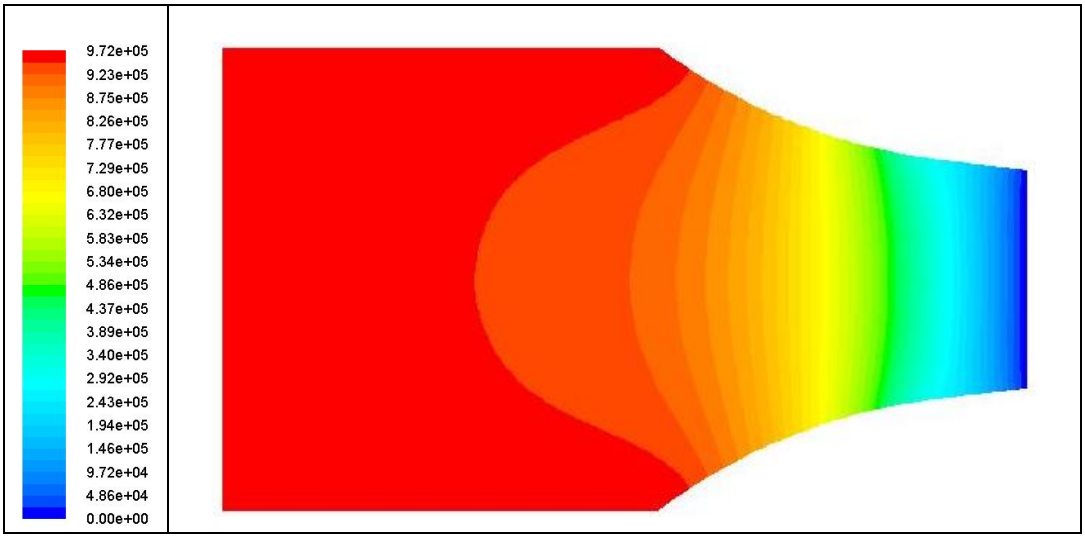
Şekil 4.5: P=10 bar için pelton nozulundaki statik basınç dağılımı.

Her bir nozul geometrisi için analizler farklı basınç değerlerinde yapılmıştır. Çizelge 4.1'de pelton nozulu için basınç-debi ve basınç-kuvvet ilişkisi görülmektedir.

Çizelge 4.1: Pelton nozulunda farklı basınçlarda elde edilen debiler ve oluşan tepki kuvvetleri.

Geometri	Pelton				
Basınç	8bar	9bar	10bar	11bar	12 bar
Debi (kg/s)	300.50	318.74	336.00	352.41	368.09
Kuvvet (N)	17956.87	20201.03	22445.09	24689.03	26932.96

Şekil 4.6'te ters pelton olarak adlandırılmış nozulun 10 bar giriş basıncında nozuldaki statik basınç dağılımı görülmektedir.



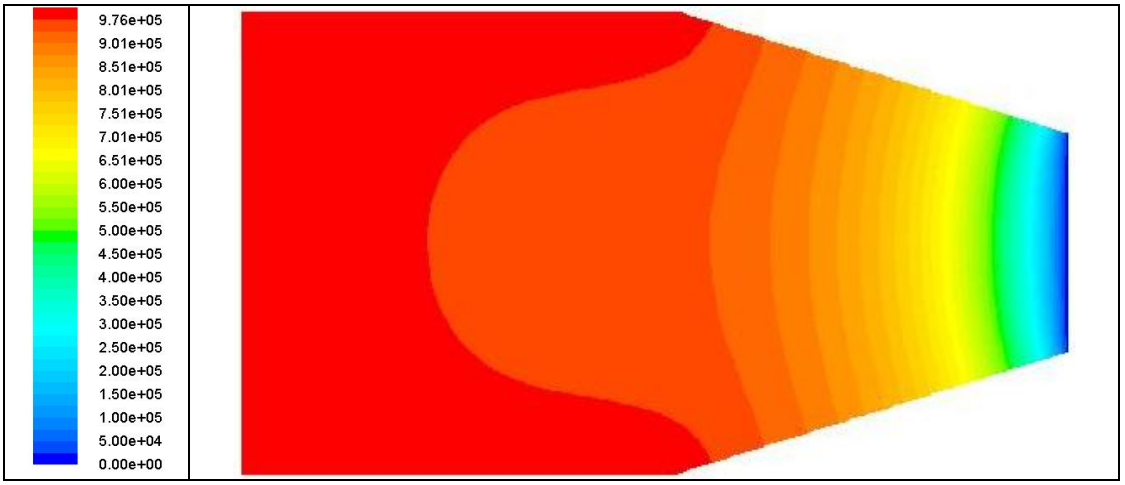
Şekil 4.6: P=10 bar için ters pelton nozulundaki statik basınç dağılımı.

Çizelge 4.2'de ters pelton nozulu için debi-basınç ve basınç-kuvvet ilişkisi görülmektedir.

Çizelge 4.2: Ters pelton nozulunda farklı basınçlarda elde edilen debiler ve nozulda oluşan tepki kuvveti.

Geometri	Ters Pelton				
Basınç	8bar	9bar	10bar	11bar	12 bar
Debi (kg/s)	311.53	330.47	348.39	365.43	381.71
Kuvvet (N)	17113.54	19249.82	21385.98	23522.07	25658.10

Şekil 4.7'te konik olarak adlandırılmış nozulun 10 bar giriş basıncında nozuldaki statik basınç dağılımı görülmektedir.



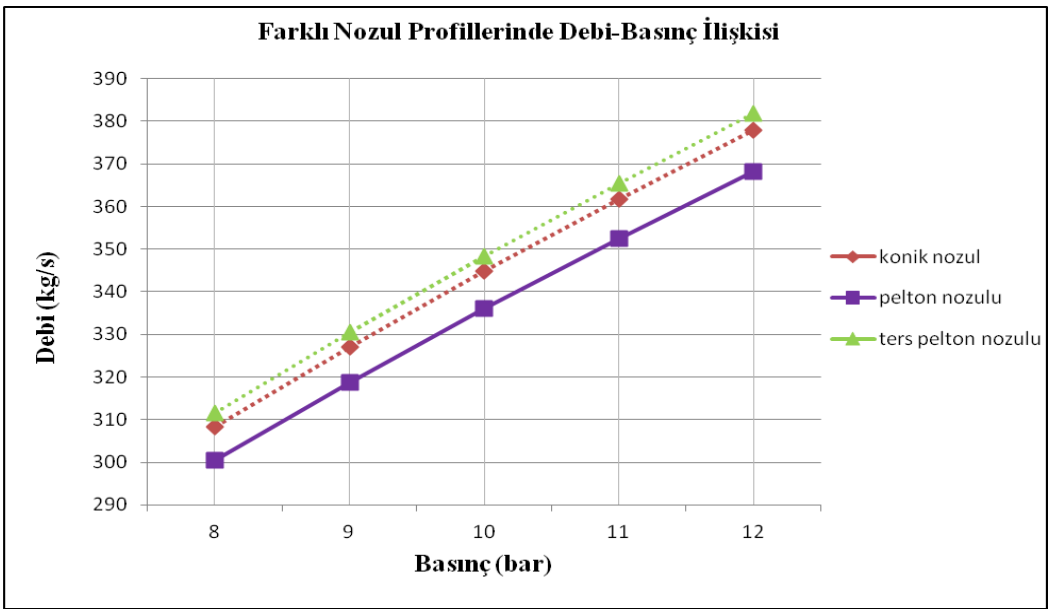
Şekil 4.7: P=10 bar için konik nozuldaki statik basınç dağılımı.

Çizelge 4.3'te konik nozul için basınç-debi ve basınç-kuvvet ilişkisi görülmektedir.

Çizelge 4.3: Konik nozulda farklı basınçlarda elde edilen debiler ve nozulda oluşan tepki kuvveti.

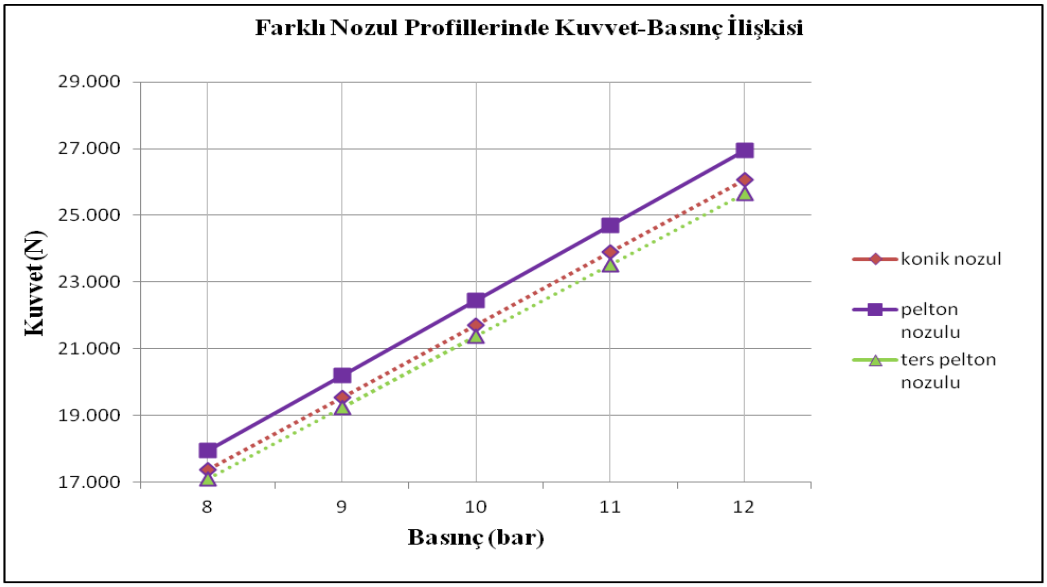
Geometri	Konik				
Basınç	8bar	9bar	10bar	11bar	12 bar
Debi (kg/s)	308.41	327.14	344.87	361.73	377.84
Kuvvet (N)	17379.26	19549.86	21720.44	23890.71	26060.84

Şekil 4.8'den de rahatlıkla anlaşılabileceği gibi analiz sonuçları göstermiştir ki: aynı basınç değerinde en çok debiyi geçiren nozul ters pelton nozuludur.



Şekil 4.8: Farklı basınç değerleri için nozul geometrisinin debiyle olan ilişkisi.

Şekil 4.9'da ise nozul geometrileri basınç ve oluşan kuvvet açısından karşılaştırılmıştır. Burada ise ters pelton nozlunun aynı basınç değerinde daha az tepki kuvveti oluşturduğu görülmektedir.



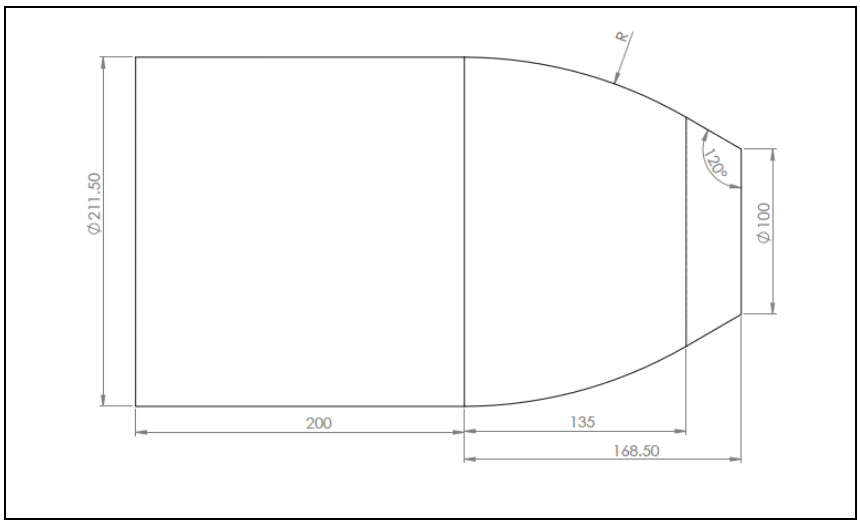
Şekil 4.9 : Farklı basınç değerleri için nozul geometrisinin kuvvetle olan ilişkisi.

4.1.4 Nozul geometrisi üzerine optimizasyon çalışmaları

Analiz sonuçlarına göre ters pelton nozulunun aynı basıç değerlerinde diğer nozullara göre daha çok debi geçirip daha az tepki kuvveti oluşturduğu görülmektedir. Bu bölümde ise pelton ve ters pelton nozulu üzerine optimizasyon çalışmaları yapılacaktır.

4.1.4.1 Pelton nozulu geometrisi üzerine optimizasyon çalışmaları

Şekil 4.10'da pelton nozulu geometrisi görülmektedir. Yapılan analizlerde R radüs değeri 270mm alınarak hesaplama yapılmıştır. Bu bölümde bu radüs değerinin değişiminin nozul performansına etkisi konusu çalışılacaktır.



Şekil 4.10: Pelton nozulunda R radüsü.

Çizelge 4.4'te R radüs değerinin 170mm alınmasıyla elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Çizelge 4.4: R radüs değerinin 170mm alınmasıyla farklı basınç değerleri için elde edilen debi ve kuvvet değerleri.

Geometri	Pelton (R=170)				
Basınç	8bar	9bar	10bar	11bar	12 bar
Debi (kg/s)	300.50	318.74	336.00	352.40	368.08
Kuvvet (N)	17956.55	20200.44	22444.15	24687.95	26931.55

Çizelge 4.5'te R radüs değerinin 270mm alınmasıyla elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Çizelge 4.5: R radüs değerinin 270mm alınmasıyla farklı basınç değerleri için elde edilen debi ve kuvvet değerleri.

Geometri	Pelton (R=270)				
Basınç	8bar	9bar	10bar	11bar	12 bar
Debi (kg/s)	300.50	318.74	336.00	352.41	368.09
Kuvvet (N)	17956.87	20201.03	22445.09	24689.03	26932.96

Çizelge 4.6'da R radüs değerinin 370mm alınmasıyla elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Çizelge 4.6: R radüs değerinin 370mm alınmasıyla farklı basınç değerleri için elde edilen debi ve kuvvet değerleri.

Geometri	Pelton (R=370)				
Basınç	8bar	9bar	10bar	11bar	12 bar
Debi (kg/s)	300.65	318.90	336.17	352.59	368.29
Kuvvet (N)	17947.33	20189.85	22432.19	24674.41	26916.61

Çizelge 4.7'da R radüs değerinin 470mm alınmasıyla elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Çizelge 4.7: R radüs değerinin 470mm alınmasıyla farklı basınç değerleri için elde edilen debi ve kuvvet değerleri.

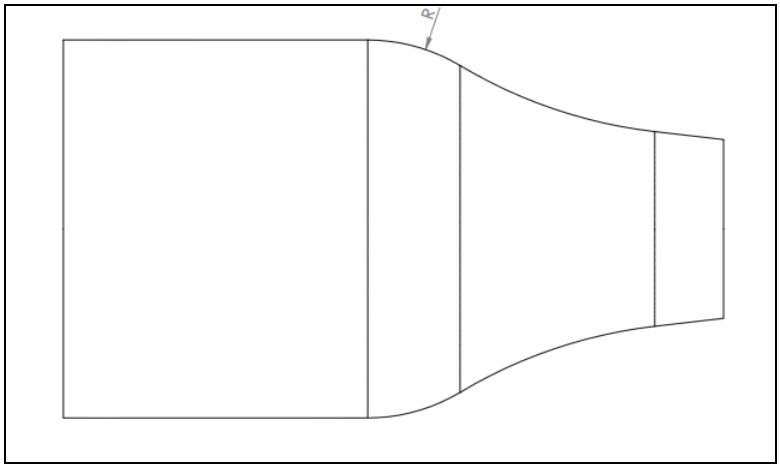
Geometri	Pelton (R=470)				
Basınç	8bar	9bar	10bar	11bar	12 bar
Debi (kg/s)	300.95	319.22	336.50	352.93	368.64
Kuvvet (N)	17936.71	20177.96	22419.17	24660.38	26901.56

Çizelgelerden görüleceği gibi R radüs değerinin belirlenen aralıktaki değişiminin nozul performansına etkisi yok denilecek miktardadır.

4.1.4.2 Ters pelton nozulu geometrisi üzerine optimizasyon çalışmaları

Şekil 4.11'de ters pelton nozulu geometrisi görülmektedir. Orjinal ters pelton nozulundaki sert geçişin yumuşatılması için bu kısıma radüs verilmiştir. Bu bölümde

R radüs değerinin değişiminin nozul performansına etkisi konusu çalışılacaktır. konusu çalışılacaktır.



Şekil 4.11: Test pelton nozulunda R radüsü.

Çizelge 4.8'de R radüs değerinin 100mm alınmasıyla elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Çizelge 4.8: R radüs değerinin 100mm alınmasıyla farklı basınç değerleri için elde edilen debi ve kuvvet değerleri.

Geometri	Ters pelton (R=100)				
Basınç	8bar	9bar	10bar	11bar	12 bar
Debi (kg/s)	311.40	330.34	348.26	365.30	381.58
Kuvvet (N)	17119.06	19255.73	21392.01	23528.15	25664.29

Çizelge 4.9'de R radüs değerinin 200mm alınmasıyla elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Çizelge 4.9 : R radüs değerinin 200mm alınmasıyla farklı basınç değerleri için elde edilen debi ve kuvvet değerleri.

Geometri	Ters pelton (R=200)				
Basınç	8bar	9bar	10bar	11bar	12 bar
Debi (kg/s)	311.45	330.34	348.32	365.36	381.65
Kuvvet (N)	17117.69	19254.10	21390.17	23526.13	25662.07

Çizelge 4.10'da R radüs değerinin 300mm alınmasıyla elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Çizelge 4.10: R radüs değerinin 200mm alınmasıyla farklı basınç değerleri için elde edilen debi ve kuvvet değerleri.

Geometri	Ters pelton (R=300)				
Basınç	8bar	9bar	10bar	11bar	12 bar
Debi (kg/s)	311.39	330.34	348.25	365.29	381.58
Kuvvet (N)	17119.54	19256.14	21392.56	23528.54	25664.80

Çizelgelerden görüleceği gibi R radüs değerinin belirlenen aralıktaki değişiminin nozul performansına etkisi yok denilecek miktardadır.

4.1.5 Tepki kuvveti ve debi-basınç ilişkisinin VOF metodu ile çözümü

Tek fazlı olarak yapılan hesaplamalar iki fazlı VOF metodu kullanılarak da yapılmıştır. Çizelge 4.11'de tek fazlı analiz sonuçları görülmektedir.

Çizelge 4.11: Farklı nozul geometrilerinde 9 bar giriş basıncında tek fazlı çözüm ile elde edilen debi ve kuvvet değerleri.

Basınç	9 bar		
Faz	Tek fazlı		
Geometri	Pelton	Ters pelton	Konik
Debi (kg/s)	318.74	330.47	327.14
Kuvvet (N)	20201.03	19249.82	19549.86

Çizelge 4.12'de iki fazlı analiz sonuçları görülmektedir. İki fazlı analiz metodu olarak VOF metodu kullanılmıştır. İki fazlı model çözümleri hakkında 5. Bölümde ayrıntılı bilgi verilmiştir.

Çizelge 4.12: Farklı nozul geometrilerinde 9 bar giriş basıncında iki fazlı çözüm ile elde edilen debi ve kuvvet değerleri.

Basınç	9 bar		
Faz	İki fazlı(VOF metodu)		
Geometri	Pelton	Ters pelton	Konik
Debi (kg/s)	265.64	316.00	288.48
Kuvvet (N)	17457.12	16046.23	16799.77

İki fazlı analiz sonuçları tek fazlı analiz sonuçlarını destekler niteliktedir. İki yöntem de göstermektedir ki ters pelton nozulu performans açısından diğerlerinden üstündür.

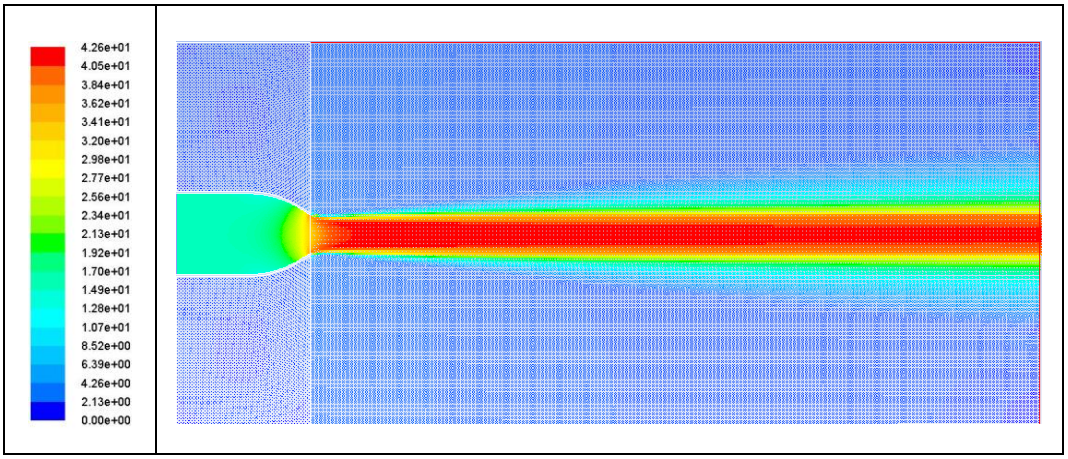
4.1.6 VOF metodu ile nozul profilinin jet hız profili etkisinin hesaplanması

Bu kısımda nozul geometrilerinin jet çıkış hız profiline etkisi incelenmiştir. Hesaplamalar hem iki boyutlu hem üç boyutlu olarak yapılmıştır. İki faz metotlarından VOF metodu kullanılmış, VOF yönteminin zamana bağlı çözümlerde yüksek performans göstermesi sebebi ile çözümlerin zamana bağlı olarak yapılmasına karar verilmiştir.

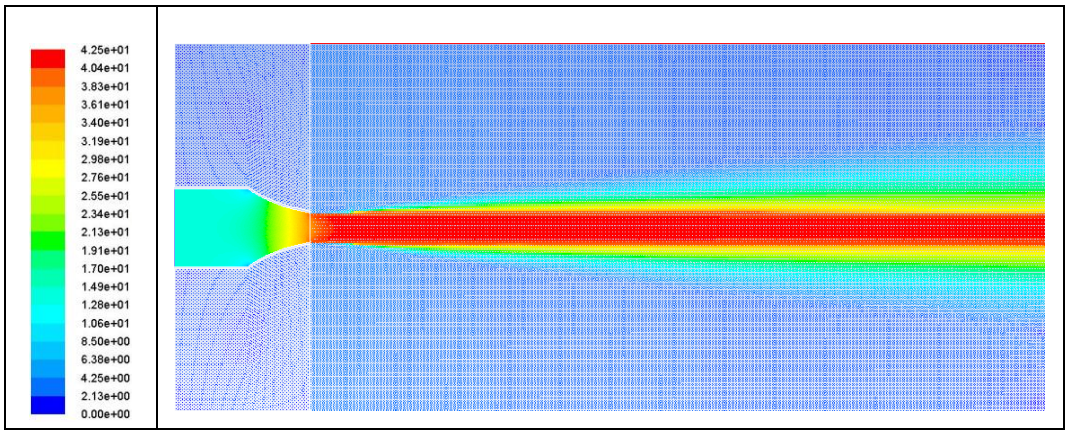
4.1.6.1 VOF metodu ile nozul profilinin jet hız profiline etkisinin iki boyutlu çözümü

Şekil 4.12'de pelton nozulu için hesaplanan hız değerleri verilmiştir. Bu yöntemde çözüm ağı hazırlanırken hem hava hacmi hem de su hacmi modellenmiştir. Başlangıçta nozul içinin tamamen suyla dolu olduğu etrafının ise tamamen hava ile dolu olduğu kabul edilmiştir. Şekil 4.13'de ters pelton nozulu için hesaplanan hız değerleri verilmiştir. Hesaplamalarda zaman adımı 0.0001 alınarak suyun hava hacmi içindeki hareketi incelenmiştir.

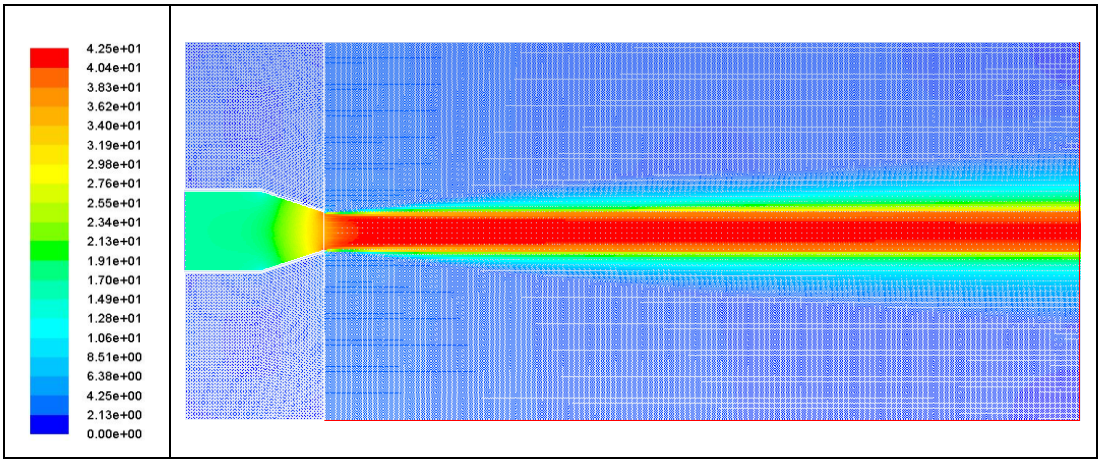
Şekil 4.14'de konik nozul için hesaplanan hız değerleri verilmiştir.



Şekil 4.12: Pelton nozulu için çözüm alanındaki hız dağılımı (iki boyutlu çözüm).

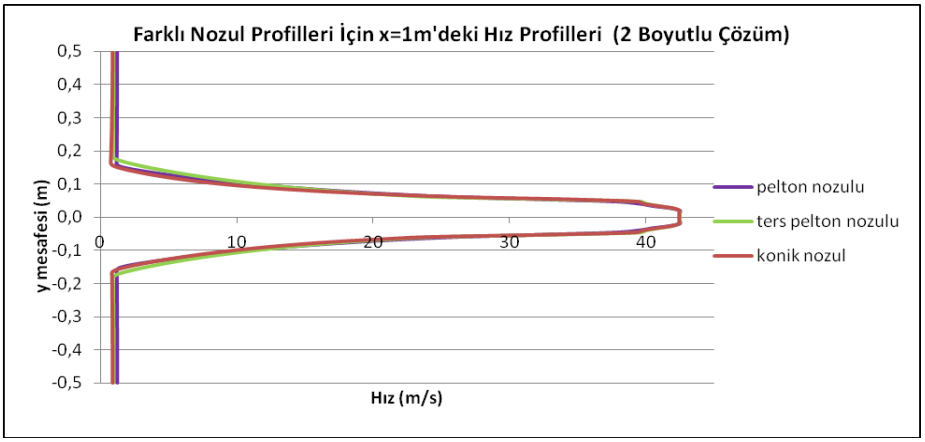


Şekil 4.13: Ters pelton nozulu için çözüm alanındaki hız dağılımı (iki boyutlu çözüm).



Şekil 4.14: Konik nozul için çözüm alanındaki hız dağılımı (iki boyutlu çözüm).

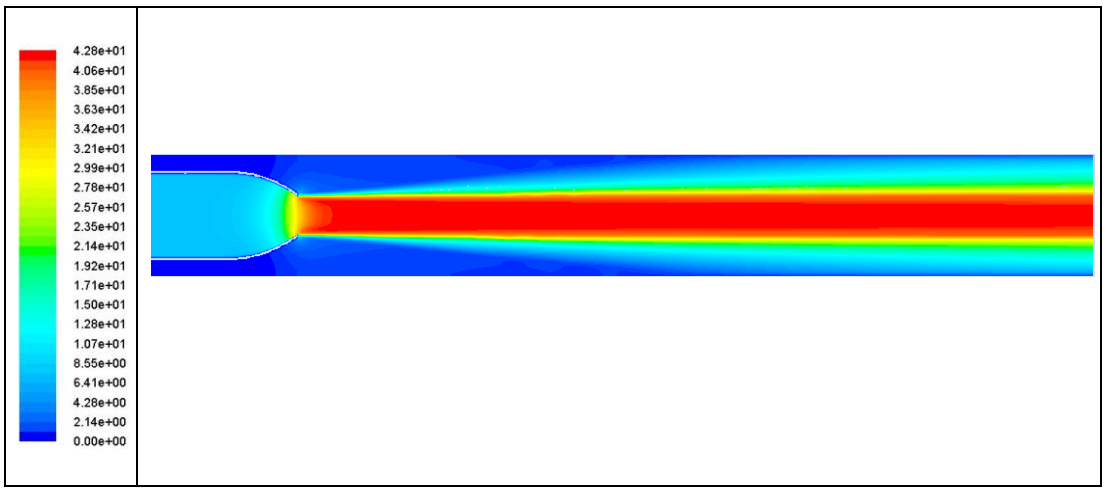
Şekil 4.15'te nozul geometrisini çıkış hız profiline etkisini inceleyebilmek için nozul çıkışından 1m mesafede oluşan hız profilleri grafik halinde verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi farklı nozul geometrileriyle elde edilen çıkış hız profilleri birbirine çok yakın değerdedir.



Şekil 4.15: Farklı nozul geometrileri kullanılarak nozul çıkışından 1 m mesafede elde edilen hız profilleri (iki boyutlu çözüm).

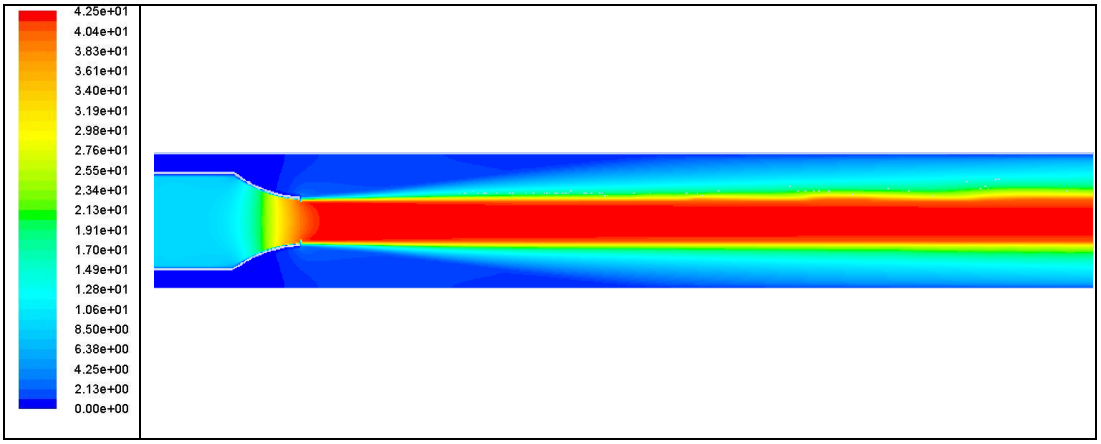
4.1.6.2 VOF metodu ile nozul profilinin jet hız profiline etkisinin üç boyutlu çözümü

Elde edilen sonuçların bir nevi doğrulaması için 4.1.6.1'deki hesaplamalar üç boyutlu olarak tekrardan yapılmıştır. Şekil 4.16'da pelton nozulu için hesaplanan hız değerleri verilmiştir.



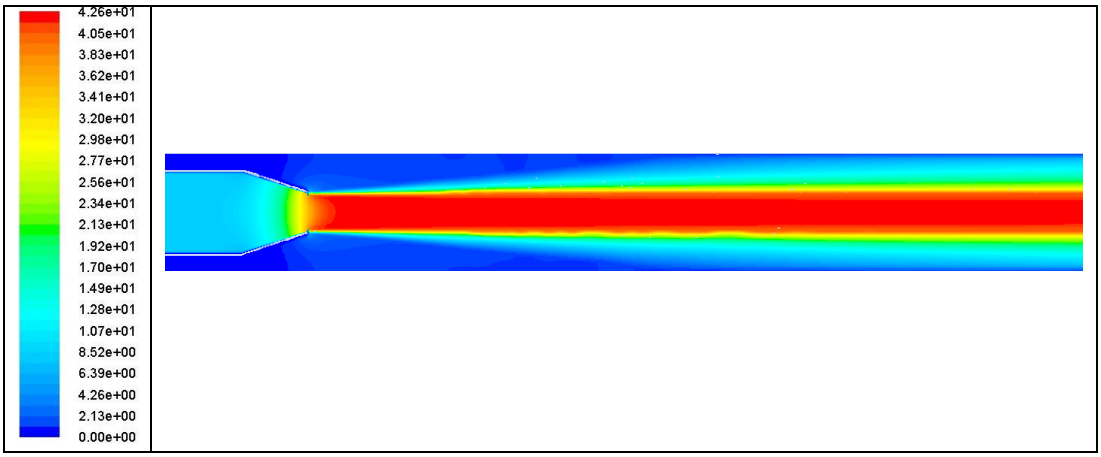
Şekil 4.16 : Pelton nozulu için çözüm alanındaki hız dağılımı (üç boyutlu çözüm).

Şekil 4.17'de ters pelton nozulu için hesaplanan hız değerleri verilmiştir.

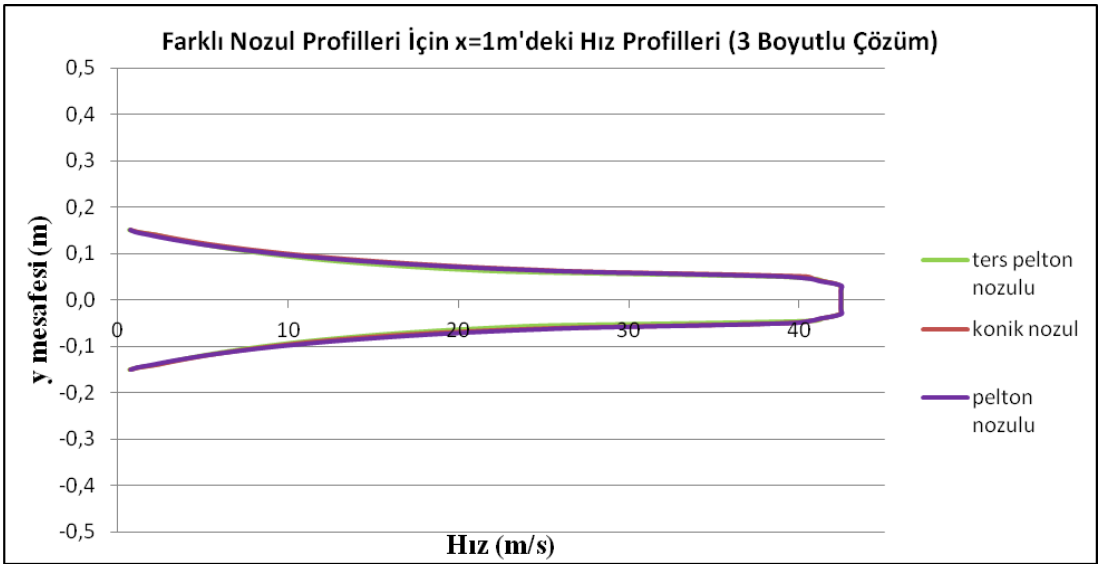


Şekil 4.17: Ters pelton nozulu için çözüm alanındaki hız dağılımı (üç boyutlu çözüm).

Şekil 4.18'de konik nozul için hesaplanan hız değerleri verilmiştir.



Şekil 4.18: Konik nozul için çözüm alanındaki hız dağılımı (üç boyutlu çözüm).



Şekil 4.19: Farklı nozul geometrileri kullanılarak nozul çıkışından 1 m mesafede elde edilen hız profilleri (üç boyutlu çözüm).

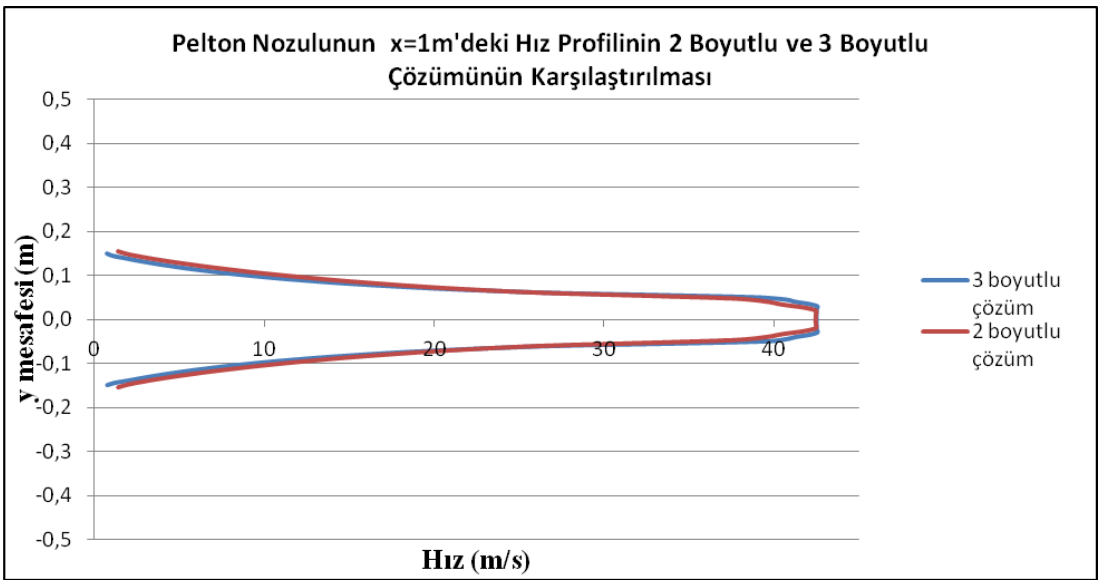
Şekil 4.19'da nozul geometrisini çıkış hız profiline etkisini inceleyebilmek için nozul çıkışından 1m mesafede oluşan hız profilleri grafik halinde verilmiştir. İki boyutlu çözümde de görüldüğü gibi farklı nozul geometrileriyle elde edilen çıkış hız profilleri birbirine çok yakın değerdedir.

4.1.6.3 VOF metodu ile nozul profilinin jet hız profiline etkisinin iki boyutlu ve üç boyutlu çözümünün karşılaştırılması

Çözümler VOF modeli kullanılarak zamana bağlı olarak çözülmüştür. Zaman adımı değeri olarak 0.0001 saniye alınmıştır. Karşılaştırma için pelton nozulu profili kullanılmıştır. Giriş şartı olarak 9 bar değeri alınmıştır ve bu basınç değeri için nozul çıkışından 1 m sonra elde edilen hız profilleri belirtilmiştir.

Bu analizin amacı iki boyutlu ve üç boyutlu analiz sonuçlarının birbiri ile ilişkisini belirlemek ve bu sayede üç boyutlu çözümün neden olduğu çözüm yükünü ortadan kaldırmaktır.

Şekil 4.20'den de anlaşılacağı gibi iki boyutlu ve üç boyutlu çözüm sonuçları birbirini destekler niteliktedir.

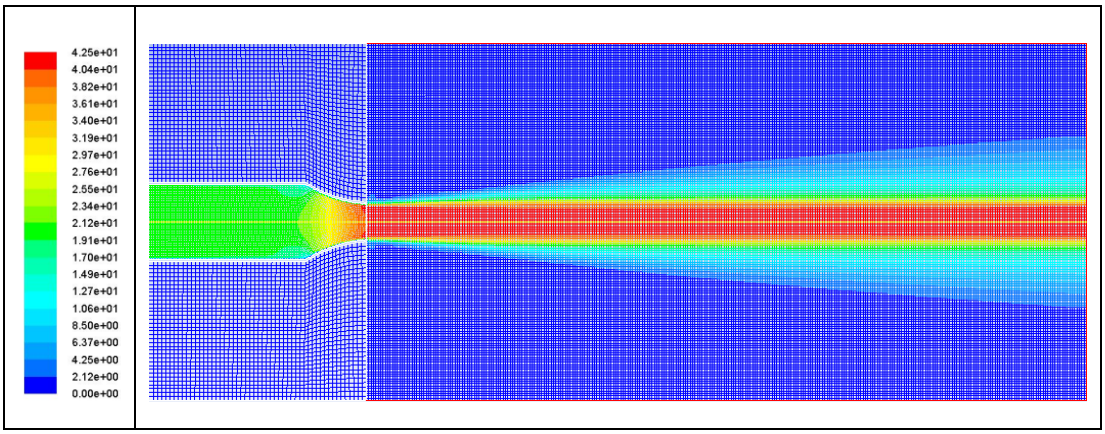


Şekil 4.20: Pelton nozulunun nozul çıkışından 1m mesafedeki hız profillerinin 2 boyutlu ve 3 boyutlu çözüm sonuçları.

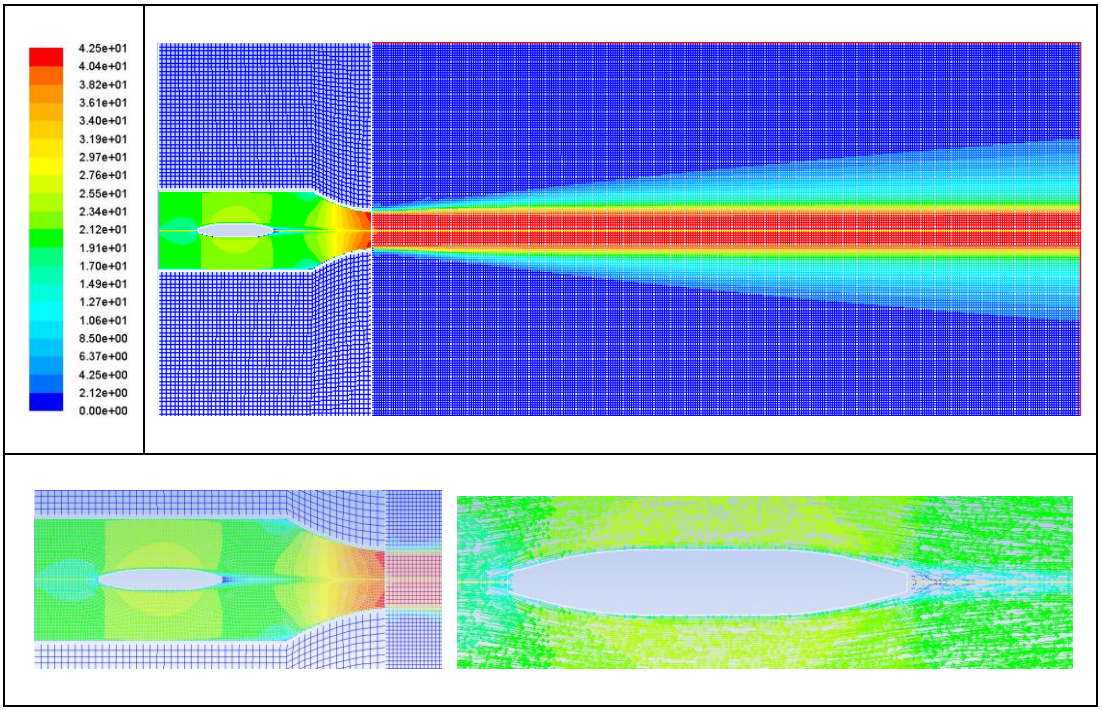
Çalışmanın ilerleyen aşamalarında hesaplamalara gerek problemin daha karmaşık bir hal alması gerekse kullanılan bilgisayarların üç boyutlu çözüm yükünü karşılayabilecek nitelikte olmaması sebebiyle iki boyutlu olarak devam edilmiştir.

4.2 Klapenin Jet Akışına Etkisinin VOF Metodu ile Hesaplanması

Hem debiyi kısmak hem de su şemsiyesi akışı elde etmek için kullanılan kelebek vana klapesinin jet akışı sırasında akışa olumsuz yönde etki edeceği düşünülmüş ve bu bölümde bu durum incelenmek istenmiştir. Hesaplamalar üç hal için yapılmıştır. Şekil 4.21'de kelebek vana klapesinin kullanılmadığı hal için elde edilen hız dağılımı görülmektedir.



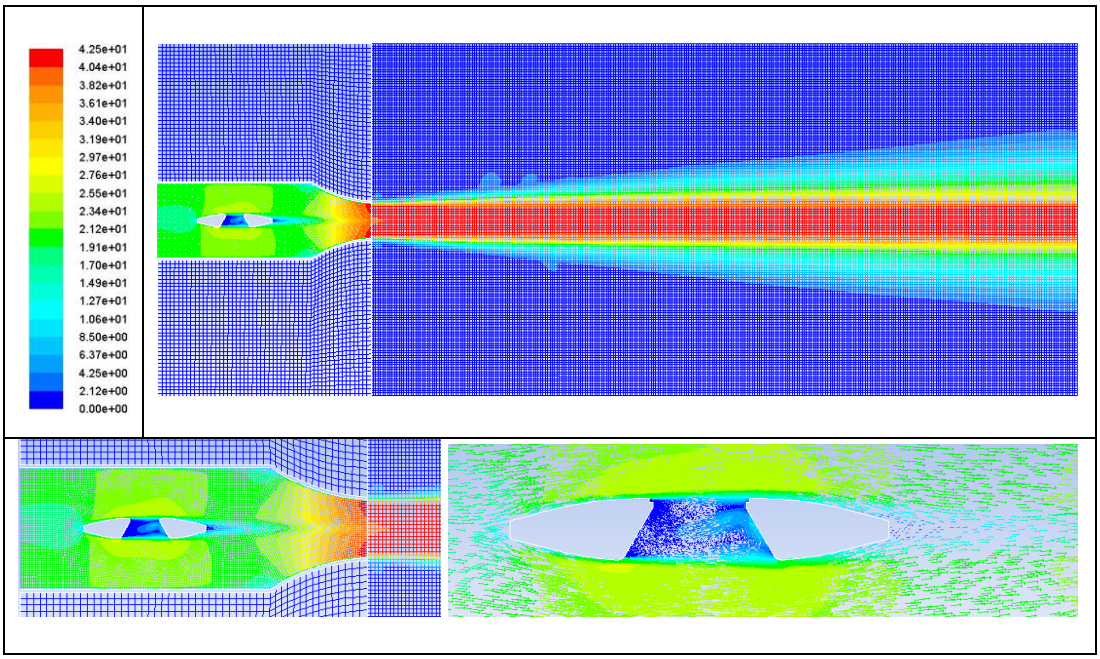
Şekil 4.21: Kelebek vana klapesi kullanılmadığında kontrol hacminde oluşan hız dağılımı.



Şekil 4.22: Kelebek vana klapesi kullanıldığında kontrol hacmindeki hız dağılımı.

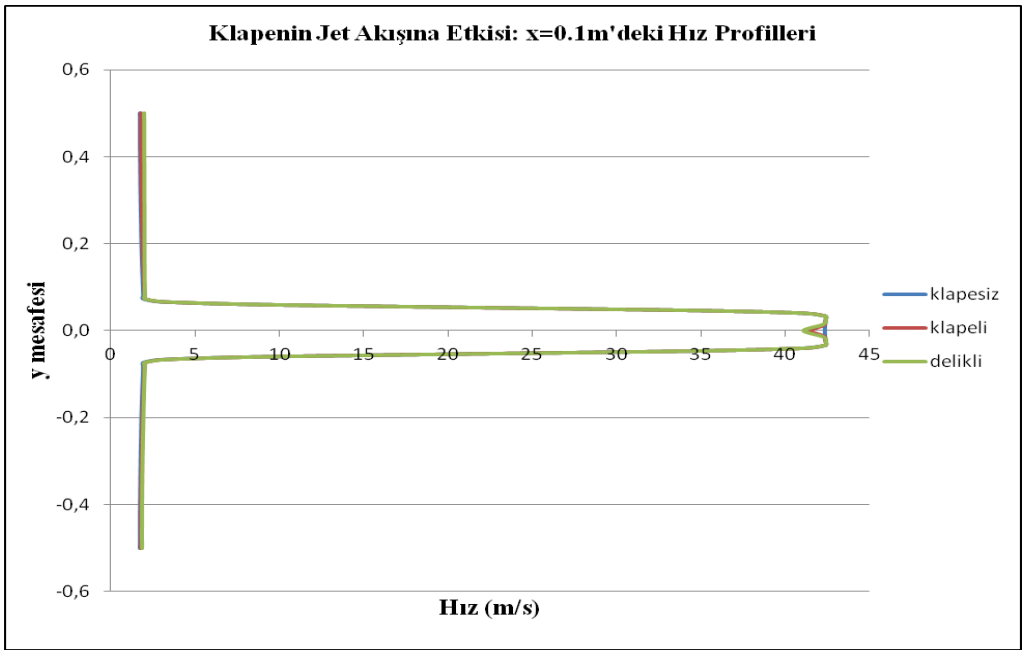
Şekil 4.22'de ise kelebek vana kullanıldığında oluşan hız dağılımı görülmektedir.

Hem klapenin hem de klape deliğinin etkisinin ayrı ayrı görülebilmesi için Şekil 4.23'de delikli klape kullanılarak da hesaplamalar yapılmıştır. Bu analiz klapenin açık pozisyonda tutulmasıyla elde edilen jet akışını modellemek için yapılmıştır. Buradaki amaç klape açık tutulduğunda klapenin jet akışına olan bozucu etkisinin miktarını belirlemektir. Klapenin akışa olan etkisinin yanı sıra klapede bulunan deliğin de etkisi görülmek istenmiştir. Bu nedenle her bir model koşturulup karşılaştırma yapılmıştır.



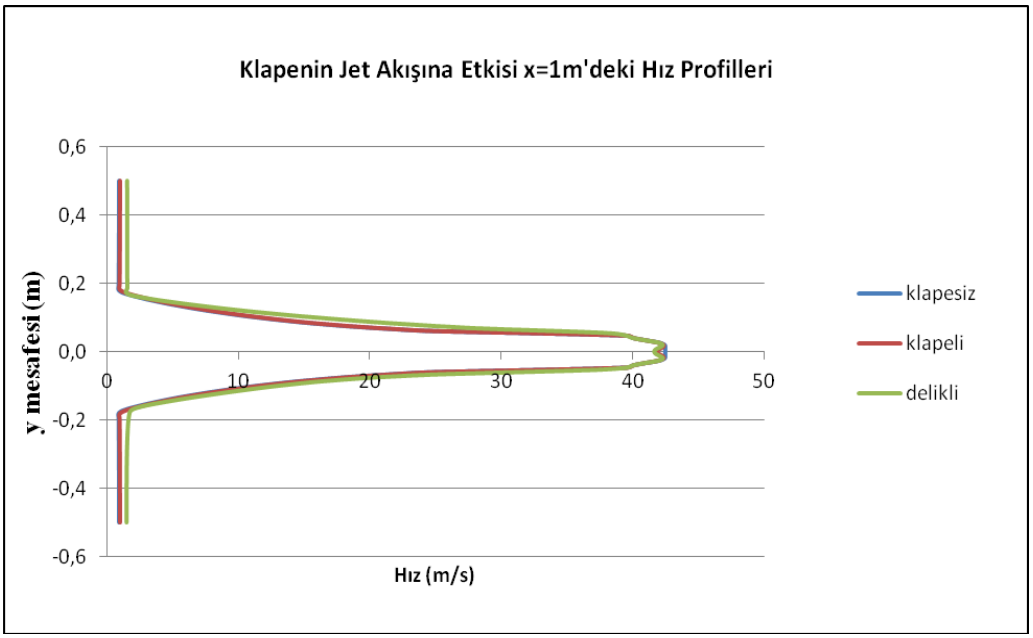
Şekil 4.23: Delikli kelebek vana klapesi kullanıldığında kontrol hacmindeki hız dağılımı(gerçek hal).

Daha kolay bir değerlendirme yapılabilmesi için sonuçlar grafik şeklinde hazırlanmıştır. Şekil 4.24'de nozul çıkışından 0.1m mesafedeki hız profilleri görülmektedir. Klape kullanımı nedeniyle oluşan dalga etkisi grafikte görülmektedir.

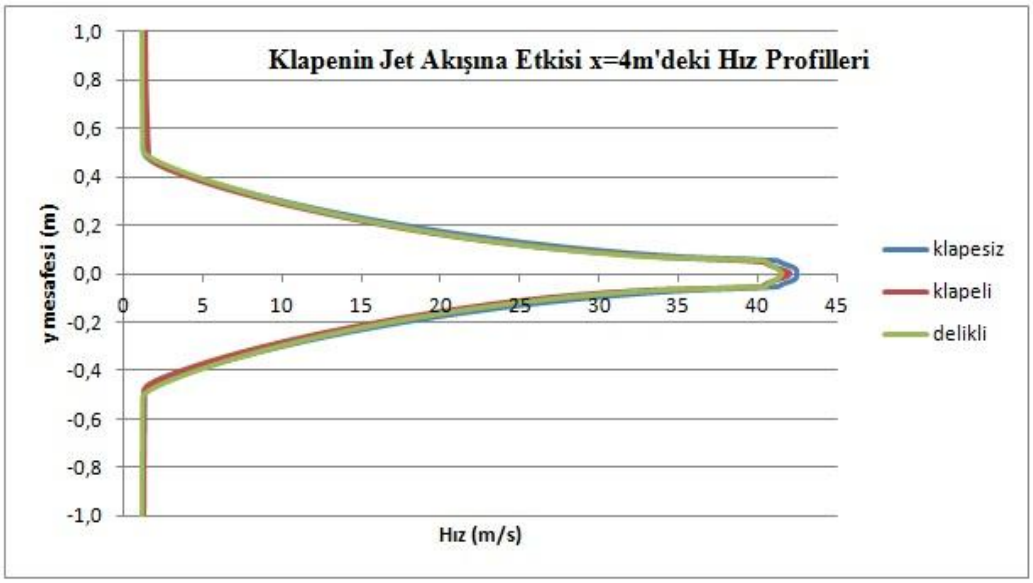


Şekil 4.24: Klapenin nozul çıkışından 0.1 m sonraki hız profillere etkisi.

Klapenin nozul çıkışından 1m ve 4m mesafedeki hız profillerine etkisi sırasıyla Şekil 4.25 ve Şekil 4.26 'da verilmiştir. Grafiklerden de anlaşıldığı üzere klape nozul çıkış hızını olumsuz yönde etkilemektedir.



Şekil 4.25: Klapenin nozul çıkışından 1 m sonraki hız profillere etkisi.



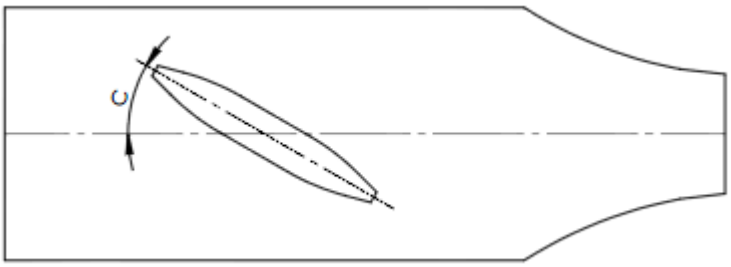
Şekil 4.26: Klapenin nozul çıkışından 1 m sonraki hız profillere etkisi.

5. SU ŞEMSİYESİ AKIŞI

Su şemsiyesi akışı aynı anda daha fazla yangın yüzeyine müdahale edilmesi için yangın monitörlerinde kullanılan bir akış çeşididir. Bu çalışmada su şemsiyesini elde etmek için iki yöntem denenmiştir. Bunlardan ilki kelebek vana klapesinin açılı kullanılması yöntemidir.

5.1 Kelebek Vana Klapesinin Farklı Açılarda Kullanılmasıyla Su Şemsiyesi Akışı

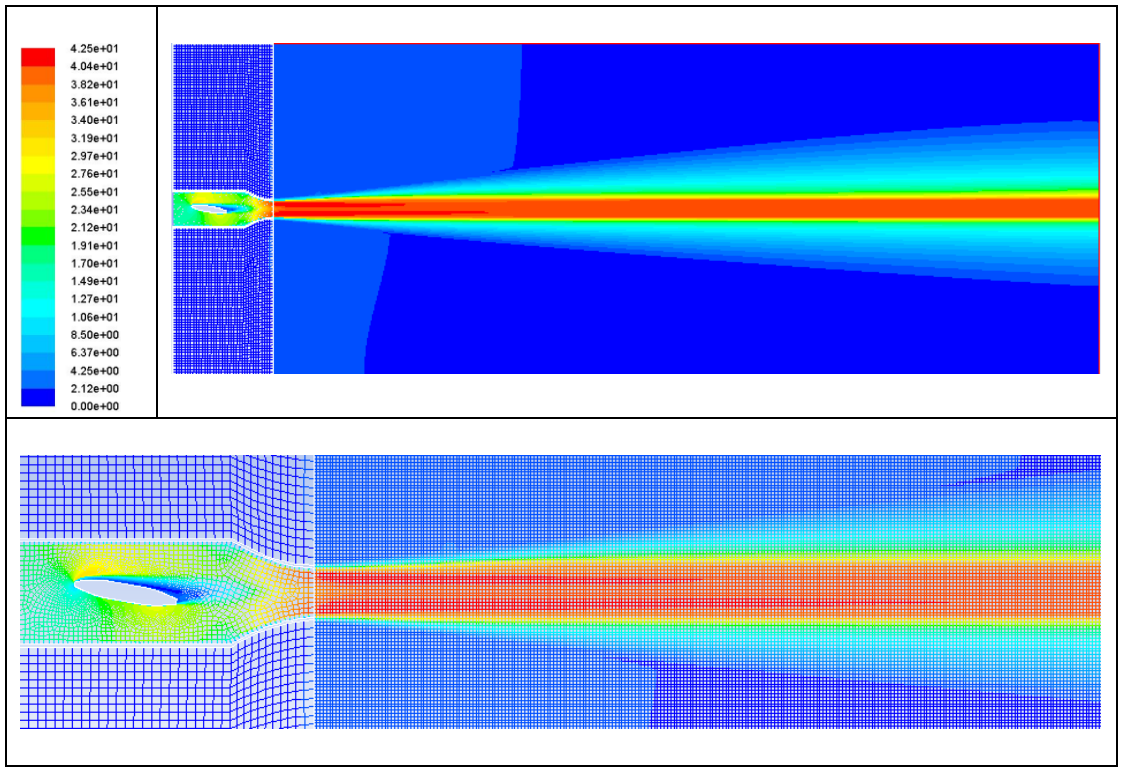
Bu bölümde su şemsiyesi akışını sağlamak için Şekil 5.1'de görüldüğü gibi kelebek vana klapesinin farklı açılarda tutulmasının nozul çıkışındaki hız profillerine olan etkisi incelenecektir.



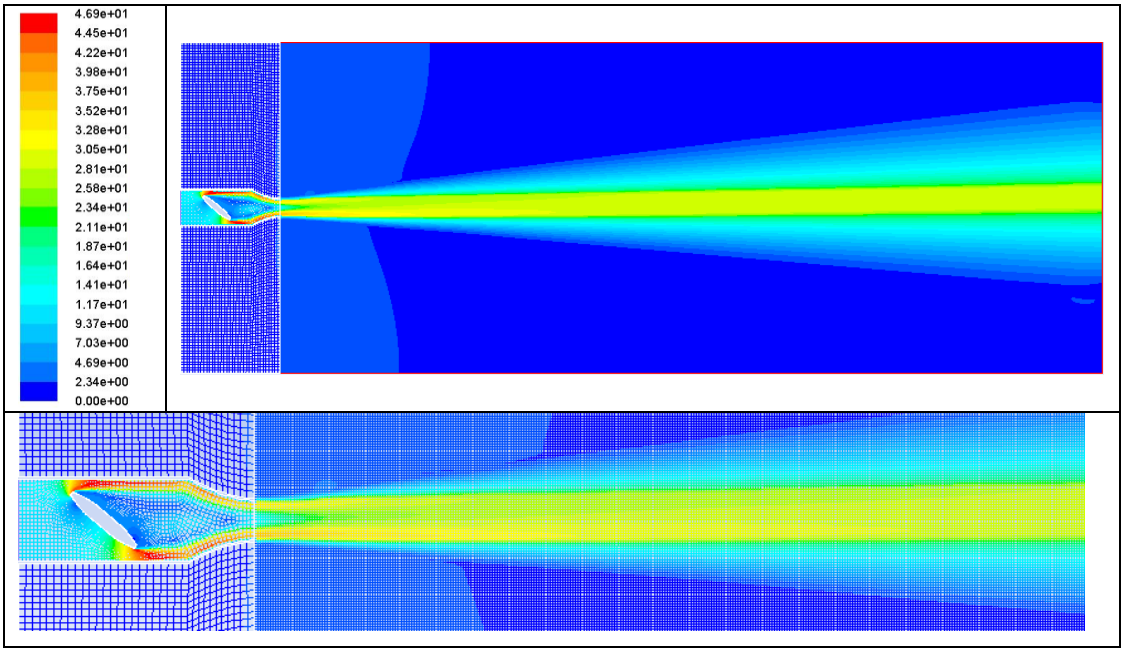
Şekil 5.1: Açılı klape kullanarak su şemsiyesi akışı.

Çözümler farklı c açısı değerleri için zamana bağlı olarak iki fazlı VOF metodu ile yapılmıştır. Jet akışının incelendiği 3. bölümde olduğu gibi başlangıçta nozul içinin suyla dolu olduğu kabul edilmiş ve zamana bağlı olarak suyun hava ortamında ilerleyişi izlenmiştir. Bu çalışmadaki bütün sayısal analizlerde olduğu gibi türbülans modeli olarak $k-\omega$ kullanılmıştır.

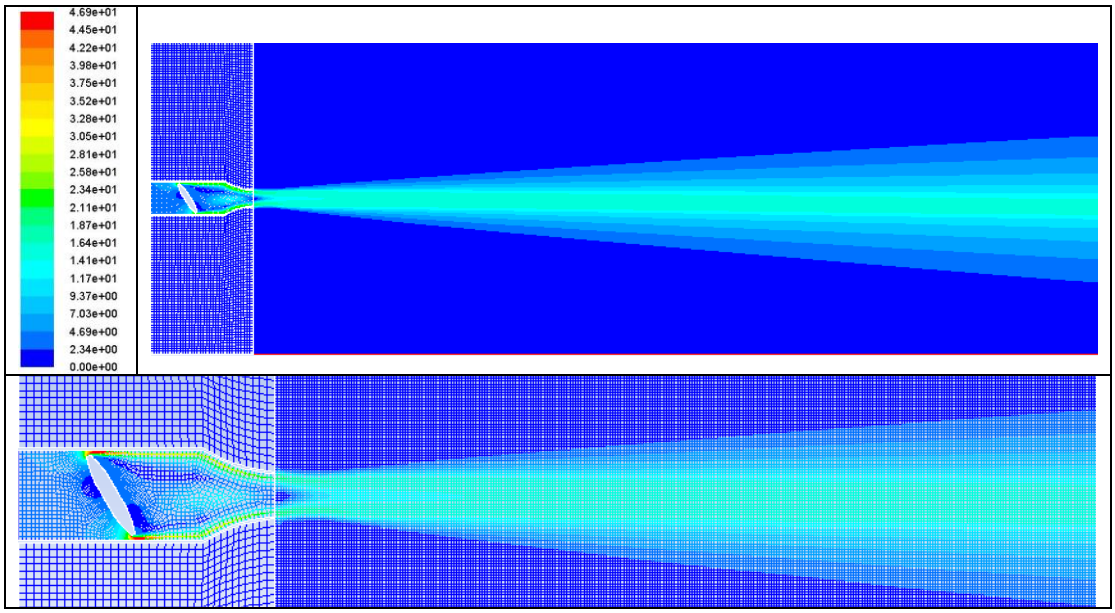
Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te sırasıyla kelebek vana klapesinin yatayla 10, 40 ve 60 derece açı yapacak şekilde tutulmasıyla elde edilen hız dağılımları görülmektedir.



Şekil 5.2: Kelebek vana klapesinin yatayla 10 derece açı yapacak şekilde tutulmasıyla elde edilen hız dağılımı.



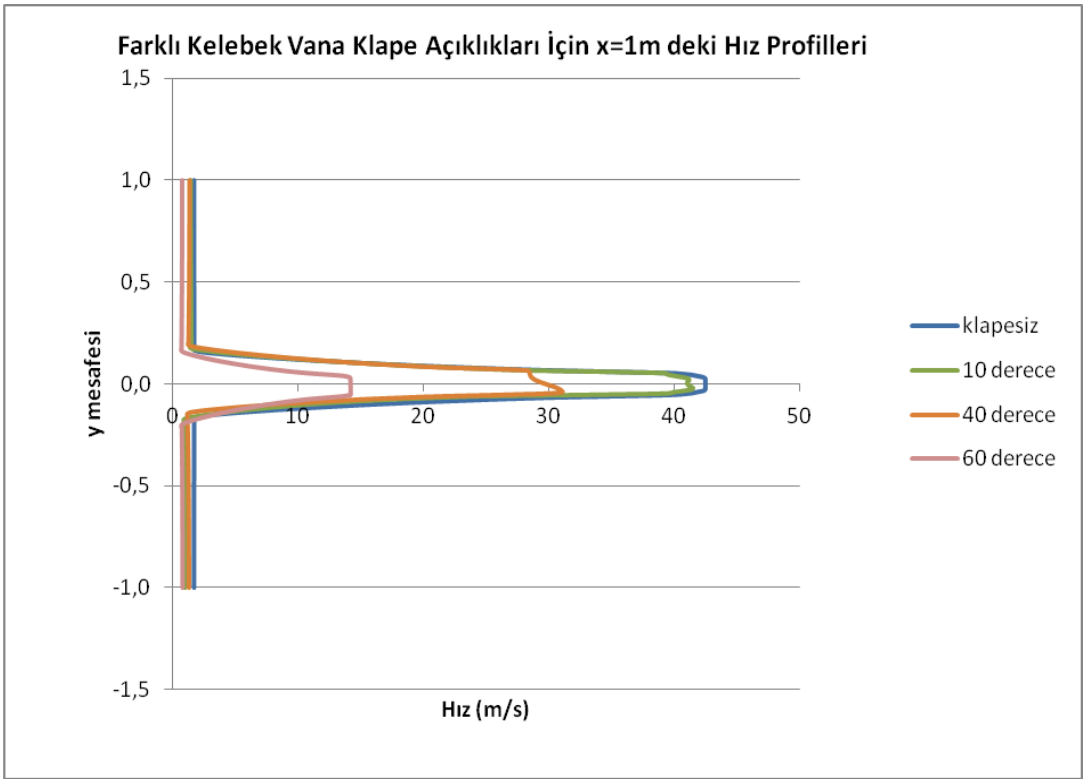
Şekil 5.3: Kelebek vana klapesinin yatayla 40 derece açı yapacak şekilde tutulmasıyla elde edilen hız dağılımı.



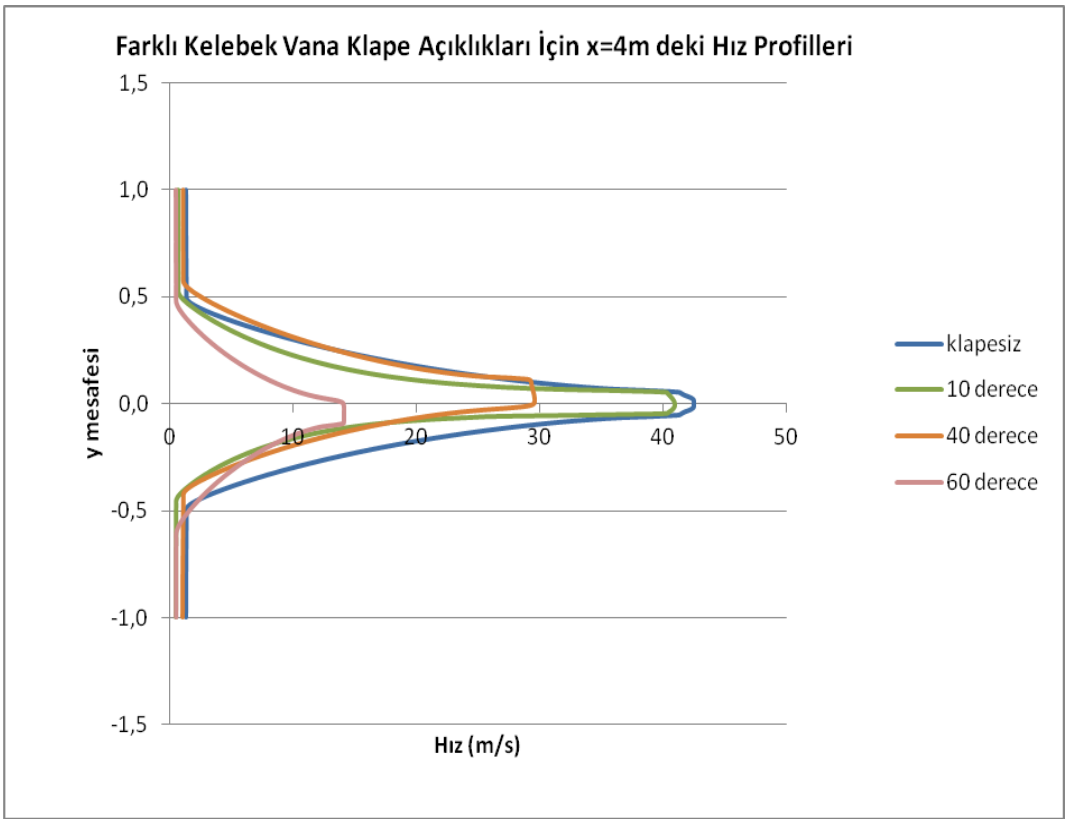
Şekil 5.4: Kelebek vana klapesinin yatayla 60 derece açı yapacak şekilde tutulmasıyla elde edilen hız dağılımı.

Şekil 5.5'te nozul çıkışından 1m mesafedeki hız profilleri görülmektedir. Grafikten klapenin yatayla yaptığı açının artmasıyla hızda meydana gelen düşüş görülmektedir.

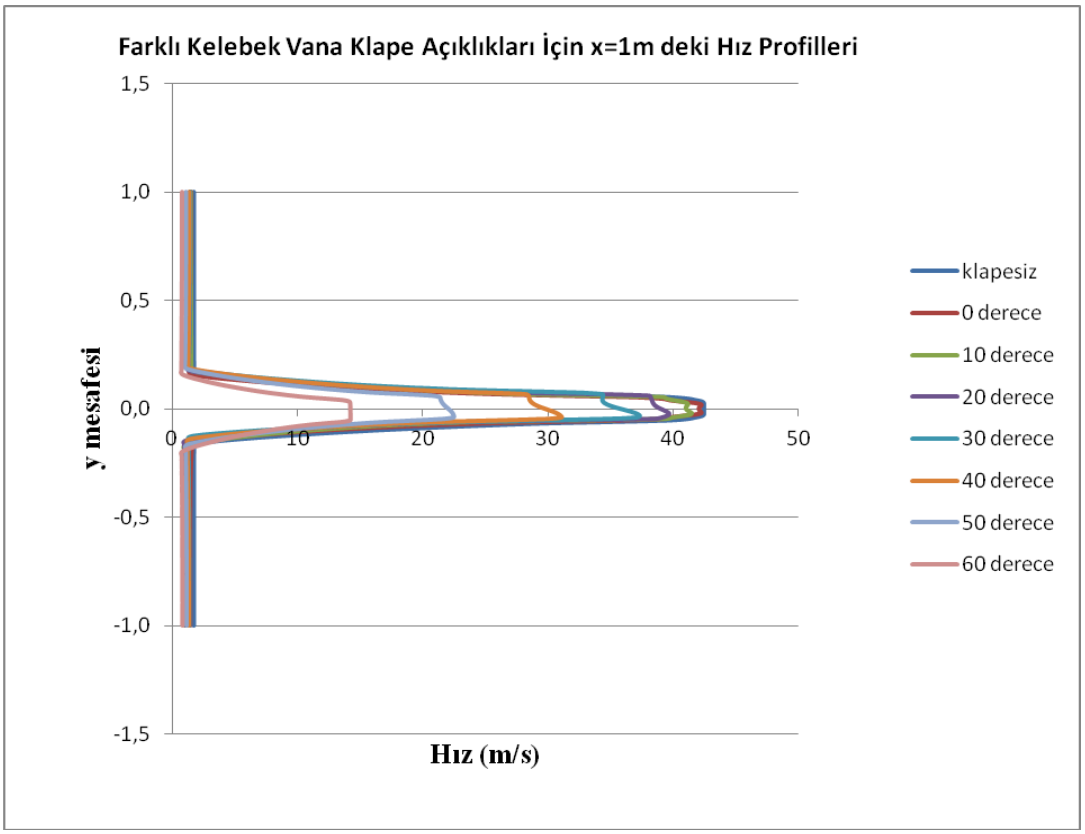
Şekil 5.6'da ise aynı açı değerleri için nozul çıkışından 4m mesafedeki hız profilleri görülmektedir.



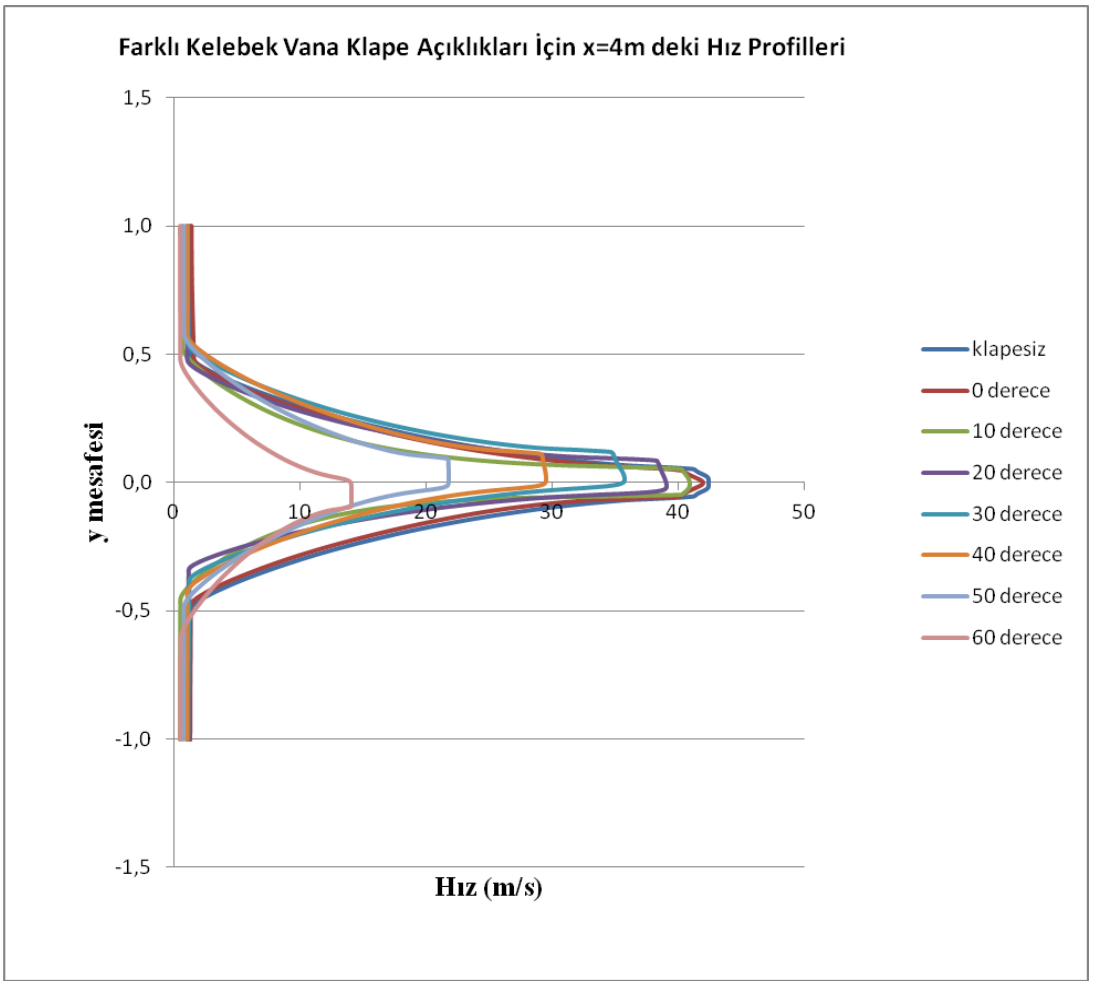
Şekil 5.5: Klape kullanılmadığında ve klapenin 10,40 ve 60 derecede tutulmasıyla nozul çıkışından 1m mesafede oluşan hız profilleri.



Şekil 5.6: Klape kullanılmadığında ve klapenin 10,40 ve 60 derecede tutulmasıyla nozul çıkışından 4m mesafede oluşan hız profilleri.



Şekil 5.7: Klape kullanılmadığında ve klapenin 0,10,20,30,40,50 ve 60 derecede tutulmasıyla nozul çıkışından 1m mesafede oluşan hız profilleri.

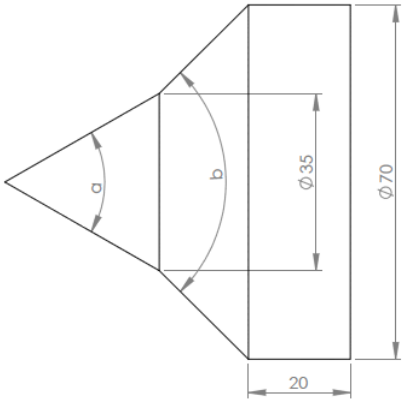


Şekil 5.8: Klape kullanılmadığında ve klapenin 0,10,20,30,40,50 ve 60 derecede tutulmasıyla nozul çıkışından 4m mesafede oluşan hız profilleri.

Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da farklı açı değerleri için sonuçlar görülmektedir.

5.2 Çelici Kullanılmasıyla Su Şemsiyesi Akışı

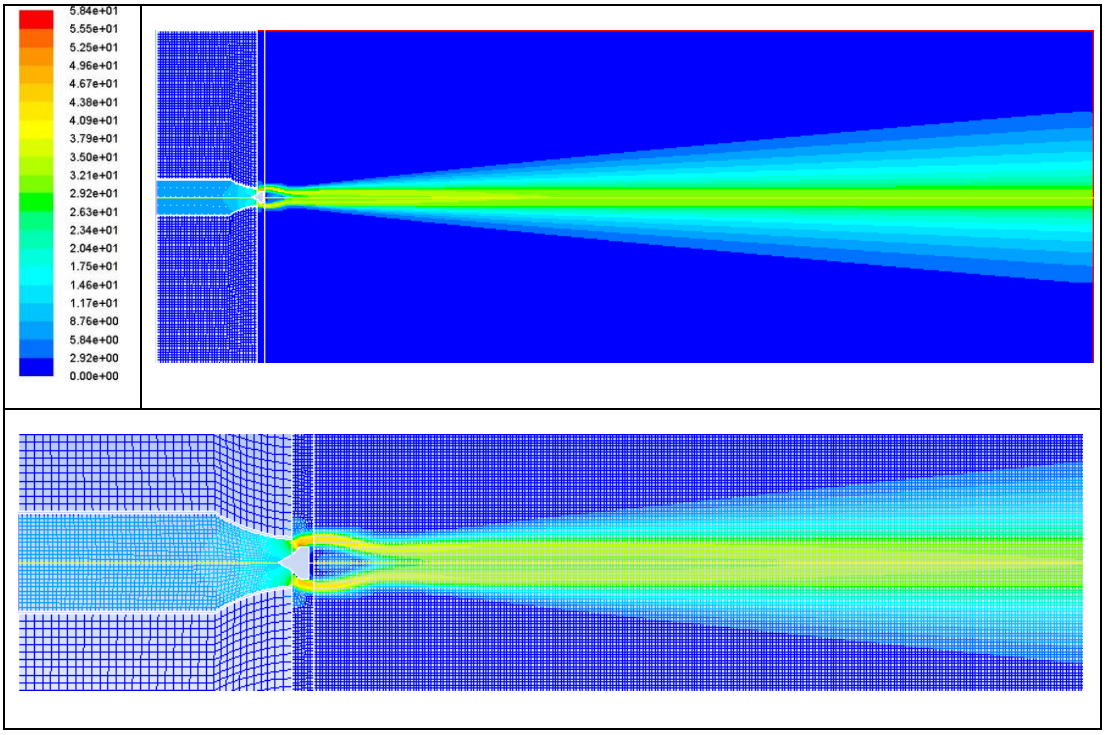
Su şemsiyesi akışını sağlamak için kullanılan ikinci yöntem ise çelici kullanılmasıdır. Şekil 5.9'de hesaplamalarda kullanılan çelicinin boyutsal ölçüleri verilmiştir. İlk olarak tek kademeli çelici kullanılması düşünülmüş fakat yapılan analizler sonucunda aynı a açısı değeri için iki çelicinin de aynı akış yayılımını sağlamasına rağmen tek kademeli çelicide daha düşük hız değerlerine ulaşılmıştır. Bu nedenle çalışmalar iki kedemeli çelici kullanılarak sürdürülmüştür.



Şekil 5.9 : Su şemsiyesi akışının sağlanması için kullanılacak olan çelicinin ölçüleri

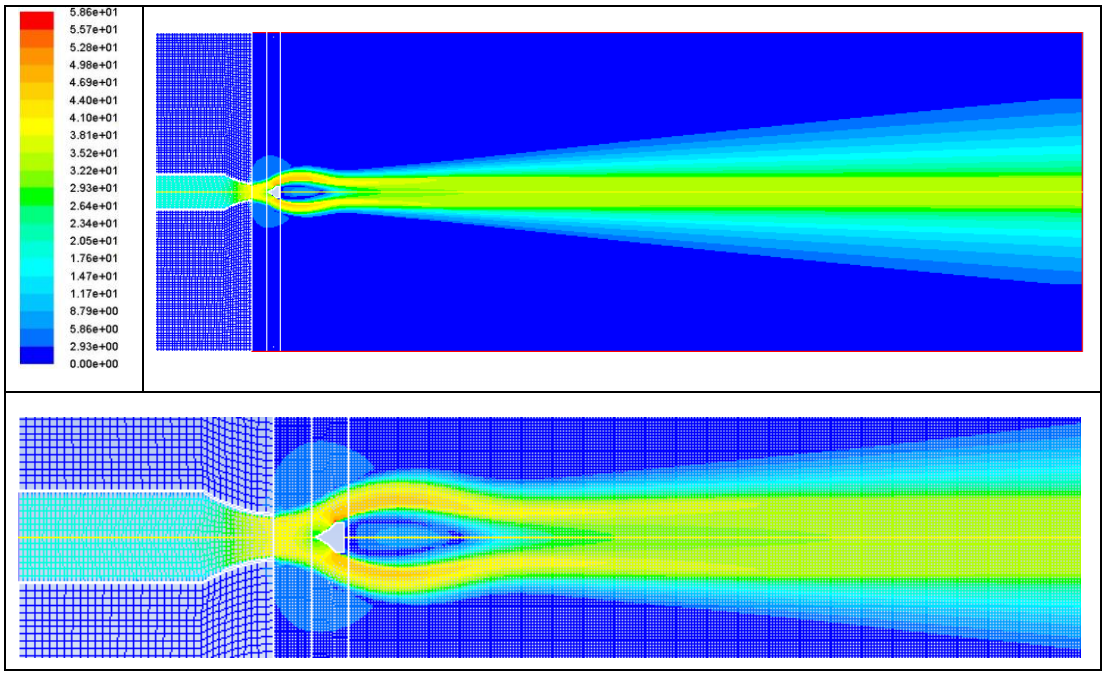
5.2.1 Çelicinin farklı x (nozul çıkısından olan uzaklık) uzaklıklarında tutulmasıyla elde edilen su şemsiyesi akışı

Çelici a ve b ölçüleri sırasıyla 60° ve 90° kabul edilerek çelicinin yerleştirildiği noktanın nozul çıkışına olan mesafesinin değişiminin çıkışı hız profillerine etkisi incelenmek istenmiştir. Şekil 5.10'da nozul çıkışı 0 noktası kabul edilirse çelicinin -30mm mesafede tutulmasıyla elde edilen hız dağılımı görülmektedir.

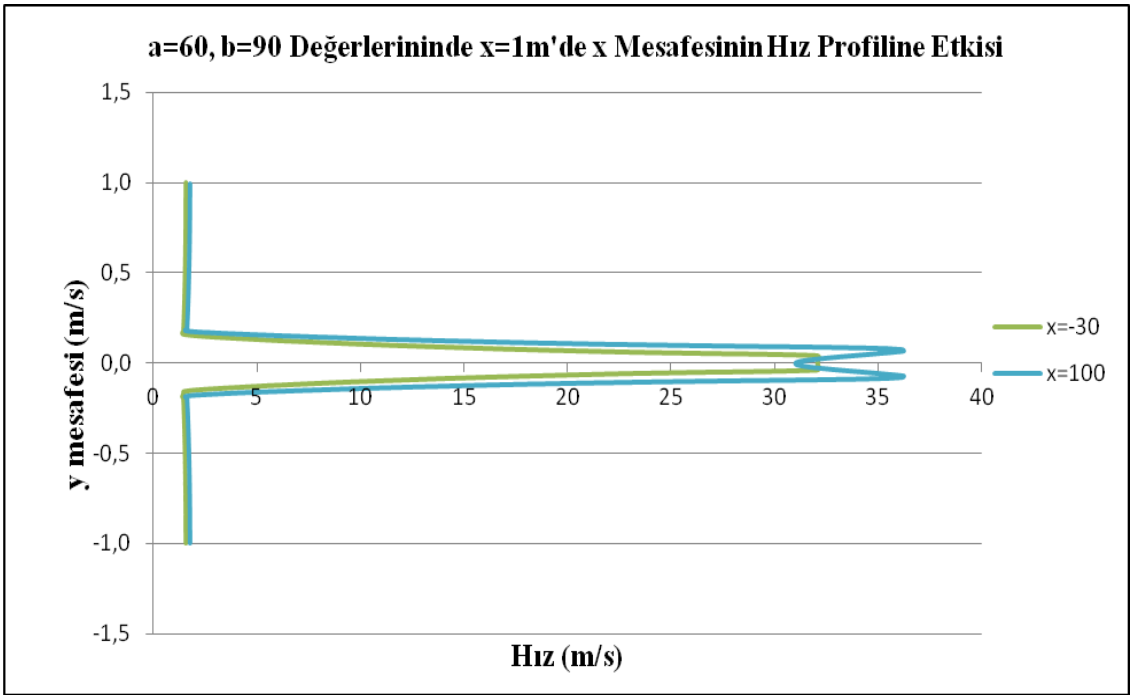


Şekil 5.10: Çelicinin nozul çıkışından -30mm mesafede tutulmasıyla elde edilen hız dağılımı.

Şekil 5.11'da çelicinin nozul çıkışından 100mm mesafede tutulmasıyla elde edilen hız dağılımı görülmektedir.

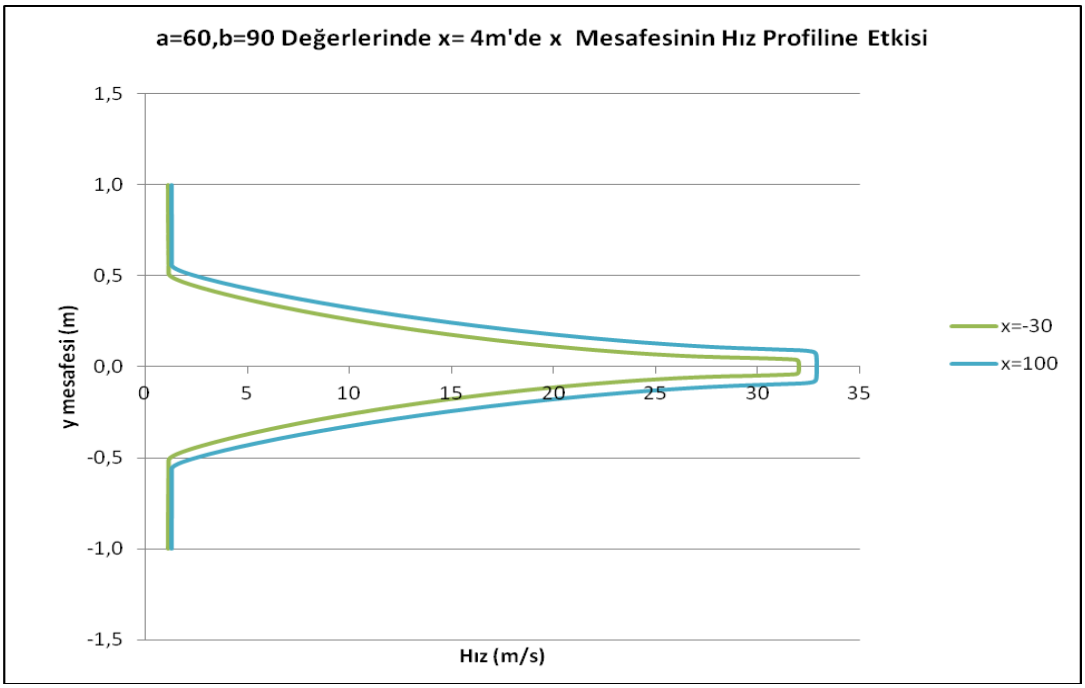


Şekil 5.11: Çelicinin nozul çıkışından 100mm mesafede tutulmasıyla elde edilen hız dağılımı.

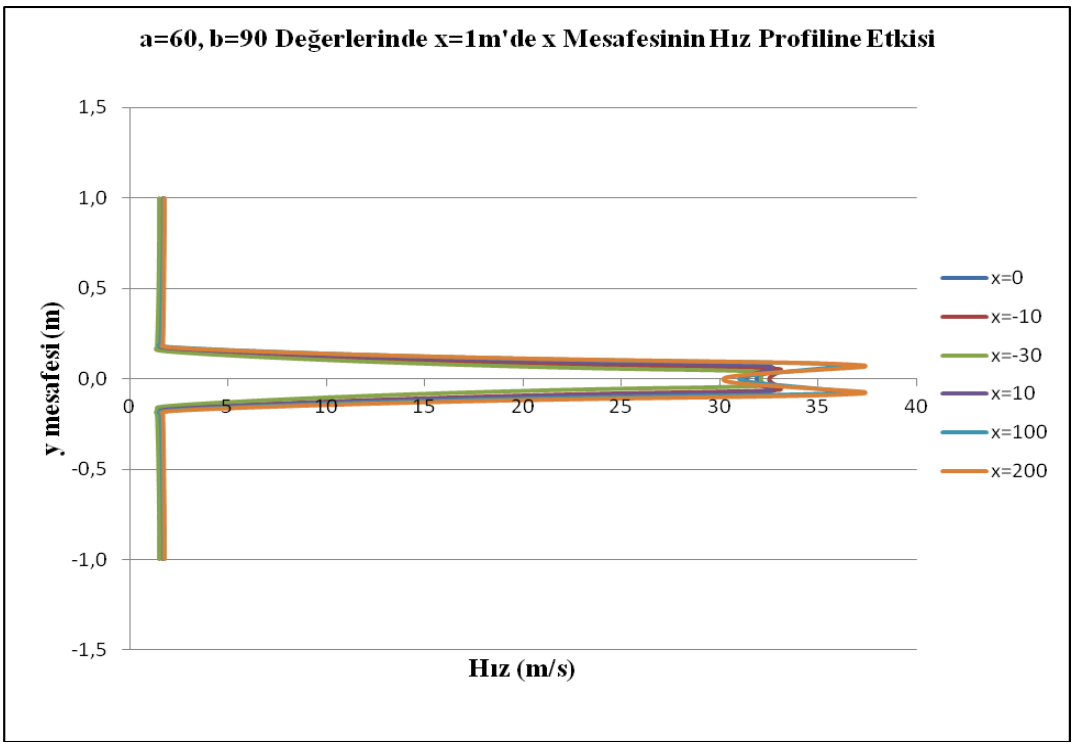


Şekil 5.12 : a=60°, b=90° değerlerinde, çelicinin nozul çıkışından -30mm ve 100mm mesafelerinde tutulması ile nozul çıkışından 1m mesafede elde edilen hız profilleri.

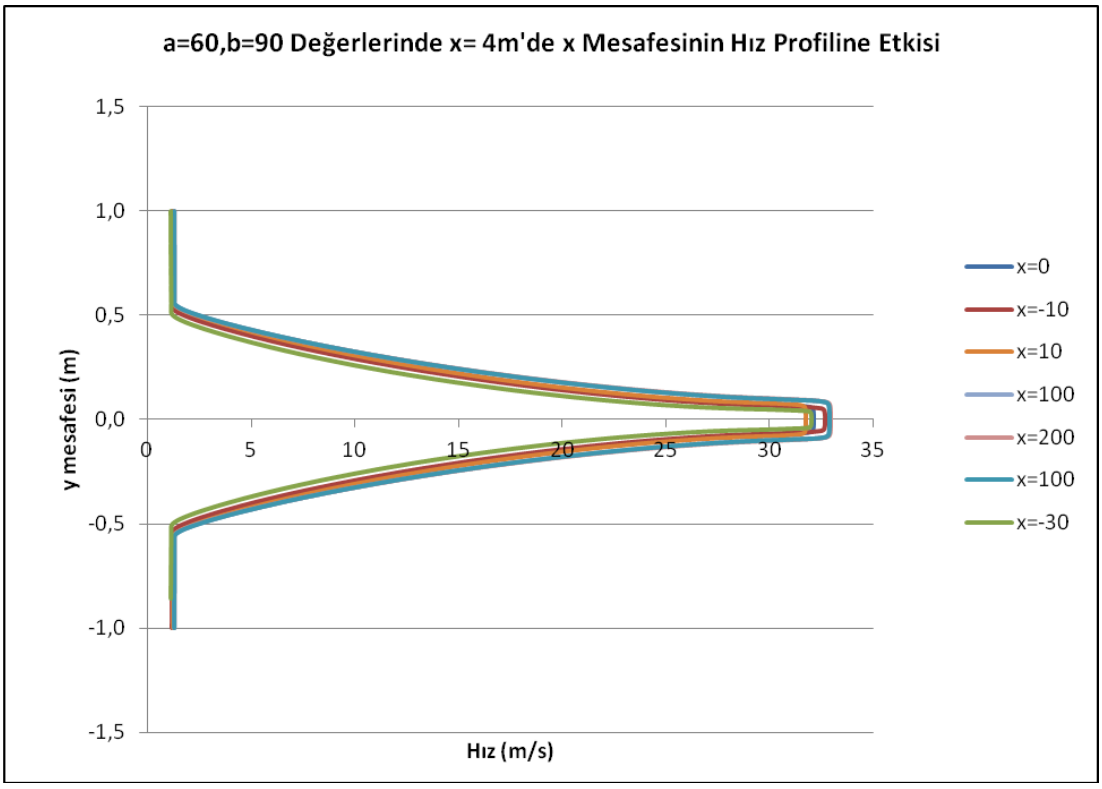
Şekil 5.13'de ise Şekil 5.12'deki durumda nozul çıkışından 4m mesafede elde edilen hız profilleri görülmektedir.



Şekil 5.13 : a=60°, b=90° değerlerinde, çelicinin nozul çıkışından -30mm ve 100mm mesafelerinde tutulması ile nozul çıkışından 1m mesafede elde edilen hız profilleri.



Şekil 5.14 : a=60°, b=90° değerlerinde, çelicinin nozul çıkışından -30mm, - 10mm, 0mm, 10mm, 100mm ve 200mm mesafelerinde tutulması ile nozul çıkışından 1m mesafede elde edilen hız profilleri.

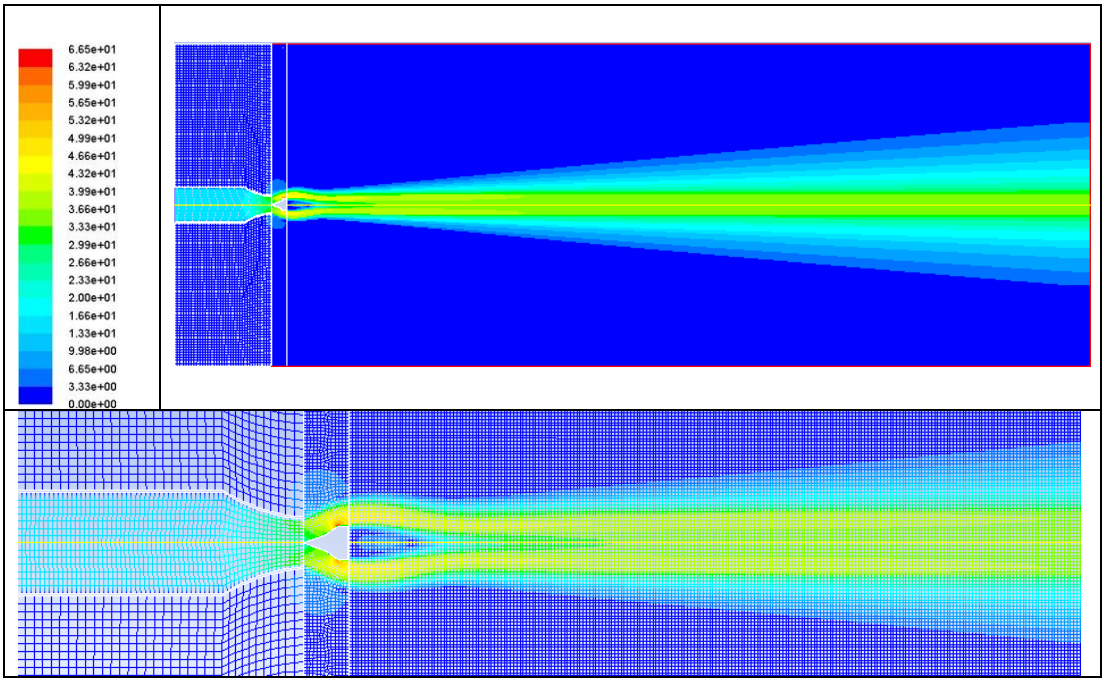


Şekil 5.15 : a=60°, b=90° değerlerinde, çelicinin nozul çıkışından -30mm, - 10mm, 0mm, 10mm, 100mm ve 200mm mesafelerinde tutulması ile nozul çıkışından 4m mesafede elde edilen hız profilleri.

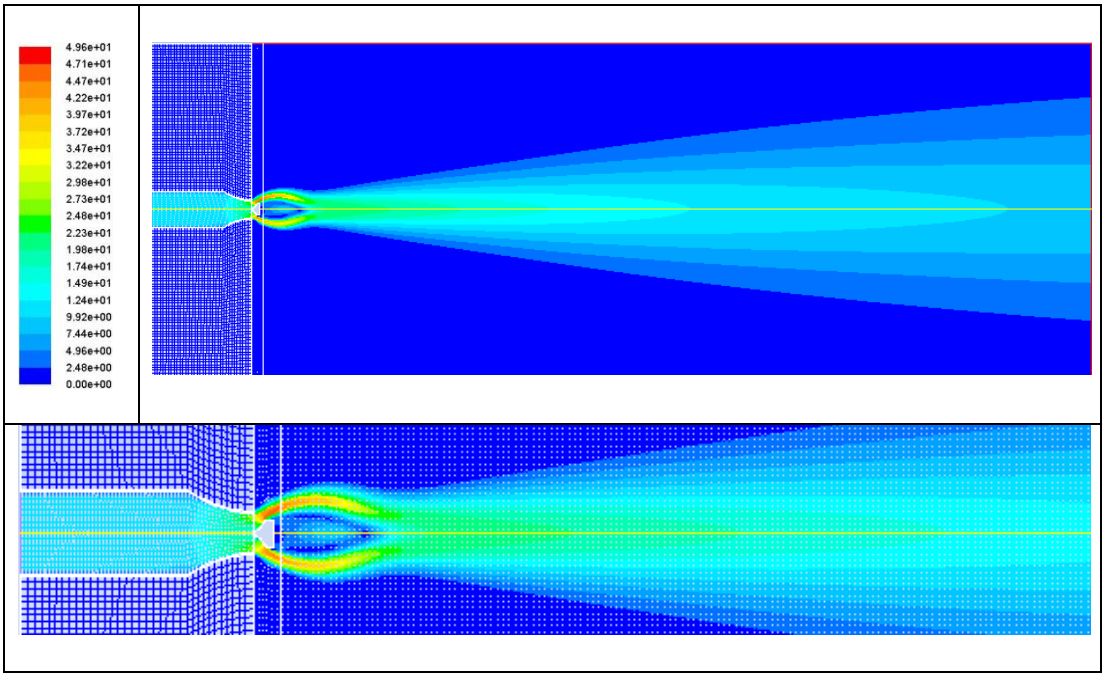
Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te analizler sonucunda farklı x (nozul çıkışından olan uzaklık) mesafeleri için elde edilen veriler görülmektedir. Bu grafikten en fazla yayılımın çelicinin nozul çıkışından 100mm veya 200mm mesafede tutulmasıyla elde edildiği anlaşılmaktadır.

5.2.2 Çelicinin x=0 (nozul çıkışından olan uzaklık) değeri için a ve b değerlerinin değişiminin hız profiline etkisi

Çelicinin nozul çıkışına olan mesafesi 0 alınarak çelicinin a ve b açılarının değişiminin hız profillerine etkisi incelenmiştir bu bölümde. Şekil 5.16'te a=40° ve b=70° değerlerini için elde edilen hız dağılımı görülmektedir. Şekil 5.17'da ise a=80° ve b=110° için hız dağılımları görülmektedir. Beklenildiği gibi a ve b değerleri arttırıldığında akışta yayılım gözlenmektedir. Şekil 5.18 ve 5.19'de ise incelenen açı değerleri genişletilerek nozul çıkışından 1m ve 4m sonraki hız profilleri verilmiştir. Tahmin edilebildiği gibi çelici açısı arttırıldığında nozul çıkışında elde edilen hız değerleri düşmektedir.

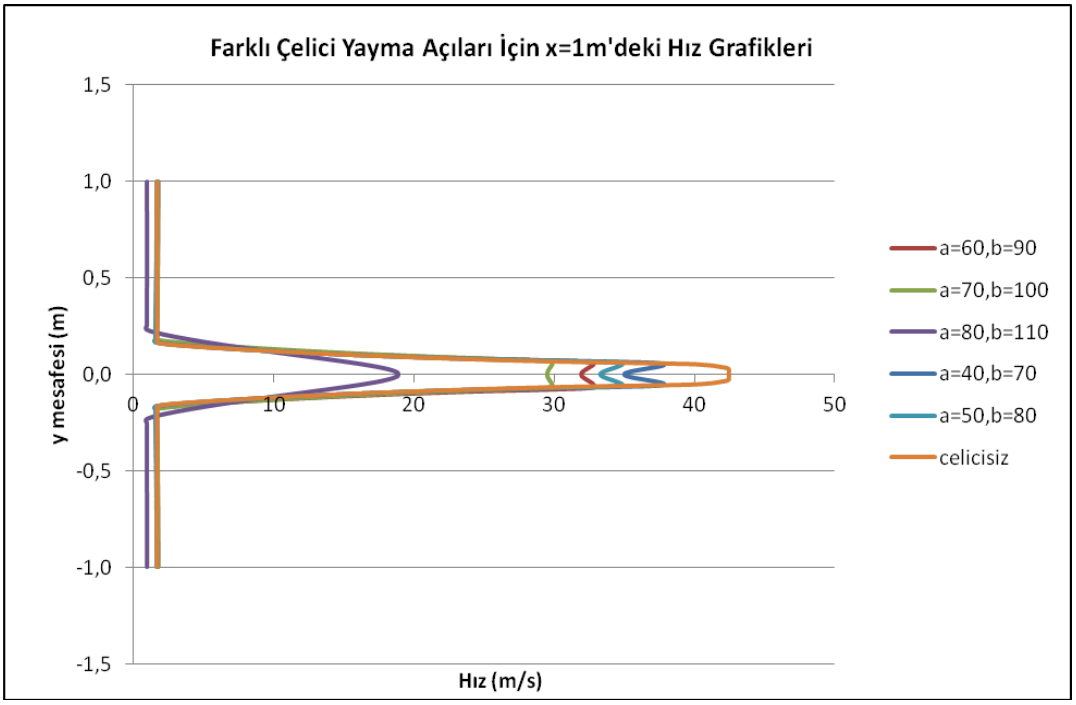


Şekil 5.16: a=40°, b=70° değerleri için elde edilen hız dağılımı.

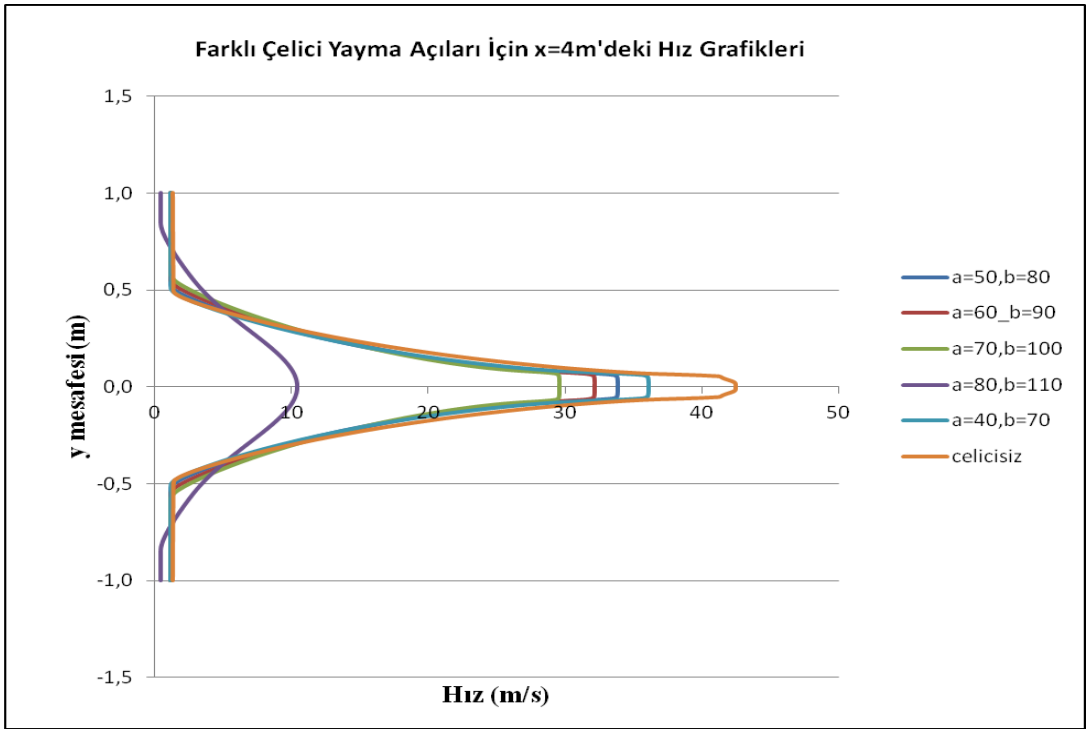


Şekil 5.17: a=80°, b=110° değerleri için elde edilen hız dağılımı.

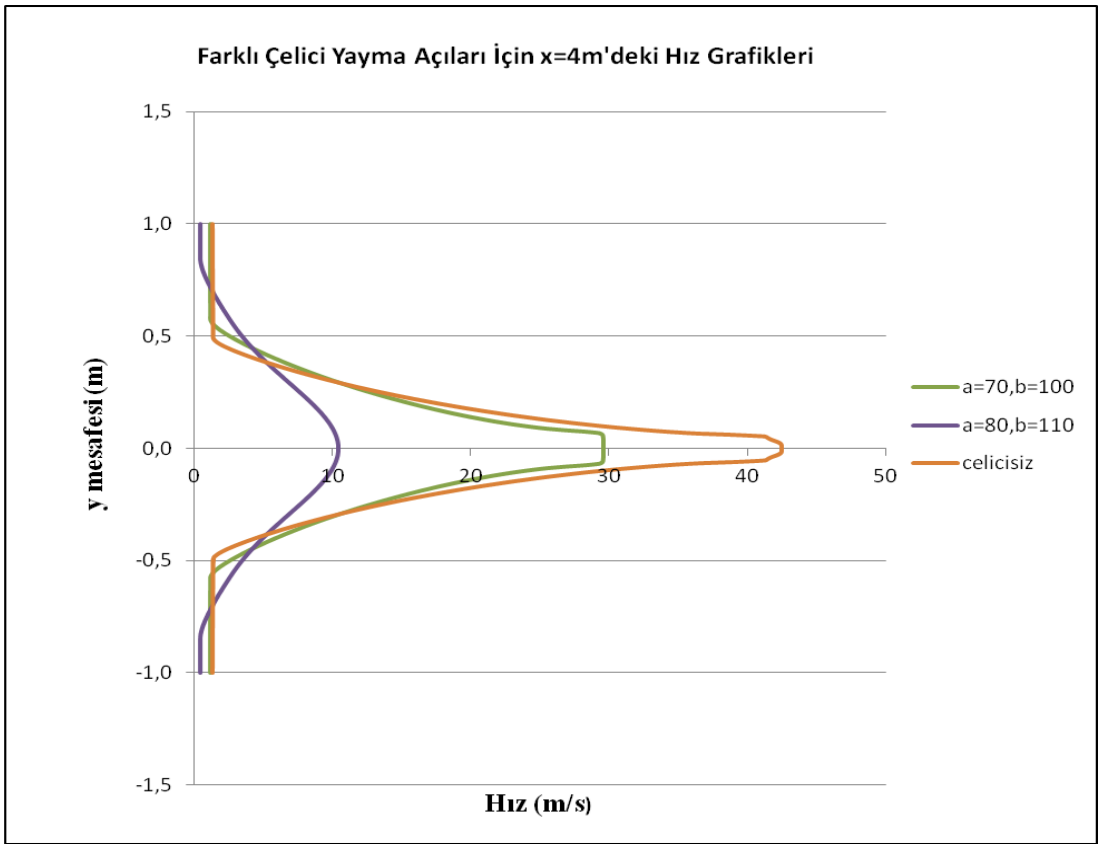
Çelici açısının su şemsiyesi akışına etkisi şekillerde görülmektedir. Su şemsiyesi akışında sağlanmak istenen aynı anda daha fazla alana müdahale etmektir. Çelici açısı arttırıldığında su çıkış hızı azalmaktadır. Su çıkış hızının atma mesafesini doğrudan etkilediğinden su çıkış hızının belli bir limitin altına düşmemesi gerekir.



Şekil 5.18: Farklı a ve b açı değerleri için nozul çıkışından 1m mesafede elde edilen hız profilleri.



Şekil 5.19: Farklı a ve b açı değerleri için nozul çıkışından 1m mesafede elde edilen hız profilleri.

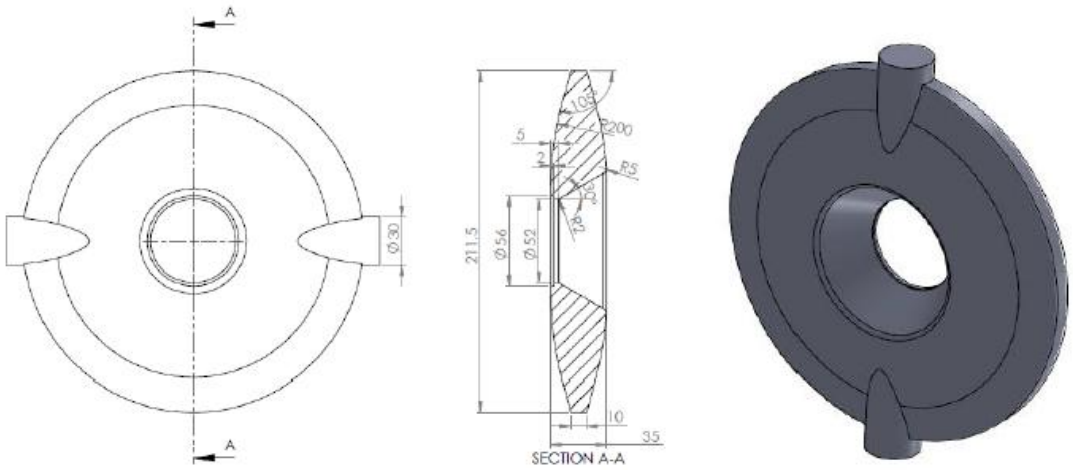


Şekil 5.20: a=70°,b=100°; a=80°,b=110° değerlerinde ve çelici kullanılmadığında nozul çıkışından 4m mesafede elde edilen hız profilleri.

6. KISIK DEBİDE JET AKIŞI

6.1 Debi Kısma Mekanizmasında Kullanılan Klape

Yangın monitörlerinde istenen akışlardan biri de kısık debide jet akışıdır. Loyd kurallarına göre köpük operasyonu sırasında düşük debi istenir. Debi kısma işlemi için klape tam kapalı hale getirilir. Şekil 6.1'de debi kısma mekaniması için kullanılan klapenin ölçüleri verilmiştir. Bu klape modeline karar verme aşamasında dört farklı model denenmiş ve jet akışına etkisi incelenip bu modelin kullanılmasına karar verilmiştir. Klapenin delik çapı ölçüsünü belirlemek için yangın monitörü çalışma basıncı olarak alınan 9 bar değerinde yapılan analizler sonucu istenen debiye 52mm çap ölçüsünde ulaşıldığı görülmüştür.



Şekil 6.1: Klapenin boyutsal ölçüleri.

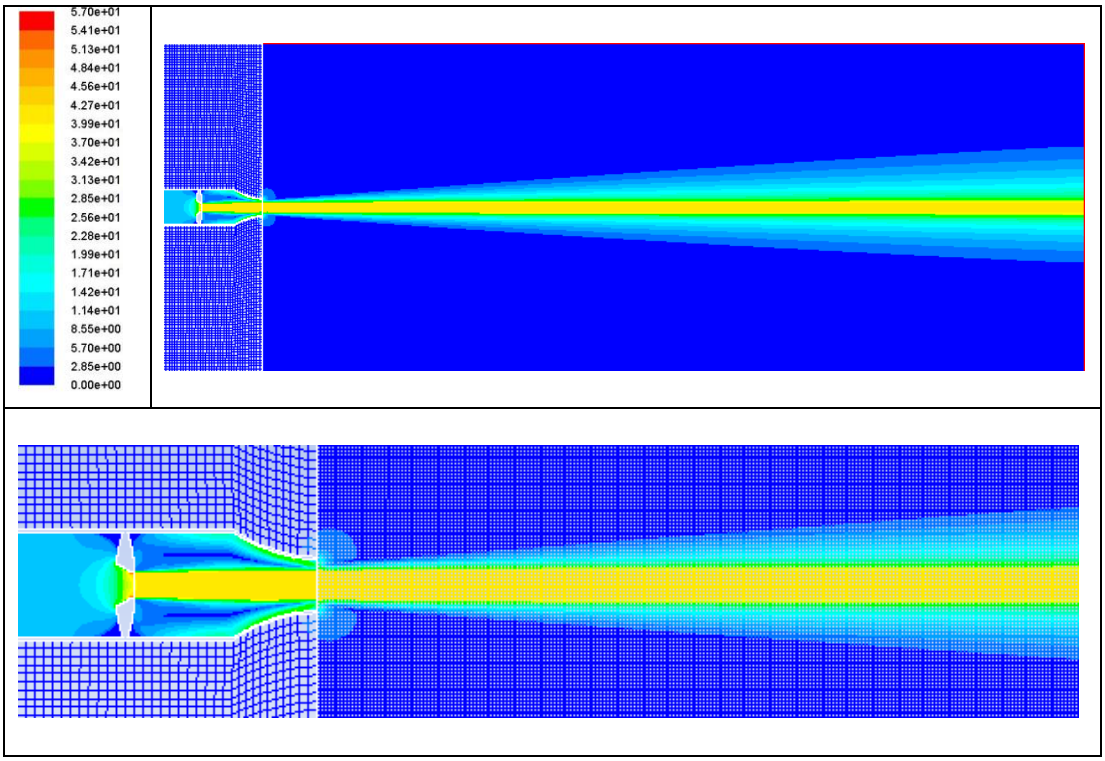
6.2 Kısık Debi Mekanizması Üzerine Optimizasyon Çalışmaları

Kısık debi akışında ortaya çıkan sorunlardan biri ise suyun nozul çıkışından dağılmadan çıkıp çıkamayacağı idi. Bunun için klapeden hemen sonra nozul çevresi boyunca çekvalf kullanılmasına karar verilmiştir. Çekvalf kullanılmasının amacı kısık debili jet akışı sırasında klape çıkışında meydana gelen vakumum etkisiyle çekvalfler vasıtasıyla dışarıdan hava emilimini sağlamaktır.

Çekvalf kullanılarak nozul içinde atmosfer şartlarını sağlamak hedeflenmiştir. Bu durumun nozul çıkışında jet akışının yayılmasına engel olacağı düşünülmüştür. Her ne kadar kulağa tuhaf gelse de yapılan testler bu düşünceyi destekler nitelikte sonuç vermiştir. Fakat oluşan vakumun çekvalfleri çalıştırmak için yetersiz kalması nedeniyle testler çekvalflerin monte edildiği boşlukların tam açık hali ve körlenmiş hali için yapılmıştır.

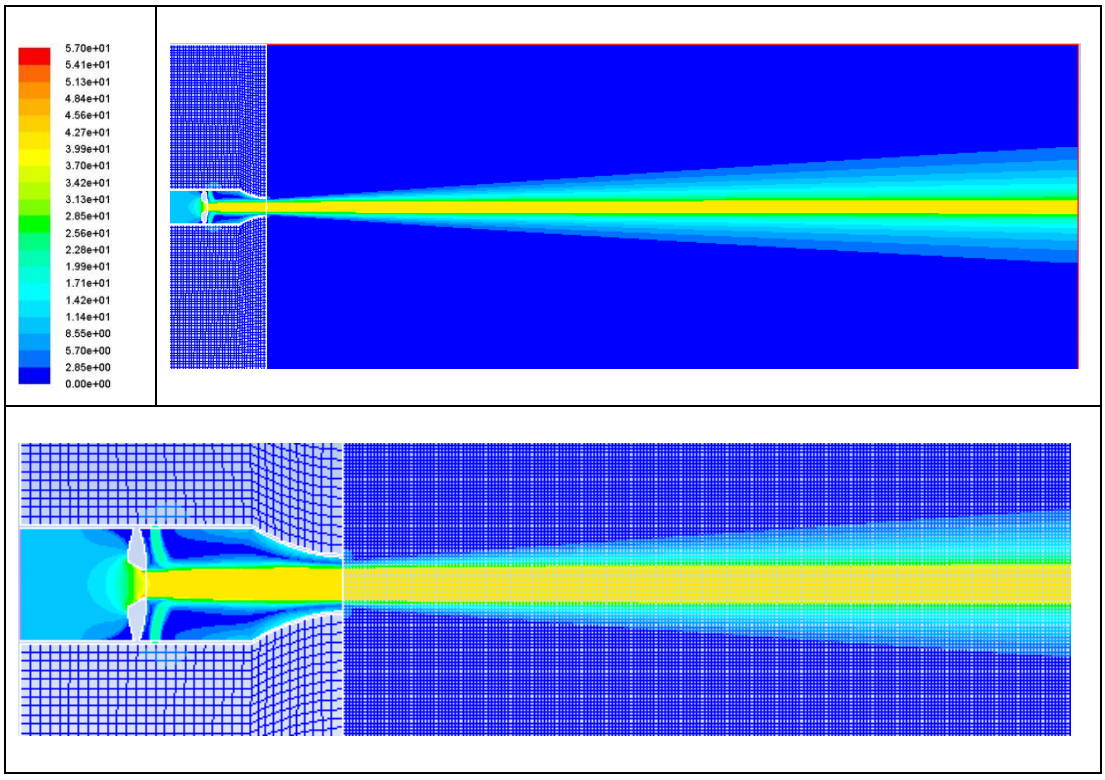
Şekil 6.2'de çekvalf kullanılmadığında nozul içinde ve nozul çıkışında oluşan hız vektörlerinin dağılımı görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi nozul çıkışında jet akışını bozucu etki gösterebilir nitelikte olan hava hareketleri görülmektedir.

Şekil 6.3'te çekvalf kullanıldığında nozul içinde ve nozul çıkışında oluşan hız vektörlerinin dağılımı görülmektedir. Şekil 6.2 ile kıyaslandığında nozul çıkışında meydana gelen hava hareketlerinin daha az ve bu nedenle jet akışını bozucu etkisinin daha az olacağı söylenebilir.

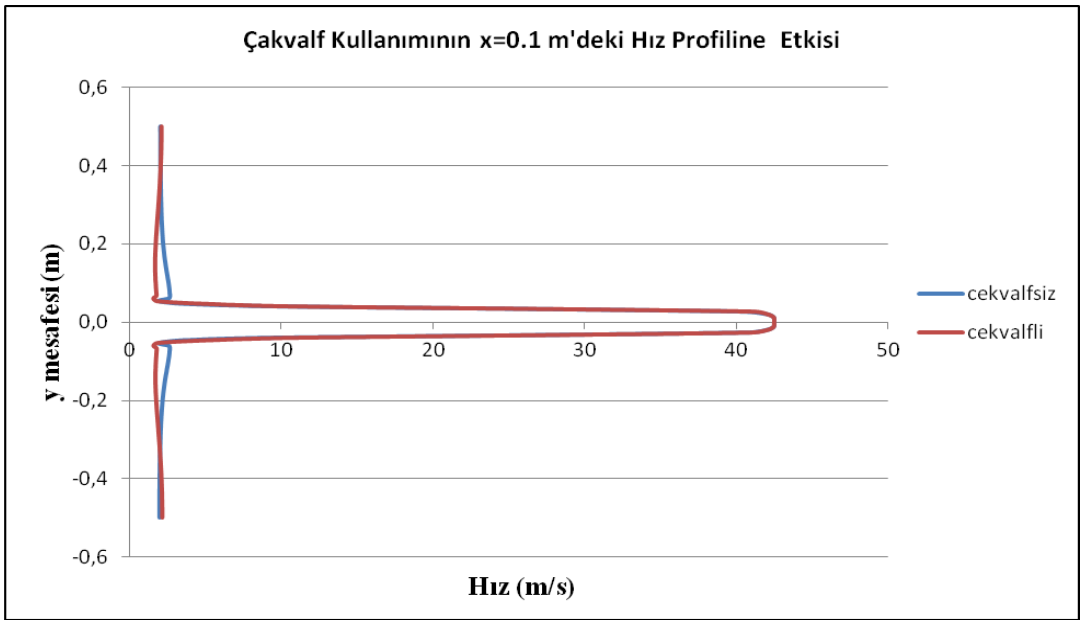


Şekil 6.2: Çekvalf kullanılmadığında elde edilen hız dağılımı.

Nozul çıkışında meydana gelen jet akışını bozucu bu hava hareketlerini azaltmak için nozul boyunun kısaltılması da söz konusudur. Böyle bir çözüm akışkan ile cidar arasındaki mesafeyi arttırıp nozul içinde oluşan vakumu azaltacaktır. Bu sayede nozul çıkışında meydana gelen hava hareketi da azalacaktır denebilir.

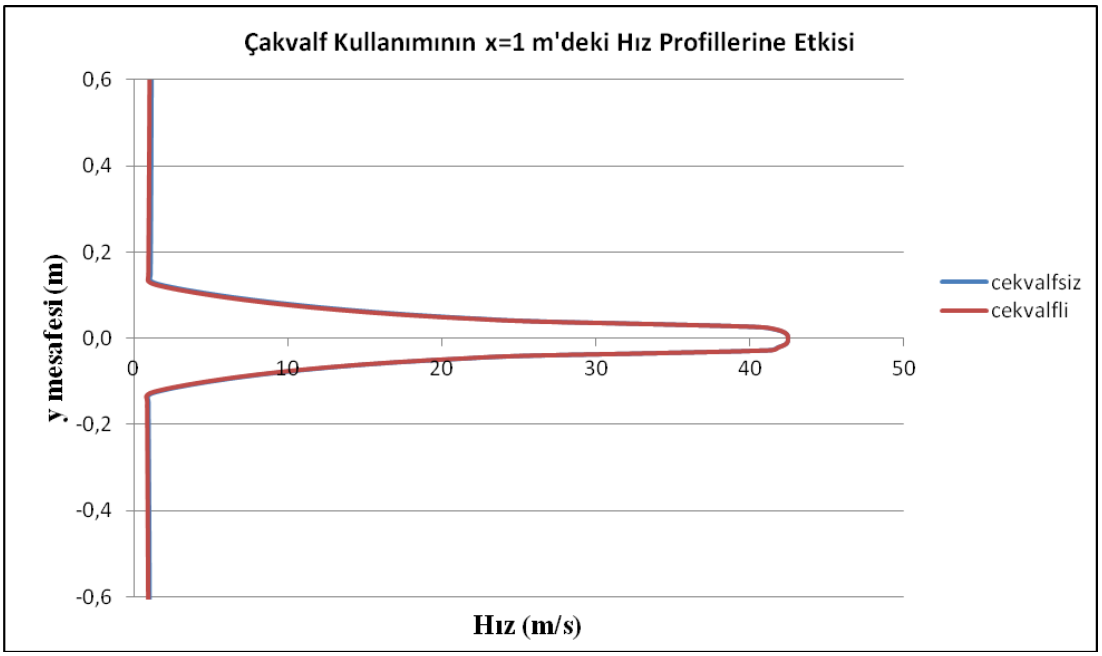


Şekil 6.3: Çekvalf kullanıldığında elde edilen hız dağılımı**.**

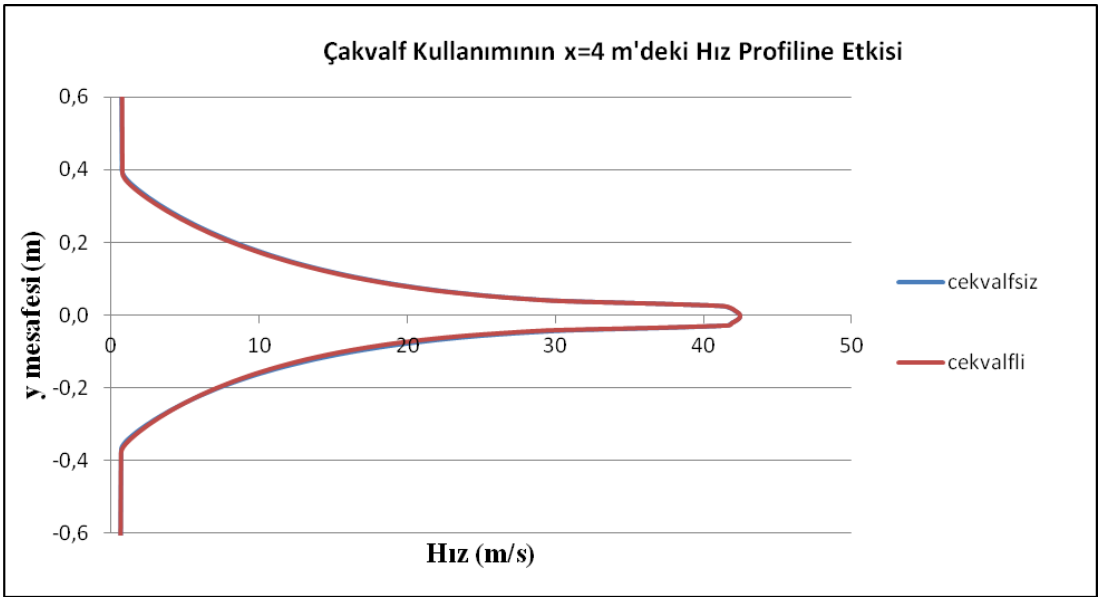


Şekil 6.4: Çekvalf kullanımının nozul çıkışından 0.1m mesafedeki hız profillerine etkisi.

Şekil 6.4'te çekvalf kullanılması ve çekvalf kullanılmaması durumlarında nozul çıkışından 0.1 m mesafede elde edilen hız profilleri verilmiştir. Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da ise sırasıyla nozul çıkışından 1m ve 4m mesafede oluşan hız profilleri görülmektedir.



Şekil 6.5: Çekvalf kullanımının nozul çıkışından 1m mesafedeki hız profillerine etkisi.



Şekil 6.6: Çekvalf kullanımının nozul çıkışından 4m mesafedeki hız profillerine etkisi.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada yangın monitörlerinde kullanılan akış çeşitleri incelenmiş ve bu akış çeşitlerini sağlamak için kullanılan yöntemler hakkında bilgi verilmiştir. Ansys Fluent programı kullanılmış ve iki fazlı model olarak da VOF modeli kullanılmıştır.

Çalışmaya ilk olarak geniş bir kullanım alanı olan VOF metodu ile yapılan akademik çalışmalar hakkında bilgi verilerek başlanmıştır. Daha sonra harici yangın söndürme sistemlerinin ana parçası olan yangın monitöründe kullanılan akış çeşitleri hakkında bilgi verilmiştir. Bu akış çeşitleri belirlenirken ilgili klass kuruluşlarının harici yangın söndürme sistemlerinin çalışması ile ilgili öne sürdüğü kurallar temel alınarak çalışmalar bu yönde sürdürülmüştür.

Jet akışı üzerine yapılan çalışmalar ters pelton olarak adlandırılan nozulun performansının diğerlerine gore daha üstün olduğunu göstermiştir. Aynı basınç değerlerinde diğer nozullara gore daha çok debi sağlayıp daha az tepki kuvveti oluşturduğu bu bölümde belirtilmiştir. Nozul geometrisinin nozul çıkışındaki hız profillerine etkisi konusu çalışılmış ve hem iki hem de üç boyutlu sonuçlar nozul geometrisinin jet akışı hız profillerini değiştirmediğini göstermiştir.

Su şemsiyesi akışında ise iki yöntem denenmiştir bunlardan ilkinde kelebek vana klapesi farklı açıklıklarda tutularak açının değişmesiyle elde edilen çıkış hız değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca asıl amaç olan su şemsiyesi akışı için en ideal açıların 30° ve 40° olduğu görülmüştür. Fakat atma mesafesi açısından düşünüldüğünde ise daha düşük açı değerlerinde daha az yayılım sağlayan fakat daha yüksek su çıkış hızına ulaşıldığı görülmüştür.

Su şemsiyesi akışında kullanılan ikinci yöntem ise çelici kullanılması olmuştur. Çelicinin farklı konumlarda tutulmasının çıkış hız profiline etkisi incelenmiştir. En fazla yapılımın çelicinin nozul çıkışından +x yönünde 100mm uzaklıkta tutulduğunda en fazla yayılımın sağlandığı aynı zamanda en yüksek hız değerlerine bu noktada ulaşıldığı görülmüştür. 200mm uzaklık için elde edilen sonuçların

100mm sonuçlarıyla çok yakın olduğu görülmüştür. Çeliciyi hareket ettiren mekanizmanın mukavemeti açısından düşünüldüğünde çelicinin 100mm mesafede tutulmasının daha doğru olduğuna karar verilmiştir. Ayrıca bu bölümde çelicinin a ve b açı değerlerinin yayılıma ve su çıkış hızlarına etkisi incelenmiştir. Sırasıyla a ve b değerleri 80° ve 110° alındığında nozul çıkışından 4m sonraki hızın 12m/s değerine kadar düştüğü görülmüştür.

Son olarak ise kısık debide jet akışı konusu çalışılmıştır. Debi kısma mekanizmasında kullanılan klape dizaynına karar verilirken ilk olarak piyasada kullanılan kelebek vana klapeleri incelenmiş ve dört model belirlenip bunların jet akışına etkisi hesaplanın uygun modelde karar kılınmıştır. Klape delik çapı ise istenen basınçta gerekli debiyi sağlayacak şekilde hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

[1] **C. W. Hirt, B. D. Nichols** (1981) 'Volume of fluid (VOF) method for dynamics of free boundaries' Los Alamos Scientific Laboratory, Los Alamos, New Mexico

[2] **C. de Jouette, J.M. Le Gouez, O. Put, S. Rigaud** 'Volume of fluid method (VOF) applied to non-linear wave problems on body-fitted grids' Port de Bregaillon, La seyne Sur Mer.

[3] **Suho Shin, Woo Il Lee** (2000) 'Finite element analysis of incompressible viscous flow with moving free surface by selective volume of fluid method' Department of Mechanical Engineering, Seoul National University, South Korea

[4] **Mark Sussman** (2003) A second order coupled level set and volume-of-fluid method for computing growth and collapse of vapor bubbles' Florida State University, Tallahassee, USA

[5] **K.M.T. Kleefsman, G. Fekken, A.E.P. Veldman, B. Iwanowski, B. Buchner** (2005) 'A Volume-of-Fluid based simulation method for wave impact problems' Department of Mathematics and Computing Science, University of Groningen, The Netherlands

[6] **S.M. Mousavi, A. Jafari, S.Yaghmaei, M. Vossoughi, P. Sarkomaa** (2006) 'Computer simulation of fluid motion in a porous bed using a volume of fluid method: Application in heap leaching' Department of Chemical and Petroleum Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

[7] **Vinay R. Gopala, Berend G.M. van Wachem** (2008) 'Volume of fluid methods for immscible-fluid and free-surface flows' Department of Applied Mechanics, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden

[8] **Y. Haroun, D. Legendre, L. Raynal** (2010) 'Volume of fluid method for interfacial reactive mass transfer: Application to stable liquid film' Universite de Toulouse, France

[9] **Zhiliang Gao, Dracos Vassalos, Qiuxin Gao** (2010) 'Numerical simulation of water flooding into a damaged vessel's compartment by the volume of fluid method. Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Universities of Glasgow and Strathcly, UK

[10] **Vedanth Srinivasan, Abraham J. Salazar, Kozo Saito**(2011) 'Modeling the disintegration of modulated liquid jets using volume-of-fluid (VOF) methodology' Department of Mechanical Engineering, University of Kentucky, USA

[11] **Chen Ma, Dieter Bothe** (2011) 'Direct numerical simulation of thermocapillary flow based on the Volume of Fluid method' Mathematical Modeling and Analysis, Center of Smart Interfaces, TU Darmstadt, Germany

[12] ANSYS FLUENT 12.0 Theory Guide

[13]< http://www.fifisystems.com/>, alındığı tarih 03.08.2012

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Gülçin BİR

Doğum Yeri ve Tarihi: Rize/03.01.1988

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü 2009 mezunu.