

**T.C**  
**İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SAYISAL YÖNTEMLER KULLANILARAK SULARIN  
HAVALANDIRILMASINDA YENİ VENTURİ AYGITI TASARIMLARIN  
ARAŞTIRILMASI**

**İSA CİCİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**TEMMUZ 2019**

**T.C**  
**İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SAYISAL YÖNTEMLER KULLANILARAK SULARIN  
HAVALANDIRILMASINDA YENİ VENTURİ AYGITI TASARIMLARIN  
ARAŞTIRILMASI**

**İSA CİCİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**TEMMUZ 2019**

## **Onay sayfası**

Tezin Başlığı: Sayısal Yöntemler Kullanılarak Suların Havalandırılmasında Yeni Venturi Aygıtı Tasarımların Araştırılması

Tezi Hazırlayan: İsa Cici

Sınav Tarihi: 18.07.2019

Yukarda adı geçilen tez jürimizce değerlendirilerek İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

## **Sınav Jüri Üyeleri**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ö. Faruk DURSUN** .....

İnönü Üniversitesi

**Prof. Dr. M. Emin EMİROĞLU** .....

Fırat Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Tacettin GEÇKİL** .....

İnönü Üniversitesi

**Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL**

Enstitü Müdürü

## ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Sayısal Yöntemler Kullanılarak Suların Havalandırılmasında Yeni Venturi Aygıtı Tasarımların Araştırılması” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım’’

İsa Cici

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### SAYISAL YÖNTEMLER KULLANILARAK SULARIN HAVALANDIRILMASINDA YENİ VENTURİ AYGITI TASARIMLARIN ARAŞTIRILMASI

İsa Cici

İnönü Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
73+xiii sayfa

2019

Danışman: Doç. Dr. Ö. Faruk DURSUN

Suların kalitesi ile bünyesinde eriyik halde bulunan oksijen oranı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Durgun suların içerisindeki canlı yaşamı, zamanla oksijen miktarının azalmasına sebep olur. Sular hidrolik yapılar yardımıyla havalandırılarak zehirli gazlardan temizlenebilir ve oksijen bakımından zenginleştirilebilir. Bu amaçla günümüzde birçok çalışma yapılmaktadır. Venturi aygıtları sanayi, ziraat, arıtma tesisleri ve sağlık alanları gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada suların havalandırılmasında kullanılan venturi aygıtlarının havalandırma verimleri araştırılmıştır. Bunun için venturi aygıtının dairesel ve elips kesitli geometrileri kullanılmıştır. Bu venturi tasarımları üzerinde farklı havalandırma bacaları da dizayn edilmiştir. Tasarlanan bu venturi modelleri için sayısal ortamda analizler yapılmıştır. Çalışma kapsamında bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı olan Ansys-Fluent yazılımı ile toplam 240 adet sayısal çalışma yapılmıştır. Elde sonuçlar karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Venturimetre, Oksijen transferi, Kütle transferi, Suların havalandırılması, Sayısal analiz, HAD.

## **ABSTRACT**

Investigation of New Venture Device Desings For Aeration of Water Using  
Numerical Methods

İsa Cici

İnönü University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

73+xiii sayfa

2019

Supervisor: Doç. Dr. Ö. Faruk DURSUN

There is a linear relationship between the quality of the water and the dissolved oxygen content. The life in motionless waters causes the amount of oxygen to decrease in time. Water can be cleaned from toxic gases and can be enriched oxygen content by using hydraulic structures. For this purpose, many studies have been done today. Venturi devices are used in many fields such as industry, agriculture, treatment plants and healthcare.

In this study, aeration efficiency of venturi devices used in water aeration was investigated. For this purpose, the circular and elliptical geometries of the venturi devices are used. Different vent shafts are also designed on these venturi designs. For these designed venturi models, numerical analyzes were performed. In the study, a total of 240 numerical studies were performed with Ansys-Fluent software, which is a Computational Fluid Dynamics (HAD) software. The results were compared and interpreted.

Keywords: Venturimeter, Oxygen transfer, Mass transfer, Water aeration, Numerical analysis, CFD.

## TEŞEKKÜR

Tez ve bilimsel anlamda çalışmayı yönelen ve çalışmalarım sırasında büyük desteği ve emeği geçen danışman hocam Doc. Dr. Ö. Faruk Dursun hocama ve tez çalışmalarımda maddi manevi beni destekleyen aileme teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca bu tez çalışmasının sayısal analiz aşamalarında değerli zamanlarını ayırarak büyük katkı sunan Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Erdoğan ve Prof. Dr. M. Cihan Aydın'a teşekkür ederim. Bu tezi FYL-2018-1214 kod numaralı proje ile destekleyen İnönü Üniversitesi BAP birimine teşekkürü bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

|                                                                  |                                         |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>ÖZET .....</b>                                                | <b>v</b>                                |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                            | <b>vi</b>                               |
| <b>TEŞEKKÜR .....</b>                                            | <b>vii</b>                              |
| <b>İÇİNDEKİLER.....</b>                                          | <b>viii</b>                             |
| <b>SİMGELER VE KISALTMALAR.....</b>                              | <b>ix</b>                               |
| <b>ŞEKİLLER DİZİNİ.....</b>                                      | <b>x</b>                                |
| <b>ÇİZELGELER DİZİNİ.....</b>                                    | <b>xiii</b>                             |
| <b>1. Giriş.....</b>                                             | <b>1</b>                                |
| <b>2. Kaynak Özetleri.....</b>                                   | <b>3</b>                                |
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>                                | <b>8</b>                                |
| 3.1 Materyal (Sayısal Yöntemler) .....                           | 8                                       |
| 3.1.1 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Yazılımları .....    | 8                                       |
| 3.1.2 Fluent Programı.....                                       | 8                                       |
| 3.1.3 Fluent’te Çok Fazlı Akım Problemlerinin Modellenmesi ..... | 14                                      |
| (Multiphase Flows).....                                          | 14                                      |
| 3.1.4 Ağ Yakınsama İndeksi (Grid Convergence Index-GCI) .....    | 22                                      |
| 3.2 Yöntem .....                                                 | 23                                      |
| 3.2.1 Venturi aygıtı .....                                       | 23                                      |
| 3.2.2 Geometri .....                                             | 24                                      |
| 3.2.3 Ağ Yapısı .....                                            | 27                                      |
| 3.2.4 Setup .....                                                | 32                                      |
| 3.2.5 Solution .....                                             | 37                                      |
| <b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>                               | <b>40</b>                               |
| <b>5. SONUÇ .....</b>                                            | <b>70</b>                               |
| <b>6. Kaynaklar .....</b>                                        | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| <b><u>Ek-1</u> .....</b>                                         | <b>74</b>                               |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

|               |                                                                       |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------|
| HAD           | Hesaplamalı akışkanlar dinamiği                                       |
| CFD           | Computational fluid dynamics                                          |
| UBSA          | Uyarlamalı bulanık sinir ağları                                       |
| YSA           | Yapay sinir ağları                                                    |
| GCI           | Ağ yakınsama indeksi                                                  |
| LDA           | Lazer poppler anemometresi                                            |
| ASMM          | Cebirsel kayma karışım modeli(Algeric slip mixture model)             |
| $k$           | Türbülans kinetik enerjisi                                            |
| $\rho$        | Suyun özgül kütlesi                                                   |
| $\sigma$      | Basınç gerilmesi                                                      |
| $\mu$         | Dinamik viskozitesi                                                   |
| $\varepsilon$ | kinetik enerji kayıp oranı                                            |
| $\eta$        | Türbülans ve kinetik enerjisinin üretimi ve kayıp oranının fonksiyonu |
| $\beta$       | Türbülans model sabiti                                                |
| $\Omega_{ij}$ | Dönme miktarı                                                         |
| $\varphi$     | Basınç-şekil değiştirme korelasyon terimi                             |
| $G_b$         | Yüzdürme nedeni ile türbülans kinetik enerjisi oluşturma              |
| $D$           | Venturi giriş çapı (m)                                                |
| $D_t$         | Venturi boğaz çapı (m)                                                |
| $g$           | Yerçekimi ivmesi ( $m/s^2$ )                                          |
| $Q_a$         | Hava debisi ( $m^3/s$ )                                               |
| $Q_w$         | Su debisi ( $m^3/s$ )                                                 |
| $Q_m$         | (su+ hava) debisi ( $m^3/s$ )                                         |
| $R$           | Reynolds sayısı                                                       |
| $v_1$         | Venturinin girişteki akışkan hızı (m/s)                               |
| $v_2$         | Venturinin boğaz kısmındaki akışkan hızı (m/s)                        |
| $\theta_1$    | Venturi giriş koni açısı (derece)                                     |
| $\theta_2$    | Venturi çıkış koni açısı (derece)                                     |
| $\gamma$      | Suyun birim ağırlığı                                                  |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                |                                                                   |    |
|----------------|-------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.1.2.1  | Çözüm Algoritması.....                                            | 11 |
| Şekil 3.1.3.1  | Serbest Yüzeyle Akım Modeli.....                                  | 16 |
| Şekil 3.1.3.2  | Kavitasyon Modeli .....                                           | 17 |
| Şekil 3.1.3.3  | Fluent Çözümleme Aşamaları.....                                   | 18 |
| Şekil 3.1.3.4  | Geometri Çizim Sayfası.....                                       | 18 |
| Şekil 3.1.3.5  | Yüzey Alanı Seçimi.....                                           | 19 |
| Şekil 3.1.3.6  | Sketching Sayfası (Çizim Yeri).....                               | 19 |
| Şekil 3.1.3.7  | Yeni Plan Sayfası.....                                            | 20 |
| Şekil 3.1.3.8  | İki Planın Skın/Loft İle Birleşimi .....                          | 21 |
| Şekil 3.1.3.9  | Geometrinin Extrude Yapılmış Hali .....                           | 21 |
| Şekil 3.2.1.1  | Bir Venturi Modelinin Teorik Değişkenleri.....                    | 23 |
| Şekil 3.2.2.1  | Venturi Borusunun Parçaları Ve Hava Sürüklemeye Mekanizması ...   | 24 |
| Şekil 3.2.2.2  | Dd Kodlu Venturinin Boğaz Kısımının Görünümü .....                | 25 |
| Şekil 3.2.2.3  | Dd2 Kodlu Venturinin Boğaz Kısımının Görünümü.....                | 26 |
| Şekil 3.2.2.4  | E1ç Kodlu Venturinin Boğaz Kısımının Görünümü .....               | 26 |
| Şekil 3.2.2.5  | E1ç2 Kodlu Venturinin Boğaz Kısımının Görünümü .....              | 26 |
| Şekil 3.2.2.6  | E1d Kodlu Venturinin Genel Geometri Görünümü .....                | 27 |
| Şekil 3.2.3.1  | Mesh Yapısını Parçalara Seçmek .....                              | 28 |
| Şekil 3.2.3.2  | Mesh Ağ Oluşması .....                                            | 28 |
| Şekil 3.2.3.3  | Ağ Yapısı .....                                                   | 29 |
| Şekil 3.2.3.4  | Ağ Yapısı Boğaz Kısımını .....                                    | 29 |
| Şekil 3.2.3.5  | Ağ Yapısı Genel Görünümü.....                                     | 30 |
| Şekil 3.2.3.6  | Sınır Şartlarını Fluent Yazılımında Verilerin Girilme Şekli ..... | 30 |
| Şekil 3.2.3.7  | Giriş Kısımını Tanımlama.....                                     | 31 |
| Şekil 3.2.3.8  | Hava Giriş Kısımını .....                                         | 31 |
| Şekil 3.2.3.9  | Çıkış Kısımını.....                                               | 31 |
| Şekil 3.2.3.10 | Duvar Yüzeyi .....                                                | 32 |
| Şekil 3.2.4.1  | Setup Giriş'te İlk Çıkan Sayfa .....                              | 32 |
| Şekil 3.2.4.2  | Setup Giriş Sayfası .....                                         | 33 |
| Şekil 3.2.4.3  | Models Sayfası .....                                              | 34 |
| Şekil 3.2.4.4  | Multiphase Model Sayfası .....                                    | 34 |
| Şekil 3.2.4.5  | Viscous Model Sayfası .....                                       | 35 |
| Şekil 3.2.4.6  | Create/Edit Materials Sayfası.....                                | 36 |
| Şekil 3.2.4.7  | Phases Sayfası .....                                              | 36 |
| Şekil 3.2.4.8  | Boundary Conditions Sayfası.....                                  | 37 |
| Şekil 3.2.5.1  | Solution Methods Sayfası .....                                    | 37 |
| Şekil 3.2.5.2  | Monitors Sayfası.....                                             | 38 |

|               |                                                                |    |
|---------------|----------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.2.5.3 | Run Calculation Sayfası.....                                   | 39 |
| Şekil 4. 1    | E1ç Kodlu Venturi Modelin Statik Basınç Dağılımı.....          | 40 |
| Şekil 4. 2    | E1ç Venturi Modelin Üç Boyutlu Statik Basınç Dağılımı.....     | 40 |
| Şekil 4. 3    | E1ç2 Venturi Modelin Statik Basınç Dağılımı .....              | 41 |
| Şekil 4. 4    | E1ç2 Venturi Modelin Üç Boyutlu Statik Basınç Dağılımı.....    | 41 |
| Şekil 4. 5    | E1d Venturi Modelin Statik Basınç Dağılımı .....               | 42 |
| Şekil 4. 6    | E1d Venturi Modelin Üç Boyutlu Statik Basınç Dağılımı .....    | 42 |
| Şekil 4. 7    | E1d2 Venturi Modelin Statik Basınç Dağılımı .....              | 42 |
| Şekil 4. 8    | E1d2 Venturi Modelin Üç Boyutlu Statik Basınç Dağılımı.....    | 43 |
| Şekil 4. 9    | Dd Kodlu Venturi Modelin Yüzey Planı Statik Basınç Dağılımı    | 43 |
| Şekil 4. 10   | Dd Kodlu Venturi Modelin Üç Boyutlu Statik Basınç Dağılımı .   | 44 |
| Şekil 4. 11   | E1ç Kodlu Venturi Modelin Türbülans Yoğunluğu .....            | 45 |
| Şekil 4. 12   | E1ç Kodlu Venturi Modelin Türbülans Yoğunluğu .....            | 45 |
| Şekil 4. 13   | E1ç2 Kodlu Venturi Modelin Türbülans Yoğunluğu .....           | 46 |
| Şekil 4. 14   | E1d Kodlu Venturi Modelin Türbülans Yoğunluğu .....            | 46 |
| Şekil 4. 15   | E1d2 Kodlu Venturi Modelin Türbülans Yoğunluğu .....           | 46 |
| Şekil 4. 16   | E1d2 Kodlu Venturi Modelin Türbülans Yoğunluğu .....           | 47 |
| Şekil 4. 17   | E1ç Kodlu Venturi Modelin Su Faz Dağılımı Yüzey Planı.....     | 47 |
| Şekil 4. 18   | Kodlu Venturi Modelin Su Faz Dağılımı Üç Boyutlu Gösterimi ... | 48 |
| Şekil 4. 19   | E1ç2 Kodlu Venturi Modelin Su Faz Dağılımı Gösterimi .....     | 48 |
| Şekil 4. 20   | E1ç2 Kodlu Venturi Modelin Su Faz Dağılımı .....               | 48 |
| Şekil 4. 21   | E1d Kodlu Venturi Modelin Su Faz Dağılımı .....                | 49 |
| Şekil 4. 22   | E1d Kodlu Venturi Modelin Su Faz Dağılımı .....                | 49 |
| Şekil 4. 23   | E1d2 Kodlu Venturi Modelin Su Faz Dağılımı Gösterimi .....     | 49 |
| Şekil 4. 24   | E1d2 Kodlu Venturi Modelin Su Faz Dağılımı .....               | 50 |
| Şekil 4. 25   | E1ç Kodlu Venturi Modelin Su Faz Dağılımı Gösterimi .....      | 50 |
| Şekil 4. 26   | E1ç Kodlu Venturi Modelin Su Faz Dağılımı .....                | 51 |
| Şekil 4. 27   | E1ç2 Kodlu Venturi Modelin Su Faz Dağılımı Gösterimi .....     | 51 |
| Şekil 4. 28   | E1ç2 Kodlu Venturi Modelin Su Faz Dağılımı .....               | 51 |
| Şekil 4. 29   | E1d Kodlu Venturi Modelin Su Faz Dağılımı Gösterimi .....      | 52 |
| Şekil 4. 30   | E1d Kodlu Venturi Modelin Su Faz Dağılımı .....                | 52 |
| Şekil 4. 31   | E1d2 Kodlu Venturi Modelin Su Faz Dağılımı .....               | 52 |
| Şekil 4. 32   | E1d2 Kodlu Venturi Modelin Su Faz Dağılımı Gösterimi .....     | 53 |
| Şekil 4. 33   | E1ç Kodlu Venturi Modelin Yoğunluğunun Gösterimi .....         | 54 |
| Şekil 4. 34   | E1ç Kodlu Venturi Modelin Yoğunluğu.....                       | 54 |
| Şekil 4. 35   | E1ç2 Kodlu Venturi Modelin Yoğunluğu.....                      | 54 |
| Şekil 4. 36   | E1ç2 Kodlu Venturi Modelin Yoğunluğu .....                     | 55 |
| Şekil 4. 37   | E1d Kodlu Venturi Modelin Yoğunluğunun Gösterimi .....         | 55 |
| Şekil 4. 38   | E1d Kodlu Venturi Modelin Yoğunluğu .....                      | 55 |
| Şekil 4. 39   | E1d2 Venturi Modelin Yoğunluğunun Yüzey Planının Gösterimi .   | 56 |
| Şekil 4. 40   | E1d2 Venturi Modelin Yoğunluğunun Üç Boyutlu Gösterimi .....   | 56 |
| Şekil 4. 41   | E1ç Kodlu Venturi Modelin Hız Vektörlerinin Gösterimi .....    | 57 |
| Şekil 4. 42   | E1ç Kodlu Venturi Modelin Hız Vektörleri .....                 | 57 |
| Şekil 4. 43   | E1ç Kodlu Venturi Modelin Hız Vektörleri.....                  | 58 |

|             |                                                                                                                |    |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4. 44 | E1ç2 Kodlu Venturi Modelin Hız Vektörleri.....                                                                 | 58 |
| Şekil 4. 45 | E1ç2 Kodlu Venturi Modelinin Hız Vektörleri.....                                                               | 59 |
| Şekil 4. 46 | E1ç2 Kodlu Venturi Modelin Hız Vektörlerinin Detay Görünümü                                                    | 59 |
| Şekil 4. 47 | E1d Kodlu Venturi Modelin Hız Vektörleri .....                                                                 | 60 |
| Şekil 4. 48 | E1d Kodlu Venturi Modelin Hız Vektörleri .....                                                                 | 60 |
| Şekil 4. 49 | E1d2 Kodlu Venturi Modelin Hız Vektörleri .....                                                                | 60 |
| Şekil 4. 50 | E1d2 Kodlu Venturi Modelin Hız Vektörleri .....                                                                | 61 |
| Şekil 4. 51 | Dd Kodlu Venturi Modelin Hız Vektörleri.....                                                                   | 61 |
| Şekil 4. 52 | Dd Kodlu Venturi Modelin Üç Boyutlu Hız Vektörleri .....                                                       | 61 |
| Şekil 4. 53 | Kesit Alanı 1017.88 mm <sup>2</sup> Olan Venturilerin Qa/Qm Oranları .....                                     | 62 |
| Şekil 4. 54 | Kesit Alanı 1385.44 mm <sup>2</sup> Olan Venturilerin Qa/Qm Oranları .....                                     | 63 |
| Şekil 4. 55 | Kesit Alanı 2290.22 mm <sup>2</sup> Olan Venturilerin Qa/Qm Oranları .....                                     | 64 |
| Şekil 4. 56 | Kesit Alanı 1017.88 mm <sup>2</sup> Olan Venturiler İçin Boğaz Kesitinde<br>Oluşan Ortalama Hız Değerleri..... | 65 |
| Şekil 4. 57 | Kesit Alanı 1385,44 mm <sup>2</sup> Olan Venturilerin Hız Değerlerin.....                                      | 65 |
| Şekil 4. 58 | Kesit Alanı 2290.22 mm <sup>2</sup> Olan Venturilerin Hız Değerlerin.....                                      | 66 |
| Şekil 4. 59 | Kesit Alanı 1017.88 mm <sup>2</sup> Olan Venturilerin Boğaz Kısımındaki<br>Ortalama Basınç Değerleri .....     | 67 |
| Şekil 4. 60 | Kesit Alanı 1385.44 Mm <sup>2</sup> Olan Venturilerin Basınç Değerlerin....                                    | 68 |
| Şekil 4. 61 | Kesit Alanı 2290.22 Mm <sup>2</sup> Olan Venturilerin Basınç Değerlerin....                                    | 69 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|              |                                                                      |    |
|--------------|----------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo .2.2.1 | Venturi aygıtının boyutları, grafikteki ve şekillerdeki kodları..... | 25 |
|--------------|----------------------------------------------------------------------|----|



## 1. Giriş

Su kalitesini belirleyen özellikler; sıcaklık, pH değeri, suya eriyen maddeler, elektriksel iletkenlik, bulanıklık ve çözünmüş oksijen gibi parametreler göre belirlenmektedir. Su içerisindeki oksijen konsantrasyonu bu özellikler içerisinde önemli bir yere sahiptir. Tabii olarak birçok meydana gelen biyolojik faaliyet ve kimyasal reaksiyonlarda oksijen kullanılır. Bundan dolayı su içerisindeki canlı yaşamı oksijen miktarını azaltır. Su içerisindeki oksijen dengesini korumak için atmosferden oksijen alınarak tekrardan suya kazandırmak lazımdır. Fiziksel olarak oksijenin atmosferden alınarak tekrardan suya kazandırılması havalandırma işlemi ile mümkün olmaktadır. Suların havalandırılması işlemleri ile su bünyesine oksijen kazandırmak, karbondioksit kazandırmak veya gidermek, hidrojen sülfür gidermek veya metan gidermek mümkün olmaktadır.

Günümüzde farklı nedenlerle akarsularda ve nehirlerde oluşan çözünmüş oksijen konsantrasyonu eksikliğinin ekolojik dengeyi tehdit ettiği bilinmektedir. Bu kapsamda ekolojik dengeyi muhafaza etmek için akarsularda ve nehirlerde gerekli olan minimum oksijen konsantrasyonunu (5 mg/L) sağlanmalıdır [23]. Akarsular ve nehirler üzerine inşa edilecek olan hidrolik yapılarla havalandırma yapılarak ihtiyaç duyulan çözünmüş oksijen konsantrasyonu suya kazandırılabilir. İnce kenarlı veya kalın kenarlı savaklar, kapaklı veya kapaksız dolu savaklar, kapaklı eşikler ve kapaklı dipsavak çıkış ağızları benzeri gibi hidrolik yapılar ile oksijen kolay bir şekilde sağlanabilmektedir.

Oksijen transferinin çabuk olması için, çok fazla hava kabarcığının su içerisine kazandırılmasına ihtiyaç duyulur. Bu hava kabarcıkları, kütle transferi için sahip olunan yüzey alanını artırır. Hidrolik yapılar ile bir düşü yüksekliği kazandırılmış suyun, mansap tarafındaki su yüzeyine vurulması sonucu atmosferden bulunan hava, su içerisine kazandırılır. Bu şekilde suya hızlı oksijen kazanımı sağlanmış olur. Hidrolik yapılarla yapılan oksijen kazandırılması (havalandırma verimi); su sıcaklığı, su kalitesi, savak üstündeki suyun düşme yüksekliği, mansap su derinliği, hidrolik savak yükü çözünmüş oksijen eksikliği ve savak tipi gibi ana parametrelere bağlıdır.

Birçok nehir ve akarsu doğal ortamda oksijen kazanması için kilometrelerce uzaklığa ihtiyaç duyulmasına rağmen, bu nehir ve akarsular üzerine yapılacak olan bir hidrolik yapı ile oksijen transferi çok hızlı bir şekilde ve az bir maliyetle

sağlanabilir. Yüksek basınçlı iki fazlı akım sistemleri buna bir örnektir. Yüksek basınçlı borular içerisine farklı metotlarla atmosferden hava emmek suretiyle iki fazlı akım sistemleri elde edilir [24]. Bu sistemler içerisine aktarılan hava kabarcıklarının boyutları ne kadar ufak ölçülerde olursa oksijen transferi için sağlanması gerekli olan yüzey alanı da o kadar fazla olur. Yüzey alanını fazla olmasından dolayı oksijen transferi de fazla olur. Ayrıca boru içerisindeki yüksek basınçta oksijen transferinin kolaylaştırır.

Bu çalışmada, su mühendisliğinde oksijen transfer işlemi konusunda mevcut oksijen transferi sistemlerine olarak kullanılan venturi havalandırıcılar araştırılmıştır. Bu sistemlerde iki fazlı yüksek basınçlı akımdan düşük basınçlı akıma dönüşme oluşmaktadır. Bu akım sistemlerinde değişik parametrelere bağlı olarak emilen hava, ufak kabarcıklar halinde sisteme girmektedir. Yukarıda anlatıldığı gibi kabarcıkların ufak olması sebebiyle oksijen transferi için gerekli yüzey alanı ve dolayısıyla oksijen transfer verimi de artacaktır.

Yapılan çalışmada venturi havalandırıcılarında oksijen transferi içinde önemli olan işletim parametreleri tanımlanmış, venturi havalandırıcılarda; farklı boru çapları, farklı venturi geometrileri, farklı hava alma yapıları ve farklı hızlarda su girişi için havalandırma verimleri tespit edilmiştir. Havalandırma verimi ve farklı venturi şekilleri üzerinde ANSYS (Fluent) yazılımı yardımıyla sayısal analizleri yapılmıştır.

HAD analizleri genel bir çözüm algoritması hazırlamak oldukça güç ve çok sayıda kişinin çalışması gerektirecek bir işlemdir. Literatürdeki sayısal çalışmaların çoğunda, her problem için özel bir yöntem vardır. Her bir problem için uğraştırıcı ve karmaşık matematik modeller kurmak yerine bu konuda yılların deneyimini vermiş fluent gibi genel amaçlı HAD yazılımlarının kullanılması çok uygun ve doğru bir karar olacaktır. Bu CFD yazılımdan olan fluent programı kullanılarak venturi üzerinde 240 farklı çalışma analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucu hava emme konsantrasyonu ve basınç farkı incelenmiştir.

## 2. Kaynak Özetleri

Gürcan Gürsoy'un yaptığı çalışmada lüle orifis ve venturimetre boru üzerinde yaptığı laminar ve türbülans akış yönün de bir cidar statik basınç dağılımının debi katsayısı ve basınç kaybı deneysel olarak debi ölçerin geometrisine ve reynolds sayısına bağlı olarak değişimi anlatılmıştır [1].

Fahri Özkan yaptığı çalışmada serbest yüzeyli hava akımlara ait havalandırma özellikleri ve basınçlı boru akımlarına ait havalandırma verim özellikleri ve oksijen transfer verimliliği incelenmiştir. Bu çalışmada basınçlı borularda hava giriş ve oksijen transfer verimliliği anlatılmıştır. Kapaklı konduitlerde kısmen açık olduğu durumlarda meydana gelen düşük basınç havayı kapak mansabındaki delikten içeriye doğru sürükler. Su içerisine giren hava kabarcıkları hızlı bir şekilde kabarcıklara bölünmeye zorlanır. Su içerisinde oksijen çözünmesi bu konduitlerin kapak mansabında oluşan hava emmeden oluşmaktadır. Venturi sisteminde yaptığı çalışmada ise daralan boğaz bölgesine suyun geçişinde hız aniden artması sonucu boğaz bölgesinde basınç negatif olur. Hız değişiminden meydana gelen bu düşük basınç nedeniyle havayı sistemin içerisine sürükler. Sistem içerisine giren hava miktarı venturi girişi ve çıkış geometrisi arasındaki orana bağlı olarak değişir. Venturi tüpünün giriş çapı boğaz bölgesindeki giriş çapına oranı, mansaptaki boru boyu, mansaptaki boru eğimi ve giriş hızının değişimi hava çekme verimliliği deneysel olarak anlatılmıştır. Sonuç olarak venturi tüpleriyle yapılan sistemde hava emme verimliliğin ve oksijen verimliliğin oldukça yüksek olduğu ifade etmişler [2].

Turgut Kaya'nın yaptığı çalışmada venturi savakların hava giriş verimliliğinin etkilerini incelemiştir. Venturi savakların hava giriş açısından daha etkili olduğu ancak havalandırma bakımından venturi savaklar da tip etkisinin önemli olmadığını göstermiştir. Çalışmada hava transfer oranı ve Froude sayısı arasında bağlantılı olarak farklı daralma oranları için ampirik bağlantı oranları elde edilmiştir. Bu çalışma sonucundan elde edilen deney sonuçların dan faydalanarak, yapay zeka metotları yardımıyla, venturi savakların hava giriş oranlarını belirlemek için model gösterilmiştir. Bu amaçla uyarlamalı bulanık sinir ağları (UBSA) ve yapay sinir ağları (YSA) metotları kullanılmış. UBSA model ile belirtilen sonuçların deneysel sonuçların doğruluk payının YSA'dan biraz daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Tahmin edilen ve ölçülen sonuçlar arasında büyük bir uyum olduğu bulunan UBSA metodu venturi savakların hava giriş oranlarına tahminde başarıyla kullanılabilir [3].

Özcan Tuncay çalışmasında venturiden belirli hızlardan geçen suya değişik viskozite de sıvılar enjekte ederek farklı boyutlarda ve farklı daralma oranlarına sahip venturiler iki farklı çapta emme borusu, venturinin mansabında farklı boyutta borular ve üç değişik viskozitesi olan sıvılar kullanılmış, bunların enjeksiyon verimine etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak en güzel enjeksiyon verimini, küçük çaplı venturinin ve büyük çaplı emme borusunun artırdığını belirlenirken, yüksek hızlarda daralma oranları büyük venturilerin daha güzel sonuç verdiği ve düşük viskozitesi olan sıvıların daha iyi enjekte edebildiği belirlenmiştir [ 4].

Hatice Kübra Karmacı'nın yaptığı çalışmada venturinin farklı uzunluklarda ve farklı daralma boğaz kısımlarına sahip venturinin havalandırıcıların ozon gazının sudaki çözünürlük verimliliği araştırılmıştır. 0,5 ve 0.75 daralma oranlarına sahip venturi havalandırıcılar sisteme kurularak bu venturilerin hava emme oranları verimliliği ve suya ozon enjeksiyonu sırasındaki performansı incelemiştir. Bunların üzerine belirlenen debi değerlerinde venturilerden sonra sisteme kurulan 25, 50 ve 75 cm uzunluğundaki borular ile farklı daralma oraları olan venturilerin suya ozon gazı enjeksiyonu sırasındaki verimlilikleri belirlenerek birbirleriyle kıyaslanmıştır. Sonuç olarak yapılan çalışmada, suya ozon enjeksiyon performansları kıyaslandığında 0.5 daralma oranlarına sahip venturilerin 0.75 daralma oranına sahip venturiye oranla daha iyi sonuç verdiği görülmüştür [ 5].

Sedat Yayla, Shakhwan Yaseen ve Ali Bahadır Olcay'ın yaptığı çalışmada farklı giriş basıncı ve boğaz uzunluk ölçülerine sahip sıvı – buhar içeriği farklı olan venturi modellerinin kavitasyona nasıl etkilediği iki boyutlu hesaplamalı akışkan dinamiği (CFD) metodu kullanılarak incelenmiştir. Giriş basınçları 2, 4, 6, 8 ve 10 atm boğaz uzunlukları ise 5, 10, 15 ve 20 mm ve % 0, % 5 ve % 10 oranları arasında değişen üç değişik buhar içeriği ile kavitasyona etkileyen her parametreyi iki farklı venturi modeli ile denenmiştir. Araştırma sonucunda, giriş basıncı, buhar içeriği ve kavitasyon değerlerinin birbiriyle doğru orantılı olduğu belirlenmiştir. Hız ve kavitasyon değerleri arasında ise ters orantı bulunmaktadır. Boğazdaki hız değerleri üzerinde kavitasyon değeri 0.092 ile 0.495 arasında farklılık göstermektedir [6].

Denghui He ve Bofeng Bai'nin yaptığı çalışmada venturi metrenin, ıslak gaz ölçümü için büyük öneme sahip ıslak gazları okuma üzerine araştırması. Her ne kadar farklı parametrelerin (örneğin, sıvı fraksiyonu, basınç ve gaz akış hızı) aşırı okuma üzerindeki etkileri geniş bir şekilde incelenmiş olsa da, bunların altında yatan mekanizma aşırı okunan parametreler hala tam olarak anlaşılamamıştır. Bu çalışmada standart k-e modeli, RNG k-e modeli, gerçekleşebilir k-e modeli, standart k-o modeli ve Reynolds gerilme modeli dahil olmak üzere beş tip soğuk türbülans modeli araştırılmıştır. Standart k-e modelinin deneysel verilerle daha iyi bir uyum içinde olduğu söylenmiştir [7].

Xingkai Z. ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, sıvı akışını kontrol etmek ve CVN'nin sınırlamalarını ele almak için kullanılan kaviteyolu Venturi nozulünün (CVN) prensipleri ile motive edilmiş, mekanik bir hareketle boğulma akışı sağlayan mekanik bir boğulan Venturi nozülü (MCVN) önermektedir. MCVN, CVN'nin kabarcık dinamiklerini taklit etmek için bir Venturi ağızlığına yüzer yaylı bir blokaj yerleştirilerek anlatılmış. İlk olarak, ilk MCVN tasarımı teorik olarak türetilmiştir. Ardından, sayısal simülasyon (CFD) fluent ve yinelemeli prosedür kullanılarak, bu orijinal tasarım optimize edilmiş bir tasarım oluşturmak için düzeltilmiştir. Son olarak, optimize edilmiş tasarım hem sayısal hem de deneysel olarak incelenmiş ve testleri yapmışlar. Deneysel sonuçlar, MCVN'nin % 3,8'lik bir akış kontrol hatası ve 0,97'lik bir maksimum geri basınç oranı ile sabit akışı sağlayabildiğini göstermişler [25].

Baylar. ve Özkan yaptıkları çalışmada suda çözünmüş oksijenin miktarına bağlı yaşayan, suda çözünen oksijen konsantrasyonu su kalitesinin belirleyen önemli bir göstergesidir. Havalandırma transferi seviyeler yetersiz olduğunda çözünmüş oksijeni miktarı artırabilir. Hidrolik yapılar, küçük hava kabarcıklarının akışın kütleline taşındığı türbülanslı koşullar yaratarak çözünmüş oksijen seviyelerini önemli ölçüde iyileştirebilir. Son araştırmalar odaklandı su kalitesini korumak ve arttırmak için hidrolik yapılarda oksijen transferi için ölçüm ve öngörü tekniklerinin geliştirilmişler. Bununla birlikte, hidrolik yapıların havalandırma performansındaki mevcut çalışmalara bakıldığında, venturi havalandırma konusunda çok fazla çalışmadığı söylenmiştir. Çalışmalarında venturi prensibinin su havalandırma sistemlerine uygulamaları gösterilmektedir. Venturi nozülü, venturi borusu ve venturi borusunun havalandırma özellikleri analiz yapılmıştır. Sonuçlar venturi havalandırmasının havanın sürüklenmesine ve oksijen transfer verimliliğine önemli

ölçüde katkıda bulunabileceğini göstermişlerdir. Bu nedenle venturi cihazı oksijen transferinde oldukça etkili havalandırıcı olarak kullanılabilir [26].

Şule Varol'un yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, bir su yapısında, yüksek hızla çıkan suyun enerjisini kırarak çevredeki yapılara zarar vermeden suyu emniyetli bir şekilde mansaba aktarmak gerekmektedir. Bu nedenle enerji kırıcı düşüm havuzları yaygın olarak araştırılmış. Bu çalışmada da 2,10 m blok yükseklik ve genişliğine sahip farklı geometrilerdeki 11 adet enerji kırıcı bloklardan meydana gelen ve bir adet de enerji kırıcı bloksuz modelden oluşan, toplam 12 adet model tasarlanmışlar. Tasarlanan modeller içerisinde üç boyutlu çizim programı olan Gambit programında hazırlanmıştır. Bir CFD yazılımı olan Fluent programına gerekli veriler sağlandıktan sonra analizler yapılarak; hız değişimleri, enerji sönümleme seviyeleri ve bloklara etki eden dinamik kuvvetler incelenmiştir. Tasarlanan modeller arasında akımın enerjisini en fazla sönümleyen modeli tespit etmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, tasarladıkları modeller içerisinde en iyi enerjiyi kırabilen modelin, üçgen geometriye sahip olan modelin olduğu ve elde edilen sayısal çalışma verilerden oldukça memnun edici olduğu söylenilmiştir [27].

Harun Bal'ın yaptığı yüksek lisans tezinde ki; çalışmada, geniş başlıklı savak üstünde geçen akımın hız alanı, iki çeşitli akım koşulları altında, bir boyutlu Lazer Doppler Anemometresi (LDA) kullanılarak yapılmıştır. Deney ile aynı akım koşullarını sağlayan, temel denklemler Standart k-e, RNG k-e, Realizable k-ε, SST, Modifiye k-w ve RSM türbülans modelleri kullanılarak, sonlu hacimler yöntemine dayalı çalışılan ANSYS-Fluent programıyla sayısal çalışmayı sağlamıştır. Su yüzü profilinin hesabı için Akışkan hacmi (Volume of Fluid-VOF) yöntemi kullanılmıştır. Sayısal verilerle elde edilen ağ yapısının etkisini incelemek için GCI (Grid Convergence Index) yöntemi kullanılmıştır. Sayısal hesaplamaların sonuçları ile yapılan akım hızları ve su yüzü profilleri, sayısal verilerin doğrulanması bağlamında deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış. Sayısal ve deneysel bulguların karşılaştırılması elde edilen sonuçla, RNG k-e türbülans modelinin, hız alanı ve su yüzünün profilinin hesaplamasında kullanılan diğer türbülans modellerine göre daha başarılı olduğu söylenmiştir [28].

Mehmet Ali ispirin yaptığı yüksek lisans tezinde, yavaş değişen kritik altı açık kanal akımının (M1 profili) hız alanı iki çeşitli debi durumu için bir boyutlu Lazer Doppler Anemometresi (LDA) ile elde edilmiştir. Deneyler ile aynı şartlara

sahip akımları elde edilen temel denklemler Standard k- $\epsilon$  (SKE), Renormalization Group k- $\epsilon$  (RNG), ve Realizable k- $\epsilon$  (RKE) türbülans modelleri kullanılarak sonlu hacimler yöntemine dayalı çalışan ANSYS Fluent programıyla ile sayısal olarak çalışılmıştır. Su yüzü profilinin teorik olarak hesaplanmasında Akışkan Hacimleri Yöntemi (VOF) modeli kullanılmıştır. Nümerik çözümlemede ağ yapısından elde edilen sonuçlara olan etkisini incelemek için Grid Convergence Index (GCI) ölçüt olarak kullanılmış. Nümerik hesaplardan elde edilen sonuçları deneysel olarak elde edilen sonuçları kıyaslanmış. Yapılan kıyaslamalar sonucunda, Reliazable k- $\epsilon$  (RKE) türbülans modelinin hız profilinin hesaplanmasında, kullanılan diğer türbülans modellerine göre daha başarılı olduğu görülmüş [29].



### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1 Materyal (Sayısal Yöntemler)**

##### **3.1.1 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Yazılımları**

Akışkanlarla ilgili problemlerin çözülmesinde ilerleyen teknolojiyle birlikte yeni ve gelişmiş bilgisayar yazılımları çıkarılmıştır. Bu yazılımlardan HAD yazılımları yabancı literatürde “Computational Fluid Dynamics” (CFD) olarak bilinen çok amaçlı yazılımlardır. Akışkanlar davranışını belirlemek için temel denklemlerden ve deneysel sonuçlardan yararlanılarak yapılan bazı sayısal yöntemler vardır. Bu sayısal yöntemlerin çözülmesi ve karmaşık modeller için ancak bilgisayar yazılım destekleriyle mümkün olabilmektedir. Sonlu elemanlar gibi sayısal yöntemler kullanılarak geliştirilen matematiksel modellerin bilgisayar desteği ile çok hızlı ve etkili bir şekilde çözülebilir. Üç boyutlu modellerde hassas çözüm için sonlu eleman sayısı artacağından çözüm zorluğu da çok fazla artmaktadır. Üç boyutlu hassas çözümler günümüzde kullanılan hızlı ve işlemcisi yüksek kapasiteli bilgisayar yardımlarıyla daha mümkün olmaktadır.

HAD analizleri genel bir çözüm algoritması hazırlamak oldukça güç ve çok sayıda kişinin çalışması gerektirecek bir işlemdir. Literatürdeki sayısal çalışmaların çoğunda, her problem için özel bir yöntem vardır. Her bir problem için uğraştırıcı ve karmaşık matematik modeller kurmak yerine bu konuda yılların deneyimini vermiş fluent gibi genel amaçlı HAD yazılımlarının kullanılması çok uygun ve doğru bir karar olacaktır

##### **3.1.2 Fluent Programı**

Fluent sonlu hacimler yöntemi kullanılan bir HAD yazılımıdır. 1983’den bu yana kullanılan dünya çapında birçok endüstri alanında ve günümüze gelişmesini artırarak dünyadaki HAD yazılım piyasasında en çok tercih edilen yazılım durumuna

gelen fluent en ileri teknolojiye sahip ticari HAD yazılımı olarak kullanıcıların en zor problemlerine kolay ve çabuk elde edilmesine çözüm sunmaktadır.

Behr, yaptığı çalışma ile CFD yazılımlarının çalışma prensibinin sonlu elemanlar yöntemi olduğunu açıklamıştır ve bu gibi yazılımlarda Navier-Stokes denklemlerinin sonlu elemanlar yöntemiyle kullanıldığını belirtmiştir [8].

Nguyen ve Nestmann, k- $\epsilon$  modeli ve VOF metodunu kullanarak Avrupa'nın önemli akarsularından olan ve 1320 km uzunluğundaki Rhine akarsuyunu modelleyerek akarsuyun farklı mesafelerinde su derinliklere göre hızını ve türbülans durumunu incelemiştir [9].

Balbay tarafından yapılan doktora tezinde; termal kaynaklı ısı pompaları kullanılarak kar ve buzun eritilmesi amacıyla Fluent yazılımı yardımıyla sayısal çözümler yapılmıştır [10].

Ö. Faruk Dursun tarafından yapılan makalede Basamaklı dolu savakların enerji sönmleme özelliğinin sayısal analizini yapmıştır. Bu çalışmada, farklı boşaltım kanalı taban eğimleri için enerji sönmleme oranları, Fluent yazılım kullanılarak sayısal yöntemle belirlenmiştir [11].

Andrew Ascue, Jie Cui, tarafından yapılan dönen boru akışlarını türbülans modellerinin simülasyonu karşılaştırılması fluent yazılım yardımıyla yapılmıştır [13].

Athulya A.S ve Miji Cherian R., tarafından yapılan T yerleşimli çok fazlı akışın T bağlantı boyunca çok fazlı bir akış modeli ve fazdaki yeniden dağılım fenomeni gösterme amacını CFD yazılım sayesinde yapılmıştır [12].

Lukasz Amonowicz ve Januszz Wojkowiak, tarafından yapılan çalışmada çok borulu topraktan hava sıcaklığının simülasyonu için CFD modelinin doğrulanması eşanjörler (EAHE) akış performansı incelenmiştir [14].

Yukarda anlatılan çalışmalarda görüleceği gibi CFD yazılımları sadece İnşaat Mühendisliği çalışmalarında değil, Makine Mühendisliği gibi birçok çalışmada kullanılmaktadır.

Yapılan bu çalışmalar, kolaylık ve avantaj sağlaması nedeniyle CFD yazılımlarının kullanılmasının yaygınlaşmasında bir etken olmuştur

Fluent programı, çözüm bölgesini bir dizi kontrol hacmine (mesh'e) veya hücreye bölerek (sayısal ağ oluşturulması) kütle, momentum, enerji vs. için genel korunum denklemleri kullanır.

Fluent, genel amaçlı bir HAD yazılımı olarak, otomotiv endüstrisi, havacılık endüstrisi, beyaz eşya endüstrisi, turbo makine (fanlar, kompresörler, pompalar, türbinler v.b.) endüstrisi, kimya endüstrisi, yiyecek endüstrisi gibi birbirinden farklı birçok endüstriye ait akışkanlar mekaniği ve ısı transferi problemlerinin çözümünde kullanılabilir. Bu özelliği sayesinde kullanıcıya birbirinden farklı birçok probleme aynı ara yüzü kullanarak çözüm alma olanağı sağlar. Kolay kullanımı ile Fluent, ürün performansını ürün henüz tasarım aşamasındayken ölçme, performansı düşüren etkenleri detaylı bir şekilde tespit ederek yine bilgisayar ortamında giderme ve piyasaya iyileştirme işlemleri tamamlanmış son ürünün verilmesini sağlar [15].

Fluent, sahip olduğu ileri çözücü teknolojisi ve bünyesinde barındırdığı değişik fiziksel modeller sayesinde laminar, geçişsel ve türbülanslı akışlara, iletim, taşınım ve radyasyon ile ısı geçişini içeren problemlere, kimyasal tepkimeleri içeren problemlere, yakıt pilleri, akustik, akış kaynaklı gürültü, çok fazlı akışları içeren problemlere hızlı ve güvenilir çözümler üretir.

Fluent 'deki fiziksel modellerin zenginliği, laminar, geçiş ve türbülanslı akışların, ısı transferinin, kimyasal tepkimelerin, çok fazlı akışların ve diğer olguların sayısal ağ esnekliği ve çözüm tabanlı ağ uyarlaması ile hassas çözülmesine olanak sağlar. Fluent programı ile bir problemi çözmek için aşağıdaki temel basamaklar takip edilir [16].

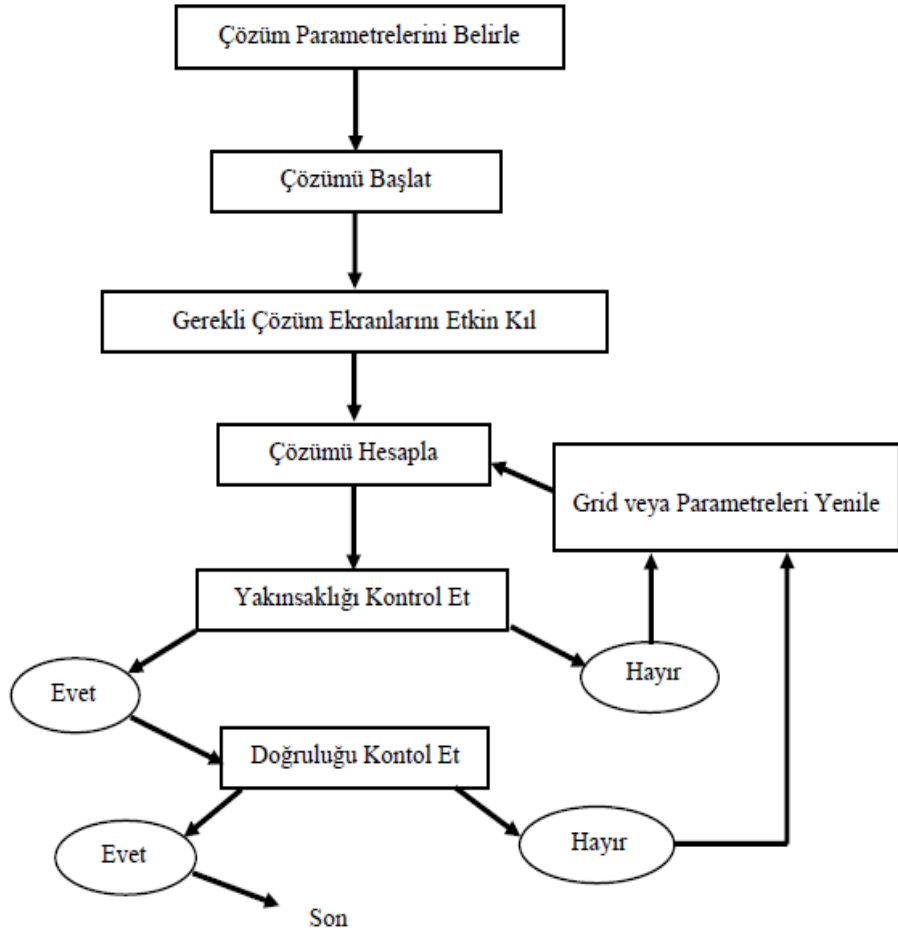
#### A. Problem tanımlama ve ön işlem;

1. İlgili modelin amaçlarını belirlemek,
2. Modellenecek alanı belirlemek,
3. Tasarlayıp gridi oluşturmak,

#### B. Çözüm aşaması;

4. Sayısal modeli kur,
5. Hesapla ve çözümü görüntüle
- C. Son işlem;
6. Sonuçları yorumla,
7. Değişiklikleri modele ekle

Fluent'in seri ve paralel sürümleri en yaygın UNIX, Windows/NT ve Linux üzerinde çalışmaktadır. Fluent programı ile çözüm yapılırken bir çözüm algoritmasına göre işlemler devam eder. Mevcut çözüm algoritması aşağıda şekil 3.1.2.1'de verilmiştir [17].



Şekil 3.1.2.1 Çözüm algoritması [17]

Bu tez çalışmasında, özellikle hava-su karışımı gibi çok fazlı, serbest yüzeyli ve türbülanslı akımların çözümünde, gün geçtikçe kullanımı yaygınlaşan ve bir CFD yazılımı olan Fluent programı kullanılmıştır. Fluent sonlu hacimler yöntemini kullanan bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımıdır. Bu program ile akım alanı oluşturulup akımın gerçeğe yakın özellikleri incelenebilir. Programla akışkanın hareketini incelemek mümkündür. Akımın özelliğini belirleyen hız değişimi, kesme kuvveti ve suyun hareketinden kaynaklanan basınç değişimi tespit edilebilir. Böylece, akımın nasıl davranacağı anlaşılmış olur. Analitik olarak türbülanslı akımın hareketini incelemek zordur, fakat Fluent programının denklemleri sistematik olarak çözme açısından kolaylık sağlaması bu durumu ortadan kaldırmaktadır. Türbülanslı akımın özellikleri için, Reynolds-Ortalama Navier Stokes denklemleri kullanılır [18].

### **Viskoz Modeli**

Laminer ve türbülanslı akımların Fluent programı ile modellenmesi mümkündür. Türbülanslı modelleme için k- $\epsilon$  model seçeneğinde standart, RNG ve Realizable k- $\epsilon$  model seçenekleri vardır. Standart k- $\epsilon$  model, kinetik enerji (k) ve bunun dağılımı ( $\epsilon$ ) için taşınım denklemleri üzerine kurulu yarı deneysel bir modeldir. Fluent programı girilen değerlere bağımlı olarak çözümü yapmaktadır. Girilen değerler türbülanslı akış için gerekli giriş değerleri değil ise fluent programı türbülanslı akış için gerekli parametreleri yok kabul eder ve çözümü tamamlar. Laminer akış için türbülanslı modelin seçilmesi; programcının türbülans parametrelerinin düzenlenmesinde zaman kaybetmesine, bilgisayarın ise çözüm için ek işlemler yapmasına neden olur. Çözümlerin doğruluğunu etkilemez.

Venturi metrenin boğaz kısmında akım hızları çok yüksek olduğundan sayısal modellerde türbülans etkisi dikkate alınmalıdır. Özellikle su ve hava ile yapılan çok fazlı akımlarda türbülans modeli çok önemlidir. Tam gelişmiş akımlarda türbülans modeli gerilmeleri yanında viskoz modelin gerilmeleri ihmal edilebilir, akıma hava karışması gibi türbülans etkisinin önemli olduğu problemlerde türbülans modeli iyi seçilmelidir. yukarda anlatılan türbülans modellerden etkin olarak kullanılan

Realizable k-ε model kendi sayısal çalışmamızda kullanacağız. Seçilen türbülans modelin teorisi aşağıdaki denklemlerde verilecektir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(pk) + \frac{\partial}{\partial x_j}(pk u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - p\varepsilon - Y_m + S_k \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(p\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(p\varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + pC_1 S_\varepsilon + pC_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{v\varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{2\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (3.2)$$

Burada;

$$C_1 = \max \left[ 0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right] \quad (3.3)$$

$$\eta = S \frac{k}{\varepsilon} \quad (3.4)$$

$$S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij} + \Omega_{ij}\Omega_{ij}} \quad (3.5)$$

Türbülans viskozitesi

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.6)$$

$$C_\mu = \frac{1}{A_o + A_s \frac{kU^*}{\varepsilon}} \quad (3.7)$$

$$U^* = \sqrt{S_{ij}S_{ij} + \Omega_{ij}\Omega_{ij}} \quad (3.8)$$

$$\Omega_{ij} = \Omega_{ij} - 2\varepsilon_{ijk}\omega_k \quad (3.9)$$

$$A_o = 4.04, A_s = \sqrt{6} \cos \phi \quad (3.10)$$

$$\phi = \frac{1}{3} \cos^{-1}(\sqrt{6} W) \quad (3.11)$$

$$W = \frac{S_{ij}S_{ij}S_{ij}}{S^a} \quad (3.12)$$

$$S = \sqrt{S_{ij}S_{ij}} \quad (3.13)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial j}{\partial i} + \frac{\partial i}{\partial j} \right) \quad (3.14)$$

Model sabitlerinin varsayılanlarının aşağıdaki gibi alınması önerilmektedir.

$$C_{1_\epsilon}=1.44, C_2 = 1.9, \sigma_\epsilon = 1.2, \sigma_k = 1.0$$

Buradaki;  $G_b$ : yüzdürme nedeni ile türbülans kinetik enerjisinin üretimi  
 $Y_m$ : sıkıştırılabilir türbülanstaki dalgalı genişlemenin toplam dağılım oranına katkısını,  $C_{1_\epsilon}$  ve  $C_2$  sabitleri,  $\sigma_\epsilon$  ve  $\sigma_k$ :  $k$  ve  $\epsilon$  için Prandtl türbülans sayılarını  $Sk$  ve  $Se$ : kullanıcılar tarafından tanımlanan kaynak terimlerini,  $\Omega_{ij}$ : Açısal hız ile dönen  $\omega k$  ortalama dönme hızının tensörünü ifade etmektedir [22].

### 3.1.3 Fluent'te Çok Fazlı Akım Problemlerinin Modellenmesi (Multiphase Flows)

Çok fazlı modeller, çoklu faz akışının fiziğini tanımlamak ve tahmin etmek için kullanılır. Çok fazlı akışın modellenmesi çok kompleksidir [12].

Fluent, aşağıda sıralanan çok fazlı akım problemlerinin modellenmesine olanak sağlar.

- Kabarcık Akımı (Bubble Flow): Sürekli sıvı faz içindeki gaz veya hava kabarcıklarının modellenmesi (Havalandırıcılar gibi).
- Damlacık Akımı (Droplet Flow): Sürekli gaz fazı ortamındaki sıvı zerrecikleri veya damlacıklarının modellenmesi.
- Sediment Akımı (Particle-Laden Flow): Sürekli akışkan ortamındaki katı parçacık hareketi (sediment gibi).
- Büyük Kabarcık Akımı (Slug Flow): Sürekli sıvı ortamındaki büyük kabarcıkların modellenmesi.
- Halkasal Akış (Annular Flow): Cidarlar boyunca sürekli akışkan modellenmesi.
- Serbest Yüzeyli Akım (Free Surface Flow): Net bir şekilde belirlenmiş ara yüzle birbirine karışmayan akışkanların modellenmesi.

Fluent'te çok fazlı akımlar genelde, birincil faz sürekli ortam akışkanı, diğeri ise bu akışkan içine dağılmış olan ikincil faz olarak tanımlanır. Basıncılı boru içi akışlar için, sürekli ortam akışkanı hava, ikincil faz ise su olarak alınır. Fluent'te çok fazlı akışkan için 4 farklı model önerilmiştir:

- Dağınık Faz Modeli (Dispersed Phase Model-DPM)
- Akışkan Hacmi Modeli (Volume of Fluid Model- VOF)
- Cebirsel Kayma Karışım Modeli (Algebraic Slip Mixture Model-ASMM)
- Kavitasyon Modeli (Cavitation Model)

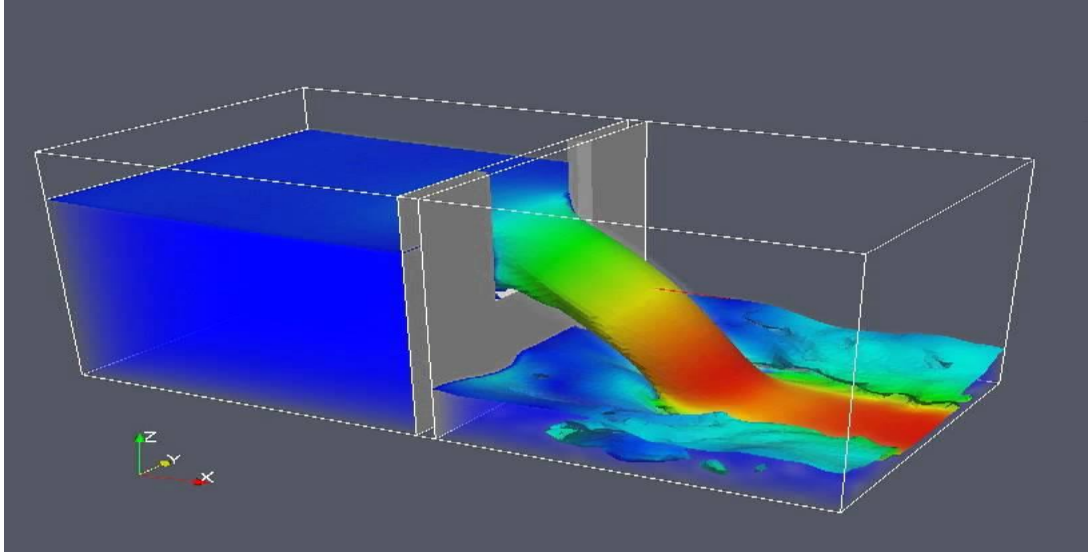
#### **Dağınık Faz Modeli (Dispersed Phase Model-DPM)**

Sürekli ortam akışkanlarından katı parçacıkları, sıvı damlaları veya gaz kabarcıklarının ayrılması gerekiyorsa bu model kullanılabilir. Hücrelerin %10'undan daha küçük hacim oranlarının belirlenmesi için uygundur. DPM, çözüm yaparken aşağıdaki hesapları gerçekleştirir.

- Sürekli akışkan içerisindeki ikincil faz akışkan parçacıklarının yörüngesi hesaplanır (kabarcıkların yörüngesi gibi).
- Sürekli ve ayrılmış akışkan fazları arasında ısı, kütle ve moment transferi hesaplarını gerçekleştirir
- Parçacık-parçacık etkileşimini ihmal eder.
- Zamanla değişen veya değişmeyen akımların parçacık izlerini hesaplar

#### **Akışkan Hacmi Modeli (Volume of Fluid Model- VOF)**

Karışmayan akışkanların net bir ara yüzey ile ayrılması bekleniyorsa bu modelin kullanılması doğru olur. Özellikle serbest yüzeyin şeklinin önemli olduğu problemlerde kullanılmaktadır. Genellikle, bir sıvı içerisindeki büyük kabarcıkların hareketinde, bir engelden sonraki sıvının hareketi gibi ara yüzeyleri net olan birçok modellemede kullanılabilir.



**Şekil 3.1.3.1** Serbest yüzeyli akım modeli

Şekil3.1.3.1’de Fluent yazılımında VOF modeline örnek olarak verilen bir akım modeli görülmektedir. VOF modelde sıvı ve gaz fazı arasındaki ara yüzeyin belirlenmesi her k fazı için bir hacim oranı süreklilik denkleminin çözümü ile gerçekleşir.

VOF modelin çözüm özellikleri şunlardır:

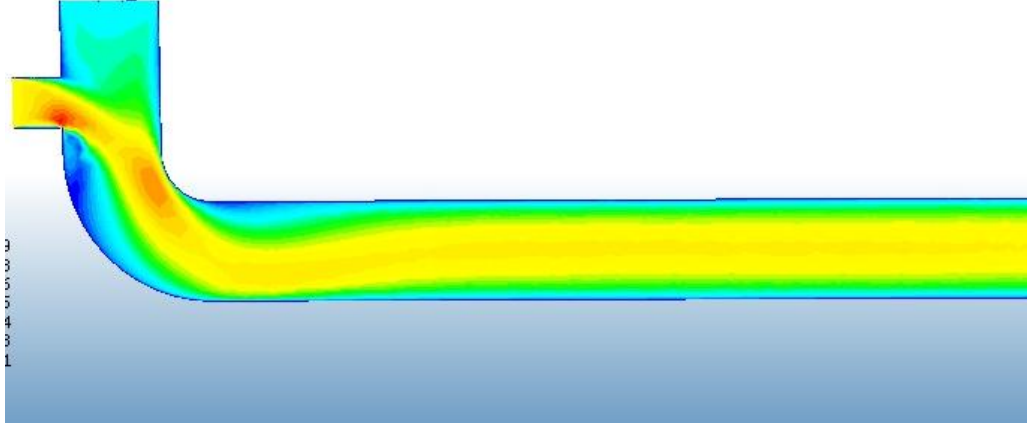
- Her akışkan için momentum denkleminin bir seti çözülür.
- Momentum denklemine eklenen bir terimle yüzey gerilimleri ve cidar adezyonu modellenenir.
- Türbülanslı akımlar için transfer denklemlerinin tekil seti çözülür.
- Birincil fazın korunum denklemleri çözülür [19].

### **Cebirsel Kayma Karışım Modeli (Algebraic Slip Mixture Model-ASMM)**

VOF modelden farklı olarak ASMM model, akışkan fazlarının birbirine karışmasına izin verir. Sıvı içindeki çok daha küçük gaz kabarcıklarının modellenmesine olanak sağlar. Kontrol hacimlerinde 0~1 arasında hacim oranları elde edilir. Bu nedenle akıma hava karışımının etkisinin önemli olduğu problemlerde akım modellemesinin ASMM ile yapılması daha uygun olacaktır. Akışkan fazları arasında VOF model gibi net bir ara yüzey elde edilmez. Çözüm özellikleri şunlardır:

- Karışım, süreklilik ve momentum denklemlerini çözer.
- İkincil fazın hacim oranının taşınımını çözer.
- Fazlar arasındaki kayma hızını hesaplamak için cebirsel bir bağıntı kullanılır. Böylece iki faz akışkanın farklı hızlarda hareket etmesine olanak tanır.
- Zamanla değişen veya değişmeyen akımlar içinde uygundur.
- Yalnız iki fazlı akımlar modellenebilir.
- Akım sıkıştırılmaz olmalıdır.
- Tüm kontrol hacimleri tek bir akışkan fazıyla veya iki fazın birleşmesiyle doldurulmalı boş hacim bırakılmamalıdır [16].

### Kavitasyon Modeli (Cavitation Model)



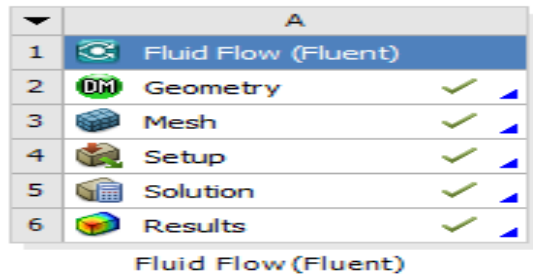
Şekil 3.1.3.2 Kavitasyon modeli

VOF modelden iki yönüyle ayrılır. Birincisi, iki akışkan arasında ara yüzey olması gerekmez, akışkanların birbirine karışması sağlanır. İkincisi, fazlar arasında dönüşüm mümkündür. Kavitasyon modelde ise yalnızca iki faz modellenebilir. Kavitasyon modelin çözüm özellikleri şunlardır:

- Kavitasyonun başlangıcını ve kabarcıklarının yaklaşık boyutunu tahmin eder.
- Karışımın momentum denklemini hesaplar.
- Karışımın süreklilik denklemini hesaplar.
- Fazlar arasında kayma (slip) hızının olmadığı varsayılır.

- Buhar fazının hacim oranı taşınımı için çözüm yapar.
- Akım sıkıştırılmaz olmalıdır.
- Yalnızca iki faz modellenabilir

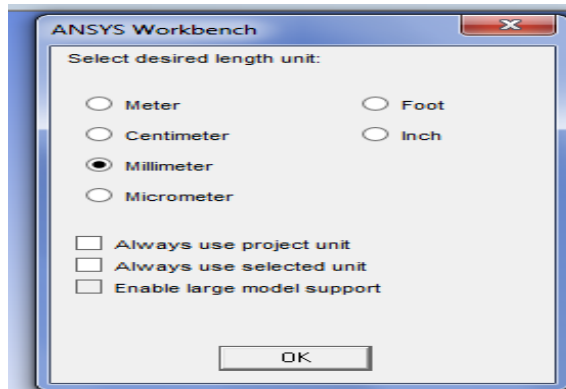
Fluent de çözümleme 5 aşamada olur. Bu aşamalar şekil3.1.3.3’de görüldüğü gibi aşama aşama yapılır.



Şekil 3.1.3.3 Fluent çözümleme aşamaları

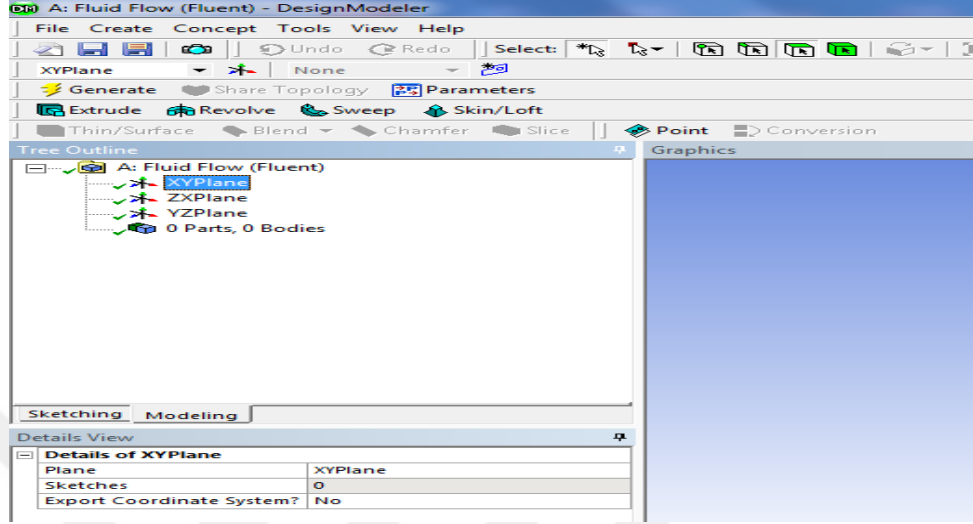
### Geometri Çizimi

Fluent çizileme sayfasında geometri sayfası açılarak çizim yapılmaya başlanır bu çizim aşamalarını şekiller üzerinde gösterilecektir.

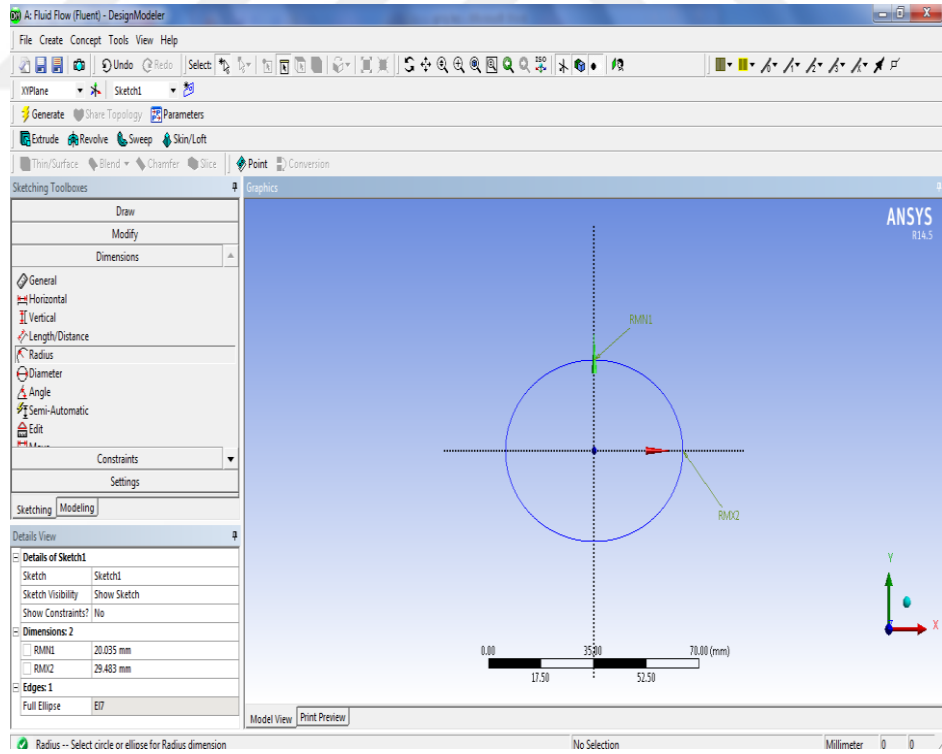


Şekil 3.1.3.4 Geometri çizim sayfası

Geometri çizim sayfası açıldığında ilk görünüşte şekil3.1.3.4’de görüldüğü gibi kullanılacak ölçüm birimi soruluyor. Bu çalışmada milimetrik çalışacaktır. Daha sora çalışılacak yüzey alanı şekil3.1.3.5’de görüldüğü gibi seçiliyor. Yüzey alanında sketching seçilerek çizim alanına geçiliyor.



Şekil 3.1.3.5 Yüzey alanı seçimi



Şekil 3.1.3.6 Sketching sayfası (çizim yeri)

Şekil3.1.3.6’deki sketching sayfasında draw, modify, dimensions, constraints ve settings kavramları var. Burada

Draw: sekmesinde çizilecek şekil çizilir.

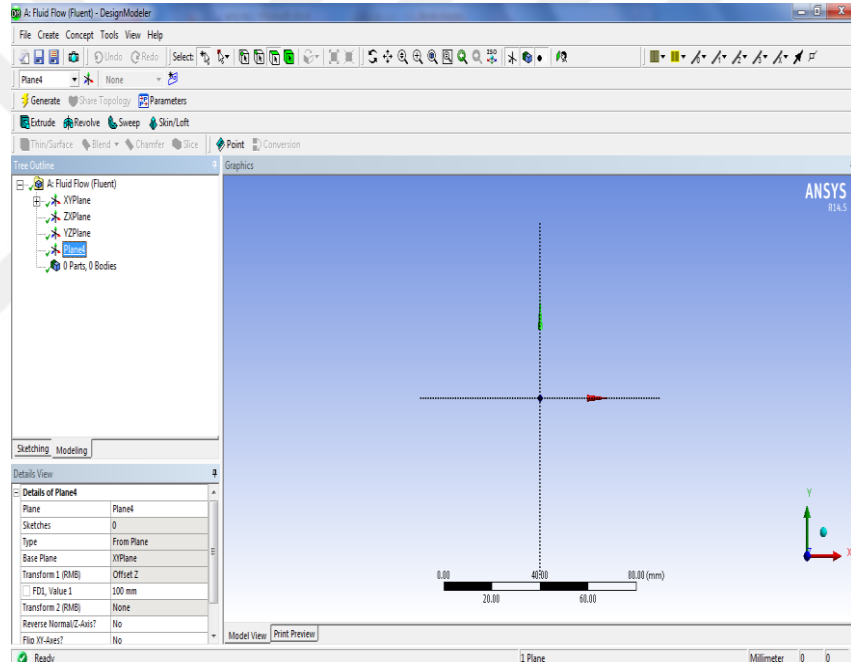
Modify: şeklin çoğaltması, kopyalanması vb. işlemleri yapılır.

Dimensions: burda şeklin ölçeklendirmesi yapılır.

Constraints: geometriye paralel, dik,kesiştği nokta vb. ayarlamalar yapılır.

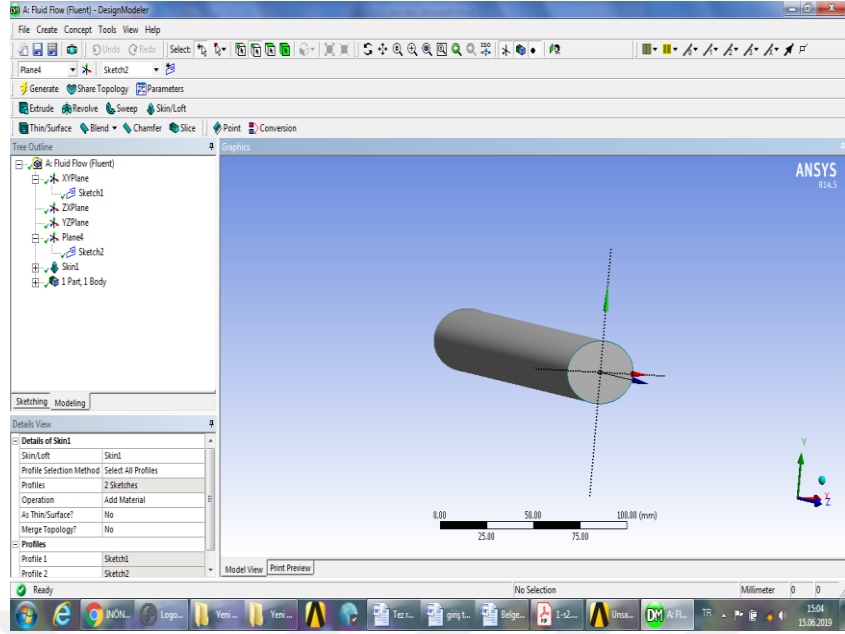
Settings: sketching ekranında yüzeyin grid ölçeklendirmesi ayarlanır.

Bu ayarlamalar sonucunda tekrar modeling sayfasına gelerek XY planı seçiliyken yeni bir plan sayfası açılır. Bu plan sayfasının XY planına uzaklığı ayarlanır. Ayarlamadan sonra yeni plan sayfasında sketching sayfasına gidilerek orda şekil çizilir.



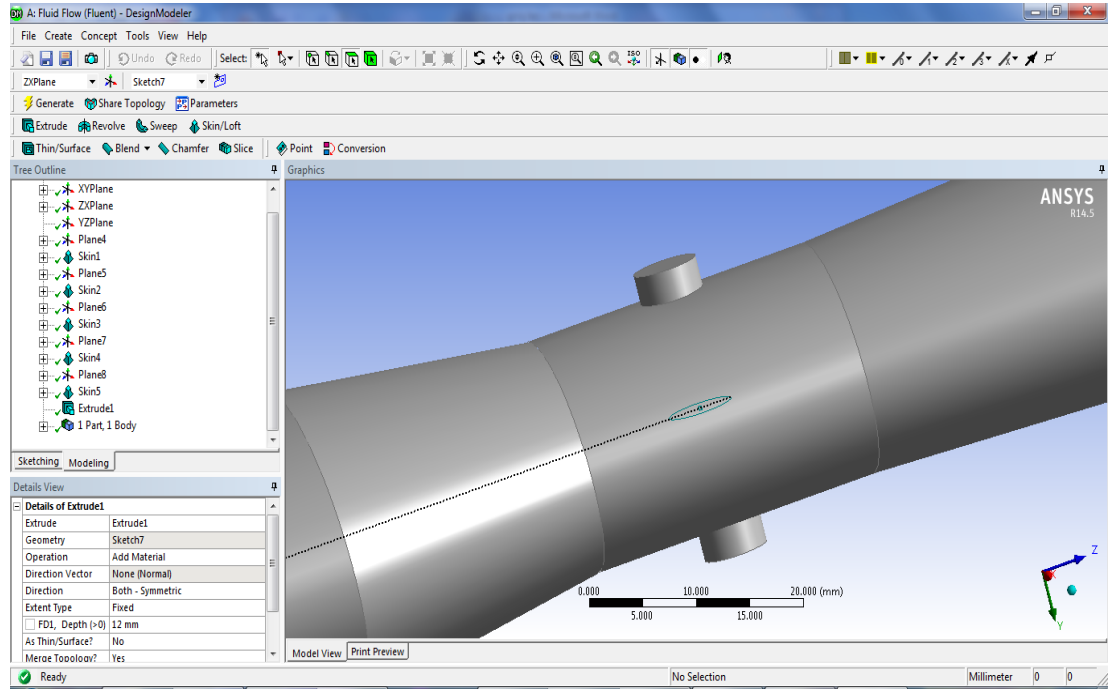
Şekil 3.1.3.7 Yeni plan sayfası

Bu işlemlerden sonra Şekil 3.1.3.7’de görüldüğü gibi skin/loft yapılarak iki plan arasında çizilen geometriler birleştirilir ve şekil oluşmaya başlar.



Şekil 3.1.3.8 İki planın skin/loft ile birleşimi

Bu işlemler geometrinin son haline kadar devam eder. Son aşamada yeni bir yüzey alanı ZX planı seçilerek çizim yapılır. Bu çizim extrude yapılarak geometrinin üstüne yeni parça eklenmiş olacaktır (Şekil 3.1.3.9).



Şekil 3.1.3.9 Geometrinin extrude yapılmış halı

### 3.1.4 Ağ Yakınsama İndeksi (Grid Convergence Index-GCI)

Bu çalışmadaki sayısal hesaplamalarda tasarlanan hesaplama ağının sonuçlar üzerindeki hassasiyetini incelemek ve sayısal çözümleri hesaplama ağından bağımsız hale getirmek için ASME (American Society of Mechanical Engineering) tarafından önerilen [35] Ağ Yakınsama İndeksi (Grid Convergence Index-GCI) metodu kullanılmıştır. GCI, model çözümlerinin sayısal ayrıklaşmalara hassasiyetinin test etmek amacıyla ilk olarak Roache (1994) tarafından önerilmiştir. Bu yöntem temelde, çeşitli çözümlerin karşılaştırılmasını içeren, genelleştirilmiş Richardson Ekstrapolasyon yaklaşımına dayanmaktadır. Bu yöntemde, çözüm ağından hesaplanan sayısal bulguların yakınsamasının tespiti ve sonuçlardaki ağ geometrisine bağlı belirsizliğin tahmini için en az üç farklı yoğunluktaki (kaba, orta ve ince) hesaplama ağına ihtiyaç duyulmaktadır [34]. Bu yöntemle göre:

$$d_3 < d_2 < d_1 \quad (3.14)$$

$$e_{12} = u_1 - u_2, \quad e_{23} = u_2 - u_3, \quad r_{12} = \frac{d_1}{d_2}, \quad r_{12} = \frac{d_2}{d_3} \quad (3.15)$$

$$p = \frac{1}{\ln(r_{23})} \ln \left( \frac{(r_{23}^p - 1)e_{12}}{(r_{12}^p - 1)e_{23}} \right) \quad (3.16)$$

$$E_{23} = \frac{u_3 - u_2}{u_3} \quad (3.17)$$

$$GCI_{23}^{incc} = F_s \frac{|E_{23}|}{r_{23}^p - 1} \quad (3.18)$$

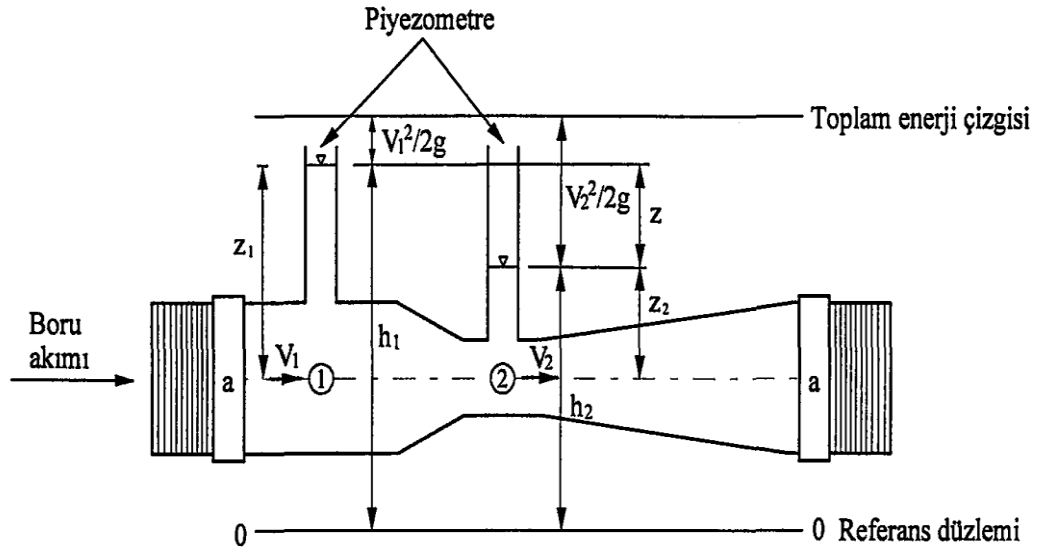
İfadeleri ile verilen değerler tanımlanır.. Denklem (5.15)'te bulunan  $u_1$ ,  $d_1$  aralığıyla tanımlanan kaba hassasiyetli ağ ile elde edilen hız değeri,  $u_2$ ,  $d_2$  aralığıyla tanımlanan orta hassasiyetli ağ ile elde edilen hız değeri  $u_3$ ,  $d_3$  aralığıyla tanımlanan hassas ağ ile elde edilen hız değeri,  $p$ : doğruluk mertebesi,  $F_s$  güvenlik faktörüdür. Roache [32]'e göre  $r_{23}$ ,  $r_{12} \geq 1.10$  olmalıdır. Üç veya daha fazla ağ yapısı için güvenlik faktörü  $F_s$ , 1,25 olarak önerilmektedir [33]. Yukarıda ifade edilen  $GCI_{23}^{incc}$  değerinin %2'den az olması durumunda, ağdan kaynaklı sayısal çözümleme bulgularının kabul edilebilir hata sınırlarında yakınsadığı ve çözümleme hassasiyetinin ağ yoğunluğundan bağımsızlaştığı kanaatine varılır.

## 3.2 Yöntem

### 3.2.1 Venturi aygıtı

Venturi aygıtı, bir boru boyunca deşarj akışkan akımının debisini ölçmek için eskilerden beri kullanılan bir modeldir. Boru içerisine akışkan akımının hızını artırmak için girişteki venturi ağzından daha küçük kesit alanını olan bir boğaz bölgesinde daralma yapılmıştır. Bu bölgede akışkan hızının artmasından dolayı basınç düşüşü olmaktadır. İki kesit arasındaki basınç farkından faydalanarak akışkan akımının debisi hidrolik olarak hesaplanmaktadır.

Venturi modelinin hidrolik olarak teorik değişkenleri ve matematiksel değerleri aşağıda şekil 3.2.1.1’de verilmiştir.



Şekil 3.2.1.1 Bir venturi modelinin teorik değişkenleri [2]

a-a nivo seviyesine göre; 1 ve 2 no’lu noktalardaki basınçlar

$$P_1 + \gamma \cdot z_1 = P_2 + \gamma \cdot z_2 \quad (3.19)$$

$$(P_1 - P_2) = \gamma(z_2 - z_1) \quad (3.20)$$

Piyezometrelerde  $z_1 > z_2$  olduğundan  $(z_2 - z_1) = -z$  yazılırsa

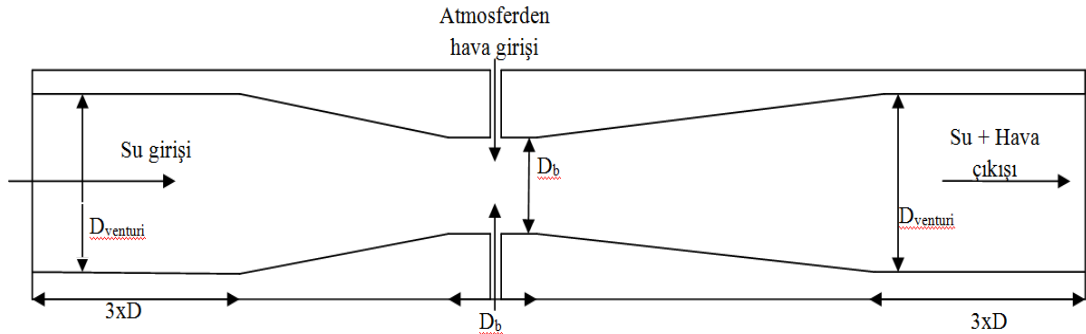
$$(P_1.P_2)/\gamma = -z$$

Denklemleri elde edilir. Bunun sonucuna göre 2 no'lu noktada negatif bir basınç oluşmaktadır.

Burada,  $P_1=1$  no'lu kesitteki basınç ( $\text{kg/m}^2$ ),  $P_2=2$  no'lu kesitteki basınç ( $\text{kg/m}^2$ ),  $h_1=1$  no'lu kesitin basınç yüksekliği (m),  $h_2=2$  no'lu kesitin basınç yüksekliği (m) ve  $\gamma$ = suyun birim hacim ağırlığıdır ( $\text{kg/m}^3$ ).

### 3.2.2 Geometri

Sayısal çalışmada venturinin genel görünümü Şekil 3.2.2.1'de verilmiştir. Sayısal çalışmada kullanılan venturi tüplerinin giriş ve çıkış çapları  $D$ , 36 mm, 42 mm ve 54 mm seçildi. Venturi tüpünün boğaz çapının venturi tüpün giriş çapına oranı,  $D_b/D$ , 0,75 olarak alınmıştır. Bu ölçüler Baylar ve diğ. tarafından yapılmış olan makale çalışmalarından elde ettikleri sonuçlara göre seçilmiştir [30]. Venturi tüplerinin boğaz uzunluğu  $D_b$  olarak seçildi. Venturi tüplerinin yakınsak koni açısı  $\theta_1$  ve ayrılan koni açısı  $\theta_2$  sırasıyla  $21^\circ$  ve  $7^\circ$  idi.  $21^\circ$ 'nin birleşme konisi açısı ve  $7^\circ$ 'nin ayrılma konisi açısı, Amerikan Makine Mühendisleri Derneğine [31] göre venturi tüpü için kafa kayıplarını en aza indiren koni açısıdır. Venturi tüplerinin boğaz kısmında ise alanları eşit 4 farklı hava alma yapısı açılmıştır. Bunlar; 6.0 mm çapında iki delik, 6.0 mm çapında dört delik, kenarları 2 ve 14 mm olan iki dikdörtgen ve aynı kenar ölçekli dört delik açılmıştır.

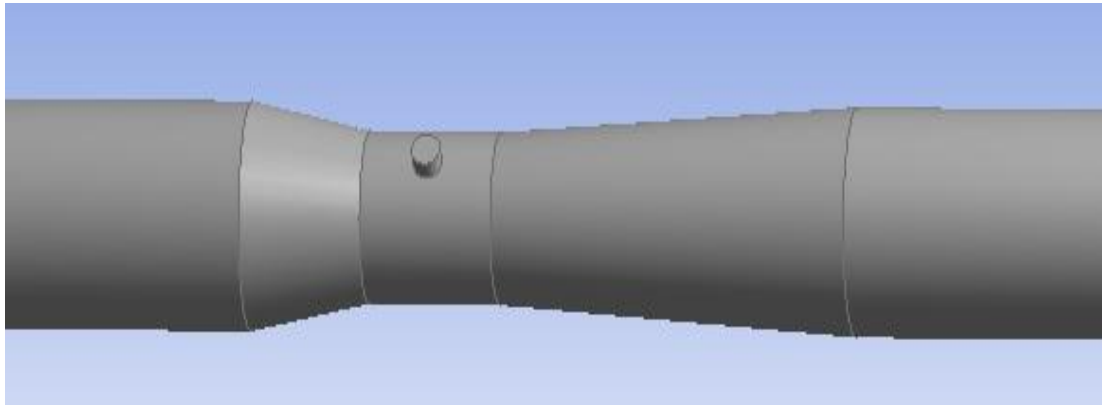


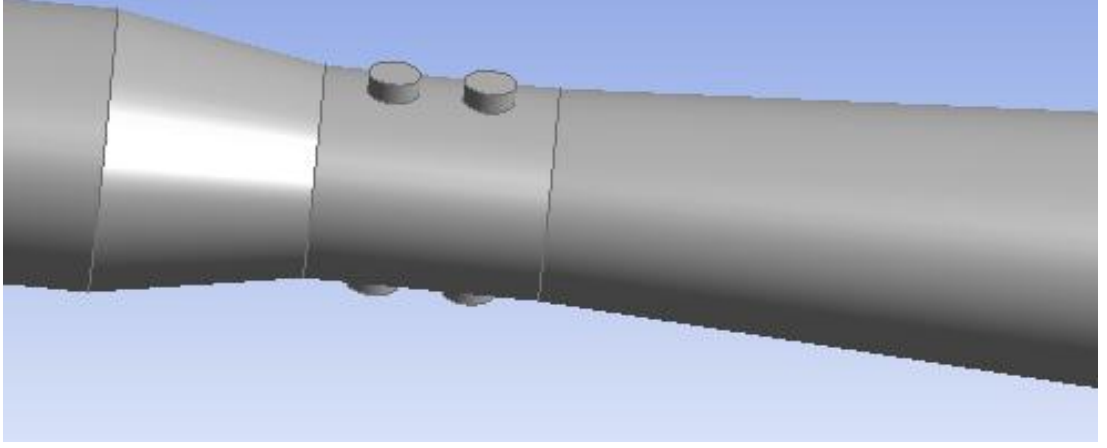
Şekil 3.2.2.1 Venturi Borusunun parçaları ve hava sürüklenme mekanizması

**Tablo 3.2.2.1** Venturi aygıtının boyutları, grafikteki ve şekillerdeki kodları

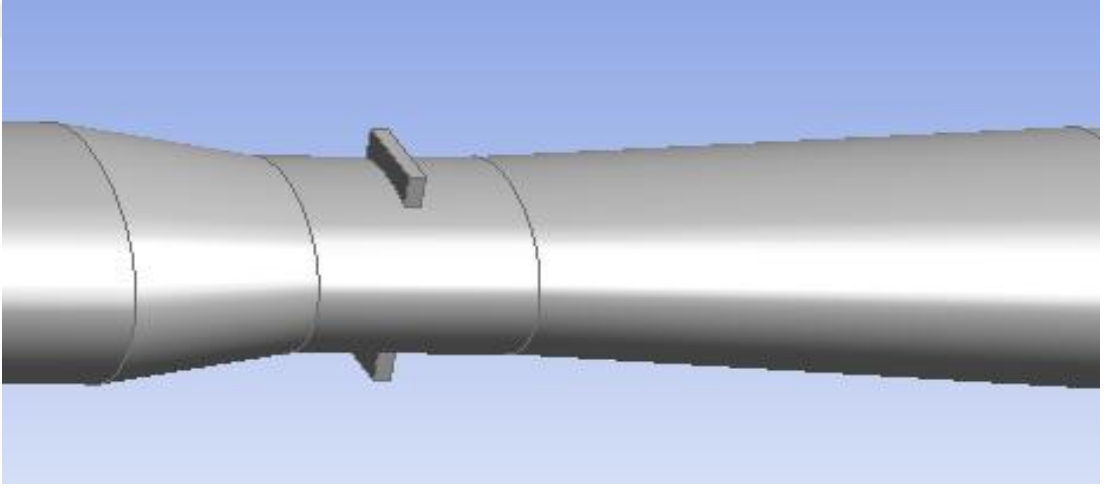
| Venturi tipi               | Kesit alanı (mm <sup>2</sup> ) | Kodu            |                 |                      |                     |
|----------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|---------------------|
|                            |                                | Dairesel delik  | Çizgisel delik  | Çift daireysel delik | Çift çizgisel delik |
| 36 mm çaplı daireysel      | 1017.88                        | D <sub>d</sub>  | D <sub>ç</sub>  | D <sub>d2</sub>      | D <sub>ç2</sub>     |
| Elips ( $r_2=1.614x r_1$ ) |                                | E <sub>1d</sub> | E <sub>1ç</sub> | E <sub>1d2</sub>     | E <sub>1ç2</sub>    |
| Elips ( $r_2=1.33*r_1$ )   |                                | E <sub>2d</sub> | E <sub>2ç</sub> | E <sub>2d2</sub>     | E <sub>2ç2</sub>    |
| Elips ( $r_2=2*r_1$ )      |                                | E <sub>3d</sub> | E <sub>3ç</sub> | E <sub>3d2</sub>     | E <sub>3ç2</sub>    |
| 42 mm çaplı daireysel      | 1385.44                        | D <sub>d</sub>  | D <sub>ç</sub>  | D <sub>d2</sub>      | D <sub>ç2</sub>     |
| Elips ( $r_2=1.614x r_1$ ) |                                | E <sub>1d</sub> | E <sub>1ç</sub> | E <sub>1d2</sub>     | E <sub>1ç2</sub>    |
| Elips ( $r_2=1.33*r_1$ )   |                                | E <sub>2d</sub> | E <sub>2ç</sub> | E <sub>2d2</sub>     | E <sub>2ç2</sub>    |
| Elips ( $r_2=2*r_1$ )      |                                | E <sub>3d</sub> | E <sub>3ç</sub> | E <sub>3d2</sub>     | E <sub>3ç2</sub>    |
| 54 mm çaplı daireysel      | 2290.22                        | D <sub>d</sub>  | D <sub>ç</sub>  | D <sub>d2</sub>      | D <sub>ç2</sub>     |
| Elips ( $r_2=1.614x r_1$ ) |                                | E <sub>1d</sub> | E <sub>1ç</sub> | E <sub>1d2</sub>     | E <sub>1ç2</sub>    |
| Elips ( $r_2=1.33*r_1$ )   |                                | E <sub>2d</sub> | E <sub>2ç</sub> | E <sub>2d2</sub>     | E <sub>2ç2</sub>    |
| Elips ( $r_2=2*r_1$ )      |                                | E <sub>3d</sub> | E <sub>3ç</sub> | E <sub>3d2</sub>     | E <sub>3ç2</sub>    |

Yukarıda ki tablo 3.2.2.1’de görüldüğü gibi venturi metre aygıtının eşit alanlarda ve giriş ve çıkış kısımlarının 36 mm çaplı ve elips ( $r_2=r_1 \times 1.614$ ,  $r_2=r_1 \times 1.33$ ,  $r_2=r_1 \times 2$ ) çaplı yapıyla ve bunlar gibi 42mm ve 54 mm bunların alanlarına eşit olacak şekilde elips venturi metreler çizilmiştir. Bu venturilerin üzerine yapılan hava alma yapıları da Tablo 3.2.2.1’de kod verilmiştir. Bu kodlar şekillerde ve grafiklerde kullanılacaktır.

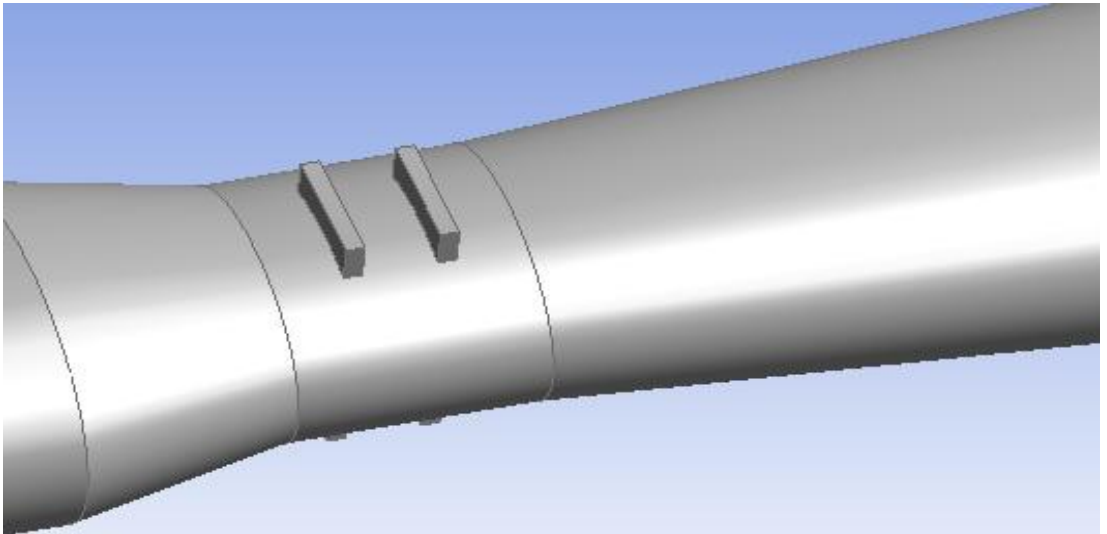
**Şekil 3.2.2.2** Dd kodlu venturinin boğaz kısmının görünümü



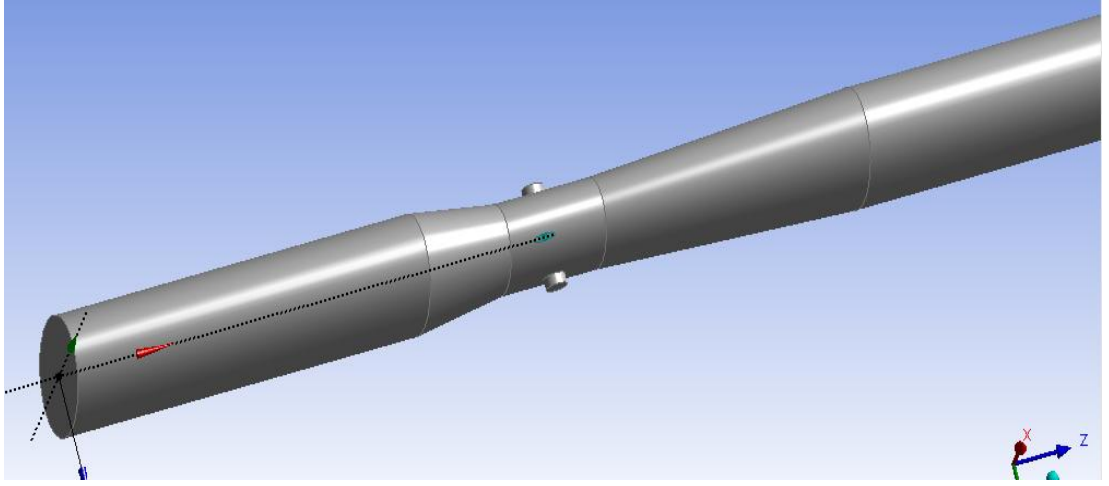
**Şekil 3.2.2.3** Dd2 kodlu venturinin boğaz kısmının görünümü



**Şekil 3.2.2.4** E1ç kodlu venturinin boğaz kısmının görünümü



**Şekil 3.2.2.5** E1ç2 kodlu venturinin boğaz kısmının görünüm

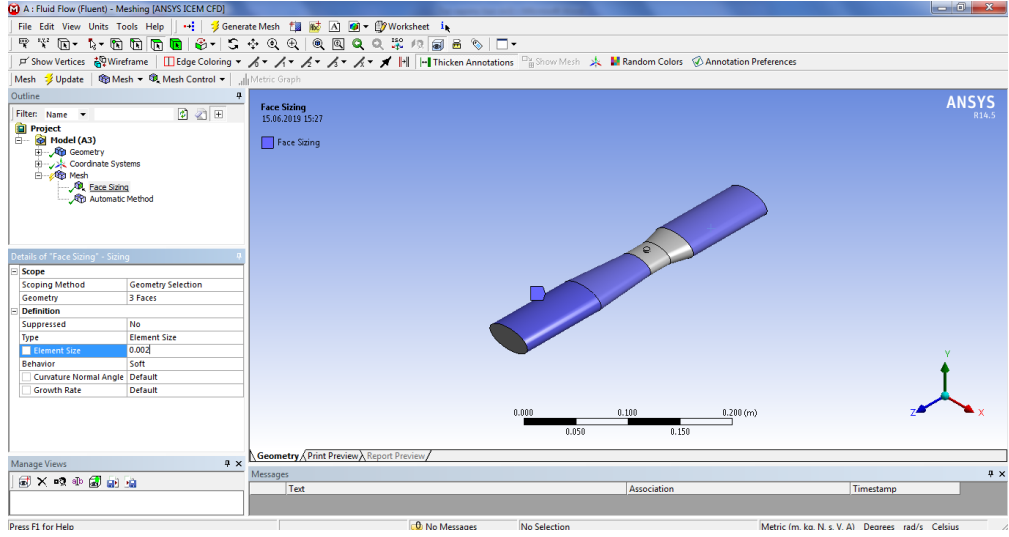


**Şekil 3.2.2.6** E1d kodlu venturinin genel geometri görünüm

Yukarıdaki Şekil 3.2.2.2 ve Şekil 3.2.2.4’de venturinin boğaz kısmındaki hava alma yapılarını göstermiştir. Bu hava alma yapıları boğaz kısmının ortalarında bulmaktadırlar. Şekil 3.2.2.3 ve Şekil 3.2.2.5’de venturinin boğaz kısmındaki hava alma yapılarını göstermiştir. Bunların yapıları ise boğaz kısmının başlangıç noktasından bitiş noktasına olan boğaz kısmının üç eşit bölmeye ayrılarak yerleştirilmiştir. Şekil3.2.2.6’da ise venturinin boydan üç boyutlu örneği gösterilmiştir.

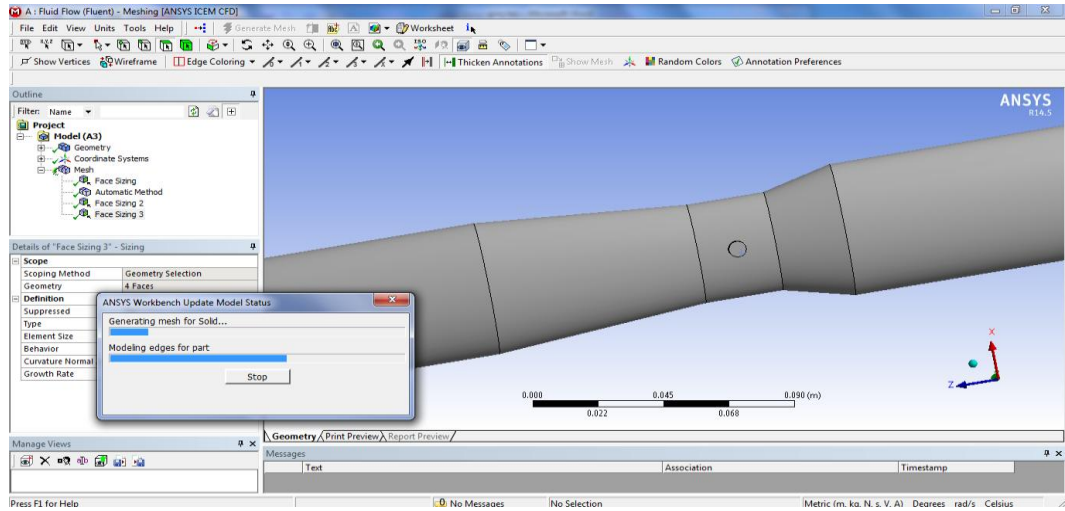
### 3.2.3 Ağ Yapısı

Ağ oluşturma mühendislik simülasyonun en kritik kısımlarından biridir. Fazla eleman sayısı uzun süreye yol açarken az eleman sayısı da sağlıksız sonuçlar verir. Fluent ağ yapısının dengeyi bulması ve olabildiğince otomatik olarak simülasyon için en doğru oluşturmalarını sağlar.



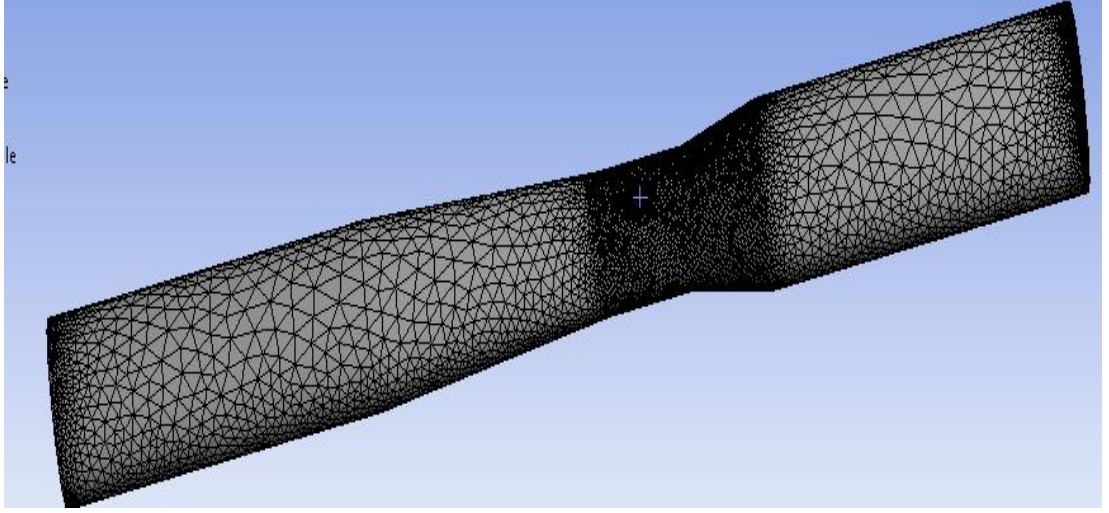
Şekil 3.2.3.1 Mesh yapısını parçalara seçmek

Şekil 3.2.3.1’de görüldüğü gibi ağ yapısının daha doğru sonuçlar verebilmek için ağ yapısını yapılandırılarak yeni mesh üstüne sağ tıklatılarak yeni açılan sayfada sizing’den seçim geometrinin parçaları seçilir. Bu seçimden sonra parçanın bölünme sayısı (en küçük hücre bölme) değerleri ayarlanır ve mesh yapılması için update basılarak mesh oluşturmaya başlar. Şekil 3.2.3.2’de görüleceği gibi

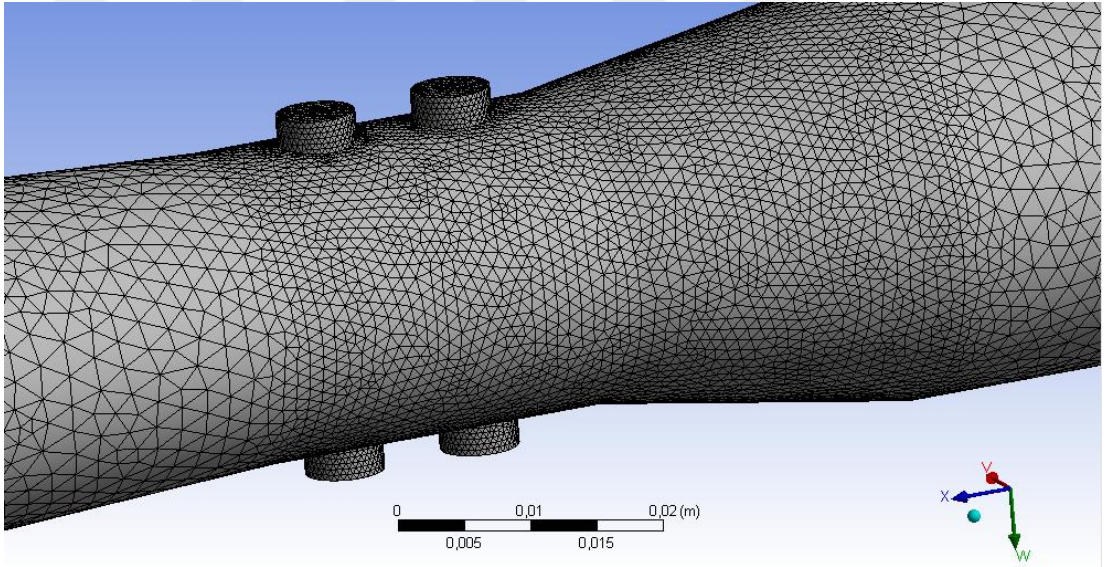


Şekil 3.2.3.2 Mesh ağ oluşması

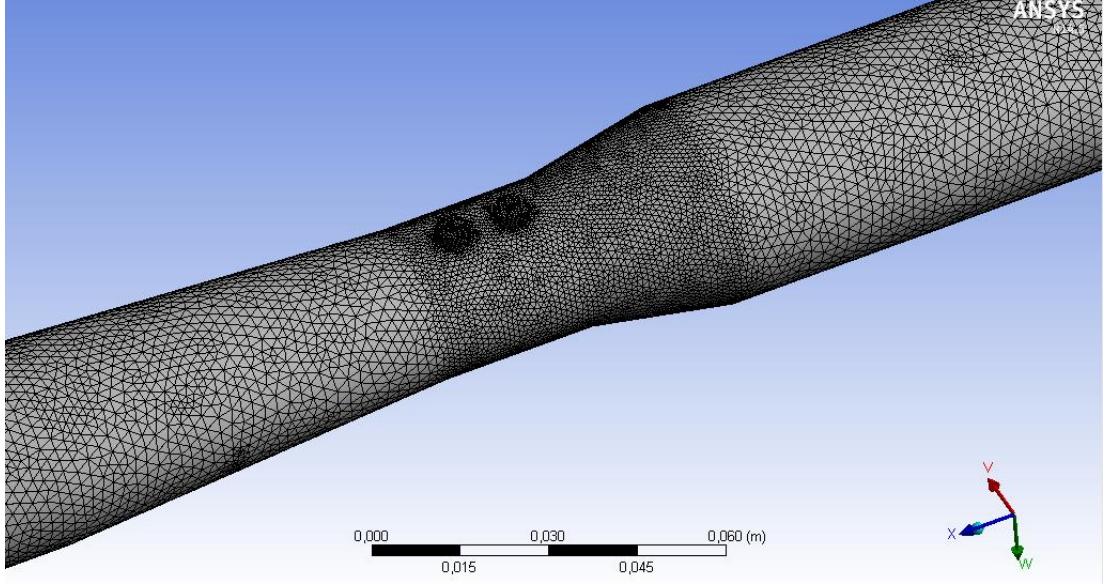
Bu çalışmada, sayısal model geometrileri Fluent programı ile hazırlanmış ve 500.000 altı yüzü / hibrid eleman ile 100.000 arasında bölünmüştür (Şekil 3.2.3.3 ). İnce ve kaba ızgaralar, akış alanında uygulanır ve çözeltinin yakınsama ve stabilitesinin, akışın ana gövdesindeki ızgara boyutuna duyarsız olduğu bulunur.



Şekil 3.2.3.3 Ağ yapısı



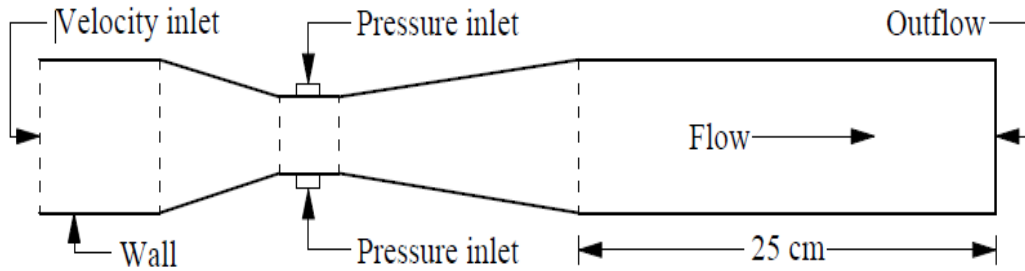
Şekil 3.2.3.4 Ağ yapısı boğaz kısmı



**Şekil 3.2.3.5 Ağ yapısı genel görünüm**

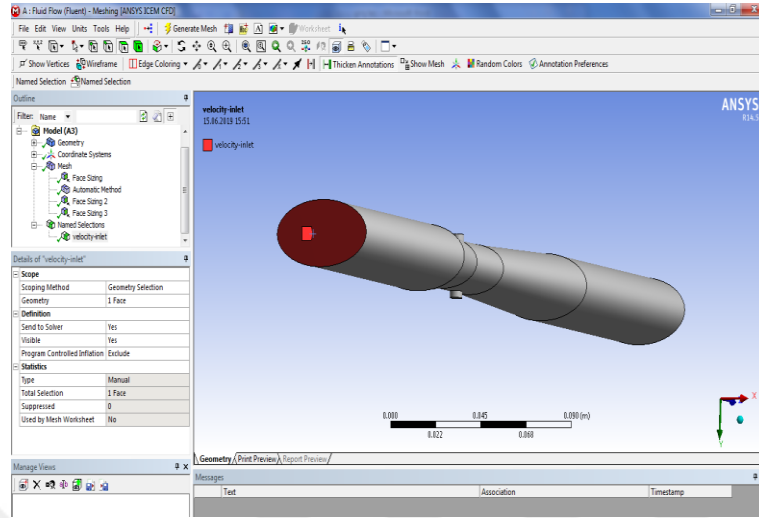
Şekil 3.2.3.4 ve Şekil 3.2.3.5’de görüldüğü gibi ölçeklendirmemizi üç parçaya ayırdığımız için küçük değer verdiğimiz bölgelerde daha fazla hücre yapısına ayırmıştır, diğer kısımların ise fazla hassas olmadığı için büyük parçalara ayırmıştır.

Ağ yapısını ayarladıktan sonra geometriyi tanımlamaya geçilir. Burada su akış hızını belirlemek için hız giriş sınır koşulu ve sistemi tanımlamak içinde hava girişi, su+hava çıkışı ve duvar kısmı tanımlanarak uygulanır. Bu tanımlama işlemi Fluent yazılım programı yardımıyla Şekil3.2.3.6’da görüldüğü gibi su girişine (Velocity-inlet), hava girişine (pressure-inlet), su+hava çıkışına (outflow ve pressure-outlet) ve duvar yüzeyine (wall) seçilir.

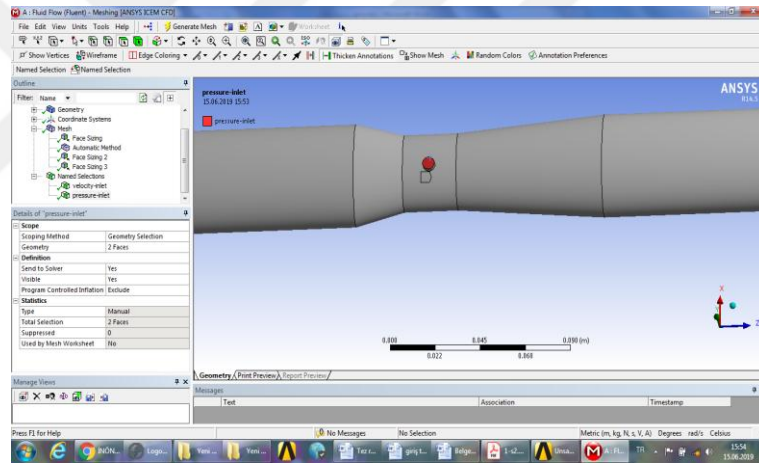


**Şekil 3.2.3.6 Sınır şartlarını fluent yazılımında verilerin girilme şekli [30]**

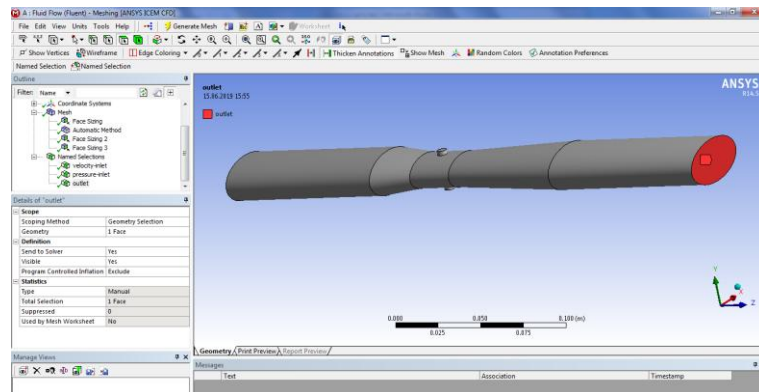
Sınır şartlarının tanımlama aşağıdaki şekillerde tanımlaması gösterilmiştir.



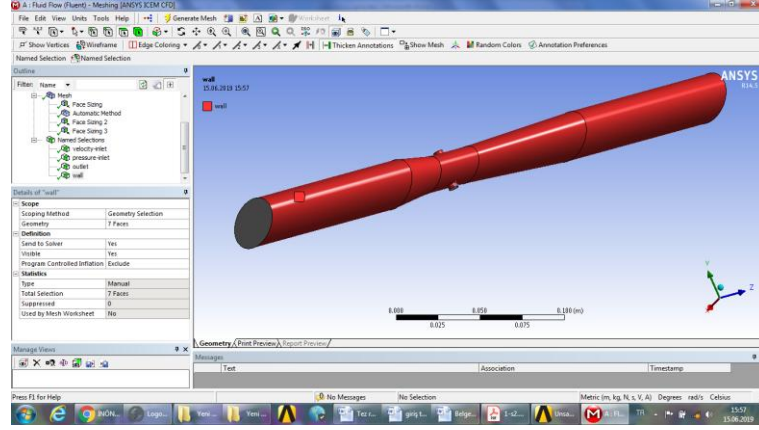
Şekil 3.2.3.7 Giriş kısmını tanımlama



Şekil 3.2.3.8 Hava giriş kısmı



Şekil 3.2.3.9 Çıkış kısmı

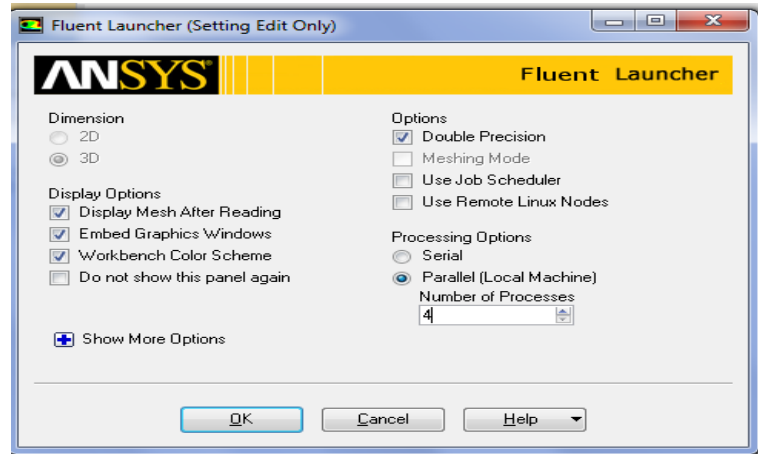


Şekil 3.2.3.10 Duvar yüzeyi

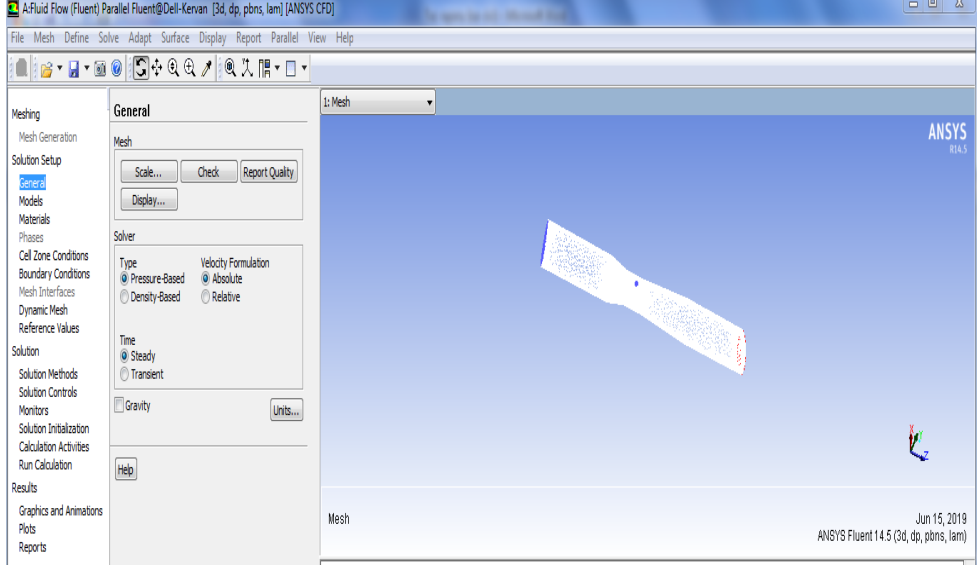
Yukarıdaki Şekil 3.2.3.7-3.2.3.10’da sırasıyla su giriş kısmı, hava giriş kısmı, su+hava çıkış kısmı ve duvar yüzeyi tanımlanır. Bu işlemler yapıldıktan sonra geometrinin setup kısmına geçilir.

### 3.2.4 Setup

Setup kısmı geçilirken burada ilk önümüze çıkan sayfa şekil3.2.4.1’de görüleceği gibi programın hassasiyeti çalışma özelliği ve bilgisayarın özelliğine bağlı olarak kaç parçada çözümleme yapacağını soruyor. Bu bilgisayar 4 çekirdekli olduğu için dört ayrı parçada çözümleme yapacaktır. Bu da çözümün daha hızlı oluşmasını sağlar.



Şekil 3.2.4.1 Setup giriş’te ilk çıkan sayfa

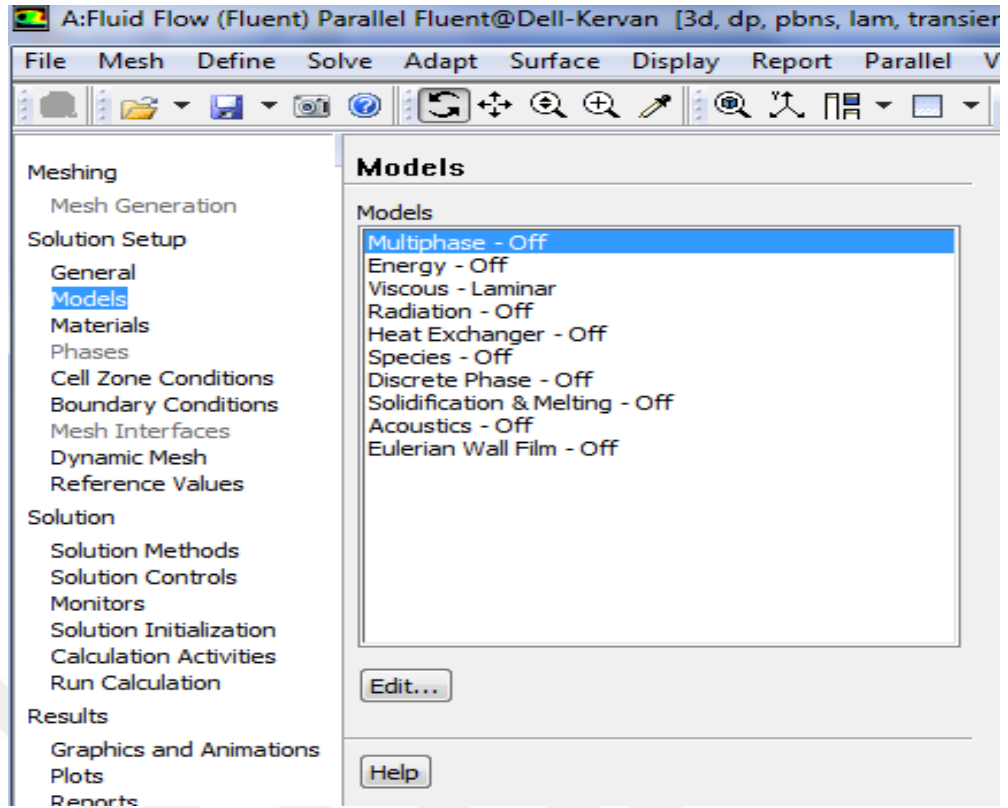


**Şekil 3.2.4.2** Setup giriş sayfası

Şekil 3.2.4.2’de görüldüğü gibi geometrimizin iki kısmı mavi görünüyor bu kısımların giriş kısımlarıdır. Bir girişimize su diğetine hava olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Çıkış kısmı ise kırmızı olarak görünmektedir.

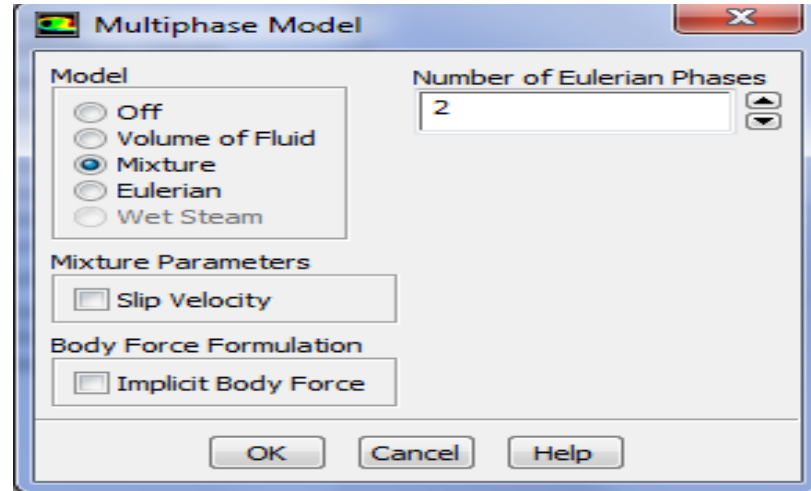
Şekil 3.2.4.2’de bulunan sayfada ilk olarak time altında yazılı olan transient seçilir. Burada zamana bağlı olarak çözümleme yapacağını seçmiş oluyoruz.

Daha sonra tek tek models, materials, phases ve boundary conditions sekmeleri seçilerek işlem sırası devam eder.



Şekil 3.2.4.3 Models sayfası

Şekil 3.2.4.3’de multiphase tıklanarak şekil 3.2.4.4’de görüldüğü gibi mixture seçilir ve ok denilir.

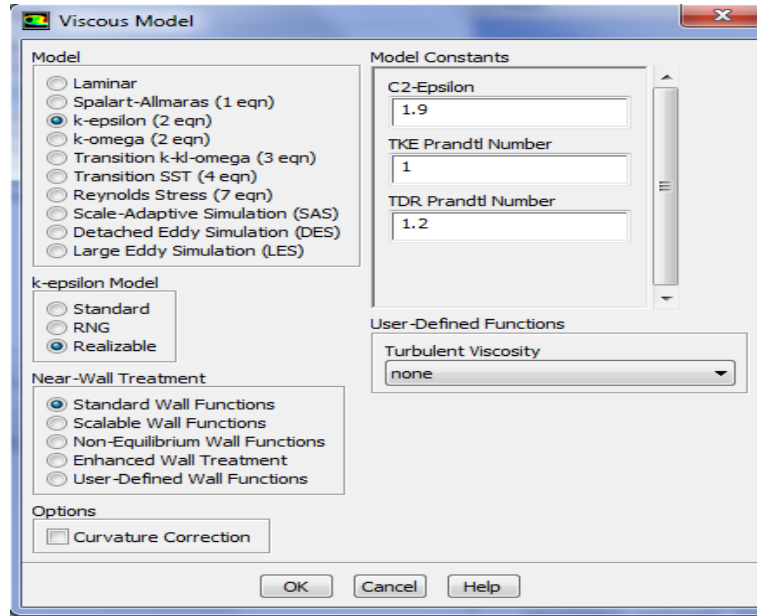


Şekil 3.2.4.4 Multiphase model sayfası

Sonrada Şekil 3.2.4.3’de viscous seçilerek yeni bir sayfa açılır bu sayfada türbülans tipi seçilir.

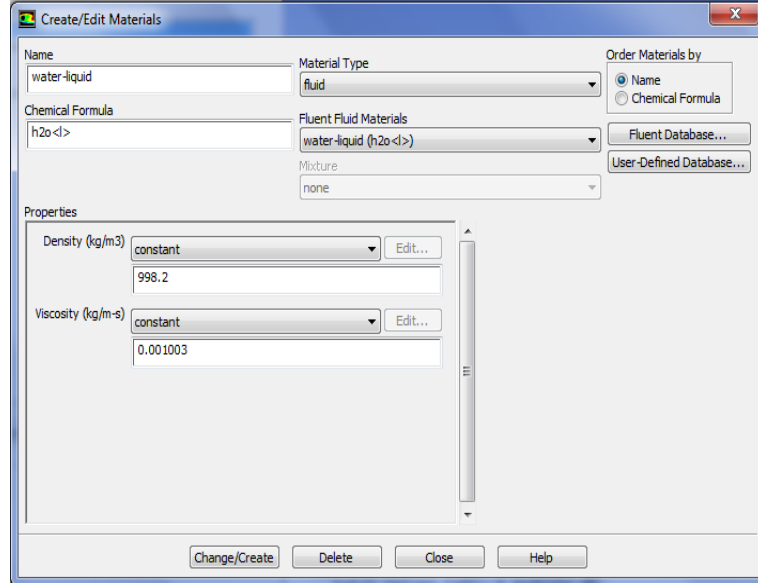
Türbülans simülasyonlarının gelişimini ve problemlerini derlemek mühendislik amaçlıdır. Türbülans taşıma modelleri: Bunların temeli Mühendislerin yaklaşımı, girişimlerin. Yöneten koşulların sadeleştirilmiş modellenmesi arayışı momentumun taşınması, ısı vb yoğunlaştığı yerlerdir. Her ikisinde de analitik kuramlara benzer istatistiksel olarak ortalama alanlar olarak dinamik miktarlar alınır. [20]

Daha yüksek Reynolds sayısında bir borudaki tam türbülanslı akışı içinde akışkanların akışı ayarlandığı yerdir. Bir boru ağı herhangi bir mühendislik endüstrisinde önemli ve yaygın olarak çalışılan bir sorundur. Bir boruda sıvı akışının ve basınç düşüşünün gelişimini görmek her zaman önemlidir [21].



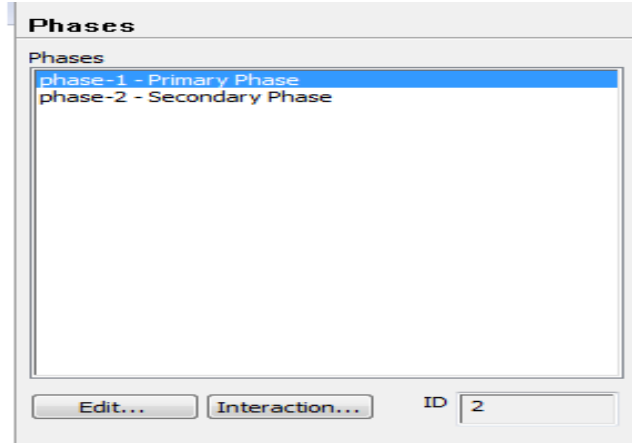
Şekil 3.2.4.5 Viscous model sayfası

Bu sayfada standart k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Türbülans modelinden Şekil 3.2.4.5’de görüldüğü gibi k-epsilon modelin realizable modeli kullanılmıştır. Çünkü daha önceki çalışmalardan yararlanılarak ve daha iyi sonuç verdikleri söylediklerinden dolayı bu çalışmayı da ona göre realizable seçilmiştir.



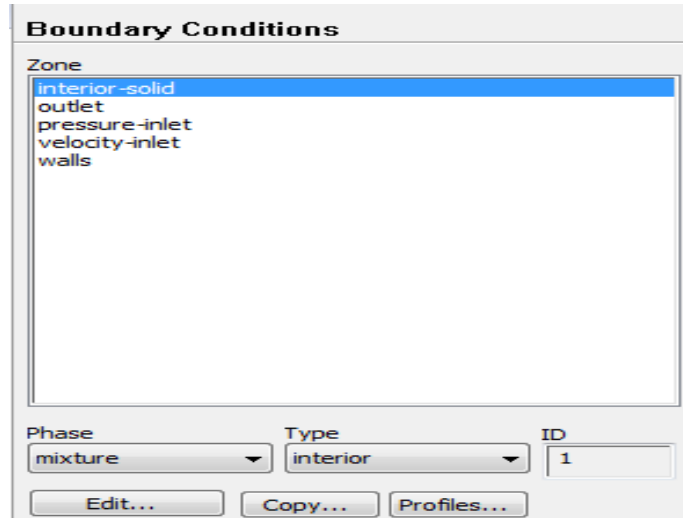
**Şekil 3.2.4.6** Create/edit materials sayfası

Şekil 3.2.4.6’da materyal kısmı seçilerek burada kullanılan iki akım vardır. Bu akımlar hava zaten seçilidir diğer kısım ise water (su) Fluent database menüsünden water liquid seçilerek copy yapıp close ile kapatılır ve diğer sayfada change/create yapılarak su da tanımlanır.



**Şekil 3.2.4.7** Phases sayfası

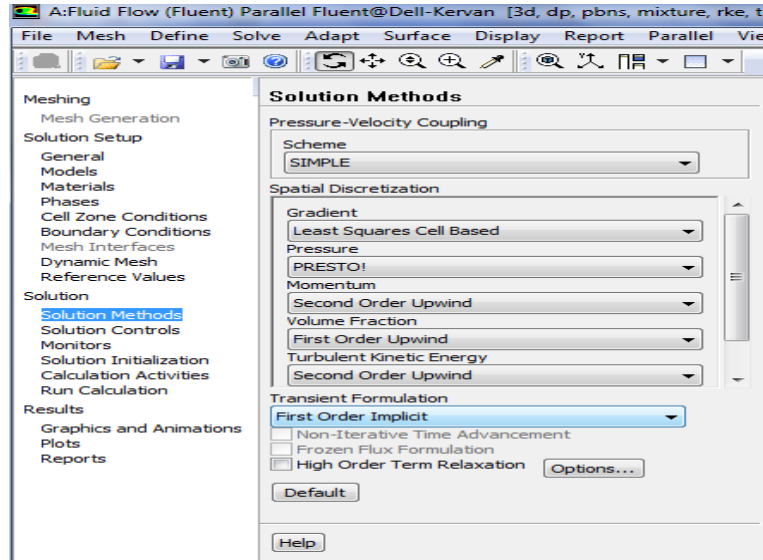
Şekil 3.2.4.7’de görülen phases-1 de su kullanılır ikinci phase-2 ise hava kullanılır.



Şekil 3.2.4.8 Boundary conditions sayfası

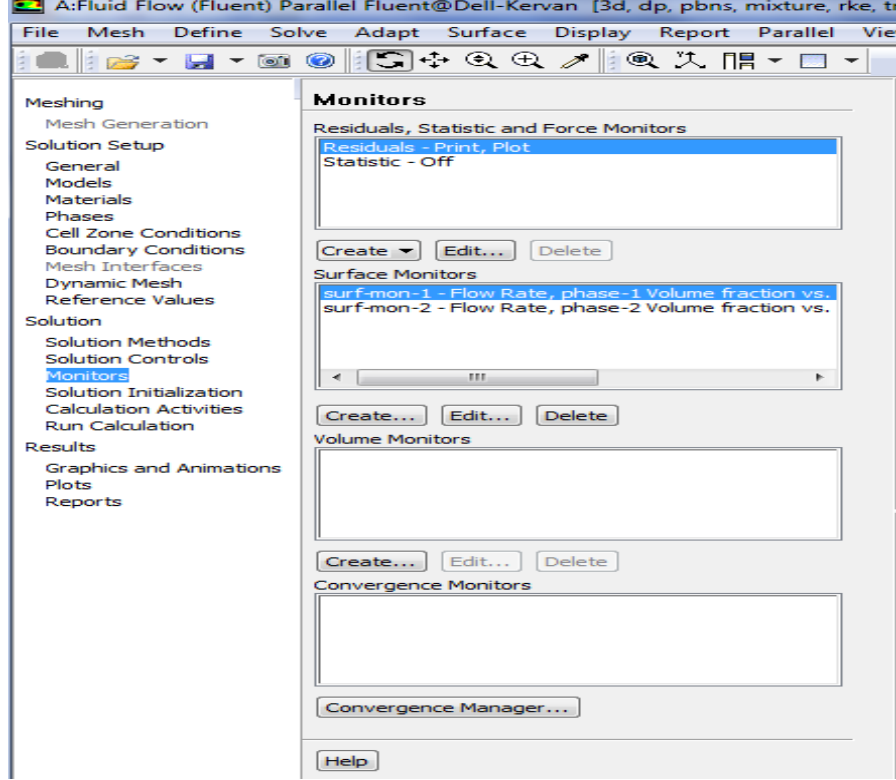
Şekil 3.2.4.8’de sınır şartları (Boundary conditions) sayfasının da bütün tanımlar ayrı ayrı tanımlanır. Daha önce bahsettiğimiz su giriş hızı, hava girişi, su+hava çıkış ve duvar yüzeyi bunların hepsi burada tanımlanır.

### 3.2.5 Solution



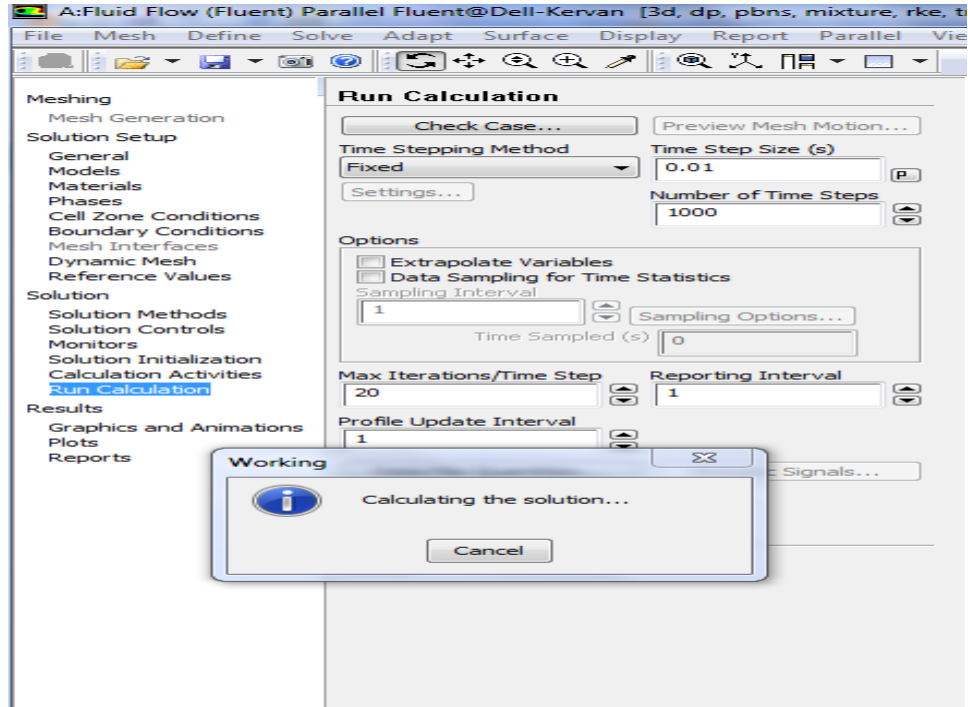
Şekil 3.2.5.1 Solution methods sayfası

Şekil 3.2.5.1’de bazı parametreler değişilecektir değişen parametreler pressure’de presto seçildi, momentum kısmında ise second order upwind seçilir ve turbulent kinetic energy kısmında seconde order upwind kısmı seçilir.



Şekil 3.2.5. 2 Monitors sayfası

Şekil 3.2.5.2’deki sayfada residuals, statistic ve force monitors kısmında residuals tıklatılarak bu kısımda continuity değeri  $1e-05$  yapılarak çözümleme sırasında hassasiyetin artmasına sebep oluyor. Surface monitors kısmı ise create yapılarak orda iki grafiğin çözümleme esnasında görünmesini sağlar. Bu grafikler hava girişi ve su girişidir.



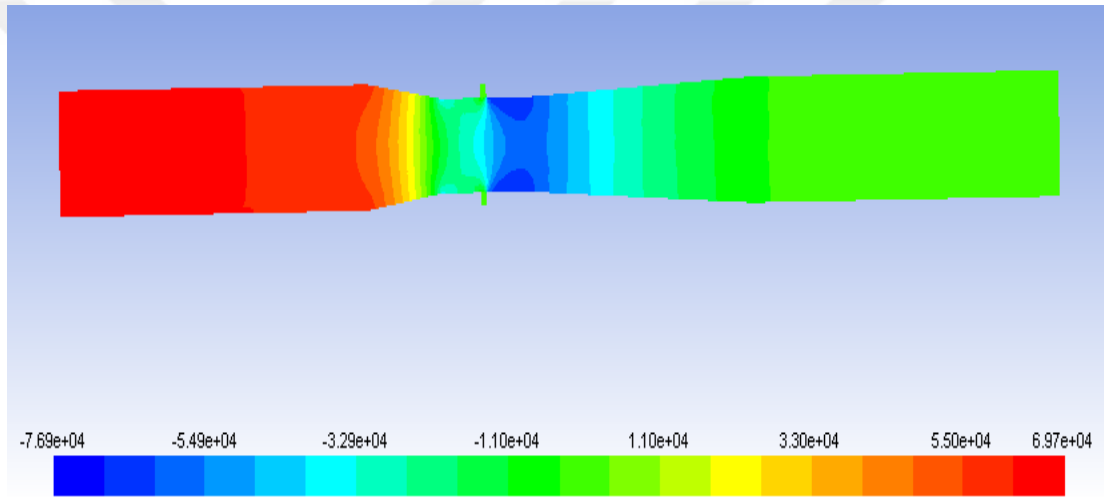
Şekil 3.2.5.3 Run calculation sayfası

Şekil 3.2.5.3'deki sayfada yinelemeli çözümlerde, çözülen her denklem için normalleştirilmiş artıklarda en az üç büyüklük düzeyinde azalma ile yinelemeli yaklaşmanın sağlanması sağlanmalıdır. Zamana bağlı problemler için, her zaman adımındaki yinelemeli yakınlıklar kontrol edilir ve tüm artıklar yaklaşık 300 zaman adımında (6.000 yineleme) dört derecenin ( $10^{-4}$ ) altına düşer. Zaman adım büyüklüğü  $t = 0,01$  sn olarak seçilir. İteratif yakınsama yaklaşık 350 zaman adımında (7.000 yineleme) gerçekleştirilir. [30]

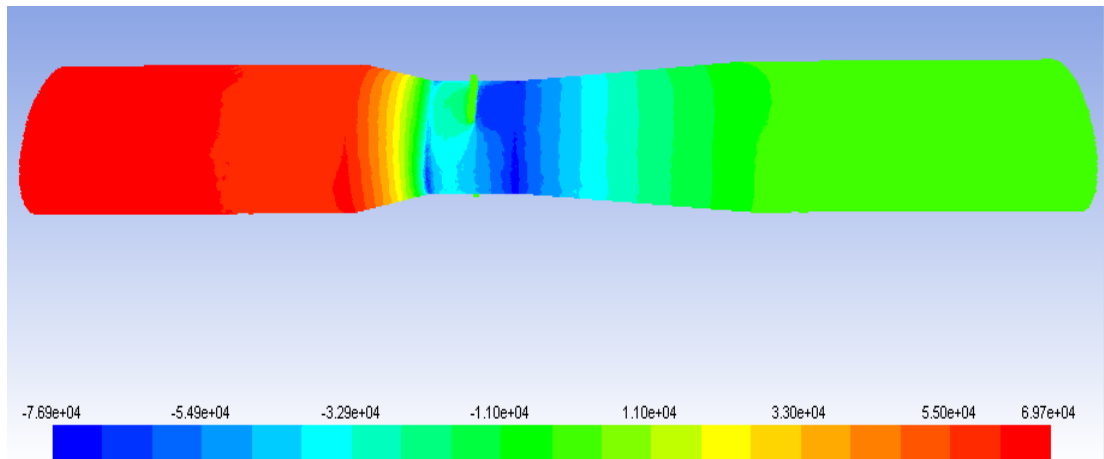
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

##### Statik basınç dağılımı

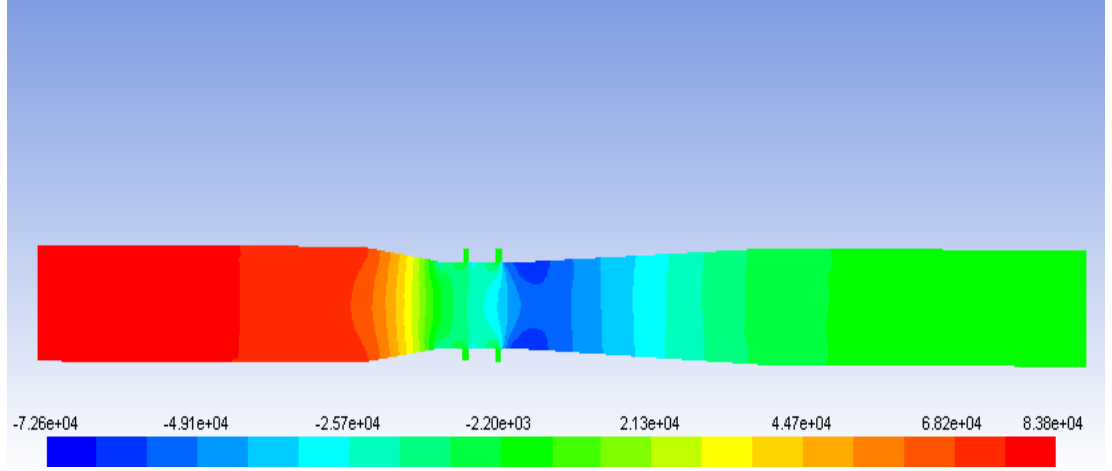
Şekil 4.1-4.10’da 1017,88 mm<sup>2</sup> kare alanlara sahip örnek venturi metrelerin basınç dağılımları gösterilmiştir. Örnek olarak gösterilen venturiler elips ve dairesele venturilerden oluşuyor. Elips çaplarının birbirine 1.614 katı olarak alınan çaptaki venturi, dairesele 36 mm çapa sahip venturiler ve 4 farklı hava alma yapısının birbiri içinde kıyası yapılmıştır.



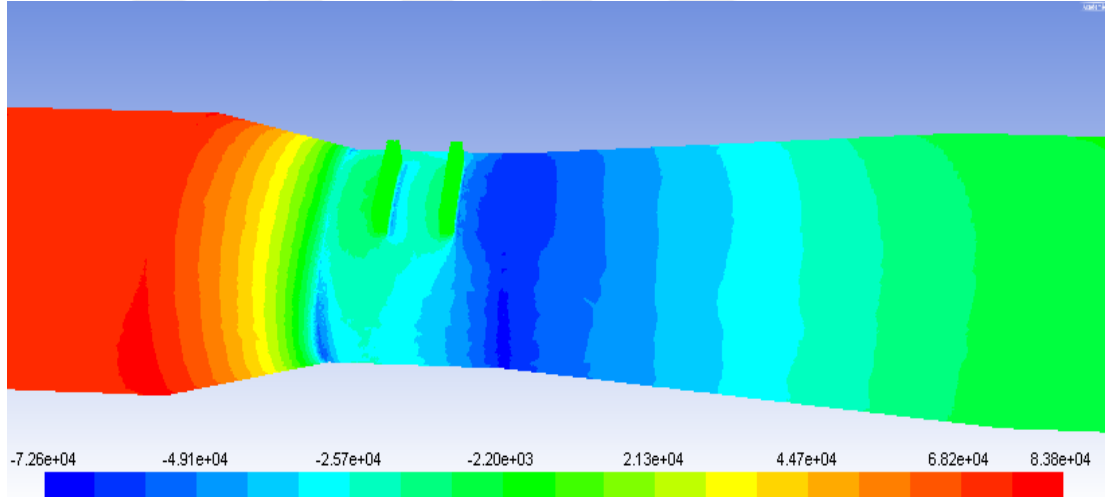
Şekil 4.1 Elç kodlu venturi modelin statik basınç dağılımı



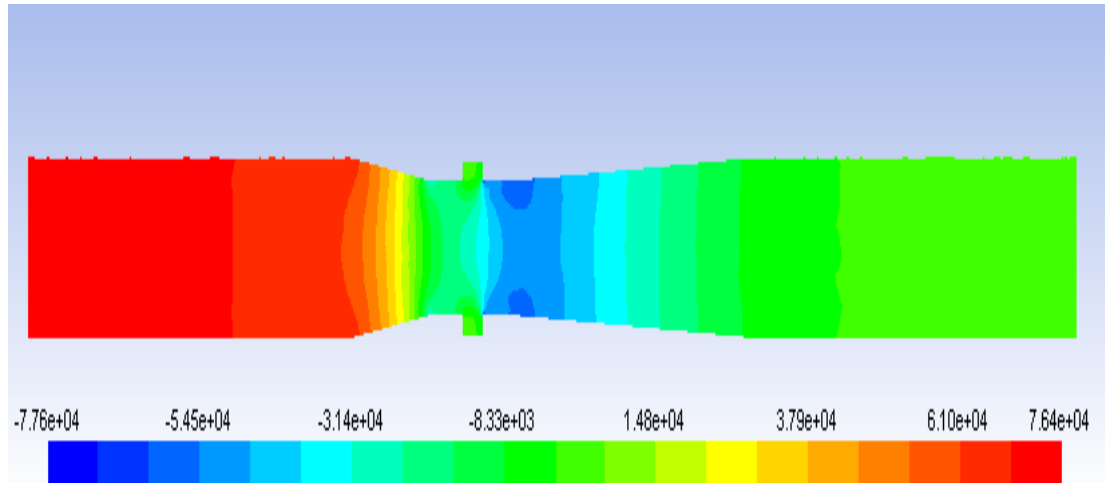
Şekil 4.2 Elç venturi modelin üç boyutlu statik basınç dağılımı



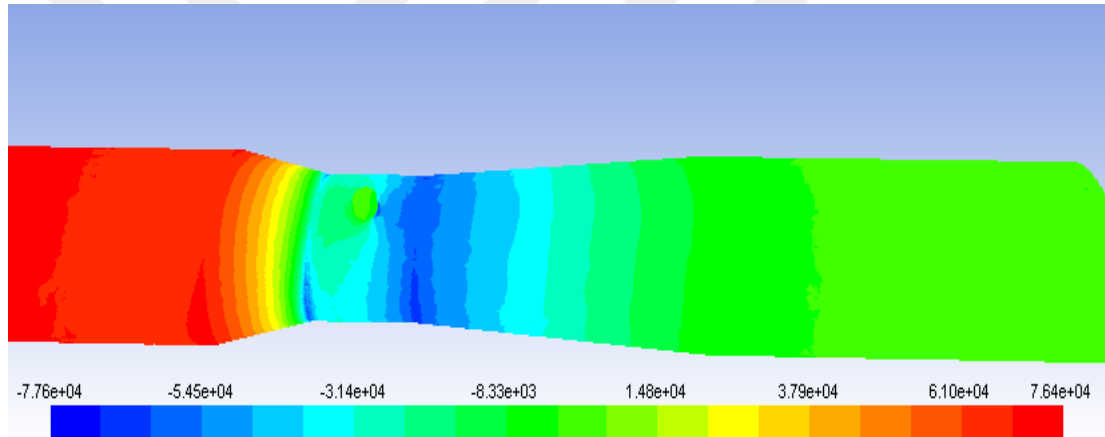
Şekil 4.3 E1ç2 venturi modelin statik basınç dağılımı



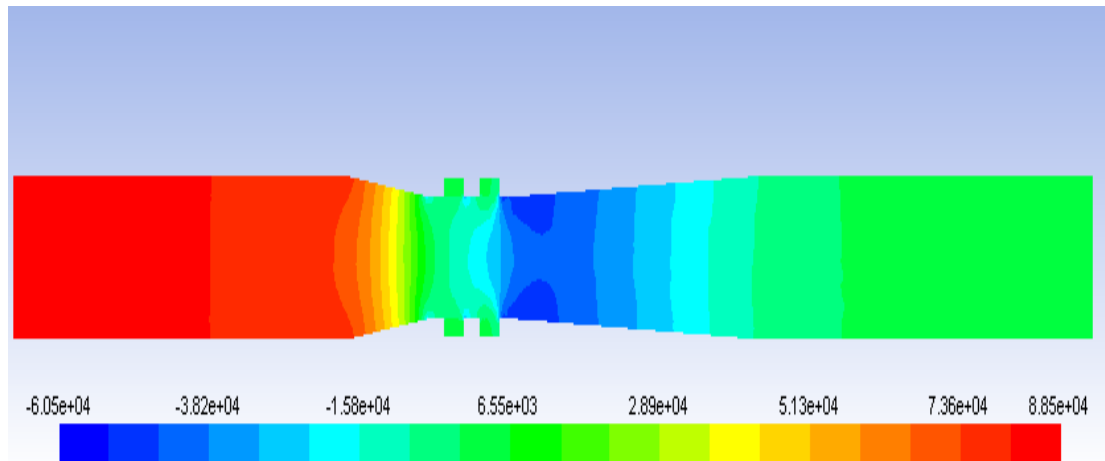
Şekil 4.4 E1ç2 venturi modelin üç boyutlu statik basınç dağılımı



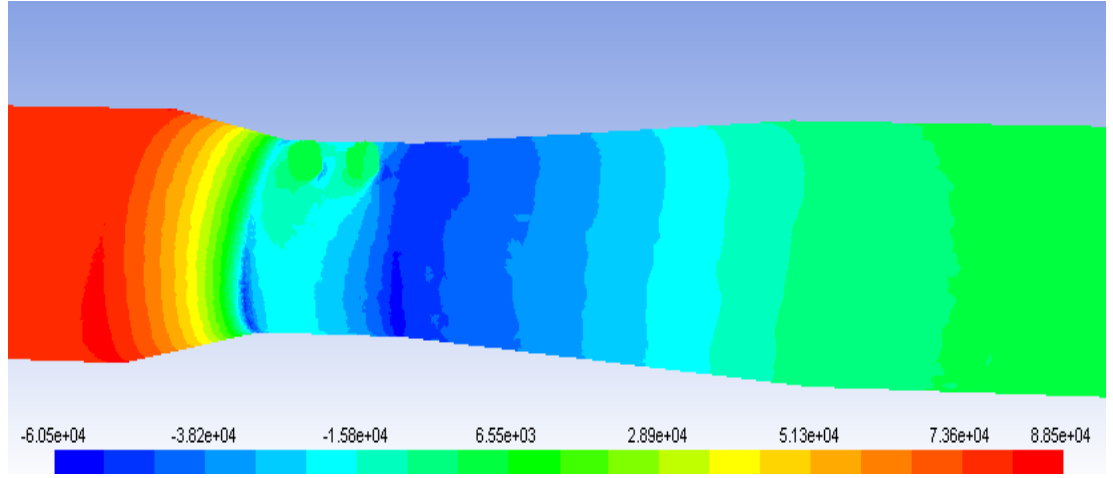
Şekil 4.5 E1d venturi modelin statik basınç dağılımı



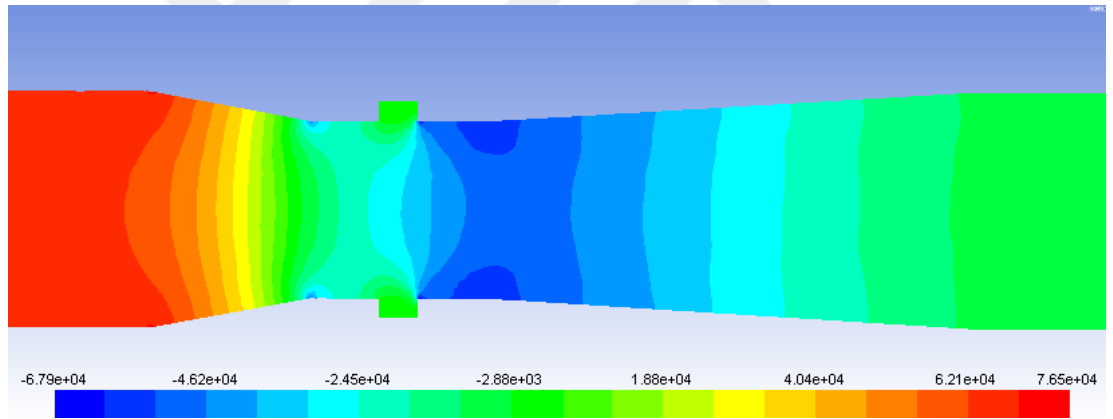
Şekil 4.6 E1d venturi modelin üç boyutlu statik basınç dağılımı



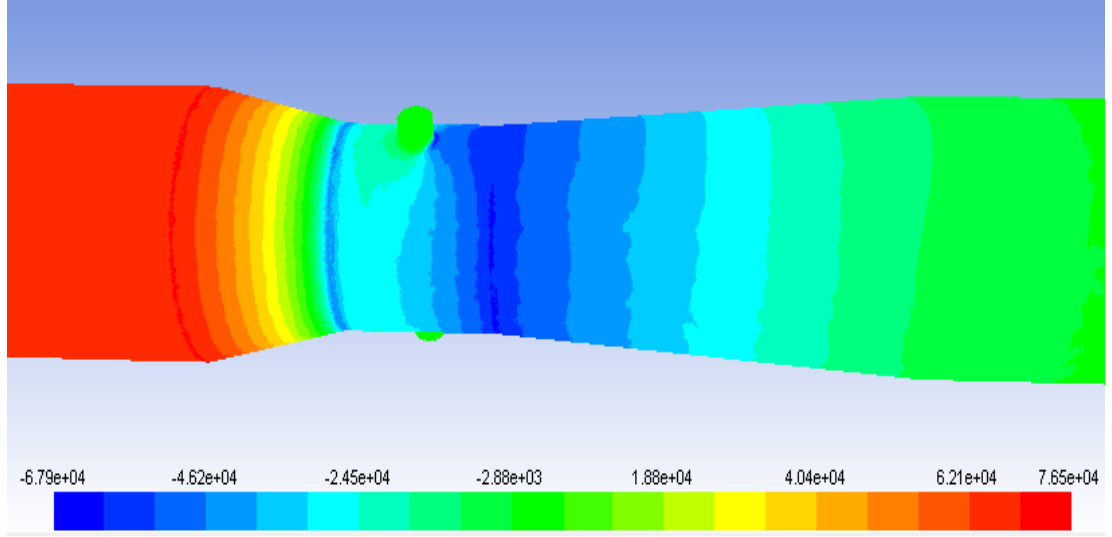
Şekil 4.7 E1d2 venturi modelin statik basınç dağılımı



Şekil 4.8 E1d2 venturi modelin üç boyutlu statik basınç dağılımı



Şekil 4.9 Dd kodlu venturi modelin yüzey planı statik basınç dağılımı

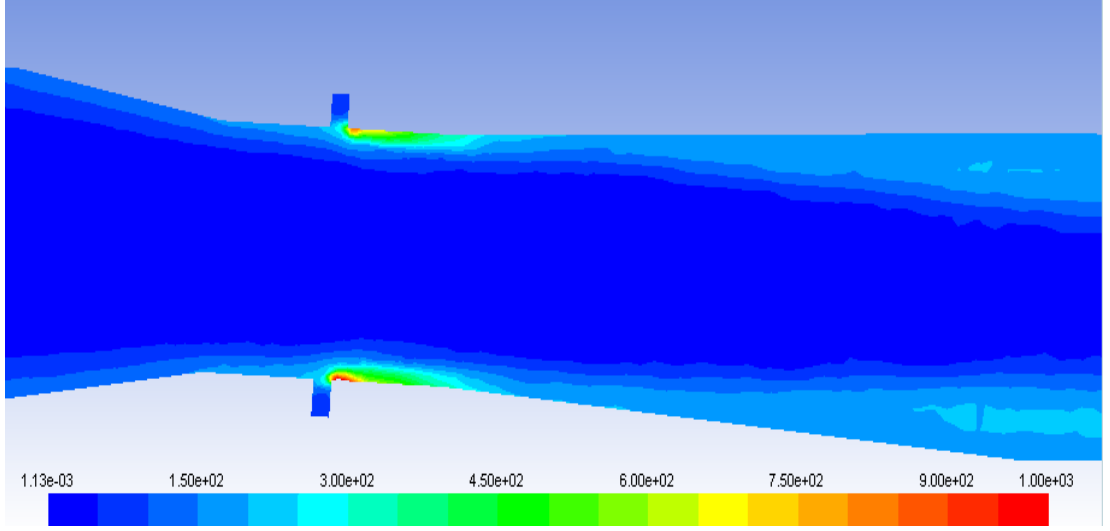


**Şekil 4.10** Dd kodlu venturi modelin üç boyutlu statik basınç dağılımı

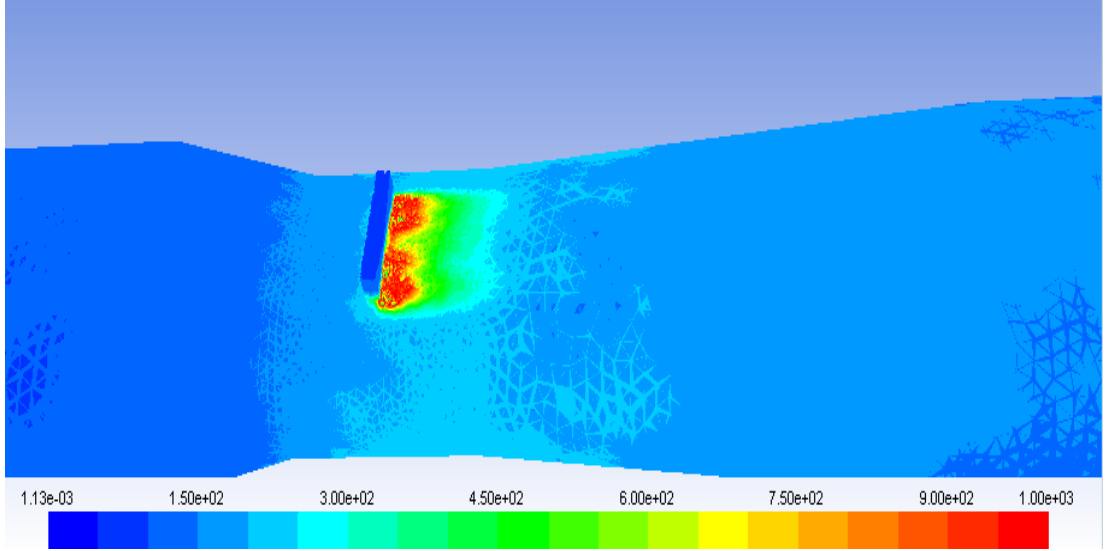
Yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi Şekil 4.1 ve 4.2’de basıncın hava alma yapısından sonra diğer şekillere göre daha çok dağıldığı görülmüştür. Şekil 4,3 ve 4.4’te basıncın ikinci hava alma yapısında az mesafe sonra minimuma indiği ve minimum basıncın dağıldığı görülmüştür. Şekil 4.5 ve 4.6’da basıncın diğer dört şekildeki gibi minimum basıncın venturi içinde çok yayılmadığı belli bir kısımda olduğu görülmüştür. Şekil 4,7-4.10’da basınçların minimum basıncın hava alma yapısından daha sonra indiği ve fazla dağılmanın ortaya çıkmamıştır.. Bu şekillerde anlaşılacağı gibi venturi de negatif basıncın daralmaya başladığı belli bir mesafeden sonra negatif oluyor ve bu negatif venturinin boğaz kısmını ve geçiş bölgesin bitimin kadar devam ediyor. Buda venturi içinde yüksek miktarda kavitasyon uğrar ve bunun için venturi modeli yapılırken ona göre malzeme seçilmelidir

### **Türbülans oluşumu**

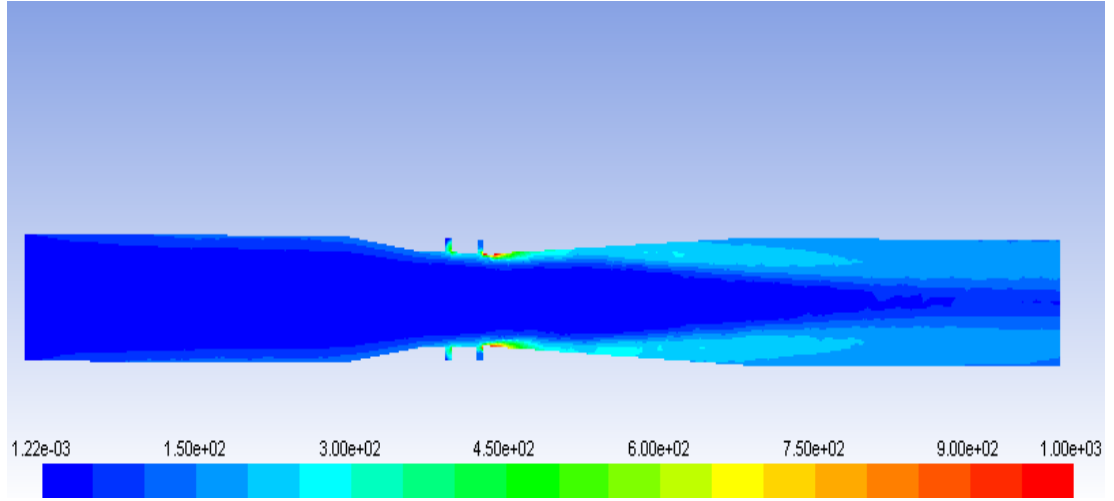
Aşağıda Şekil 4.11-4.16’da 1017.88 mm<sup>2</sup> kare alanlara sahip örnek venturi metrelerin türbülans dağılımları gösterilmiştir. Örnek olarak gösterilen venturiler elips ve dairesel venturilerden oluşuyor. Elips çaplarının bir birine 1.614 katı olarak alınan çaptaki venturi ve 4 farklı hava alma yapısının birbiri içinde kıyası yapılacaktır.



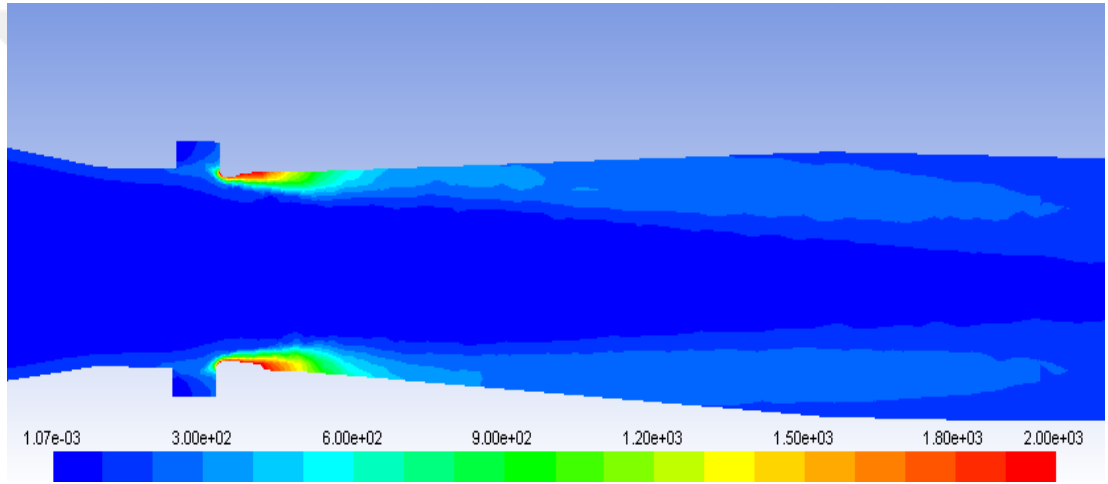
Şekil 4.11 E1ç kodlu venturi modelin türbülans yoğunluğu



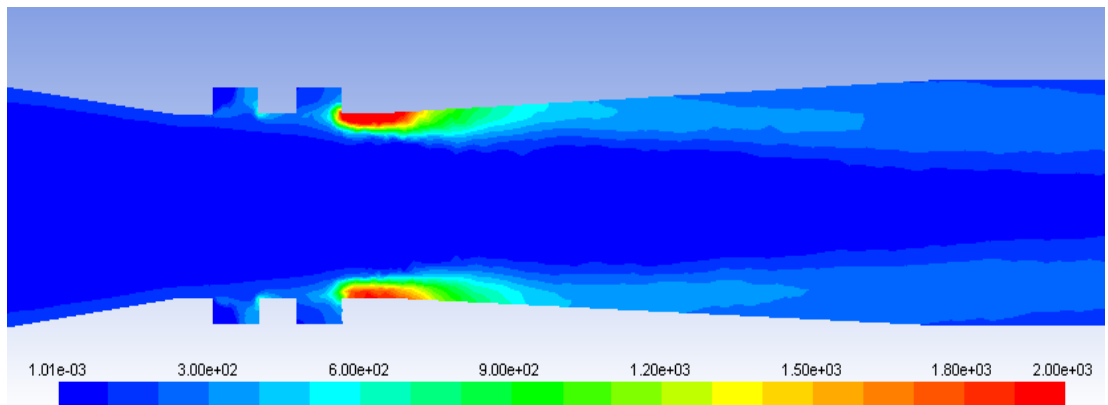
Şekil 4.12 E1ç kodlu venturi modelin türbülans yoğunluğu



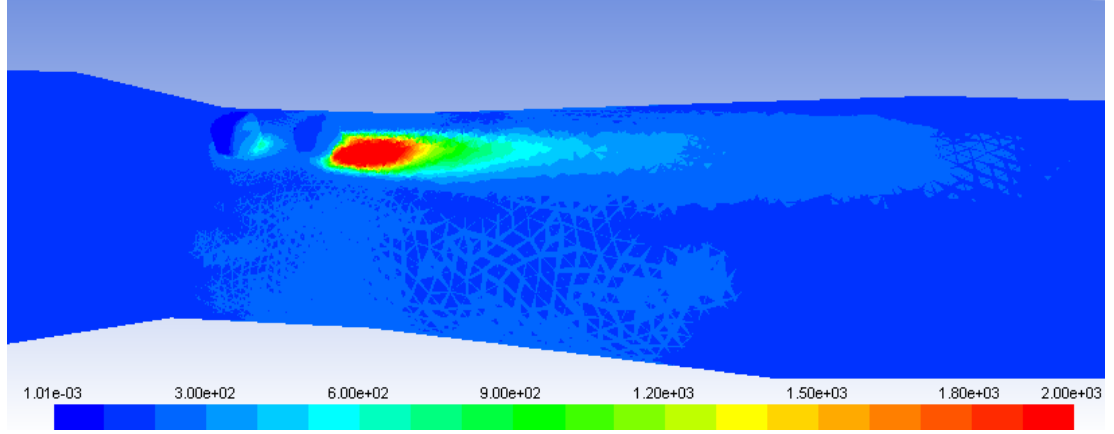
Şekil 4.13 E1ç2 kodlu venturi modelin türbülans yoğunluğu



Şekil 4.14 E1d kodlu venturi modelin türbülans yoğunluğu



Şekil 4.15 E1d2 kodlu venturi modelin türbülans yoğunluğu

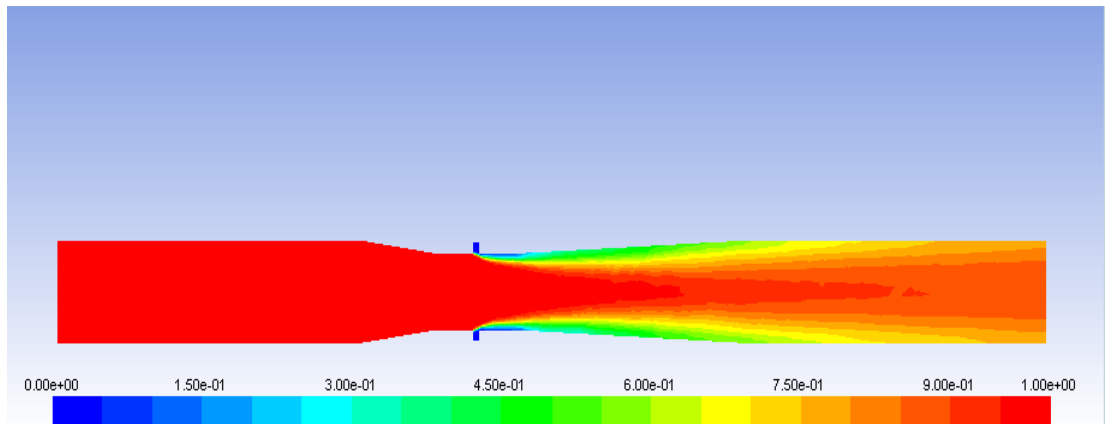


**Şekil 4.16** E1d2 kodlu venturi modelin türbülans yoğunluğu

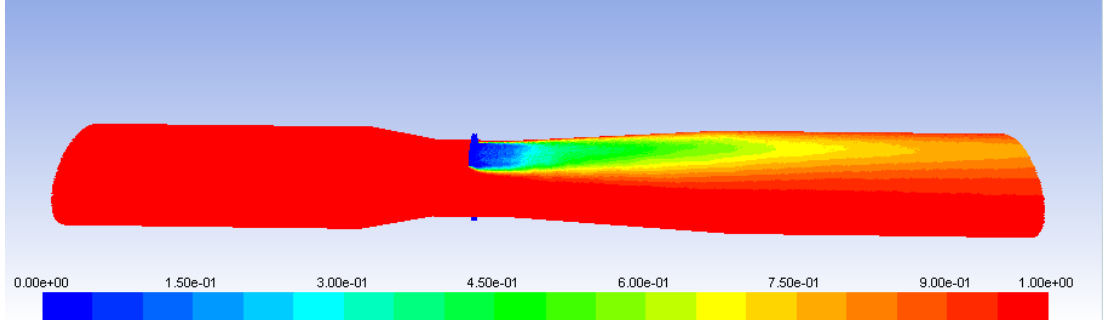
Yukarıdaki Şekil 4.11 ve 4.12’deki venturilerde türbülansın yayıldığı ve Şekil 4.13-4.15’te ise türbülansın yayılmaktan çok daha derin noktalarda indiği görülmektedir.

### Su Faz Görünümü

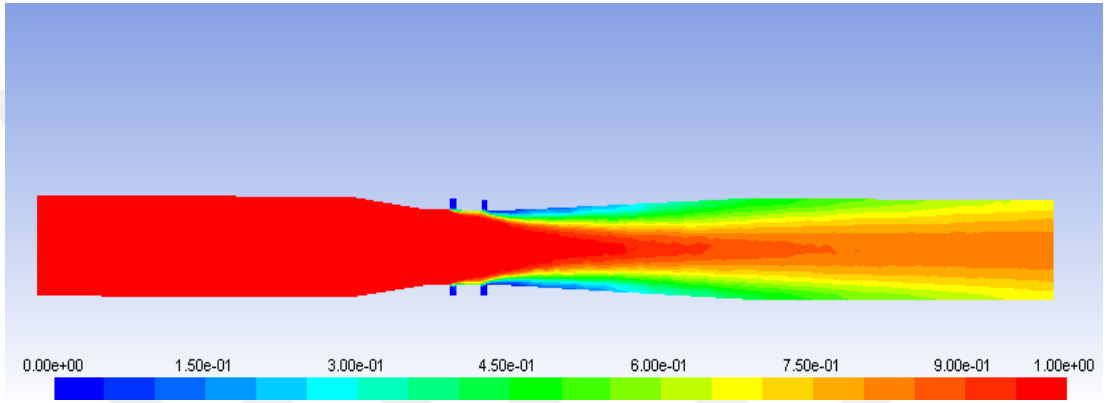
Aşağıda Şekil 4.17-4.24’te 1017.88 mm<sup>2</sup> kare alanlara sahip örnek venturi metrelerin su faz dağılımları gösterilmiştir. Örnek olarak gösterilen venturiler elips ve dairesel venturilerden oluşuyor. Elips çaplarının bir birine 1.614 katı olarak alınan çaptaki venturi ve 4 farklı hava alma yapısının birbiri içinde şekilleri aşağıda verilmiştir.



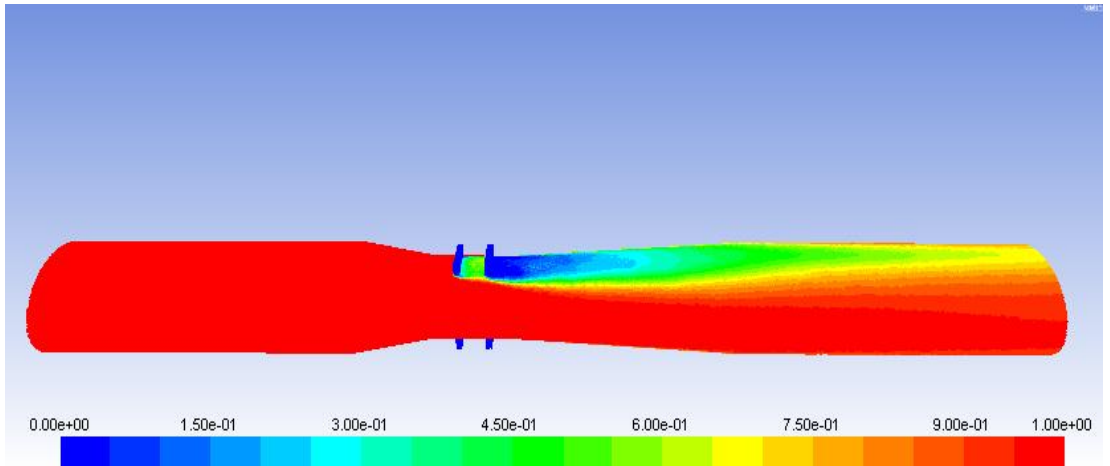
**Şekil 4.17** E1ç kodlu venturi modelin su faz dağılımı yüzey planın gösterimi



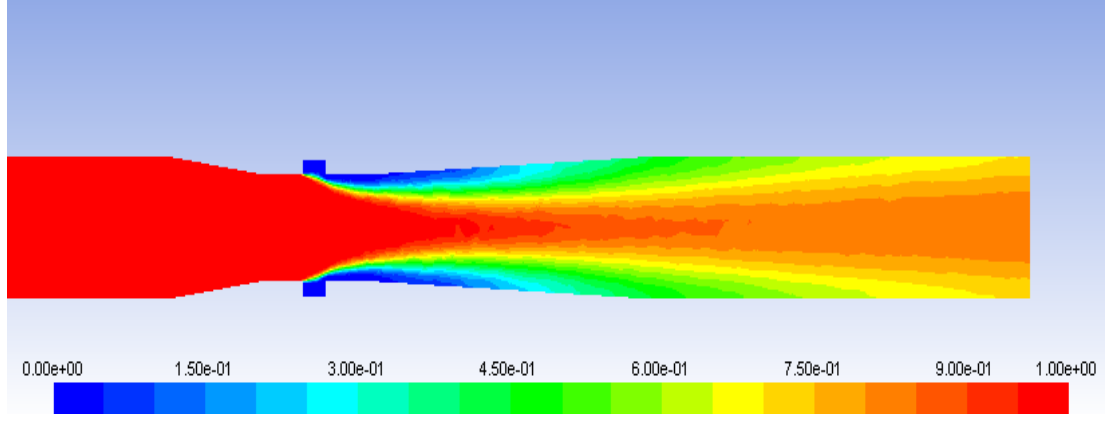
Şekil 4.18 E1ç kodlu venturi modelin su faz dağılımı üç boyutlu gösterimi



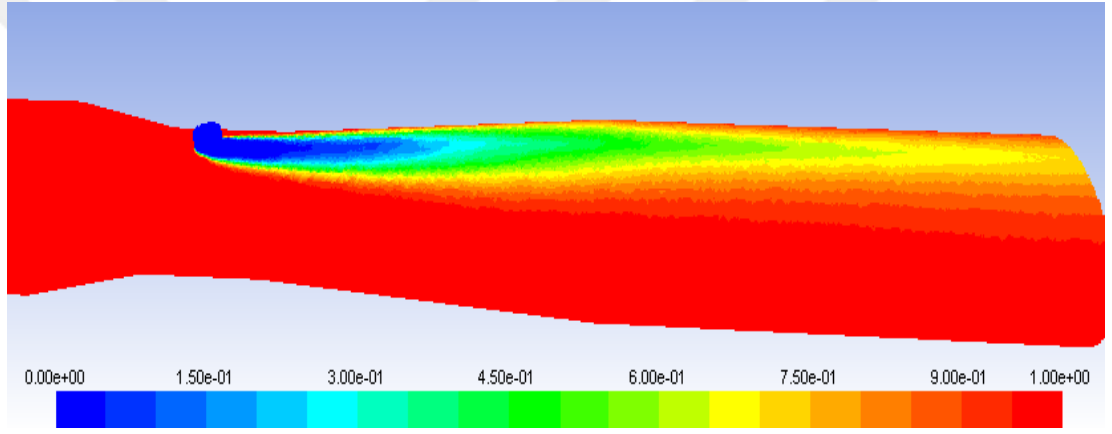
Şekil 4.19 E1ç2 kodlu venturi modelin su faz dağılımı gösterimi



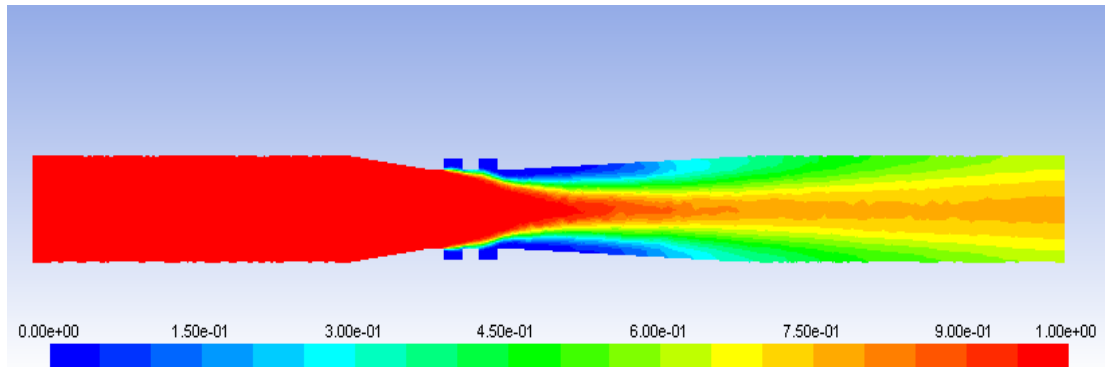
Şekil 4.20 E1ç2 kodlu venturi modelin su faz dağılımı üç boyutlu gösterimi



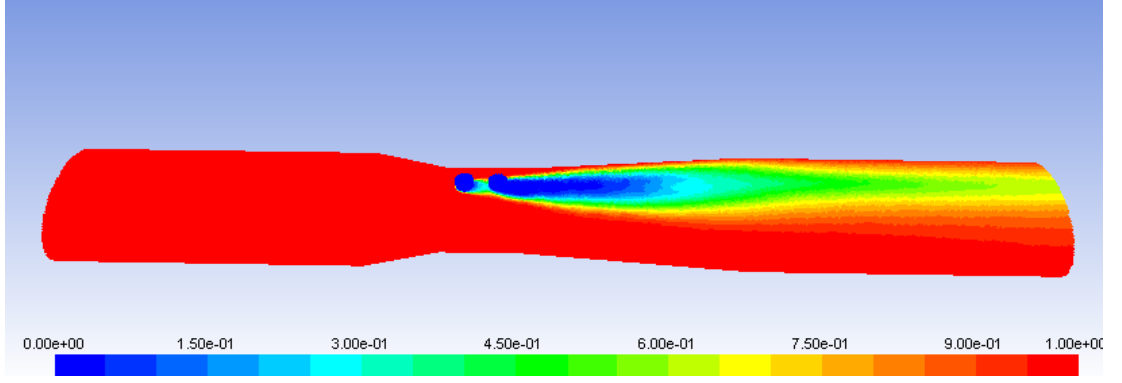
Şekil 4.21 E1d kodlu venturi modelin su faz dağılımı yüzey planının gösterimi



Şekil 4.22 E1d kodlu venturi modelin su faz dağılımı üç boyutlu gösterimi



Şekil 4.23 E1d2 kodlu venturi modelin su faz dağılımı gösterimi

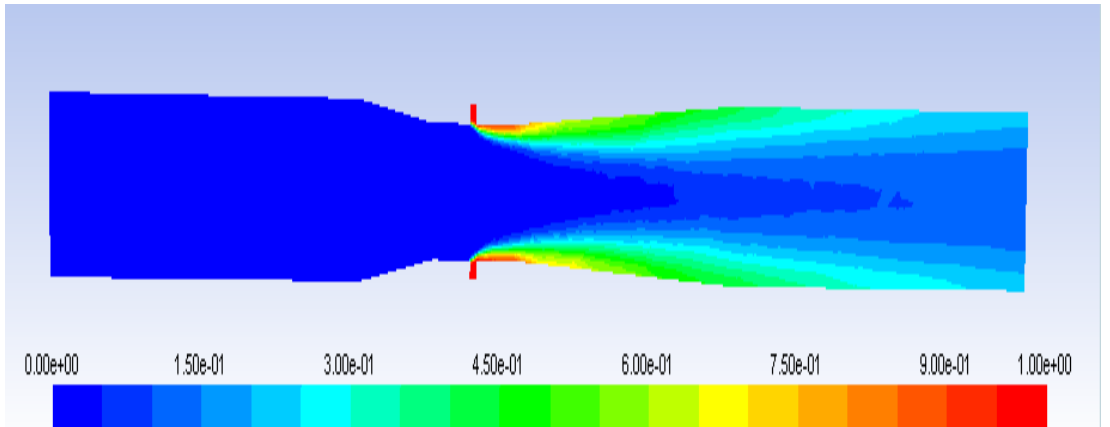


**Şekil 4.24** E1d2 kodlu venturi modelin su faz dağılımı üç boyutlu gösterimi

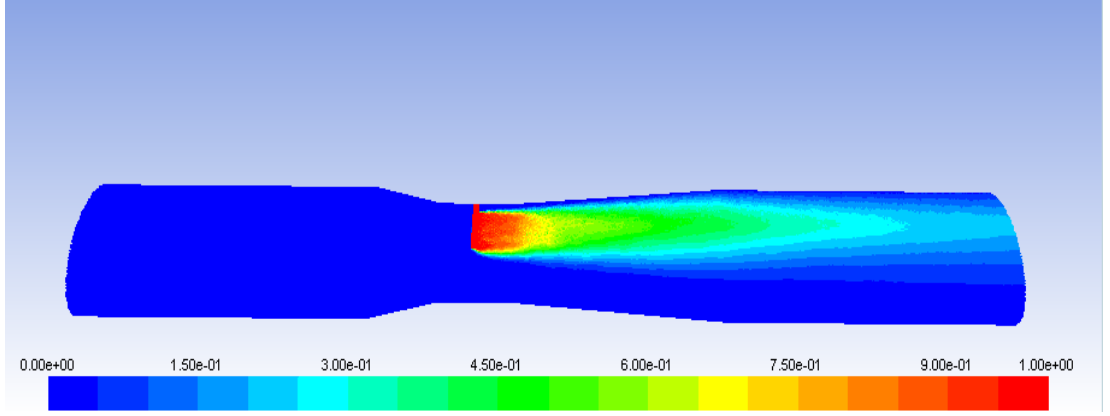
Yukarıdaki Şekil 4.17-4.21'deki venturilerde hava alma yapısına kadar sadece su olduğu onlardan sonra hava'nın suya yayılarak karıştığı ve Şekil 4.22-4.24'de ise havanın yayılmaktan çok daha derin noktalarda indiği görülmektedir. Bu şekillerde dört hava alma yapısı olan Şekil 4.20-4.24'de ise suya daha fazla miktarda havanın karıştığı görülmüştür. Zaten bu çalışmadaki amaç da suya fazla miktarda hava kazandırmaktır.

#### Hava Faz Dağılımı

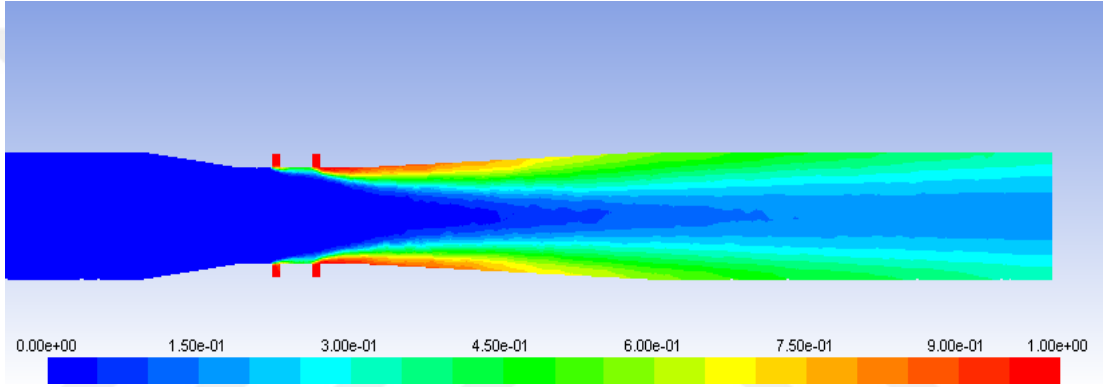
Aşağıda  $1017.88 \text{ mm}^2$  kare alanlara sahip örnek venturi metrelerin hava faz dağılımları gösterilmiştir. Örnek olarak gösterilen venturiler elips ve dairesel venturilerden oluşuyor. Elips çaplarının birbirine 1.614 katı olarak alınan çaptaki venturi ve 4 farklı hava alma yapısının birbiri içinde şekilleri gösterilecektir..



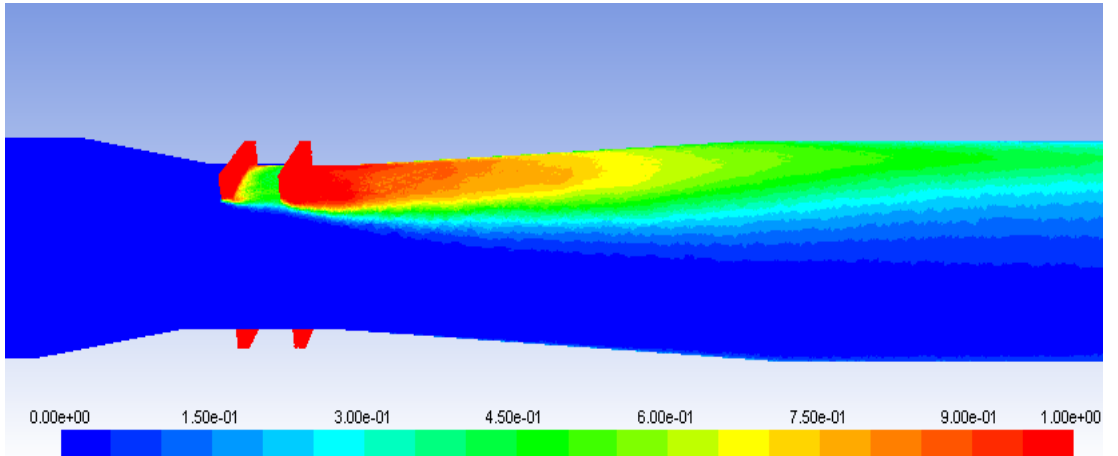
**Şekil 4.25** E1ç kodlu venturi modelin su faz dağılımı gösterimi



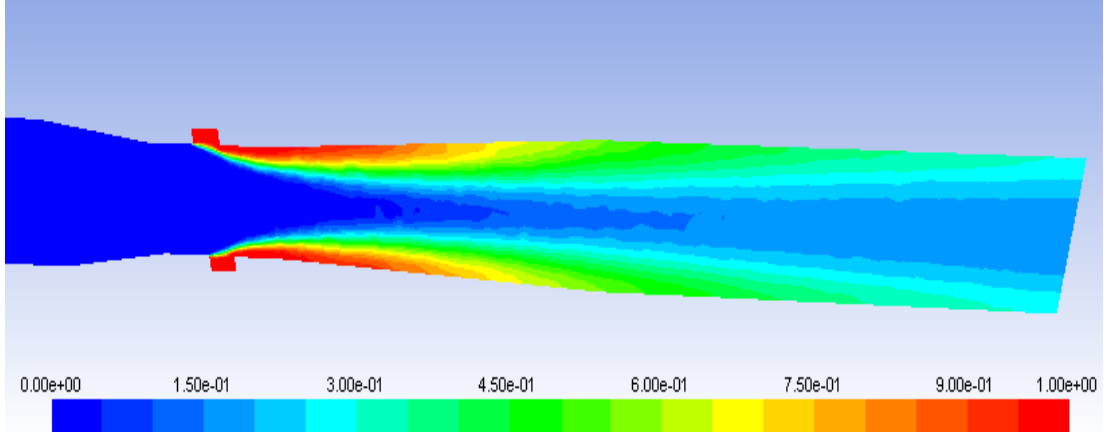
Şekil 4.26 E1ç kodlu venturi modelin su faz dağılımı üç boyutlu gösterimi



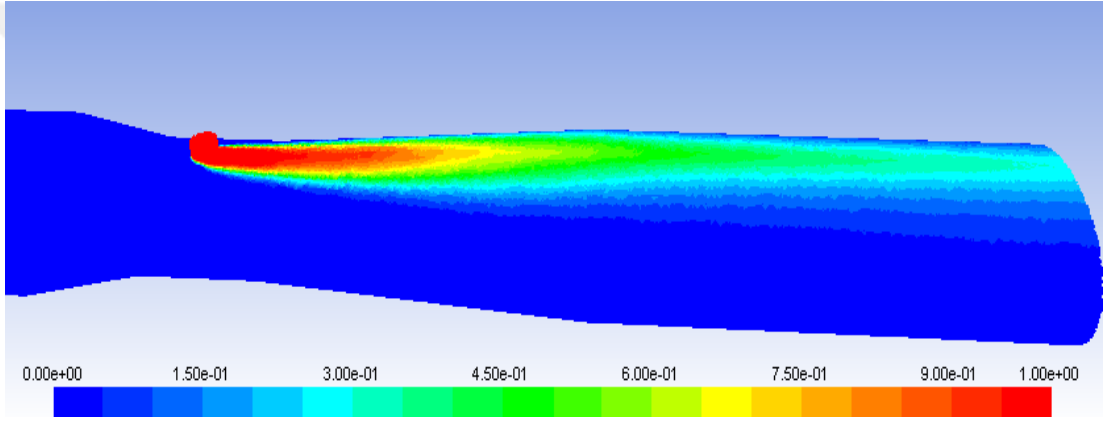
Şekil 4.27 E1ç2 kodlu venturi modelin su faz dağılımı gösterimi



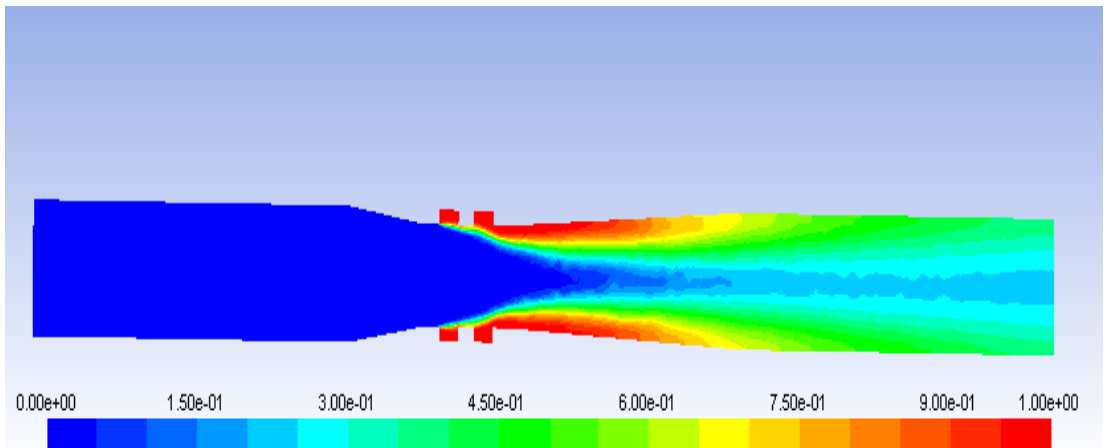
Şekil 4.28 E1ç2 kodlu venturi modelin su faz dağılımı üç boyutlu gösterimi



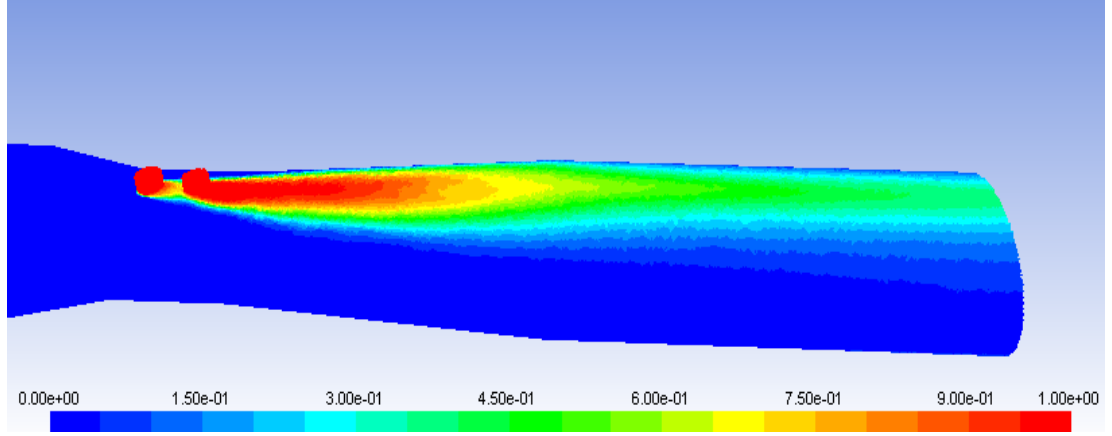
Şekil 4.29 E1d kodlu venturi modelin su faz dağılımı gösterimi



Şekil 4.30 E1d kodlu venturi modelin su faz dağılımı üç boyutlu gösterimi



Şekil 4.31 E1d2 kodlu venturi modelin su faz dağılımı yüzey planının gösterimi

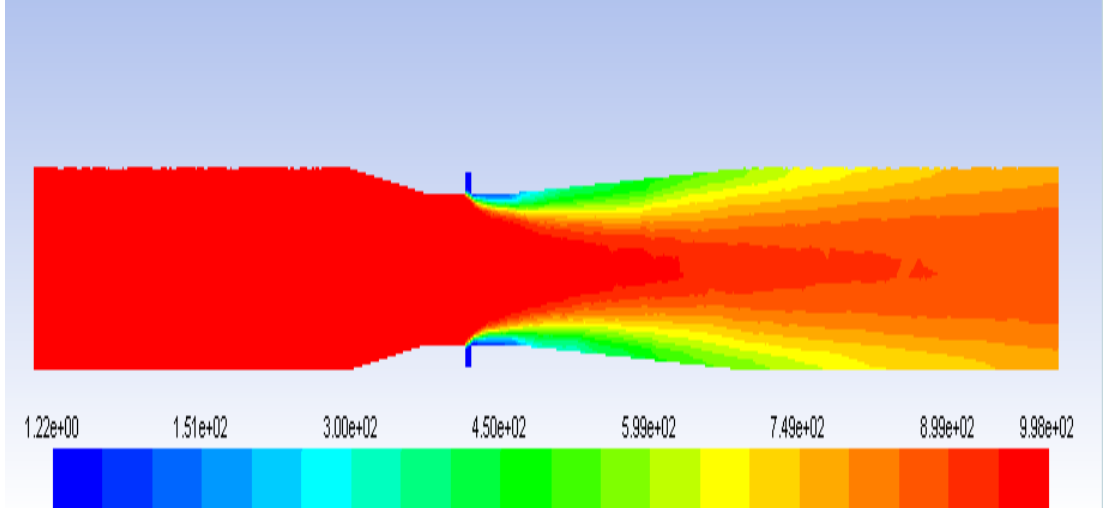


**Şekil 4.32** E1d2 kodlu venturi modelin su faz dağılımı gösterimi

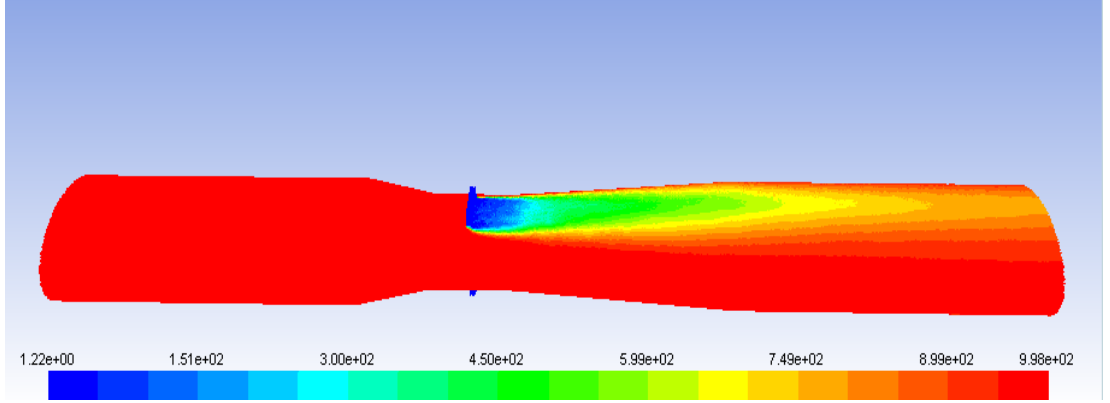
Yukarıdaki Şekil 4.25-4.28'deki venturilerde hava alma yapısına kadar sadece su olduğu onlardan sonra hava'nın suya yayılarak karıştığı ve Şekil 4.29-4.30'da ise havanın yayılmaktan çok daha derin noktalarda indiği görülmektedir. Bu şekillerde dört hava alma yapısı olan Şekil 4.27-4.28 ve Şekil 4.31-4.32'de ise suya daha fazla miktarda havanın karıştığı görülmüyor. Zaten bu çalışmadaki amaç da suya fazla miktarda hava kazandırmaktır. Hava alma yapısını görüntüsü su alma yapısının görüntüsünün zıttı oluyor. Burada kırmızı olan kısımlar hava aldığı yüzeyi gösteriyor. Şekillerde de görüldüğü gibi havanın çıkış noktasına kadar suyun hava ile karıştığı görülmektedir.

### **Yoğunluk Dağılımı**

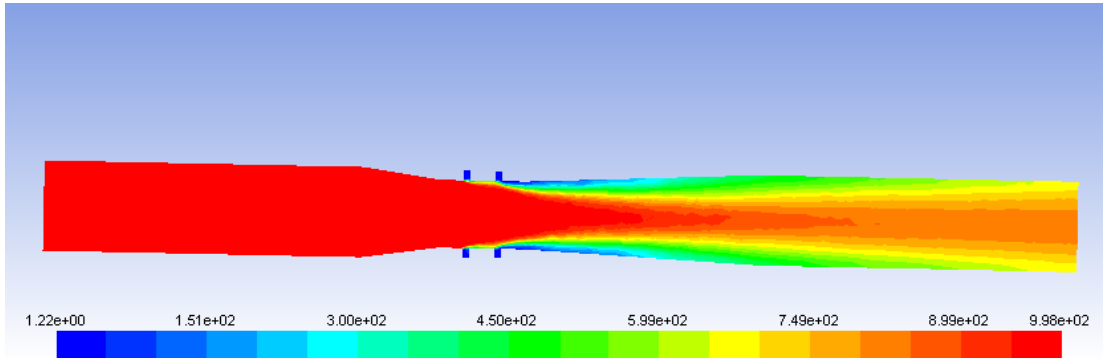
Aşağıda  $1017.88 \text{ mm}^2$  kare alanlara sahip örnek venturi metrelerin hava faz dağılımları gösterilmiştir. Örnek olarak gösterilen venturiler elips ve dairesel venturilerden oluşuyor. Elips çaplarının bir birine 1.614 katı olarak alınan çaptaki venturi ve 4 farklı hava alma yapısının birbiri içinde şekilleri gösterilecektir..



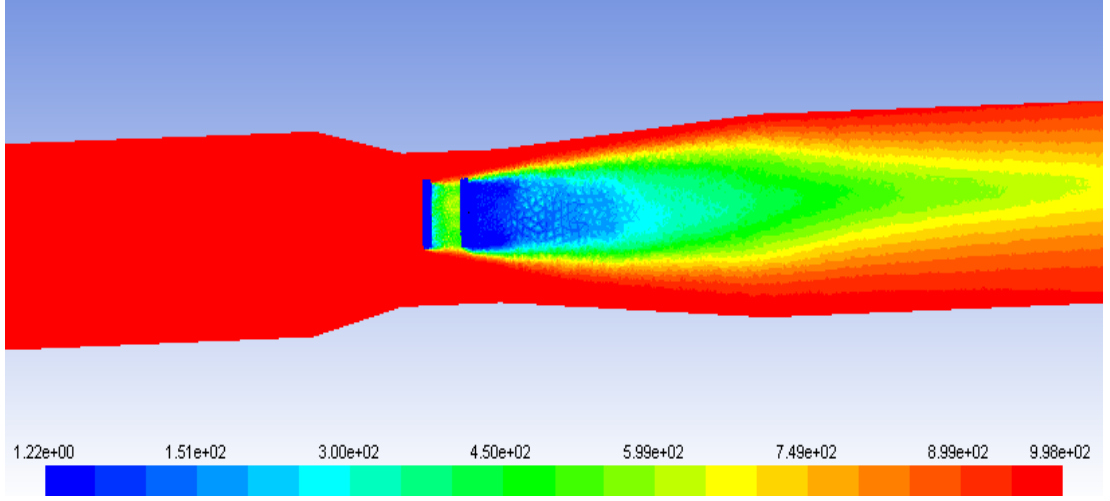
Şekil 4.33 E1ç kodlu venturi modelin yoğunluğunun gösterimi



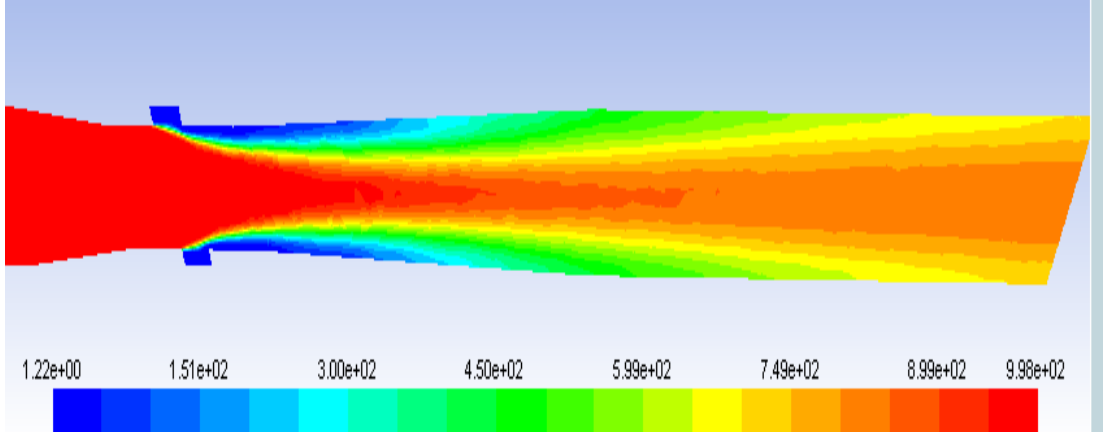
Şekil 4.34 E1ç kodlu venturi modelin yoğunluğunun üç boyutlu gösterimi



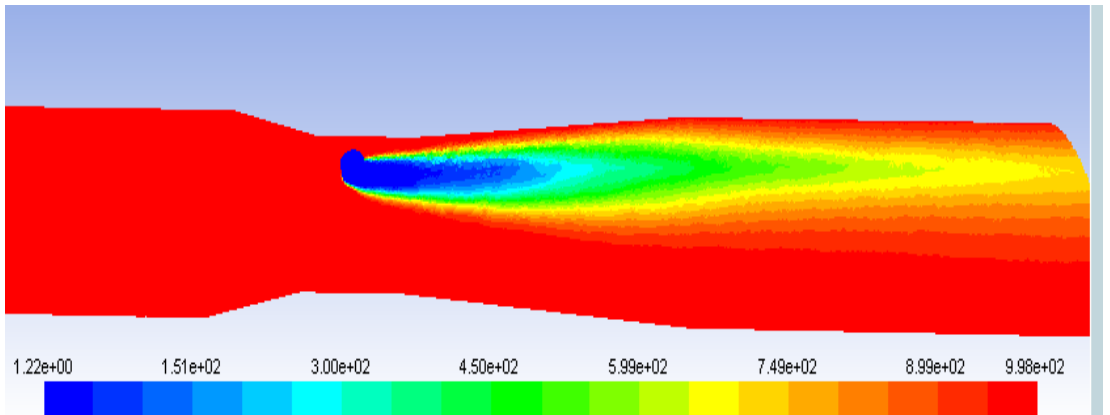
Şekil 4.35 E1ç2 kodlu venturi modelin yoğunluğu



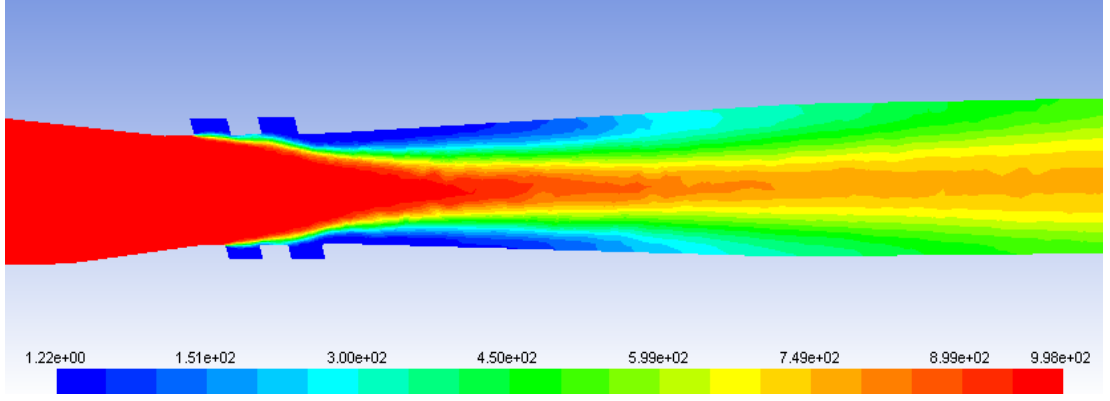
Şekil 4.36 E1ç2 kodlu venturi modelin yoğunluğu



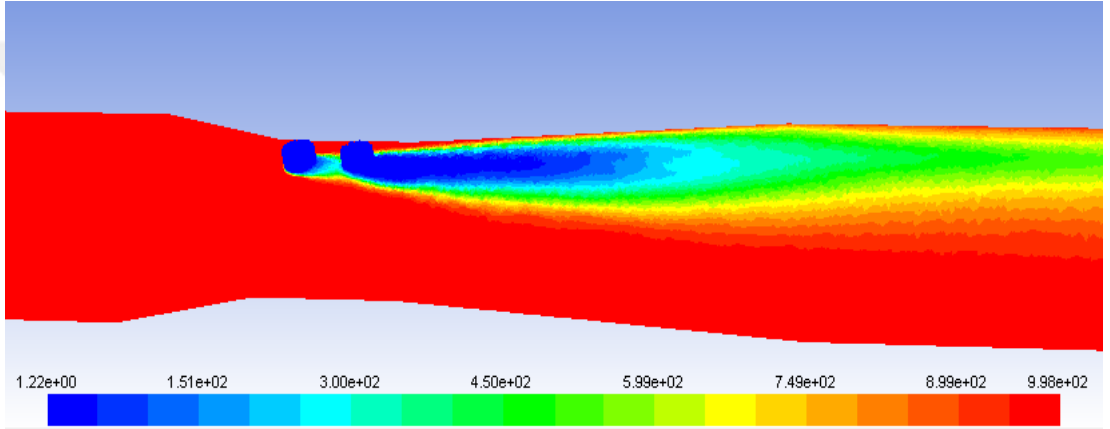
Şekil 4.3737 E1d kodlu venturi modelin yoğunluğunun gösterimi



Şekil 4.38 E1d kodlu venturi modelin yoğunluğu



**Şekil 4.39** E1d2 venturi modelin yoğunluğunun yüzey planının gösterimi

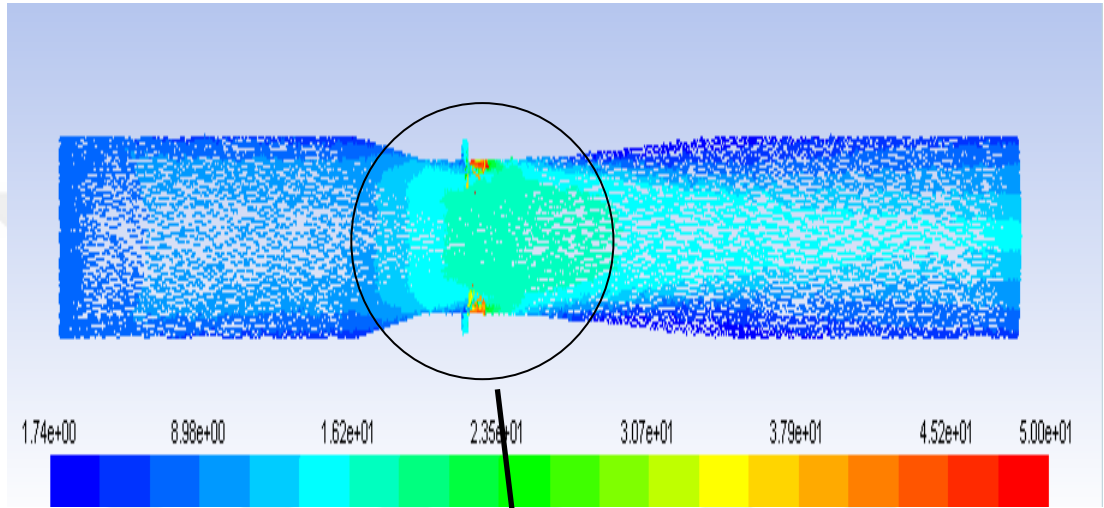


**Şekil 4.40** E1d2 venturi modelin yoğunluğunun üç boyutlu gösterimi

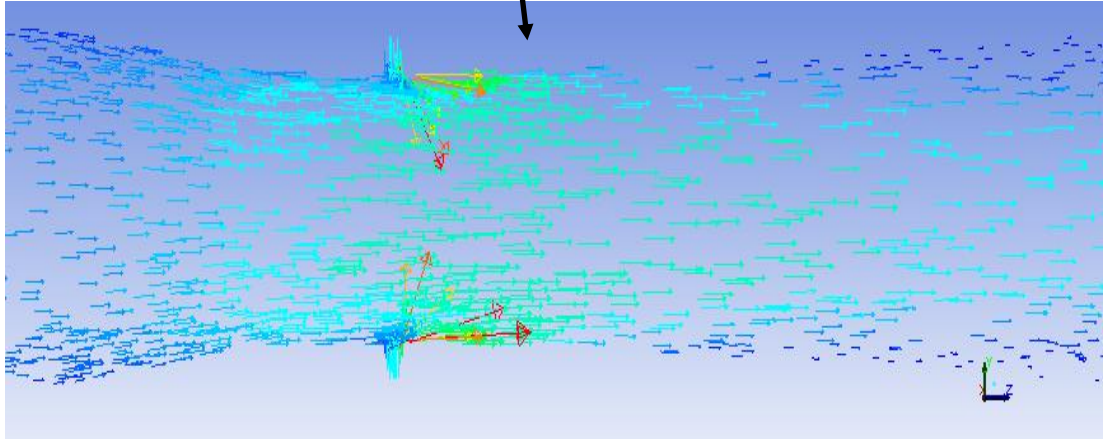
Şekil 4.33-4.34'te venturi boykesiti boyunca akışkan yoğunluğun değişimi görülmektedir. Buna göre venturi giriş ağzında sadece su akışkanını, boğaz bölgesinde ise hava ve suakışkanları mevcuttur. Boğaz bölgesinde bu iki fazlı akım henüz karışmamış durumdadır. Venturinin çıkış kesitine yaklaştıkça karışım artmaktadır. Dolayısıyla karışmış olan iki fazlı akımın yoğunluk değeri azalmaktadır. Şekil 4.35 ve 4.36'de aynı olayın olduğu ama dört hava alma yapısı olduğundan daha fazla etki yapıldığı şekillerde de görünüyor. Şekil 4.37'de ki görüntüde boğaz kısmındaki hava alma yapısından sonra yoğunluğun geniş kısımdan azalmaktan çok derin yüzeye indiği ve Şekil 4.38'da noktasal dağıldığı farklı bir boyutla olduğu görülmüştür. Şekil 4.39 ve 4.40'da bir önceki gibi derinlere daha çok yoğunluğun azaldığı ve dört hava alma yapısı olduğundan daha fazla bir iniş olduğu görülmüştür.

## Hız Vektörlerinin Gösterimi

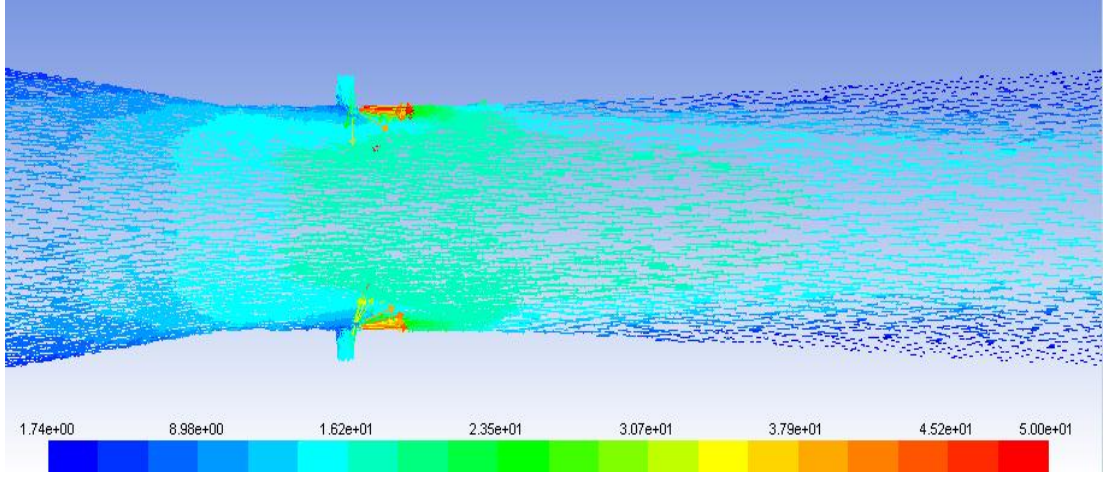
Aşağıda 1017,88 mm<sup>2</sup> kare alanlara sahip örnek venturi metrelerin hava faz dağılımları gösterilmiştir. Örnek olarak gösterilen venturiler elips ve dairesel venturilerden oluşuyor. Elips çaplarının birbirine 1.614 katı olarak alınan çaptaki venturi ve 4 farklı hava alma yapısının birbiri içinde şekilleri gösterilecektir.



Şekil 4.41 E1ç kodlu venturi modelin hız vektörlerinin gösterimi

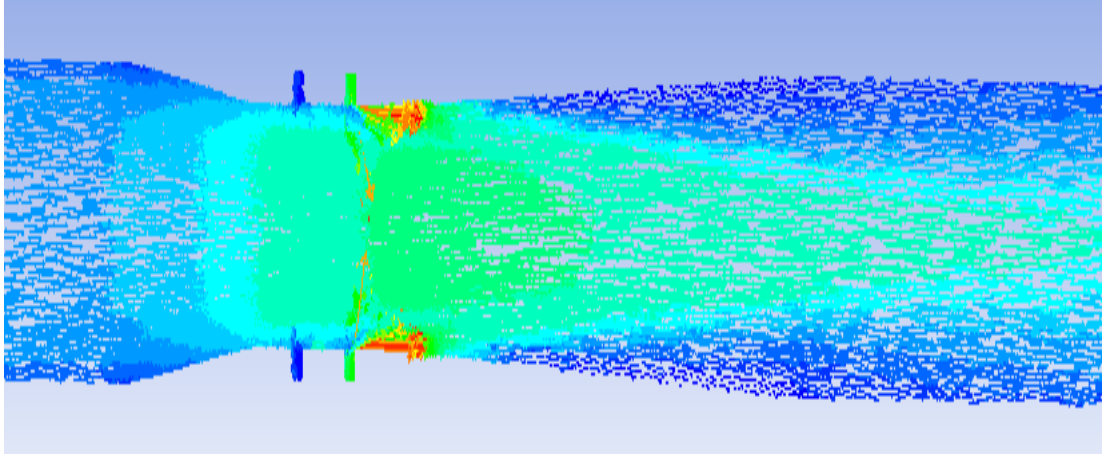


Şekil 4.42 E1ç kodlu venturi modelin hız vektörleri

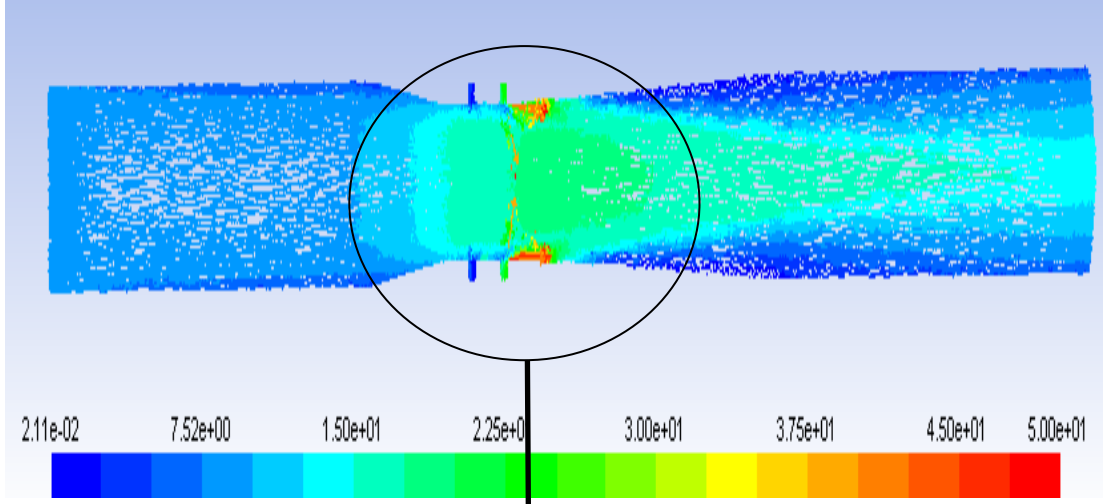


**Şekil 4.43** E1ç kodlu venturi modelin hız vektörleri

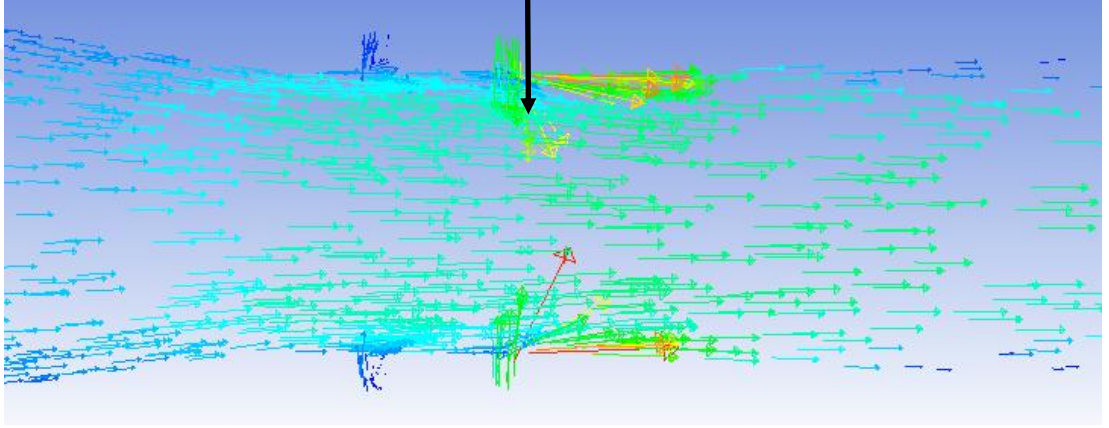
Şekil 4.41'deki görüldüğü gibi hızların boğaz kısmındaki daralmadan dolayı basıncın azalmazsıdan dolayı enerjiyi dengeleyebilmek için hızların nasıl arttığı hız vektörünün renk dağılımından belli oluyor. Şekil 4.42'de boğaz kısmının hız vektörlerin detaylı bir görülmesinden hava taneciklerin su içerisine nasıl hareket edildiği görülüyor. Şekil 4.43'de hız vektörlerinin genel bir üç boyutlu görünümü var.



**Şekil 4.44** E1ç2 kodlu venturi modelin hız vektörleri

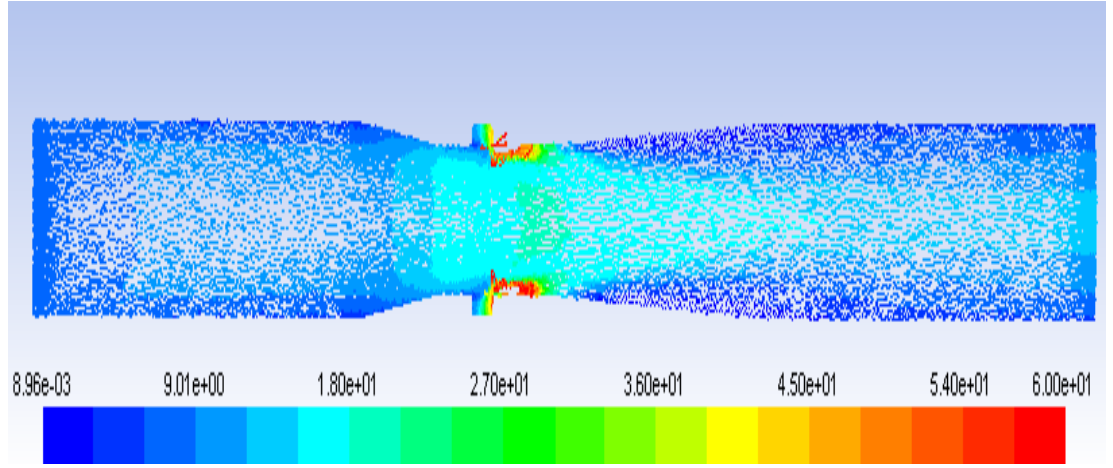


**Şekil 4.45** E1ç2 kodlu Venturi modelinin hız vektörleri

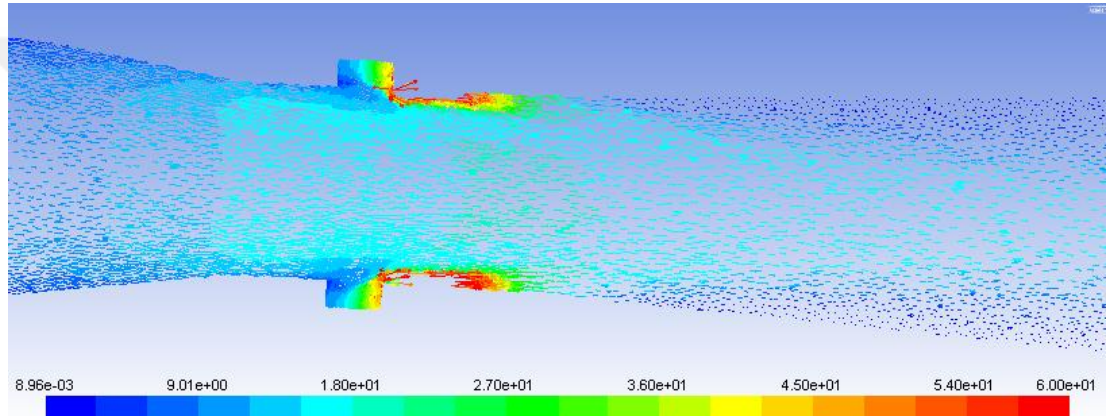


**Şekil 4.46** E1ç2 kodlu venturi modelin hız vektörlerinin detay görünümü

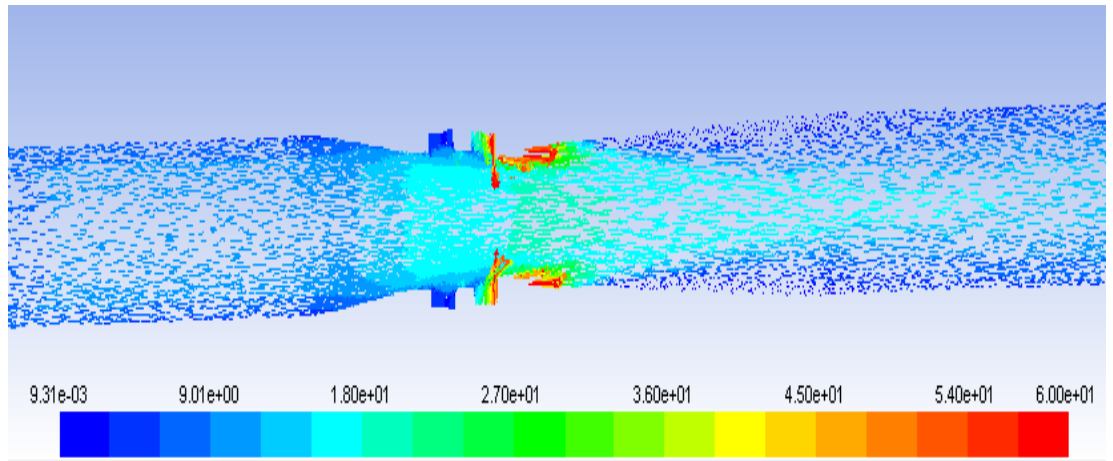
Şekil 4.44’de Venturi içindeki akım hızının boğaz kısmında kesit daralmasından dolayı arttığı görülmektedir. Enerjinin korunumu denklemine göre akım hızının artışına karşın basınç azalmaktadır. Şekil 4.45’de boğaz kısmının hız vektörlerin detaylı bir görüntüsü verilmiştir. Şekil 4.45’de hava taneciklerin su içerisindeki hareketi görülmektedir. Şekil 4.46’da hız vektörlerinin genel bir üç boyutlu görünümü verilmiştir.



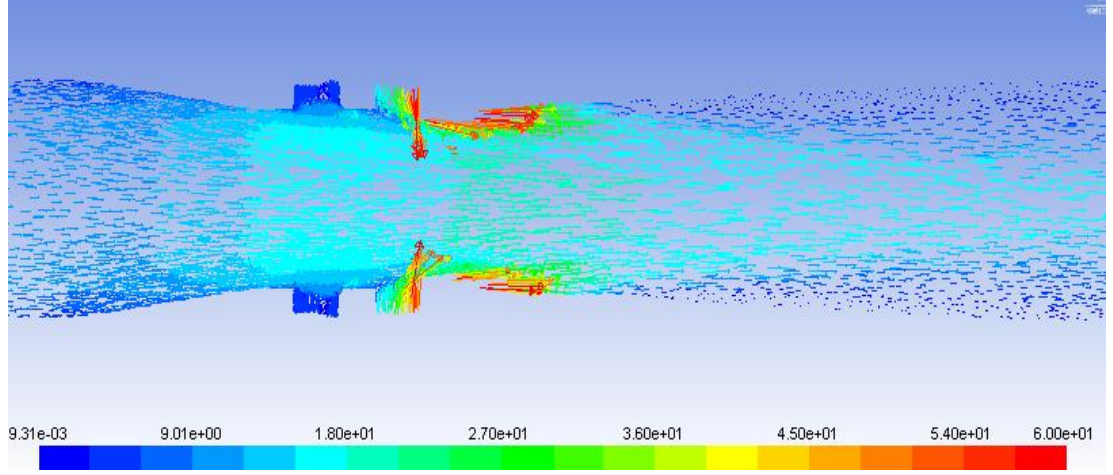
Şekil 4.47 E1d kodlu venturi modelin hız vektörlerini



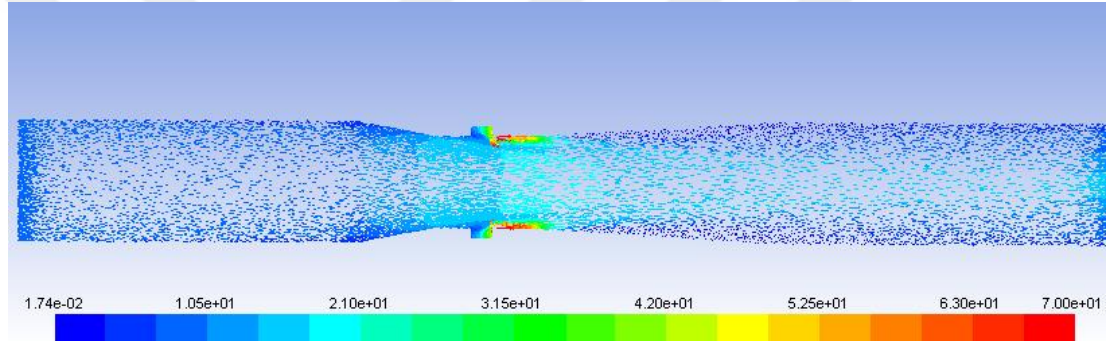
Şekil 4.48 E1d kodlu venturi modelin hız vektörlerini



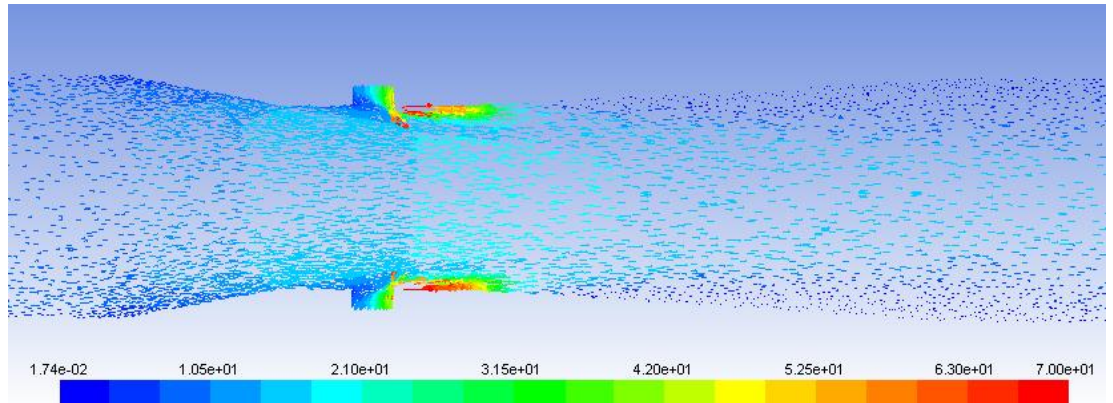
Şekil 4.49 E1d2 kodlu venturi modelin hız vektörlerini



**Şekil 4.50** E1d2 kodlu venturi modelin hız vektörleri

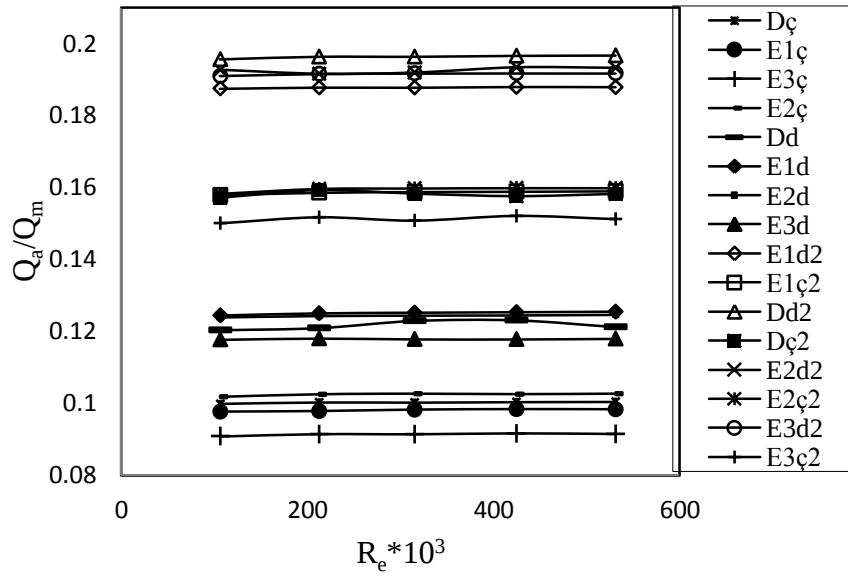


**Şekil 4.51** Dd kodlu venturi modelin yüzey planında hız vektörlerinin



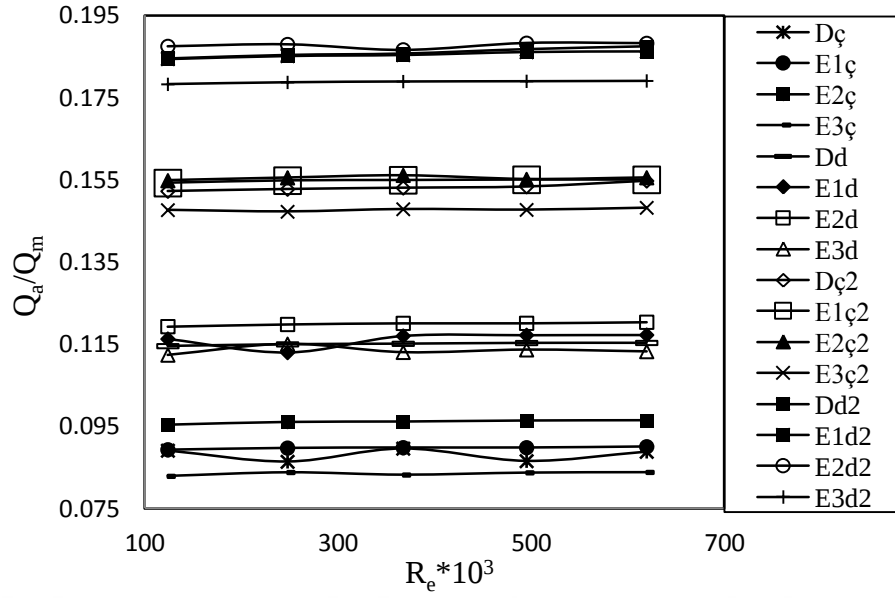
**Şekil 4.52** Dd kodlu venturi modelin üç boyutlu hız vektörleri

Yukarıdaki Şekil 4.47-4.52’de görüldükleri gibi boğaz kısmında oluşan yüksek hız ve hava alma yapılarından suyun taneciklerinin arasına nasıl hızlı bir şekilde geldikleri ve suyun onları hava alma yapısının kenarında yüksek hızla girmeleri ve daha sonra suyun arasında normal hızla gittikleri görülüyor.



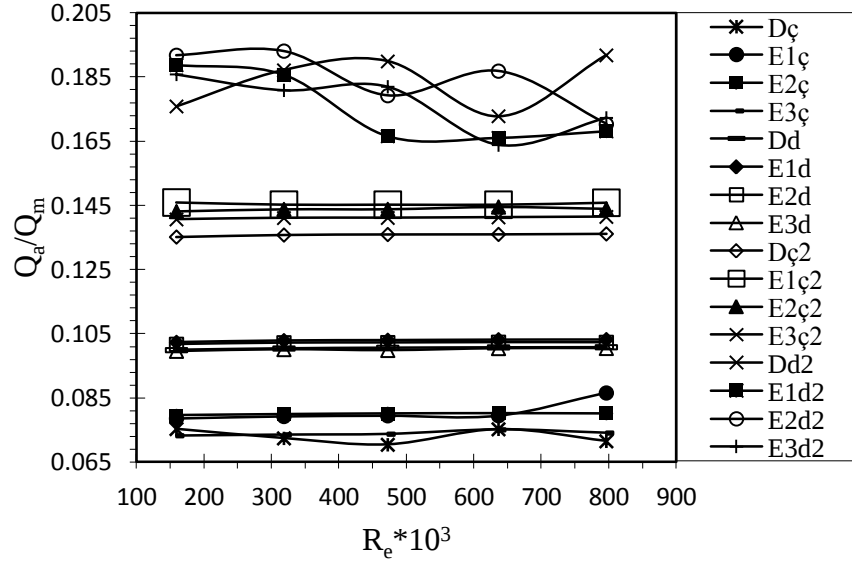
**Şekil 4.53** Kesit alanı 1017.88 mm<sup>2</sup> olan venturilerin Qa/Qm oranları

Şekil 4.53 'de 36 mm dairesel kesitli ve aynı kesit alanına (1017,88 mm<sup>2</sup>) sahip elips kesitli venturilerin Re sayılarına karşılık Qa/Qm oranlarının değişimi gösterilmiştir. Burada Qa; venturi havalandırma bacasından venturi içerisine giren havanın debisini, Qm; su-hava karışımına ait toplam debiyi göstermektedir. Qa/Qm oranları venturi aygıtının havalandırma veriminin bir göstergesidir. Qa/Qm oranları Re sayısına bağlı olarak neredeyse sabit kalmaktadır. Tüm analizler için Re sayıları 100.000-550.0000 aralığında olmuştur. Venturi aygıtının havalandırma verimi E3ç ( $r_2=2x_{r1}$  olan elips kesitli ve 2 adet 2x14 mm dikdörtgen delikli havalandırıcı venturi) için en düşük, Dd2 (dairesele kesitli ve 4 adet 6 mm çapında dairesel delikli venturi) için en yüksek değerlerde olmuştur.



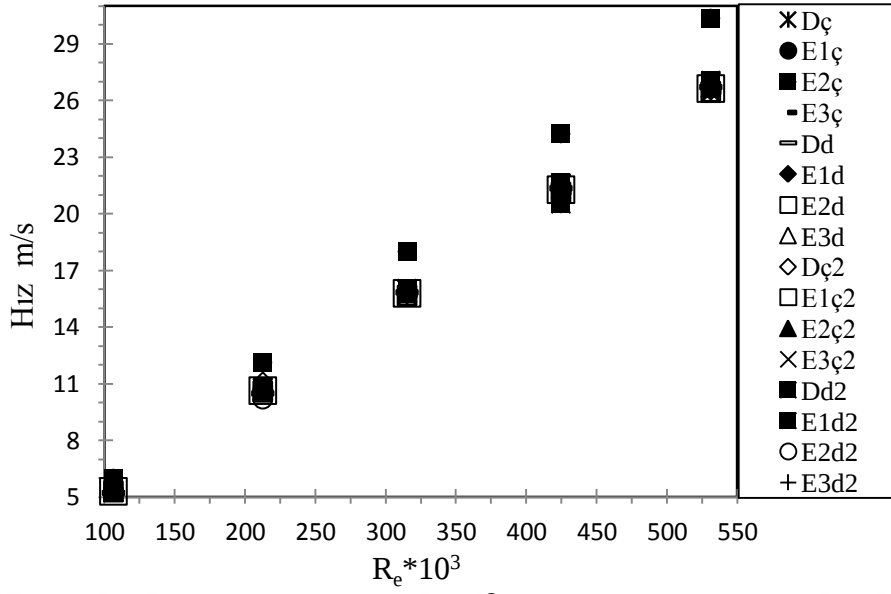
**Şekil 4.54** Kesit alanı 1385.44 mm<sup>2</sup> olan venturi metrenin  $Q_a/Q_m$  oranları

Şekil 4.54 'de 42 mm dairesel kesitli ve aynı kesit alanına (1385.44 mm<sup>2</sup>) sahip elips kesitli venturilerin  $Re$  sayılarına karşılık  $Q_a/Q_m$  oranlarının değişimi gösterilmiştir.  $Q_a/Q_m$  oranları venturi aygıtının havalandırma veriminin bir göstergesidir.  $Q_a/Q_m$  oranları  $Re$  sayısına bağlı olarak neredeyse sabit kalmaktadır. Tüm analizler için  $Re$  sayıları 100.000-650.000 aralığında olmuştur. Venturi aygıtının havalandırma verimi  $E_{3ç}$  ( $r_2=2x_{r1}$  olan elips kesitli ve 2 adet 2x14 mm dikdörtgen delikli havalandırıcı venturi) için en düşük,  $E_{2d2}$  ( $r_2=1.33x_{r1}$  olan elips kesitli ve 4 adet 6 mm çapında dairesel delikli venturi) için en yüksek değerlerde olmuştur.



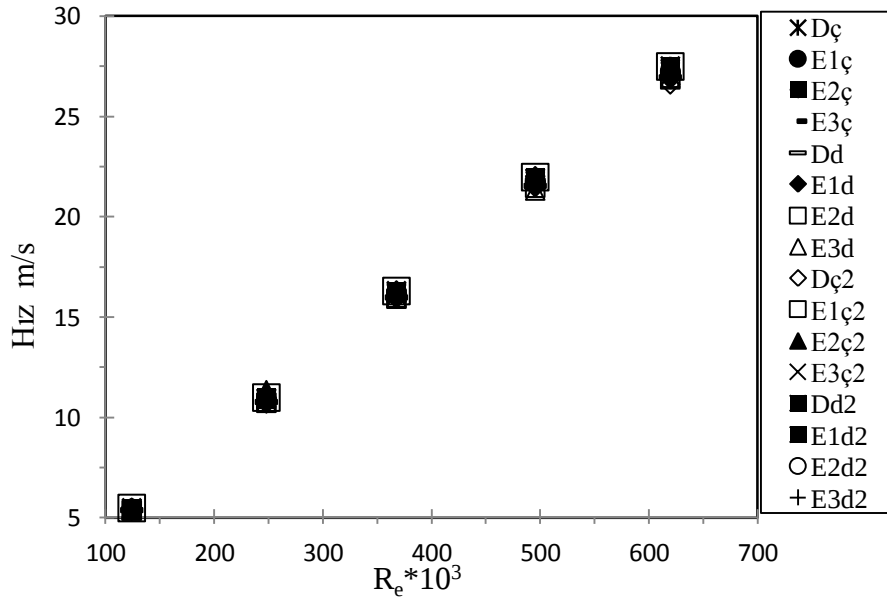
**Şekil 4.54** Kesit alanı 2290.22 mm<sup>2</sup> olan venturi metrenin  $Q_a/Q_m$  oranları

Şekil 4.55 'de 54 mm dairesel kesitli ve aynı kesit alanına (2290.22 mm<sup>2</sup>) sahip elips kesitli venturilerin  $Re$  sayılarına karşılık  $Q_a/Q_m$  oranlarının değişimi gösterilmiştir.  $Q_a/Q_m$  oranları venturi aygıtının havalandırma veriminin bir göstergesidir.  $Q_a/Q_m$  oranları  $Re$  sayısına bağlı olarak neredeyse sabit kalmaktadır. Tüm analizler için  $Re$  sayıları 150.000-850.000 aralığında olmuştur. Venturi aygıtının havalandırma verimi şekil'de sinis eğrisini andıran bir görünüm olmuştur. Şekilde görünen  $E_{1d2}$ ,  $E_{2d2}$ ,  $E_{3d2}$  ve  $D_{d2}$  grafiklerinin eğrilerinin her birinin farklı hızlarda daha iyi havalandırma verimliliğine etkisi olmuştur. Venturi aygıtının havalandırma verimliliğinin  $D_ç$  (dairese kesitli ve 2 adet 2x14 mm dikdörtgen delikli venturi) için en yüksek değerlerde olmuştur.



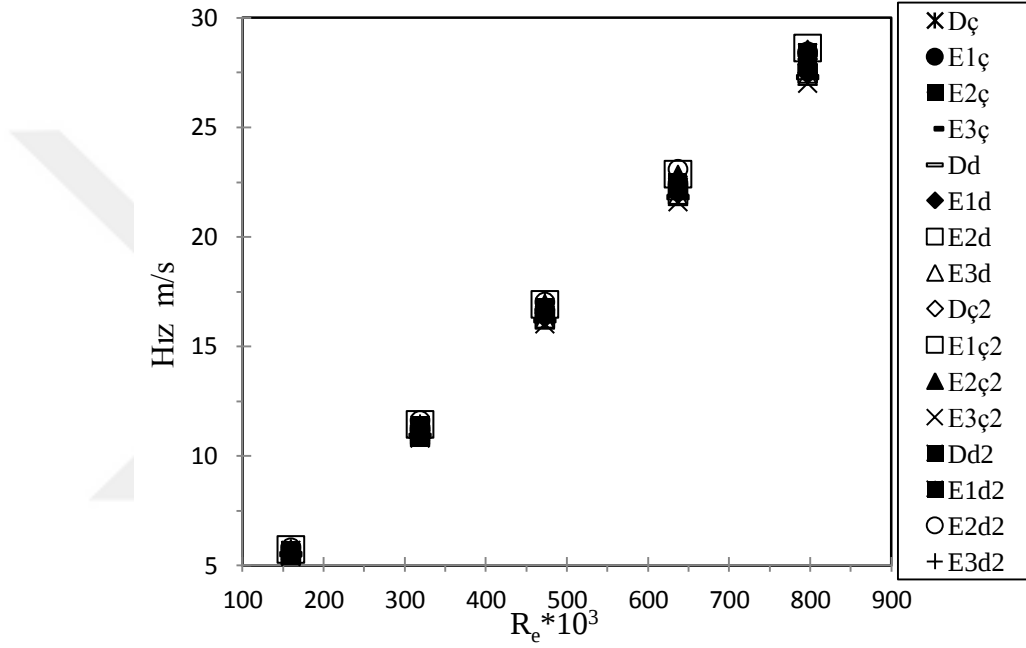
Şekil 4.55 Kesit alanı  $1017,88 \text{ mm}^2$  olan venturiler için boğaz kesitinde oluşan ortalama hız değerleri

Şekil 4.56 'da 36 mm dairesel kesitli ve aynı kesit alanına ( $1017,88 \text{ mm}^2$ ) sahip elips kesitli venturilerin Re sayıları ile venturi boğaz bölgesindeki hızların değişimi verilmiştir. Re sayıları arttıkça hız değerleri de artmıştır. En yüksek hız değerleri E2ç ( $r_2=1.33x_{r_1}$  olan elips kesitli ve 2 adet  $2 \times 14 \text{ mm}$  dikdörtgen delikli havalandırıcıli venturi) için en düşük değerler için belirgin bir fark oluşmamıştır.



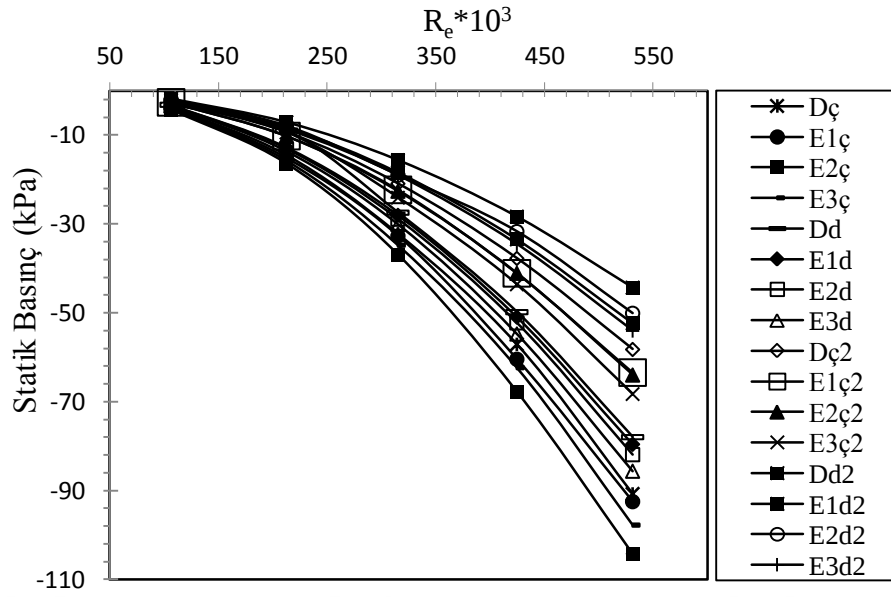
Şekil 4.57 Kesit alanı  $1385,44 \text{ mm}^2$  olan venturi metrenin hız değerlerin

Şekil 4.57 'de 42 mm dairesel kesitli ve aynı kesit alanına ( $1385,44 \text{ mm}^2$ ) sahip elips kesitli venturilerin Re sayıları ile venturi boğaz bölgesindeki hızların değişimi verilmiştir. Re sayıları arttıkça hız değerleri de artmıştır. Venturi aygıtının aynı kesit alana sahip oldukları için giriş hızlarına bağlı olarak boğaz kısmındaki ortalama hızlarında birbirine çok yakın çıktığı görülmüştür. Bundan dolayı venturi aygıtının tasarımına ve hava alma bacasına bağlı olarak hava verimliliği daha çok ön plana çıkmıştır.



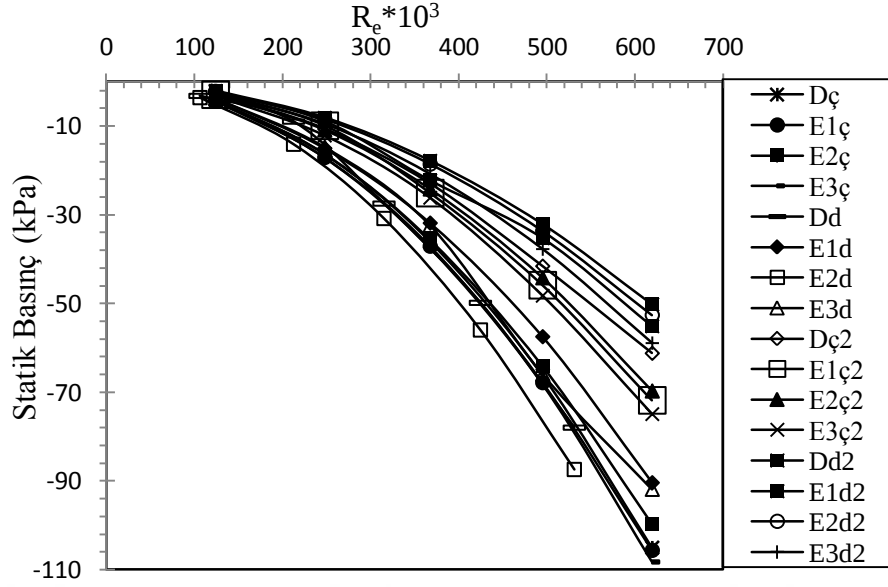
**Şekil 4. 56** Kesit alanı  $2290.22 \text{ mm}^2$  olan venturi metrenin hız değerlerin

Şekil 4.58'de 54 mm dairesel kesitli ve aynı kesit alanına ( $2290.22 \text{ mm}^2$ ) sahip elips kesitli venturilerin Re sayıları ile venturi boğaz bölgesindeki hızların değişimi verilmiştir. Re sayıları arttıkça hız değerleri de artmıştır. Hız değerleri rasında ciddi bir fark oluşmamıştır.



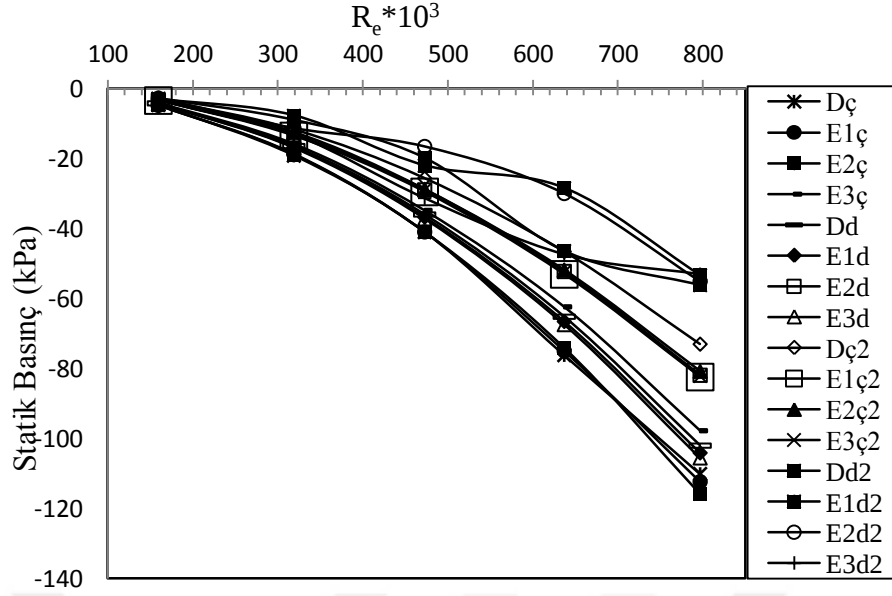
**Şekil 4. 57** Kesit alanı 1017.88 mm<sup>2</sup> olan venturilerin boğaz kısmındaki ortalama basınç değerleri

Şekil 4.59 ‘da 36 mm dairesel kesitli ve aynı kesit alanına (1017,88 mm<sup>2</sup>) sahip elips kesitli venturilerin Re sayıları ile venturilerin boğaz kısmında oluşan ortama statik basınçlarının değişimi görülmektedir. Re sayılarının artışına bağlı olarak statik basınçlarda parabolik bir azalma görülmektedir. Boğaz bölgesindeki en düşük basınçlar E2ç ( $r_2=1.33r_1$  olan elips kesitli ve 2 adet 2x14 mm dikdörtgen delikli havalandırıcılı venturi) için elde edilmiştir. Boğaz bölgesindeki hızlar bakımından da bu venturi için en yüksek değerler elde edilmiştir. Bu durum Bernoulli denklemine uygundur. Boğaz bölgesindeki en yüksek değerler ise Dd2’ye (dairese kesitli ve 4 adet 6 mm çapında dairesel havalandırma delikli venturi) aittir.



**Şekil 4. 58** Kesit alanı 1385.44 mm<sup>2</sup> olan venturi metrenin basınç değerlerin

Şekil4.60 'de 42 mm dairesel kesitli ve aynı kesit alanına (1385.44 mm<sup>2</sup>) sahip elips kesitli venturilerin Re sayıları ile venturilerin boğaz kısmında oluşan ortama statik basınçlarının değişimi görülmektedir. Re sayılarının artışıyla statik basınçlarda parabolik bir azalma görülmektedir. Boğaz bölgesindeki en düşük basınçlar E<sub>1ç</sub> ( $r_2=1.614r_1$  olan elips kesitli ve 2 adet 2x14 mm dikdörtgen delikli havalandırıcılı venturi) için elde edilmiştir. Boğaz bölgesindeki en yüksek değerler ise Dd2'ye (dairesele kesitli ve 4 adet 6 mm çapında dairesele havalandırma delikli venturi) aittir



Şekil 4. 59 Kesit alanı 2290.22 mm<sup>2</sup> olan venturi metrenin basınç değerlerin

Şekil 4.61 'de 54 mm dairesel kesitli ve aynı kesit alanına (2290.22 mm<sup>2</sup>) sahip elips kesitli venturilerin Re sayıları ile venturilerin boğaz kısmında oluşan ortama statik basınçlarının değişimi görülmektedir. Re sayılarının artışıyla statik basınçlarda parabolik bir azalma görülmektedir. Boğaz bölgesindeki en düşük basınçlar E<sub>2ç</sub> ( $r_2=1.33r_1$  olan elips kesitli ve 2 adet 2x14 mm dikdörtgen delikli havalandırıcılı venturi) için elde edilmiştir. Boğaz bölgesindeki en yüksek değerler ise E<sub>2d2</sub>'ye ( $r_2=1.33r_1$  olan elips kesitli ve 4 adet 2x14 mm dikdörtgen havalandırma delikli venturi) aittir

## 5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında yapılan 240 adet sayısal analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Kesit alanı  $1017.88 \text{ mm}^2$  alan için tasarlanan venturi aygıtlarının içerisinde en iyi havalandırma verimliliği etkileyen  $D_{d2}$  (dairesel kesitli ve 4 adet 6 mm çapında daire delikli venturi) olduğu, buna en çok yakın olan diğer sonucun  $E_{2d2}$  olduğu ve en düşük hava verimliliğini etkileyen venturi aygıtı ise  $E_{3ç}$  ( $r_2=2r_1$  olan elips kesitli ve 2 adet  $2 \times 14 \text{ mm}$  dikdörtgen havalandırma delikli venturi) olduğu bulunmuştur.
- Tasarlanan venturi aygıtlarının kesit alanları artarken havalandırma verimlerinin azaldığı belirlenmiştir.
- Tasarlanmış olan venturi aygıtında dört hava bacası olan venturiler, iki hava bacası olan venturilerden daha iyi havalandırma verimliliğine ulaşmıştır.
- Basınçlar baz alındığında en düşük basınç değerlerine dikdörtgen delikli hava bacasına sahip venturi aygıtlarının sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Kesit alanlarının eşit olduğu farklı boyutlardaki venturi modellerde giriş hızı aynı verildiği sürece boğaz kısmında oluşan ortalama hızların birbirine çok yakın çıktığı görülmüştür.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Gürsoy, G. *Lüle, orifis ve venturi metrede basınç kaybının araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Türkiye, (1999).
- [2] Özkan, F. *Basınçlı su borularında hava iletimi ve oksijen transferinin incelenmesi*. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Türkiye, (2005).
- [3] Kaya, T. *Farklı tip venturi savaklarda hava giriş oranlarının araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Türkiye, (2010).
- [4] Özcan T. *Venturi metrelerde sıvı enjeksiyon verimini etkileyen parametrelerin incelenmesi*. Fırat Üniversitesi Türkiye (2005).
- [5] Kırmacı, H. K. *Venturi ile ozon enjeksiyonu incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Türkiye (2013).
- [6] Yayla, S., Shakhwan Y. ve Ali B. O. *Numerical investigation of cavitation on different venturi models*. **Journal of The Institute of Naturel & Applied Sciences** 20:1-2 (2015) 22-33
- [7] Denghui He ve Bofeng Bai ,*Numerical investigation of wet gas flow in venturi meter*. **Flow Measurement and Instrumentation** 28. (2012). 1-6
- [8] Behr, M. *Stabilized space-time finite element formulations for free-surface flows*. **Communications in Numerical Methods in Engineering**, 17 (2001) 813-819
- [9] Nguyen, V.T., Nestmann, F. *Applications of cfd in hydraulics and river engineering*. **International Journal of Computational Fluid Dynamics**. 18: 2 (2004) 165-174
- [10] Balbay, A. *Toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin yollardaki kar ve buzu eritmek için kullanılmasının deneysel ve teorik olarak araştırılması*. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Türkiye,( 2007).
- [11] Dursun, Ö. F., *Basamaklı dolusavakların akımın enerjisini söndürme özelliğinin sayısal analizi*. **E-Journal of New World Sciences Academy**, 4:2 (2009)
- [12] Athulya A. S, Miji Cherian R. *Cfd modelling of multiphase flow through t junction*. **Procedia Technology**, 24 (2016) 325-331
- [13] Andrew A., Jie Cui, *Comparison of turbulence models in simulating swirling pipe flows*, Applied Mathematical Modelling. (2010).
- [14] Lukasz A. , Januszz W., *Validation of cfd model for simulation of multi-pipe earth-to-air heat exchangers (eahes) flow performance*, **Thermal Science And Engineering Progress**, (2018).
- [15] Anonymus, (2019). Online Access on 14.01.2019 <http://anova.com.tr/>

- [16] Anonymus, (2019). Online Access on 02.03.2019 <https://slideplayer.com/slide/4364107/>
- [17] Fluent 6.2 User'S Guide, 2006, Fluent Inc.
- [18] Aydın, M. C., *Altın alışı dolusavak havalandırıcıların cfd analizi*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Türkiye, (2005).
- [19] Dursun, Ö. F. Basamaklı dolusavaklar üzerinde oluşan akımlarının sayısal analizi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Türkiye, (2009).
- [20] N. C. Markatos. *The mathematical modelling of turbulent flows*, thames polytechnic. Wellingt~..N Street, London SE18 6PF, UK, (1985).
- [21] Muhammed A. *Numerical analysis of friction factor for a fully developed turbulent flow using kee turbulence model with enhanced wall treatment*, **Beni - suefuniversity Journal of basic and Applied sciences** (2014) 269-277
- [22] Cesur K. *İlisu barajı dolu savak havalandırıcısının performans değerlendirmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi Ve Dicle Üniversitesi Bitlis Türkiye, (2018).
- [23] Baylar, A. Savak havalandırıcılarda tip seçimin oksijen transferinde etkisinin incelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Türkiye, (2002)
- [24] Chaudhry M. H. Yevjevich V. "Closed-conduit flow" *Water resources publication*, Michigan, USA, (1981).
- [25] Xingkai Z., Dong W., Ruiquqan L. Hui Z. Ve Baocheng S. *Study of mechanical choked venturi nozzles used for liquid flow controlling*. **Flow Measurement and Instrumentation** 65 (2019) 158-165
- [26] Ahmet B. and Fahrı Ö. *Applications of venturi principle to water aeration systems*. **Environmental Fluid Mechanics** 6 (2006) 341–357
- [27] Şule VAROL, *Düşüm havuzlarına yerleştirilen farklı tip enerji kırıcı blokların enerji sönümleme oranlarının sayısal analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Türkiye, (2007).
- [28] Harun B. Geniş başlıklı savak içeren açık kanal akımının sayısal modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Türkiye, (2011).
- [29] Mehmet Ali İ. Kritik altı açık kanal akımının deneysel ve k-e türbülans modelleri ile sayısal analizi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Türkiye, (2014).
- [30] Ahmet B., M. Cihan A., Mehmet U. ve Fahri Ö. *Numerical modeling of venturi flows for determining air injection rates using fluent v6.2*. **Mathematical and Computational Applications**, 14: 2 (2009) 97-108.

- [31] American Society of Mechanical Engineers, *Measurement of Fluid Flow in Pipes Using Orifice, Nozzle and Venturi*, **ASME Standard** MFC-3M-1989, Reaffirmed 1995.
- [32] Roache, P. J., *Perspective - a method for uniform reporting of grid refinement studies*. **Journal of Fluids Engineering-Transactions of the Asme**, 116:3 (1994) 405-413
- [33] Roache, P. J., *Quantification of uncertainty in computational fluid dynamics*. **Annual Review of Fluid Mechanics**, 29:1 (1997) 123-160
- [34] Roache, P. J. *Axial pressure distribution in the entrance region of packed beds of spheres - authors' closure*. **Journal of Fluid Engineering-Transactions of the Asme**, 120:3 (1998) 635-636
- [35] Çelik, I. B., Ghia, U., Roache, P. J., and Freitas, C. J., Procedure for estimation and reporting of uncertainty due to discretization in cfd applications. *Journal of Fluids Engineering-Transactions of the Asme*, 130:7 (2008)

[36] **Ek-1**  
**ÖZ GEÇMİŞ**

|                                                                                                          |                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| İsa cici                                                                                                 |                                                                                                                                  |
| Menderes Mah. Mevlana cad. no:47<br>Kahta<br>Adıyaman<br><br>Cep tel:05364520236<br>isacici416@gmail.com | Cinsiyet: Bay<br>Doğum Tarihi: 12.09.1991<br>Medeni Durum: Bekar<br>Uyruk: T.C.<br>Sürücü Belgesi: E<br>Askerlik Durumu: Tecilli |
| KARİYER HEDEFİ                                                                                           |                                                                                                                                  |
| Kısa vadede, eğitim ve kariyer geçmişime uygun bir kariyer fırsatı yakalamak.                            |                                                                                                                                  |
| EĞİTİM BİLGİLERİ                                                                                         |                                                                                                                                  |
| Üniversite                                                                                               | inşaat mühendisi İnönü Üniversitesi Malatya – 09/2011 – 06/2015-                                                                 |
| Lise                                                                                                     | Borsa İstanbul Anadolu lisesi – Kahta –Adıyaman- 09/2006 – 06/2010                                                               |
| BİLGİSAYAR BİLGİSİ                                                                                       |                                                                                                                                  |
| AutoCAD ve sta4CAD: normal seviyede, ansys (fluent) yazılımı                                             |                                                                                                                                  |