

## Venturimetre İçerisinden Geçen Akışkanın Had Analizi

Filiz ÖZGEN

Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ, Türkiye

filizozgen@gmail.com

### Özet

Akış analizi birçok endüstriyel uygulamada önemlidir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) veya CFD (Computational Fluid Dynamics), temel olarak akışkan davranışının etkili olduğu problemlerin, sayısal metot ve algoritmalar ile bilgisayar üzerinde çözülerek analiz edildiği, akışkanlar mekaniğinin bir koludur ve birçok alanda kullanılmaktadır. Bu çalışmada venturimetre içerisinden geçen akışkanın hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi yapılmıştır. Venturimetre, basınç ve hız değişiminin gözlenebilmesi için boru kesit alanının daralması ve tekrar genişlemesinden dolayı çok uygun bir borudur. Çalışmada iki farklı akışkan kullanılmıştır, bunlar venturimetre içerisinden geçen sıvı akışkan olan su ve gaz akışkan olan havadır. Venturimetre içerisinden geçen bu akışkanların, SST türbülans modeli kullanılarak hız ve basınç değişimlerinin ANSYS-CFX programında analizi yapılmıştır. Sayısal analizde kullanılan değerler laboratuvar ortamındaki değerlerle aynı verilmiştir. Venturi borusu ölçüleri deneyde kullanılan venturi boru ölçüleri ile birebir aynı girilmiştir. Laboratuvar ortamında deney yapılarak deney sonuçları gözlemlenmiş ve deney sonuçları ile sayısal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen hız ve basınç grafikleri sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Venturimetre, türbülans modelleri, hız, basınç

## Had Analysis of Fluid Passing Through Venturimeter

### Abstract

Flow analysis is essential in many industrial applications. Computational fluid dynamics (HAD) or CFD (Computational Fluid Dynamics) is a branch of fluid mechanics, where the problems on which fluid behavior is effective are analyzed by solving them on the computer with numerical methods and algorithms, and are used in many fields. In this study, computational fluid dynamics analysis of the fluid passing through the venturimeter was performed. Venturimeter is a very suitable pipe because of the narrowing and re-expanding of the pipe cross-sectional area so that the pressure and velocity change can be observed. Two different fluids were used in the study, these are water, which is the liquid fluid passing through the venturimeter, and air, which is a gaseous fluid. The velocity and pressure changes of these fluids passing through the venturimeter were analyzed using the SST turbulence model in the ANSYS-CFX program. The values used in numerical analysis are given the same as the values in the laboratory environment. Venturi pipe dimensions are entered exactly the same as the Venturi pipe dimensions used in the experiment. Experiment results were observed by doing experiments in the laboratory environment and the results of the experiments were compared with the numerical analysis results. The velocity and pressure graphs obtained are presented.

**Keywords:** Venturimeter, turbulence models, speed, pressure.

## 1.GİRİŞ

Venturimetre boru içinden geçen akışkanların debisini ölçen düzeneklerdir. Bu düzenekler farklı hızlarda akan akışkanın hacimsel akış hızının belirlenmesini amaçlamaktadırlar. Bir borudaki akış incelendiğinde akışkan hareketinin, düşük hızlarda düzgün bir biçimde olduğu, fakat hız belli bir değerin üzerine çıkarıldığında ise çalkantılı hale döndüğü görülür. Düzgün akım çizgileriyle belirtilen düzenli akış hareketine laminer akış denir. Düzensiz akışkan hareketi genellikle yüksek hızlarda meydana gelir ve akış değişimleriyle belirtilen türbülanslı akıştır. Laminer akıştan türbülanslı akışa geçiş, diğer faktörlerin yanında geometriye, yüzey pürüzlülüğüne, akış hızına, yüzey sıcaklığına ve akışkan türüne de bağlıdır. Mühendislik için önemli olan akışkanlar mekaniği, akışkanların hareketine sebep olan veya bu hareketler sonucunda ortaya çıkan hız, ivme, basınç, kuvvet gibi fiziksel etkileri ele alır. Akışkanların akma kabiliyetine sahip olmasının sebebi bu maddelerin denge halinde kayma gerilmelerine dayanamamasıdır.

Akışkanlar mekaniğinin mühendislik uygulamalarında bu kadar önemli bir yer kaplamasının başlıca sebebi çok daha küçük etkilerle ısıyı transfer edebilmeleri ve kolay şekil değiştirebilmeleridir. Literatürde venturimetreden geçen sıvının hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır [1-5]. Hasan ve Lucas [6] yaptıkları çalışmada, venturinin girişindeki ve boğazındaki gaz hacmini ölçebilen gelişmiş bir iletkenlikliğe sahip çok fazlı Venturi ölçer kullanmışlardır. Gaz akış hızını ölçmek için Venturi sayacının giriş ve boğazındaki gaz hacmi fraksiyonlarının ölçülmesine dayanan yeni bir model araştırmışlardır. Karışımın iletkenliği ile orantılı olan ve daha sonra halka akışındaki su filmi kalınlığıyla ve dolayısıyla gaz hacmi fraksiyonuyla ilişkili olan bir dc voltaj çıkışı vermek üzere bir elektronik devre inşa etmişlerdir. Deneysel sonuçlardan, öngörülen gaz kütle akış hızlarının ortalama asgari yüzde hatasının (% 0,0428) 0,932'lik optimum gaz boşaltma katsayısında elde edilebileceği sonucuna varmışlardır. He ve Bai [7] çalışmalarında, standart k-ε modeli, RNG k-ε modeli, gerçekleştirilebilir k-ε modeli, standart k-ω modeli ve Reynolds gerilme modeli olmak üzere beş türbülans modeli incelemişlerdir. Standart k-ε modelinin deneysel verilerle daha iyi uyumlu olduğu bulunmuştur. Simülasyonlardan, üretilen aşırı okumanın nasıl ve neden olduğu açıklanmıştır. Daha sonra sıvı faz dağılımları ve hız alanı ve basınç profilleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Islak gaz akışının fazla okunması üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için klasik Venturi tüpünün boğazın uzunluğunu uzatması ve yakınsak açısını azaltması önerilmiştir. Bu çalışma, Venturi sayaç ıslak gazının aşırı okunması konusunda daha kapsamlı bir anlayış kazandırmış ve ıslak gaz Venturi sayaç prototipinin tasarımı için referans sağlamıştır.

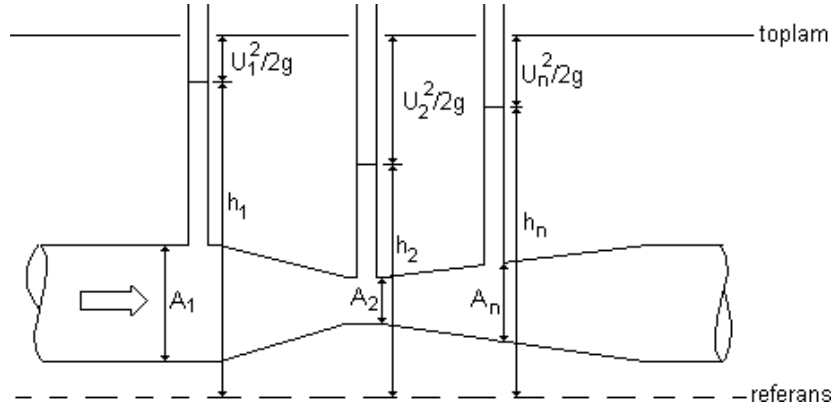
Wang vd. [8] kör kaynak ayırma tekniğini kullanarak gaz-sıvı iki fazlı slug akışı için yeni bir akış ölçüm yöntemi önermişlerdir. Akış ölçüm modeli, bir Venturimetreden ölçülen diferansiyel basınç (DP) sinyallerinin dalgalanma özelliklerine dayanarak oluşturulmuştur. İki fazlı akıştaki DP sinyallerinin, tek fazlı akışkanların DP sinyallerinin doğrusal bir karışımı olduğu gösterilmiştir. Yuan vd. [9] çalışmalarında, ıslak gazın akış özelliklerini ortaya çıkarmak ve laboratuvar testlerinde iyi performans gösteren daha doğru bir korelasyon oluşturmak için çift diferansiyel basınçlı venturi kullanmışlardır. Boyutsuz bir analiz ve deneysel verilere dayanarak, ıslak basınçta fark basınç oranı, gaz sıvı yoğunluğu oranı, gaz Froude numarası ve Lockhart-Martinelli parametresi gibi temel boyutsuz grupları incelemişlerdir. Bu ıslak gaz korelasyonunun bir ölçüde geniş çapta kullanılan bir korelasyonun gelişimini desteklediği ve diğer araştırmacılara ıslak gaz ölçümünde fayda sağladığını kanıtlamıştır. Hong-jian vd. [10] yaptıkları çalışmada venturi ve boşluk fraksiyonu sayaçları ile yağ-hava iki fazlı akış ölçümü incelenmişlerdir. Gaz ve sıvı arasındaki hız oranının etkisinin dikkate alındığı yeni bir akış hızı ölçüm korelasyonu önermişlerdir. Venturi'deki basınç düşüşü ve elektrik kapasitans tomografi cihazı ile ölçülen boşluk fraksiyonuyla, hem karışım akış hızı hem de yağ akış hızı korelasyonla elde edilebileceğini görmüşlerdir.

Xu vd. [11] venturi sayacının düz bölümü için ıslak-gaz akış modellemesini incelemişlerdir. Ayrılmış akış teorisine dayanarak, bir akış modeli sunmuşlardır. Diferansiyel basıncın (DP) dalgalanma özellikleri ile düz bölüm üzerindeki dalgalanma özellikleri ve yağ-gaz akış kalitesi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Ayrılan akış teorisi temelli modelden hesaplanan düz kesit üzerindeki DP'nin göreceli hatalarının karesinin ortalama% 8,82 olduğu ve dalgalanma özellikli modelden hesaplanan kalitenin% 8,77 olduğunu belirtmişlerdir. Bradford vd. [12] yaptıkları çalışmada kısa formülü bir venturinin deşarj katsayısı üzerindeki etkilerini belirlemek için farklı testler yapmışlardır. Bu testler, kısa formülü Venturimetrelerin, standartlarda belirtilen şartlara uymayan boru konfigürasyonlarına yerleştirildiğinde bile standartlar tarafından belirlenen istenen doğruluk aralığında performans gösterdiğini göstermiştir. Salque vd. [13] bir venturimetrede hava/yağ ve hava/su halka akışları altında meydana gelen atomizasyon olaylarını daha iyi anlamak ve modellemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Sıvı filmin yapısı, yüksek hızlı bir video kamera kullanılarak gözlenmiştir. Video kayıtları, bazı çalışmalarda sıklıkla kabul edilen aksine, sonuçta ortaya çıkan yüzey dalgalanmalarına bağlı olarak atomizasyonun yakınsak bölümün ortasında başlayabileceğini göstermiştir.

Bu çalışmada genel özellikleri birbirinden farklı olan hava ve su akışkanının SST türbülans modeli kullanılarak, venturimetre içerisindeki akışı incelenmiş ve ANSYS-CFX programıyla sayısal olarak analiz edilmiştir. Çok bilinen ve akış deneylerinde çok kullanılan venturimetre içerisinde geçen hava akışkanı ve su akışkanı kullanılarak akışkan cinsinin etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen hız ve basınç grafikleri sunulmuştur.

## 2. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada, ANSYS programında sayısal çalışmanın modellemesi yapılırken akışkan olarak su ve hava alınarak her bir akışkan için analiz yapılmıştır. Akışkan cinsinin etkisi, kullanılan türbülans modelinin sonuçlara etkisi ANSYS programıyla analiz edilmiştir. Çalışmada, sayısal analiz metotları kullanılarak, akışı ve ısı transferini yöneten denklemler üç boyutlu olarak çözülmüştür.



Şekil.2.1. Bir venturimetredeki ideal şartlar

Sıkıştırılmayan bir akışkanın, daralan genişleyen bir venturi borusundan akışı Şekil 2.1' de görülmektedir. Venturimetrenin giriş kesit alanı  $A_1$ , daralan boğaz kesiti  $A_2$  ve herhangi bir yerdeki alanı  $A_n$ , borularındaki sıvı yükseklikleri ise referans noktasına göre sırasıyla  $h_1$ ,  $h_2$  ve  $h_n$  olarak verilmiştir. Belirlenen alanda bir boyutlu akış kabulü ile Bernoulli denkleminde,

$$\frac{U_1^2}{2g} + h_1 = \frac{U_2^2}{2g} + h_2 = \frac{U_n^2}{2g} + h_n \quad (2.1)$$

yazılabilir. Burada  $U_1$ ,  $U_2$  ve  $U_n$ , 1, 2 ve n kesitlerindeki akış hızlarıdır. Bu kesitlerdeki süreklilik denklemi,

$$U_1 A_1 = U_2 A_2 = U_n A_n = Q \quad (2.2)$$

şekindedir. Bu denklemden  $U_1$  çekilip, denklem (2.1)' de yerine koyulursa  $U_2$  hızı bulunur ve aşağıdaki şekilde yazılır.

$$U_2 = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad (2.3)$$

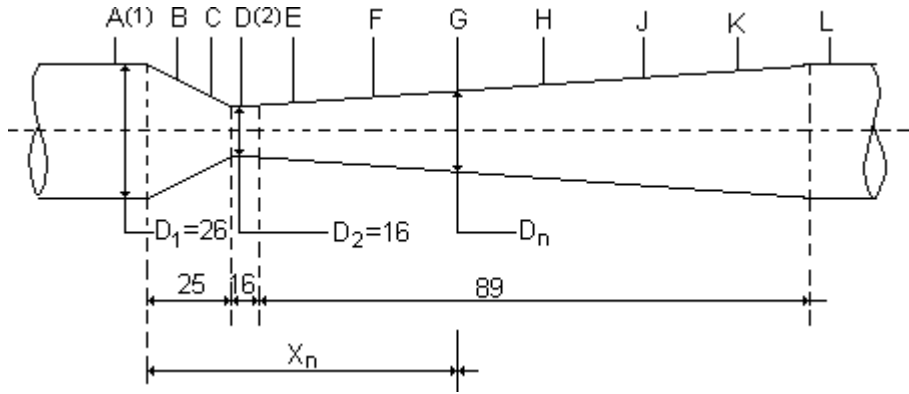
$U_2$  hızı daralan kesit alanı  $A_2$  ile çarpılınca hacimsel debi değeri bulunur ve bu ideal debidir.

$$Q = A_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad (2.4)$$

Şekil 2.1 incelendiğinde 1 ve 2 kesitleri arasında kayıpların olacağı anlaşılabilir. Aynı zamanda bu kesitlerin her birinde hız da sabit değildir. Hız sabit olmadığı için gerçek debi ideal debiden az da olsa daha düşük olacaktır. Bu durumda (2.4) denklemi, venturimetre katsayısı C ile çarpılırsa gerçek debi bulunmuş olur. Gerçek debi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Q = CA_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2}} \quad (2.5)$$

Piyezometre borularının venturi boyunca yerleşimi Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Piyezometre borularının venturi borusu içine yerleşimi

Deney debi katsayısının bulunması iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama debi katsayısının bulunmasıdır bu durum için 1 ve 2 kesitlerindeki piyezometrik yükseklik farkının okunması yeterlidir. İkinci aşama boyutsuz basınç farklarının bulunmasıdır. Bu durum için ise verilen bir hacimsel debide tüm boru boyunca piyezometrik yüksekliklerin okunması yeterli olacaktır. Elde edilen debi değeri, ölçü tankında toplanan su miktarının süreye bölünmesiyle bulunan debi değeridir.

Laboratuvar deney sonucunda on altı farklı debi değeri için sonuç alınmıştır. Bu çalışmada bir debi sonucu için 4 farklı kesitte karşılaştırma yapılmıştır. 17lt/dk debi değeri için sonuçlar elde edilmiştir. Deney için kullanılan düzenek şekil (2.3)’de görülmektedir. Tablo 2.1’de ise, 19 °C’deki su ve hava için ANSYS-CFX programında kullanılacak termo-fiziksel özellikler verilmiştir.



Şekil 2.3. Laboratuvar deney düzeneği

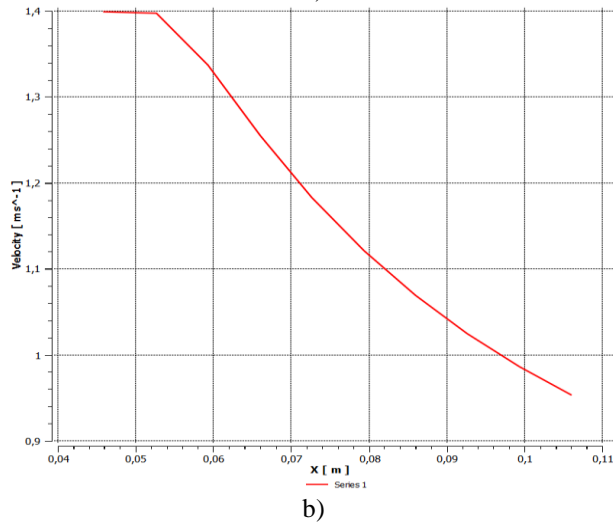
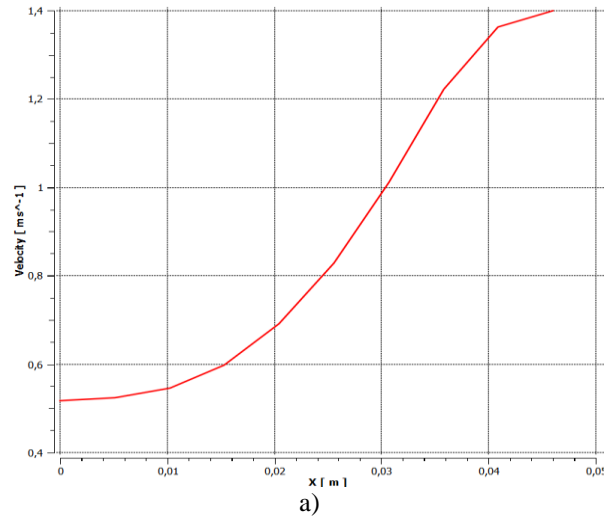
**Tablo 2.1.** Su ve Havanın Thermo-Fiziksel Özellikleri (URL-1,2019)

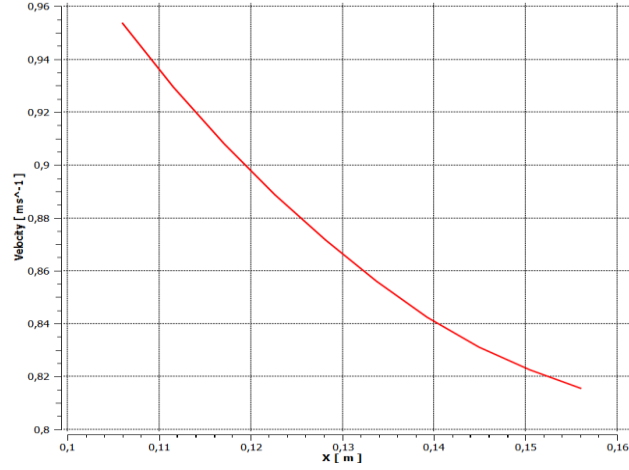
Akışkan	T(°C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (kg/m.s)	C <sub>p</sub> (J/ kgK)	k (W/ mK)
Su	19	998	1000	4070	0.603
Hava	19	1.209	0.000018	1006	0.0255

### 3. BULGULAR

Bu çalışmada genel özellikleri birbirinden farklı olan hava ve su akışkanının farklı türbülans modelleri kullanılarak, venturimetre içerisinde akış incelemesi ANSYS-CFX programıyla sayısal olarak analiz edilmiştir. Üzerinde çalışılacak geometri ANSYS programında çizilmiş ve mesh işlemi yapılmıştır. Tek bir mesh uzunluğunun değeri 0.0001' dir. Mesh işlemi sonucunda venturi borusu 340429 sayısında düğüme, 169394 sayısında elemana bölünmüştür. Şekil 2.2 de görülen venturi borusunun farklı kesitleri için hız ve basınç analizi yapılmıştır.

Tablo 2.1.'de 19 °C' deki suyun thermo-fiziksel özellikleri akışkana tanımlanarak, türbülanslı akış SST modeli şartlarında venturi borusunun A-L kesiti için aşağıda verilen Şekil 3.1 hız grafiği elde edilmiştir. Şekil 3.1 a' da A-D kesiti, b'de D-H kesiti, c' de H-L kesiti boyunca hız değişimi görülmektedir. Sistemde gözlemlenen hız değerleri sırasıyla yaklaşık 1.4 m/s, 0.96 m/s ve 0.817 m/s olmuştur. Laboratuvar deney sonuçlarında ise hız değerleri sırasıyla 1.37 m/s, 0.98 m/s ve 0.483 m/s bulunmuştur.

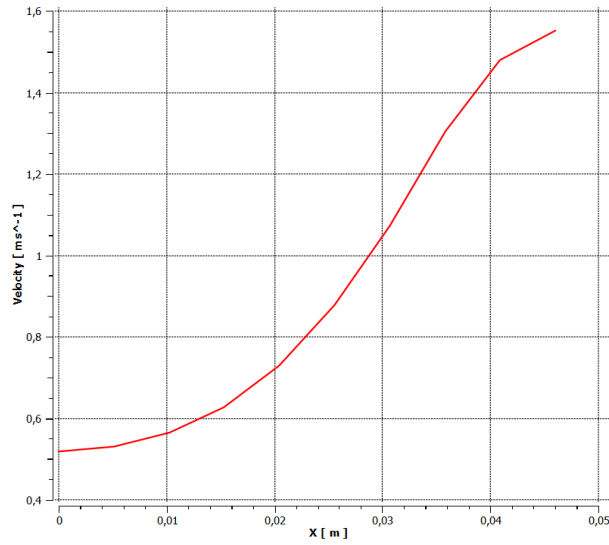




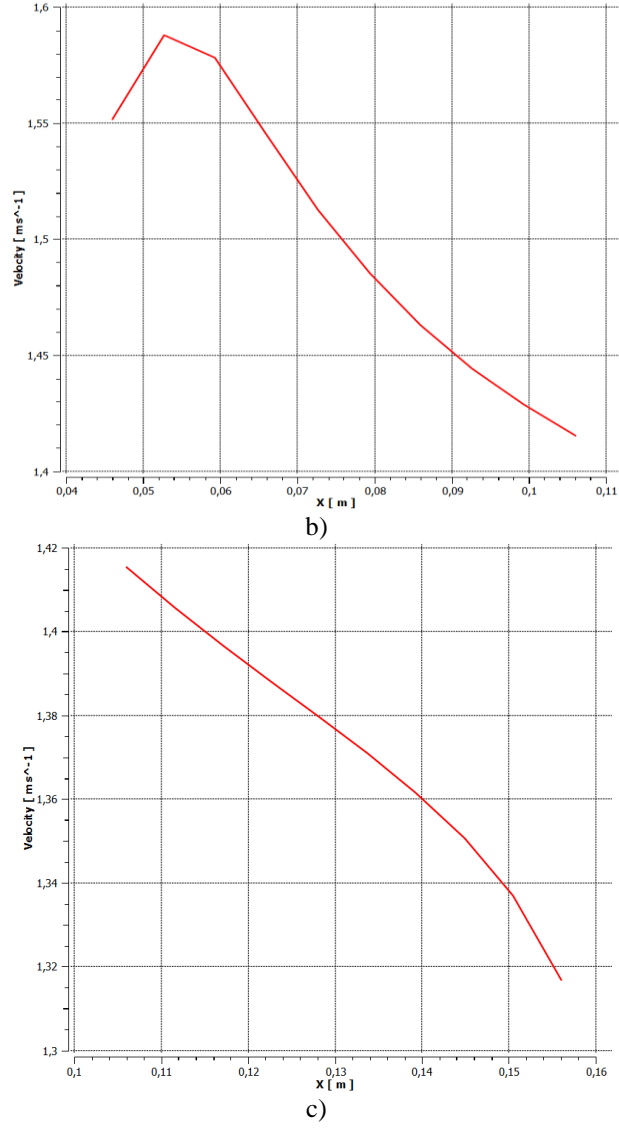
c)

Şekil 3.1. Suyun venturi borusu boyunca SST türbülans modeli için hız grafiği, a) A-D kesiti, b) D-H kesiti, c) H-L kesiti

Tablo 2.1.'de 19 °C' deki havanın termo-fiziksel özellikleri akışkana tanımlanarak, türbülanslı akış SST modeli şartlarında venturi borusunun A-L kesiti için aşığıda verilen Şekil 3.2 hız grafiği elde edilmiştir. Şekil 3.2 a' da A-D kesiti, b'de D-H kesiti, c' de H-L kesiti boyunca hız değişimi görülmektedir. A-D kesiti boyunca hız değeri artarak maksimum değere ulaşığı, D-H kesitinde azalma eğilimi göstermiştir. Bu azalma H-L kesiti boyunca da devam etmiştir. Sistemde gözlemlenen hız değerleri sırasıyla yaklaşık 1.5 m/s, 1.426 m/s ve 1.319 m/s olarak bulunmuştur.

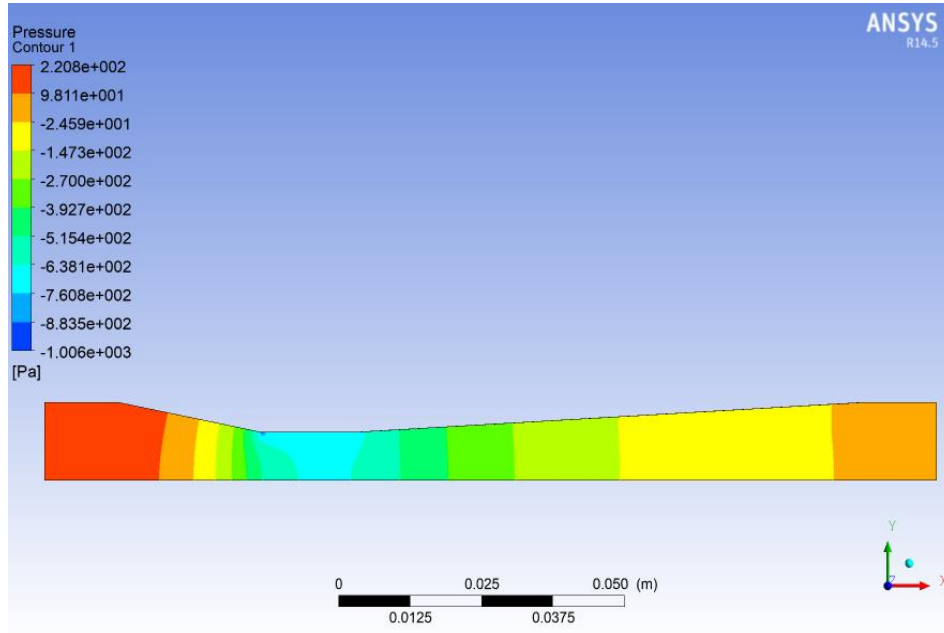


a)

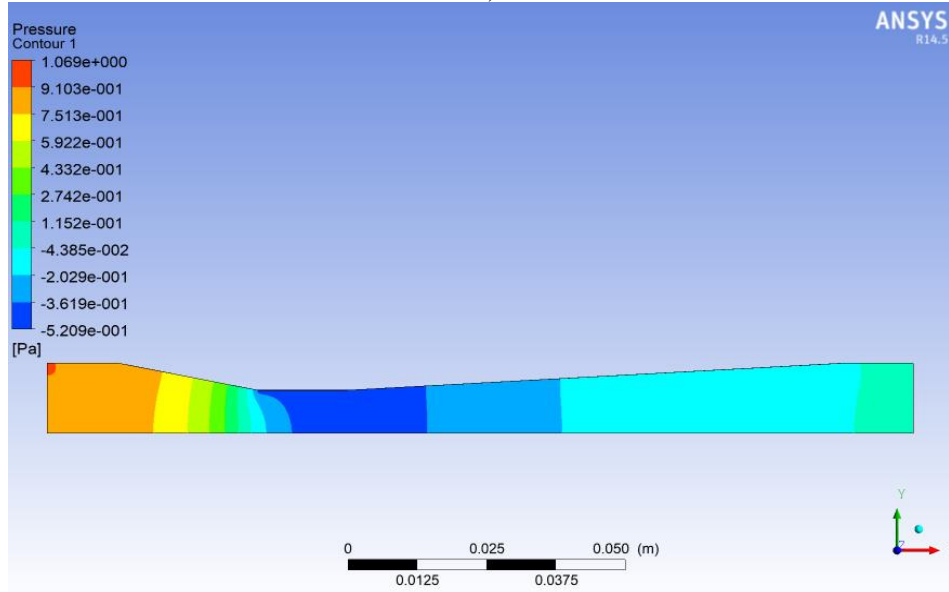


**Şekil 3.2.** Havanın venturi borusu boyunca SST türbülans modeli için hız grafiği, a) A-D kesiti, b) D-H kesiti, c) H-L kesiti

Tablo 2.1.'de 19 °C' deki su ve havanın termo-fiziksel özellikleri kullanılarak, türbülanslı akış SST modeli şartlarında aşağıda Şekil 3.3' de görülen basınç dağılımı elde edilmiştir. Şekil 3.3 a' da su, b'de ise hava için venturi boyunca basınç dağılımları görülmektedir. A-D kesitindeki yüksek olan basınç değeri daha sonra venturi boyunca artmıştır. Sistemde maksimum gözlemlenen basınç değeri su için 220.8 Pa iken, hava için maksimum gözlemlenen basınç değeri 1.069 Pa olarak bulunmuştur.



a)

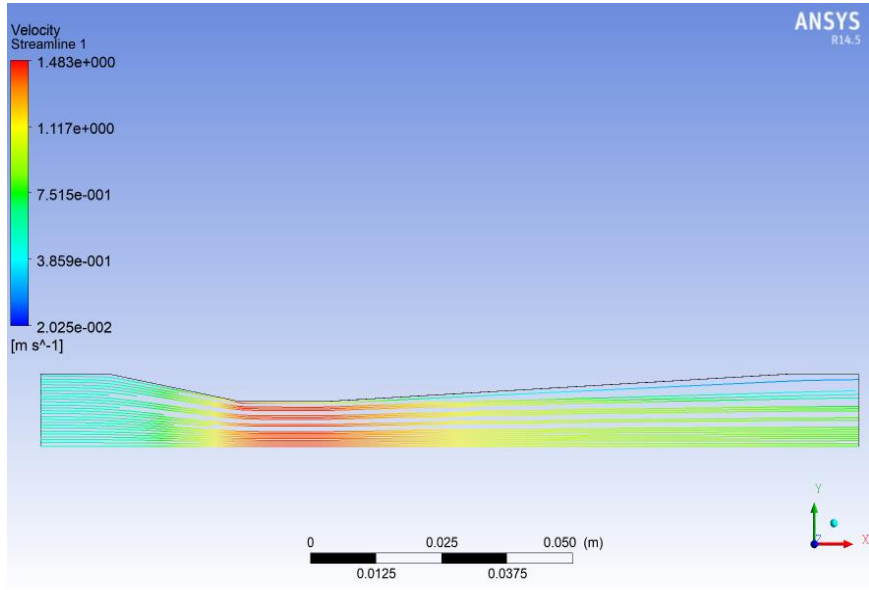


b)

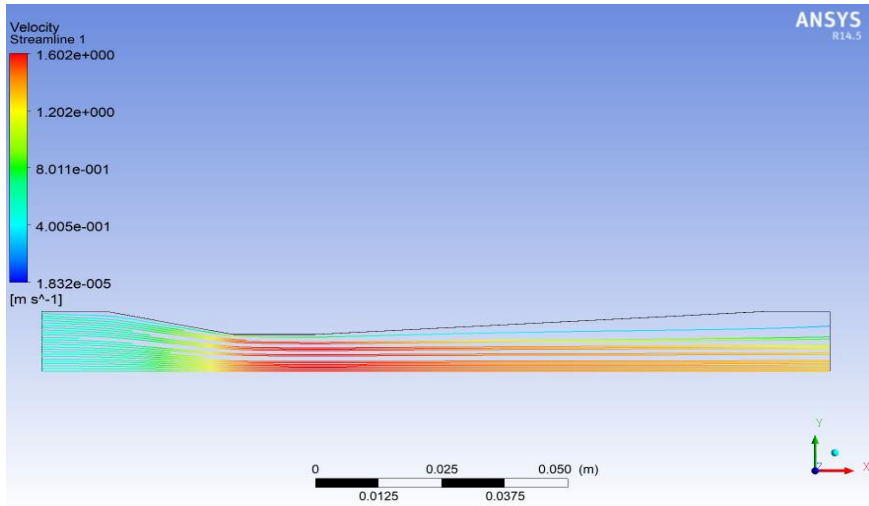
Şekil 3.3. SST türbülans modeli için venturi borusu içerisindeki basınç dağılımı, a) Su için b) Hava için

Tablo 2.1.'de 19 °C' deki su ve havanın termo-fiziksel özellikleri kullanılarak, türbülanslı akış SST modeli şartlarında aşağıda Şekil 3.4' de görülen hız dağılımı elde edilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi hem su hem de hava için homojen hız dağılımı olmuştur. Şekil 3.4 a' da su, b'de ise hava için ventüri boyunca hız dağılımları görülmektedir. A-D arasındaki mesafe kısa olduğu için kesit daralması nedeniyle hız azalmıştır. D-L arasındaki mesafe daha uzun olduğundan hız artma eğilimi göstermiştir. Hız vektörlerinin etkisi ventümetre boyunca açık bir şekilde ortaya koyulmuştur. Hız dağılımı düzgün bir akış olmasına rağmen ventüri boyunca oluşan türbülansın dolaylı olarak giderek artmıştır. En yüksek hız değeri hava için, SST türbülans modelinde gözlenmiştir.





a)



b)

Şekil 3.4. SST türbülans modeli için venturi borusu içerisindeki hız dağılımı, a) Su için b) Hava için

#### 4. SONUÇLAR

19 °C' deki suyun ve havanın termo-fiziksel özellikleri akışkana tanımlanarak, SST türbülans modeli için ventürü boyunca üç farklı kesitteki hız ve basınç etkisi incelenmiştir ve elde edilen bulgular sonucunda;

- A-D ve D-H kesitlerinde hız verilerine göre SST türbülans modeli oldukça iyi sonuçlar vermiştir.
- Su ve havanın venturimetre içerisinde aynı ölçüm değerlerindeki hız ve basınç dağılımı incelenmiştir. Havanın hız değerinin A-D kesitinde suya oranla yüksek olduğu gözlenmiştir.
- D-H kesitinde SST türbülans modeli için hava hız değerlerinin su hız değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür. H-L kesitinde ise hava hız değerlerinin su hız değerlerinden yüksek olduğu ortaya koyulmuştur.
- Elde edilen contour değerleri incelendiğinde hava için suya göre en yüksek hız değeri gözlenmiştir. Yine contour değerleri sonucuna göre en yüksek basınç değeri su için 220.8 Pa iken, hava için maksimum gözlemlenen basınç değeri 1.069 Pa olarak bulunmuştur.

## Semboller

- $A$  : Kesit alanı ( $m^2$ )  
 $C$  : Ventürimetre katsayısı  
 $C_p$  : Özgöl ısı kapasitesi ( $J/kgK$ )  
 $g$  : Yerçekimi ivmesi ( $m/s^2$ )  
 $h$  : Sıvı yüksekliği  
 $k$  : Isı iletim katsayısı ( $W/mK$ )  
 $\mu$  : Dinamik viskozite ( $kg/m.s$ )  
 $U$  : Hız ( $m/s$ )  
 $\rho$  : Akışkan yoğunluğu ( $kg/m^3$ )  
 $T$  : Akışkan sıcaklığı ( $^0C$ )

## KAYNAKÇA

1. Perumal K., Krishnan J. A CFD study of the effect of venturi geometry on high pressure wet gas metering, International Journal of Oil, Gas and Coal Technology, 6(5) 549-566, 2013.
2. Xu Y., Gao L. Zhao Y., Wang H. Wet gas overreading characteristics of a long-throat Venturi at high pressure based on CFD, Flow Measurement and Instrumentation, 40 247-255, 2014.
3. Mishra C., Peles Y. An experimental investigation of hydrodynamic cavitation in micro-Venturis. Physics of Fluids, 18(10) 103-109, 2006.
4. Oliveira J. L. G., Passos J. C., Verschaeren R., Van Der Geld C. Mass flow rate measurements in gas-liquid flows by means of a venturi or orifice plate coupled to a void fraction sensor, Experimental Thermal and Fluid Science, 33(2) 253-260, 2009.
5. Steven R. A dimensional analysis of two phase flow through a horizontally installed Venturi flow meter, Flow Measurement and Instrumentation, 19(6) 342-349, 2008.
6. Hasan A. H., Lucas G. P. Experimental and theoretical study of the gas-water two phase flow through a conductance multiphase Venturi meter in vertical annular (wet gas) flow, Nuclear Engineering and Design, 241(6) 1998-2005,2011.
7. He D., Bai B. Numerical investigation of wet gas flow in Venturi meter, Flow Measurement and Instrumentation, 28 1-6, 2012.
8. Wang W., Liang X., Zhang M. Measurement of gas-liquid two-phase slug flow with a Venturi meter based on blind source separation, Chinese Journal of Chemical Engineering, 23(9) 1447-1452, 2015.
9. Yuan C., Xu Y., Zhang T., Li J., Wang H. Experimental investigation of wet gas over reading in Venturi, Experimental Thermal and Fluid Science, 66 63-71, 2015.
10. Hong-jian Z., Wei-ting Y., Zhi-yao H. Investigation of oil-air two-phase mass flow rate measurement using Venturi and void fraction sensor, Journal of Zhejiang University-SCIENCE A, 6(6) 601-606, 2005.
11. Xu L., Zhou W., Li X., Wang, M. Wet-gas flow modeling for the straight section of throat-extended venturi meter, IEEE transactions on Instrumentation and Measurement, 60(6) 2080-2087, 2011.
12. Bradford J. E., Johnson M. C., Gilbert J. G. Performance of Venturi meters installed downstream of bends. Journal-American Water Works Association, 98(4) 156-164, 2006.
13. Salque G., Gajan P., Strzelecki A., Couput J. P., El-Hima L. Atomisation rate and gas/liquid interactions in a pipe and a venturi: influence of the physical properties of the liquid film, International Journal of Multiphase Flow, 51 87-100, 2013.