

Experimental Measurement of Different Pipe Material Type of Time-dependent Pressure Drop, Numerical Analysis and Classification Using Anova Analysis

 Ahmet B. DEMİRPOLAT^{1,*}  Erdem ALIÇ² 
^{1*}Malatya Turgut Ozal University, Vocational school of Arapgir, 44800, Arapgir/MALATYA

²Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Vocational school of Andırın, 46410, Andırın/KAHRAMANMARAS

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article

Received: 20/07/2020

Revision: 12/09/2020

Accepted: 21/09/2020

Highlights

- Numerical Analysis
- Anova statics
- Pressure drop

Keywords

 Anova
 ANSYS FLUENT 18.1.
 Pipes
 Pressure drop

In this study, the pressure changes in the internal flow in pipes of different material types were investigated experimentally and numerically. For this study, 2000 mm long pipes made of 5 different materials were used. Different Reynolds numbers ($Re = 45832,12- 51276,56$) were obtained by changing the fluid flow rate.

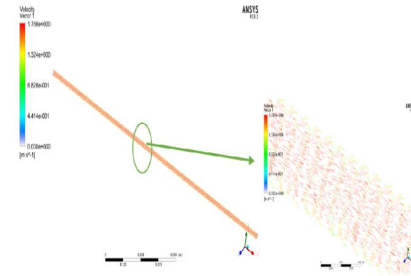


Figure A. The velocity vector for pipe

Purpose: The aim of this study is to separate the pressure drop of pipes made of different materials in flows with different Re numbers from each other with ANOVA statistical program. Due to experimental devices, it is included in the numerical analysis made to verify the set of experiments.

Theory and Methods: The 3D model of the experimental setup was created in SOLIDWORKS 2018, and the experimental results were controlled by using ANSYS FLUENT 18.1 numerical analysis program. The suitability of flow rate and pressure measurement ranges, the accuracy of the classification were used with the ANOVA technique analysis method.

Results: As a result, the accuracy of the experiment set was ensured. Pressure drops were calculated for 2m pipe length of 5 different types of pipes. Pressure change contours in the pipe are given. Velocity change vectors in the pipe are given in 3D. The analysis of the data obtained with the Anova statistical program was carried out in order to show the effect of the design parameters that affect the characteristics of the system.

Conclusion: Experimental data obtained for aluminum smooth pipes are modeled with less than 1% error by numerical analysis. . As a result of, appropriate flow variation, pipe diameter ranges and pipe material classifications are presented as a contribution to the literature. It has been observed that pipe materials can be classified as hard metals (iron, galvanized steel, etc.), soft metals (copper, aluminum, etc.) and plastic (PPRC, etc.).



Malzeme Cinsi Farklı Boruların Zamana Bağlı Basınç Düşümlerinin Deneysel Ölçülmesi, Sayısal Analizi Ve Anova Analizi Kullanılarak Sınıflandırılması

Ahmet B. DEMİRPOLAT^{1*} Erdem ALIÇ²

¹Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Arapgir Meslek Yüksekokulu, 44800, Arapgir/MALATYA

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Andırın Meslek Yüksekokulu, 46410, Andırın/KAHRAMANMARAŞ

Öz

Bu çalışmada malzeme cinsi farklı borularda gerçekleşen iç akıştaki basınç değişimleri deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Çalışmada için 2000 mm uzunluğunda 5 farklı malzemeden üretilmiş borular kullanılmıştır. Akışkan debisi değiştirilerek farklı Reynolds sayıları ($Re = 45832,12- 51276,56$) elde edilmiştir. Reynolds sayısının değişimi ile boru boyunca basınç değişimi deneysel olarak gözlemlenmiştir. Akışın debi değişim aralıkları, sabit hacimli bir su deposunun dolun süreleri değiştirilerek ayarlanmıştır. Kurulan deney setinin 3B modeli SOLIDWORKS 2018'de oluşturulmuş olup sayısal modeli için ANSYS FLUENT 18.1 sayısal analiz programı kullanılmıştır. Alüminyum pürüzsüz boru için elde edilen deneysel veriler, sayısal analiz ile %1'den daha az hata ile modellenmiştir. Deney seti sayısal analiz ile doğrulanmıştır. Bu deney seti üzerine diğer borular monte edilerek boru boyunca ve zamana bağlı basınç değişimleri deneysel olarak gözlemlenmiştir. Akış hızı ve basınç ölçüm aralıklarının uygunluğu, sınıflandırılmanın doğruluğu ANOVA tekniği analiz metodu ile desteklenmiştir. Sonuç olarak, uygun akış değişimi, boru çapı aralıkları ve boru malzemesi sınıflandırmaları literatüre katkı olarak sunulmuştur. Boru malzemeleri sert metaller (demir, galvanizli çelik vb.), yumuşak metaller (bakır, alüminyum vb.) ve plastik (PPRC vb.) olarak sınıflandırılabilceği gözlemlenmiştir.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 20/07/2020
Düzeltilme: 12/09/2020
Kabul: 21/09/2020

Anahtar Kelimeler

Anova
ANSYS FLUENT 18.1
Basınç Düşüşü
Borular

Keywords

Anova
ANSYS FLUENT 18.1
Pipes
Pressure drop

Experimental Measurement of Different Pipe Material Type of Time-dependent Pressure Drop, Numerical Analysis and Classification Using Anova Analysis

Abstract

In this study, the pressure changes in the internal flow in pipes of different material types were investigated experimentally and numerically. For this study, 2000 mm long pipes made of 5 different materials were used. Different Reynolds numbers ($Re = 45832,12- 51276,56$) were obtained by changing the fluid flow rate. Pressure change along the pipe with the change of the Reynolds number was experimentally observed. The flow rate change intervals of the flow are adjusted by changing the filling times of a fixed volume water tank. The 3D model of the experiment set was created in SOLIDWORKS 2018 and ANSYS FLUENT 18.1 numerical analysis program was used for the numerical model. Experimental data obtained for aluminum smooth pipes are modeled with less than 1% error by numerical analysis. The experiment set was verified by numerical analysis. Other pipes were mounted on this test set and pressure changes along the pipe and with time were experimentally observed. The suitability of flow rate and pressure measurement ranges and the accuracy of classification were supported by the ANOVA technique analysis method. As a result of, appropriate flow variation, pipe diameter ranges and pipe material classifications are presented as a contribution to the literature. It has been observed that pipe materials can be classified as hard metals (iron, galvanized steel, etc.), soft metals (copper, aluminum, etc.) and plastic (PPRC, etc.).

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Boru iç akışında gerçekleştirilen sıvı akışı genellikle ısıtma ve sıvı dağıtım şebekelerinde kullanılır. Bu tür uygulamalarda, sıvı genellikle bir pompa tarafından bir akış bölgesine akmaya zorlanır. Boru akışındaki basınç düşüşü ve yük kaybı ile doğrudan ilişkili olan sürtünmeye özellikle dikkat etmek gerekir. Bu noktada, dış faktörler sürtünmenin piyasaya çıkmasına neden olur. Bu dış faktörlerden biri boru pürüzlülüğüdür. Literatürde bu konu hakkında çalışmalar birkaç başlık altında toplanabilir. Bunlar sürtünme kayıplarının sebep olduğu basınç düşüşü ve borunun geometrik yapısından kaynaklanan basınç düşüşleri olarak iki gruba ayrılabilir. Bu çalışmada, basınç düşüşü, pürüzlülük, boru çapı, boru malzemesi ve akış süresine göre istatistiksel olarak anlamlı akış hızlarını hesaplamak için SPSS programı kullanılarak bir ANOVA analizi yapılmıştır.

Boru içi akışlar üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların; en önemlilerinden biri, G. Hagen (1797-1884) ve J. Poiseuille (1799-1869) tarafından geliştirilen, Hagen-Poiseuille akışı adı verilen, basınç düşüşü ile akış arasındaki ilişkiyi veren; çalışma sonucu elde edilmiş olan denklemdir [1-2].

Cyril F. Colebrook, 1939'da pürüzsüz, kaba borular ve türbülanslı akışlar için mevcut verileri birleştirerek Colebrook denklemini geliştirmiştir. 1942'de Hunter Rouse ve Lewis F. Moody, iki yıl sonra Moody diyagramı olarak bilinen sürtünme faktörü ve Reynolds sayısı arasındaki ilişkiyi çizmiştir. Moody diyagramı ve Colebrook denklemi, deneysel hataların büyüklüğü nedeniyle sadece % 15 sapma ile kullanılabilir [3-4].

Bhatti ve Shah [5] ve Kaysa ve Crawford [6] sıvı akışlarında hidrodinamik geçiş uzunluğunu incelemişlerdir. Basınç kaybı ve sürtünme faktörünü bulmak için yapılan bu çalışmaları genellikle yapay olarak pürüzlendirilmiş borular üzerinde gerçekleştirmişlerdir.

Fang ve ark. çalışmalarında türbülanslı bir boru akışındaki sürtünme faktörünün korelasyonlarını; kritik basınç altında detaylı bir şekilde incelemiş olup adyabatik süper kritik türbülanslı boru akışı için sürtünme faktörünün korelasyonunu elde etmişlerdir [7].

Abushammala ve ark. incelemelerinde helisel borularda, özellikle de yüksek derecede kavisli olanlarda; laminer akış da sürtünme faktörünü belirlemek için HAD simülasyonlarını gerçekleştirmişlerdir. Sayısal sonuçların deneysel olarak onaylanması için, 3B baskı ile yüksek derecede kavisli bir sarmal yapmışlardır. Mevcut korelasyonların, yüksek derecede eğimli sarmallarda sürtünme faktörünün tahmininde başarısız olduğu kanıtlanmış olup yeni bir korelasyon önermişlerdir. Deneysel basınç düşüşü ölçümleri ve önerilen korelasyon tahminleri arasında mükemmel bir uyum elde etmişlerdir [8].

Avcı ve ark. çalışmalarında, pürüzsüz ve pürüzlü yüzeyler için tüm Reynolds sayı aralıklarında geçerli olan tek bir açık denklemin türetilmesi için incelemelerde bulunmuşlardır. Laminer ve türbülanslı akışlardaki sürtünme faktörü denklemlerini, geçiş bölgesi için geliştirilen metod sayesinde tek bir denkleme dönüştürmüşlerdir. Önerilen denklemin sonuçları, mevcut deneysel verilerle ve sırasıyla pürüzsüz ve pürüzlü yüzeyler için Colebrook denkleminde ki veriler karşılaştırılmıştır. Tüm Reynolds sayı aralıkları boyunca Colebrook denklemi kullanılarak ulaşılan sonuçlar ile elde edilen deneysel veriler arasında çok iyi bir uyum olduğu görülmüştür. Çalışmalarında hata oranı, pürüzlü ve pürüzsüz yüzeylerde, laminar ve türbülanslı akışlar için sırasıyla $\pm\% 2$ ve $\pm\% 10$ 'dur [9].

Heralda ve ark. incelemelerinde, Pozitron Emisyon Partikül Takibi (PEPT) metodunu deneysel sıvı akışlarında, Lagrange yöntemiyle veri toplayabilmek için; Simüle edilmiş bir boru akışlı PEPT ölçümünden çalışmalarında faydalanmışlardır [10].

Pereira ve ark. sarmal bir boru sisteminde; sıvının akışını incelemek için, sargılı bakır boru ile gerçek sarmal boru sistemine benzer bir deney ünitesi oluşturmuşlardır. Boru uzunluğu boyunca basınç ve sıcaklık değerlerinin değişimini gözlemleyebilmek için düzeneğe basınç vericileri ve termocouple monte edilmiş olup bu cihazlar yardımıyla elde edilen akış hızı ve basınç düşüşü değerleri sayesinde; laminer ve türbülans akış rejiminde ki sürtünme faktörü korelasyonlarını, basınç düşüşünde eğriliğin ve boru uzunluğunun akışa etkisini incelemişlerdir. Sarmal boru sistemindeki basınç düşüşünü tahmin etmek için bir metodoloji önermişler; deneysel ve hesaplanan basınç düşüş değerleri arasındaki hata oranını % 5'in altında olduğunu gözlemlemişlerdir [11].

Naidek ve ark. Çalışmalarında Oluklu yatay borularda; sıvı-gaz akışlarındaki basınç düşüşünü engellemeye yönelik bir oluk geometrisi elde etmişler ve akış giriş verilerini kullanarak bir korelasyon oluşturmuşlar; Modellerindeki tahminlerinin, deneysel verilerle karşılaştırmaları sonucu korelasyonlarının $\pm\%7$ doğruluk gösterdiği sonucuna varmışlardır [12].

Yanga ve ark. yüksek basınç altında dikey bir borudaki yukarı yönlü yağ-su akış paternlerini incelemek için deneysel ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Yüksek sıcaklık ve basınç altında, yağ-su; iki fazlı akışkan davranışının daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmuşlardır [13].

Arslan ve Yaman çalışmalarında, 30° eğimli bir boruda termal olarak gelişmekte olan akış için, farklı boylarda sarmal şerit kullanımının; ısı ve hidrodinamik performansa etkisini incelemişlerdir. Şerit kullanılarak yapılan deneyler sonucu elde edilen; ısı taşınım katsayısı, basınç kaybına bağlı olarak elde edilen Nusselt sayılarını ve sürtünme faktörlerini tespit edip, içi boş şeritsiz boruda elde edilen verileri karşılaştırmışlardır. Nusselt sayısının sürtünme faktörüne oranı şeklinde tanımlanan performans iyileştirme faktörü, USŞ için 0,8–2,0, KSS için 1,1–1,5 aralığında tespit etmişlerdir. Buna ek olarak Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü için deneysel bağıntılar geliştirmişlerdir. Nusselt sayısı için geliştirilen bağıntı; deney verilerini $\%14.6$ sapma ile tahmin ederken, sürtünme faktörü için bu değer $\%11.9$ olarak elde edilmiştir[14].

Gül ve Evin çalışmalarında; belirli genlik ve frekans değerinde salınım yapan silindirik borularda, ısı transferi ve basınç kaybı karakteristiklerini incelemişlerdir. Genlik ve frekansın; ısı transferi ve basınç kaybı katsayısı üzerinde etkili olduğunu belirlemişlerdir[15].

Lyu ve ark. çalışmalarında, re-sirküasyonlu boru akışına etki eden faktörleri kapsamlı bir şekilde incelemişlerdir. Önce, dağılım başlıkları olan ve olmayan sistemlerin performanslarını değerlendirmek için deney testleri yapmışlardır. Daha sonra termal ve akış özellikleri CFD analizi kullanılarak sistemlerin karşılaştırmışlardır. Ayrıca bağlantı borusu boyutlarının etkilerini, onaylanmış bir FORTRAN programı kullanarak incelemişlerdir[16].

Shah ve ark. üç boyutlu HAD modellerini kullanarak su ve hava için analizler gerçekleştirmişlerdir. Çözüm metodolojisi olarak standart türbülanslı model, yarı örtülü basınç bağlantılı denklem (SIMPLE) algoritması ve ikinci dereceden ayırma yöntemlerini kullanmışlardır. Analiz sonuçları ile deneysel veriler arasında iyi bir eşleşme olduğunu göstermişlerdir [17].

Roul ve Dash orifis plaka yüzeyinden; yukarı ve aşağı yönlü akışta, sabit hız ve sabit basınç altında akış gerçekleştiği sürece yakınsama kriterlerinin (10^{-3}) gerçek çözümü temsil etmek için yeterli olduğu sonucuna varmışlardır. Analiz modellerini; basınç düşüşü, boşluk fraksiyonu ve kayma oranını (tek ve iki fazlı) orifis plakasının kalınlığı ile ilişkilendirmek için gerçekleştirmişlerdir [18].

Yadav ve Bhagoria çalışmalarında, işlemci kapasitesinden ve hesaplama süresinden tasarruf etmek için 2B gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında dairesel kesitli oyuklara sahip, güneş enerjisi ile çalışan hava ısıtıcı (2B dikdörtgen kesitli) kanalında; sıvı akışı ve ısı transfer karakteristiklerinin davranışlarını araştırmalarında incelemişlerdir. Sonuç olarak eşit pompalama gücünde; bağıl en/boy oranı (P / e) ve Reynolds sayısının (Re); Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Termo-hidrolik performans parametresi açısından en iyi kaburga konfigürasyonunu belirlemişlerdir [19].

Şahin ve ark. iç içe borulu ısı değiştiricinde RNG k- ϵ türbülans modelini çalışmışlardır. Çalışmalarında Reynolds (Re) aralığı 3000-18000 arasında değişmektedir. Üç ayrı duvar fonksiyonuna bağlı sayısal analiz gerçekleştirmişlerdir. Bunlardan RNG-Standard duvar fonksiyonu modelinin, diğer modellere göre; deneysel sonuçlara daha iyi yaklaştığını belirtmişlerdir [20].

Karayeyen ve İlbaş sayısal çalışmalarında; oksitleyiciye su buharı ilavesi gerçekleştirilebilen kok fırınında; bu durumun yanma davranışlarına etkisini modellemişlerdir. Sayısal analiz için ANSYS FLUENT programını kullanmışlardır. Analizler sonucunda oksitleyici su buharının; kok fırınının sıcaklığını düşürdüğünü ifade etmişlerdir [21].

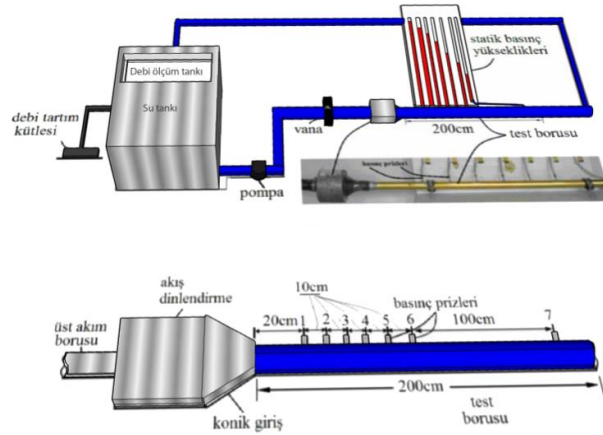
Bu çalışmada, tüm deneyler yapılmadan önce alüminyum pürüzsüz boru için oluşturulan deney düzeneğinin sayısal analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Deney düzeneğinin 3B modeli SOLIDWORKS 2018'de oluşturulmuş olup, ANSYS FLUENT 18.1 sayısal analiz programı kullanılarak deneysel olarak elde edilen sonuçların kontrolü sağlanmıştır. Verilerin

kontrolü aşamasından sonra deney düzeneğine farklı boru tipleri monte edilerek deneylere devam edilmiştir. Bu çalışmanın literatüre göre özgün yanı SPSS programında yer ANOVA analizi metodu ve ANSYS FLUENT 18.1 kullanılarak deneysel kurulum sonucu elde edilen sınıflandırmanın uygunluğunun araştırılması olarak göze çarpmaktadır. Boruların sınıflandırılmasında hassas bir sonuç elde edildiğini gösterilmek hedeflenmiş olup grafiklerin incelenmesi sonucu deneyde kullanılan boru tipleri kendi aralarında sınıflandırıldıktan sonra sınıflandırılmanın doğruluğunun tespiti yönünden; basınç düşüşü, pürüzlülük, boru çapı, boru malzemesi ve sıvının akış süresine göre istatistiksel olarak anlamlı akış hızlarını hesaplamak kaydıyla SPSS programında bir ANOVA analizi yapılarak sınıflandırmanın uygunluğu test edilmiş, literature uygun akış değişimi, boru çapı aralıkları ve boru malzemesi sınıflandırılmaları kazandırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

2.1 Deneysel Metot (Experimental Method)

Deneyleri gerçekleştirmek için kullanılan akışkan sudur. Görünürlük için suya kırmızı boya eklenmiştir. Demir, Plastik (PPRC), bakır, alüminyum ve galvanizli çelik olmak üzere deneysel çalışma için farklı pürüzlülüklere sahip 5 boru seçilmiştir. Boruların çapları 20,5 mm'den 27,75 mm'ye değişmektedir. Akış hızı aralığı 0,92879257 m³ / s ile 0,000247525 m³ / s arasında değiştirilmiştir. Boru uzunlukları seçilirken hidrodinamik geçiş uzunluğu ve tam gelişmiş akış aralığı dikkate alınmıştır. Ölçüm portları boruların giriş ve çıkışına yerleştirilmiştir. Borunun giriş kısmında borulardaki hidrodinamik geçiş aralığını incelemek için basınç prizleri dar aralıklarla yerleştirilmiştir. Akış hızı bir hidrolik tankla ölçüldü ve statik basınç değerleri bir kamera tarafından 105 saniyelik bir zaman aralığı boyunca kaydedilmiştir. Basınç değerleri daha sonra görüntü işleme tekniği ile kaydedilen videolardan düzenlenmiştir. Şekil 1' deki deney düzeneğinde deneyler 5 farklı boru cinsi için tekrarlanmıştır.



Şekil 1. Deneysel çalışma

Deney esnasında hacimsel debi ve statik basınç ölçümleri yapılmıştır. Hacimsel debi ölçüm sonucu elde edilen verilerle Reynolds sayısı, statik basınç ölçümü sonucu elde edilen veriler ile çeper kayma gerilmesi değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada belirsizlik analizi gerçekleştirmek için Kline ve McClintock tarafından ifade edilen metot (Eşitlik 1) kullanılmıştır [22]. Eşitlik 1.'de z belirsizlik özellikleri, W belirsizlik değerini, n ise belirsizlik oluşumuna sebep olan parametre adedini ifade etmektedir. Bu çalışma için hesaplanan belirsizlik analizi Tablo 1'de verilmiştir.

$$W_x = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial x_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial x_3}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial z}{\partial x_n}\right)^2} \cdot \bar{z}^{0,5}$$

Tablo 1. Belirsizlik Analizi

Belirsizliğin Sebebi	Belirsizlik Değeri (%)
Kütle ve zaman ölçümlerindeki belirsizlik	%1,1
Boru boyundaki farklılıklardan kaynaklanan belirsizlik	%1
Boru çapındaki farklılıklardan kaynaklanan belirsizlik	%1
Reynolds sayısındaki belirsizlik	%2,7
Basınç Kaybı Ölçümlerinde	%3,2
Fiziksel Özelliklerin Belirsizliği (Viskozite ve Yoğunluk)	%1
Sürtünme faktöründeki belirsizlik	%7,4

2.2 Sayısal Analiz (Numerical Analysis)

Bu çalışmada 3B modeli SOLIDWORKS 2018 oluşturulmuştur. Çözüm için ANSYS FLUENT 18.1 sayısal analiz programı kullanılmıştır. Sayısal analizlerde çözüm ağ yapısının kalitesinin, analizin doğruluğuna etkisi bir çok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır[23].



Şekil 2. 3B Alüminyum boru modeli

İç akış problemlerinde çözüm ağ yapısında duvar y^+ sayısı önemlidir. Duvar civarında akışta duvar boyunca bir sınır tabaka oluşumu gözlemlenir. Sayısal analizde bu sınır tabaka duvar fonksiyonu denilen bir eşitlikle hesaplanır. Bu fonksiyon yüksek Reynolds sayılı akışlarda çözüm süresini ve çözüm için gerekli eleman sayısının optimum olarak kurulmasını sağlar. Duvar etrafındaki akış bölgesi genel olarak 3 katmana ayrılır. Bunlar, viskoz tabaka ($0 < y^+ < 5$), Ara tabaka ($5 < y^+ < 30$) ve tam türbülanslı tabakadır ($y^+ > 30$). Burada y^+ boyutsuzdur. Aşağıda yer alan eşitlikler yardımı ile elde edilir.

$$y^+ = \frac{r u_t y}{m}$$

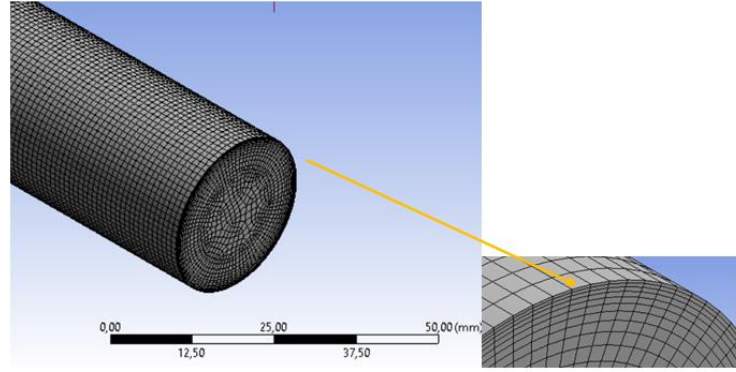
2

Burada U_t

$$u_t = \sqrt{\frac{\tau_w}{r}}$$

3

U_t sürtünme hızıdır ve τ_w ise duvardaki gerilmeyi ifade etmektedir[24,25]. Seçilen türbülans modeline göre akışın duvar y^+ değeri hesaplanmalı, çözüm ağ yapısı ve ilk katman kalınlığı buna göre belirlenmelidir. Bu analizde çözülen tüm modellerin Duvar y^+ değeri 11,4 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada türbülanslı akış için $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılmıştır. Bu çözüm metodu için birçok araştırmacı duvar y^+ değerinin 10-30 arası alınabileceğini belirtmektedir[26,27]. Bu çalışmada da 4 farklı çözüm ağ yapısı ile analiz gerçekleştirilmiş ve en uygun ağ yapısı AG_2 olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3. Çözüm ağ yapısı

Gerçek bir olayın belirli kabuller altında sayısal hesaplarla ifade edilmesi için doğru başlangıç ve sınır şartı tanımlaması gerekmektedir. Bu çalışmada Şekil 3’ de yer alan modelde başlangıç hız girişi şartı olarak $V=1,6425$ m/s hız tanımlanmıştır. Giriş akışkan sıcaklığı ($T_{giriş}=\text{sabit}$) sabittir. Çıkış sınır şartı olarak $P=4418$ Pa tanımlanmıştır. Bu değer deney borusu üzerinde yer alan yedinci basınç ölçüm noktasından (P_7) elde edilen deneysel değeridir. Giriş ve çıkış yüzeyler hariç kalan tüm yüzeylere duvar sınır şartı tanımlanmıştır. Duvar tanımlı yüzey için diğer sınır şartları ANSYS FLUENT 18.1 ‘in varsayılan değerleri olarak kabul edilmiştir.

Tablo 2. Ağ yapısı analizi

Model	Maks. Eleman Boyutu [mm]	Min. Eleman Boyutu [mm]	Min. Ortogonal Kalite	Maks.Çarpıklık	Eleman sayısı
AĞ_1	0,75mm	0,01 mm	0,72	0,52	4456922
AĞ_2	1 mm	0,01 mm	0,84	0,55	2376600
AĞ_3	1,5mm	0,01 mm	0,84	0,54	980910
AĞ_4	2mm	0,01 mm	0,89	0,41	573750

Süreklilik denkleminin diferansiyel ifadesi Eş.4’te verilmiştir[28].

$$\frac{\partial}{\partial t} (r \vec{v}) + \tilde{N} \times (r \vec{v}) = S_m \quad 4$$

Ataletsel bir referans çerçevesinde momentumun korunumu ifadesi Eş. 5’te verilmiştir [29].

$$\frac{\partial}{\partial t} (r \vec{v}) + \tilde{N} \times (r \vec{v}) = -\tilde{N} p + \tilde{N} \times (\vec{t}) + r \vec{g} + \vec{F} \quad 5$$

Bu çalışmada k-ε transport denklemleri kullanılmıştır. İki eşitlik içere türbülans modelleri arasında kolay çözülebilirliği ve pek çok akış analizinde kabul edilebilir doğrulukta sonuç vermesinden dolayı sıklıkla tercih edilen yarı ampirik bir ifadedir. Türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans kinetik enerjinin dağılımı (ε) için yazılan iki adet transport denkleminin çözümü ve türbülans viskozitesinin (μ) hesabını içerir.

$$\frac{\partial}{\partial t} (r k) + \frac{\partial}{\partial x_j} (r k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(m + \frac{m_t}{s_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - r e - Y_M + S_k \quad 6$$

$$\frac{\rho}{\rho} (r e) + \frac{\rho}{\rho} (r e u_j) = \frac{\rho}{\rho} \left[\left(m + \frac{m_t}{s_e} \right) \frac{\rho}{\rho} \frac{e}{x_j} \right] + r C_1 S_e - r C_2 \frac{e^2}{k + \sqrt{ve}} + C_{1e} \frac{e}{k} C_{3e} G_b + S_e \quad 7$$

$$C_1 = \max \left\{ 0.43, \frac{h}{h + 5} \right\}, \quad h = S \frac{k}{e}, \quad S = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \quad 8$$

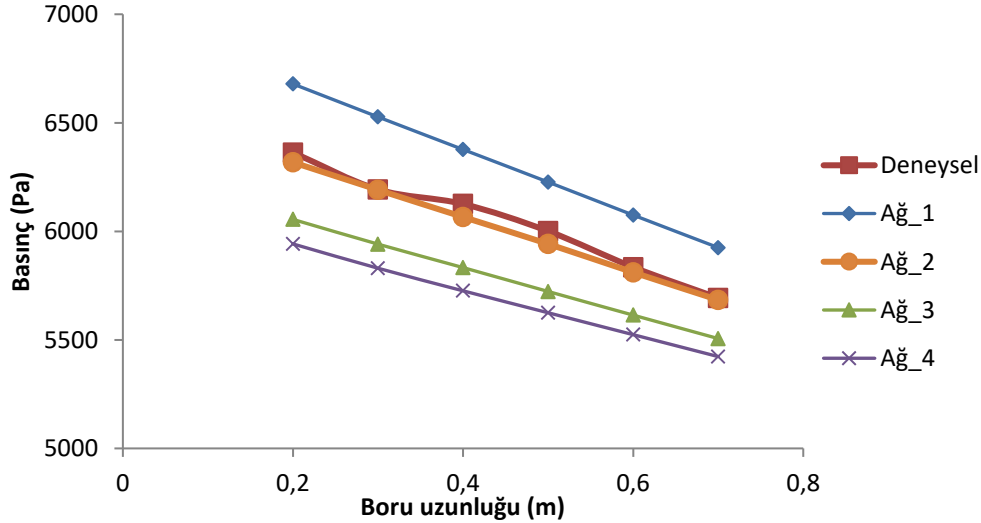
$$(C_{1e} = 1.44), (C_2 = 1.9), (s_k = 1.0), (s_e = 1.2) \quad 9$$

Yukarıdaki denklemlerde G_k ortalama hız gradyanlarının türbülans üretimini, G_b kaldırma kuvvetlerinin sebep olduğu türbülans kinetik enerji üretimini, Y_M sıkıştırılmaz türbülanslı akışta dalgalı dilatasyonun toplam yayılma hızına katkısını temsil eder. Burada C_{1e} ve C_2 sabittir. Sırasıyla σ_k ve σ_e türbülanslı akışta Prandtl sayısı. S_k ve S_e kullanıcı tanımlı parametredir[29].

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada yapılan deneylerde Reynolds sayısı, oda sıcaklığında ki (27 °C) sıcaklıkta bulunan suyun özellikleri referans alınarak Eş. 10 yardımı ile hesaplanmıştır. Denklem 10'da V_{ort} ortalama hız değeri (m/s), ρ yoğunluk değeri (kg/m³), D boru çapı değeri (m) ve μ (Pa.s) dinamik viskozite değerini temsil etmektedir.

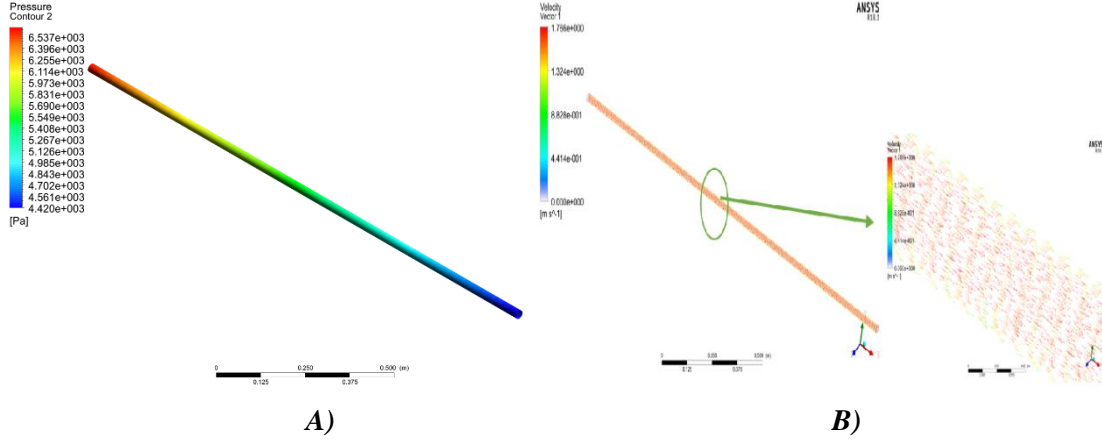
$$Re = \frac{\text{Atalet Kuvvetleri}}{\text{Vizkozite Kuvveti}} = \frac{V_{ort} \cdot D}{\nu} = \frac{\rho \cdot V_{ort} \cdot D}{\mu} \quad 10$$



Şekil 4. Re 50066,88 için alüminyum boru boyunca basınç değişimi analizi

Şekil 4'te $Re=50066,88$ için alüminyum boru boyunca basınç değişimi grafiği görülmektedir. Sayısal analiz için 4 farklı ağ yapısı çalışılmıştır. Ağ yapısı istatistikleri Tablo 2'de yer almaktadır. Deneysel sonuçlarla en iyi örtüşen ağ yapısı AĞ_2 olarak belirlenmiştir. Buradan sonraki verilen tüm sonuçlar AĞ_2 ile elde edilen sonuçlardır. Girişte basınç maksimum değere sahiptir. Çıkışa doğru basınç düşmüştür. Yapılan sayısal analizde Giriş şartı olarak (Inlet=Velocity) hız tanımlanmış çıkış şartı olarak boru boyunun 1,7 m elde edilen deney sonucu (Outlet= Pressure, Outlet= 4418 Pa)olarak tanımlanmıştır. Akışkan özellikleri 27 °C de su için ANSYS FLUENT 18.1' in kütüphanesinde yer alan değerler kullanılmıştır. Sayısal analiz programında yedi noktadan basınç çıkışı olduğu sistemde gösterilmiştir. Boru giriş kısmı ve yedinci basınç ölçüm noktası debi ölçüm tankına kadar hortum ile bağlantılı olduğundan dolayı bu hortumun içindeki sürtünmeden kaynaklı basınç düşümü deney borusu ile ilgili

olmadığı için yedinci noktadaki değer sayısal analize basınç çıkışı olarak tanımlanmış ve birinci ile altıncı basınç noktaları arasındaki basınç dağılımı ANSYS FLUENT 18.1 sayısal analiz programında analiz edilerek bulguların doğruluğu %1 den az hata ile doğrulanmıştır. Sayısal analiz sonuçları ve $Re=50066,88$ için tüm boruların basınç değişimi değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Şekil 5A’da $Re=50066,88$ için boru boyunca basınç değişimi konturları görülmektedir.



Şekil 5. A)3-B boru boyunca basınç değişimi ve B) boru boyunca hız vektörleri

Şekil 5B’de boru boyunca değişen hız vektörleri gösterilmiştir. Bu gösterimde borunun tam orta noktasında bir bölge seçilmiş ve yaklaştırılarak hız vektörlerinin detaylı gösterilmesi amaçlanmıştır. Şekil 6’da boru boyunca hız değişim kontürleri görülmektedir. Hız boru cidarlarında kaymama koşulu sebebiyle sıfırdır. Sınır tabaka bölgesinde de en düşük seviyededir. Ayrıca ilk girişte akış tam gelişmiş olmadığı için düşük hızda görülmektedir. Bu çalışmada ölçülen basınç değerlerinden sadece birincisi (P_1) gelişmemiş akış bölgesindedir. Diğer tüm ölçümler tam gelişmiş akış bölgesindedir. Tam gelişmiş bölge başlangıcı (L) $L=10*D$ ile hesaplanmıştır.



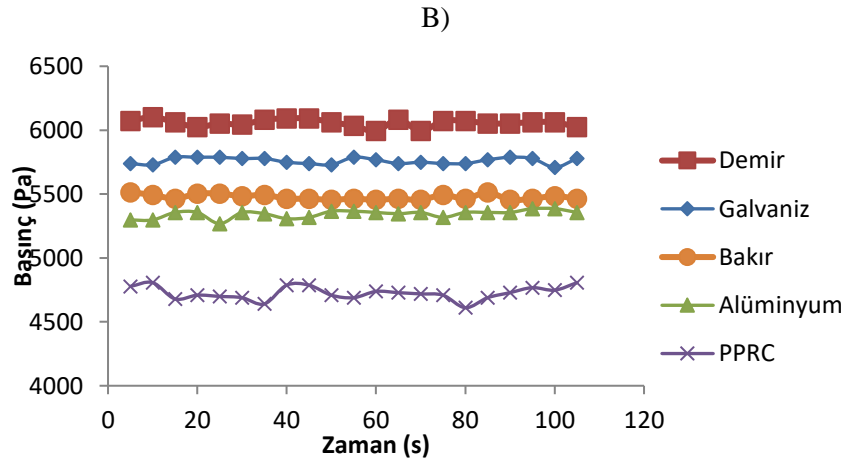
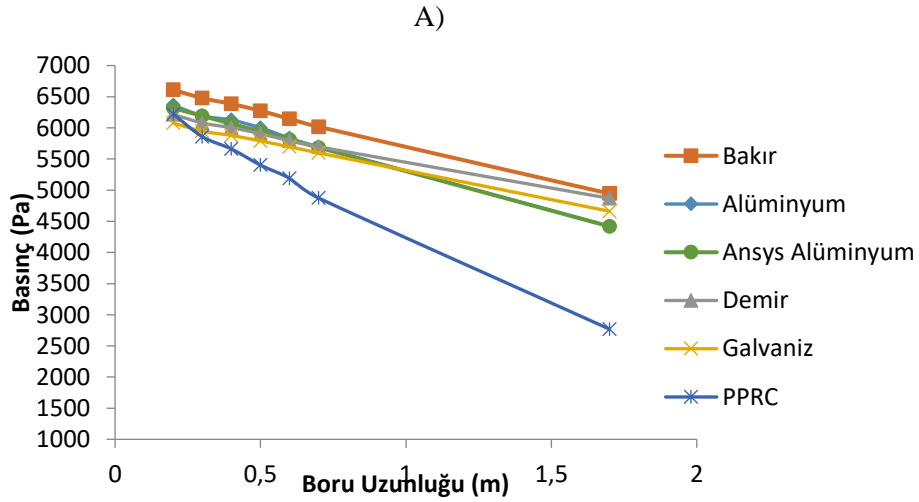
Şekil 6. Boru boyunca hız değişim kontürleri

Alüminyum pürüzsüz boru için elde edilen deneysel verilen, sayısal analizi yapılarak doğruluğu kontrol (crosscheck) edilmiştir. Bu çalışma ile deney setinin validasyonu sağlanmıştır. AĞ_2 çözüm ağ modeli ile deneysel veriler %1’den daha az hata ile modellenmiştir. Sayısal analiz ile boru boyunca basınç düşümü modeli incelendikten sonra diğer borular için deney düzeneği kullanımına devam edilmiştir. Bu deney düzeneği ile elde edilen $Re=50066,88$ ’deki ortalama basınç değişimi değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 3. Tüm borulardaki basıncın Reynolds = 50066,88' deki boru boyunca değişim değerleri

Boru boyu (metre)	Alüminyum (Pa)	ANSYS Alüminyum (Pa)	Bakır (Pa)	Siyah (Pa)	Galvaniz (Pa)	PPRC (Pa)
0,2	6363,89	6318	6611,36	6216,11	6075,69	6222,42
0,3	6193,38	6191	6477,38	6078,84	5947,28	5858,44
0,4	6126,11	6066	6384,42	6002,29	5877,96	5660,94
0,5	6001,38	5942	6274,14	5907,38	5790,03	5402,77
0,6	5835,55	5811	6143,80	5792,10	5695,12	5189,76
0,7	5693,07	5684	6017,58	5695,60	5597,88	4873,21
1,7	4418,70	4418,70	4944,39	4868,87	4660,87	2769,58

Şekil 7'de $Re = 50066,88$ 'de yapılan deneyler sonucu elde edilen Tablo 3' deki boruların basıncının boru boyunca değişim değerlerinin ve sayısal analizinin grafiği yer almaktadır. Bu çalışmada ANSYS FLUENT 18.1 sayısal analiz programı kullanılarak deneysel verilerin, sayısal sonuçlar ile karşılaştırılması sonucu kontrolü sağlanmıştır. Sayısal analiz yapılarak boruların sınıflandırılması için kurulan deney düzeneğinden oldukça hassas sonuçlar elde edilebileceğini göstermek hedeflenmiştir.



Şekil 7. A) Tüm borulardaki basıncın Reynolds = 50066,88 deki boru boyunca değişimi **B)** Tüm boruların P_1 deki basıncının $Re=45832,12- 51276,56$ arasındaki zamana göre değişimi

Tablo 4. Tüm boruların P_1 deki basıncının $Re=45832,12- 51276,56$ arasındaki zamana göre değişim değerleri

Zaman (Saniye)	Alüminyum (Pa)	Bakır (Pa)	Demir (Pa)	Galvanizli (Pa)	PPRC (Pa)
5 Sn	5297,4	5513,22	6072,39	5738,85	4777,47
10 Sn	5297,4	5493,6	6101,82	5729,04	4806,9
15 Sn	5356,26	5464,17	6062,58	5787,9	4679,37
20 Sn	5356,26	5503,41	6023,34	5787,9	4708,8
25 Sn	5267,97	5503,41	6052,77	5787,9	4698,99

Şekil 7B’de görüldüğü üzere $Re = 45832,12- 51276,56$ aralığında yapılan deneyler sonucu; demir, galvaniz çelik boruların zamanla ve boru boyunca basınç değişim değerlerinin grafiklerde birbirlerine yaklaşım gösterdiği için boru cinsi yönünden benzerlik gösterdikleri kanısına varılmış olup diğer boru tiplerinin de grafiklerdeki değerleri incelendiği zaman alüminyum, bakır borunun değerlerinin birbirlerine benzerlik gösterdiği ve PPRC borunun basınç değişiminin deneyler sonucu elde edilen grafikler incelediğinde deneyde kullanılan diğer boru tiplerinden tamamen farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Ortaya çıkan bu sınıflandırmanın doğruluğunun desteklenmesi açısından ANOVA analiz metodu kullanılarak yapılan sınıflandırmanın uygunluğunun testi için araştırmada toplam 1575 veri noktası kullanılmıştır. ANOVA kullanılarak analizi yapılan sistemlerin elde edilen verilerinden; sistemin efektif etkisini araştırmak ve sistemleri oluşturan tasarım parametrelerinin %95 oranında etki seviyesini (α) belirlemek amacıyla; sistemi oluşturan elemanları ANOVA, F-istatistik testine tabi tutar. Buradan çıkan sonuçların kalitesine göre sistemin karakteristiğine etki eden tasarım parametrelerinin sisteme etkisini göstermek için elde edilen verilerin analizi gerçekleştirilir. (yani $\alpha < 0.05$ olasılık) [30,31]. Elde edilen verilerdeki sapmalar homejen olduğu zaman ve analizden elde edilen sonuçların pozitif olduğu görüldükten sonra Tukey’in anlamlı fark (HSD) analizi yapılmıştır. Bunun sebebi Tukey-HSD analizinin ancak gruplar arasında anlamlı bir fark olduğu zaman yapılır.

SPSS analizinin çıktıları bu bölümde aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Burada bizim için önemli olan akış hızı, ANOVA analiz programı ile hesaplanmıştır ($F = 223.981$, $p = 0.000$). Debi değerlerinin basınç düşüşünde istatistiksel olarak anlamlı bir fark yaratmış olduğu sonuçlarda gözlemlenmiştir.

Tablo 5. Akış hızının basınç düşüşüne etkisi

	Toplam Kareler	df	Ortalama Kare	F	Önem
Gruplar Arası	,064	71	,001	223,981	,000
Gruplar İçinde	,006	1503	,000		
Toplam	,071	1574			

Boru çapı değerleri basınç düşüşü için ANOVA hesaplamalarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yaratmıştır ($198,649$, $p = 0.000$). Tukey-HSD testine göre, alüminyum ve bakır borular ayrı bir sınıfta yer alırken, galvanizli çelik ve demir borular başka bir sınıftadır. PPRC boru ise ayrı bir sınıftadır.

Tablo 6. Boru çapının basınç düşüşüne etkisi

	<i>Toplam Kareler</i>	<i>df</i>	<i>Ortalama Kare</i>	<i>F</i>	<i>Önem</i>
<i>Gruplar Arası</i>	,024	4	,006	198,649	,000
<i>Gruplar İçinde</i>	,047	1570	,000		
<i>Toplam</i>	,071	1574			

Tablo 7. Boru çapının homojen alt kümeleri

<i>Alfa için alt küme = 0.05</i>					
<i>Çap (m)</i>	<i>N</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	
,02760	315	,007012698412698			
,02775	315	,008108571428571			
,02600	315		,010061904761905		
,02500	315		,010428571428571		
,02050	315			,018081904761905	
<i>Önem</i>		,087	,917	1,000	

Boru malzemesi için ANOVA ($F = 198,649$, $p = 0.000$) elde edilmiştir. Bu basınç düşüşü boru malzemeleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğu anlamına gelir. Tukey-HSD testinde homojen alt kümeler alüminyum-bakır, galvanizli çelik-demir ve PPRC olarak tanımlanmıştır.

Tablo 8. Boru malzemesinin basınç düşüşüne etkisi

	<i>Toplam Kareler</i>	<i>df</i>	<i>Ortalama Kare</i>	<i>F</i>	<i>Önem</i>
<i>Gruplar Arası</i>	,024	4	,006	198,649	,000
<i>Gruplar İçinde</i>	,047	1570	,000		
<i>Toplam</i>	,071	1574			

Tablo 9. Boru malzemesinin homojen alt kümeleri

<i>Alfa için alt küme = 0.05</i>					
<i>Boru Malzemesi</i>	<i>N</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	
<i>Galvanizli Çelik</i>	315	,007012698412698			
<i>Demir</i>	315	,008108571428571			
<i>Alüminyum</i>	315		,010061904761905		
<i>Bakır</i>	315		,010428571428571		
<i>PPRC</i>	315			,018081904761905	
<i>Önem</i>		,087	,917	1,000	

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Sonuç olarak bu çalışmada, yaptığımız deneyler sonucu elde ettiğimiz verilerin yani boruların basıncının boru boyunca ve zamana göre değişim değerleri incelenmiştir. Kurulan deney setinin analizini yapmak için başlangıçta; Deneyde kullanılan alüminyum borunun 3B modelini SOLIDWORKS 2018'te oluşturulmuş olup, ANSYS FLUENT 18.1 sayısal analiz programı kullanılarak deney setinden elde edilen; $Re = 45832,12 - 51276,56$ aralığında Reynolds sayısının değişimi ile boru boyunca meydana gelen ve şekil 7'de gösterilen basınç değişimlerine karşılık gelen verilerin doğruluğunun kontrolü (%1'den az hata ile) sağlanmıştır. Kurulan deney setinden hassas sonuçlar elde edildiği gösterilmiştir. Benzer çalışmalar yapacak araştırmacılar için sayısal metot ortaya konmuş ve deneysel verilerin gözle okunarak belirlenmesinden önce özel görüntü işleme metotları kullanmaları tavsiye edilmiştir. Boru malzemeleri sert metaller (demir, galvanizli çelik vb.), yumuşak metaller (bakır, alüminyum vb.) ve plastik (PPRC vb.) olarak sınıflandırılabilir olduğu tespit edilmiştir. Aynı sonuçlara göre boru çapları, çaplar arasında yüzde 10 fark ile alt gruplara ayrılabilir olduğu gözlemlenmiştir.

Deneyde kullanılan boru tipleri kendi aralarında sınıflandırıldıktan sonra sınıflandırılmanın doğruluğunun tespiti yönünden; basınç düşüşü, pürüzlülük, boru çapı, boru malzemesi ve sıvının akış süresine göre istatistiksel olarak anlamlı akış hızlarını hesaplamak kaydıyla SPSS programında bir ANOVA analizi yapılmıştır. ANOVA analizi ile boru sınıflandırmasının uygunluğu test edilerek literatüre uygun akış değişimi, boru çapı aralıkları ve boru malzemesi sınıflandırılmaları kazandırılmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu proje Fırat Üniversitesi BAP birimi tarafından desteklenmiştir. FUBAP MF.11.18.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Sparrow, A.J.P., Tong, J.C.K., Bettenhausen, D.W. (2010). Internal flows which transit from turbulent through intermittent to laminar. *International Journal of Thermal Sciences*. 49. 256–263
- [2] Çengel, Y., Cimbala, A.J.M. (2008). *Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları*. Birinci baskıdan çeviri. İzmir: Güven Kitabevi.
- [3] White, F. M. (2003). *Fluid Mechanics*. 5th ed. New York: McGraw-Hill.
- [4] Colebrook, C.F. (1939). Turbulent Flow in Pipes. with Particular Reference to the Transition between the Smooth and Rough Pipe Laws. *Journal of the Institute of Civil Engineers London*. 11. pp. 133–156.
- [5] Moody, L. F. (1944). Friction Factors for Pipe Flows. *Transactions of the ASME* 66. pp. 671–684.
- [6] Bhatti, M. S. and Shah. R. K. (1987). Turbulent and Transition Flow Convective Heat Transfer in Ducts. In *Handbook of Single-Phase Convective Heat Transfer*. ed. S. Kakaç. R. K. Shah. and W. Aung. New York: Wiley Interscience.
- [7] Fang, X., Xu, L., Chen, Y., Chen, W. (2019). Correlations for friction factor of turbulent pipe flow under supercritical pressure: Review and a new correlation. *Progress in Nuclear Energy* <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2019.103085>
- [8] Abushammala, O., Hreiz, R., Lemaître, C., Favre, E. (2019). Laminar flow friction factor in highly curved helical pipes: numerical investigation, predictive correlation and experimental validation using a 3D-printed model. *Chemical Engineering Science* <https://doi.org/10.1016/j.ces.2019.07.018>.
- [9] Avcı, A., Karagoz, I. (2019). A new explicit friction factor formula for laminar, transition and turbulent flows in smooth and rough pipes. *European Journal of Mechanics / B Fluids* 78. 182–187.

- [10] Heralda, M., Bingham, Z., Santos, R., Ruggles, A. (2018). Simulated time-dependent data to estimate uncertainty in fluid flow measurements. *Nuclear Engineering and Design* <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2018.07.005>
- [11] Pereira, C.E.G., da Cruz, G.A., Filho, L.P., Justino, L.R., Paraiso, E.C.H., Rocha, J.M., Calçada, L.A., Scheida, C.M. (2019). Experimental analysis of pressure drop in the flow of Newtonian fluid in coiled tubing. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.04.082>
- [12] Naidek, B.P., Kashiwakura, L.Y., Alves, R.A., Bassani, L.C., Stel, H., Morales, R.E.M. (2017). Experimental analysis of horizontal liquid-gas slug flow pressure drop in d-type corrugated pipes. *Experimental Thermal and Fluid Science* 81. 234–243.
- [13] Yanga, Y., Guo, J., Ren, B., Zhanga, S., Xiong, R., Zhanga, D., Cao, C., Liao, Z., Zhanga, S., Fu, S. (2018). Oil-Water flow patterns, holdups and frictional pressure gradients in a vertical pipe under high temperature/pressure conditions. *Experimental Thermal and Fluid Science*. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2018.09.013>
- [14] ARSLAN, G., YAMAN, K., Farklı boylarda sarmal şerit yerleştirilmiş eğimli boru içi akışta ısı ve hidrodinamik performansının deneysel incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 33, Sayı 3*. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416405>.
- [15] GÜL, H., EVİN D. (2007). Titreşim Yapan Borularda Isı Transferinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. Cilt 22, Sayı 3.
- [16] Lyu, Y., Liu, W., Chow, T., Su, H., Qi, X. (2019). Pipe-work optimization of water flow window. *Renewable Energy* 139.136e146.
- [17] Shah, M. S., Joshi, J. B., Kalsi, A. S., Prasad, C. S. R. and Shukla, D. S. (2012). Analysis of flow through an orifice meter: CFD simulation, *Chemical Engineering Science*, vol. 71, pp. 300–309.
- [18] Roul, M. K. and Dash, S. K. (2012). Single-Phase and Two-Phase Flow Through Thin and Thick Orifices in Horizontal Pipes, *Journal of Fluids Engineering*, vol. 134, no. 9, Aug.
- [19] Yadav, A. S. and Bhagoria, J. L. (2014). Heat transfer and fluid flow analysis of an artificially roughened solar air heater: A CFD based investigation, *Frontiers in Energy*, vol. 8, no. 2, pp. 201–211.
- [20] ŞAHİN, H. M., DAL, A. R., ÖZKAYA, M. (2020). İç İçe Borulu Yay Tip Türbülantörlü Bir Isı Değiştiricisinin RNG k-ε Türbülans Modeli ile Sayısal Analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 8.1: 64-78.
- [21] KARYEYEN, S., İLBAŞ, M. (2018). Oksitleyiciye su buharı ilavesinin kok fırını gazı yanma davranışlarına olan etkisinin sayısal olarak incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6.2: 319-335.
- [22] Holman, J.P., (1989). *Experimental Methods for Engineers*, 5th edition Mc-Graw Hill Company, New York.
- [23] Sönmez, K., Kaya, A. and Kamer, M. S. (2018). Farklı Kesitli Geometrilerin Klima Santralleri İçin Tasarlanan Bir Anemostat Tip Difüzlü Boş Hücredeki Akı Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi, *Selçuk University Journal of Engineering, Science and Technology*, vol. 6, no. 4, pp. 694–711.
- [24] S. M. Salim, M. Ariff, and S. C. Cheah, Wall y + approach for dealing with turbulent flows over a wall mounted cube, *Progress in Computational Fluid Dynamics*, vol. 10, no. 5–6, pp. 341–351, 2010.

- [25] Salim, S. M. (2011). Wall $y +$ Approach for Dealing with Pollutant Concentration Prediction in 2D Street Canyons 7 th International Conference on Computational Heat and Mass Transfer, no. January.
- [26] Hao, X., Xu, P., Suo, H. and Guo, L. (2020). Numerical investigation of flow and heat transfer of supercritical water in the water-cooled wall tube, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 148, p. 119084.
- [27] Ting, X., Miedema, S. A. and Xiuhan, C. (2019). Comparative analysis between CFD model and DHLLDV model in fully-suspended slurry flow, Ocean Engineering, vol. 181, no. April, pp. 29–42.
- [28] Ahsan, M. (2014). Numerical analysis of friction factor for a fully developed turbulent flow using $k-\epsilon$ turbulence model with enhanced wall treatment. Beni-Suef University journal of basic and applied sciences, 3(4), 269-277.
- [29] Fluent, A. (2013). ANSYS fluent theory guide 15.0, ANSYS, Canonsburg, PA.
- [30] Ratnam,C., Vikram,K.A., Ben,B.S. and Murthy,B.S.N.,(2016). Process monitoring and effects of process parameters on responses in turn-milling operations based on SN ratio and ANOVA, Measurement, vol. 94, pp. 221–232.
- [31] Chakraborty,S., Chowdhury,R.(2016). Modelling uncertainty in incompressible flow simulation using Galerkin based generalized ANOVA, Computer Physics Communications, Volume 208, Pages 73-91, ISSN 0010-4655, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cpc.2016.08.003>.