



Su Tasarrufu Sağlayan Emniyet Valfinin Yerel Kayıp Katsayısının Belirlenmesi ve YüzeY Pürüzlülüğünün Akışa Olan Etkisinin İncelenmesi

Determination of Local Loss Coefficient of Water Saving Safety Valves and Investigation of The Effect of Surface Roughness on Flow

Muhammed Safa KAMER^{1,*} Ahmet KAYA²

¹ Makine Mühendisliği, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Onikişubat, Kahramanmaraş, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-3852-1031

² Makine Mühendisliği, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Onikişubat, Kahramanmaraş, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-9197-3542

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 15/01/2020

Kabul Tarihi : 17/11/2020

Anahtar Kelimeler

Ansys-Fluent
Basınç Düşüşü
Emniyet Valfi
Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)
Yerel Kayıp Katsayısı
YüzeY Pürüzlülüğü

Research Paper

Received Date : 15/01/2020

Accepted Date : 17/11/2020

Keywords

Ansys-Fluent
Pressure Drop
Safety Valve
Computational Fluid Dynamics (CFD)
Local Loss Coefficient
Surface Roughness

Özet

Bu çalışmada, su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin farklı yüzeY pürüzlülüklerinde sayısal analizleri yapılmış, yüzeY pürüzlülüğünün akışa olan etkisi incelenmiştir. Ayrıca deneysel ve sayısal bulgular kullanılarak su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin yerel kayıp katsayısı ($K_K = 9.864$) belirlenmiştir. Su tasarrufu sağlayan emniyet valfi için yapılan sayısal analizlerde yüzeY pürüzlülüğünün akış ve basınç düşüşü üzerindeki etkisinin ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu belirlenmiştir.

Abstract

In this study, numerical analysis at different surface roughnesses of water saving safety valve were made and the effect of surface roughness on the flow was investigated. In addition, the local loss coefficient of the water saving safety valve ($K_K = 9.864$) was determined using the experimental and numerical findings. In the numerical analysis for the water-saving safety valve, it was determined that the effect of surface roughness on the flow and pressure drop was negligibly small.

1. Giriş

Boru içi akışlarda akış tipi, boru çapı, akış hızı gibi parametrelerin yanında, boru iç yüzeY pürüzlülüğü de akışı etkileyebilecek önemli bir parametredir. Tesisatta kullanılan borular, bağlantı elemanları ve valfler farklı imalat yöntemlerine göre üretilmekte olup, bu elemanların iç yüzeY pürüzlülükleri de birbirinden farklılık göstermektedir. Bu nedenle tesisat üzerindeki her elemanın

iç yüzeY pürüzlülüğü, imalat yöntemlerine göre hazırlanmış olan çeşitli yüzeY pürüzlülük tabloları yardımıyla ortalama olarak ya da yüzeY pürüzlülüğü ölçüm cihazlarıyla ölçülerek belirlenebilir. Boru içi akış deneylerinde akışkan tesisatın iç yüzeY pürüzlülüğüne maruz kaldığından, bu deneylerle ilgili yapılacak sayısal analiz çalışmalarına tesisatın iç yüzeY pürüzlülüğünü de dahil etmek gerekmektedir.

Yaygın olarak kullanılan bir borulama sisteminde akışkan; borulara ek olarak, birçok bağlantı elemanı, vana, dönüş, dirsek, T, giriş, çıkış, genişleme ve daralmalardan

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): msafakamer@ksu.edu.tr



geçer. Bu elemanlar akışkanın düzgün akışını kesintiye uğratar ve akışı ayırdıkları ve akışın karışmasına yol açtıkları için ilave kayıplara neden olurlar. Uzun borulardan oluşan bir sistemde bu kayıplar, borulardaki toplam yük kaybı (sürekli yük kayıpları) ile karşılaştırıldığında küçük kalır ve bunlara yerel kayıplar denir. Bu durumun genel olarak doğru olmasına rağmen, bazen bunun tersi olarak yerel kayıplar sürekli kayıplardan daha büyük olabilir. Kısa mesafe açık bir vananın yol açacağı yük kaybı ihmal edilebilir. Fakat kısmen kapalı bir vana sistemde en büyük yük kaybına yol açabilir ve bu durum kendisini debideki düşüş ile gösterir. Vana ve bağlantı elemanlarındaki akış çok karmaşıktır ve bu nedenle yerel kayıplar parçaların imalatçıları tarafından deneysel olarak bulunur. Yerel kayıplar çoğunlukla kayıp katsayısı (direnc katsayısı olarak da bilinir) cinsinden ifade edilir [1].

Boru içi akışlarda meydana gelen enerji kayıplarını belirlemek amacıyla literatürde birçok çalışma yapılmış olup, bunlardan bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Parlak vd., pürüzlü ve pürüzsüz mikroborularda laminer su akışındaki akış kayıplarını termodinamiğin ikinci yasası yardımıyla analiz etmişlerdir. Akış kayıplarının Re sayısına, mikroboru iç yüzey özelliklerine, boru çapı ve boyuna bağlı olduğunu tespit etmişlerdir [2].

Düz, daimi ve borulu su akışlarında giriş uzunluğunu, farklı boru çapı, farklı pürüzlülük değerlerinde ve 2000-25000 aralığındaki Reynolds sayılarında sayısal çözümlemeler yapmıştır. Analizler sonucunda boyutsuz giriş uzunluğu için sayısal verilerle uyumlu sayısal bir bağıntı önermiştir [3].

Parlak vd., tek fazlı laminer akışta viskoz ısınma etkisinin ortaya çıkarılması için pürüzsüz ergimiş silika mikroborularla deneysel ve sayısal çalışmalar yapmışlardır. Deneyleri adyabatik koşullarda gerçekleştirmişler ve viskoz ısınma nedeniyle oluşan sıcaklık artışları belirlemişlerdir. Sayısal analizlerle belirlenen basınç kayıpları ve sıcaklık artışlarının deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu tespit etmişlerdir [4].

Çelikağ, küresel vana basınç kayıp katsayısını deneysel ve sayısal olarak belirlemiş olup, sayısal yöntemde Fluent programını kullanmıştır [5].

Chern vd., küresel valfin akış özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Valfin performansını belirlemek

için farklı hacimsel debilerde ve farklı basınçlarda gerekli katsayıları belirlemişlerdir [6].

Duymaz, kelebek vana lokal kayıp katsayısını, deneysel ve sayısal olarak hesaplamıştır. Sayısal çözümlemelerde Fluent programını kullanmıştır [7].

Yüksel, sürgülü vanalarda basınç kayıp katsayısını deneysel ve sayısal olarak vana açıklığına göre hesaplamıştır [8].

Kamer, su tasarrufu sağlamak amacıyla bir mekanik valf tasarlamıştır. Tasarlanan valfte farklı debilerde oluşan basınç düşüşünü deneysel ve sayısal olarak belirlemiştir [9].

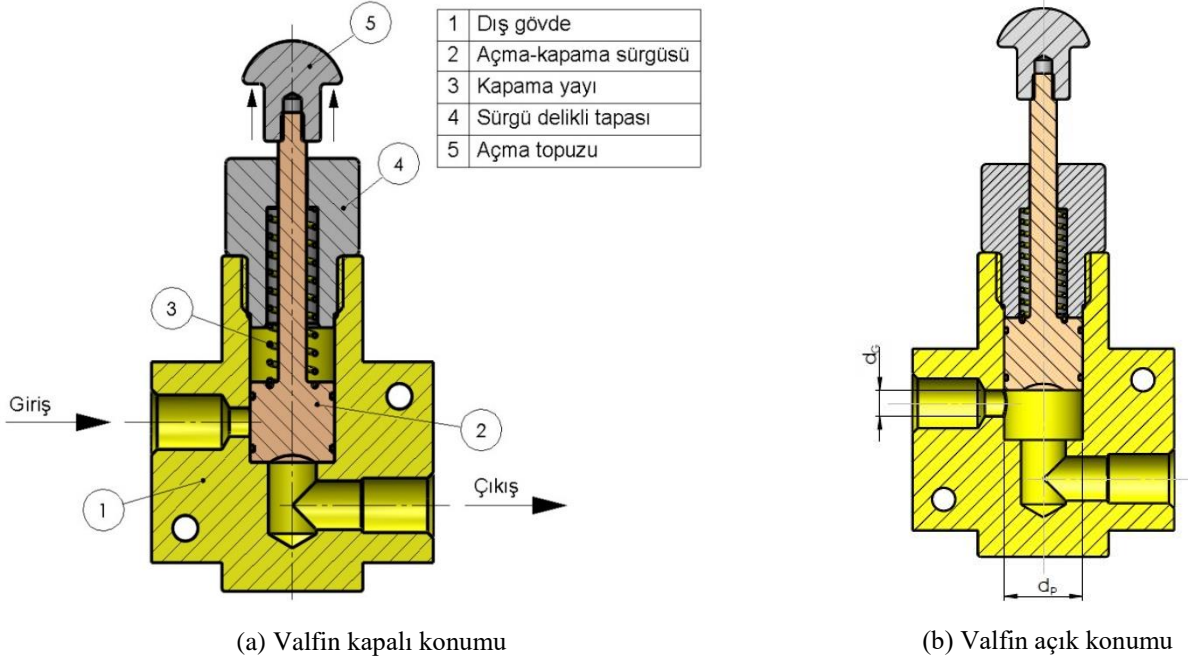
Araştırmacılar, daha önceki çalışmalarında; su kullanımının yaygın olduğu mahallerde, su kullanım sırasında ani su kesilmelerinden sonraki olası su israf ve baskınlarını önlemek amacıyla bir mekanik-otomatik emniyet valfi tasarlayarak imal etmişler, emniyet valfinin tasarımı üzerinde değişiklikler yapmışlar, tasarımdaki değişikliklerin basınç düşüşüne etkisini sayısal olarak araştırmışlar ve bu tasarımlar arasında basınç düşüşünün en az olduğu geometriyi tespit etmişlerdir [10-11]. Bu çalışmada ise, su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin farklı yüzey pürüzlülüklerinde sayısal analizleri yapılmıştır. Sayısal analizlerde yüzey pürüzlülüğünün akışa olan etkisi incelenmiştir. Ayrıca deneysel ve sayısal bulgular kullanılarak su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin yerel kayıp katsayısı belirlenmiştir. Deneysel ve sayısal olarak belirlenen yerel kayıp katsayıları arasındaki farka hata analizi uygulanmıştır.

2. Materyal ve Metot

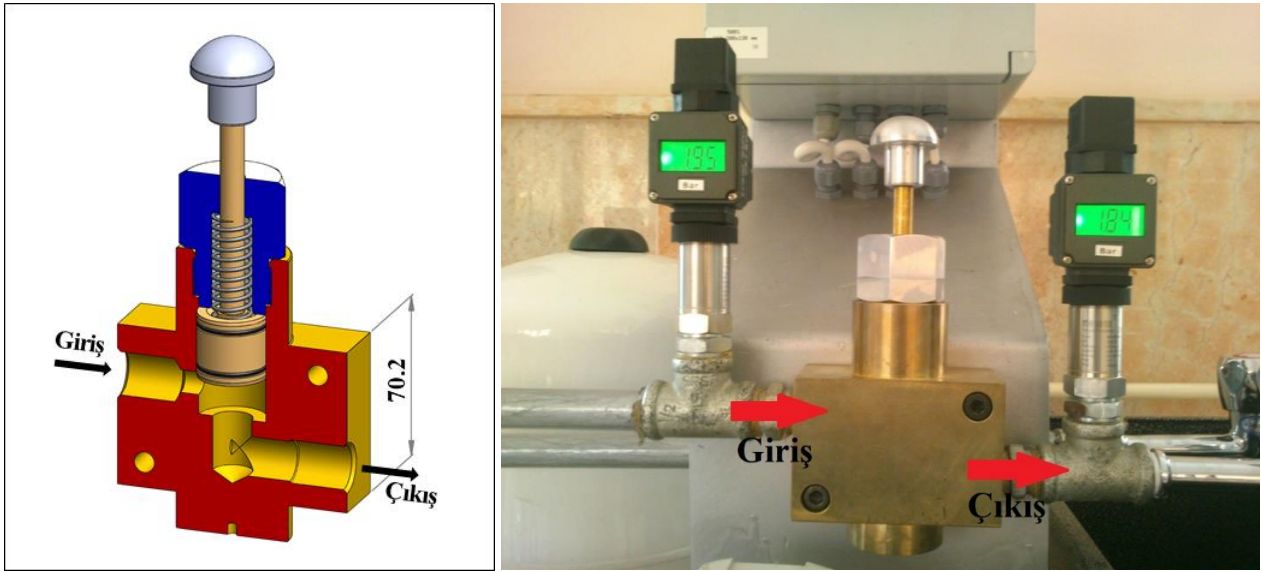
2.1. Deneysel Çalışma

Şebeke suyu kesilmesi sırasında açık bırakılan vanalardan, suyun tekrar gelmesi halinde oluşacak olan su kayıp ve baskınlarının mekanik otomatik çalışan mekanizmalarla engellenmesi amacıyla yeni bir valf tasarlanmış ve imalatı yapılmıştır.

Su tasarrufu sağlayan emniyet valfi; dış gövde, açma-kapama sürgüsü, kapama yayı, sürgü delikli tapası ve açma topuzundan oluşmaktadır (Şekil 1). Tasarımı yapılarak imal edilen valf Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Su tasarrufu sağlayan emniyet valfi kesit görüntüleri



Şekil 2. Tasarlanarak imal edilen su tasarrufu sağlayan emniyet valfi

Geliştirilen su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin test edilmesi ve farklı debilerdeki basınç düşüşü değerlerinin belirlenmesi için bir deney düzeneği tasarlanmıştır (Şekil 3). Tasarlanan deney düzeneği; 100 litrelik depo (1), sirkülasyon pompası (2), kapalı genleşme tankı (3), basınç regülatörü (4), küresel vana (5), elektromanyetik debimetre (6), dijital basınç göstergeleri (7), emniyet ventili (8), su tasarrufu sağlayan emniyet valfi (9), uzun musluk (10) ve elektrik panosu (11) elemanlarından oluşmaktadır.

Depoya doldurulan kullanım suyu, sirkülasyon pompası ile sisteme gönderilmektedir. Tesisat elemanlarından dolaşarak uzun musluğa ulaşan su, musluktan tekrar depoya aktarılmaktadır. Sistemin çalışması bu şekilde kapalı devre olarak devam etmektedir.

Depodan sirkülasyon pompası ile emilen su, pompanın çıkışında iki yola ayrılmaktadır. Bu yollardan birincisinde, çeşitli tesisat elemanlarından dolaştıktan sonra uzun musluğa ulaşmaktadır. İkincisinde ise, emniyet ventili ve çeşitli tesisat elemanlarından dolaştıktan sonra depoya aktarılmaktadır. Birinci yolu izleyen su, burada ilk olarak basınç regülatörüne girmektedir. Basınç regülatöründen çıkan su, debi ayarının yapılabilmesi için yerleştirilen küresel vanaya girmektedir. Küresel vanadan çıkan suyun debi ölçümü elektromanyetik debimetreyle yapılmaktadır. Elektromanyetik debimetreden geçtikten sonra, su Su tasarrufu sağlayan emniyet valfine (Şekil 2) girmektedir. Su tasarrufu sağlayan emniyet valfinden çıktuktan sonra, ilk olarak uzun musluğa girmekte ve buradan çıkan su,

tekrar depoya akmaktadır. Su tasarrufu sağlayan emniyet valfi giriş ve çıkışına bu bölgelerdeki basınçların ölçülmesi için birer dijital basınçölçer yerleştirilmiştir. Sistem üzerindeki uzun musluğun kapalı olması durumunda veya birinci yol üzerinde bulunan küresel vana yardımıyla birinci yola aktarılan debinin azaltılması durumunda pompanın zarar görmemesi için temiz su, ikinci yola yönlendirilmekte ve buradaki emniyet ventilini açarak depoya ulaşmaktadır.



Şekil 3. Deney düzeneğinin şematik gösterimi

Deney düzeneğinde, debi ölçümünün hassas yapılabilmesi için Bass Instruments marka EMD.CM0015.16.03.02.DC.NN.01.NN.CS model elektromanyetik debimetre (Şekil 3) kullanılmıştır. Elektromanyetik debimetre hacimsel debi ölçümü yapmaktadır. Ölçüm aralığı 1~105L/dk olan bu debimetre -40~150°C aralığındaki sıcaklıklarda ölçüm yapabilmektedir. Bu debimetrenin ölçüm hassasiyeti $\pm\%0.5$ 'dir ve m^3/h , L/dk, L/s gibi farklı birimlerde ölçüm seçenekleri bulunmaktadır. Akışın tam gelişmiş ve üniform (düzgün) olabilmesi için elektromanyetik debimetrenin girişinde elektromanyetik debimetre anma boru çapının en az 5 katı, elektromanyetik debimetrenin çıkışında da elektromanyetik debimetre anma boru çapının en az 2 katı uzunluğunda düz boru kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle deney düzeneğinde kullanılan anma boru çapı 15 mm olan elektromanyetik debimetrenin girişinde 150 mm, çıkışında ise 100 mm uzunluğunda düz boru kullanılmıştır.

Su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin giriş ve çıkışına yerleştirilen Mesens marka MPS500.420 model dijital basınç ölçerler (Şekil 2) yardımıyla valfin giriş ve çıkışındaki basınç değerleri okunabilmektedir. Deney sırasında basınç değerlerinin daha hassas okunabilmesi için dijital basınç ölçerler tercih edilmiştir. Ölçüm aralığı 0~10bar olan bu basınç ölçerler -20~90°C aralığındaki sıcaklıklarda ölçüm yapabilmektedir. Bu basınç ölçerlerin ölçüm hassasiyeti $\pm\%0.5$ 'dir ve sadece bar biriminde ölçüm yapabilmektedir. Akışın tam gelişmiş ve üniform (düzgün) olabilmesi için su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin girişindeki dijital basınç ölçerden önce 150 mm, su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin çıkışındaki dijital basınç ölçerden sonra ise 80 mm düz boru (uzun musluk) kullanılmıştır.

2.2. Sayısal Çalışma

Sayısal çalışma kapsamında; deney seti üzerinden ölçüler alınarak bilgisayar ortamında analiz bölgesinin 3 boyutlu katı modeli oluşturulmuştur. Su tasarrufu sağlayan emniyet valfi açık konumdayken çizimler gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar ortamında 3 boyutlu modelleme işlemlerinde SolidWorks programı, akış analizlerinde ise Ansys-Fluent programı kullanılmıştır.

• Sayısal hesaplamalar; akışın türbülanslı, üç boyutlu, sürekli rejimde ve zorlanmış taşınım koşullarında olduğu kabul edilerek Ansys-Fluent programı ile gerçekleştirilmiştir. Çözümlerde, segregated çözücü ve SIMPLE algoritması kullanılmıştır [12]. Süreklilik ve momentumun korunumu eşitlikleri [13];

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{u}) + \nabla \cdot (\rho \vec{u} \vec{u}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\vec{\tau}) \quad (2)$$

Burada p statik basınç, $\vec{\tau}$ gerilme tensörüdür.

$$\vec{\tau} = \mu \left[\left(\nabla \vec{u} + \nabla \vec{u}^T \right) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{u} I \right] \quad (3)$$

Burada μ moleküler viskozitedir ve türbülanslı akışta efektif viskozite olarak kullanılır ($\mu_{eff} = \mu + \mu_t$, burada μ_t türbülans viskozitesidir).

3-boyutlu sayısal analiz için aşağıdaki sınır koşulları tanımlanmıştır;

i. Giriş sınır koşulu: “mass-flow-inlet” tanımı yapılarak kütleli debiler 0.2149 kg/s ile 0.2915 kg/s aralığında girilmiştir.

ii. Çıkış sınır koşulu: “pressure-outlet” olarak tanımlanmıştır. Deneysel olarak belirlenen valf çıkış basıncı değerleri girilmiştir.

iii. Boru, fittings ve valf cidarlarına “wall-boru”, “wall-fittings” ve “wall-valf” olacak şekilde 3 farklı “wall” sınır koşulu tanımlanmıştır.

iv. Duvar fonksiyonu: Her iki türbülans modelinde de (Standart k-ε ve Realizable k-ε) “Standart Wall Functions” seçilmiştir.

Sayısal analizlerde benzer çalışmalarda olduğu gibi Standart k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleri kullanılmıştır [7; 8; 9; 10; 11; 13; 14; 15]. k-ε modellerinde, türbülans kinetik enerjisi (k) ve kayıp oranı “disipasyonu” (ε) için iki adet transport eşitliği, Navier-Stokes eşitliklerine ek olarak çözülmektedir. Standart k-ε türbülans modelinde; türbülans kinetik enerjisi (k) ve kayıp oranı (ε) aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak çözülmektedir [13; 14; 16].

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \rightarrow + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

Bu eşitliklerde, G_k ortalama hız gradyanından kaynaklanan türbülans kinetik enerji üretimidir. μ_t

türbülans viskozitesidir ve $\mu_t = \left(\rho C_\mu k^2 \right) / \varepsilon$ eşitliği ile belirlenir. Türbülans modellerindeki sabitler aşağıda verilmiştir [13; 14; 17].

$$C_{1\varepsilon} = 1.44 \quad , \quad C_{2\varepsilon} = 1.92 \quad , \quad C_\mu = 0.09 \quad , \quad \sigma_k = 1.0 \quad , \quad \sigma_\varepsilon = 1.3$$

Realizable k-ε türbülans modelinde türbülans kinetik enerjisini (k) ve kayıp oranını (ε) belirlemek için aşağıda verilen eşitlikler kullanılır.

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (4)$$

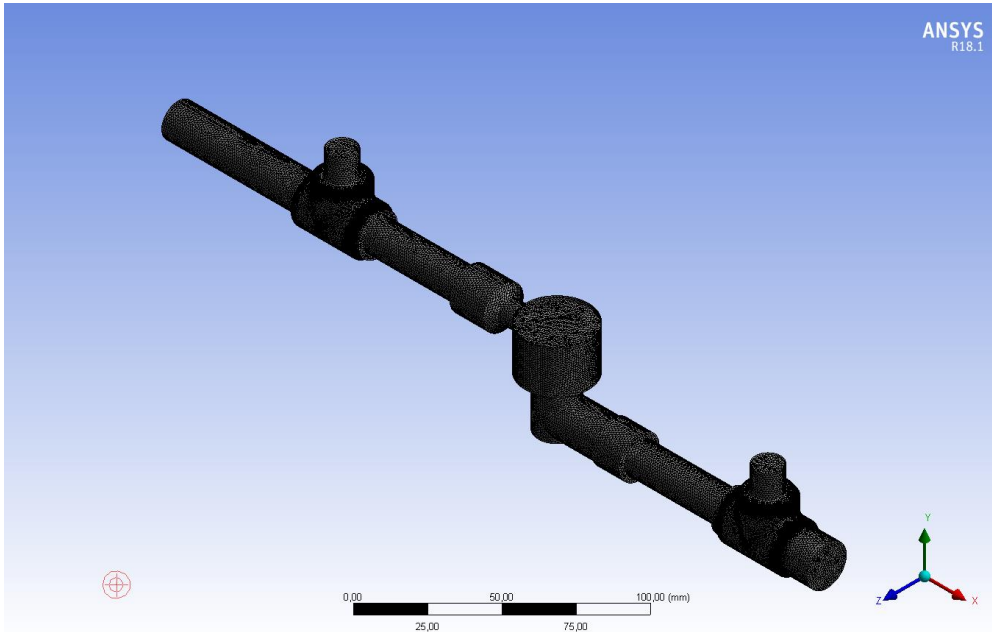
$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \rightarrow + \rho C_{1\varepsilon} S_\varepsilon - \rho C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{v \varepsilon}} \quad (6)$$

“Realizable k-ε” türbülans modeli sabitleri aşağıdaki değerlere sahiptir [16].

$$C_{2\varepsilon} = 1.9 \quad , \quad \sigma_k = 1.0 \quad , \quad \sigma_\varepsilon = 1.2$$

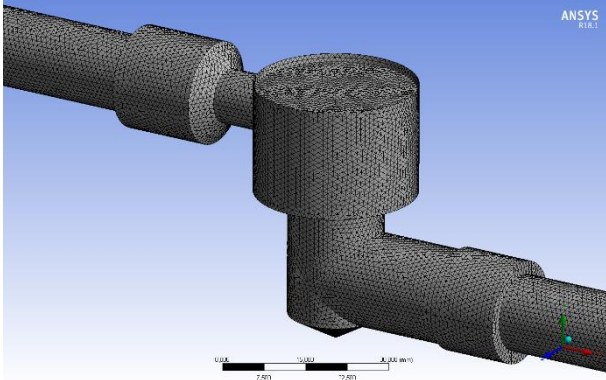
Her iki türbülans modelinde de (Standart k-ε ve Realizable k-ε) “Standart Wall Functions” seçilerek analizler yapılmıştır.

Tasarlanıp imal edilen su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin sayısal analizlerinde Şekil 4’te verilen ağ yapısı kullanılmıştır. Vana çözüm bölgesi için 1,250,000 eleman sayılı ağ yapısı kullanılmıştır.

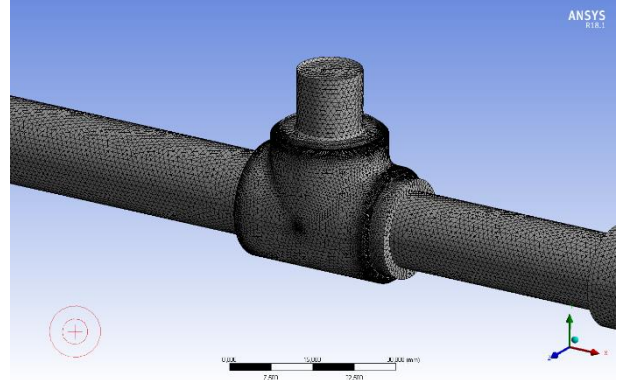


(a) Genel ağ yapısı

Şekil 4. Sayısal çözümlemede kullanılan ağ yapısı görüntüleri



(b) Valf bölgesi ağ yapısı



(c) T bağlantı ağ yapısı

Şekil 4. (Devam) Sayısal çözümlemelerde kullanılan ağ yapısı görüntüleri

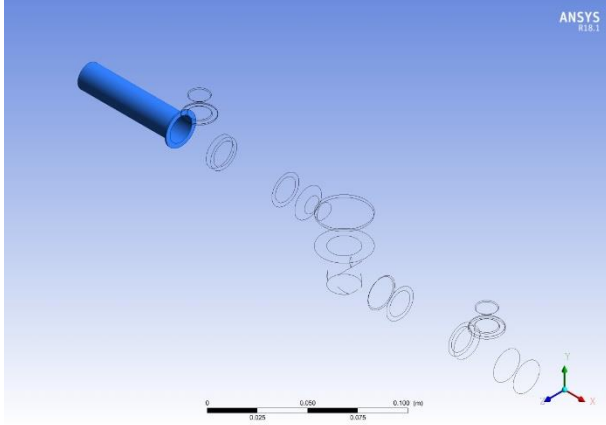
2.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Sayısal çalışmada analiz edilen bölgede 3 farklı malzeme kullanılmıştır. Bu malzemeler boru malzemesi, bağlantı elemanları (fittings) malzemesi ve valf malzemesi olarak adlandırılabilir. Bu malzemelere ait yoğunluk (ρ), özgül ısı (C_p), ısı iletim katsayısı (K) ve yüzey pürüzlülük değerlerinin (Ra) belirlenmesi gerekmektedir. Bu özellikler yine sayısal analizlerde “wall” olarak tanımlanan yüzeylere veri olarak tanımlanacaktır. Bu 3 malzemeye ait özellikler Tablo 1’de belirtilmiştir. Sayısal analizlerde farklı yüzey pürüzlülük değerleri girilerek analizler yapılmıştır. Öncelikle analiz bölgesinde kullanılan malzemeler için pürüzlülük tablolarından

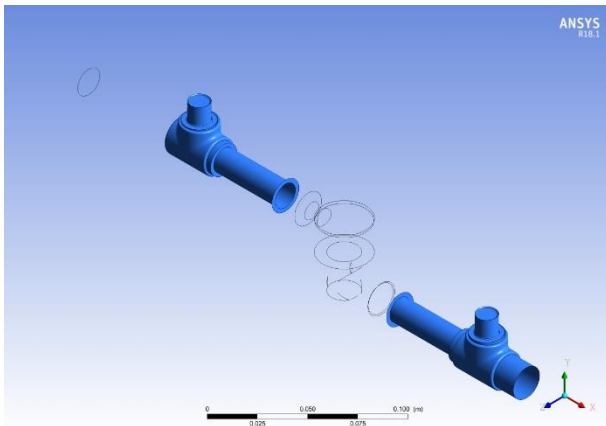
ortalama yüzey pürüzlülük değerleri alınarak analizler yapılmıştır [18]. Ansys-Fluent programında “wall” olarak tanımlanan yüzeylere 3 farklı malzeme ismi tanımlanmıştır. Bu yüzeylere “wall-boru”, “wall-fittings” ve “wall-valf” olacak şekilde 3 farklı “wall” sınır koşulu tanımlanmıştır (Şekil 5). Ayrıca, “demir”, “karbonlu-çelik” ve “alüminyum-bronz” isimlerinde 3 farklı malzeme eklenerek bu malzemelere ayrı ayrı yoğunluk (ρ), özgül ısı (C_p) ve ısı iletim katsayısı (K) değerleri Ansys-Fluent programına tanımlanmıştır. Daha sonra “wall-boru”, “wall-fittings” ve “wall-valf” olarak tanımlanan yüzeyler için yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) girilmiştir.

Tablo 1. Sayısal analiz bölgesinde kullanılan malzeme özellikleri [19]

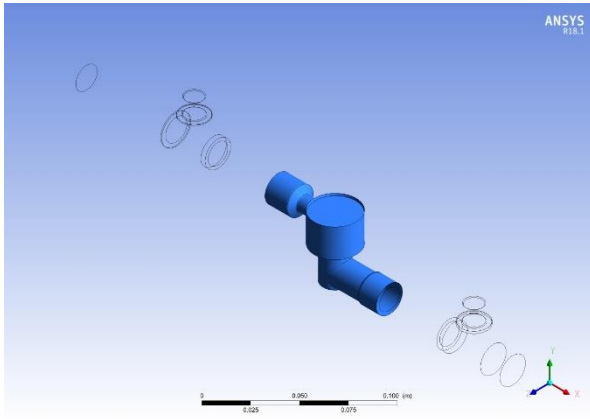
Malzeme Cinsi	Malzeme Adı	Üretim Yöntemi	Yoğunluk	Özgül Isı	Isı İletim Katsayısı
			ρ [kg/m ³]	C_p [J/kg.K]	K [W/m.K]
Bağlantı Elemanları	Demir	Kum döküm yoluyla imal edilmiş	7870	447	80.2
Boru	Karbonlu çelik	Haddeme yoluyla imal edilmiş	8131	434	41
Valf	Alüminyum bronz	Tornalama yoluyla imal edilmiş	8800	420	52



(a) "wall-boru"



(b) "wall-fittings"



(c) "wall-valf"

Şekil 5. Farklı malzemeler için tanımlanan duvar yüzeyleri

Sonrasında analiz bölgesinde kullanılan malzemelerin yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Ölçülen pürüzlülük değerleri kullanılarak sayısal analizler tekrarlanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri JENOPTIK Hommel-Etamic W5 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazıyla (Şekil 6) Tablo 2’de verilen parametrelerde yapılmıştır. Her malzeme için 3 farklı noktadan ölçümler yapılarak ortalama değerler belirlenmiştir.



Şekil 6. JENOPTIK Hommel-Etamic W5 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

Tablo 2. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm parametreleri

Ölçüm uzunluğu (lt)	1.5 mm
Ölçüm hızı (vt)	0.15 mm/s
Dalga boyu (lc)	0.25 mm

2.4. Yerel Kayıp Katsayısı

Analizi yapılan tesisat elemanının giriş çapı çıkış çapına eşit olduğunda yerel kayıp katsayısı, o eleman boyunca meydana gelen basınç kaybının ölçülmesi ve dinamik basınca bölünmesi ile aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$K_K = \frac{\Delta P_K}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{ort}^2} \quad (7)$$

$$\Delta P_K = \Delta P_{vana} - \Delta P_{boru} \quad (8)$$

Burada ΔP_{vana} vana olduğu durumdaki basınç düşüşü, ΔP_{boru} ise vana yokken düzgün boruda aynı debide oluşabilecek basınç düşüşüdür [1].

Tasarlanmış olan emniyet valfinin giriş ve çıkış hatları aynı eksen üzerinde olmadığından, vana yokken buraya düzgün boru takılamamıştır. Bu nedenle ΔP_{boru} yerel kayıp katsayısı hesaplamalarına katılamamış, ihmal edilmiştir. Bu durumda yerel kayıp katsayısı hesaplamalarında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$K_K = \frac{2 \cdot \Delta P_{vana}}{\rho \cdot V_{ort}^2} \quad (9)$$

2.5. Hata Analizi

Literatürde belirtilen standartlara uygun olarak kurulan bir deney düzeneğinde yapılan deneylerde, elde edilen veriler değerlendirildiğinde, hatalar iki farklı şekilde ortaya çıkmaktadır. Bunlar; deney düzeneğindeki ölçüm araçlarından kaynaklanan hatalar ve deney yapan kişinin ölçüm okuma hatalarıdır. Bu hataların değerlendirilmesi için yapılan hata analizi sonuçların yorumlanması açısından oldukça önemlidir [20].

Belirli sayıda deney yapıldıktan sonra bu deneylere ait hata oranlarının tespit edilmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında en çok kullanılan “akılcı yaklaşım” yöntemidir. Bu tip hata analizinde ölçme sisteminde bulunan bütün aletlerin aynı anda maksimum hatayı yaptığı kabul edilir [21]. Bu yöntem kullanılarak deneysel ve sayısal olarak hesaplanan yerel kayıp katsayısı (K_K) sonuçları arasındaki hatanın analizi yapılabilir.

Deneysel çalışma kapsamında her deney için ayrı ayrı su tasarrufu sağlayan emniyet valfi giriş hattında ölçülen basınç değerinden (P_G) çıkış hattında ölçülen basınç değerinin (P_C) farkı alınarak basınç düşüşü değerleri (ΔP_{vana}) hesaplanmıştır. Basınç ölçümlerinde kullanılan dijital basınç ölçerlerin ölçüm hassasiyetleri (w_B) $\pm 0.5\%$ ’tir ve bu basınç ölçerler sadece bar biriminde ölçüm yapabilmektedir. Giriş ve çıkış hattındaki basınç ölçerlerin aynı anda maksimum ve minimum hatayı yaptığı kabul edilerek her deney için maksimum basınç düşüşü ($\Delta P_{vana.maks}$) ve minimum basınç düşüşü ($\Delta P_{vana.min}$) değerleri ölçüm cihazlarının hassasiyetleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda (11) ve (12) numaralı eşitlikler kullanılmıştır. Bu deneysel maksimum ve minimum basınç düşüşü değerleri kullanılarak her deney için Eş. (9) yardımıyla yerel kayıp katsayılarının deneysel değerleri için maksimum ve minimum sınırlar belirlenmiştir. Sayısal analizler sonucunda hesaplanan yerel kayıp katsayılarının bu aralıklar içerisinde olup olmadığı tespit edilmiştir.

$$\Delta P_{vana} = P_G - P_C \quad (10)$$

$$\Delta P_{vana.mks} = [P_G + (P_G \cdot w_B)] - [P_C - (P_C \cdot w_B)] \quad (11)$$

$$\Delta P_{vana.min} = [P_G - (P_G \cdot w_B)] - [P_C + (P_C \cdot w_B)] \quad (12)$$

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada ilk olarak su tasarrufu sağlayan emniyet valfi, kurulan deney düzeneği yardımıyla farklı debilerde test edilmiştir. Daha sonra valfin sayısal analizleri yapılmıştır. Sayısal analizlerde deneylerden elde edilen ve hesaplamalarla belirlenen veriler kullanılmıştır.

3.1. Deneysel Bulguların Analizi

Deneysel çalışma kapsamında; deneysel veriler alınmadan önce sistemin dengeye ulaşması için elektromanyetik debimetre, dijital basınç ölçerler ve sirkülasyon pompası çalıştırılmış, su tasarrufu sağlayan emniyet valfi ve uzun musluk açık hale getirilmiştir. Tüm deneyler bu durumda yapılmıştır. Debi ayarı yapıldıktan sonra, her deney için 20 dakika beklenerek sistemin rejime ulaşması sağlanmıştır. Her deney 3 kez tekrarlanmış olup, ortalama değerler alınmıştır. Deneysel çalışmada, 6 farklı debide basınç düşüşü değişimi belirlenmiştir.

Deneysel sonuçlar kullanılarak valfin basınç düşüşü (ΔP_{vana}) ve basınç düşüşünün (ΔP_{vana}) giriş basıncına (P_G) oranı ($\% \Delta P_0$) 6 farklı debi için hesaplanmış olup, elde edilen sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir.

$$\% \Delta P_0 = \left(\Delta P_{vana} / P_G \right) \cdot 100 \quad (13)$$

Valften geçen akışkanın kütleli debisi arttıkça, giriş-çıkış arasında oluşan basınç düşüşü de artmıştır. Bu artışa boru yüzey pürüzlülükleri, sürtünme ve ani daralma-genişleme gibi olguların sebep olduğu bilinmektedir.

Farklı kütleli debilerde ölçülen giriş ve çıkış basınçları ile basınç düşüşü değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Yapılan tüm deneylerde basınç düşüşü oranlarının ($\% \Delta P_0$) birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Basınç düşüşü oranların birbirine yakın olması, kütleli debi (\dot{m}) değişimiyle basınç düşüşü (ΔP) değişiminin hemen hemen lineer olduğunu göstermektedir.

Tablo 3. Kütleli debiye göre valf giriş-çıkışında oluşan basınç düşüşünün değişimi

Deney No	Sıcaklık	Kütleli Debi	Giriş Basıncı	Çıkış Basıncı	Basınç Düşüşü	
	T [K]	\dot{m} [kg/s]	P_G [Pa]	P_C [Pa]	ΔP_{vana} [Pa]	$\% \Delta P_0$
1	301.15	0.2915	185000	174000	11000	5.946
2	303.15	0.2816	173000	163000	10000	5.780
3	304.15	0.2663	156000	147000	9000	5.769
4	305.15	0.2483	136000	128000	8000	5.882
5	306.15	0.2315	118000	111000	7000	5.932
6	307.15	0.2149	102000	96000	6000	5.882

Deneyisel sonuçlara hata analizi uygulanarak, ölçülen değerlerin hangi aralıkta değişebileceği belirlenmiş ve Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Hata analizi uygulanan deney sonuçları

Deney No	Kütleli Debi	Giriş Basıncı	Çıkış Basıncı	Maksimum Basınç Düşüşü	Ölçülen Basınç Düşüşü	Minimum Basınç Düşüşü
	\dot{m} [kg/s]	P_G [Pa]	P_C [Pa]	$\Delta P_{vana.maks}$ [Pa]	ΔP_{vana} [Pa]	$\Delta P_{vana.min}$ [Pa]
1	0.2915	185000	174000	12795	11000	9205
2	0.2816	173000	163000	11680	10000	8320
3	0.2663	156000	147000	10515	9000	7485
4	0.2483	136000	128000	9320	8000	6680
5	0.2315	118000	111000	8145	7000	5855
6	0.2149	102000	96000	6990	6000	5010

Deneyisel veriler kullanılarak Eş. (14) yardımıyla ortalama hızlar hesaplanmış ve Tablo 5'de verilmiştir. Girişteki akış yönüne dik yöndeki dairesel kesitin çapı 15.5 mm'dir. Yine Eş. (9) yardımıyla yerel kayıp katsayıları hesaplanmış ve Tablo 5'de verilmiştir. Ayrıca deney sonuçlarına hata analizi uygulanarak hesaplanan maksimum ve

minimum basınç düşüşü değerleri kullanılarak yerel kayıp katsayıları hesaplanmış ve Tablo 5'de verilmiştir.

$$V_{ort} = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A_C} \quad (14)$$

Tablo 5. Deney sonuçları ve hata analizi sonuçları kullanılarak hesaplanan yerel kayıp katsayıları

Deney No	Yoğunluk	Ortalama Hız	Maksimum Basınç Düşüşü	Ölçülen Basınç Düşüşü	Minimum Basınç Düşüşü	Yerel Kayıp Katsayısı K_K		
	ρ [kg/m ³]	V_{ort} [m/s]	$\Delta P_{vana.maks}$ [Pa]	ΔP_{vana} [Pa]	$\Delta P_{vana.min}$ [Pa]	Maks. Hata	Deneyisel	Min. Hata
1	996.400	1.545	12795	11000	9205	10.761	9.252	7.742
2	996.000	1.492	11680	10000	8320	10.531	9.016	7.501
3	995.600	1.411	10515	9000	7485	10.605	9.077	7.549
4	995.200	1.316	9320	8000	6680	10.817	9.285	7.753
5	994.800	1.227	8145	7000	5855	10.879	9.350	7.820
6	994.400	1.139	6990	6000	5010	10.839	9.304	7.769

3.2. Sayısal Bulguların Analizi

Sayısal çalışma kapsamında 3 boyutlu olarak bilgisayarda modellenen valfin akış analizi Ansys-Fluent programında yapılmıştır. Sayısal çözümlemede

kullanılmak üzere akışkanın bazı özellikleri belirlenmiştir. Deney düzeneğinde dolaşan suyun, deneyler sırasında ölçülen sıcaklık değerlerine karşılık gelen termodinamik özellikleri Tablo 6'da verilmiş olup, sayısal çalışmada bu özellikler kullanılmıştır.

Tablo 6. Doymuş suyun özellikleri [1]

Deney No	Sıcaklık	Yoğunluk	Özgül Isı	Isı İletim Katsayısı	Dinamik Viskozite	Kinematik Viskozite	Reynolds sayısı	Reynolds sayısı
	T [K]	ρ [kg/m ³]	C_p [J/kg.K]	K [W/m.K]	μ [kg/m.s]	$\nu \times 10^7$ [m ² /s]	Minimum Kesit, d_G	Maksimum Kesit, d_p
1	301.15	996.400	4178.800	0.612	0.000835	8.38218	44460.917	14820.306
2	303.15	996.000	4178.000	0.615	0.000798	8.01205	44953.147	14984.382
3	304.15	995.600	4178.000	0.617	0.000782	7.85858	43358.342	14452.781
4	305.15	995.200	4178.000	0.618	0.000767	7.70498	41250.096	13750.032
5	306.15	994.800	4178.000	0.620	0.000751	7.55127	39257.782	13085.927
6	307.15	994.400	4178.000	0.621	0.000736	7.39743	37215.601	12405.200

Reynolds sayısı analiz bölgesindeki maksimum kesit (Şekil 1.b’de verilen d_p) ve minimum kesitlere (Şekil 1.b’de verilen d_G) göre ayrı ayrı hesaplanmış ve akışın her koşulda türbülanslı olduğu belirlenmiştir.

Yapılan sayısal analizlerde kullanılan eleman boyutlarının sonuçlar üzerinde etkisi oldukça fazladır. Bu nedenle öncelikle sayısal analizler için ağdan bağımsızlaştırma çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada, kullanılan her iki türbülans modeli için de ağ yapısındaki

eleman sayısının deneysel sonuçlar üzerindeki etkisi incelenmiş ve Tablo 7’de verilmiştir. Yapılan incelemeye göre ağ yapısı eleman sayısının 1,250,000 olması durumunda elde edilen sonuçların deneysel sonuçlara çok yakın olduğu ve Realizable k-ε türbülans modelinde hata oranının çok daha az olduğu (% 0.603) görülmüş ve bundan sonraki sayısal analizlerde bu türbülans modeli kullanılmıştır.

Tablo 7. Hücre eleman sayısının çözüm üzerindeki etkisi

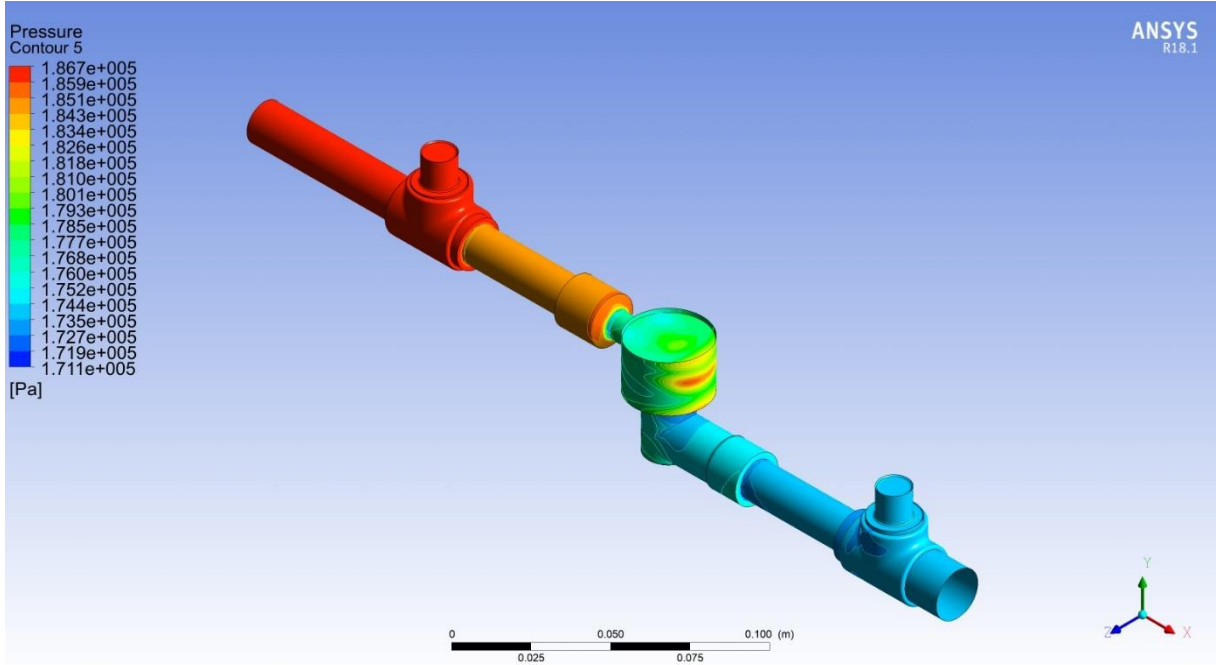
Analiz No	Eleman Sayısı	Kütleli Debi \dot{m} kg/s	Giriş Basıncı, P_G			Hata Oranı	
			Deneysel	Sayısal		Standart $k-\epsilon$	Realizable $k-\epsilon$
				Standart $k-\epsilon$	Realizable $k-\epsilon$		
			Pa	Pa	Pa	%	%
1	600,000	0.2915	185000	190227	190084	2.825	2.748
2	700,000			186681	186398	0.909	0.756
3	800,000			186878	186425	1.015	0.770
4	1,000,000			187054	186518	1.110	0.821
5	1,250,000			186702	186116	0.920	0.603

6 farklı deneysel veri kullanılarak sayısal analizler yapılmış olup, iki farklı türbülans modelinden elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmış ve Tablo 8’de gösterilmiştir. Realizable k-ε türbülans modeli kullanılarak elde edilen sonuçların deneysel verilerle oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle Realizable k-ε türbülans

modeliyle yapılan sayısal analiz sonuçları kullanılarak basınç düşüşleri (ΔP_{vana}) ve basınç düşüşü oranları ($\% \Delta P_0$) hesaplanmış ve Tablo 9’da verilmiştir. Sayısal analiz sonucunda duvar yüzeylerinde oluşan basınç dağılımı Şekil 7’de verilmiştir.

Tablo 8. Farklı türbülans modelleriyle yapılan sayısal analiz sonuçları

Deney-Analiz No	Giriş Basıncı, P_G			Hata Oranı			
	Deneysel	Sayısal		Standart $k-\epsilon$	Realizable $k-\epsilon$		
		Standart $k-\epsilon$	Realizable $k-\epsilon$			Standart $k-\epsilon$	Realizable $k-\epsilon$
			Pa	Pa	Pa	%	%
1	185000	186702	186116	0.920	0.603		
2	173000	175081	174155	1.203	0.668		
3	156000	157803	156779	1.156	0.499		
4	136000	137262	136600	0.928	0.441		
5	118000	118699	118448	0.592	0.380		
6	102000	102714	102472	0.700	0.463		



Şekil 7. Sayısal analiz sonucunda duvar yüzeylerinde oluşan basınç dağılımı

Tablo 9. Realizable k-ε türbülans modeliyle yapılan sayısal analizlerde elde edilen veriler

Analiz No	Kütlesel Debi	Giriş Basıncı	Çıkış Basıncı	Basınç Düşüşü	Basınç Düşüşü Oranı
	\dot{m} [kg/s]	P_G [Pa]	P_C [Pa]	ΔP_{vana} [Pa]	ΔP_o [%]
1	0.2915	186116	174000	12116	6.510
2	0.2816	174155	163000	11155	6.405
3	0.2663	156779	147000	9779	6.237
4	0.2483	136600	128000	8600	6.296
5	0.2315	118448	111000	7448	6.288
6	0.2149	102472	96000	6472	6.316

Kütlesel debinin artmasıyla emniyet valfi giriş-çıkışı arasında oluşan basınç düşüşünün arttığı, bu artışın hemen hemen lineer olduğu belirlenmiştir. Literatürde benzer çalışmalar incelendiğinde, kütlesel debi ile basınç düşüşünün bu çalışmadaki gibi birbiri ile doğru orantılı olarak değişim gösterdiği görülmüştür [7; 14; 15; 22; 23].

Realizable k-ε türbülans modeliyle yapılan sayısal analiz sonuçları kullanılarak valfin yerel kayıp katsayısı hesaplanmış ve Tablo 10'da verilmiştir. Buradaki ortalama hız değerleri sayısal analizlerden valfin giriş kesitindeki alan ağırlıklı ortalama değerleri olarak alınmış, yerel kayıp katsayıları da Eş. (9) yardımıyla hesaplanmıştır.

Tablo 10. Realizable k-ε türbülans modeliyle yapılan sayısal analiz verileri kullanılarak hesaplanan yerel kayıp katsayıları

Analiz No	Kütlesel Debi	Giriş Basıncı	Çıkış Basıncı	Basınç Düşüşü	Yoğunluk	Ortalama Hız	Yerel Kayıp Katsayısı
	\dot{m} [kg/s]	P_G [Pa]	P_C [Pa]	ΔP_{vana} [Pa]	ρ [kg/m ³]	V_{ort} [m/s]	K_K
1	0.2915	186116	174000	12116	996.4	1.555	10.059
2	0.2816	174155	163000	11155	996.0	1.503	9.920
3	0.2663	156779	147000	9779	995.6	1.422	9.721
4	0.2483	136600	128000	8600	995.2	1.326	9.829
5	0.2315	118448	111000	7448	994.8	1.237	9.789
6	0.2149	102472	96000	6472	994.4	1.149	9.867

DeneySEL ve sayısal veriler kullanılarak yerel kayıp katsayıları hesaplanmış ve Tablo 11’de verilmiştir. Ayrıca deneySEL olarak hesaplanan yerel kayıp katsayılarına hata analizi uygulanmış ve Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. DeneySEL veriler ve sayısal analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan yerel kayıp katsayıları

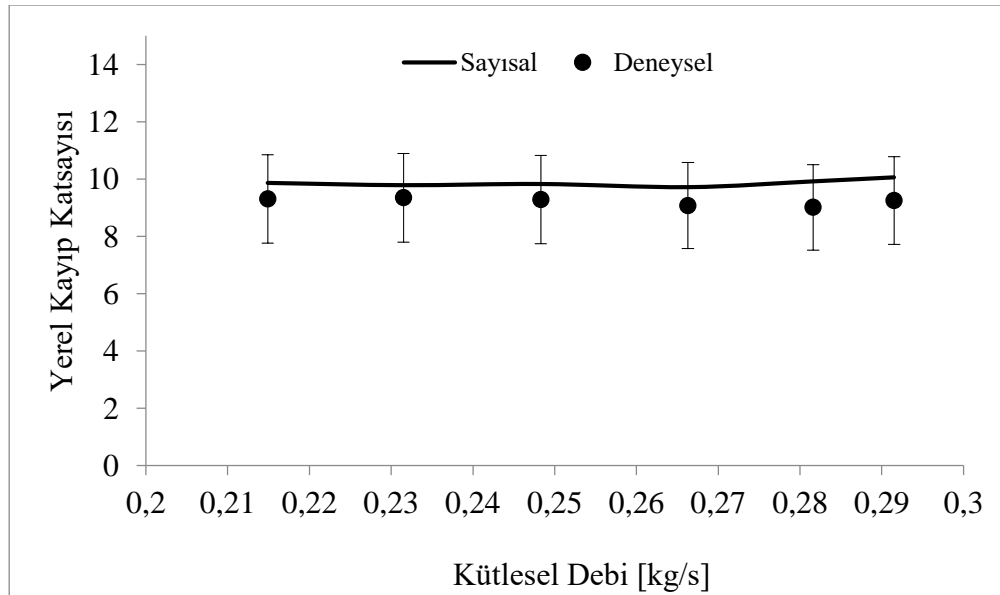
Deney- Analiz No	Kütlesel Debi \dot{m} [kg/s]	Yerel Kayıp Katsayısı, K_K			
		Maks. Hata	DeneySEL	Min. Hata	Sayısal
1	0.2915	10.761	9.252	7.742	10.059
2	0.2816	10.531	9.016	7.501	9.920
3	0.2663	10.605	9.077	7.549	9.721
4	0.2483	10.817	9.285	7.753	9.829
5	0.2315	10.879	9.350	7.820	9.789
6	0.2149	10.839	9.304	7.769	9.867

Şekil 8’de yerel kayıp katsayısının kütlesel debiye göre değişimini gösteren grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde deneySEL çalışmalara hata analizi uygulanmasıyla elde edilen verilerin, sayısal çalışmayı kapsadığı görülmektedir. Ayrıca deneySEL ve sayısal olarak hesaplanan yerel kayıp katsayılarının kütlesel debiye göre değişimi incelendiğinde yerel kayıp katsayılarının neredeyse hiç değişmeyip sabit kaldığı söylenebilir. DeneySEL çalışma ile sayısal çalışma arasındaki farkın nedeni, basınç ölçümü hataları olarak değerlendirilebilir. Basınç ölçümü hataları ölçüm yapan kişiden kaynaklanacağı gibi ölçüm cihazının hassasiyetinden de kaynaklanabilir. Bu çalışmada deneylerde kullanılan basınç ölçerlerden kaynaklanabilecek maksimum ve minimum hata değerleri her deney için Eş. (11) ve Eş. (12) yardımıyla hesaplanmış olup, elde edilen değerler Tablo 4’de verilmiştir. Her deney için Tablo 4’de verilen değerler Eş. (9)’da yerlerine yazılarak yerel kayıp katsayıları hesaplanmış ve Tablo 5’de verilmiştir. Tablo 5’de

verilen deneySEL sonuçlara ait yerel kayıp katsayıları ile sayısal sonuçlara ait yerel kayıp katsayıları da Tablo 11’de verilmiştir. Tablo 11 ve Şekil 8 incelendiğinde sayısal analizlerden elde edilen veriler yardımıyla hesaplanan yerel kayıp katsayısı değerlerinin her deney için hata analizi uygulanarak hesaplanan yerel kayıp katsayısı maksimum ve minimum değerleri arasında kaldığı görülmektedir. Bu nedenle Tablo 11 ve Şekil 8’de deneySEL ve sayısal sonuçlar arasındaki farkın tamamen basınç ölçüm cihazlarının ölçüm hassasiyetlerinden kaynaklanmış olabileceği söylenebilir.

Sayısal çalışma sonuçlarına göre hesaplanan yerel kayıp katsayılarının ortalaması alınmış ve bulunan değer Su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin yerel kayıp katsayısı olarak belirlenmiş olup, belirlenen katsayı aşağıda verilmiştir.

$$K_K = 9.864$$



Şekil 8. DeneySEL ve sayısal yerel kayıp katsayısının kütlesel debiye göre değişimi

DeneySEL ve sayısal sonuçların uyumlu olması; bu tip karmaşık problemlerin tasarım iyileştirme çalışmalarının büyük bir kısmının, deney yapmaya gerek kalmadan, daha kısa bir sürede ve çok az bir maliyetle Ansys-Fluent gibi programlarla çözülebileceğini göstermiştir.

Sayısal analizlerde analiz bölgesinde 3 farklı türden malzeme kullanılmıştır. Bunlar bağlantı elemanları, boru ve valf malzemeleridir. Sayısal analizlerde analiz bölgesindeki tüm elemanların duvar yüzeyleri ayrı ayrı yüzey ismi verilerek tanımlanmıştır. Bu duvar yüzeylerine deneylerde kullanılan malzemelere ait yüzey pürüzlülük değerleri girilmiştir. Deneylerde kullanılan malzemelerin aritmetik ortalama pürüzlülük değerlerini belirlemede 2 farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan birincisinde pürüzlülük tablolarından malzemelerin imalat yöntemlerine göre verilmiş olan pürüzlülük

değerleri aralığından ortalama bir değer alınarak analizlerde kullanılmıştır [18]. İkinci yöntemde ise deneylerde kullanılan malzemelerin aritmetik ortalama pürüzlülük değerleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüş ve ölçümlerden elde edilen değerler analizlerde kullanılmıştır. Her malzeme için 3 farklı noktadan ölçümler yapılarak ortalama değerler belirlenmiştir. Bağlantı Elemanları malzemelerinin farklı bölgelerinden ölçülen pürüzlülük değerleri birbirinden çok farklılık gösterdiğinden, bu malzeme için 4 farklı ölçülen pürüzlülük değeri belirlenmiş, sayısal analizler her farklı pürüzlülük değeri için tekrarlanmıştır. Deneylerde kullanılan malzemelere ait her 2 yöntemle belirlenen aritmetik ortalama pürüzlülük değerleri Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Pürüzlülük tablolarından alınan ve ölçülen aritmetik ortalama pürüzlülük değerleri

Malzeme Cinsi	Üretim Yöntemi	Aritmetik Ortalama Pürüzlülük, Ra (µm)	
		Tablo Ortalama Değerleri	Ölçülen Değerler
Bağlantı Elemanları	Kum döküm yoluyla imal edilmiş	12.5	2.454
			4.690
			7.960
			10.318
Boru	Haddeleme yoluyla imal edilmiş	1.6	2.390
Valf	Tornalama yoluyla imal edilmiş	3.2	0.261

Yüzey pürüzlülüğü etkisini belirlemek amacıyla 8 farklı durumda, her durum için 6 farklı deney verisi kullanılarak toplamda 48 farklı sayısal analiz gerçekleştirilmiştir. 8 farklı durumdaki sayısal analizlerde girilen yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 13’de verilmiştir. Birinci durumda Standart $k-\epsilon$ türbülans modeli ve tablodan belirlenen pürüzlülük değerleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Birinci durumdan sonraki tüm analizlerde Realizable $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılmıştır. İkinci durumda tablodan belirlenen

pürüzlülük değerleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Üçüncü durumda ikinci durumdan farklı olarak valf malzemesine ölçülen pürüzlülük değeri girilerek analizler yapılmıştır. Dördüncü durumda üçüncü durumdan farklı olarak boru malzemesine ölçülen pürüzlülük değeri girilerek analizler yapılmıştır. Beşinci, altıncı, yedinci ve sekizinci durumlarda da dördüncü durumdan farklı olarak bağlantı elemanları malzemelerine ölçülen 4 farklı pürüzlülük değerleri girilerek analizler yapılmıştır.

Tablo 13. Sayısal analizlerde kullanılan aritmetik ortalama pürüzlülük değerleri

	Türbülans Modeli	Aritmetik Ortalama Pürüzlülük, Ra [µm]		
		Bağlantı Elemanları	Boru	Valf
1. Durum	Standart $k-\epsilon$	12.5	1.6	3.2
2. Durum	Realizable $k-\epsilon$	12.5	1.6	3.2
3. Durum	Realizable $k-\epsilon$	12.5	1.6	0.261
4. Durum	Realizable $k-\epsilon$	12.5	2.39	0.261
5. Durum	Realizable $k-\epsilon$	2.454	2.39	0.261
6. Durum	Realizable $k-\epsilon$	4.69	2.39	0.261
7. Durum	Realizable $k-\epsilon$	7.96	2.39	0.261
8. Durum	Realizable $k-\epsilon$	10.318	2.39	0.261

Her 6 deney verileri kullanılarak Tablo 13’de belirtilen 8 farklı durum için toplamda 48 sayısal analiz yapılmıştır. Yapılan analizlerde yüzey pürüzlülüğünün

valfin neden olduğu basınç düşüşü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Analizlerde kullanılan çıkış basınçları 8 farklı durumda da aynı girildiğinden, analizlerden elde

edilen giriş basıncı değerleri kıyaslanmıştır. Deneylelerden ve sayısal analizlerden elde edilen giriş basıncı değerleri Tablo 14’de verilmiştir. Tablo 14 incelendiğinde, farklı yüzey pürüzlülük değerleriyle yapılan sayısal analizlerden elde edilen giriş basıncı değerlerinin birbirlerine ve deneysel giriş basıncı değerlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Su tasarrufu sağlayan emniyet valfi için yapılan sayısal analizlerde yüzey

pürüzlülüğünün akış ve basınç düşüşü üzerindeki etkisinin ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu belirlenmiştir. Benzer çalışmalar incelendiğinde; yüksek Reynolds sayılarına sahip türbülanslı akışlarda pürüzlü ve pürüzsüz duvar akışlarında duvara yakın bölge dışında benzer sonuçlar görüldüğü ve büyük ölçüde yapısal benzerlik olduğu sonuçlarına rastlanılmıştır [24; 25].

Tablo 14. Farklı durumlardaki sayısal analizlerden elde edilen giriş basıncı değerleri

Deneysel Analiz No	Giriş Basıncı, P_G [Pa]								
	Deneysel	Sayısal							
		1. Durum	2. Durum	3. Durum	4. Durum	5. Durum	6. Durum	7. Durum	8. Durum
1	185000	186702	186116	185270	186077	186205	186553	186062	185891
2	173000	175081	174155	174487	174710	174359	174666	174389	174079
3	156000	157803	156779	157771	156818	157371	156643	157400	157577
4	136000	137262	136600	136520	136887	136859	136560	136350	136730
5	118000	118699	118448	118625	118698	118462	118754	118795	118863
6	102000	102714	102472	102313	102244	102263	102489	102246	102339

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin farklı yüzey pürüzlülüklerinde sayısal analizleri yapılmıştır. Sayısal analizlerde yüzey pürüzlülüğünün akışa olan etkisi incelenmiştir. Ayrıca deneysel ve sayısal bulgular kullanılarak su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin yerel kayıp katsayısı belirlenmiştir. Deneysel ve sayısal olarak belirlenen yerel kayıp katsayıları arasındaki farka hata analizi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Sayısal analizlerde ağ yapısı eleman sayısının 1,250,000 olduğunda elde edilen sonuçların deneysel sonuçlara çok yakın olduğu ve Realizable k- ϵ türbülans modelinde hata oranının çok daha az olduğu görülmüştür.
2. Kütleli debinin artmasıyla emniyet valfi giriş-çıkışı arasında oluşan basınç düşüşünün arttığı, bu artışın hemen hemen lineer olduğu belirlenmiştir.
3. Basınç düşüşü oranlarının tüm deneylerde birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.
4. Deneysel çalışmalara hata analizi uygulanmasıyla elde edilen yerel kayıp katsayılarının, sayısal çalışmayı kapsadığı tespit edilmiştir.
5. Deneysel ve sayısal olarak hesaplanan yerel kayıp katsayılarının kütleli debiye göre değişimi incelendiğinde, yerel kayıp katsayılarının neredeyse hiç değişmeyip sabit kaldığı görülmüştür.
6. Sayısal çalışma sonuçlarına göre hesaplanan yerel kayıp katsayılarının ortalaması alınmış ve bulunan

değer ($K_K = 9.864$) Su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin yerel kayıp katsayısı olarak belirlenmiştir.

7. Farklı yüzey pürüzlülük değerleriyle yapılan sayısal analizlerden elde edilen giriş basıncı değerlerinin birbirlerine ve deneysel giriş basıncı değerlerine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.
8. Su tasarrufu sağlayan emniyet valfi için yapılan sayısal analizlerde yüzey pürüzlülüğünün akış ve basınç düşüşü üzerindeki etkisinin ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu belirlenmiştir.

5. Semboller

- A_0, A_S : Türbülans modeli sabitleri
 A_C : Girişteki akış yönüne dik yöndeki en-kesit alanı [m²]
 C_P : Özgül ısı [J/kg·K]
 $C_1, C_2, C_{1\epsilon}, C_{2\epsilon}, C_\mu$: Türbülans modeli sabitleri
 D : Geometrinin karakteristik uzunluğu, dairesel boru için çap [m]
 d_G : Valfin giriş hattındaki kesit çapı (Minimum kesit) [m]
 d_P : Piston iç çapı (Maksimum kesit) [m]
 G_k : Türbülans kinetik enerjisi üretimi [kg/m·s³]
 K : Isı iletim katsayısı [W/m·K]
 K_K : Yerel kayıp katsayısı
 k : Türbülans kinetik enerjisi [m²/s²]

\dot{m}	: Kütleli debi [kg/s]
P_C	: Çıkış hattı basıncı [Pa]
P_G	: Giriş hattı basıncı [Pa]
Ra	: Aritmetik ortalama pürüzlülük [μm]
Re	: Reynolds sayısı
S_ε	: ε için kaynak terimi [m^2/s^4]
T	: Sıcaklık [K]
t	: Zaman [s]
u	: Yatay doğrultudaki hız bileşeni [m/s]
ν	: Akışkanın kinematik viskozitesi [m^2/s]
V_{ort}	: Giriş kesiti ortalama akış hızı [m/s]
w_B	: Dijital basınç ölçer hassasiyeti [%]
x	: Yatay koordinat [m]
ΔP_{boru}	: Düzgün boru old. durumdaki basınç düşüşü [Pa]
ΔP_K	: Tesisat elemanı boyunca meydana gelen basınç düşüşü [Pa]
$\Delta P_{vanamaks}$: Maksimum basınç düşüşü [Pa]
$\Delta P_{vana.min}$: Minimum basınç düşüşü [Pa]
ΔP_{vana}	: Vana olduğu durumdaki basınç düşüşü [Pa]
$\% \Delta P_0$: Basınç düşüşü oranı [%]
ε	: Türbülans yitim (kayıp) oranı [m^2/s^3]
μ	: Dinamik viskozite [$\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$]
μ_t	: Türbülans viskozitesi [$\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$]
ρ	: Yoğunluk [kg/m^3]
σ_k	: k için türbülanslı Prandtl sayısı
σ_ε	: ε için türbülanslı Prandtl sayısı

6. Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan iş istasyonu ve Ansys yazılımı; Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 217M865 numara ile desteklenen proje kapsamında tedarik edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Çengel Y.A., Cimbala J.M., 2012, Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, İzmir Güven Kitabevi Limited Şirketi, ISBN: 978-975-6240-18-2, İzmir, 938s.
- [2] Parlak N., Gür M., Engin T., Parlak Z., 2014. Mikroborularda Su Akışının Termodinamik

Analizi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 140, 20-28.

- [3] Düz H., 2018. Daimi ve Sıkıştırılmaz Boru Akışında Giriş Uzunluğunun Sayısal Analizi, Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 8(2/2), 1-12.
- [4] Parlak N., Gür M., Engin T., Küçük H., 2011. Mikroborularda Tek Fazlı Laminer Su Akışında Viskoz Isınma Etkisinin Deneysel Olarak Belirlenmesi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 31(2), 1-11.
- [5] Çelikağ B., 2004. Küresel Vanalarda Vana Kayıp Katsayısının Sonlu Hacimler Yöntemiyle ve Deneysel Olarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 119s.
- [6] Chern M.J., Wang C.C., Ma C.H., 2007. Performance Test And Flow Visualization Of Ball Valve, Experimental Thermal and Fluid Science, 31, 505-512.
- [7] Duymaz B.A., 2008. Kelebek Vanalarda Vana Kayıp Katsayısının Sonlu Hacimler Yöntemiyle ve Deneysel Olarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 103s.
- [8] Yüksel B., 2008. Sürgülü Vana Kayıp Katsayısının Sonlu Hacimler Yöntemiyle ve Deneysel Olarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 97s.
- [9] Kamer M.S., 2014. Şebeke Suyu Kesilmesi Durumunda Açık Unutulan Vanalardan Olan Su Kaybının Engellenmesi Yöntemi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 86s.
- [10] Kamer M.S., Kaya A., Sisman A., 2015. Experimental And Numerical Investigation Of The Flow Analysis Of The Water-Saving Safety Valve, International Journal of Scientific and Technology Research, 4(10), 189-196.
- [11] Kamer M.S., Kaya A., Şahin H.E., Şişman A., 2015. Su Tasarrufu Sağlayan Emniyet Valfinin Optimum Tasarımının Geliştirilmesi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 149, 5-20.

- [12] Kahraman N., Sekmen U., Çeper B., Akansu S.O., 2008. Boru İçi Akışlarda Türbülantörlerin Isı Transferine Olan Etkisinin Sayısal İncelenmesi, *Isı Bilimi ve Tekniğı Dergisi*, 28(2), 51-59.
- [13] Deng J., Shao X.M., Fu X., Zheng Y., 2009. Evaluation Of The Viscous Heating Induced Jam Fault Of Valve Spool By Fluid-Structure Coupled Simulations, *Energy Conversion and Management*, 50, 947-954.
- [14] Lisowski E., Rajda J., 2013. CFD Analysis Of Pressure Loss During Flow By Hydraulic Directional Control Valve Constructed From Logic Valves, *Energy Conversion and Management*, 65, 285-291.
- [15] Chattopadhyay H., Kundu A., Saha B.K., Gangopadhyay T., 2012. Analysis Of Flow Structure Inside A Spool Type Pressure Regulating Valve, *Energy Conversion and Management*, 53, 196-204.
- [16] Şimşek O., 2011. Eğrisel Geniş Başlıklı Savak Üzerinden Geçen Açık Kanal Akımının Deneysel ve Teorik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 109s.
- [17] Ansys Fluent 14.0 Theory Guide, 2011. Ansys Inc., URL (Erişim tarihi: 28.02.2014) http://cdlab2.fluid.tuwien.ac.at/LEHRE/TURB/Fluent.Inc/v140/flu_th.pdf.
- [18] Bağcı M., 1998. Teknik Resim, Birsan Yayınevi Limited Şirketi, ISBN: 975-511-128-X, İstanbul, 286s.
- [19] Incopera F.P., DeWitt D.P., 2000. Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi, ISBN: 978-975-04-0106-0, İstanbul, 960s.
- [20] Kaya A., 2008. Kurutmada Isı ve Kütle Transferinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 153s.
- [21] Genceli O.F., 2008. Ölçme Tekniğı, Birsan Yayınevi Limited Şirketi, ISBN: 978-975-511-113-1, İstanbul, 387s.
- [22] Sandalcı M., 2009. Kelebek Vanalarda Performans Katsayılarının Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 52s.
- [23] Winfield D., Cross M., Croft N., Paddison D., Craig I., 2013. Performance Comparison Of A Single And Triple Tangential Inlet Gas Separation Cyclone: A CFD Study, *Powder Technology*, 235, 520-531.
- [24] Volino R.J., Schultz M.P., Flack K.A., 2007. Turbulence Structure in Rough- and Smooth-Wall Boundary Layers, *Journal of Fluid Mechanics*, 592, 263-293.
- [25] Flack K.A., Schultz M.P., 2014. Roughness Effects on Wall-Bounded Turbulent Flows, *Physics of Fluids*, 26(10), ID. 101305.