

## KÜRESEL VALFLERDE SU DARBESİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Kadri Turgut Gürsel, Çağlar Almış\*

*Dokuz Eylül University, The Institute of Marine Sciences and Technology  
35430 İnciraltı / İzmir /Türkiye  
[turgut.gursel@deu.edu.tr](mailto:turgut.gursel@deu.edu.tr); [caclar.almiss@gmail.com](mailto:caclar.almiss@gmail.com)*

### Anahtar Kelimeler

*Su darbesi,  
Küresel valf,  
Ani kapama,  
Lineer kapama,  
Sayısal analiz.*

### Özet

Su darbesi, tesisattaki akışın aniden durdurulması veya başlatılması ile ortaya çıkan ve tesisatlarda çok sık karşılaşılan akış problemlerinden biridir. Meydana getirdiği şok dalgaları tüm tesisata yayılarak, deformasyonlara ve kırılmalara sebep olabilir. Küresel valfler, büyük basınç düşümleri yaratmaması ve kolay kullanılabilir olması sebebiyle birçok sektörde tercih edilmektedir. Tam açık veya tam kapalı konumda kullanım için tasarlanmışlardır. Bu çalışmada küresel valflerin ani kapatılması sonucu oluşacak basınç değişimleri ve buna etki eden parametreler analitik, sayısal ve deneysel olarak incelenecektir. Ayrıca lineer kapamanın basınç değişimine etkisi deneysel olarak incelenecek ve sonuç olarak su darbesini önleyici temel tedbirler önerilecektir.

## INVESTIGATION OF WATER HAMMER EFFECT IN BALL VALVES

### Keywords

*Water hammer,  
Ball valve,  
Rapid closing,  
Linear closing,  
Numerical analysis.*

### Abstract

Water hammer appears when the water flow in the plumbing is suddenly stopped or opened, and it is one of the most frequently encountered flow problems in plumbing systems. The occurred shock waves propagate in the whole system and can cause deformations and ruptures. Ball valves are preferred in many sectors because of easy usage and not creating big pressure drops. They are designed for using in fully opened or fully closed positions. In this study, pressure changes based on the rapidly closing of a ball valve will be determined analytically, numerically and experimentally; then affecting parameters will be examined. In addition, also the effect of linear closing of the ball valve on the pressure change will be examined experimentally, and subsequently preventive recommendations on water hammer occurrence will be suggested.

## 1. Giriş

### 1.1. Çalışmanın Amacı ve Yöntem

Ülkemizde tesisat endüstrisi 1970'lerin ortasından itibaren gelişmeye başlamış ve günümüze kadar gelişmesini artırarak sürdürmüştür. Küreselleşme süreci ve Avrupa Birliği ile bütünleşme hedefi çerçevesinde, müşteri beklentilerini tam olarak karşılamak, yapısal özellikleri ilgili standartlara uygun hammadde kullanarak kaliteli ürünler üretmek, teknolojik yatırımlarla maliyetleri azaltmak ve dolayısıyla pazara rekabet gücü yüksek ürünler sunmak şirketlerin temel amacını oluşturmaya başlamıştır.

Tesisat elemanları içinde valfler önemli bir yer tutar. Değişik kullanım amaçları için, çalışma mekanizmaları birbirinden farklı birçok valf çeşiti geliştirilmiştir. İçindeki kürenin hareketiyle akışkan debisini değiştiren valflere küresel valf adı verilir. Sızdırmazlık elemanlarının kalıplama tekniklerindeki gelişmelere paralel olarak, bu tip valfler daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Valfin tek bir hareketle açılıp kapanıyor olması ve büyük basınç düşümleri yaratmaması öne çıkan özellikleridir. Küresel valfler tam açık veya tam kapalı konumda kullanım için tasarlanmışlardır. Akış, küresel valf

\* Sorumlu Yazar: Çağlar Almış, [caclar.almiss@gmail.com](mailto:caclar.almiss@gmail.com)

kullanılarak aniden durdurulduğunda veya aniden açıldığında, tesisatta su darbesi adı verilen bir etki meydana gelebilmektedir. Bu etkinin büyük olması durumunda, tüm tesisatın ve ona bağlı cihazların bozulması veya değişik şekillerde hasar görmesi söz konusu olabilmektedir.

Bu çalışmada, ani açma-kapama ve lineer açma-kapama sonucu tesisatta oluşan ve su darbesine neden olan basınç farklılıkları analitik olarak hesaplanacaktır. Daha sonra sonlu hacimler yöntemiyle akış denklemlerini sayısal olarak çözen FLUENT yazılımı kullanılarak sayısal basınç değerleri elde edilecek ve tüm sonuçlar deneysel olarak saptanan verilerle karşılaştırılarak irdelenecektir. Son olarak, su darbesini gidermek veya azaltmak için uygulanması gereken yöntemler tartışılacaktır.

## 1.2. Su Darbesinin Tanımı

Boru hattındaki akışkan hızında meydana gelen herhangi bir değişim basınç dalgalanmalarına yol açar. Hız değişimi ne kadar büyük ve kısa sürede olursa, basınç değişimi de aynı oranda ani ve büyük olur. Yüksek akış hızına sahip bir akışkanı aniden durdurmak, tehlikeli basınç kararsızlıklarına neden olabilir ve ortaya çıkan basınç ve gerilmeler boru hattının güvenli çalışma limitlerini aşabilir. Su darbesi uygun biçimde analiz edilmediği takdirde, tesisatta farklı seviyelerde arızalara, mal ve can kayıplarına yol açabilir [1].

Su darbesi kavramını daha iyi anlamak amacıyla şu örnek verilebilir: Boru içinde yol alan su, "büyük bir yük treninin uzun bir tünelde hareket etmesine" benzetilirse, valfin aniden kapatılması "tünelin çıkış ucuna binlerce ton kayanın aniden yığılması" etkisiyle karşılaştırılabilir. "Trenin kayalara çarpma anı", su darbesi olarak nitelenebilir; ön taraf bir yere gidemediği halde, arka taraf ilerlemeye devam etmeye çalışacaktır. "Tren ne kadar hızlı giderse", çarpışmanın etkisi de aynı oranda büyük olacaktır [2].

Temel olarak iki tip su darbesi vardır: Bunlar soğuk su tesisatlarında görülen hidrolik su

darbesi ile sıcak su – buhar sistemlerinde karşılaşılan termal su darbesidir. Sıcak sıvı ileten tesisatlarda her iki tip su darbesi de oluşabilir [3]. Hidrolik su darbesi, tesisattaki valfin hızlı kapatılmasından veya başlangıçtaki yetersiz drenajdan oluşabilir. Kapama valfi su akışını aniden durdurduğunda, atalet kuvveti bir basınç şoku oluşturur. Sıvılar hemen hemen sıkıştırılmaz oldukları için, bu şok her yönde yayılır. Su darbesi, akışkanın sıkıştırılabilirliği ile doğrudan bağlantılıdır. Büyük bir enerjiyle gelen akışkan, kapalı valfe çarptığında enerjisini bir yere aktarmak zorunda kalır ve oluşan basınç dalgaları tesisata yayılır. Bu dalgalar sistemdeki basıncı iki veya üç katına çıkarabilir. Her su darbesi oluşumunda, borulara çok yüksek gerilme kuvvetleri etkir ve zamanla tesisatı zayıflatır. Termal su darbesinin oluşumu daha karmaşıktır. Buhar kabarcıklarının, içinde daha düşük sıcaklıkta yoğunlaşmış su bulunan boruya ani giriş yapmasıyla ortaya çıkar. Buhar aniden çöker ve yerinde bir boşluk oluşur. Aynı anda, yoğunlaşmış su her yönden taşır, çarparak bir darbe meydana getirir. Su darbesinin şiddeti, buhar ile suyun temas yüzeyinin büyüklüğüne, buhar ile su arasındaki sıcaklık farkına ve her iki akışkanın hızlarına bağlıdır [3].

## 1.3. Literatür Araştırması

Su darbesinin analizi için kullanılan en güvenilir yöntem, incelenmek istenen sistemi deney ortamına aktararak sonuçları irdelemektir. Böylelikle valfin ve tesisatın karakteristik özellikleri doğrudan tespit edilebilir. Tesisatlarda sık karşılaşılan su darbesi problemini incelemek ve çözüm üretmek için yapılan çalışmalardan bazıları şunlardır:

Khamlichi ve çalışma arkadaşları, bir çubuktaki boyuna dalgalar ile su darbesi kararsızlıkları arasındaki benzeşimi temel alarak bir analiz yöntemi önermişlerdir [4]. Padmanabhan ve çalışma arkadaşları, valfin kapatılmasıyla oluşan kararsızlık problemlerini çözmek amacıyla, akış hızına dayanan yeni bir sonlu elemanlar formülasyonu geliştirmişler ve boru hatlarında oluşan akışkan-yapı etkileşimi

için bir simülasyon modeli oluşturmuşlardır [5]. Bakeer ve çalışma arkadaşları, pürüzsüz bir çelik boru içindeki akış şartlarını bir deney düzeneğinde incelemişlerdir. Bu amaçla, içinde su darbesi nedeniyle basınç oluşturulan 6 inç uzunluğundaki bir borunun kalınlığı dizayn parametresi olarak göz önüne alınmıştır [6]. Kavurmacıoğlu ve Karadoğan, pompalama sistemlerinde elektrik kesilmesi ve valf manevraları gibi nedenlerle oluşan su darbesinin hesabının yapılması ve önlem alınması amacıyla, su darbesi oluşumu ile sonuçlanan projelendirme hataları üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [7]. Almeida ve Ramos, çeşitli akış senaryolarını farklı karakteristikler ile güvenilir biçimde değerlendirmeye olanak sağlayan yeni bir simülasyon tekniği geliştirmişler ve türbo makinaların dinamik davranışlarını daha iyi belirleyebilmek için su darbesinin etkilerini incelemişlerdir [8].

## 2. Valf Çeşitleri

Valf üreticileri, tesisat sektöründeki gelişmelere paralel olarak, farklı ihtiyaçlara en iyi şekilde cevap verebilecek ürünleri kullanıcıya sunmaktadır. Böylelikle, boyutsal ve işlevsel olarak sisteme en uygun valf kolaylıkla seçilebilmektedir.

### 2.1. Valf Tanımı

Valfler, bir açma-kapama düzeneği ile içinden geçen akışkana yol veren, debisini ayarlayan veya yönünü değiştiren tesisat elemanlarıdır.

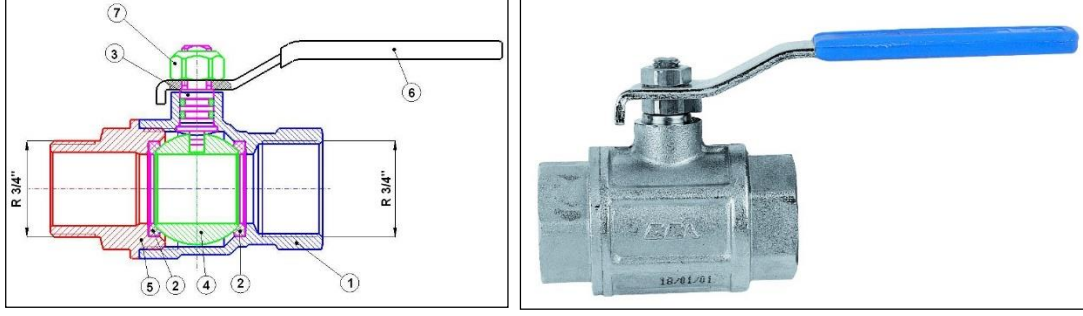
Valfler genel olarak, kullanıldıkları akışkan devresinde sürekli olarak çalışabildikleri anma basıncına göre, monte edilecekleri tesisatların boru çapına göre, kullanıldıkları akışkan türüne (alçak basınçlı / yüksek basınçlı gaz valfleri, HVAC sistem valfleri, sıvı akışkan valfleri) ve tasarım şekillerine (küresel, tapalı tip, kelebek, sürgülü, oturmali tip, pistonlu ve diyafram valfler) göre sınıflandırılırlar. Genel olarak bir valfin taşınması gereken özellikler şu şekilde sıralanabilir:

- Sızdırmazlığı amaca uygun olarak sağlamalıdır.
- Büyük basınç düşüşleri yaratmamalıdır.
- İlgili standartlara uygun olmalıdır.
- Gürültülü çalışmamalıdır.
- Basınç şoklarına neden olmamalıdır.
- Korozyona dayanıklı ve uzun ömürlü olmalıdır.
- Kolay hizmet vermeli, kolay monte edilmelidir.
- Bakım yapılabilir olmalıdır.
- Fiyat uygunluğu sağlamalıdır.
- İyi bir estetik görünüme sahip olmalıdır.

### 2.2. Küresel Valfler

Açma-kapama hareketinin, akış yönüne dik bir düşey eksen etrafında döndürülen, geçiş çapına uygun delinmiş bir kürenin hareketiyle elde edildiği valf tipidir. Tam açık veya tam kapalı konumda kullanılmaları uygun olup, kısma valfi olarak kullanılmaları tavsiye edilmez. Sızdırmazlık elemanları üretiminde ulaşılan gelişmeler nedeniyle, küresel valflerin kullanımı giderek daha yaygın hale gelmektedir. Bir küresel valfin montaj resmi, Şekil 1'de verilmiştir. Küresel valfi oluşturan parçalardan gövde (1), mil (3), küre (4) ve kapak (5) pirinç (CuZn40Pb2), çevirme kolu (6) ve somun (7) çelik, sızdırmazlık halkası (2) teflon malzemeden yapılır. Küresel valflerin temel özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- Tam açık kullanımda akışa direnç göstermeme özelliği vardır.
- Volanın 90° (çeyrek tur) hareketiyle açma-kapama sağlanır.
- Sıkıştırmalı, dişli ve lehimli tip bağlantı imkanı vardır.
- Anma çapları 1/2" - 4" arasında seçilebilir.
- Çalışma basıncı seçenekleri 40 bar, 25 bar ve 16 bar'dır.
- En yüksek çalışma sıcaklığı PN40 tipleri için 150°C, PN25 ve PN16 tipleri için 80°C'dir.



Şekil 1. Küresel valfin montaj resmi (sol); üretilmiş bir küresel valf (sağ) [9].

### 3. Su Darbesinin Analizi ve Analitik Hesabı

Bu bölümde, öncelikle boru içindeki akış tipleri ve bu akışın durdurulması incelenecek, su darbesinin analizi yapılarak, kararsız akış denklemi elde edilecektir. Daha sonra su darbesi nedeniyle meydana gelen basınç değişimleri, su darbesini etkileyen başlıca parametreler göz önünde bulundurularak analitik olarak hesaplanacaktır.

#### 3.1. Akış Tipleri

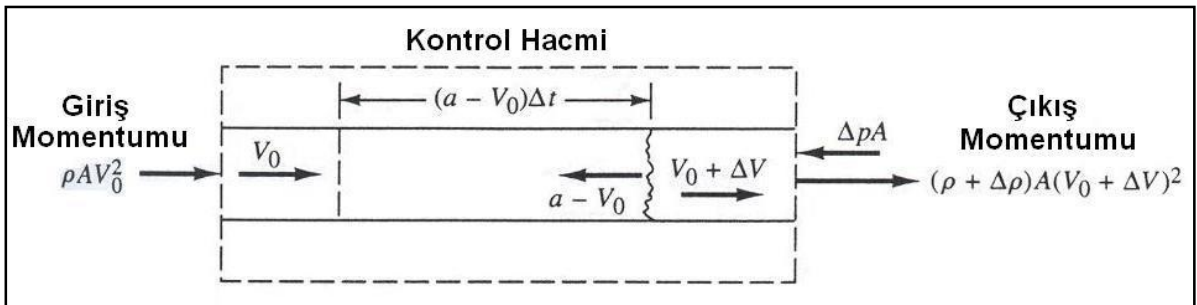
Su darbesi ve değişken akış ifadeleri, boru hatlarındaki kararsız akışı tanımlamak için eşanlamlı olarak kullanılırlar. Bunlar aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

- Kararlı Akış (Steady Flow): Akış koşulları herhangi bir noktada zaman ile değişmez.
- Kararsız Akış (Unsteady Flow): Akış koşulları herhangi bir noktada zaman ile değişebilir.

- Sabit Akış (Uniform Flow): Herhangi bir kesitteki ortalama akış hızı yere bağlı olarak değişmez.
- Değişken Akış (Non-Uniform Flow): Boru boyunca herhangi bir kesitte akışkan hızı yere bağlı olarak değişir.

#### 3.2. Kararsız Akış Denkleminin Elde Edilmesi

Kararsız akış davranışını daha iyi irdeleyebilmek amacıyla, öncelikle boru içinde bir kontrol hacmi seçilir (Şekil 2). Seçilen bu boru parçasına, sürtünme ve diğer kayıplar ihmal edilerek momentum ve süreklilik denklemleri uygulanır. Valf aniden kapatıldığında, valfe temas eden akışkan yüksek basınç etkisiyle  $V_0$  hızından sıfıra iner. İlk katman durduktan sonra, aynı eylem akışkanın bir sonraki katmanına uygulanır ve bu şekilde yüksek basınçlı ön dalga kontrol hacminde  $a-V_0$  mutlak hızıyla ve akışkanı durdurabilecek yeterlilikte bir basınçla akışın tersi yönünde hareket eder (Şekil 2). Valfde basınç değişimi ve hız değişimi meydana gelir.



Şekil 2. Kontrol hacmi [3].

Uzun bir boru hattının ucundaki valf kapatıldığında, momentum ve süreklilik denklemleri kullanılarak Denklem 1 elde edilir. Böylelikle su darbesi eşitliğinde bilinmeyen tek değer olan dalga hızı ifadesi de hesaplanmış olur. Bulunan dalga hızı, temel su darbesi denkleminde yerine konur ve su darbesi nedeniyle meydana gelen basınç değişimi Denklem 2 aracılığıyla elde edilir.

$$a = \sqrt{\frac{\left(\frac{K}{\rho}\right)}{1 + \left(\frac{K}{E}\right) \cdot \left(\frac{D}{e}\right)}} \quad (1)$$

$$\Delta p = \pm \rho \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{K}{\rho}\right)}{1 + \left(\frac{K}{E}\right) \cdot \left(\frac{D}{e}\right)}} \cdot \Delta V \quad (2)$$

Eşitlik (2) yardımıyla, su darbesi nedeniyle oluşan basınç değişimine etki eden temel parametreler; akışkanın yoğunluğu ( $\rho$ : [kg/m<sup>3</sup>]), akışkanın elastisite modülü (K: [Pa]), boru malzemesinin elastisite modülü (E: [Pa]), borunun iç çapı (D: [m]), borunun et kalınlığı (e: [m]) ve akışkanın hızındaki değişim ( $\Delta V$ : [m/s]) olarak belirlenir. Bunlar sırasıyla aşağıda incelenecektir.

### 3.3. Analitik İncelemede Su Darbesine Etki Eden Parametreler

#### 3.3.1. Akışkan türünün basınç değişimine etkisi

DN15 anma çapına sahip bir küresel valf, aşağıdaki özelliklere sahip bir tesisata monte edildiğinde ve akışkan türü olarak su ile etilalkol kullanıldığında, Eşitlik (2) yardımıyla hesaplanan basınç değişim değerleri Şekil 9'da karşılaştırmalı olarak son bölümde verilmiştir. Akışkanın elastisite modülü ve yoğunluğundaki azalmaya bağlı olarak, "akışkan" darbesi nedeniyle oluşan basınç değişim değerleri de belirgin ölçülerde azalmaktadır (Şekil 9).

$$\begin{aligned} \text{Akışkan} &= \text{Su:} & K &= 2,20 \text{ GPa} \\ & & \rho &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ &= \text{Etil Alkol:} & K &= 1,06 \text{ GPa;} \end{aligned}$$

$$\rho = 790 \text{ kg/m}^3$$

Boru Malzemesi = Çelik: E = 190 GPa  
Boru Ölçüleri: D = 14,5 mm; e = 2 mm

#### 3.3.2. Akışkan hızının basınç değişimine etkisi

Debisi Q ve geçiş kesit alanı A olan bir akışkanın ortalama hızı eşitliği ile elde edilir. Valf kapatıldığında akış hızı sıfır olacağı için, akış hızındaki değişim ( $V = \frac{Q}{A}$ )

akışkanın başlangıç hızına eşit alınabilir ( $\Delta V = V_0$ ). DN20 anma çapına sahip bir küresel valf, aşağıdaki özelliklere sahip bir tesisata monte edildiğinde, Eşitlik (2) yardımıyla akışkanın farklı debilerde (dolayısıyla farklı akışkan hızlarında) hesaplanan basınç değişim değerleri (son bölümde) Şekil 10'da karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Akışkan hızındaki artışa bağlı olarak, su darbesi nedeniyle oluşan basınç değişim değerleri de artmaktadır (Şekil 10).

$$\begin{aligned} \text{Akışkan} &= \text{Su:} & K &= 2,20 \text{ GPa} \\ & & \rho &= 1000 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Boru Malzemesi = Çelik: E = 190 GPa  
Boru Ölçüleri: D = 19 mm; e = 2 mm

#### 3.3.3. Anma çapının basınç değişimine etkisi

DN10 ve DN15 anma çaplarına sahip iki küresel valf, aşağıdaki özelliklere sahip bir tesisata ayrı ayrı monte edildiğinde, Eşitlik (2) yardımıyla akışkanın hesaplanan basınç değişim değerleri Şekil 11'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Valfin anma çapının büyümesine bağlı olarak, su darbesi nedeniyle oluşan basınç değişim değerleri azalmaktadır (Şekil 11).

$$\begin{aligned} \text{Akışkan} &= \text{Su:} & K &= 2,20 \text{ GPa} \\ & & \rho &= 1000 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Boru Malzemesi = Çelik: E = 190 GPa  
Boru Ölçüleri:

$$\begin{aligned} \text{DN10 için} & D = 11 \text{ mm; } e = 1,5 \text{ mm} \\ \text{DN15 için} & D = 14,5 \text{ mm; } e = 2 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### 3.3.4. Bağlantı boru malzemesinin basınç değişimine etkisi

DN10 anma çapına sahip bir küresel valf, aşağıdaki özelliklere sahip bir tesisata ayrı ayrı monte edildiğinde akışkanın hesaplanan basınç değişim değerleri Şekil 12’de karşılaştırmalı olarak son bölümde gösterilmiştir. Bağlantı boru malzemesinin elastisite modülündeki azalmaya bağlı olarak, su darbesi nedeniyle oluşan basınç değişim değerleri de (sınırlı oranda) azalmaktadır (Şekil 12).

Akışkan = Su:  $K = 2,20 \text{ GPa}$   
 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$   
 Boru Malzemesi = Çelik:  $E = 190 \text{ GPa}$   
 Pirinç:  $E = 106 \text{ GPa}$   
 Boru Ölçüleri:  $D = 11 \text{ mm}$ ;  $e = 1,5 \text{ mm}$

#### 4. Su Darbesinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Bu bölümde, küresel valfin aniden kapatılması sonucu oluşacak su darbesinin, valfin çapına, akışkanın hızına ve türüne göre etkilerinin sayısal analizi FLUENT yazılımı yardımıyla yapılacak ve elde edilen sonuçlar, su darbesinin analitik olarak hesaplanmış olan sonuçlarıyla ve deneysel olarak elde edilecek ölçüm verileriyle karşılaştırılacaktır.

FLUENT kodu, genel amaçlı bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı olarak, otomotiv, havacılık, beyaz eşya endüstrisi, türbomakina (fanlar, kompresörler, pompalar, türbinler v.b.), kimya ve gıda endüstrisi gibi birbirinden farklı bir çok endüstriye ait akışkanlar mekaniği ve ısı transferi problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır.

##### 4.1. Gambit

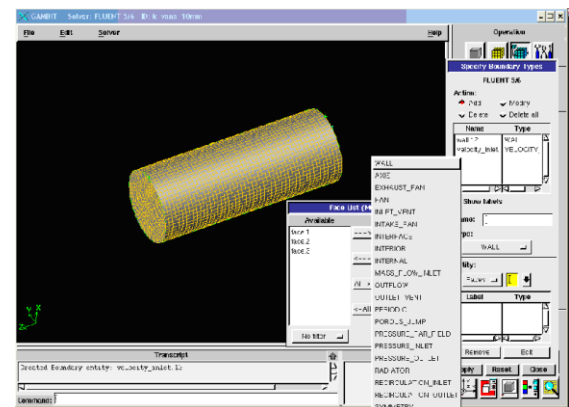
Gambit, HAD ve sonlu elemanlar analizlerinde (SEA) kullanılabilen genel amaçlı bir ön işlemcidir. Bu işlemci, bu tip analizlerin en karmaşık kısmını oluşturan ve bu nedenle en fazla zaman harcanan bölümü olan model hazırlama ve sayısal ağ oluşturma işlemlerini, bünyesinde barındırdığı araçların da yardımıyla kolaylaştırmayı ve hızlandırmayı amaçlayan bir yazılımdır.

Diğer ön işlemcilerin aksine Gambit, sahip olduğu katı modelleme araçları sayesinde hem orta derecede karmaşık geometrilerin oluşturulmasına, hem de gelişmiş geometri alım kapasitesi sayesinde birçok profesyonel katı modelleme programından model alımına olanak tanıyarak kullanıcıya kolaylık sağlar. Ayrıca kendisine ait “sanal geometri” aracıyla, dışarıdan alınmış modellerde ortaya çıkan ve önemli bir sorun oluşturan “geometri temizleme” işlemini kolaylaştırarak, sayısal ağ oluşumuna ve böylelikle uygun modellerin elde edilmesine olanak sağlar.

Gambit, iki boyutlu dörtgen ve üçgen elemanların, üç boyutlu altı yüzlü, dört yüzlü ve geçiş elemanları olarak kama ve piramit tipi elemanların kullanımına izin vererek, istenilen tipteki sayısal ağın basit ve hızlı bir şekilde oluşturulmasına imkan verir. Ayrıca, “boyut fonksiyonu” ve “sınır tabaka aracı” gibi araçlar yardımıyla, modelin içinde ve kritik noktalarında eleman yoğunluğunun ve kalitesinin kontrol altında tutulmasına olanak sağlar.

##### 4.2. Su Darbesinin Sayısal Analizi

Sayısal analizde kullanılacak olan model, valfin iç hacminden, yani basit bir silindirden oluşmaktadır. Bu silindirin bir ucu açık ve diğer ucu kapalıdır. Silindir için seçilen çap değerleri, deneylerde kullanılan valflerin çapları olup, sırasıyla 19 mm (DN20), 14,5 mm (DN15) ve 11 mm’dir (DN10).

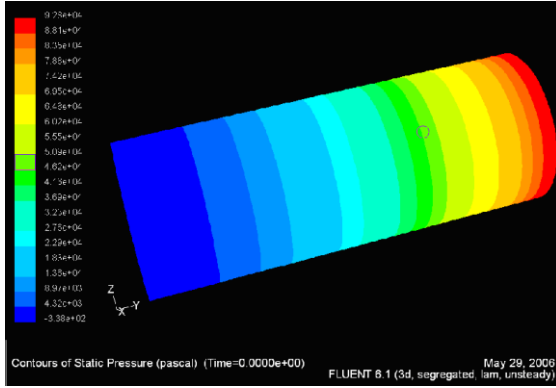


Şekil 3. FLUENT’te gerçekleştirilen modelleme [10]

Öncelikle silindirin katı modeli, daha sonra da bu silindire ait ağ yapısı (mesh işlemi) Gambit’te oluşturulmuştur (Şekil 3 ve 4). Daha sonra,



silindirin bir ucu giriş (velocity\_inlet), diğer ucu ile yanıl yüzeyler “duvar (wall)” olarak tanımlanarak, sınır koşulları belirlenen model FLUENT yazılımıyla analiz edilmiştir.



Şekil 4. FLUENT’te yapılan sayısal analiz

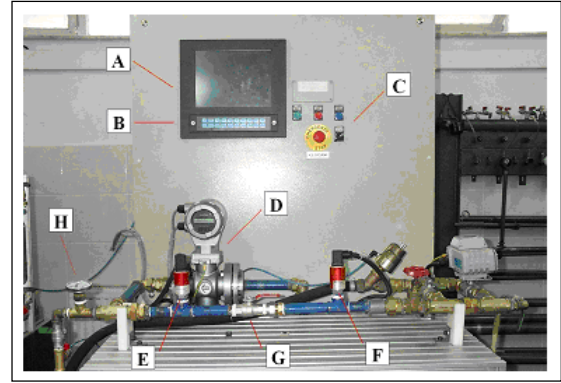
Yazılımda akım parametreleri sırasıyla kararsız, laminar akım ve çalışma koşulları 101325 Pa olarak girilmiştir. Bunların dışında, son sınır koşulu olarak sadece giriş hızları gereklidir ve bu hızlar, her bir valf tipi için Şekil 9-11’de verilmiştir. Normal deney şartlarında konstrüktif nedenlerden dolayı, küresel valfin ancak 2,5 cm gerisinde basınç ölçümü yapılmıştır. Dolayısıyla, bu sayısal analizde de kapalı uçtan 2,5 cm geride elde edilen sonuçlar dikkate alınmıştır (Şekil 4) ve DN20, DN15 ve DN10 valf tipleri için elde edilen sonuçlar Şekil 9-11’de karşılaştırmalı olarak son bölümde verilmiştir.

## 5. Su Darbesinin Deneysel Olarak İncelenmesi

### 5.1. Deney Düzenegi

Şekil 5’de görülen deney düzeneginde kullanılan tüm ölçüm cihazlarının kalibrasyonları yapılmış ve izlenebilirlikleri sağlanmıştır. Sızdırmazlığı kontrol edilmiş deney düzeneginde deney şu şekilde gerçekleştirilir: Sistemde bulunan kompresör yardımıyla, akışkanın basıncı ve debisi ayar panelinden (B) değer girişi yapılarak ayarlanır. E ve F noktalarındaki manometreler, giriş ve çıkış basınç değerlerini dijital olarak ölçerek ekrana gönderir. Deneyde, E noktasındaki basınç değişimi incelenecektir. Sistemin stabil hale gelmesi için yaklaşık 1 dakika beklenir. G noktasındaki küresel valf aniden kapalı

konuma getirilerek, valfin giriş tarafındaki anlık basınç artışı ekrandan okunur. Valf yeniden açılır ve sistemin stabil hale gelmesi için yine 1 dakika beklenir. Her açma-kapamadan sonra bekleme yapılmalıdır. Daha sonra ayar panelinden farklı debi değeri girilir ve her farklı debi için ani kapama sonucu oluşan basınç kararsızlıkları ölçülür. Bir küresel valf için tüm ölçümler yapıldıktan sonra, sisteme başka boyutta bir küresel valf takılarak deneyler tekrar edilir [11].



Şekil 5. Deney düzenegi

Şekil 5’teki deney setinde bulunan devre elemanları şu şekildedir:

- A: Değer Okuma Ekranı;
- B: Ayar Paneli;
- C: Çalıştırma ve Durdurma butonları
- D: Debimetre;
- E: Giriş Manometresi;
- F: Çıkış Manometresi;
- G: Küresel Valf;
- H: Termometre

### 5.2. Deneysel İncelemede Su Darbesine Etki Eden Parametreler

#### 5.2.1. Akışkan türünün basınç değişimine etkisi

DN20 anma çapına sahip bir küresel valf, aşağıdaki özelliklere sahip deney düzenegine (Şekil 5) monte edilerek, akışkanın farklı debilerdeki (dolayısıyla farklı akışkan hızlarındaki) basınç değişim değerleri ölçülmüştür. Akışkan hızındaki artışa bağlı olarak, su darbesi nedeniyle oluşan basınç değişim değerleri de düzenli olarak artmaktadır (Şekil 5 ve 10).

Akışkan = Su:  $K = 2,20 \text{ GPa}$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Boru Malzemesi = Çelik: E = 190 GPa  
Boru Ölçüleri: D = 19 mm; e = 2,5 mm

### 5.2.2. Anma çapının basınç değişimine etkisi

DN10 ve DN15 anma çaplarına sahip iki küresel valf, aşağıdaki özelliklere sahip deney düzeneğine (Şekil 5) ayrı ayrı monte edilerek, akışkanın farklı debilerdeki basınç değişim değerleri ölçülmüş ve sonuçlar Şekil 11'de son bölümde verilmiştir. Buna göre, valfin anma çapının büyümesine bağlı olarak, su darbesi nedeniyle oluşan basınç değişim değerleri Şekil 11'de verildiği gibi azalmaktadır.

Akışkan = Su: K = 2,20 GPa  
 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

Boru Malzemesi = Çelik: E = 190 GPa  
Boru Ölçüleri:  
DN10 için D = 11 mm; e = 1,5 mm  
DN15 için D = 14,5 mm; e = 2 mm

### 5.2.3. Bağlantı boru malzemesinin basınç değişimine etkisi

DN10 anma çapına sahip bir küresel valf, aşağıdaki özelliklere sahip deney düzeneklerine (Şekil 5) ayrı ayrı monte edilmiş ve akışkanın ölçülen basınç değişim değerleri Şekil 12'de son bölümde gösterilmiştir. Bağlantı boru malzemesinin elastisite modülündeki azalmaya bağlı olarak, su darbesi nedeniyle oluşan basınç değişim değerleri de belirli ölçüde azalmaktadır (Şekil 12).

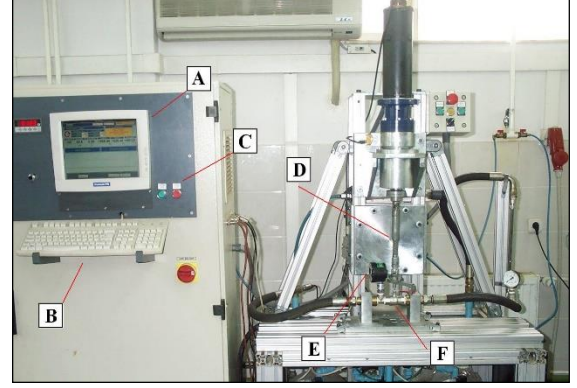
Akışkan = Su: K = 2,20 GPa  
 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

Boru Malzemesi = Çelik: E = 190 GPa  
Pirinç: E = 106 GPa  
Boru Ölçüleri: D = 11 mm; e = 1,5 mm

### 5.3. Deneysel İncelemede Lineer Kapama Sonucu Basınç Değişimi

Tesisattaki valfin ani kapatılması sonucunda meydana gelen basınç değişimleri Bölüm 5.1-5.2'de belirtilen deney düzeneğinde incelenmiştir. Oluşan basınç şoklarının şiddetini azaltmak amacıyla, valfe ayrıca

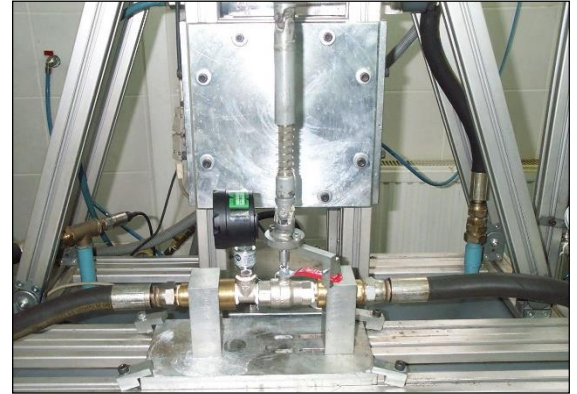
lineer kapama uygulanmıştır. İlgili deney düzeneği Şekil 6 ve 7'de verilmiştir. Kullanılan tüm ölçüm cihazlarının kalibrasyonları yapılmış ve ölçüm değerlerinin izlenebilirliği sağlanmıştır.



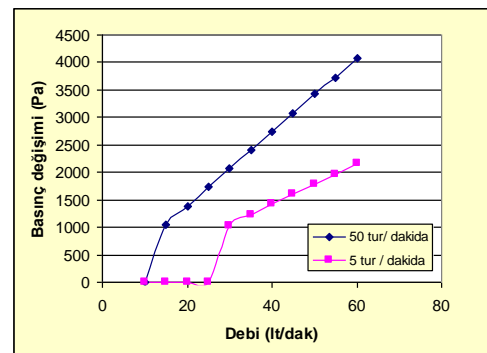
Şekil 6. Lineer kapama deney düzeneği

Şekil 6'daki deney setinde bulunan devre elemanları şu şekildedir:

- A: Değer Okuma Ekranı;
- B: Ayar Paneli;
- C: Çalıştırma ve Durdurma butonları
- D: Çevirme Kolu;
- E: Giriş Manometresi;
- F: Küresel Valf



Şekil 7. Lineer kapama deney düzeneği yakından görüntüsü



Şekil 8. Lineer kapama-basınç değişimi ilişkisi



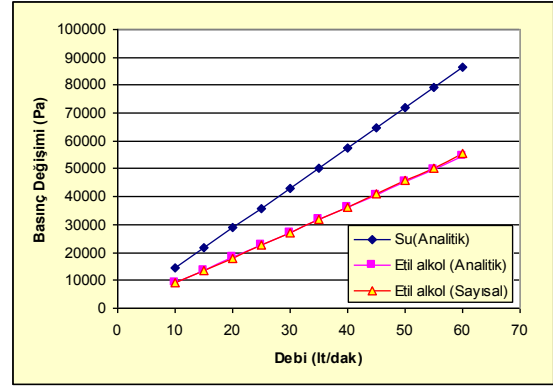
Sızdırmazlığı kontrol edilmiş deney düzeneğinde deney aşağıdaki şekilde gerçekleştirilir: Akışkanın basıncı ve debisi, sistemde bulunan kompresör yardımıyla ayar panelinden (B) değerlerin girişi yapılarak ayarlanır. Deneyde, lineer kapama sonucu E noktasında oluşan basınç değişimi incelenecektir. Sistemin stabil hale gelmesi için 1 dakika beklenir. F noktasındaki küresel valf, belirlenen bir açılma hızla D çevirme kolu yardımıyla kapalı konuma getirilir. Valfin giriş tarafındaki anlık basınç artışı E noktasındaki hassas manometreden okunur. Çevirme kolunun valfi kapatma hızı, ayar panelinden kontrol edilebilir. DN20 anma çapına sahip bir küresel valf, lineer kapama deney düzeneğine bağlanmış ve farklı kapama hızlarında akışkanın ölçülen basınç değişim değerleri Şekil 8’de verilmiştir.

Valf yavaş yavaş kapatıldığında, oluşan basınç şoklarının şiddeti azalmakta, düşük debilerde ise hiçbir basınç artışı meydana gelmemektedir. Sonuç olarak, küresel valfler gibi tam açık veya tam kapalı konumda kullanım için dizayn edilmiş valflerde, açma-kapama işlemini yumuşak bir geçişle yapmak, su darbesinin etkisini belirgin miktarda azaltacaktır.

## 6. Sonuçlar ve Değerlendirme

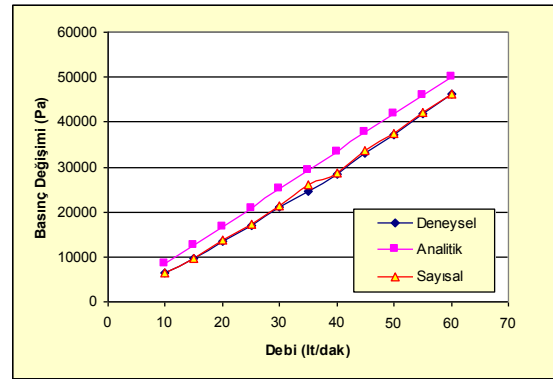
Su darbesi terimi, bir tesisattaki akışın bir valf tarafından aniden durdurulması sonucu ortaya çıkan kuvvetleri, vuruntu seslerini ve titreşimleri tanımlamak için kullanılır. Su darbesi meydana geldiğinde, yüksek basınçlı şok dalgası tesisat sistemi içinde enerjisi sönmüleninceye kadar salınım yapar. Oluşan gerilmeler hem boru hattına hem de tesisattaki diğer cihazlara zarar verebilir.

Bu çalışmada, bir küresel valfin ani kapatılmasıyla oluşan su darbesi etkisine bağlı basınç değişimleri analitik ve (FLUENT yazılımı yardımıyla) sayısal yöntemlerle hesaplanmış ve ayrıca kurulan deney düzeneğinde ilgili değerler ölçülmüş, elde edilen tüm bulgular Şekil 9-12’de verilmiştir. Küresel valfin farklı hızlarda lineer kapatılması sonucu ölçülen basınç değişim değerleri ise Şekil 8’de verilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde ilk varılacak sonuçlardan biri, analitik ve sayısal sonuçların deney sonuçlarıyla uyum içinde olduğu ve dolayısıyla doğrulandığıdır. Bunun dışında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır :



Şekil 9. Akışkan türü-basınç değişimi ilişkisi

Şekil 9 incelendiğinde, sistemde kullanılan akışkanın türüne bağlı olarak, akışkan (su) darbesi nedeniyle oluşan basınç değişimlerinin belirgin oranda farklılaştığı görülmektedir. Akışkanın elastisite modülü ve yoğunluğu azaldıkça, ani kapama sonucu oluşacak basınç şokları da önemli oranda azalacaktır.

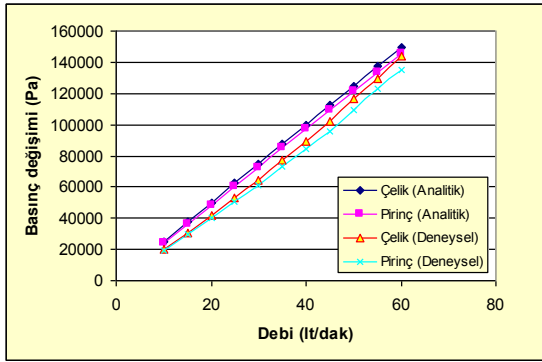


Şekil 10. Akışkan hızı-basınç değişimi ilişkisi

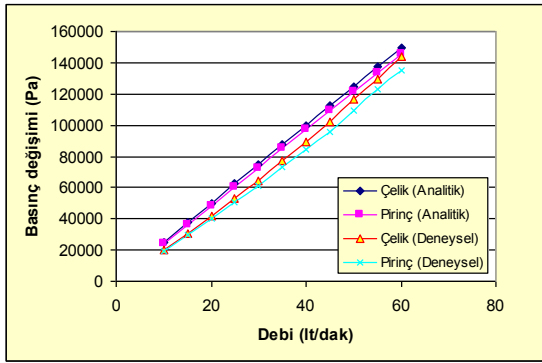
Şekil 10’de görüldüğü gibi, akışkanın debisine bağlı olarak hızı arttığında, su darbesi nedeniyle oluşan basınç değişiminde lineer bir artış görülmektedir. Bu durum, akışkanın tesisat içindeki hızı ne kadar fazla olursa, ani kapama sonucu oluşacak basınç şoklarının o denli büyük olacağına işaret eder. Su darbesi etkisini azaltmak için, akış hızını düşürecek önlemler alınmalıdır.

Şekil 11 incelendiğinde, küresel valfin anma çapının büyümesine bağlı olarak, su darbesi nedeniyle oluşan basınç değişiminde belirgin bir azalma olduğu görülmektedir. Anma çapı küçüldükçe, ani kapama sonucu oluşacak basınç şokları büyüyecektir. Bu durum, sistemde gereksinim duyulan debinin baştan doğru biçimde analiz

edilmesi ve valfin çap seçiminin bu doğrultuda yapılması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 11. Anma çapı-basınç değişimi ilişkisi



Şekil 12. Bağlantı boru malzemesi-basınç değişimi ilişkisi

Şekil 12 incelendiğinde, küresel valfin bağlandığı tesisat elemanlarının malzemelerine bağlı olarak, su darbesi nedeniyle oluşan basınç değişimlerinin farklılaştığı görülmektedir. Boru malzemesinin elastisite modülü azaldıkça, ani kapama sonucu oluşan basınç şokları da azalmaktadır. Dolayısıyla tesisat malzemesi seçilirken, yapısal dayanımın izin verdiği oranda düşük elastisite modülüne sahip malzemeden yapılmış elemanlar tercih edilmelidir.

Şekil 8'de lineer kapama sonucu oluşan basınç değişimleri görülmektedir. Küresel valfin kapatılma hızı yavaşladıkça, su darbesi etkisi azalmakta ve basınç şoklarının şiddeti önemli oranda düşmektedir. Bu nedenle, sistemdeki valflerin çok hızlı açılmamasına ve kapatılmamasına çalışılmalı veya tesisata yavaş açılır/kapanır valfler monte edilmelidir.

Su darbesini önlemek amacıyla tesisatlarda ek olarak alınabilecek diğer önlemler şunlardır:

- Su basıncı 5 bar'dan fazla ise tesisata mutlaka bir su basınç regülatörü monte edilmelidir. Her boru kelepçelerle desteklenmelidir.
- Soğuk su ve sıcak su girişlerine en az birer adet su darbesi sönümleyici cihaz takılmalıdır.

Bu çalışmada, sayısal analiz ile deney sonuçları birbirlerine çok yakın olarak saptanmıştır. Buna karşın, analitik çözüm ile deney sonuçlarının arasında (küçük de olsa) belirli bir farkın olmasında en önemli faktörün, ani kapama deneylerinde basınç ölçümünü yapan giriş manometresi ile valf arasındaki mesafenin olduğu düşünülmektedir. Deney düzeneğinde bu mesafe montaj nedeniyle daha fazla küçültülememiği için, oluşan basınç şoklarının şiddeti manometreye gelene kadar zayıflamaktadır. Bu nedenle deney sonuçları, analitik yöntemin sonuçlarından yaklaşık olarak % 10 daha düşük çıkmaktadır. Ayrıca deney düzeneğindeki yersel kayıplar, analitik çözümde göz önüne alınmamıştır. Bunlara ek olarak, ölçümü yapan manometre  $\pm \%0,1$  ve debimetre  $\pm \%0,5$  doğruluk toleranslarına sahiptir. Toleranslardan kaynaklanabilecek ölçüm farklılıkları, cihazlar kalibrasyon şartlarına uygun olduğu için göz ardı edilmiştir.

## Conflict Of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

## 7. References

- [1] Martin C. S., 2000, "Waterhammer potential in pumps and systems", *School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta GA, U.S.A.*
- [2] Internet-1, 2003, Omegadyne Eng. Inc., [www.omega.com/techref/waterhammer](http://www.omega.com/techref/waterhammer)

- [3] Wylie E. B., 1993, "Fluid Transients In Systems", Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ 07632.
- [4] Khamlichi, A., Jezequel, L., Tephany, F., 1995, "Elastic-plastic water hammer analysis in piping systems", Département de Mécanique des Solides, URA CNRS 855, Ecole Centrale de Lyon, Lyon, France.
- [5] Padmanabhan, C., Kochupillai, J., Ganesan, N., 2004. "A new finite element formulation based on the velocity of flow for water hammer problems", *Indian Institute of Technology Madras*, Chennai 600 036, India.
- [6] Bakeer, R. M., Barber, M. E., Sever, V. F., Boyd, G. R., 2004, "Effect of close-fit sliplining on the hydraulic capacity of a pressurized pipeline", *Department of Civil and Environmental Engineering, Tulane University*, New Orleans, LA 70118, U.S.A.
- [7] Kavurmaciođlu, L., Karadoğan, H., 2003, "Su Darbesi Projelendirme Hataları, VI. Ulusal Tesisat Mühendisliđi Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, MMO Yayın No: E/2003/328-1, 37-45.
- [8] Almeida, A. B., Ramos, H., 2002, "Parametric analysis of water-hammer effects in small hydro schemes", *Department of Civil Engineering, Instituto Superior Técnico*, 1049-001 Lisboa, Portugal.
- [9] E.C.A. Valf Sanayii A.Ş., 2004, "Genel Mamül Katalođu", [www.valf.com.tr](http://www.valf.com.tr)
- [10] Kurun, S., 2006, "Küresel Vanada Oluşan Su Darbesinin Sayısal Analizi", *Lisans Tezi, Makina Müh. Böl., Müh. Fak., Ege Üniversitesi*.
- [11] Almış, Ç., 2004, "Küresel Valflerde Su Darbesi Etkisi ve Giderme Yöntemleri", *Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi*.