

## KELEBEK VANALARDA AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Habib UMUR\*

İbrahim YÜKSEL\*\*

Mustafa BARIŞ\*\*\*

### ÖZET

*Bu çalışmada, kelebek, sürgülü, küresel vanaların, Reynolds sayısı 20000-100000 arasında olmak üzere, tam açık konumdan, 800 çalışma aralığına kadar olan ve her biri 10° artan çalışma konumlarında, direnç katsayıları tespit edilmiştir. 100 mm çaplı klape üzerine açılmış hidrostatik basınç deliklerinden, tam açık konumdan tam kapalı konuma kadar, statik basınç dağılımı ölçülmüştür. Bu çalışmaların paralelinde, nümerik akış analizlerinin yapılabilmesi amacıyla, sonlu elemanlar metodunu kullanan, bilgisayar yazılımlarından biri olan ANSYS programının, flotran (CFD) yazılım paketi kullanılmıştır. Kelebek vananın, tam açık konumdan 60° çalışma aralığına kadar olan bölgede, ANSYS programında modellenmesi, deney düzeneğinden elde edilen ortalama hız değerleri temel alınarak, akış analizleri yapılmaktadır. Bu şekilde deneysel ve nümerik analiz sonuçları karşılaştırılarak, deney düzeneğinde ölçümü yapılamayacak büyük çaplı kelebek vanaların, akış analizlerinin nümerik olarak modellenmesi amaçlanmıştır.*

---

\* Habib UMUR , Doç.Dr., U.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Müh.

\*\* İbrahim YÜKSEL, Prof. Dr., U.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Müh.

\*\*\* Mustafa BARIŞ, Elmak Mak. San. ve Tic. A. Ş.

## 1 GİRİŞ

Kelebek, küresel, sürgülü vanalar, akışkan hatlarında açma-kapama ve debi kontrolü için kullanılırlar. Vanaların küçük boyutlu hatlar için önemsenmeyen akışkan karakteristikleri, hat boyutları büyüdükçe ve hattın bağlı olduğu sistemin denetlenmesi gerektiği zaman, işletme açısından önem kazanır.

İşletmelerde enerji tasarrufunun sağlanması ve sistemin sağlıklı (çalışma ve açma-kapama anında titreşim, gürültü, kavitasyon gibi problemlerin olmaması veya asgari düzeye indirilmesi) çalışması istenilir. Ancak bu isteklerin gerçekleştirilmesi için çalışma şartlarına bağlı olarak, doğru tercihin seçilmesi gerekir.

Küresel vanalar, 90° dönüş hareketi ile, tam açık konumdan tam kapalı konuma geçerek akışı keserler. Gövdeleri tek parçalı veya çok parçalı olabilir. Yüksek basınçlı tesisatlarda küresel vanalardaki kapama bilyası, bilya oturma yüzeyi üzerine yük uygulayarak vana çalışma torkunu artırır. Bilya oturma yüzeyi metal yapılu küresel vanalar, pis ve aşındırı akışkan tesislerinde kullanılabilir.

Sürgülü vanalar akışı doğrusal hareketle keserler. Sürgülü vana diskinin doğrusal hareketi, disk sapının iç dişli ve dış dişli olmak üzere farklı iki tipi ile sağlanmaktadır. Sürgülü vanalar genel proses servis tesisatlarında, farklı sıcaklıklardaki akışkanlarda, hidrokarbon işletmelerinde, açma-kapama vanası olarak kullanılmaktadırlar. Sürgülü vanalar debi kontrol vanası olarak ve tesisatlara yatay bağlanarak çamurlu akışkanlarda kullanılmamalıdır. Çünkü bu şekilde disk oturma yüzeyi ve disk aşınmaya maruz kalır. Ayrıca partiküller disk oturma yüzeyinde birikerek, sürgülü vananın kapanmada sızdırmazlığı sağlamasını önlerler.

Kelebek vanalar 90° dönüş hareketi ile, tam açık konumdan tam kapalı konuma geçerek akışı keserler. Bunlar konvansiyonel (wafer), yüksek performanslı (eksantrik) kelebek vanalar olabilir. Yüksek performanslı (eksantrik) kelebek vanalar, konvansiyonel kelebek vanalara göre, daha yüksek basınçlı tesisatlarda kullanılırlar (10 bardan 40 bara kadar). Kelebek vanalar çok çeşitli akışkan ortamlarında kullanılabilirler, büyük çaplı hatlara da cevap verebilmeleri ve otomasyona uygun olmaları sebebiyle tercih edilirler. Kelebek vanaların kullanım alanları çok geniştir. Bu çeşitlilik kelebek vana gövdesinin içine yerleştirilen elastomerin çeşitliliği ile paraleldir. (Smith ve Vivian,1996)

Kelebek vanaların avantajları şu şekilde özetlenebilir.

1. Geometrisi gereği tesisatlarda az yer kaplar.
2. Montaj, demontaj ve bakım kolaylığı sağlar.
3. Kelebek vanalarda, klape elastomer iç gömleğe tam oturduğu için sızdırma olmaz.
4. Kelebek vanalarda, gövde içinde bulunan elastomer sayesinde, montaj esnasında ayrıca contaya ihtiyaç duyulmaz.
5. Kelebek vanaların, kolla kumandalı çeşitlerinde bulunan taksimat dairesi ile açmadan kapamaya, her 10° için oransal kontrol sağlanabilmektedir. Aynı oransal kontrolün diğer vanalarda elle oransal hassasiyeti daha azdır.
6. Ayrıca vana mili ve kafa flanş dizaynı sayesinde, aktüatör (pnömatik, elektrikli) montajı çok kolaydır.
7. Kelebek vana, gövdesinin içinde bulunan elastomer sayesinde ısı izalasyonu

sağlar.

8. Kelebek vanaların kullanım alanları çok geniştir. Bu çeşitlilik kelebek vana gövdesinin içine yerleştirilen elastomerin çeşitliliği ile paraleldir. Başlıca kullanıldığı yerler : Sıcak-soğuk su hatları, asit-baz-tuz hatları, sondaj-arıtma istasyonları, klima santralleri, kompresör hatları, gaz-egzost hatları, yangın söndürme devreleri, petrokimyasal tesisler, gıda, kağıt, maden, çimento sanayi şeklinde sayılabilir.

9. Kelebek vanalarda 2000 mm çapına kadar imalat yapılabilmektedir.

## 2 DENEY DÜZENEGİ VE ÖLÇME YÖNTEMLERİ

Şekil 1'de şematik olarak gösterilen kapalı devre su tesisatı; kelebek vanaların akış karakteristiklerinin incelenmesi, sürgülü ve küresel vanalarla karşılaştırılmasının yapılması amacıyla kurulmuştur.

Deney düzeneği 50 mm çapında, hidrodinamik olarak kabul edilebilen bakır borudan imâl edilmiştir. Bu şekilde devrede pas oluşmasının önlenmesi ve sürekli basınç kayıplarının azaltılması amaçlanmıştır. Kapalı devrede sabit hızlı tek kademeli 3 kW'lık bir santrifüj pompa, bir by-pass devresi, sabit akış sıcaklığının sağlanması için 2 kW'lık hava apareyli soğutucu, devrede dolaşan suyun ortalama hızını bulmak için orifisetre, sistemin kalibre edilmesi için 3000-30000 lt/h'lik debi çalışma aralığında rotametre, devredeki havanın alınması için otomatik pürjör, devredeki suyun boşaltılması için boşaltma vanası, basınç farklarının ölçülmesi için sürgülü, kelebek, küresel vanalar bulunmaktadır. Vanalardan basınç farkının tespit edilebilmesi için, 20 mm ile 1000 mmHg aralığında manometreler kullanılmıştır.

Kelebek vanalarda akış karakteristiklerinin incelendiği test düzeneğinde, orifismetreden alınan basınç ölçümlerine göre, tesisattaki suyun ortalama hızı, orifismetre boşaltma katsayıları tespit edilmiştir.

$$\beta = \frac{D_2}{D_1} < 1 \quad (1)$$

olmak üzere, Bernoulli ve süreklilik denklemlerinden,

$$U_2 = \sqrt{\frac{2(\rho_2 - \rho_1) \times g \times \Delta h}{\rho_1(1 - \beta^4)}} \quad (2)$$

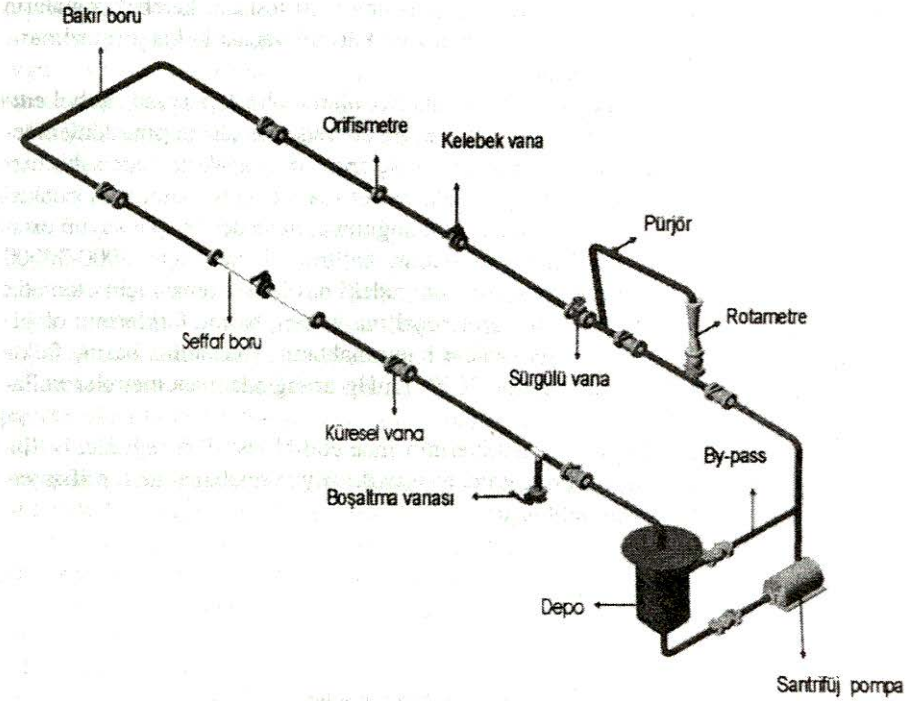
bağıntısından ortalama teorik hız bulunur. Gerçek hızın bulunabilmesi için, sürtünme ve daralma kayıplarını içeren Cd boşaltma (debi) katsayısı Reynolds sayısına bağlı olarak

$$R_e = \frac{U_1 D_1}{\nu} \quad (3)$$

$$C_d = 0.5959 + 0.0312\beta^{2.1} - 0.184\beta^8 + \frac{91.71\beta^{2.5}}{ReU_1^{0.75}} \quad (4)$$

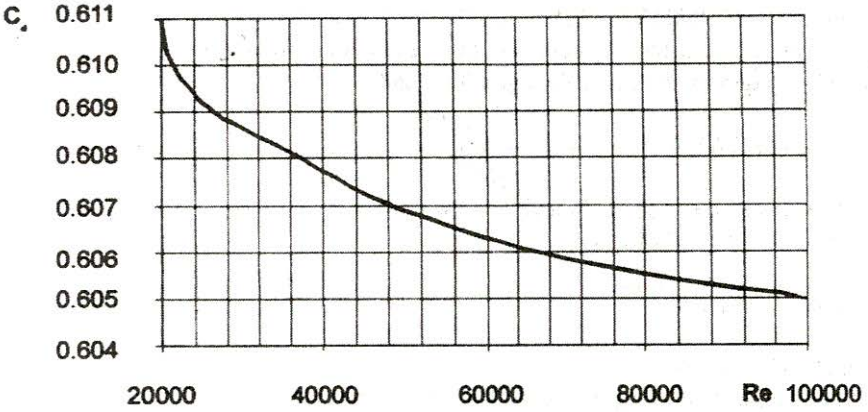
$$U_0 = C_d \times U_2 \quad (5)$$

bulunur.  $C_d$  boşaltma (debi) katsayısı için bu değerde Reynolds sayısına bağlı olarak iterasyonla bulunur, (Umur, 1998). Burada  $U_1$  borudaki akışkan hızını,  $U_2$  orifismetredeki akışkanın hızını,  $D_1$  boru çapını,  $D_2$  orifis metre çapını göstermektedir.



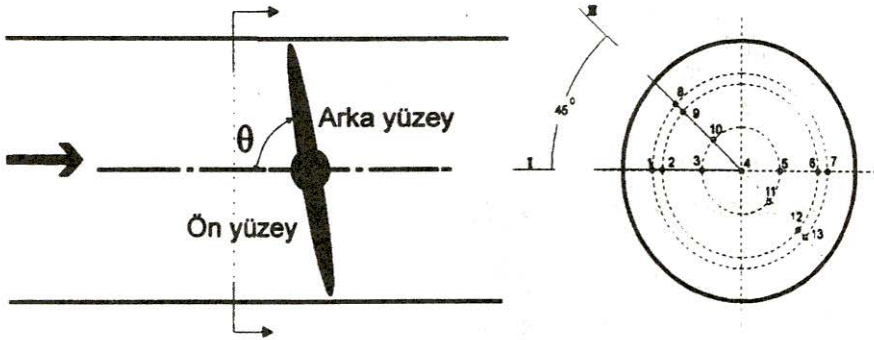
**Şekil 1** Deney düzeneğinin şematik gösterimi

Reynolds sayısına bağlı olarak  $C_d$  boşaltma (debi) katsayısının değişimi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2 Reynolds sayısına göre debi boşaltma katsayısının değişimi

Kelebek vananın klapesi üzerindeki basınç dağılımını bulabilmek için, 100 mm çapındaki klapenin ön yüzüne basınç delikleri açılmıştır. İmalat güçlüğünden dolayı, klape arka yüzeyindeki basınçlar klape ters çevrilerek ölçülmüştür. Klape yüzeyine açılmış basınç delikleri Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3 100 mm çaplı klape yüzeyindeki hidrostatik basınç delikleri

Klape üzerinde eğim açısına bağlı olarak ölçülen hidrostatik basınç dağılımlarının analizi, bölüm 3'de detaylı olarak yapılacaktır.

### 3 DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Sürekli sıkıştırılamaz akış için Bernoulli eşitliği, iki nokta arasında aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$P_1 + (1/2)\rho U_1^2 + \rho g z_1 = P_2 + (1/2)\rho U_2^2 + \rho g z_2 + \Delta P_K + \Delta P_L \quad (6)$$

Burada  $\Delta P_L$  lokal ve  $\Delta P_K$  sürekli kayıpları göstermemektedir. Sürekli basınç kayıpları, tesisatı oluşturan borulardaki pürüzlülük ve Reynolds sayısına bağlı olarak Moody diyagramından, aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta P_K = C_f (L/D) 2\rho U^2 \quad (7)$$

Lokal basınç kayıpları, bağlantı yerlerinin çok kompleks olması nedeniyle ampiriksel veya deneysel olarak

$$\Delta P_L = (K/2)\rho U^2 \quad (8)$$

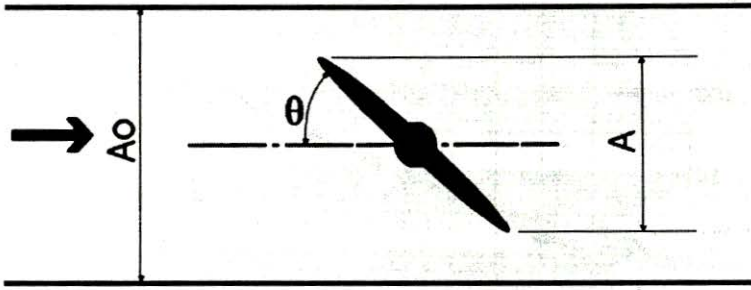
bağıntısıyla bulunur.

Kelebek, küresel, sürgülü vanaların çalışma durumları şematik olarak Şekil 4'de gösterilmiştir.  $A_0$ , akışa dik boru kesit alanı ve  $A$ , klapenin eğim açısına göre dik izdüşüm alanı olmak üzere  $(A/A_0)100$  değeri, yüzde olarak vananın kapalılık oranını belirtmektedir. Burada,

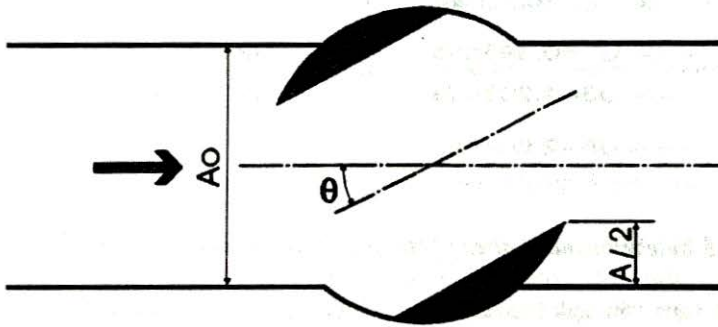
$$A_0 = \frac{\pi D^2}{4} \quad (9)$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \sin\theta \quad (10)$$

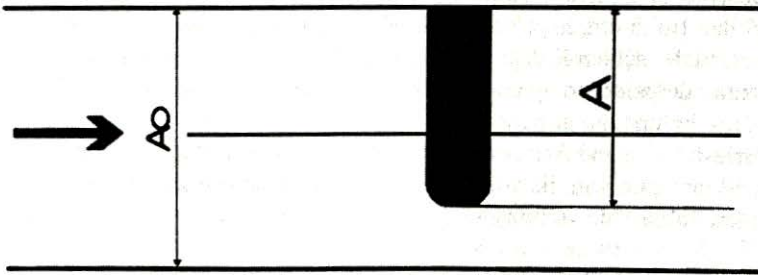
bağıntılarıyla hesaplanır.



a) Kelebek vana



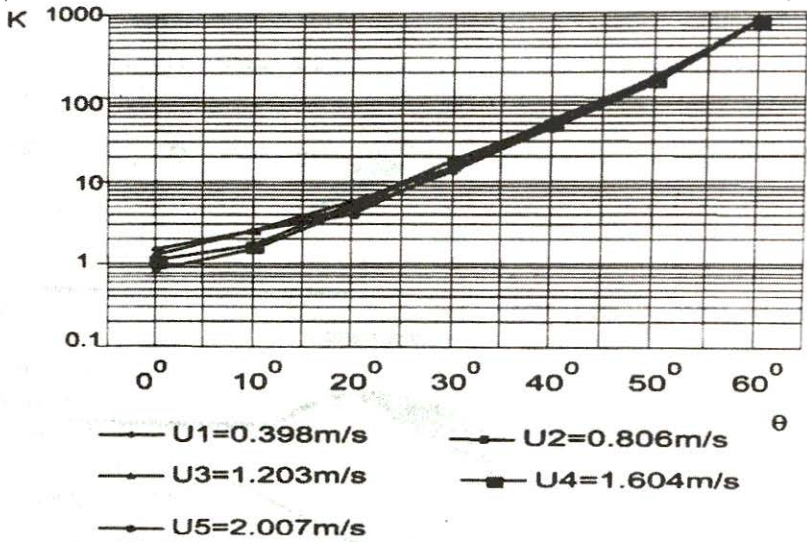
b) Küresel vana



c) Sürgülü vana

**Şekil 4 Kelebek, küresel, sürgülü vanaların şematik gösterimi**

Deney düzeneğinde yapılan ölçümlere göre, 50 mm çaplı kelebek vananın tam açık pozisyondan  $60^0$  kapanma açısına kadar değişen, lokal basınç kayıp katsayısının değişimi Şekil 5’de verilmiştir. Şekil 5’te görüleceği üzere K direnç katsayısı kapalılık oranı ile artarken, artan hızla pek fazla değişmemektedir.



Şekil 5 Kelebek vanada direnç katsayısının hız ve eğim açısıyla değişimi

Kelebek vana tam açık konumda iken, K direnç katsayısının formülü, ticari paslanmaz çelik boru için, Crane Co., 1988'e göre

$$K=45f_T \quad (11)$$

bağıntısıyla bulunabilir. Sürtünme faktörü olarak, 50 mm çap için verilen  $f_T=0.019$ 'dur. Bu durumda bulunan  $K=0.85$  değeri ölçüm verilerine yakındır ve deney düzeneğinde ölçülen K değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Şimdiki ölçüm değerleri ile literatür değerlerinin uyum içinde olduğu ancak, klape formlarından kaynaklanan farkların bulunduğu gözlenmiştir.

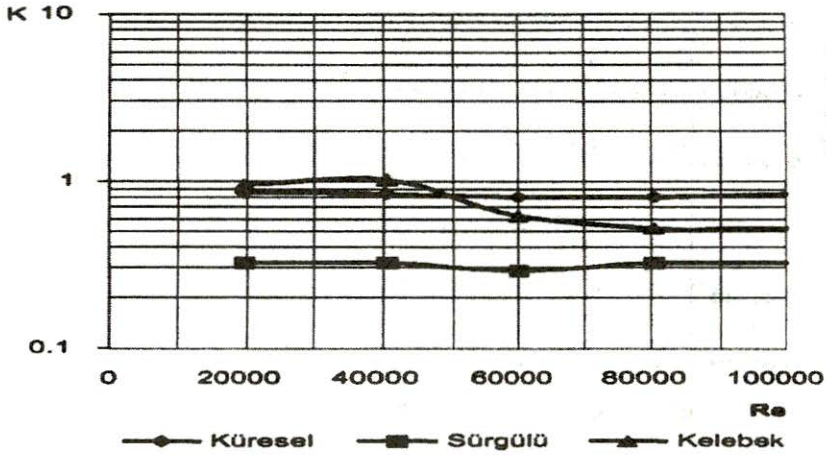
The British Valve and Actuator Manufacturers' Association, 1993'e göre, kelebek vananın 50 mm çapı için, iki konumdaki K direnç katsayı değerleri ve deneysel ölçüm verileri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 θ çalışma açısına bağlı olarak K değerleri

θ	0°	20°
$K_{\text{Literatür}}$	1.97	3.38
$K_{\text{Deney}}$	1.02	3.14

Kelebek, küresel, sürgülü vanaların, tam açık durumda lokal basınç kaybı katsayılarının, Reynolds sayısı ile değişimi Şekil 6'da gösterilmiştir. Reynolds sayısı, boru çapına ve borudaki akışkanın hızına bağlı olarak ( $Re = (U \times D1) / \nu$ ) hesaplanmıştır.





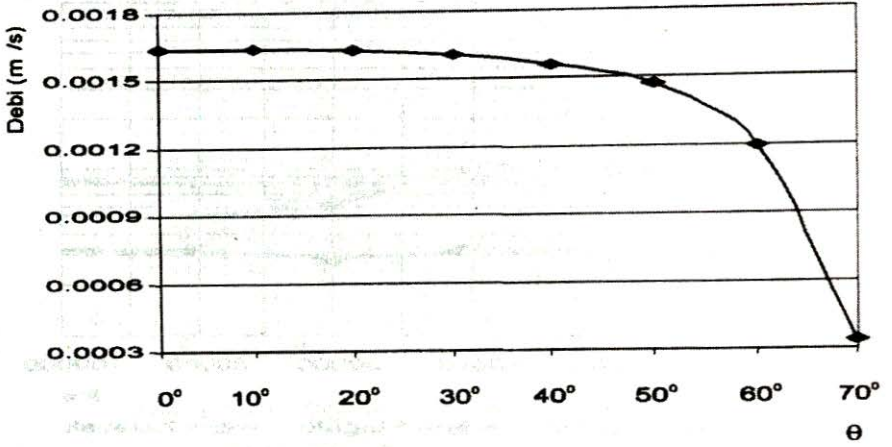
Şekil 6 Tam açık durumda direnç katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 6'da kelebek, küresel, sürgülü vananın tam açık durumda  $20000 < Re < 100000$  aralığında, direnç katsayısıyla değişimi verilmiştir.  $Re = 40000$  iken kelebek vananın lokal basınç kayıp katsayı değeri düşmeye başlamakta,  $Re = 50000$  iken küresel vananın lokal basınç kayıp katsayısı ile eşitlenmekte ve düşüş  $Re = 80000$  değerine kadar devam etmektedir.  $40000 < Re < 100000$  aralığında kelebek vananın lokal basınç kayıp katsayısı, küresel vananın lokal basınç kayıp katsayısından düşüktür.

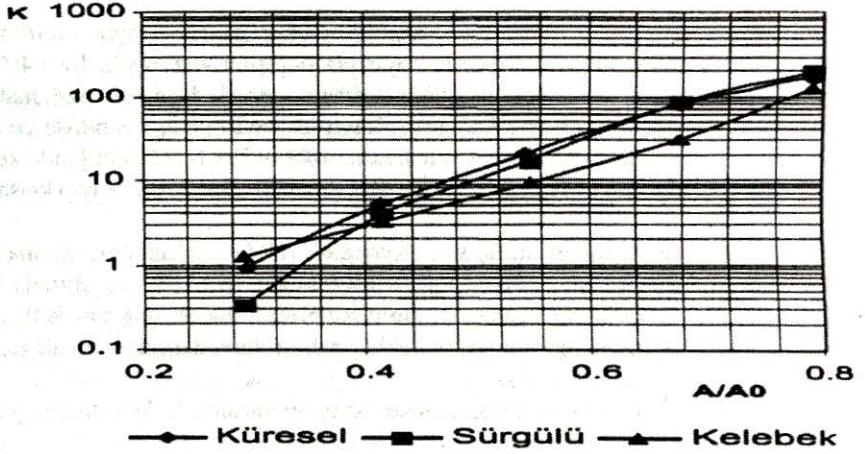
Şekil 7'de kelebek vananın tam açık pozisyonundan,  $70^\circ$  derece kapanma açısına kadar olan çalışma aralığında, debi değişimi  $Re = 40000$  için gösterilmiştir. Burada  $50^\circ$  kapanma açısına kadar olan çalışma aralığında, debi değerindeki değişim %10'un altında iken,  $50^\circ$  kapanma açısının üzerindeki kapalılık durumlarında, debi değerindeki değişim %80'e kadar çıkmaktadır.

Şekil 8'de  $Re = 40000$  için kelebek, küresel, sürgülü vananın A/A<sup>0</sup> oranına göre, direnç katsayıları gösterilmiştir.

Bu ölçümlerde, kelebek vananın tam açık pozisyonundan  $50^\circ$  kapanma açısına karşılık gelen A/A<sup>0</sup> oranı tespit edilip, aynı oran karşısında küresel ve sürgülü vananın lokal basınç kayıp katsayıları tespit edilmiştir. Şekilde 8'de görüleceği gibi tam açık pozisyonundan % 30 kapalı konuma kadar, kelebek vananın direnç katsayısı, sürgülü ve küresel vananın direnç katsayısından daha yüksektir. % 30 kapalı konumdan fazla kapalılık durumlarında, kelebek vananın K katsayısı küresel vananın K katsayısına göre daha düşüktür. % 40 kapalı konumdan fazla kapalılık durumlarında, kelebek vananın K katsayısında, sürgülü vananın K katsayısına göre azalma gözlenmiştir. Bu açıdan bakıldığında kelebek vananın iyi bir debi kontrol vanası olduğu söylenebilir.

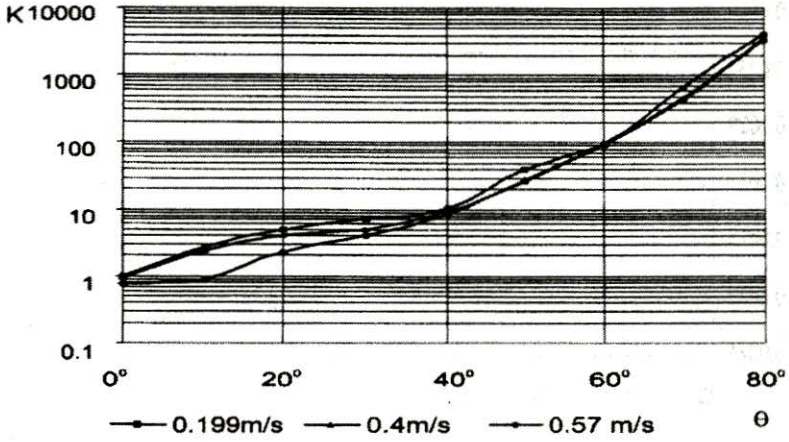


Şekil 7 Debinin kapanma açısıyla değişimi

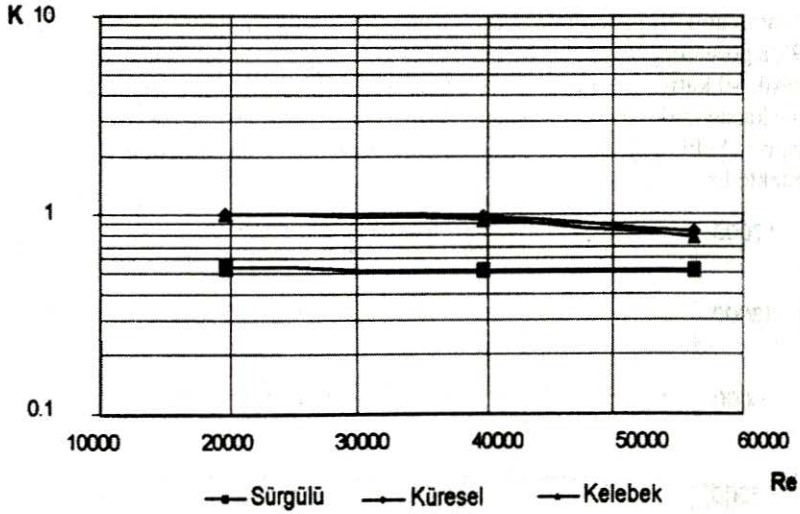


Şekil 8 K direnç katsayısının A/A<sub>0</sub> oranı ile değişimi

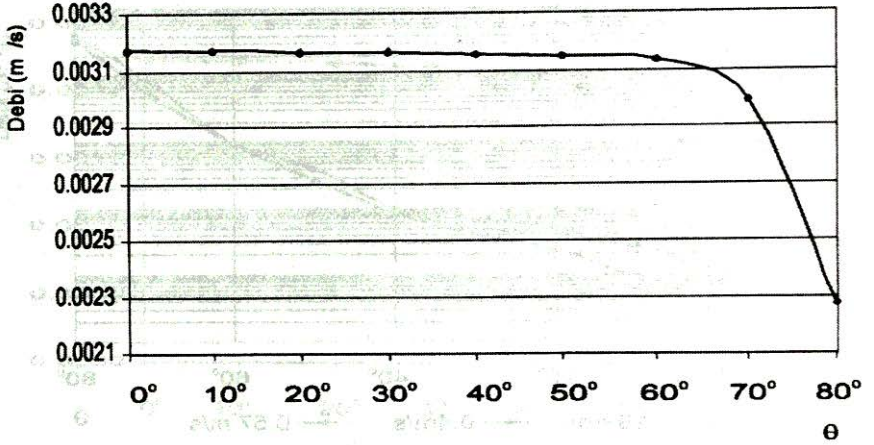
Deney düzeneğinde yapılan ölçümlere göre, 100 mm çaplı kelebek vananın tam açık pozisyondan 80° kapanma açısına kadar değişen, K direnç katsayısının değişimi Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9 K direnç katsayısının ( $D=100$  mm) eğim açısıyla değişimi

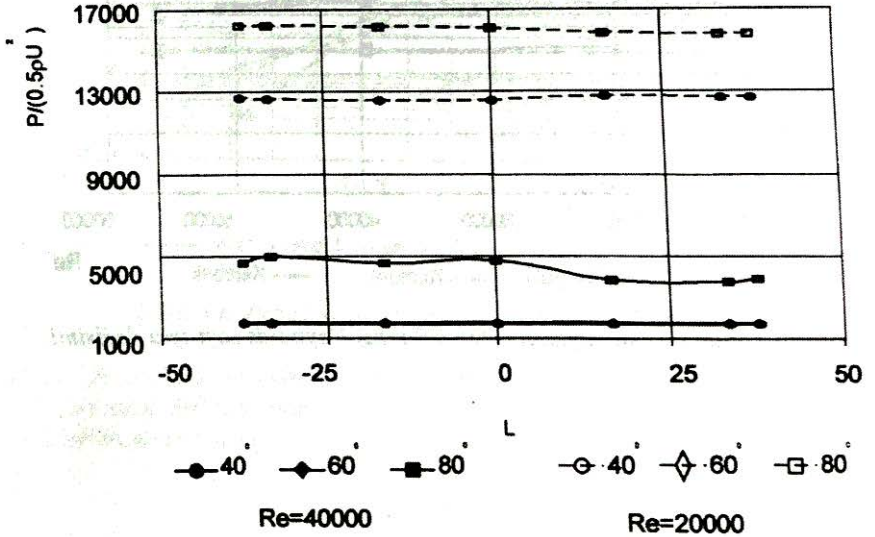


Şekil 10 K direnç katsayısının ( $D=100$  mm) Reynolds sayısıyla değişimi

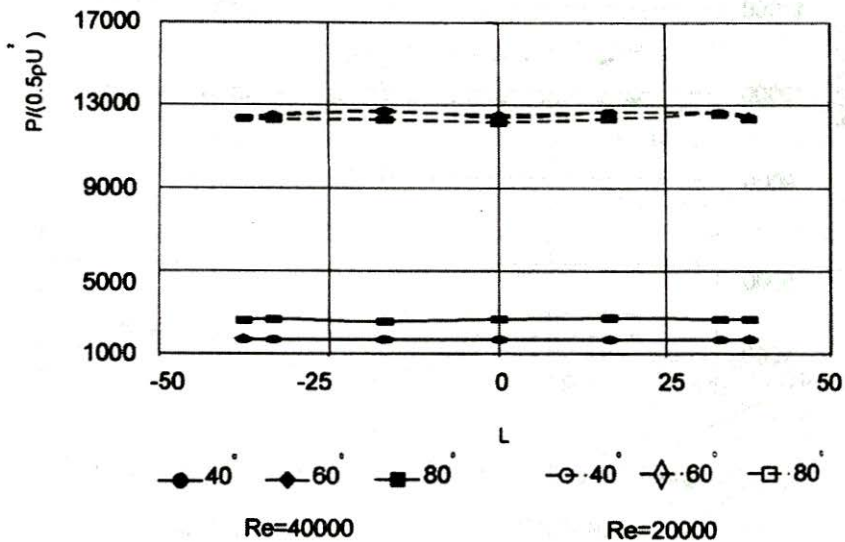


**Şekil 11** 100 mm'lik boruda eğim açısına bağlı olarak debinin değişimi

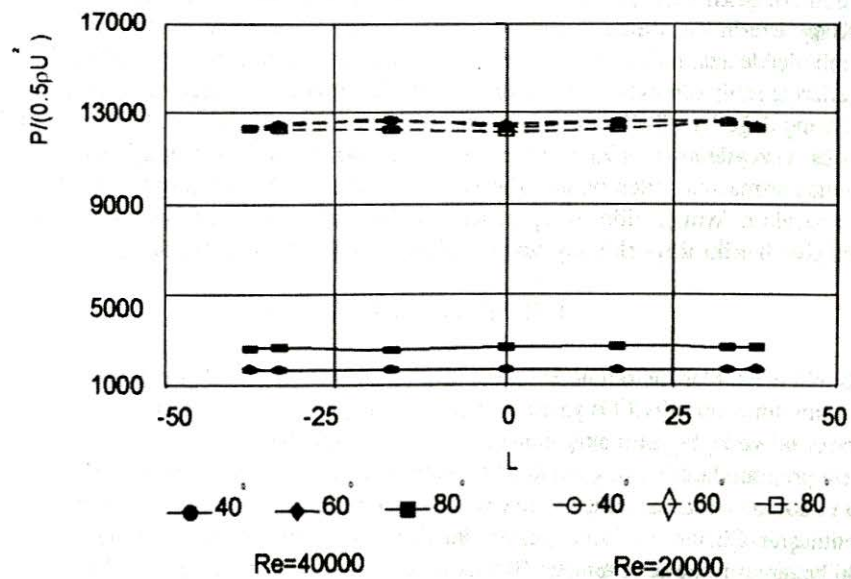
100 mm çaplı klapede alınan ölçümlerde 80°'lik eğim açısına kadar çıkmıştır. Şekil 9'da görüleceği üzere %60 kapalılıkta 100 olan direnç katsayısı %80 kapalılıkta yaklaşık 40 katına çıkmıştır. Direnç katsayısının eğim açısıyla değişimi (Şekil 9), K direnç katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi (Şekil 10) ve debinin eğim açısıyla değişimi (Şekil 11), 50 mm'lik kelebek vanadan alınan ölçümlerle aynı eğilimi göstermektedir.



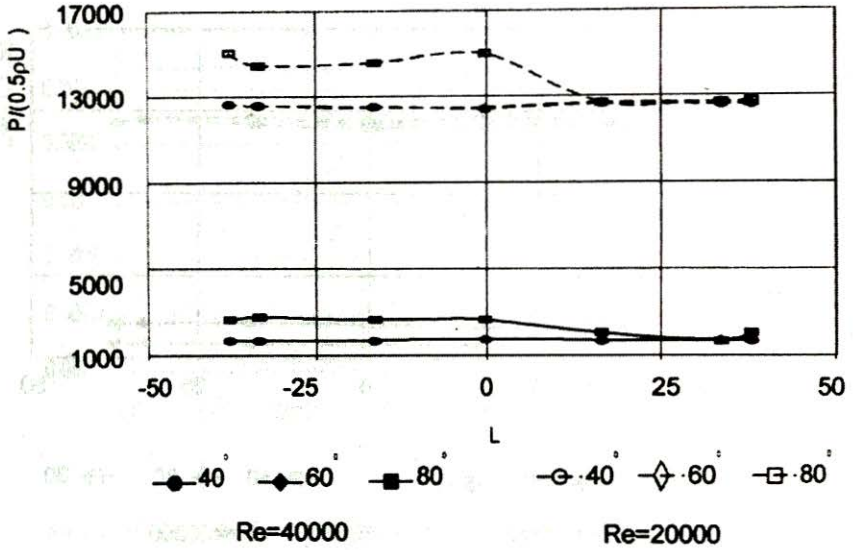
**Şekil 12** Klape ön yüzündeki II doğrultusunda, değişik eğim açılarında basınç dağılımı



Şekil 13 Klape ön yüzündeki I doğrultusunda, değişik eğim açılarında basınç dağılımı



Şekil 14 Klape arka yüzündeki II doğrultusunda, değişik eğim açılarında basınç dağılımı



**Şekil 15 Klape arka yüzeyindeki I doğrultusunda, değişik eğim açılarında basınç dağılımı**

Klape üzerindeki I ve II doğrultusundaki değişik eğim açılarındaki basınç basınç dağılımları; Şekil 12,13,14,15'de  $Re=20000$  ve  $Re=40000$  için gösterilmiştir.

Klape üzerinden alınan ölçümlere göre, Reynolds sayısı ile K direnç katsayısı önemli ölçüde azalmakta ve klape ön yüzeyi, arka yüzeyine göre daha yüksek basınç değerlerine sahip olmaktadır.  $60^\circ$  eğim açısına kadar radyal ve teğetsel yönlerde, statik basınç değerleri %8'lik bir sapmayla yaklaşık sabit kalırken,  $80^\circ$  eğim açısında arka üst yüzeyde hızın %95 azalması ve ayrılmalar neticesinde statik basıncın %20 oranında artmasına neden olmaktadır. Bu kriterler ilerde boyutlandırma göz önüne alınacaktır. Aynı şekilde  $80^\circ$  eğim açısında hidrostatik basınç değeri, tam açık duruma göre her iki Reynolds sayısında, yaklaşık %50 oranında artmaktadır.

#### 4 NÜMERİK ANALİZ

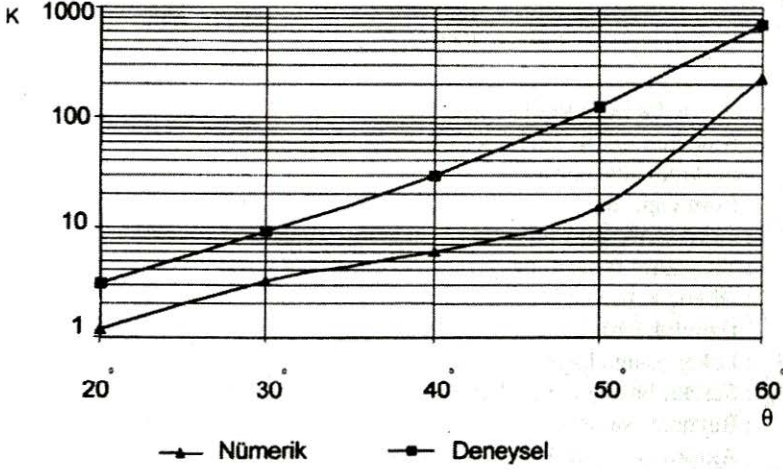
Sonlu elemanlar metodunu kullanan bilgisayar yazılımlarından biri olan ANSYS programının, flotran (CFD) yazılım paketi ile akış analizleri, uygun sınır şartlarıyla beraber iki ve üç boyutlu akış alanlarında yapılabilmektedir

Bu programda, 50 mm çaplı kelebek vana klapesi tam açık pozisyonda modellenip ve sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm yapılabilmesi için, mesh (ağ) yapısı oluşturulmuştur. Çözüm için, sınır şartları olarak alınan klape yüzeyleri ve boru cidarındaki hızlar sıfır olarak alınmıştır. Bu analizde  $Re = 40000$  değerinde, modellenen sisteme giren ve çıkan kütleli debi eşitliğine bakılarak %1 sapma olduğu tespit edilmiştir. Bir önceki iterasyonla bir sonraki iterasyondaki basınç değerlerindeki sapma %2 mertebesinde tespit edilmiştir. Bu değerler uygun kabul edilerek, çözüm 800'üncü iterasyonda sonlandırılmıştır. ANSYS'de yapılan analizde, giriş ve çıkış mesafe-

leri deney standında olduğu gibi alınarak, boru cidarına yakın düğüm noktaları seçildiğinde, vana girişinde 1258.8 Pa ve çıkışında 948.8 Pa basınç değerleri tespit edilmiştir. Bu durumda  $DP=1258.8-948.8=310$  Pa basınç farkı elde edilmiştir.

Test düzeneğinde  $Re =40000$  değerinde basınç farkı 330.8 Pa olarak bulunmuştur. Deneysel ve nümerik veriler arasında elde edilen basınç farkı % 6.7 nispetinde oluşmuştur. Bu sonuç kabul edilebilir bir büyüklüktür.

50 mm çaplı kelebek vananın,  $20^{\circ}$ 'den  $60^{\circ}$  çalışma aralığına kadar olan ve her biri 100 artan çalışma konumlarında, ANSYS programında modellenmesi yapıлып, deney düzeneğinden elde edilen ortalama hız değerleri temel alınarak, akış analizleri Şekil 16'da gösterilmiştir.



**Şekil 16 Eğim açısına bağlı olarak K direnç katsayısının deneysel ve nümerik değerlerinin karşılaştırılması**

Klape yüzeyi üzerindeki hidrostatik basınç dağılımlarının nümerik olarak hesaplanması çalışmalarına ise hâlen devam edilmektedir.

## 5 SONUÇ

Deneysel direnç katsayısının, vanalar tam açık pozisyonda iken Reynolds sayısı ile değişmediğini, ancak konstrüksiyon gereği, sürgülü vananın en düşük direnç katsayısı değerine sahip olduğunu göstermiştir. Kısmen açık durumda ise kelebek vana-daki direnç katsayısı, vananın %30 kapalılık oranını geçmesi halinde küresel ve sürgülü vananın direnç katsayısından daha düşük olmaktadır. Debideki değişim vananın %75 kapalı durumuna kadar %15 azalırken, daha yüksek kapanma oranlarında debi, çok hızlı şekilde düşmektedir. Büyük çaplı kelebek vanalarda da elde edilen deneysel veriler yaklaşık aynı neticeleri vermiştir.

Klape üzerinde I ve II doğrultularındaki noktalardan alınan ölçümlere göre, hidrostatik basınç dağılımı, ön ve arka yüzeyde  $60^{\circ}$  eğim açısına kadar %10 civarında

bir artma gösterirken,  $80^0$  eğim açısında hidrostatik basınç %50 nispetinde, tam açık duruma göre artmaktadır. Ayrıca klapa ön yüzeyindeki basınç arka yüzeydeki basınç değerlerinden daha yüksektir.  $80^0$  eğim açısında klapa arka yüzeyinde oluşan ayrılmalar, basıncın da arka üst bölgede %20 artmasına neden olmaktadır.

AR-GE kapsamında yapılması planlanan non-Newton akış analizlerinden, non-Newton akışkanın viskozitesinin belirlenmesi için gereken, konik tablalı viskozimetrenin maliyetinin yüksek oluşu sebebiyle vazgeçilmiştir. Bununla beraber, eldeki mevcut bilgisayarla nümerik analizlerin uzun sürmesi sebebiyle, nümerik analizlerin 200 mm çaplı klapelere kadar sınırlı tutulmasına karar verilmiştir. 50 mm ve 100 mm çaptaki kelebek vanalar için farklı su sıcaklıklarında, klapenin akış karakteristiklerinin belirlenmesi ve nümerik analizler de devam etmektedir.

### SEMBOLLER :

- $A_0$  : Akışa dik boru kesit alanı ( $m^2$ )  
 $A$  : Klapenin dik izdüşüm kesit alanı ( $m^2$ )  
 $C_f$  : Sürtünme katsayısı (-)  
 $D_1$  : Boru çapı (m)  
 $D_2$  : Orifis metre çapı (m)  
 $g$  : Yerçekimi ivmesi ( $m^2/s$ )  
 $K$  : Direnç katsayısı (-)  
 $L$  : Uzunluk (m)  
 $\Delta P_L$  : Lokal basınç kaybı ( $N/m^2$ )  
 $\Delta P_K$  : Sürekli basınç kaybı ( $N/m^2$ )  
 $Re$  : Reynolds sayısı (-)  
 $u$  : Akışkanın x yönündeki hızı (m/s)  
 $\rho$  : Akışkan yoğunluğu ( $kg/m^3$ )  
 $\mu$  : Akışkanın dinamik viskozitesi (Pas)  
 $\nu$  : Akışkanın kinematik viskozitesi ( $m^2/s$ )  
 $\theta$  : Vana eğim açısı

### KAYNAKLAR

1. Crane Co., "Flow of Fluids Through Valves, Fittings, and Pipe", Technical Paper No.410 M, 1988.
2. Smith, E and Vivian, B.E., "An Introductory Guide to Valve Selection", Mechanical Engineering Publications Limited, London, 1996.
3. The British Valve and Actuator Manufacturers Association, "The Valve and Actuator User's Manual", 1993.
4. Umur, H., "Akışkanlar Mekaniği", Alfa Basımevi, İstanbul, 1998.