

# Ada Tipi Solenoid Valflerde Akış Analizi Yardımı ile Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

Kadir Çavdar<sup>\*1</sup>, Mustafa Karataş<sup>2</sup>, Hüseyin Yaşar<sup>3</sup>

## ÖZ

Pnömatik kontrol alanında kullanılan solenoid valflerde oluşan iç akışların incelendiği bu çalışmada, valf pistonunun iki farklı konumu sonucunda oluşan ve akışkanın izlediği A ve B hatlarında, hat boyunca meydana gelen basınç değişiklikleri ve hız değişimleri analiz edilmiştir. A ve B hatları içinde valf üzerinde bazı tasarım değişiklikleri yapılarak bunların etkileri gözlenmiştir. Tasarım iyileştirmeleri ile sağlanan hız ve basınç dağılımında gözlenen değişiklikler, valfte oluşan akış kayıplarının azaldığı şeklinde yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Valf adası, CFD, pnömatik

## Determination of Design Parameters in Solenoid Valves Groups By Means of Flow Analysis

### ABSTRACT

In this study, the flow characteristics of a solenoid valve used in the pneumatic controls were analysed and the pressure and velocity changes along the line in the A and B lines which are formed as a result of two different positions of the valve piston are introduced. Some design changes were made on the valve in lines A and B and their effects were observed. The changes observed in the speed and pressure distribution provided by the design improvements were interpreted as an improvement in the flow losses occurring in the valve.

**Keywords:** Valve groups, CFD, pneumatic

---

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 06.10.2019

Kabul/Accepted : 13.02.2020

<sup>1</sup> Prof. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa - cavdar@uludag.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9126-0315

<sup>2</sup> Hid-Tek AR-GE Merkezi - mustafa.karatas@hid-tek.com.tr, ORCID: 0000-0002-1198-3714

<sup>3</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa - huseyinyasar@uludag.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8137-7253



## GİRİŞ

Yazılım kontrollü pnömatik solenoid ada valfleri; su, atık su, kimya, petrol, gaz, biyoteknoloji, ilaç, gıda, içecek, otomotiv, makine imalat, enerji, ağaç işleme, kâğıt ve madencilik gibi sektörlerin otomasyon sistemlerinde kullanılmaktadırlar. Kompakt yapıları sayesinde az yer kaplayıp makinelerdeki birçok kumanda işlemini hızlı şekilde yapabilirler.

Yazılım kontrollü pnömatik solenoid ada valfleri, elektriksel uyarı sistemi ile bütün otomasyon sistemlerine kolay bağlantı ve haberleşme sağlayabilen kullanışlı yapılarıdır. Günümüzün modern makinelerinde sıklıkla kullanılmaktadırlar. En fazla 128 solenoid valf kontrol edebilecek şekilde genişletilebilen valf adalarında bir hattan daha fazla valfin kontrol edilebilmesi mümkündür. Böylelikle hat sayısında ve kabinde kablolama, borulama ve diğer elektrik bağlantılarında tasarruf ile avantajlar elde edilebilir. Bu çalışmada, solenoid valfin tasarımında kullanılabilecek bir yaklaşım açıklanmaktadır. Valf içerisindeki akış analiz edilerek iç yapının uygun formda hazırlanması amaçlanmıştır.

Üç boyutlu CFD modellemesi kullanılarak akışla ilişkili kuvvetlere (basınç kuvveti ve viskoz kuvvet) yönelik bir hesaplama yöntemi önerilen çalışmada ilk olarak her yörengeden akış ile ilişkili kuvvetler tarafından etkilenen yüzey tanımlanmış ve ardından CFD metodu kullanılarak akış kuvvetlerinin değerleri belirlenmiştir. Çalışmada akış kuvvetlerini azaltmak amacıyla valf gövdesine ilave dâhili kanallar eklenmiştir [1]. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) ve deneysel araştırmalar yoluyla oluk formunun akış karakteristikleri üzerine yapılan çalışmada üç kademelin kısma rijitliği incelenmiştir; sonuçlara göre, avantaj olarak farklı U-şeklindeki olukların, küremsi-şekilli oluklarla üçgen-şekilli olukların arasına düştüğü görülmektedir [2].

Üç boyutlu akışkan-dinamiği yaklaşımının en iyi valf geometrisini geliştirmede, prototip ihtiyaçlarını azaltmada, sonuç olarak pazara giriş zamanlamasında ve geliştirme maliyetlerinin azaltılmasında mühendislere çok yönlü yardımcı olabileceği belirtilmektedir. Benimsenen metodoloji, valf tasarımcısına valf performansını geliştirmek hedefiyle iç geometrinin tasarımında büyük ölçüde yardımcı olmaktadır [3].

3/2 pnömatik bir valf için yapılan çalışmada farklı çaplarda ( $\phi 6$  mm,  $\phi 8$  mm,  $\phi 12$  mm) pnömatik bağlantı elemanları kullanarak ve bağlantı elemanı kullanılmayan durumları için valf içinde akan havanın basınç ve hız değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada, Ansys CFX yazılımı kullanılmış olup k- $\epsilon$  türbülans modeli ile çözümler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, hesaplamalı akışkanlar dinamiği yönteminin tasarım çalışmalarının karar verme sürecinde etkin bir şekilde kullanılabileceği belirtilmektedir [4].

Bir başka 3/2 pnömatik bir valf çalışmasında, aynı çalışma şartları için numerik ve deneysel metodlarla karşılaştırmasını yapmış ve iki çalışma arasındaki farkı ortaya

koymuşlardır. İki metod ile yapılan çalışmalar neticesinde yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür ve bağıl hata %1,8 olarak bulunmuştur. Bu çalışma sonucunda hesaplamalı akışkanlar dinamiği yönteminin kullanılması, pahalı test ekipmanlarının ve zaman kaybının önüne geçilmesi için alternatif olarak görülmektedir [5].

Hidrolik bir valfin tasarımı için numerik ve deneysel çalışmalar sonucunda, ilk olarak mevcut bir valf belirlenmiş ve bu valfin tasarımları kullanılarak, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) metodu ile valf içindeki basınç değişimleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar yorumlanarak yeni bir tasarım ortaya konmuştur. Yeni tasarım ile birlikte valf boyunca basınç kayıplarında %11 oranında azalma görülmüştür. Bu tasarım ile prototip üretimi yapılarak test çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Numerik yöntem ile deneysel yöntemin karşılaştırılması sonucunda hatanın % 1'in altında kaldığı belirtilmektedir [6].

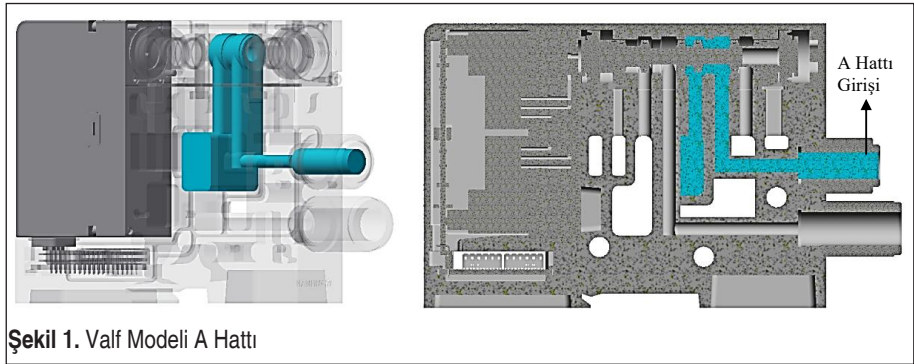
Literatürde bundan başka çok sayıda çalışmada türbülanslı boru akışı incelenmiş ve hem deneysel hem de teorik sonuçlar rapor edilmiştir [7-10].

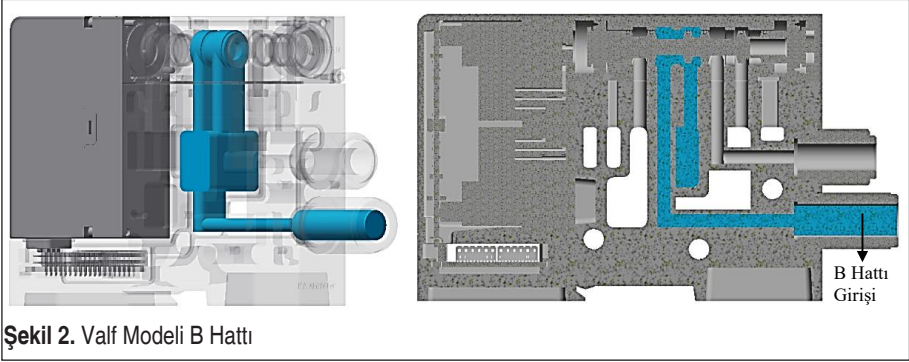
Yukarıdaki bilgiler incelendiğinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yöntemi kullanılarak yapılan çalışmaların sonuçları ile valf modellerinin prototipleri ile yapılan deney sonuçları karşılaştırıldığında hata paylarının düşük olduğu görülmektedir. Tasarım süreçlerinde numerik yöntemler kullanılarak yapılan çalışmalar, prototip masraflarını ve üretim ve testlerde harcanan zamanın azalmasına katkı sunmaktadır.

## 2. VALF ANALİZ MODELİNİN OLUŞTURULMASI

CFD analizinde kullanılmak üzere ilk olarak valfin A ve B akış hatları için modeller hazırlanmıştır. Valf modelleri için Autodesk Inventor yazılımı kullanılmıştır. Pistonun pozisyonuna göre değişen ve aktif hale gelen hatlar için A ve B hattı olmak üzere 2 ayrı model hazırlanmıştır. Bu modellerden A hattı Şekil 1 ve B hattı Şekil 2'de gösterilmiştir.

Analiz çalışması sonucunda elde edilen ilk sonuçlara göre; aynı hatlar için bazı deği-





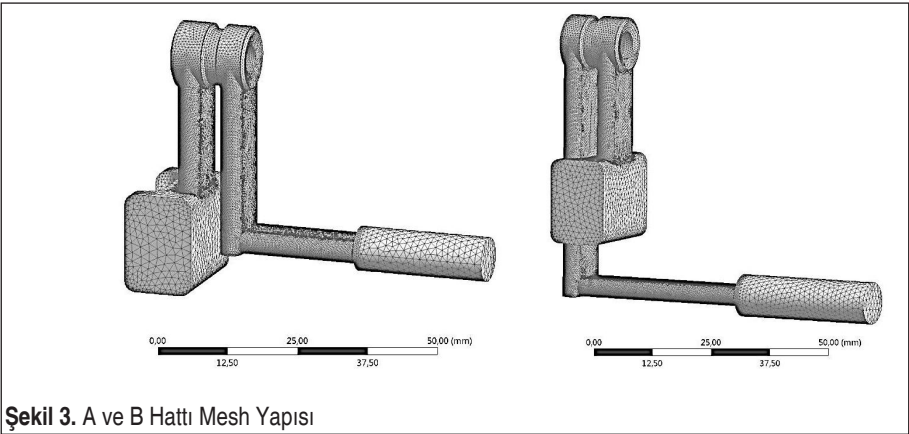
Şekil 2. Valf Modeli B Hattı

şiklikler yapılarak, bu değişikliklerin valf üzerindeki etkileri de ayrıca incelenmiştir. Benzer modeller güncellenmiş valf tasarımları için de uygulanmıştır.

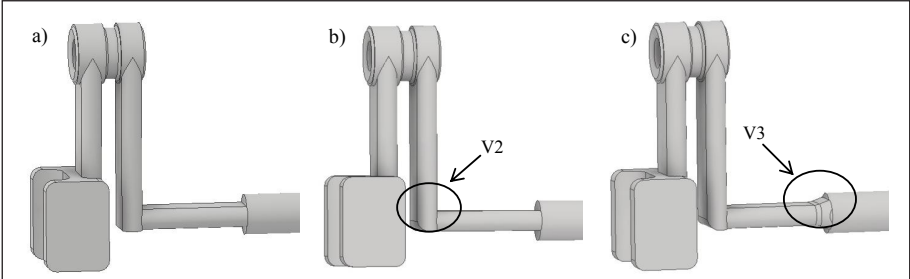
Şekil 3'te A hattı ve B hattı için hazırlanmış örgü yapısı verilmektedir. Örgü yapısının oluşturulması ve çözümlemenin yapılması için ANSYS yazılımı Workbench modülünde bulunan Fluent uygulaması kullanılmıştır. Örgü yapısının düzenlenmesi ve geliştirilebilmesi için "Curvature" mesh tipi kullanılmıştır. Analiz modeli için kullanılacak olan mesh yapılarında; A hattı için 82694 adet düğüm, 416040 adet mesh elemanı, B hattı için 107012 adet düğüm, 540448 adet mesh elemanı kullanılmıştır. Her iki model için inflation katmanı maksimum 5 seçilmiştir.

Çalışmada akışkan olarak hava seçilmiştir. Analiz çözümlerinde duvarlarda kayma olmadığı, modelin termal denge koşullarında olduğu ve pistonların A ve B hattı için tam olarak yerleşmiş durumda olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca kanal duvarlarının pürüzlülüğü ihmal edilmiştir.

Valfte pistonun iki farklı konumu sonucunda oluşan A ve B hattı için yapılan tasarım



Şekil 3. A ve B Hattı Mesh Yapısı



Şekil 4. Valf A Hattı Üzerinde Yapılan Değişiklikler, a) V1 b) V2 c) V3

değişiklikleri V2 ve V3 tipleri olarak belirlenmiştir. V2’de havanın ilerleyeceği hatta değişiklik yapılırken (Şekil 4), V3 tipinde hava girişinin olduğu bölgede değişiklik yapılmıştır. Benzer değişiklikler B hattında da yapılmıştır. İlk tasarımlar ise V1 olarak isimlendirilmiştir.

### 3. CFD YÖNTEMİ KULLANILARAK AKIŞ ANALİZİ

#### 3.1 Türbülans Modeli

ANSYS/Fluent üzerinde yapılan çalışmalarda yazılım, k-ε, k-ω ve Reynolds türbülans modelleri ile çalışma imkânı vermektedir. Bu çalışmada k-ε türbülans modeli seçilmiş olup, incelenen pek çok çalışmada ([1],[2],[7]) k-ε türbülans modelinin tercih edildiği görülmüştür. Türbülans kinetik enerjisi k ve dağılıma faktörü ε bu yaklaşıma göre hesaplanmaktadır. k-ε türbülans modeli genel denklemi 1 ve 2 numaralı denklemlerde verilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (2)$$

Bu denklemlerde;  $G_k$ : Ortalama hız değişiminin neden olduğu türbülansın kinetik enerjisindeki artışı temsil etmektedir.  $G_b$ : Kaldırma kuvvetinden kaynaklı enerji olup YM: Akışkanın sıkıştırılabilirliği ile ilgili enerjidir.  $C_{1\varepsilon}$ ,  $C_{2\varepsilon}$  ve  $C_{3\varepsilon}$  model sabitleridir.  $S_k$  ve  $S_\varepsilon$  sırasıyla Prandtl sayılarıdır.

Türbülans viskozitesi  $\mu_t$  ise (3) bağıntısı yardımıyla hesaplanır ve burada  $C_\mu$  sabit bir değerdir:

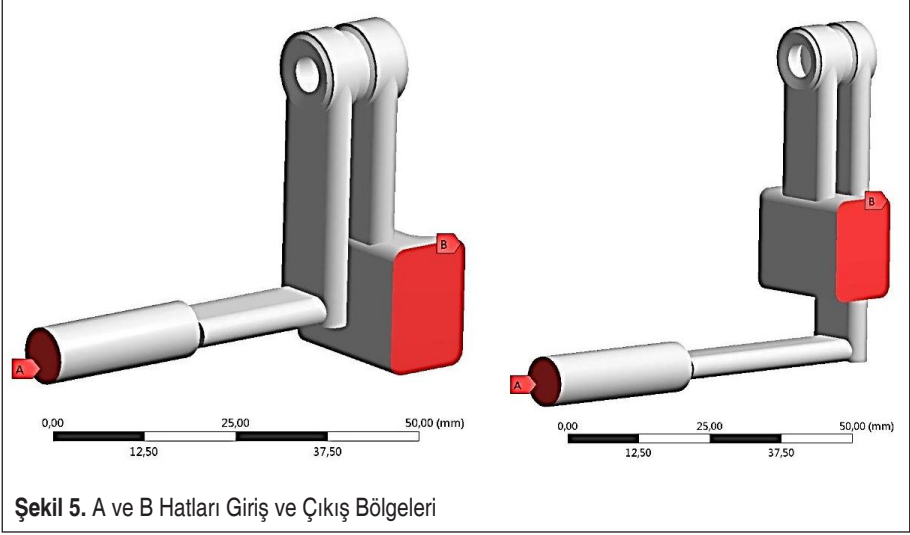
$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3)$$



Model sabitleri  $C_{1e}=1,44$ ,  $C_{2e}=1,92$ , ve  $C_{3e}=1,0$ ,  $C_{\mu}=0,09$ ,  $S_k=1,0$  ve  $S_e=1,3$  olarak alınmıştır.

### 3.2 Sınır Şartları ve Parametreler

ANSYS/Fluent yazılımında yapılacak çalışma için hat boyunca ilerleyecek akışkanın giriş ve çıkış bölgeleri belirlenmiştir, Şekil 5'te verilen görsellerde A: Giriş (inlet), B: Çıkış (outlet) olarak tanımlanmıştır.



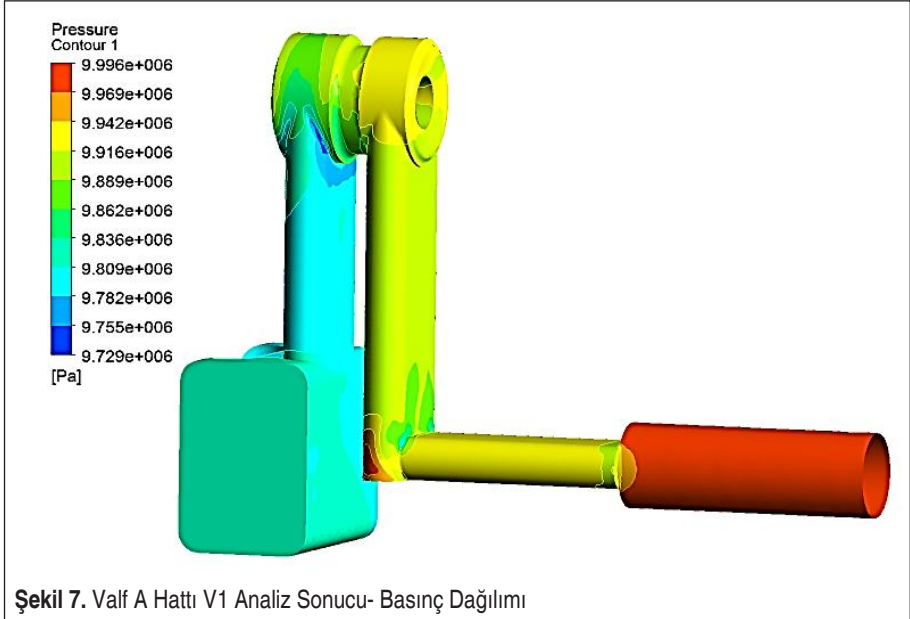
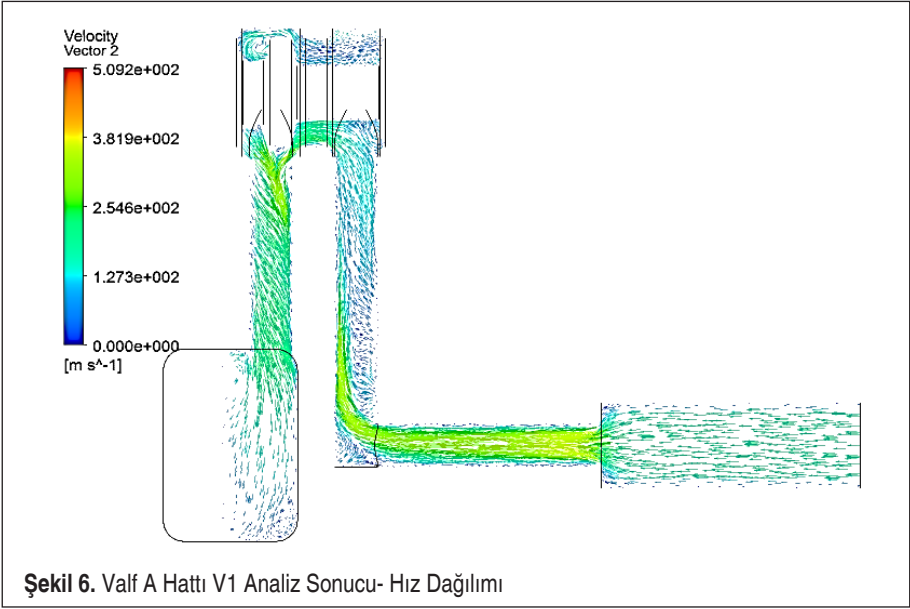
Şekil 5. A ve B Hatları Giriş ve Çıkış Bölgeleri

Yazılıma her bir analiz için giriş basıncı 10 bar, çıkış basıncı 9,8 bar olarak girilmiştir. Valf malzemesi alüminyum olarak belirlenmiştir ve yazılım kütüphanesinde bulunan değerler kullanılmıştır. Aynı şekilde akışkan olarak hava, yazılım kütüphanesinden seçilmiş olup  $1,225 \text{ kg/m}^3$  yoğunluk ve  $1,7894e-05 \text{ kg/m.s}$  viskozite değerleri kullanılmıştır.

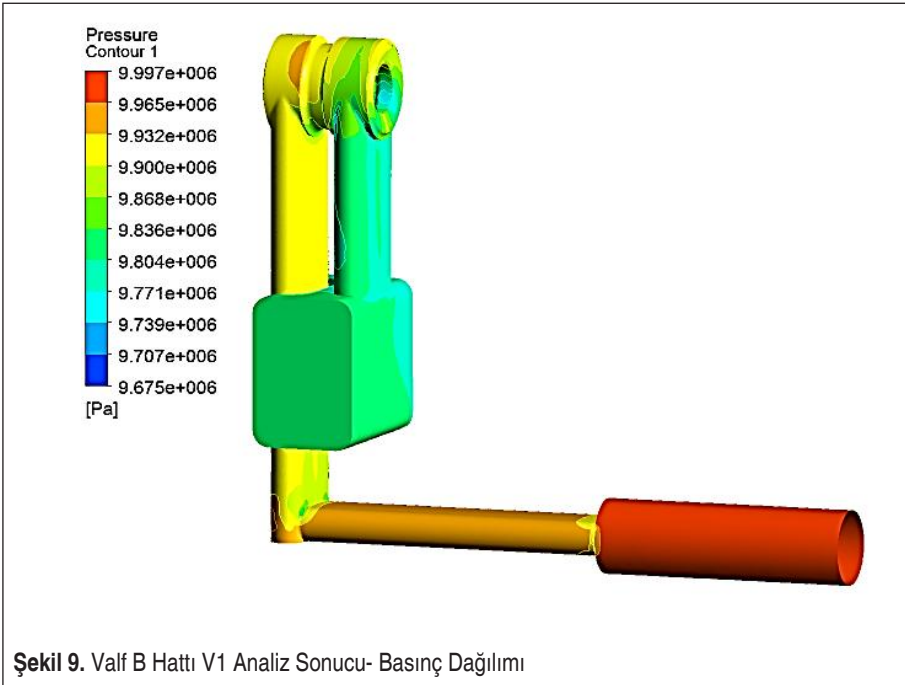
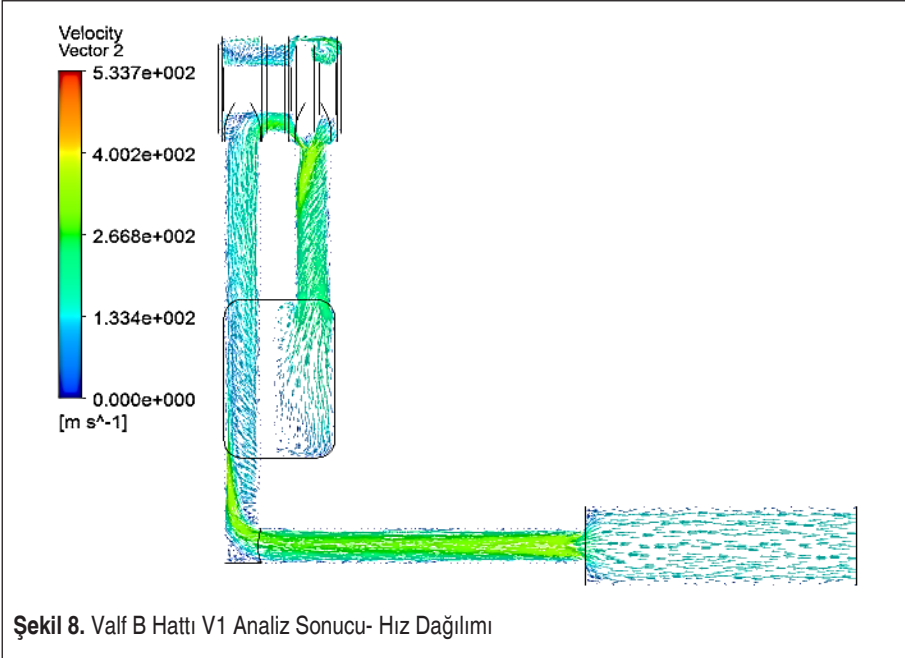
### 3.3 Analiz Sonuçları ve Karşılaştırma

Sınır şartları ve parametreleri tanımlanan analiz çalışmasının sonucunda, A hattına ait 3 farklı model ve B hattına ait 3 farklı model için elde edilen çıktılar irdelenmiştir. Analiz çıktılarında basınç dağılımları ve hız değerleri incelenmiştir.

Şekil 6'da A hattının ilk hali için vana içindeki hız dağılımları verilmiş olup en yüksek hız değeri 509,2 m/s olarak elde edilmiştir. A hattı üzerinde yapılan değişiklikler sonucunda ikinci versiyon (A-V2) 511,1 m/s olup, üçüncü versiyonda (A-V3) 497,7 m/s hız değerleri bulunmuştur. Şekil 9'da A hattının ilk hali (A-V1) için basınç dağılımı incelendiğinde en düşük basınç 9,73 bar olarak görülmüştür. A hattı V2 ve V3 tiplerinde ise en düşük basınç 9,7 bar olarak elde edilmiştir.



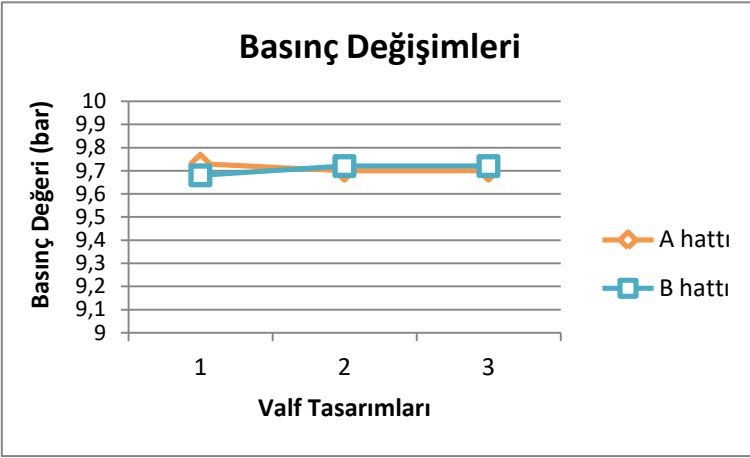
B hattı analiz sonuçlarında ise B hattının ilk durumu (B-V1) için en yüksek hız değeri 533,7 m/s'dir (Şekil 10). B-V2 durumu için en yüksek hız değeri 492,4 m/s olup, B-V3 için en yüksek hız değeri 507,3 m/s'dir. B hatları için basınç dağılımları ince-



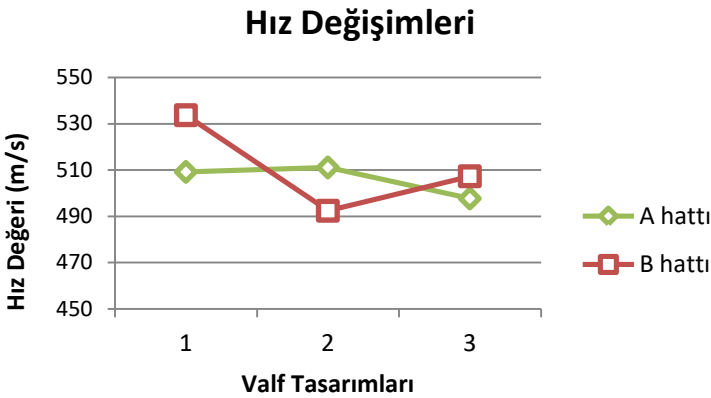


lendiğinde; B-V1 hattı için en düşük basınç 9,68 bar, B-V2 hattı için 9,72 bar olup son durum olan B-V3 için en düşük basınç değeri 9,72 bardır.

Analiz çalışması sonucunda elde edilen verilere göre, A ve B hatları ayrı ayrı düşünülerek, her iki hat için de yapılan değişikliklerin etkileri gözlemlenmiştir. Bu değişiklikler grafiklere aktarıldığında Şekil 10 ve Şekil 11’de verilen sonuçlara ulaşılmıştır.



Şekil 10. Tasarlanan 3 Tip Valfe Ait A ve B Hatları İçin Basınç Değişimleri



Şekil 11. Tasarlanan 3 tip Valfe Ait A ve B Hatları İçin Hız Değişimleri



## 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Pnömatik solenoid valfler endüstriyel otomasyon sistemlerinin kontrolü için en önemli ürün gruplarından. Pnömatik valflerin kararlı çalışması, basınç kayıplarının minimize edilmesi ile mümkündür. Bu çalışmada, ön tasarımları gerçekleştirilen solenoid valfin, havanın ilerlediği yol boyunca kayıpların azaltılması hedeflenerek farklı tasarımlar üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Her bir tasarım için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) numerik yöntemi kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir.

Analiz sonuçları irdelendiğinde, tasarım değişikliği sonucunda valfin A ve B hattı için basınç kayıplarının az da olsa azaldığı görülmüştür. Burada maksimum basınç değerleri çıkış noktasında olduğu için hemen hemen aynı değerlere sahiptir. Ancak, basınç ve hız değişimleri tasarımlara göre farklılık göstermektedir. Bu farklar tasarımcıya hangi tasarımın daha uygun olduğu konusunda fikir verebilir.

Tasarım parametreleri (çap, köşe radyüsleri, boru uzunlukları vb) değişiklikler sonucunda hız değerlerinin ilk duruma göre az miktarda düştüğü ancak hız dağılımının daha stabil olduğu ve türbülansların azaldığı gözlenmiştir. Çalışmanın çıktısı olarak, ön tasarımın doğrulanması ve iyileştirilmesi için numerik yöntemlerin kullanılması gerektiği ve bunun sonucunda da zaman ve prototip maliyetlerinin azaltılabileceği söylenebilir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK TEYDEB tarafından desteklenen 7160675 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

## 5. KAYNAKÇA

1. **Lisowski, E., Czyżycki, W., Rajda, J.** 2013. Three dimensional CFD analysis and experimental test of flowforce acting on the spool of solenoid operated directional control valve. *Energy Conversion and Management*, 70: 220–229.
2. **Ye, Y., Chen-Bo, Y., Xing-Dong, Y., Wei-jinZhou, L., Feng-feng, Y.** 2014. Effects of groove shape of notch on the flow characteristics of spool valve, *Energy Conversion and Management*, vol. 86, 1091-1101.
3. **Blasiak, S., Takosoglu, J. E., Laski, P.** 2014. Flow rate analysis of 3/2 directional pneumatic valve by means of Ansys Cfx software. *Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava, Mechanical Series, LX (2)*.
4. **Frosina, E., Senatore, A., Buono, D.** 2015. 3D CFD Transient Analysis of the Forces Acting on the Spool of a Directional Valve. *Energy Procedia*, 81: 1090 – 1101.
5. **Blasiak, S., Takosoglu, J. E., Laski, P. A., Pietrala, D. S., Zwierzchowski, J., Bracha, G., Nowakowski, L., Blasiak, M.** 2017. Experimental and Simulation Flow Rate Analysis of the 3/2 Directional Pneumatic Valve. *EPJ Web of Conferences*, 143: 02008.



6. **Frosina, E., Marinaro, G., Senatore, A., Pavanetto, M.** 2018. Numerical and Experimental Investigation For the Design of a Directional Spool Valve. *Energy Procedia*, 148: 274–280.
7. **Kaya, F., Karagöz İ.** 2007. Girdaplı Akışlarda Türbülans Modellerinin Uygunluğunun İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 12, Sayı 1, 85-96.
8. **Yakhot, V., Orszag, S. A.** 1986. Renormalization Group Analysis of Turbulence. I. Basic Theory, *Journal of Scientific Computing*, 1(1), 3-51.
9. **Moore M. E., Mcfarland A. R.** 1993. Performance Modelling of Single-Inlet Aerosol Sampling Cyclones; *Environmental Science and Technology*, 27, 1842-1848.
10. **Yakhot V., Orszag, S. A., Thangam, S., Gatski, T. B., Speziale, C. G.** 1992. Development of Turbulence Models For Shear Flows by a Double Expansion Technique, *Physics of Fluids A*, 4, 1510-1520.