

BİR KONTROL VALFİNİN DİNAMİK MODELLEMESİ VE SİMULASYONU

Dynamically Modelling and Simulation of a Control Valve

Erol UYAR
Lutfi MUTLU
Mücahid CANDAN

ÖZET

Bu çalışmada, bir kontrol valfinin dinamik modellemesi yapılarak şaftına gelen basınç değişimlerinin yarattığı kuvvet zorlamalarına karşın şaftın geçici rejim davranışı ile düzenli rejim konumlaması incelenmiş ve sonuçlar ayrıca MATLAB simülasyonu ile gösterilmiştir. İkinci mertebeden gecikmeli bir sistem olarak matematik modeli ele alınan valfin şaft ve disk hareketleri kontrol girdisi ve bozucu etki yaratan akışkan basınç değişimlerine bağlı olarak incelenmiştir. Özellikle bozucu girdinin yarattığı şaft ve disk hareketlerinin oturak aşınmasına yol açmaması için gerekli valf parametrelerinin ideal seçimi yapılmıştır. Çalışmada ayrıca kontrol valfinin statik karakteristiğinin valfin kontrol edeceği ortama uygun seçiminin önemine değinilmiş ve sonuçları bir uygulama örneği ile gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kontrol valfi, Kontrol ortamı, sürücü kontrol ünitesi, Sönüm faktörü, Simulasyon, Dinamik model

ABSTRACT

In this study, dynamic modelling of a control valve as a second order system and its performance analysis investigated. Valf parameters are optimally selected to avoid the undesirable stem motions and seat damages caused by the control input from the actuator and the shaft movements created by the distorting inputs resulting from the fluid pressure changes. The results are also shown with simulation by MATLAB-Simulink. Also the importance of the selection of the static characteristic of the control valve to the process to be controlled the valve is mentioned and the results are shown with a temperature control circuit.

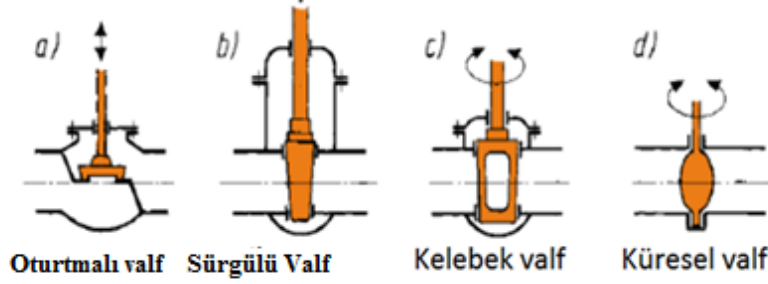
Key Words: Control valve, Simulation, Dynamic performance, Modelling, Statical Characteristic, Valve stem, Valve seat

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun başta su ve hava olmak üzere çeşitli akışkanlara hükmetmek; bu akışkanların geçişini veya durdurulmasını sağlamak, debisini ayarlamak, geri dönüşünü engellemek, akış yönünü değiştirmek, akış basıncını sınırlamak ve akış emniyetini sağlamak gibi amaçlara ulaşmak için kullandığı mekanik cihazlara valf veya vana denir. Diğer bir tanımlama ile valfler; akışkanlara yol veren, onları durduran, karıştıran veya akışkanın yönünü ve/veya miktarını, basınç veya sıcaklığın değiştiren cihazlardır.

Valfler; borulama tesisatlarında ağırlıklı bir yer tutarlar. Günümüzde geniş bir yelpazede; basit açma, kapama musluklarından, aşırı karmaşık sistemlere uzanan ve akışkanların kontrolü için kullanılan çok fazla sayıda valf çeşidi bulunmaktadır. Şekil.1'de uygulamalarda en çok kullanılan valf türleri olarak oturtmalı valfler, sürgülü valfler, kelebek ve küresel valfler ile çalışma prensipleri gösterilmiştir.

Kontrol edilen akışkanın bilinen sıvılar, gazlar, buhar veya katı parçacıklar içeren sıvılar olmasına göre uygulamada değişik valf türleri kullanılır.[3]



Şekil.1 Değişik Vana türleri ve çalışma prensipleri

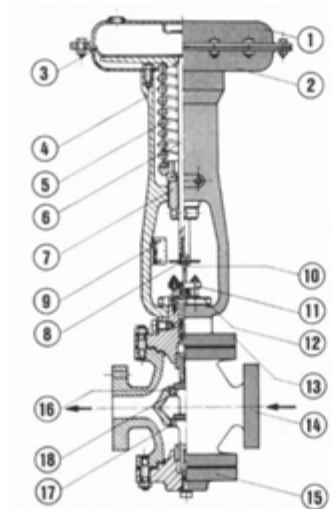
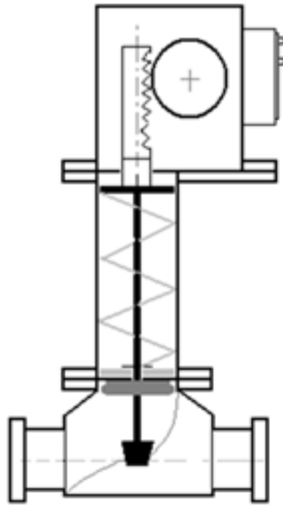
Vanaların çoğu el kumandalıdır. Elektrik motoruyla, mekanik olarak dişli mekanizma ile veya pnömatik kumandalı tipleri de vardır. Boru hatlarının ve elemanlarının montajında standart basınç (PN) ve çap (DN) gibi kavramlar kullanılan temel kavramlar olup, bunlar vanalar için de geçerlidir. Akış kontrol şekline göre valfler genelde iki gruba ayrılır [7] Kapama valfleri; akışkanın istenilen yerde olup olmamasını kontrol eder, akışkanların karışmasına izin verir veya engeller, acil durumlarda akışı keser. Kapalı konumda belirlenmiş bir sızdırma değerini aşmamaları, açık konumda da basınç kaybını minimize etmeleri beklenir. Kısma ve kontrol valfleri; debinin zamana bağlı olarak değiştirilmesi veya ayarlanması istendiğinde kullanılır. Elle veya bir sürücü kumanda mekanizması ile akış debisini, basıncını ve sıcaklığını düzenler. Ayrıca, değişen çalışma ortamı şartlarına bağlı olarak, etken faktörlerin kontrolü ile gerekli kontrol parametreleri otomatik olarak ayarlanabilir.

2. OTOMATİK KONTROL VALFLERİ

Isıtma, soğutma, iklimlendirme gibi herhangi bir ortam kontrolünde kullanılan valf ve diğer tesisat elemanlarının doğru seçimi, işletmelerin ekonomik ve sağlıklı çalışmalarında önem taşır.

Otomatik kontrol valfleri genel olarak bir boru sistemindeki akışkanı istenilen zamanda, kontrol ve emniyet fonksiyonlarını yerine getirecek şekilde durduran, kısma (ayarlayan) veya akışkana yol vermeye yarayan otomatik valflerdir. Kontrol valfleri, içinden akışkanın geçtiği kesitin bir kontrol ünitesi tarafından değiştirilerek akışkan miktarının (debinin) ayarlanmasını veya akışkanın yön değiştirilebilmesini otomatik olarak sağlayan valflerdir.[2]

Kontrol Valfleri, otomatik kontrol devrelerinde madde ve enerji akışını ayarlayan akış kontrol elemanlarıdır. Kontrol valfleri bu ayar işlemini otomatik olarak kesitini açıp kapayan bir disk ile gerçekleştirirler. Kontrol valfleri 2 ana kısımdan meydana gelir. 1-Çalıştırma Ünitesi, 2-Valf Gövdesi. Şekil 2'de bir elektrikli bir de pnömatik kontrol vanasının belli başlı kısımları görülmektedir.1-Çalıştırma Ünitesi (Eyleyici):Kontrol vanasının tapasını hareket ettirir elektrik motoru veya pnömatik olabilir. 2-Vana Gövdesi: Akışkanın geçtiği ve kontrolün sağlandığı kısımdır. Şekil 2'de elektrikli ve pnömatik kontrol valfi gövdeleri görülmektedir.

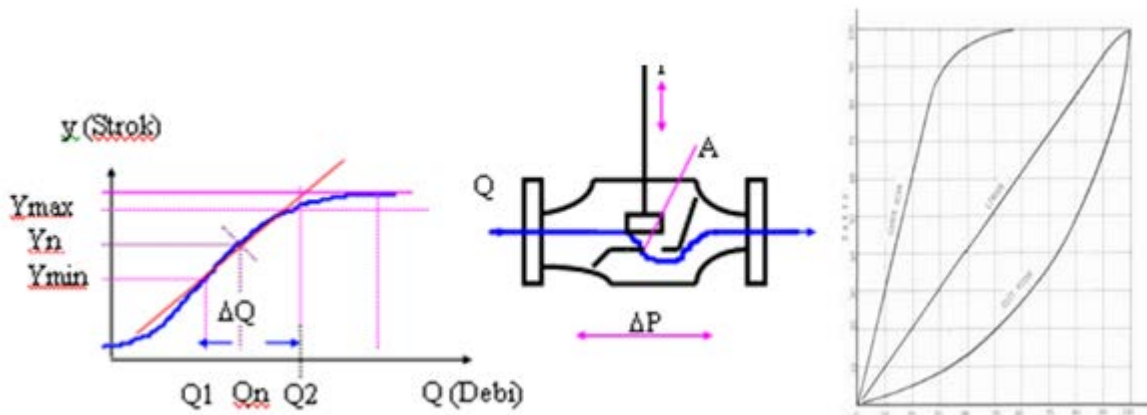


- 1- Diyafram üst tavası
- 2- Diyafram alt tavası
- 3- Diyafram
- 4- Kontrol mekanizma gövdesi
- 5- Kontrol mekanizma yayı
- 6- Kontrol mekanizma mili
- 7- Yay ayar vidası
- 8- Gösterge halkası
- 9- Gösterge plakası
- 10- Tapa mili
- 11- Salmastra kutusu baskı plakası
- 12- Kontrol mekanizma baskı somunu
- 13- Üstbonet
- 14- Vana gövdesi
- 15- Altbonet
- 16- Üst set
- 17- Alt set
- 18- Tapa

Şekil.2 Elektrik ve pnömatik kontrollü valfler

3.KONTROL VALFİ SEÇİMİ

Kontrol vanası seçiminde şu iki husus göz önüne alınmalıdır.1-Ekonomiklik, 2-Kontrol işleminin yapılabilmesi. Çok küçük bir valf seçilmesi halinde, valf istenilen debiyi geçirmeyecektir. Çok büyük bir valf seçilmesi halinde ise lüzumsuz yere fazla ödeme yapılmış olacaktır. Ayrıca büyük çaplı valf seçilmesi halinde valf sürekli kapalı duruma yakın çalışacak bu ise kontrolü zorlaştırdığı gibi disk ve oturak arasında artan hızdan dolayı istenmeyen aşınmalara yol açacaktır.[4]



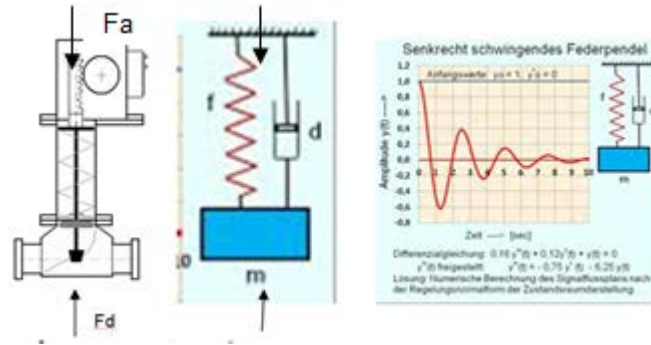
Şekil.3 kontrol valfi statik eğrisi ve uygun valf seçimi

Valf seçiminde statik karakteristik önemlidir. Genelde doğrusal, dış bükey ve iç bükey karakteristiğe sahip olmak üzere üç valf türü mevcuttur. Valf şaftının hareketine(konumuna) bağlı olarak oturağından geçen (düzenli rejim) debi miktarını gösteren davranış statik karakteristik olarak tanımlanır. Kontrol valfi seçiminde önce, akışkanın cinsine, miktarına, kontrol edilecek büyüklüğe ve denetleyicinin

davranışına göre valf karakteristiği seçilir [2]. Valf diskinin hareket yüzdesi ile geçen akışkan yüzdesi arasındaki ilişki valf akış karakteristiğidir. Şekil 3'te üç temel karakteristiği gösterilmektedir. Kumanda Sinyal Sahaları; pnömatik sürücü veya elektrik motoru ile kontrol edilen valflerde genelde pnömatik olarak 0.2–1 Bar, elektriksel olarak 0-20(4-20) mA veya 0-10 V sahalarında değişen standart sinyaller kullanılır. Bu sinyal sahaları içinde uygulanan değere göre valf, tam açık konumla tam kapalı konum arasında otomatik ve doğrusal olarak çalıştırılır (Örneğin; üst değerlerde (10 V) valf tam açık, alt değerlerde (0 V) tam kapalı konumu alır. 5V uygulandığında yarı açık konumda olur. [1]

4.KONTROL VALFİ DİNAMİK MODELİ

Bir kontrol valfi genel olarak kütle, yay ve sönüm etkileri içeren bir dinamik sistem olarak modellenir. Şekil.4'te Valfin hareketli disk ve şaftı kütle olarak etki ederken, sızdırmazlık elemanı ve akışkan sönümleme etkisi yaratmakta, şaftı geri getiren yay da esneklik sağlamaktadır. Tüm sistem Şekil 4'teki gibi ikinci dereceden gecikmeli bir sistem olarak incelenebilir.[1]



Şekil.4 Kontrol Valfi modellemesi ve dürtü cevabı

Valfin matematik modeli Şekil.5'te görüldüğü gibi ikinci dereceden gecikmeli bir sistem olarak aşağıdaki matematik diferansiyel. denklemi ile verilebilir.

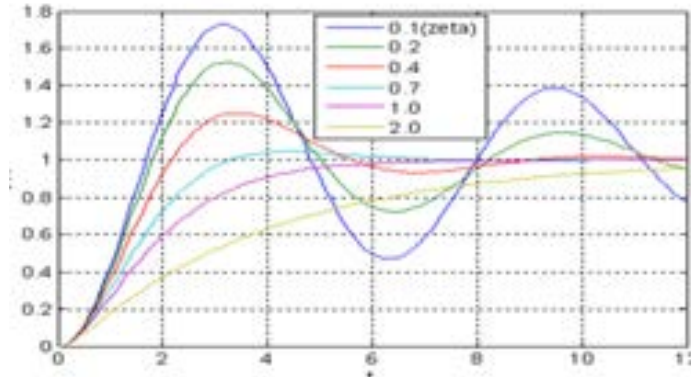
$$m \cdot x'' + d \cdot x' + f \cdot x = F_a - F_d \quad (1)$$

Burada m :valf diskinin ve şaftın toplam kütesini, d :sızdırmazlık elemanının viskoz sönüm sabitini, f : yay sabitini, $F_a = p_a \cdot A_a$: sürücünden gelen kuvvet olarak kumanda etkisini, $F_d = p_d \cdot A_d$: akışkan basıncının değişiminden kaynaklanan ters kuvvet etkisini, A_a : sürücü diyafram kesitini, A_d : oturma kesitini, p_a : kontrol basıncını, p_d : akışkan basınç değişimini göstermektedir.

X_a şaft hareketi, X_e kuvvet zorlaması olarak sistemin transfer fonksiyonu aşağıdaki şekilde yazılabilir [1].

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2)$$

Transfer fonksiyonu paydasında, $\xi = \frac{d}{2\omega_n \cdot m}$ sönüm faktörünü $\omega_n = \sqrt{f/m}$ şaft doğal frekansını göstermekte olup, sistemin basamak girdi etkisi sonucu şaftın tapaya zarar vermemesi için titreşimli (kritik altı) sönümlü bir davranışa sahip olması istenmez. Bu durum ancak sönüm faktörünün $\xi > 1$ olması ile mümkün olabilir. Şekil.5'te değişik sönüm faktörlerine bağlı sistemin basamak cevapları görülmektedir.[1]



Şekil.5 İkinci derece sistemin geçici durum basamak cevapları

Şekil.5'e göre valf şaftı ile birlikte bağlı diskin oturağa zarar vermemesi için titreşimsiz bir geçici rejime sahip olması, dolayısı ile en azından kritik Sönümlü bir davranış göstermesi gerekir. Bu durum $\xi > 1$ olması durumunda gerçekleşebilmektedir.

Aşağıda ön tasarım örneği olarak yanda prensip şeması ve sayısal değerleri verilen valfin gerekli parametrelerin hesabı verilmiştir [8].

Verilenler:

Motor Gücü : P=30 W

Redüktör çıkış devri: n=180 d/dak

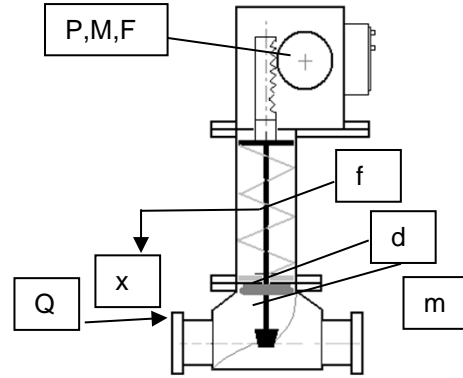
Valf şaftı toplam kütlesi: m=1 Kg

Valf yayı katsayısı: f=1600N/m

Kremayer pinyon dişlisi yarıçapı: R=0.05 m

Tasarım ve hesap istenen parametreler:

1.Motor redüktörünün çıkışındaki momenti Nm olarak hesaplamak



Şekil 6. Valfin prensip şeması

2.Redüktör çıkışından valf şaftına aktarılan kuvveti N olarak hesaplamak. 3.Valf şaftının ikinci dereceden gecikmeli bir sistem olarak modelleyip hareket denklemini yazmak. 4.Valf şaftına basamak girdi şeklinde uygulanan bir kuvvet etkisine karşılık şaftın kritik sönümlü bir geçici rejim davranışı göstermesi halinde sızdırmazlık elemanından şafta uygulanan d sönüm sabitini Ns/m olarak hesaplamak. 5.Valf şaftının doğal frekansını hesaplamak. 6. Yukarıda hesaplanan kontrol girdisinin uygulanmasından sonra şaftın düzenli rejimde hangi konumu alacağını hesaplamak.

Önce motor gücü ve devir sayısından motor şaftı momenti ve vana şaftına uygulanan kuvvet hesaplanırsa; moment:

$M_a = 2.59 \text{ N.m}$, ve kuvvet $F_a = 31.8 \text{ N}$ olarak bulunur. Valfin Doğal Frekansı $\omega_n = \sqrt{f/m} = \sqrt{1600} = 40 \frac{1}{s}$ olarak hesaplanır. Şaftın kritik sönümlü bir davranış göstermesi durumunda $\xi = \frac{d}{2\omega_n m} \geq 1$

denkleminde $\xi = 2,5$ seçilerek $d=200 \text{ Ns/m}$ olarak hesaplanır. Sönüm sabiti, d bulununca transfer fonksiyonu: $G(s) = \frac{31,8}{s^2+200s+1600} = \frac{X(s)}{F(s)}$ olarak bulunur. Şaftın basamak girdi şeklinde etkiyen eyleyici

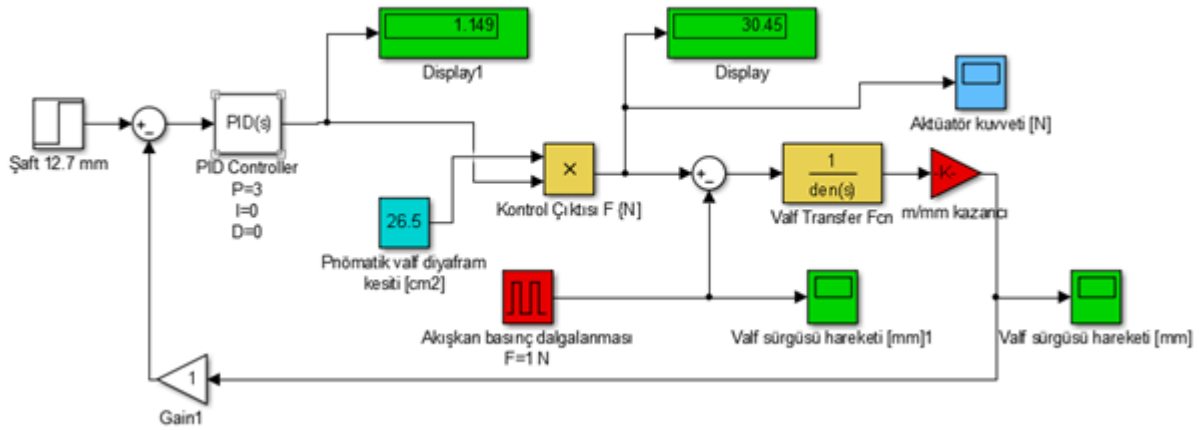
kuvveti sonucu kalıcı durum konumu (1) denkleminde $X = \frac{F_a}{f} = \frac{31,8}{1600} = 19,87 \text{ mm}$ olarak hesaplanır.

Bu durumda vana'nın transfer fonksiyonu, $G(s) = \frac{1}{s^2+200s+1600}$ şeklinde olur.

5. DİNAMİK DAVRANIŞIN MATLAB SİMÜLASYONU

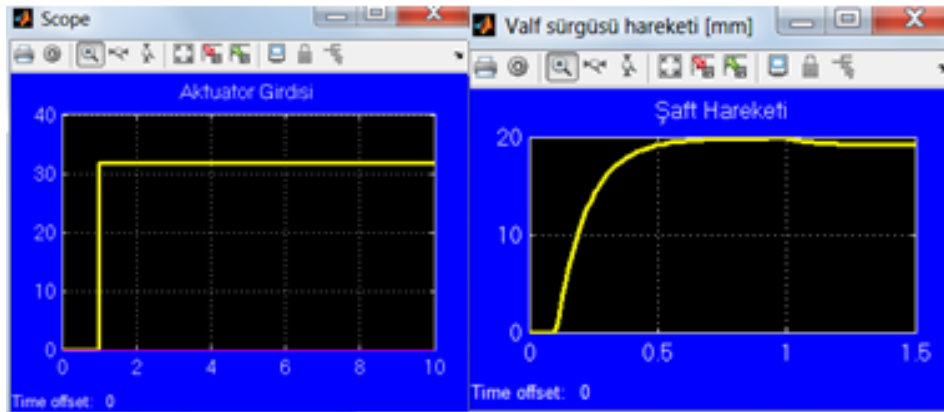
Valf şaftına uygulanan basamak girdiye karşılık şaft ve disk hareketleri (2) transfer fonksiyonu ve örnekte hesaplanan değerlerle MATLAB Simulink üzerinde incelenmiştir.

Valfin Şekil 7’de verilen simülasyon sonucu elde edilen Şekil.8’deki basamak cevabından görüleceği gibi, şaft kritik sönümlü titreşimsiz bir geçici rejim davranışı göstererek düzenli rejimde hesaplanan 19.87 mm konumunu almaktadır. Bu konum vananın kontrol sinyaline tepkisi olarak tapanın oturağa sızdırmazlığı sağlayacak şekilde oturması ve oturağı darbelerle aşındırmaması açısından çok önemlidir.



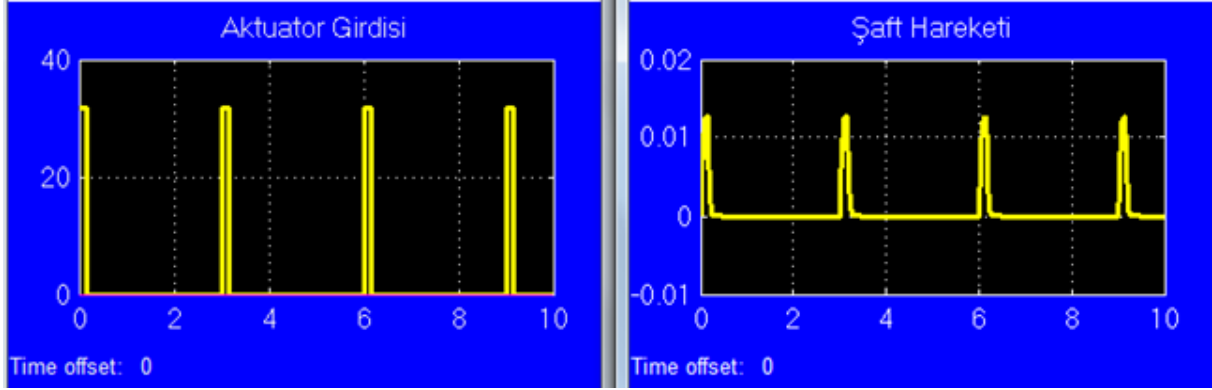
Şekil.7 Kontrollü vana MATLAB Simülasyonu

Tasarım açısından valfin verilenlere göre dinamiğinin ön hesabı gereklidir. Burada kontrol basıncının yarattığı kuvvet girdisine göre etkisi çok küçük olan akışkan basıncının değişimleri ihmal edilmiştir. Kontrol devresinin kararlılığı ve kritik altı çalışma kipinden kaçınılması için vananın arzulan geçici rejim davranışının mutlaka uygun parametre seçimleri ile sağlanması şarttır.



Şekil 8. Vana dinamik davranışının Matlab Simulasyonu

Şekil.9 da periyodik vuru girdi değişimlerine bağlı olarak şaft hareketlerinin gerçek zamanlı simülasyonu verilmiştir. Görüleceği gibi doğal frekansın uygun hesabı sonucu artarda periyodun %5'i oranında (0.15 s) darbe sürecinde ve 3 Hz frekans sıklığında gelen, oldukça hızlı girdi değişimlerine karşı valf şaftı rahatça cevap verebilmektedir.



Şekil 9. Periodik girdi değişimine karşı şaft hareketleri

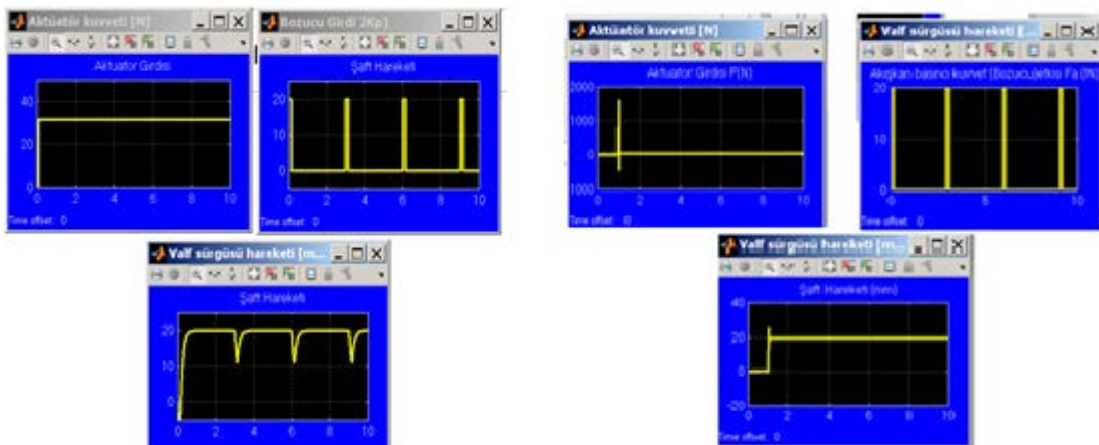
6. SONUÇLAR VE İRDELEMELER

Çalışmada bir kontrol valfinin ikinci dereceden gecikmeli bir sistem olarak modellenmesi ve arzulanan performansla çalışabilmesi için ön tasarım hesapları ve MATLAB Simulink ile gösterilmiştir. Valfin kontrol devresinde kararlı çalışması için öncelikle kendi eyleyicisinden gelen kumanda girdilerine karşı göstereceği dinamik davranışın muhtemel olarak zararlarına neden olmayacak şekilde geçici ve kalıcı durum davranışlarını sağlaması gereklidir.

Bu durum MATLAB-Simulink ile basamak şeklinde verilen bir girdiye karşı vananın gösterdiği davranışla incelenmiş ve ön tasarımla hesaplanan değerlerin arzulananları çok iyi sağladığı görülmüştür.

Vananın periyodik değişimlere hızlı reaksiyon gösterip uyum sağlaması, vuru dizisi şeklindeki girdilere bir test fonksiyonu cevabı ile incelenmiştir. Örnek olarak verilen tasarım uygulamasında doğal frekans bu koşul göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

Pnömatik oransal bir vananın uygulanan aktüatör basıncı ile valf şaftını hareket ettirdiği (strok değişimi) simülasyonda açıkça izlenmektedir. Tasarım açısından vananın verilenlere göre dinamiğinin ön hesabı gereklidir. Burada kontrol basıncının yarattığı kuvvet girdisine göre etkisi çok küçük olan akışkan basıncının değişimleri (Bozucu girdi etkisi) ihmal edilmiştir. Kontrol devresinin kararlılığı ve kritik-altı çalışma kipinden kaçınılması için vananın arzulanan geçici durum davranışının mutlaka uygun parametre seçimleri ile sağlanması şarttır.



Şekil 8. Valf'in periyodik bozucu girdi tepkisi

Valf şaftının bozucu girdi etkisi yaratan akışkan basıncı değişimlerinin diskte yarattığı kuvvetin bozucu etkisi Şekil.9'daki simülasyon sonuçlarında gösterilmiştir. Basınç değişimlerinin neden olduğu 20 N'luk kuvvet etkisi kontrolsüz valf durumunda yaklaşık 7-8 mm 'lik şaft hareketine yol açmaktadır.

Aynı periyodik genlikli vuruşlara karşılık kontrollü vananın şaftının Şekil.9'da görüldüğü gibi hemen hiç etkilenmediği ve konumunu koruduğu açıkça gözlenmektedir. Simülasyon eğrileri sadece Oransal (P) kontrol uygulanmış bir kontrol valfinin kararlılığına olan etkiyi açıkça göstermektedir.

Öngörülen tasarımda valfin doğrusal (oransal) bir karakteristiğe sahip olması, yani şaft hareketine bağlı olarak debi geçirmesi, kontrol devresinde uygun kontrol parametreleri ayarı ile kontrol kalitesini artırıcı bir avantaj sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] UYAR. E ., “Sistem Dinamiği ve Otomatik Kontrol”, DEÜ Ders Kitabı . Yayın No:118, 1986.
- [2] UYAR. E ., “Vanalar,Flanşlar ve Armatürler”, Anagold Eğitimi. 2018 İliç - Erzincan.
- [3] AYVAZ.”Akış Kontrol Vanaları.” info@ayvaz.com
- [4] RTK, REGELTECHNIK , “Absperrventile und Regelventile”, Produkte .Kornwestheim-Deutschland
- [5] ERHARDT Valves.”Pressure and Flow Control valves.
- [6] ASCO., “Einführung in die Ventiltechnik. Vo20.
- [7] DIN EN 60534-8-3:2011-10,”Stellventile für die Prozessregelung “
- [8] UYAR.E “Sistem Dinamiği Sınav Sorusu.” DEÜ makine Müh.Bölümü.Ders Notları. 2005

ÖZGEÇMİŞ

Erol UYAR

1945 yılı İzmir doğumludur. 1970 yılında Almanya Stuttgart Üniversitesi Genel Makine Fakültesini bitirmiştir. Robert Bosch, AEG firmalarında ve ETİBANK Seydişehir tesislerinin montajında çalışmıştır. 1976 da doktorasını tamamlayarak 1981 yılında Makine Teorisi ve Dinamiği Anabilim Dalında Doçent ve 1985 yılında Profesör ünvanlarını almıştır. Ege ve Dokuz Eylül Üniversitelerinde lisans ve Y.Lisans –doktora seviyesinde dersler vermiş ve Almanya Hannover Teknik Üniversitesinde Araştırmacı olarak çalışmıştır.

Değişik idari görevlerde bulunmuş ve yurt içi ve dışı çok sayıda yayınlar yapmış ve sempozyumlar düzenlemiştir. DEÜ de Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde Mekatronik Y.Lisans ve doktora eğitimi veren bölümü kurmuş ve 2012 yılında aynı üniversiteden emekli olmuştur. Halen Ege Üniversitesi Elektrik-Elektronik mühendisliği bölümünde fahri olarak çalışmaktadır.

Lutfi MUTLU

1985 yılı Bulgaristan doğumludur. 2005 yılında EÜ. Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. Daha sonra DEÜ Üniversinde 2008 yılında Yüksek Mühendis, 2016 yılında Doktor ünvanını almıştır. 2005-2016 yılları arasında aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır.

Mücahid CANDAN

1989 yılında Bursada doğmuştur. 2007 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliğini bitirmiştir. Daha sonra EÜ Üniversitesi Elektrik-Elektronik Müh. bölümünde Yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 2005-2016 yılları arasında aynı üniversitede Tübitak projesinde görev yapmıştır. 2016 yılından beri EÜ MYO da Mekatronik Dalında öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.