

ALTERNATİF BİR ELEKTROPNÖMATİK VALF TASARIMI VE KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Elif ERZAN TOPÇU, İbrahim YÜKSEL *

GİRİŞ

Elektropnömötik sistemler endüstriyel otomasyon alanında önemli bir yer tutmaktadır. Bu sistemler düşük ve orta büyüklükteki güç taleplerini karşılamada elektrohidrolik ve elektromekanik sistemlere karşı bir alternatif oluşturur. Maliyetlerinin düşük ve bakımlarının kolay olması bu sistemleri küçük robot ve manipülatör alanlarında da uygulanabilir kılmaktadır. Elektropnömötik sistemlerin geribeslemeli denetimindeki en temel elemanlardan birisi elektropnömötik valf olup bu eleman denetim biriminden gelen elektriksel işareti akışkan debisine dönüştürür.

Elektropnömötik valfler genelde basit aç-kapa, hızlı anahtarlama ve servo valfler biçiminde sınıflandırılabilir. Solenoid kumandalı basit aç-kapa valflerin yapısı basit ve maliyetleri düşüktür. Dinamik performansları düşük olan bu tür valfler hassas denetim gerektiren yerlerde kullanılamaz. Buna karşılık elektriksel giriş işareti ile akışkan çıkış işareti arasında oransal bir bağıntı sağlayan servo valfler çok hassas bir denetim sağlamakla beraber yapılarının karmaşıklığı ve maliyetlerinin yüksekliği nedeniyle endüstride her alanda yaygın olarak kullanılamamaktadırlar. Hızlı anahtarlama valfleri ise basit aç-kapa valfler ile servo valfler arasında yer alan alternatif bir valf türüdür ve sürekli bir gelişim göstermektedir. Temelde aç-kapa biçiminde çalışan bu valflerin yapıları basit ve aynı zamanda maliyetleri düşüktür. Bu tür valfler Darbe Genişlik Modülasyon (DGM) teknikleri ile belli oranda oransal bağıntılar sağlayabilmektedir. Yalnız bu valflerin DGM ile iyi bir oransal bağıntı sağlayabilmeleri için cevap hızlarının yüksek olması gerekir.

Valf tasarımı ve uygulamaları üzerine yapılan çalışmalar gün geçtikçe artarak devam etmektedir. Elektropnömötik valflerin tasarımıyla ilgili Taft ve ark. [1] tarafından yapılan bir çalışmada dört yollu aç- kapa elektro- akışkan valf tasarımı ele alınmıştır. Valfin elektriksel kumandası kalıcı ve elektro mıknatıstan oluşan bir mıknatıs devresi ile gerçekleştirilmiştir. Cabral ve ark. [2] dört yollu dönel disk valf tasarımı

Bu çalışmada piyasada bulunan elektropnömötik valflere alternatif bir elektropnömötik hızlı anahtarlama valfi tasarımı üzerinde çalışılmış, sistemin statik ve dinamik karakteristikleri incelenmiştir. Tasarlanan valf doğrudan kumandalı, iki yollu iki konumlu (2/2) bir valf olup mıknatıs devresi düz yüzlü disk tipi mıknatıs yapısındadır. Valfin imalatı ve montajı oldukça basittir ve düşük toleranslı bir işleme de gerek yoktur. Ayrıca valfin cevap hızı da yaklaşık 4 ms' dir.

Anahtar sözcükler : Elektropnömötik valf, elektromekanik sistem, hızlı anahtarlama valfi

In this study, an alternative electropneumatic valve is designed. The static and dynamic characteristics of the system are investigated. This valve is a directly operated, two-port two-position (2/2) valve and a disc type of magnetic circuit is used in the design of the valve. Production and assembling of the valve is rather simple and it does not require any operation with low tolerance. In addition, the response time of the valve is approximately 4 ms.

Keywords : Electropneumatic valve, electromagnetic system, fast response valve

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü

ve imalatı üzerine çalışmışlardır. Ele alınan valfte farklı boyutlarda giriş ve çıkış orifisleri yoluyla bir taraftan akışın oransallığı artırılırken diğer taraftan da sistemin cevap hızı ve enerji verimi iyileştirilmeye çalışılmıştır. Elektropnömatik servo valfler üzerine diğer bir çalışma da Choi ve ark. [3] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada sayısal bir denetleyici ile denetlenen hareketli-bobin eyleyici tarafından doğrudan kumandalı, oturma elemanlı bir elektropnömatik servo valf geliştirilmiştir. Ayrıca sistemin hareketli elemanlarında kullanılan O- ringlerden dolayı oluşan sürtünmeyi telafi etmek amacıyla özel bir algoritma da uygulanmıştır. Bublitz ve ark. [4, 5] sistemin güç gereksinimini minimuma indiren dolaylı kumandalı oransal valf üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada ele alınan valfin güç gereksinimini 1 W'ın altına kadar düşürülebilmişlerdir. Sato ve ark. [6] soğutucu sıvı yerine $-10/~-30$ °C'lerde soğuk hava kullanan bir kuru kesme/ öğütme sistemi için ısı yalıtım fonksiyonuna sahip bir elektropnömatik valf üzerinde çalışma yapmışlardır. Kajima bir çalışmada [7] yüksek hızlı solenoid valf geliştirilmesini ele almış ve bu çalışmada solenoid valflerin elektriksel uyarılması ile ilişkili olarak iki farklı yöntem geliştirmiştir. Kajima ve ark. [8] dizel motorunun elektronik olarak denetiminde kullanılacak anahtarlama süresi 1 ms civarında olan yüksek hızlı solenoid valf geliştirmiştir. Sistemin matematik modeli kurularak valfin cevap süresine etki eden parametreler tespit edilmiş ve hızlı anahtarlama kullanılacak efektif bir yöntem üzerine çalışmıştır. Vaughan ve ark. [17] bir oransal solenoid valfin modellemesini ve benzetimini ele alıp incelemişlerdir. Yüksel [23] elektrohidrolik valflerin genel karakteristiklerini gözden geçirerek valfleri birbiriyle karşılaştırılmasını yapmıştır.

Doğrusal olmayan bir anahtarlama elemanı çıkışından doğrusal bağıntılar elde etmek için darbe genişlik modülasyon tekniği oldukça yaygın olarak kullanılan bir

yöntemdir. Sabit bir frekansta darbe doluluk/ boşluk oranına bağlı olarak anahtarlama elemanı çıkışından zaman ortalaması oransal bir çıkış sinyali elde edilir. Hızlı anahtarlama valfleri üzerinde darbe genişlik modülasyon tekniği ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları pnömatik sistemlerin konum denetiminde hızlı anahtarlama valflerinin kullanılması üzerinedir [9, 10]. Royston ve ark. [11] dönel elemanlı valf üzerinde DGM tekniğinin uygulamasını incelemişlerdir. Çeşitli elektromekanik sistemlerin DGM tekniği ile sürülmesi elektrohidrolik ve gergi denetim sistemleri gibi değişik uygulama alanlarında denenmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır [19, 24, 25]. Shih ve ark. [12, 13] DGM ve değiştirilmiş farksal DGM tekniklerini çeşitli denetim yordamları ile birlikte kullanarak pnömatik sistemlerdeki avantajlarını incelemişlerdir. Ye ve ark. [14] DGM solenoid valfin modellemesini ele alarak benzetim ve denetleyici tasarımı için iki adet kütle akış modeli geliştirmişlerdir. Topçu ve ark. [15] bilgisayar denetimli elektropnömatik bir sistemin konum denetiminde aç- kapa tipi denetimi ve değişik frekanslarda DGM tekniğinin uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Imaizumi ve ark. [16] yaptıkları çalışmada aç- kapa valflerin oransal sürülmesinde kullanılmak üzere yeni bir yöntem geliştirmişlerdir.

Bu çalışmada hızlı anahtarlama valfi sınıfından olan alternatif bir elektropnömatik valf tasarımı ele alınmış, sistemin statik ve dinamik karakteristikleri incelenmiştir. Ele alınan valf iki yollu iki konumlu (2/2) doğrudan kumandalı bir valf olarak tasarlanmış ve valfin kumandasında disk tipi elektromıknatıs devresi kullanılmıştır.

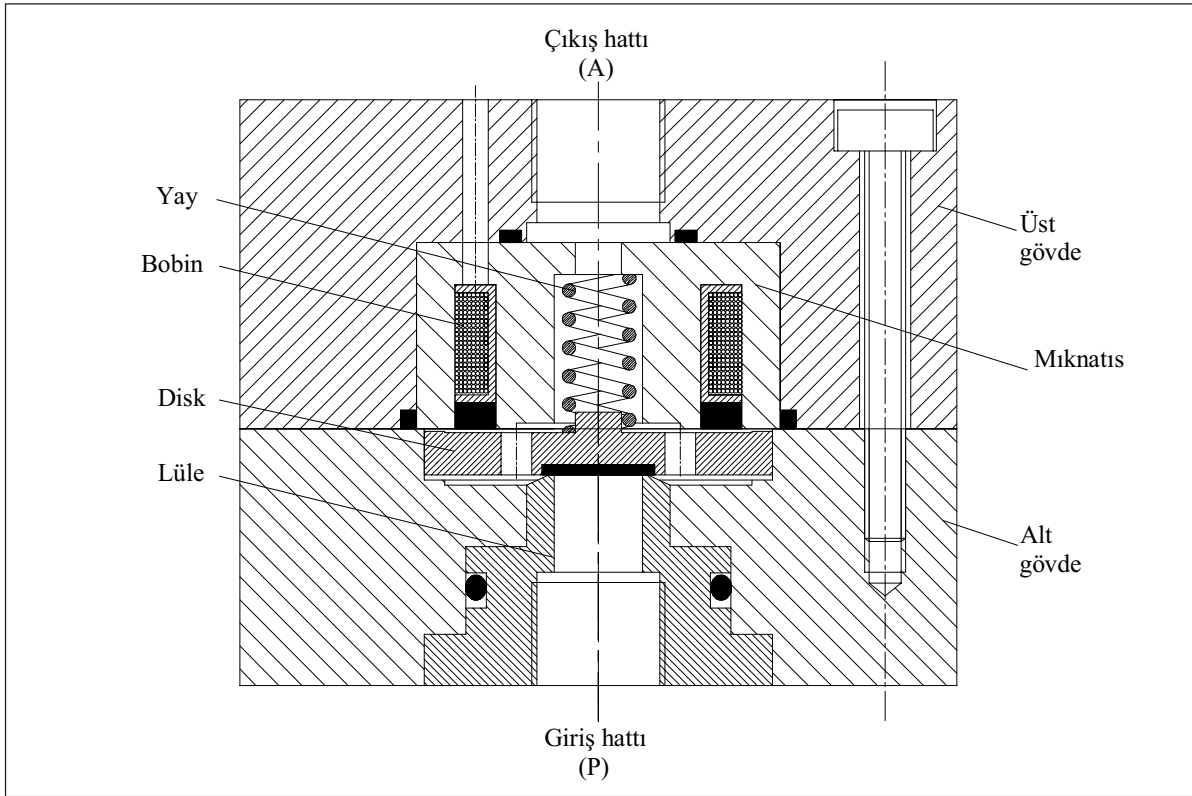
ELEKTROPNÖMATİK HIZLI ANAHTARLAMA VALFİNİN YAPISI

Ele alınan valf oturma elemanlı, aç- kapa tipi doğrudan kumandalı 2/2 yay geri dönüşlü olarak

tasarlanmıştır. Şekil 1'den de görüldüğü gibi tasarlanan valf bir adet mıknatıs devresi ve bobini, bir adet yay ve disk biçiminde oturma elemanından oluşmaktadır. Valfin elektriksel kumandasını sağlamak için disk tipi elektromıknatıs devresi kullanılmıştır. Burada disk hem elektromıknatıs devresini tamamlayan bir eleman hem de valfin oturma elemanını teşkil etmektedir. Şekil 1'deki

değişimi mıknatıs çekim kuvveti oluşmasını sağlar. Bu çekim kuvveti yay kuvvetini yendiğinde valf açık konuma geçer. Bu durumda akışkan, Şekil 2b'de görüldüğü gibi akış yollarını izleyerek çıkış ağzından boşalır. Gerçekte açma anında basınç kuvveti mıknatıs çekim kuvvetine yardımcı olmaktadır.

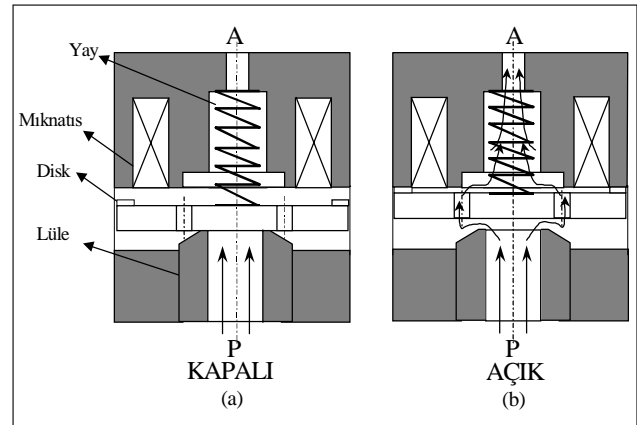
Bu şekilde tasarlanan valfin 4 adeti ile, Şekil 3' de



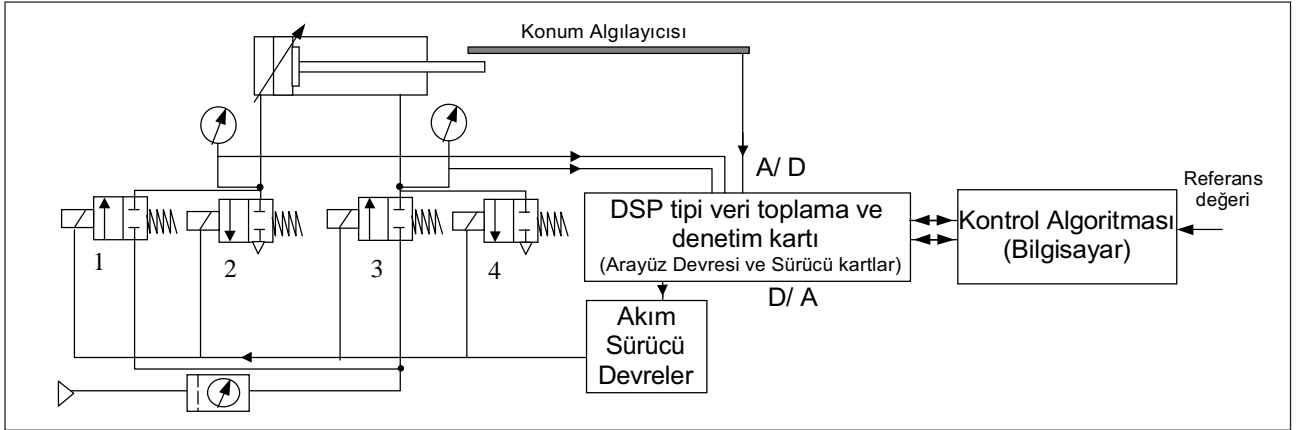
Şekil 1. Tasarlanan Elektropnömatik Valf Modeli

şematik gösteriminden de görüleceği gibi elektropnömatik valfin yapısı oldukça basit, montajı ve imalatı kolaydır. Dolayısıyla imalatı sırasında düşük toleranslı bir işlem gerektirmemektedir.

Normalde kapalı konumda olan valfin çalışması Şekil 2'de gösterilmiştir. Disk üzerine etki eden yay ön gergi kuvveti akışın geçiş yolu üzerinde yer alan lüleyi kapatarak valfi kapalı konumda tutar. Elektromıknatısın bobinine uygulanan elektrik gerilimi sonucu oluşan akım



Şekil 2. Elektropnömatik Valfin Çalışma İlkesi



Şekil 3. 4 adet 2/2 Valfi ile Elektropnömatik Konum Denetiminin Gerçeklenmesi

görülen bir pnömatik silindir sisteminin konum denetimi gerçekleştirilebilir. Burada tüm valfler kapalı olduğunda silindir pistonu istenen konumda tutulmuş olacaktır. 1ve 4 nolu valfler açık olduğunda piston ileri hareketi ve 2 ve 3 nolu valfler açık olduğunda da piston geri hareketi yapar. Burada valflerin darbe genişlik tekniği ile sürülmesi ile oldukça hassas bir denetim sağlanabilir.

ELEKTROPNÖMATİK VALFİN TASARIMI VE KARAKTERİSTİKLERİ

A). Valfin Tasarımı

Valf belli bir basınç altında belli miktarda hava debisi sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bunun için 7 bar sistem basıncında 1 bar basınç düşümü altında 300 lt/dak. nominal debi sağlayan etkin akışkan kesit alanı hesaplanmıştır. Bu kesit alanına karşılık gelen basınç kuvvetine karşı valfi kapalı konumda tutmak için yay kullanılmıştır. Yay kuvvetine karşılık valfin açılmasını sağlamak amacıyla da mıknatıs kuvvetinden yararlanılmıştır.

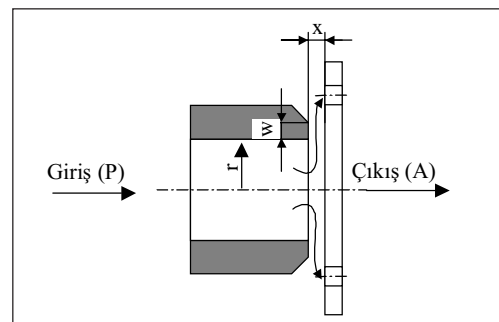
Elektropnömatik valfin çalışmasında ise Şekil 1' de gösterildiği gibi yay tarafından sağlanan ön gergi kuvveti ile valfin kapalı konumda kalması sağlanmaktadır. Bu nedenle yayın akışkan basıncından doğan kuvveti yenecek şekilde boyutlandırılması gerekir. Mıknatıs devresinin de

yayın oluşturduğu ön gerilme kuvvetini ve akışkan kuvvetlerini yenecek bir çekim kuvveti sağlayacak şekilde tasarlanması gerekir.

Valfin disk lüle sisteminin boyutlandırılması için istenilen debiyi geçirecek olan alan

$$\dot{M} = C_d C_m A_v \frac{P_{giriş}}{\sqrt{T}} \quad (1)$$

denklemi yardımıyla bulunabilir [18, 21]. Burada A_v : akışa konu olan etkin kesit alanı (m^2), C_d : boşaltım katsayısı, C_m : kütle akış parametresi, $P_{giriş}$: giriş basıncı (N/m^2), $P_{çıkış}$: çıkış basıncı (N/m^2), ρ : havanın yoğunluğu (kg/m^3) olarak ifade edilir.



Şekil 4. Disk- Lüle Sistem

Valf orifisinin değişken denetim alanı disk yerdeğiştirmesine (x_n) ve lülenin çevresine bağlı olarak ($\pi d = 2\pi r$)

$$A_v = \pi d x_n \quad (2)$$

ile ifade edilebilir. Kütle akış parametresi C_m akışın durumuna göre aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$C_m = \begin{cases} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} \sqrt{\frac{2\gamma}{R(\gamma+1)}} = 0.0405 & \text{boğulmuş akış için} & \frac{P_{\text{çıkış}}}{P_{\text{giriş}}} \leq 0.528 \\ \left(\frac{2\gamma}{R(\gamma-1)} \left(\left(\frac{P_{\text{çıkış}}}{P_{\text{giriş}}} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P_{\text{çıkış}}}{P_{\text{giriş}}} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right) \right)^{1/2} & \text{boğulmamış akış için} & \frac{P_{\text{çıkış}}}{P_{\text{giriş}}} > 0.528 \end{cases} \quad (3)$$

Burada γ : özgül ısılar oranı (1.4), R: gaz sabiti (287 J/kgK) dir. (1) ifadesine göre 7 bar mutlak giriş basıncında ve 1 bar'lık basınç düşümüyle 300 lt/ dak nominal debi sağlamak için boşaltım katsayısı 0.65 olarak alındığında gerekli valf kesit alanı 8 mm² olarak bulunur. Bu disk ile lüle arasındaki çevresel alan olup 8.6 mm lüle çapı ve 0.3 mm'lik disk hareket mesafesine denktir. Burada elektromıknatısın karakteristiğine bağlı olarak disk hareket mesafesi mümkün olduğu kadar kısa tutulmuştur.

Şekil 4'de tasarımıımızda kullanmış disk-lüle sisteminin şematik gösterimi verilmiştir. Valfin kapalı konumda kalmasını sağlayacak olan yay kuvveti disk tipi oturma elemanı üzerine etki eden akışkan kuvvetlerine göre belirlenebilir. Akışkan kuvvetinin en yüksek olduğu değer statik basınç kuvvetine eşit olup bu da valfin kapalı konumundaki basınç değeri ve basıncın etki ettiği alandan bulunur. Etkin basınç alanı lüle alanı πr^2 ve lüle yüzeyi alanı $\pi(r+w)^2$ arasında bir değer olacaktır. Buna göre kapalı konumda disk üzerinde oluşan kuvvet;

$$\pi r^2 \Delta P \leq F \leq \pi (r+w)^2 \Delta P \quad (4)$$

olarak ifade edilir. Burada w lülenin kenarının kalınlığı, r lüle yarıçapıdır. Yapılan başka çalışmalarda kuvvet denklemi aşağıdaki gibi amprik bir ifade ile de tanımlanabilir.

$$F = c_f \pi r^2 \Delta P \quad (5)$$

Buna göre disk-lüle sisteminde izentropik durumda c_f faktörleri ses altı ve ses üstü akış için tespit edilerek kuvvet hesaplanır [21]. Buna göre ses üstü akış için ($P_{\text{giriş}}$: 7 bar, $P_{\text{çıkış}}$: 1 bar alınmıştır.) c_f faktörü 1.14, ses altı akış için

($P_{\text{giriş}}$: 7 bar, $P_{\text{çıkış}}$: 6 bar alınmıştır.) c_f faktörü 1.46 olarak interpolasyon ile bulunur. Bu değerlere göre disk üzerindeki akışkan kuvveti (5) numaralı denklemden ses üstü durum için ~ 40 N, ses altı durum için ise ~ 9 N olarak hesaplanır.

Disk üzerinde oluşan akışkan kuvveti (4) numaralı denkleme göre çözümlerse

$$35 \text{ N} < F < 53 \text{ N}$$

olarak bulunur. Ortalama kuvvet ise ~ 43 N civarında olmaktadır. Gerekli mıknatıs kuvvetinin hesabında disk üzerinde oluşan maksimum kuvvet temel olarak alınmış ve mıknatıs devresinin boyutlandırılması bu kuvvete göre yapılmıştır.

Diski çekmek için gerekli olan mıknatıs kuvveti maksimum akışkan kuvvetinden 1.5 kat emniyetli olarak alınmış ve 80 N olarak belirlenmiştir.

Yay kuvvetini karşılayacak gerekli mıknatıs çekim kuvvetini sağlayan mıknatıs devresinin kesit alanı, A_c ;

$$F_m = \frac{z}{2} \frac{B_h^2 A_c}{\mu} \quad (6)$$

ifadesinden hesaplanabilir. Burada z: hava aralığı sayısı olup ikiye eşittir. B_h : hava aralığındaki mıknatıs akısı yoğunluğu (Wb/m²), A_c : etkin kesit alanı (m²) ve μ : havanın mıknatıs akı geçirgenliğidir ve $4\pi 10^{-7}$ ye eşittir. Elektromıknatıs için etkin kesit alanı belirlendikten sonra mıknatıs devresinin özelliklerine göre uygun mıknatıs akısı dağılımını sağlayan mıknatıs devresinin boyutları belirlenmiştir [20].

B). Valfin Karakteristikleri ve Deneysel Sonuçlar

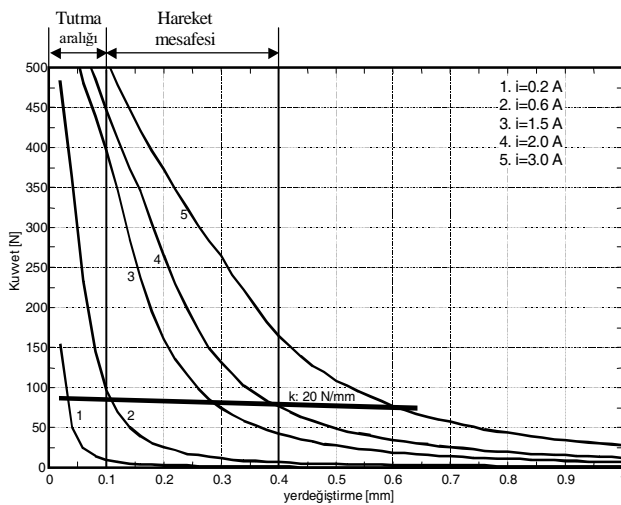
Valfin statik karakteristikleri mıknatıs devresinin kuvvet-disk yerdeğiştirme ve basınç-debi karakteristikleri olarak ele alınmıştır. Yapılan boyutlandırma çalışmaları sonucunda dış çapı 34 mm olan bir mıknatıs devresinin valfin elektriksel kumandası için yeterli olduğu görülmüştür.

Bir akışkan denetim elemanı olarak valfin karakteristiklerini elektromekanik alt sistemi ile akışkan

alt sistemi belirler. Buna göre elektromekanik alt sisteminin statik karakteristiklerini kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri akışkan alt sisteminin statik karakteristiklerini de basınç-debi eğrileri oluşturur.

Elektromekanik alt sisteminin temelini teşkil eden mıknatıs devresinin kuvvet-yerdeğiştirme karakteristikleri (6) nolu denklem ile birlikte bir dizi mıknatıs akısı ve geçirgenlik bağıntılarının çözümünden elde edilebilir. Oldukça karmaşık olan bu ifadelerin çözümü en uygun şekilde bir bilgisayar programı ile yerine getirilebilir. Bunun için MATLAB programlama dilinde bir program hazırlanmıştır. Şekil 5'de bu programla elde edilen çözüm sonuçları verilmiştir. Bu eğrilerden çeşitli akım değerlerine karşılık gelen kuvvet-yerdeğiştirme karakteristikleri görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi küçük yerdeğiştirmelerde mıknatıs çekim kuvveti çok yüksek buna karşılık çekim mesafesi artışı ile beraber bu kuvvet aşırı biçimde düşüş göstermektedir. Gerçekte (6) nolu ifade ile tanımlanan mıknatıs çekim kuvveti, mıknatıssal doymanın yok sayıldığı durumlar için

$$F_m = \frac{\mu A_e (Ni)^2}{2z(x_t - x)^2} \quad (7)$$

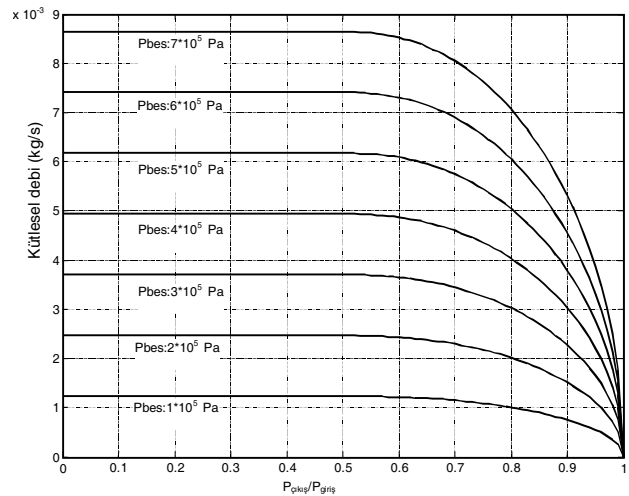


Şekil 5. Elektropnömatik Valfin Mıknatıs Devresinin Statik Karakteristik Eğrileri

biçiminde de ifade edilebilir. Burada N: sarım sayısı, i: akım (A), x: toplam hava aralığı (m), x: hareket mesafesi (m) olarak tanımlanır. Bu ifadeden çekim kuvvetinin, akımın karesi ile doğru orantılı ve hareket mesafesi ile ters orantılı değiştiği açık olarak görülmektedir.

Şekil 5'de ayrıca yay kuvveti değişimi de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi diskin mıknatıs elemanına hareketi ile birlikte çekim kuvveti hiperpolik olarak artarken yay kuvveti doğrusal biçimde artış göstermektedir. Bu karakteristik eğrilerden valfin çalışması için gerekli akım ve en uygun çalışma aralığı mesafesi belirlenebilir. Şekilde görüldüğü gibi 0.3 mm'lik bir hareket mesafesinde 0.1 mm tutma aralığı ile beraber toplam 0.4 mm' de başlangıçta 2 A üzerinde bir akımla yay kuvveti karşılanabilmektedir. Eğer bu noktada mıknatıs daha yüksek bir akımla uyarılacak olursa oluşacak ani akım değişimi ve çekim kuvveti hareket zamanını kısaltacaktır. Buna karşılık hareket tamamlandıktan sonra 0.1 mm'lik bir tutma aralığında 0.6 A üzerinde bir akımla yeterli çekim kuvveti sağlanmış olacaktır. Böylece hareket tamamlandıktan sonra akım seviyesi düşürülerek daha az enerji ile sistem çalıştırılır.

Elektropnömatik sistemin basınç karakteristikleri basınç oranı ve kütsel debi değişimine göre çeşitli besleme basıncı değerleri için (1), (2), (3) denklemlerinin



Şekil 6. Elektropnömatik Valfin Basınç- Debi Karakteristiği

sayısal çözümünü yoluyla elde edilerek Şekil 6' da gösterilmiştir.

Valfin dinamik karakteristikleri elektromekanik ve akışkan alt sistemlerine ait bağıntıların çözümünden elde edilebilir. Buradan da valfin cevap hızı ve buna etki eden parametreler belirlenmiş olur.

a) Elektromekanik Alt sistemi: Sistemin elektromekanik kısmı elektriksel ve mekaniksel alt sistemlerden meydana gelmiş olup bu iki kısım mıknatıs alt sistemi ile bütünleşmiştir.

Elektriksel kısmın esasını teşkil eden bobin ideal olarak bir direnç ile buna seri bağlı indüktans elemanı şeklinde modellenir. Bobine uygulanan elektrik gerilimine karşılık oluşan akım değişimi sonucu devrede bir mıknatıs akısı değişimi oluşur. Kirchoff yasasına göre bu ifadenin matematiksel bağıntısı

$$e(t) = Ri(t) + \frac{d(N\phi(t))}{dt} \quad (8)$$

şeklinde dir. Mıknatıs akısı değişimine karşılık oluşan mıknatıs kuvveti bağıntısı ise (6) ve (7) nolu ifadelerde olduğu gibidir. Mıknatıs çekim kuvvetinin etkisi ile hareket eden disk elemanına Newton' un II. Hareket yasası uygulanırsa ;

$$F_m(t) = m \frac{d^2x(t)}{dt^2} + b \frac{dx(t)}{dt} + kx(t) + F_d(t) \quad (9)$$

elde edilir. Burada $\phi(t)$:mıknatıs akısı (Wb), $F_m(t)$: mıknatıs çekim kuvveti (N) olup her ikisi de konum değişiminin ve elektrik akımının bir fonksiyonudur. $F_d(t)$: Basınç ve yay ön gergi kuvveti (N), m: hareket eden toplam kütle miktarı (kg), b: viskoz sönümlenme katsayısı (N/(m/s)), k: yaylılık katsayısı (N/m) olarak ifade edilir.

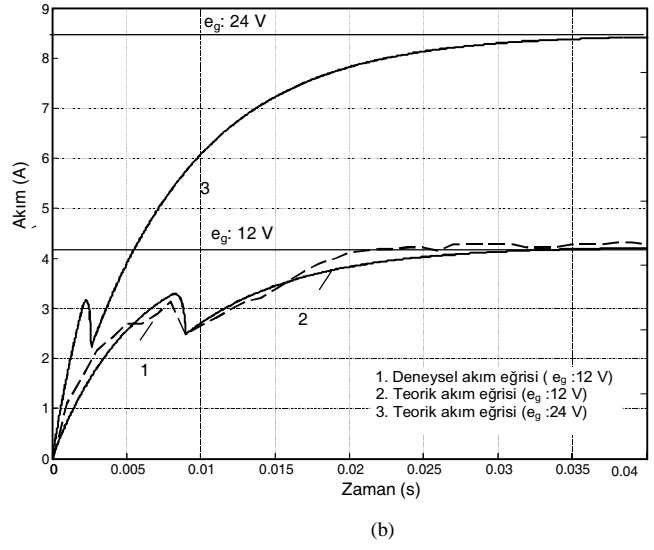
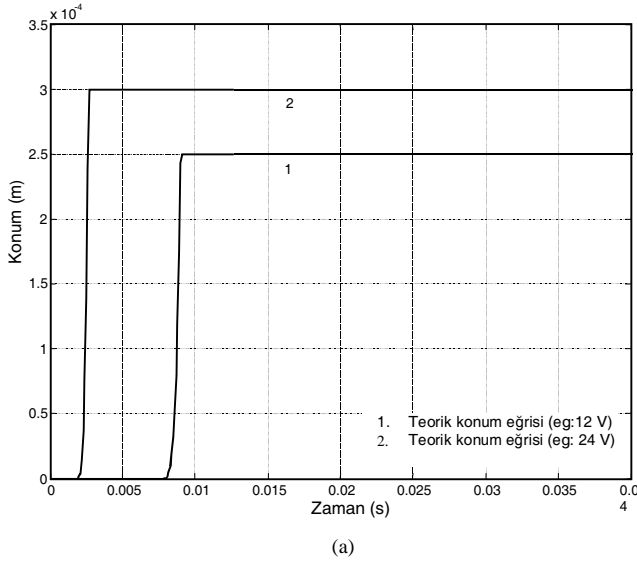
Şekil 7'de valfin yüksüz durumuna karşılık gelen dinamik karakteristikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu sonuçlar elektromekanik sistemin doğrusal olmayan dinamik davranış denklemlerinin (6,8,9) sayısal çözümünden, MATLAB/ Simulink'te hazırlanan bir

program ile elde edilmiştir [22]. Şekil 7a' da verilen eğrilerden görüldüğü gibi konum değişimi belli bir ölü zaman gecikmesinden sonra çok kısa bir zaman içinde hareketini tamamlamaktadır. Şekil 7b' de görülen akım değişiminin dinamik davranış özellikleri ise başlangıçta sürekli bir artış biçiminde olup belli bir noktadan sonra azalmaya başlamaktadır. Başlangıçta bobine basamak şeklinde bir elektriksel giriş işareti uygulanır uygulanmaz akım artmaya başlar fakat buna karşılık, konum değişim eğrilerinden görüldüğü gibi herhangi bir mekaniksel hareket başlamamaktadır. Akım artışına bağlı olarak oluşan mıknatıs kuvvetindeki artış yay kuvvetinin oluşturduğu ön gergi kuvvetini yendiğinde disk elemanı harekete geçer. Hareket esnasında elektrik devresinin indüktansındaki artış akımda düşüğe neden olur. Akım değişimi belli bir değerde minimum yaptıktan sonra tekrar yükselmeye başlayarak nihai değerine ulaşır. Hareket tamamlandıktan sonra akım değeri elektriksel zaman gecikmesine göre değişim gösterecektir. Akım eğrisinin minimum yaptığı nokta hareketli elemanın hareketini tamamladığı noktaya karşılık gelmektedir. Valfin 12 voltluk bir besleme geriliminde uyarılması durumunda gecikme zamanı 9 ms civarında olup biraz yüksek görülmektedir. Buna karşılık 24 voltluk bir besleme geriliminde gecikme zamanının yaklaşık 4 ms' ye kadar düştüğü görülmektedir. Buna göre valfin cevap hızının piyasada bulunan doğrudan kumandalı valflerle karşılaştırıldığında oldukça yüksek olduğu söylenebilir.

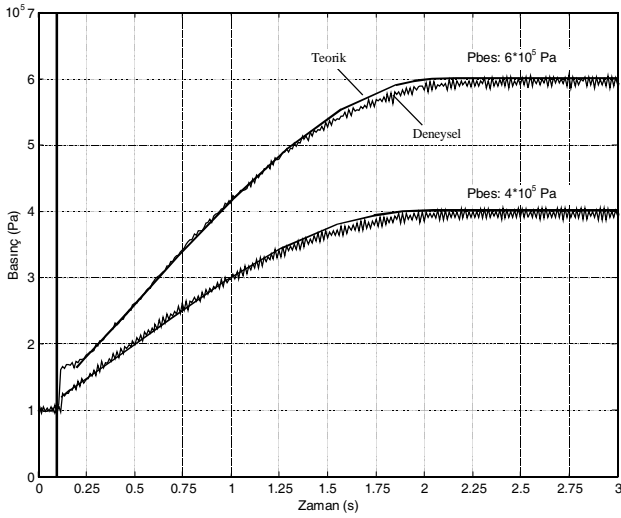
b) Akışkan Alt sistemi: Sıkıştırılabilir akışkanlar için belli bir alana sahip orifisten geçen akışkanın debisi (1,2,3) denklemleri ile belirlenebilir. Elektropnömatik valf sistemin basınç karakteristiklerini elde etmek için akışkanın sabit bir hacmi doldurması esnasındaki basınç değişimi incelenmiştir. Akışkanın sabit bir tankı doldurması esnasındaki basınç değişimi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\gamma RT}{V} \frac{dM(t)}{dt} \quad (10)$$

Burada P: tank içindeki basınç (N/m²), γ : özgül ısılar



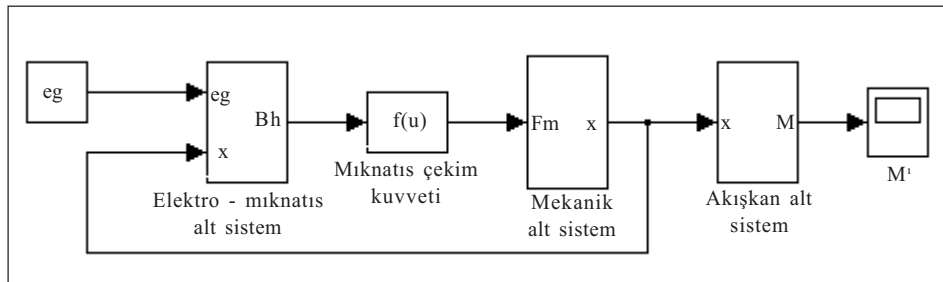
Şekil 7. Valfin Dinamik Karakteristik Eğrileri ve Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması



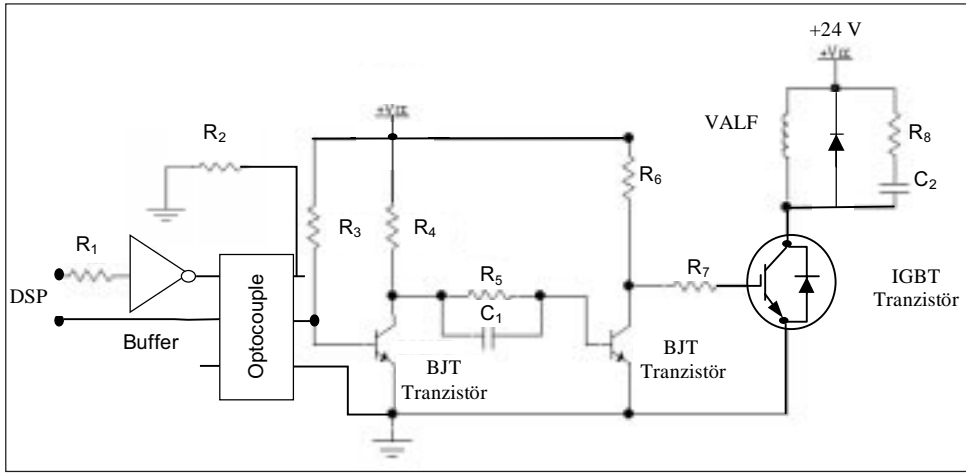
Şekil 8. Valfin Dinamik Basınc Karakteristikleri ve Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması

oranı, R : gaz sabiti (J/kgK), T : sıcaklık (K), V : tank hacim (m^3) olarak ifade edilebilir. Basınc değişimi akışkanın $1.8 \cdot 10^{-3} m^3$ hacme sahip bir tankı $20 \text{ }^\circ C$ 'de sıcaklıkta doldurduğu düşünülerek modellenmiştir. Şekil 8'de elektropnömatik valf sisteminin basınc karakteristikleri çeşitli besleme basınc değerleri için deneysel çalışmalardan elde edilen eğrilerle karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Şekil 8'den de görüldüğü gibi deneysel ve benzetim sonuçları birbirleriyle uyum göstermektedir.

Valfin dinamik davranışını tanımlayan denklemlerin (1, 2, 3, 6, 7, 8, 9) sayısal çözümünü elde etmek amacıyla Şekil 9'da verilen Simulink modeli hazırlanmıştır.



Şekil 9. Elektropnömatik Valf Sisteminin MATLAB/Simulink Modeli



Şekil 10. Valf Sürücü Devresi

VALFİN ELEKTRONİK DENETİMİ

Hızlı anahtarlama valfi olarak tasarlanan valfin elektromekanik kısmının yüksek cevap hızlarına sahip olabilmesi için bu tür valflerinin yüksek akım ile sürülmesi gerekir. Bunun için Şekil 10' da verilen sürücü devre tasarlanmıştır. Akım sürücü olarak da bilinen bu devrenin temel elemanı tranzistördür. BJT, MOSFET ya da IGBT tipinde olan tranzistörlerden yüksek akım ve darbe genişlik modülasyonu için en uygunu MOSFET ve IGBT'lerdir. Bu çalışmada ters gerilim ve akım değişimlerine karşı iyi bir şekilde yalıtılmış olan IGBT tipi tranzistörler tercih edilmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada elektropnömatik doğrudan kumandalı, iki yönlü iki konumlu (2/2) yay geri dönüşlü, düz yüzü disk tipi mıknatıs devresine sahip bir valfin hızlı anahtarlama tasarımı ele alınmış olup, statik ve dinamik karakteristikleri incelenmiştir. Bunun için hazırlanan MATLAB ve Simulink programları yardımıyla teorik sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarla karşılaştırıldığında da tutarlılık gözlenmiştir.

Sonuçları elde edilen elektropnömatik valf sistemi 7 bar mutlak besleme basıncında 1 barlık basınç düşümünde

300 lt/ dak nominal debi sağlayacak şekilde tasarlanmış olup 8.6 mm' lik lüle çapı için diskin hareket mesafesi 0.3 mm olarak belirlenmiştir. Mıknatıs devresinin cevap hızı yaklaşık 4 ms olarak hesaplanmıştır.

Sistemin statik ve dinamik karakteristikleri üzerinde yapılan çalışmalar oturtma elemanın hareket mesafesi, lüle çapı ve yay sabiti en kritik parametreleri oluşturmaktadır. Bu parametreler valfin cevap hızını etkileyebilecek parametrelerdir. Tasarlanan valfi oransal hale getirebilmek için cevap hızının yüksek olması gerekmektedir. Sisteme DGM tekniği uygulamasında sistemden yüksek bir dinamik performans sağlanması için öncelikle valflerin cevap hızının yüksek olması gerekir. Bundan dolayı diskin hareket mesafesinin küçük olması gerekmektedir. Bu mesafe küçüldüğünde lüle çapı artacağından bu artış da akışkan kuvvetlerini dolayısıyla yay ön gergi kuvvetini arttırmaktadır. Bu değerlerin birbiri arasında optimum şekilde ayarlanması gerekmektedir.

Tasarımı yapılan valfin imalatı gerçekleştirilmiş olup bazı ön çalışmalar valfin işlevselliğini göstermiştir. Ayrıca valfin cevap hızı da 4 ms olup yüksek bir anahtarlama zamanına sahiptir. Tasarlanan valf aç- kapa tipi bir valf olup anahtarlama hızı yüksek olduğu için Darbe Genişlik Modülasyon Tekniği ile oransal hale getirilmesi hedeflenmektedir.

Sistem üzerinde çalışmalar devam etmekte olup

bundan sonraki aşamada elektro pnömatik sistemin denetimi araştırılacaktır.

TEŞEKKÜR

Elektro pnömatik deney düzeneğinin kurulmasında ekipman desteği sağlayan ENTEK PNÖMATİK Ltd. Şti.' ye teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

1. **Taft, C.K., T.J. Harned.** 1979. "Electro- Fluid Four Way On- Off Pneumatic Valve". ASME. 1-8 pp.
2. **Cabral, E.L., M.C. Hunold, C.C. TU.** 2002. "Air Flow in a Plate Valve with Unequal Upstream and Downstream Orifice Sizes". Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers Part C. Journal of Mechanical Engineering Science. Vol. 216. pp. 459-471.
3. **Choi, S.H., C.O. Lee, H.S. CHO.** 2000. "Friction Compensation Control of an Electropneumatic Servovalve by Using an Evolutionary Algorithm". Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers Part 1. Journal of Systems and Control Engineering. Vol. 214 (13). pp. 173- 184.
4. **Bublitz, R., H. Murrenhoff.** 2002. "Intelligent Proportional Pneumatic Valves and Drives for Field and Bus Applications". Fifth JFPS International Symposium on Fluid Power. Nara. Japan.
5. **Bublitz, R.,** 2001. "Development of a Continous- Action Pneumatic Valve with Minimized Energy Input". O+ P>> Ölhydraulik und Pneumatik<<. 45. Nr. 10.
6. **Sato, Y. S. Cai, N. Hashimoto.** 2002. "Development of Electro- Pneumatic Valve for Cold Air Flow Control. Fifth JFPS International Symposium on Fluid Power. Nara. Japan.
7. **Kajima, T.** 1993. "Development of A High- Speed Solenoid Valve: Investigations of the Energizing Circuits". IEEE Transactions on Industrial Electronics. Vol. 40. No. 4. pp. 428-435.
8. **Kajima, T., Y. Kawamura.** 1995. "Development of A High- Speed Solenoid Valve: Investigations of Solenoids". IEEE Transactions on Industrial Electronics. Vol. 42. No. 1. pp. 1-8.
9. **Goldstein, S.R., H.H. Richardson.** 1968. "A Differential Pulse- Length Modulated Pneumatic Servo Utilizing Floating Flapper Disk Switching Disc Valves". Trans. ASME, Journal of Basic Engineering. Series C-D, pp. 427- 437.
10. **Noritsugu, T.** 1987. "Development of PWM Mode Electropneumatic Servomechanism, Part: II: Position Control of a Pneumatic Cylinder", Journal of Fluid Control, Vol. 17, No. 2, 7- 31 pp.
11. **Royston, T., R. Singh,** 1993, "Development of a Pulse Width Modulated Pneumatic Rotary Valve for Actuator Position Control", Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control. Vol. 115, 495- 505 p.
12. **Shih, M., M Ma.** 1998. "Position Control of a Pneumatic Cylinder Using Fuzzy PWM Control Method", Mechatronics, Vol. 8, Issue 3, 241-253 p.
13. **Shih, M., M. Ma.** 1998. "Position Control of a Pneumatic Rodless Cylinder Using Sliding Mode M- D- PWM Control the High Speed Solenoid Valves", JSME International Journal, Vol. 41, No. 2, p.236- 241.
14. **Ye, N., S. Scavarda, M. Betemps, A. Jutard.** 1992. "Models of a Pneumatic PWM Solenoid Valve for Engineering Applications". Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control. Vol. 114. 680- 688 p.
15. **Topçu, E.E., İ. Yüksel.** 2003. "Elektro pnömatik Bir Sistemde Konum Denetiminin Araştırılması". III. Ulusal Hidrolik ve Pnömatik Kongresi ve Sergisi. syf. 439- 449. İzmir.
16. **Imaizumi, T., O. Oyama, T. Yoshimitsu.** 2001. "Study of Pneumatic Servo System Employing Solenoid Valve Instead of Proportional Valve by Keeping the Solenoid Valve Plunger to be Floating". Proceedings of Sixth Triennial International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization Canada.
17. **Vaughan, N. D., J. B. Gamble.** 1996. "The Modeling and Simulation of a Proportional Solenoid Valve". Journal of Dynamic System, Measurement, and Control. Vol. 118, p. 120-125.
18. **Andersen, B.W.,** 1968. "The Analysis and Design of Pneumatic Systems". John Wiley. New York.
19. **Yüksel, İ.** 1981. "An Investigation of Electro- Hydraulic Floating Disc Switching Valves". PhD Thesis, University of Surrey. England.
20. **Roters, H.C.** 1941. "ELECTROMAGNETIC DEVICES, John Wiley & Sons. Inc., 7th Edition, New York, USA.
21. **McCLOY, D., H.R. Martin.** 1980. "Control of Fluid Power: Analysis and Design". Ellis Harwood Limited.
22. **Şefkat, G.** 2002. "Bir Elektromekanik Aygıtın Statik ve Dinamik Karakteristiklerinin Araştırılması". Pamukkale Üniversitesi. Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 8, Sayı 3, s. 273-282.
23. **Yüksel, İ.** 1993. "Elektrohidrolik Valflerin Genel Karakteristiklerinin İncelenmesi ve Karşılaştırılması", Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt. 4, Sayı 1, s. 67-81.
24. **Şengirgin, M.** 2000. "Elektrohidrolik Disk Valflerin Geliştirilmesi ve Bunların Çeşitli Sinyal İşleme Teknikleri Yolu ile Denetlenmesinin Araştırılması". Doktora Tezi, Bursa.
25. **Şefkat, G.** 2000. "Elektromekanik Sistemlerin Optimum Tasarımı ve Denetiminin İncelenmesi". Doktora Tezi , Bursa.