

İKİ KADEMELİ MEKANİK VE MASURA KONUMU GERİ BESLEMELİ ELEKTRO-HİDROLİK BİR SERVOVALFİN TASARIM KRİTERLERİ

Sadettin KAPUCU ve Sedat BAYSEÇ

Gaziantep Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü, GAZİANTEP

ÖZET

Çok bilinen klasik yapıdaki bu valfler bir daimi mıknatıslı tork motoru, ve bu tork motorunun kumanda ettiği iki jetli bir kanatçıklı valf ve bu valfin kumanda ettiği bir masuralı valften oluşmaktadır. Bu çalışmada birbiri ile ilişkili ve harmoni içinde çalışması gereken üç ayrı bölüm ayrı ayrı tasarlanmış, imal edilmiş ve laboratuvarında test edilmiştir. Daha sonra birleştirilen sistemlerin bir bütün olarak uyum içine girmesi sağlanmıştır. Tasarım sırasında takip edilen yol ve düşünce zinciri verilmiştir.

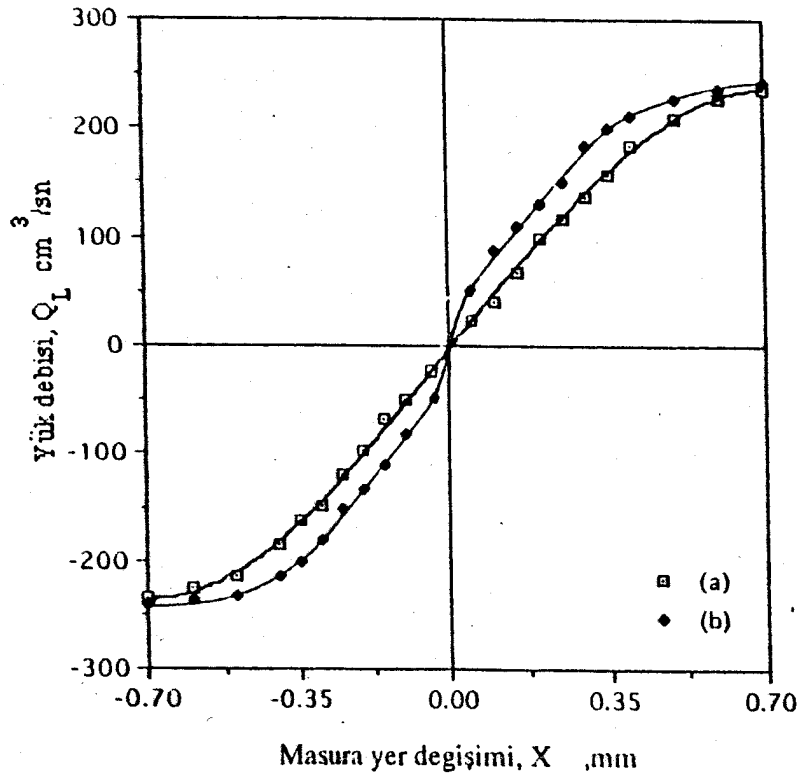
1. GİRİŞ

Yüksek performanslı valfler, büyük hidrolik güçleri hızlı ve hassas kontrol edebilmelidir. Burada, yüksek hidrolik gücün anlamı yüksek basınç ve yüksek debidir. Basınç ve debi yönlendirici olarak en çok kullanılan masuralı valftir. Masuralı valfi harekete geçirebilmek için, kolay ve hassas kontrol edilebilir kuvvetler gereklidir. Bu kuvvetler ya elektriksel ya da hidrolik basınç ile sağlanabilir. Servovalflerde daha yüksek çalışma hızlarına çıkabildiği için genellikle güç amplifikasyonu bir kanatçık valf ile sağlanır. Kanatçık valflerde, kanatçığı harekete geçirmek için daha küçük kuvvetler yeterlidir. Bu kuvvetler elektromanyetik mekanizmalar ile sağlanır. Ayrıca tüm modern kontrol sistemleri ve ölçüm duyargaları elektriksel olarak çalıştıkları için çözümü bir elektromanyetik tork motorudur. Bu çalışmada sunulan tasarım bu şekilde birbirinden ayrı ancak harmoni içinde çalışan üç gruptan oluşan bir servo valftir.

2. MASURALI VALF

Masuralı valfin statik dengelenmesinin kolay olması, bu tür valflerin hidrolik yönlendirici olarak kullanılmasını sağlamıştır. Bu tip valfler gömlek, gövde ve masuradan oluşmaktadır. Tasarımı ve imalatı yapılan valfin, kritik eş eksenli olarak çalışması

düşünülmüştür. Yağ debisi orifis alanı ile doğru orantılıdır. Orifis alanı ile masuranın konumu arasında doğru orantılı bir ilişki elde etmek için orifisi oluşturan portlar dikdörtgen olmalıdır. Blok bir parça içerisine silindirik kanalların açılması zor olduğundan gömlek üzerine freze tezgahında düz kanallar açılarak orifis alanlarının yapılması, işleme ve ölçüm kolaylığı sağlanmıştır. Daha sonra bu gömlek gövde içerisine yerleştirilmiş ve yüksek basınç bölümlerinden düşük basınç bölümlerine olabilecek sızıntı ise O-ring sızdırmazlık elemanları ile sağlanmıştır. Masuranın baş genişliği üzerine silindirik kanallar açılarak, basınç değişikliğinden dolayı masuranın gömleğe yapışması engellenmiş ve kütlesi azaltılmıştır. İlk yapılan masurada, gömlek açıklıklarıyla masuranın başları aynı olarak imal edilmiş ve yüksüz çalıştırılan valfin masuranın yer değişimine karşılık debi eğrisi açık merkezli valf karakteristiği göstermiştir (şekil 1). Bunu önlemek için, masuranın baş genişliği, 0.05 mm örtmeyi sağlayacak şekilde gömlek ağız genişliği nominal ölçüsünden 0.1mm daha büyük ikinci bir masura imal edilmiş ve test sonucunda kritik merkezli valf karakteristiği elde edilmiştir. Her iki denemede de gömlek ve masura arasındaki radyal boşluk 0.05 mm tutulmuştur.



Şekil 1: (a) Kritik merkezli, (b) Açık merkezli valf eğrileri.

(a)'da masura başı port genişliğinden 0.1 mm daha büyük,

(b)'de ise port ve masura başı genişlikleri aynıdır.

Her ikisinden de radyal boşluk 0.05 mm tutulmuştur.

3. ÇİFT JETLİ KANATÇIK VALF

Kanatçık valfler genellikle kontra sistemlerinde öncü valf olarak kullanılır. İki jet, bir kanatçık ve bir gövdeden oluşan bu valflerde kanatçığın jetler arasında hareket etmesiyle basınç farkları yaratılır. Bu basınç farklılıkları masaralı valfi harekete geçirmek için kullanılır. Kanatçık tam nötr konumunda iken devamlı bir yağ akışı mevcuttur. Basınç-debi-kanatçık konumu fonksiyonunda, jet ile kanatçık arasında oluşan alanda akan yağın hidrolik bir rezistansla karşılaşmaması için, jet uçlarının keskin köşeli olması gerekir. Fakat mekanik dayanımı göz önüne alındığında, özellikle jetlerin kanatçığın hareketini engelleyici olarak kullanılması halinde jet uçlarının dairese yüz bir yüzeye sahip olmaları gerekir. Jetlerin uç açılarında etkilidir. Bunun için jetlerin uç açılarının 30° den daha az olması gerekmektedir [1],[2]. Burada sunulan tasarımda jetler ana gövdeden ayrı olarak imal edilmiş ve ana gövdeye vidalanmıştır. Bu konstrüksiyon, jetler ile kanatçık valf arasındaki boşluğun ayarlanması için büyük kolaylıklar sağlamıştır. Kanatçık ve ana gövdeye bir döner eklem ile bağlanmış ve sızdırmazlık sağlamak için elastik diyafram kullanılmıştır.

4. MAGNETİK TORK MOTOR

Servovalfin diğer kısımlarıyla karşılaştırıldığında tork motoru çok hızlıdır. Sınırlı hareketle, küçük ve elektromagnetik olarak tork üretir. Tork motorunun hızını yükseltmek için armatürün kütlesi ve boyutları mümkün olduğu kadar küçük tutulmalıdır. Bunun için genellikle bobinler armatürün hareketini engellemecek şekilde valf boşluğuna monte edilir. Statorun detayları ve kutup uçları çelikten hassas, daimi mıknatısları arasında olacak şekilde sandviç formunda imal edilmiştir. Tasarımı ve imalatı yapılan tork motorun yarattığı tork, araştırma için büyük tutulmuş ve her bobin 0.3 mm çapında bakır tel kullanılarak 2000 sarımdan oluşturulmuştur. Bobinler direkt olarak armatürün üzerine sarılmış, böylece hareketli parçanın kütlesi artmıştır. Ancak bobinleri direkt olarak armatür üzerine sarılması iyi bir tasarım değildir. İki adet daimi mıknatıs bloğu paralel, hassas işlenmiş yüzeyler arasında konularak statorun manyetik akımı çizgilerinin minimum rezistansla karşılaşması sağlanmıştır.

5. STATİK PERFORMANS DENEYLERİ

Servovalflerin hidrolik servo mekanizmaların karakteristiğini etkileyen statik faktörlerinin bilinmesi gereklidir. Valfin statik karakteristik faktörleri:

- a) debi kazancı,
- b) basınç-debi katsayısı
- c) basınç kazancıdır.

3. ÇİFT JETLİ KANATÇIK VALF

Kanatçık valfler genellikle kontrol sistemlerinde öncü valf olarak kullanılır. İki jet, bir kanatçık ve bir gövdeden oluşan bu valflerde kanatçığın jetler arasında hareket etmesiyle basınç farkları yaratılır. Bu basınç farklılıkları masuralı valfi harekete geçirmek için kullanılır. Kanatçık tam nötr konumunda iken devamlı bir yağ akışı mevcuttur. Basınç-debi-kanatçık konumu fonksiyonunda, jet ile kanatçık arasında oluşan alanda akan yağın hidrolik bir rezistansla karşılaşmaması için, jet uçlarının keskin köşeli olması gerekir. Fakat mekanik dayanım göz önüne alındığında, özellikle jetlerin kanatçığın hareketini engelleyici olarak kullanılması halinde jet uçlarının dairesel düz bir yüzeye sahip olmaları gerekir. Jetlerin uç açıları da etkilidir. Bunun için jetlerin uç açılarının 30°' den daha az olması gerekmektedir [1],[2]. Burada sunulan tasarımda jetler ana gövdeden ayrı olarak imal edilmiş ve ana gövdeye vidalanmıştır. Bu konstrüksiyon, jetler ile kanatçık valf arasındaki boşluğun ayarlanması için büyük kolaylıklar sağlamıştır. Kanatçık ise ana gövdeye bir döner eklem ile bağlanmış ve sızdırmazlık sağlamak için elastik diyafram kullanılmıştır.

4. MAGNETİK TORK MOTOR

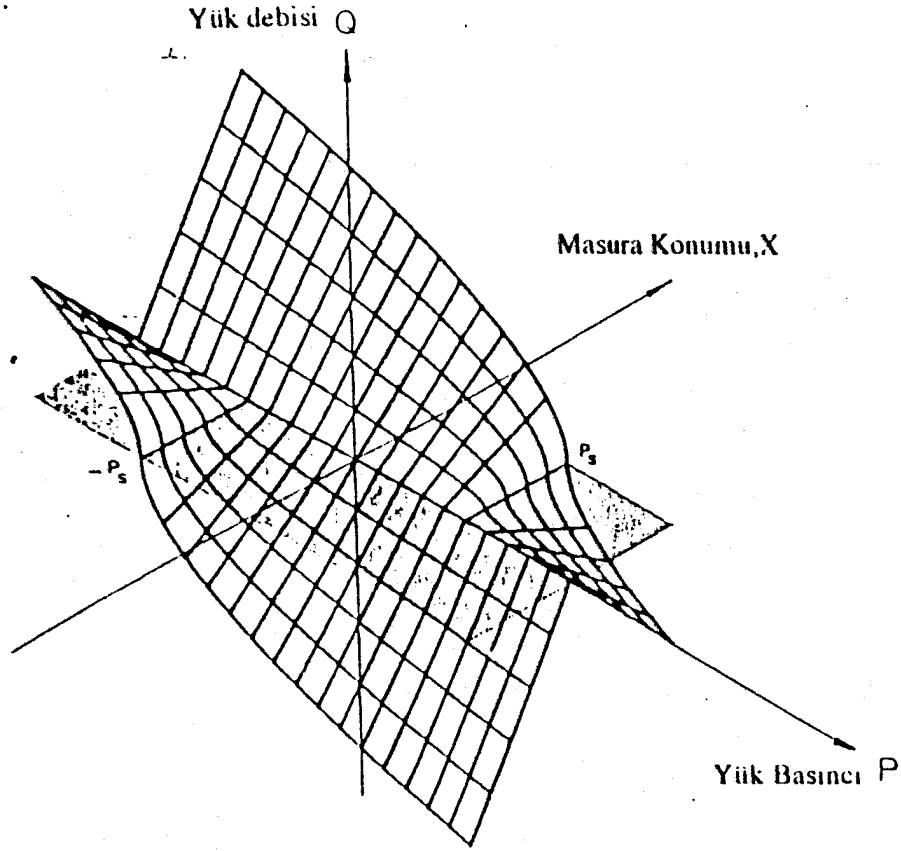
Servovalfin diğer kısımlarıyla karşılaştırıldığında tork motoru çok hızlıdır. Sınırlı hareketle, küçük ve elektromagnetik olarak tork üretir. Tork motorunun hızını yükseltmek için armatürün kütlesi ve boyutları mümkün olduğu kadar küçük tutulmalıdır. Bunun için genellikle bobinler armatürün hareketini engellemeyecek şekilde valf boşluğuna monte edilir. Statorun detayları ve kutup uçları çelikten hassas, daimi mıknatısları arasında olacak şekilde sandviç formunda imal edilmiştir. Tasarımı ve imalatı yapılan tork motorun yarattığı tork, araştırma için büyük tutulmuş ve her bobin 0.3 mm çapında bakır tel kullanılarak 2000 sarımdan oluşturulmuştur. Bobinler direkt olarak armatürün üzerine sarılmış, böylece hareketli parçanın kütlesi artmıştır. Ancak bobinleri direkt olarak armatür üzerine sarılması iyi bir tasarım değildir. İki adet daimi mıknatıs bloğu paralel, hassas işlenmiş yüzeyler arasına konularak statorun manyetik akım çizgilerinin minimum resistansla karşılaşması sağlanmıştır.

5. STATİK PERFORMANS DENEYLERİ

Servovalflerin hidrolik servo mekanizmaların karakteristiğini etkileyen statik faktörlerinin bilinmesi gereklidir. Valfin statik karakteristik faktörleri:

- a) debi kazancı,
- b) basınç-debi katsayısı
- c) basınç kazancıdır.

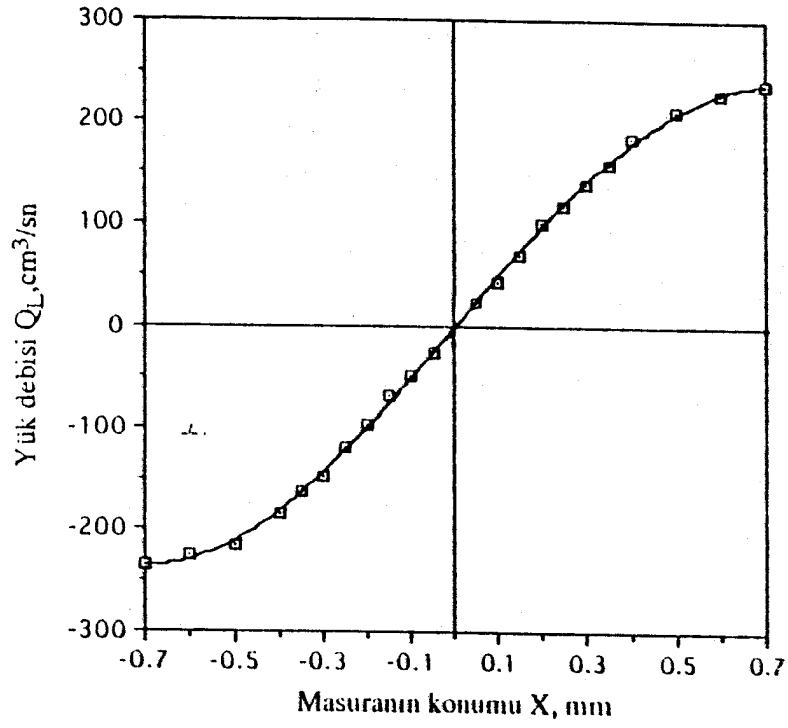
Kontrol elemanı masuralı valf olduğundan bu faktörler aslında masuralı valf grubunun faktörleridir. Şekil 2'de bir hidrolik valfin, basınç-debi-konum yüzeyi görülmektedir. Valfin bütün davranışı bu yüzey ile tanımlanır. Bu yüzeyin X-Q düzlemi ile kesişmesi bir doğrudur ve eğimi debi kazancını, X-P yüzeyi ile olan kesişmesi basınç kazancı eğrisini, P-Q yüzeyi ile kesişmesi basınç-debi eğrilerini verir. Valfin debi kazancı açık devre kazancı sabitini etkiler ve sistemin stabilitesi üzerinde doğrudan bir etkisi vardır [1]. Debi-basınç katsayısı kontrol sisteminin sönümlemesini etkiler. Bir çok uygulamada küçük masura konumu hataları ile büyük sönümleme kuvvetlerinin yenilmesi istenilir. Bunun içinde basınç kazançlarının yüksek olması gerekir.



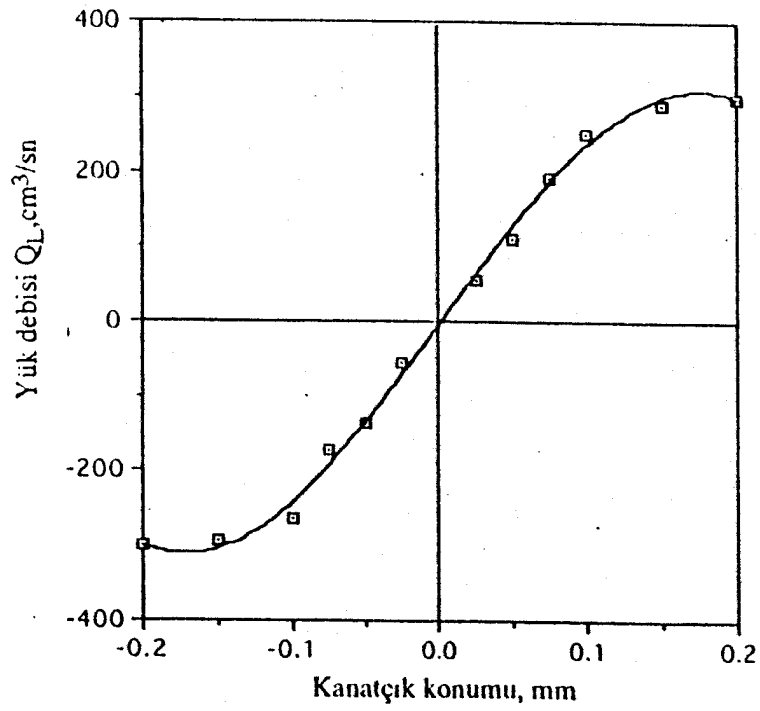
Şekil 2: Basınç-Debi-Masura konumu yüzeyi.

5.a) Debi Kazancı (Yüksüz Debi Karakteristiği) :

Valfin performans sınırları, simetri, maksimum debi değeri ve yüksüz debi eğrisiyle tanımlanır. Masuralı ve kanatçık valfler bu eğrilerinin alınması için ayrı ayrı test edilmiştir. Masuranın belirli bir konumuna karşılık debi ölçülerek elde edilen değerler şekil 3'de grafik olarak verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, debi-masura konumu orijinden geçen bir doğru şeklindedir. Bu doğrunun eğimi, masuranın ± 0.4 mm'lik konumu değişimi içinde 4600 $\text{cm}^3/\text{saniye}$ dir. Port genişliği 17.8 mm, besleme basıncı 27 bar'dır.



Şekil 3: Masuralı Valfin Yüksüz Akış Karakteristiği.

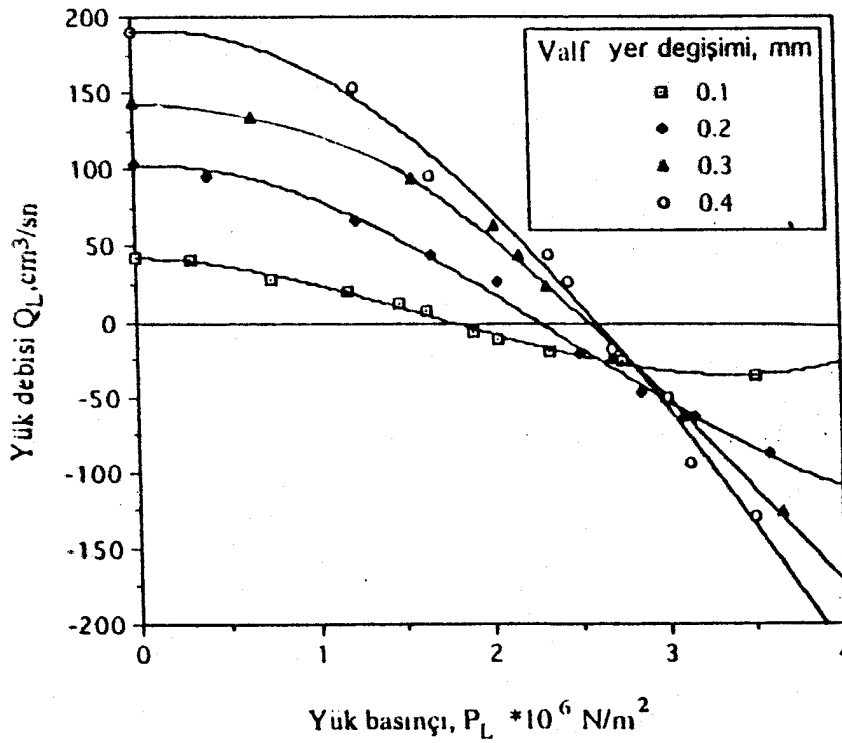


Şekil 4: Kanatçık valfin yüksüz debi karakteristiği.

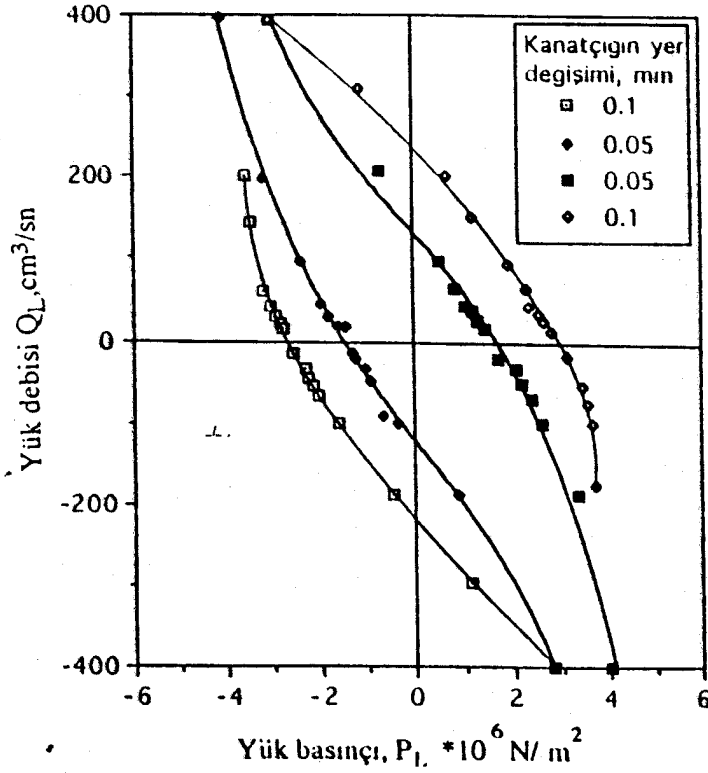
Masuranın ± 0.4 mm' nin üzerindeki konum değişiminde hidrolik güç ünitesinin debisi maksimum değerlere ulaşmaktadır. Bu debi-masuranın konumu eğrisi yük olduğu zamanda doğruluğunu koruyacak, fakat eğiminde bir miktar azalma olacaktır. Aynı deney düzeneği kullanılarak, kanatçık valf içinde elde edilen yüksüz debi karakteristiği, şekil 4' de verilmiştir. Bu eğrinin masuralı valfin karakteristiğine benzediği görülmektedir. Debi kanatçığın ± 0.1 mm 'lik konum aralığında orijinden geçen ve eğimi $25000 \text{ cm}^2/\text{saniye}$ olan bir doğru fonksiyonu şeklindedir.

5.b) Basınç-Debi Karakteristiği :

Debi, orifis alanıyla ve yük basıncının kare köküyle orantılıdır. Debi, orifis alanı ve basınç arasındaki ilişkinin belirlenmesi için valfin konum değişimi belirli değerlerde sabit tutularak, debinin değişik değerleri için basınçlar ölçülmüştür. Alınan bu değerler masuralı valf için şekil 5'de, kanatçık valf için şekil 6'da verilmiştir. Teorik olarak şekil 5'deki eğrilerin $P_L = P_s$ değerlerinde kesişmeleri gereklidir. Ancak masura ile gömlek arasındaki kaçaklardan dolayı bu nokta negatif debilerde oluşmaktadır. Her iki deneyde besleme basıncı 27 bar'dır. Kanatçık valfte jet çapı 2 mm, nötr konumunda kanatçık ve lüle ucu arasındaki mesafe 0.1 mm'dir. Kanatçık valfin sabit orifis çapı 1mm ve boyu 5 mm'dir.



Şekil 5: Prototip masuralı valfin debi karakteristiği.

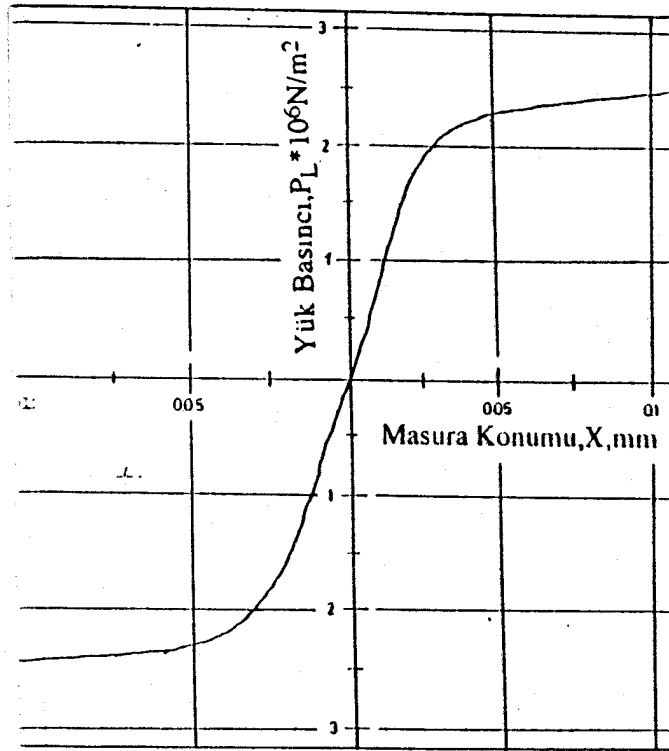


Şekil 6: Prototip Kanatçık valfin debi karakteristiği.

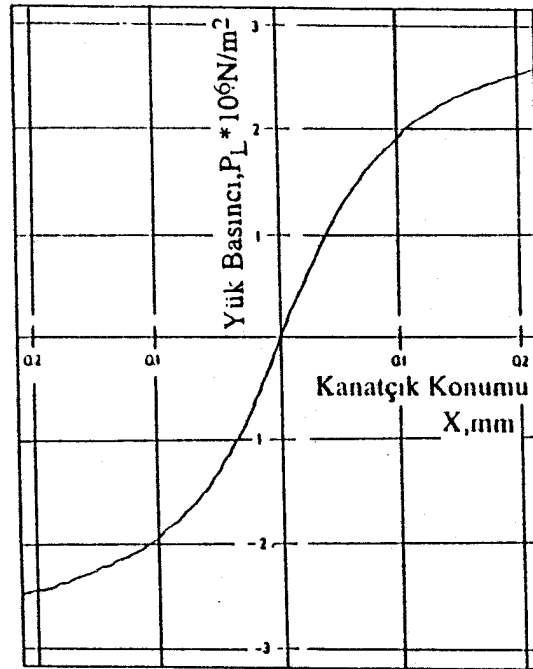
5.c) Basınç Kazancı (Kapalı Port Karakteristiği) :

Bu karakteristik kontrol yükünün sonsuz olduğu durumda, yani portlar kapalı iken, basınca karşılık valfin konumunu gösteren eğridir. Bu eğri basınç-debi-masura konumu yüzeyinin basınç-valf konumu düzlemi ile kesişmesiyle elde edilen ilişkidir. Masurulu valflerde teorik olarak bu kesişim, sabit basınç ve masura valfin konumundan bağımsız olarak, $P_L = P_s$ 'da oluşur. Masuranın konumu negatif tarafta olduğu zaman basınç $P_L = -P_s$ 'dır. Teorik olarak P_L , P_s ile $-P_s$ arasındaki ani basınç geçişini gösterir. Basınç-masura konumu eğrisinin eğimi basınç kazancı olarak isimlendirilir. Teorik olarak masuranın nötr konumunda eğim sonsuzdur. Gerçekte basınç hassaslığı valf içindeki kaçak yağ akımlarından dolayı sonsuz değil, belirli bir değerdedir. Bu tip valfler nötr konumunda statik yük taşımazlar. Dolayısıyla, herhangi bir statik veya dinamik yük masuranın pozisyonu ayarlanarak karşılanır. Masuranın küçük yer değişimine karşılık büyük basınç değişiklikleri göstermesi için basınç kazancının belirli fakat yüksek bir değerde olmasını gerekir.

Basınç-valf konumu eğrisini elde etmek için bir deney düzeneği hazırlanarak, basınç değişimini ve konum duyargalar aracılığıyla devamlı ölçülerek direkt olarak, bir analog çiziciye



Şekil 7: Prototip masuralı valfin kapalı port karakteristiği.



Şekil 8: Prototip kanatçık valfin kapalı port karakteristiği.

gönderilmiştir. Bu deneyin sonucu, masuralı valf için şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7'deki eğrinin eğimi, masuralı valfin basınç hassaslığını göstermekte ve bu değer masuranın ± 0.025 mm'lik konum aralığında 8×10^9 N/m³ 'dür. Masuranın ± 0.025 mm'lik konum değişimi aralığı dışındaki değerlerde basınç non-lineer olarak besleme basıncına ulaşmaktadır. Besleme basıncının %80'ni masuranın ± 0.025 mm gibi küçük bir hareketi ile kontrol edilebilmektedir.

Kanatçık valfin basınç-konum eğrisi şekil 8'de verilmiştir. Aynı giriş basıncında, basınç hassaslığı kanatçığın ± 0.0075 mm lik konum değişimi aralığında, 0.25×10^9 N/m³ 'dür. Kanatçık valf sadece masurayı hareketlendireceğinden masuranın üzerinde kütleli ataleti basınç hassaslığıyla orantılıdır. Kanatçık valfin basınç hassaslığının masuralı valf ile karşılaştırıldığında daha küçük olması yeterlidir.

SONUÇ

Sınırlı imalat imkanlarına rağmen tasarımı ve imalatı yapılan valfler ve tork motoru iyi bir performans göstermiştir. Valfler ve tork motoru tasarımı yapılırken, hepsinin bir bütün olarak çalışacağı için montaj kolaylığı ve uyum içinde çalışmaları, esas olarak alınmıştır. Sistem bir bütün olarak düşünülmüş ve daha sonra imalatları sırasında ayrı ayrı tasarımı olarak imalatı ve performans deneyleri yapılmıştır. Deneyler sırasında çıkan hatalar giderilerek valflerin bir bütün içine girmeleri sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- 1- Hydraulic Control Systems,
Herbert E. Merrit, John Wiley and Sons Inc. ISBN 0 4721 59617 5, -1967.
- 2- Fluid Power Control,
Blackburn, J.F., G.Reethof, and J.L. Shearer, Technology Press of M.I.T and Willey, 1960.
- 3- Simulation of the Dynamics of Hydraulically Actuated Planar Manipulators,
S. Bayseç, Ph.D. Thesis, Liverpool Polytechnic.-1983.
- 4- An Improved Model of an Electrohydraulic Servovalve,
S. Bayseç, and J.Rees Jones, 7th International IFTOMM Congress, Sevilla,.-1987
- 5- The Dynamic Characteristics of an Electrohydraulic Servovalve,
D.J. Martin, G.R.Burrows, ASME, Journal of Dynamics Systems, Measurements and Control, December 1976., pp 395-406.