



# ELEKTROREHEOLOJİK AKIŞKANLAR VE BİR HİDROLİK VALFE UYGULANMASI

E. Ramazan TOPÇU  
Sadettin KAPUCU

## ÖZET

Elektroreheolojik akışkanlar, iletken olmayan akışkanın içerisine çok küçük parçacıklara ayrılmış polarize olabilen taneciklerin katılmasıyla oluşturulurlar. Elektrotlar arasından akan böyle bir karışıma dışarıdan elektrik alanı uygulandığında, akışkanın reheolojik davranışında büyük oranda tersinir değişiklikler meydana gelir. Akışkanın bu davranışı alışlagelmiş yön valfları yerine kullanılabilme potansiyeli taşımaktadır. Bu çalışma, elektroreheolojik bir valf tasarımı hakkındadır. Öncelikle, böyle bir sistemde kullanılacak elektroreheolojik akışkanın özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Elektroreheolojik akışkan elde etmek için trafo yağı, mısır nişastası ile belirli oranlarda karıştırılmış ve akışkanın reheolojik özellikleri belirlenmiştir. Bu özellikler kullanılarak bir valf tasarlanmış ve imal edilmiştir. Daha sonra bu valfin değişik elektrik alanı altında basınç düşü grafikleri elde edilmiştir. Çift etkili bir hidrolik silindiri hareketlendirmek için köprü şeklinde bir hidrolik valf düzeneği oluşturularak çift etkili hidrolik silindir sürülmüştür.

## ABSTRACT

Electrorheological (ER) fluids consist of micron sized dielectric particles in a nonconducting fluid. When an external electrical field is applied, the polarized particles of the electrorheological fluid is charged and arranged like chains between electrodes. In this way, flow resistance and applied stress on the electrodes can be increased. This effect has been exploited in engineering applications for the development of discrete devices. This study presented here is about to design of an electrorheological valve. Firstly, rheological characteristics of the ER fluid are to be at hand. To achieve this, transformer oil-based ER fluid were prepared by mixing them varying mass ratio of corn starch and the rheological behaviour of these mixtures was determined. Then, using these characteristics ER valve was designed and manufactured. Furthermore, ER valve is tested to obtain dependency of the pressure drop characteristics to applied electrical field and flow rate. Finally, four ER valves were arranged to form a Whetstone bridge for controlling actuator in hydraulic circuit.

## 1. GİRİŞ

Hidrolik güç ve kontrol sistemlerinin ardındaki temel kavramlar son yıllarda çok az bir değişikliğe uğramıştır. Bir hidrolik kontrol sistemi tasarımında sistem performansını etkileyen eleman genellikle mekanik elemanlardır. Sistemin dinamik performansı dinamik cevabı ile karakterize edilmektedir. Bu da sistemin hareketli kütlesi, katılığı, yağlama ve enerji boşalımı gibi karakteristik özelliklerine büyük ölçüde bağlıdır. Elektro-hidrolik servo valfler hidrolik kontrol sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadırlar. Ancak, bu tip valfler karmaşık ve pahalı valflerdir. Bu valfler yerine hareketli parçalarının olmaması, hızlı ve kolay kontrol edilebilmeleri nedeniyle elektroreheolojik (ER) valflerin, kullanılması gündeme gelmektedir.



Elektroreolojik etkiler yüksek performanslı elemanların elde edilmesini sağlayan yeni bir yöntemdir. Elektroreolojik olayı iki elektrot arasındaki küçük dielektrik parçacıklar katılmış akışkanın üzerine elektrik alanı uygulanması sonucunda oluşmaktadır. Böylece, dielektrik parçacıklar zincir formu oluşturarak akışa karşı direnç gösterir. Elektrik alanı kaldırıldığında ise bu zincirler kırılarak akış direnci ortadan kalkar. ER akışkanın kayma gerilmesi ve basma gibi mekanik özellikleri uygulanan elektrik alanı şiddetine bağlı olarak büyük değişimler gösterir. ER etkiyi kullanan sistemlerde akışkanın kayma gerilmesi ile elektrik alan şiddeti arasındaki bağıntı önemlidir. Akışkanın elektrik alanı altında yüksek kayma gerilmesi, elektrik alanı kaldırıldığında ise düşük kayma gerilmesine sahip olması beklenir. Düşük elektrik alanı şiddetindeki ER akışkan genellikle sıvı haldedir. Eğer Elektrik alanı 1ile 3 kV/mm değerine yükseltilirse o zaman akışkan yarı katı gibi davranır. Bu etki tersinirdir yani elektrik alanı kaldırıldığında tekrar sıvı hale dönüşür. Katı halden sıvı hale yada elektrik alanının uygulanmasıyla sıvı halden katı hale dönüşme frekansının 1 kHz civarında olduğu belirtilmektedir [1]. Bu tepki cevabı konvensiyonel elektro hidrolik servo valfların frekansları ile karşılaştırıldığında mevcut teknolojinin (state of the art) üzerinde olduğu görülür. ER akışkanların bu özelliği mühendislik uygulamalarında birçok kullanım alanları bulmuştur.

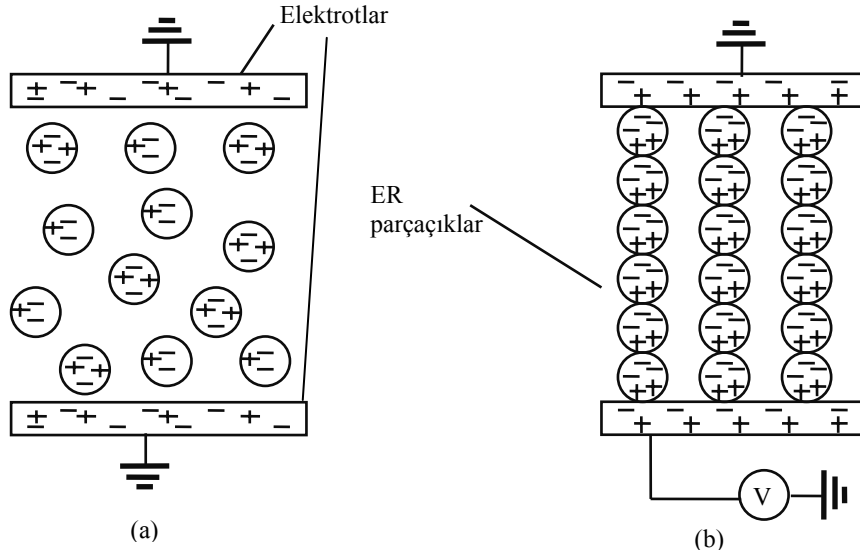
Bu çalışmada ilk bölümde ER akışkanların mekanik davranışları ve operasyon modlarından ikinci bölümde ER valfin tasarım kriterlerinden ve basınç düşü karakteristliklerinden bahsedilecektir.

## 2. ELEKTROREOLOJİK AKIŞKANLAR

Elektroreolojik (ER) akışkanlar temel bir akışkan içerisinde çok küçük boyutlarda (5-50 $\mu$ ) dielektrik katkı maddeleri katılarak oluşturulan akışkanlara verilen isimdir. ER etkisi ilk olarak W.M. Winslow tarafından bulunmuştur. İlk kullanılan sıvı keroten içinde silika jelinden oluşmaktadır. Silika jeli aşındırıcı olduğundan bir çok uygulama için elverişsizdir. ER akışkandan istenilen özellikler uygulanacağı sistemin gereksinimi olan mekanik, elektrik, ısı, ağırlılık, çözünebilirlik ve çözebilirlik gibi özelliklerden kaynaklandığından literatürde çok çeşitli ERF vardır ve araştırmalar devam etmektedir [2].

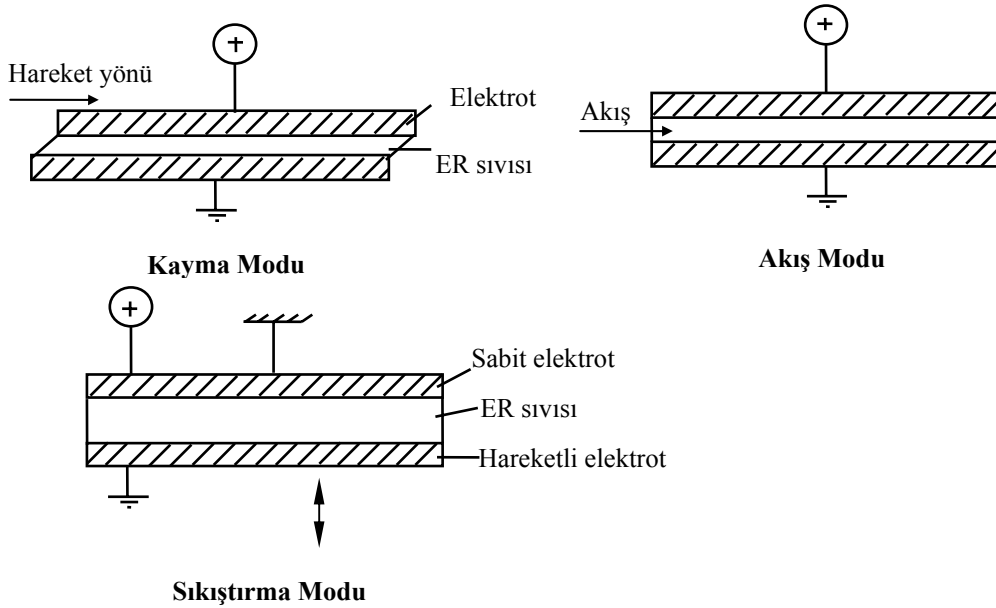
### 2.1 Elektroreolojik Akışkan Davranışı ve Etkisi

Bir elektroreolojik (ER) sıvı yeteri miktarda, ince temel katı ve esas sıvının karışımıdır. Böyle bir sıvının elektrik alanı altında akma direncinin artırılması olarak tanımlanmaktadır. Eğer sıvı iki elektrot arasında ise ve voltaj uygulanırsa bu elektrotlara örneğin tipik bir elektrik alan 1 ila 3 kV/mm oluşturulursa katkı maddesi olarak katılan ve polarize olabilen parçacıklar zincirler oluşturarak elektrotlar arasının kapatır. Bu olay Sekil 1'de verilmiştir. Bu etki ters çevrilebilir özelliktedir böylece bu elektrik alan kalktığında ER sıvı eski durumu olan sıvı hale geçer. Verilen hızlı elektrik alan değişimi geleneksel hidrolik cihazlarla kıyaslandığında çok hızlı olduğu belirtilmektedir (yaklaşık olarak 1ms). ER etkisi elektronik kontrol sistemi ile direk ara yüz bağlantısı kurabildiği için geleneksel sistemlerde kullanılmasına ihtiyaç duyulan, selenoid ile çalıştırılan tipik, elektro servo sistemlerin kullanımına ihtiyacı ortadan kaldırır. Bu ise daha basit ara yüzü direk ve hızlı elektro hidrolik sistemler hazırlayabilme potansiyeli taşımaktadır.



Şekil 1: Rheolojikal etki .

ER akışkanın operasyon modları Şekil 2 den de görüleceği üzere Kayma modu, Akış modu, Sıkıştırma modu olarak üçe ayrılmaktadır.



Şekil 2. ER Sıvıların Operasyon Modları [3].

Kayma modunda, elektrotlar iç içe iki silindirden oluşan aralarında ERF bulunduğu ve elektrotların bağıl hareket edebildiği düzenektedir. Akışkanın kayma gerilmesi özelliğinin dolayı döndürme kuvveti yada kuvvet taşınımında kullanılır. Uygulama örnekleri olarak frenler, tork aktarma organları [4, 5], şok emiciler, titreşim sönümleyiciler [6] verilebilir.

Akış modunda, elektrotlar sabit paralel iki plakadan oluşurlar. Akışkan bu iki plaka arasından akmaya zorlanır. Böyle bir düzenekte debi-basınç ilişkisi uygulanan elektrik alan şiddetiyle kontrol edilebilir. Bu ilişki kullanılarak yapılan uygulamaya örnek olarak ER valfler verilebilir [2,7,8].



Sıkıştırma modunda, ER sıvı iki elektrot arasındadır. Bu plakalardan bir tanesi sabit diğeri ise hareketlidir. Bu moda bir plakadan diğere aktarılan basıncın elektrik alanı olan etkisi araştırılmıştır [9].

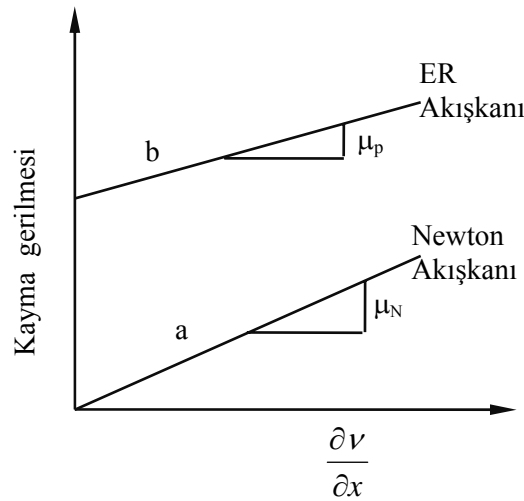
Bu çalışmada ER sıvılarının hidrolik valfler de kullanımı üzerine yoğunlaşmaktadır. ER etkisi elektronik kontrol sistemi ile direk ara yüz bağlantısı kurabildiği için geleneksel sistemlerde kullanılmasına ihtiyaç duyulan, selenoid ile çalıştırılan tipik, elektro servo sistemlerin kullanımına ihtiyacı ortadan kaldırır. Bu ise daha basit ara yüzü direk ve hızlı elektro hidrolik sistemler hazırlayabilme potansiyeli taşımaktadır.

## 2.2 Elektoreheolojik Etkinin Davranış Biçimi

Bir ER valfi anlamak için ilk önce ER sıvının ideale yakın davranış biçimi hakkında bilgi sahibi olmak gereklidir. Bu bilgi ise kayma gerilmesi diyagramını kullanarak sağlanabilir. Eğri 'a' bir Newton sıvının karakteristiğini göstermektedir. Bu eğriyi eğimi Newton viskozitesi olan  $\mu_n$  dir. O halde kayma gerilmesi ;

$$\tau = \frac{\mu_s \partial v}{\partial x} \quad (1)$$

dir. 'a' doğrusu başlangıçtan geçtiği için uygulan herhangi bir stres sıvının akmasına sebep olacaktır. Elektrik alan uygulanmadığı takdirde ER akışkanı 'a' eğrisi tarafından gösterilen herhangi bir Newton sıvısı gibi davranacaktır.



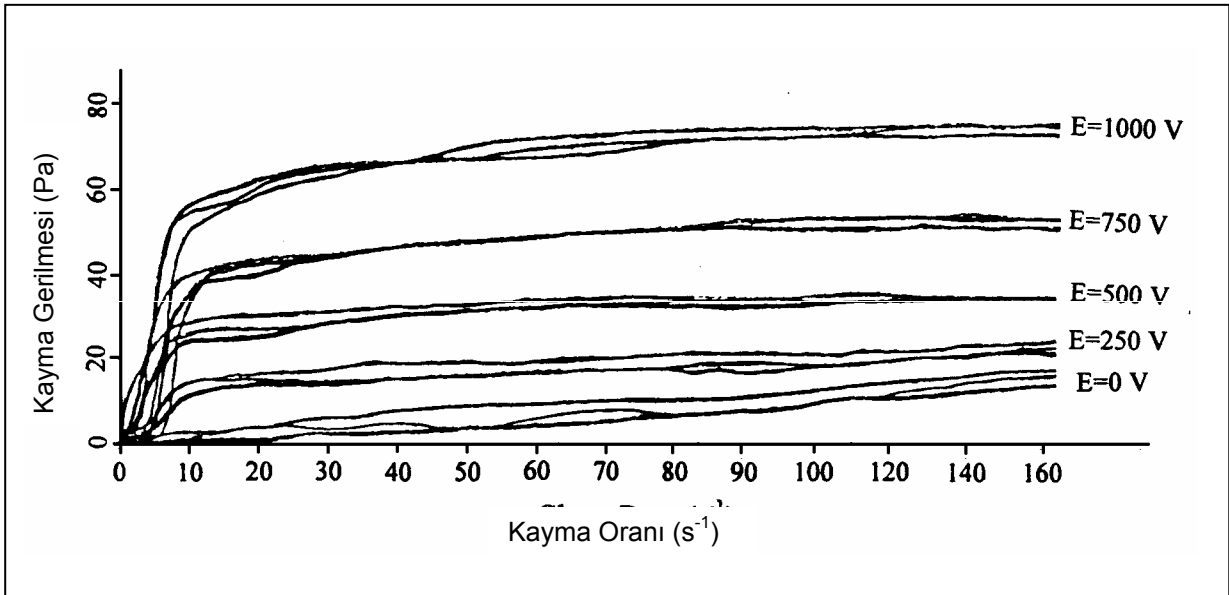
Şekil 3 . İdeal ER akışkan davranışı.

'b' eğrisi Bingham plastik davranışını göstermektedir. Plastik davranışında akış sadece, akma gerilmesi eşik değeri  $Y_1$  den büyüklük olarak daha yüksek bir gerilme değeri için oluşur. Plastik viskozitesi  $\mu_p$ , eğrinin bu eşik üzerindeki eğimidir. Bu eşğin altında uygulanan gerilme sıvıyı zorlar ama akış yaratamaz. Bu durum için gerilme;

$$\tau = Y_1 + \mu_p \frac{\partial v}{\partial x} \quad (2)$$

olacaktır.  $Y_1$  (Pa) akma gerilmesi ve  $\mu_p$  (Pa.s) ise plastik viskozitedir. ER sıvısına bir elektrik alan uygulandığında, akışkan Bingham plastik gibi davranır. Elektrik alanı yükseltildiğinde akma gerilmesi eşik değeri de yükselir. Bu olay viskozitenin uygulanan elektrik alan ile değişmesinden biraz farklı bir etkidir, bu nedenle elektoreheolojikal etki ismi elektro-viskozite ismine tercih edilmiştir. Bu amaçla ER valflü devre tasarlanmasının açıklaması deneysel verilerden de çıkarılacağı gibi akma gerilmesi eşik değeri uygulanan elektrik alan ile orantılı değişirken plastik viskozite sabit kalır [1].

ER sıvısı olarak trafo yağı ve mısır nişastası kullanılarak elde edilen akışkanların elektrik alanı altındaki özellikleri döner viskoz metre ile incelenmiştir [10]. Kullanılan trafo yağının dinamik viskozitesi 0.0074 Pa.s ve 840 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğundadır. Şekil 4'de %40 oranında mısır nişastası, %60 oranında trafo yağı kullanılarak elde edilen akışkanın özel olarak tasarlanmış döner viskozite ölçeri ile kayma gerilmesine karşılık kayma yüzeyine dik yöndeki hız türevine karşılık kayma gerilmesi grafiği verilmiştir. Aynı elektrik potansiyeli altında deneyler üçer kez yapılarak tekrarlanmış ve şekil 4'de gösterilmiştir. Bu deneylerde kullanılan ER ticari manada kullanılanlarla aynı özellikleri göstermeyebilir. Ancak ucuz olması, bulunabilir olması en önemli avantajdır.



**Şekil 4.** %40 Nişasta-%60 Trafo yağıyla oluşturulan ER akışkanının kayma yüzeyine dik yöndeki hız türevine karşılık kayma gerilmesi grafiği.

Şekil 4'den de görüleceği üzere akışkanın üzerine hiç elektrik alanı uygulanmadığında, akışkan Newton akışkanı gibi davranmaktadır. Burada kullanılan akışkanın Saybolt viskozite ölçer sonucu ile bu şekildeki hiç elektrik alanı uygulanmadan alınan eğrilerin eğiminin hemen hemen aynı olduğu gözlemlenmiştir. Elektrik alanı uygulandığında ise akışkan Bingham akışkanı gibi davrandığı görülmektedir. Akma gerilmesi eşik değeri elektrik alanı ile doğru oranda artmaktadır. Ayrıca, yapılan çalışmalar polarize olabilen katkı maddelerinin oranları arttıkça akma gerilmesinin üstel olarak da arttığını göstermiştir [10]. ER valfin tasarımında, elektrik alanı altındaki ve elektrik alanı uygulanmaksızın elde edilen kayma gerilmesi arasındaki oranın yüksek olması önemlidir. Güç gereksinimi ve katkı oranlarının da önceden bilinmesi gereklidir. Bunlarla birlikte akışkandaki katkı maddelerinin çökme zamanları ve viskozitesi de tasarım sırasında göz önünde bulundurulması gereken parametrelerdir.



### 3. ER VALFINİN TASARIMI

Sekil 5'de akış modu olarak verilen ve iki plaka arasından geçmeye zorlanan akışkanın elektrik alanı uygulanmaksızın oluşturacağı basınç düşüşü akışkanın viskozitesine ve pompalanan akışkanın debisine bağlı olacaktır. İki plaka arasındaki akışın "düzgün akış" olduğu varsayılırsa basınç düşüşü [2,7];

$$P_N = 12\mu_N l Q_G / (wh^3) \quad (3)$$

olacaktır. Burada

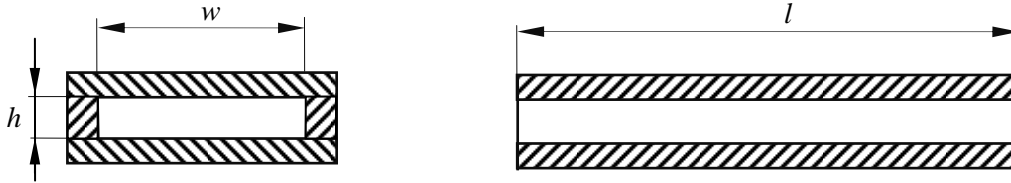
$Q_G$  Elektrik alanı uygulanmaksızın iki plaka arasındaki debi, m<sup>3</sup>/s,

$\mu_N$  Newton viskozitesi, Pa.s,

$l$  elektrotların boyu, m,

$w$  elektrotların genişliği, m,

$h$  iki elektrot plaka arasındaki boşluk, m' dir.



Şekil 5. Paralel plakalı valf.

Elektrot plakaları arasındaki akışkana elektrik alanı uygulandığında denklem 3 deki basınç düşüşüne ek olarak akma gerilmesinin artması nedeniyle bir basınç düşüşü daha oluşacaktır. Akma gerilmesinden dolayı plakaların üzerinde oluşan direnç kuvveti ;

$$F_y = 2\tau_y l w \quad (4)$$

olacaktır. Burada  $\tau_y$  akma gerilmesidir. Birimi ise Pa.s. dir. İki plaka olması nedeniyle bu denklem iki ile çarpılmıştır. Bu direnç kuvveti, iki plaka arasında oluşturduğu basınç düşüşü ile ifade edilirse;

$$F_f = \Delta P_{ER} h w \quad (5)$$

olacaktır. Denklem 4 ve 5 birbirine eşitlenerek, akma gerilmesinden dolayı oluşan basınç düşüşü

$$\Delta P_{ER} = 2\tau_y l / h \quad (6)$$

olarak bulunur. Toplam basınç düşüşü ise denklem 3 ve 6 toplamıdır.

$$\Delta P = 12\mu_p l Q / (wh^3) + 2\tau_y l / h \quad (7)$$

Valfin tek kanallı olması yerine çok kanallı olduğu düşünüldüğünde akma gerilmesinden dolayı kayma direnci ve basınç düşüşü kanal sayısı ile orantılı olarak artacaktır. O halde çok kanallı bir ER valfe elektrik alanı uygulandığındaki toplam basınç düşüşü

$$\Delta P = 2n\tau_y l / h + 12n\mu_p Q l / (wh^3) \quad (8)$$

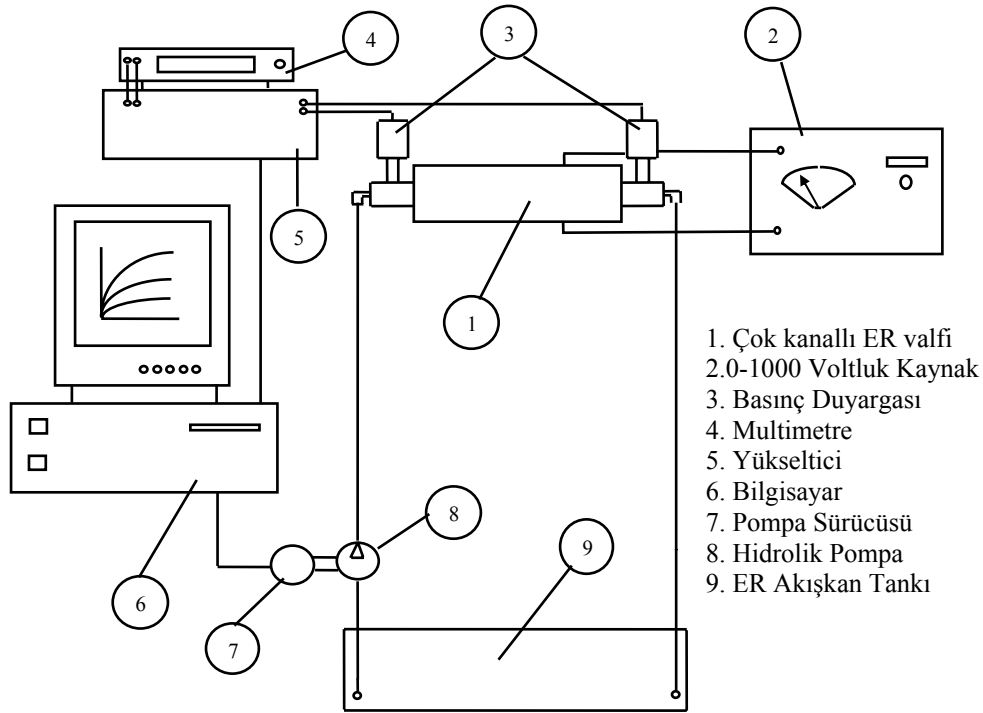
olacaktır. Burada n elektrik alanı uygulanan kanal sayısını göstermektedir. Bu denklemden de anlaşılacağı üzere bir ER valfin basınç düşüşü kanal sayısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Yine

aynı şekilde yukarıdaki denklemden ER valfin performansının ER akışkanının davranışına, elektrot genişliğine  $w$ , boyuna  $l$ , ve elektrotlar arasındaki mesafeye  $h$  bağlı olduğu görülmektedir. ER akışkanının davranışı uygulanan elektrik alanı şiddetine ve polarize olabilen parçacıkların oranına göre denetlenebilmektedir.

Basınç düşü analizine ve eldeki mevcut cihazlara göre tasarlanmış çok kanallı dikdörtgen bir ER valfi tasarlanmıştır. Elektrot olarak kullanılan malzeme karbon çeliği olup her bir plaka plastik malzeme ile izolasyonu yapılmıştır. Beş kanal oluşturacak şekilde 6 elektrot kullanılmış olup elektrotlar arasındaki yükseklik 0.7 mm'dir. Elektrotların boyu 100 ve genişliği 25 mm'dir.

### 3.1 ER Valfin Basınç Analizi

Tasarımı ve imalatı yapılan ER valfinin basınç düşü karakteristiğinin elde edilmesi için Şekil 6 da gösterilen deney düzeneği hazırlanmıştır. Bu düzende altı kanallı ER valfine, debisi  $50 \times 10^{-6} m^3 / dev$  olan hidrolik pompa 0 – 100  $dev / dak$  hız aralığında çalıştırılacak şekilde bağlanmıştır. "Dead weight tester" ile kalibre edilen basınç duyargaları valfin giriş ve çıkışındaki basıncı ölçecek şekilde yerleştirilmiştir. Duyargalardan gelen sinyaller 5 kHz frekans yükselticisi ile düzenlenmiştir. 0-1000 volt arasında ayarlanabilen doğru akım kaynağı elektrotlar arasında elektrik alanı oluşturmak için kullanılmıştır. Uygulanan elektrik alanına bağlı olarak basınç düşüşünün pompanın debisine karşılık eğrileri, teorik değerler ile deneysel değerler arasındaki uyum valf tasarımı için önemlidir. Dolayısı ile basınç analizinin geçerliliğinin doğrulanmasını gerektirir.

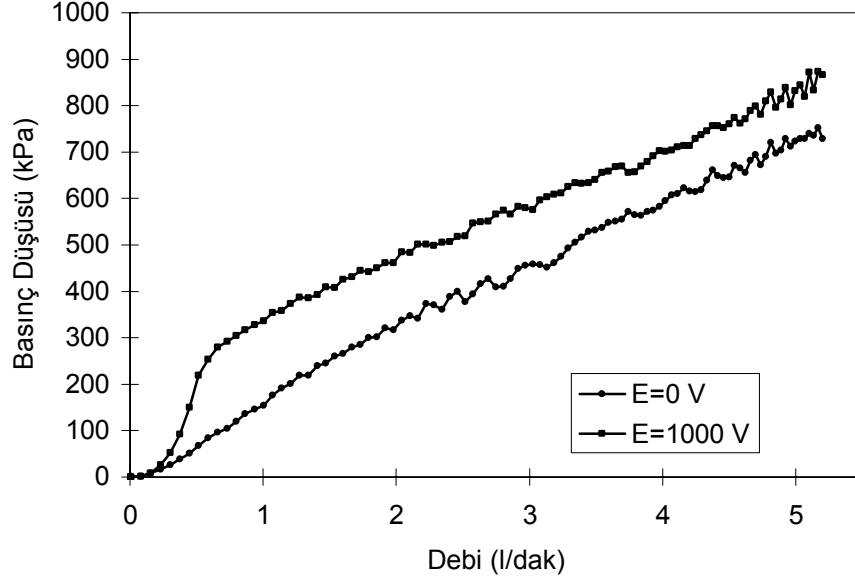


Şekil 6. Basınç düşü test düzeneği.

Tasarlanan ER valfinin elektrotlarına uygulanan 1000 voltluk bir elektrik potansiyelinde ağırlığının yüzde kırkı oranında nişasta katkılı akışkanın debiye karşılık basınç düşü karakteristiği Şekil 7'de verilmektedir. Şekil 7'den de görüldüğü gibi akma gerilmesinden dolayı basınç düşüşü döner viskoz metre ile elde edilen kayma gerilmesi eğrisi ile aynı eğimi göstermektedir. Değişik nişasta katkı oranlarının da (ağırlığının %20 ve %30) oluşturulan ER akışkanları aynı düzende test edildiğinde, akışkanın debisinin 4 l/dakikalık değeri geçtikten sonra elektrik alanı ile oluşturulan zincirleme etkisi

olumsuz etkilenmekte akım gerilmesinden dolayı oluşan basınç düşüşü kaybolmaktadır [11]. Katkı maddesinin artırılması zincirleme etkisinin bozulmasını önlemektedir.

Şekil 7'de görüleceği üzere deneyde alınan sonuçlara göre 5 l/dakikalık pompa debisi aralığında ve 1 kV'luk elektrik potansiyeli uygulandığında oluşan akma gerilmesinden dolayı oluşan basınç düşüşü 80 kPa, toplam basınç düşüşü ise 820 kPa civarındadır. Teorik olarak tasarlanan valfın akma gerilmesinden dolayı oluşan basınç düşüşü 75 kPa dır. Burada bahsedilen sonuç ve çıkarımlar daha önce yapılmış olan araştırmaların sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir [8, 2, 7].

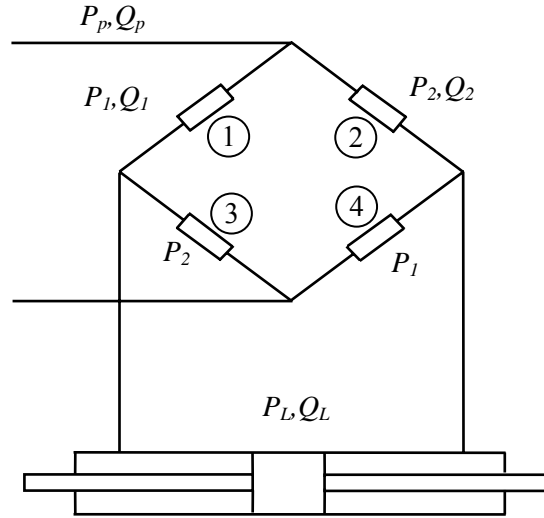


Şekil 7. Valfin içinden geçen akışkanın debisine karşılık basınç düşüşü. ER akışkanı %40 nişasta katkılı trafo yağıdır.

### 3.2 ER hidrolik Valf köprü devresi

ER akışkanı için Şekil 8 de görüldüğü gibi bir valf devresi düzeneği kurulmuştur. 4 adet aynı özelliklere sahip ER valfleri üzerinde (1'den 4 kadar numaralandırılan) normalde elektrik alanı mevcut değildir. Karşılıklı valf çiftlerine (1-4 veya 2-3) elektrik alanı uygulamak suretiyle denge konumu bozularak silindirin hareket ettirilmesi düşünülmüştür. ER hidrolik devre tipik bir simetrik dengeli köprü gibi çalışacaktır. Elektrik potansiyeli uygulanan valf çiftleri akışkana direnç uygulayacak böylece silindirin bir yanındaki basınç diğer tarafındaki basınçtan daha düşük olacaktır. Böylece silindirin hareketlenmesi sağlanacaktır. Silindirin hızı akışkanın debisine bağlı olup silindir üzerinde oluşan kuvvet basınç ile silindir alanın çarpımından elde edilecektir.





**Şekil 8.** ER valfinin köprü şeklinde düzenlenmesi.

Yüksek elektrik potansiyeli 1 ve 4 nolu valflere uygulandığında valf üzerinde plastik viskoziteden ve akma gerilmesinden dolayı  $P_1$  basıncı oluşacaktır.  $P_2$  ise Newton akışkanından dolayı oluşan basınç düşüşü olacaktır. Elbette  $P_1 > P_2$  ve  $Q_1 > Q_2$  dir. Bu devre için aşağıdaki denklemleri yazabiliriz.

$$\begin{aligned}
 P_L &= P_1 - P_2 \\
 P_p &= P_1 + P_2 \\
 Q_L &= Q_2 - Q_1 \\
 Q_p &= Q_1 + Q_2
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Valflerden geçen debi miktarları ise,

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= (Q_p + Q_L) / 2 \\
 Q_1 &= (Q_p - Q_L) / 2
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

olacaktır. Denklem 4.1 ve 4.2 herhangi bir valf içinde geçerlidir. ER valf köprüsü için pompa çıkış basıncı ve silindirin içinde oluşan yük basıncı, aşağıda verilen denklemlerle hesaplanabilir.

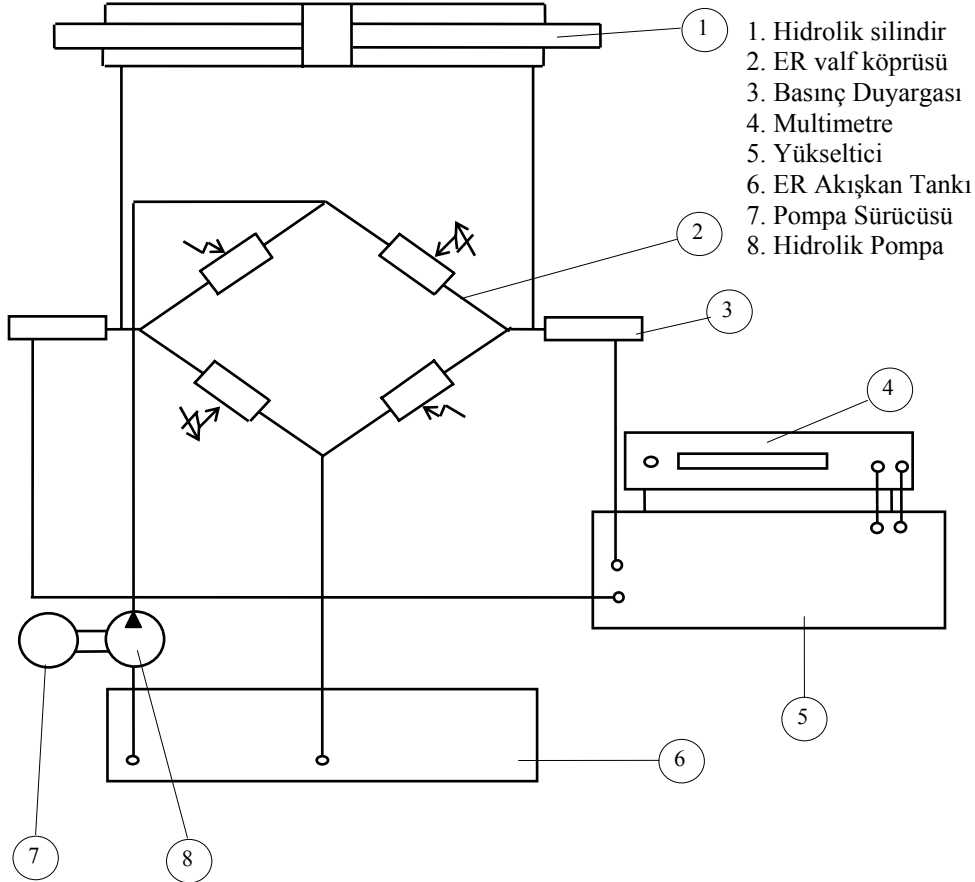
$$P_p = 12\mu_p l Q_1 / (wh^3) + 12\mu_N l Q_2 / (wh^3) + 2m\tau_y l / h
 \tag{11}$$

$$P_L = 4m\tau_y l / h + 12\mu_p l Q_1 / (wh^3) - 12\mu_N l Q_2 / (wh^3)$$

Yukarıdaki denklemler, yük debisi arttıkça yük basıncının azaldığını göstermektedir. Bunun nedeni ise elektrik alanı uygulanmasıyla valf çiftlerinden 1 ve 4'den geçen  $P_1$  basıncını artırırken 2 ve 3 deki  $P_2$  basıncını düşürür. Dolayısıyla  $Q_1$  akımı azalırken  $Q_2$  akımı da artar.

Şekil 9'da verilen ER valf-silindir düzeneği oluşturularak silindirin ileri-geri hareketlendirilmesinin gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceği araştırılmıştır. Basınç düşü analizinde kullanılan ağırlığının %40 oranında nişasta katkılı ER akışkanı kullanılmıştır. Newtonian viskozitesi yaklaşık 0.042 Pa.s. Çift etkili silindirin efektif alanı  $2.34 \times 10^{-3} m^2$  dir. Valf çiftlerine 1 kV'luk elektrik potansiyeli uygulanmıştır.

Farklı pompa farklı debilere ayarlanmış ve valf çiftine 1kV'luk elektrik potansiyeli sırası ile uygulanarak hidrolik silindirin ileri geri çalışması sağlanmıştır. Ölçülen basınç değerleri sağlıklı olarak alınamamıştır. Elektrik potansiyeli kontrol edilen her bir valf birbirin benzeri olmak zorundadır. Çünkü devre simetrik dengeli çalışması gerekir. Ayrıca, pompanın sabit debi sağlaması, tanktan gelen akışkanın boru içinde ivmelenmemesi ve tank ile köprü devresi arasındaki boruların ve devre ile silindir arasındaki akışkan taşıyan boruların boyları mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. ER akışkanın doğası gereği kullanılan hidrolik parçalarında uygun olması gerekir. Polarize olabilen katkı maddeleri sızdırmazlık elemanları arasına sıkışmaktadır. Bu olumsuzluklara rağmen hidrolik silindirin yönlendirilmesi sağlanmıştır.



Şekil 9. Valf silindir deney düzeneği.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada ER akışkanın kayma ve akış çalışma durumlarındaki davranışları incelenmiştir. Bu çalışmaların amacı bir ER valfinin tasarıma yön verecek bilgi ve teknolojinin derlenmesi için ilk adımı oluşturmaktır. İlk önce özel olarak tasarlanmış döner viskozmetre ile akışkanın içindeki katkı maddesinin oranları incelenmiş ve böylelikle kullanılacak akışkanın elektoreheolojik özellikleri belirlenmiştir. Akışkana uygulanan elektrik potansiyelinin büyüklüğü ile akma gerilmesinin doğru orantıda arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca kullanılan katkı miktarı arttıkça akma gerilmesinin üstel olarak arttığı görülmüştür. Bu veriler ile elde edilen basınç düşü değerler kullanılarak bir valf tasarlanmış ve performansı teorik ve deneysel karşılaştırılmıştır ve uyumluluğu gözlenmiştir. Daha sonra çift etkili bir hidrolik silindiri sürmek için dört adet valf imal edilmiş ve köprü düzeninde birleştirilerek bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Tespit edilebilen (kısım 3.2 de verilen) olumsuzluklara rağmen hidrolik silindirin yönlendirilmesi sağlanmıştır. Teknolojinin gelişimi ile beraber ER kullanan sistemler geniş bir uygulanma alanı bulacaktır.



## KAYNAKLAR

- [1] SIMMONDS, A. J., "Electro-Rheological Valves in a Hydraulic Circuit", IEE Proceedings-D, Vol. 138, No. 4, pp 400-404, 1991.
- [2] GANDHI, M. V., THOMPSON, B. S., " Electro-Rheological Fluids, Smart Materials & Structures", Chapman and Hall Ltd., 1992. pp 137-173.
- [3] STANWAY, R., SPROSTON, J. L., " Electro-Rheological Fluids: A Systematic Approach to Classifying Modes of Operation", Transactions of the ASME, Vol. 116, pp 498-504, 1994.
- [4] STEVENS, N. G., SPROSTON, J. L., STANWAY, R., " An Experimental Study of Electro-Rheological Torque Transmission", Transactions of the ASME, Vol. 110, pp 182-188, 1988.
- [5] MONKMAN, G. J., " Exploitation of Compressive Stress In Electrorheological Coupling", Mechatronics, Vol. 7, No. 1, pp 27-36, 1997.
- [6] MARKIS, N., BURTON, S. A., HILL, D., JORDAN, M., "Analysis and Design of ER Damper For Seismic Protection of Structures", Journal of Engineering Mechanics, Vol. 122, No. 10, pp 1003-1001, 1996.
- [7] CHOI, S. B., CHEONG, C. C., JUNG, J. M., CHOI, Y. T., " Position Control of An ER Valve-Cylinder System Via Neural Network Controller", Mechatronics, Vol. 7, No. 1, pp 37-52, 1996.
- [8] BROOKS, D.A., " Electro-Rheological Devices", Chart Mechanical Engineering, pp 91-93, 1982.
- [9] SPROSTON, J. L., RIGBY, S. G., WILLIAMS, E. W., STANWAY, R., " A Numerical Simulation of Electrorheological Fluids in Oscillatory Compressive Squeeze-Flow", J. Phys. D: Applied Physics, Vol. 27, pp 338- 343, 1994.
- [10] TOPÇU, E.R., KAPUCU, S., "Comparison of Electrorheological Behaviour of Mineral and Transformer Oil Contaminated by Starch" Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Dergisi, Cilt XI, Sayı: 2, 1998
- [11] TOPÇU, E.R. ve KAPUCU, S. "An experimental Study of Electrorheological Valve Pressure Drop Characteristics" Proceedings of the 14'th International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future. pp 427-431, Nov 30, Dec 1-3, 1998, Coimbatore, INDIA.

## ÖZGEÇMİŞLER

### Egemen Ramazan TOPÇU

1989 yılında Kozan Lisesi'nden mezun oldu. 1995 yılında lisans, 1997 yılında yüksek lisansını, Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde tamamladı. 1995 – 1999 yılları arasında Gaziantep Üniversitesinde Araştırma görevlisi olarak çalıştı. 1999 yılından beri de kendi mühendislik bürosunda çalışma hayatına devam etmektedir.

### Sadettin KAPUCU

1981 yılında Sivrihisar Endüstri Meslek Lisesi, Tesviye Bölümünden mezun oldu. 1987 yılında lisans, 1990 yılında yüksek lisansını Orta Doğu Teknik Üniversitesi Gaziantep Yerleşkesinde Makina Mühendisliği bölümünde tamamladı. Doktora çalışmasını 1994 yılında Gaziantep Üniversitesinde yaptı. 1987-1990 yılları arasında Gaziantep Üniversitesinde Araştırma görevlisi olarak çalıştı. 1991 den 1995 yılına kadar Öğretim görevlisi olarak ve 1995 yılından beri de aynı üniversitede Öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Araştırma konuları hidrolik güç kontrolü, robotik, robot görüntü analizi, mekanik sistemlerin tanımlanması, mekanik titreşim kontrolü ve yaratıcı yenilikçi problem çözme'dir.